Department of Alternative Energy Development and Efficiency
MINISTRY OF ENERGY

Promoting Energy Efficiency in Commercial Buildings (PEECB)

PROGRESS REPORT #5

Submitted to :
Department of Alternative Energy Development and Efficiency

Prepared by :
Bright Management Consulting Co.,Ltd.



BRIGHT management consulting company limited

June 2014

INDEX

1. Project Summary 1

2. Project Objectives 2

3. Key Results 2

3.1 Project Management 3

3.2 Component -1 9

C1-1 Activity 1.1.1a: Conduct of Situation Analysis for CBEEC..... 9
C1-2 Activity 1.1.1b: Design & Development of CBEEC..... 9
C1-3 Activity 1.2.1a: Design effective promotional scheme..... 15
C1-4 Activity 1.3.1a : Assess the two (2) most popular simulation model.... 16
C1-5 Activity 1.3.2a: Select and Modification of BESM..... 21
C1-6 Activity 1.4.1 a & b : Study and identify the overall training courses for EE technologies and practices and financial arrangement in commercial buildings..... 28
C1-7 Activity 1.4.1 c : Development of the overall training program..... 34
C1-8 Activity 1.4.2 a : Design of Technical Training Courses..... 53
C1-9 Activity 1.5 a : Design of Non-Technical Training Courses..... 56

3.3 Component -2 58

C2-1 Activity 2.2.1a : Review BEC Software Database..... 58
C2-2 Activity 2.2.2a : Review the Existing Specific Energy Consumption Index (SEC)..... 60
C2-3 Activity 2.2.2b : Update the SEC for Commercial Building Sector in Thailand 87
C2-4 Activity 2.2.3a : Review Existing M&V Scheme for Completed Projects in Thailand..... 89

3.4 Component -3 94

C3-1 Activity 3.2.1.1 : Documentation of results of the demonstration projects..... 94

4. Expected Outputs for the Next Period..... 95

ANNEXES

- **Annex 1** Minutes of Meeting
  1.1 Project Meeting – 30 April 2014 (follow up meeting with international expert NSRI – Japan)
  1.2 Project Meeting – 16 May 2014 (follow up meeting on policy framework No.3)
- **Annex 2** Assessment of the Utilization of Building Energy Simulation Model (BESM) in Thailand
- **Annex 3** List of Participants and Presentation Details for Professional on BESM Focus Group Meeting – 16 May 2014
- **Annex 4** Proposed structure of overall training programme on energy efficiency in commercial buildings
- **Annex 5** Draft Training Courses
  Annex 5-1 : Draft Technical Training Course
  Annex 5-2 : Draft Non-Technical Training Course
- **Annex 6** Master Plan (4Years)_Work Plan and Progress

1. Project Summary

Bright Management Consulting Co.,Ltd. (BMC) has been contracted by DEDE on April 2013 as the project consultant on component 1, partly of component 2&3 and project management. **Currently, BMC has completed the work according to the term of reference with the overall percentage of actual completion at 47.45%. Details of completed works of each task are as follows,**

Table 1.1 Completed Works as of 2nd June 2014

Task	Work on progress	% Completed			Remark
		Previous Period	This Period	Total	
PM : Project Management		**7.11**	**2.66**	**9.77**	
	1.Project Management and Coordinating Activities*				
	2.Organize Project Meeting*				
C-1 : Component 1		**28.22**	**6.32**	**34.54**	
	1. Conduct situation analysis on Commercial Building EE Information				**Activity 1.1.1a**
	2. Design & Development of CBEEC*				**Activity 1.1.1b**
	3. Design effective promotional scheme*				**Activity 1.2.1a**
	4. Assess the two(2) simulation model				**Activity 1.3.1a**
	5. Select and modification of BESM*				**Activity 1.3.2a**
	6. Study and identify the overall training courses for EE technologies and practices and financial arrangement in commercial buildings				**Activity 1.4.1 a&b**
	7. Develop the overall training programme and Conduct Capacity Building for DEDE' staffs				**Activity 1.4.1 c**
	8. Design of Technical Training Courses*				**Activity 1.4.2 a**
	9. Design of Non-Technical Training Courses*				**Activity 1.5 a**
C-2 : Component 2		**1.89**	**1.23**	**3.12**	
	1. Review of BEC software database*				**Activity 2.2.1a**
	2. Review existing specific energy consumption index				**Activity 2.2.2a**
	3. Update the SEC for Commercial Building Sector in Thailand				**Activity 2.2.2b**
	4. Review existing M&V scheme for completed projects in Thailand				**Activity 2.2.3a**
C-3 : Component 3 :		**0**	**0.02**	**0.02**	
	1. Documentation of results of the demonstration projects*				**Activity 3.2.1.1**
Overall completion		**37.22**	**10.23**	**47.45**	

Note: * Work progress during the period of Progress Report No. 5.
(Details of completed works have been provided in item 3: Key results and Annexes)

2. Project Objectives

1. To raise awareness on energy efficiency in commercial buildings in Thailand including the establishment of Commercial Buildings Energy Efficiency Information Center, the development of training programme and related activities and the development of Energy Simulation Software for Commercial Buildings in Thailand
2. To study and prepare policy frameworks, short and long term action plan to promote energy efficiency in commercial buildings including evaluation and revision of related policy on energy efficiency in commercial buildings
3. To demonstrate the application of energy efficiency technologies in commercial buildings and disseminate the successful results to other building

3. Key Results

Currently, the total of **47.45%** of actual work is completed for the Project Management (PM), Component 1 (C1), Component 2 (C2) and Component 3 (C3) as summarized in Table 3.1:

Table 3.1 : The summary of work as of Progress Report No. 5 (Q2/2014)

Item	%Plan Up to Q1/14	%Plan Q2/2014	%Total	%Actual Up to Q1/14	%Actual Q2/2014	%Total
PM	7.11	2.66	**9.77**	7.11	2.66	**9.77**
Component 1	33.79	4.84	**38.63**	28.22	6.32	**34.54**
Component 2	2.00	1.85	**3.85**	1.89	1.23	**3.12**
Component 3	0.13	0.32	**0.45**	0.00	0.02	**0.02**
Total	43.03%	9.67%	**52.70%**	37.22%	10.23	**47.45**

*Note: % Actual is accumulated as of May 2014. (Details of Work Plan & Progress are provided in ANNEX 4)

Details of key results according to TOR 4.7-4.10 for the Project Management (PM), Component 1 (C1), Component 2 (C2) and Component 3 (C3) are as follows:

(TOR4.7) **Task 7**: The Consultant shall manage and facilitate all project activities according to the approved plan in Task 2 under the supervision of DEDE. The regular meeting with the DEDE's committee shall be set up to ensure the success of the project.

3.1 Project Management (PM) :

% Completed Works: Previous Period = 7.11%, this period = 2.66%: Total = 9.77%,

Details of completed works:

PM-1 Project Management and Coordination Activities

Completed works on Previous Period – Project Management

1. **The Project Board (PB)** of the PEECB Project has been formulated to supervise and monitor the project to ensure cooperative and effective implementation of the project. The structure of PB consists of representative from key agencies namely;
   1. Department of Alternative Energy Development and Efficiency –DEDE
   2. United Nations Development Programme –UNDP
   3. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning – ONEP
   4. Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy – EPPO
   5. Department of Public Works and Town & Country Planning-DPT
   6. Pollution Control Department -PCD , Ministry of Natural Resources and Environment
   7. The Revenue Department-RD
   8. Department of City Planning, Bangkok Metropolitan Administrator-BMA-CPD
   9. Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) – TGO
   10. Thai Green Building Institute – TGBI

   The first Project Board (PB) Meeting was held on 22nd May 2013 at Boonrod-Nitipat Meeting Room, 11th Floor, Building 7, DEDE. The objective of the first meeting is to introduce the PEECB project and seeks the approval on the master plan and yearly plan from the board.

   The second Project Board Meeting was held on Thursday 19th September 2013 to follow up the progress of the project and to finalize project target and criteria to select demonstration sites. The Meeting agreed that the scope of "Commercial Buildings" included in the PEECB has to be comply with the ENCON Act B.E. 2535 or the building types that have working space starting from 2,000 m^2 onward. Moreover, the meeting gave approval of the criteria of project demonstration buildings and project indicators.

   The full reports of the two Project Board Meetings appear in the Progress Report No 2.

   The Project Board (PB) Meeting No.1/2557 (No.3) was held on Tuesday 4th February 2014 at Energy Conservation Building (Khlong 5, Patumthani). The objective of the meeting is to inform the progress of the project to the board and to present the project yearly plan and budget of Y2014 for approval.

The board has approved the project yearly plan and budget of Y2014 as follows;

1. **Component-1 (Total work = 31.92% of overall project work)**
   % Completed work in Y2013 = 9.50%
   % Target of completed work in Y2014 = 10.42%
   % Target of total completed work at the end of Y2014 = **19.92%**
   Approved budget of component - 1 for Y2014 = 11,112,777 baht

2. **Component-2 (Total work = 19.03% of overall project work)**
   % Completed work in Y2013 = 2.25%
   % Target of completed work in Y2014 = 6.31%
   % Target of total completed work at the end of Y2014 = **8.56%**
   Approved budget of component - 2 for Y2014 = 5,757,707 baht

3. **Component-3 (Total work = 40.53% of overall project work)**
   % Completed work in Y2013 = 0.5%
   % Target of completed work in Y2014 = 14.56%
   % Target of total completed work at the end of Y2014 = **15.06%**
   Approved budget of component - 3 for Y2014 = 7,401,769 baht

4. **Project Management (Total work = 8.53% of overall project work)**
   % Completed work in Y2013 = 2.98%
   % Target of completed work in Y2014 = 2.00%
   % Target of total completed work at the end of Y2014 = **4.98%**
   Approved budget of the project management for Y2014 = 2,564,487 baht

Overall project completion and target for Y2014
% Completed work in Y2013 = 15.23%
% Target of completed work in Y2014 = 33.29%
% Target of total completed work at the end of Y2014 = **48.52%**
Approved budget of overall project for Y2014 = 26,836,740 baht

In the 3rd Project Board meeting, the board also provided the project team with suggestion on the development of work details of each component as noted in the minutes of the meeting provided in Progress Report No.4.

2. **Project Meetings : BMC has continuously organized project meetings with DEDE, UNDP** & **ENSOP** to clarify task details through several meetings. The first coordinating meeting was organized on Friday 16th August 2013, including the following meetings ;
   1. Monday 16th September 2013
   2. Wednesday 11th December 2013
   3. Thursday 23rd January 2014
   4. Wednesday 26th February 2014

Completed Works in this period (Progress report No.5 (Q2/2014)) – Project Management

1. **BMC has organized the project meeting between DEDE, UNDP and ENSOP** to follow up on the project development of each component. Summary of each meeting is as follows;

1.1 Project Meeting on Wednesday 30th April 2014

The meeting was held at BMC's office between NSRI (Japan) and BMC to follow up on the preparation of building technology review in Japan and clarification of scope of works for NSRI's support to this project. The details of activities and delivery of each activity responsible by NSRI is summarized as follows;

Item	Details activities	Delivery
1	Support BMC to organize study trip to Japan	November - 2013
2	Review, study and prepare report on "Experiences in Promoting of Energy Efficiency in Commercial Buildings in Japan"	May -2014
3	Review and provide recommendation to improve Simulation software for calculating and analyzing of energy consumption in commercial buildings in Thailand	June-Dec 2014
4	Review, study and prepare report on "Energy Efficiency Technologies in Commercial Buildings "	Oct – 2014

1.2 Project Meeting on Friday 16th May 2014

The meeting was held at BMC's office between DEDE, UNDP, ENSOP and BMC to follow up on the development of policy framework and progress of activities of component 2 and 3. The summary of the meeting is as follows;

1.2.1 **Policy framework**: ENSOP has finalized the review of works on energy efficiency policy in Thailand and other countries. The final reviewing results with recommendation will be presented in ENZOP's Progress Report No.3 which is planned to be submitted by the end of May 2014.

1.2.2 **Specific Energy Consumption, SEC**: ENSOP will coordinate with DEDE to select the specific buildings of each building category (nine categories). Site survey and data collection on related parameters to calculate SEC will be conducted, planning to start in June 2014.

1.2.3 **Measurement and Verification, M&V**: ENSOP has reviewed M&V protocol that is suitable and applicable for the energy efficiency projects in Thailand.

1.2.4 **Demonstration sites**: ENSOP has proposed seven sites to participate in the PEECB Project as follows;

1. Samrong General Hospital
2. Provincial Electricity Authority, PEA's Building
3. Centara Hotel & Resort
4. Katina Hotel
5. TESCO Lotus
6. Ake Chon Hospital

7. Chawaeng Garden Beach Resort – SAMUI Island

Minutes of the meeting on Wednesday 30th April 2014 and Friday 16th May 2014 are provided in **Annex 1.1 and 1.2** of this Progress Report respectively.

PM-2 Target setting for the project (Finished Work)

BMC has prepared the project implementation strategies and planning in order to meet the project target. The project target aims to support the implementation of 20 Year Energy Efficiency Development Plan (EEDP 2011 – 2030). There are 8 building types that have been defined in the EEDP as follows;

1. Office Building
2. Department store
3. Retail & wholesale business facility
4. Hotel
5. Condominium
6. Medical Center
7. Educational Institution
8. Other general buildings

Each building type has been categorized in to 5 levels of energy saving capability as shown in Table 3.2

Table 3.2 : Net Energy Consumption Derived from Modeling Each Building Type under Each Level of Energy Saving Capability

Building Type	Energy Consumption under Each Level of Energy Saving Capability (kWh/m^2/y)				
	Reference	BEC	HEPS	Econ	ZEB
Office building	219	171	141	82	57
Department store	308	231	194	146	112
Retail & wholesale business facility	370	298	266	161	126
Hotel	271	199	160	116	97
Condominium	256	211	198	132	95
Medical center	244	195	168	115	81
Educational institution	102	85	72	58	39
Other general buildings	182	134	110	66	53

Reference : 20 Year Energy Efficiency Development Plan (EEDP), DEDE

*The assessment of electricity saving potential is based on the comparison between the average energy consumption rate/space unit/year of individual building types at present, called the "**Reference** Case", and such a rate in the case where the minimum energy consumption efficiency standard of buildings, or "**Building Energy Code (BEC)**", is enforced, including the case where a higher standard in the future is enforced. The average energy consumption rate under the Reference Case is derived from the energy consumption modeling representing each building type, based on the official data from energy consumption inspection. Energy efficiency standards which are higher than the BEC comprise the following three levels;*

(1) ***HEPS (High Energy Performance Standard)*** *– the high energy efficiency standard of various systems which can be achievable by using current technologies;*
(2) ***Econ (Economic Building)*** *– the target in the near future when the technologies of equipment and various systems are developed to be more energy efficient, but are still cost-effective; and*
(3) ***ZEB (Zero Energy Building)*** *– the long-term target when the need for external energy supply to the buildings is near zero because the energy demand of such buildings is very low and there is also on-site energy generation from renewable energy*

PEECB Project will stimulate the implementation of energy efficiency measures in the commercial buildings in order to move each type of buildings in Thailand toward higher level of Energy Saving Capability. According to the 20Y EEDP, the target to reduce energy use of 34,493 GWh has been set in Y2030. In order to achieve this challenge target, more than 85% of each type of building needs to be in Econ level and approximately 3-5% of each type of building should be achieved at ZEB level. In this regard, PEECB target should be set to support and enhance this 20Y EEDP target. Achievement detail of each level of Energy Saving Capability has been identified. Target setting has also been prepared for each component.

Table 3.3 : Estimated percentage of commercial buildings' achievement on each level of Energy Saving Capability according to the 20Y EEDP

Level of Building Saving Capability	Estimated percentage of commercial buildings' achievement		
	Short term (2011-2016)	Medium term (2017-2022)	**Long term (2023-2030)**
Reference	38%	10%	**5%**
BEC	30%	5%	**2%**
HEPS	30%	33%	**3%**
ECON	2%	50%	**85%**
ZEB	0%	2%	**5%**
Total	**100%**	**100%**	**100%**

PM-3 Preparation of the 1st Project Public Seminar (Finished Work)

The 1st Project Public Seminar was organized on 30th October 2013. The objectives of the seminar are;

1. To inform all stakeholders regarding the details of PEECB Project
2. To coordinate with all stakeholders and promote the development concept to set up "Commercial Building EE Information Center (CBEEC)"
3. To inform all stakeholders regarding the development concept of energy efficiency policy for commercial building

The invitation was extended to participants from representatives of related government agencies, Architects and Engineering Professional Organizations, Building Developers, Building Designers and other related organizations.

PM-4 Conduct 1st Project Public Seminar (Finished Work)

The 1st Project Public Seminar was organized on 30th October 2013 at the Twin Tower Hotel. The Participants attended in the seminar were representatives from related government agencies and

government buildings = 56 persons, Management and Operational level from Private sectors = 56 persons. The total numbers of participants were **112 persons**.

Participants came from the following various types of buildings:

- Office = 22 Buildings
- Hotel = 11 Buildings
- Educational = 8 Buildings
- Hospital = 7 Buildings
- Department Store = 6 Buildings
- Others = 8 Buildings

The Seminar was aimed to provide project information for all stakeholders related to the implementation of Energy Efficiency in Commercial Buildings and also to create the networking with each target group. The initial information regarding the current situation on the implementation of energy efficiency in each participated building was also gathered using preliminary questionnaires.

The seminar was successful in bringing together more project target groups than ever expected. The project gave to the audiences more information on how energy efficiency in buildings are important and what benefits can be obtained in the project as well as how to participate in the project as building demonstrations.

Participants' feedback received from the questionnaires distributed during the seminar was also well responded.

Detail information, the seminar materials, photo and results received from the questionnaires was provided in the Progress Report No. 2.

(TOR4.8) Task 8 : The Consultant shall implement all activities as stated in TOR item 4.3. A yearly plan could also be revised as necessary but it shall be approved by DEDE's committee prior proceeding.

BMC has implemented and managed all activities in each component according to the Yearly Work Plan proposed in the Inception Report and approved by the Project Board. Yearly work plan for Y2014 was approved in the 3rd Project Board Meeting No.1/2557 which was held on 4th February 2014. Progress of each activity in each component can be summarized as follows;

3.2 Component 1 (C-1)

% Completed Works: Previous Period = 28.22%, this period = 6.32%: Total = 34.54%,

C1-1 Activity 1.1.1a: Conduct Situation Analysis on Commercial Building EE Information – CBEEC (Finished Work)

Current Situation on Commercial Building EE Information

There are several types of data and information on energy efficiency in commercial building available in the market. Sources of these data and information are from Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), Professional Association of Engineering, Professional Association of Architect, Consultants, Experts, Product Suppliers, etc. However, there is no proper management system to centralize all these related data and information. DEDE has two contact centers that are responsible for providing information on energy efficiency to the public. These two centers are 2E-Building Center and DEDE's One Stop Service. 2E-Building Center provides services on building design recommendation to comply with compulsory building energy code while DEDE's One Stop Service provides broad services on the issues regarding energy conversation on commercial buildings and factories.

For private sectors, normally, data and information on Energy Efficiency in commercial building can be found through their organization websites, therefore, the details of information are still quite limited since the purpose of this information channel is for marketing their products or services. There is no specific organization or website that provides detailed data and information on energy efficiency in commercial buildings.

Completed work on the review of current situation on commercial building EE information provided in the Progress Report #1 included the review of case study on promoting energy efficiency in commercial buildings in Japan prepared by Nikken Seiki Research Institution (NSRI).

C1-2 Activity 1.1.1b: Design & Development of Commercial Building EE Information Center (CBEEC)

Completed works on previous period: activity 1.1.1b

Initial Concept on the Development of CBEEC

The establishment of Commercial Building EE Information Center, CBEEC could be designed into three phases as follows;

Phase I : Data and Information Preparation (October 2013 – December 2013)
Phase II : Establishment of CBEEC (January 2014)
Phase III: Operation and Maintaining of CBEEC (From February 2014)

Details of each phase are provided as follows;

Phase I: Data and Information Preparation

Existing Data and information related to Energy Efficiency in Commercial Buildings that are available in the market is to be gathered and collected during the first phase. Collection method is implemented through DEDE database and direct survey. Types of collected data and information are also to be identified. Estimated time frame for this phase is during October – December 2013.

Phase II: Establishment of CBEEC

CBEEC could be established firstly as a virtual center through web based concept. The website of www.cbeec.co.th or others as appropriate will be registered. In parallel with the development of CBEEC website, the actual contact center will also be identified and established whether using an existing contact center, 2E Building Center, or newly established contact center. The CBEEC website will be developed in parallel with the data collection works of phase I. Therefore, all collected data and information gathered in phase I will be made available for the public on CBEEC website. The actual CBEEC contact center could be set up at Bright Management Consulting Co.,Ltd.'s office as a temporary office till the end of the project (April 2017) or at DEDE workspace as appropriate.

Phase III: Operation and Maintaining of CBEEC (From February 2014)

After the actual establishment of CBEEC contact center, the operation and maintaining of the center will be responsible by Bright Management Consulting Co.,Ltd. through the end of the project. The operation and maintaining of CBEEC will cover both the operation of contact center and CBEEC website.

The initial concept of Commercial Building EE Information Center can be summarized as shown in Table 3.4.

Table 3.4: Initial Concept of CBEEC Establishment

Sources of Information	Types of Information	Collection Method	Operational Concept	Tools to be developed
1. DEDE 1.1 Existing database 1.2 Completed project	1. Energy consumption of each type of commercial building 2. Data to analyze specific energy consumption (SEC) 3. EE technologies information 4. Programming software 5. Successful case studies	Direct interview and review	1. Web based 2. Contact Center attached to DEDE	1. Networking 2. Application for user interface

Sources of Information	Types of Information	Collection Method	Operational Concept	Tools to be developed
2. Professional Association	1. Standard and criteria on energy efficiency 2. List of potential professionals	Focus group meeting and direct survey		
3. Consultants & Experts	1. List of potential technologies 2. List of potential consultants and experts	Focus group meeting and direct survey		
4. Equipment Suppliers	1. List of potential technologies 2. List of equipment suppliers of each potential technologies	Focus group meeting and direct survey		

Activity 1.1.1 b (Continued) : Design & Development of CBEEC :

The PEECB website has been developed to be an initial information channel for key stakeholders. Energy Efficiency Data will be actively revised on regular basis e.g. SECs, Simulation software, Building technologies and suppliers, Training Courses, Demonstration Buildings, Knowledge/Statistics. Project data such as background, methodology, current activities, FAQ, contact are also included.

Structure of the PEECB website :

The structure of the PEECB website will cover 6 major areas as follows.

1. Specific Energy Consumption Index (SEC)
2. Simulation Models
3. Building Technologies/Suppliers
4. Demonstration Buildings
5. Training Courses
6. Knowledge/Statistics

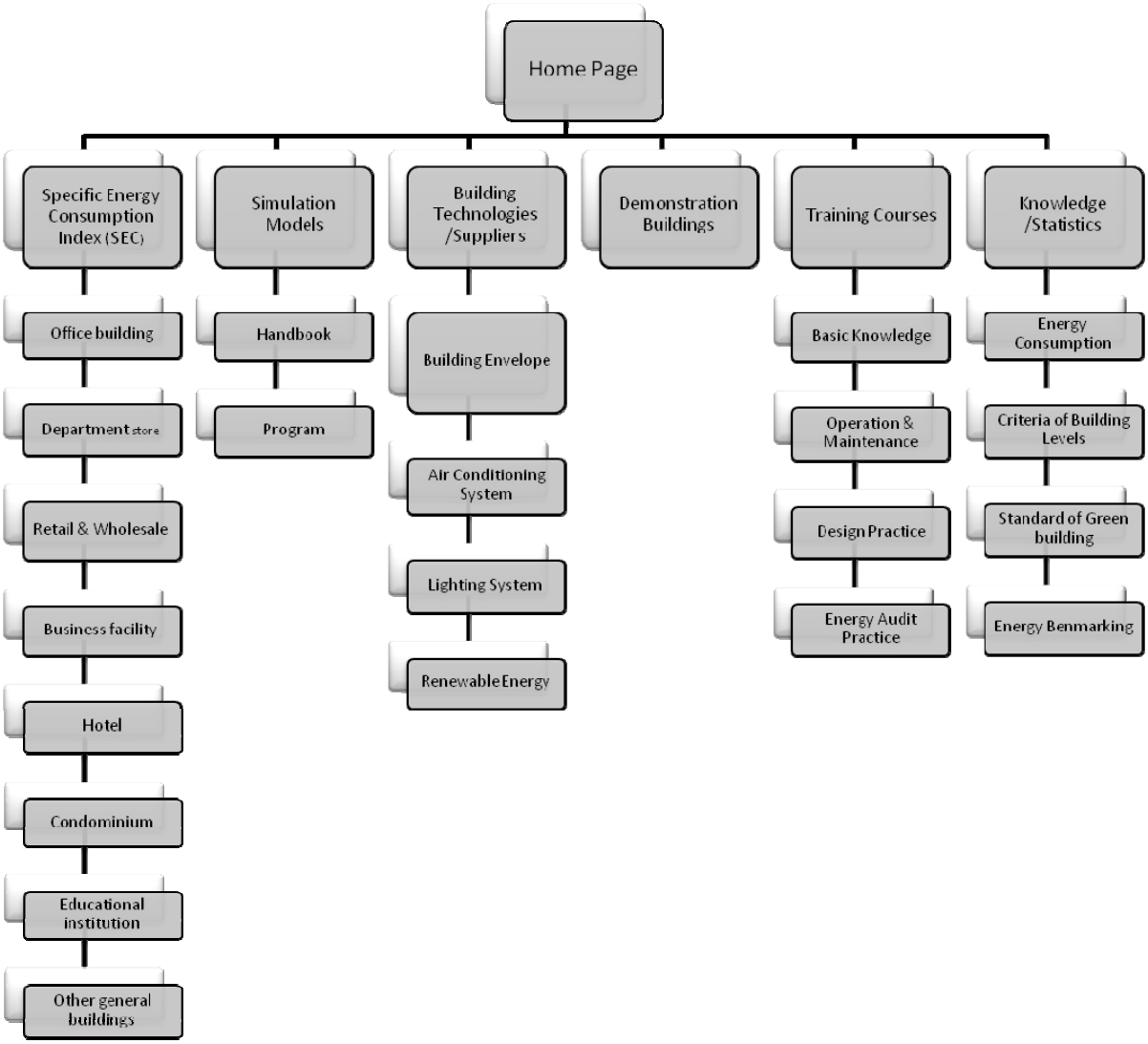


Figure C1-2.1 Proposed structure of PEECB website

Table 3.5 : Proposed contents on each area of PEECB Website

Contents	Objective	Source of data
1. Specific Energy Consumption Index (SEC)	To provide updated information of SEC in various building types in Thailand	- DEDE database - Available research papers - Reviewing and study outcomes from component 2&3 of PEECB project
2. Simulation models	To provide fee download energy simulation programme and handbook developed under PEECB project	- Development outcome from component-1 of PEECB project
3. Building Technologies /Suppliers	To provide information on energy efficiency technologies for commercial buildings together with initial information of available suppliers (for reference) of each selected technology	- Available research papers - Website - DEDE Database - Demonstration results from component-3 of PEECB project
4. Training Courses	To provide information on available training courses for EE Technologies in commercial buildings	- BHRD (Bureau of Human Resource Development), DEDE - Development outcomes from component-1 of PEECB project
5. Demonstration Buildings	To provide information of the demonstration buildings that are successfully implemented energy efficiency technologies	- Development outcomes from component-3 of PEECB project - Available research papers
6. Knowledge/Statistics	To provide general information and statistics that related to energy efficiency in commercial buildings. To provide initial outcomes from component-1,2 & 3 of PEECB project	- Available research papers - DEDE database - Development outcomes from component 1,2 & 3 of PEECB project

Completed work in this period (Progress Report No.5 (Q2/2014) : activities 1.1.1b

BMC has developed the PEECB website to be an initial CBEEC of the project. The website has been developed according to the approved structure as proposed in Figure C1-2.1 . The website can be reached through the banner link from DEDE website.

The image of the PEECB website and the link on DEDE website is shown in figure C1-2.2 .

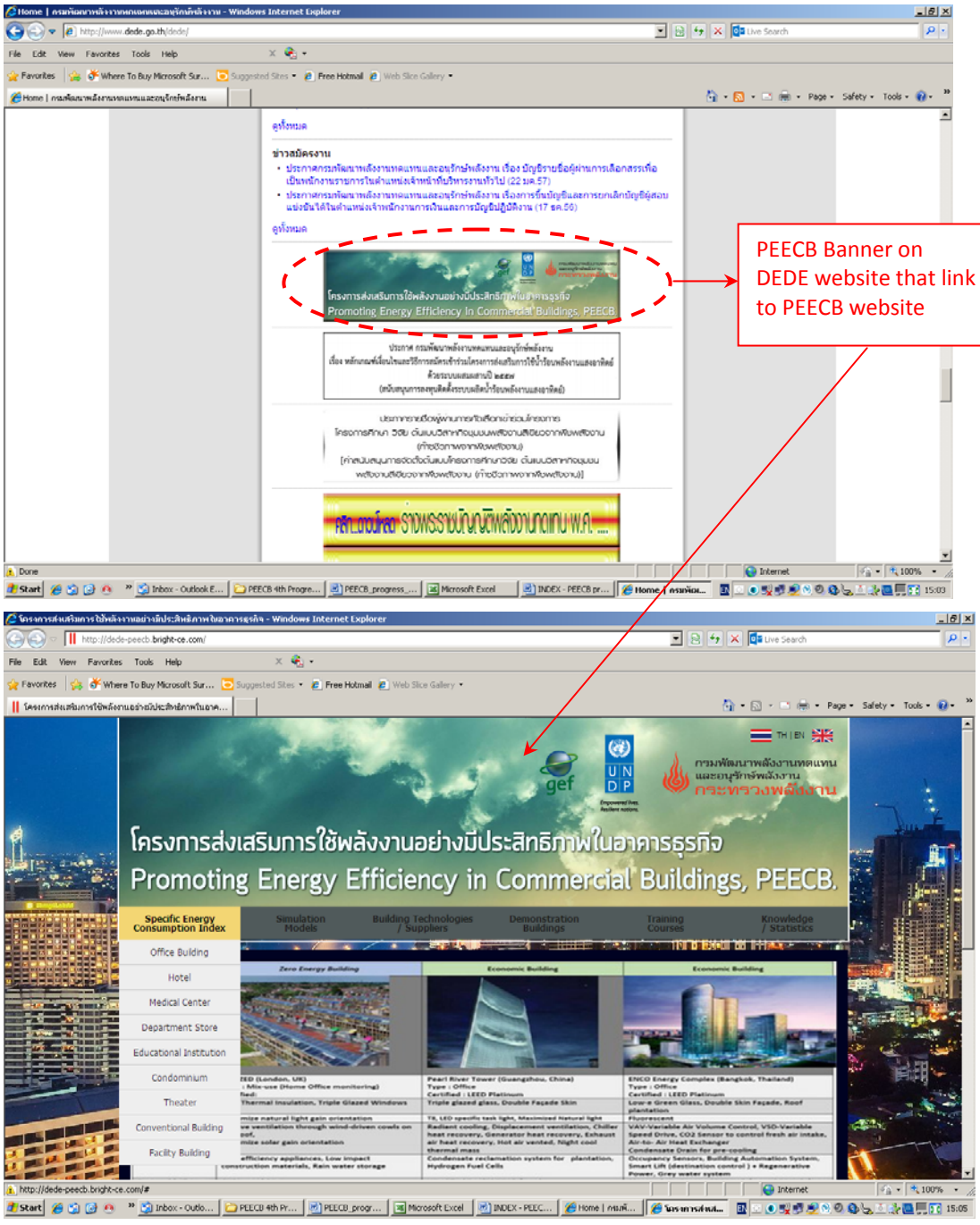


Figure C1-2.2 Image of PEECB Banner and PEECB Website

The PEECB website is provided in dual language (Thai and English). As an initial phase, only the general information such as the overview of the project concept and objectives, previous activities in Y2013 has been uploaded to the PEECB website. However, BMC will continuously update the information regarding the project development and the results from each component and will upload to the website every month.

C1-3 Activity 1.2.1a: Design effective promotional scheme

Completed work on previous period (Progress Report No.4 (Q1/2014) - Activities 1.2.1a

BMC invited Panorama Worldwide Co., Ltd., a professional PR and event organizer, to propose the promotional concept and scheme for PEECB project. An initial proposed idea on the effective scheme and activities to promote EE in buildings for the year 2014 has been designed, but not limited nor finalized as the followings;

1. The theme of the events was proposed but not limited to as "Adapt-Strong-Survive-Sustain" under the Symbolic Icon of Sparrow Bird which has its nature as themed, or "URBAN FORWARD" with Sparrow Bird Symbolic Icon
2. In order to make the event most achievable one, continuing public relations was proposed on the following issues;
   - 2.1 Preparation of all activities
   - 2.2 Three issues of E-News Letters: aim at promoting PEECB and informing about the latest development of the projects to building owners, developers and government officials
   - 2.3 EE guide books: aims at providing those who need a guide for making their buildings more energy efficient. The guide books are also useful in terms of EE knowledge distribution
   - 2.4 Innovation Fair: aims at exhibiting new innovation of EE technologies for building design and structure and will hopefully be organized side by side with the Executive Seminar where most outstanding hi-ended EE technology companies, building owners, executives, building designers, high level government officials can be gathered and share knowledge, experiences and ideas on how to optimize the benefit from the PEECB project. It would also be a platform for the Innovation Showcase, ideas market etc.
   - 2.5 Series Webisode under the concept of "Green Your Life": aims to create awareness of EE building benefits, concepts and importance through VDO Clip to be broadcasted in the internet. Each clip which would be continued as a series would last about 1 min. The clip content means to convince the audience through the concept of real energy consumption reduction by comparing before and after use of energy.
   - 2.6 Share Green Idea and Get Green Credit is the activity bringing the people in the social media to share and create their ideas on excellent energy use i.e. which building is the most energy efficient one and how to etc. They can post, add their photos and explain thereon the Facebook page: Share Green Idea Get Green Credit. For those who activate in the Facebook will get the point or the green credit which can be compiled and brought it for the gift reward or the like in the Fair/events when organized by the project.

   Example of the EE promotional concept is provided in the Progress Report No.4.

Completed work in this period (Progress Report No.5 (Q2/2014): activities 1.1.1b

The implementation of promotional package and scheme for PEECB project has been planned and prepared for Q3-Q4/2014 as follows;

1. **E-News Letters**: BMC has prepared the content of the first e-news letter which is planned to be issued by July 2014. The E-News Letter will consist of following proposed topics;
   1.1 Overview of PEECB Project Status
   1.2 Completed activities or event in the past period
   1.3 Upcoming activities or event
   1.4 Energy Efficiency in Commercial Buildings – Knowledge Center

   Tentative schedule: Two E-News Letters are planned for Y2014, tentatively in **July and November 2014**

2. **EE guide books**: BMC has prepared the guide books based on the contents provided in the training course on energy efficiency in commercial buildings, results from the components 2 and 3 on SEC, M&V and demonstration sites. The guide book will be designed as guidelines checklist for each type of commercial building.

   Tentative schedule: The first EE guide book will be finished by **December 2014**

3. **Innovation Fair**: BMC has prepared to organize the project seminar/fair to promote activities of the PEECB project and disseminate the implementation results of three project components to target group. 200-300 Participants from all stakeholders, building owners, developers, designers, practitioners, government officers and interested people will be invited to the seminar.

   Tentative schedule: **November 2014**

C1-4 Activity 1.3.1a: Assess the Two (2) Most Popular Simulation Models (Finished Work)

Complying with the new building energy code could save building energy use by 10%-20% annually (Chirarattananon, Chaiwiwatworakul et al. 2010). However, energy conservation effort for commercial buildings in Thailand has been considered to have achieved limited success. Over the past 15 years of on going energy efficiency programmes, commercial building stakeholders are aware of energy conservation opportunities in their buildings. However, only simple and low cost measures have usually been implemented. In the building design phase where energy efficient strategies could be effectively incorporated into the building, energy simulation tools could be used to investigate energy efficient design options and support decision making in selecting suitable strategies.

Building Energy Simulation Models (BESM)

The performance of a building is a result of complex processes. A better building design can reduce energy use by 30% compared to a conventional building design, while still provide an equal or better environment for its occupants. Barriers to achieve this goals are not usually technology

constraints, but poor data to make informed decisions (Clarke 2001). Building simulation tools are created to help provide real world replication and predict how buildings and systems will perform once they are constructed and implemented, thus providing information for decision making. Building energy performance prediction tools are a series of complex mathematical models that address the dynamic interaction of building and system performances with building geometry, plans, components, system choices, climate conditions and occupant use patterns.

In early days, simple single-zone buildings used degree-hour or degree-day based calculations to predict energy use. These methods are based on steady heat flow concept and only applicable with residential and small commercial buildings. With the availability of computers, simulation programme with transient heat calculation methods has then been introduced to predict energy used in more complex buildings. The first programme developed by the Automated Procedures for Engineering Consultants, Inc. (APEC) was the Heating and Cooling Peak Load Calculation (HCC) programme (APEC 1967), which was used for calculating hourly peak and annual heating-cooling loads for heating, ventilating, and air-conditioning (HVAC) systems in buildings. The APEC members were later formed into the ASHRAE Task Group on Energy Requirements (TGER), and then developed the procedures for simulating the dynamic heat transfer through building envelopes, procedures for calculating psychrometric properties, and the algorithms for simulating the primary and secondary HVAC system components for determining heating and cooling loads for computerizing energy calculations (ASHRAE 1975).

The need for BESM is primarily driven by building energy laws and standards in 1990s and sustainable building rating systems in 2000s which usually rely on ASHRAE Standard 90.1 Appendix G – Performance Rating Method, that buildings desire to elevate their performances beyond ASHRAE standard code have to use energy simulation software to calculate their energy performance compared with base case buildings. ASHRAE 90.1 listed eight criteria as requirements for acceptable BESM. These models must be able to handle 10 or more thermal zones which are, generate hourly data for 8,760 hours/year, account for thermal mass effects, model part load performance curve, model capacity and efficiency correction curve for mechanical heating and cooling, model air-side economizers with integrated control, and accommodate hourly variation in occupancy, lighting power, equipment power, thermostat set points, and HVAC system operation defined separately for each zone (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. 2007). ASHRAE 90.1 appendix G Performance Rating Method section G2.2.4 also states that the simulation tool must be tested in accordance with ASHRAE standard 140 by the software provider. Example of programmes listed in the standard are DOE-2, BLAST, and EnergyPlus. Qualified software for calculating U.S. commercial building tax deductions are Autodesk Green Building Studio, DesignBuilder, DOE-2.2, EnergyGauge, EnergyPlus, EnergyPro, EnerSim, eQUEST, Hourly Analysis Programme (HAP), IES, Tas, TRACE700, and TRNSys (U.S. Department of Energy 2013). In additional to this list, Leadership in Energy & Environmental Design (LEED) rating system indicates some qualified tools for their rating systems which are DOE-2, eQUEST, Visual DOE, EnergyPlus, EnergyPro, HAP, TRACE700 and IES.

Green Building XML schema, developed by Green Building Studio, Inc. with funding provided by the California Energy Commission PIER Programme and Pacific Gas and Electric, is an open schema to facilitate the transfer of building properties from building information modeling (BIM) programmes to building energy analysis tools. The first version of Green Building XML schema or gbXML was released in 2000 (gbXML.org 2013). An example of tools that use gbXML is Autodesk's Green Building Studio, a web-based energy modelling tool that uses a gbXML format and runs a DOE-2.2 engine. Conceptual Energy Analysis and Project Vasari, also offered by Autodesk, are the first BIM tools to directly export to DOE-2 and EnergyPlus.

In Thailand, BESM has been used in academics to equip students with simulation skill and in building technology research in the past 20 years. In practice, buildings that use BESM in the design phase are very rare. Few design firms have their own in-house energy simulators. BEC is one of the models being used widely because of the building code requirement that apply to some building groups. Apart from BEC, other BESM being used in academics or energy consultant firms mostly depend on programmes that simulator has encounter when in their own higher education period and the software prices. Examples of BESM used in Thailand are VisualDOE, eQUEST, TRNSYS, Tas, Ecotect, EnergyPlus, and Ener-Win. Details of each model (Crawley, Hand et al. 2008) including BEC are as follows:

1. **BEC V1.0.5** http://www.2e-building.com/detail.php?id=14

BEC is an OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand (Chirarattananon and Taveekun 2004) provided by DEDE. Parametric results used in BEC to estimate building energy use were derived by using DOE-2.1E and then validated with metered energy use collected by DEDE from designated buildings in the country. BEC provides a database for building envelope materials and building systems. It can calculate building energy use according to building envelope systems, lighting density, air-conditioning system size and efficiency, other building equipment and the total building energy use in accordance with Thailand building energy code.

2. VisualDOE 4.0 http://www.archenergy.com/products/visualdoe

VisualDOE is a window interface of DOE2.1E simulation engine. The U.S. DOE consistently supported development of the DOE programme until the mid-1990s. VisualDOE takes care of writing the input file, running the simulation and extracting the results from the output file. No experience with DOE2.1E is necessary, but advanced users have the flexibility to modify the input files directly and still run the simulations from within VisualDOE. VisualDOE covers all major building systems including lighting, daylighting, HVAC, water heating, and the building envelope. Among the wide range of simulation results are electricity and gas consumption, electric demand, and utility cost. Through the graphical interface, users construct a model of the building's geometry using standard block shapes, using a built-in drawing tool, or importing DXF files. Building systems are defined through a point-and-click interface. A library of constructions, fenestrations, systems and operating schedules is included, and the user can add custom elements. VisualDOE is especially useful for the studies of envelope and HVAC design alternatives. Up to 99 alternatives can be defined for a single project. Summary reports and graphs may be printed directly from the programme. Hourly results are available for detailed analysis.

3. eQUEST 3.64, August 2010, http://www.doe2.com/equest/

eQUEST® is a whole-building energy analysis software that uses the latest version of DOE-2 as a simulation engine. The DOE-2 building energy simulation and cost calculation programme was initially released by the Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) in 1978. The programme has been updated continuously by LBNL in collaboration with James J. Hirsch and Associates, mostly under funding from the U.S. DOE until version 2.1E in 2003. Since then, James J. Hirsch and Associates has been continuing the development of DOE-2; the latest version is DOE-2.2. In DOE-2, the transient heat transfer calculation methods are used to simulate the dynamic heat transfer through building envelopes. From the literature, results from DOE-2 simulations were shown to vary from 10% to 26% from measured data (Haberl and Cho 2004). eQUEST was tested in accordance with ANSI/ASHRAE Standard 140-2007 Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy

Analysis Computer Programmes, and it is qualified for use to evaluate building energy performance for government subsidy programmes and building rating systems (U.S. Department of Energy 2013). It also meets all requirements for energy simulation software indicated in ASHRAE 90.1 Appendix G Performance Rating Method's guidelines for acceptable energy simulation software. eQUEST®

is available for free from http://doe2.com/eQUEST/. Within eQUEST® graphic user interface, DOE-2.2 performs an hourly simulation of input buildings for 8,760 hours or one full year. It calculates hourly cooling load, heating load, and other energy loads such as lighting, domestic hot water, or other equipment. Users can model their buildings using "Building Creation Wizard" which quickly generates detailed building input files from simple building envelope and systems input.

4. TRNSYS 17.1, June 2012 http://www.trnsys.com/

Developed and released in 1975 by Sandy Klein as part of his PhD thesis, the TRaNsient SYstems Simulation Programme (TRNSYS) is a simulation programme with a modular structure that implements a component-based approach. TRNSYS components may be as simple as a pump or pipe, or as complex as a multi-zone building model. The components are configured and assembled using a fully integrated visual interface known as the TRNSYS Simulation Studio, while building input data is entered through a dedicated visual interface (TRNBuild). The simulation engine then solves the system of algebraic and differential equations that represent the whole energy system. In building simulations, all HVAC-system components are solved simultaneously with the building envelope thermal balance and the air network at each time step. In addition to a detailed multizone building model, the TRNSYS library includes components for solar thermal and photovoltaic systems, low energy buildings and HVAC systems, renewable energy systems, cogeneration, fuel cells, etc. The modular nature of TRNSYS facilitates the addition of new mathematical models to the programme. New components can be developed in any programming language and modules implemented using other software (e.g. Matlab/Simulink, Excel/VBA, and EES) can also be directly embedded in a simulation. TRNSYS can generate redistributable applications that allow non-expert users to run simulations and parametric studies.

5. Tas 9.2.1.5 http://www.edsl.net

Tas is a suite of software products, which simulates the dynamic thermal performance of buildings and their systems. The main module is Tas Building Designer, which performs dynamic building simulation with integrated natural and forced airflow. It has a 3D graphic-based geometry input, including a CAD link. Tas can import gbXML, INP and IDF files from 3rd party programme. Tas System is a HVAC system/control simulator, which may be directly coupled with the building simulator. It performs automatic airflow and plant sizing and total energy demand. The third module, Tas Ambiens, is a robust and simple to use 2D CFD package which produces a cross section of micro climate variation in a space. Tas combines dynamic thermal simulation of the building structure with natural ventilation calculations, which include advanced control functions on aperture opening and the ability to simulate complex mixed mode systems. The software has heating and cooling plant sizing procedures, which include optimum start. Tas has 20 years of commercial use in the UK and around the world.

6. EnergyPlus Version 8.0, April 2005 www.energyplus.gov

EnergyPlus is a modular, structured code based on the most popular features and capabilities of BLAST and DOE-2.1E developed by NREL. It is a simulation engine with input and output of text files. Loads calculated (by a heat balance engine) at a user-specified time step (15-min default) are passed to the building systems simulation module at the same time step. The EnergyPlus building system simulation module, with a variable time step, calculates heating and cooling system and plant and electrical system response. This integrated solution provides more accurate space temperature prediction crucial for system and plant sizing, occupant comfort and occupant health calculations. Integrated simulation also allows users to evaluate realistic system controls, moisture adsorption and desorption in building elements, radiant heating and cooling systems, and inter-zone air flow. Many graphical user interfaces for EnergyPlus are available or under development, including Simergy, CYPE CAD MEP, DesignBuilder, EFEN, AECOsim Energy Simulator, Hevacomp, MC4 Suite, SMART ENERGY, EPlusInterface, COMFEN, Solar Shoe Box, and N++.

NREL is also developing OpenStudio which is an open source programme to facilitate community development, extension, and private sector adoption. OpenStudio includes graphical applications which have the updated SketchUp Plug-in, the stand alone OpenStudio application, the ParametricAnalysisTool, RunManager, and ResultsViewer. The SketchUp Plug-in is an extension to the popular 3D modeling tool that adds OpenStudio context to the SketchUp programme. The Plug-in allows users to quickly create geometry and assign space attributes using the built-in functionality of SketchUp including existing drawing tools, integration with Google Earth, Building Maker, and Photo Match. The OpenStudio application is a graphical energy-modeling tool. It includes visualization and editing of schedules, editing of loads constructions and materials, a drag and drop interface to apply resources to spaces and zones, a visual HVAC and service water heating design tool, and high level results visualization. Radiance can also be integrated into the simulation workflow. This is accomplished by using an annual Radiance simulation to measure daylighting, and then creating an electric lighting usage schedule for EnergyPlus. OpenStudio also gives the modeler integrated access to data from the Building Component Library. The ParametricAnalysisTool lets users modify a baseline OpenStudio model using OpenStudio measures to produce design alternatives. OpenStudio measures are specially formatted Ruby scripts and accompanying files for modifying energy models in OpenStudio or EnergyPlus format. RunManager facilitates queuing and running simultaneous EnergyPlus simulations, and ResultsViewer enables browsing, plotting, and comparing EnergyPlus output time series data.

7. Ener-Win Version EC, June 2005 members.cox.net/enerwin

Ener-Win, originally developed at Texas A&M University, simulates hourly energy consumption in buildings, including annual and monthly energy consumption, peak demand charges, peak heating and cooling loads, solar heating fraction through glazing, daylighting contribution, and a life-cycle cost analysis. Design data, tabulated by zones, also show duct sizes and electric power requirements. The Ener-Win software is composed of several modules— an interface module, a weather data retrieval module, a sketching module, and an energy simulation module. The interface module includes a rudimentary building-sketching interface. Ener-Win requires only three basic inputs: (1) the building type, (2) the building's location, and (3) the building's geometrical data.

<u>BESM Validation Methods</u>

Typical building energy simulation programme contains hundreds of variables and parameters. The number of possible cases that can be simulated by varying each of these parameters

in combination is astronomical and cannot practically be fully tested. For this reason the NREL validation methodology required three different kinds of tests:

- Empirical Validation—in which calculated results from a programme, subroutine, or algorithm are compared to monitored data from a real building, test cell, or laboratory experiment.
- Analytical Verification—in which outputs from a programme, subroutine, or algorithm are compared to results from a known analytical solution or generally accepted numerical method for isolated heat transfer mechanisms under very simple and highly defined boundary conditions
- Comparative Testing—in which a programme is compared to itself, or to other programmes that may be considered better validated or more detailed and, presumably, more physically correct.

The US Department of Energy (DOE), through the National Renewable Energy Laboratory (NREL), worked with the International Energy Agency Solar Cooling and Heating Programme Implementing Agreement (IEA SHC) and the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) to develop standard methods of test for building energy analysis computer software. The Building Energy Simulation Tests (BESTEST) were developed under IEA SHC Tasks 8,12 and 22 (Task 12 was a collaborative effort with the IEA Buildings and Community Systems Programme). ASHRAE recently published ANSI/ASHRAE Standard 140 now version 2007 Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programmes, which parallels many of tests in the first IEA SHC BESTEST (Judkoff and Neymark 2006).

The details of assessment comparison of these simulation models were provided in the Progress Report No. 1.

Review of Building Energy Simulation Program between BEC and EnergyPlus with OpenStudio Suite
EnergyPlus with OpenStudio Suite and BEC were selected for a comparison of function, process and simulation capability as its represent two of the most widely-used program in Thailand. The detail of comparison is included in **ANNEX2**

C1-5 Activity 1.3.2a: Select and modification of BESM

Completed works on previous period (Progress Report No.4 (Q1/2014)) – Activities 1.3.2a

According to the survey results of activities 1.3.1a, one of the most popular software that has been used by target group is the existing Building Energy Code (BEC) software. The main objective of this software is to analyze the whole building energy consumption compare to Building Energy Code. The survey results also provided us with the comments and problem when using this software. Therefore, BMC has organized the specific meeting with DEDE officers who are responsible for developing and maintaining BEC software to inform the survey results and seeking for requirement to further develop BEC software. The development or modification concept of Building Energy Simulation Model (BESM) has been prepared according to the comments from the users and also from DEDE officers. The new created BESM has been proposed to avoid complexity from modification of existing software. The concept of new BESM will address type of buildings with higher energy

efficiency than existing Building Energy Code. Graphic user interface will also be considered where applicable to make the new BESM more friendly used than the existing BEC software. Summary of proposed programme workflow is shown in figure C1-5.1).

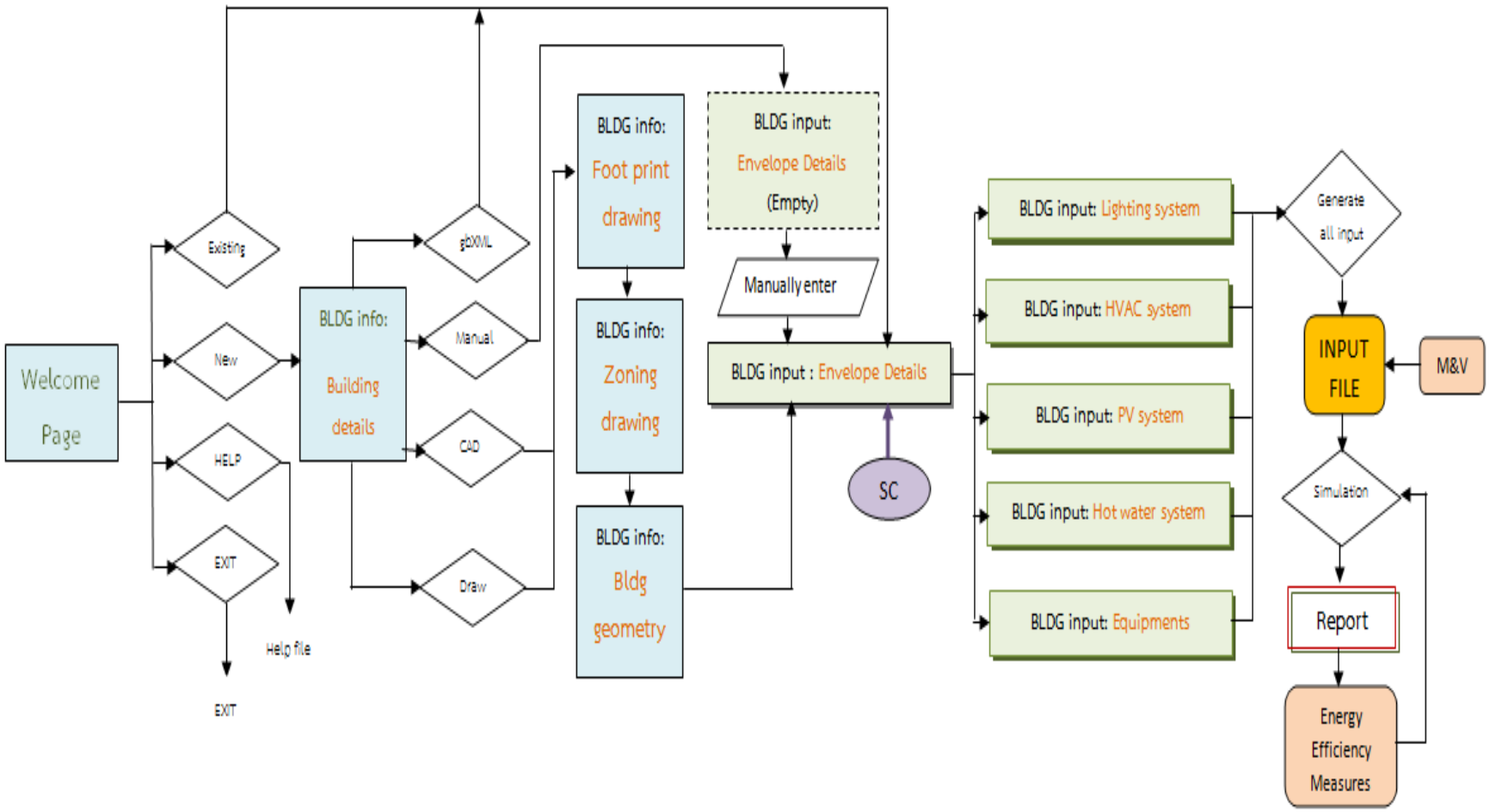


Figure C1-5.1 Programme Workflow of Proposed Building Energy Simulation Model (BESM)

Completed works in this period (Progress Report No.5 (Q2/2014)) – Activities 1.3.2a

A. Assessment of the Utilization of Building Energy Simulation Model

(The full assessment of the utilization of Building Energy Simulation Model (BESM) in Thailand is provided in **Annex 2** of this Progress Report)

Summarization of the assessment:

In Thailand, the Energy Conservation Promotion Act has prompted the significance of energy efficient building design strategy to help conserve energy use. The Act mostly involves with the performance requirement in building envelope (OTTV, RTTV) and equipment efficiency. To facilitate the verification of energy code compliance, DEDE has provided Building Energy Code program (BEC) as a Building Energy Simulation Model, BESM tool. Its capability including a decent calculation of OTTV, RTTV and equipment efficiency according to the values declared in the building regulation.

The building complied with new building code could save energy use for 10%-20% annually (Chirarattananon et al. 2010). Nevertheless, the success in energy conservation in commercial building is very limited. Only simple and low-cost measures have usually been implemented. In the aspect of BESM, BEC was mainly used only for checking the compliances with the regulation at the very final stage of the project. By providing better BESM, it could provide useful information for stakeholders in the early stage of the project, which could lead to better opportunity to save more energy consumption.

Currently, many sophisticated BESM tools were developed and being used variously for many reason. The programs were used by the users according to their requirement and capability of the program.

Building Energy Simulation Models Being Used in Thailand

1. BEC : OTTV-based energy simulation for commercial building in Thailand. The program is published by DEDE to comply building with BEC code.

2. VisualDOE4.0 : A window interface of DOE2.1E. VisualDOE covers all major building system. The program also use library to manage database in the program.

3. eQUEST 3.65 : A whole building energy analysis software using DOE-2 as simulation engine.

4. TRNSYS 17.1 : A simulation program with modular structure implementing component – based approach.

5. Tas9.2.1.5 : A software suit products which can perform dynamic thermal simulation.

6. EnergyPlus Version 8.1.0 : A simulation engine with input and output in text file. The program is capable to perform advance energy analysis and thermal load simulation. The integrated solution provides more accurate space temperature prediction.

7. Ener-Win VersionEC : Developed by Texas A&M, the programme is capable for simulating hourly energy consumption. The program is composed of several modules such as sketching module, simulation module and interface module.

Survey of Popular Simulation Programs Being Used in Thailand

The survey was conducted among Thai energy simulators and practitioners to find out which BESM are popular. An online questionnaire was used to collect survey information. Among 47 respondents, mostly from education and private sectors, have indicated that BEC, Ecotect and DOE-based software are in the group of most popular programme. The programmess are used in compliance with code and green building rating system as they are eligible. The most found project is residential, office and educational. The other relevant information is also included in this survey (detailed information is provided in **ANNEX 2 of this Progress Report**).

Option for Improving BESM to Match with Current Use Capacities and Needs

Option 1 Improve BEC v.1.0.6: Improve current version of BEC for further capability such as calculation, Graphic User Interface (GUI) and 3D representation.

Option 2 Develop a new BEC programme using new programming languages and add more functions: Rewrite BEC in new computer language (preferable C++) to eliminate the limitation of current BEC.

Option 3 Modify existing BESMs open source code to be applicable to the Thai context: Modify OpenStudio to match with the Thai context. The programme is also designed to operate with SketchUp and EnergyPlus.

Option 4 Create a new programme that is applicable to the Thai context: This option is the same with option 3, however, the whole programme is created to match with the Thai context without modifying any existing open source code.

The project team have discussed within the team, programmer and DEDE of the possibilities of each option for constraint of time and budget. Therefore, the option 3 has been chosen for further development.

Table 1 Comparison of BESM Improvement Option

Items	Option 1 Improved BEC 1.06	Option 2 Rewrite the BEC program	Option 3 Improve other programs	Option 4 Write the new BESM program
Time used	6 months	12 months	8 months	3-5 years
Cost/Difficulty for programmers	Low	Moderate	Moderate	High
Accommodate 2D/3D from CAD software	No	Yes	Yes	Yes
Easiness of input method for users	Moderate	Moderate	Easy	Easy
Can calculate building energy performance against BEC allowances	Yes	Yes	Yes	Yes
Can calculate hourly dynamics heat transfer process using weather data	No	No	Yes	Yes
Can create 3D representatives of buildings	No	Yes/easy geometry	Yes/complex geometry	Yes/complex geometry
Sub-calculation modules match with Thai context	Yes/but need update	Yes/ but need update	Some modules might use assumptions based on different climate conditions.	Yes

Review of Building Energy Simulation Programme between BEC and EnergyPlus with OpenStudio Suite

EnergyPlus with OpenStudio Suite and BEC were selected for a comparison of function, process and simulation capability as its represent two of the most widely-used program in Thailand. The detail of comparison is included in **ANNEX 2 of this Progress Report**.

Building Energy Code Program (BEC)

BEC is standalone program visually in a Visual Basic form. The program operation requires material database stored in MS Excel file. Since the program provides no computer design aid to develop building envelope, it is users' responsibility to create building envelope by creating step by step construction of building wall. Walls are created to form building zone, which building equipment will be assigned into the zone to calculate energy use in the perimeter.

EnergyPlus with OpenStudio Suite

In the first step, SketchUp is provided to create building envelope. The user can draw model in a shape and direction and fenestration as desired. OpenStudio Plugin will be used to convert drawing object into OpenStudio thermal zone, which will be used for thermal analysis. The process is considered to be less time-consuming process than database construction in BEC. In OpenStudio, user is requiring to define building components including construction material, electrical equipment, HVAC component and operational schedule. The simulation will be done in OpenStudio but using EnergyPlus as simulation engine.

Building Energy Simulation and Modelling Testing

In order to validate the result of EnergyPlus engine, BEC is selected to compare because it is widely used in Thailand and it relies on different engine from DOE-based programme. The simulations are assigned on the same building parameters at the same condition, the result is shown in the following table. Details of test building information and input process is provided in **ANNEX 2 of this Progress Report.**

	BEC	OpenStudio	% Difference
Building Energy Consumption, annual (kWh)	**71,435.15**	**89,771.00**	**25.67%**
- **Lighting**	**21,661.76**	**21,770.67**	**0.50%**
- **Air conditioning**	**30,296.81**	**40,567.89**	**33.90%**
- **Equipment**	**19,476.58**	**19,477.13**	**0.00%**
- **Others (Fan)**	**-**	**8,005.46**	**-**

Both BESM programmes have performed well in calculating annual energy consumption of the test building. Although there is approximately 25% difference in their total energy consumption, the causes of differentiation are identifiable. When considering the purpose of construction of two programmes, BEC is designed for complying regulation which mainly aims for OTTV/RTTV while OpenStudio is designed for building energy simulation at ASHRAE condition, aiming for studying heat

transfer in the building. The energy differences are mostly from different calculation algorithms of heat gain and cooling load in the zone. In fact, this A/C algorithm part is the most complex calculation in energy simulation processes. These two factors are correlated to each other. The algorithm that provides more heat gain with the zone also increases cooling load which resulted in increasing of total energy consumption. Nevertheless, both programmes are capable of simulating building energy consumption.

B. Professional on BESM Focus Group Meeting

The professional on BESM focus group meeting was organized on Friday 16th May 2014 at Princeton Bangkok Hotel to present the assessment results and the proposed BESM development options to the target users. The summary of the meeting is as follows;

Number of participants = 37 persons from 11 organization;

1. Faculty of Architecture, Chulalongkorn University
2. Faculty of Architecture, Chiang Mai University
3. Faculty of Architecture, Silapakorn University
4. Faculty of Architecture and planning, Thammasart University
5. Africus Co.,Ltd. (Consulting firm)
6. EMO_D Co.,Ltd.
7. Royal Thai Air Force
8. Donmuang District Office
9. Cardiff University, UK (Student)
10. Department of Alternative Energy Development and Efficiency, DEDE
11. Energy Efficiency Design Center, DEDE (ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน)

Recommendations from the meeting;

1. **Option 3 Modify existing BESMs open source code to be applicable to the Thai context is acceptable.** An existing open source code programme, OpenStudio, is selected to be modified to match with the Thai context. The programme is also designed to operate with drawing tool, SketchUp and Energy Simulation Engine, EnergyPlus.
2. The database for the newly developed BESM should cover the material of building envelope, Lighting, HVAC and Hot Water System.
3. Template of each specific building type should be prepared to cover 9 building types as specified by Building Energy Code.
4. The newly developed BESM should be able to separately calculate the energy consumption of individual space type of the building where the mixed use concept is developed.
5. Benchmarking of each specific building type should be prepared. The newly developed BESM should also be able to provide the comparison result between the calculated building and the benchmarking value.





Figure C1-5.2 Photos from the Professional on BESM Focus Group Meeting – 16 May 2014, Princeton Bangkok Hotel, Bangkok

List of participants and presentation details of the focus group meeting is provided in **ANNEX 3** of this Progress Report.

C1-6 Activity 1.4.1 a & b: Study and Identify the Overall Training Courses for EE Technologies and Practices and Financial Arrangement in Commercial Buildings (Finished Work)

BHRD (Bureau of Human Resource Development), DEDE is the main division for developing and conducting all energy efficiency and renewable energy training activities in Thailand. The training courses divided into 5 groups as follows :

Existing Training Courses:
Group 1: Training courses on Energy Management for Energy Conservation in Factories & Buildings
Group 2: Training courses on Energy Saving Technologies (By Technology)
Group 3: Training courses on Energy Saving in Industrial Sectors (By sub-sector)
Group 4: Training courses on Energy Saving in Building Sectors (By sub-sector)
Group 5: Training courses on Energy Saving for Academic

The Analysis of all existing training courses can be summarized as follows;

Advantage	Recommendation
1. Training courses have been developed and delivered for target groups covering all major targets by sectors and sub-sectors.	1. All training courses should be reviewed to avoid the duplication in the contents. 2. According to the approved budget of each fiscal year, there are several training courses have been launched in the same period. In this regard, level of competency for each training course should be clearly identified to assist participants in selection of the training courses to attend.

Advantage	Recommendation
	3. Clear training path for each target group should be clearly identified.
2. Compulsory training courses have been developed and delivered covering both commercial buildings and factories	There are only compulsory training courses which have been designed for technical persons only (PRE: Person Responsible for Energy). Compulsory training courses for energy manager on energy management system should be considered.
3. Training courses have been developed and delivered to the target groups covering technology application courses for specific energy consumed system.	Existing training courses have been designed focusing on individual technologies or individual equipment. Designing technical courses using system or overall facility approach could be considered.
4. Training courses have been developed for major energy users and academics.	There are no training courses for professional engineers and architects.

Recommendations on Training Courses for Commercial Building Sector:

The training courses for commercial building sector are recommended in collaboration with the 20 Year Energy Efficiency Development Plan as follows:

⇒ **Short term action (Y2011-Y2016)**
The training courses shall be developed to enhance knowledge management for all stakeholders and preparing for the coming AEC in Y2015. Key success of demonstrated projects shall be developed for training courses and get involved with professional consultants, lecturers, institutes, associations. A target-based approach is then recommended for the systematic development.

⇒ **Medium term action (Y2017-Y2022)**
The training courses shall be developed to leverage the professional ability or competency of educational institutes/consultants/Associations. These key stakeholders will drive all participants towards the low carbon society in the long term action.

⇒ **Long term action (Y2023-Y2030)**
The training courses shall be high-lighted for the integration among government agencies and entrepreneurs or Non-profit organizations. Better understanding and perception in Net Zero Energy Buildings : NZEBs will be the market driven activities associated for long term achievements.

The 20Y Energy Efficiency Development Plan aims to promote the level of energy saving capability of commercial buildings by encouraging each commercial building to move from existing low efficiency level toward Building Energy Code- BEC level, High Energy Performance Standard- HEPS level,

Economic Building- Econ Level and Zero Energy Building, ZEB. The training courses for commercial building sector should be designed and developed using the same approach as 20Y Plan. Table 3.6 summarizes the training concept recommended for each level of energy saving capability.

Table 3.6 : Training Approach for Commercial Buildings based on Level of Energy Saving Capability

Type of Building based on Level of Energy Saving Capability	Building Characteristics	Training Approach
BEC (Building Energy Code)	Buildings which are designed with equipment/system operation to comply with the Minimum Performance Specified by Thai Law/Standard. ⇒ ENCON Act B.E.2535 (1992) ⇒ Ministerial Regulations on New Building Energy Conservation Design B.E.2552 (2009)	**A. Review Existing Training Courses** - Integrate the design concept of BEC Building into Conventional and Senior PRE Training courses - Integrate the design concept of BEC Building into training courses on energy saving in Building Sectors group **B. Develop new training courses** - Develop specific training courses for professional engineer and architect on BEC Building - Develop training course on Building Energy Simulation Model Software - Develop training course On Measuring of Actual Building Performance - Develop guidelines and training courses on M&V/MRV Practices
HEPS (High Energy Performance Standards)	Buildings which are designed and operated and operated under the high energy efficiency standards of various systems can be achievable by using current technologies.	**A. Review Existing Training Courses** - Integrate energy performance standards of each major equipment or system

Type of Building based on Level of Energy Saving Capability	Building Characteristics	Training Approach
		into existing training courses on energy saving technology group and energy saving in building sector group. **B. Develop New Training Courses** - Develop advanced energy saving technologies in Commercial Building Training Courses
ECON (Economic Buildings)	Buildings which are designed & operated with the technologies of equipment and various systems are developed to be more energy efficient, but are still cost-effective. or Green buildings which concern specially about energy & water consumption and material usage during design/installation/operation/maintenance phases according to LEED and/or TREES standard.	**A. Review Existing Training Courses** - Integrate Econ Building Concept into existing training courses on energy saving in building sector group - Integrate Econ Building Concept into existing Conventional and Senior PRE Training Courses **B. Develop New Training Courses** - Develop training courses on related green building certification standard such as LEED, TREES
ZEB (Zero Energy Building)	Buildings which are designed and operated with the need for external energy supply to the buildings are near zero because the energy demand of such buildings is very low and there is also on-site energy generation from renewable energy.	**A. Review Existing Training Courses** - Integrate ZEB Building Concept into existing training courses on energy saving in Building Sectors group

Type of Building based on Level of Energy Saving Capability	Building Characteristics	Training Approach
		- Integrate ZEB Building Concept into existing Conventional and Senior PRE Training Courses **B. Develop New Training Courses** - Develop training courses on application of renewable energy technologies for commercial buildings

The recommendation on development of training courses should comply with the target to promote the level of energy saving capability for commercial buildings in short, medium and long term achievements. Target groups for each training course should be analyzed in order to provide the appropriate level of training for each target group.

Table 3.7 : Initial Analysis on Current Availability of Required Training Courses for Each Target Group – Commercial Building Sector

Training Course	Developer	Owner & Executive	Building Staffs Engineer & Technician	Designer Engineer & Architect & Consultants	Government Officer
Level of competency	1	1	3	4	2
BASIC Knowledge					
Concept and approach of Energy Conservation in Commercial Buildings	NA	NA	A	NA	A
Operation & Maintenance					
Energy Management System in Commercial Buildings	NR	NR	A	NR	A
Specialized Training on Energy Saving Technologies	NA	NA	A	NA	A
Specialized Training on Energy Saving in Commercial Buildings	NA	NA	A	NA	A

DESIGN Practice					
Specialized on Building Standard	NA	NA	NA	NA	NA
Specialized Training on Energy Efficient Building Design	NR	NR	NA	NA	NA
ENERGY AUDIT Practice					
Energy Audit for identifying Energy Saving Measures	NR	NR	A	NR	A
Measurement & Verification	NR	NR	NA	NR	NA

Note : A = Training Courses are available but need to be reviewed
NA = Training Courses are not available and need to be developed
NR = Training Courses are not required
Meaning of level of competency
Level 1 = Non technical content is required
Level 2 = Non technical content is required and basic concept of technical content is required
Level 3 = Technical content is required but not to design level
Level 4 = Technical content is required up to design level

C1-7 Activity 1.4.1 c: Development of the Overall Training Programme (Finished Work)

According to the analysis on current availability of required training courses for each target group in C1-6, the overall training programmes to support the current curricula available have been defined and proposed as summarized in Figure C1-7.1 and Table 3.8;

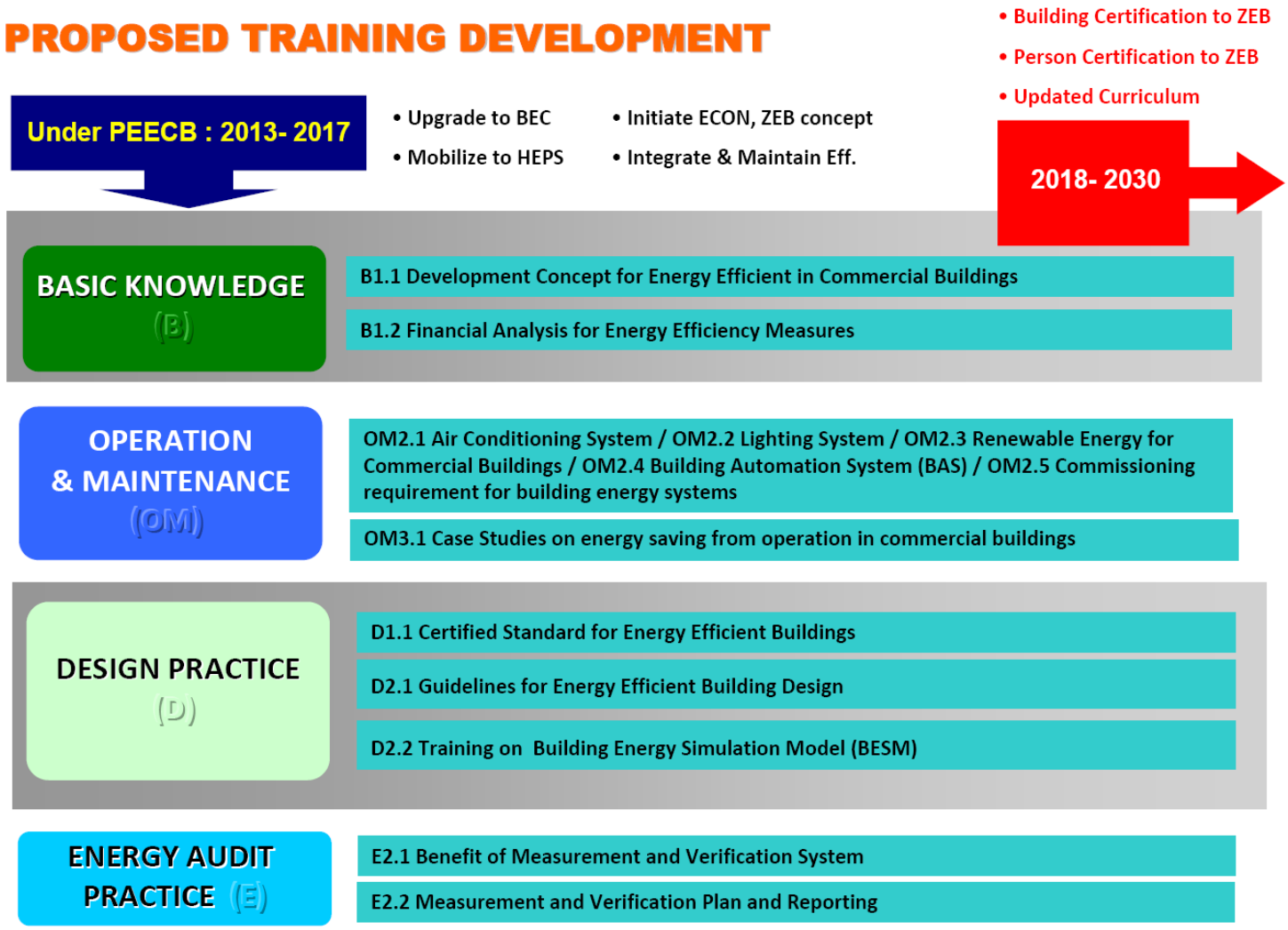


Figure C1-7.1 Proposed Training Development on Promoting Energy Efficiency in Commercial Buildings

Table 3.8 : Proposed Training Courses for Each Target Group – Commercial Buildings Sector

Training Courses	Target Groups/Required Training Courses				
	Developer	Owner &Executive	Bldg Staff/ Eng/Tech	Designer	Government Officer
BASIC Knowledge	Non-technical	Non-technical	Technical	Technical (design)	Non-technical + Basic concept
B1- Concept and Approach of Energy Conservation in Commercial Buildings					
B-1.1 Development Concept for Energy Efficiency in Commercial Buildings					
B-1.1 – M1 Introduction to Energy Efficiency in Commercial Buildings	B-1.1-M1	B-1.1-M1	B-1.1-M1	B-1.1-M1	B-1.1-M1
B-1.1 – M2 Energy Efficiency Index for Commercial Buildings	B-1.1-M2	B-1.1-M2	B-1.1-M2	B-1.1-M2	B-1.1-M2
B-1.1 – M3 Case Studies on Energy Efficiency Measures in Commercial Buildings	B-1.1-M3	B-1.1-M3	B-1.1-M3	B-1.1-M3	B-1.1-M3
B1.2 Financial Analysis for Energy Efficiency Measures					
B-1.2 – M1 Cost Benefit Analysis for Energy Efficiency Measures in Commercial Buildings	B-1.2-M1	B-1.2-M1	B-1.2-M1	B-1.2-M1	B-1.2-M1
B-1.2 – M2 Life Cycle Cost Benefit Analysis for Energy Efficiency Measures in Commercial Buildings including Financial Sources Availability			B-1.2-M2	B-1.2-M2	
Operation & Maintenance	Non-technical	Non-technical	Technical	Technical (design)	Non-technical + Basic concept
O1- Energy Management System in Commercial Buildings *(Existing DEDE's Training Courses)*	NR	NR	A	NR	A

Training Courses	Target Groups/Required Training Courses				
	Developer	Owner &Executive	Bldg Staff/ Eng/Tech	Designer	Government Officer
O2.-Specialized training on Energy Saving Technologies					
OM-2.1 Air Conditioning System					
OM-2.1 - M1 Technology Assessment for Improvement	OM-2.1-M1	OM-2.1-M1	A	OM-2.1-M1	A
OM-2.1 –M2 Best Practices on Air conditioning System Operation in Commercial Buildings				OM-2.1-M2	
OM-2.2 Lighting System					
OM-2.2 –M1 Technology Assessment for Improvement	OM-2.2-M1	OM-2.2-M1		OM-2.2-M1	
OM-2.2 –M2 Best Practices on lighting System Operation in Commercial Building				OM-2.2-M2	
OM-2.3 Renewable Energy for Commercial Buildings					
OM-2.3 –M1 Technology Assessment	OM-2.3-M1	OM-2.3-M1		OM-2.3-M1	
OM-2.4 Building Automation System (BAS)			OM-2.4	OM-2.4	
OM-2.5 Commissioning requirement for building energy systems			OM-2.5		
O3.-Specialized Training on Energy Saving in Commercial Buildings					
OM-3.1 Case Studies on Energy Saving from Operation in Commercial Buildings					
OM-3.1 – M1 Energy Saving in Hotel	OM-3.1-M1	OM-3.1-M1	A	OM-3.1-M1	A
OM-3.1 – M2 Energy Saving in Hospital	OM-3.1-M2	OM-3.1-M2		OM-3.1-M2	
OM-3.1 – M3 Energy Saving in Condominium	OM-3.1-M3	OM-3.1-M3		OM-3.1-M3	
OM-3.1 – M4 Energy Saving in Department Store	OM-3.1-M4	OM-3.1-M4		OM-3.1-M4	
OM-3.1 – M5 Energy Saving in Office Buildings	OM-3.1-M5	OM-3.1-M5		OM-3.1-M5	

Training Courses	Target Groups/Required Training Courses				
	Developer	Owner &Executive	Bldg Staff/ Eng/Tech	Designer	Government Officer
DESIGN Practice	Non-technical	Non-technical	Technical	Technical (design)	Non-technical + Basic concept
D1.-Specialized training on building standard D1.1 Certified Standard for Energy Efficient Buildings D1.1 - M1 : Trends of Energy Efficient Buildings Standard and Certification in Thailand D1.1 - M2 : Energy Efficient Buildings Certification	D1.1-M1 D1.1-M2	D1.1-M1 D1.1-M2	D1.1-M1 D1.1-M2	D1.1-M1 D1.1-M2	D1.1-M1 D1.1-M2
D2.-Specialized Training on Energy Efficient Building Design D2.1 Guidelines for Energy Efficient Building Design D2.1-M 1 : Introduction to Building Energy Code D2.1-M 2 : Energy Efficient Design for Commercial Buildings D.2.2 Training on Building Energy Simulation Model (BESM)	NR	NR	D2.1-M1 D2.1-M2 D2.2	D2.1-M1 D2.1-M2 D2.2	D2.1-M1 D2.1-M2
ENERGY AUDIT Practice	Non-technical	Non-technical	Technical	Technical (design)	Non-technical + Basic concept
E1.-Energy Audit for identifying Energy Saving Measures *(Existing DEDE's Training Courses)*	NR	NR	A	NR	A
E2.-Measurement & Verification E2.1 Benefit of Measurement & Verification System E2.2 Measurement & Verification for Energy Saving Project E2.2 M1 : Measurement and Verification Protocol E2.2 M2 : Measurement and Verification Plan and Reporting E2.2 M3: Case studies on the implementation of Measurement & Verification System in Commercial Buildings	NR	NR	E2.1 E2.2 M1 E2.2 M2 E2.2 M3	NR	E2.1 E2.2 M1 E2.2 M2 E2.2 M3

Note : A = Training Courses are available but need to be reviewed
NA = Training Courses are not available and need to be developed
NR = Training Courses are not required
Meaning of level of competency
Level 1 = Non technical content is required
Level 2 = Non technical content is required and basic concept of technical content is required
Level 3 = Technical content is required but not to design level
Level 4 = Technical content is required up to design level

For next steps, the contents of each proposed training course will be developed by highlighting the application of technologies to improve building energy efficiency from BEC towards HEPS, ECON and ZEB. The initial contents of energy efficient buildings have been provided in the followings part C1-7-1 .

C1-7-1 The initial contents of the energy efficient buildings

The potential of energy saving in commercial sector increasingly becomes more important as energy consumption in this sector continues to grow and increase its share in the national total energy consumption. The national Energy Efficiency Development Plan has predicted the growth of share in this sector from 8% to 10% by 2030.

The potential of energy saving assessment is done by comparing energy usage of the individual building and reference building. In order to achieve higher energy saving potential, these reference buildings have to be improved. The level of reference building standard identified in the 20Y EEDP can be categorized into 4 levels namely, BEC, HEPS, ECON and ZEB.

	Reference	BEC	HEPS	Econ	ZEB
Expected Percentage of Saving	0	20 – 25 %	30 – 35 %	60 %	70 %

Building Energy Code (BEC)

According to the Ministerial Regulation, the BEC specifies building specification in 6 areas which are

1. **Building Envelope**

   Building envelope or building façade design improves building passive properties. This has greatly effected on heat transfer through the building. Overall Thermal Transfer Value (OTTV) and Roof Thermal Transfer Value (RTTV) are the indicators used to evaluate the building's envelope system.

Building Types	*OTTV (Watts/m^2)*
School, Office	50
Theatre, Plaza, Department Store	40
Hotel, Hospital, Condominium	30

2. Lighting Equipment

Lighting equipment is defined by Light Power Density (LPD). The LDP is a proportion between energy use by the lighting system and the occupied area.

Building Types	*LPD (Watts/m2)*
School, Office	14
Theatre, Plaza, Department Store	18
Hotel, Hospital, Condominium	12

3. Air Conditioning System

Air conditioning unit used in the building needs to achieve minimum COP as required by the regulation, other types of A/C units excluding in the table are not restricted.

A/C Unit Size	*COP*
Less than 8000	3.22 – 4.10
8000 to 12000	3.22 – 4.10

4. Steam Boiler Equipment

Steam boiler equipment refers to large utility scale boiler and requires minimum efficiency.

Type	*Efficiency (%)*
Oil fired steam boiler	85
Oil fired hot water boiler	80
Gas fired steam boiler	80
Gas fired hot water boiler	80

For air source heat pump water heater

Design	*Inlet Temperature*	*Outlet Temperature*	*Air Temperature*	*Minimum COP*
	Celsius			
Type 1	30	50	30	3.5
Type 2	30	60	30	3.0

5. Energy Performance

The building constructed according to BEC regulation will be determined by BEC (2e-building) energy simulation programme. The programme uses building envelope information (OTTV,RTTV) to determine energy from A/C unit, the lighting system at the building site atmosphere.

6. Renewable Energy

The BEC standard allows building to be installed with onsite renewable energy generation system. These systems may refer to solar PV, wind turbine or biomass boiler with fuel coming from renewable energy source. Electricity generated from the system will be used to subtract energy demand from the building.

Daylight design is also considered in this topic. Lighting system situated in the area where sufficient daylight is presented can be deducted from lighting energy usage.

Example of Technologies Cooperated on BEC

Autoclaved Aerated Concrete

Commercially known as "Lightweight Concrete Block" in Thailand, autoclaved concrete improves thermal efficiency and reduces heating and cooling load in buildings. It also benefits construction process due to its light weight and workability. It also provides better sound insulation and resists to fire hazard more than traditional brick block.

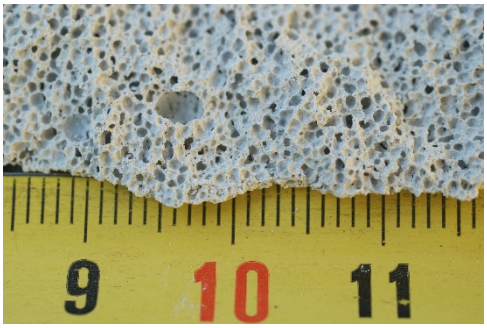


Figure C1-7-1.1 : Cross sectional of AAC concrete (Greenbang,2012)

Low Thermal Emissivity Glass (Low-e)

Low-e coating improves windows thermal efficiency without major changing in glass structure or greatly increasing material cost. The method is to reflect the unwanted solar radiance while allowing visible light to get through as much as possible.

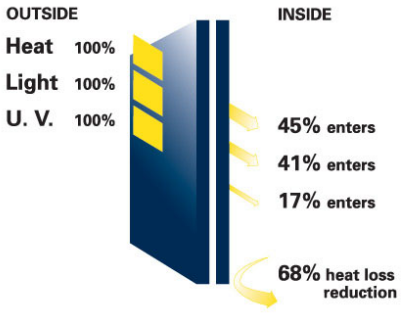


Figure C1-7-1.2 : Low-e glass emissivity (Althem)



Figure C1-7-1.3 : No.5 efficiency label in air conditioning unit

Air Conditioning Unit with EGAT No.5 High Efficiency Label

Thailand weather is hot almost a whole year. Air conditioning unit has critical part for heat load in the building. Electricity Generation Authority of Thailand (EGAT) has realized this problem and issued energy label programme for electrical appliances. Air conditioning unit is one of the appliances in this programme. Typically, A/C unit selling in the market is related with No.5 to ensure energy efficiency for the user. The No.5 rate in A/C unit requires the minimum COP of 3.4 or 11.6 EER which can be readily accomplished by current manufacturer technology.

Fluorescent Lamp

In the 1970s, fluorescent lamp was introduced as an energy saving tube in Europe. It was designed with a tube filled with gas that will be electro-stimulated by electricity. Increased efficiency meant that the tube produced only 9% lumen reduction for a 20% power reduction. Fluorescent lamp is the dominant lighting equipment nowadays due to its efficiency and cost competitiveness. It has easily replaced traditional incandescent lamp and become a main product for the lighting system in the building.

High Energy Performance Standard (HEPS)

HEPS is a higher standard which can be achieved by current technology. HEPS can be achieved through a promotion and demonstration programme of new technologies. The promotion and incentive could stimulate the acceptance of the private sector. Once the demonstration shows the successfulness, the technologies would be easier to get adopted voluntarily.

Example of Technologies Cooperated on HEPS

Green Roofs and Green Walls

In urban environment, the present of building surface and concrete pavement causes heat island effect to surrounding environment. High ratio of reflectivity in the area occurs overall heat increase in specific area around urban environment, called “heat island”. By using green walls and green roofs, where the plants are used to cover a whole of partial building surface, Individual OTTV of building surface and surrounding temperature will be reduced. This resulted in reducing energy loss through the façade and lower atmospheric temperature. The plants used on green surface may cooperate with grey water system in purifying polluted water.



Figure C1-7-1.4 : Example of exterior green wall (Sexton,2013)

Glazing Glasses

Glazing glass or insulated glazing is a composite construction of two panes (double glazing) divided by hallowed space. This space can be filled with air or gas to reduce heat transfer between window panes. The glass panes are separated by spacer that conceal outside air and cavity air. Traditionally, spacer was made from metal for the favor in its durability.

However, it has weakness as a metal has high heat conductivity. Therefore, recent spacer is made from less conductivity such as foam. The other benefits apart from heat insulation is acoustic insulation. The large air space improves

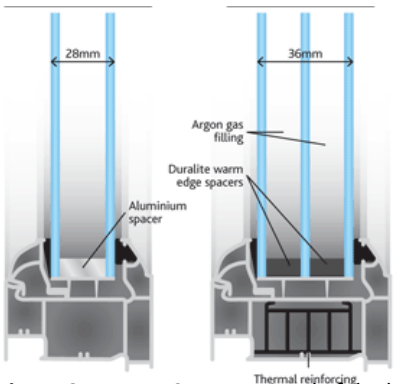


Figure C1-7-1.5 : Cross-sectional of double glazing and triple glazing (G2S group,2008)

noise insulation as sound travels poor in less density medium. Using double glazing window is found in cold climate.

Light Emitting Diodes (LEDs)

When compared with fluorescent, LEDs has higher energy efficiency, produces less heat and longer lifetime. Unlike incandescent bulb and fluorescent bulb which uses gas contained in fragile glass structure for the operation, LEDs has solid semiconductor as a light source that can operate at atmospheric condition. Without failing electronic equipment such as ballast and starter, LEDs is likely to be fail-proved through its lifetime and can be made into many forms.



Figure C1-7-1.6 : LEDs in T8 tube light (XiangDa,2011)

Improved Energy Efficient System

In HEPS, improving efficiency of air-condition system requires an effort beyond A/C unit power efficiency. Higher efficiency of a whole system can be done by optimizing the process.

Energy Recovery Ventilation (ERV) is the energy recovery process of exchanging the energy contained in normally exhausted building or space air and using it to treat (precondition) the incoming outdoor ventilation air in residential and commercial HVAC systems. During the warmer season, the system pre-cools and dehumidifies while humidifying and pre-heating in the cooler seasons. The benefit of using energy recovery is the ability to meet desire ventilation & energy standards, while improving indoor air quality and reducing total HVAC equipment capacity.

This technology has not only been effective in reducing energy cost and heating and cooling loads, but it has allowed for the scaling down of equipment. Additionally, this system will allow for the indoor environment to maintain a relative humidity of an appealing 40% to 50% range. This range can be essentially maintained under all conditions. The only energy penalty is the power needed for the blower to overcome the pressure drop in the system.

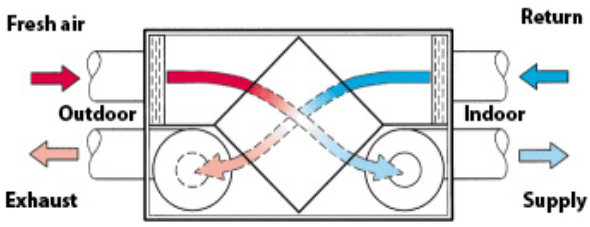


Figure C1-7-1.7 : Air-to-Air Heat Recovery in ventilation system (Schild,2004)

Variable Speed Drive Chiller (VSD). In most buildings, cooling load is varying with the day and year. The chiller sizing has to cover the peak load of the system. The chillier that operates at full load regularly will result in inefficient energy consumption. Variable Speed Drive (VSD) Chiller is equipment that uses the principle of variable frequency drive in regulating motor speed to respond with system load. By this method, it allows chillier to respond with partial load that consumes energy equal to actual load requirement. VSD system should be benefited in the building which has high variation of load. Buildings with constant usage will require constant cooling load resulted in unutilized of VSD equipment. Therefore, for the buildings with constant cooling load, High Efficiency Chiller would be recommended.

Economic Building (Econ)

ECON is an expected standard which can be fulfilled with the development of technology and system but still wroth for investment. The technologies might become already available today or being used in a restricted area. However, through the trend of technology development and energy efficiency promotion, these technologies will become available competitively in the future.

Example of Technologies Cooperated on Econ

Cavity Insulation Wall

Comparing to traditional wall, cavital wall not only has gap layer between inside and outside surface but also contains insulation layer in wall composites to maximize thermal insulation in the wall. Air gap in the wall obstruct heat transfer between indoor and outdoor environment. Air gap layer can also be filled with insulation material such as styryne foam for superative insulation.



Figure C1-7-1.8 : PU foam in cavity wall insulation (Dino Green,2012)

Triple Glazing

As similar to double glazing, triple glazing contains additional window pane and gap. Although it obviously provides greater insulation than double glazing, there are many factors to take into consideration. The high cost of triple glazing window is the main factor.

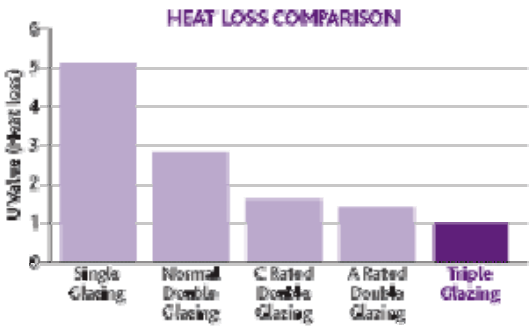


Figure C1-7-1.9 : Heat loss comparison in each glazing technology (G2S group,2008)

Variable Refrigerant Flow (VRF)

VRF allows the system to regulate expected zone cooling, permitting accurate and personalised air conditioning energy consumption in a single room boundary. It also optimizes room comfort and reduces energy and maintenance costs. VRF provides system simplicity and operating flexibility. It benefits from the advantages of direct expansion linked to inverter control and the most sophisticated electronic control. This technology has many advantages, from the system design to the installation and operation phase. The wide range of indoor cooling load makes VRF the most flexible choice to satisfy any building requirement.



Figure C1-7-1.10 : Illustration of VRF system in the building (Johnson Controls,2013)

Radiant Cooling

Radiant cooling energy offset comes from less energy-consumed compartments and effectiveness of radiant cooling method compared to air based cooling system. Radiant energy saving performance depends on climate in each area. Hot and dry climate are the best condition for radiant cooling performance due to the advantages in thermodynamic properties. The system performs less effective in humid climate due to the increased load from latent heat.

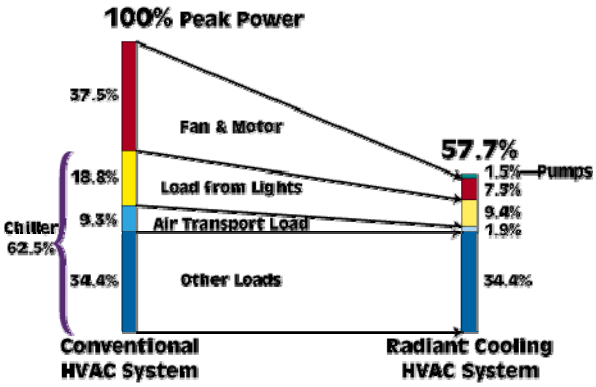


Figure C1-7-1.11: Peak Loads of Conventional HVAC and Radiant Cooling System (Berkeley Lab, 1994)



Figure C1-7-1.12 : Radiant ceiling cooling and heating system (S&P,2013)

Solar Tube

In order to reduce light power density in the building, passive lighting must be integrated into the design. Solar tube is a device that harnesses natural light from outside into the building. The collector allows light transporting through the reflector surface. Natural light can be sent to intermediate floor without interfering with building enclosure. By blending natural light with ultra-efficiency LEDs, the system can operate throughout day and night with significantly cutting energy use. It is also widely known that using delighting will increase working productivity of the occupants.



Figure C1-7-1.13 : Solatube tubular daylight devices (Solartube,2013)

Zero Energy Building (ZEB)

ZEB is the future achievement for the building external energy requirement to be near zero. This can be done by improving high standard building façade, utilizing high efficiency equipment and onsite renewable energy generation.

Scope of Definition

Zero Energy Building, by its term in general is a building with no need of electricity. Despite the wide use of the phrase “Zero Energy Building”, there is no accurate definition to define the element of ZEB. In fact, zero energy building requires energy at the certain level which will be supplied by renewable energy.

Considering standalone ZEB without electricity grid connection (offsite), offsite ZEB has to be self-sufficient in balancing between energy demand and generation. By realizing that building energy demand is fluctuated through the time, renewable energy generation has to be oversized to cover peak demand. Energy storage would be necessary if energy from grid is not available.

In the urban environment, where the grid connection is always available, ZEB’s energy offsetting can be done in various methods. Energy demand and generation can be done independently regardless of time of using. When the generation is greater than the demand, excess energy can be sent to the grid. Likewise, when building energy generation is insufficient, the grid can supply unfulfilled energy balance.

The National Renewable Energy Laboratory (NREL), United States' Department of Energy, has given a decent boundary of ZEB definition. ZEB is a building which can greatly reduce energy need by energy efficiency measures and be able to offset building energy requirement by its own energy generation. The supplied to the building should be affordable, locally available, nonpolluting and renewable source.

Renewable Energy Supply Priority

Although there are many renewable energy options available for ZEB depends on regulator allowance. The most favorable option is renewable energies that are available onsite of ZEB. Offsite renewable energy could be used to offset energy demand but it also causes carbon footprint from transportation and land use at the same time.



Table 3.9 : ZEB renewable Energy Supply Option Ranking (NREL,2006)

Option Number	ZEB Supply Side Options	Examples
0	Reduce site energy use through low-energy building technologies	Day lighting, high-efficiency HVAC equipment, natural ventilation, evaporative cooling, etc.
Onsite Supply Option		
1	Use renewable energy sources available within the building's footprint	PV, solar hot water, and wind located at the building.
2	Use renewable energy sources available at the site	PV, solar hot water, low-impact hydro power, and wind located on-site, but not on the building.
Offsite Supply Option		
3	Use renewable energy sources available off site to generate energy onsite	Biomass, wood pellets, ethanol, or bio diesel that can be imported from offsite, or waste streams from on-site processes that can be used onsite to generate electricity and heat.
4	Purchase offsite renewable energy sources	Utility-based wind, PV, emission credits, or other "green" purchasing options. Hydroelectric is sometimes considered.

The criteria of consideration on this ranking are;

- Reduce environmental Impact by reducing energy use from a building design
- Onsite renewable energy is preferable due to reduction in transportation and conversion losses
- Energy sources have to be available over the lifetime of the building
- Must be widely available and replicable to use for future ZEBs

Zero Energy Building Metric Classification

Due to the difficulty in supplying energy in each building site, i.e. limitation of building site and condition, or perspective of government policy, zero energy building can be classified by various terms of achievement depending on each government targets. Several metrics can be used to measure ZEB definition, which are;

Net Zero Site Energy: A site ZEB produces at least as much energy as it uses in a year, when accounted for at the site. This is the most measurable and consistent definition since the unit of energy use can be measured directly for every building.

Net Zero Source Energy : A source ZEB produces at least as much energy as it uses in a year, when accounted for at the source .Source energy refers to the primary energy used to generate and deliver the energy to the site .To calculate a building's total source energy, imported and exported energy is multiplied by the appropriate site-to-source conversion multipliers .Source energy for energy used a life cycle approach to determine site-to-source factors. In the study of Deru and Torcellini (2006), has suggested the factors for national electricity and natural gas of 3.37 and 1.12 respectively. That means, in order to achieve ZEB by this definition one unit of exported electricity can be used to offset 3.37 units of gas use or 1.12 of electricity use.

Net Zero Energy Costs : In a cost ZEB, the amount of money the utility pays the building owner for the energy the building exports to the grid is at least equal to the amount the owner pays the utility for the energy services and energy used over the year. The energy cost that has to be offset may include distribution, peak demand, taxes and metering charges for electricity. However, it must be realized that the cost of utility (electric price, gas price) can be changed from year to year. Thus, the energy generation has to be increased respectively in this case.

Net Zero Energy Emissions :A net-zero emissions building produces at least as much emissions-free renewable energy as it uses from emissions-producing energy sources .It uses the same principle of source energy to define the factor of emission for a unit of energy use. In the extreme case that energy produced from national grid is produced from zero emission sources i.e. nuclear power, hydro, wind and solar farm, there is no need for a building to generate its renewable energy.

Example of Technologies Cooperated on ZEB

Light Louvers and Sunshade Overhangs

Shading Coefficient has a critical role in building fabric analysis. The section of wall completely exposed to the sun light can obtain SC as high as one. The few walls expose to the sun the less heat gain through the wall. Installing permanent shading structure will reduce OTTV of the building, resulting in better building performance and rating.

Transparent material is usually considered as energy leakage. The typical lower heat insulation than opaque material made it become the vulnerable area in building fabric. Installing sunshade overhangs and louvers can reduce energy gain through the area while allowing daylight through the window.

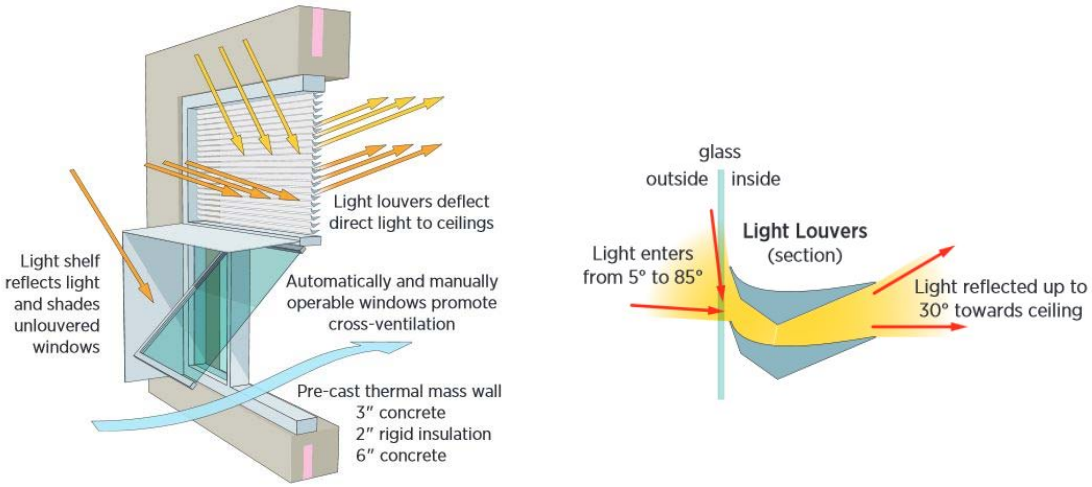


Figure C1-7-1.14 : A light louver daylighting system reflects sunlight to the ceiling, creating an indirect lighting effect. Fixed sunshades limit excess light and glare (NREL,2012)

Solar Stack Ventilation

The concept of the solar assisted stack ventilation system is to remove the heat from solar panels to induce passive ventilation in open space indoor environment (buoyancy effect).

Heat is built up below the solar panels when it is working. A narrow gap is allowed between the solar panels and the metal roof to allow ventilation which is essential to ensure efficiency of the solar panels. Heat in the gap is also a good source to produce induce effect which is the principle for natural ventilation in the rooms.

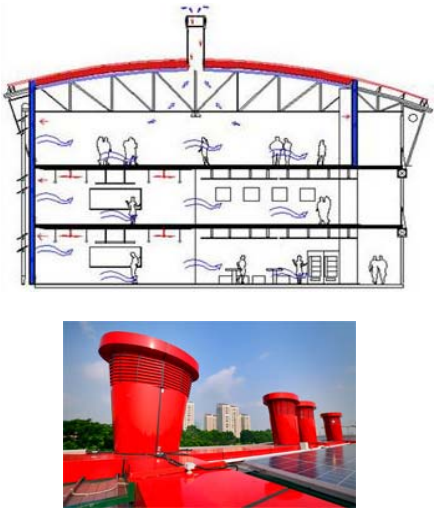
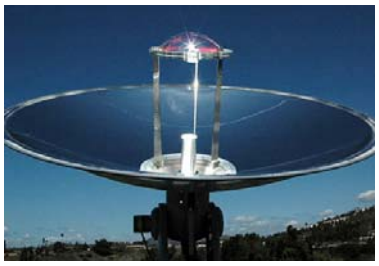


Figure C1-7-1.15 : Solar stack ventilation system at ZER building , Singapore (BCA,2010)

Fiber Optic Solar Lighting

In urban environment, the favor of multiple stories building may prohibit solar tube technology for infiltrating into building structure. In this case, fiber optic can be used instead of solar tube. Fiber optic system is smaller and can be embedded within the wall or wiring along with other utility systems. Therefore, it allows fiber optic to penetrate into the lower level of the building. Unlike hallow tube, where light is transferred through air as outdoor atmospheric condition, fiber optic can transfer light with higher intensity. To increase higher intensity, the collector technology has to be improved from solar dome which is generally used for solar tube. The collector will intensify solar light to adequate demand in the building



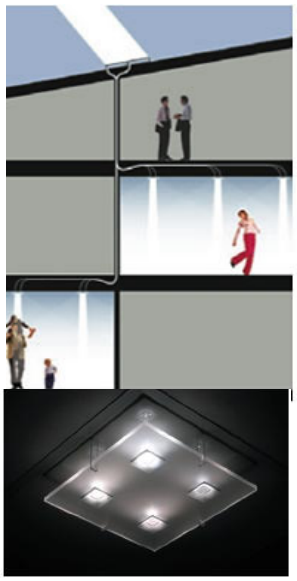


Figure C1-7-1.16 : (Left) Solar concentration device, (right top) solar fiber optic system in the building, (right bottom) solar fiber optic illuminator (Proefrock,2006)

Integrated Double Façade Buffer Space

Double façade is a passive design method to create buffer space in high rise buildings. By the synergy of passive design, the space can be used to aid natural ventilation. In hot climate, using double façade with passive ventilation design will potentially reduce the need of mechanical cooling in the system.

Buffer space can be designed to cooperate with various systems such as shading system or passive ventilation system enabling night cooling ability. Traditional design of buffer space requires the area to be sacrificed as unused space. In a modern design, buffer space can be used as irregularly occupied area such as auxiliary pathway.

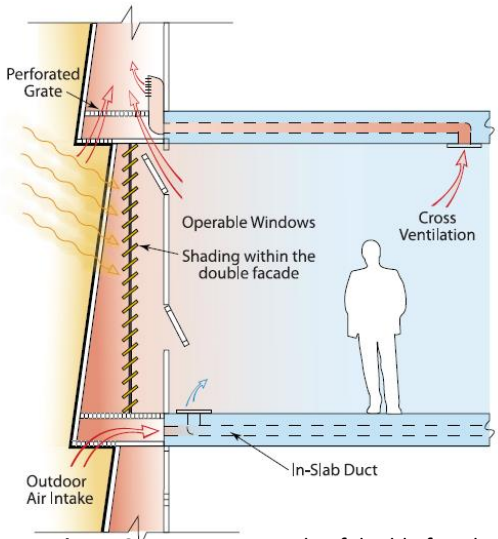


Figure C1-7-1.17 : Example of double façade as buffer space (City of Vancouver, 2009)

Many synergies are possible with buffer spaces such as double ventilated facades. Buffer spaces in south facing double ventilated facades can be used to aid natural ventilation for example. Other passive building strategies can also work well with these types of facades such as night cooling and solar shading.

Renewable Energy Generation

Zero Energy Building requires energy generation to offset energy demand by the building. In urban environment, generations at the building site are limited by many factors such as area, urban planning regulation or logistic issues. In this case, 2 technologies are selected as the most convenient methods.

1. Solar Photo Voltaic(PV) and Solar Thermal Collector

For the buildings or facilities with adequate open space, solar power generation can be used for renewable energy generation. Solar PV is used to generate electricity directly. In the flat surfaces such as rooftop or parking lots, poly-crystalline panel can be used due to its high efficiency. Thin film panel is favored for bending surface due to its flexibility. Solar thermal collector is used for heating application. Water in collectors absorbs heat from the sunlight. Heated water can be used for hot water supply in the building or cooling/heating application such as absorption chiller.

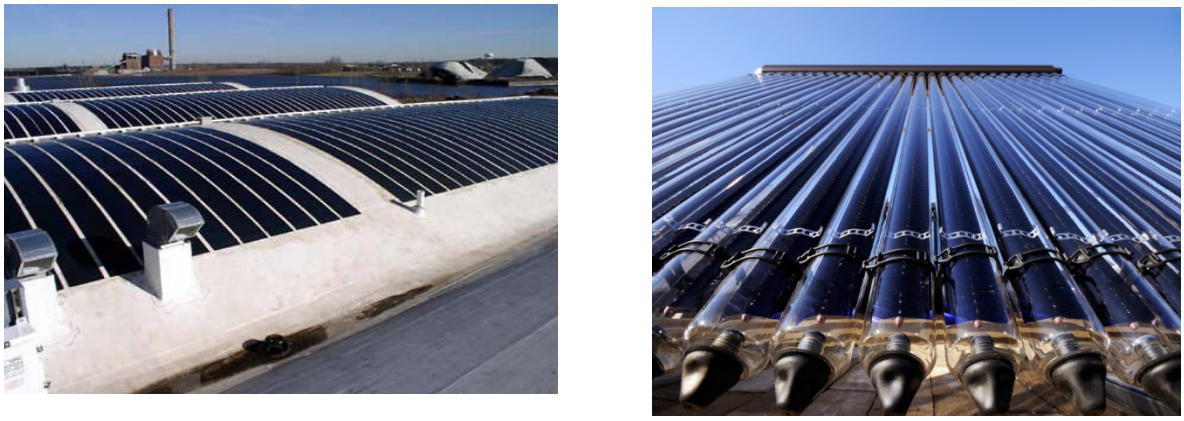


Figure C1-7-1.18: Solar thin film and solar water heater (Solar Renewable, 2012)

2. Micro Wind Turbine

In the location with sufficient wind speed, wind turbine is another solution for electricity generation. There are two types of small wind turbines that are suitable for urban environment. Horizontal axis wind turbine, this turbine is visually similar to typical wind turbine in smaller scale. It can harness wind energy from single direction with tracking system. This type of turbine is best for open area with definable wind direction. In the urban area where high rise buildings are situated will provide turbulence flow. In this case, horizontal wind turbine is a solution. Regardless of wind direction, this type of turbine can operate in omni-direction of wind flow.

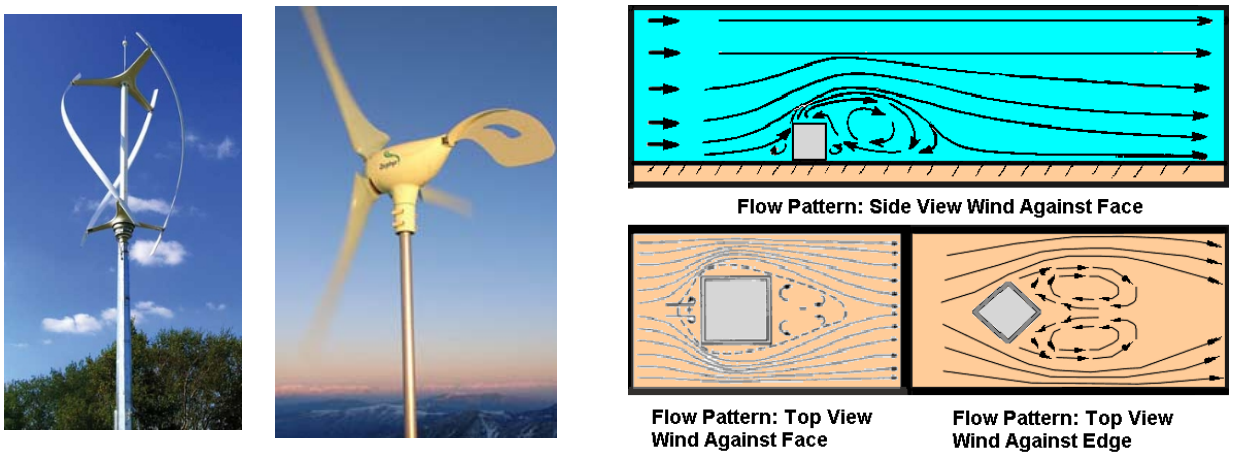


Figure C1-7-1.19: Vertical axis turbine, horizontal axis turbine, wind profile in urban environment (Williams, 1997).

Allowable Solution

According to the study of the UK government to pass zero carbon dwelling regulation in 2016, *Zero Carbon Hierarchy Triangle was introduced to be a part* of zero carbon solution. By realizing that whether building energy efficiency is done by improving building fabric or renewable energy generation is present in the building, it is still difficult for a house builder and developer to achieve total zero emission. Allowable solution is a cost-effective measure to help a house builder and developer to reach zero carbon targets with affordable price. The allowable solutions could be in the form of

- Any additional energy efficiency.
- Energy efficient appliances.
- Exports of low or zero carbon heat to other developments.
- Investment in low and zero carbon community heat infrastructure.
- Paying into a carbon abatement fund.

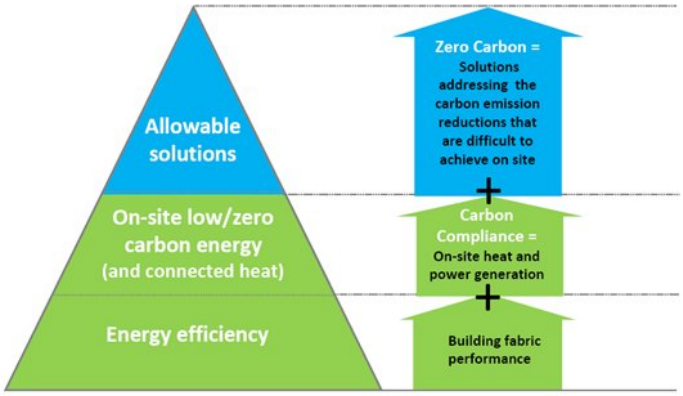


Figure C1-7-1.20 : Zero Carbon Hierarchy (Zero Carbon Hub,2013)

C1-8 Activity 1.4.2 a : Design of Technical Training Courses

According to the proposed overall training programmes on energy efficiency in commercial buildings in C1-7 (activity 1.4.1 c), there are **11 technical training modules and 2 non technical training modules** being proposed to be developed under PEECB project as follows;

Technical Modules (11)

O2 - Specialized training on Energy Saving Technologies

1. Module OM2.1 Air conditioning system
2. Module OM2.2 Lighting system
3. Module OM2.3 Renewable energy for commercial buildings
4. Module OM2.4 Building Automation System (BAS)
5. Module OM2.5 Commissioning requirement for building energy systems

O3 - Specialized training on Energy Saving in Commercial Buildings

6. Module OM3.1 Case studies on energy saving from operation in commercial buildings

D1 - Specialized training on Building Standard

7. Module D1.1 Certification standard for Energy Efficient Buildings

D2 - Specialized training on Energy Efficient Building Design

8. Module D2.1 Guidelines for Energy Efficient Building Design
9. Module D2.2 Training on Building Energy Simulation Model (BESM)

E2 - Measurement & Verification

10. Module E2.1 Benefit of Measurement & Verification System
11 Module E2.2 Measurement & Verification for Energy Saving Project

Non-Technical Modules (2)

B1 – Concept and Approach of Energy Conservation in Commercial Buildings

1. Module B-1.1 Development concept for Energy Efficiency in Commercial Buildings
2. Module B-1.2 Financial Analysis for Energy Efficiency Measures

Each training module will cover information and knowledge of 4 categories, “Introduction”-“Principle”-“Practice”-“Case Studies”. The proposed structure of the overall training programme on energy efficiency in commercial buildings is provided in figure C1-8.1.

Detail of the proposed structure is provided in **ANNEX 4** of this Progress Report.

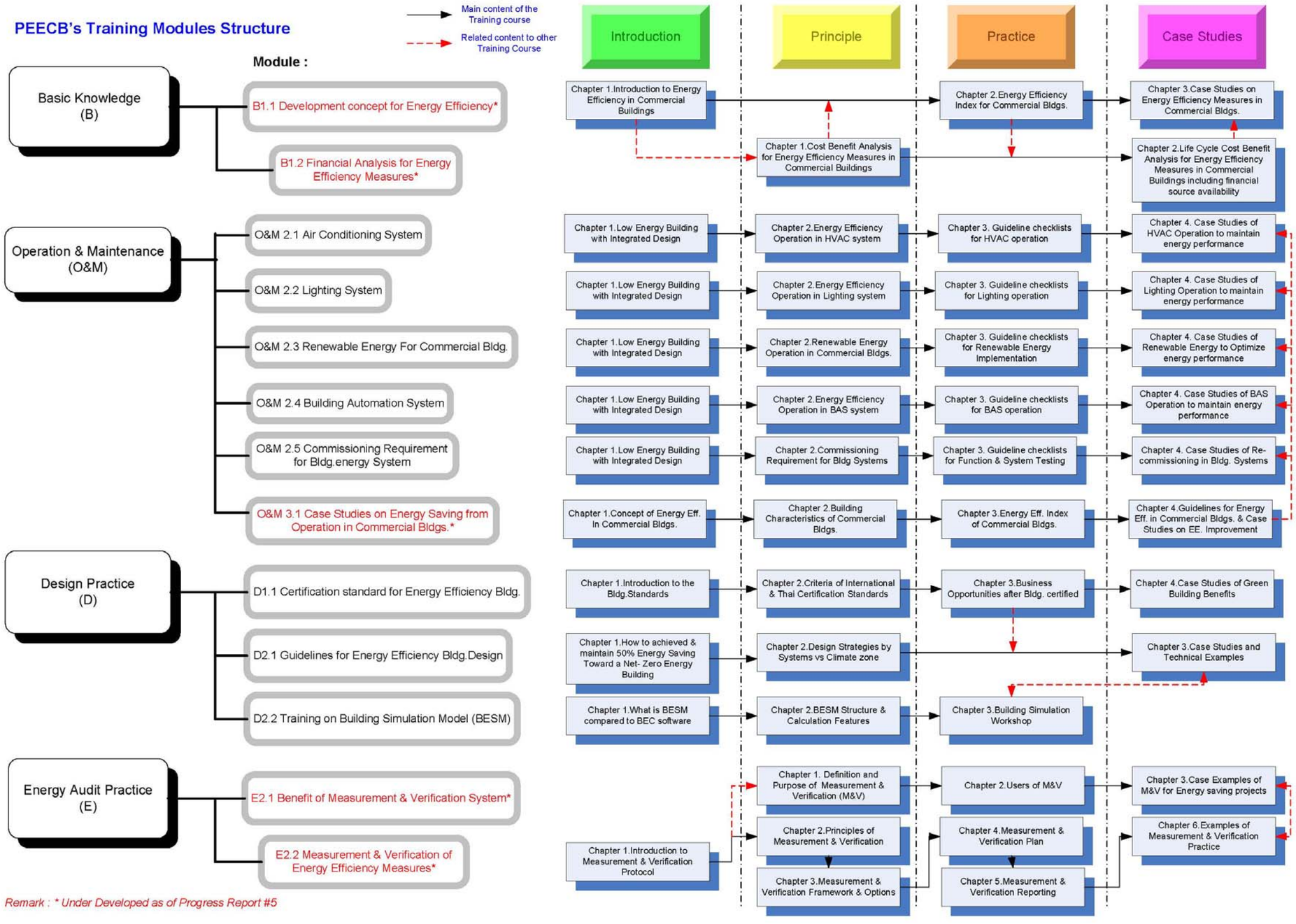


Figure C1-8.1 Structure of the proposed overall training programme on energy efficiency in commercial buildings

Completed works on previous period – Activity 1.4.2a

O3 - Specialized Training on Energy Saving in Commercial Buildings

OM-3.1 Case Studies on Energy Saving from Operation in Commercial Buildings

OM-3.1 – M2 Energy Saving in Hospital

Summary of the progress:

Contents on the initial information regarding the energy performance analysis and implementation of energy efficiency technologies in hospital have been prepared as in the following topics;

- Definition and categories of hospital building
- Areas and function zones of hospital building
- Energy efficiency index
- Energy breakdown of hospital building
- Energy conservation measures and case studies.

Development progress of module OM-3.1 ≈90%

E2 - Measurement and Verification

E-2.2 Measurement and Verification for Energy Saving Project

E-2.2 - M2 : Measurement and Verification Plan and Reporting

Summary of the progress:

Contents on the introduction to measurement and verification protocol covers the principles and frameworks have been prepared as following topics;

Chapter 1 Introduction to Measurement and Verification Protocol
- Objectives and scope of Measurement and Verification
- Benefit of Measurement and Verification
- Measurement and Verification Protocol

Chapter 2 Principles of Measurement and Verification
- Measurement of energy saving project
- Basic principles of Measurement and Verification

Development progress of module E-2.2 ≈30%

Completed works in this period (Progress Report No.5 (Q2/2014)) – Activity 1.4.2a

The following training module is currently being developed.

O3 - Specialized Training on Energy Saving in Commercial Buildings

OM-3.1 Case Studies on Energy Saving from Operation in Commercial Buildings

OM-3.1 – M2 Energy Saving in Hospital

Summary of the progress:

Contents on the case studies on energy saving from operational practices in commercial buildings cover the following topics;

Chapter 1 Concept of Energy Efficiency in Hospital Buildings
- Related Laws for Hospital Buildings
- Related Standard & Code of Practice for Hospital Buildings

Chapter 2 Building Characteristics of Hospital Buildings
- General Information of Hospital Buildings
- Categories of Hospital Buildings
- Energy Used Equipments By Area
- Energy Use Characteristics of Hospital Buildings

Chapter 3 Energy Efficiency Index of Hospital Buildings
- Energy Efficiency Index for Hospital Buildings
- Normalization of Energy Efficiency Index

Chapter 4 Guidelines for Energy Efficiency in Hospital Buildings & Case Studies on Energy Efficiency Improvement
- Guideline Checklist on Energy Efficiency Improvement
- Case Studies on Energy Efficiency Improvement

Development progress of module OM-3.1 ≈95%

Detailed development progress in this period (Q2/2014) of each module is provided in **Annex 5-1** of this Progress Report.

C1-9 Activity 1.5 a Design of Non-Technical Training Courses

According to the proposed overall training programme on energy efficiency in commercial buildings in C1-7 (activity 1.4.1 c), there are **2 non technical training modules** being proposed to be developed under PEECB project as follows;

B1 – Concept and Approach of Energy Conservation in Commercial Buildings

1. Module B-1.1 Development concept for Energy Efficiency in Commercial Buildings
2. Module B-1.2 Financial Analysis for Energy Efficiency Measures

Completed works on previous period – Activity 1.5a

B1 - Concept and Approach of Energy Conservation in Commercial Buildings

B-1.1 Development Concept for Energy Efficiency in Commercial Buildings

Summary of the progress:

Contents on the basic concept of energy efficiency buildings have been developed including,
- Introduction to Energy Efficiency in Commercial Buildings
- Business approach on Energy Efficiency in Commercial Buildings

Development progress of module B-1.1 ≈90%

Completed works in this period (Progress Report No.5 (Q2/2014)) – Activity 1.5a

The following training module is currently being developed.

B1 - Concept and Approach of Energy Conservation in Commercial Buildings

B-1.1 Development Concept for Energy Efficiency in Commercial Buildings

Summary of the progress:
Contents on the development concept for energy efficiency in commercial buildings cover the following topics;

Chapter 1 Introduction to Energy Efficiency in Commercial Buildings
- Energy Efficiency Perspective for Building Properties Development
- Building Characteristics of Hospital Buildings
- Building Characteristics of Hotel Buildings
- Building Characteristics of Department Store Buildings
- Building Characteristics of Office Buildings

Chapter 2 Energy Efficiency Index for Commercial Buildings
- Energy Efficiency Index for Commercial Buildings
- Normalization of Energy Efficiency Index

Chapter 3 Case Studies on Energy Efficiency Measures in Commercial Buildings
- Case Studies in Office Buildings
- Case Studies in Hospital Buildings
- Case Studies in Hotel Buildings
- Case Studies in Department Store Buildings

Development progress of module B-1.1 ≈95%

B-1.2 Financial Analysis for Energy Efficiency Measures

Summary of the progress:
Contents on the financial analysis for energy efficiency measures cover the following topics;

Chapter 1 Cost Benefit Analysis for Energy Efficiency Measures in Commercial Buildings
- Fundamental of financial return on investment tools
- Example of financial return on investment tools

Chapter 2 Life Cycle Cost Benefit Analysis for Energy Efficiency Measures in Commercial Buildings including financial source availability
- Why do we need Life-Cycle Cost Analysis (LCCA)?
- How to calculate Life-Cycle Cost (LCC)
- Evaluation criteria for investment project
- Financial source of funding

Development progress of module B-1.2 ≈90%

Details development progress of non-technical training module is provided in **Annex 5-2** of this Progress Report.

3.3 Component 2 (C-2)

% Completed Works: **Previous Period = 1.89%, this period = 1.23%: Total = 3.12%,**

Proposed Definition of "Commercial Buildings" for the PEECB Project (Finished Work)

Commercial Buildings in the PEECB project:

Based on the target setting from the 20yr Energy Efficiency Development Plan , the large buildings include existing buildings and new buildings under the ENCON Act B.E.2535 (1992) (Designated Buildings >1MW over 5,000 buildings). Moreover, the buildings which related to common activities in the society will ultimately affect the energy consumption in the country. Therefore, the commercial buildings in the PEECB project will cover 9 major types of building under ENCON Act B.E 2535 (1992) with utilization area more than 2,000 m^2 as follows;

1. Office Building
2. Hotel
3. Hospital
4. Department Store
5. Educational Institute
6. Condominium
7. Theater
8. Conventional Center
9. Entertainment Complex

Other types of building may be considered to be included in the project if there is significant energy consumption compared to the 9 major types of building.

C2-1 Activity 2.2.1a Review of BEC software database

Completed works in this period (Progress Report No.5 (Q2/2014))

BMC has studied and reviewed the structure and database of BEC software in order to identify and validate the existing data and information in the database of BEC software. Overview of the structure of BEC software is provided in figure C2-1.1.

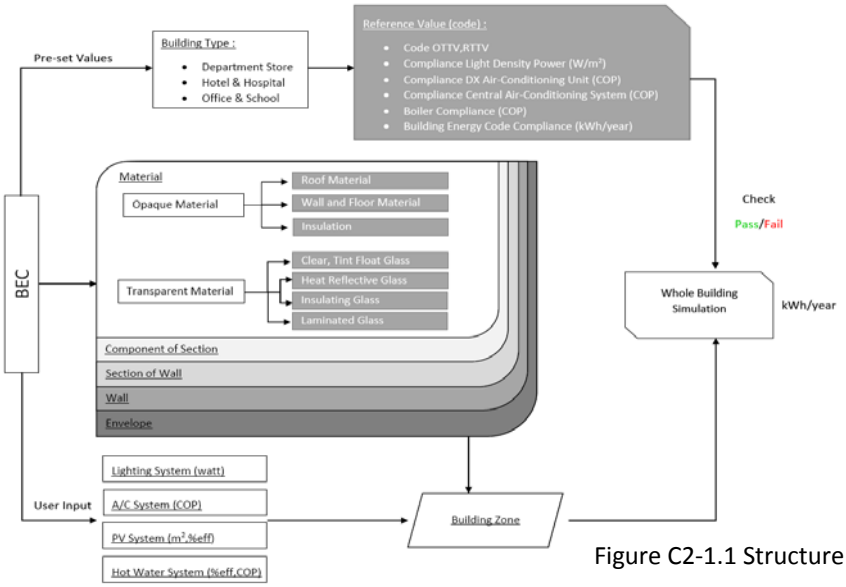


Figure C2-1.1 Structure of BEC software

According to the structure of BEC software shown in Figure C2-1.1, the database of BEC software consists of two major types of construction material namely, Opaque Material and Transparent Material. This database will be used to formulate the component of section, section of wall, wall and envelope of the building. Lighting and Air Conditioning System would need to be user input.

The structure of the construction material database can be summarized as follows;

Construction Material
- Opaque Material
  - Roof Material
  - Wall and Floor Material
  - Insulation
- Transparent Material
  - Clear, Tint Float Glass
  - Heat Reflective Glass
  - Insulating Glass
  - Laminated Glass

Currently, the project team is reviewing and gathering related information of building materials, lighting, air conditioning, water heating and solar PV system that would require as input for the newly developed Building Energy Simulation Model, BESM.

The proposed system and their efficiencies for **air conditioning system** will cover followings system or equipment.
1. Air conditioners no more than 12,000 W
2. Air-cooled water chiller system
3. Water-cooled water chiller/reciprocating system
4. Water-cooled water chiller/rotary screw or scroll system
5. Water-cooled water chiller/centrifugal system
6. Absorption Chiller
7. Other equipment
   a. Chilled water pump
   b. Condenser water pump
   c. Cooling tower
   d. Fan coil unit
   e. Air handling unit

The proposed system and their efficiencies for hot water system will cover following systems or equipment.
1. Oil fired steam boiler
2. Oil fired hot water boiler
3. Gas fired steam boiler
4. Gas fired hot water boiler
5. Air-source heat pump water heater

C2-2 Activity 2.2.2a Review the Existing Specific Energy Consumption Index (SEC)

The Specific Energy Consumption (SEC) of each building type will be defined in the PEECB project as a standard approach for collecting building energy efficiency data.

There are 2 sub-activities for this task as follows:

Activity 2.2.2a Review the Existing Specific Energy Consumption Index (SEC) **Q2/2013-Q3/2014**
Activity 2.2.2b Update the SEC for Commercial Building Sector in Thailand **Q1/2014-Q1/2015**

Details of each sub activity can be explained as follows:

Activity 2.2.2a Review the Existing Specific Energy Consumption Index (SEC) **Q2/2013-Q3/2014**
Review all existing information relevant to SEC studied by DEDE and other organizations on a commercial building sector in Thailand and other countries which have data available.

Working Schedule for sub-activity 2.2.2 (a) :

Tasks	2013			2014				2015				2016				2017
	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1
1. Data collection																
2. Data Analysis																
3.Finalize existing SEC on commercial sector in Thailand																

Note : ▭ = plan , ——— = actual progress

Currently, BMC is working on task 2 on data analysis of existing SEC on commercial buildings in Thailand. Finalization of existing SEC on commercial buildings in Thailand is expected to be finished by August 2014. However, this part of the work would need to be incorporated with the outcomes of component-2 that is being prepared by Engineering Solution Provider Co.,Ltd (ENSOP).

Activity 2.2.2b Update the SEC for Commercial Building Sector in Thailand **Q1/2014-Q1/2015**

Update the SEC using the annual energy management reports during the past 3 years of designated buildings in Thailand. However, the information might need the statistical analysis to define and interpret uncertainty among each of building categories such as hotels and service apartments etc. The comparative performance indication of high EE or low EE buildings of each building type will be analyzed. The mechanism for periodical updates of the necessary information through different channel such as annual energy management report, annual survey, etc. will also be assessed and analyzed.

Working Schedule for sub-activity 2.2.2 (b):

Tasks	2013			2014				2015				2016				2017
	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1
1.Data Collection																
2.Update SEC of Designated Commercial Buildings																

Work Progress of Activity 2.2.2a:
Review the Existing Specific Energy Consumption Index (SEC)
Task-1: Data Collection of SEC in Various Sources

Work progress of this activity up to the Progress Report No.5 is accounted for 65% including the review of;

1. Specific Energy Consumption in Various Building Types in Thailand
1. Specific Energy Consumption in Various Building Types in various countries (This part is under progress. The reviewed results provided in this report are only part of the reviewing works. Further results will be provided in the next Progress Report No.6).

Completed works on previous period

1. Specific Energy Consumption in Various Building Types in Thailand

DEDE has undertaken several Specific Energy Consumption (SEC) studies. SEC values are generally presented as an average value for each type of buildings and reflected by the energy policy or economic situation both in Thailand and the globe.

One of the official studies on SEC was conducted by DEDE & DANIDA & AIT for developing energy building code in Thailand. SEC is one of the energy indicators high-lighted in the study (From 113 sampling buildings spread over 4 regional areas and Bangkok).

SEC could also be represented as various intensity of energy usage by the system e.g. air-conditioning system and lighting system where the specific figures will be able to analyze, keep tracking and also can be used as reference for government officers or policy makers.

Table A1.1 The summary Result of SECs from the Study

Table A1.1 Energy indices of designated buildings

		All	Office	Hotel	Hospital	Department Store	Educational Institution
$SEC_1 = \frac{\text{Total energy consumption}}{\text{A/C area} + \text{Non A/C area}}$ [kWh/m^2 yr]	# of Data	94	43	4	8	35	4
	Min.	25.5	25.5	109.4	83.8	111.0	33.3
	Max	660.1	660.1	179.3	234.9	536.5	128.9
	Average	226.0	198.0	134.7	134.9	307.3	89.9
$SEC_2 = \frac{\text{Total energy consumption}}{\text{A/C area}}$ [kWh/m^2 yr]	# of Data	94	43	4	8	35	4
	Min.	94.7	94.7	170.1	138.5	157.7	128.9
	Max	1455.9	1455.9	364.5	372.6	1079.6	249.6
	Average	338.1	346.3	247.3	245.6	377.3	182.0
$SEC_3 = \frac{\text{A/C energy consumption}}{\text{A/C area}}$ [kWh/m^2 yr]	# of Data	94	43	4	8	35	4
	Min.	26.0	26.0	114.3	100.2	70.4	63.6
	Max	810.5	810.5	256.4	258.9	585.6	165.0
	Average	170.8	179.9	163.0	165.9	168.3	111.9
$SEC_4 = \frac{\text{Lighting energy consumption}}{\text{Total area(Including carpark)}}$ [kWh/m^2 yr]	# of Data	94	43	4	8	35	4
	Min.	4.8	4.8	16.8	7.77	8.34	12.3
	Max	141.2	94.5	32.0	32.9	141.2	17.5
	Average	34.3	24.7	25.1	20.0	52.5	14.9
$SEC_5 = \frac{\text{Lighting energy consumption}}{\text{Total area(Excluding carpark)}}$ [kWh/m^2 yr]	# of Data	94	43	4	8	35	4
	Min.	4.8	4.8	20.7	11.0	13.6	11.4
	Max	163.5	94.5	38.2	32.9	163.5	17.4
	Average	47.1	32.7	29.4	21.8	76.3	14.7

In general, SEC_1 shall be used as an indicator for the whole building performance where other SECs could be used as a normative reference for the system or equipment performance. However, the energy consumption ratio and utilized characteristics of each system in typical buildings e.g. office, hotel, hospital, Department store etc. are also given useful information through the SEC figures. For example, the average of SEC_3 for a hotel building is 163.0 kWh/m^2/yr which is lower than an office building (170.8 kWh/m^{2}yr) while the air-conditioning system of the hotel consumed about 66% compared to the 52% of the office. This is probably because the hotel has 24 hours of operation which building envelop could maintain their cooling capacity better than heat gain into the building in case of office building during non-working hours at night and weekend.

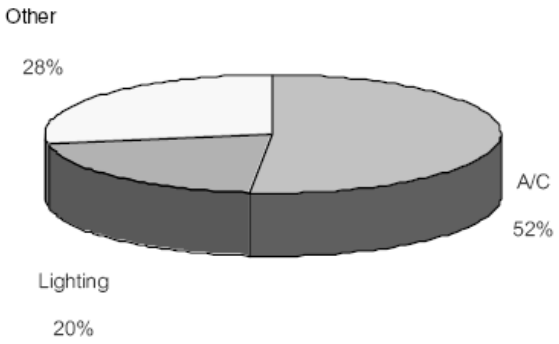


Figure C2-2.1 : Energy Breakdown of Office Building

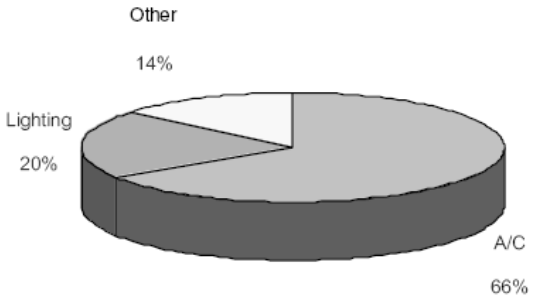


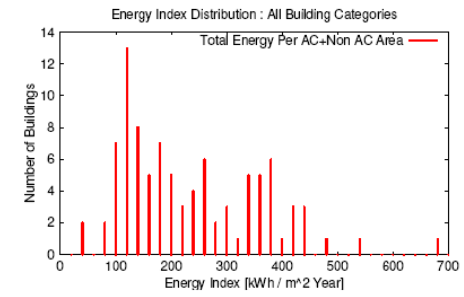
Figure C2-2.2 : Energy Breakdown of Hotel

For this reason, SEC shall be used as an indicator for design consideration of new buildings and operational consideration for existing buildings. The benchmarking of these figures shall be internally used by building engineers of their own building and/or externally used by all key stakeholders e.g. consultants, professional institutes, government agencies and policy makers to monitor the progress of the energy efficiency measures implementation.

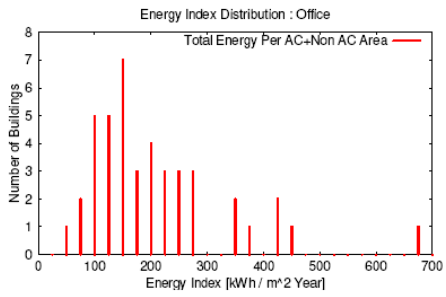
The distribution of SEC for each type of buildings has shown in the following bar charts:

Distribution of energy indices of designated buildings

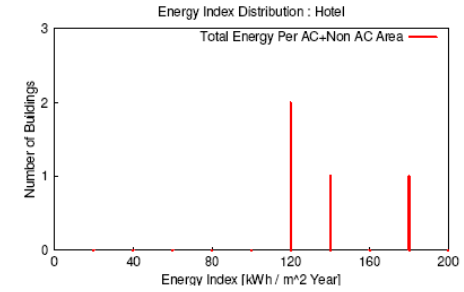
Total electrical energy consumption per total floor area (excluding car park)



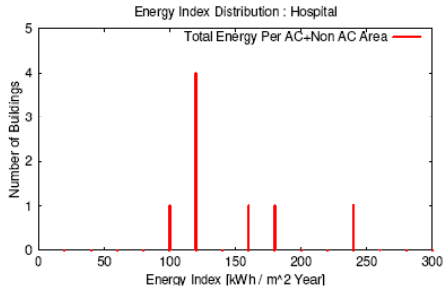
All buildings



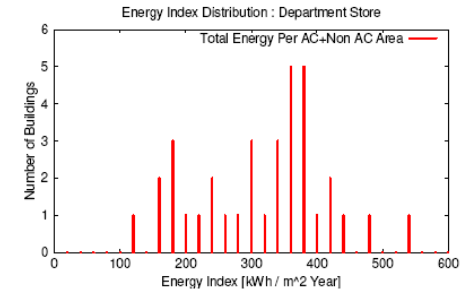
Offices



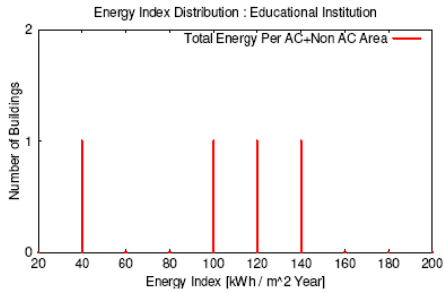
Hotel



Hospital



Department store



Academic Institution

Any task required for the progression of SECs in different types of buildings (REF,BEC,HEPS,ECON,ZEB) above will be strongly highlighted in the target setting methodologies and action plan for component 1, 2 and 3.

Since the energy management report has been enforced by ENCON Act B.E.2535 (1992) and its amendment in B.E.2550 (2007), the numbers of SEC from each type of commercial buildings shall be interpreted and updated into building stock data as governed by BERC section, DEDE (Energy Regulation and Conservation Bureau).

2. Specific Energy Consumption in Various Building Types in Various Countries

(This part is under progress. The reviewed results provided in this report are only part of the reviewing works. Further results will be provided in the next Progress Report #3)

SEC in the US

Specific Energy Consumption (SEC) is an indicator used in building energy analysis. One of the most common SEC used to represent overall energy-use in the building is energy per building floor area (kWh/m^2). This value indicates energy use intensity (EUI) for the building. Though it does not reflect the effectiveness of energy-use in the building, EUI is a convenient indicator to describe characteristic of building in the same and across categories.

EUI in the building is differentiated by the intensive services provided in the building. Among the various building types, building energy-use is designed for specific building service. For example, a building with less people density in an area requires lower energy–use for the area or the percentages of air-conditioned area are affect energy use in the specific area. This causes the difference in energy-use within the same and across building type.

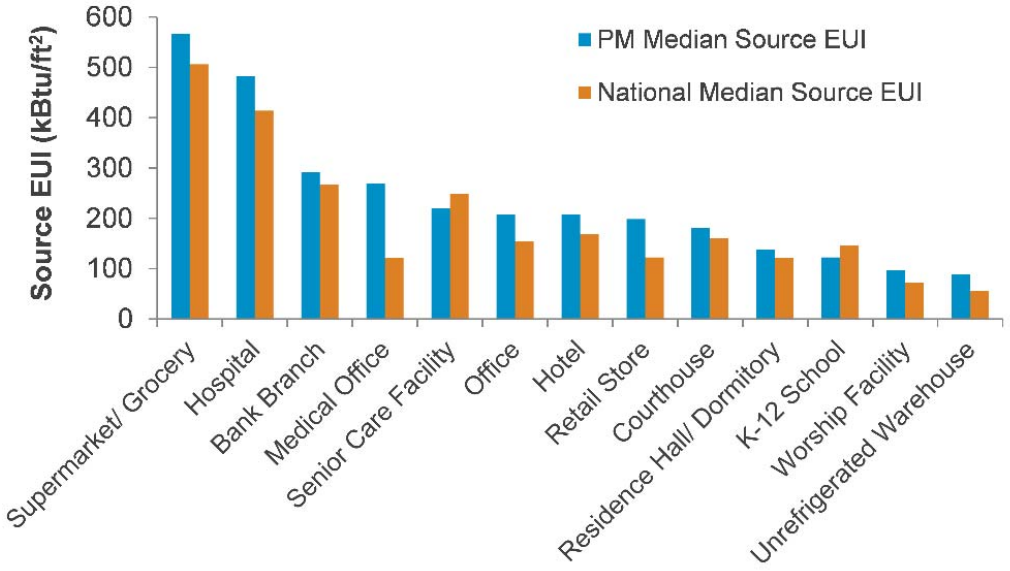


Figure C2-2.3 : Energy Use Intensity by Each Building Type (Energy Star, 2012)

Similarly to building types, variation of EUI within the same building type is caused by a requirement on the level of service. The diversity in level of service causes a large gap in energy-use intensity. For example, school has low level of diversion in terms of service, this causes a narrow gap in EUI. In the contrary, hospitals have a wide range of service and quality. Small hospitals might have limited treatment ability, such as general illness, while large hospitals might have wider rage of capability which requires equipment and operation rooms resulted in higher EUI.

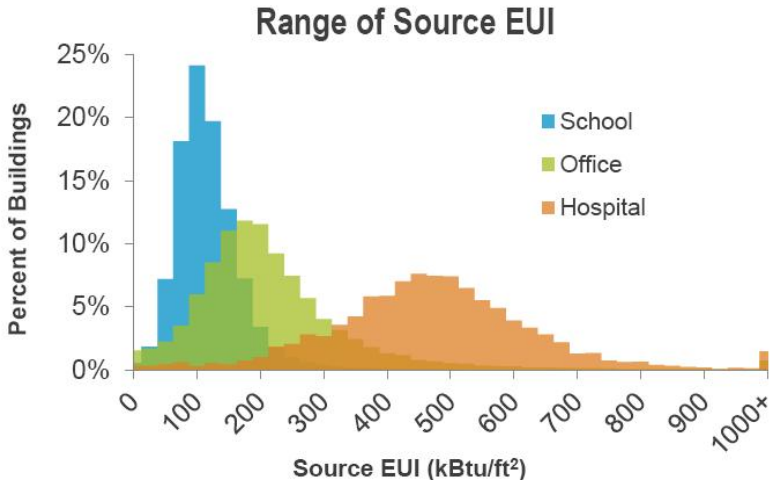


Figure C2-2.4 : Range of Energy Use Intensity in Each Building Type (Energy Star,2012)

SEC in EU Countries

In a comparison of energy use intensity across the world, there are also international factors that affect EUI. The factors such as climate can affect energy-use required for building climate control or regulation which diverse from country to country that sets the standard for building construction and operational.

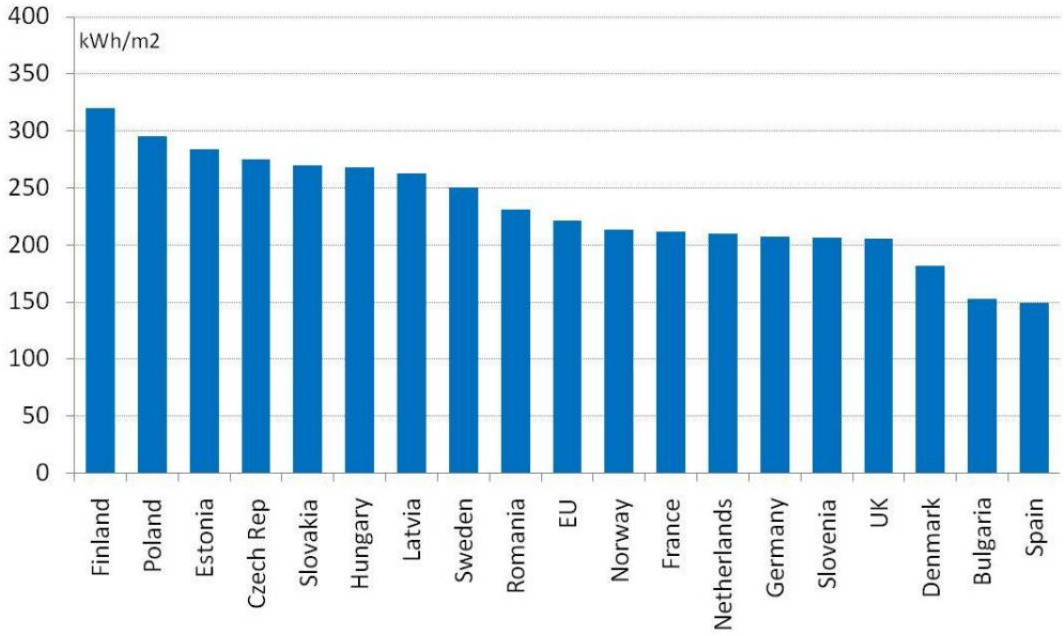


Figure C2-2.5 : Building Energy Intensity in EU 2009, (Odyssee, 2012)

In EU, where the intergovernmental cooperation in energy policy is outstanding, there is still a large difference in energy consumption between the highest and the lowest energy intensity. Finland energy intensity is as high as twice in Spain. This resulted from climatic variation in the region. Warmer climate countries tend to use lower energy in buildings than those in cold countries.

SEC from IEA (International Energy Agency)

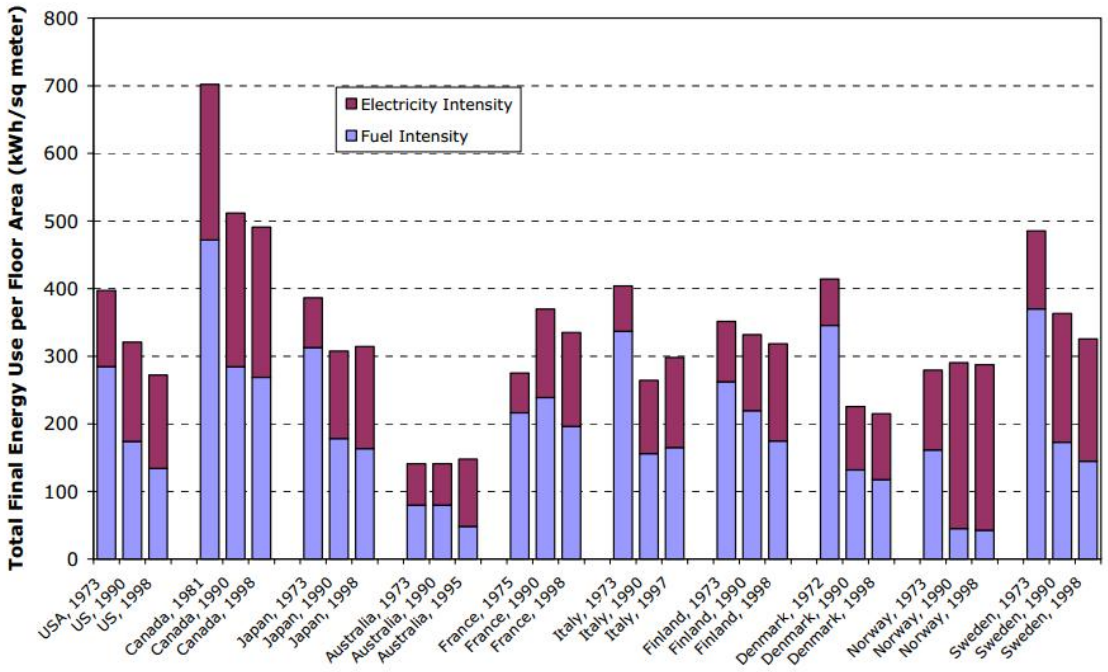


Figure C2-2.6 : Development of Energy Intensity in Commercial Building by Countries.

The figure C2-2.6 shows the transition in energy intensity. Most countries have been successful in reducing energy intensity continuously from 1973. The gap can be seen clearly from 1973 to 1990 but hardly noticed in 1998. Fuel intensity, in this case refers to natural gas, has reduced rapidly as a consequence of rising oil price. On the contrary, electricity intensity has increased overtime, double in some case. This change might occur from the electrification of technology overtime.

The Limitation of Energy-Use Indicator

There are many building performance index adopted by many organizations and being used in many purposes. The common problem is that there are no such indicators that can justify building energy efficiency at any circumstance. In this case, two types of indicators should be considered.

Assessment type, LEED for instance, contains set of building evaluation. The process aims for the design method. The procedure would take a few times before comparable rank score is available. LEED understand the fact that the variation of building design for any purpose may have impact on design factors. Therefore, LEED has classified building into several types which have different assessment factors. Therefore, certified buildings would be able to be comparable. However, due to the assessment focuses only for design aspect, there is no linkage between designing and commission period. The commissioning per period determines how the building going is to be used.

The occupant modification has dramatic effect to building performance. For example, the study on LEED certification showed that building energy use factors excluding from a design period has greatly effected on energy use intensity and much likely to overcome design-based analysis.

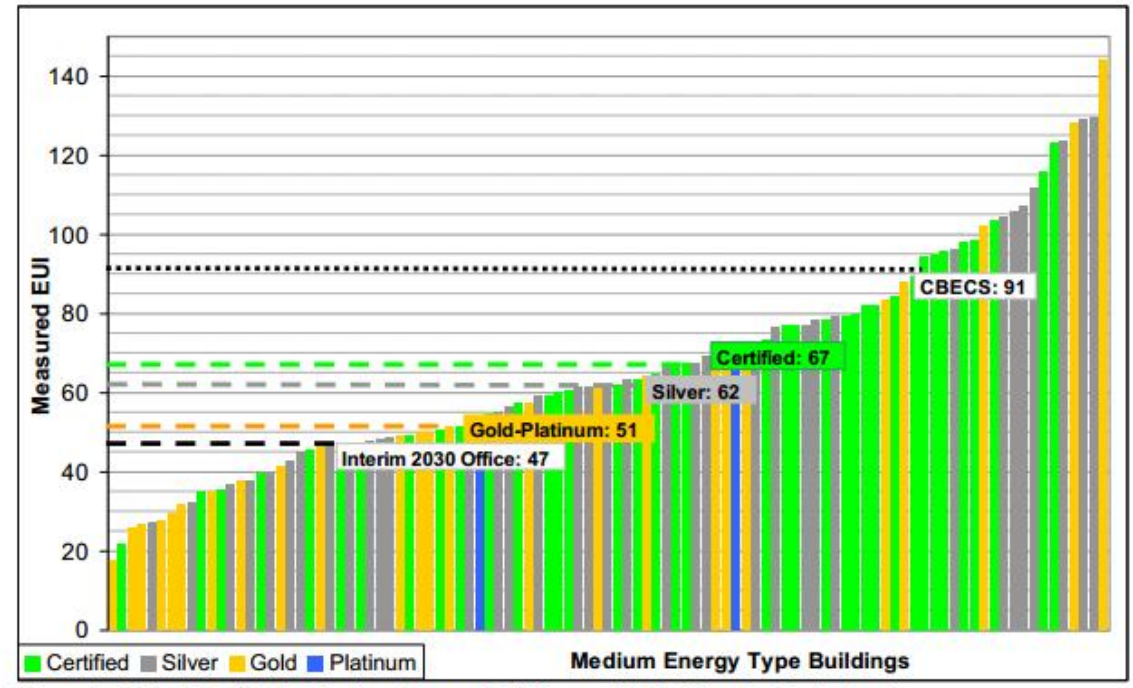


Figure C2-2.7 : EUIs for Medium Energy Building, with Median by Rating Level (NBI, 2008)

Measured EUI represents energy use during actual commissioning period. The result shows that building's EUI and LEED certification ranks (platinum, gold, silver and certified) are relevant in average order. However, the scattering in individual buildings is highly noticeable. This can be concluded in the limitation of EUI in comparing building performance.

Specific Value, From the energy point of view, specific energy consumption is a valued unit of energy required to do a work. Energy use per floor area, or energy intensity, is one of the most used specific values to compare buildings. Since all buildings have areas as common properties. By knowing the proportion of energy use in the area of the building, the building can be compared regardless of size. This evaluation method can be done instantly if the information is available. However, building floor configuration also affects energy intensity in the building. To compare a building performance, this value, it has to be compared with the same building type to minimize the effect from floor configuration.

Review of Building Energy Benchmark

In this section, criteria or guidelines on preparation of energy benchmark in commercial buildings will be reviewed to identify proper benchmark criteria for commercial buildings in Thailand. The purpose of this study is to determine the factors which will be included in benchmarking of energy consumption in the building and methodology in normalization relevant factors.

1. Energy Benchmarking

When comparing energy use in the building, energy consumption per floor area is widely used in both domestic and international level. However, initial indicator is more appropriate to be used in comparing building before and after retrofit progress or building group properties than individual

comparison because of variable factors which might mislead the efficiency interpretation of the building. The sub-factors which cause a variation of energy comparison may include:

- High intensity tenant energy use
- Annual vacancy
- Occupant density
- Operating hours
- Location
- Weather
- Etc.

It is necessary to normalize these factors before being used in building energy calculation. Unlike design-based assessment (e.g. LEED, BREEAM), the energy benchmark discussed in this topic is operational assessment (performance-based) since the information input are measured at point of use. The outcome indicator (normalized energy use per floor area) is also convenient for comparing building operational performance.

However, the factors such as location and weather are insignificant to domestic comparison because Thailand, unlike in Europe or the United State, has fairly identifiable climate throughout the region. Nevertheless, other factors need to be normalized as it varies depending on individual building. The following study will focus on sub-factors which affect building performance in Thailand.

In each country has adopted different building standard which is concerned in different parameters. Therefore, the using of specific energy consumption for each building standard contains different method of measurement, verification and normalization.

2. Case Studies of SEC

Case 1 : UK Display Energy Certificate (DEC)

In the UK, where Display Energy Certificates and Advisory Reports are used for benchmarking from energy consumption, has assigned carbon dioxide(CO_2) to be common unit because it is the main indicator in its energy policy. It has concerned the fact that some buildings contain longer hour of operation than the standard, thus they decide to include a numerical factor for a correction. The benchmark information includes

- Benchmark (standard) hours per year (SH)
- Maximum allowed hours per year (MH)
- Percentage increase in electrical benchmark at maximum allowed hours per year (PE)

Where “AH” is actual building using hours in a year. Energy density could be calculated by

$$E = E \times \left[1 + \left(AH - SH\right)/\left(MH - SH\right) \times \left(PE/100\right)\right] \qquad (\text{kWh/m}^2\text{/yr})$$

It must be realized that in order to obtain annual occupancy hours, the measurement system has to be introduced to standardize energy assessor operation. There are two systems that define annual occupancy hours in this case, which are

- The number of hours per year that the number of recorded occupants exceeds 25 percent of nominal maximum occupancy.

Or

- The number of hours per year that the premises are fully opens to the public according to published opening hours.

Evaluation on Case 1 : UK Display Energy Certificate (DEC)

This benchmark is to classify building by environmental impact assessment using carbon emission ratio. Normalized energy consumption is used to convert into carbon dioxide emission. There are three inputs required, annual degree-days for a location of choice, actual annual hours of operation and actual annual energy consumption for the site in kWh/m2/y based on metered or billed data.
The calculation method in this benchmark is considered to be most accurate because the data used in each parameter calculation is cooperated with many statistics. Those statistics are not present in Thailand. While it is not possible to account for all differences, using the DEC methodology of normalization for weather and occupancy dependant variables provides a reasonable basis for comparison.

Case 2 : National Renewable Energy Laboratory (NREL) Restaurant Benchmark

In the restaurant energy benchmarking published by NREL (2011) is referred to the work of national restaurant subcommittee and Fisher-Nickel, Inc. to find a metric for building energy consumption in ENERGY STAR Portfolio Manager. The study found that the energy use per floor area could be different due to those factors mentioned above. It also mentioned that only floor area is not enough to express characteristic of energy consumption in the building. The trend shows that the restaurant area is gradually reduced while more meal is served. The others include operational hours, operational practice and number and type of appliance which also affect energy use in the building.

$$kWh = a + b \times Transactions + c \times Weekly\ Operating\ Hours + d \times HDD50 + e \times Floor\ Area$$

Where
a = constant
b = transactions slope
c = weekly operating hours slope
d = HDD50 slope
e = floor area slope
HHD50 = heating day degree at 50 ^{o}F
Transactions = number of meal plate equivalent

Evaluation on Case 2 : NREL Restaurant Benchmark

This benchmark is intentional for restaurant but the method is interesting, credible and flexible. However, this method requires preliminary data collection. The data is then being used to analyze the relevant factors which have an effect on energy consumption. The final equation is formed accordingly to relevant factors. The preliminary study is also used for finding slope from linier function for relevant factor. This might cause difficulties for adaptation for using in Thailand since such information is not widely available yet.

Case 3 : The Real Property Association of Canada (REALpac)

REALpac aimed to promote the interaction between real estate investors, governments and public to stabilize and benefit a real estate market. One of its missions is to fulfil the achievement in reducing energy use in the building of 20 kWh/ft^2 by 2015.

In order to determine the metric for energy consumption, they have prioritized on normalization methodology for energy consumption. For any building to be fairly able to compare with the others, the parameters used in REALpac calculation contain the following information.

Area

In this section, the area is measured according to BOMA (Building Owner and Manager Association of Canada) method to determine gross floor area (GFA, ft^2) of the building.

REALpac has raised an awareness of high intensity energy use or exceptional energy use in the building such as call-center, data center and retail area. The energy consumption in this area will be adjusted to the level of average office energy use. For example, in the building with data center will show the higher level of energy consumption. Adjustment value can be calculated by;

Exterior Gross Area (EGA): Total building floor area, including parking space
Gross Floor Area (GFA): Total exterior gross area minus parking space

For example;

X = Data Center Energy Use Intensity – Average Office (lightings & plug load): EUI

Adjustment value = X * Area of Data Center/ GFA

High Intensity or Exceptional Energy Use Data

Building Name:	Building #1
Annual Year of Utility Data:	2010
Gross Floor Area (ft²):	662,308

Space Type	Area (ft²)	Annual Electricity Consumption (kWh)	Individual Space Type Intensity, Electricity (kWh/ft²)	Annual Annual Natural Gas Consumption (m³) *	Individual Space Type Intensity, Natural Gas (ekWh/ft²)	Total Building Adjustment (ekWh/ft²)	
Enclosed Parking:	82,780	30,000	0.36	10,000	1.25	0.05	
Retail:	0	0	0.00	0	0.00	0.00	
Data Centre:	66,013	21,900,000	331.75	0	0.00	31.31	
Call Centre:	0	0	0.00	0	0.00	0.00	
Other:	0	0	0.00	0	0.00	0.00	+ Add
Other:	0	0	0.00	0	0.00	0.00	+ Add

* Sub-metered Natural Gas consumption data in high intensity or exceptional energy use space types is being collected for internal analyses only. Energy normalization calculations do not include or account for this energy use.

Total Adjustment: 31.36

Figure C2-2.8 : Example of adjusted energy consumption for exceptional area.

Annual Vacancy

This factor is aimed at reducing unfair advantage in energy efficiency calculation. It is users' responsibility to record their building vacancy rate. The rate is ranged from 0% to 100% of occupied area. The input data can be measured periodically or annually. The leased area required to have 75% of tenant employee during normal working day.

Occupant Density

Office occupant density could affect energy density use in the building. The effects of occupancy density may vary in each component. For example, energy for computer use will have 100% correlation with occupant density while it may result in 50% for others office equipment and no effect on HVAC system. The value of density factor is calculated by the percentage of users' input density and default density of 2.3 occupants/1000 ft^2.

Operating Hour

The operating hour is defined by the number of hours in the week that the building is occupied at least 75% of the tenant employee. The default value in this calculation is 65 hours of operation per week. If calculated number is equal or lower than default value, no normalization is needed. If the operating hour is different in each building area and it is measurable, weighted average approach can be used for the calculation.

Finally, normalized building energy consumption can be expressed in

(Actual Energy Use Intensity – Total Space Type Adjustments) × Vacancy Factor × Density Factor × Operating Hours Factor = X

Evaluation on Case 3: The Real Property Association of Canada (REALpac)

This benchmark was developed by a society of industrial real-estates in Canada in a concerning of sustainability in real-estate market. Without concerning of fuel mix (Building energy consumption can be considered as 100% electricity), its normalization calculation is simple, yet credible for comparison. It also provides supportive methodology and approach. This made its transparency and simplicity like no others. The whole process can be completed by building owner and operator without a requirement of professional assessor.

In conclusion, every case study above shows a validate method in normalizing SEC for comparison purpose. The main difference in each method is a boundary of consideration and complexity in calculation methods. While NREL and DEC require audition from professional assessor, other allows building operator to do self-input information. The methods which have various separable components are more flexible for further modification. However, only REALpac's method provides self-complete measurement and verification and checklist. Therefore, for Thailand, where energy use in building database is not adequate, REALpac can be used in the early stage of building energy database development. It has a potential in drawing a participation of building stakeholders to take part in the Benchmark. Once the database is set, more accurate analysis, such as UKDEC, can be adopted in this stage for advance analysis.

Energy Benchmark Comparison

- In each method contains slightly difference in M&V and normalizing calculation.
- The component of the benchmark might be considered on the goal of building energy efficiency policy.
- The standard parameter or default value used in normalizing calculation area is based on each country's relevant policy and regulation.
- Some benchmarks require advance mathematic procedure (regression analysis) while other benchmarks use only fundamental calculation.

Case studies	Advantage	Limitation
NREL x Energy Star	- Already in used - Measurement & Methodology available	- The study is restricted to restaurant - Need regression analysis
UK DEC	- Simplified calculation - Already in used	- Standard parameters are based on British regulation.
REALpac	- Simplified calculation - Fine-tuning independent parameters - Designed to facilitate for building operator to do self-input information. - Already in used	- Intentionally designed for office benchmarking - No definition of non-air-conditioned space

3. Recommendation on SEC for Commercial Buildings in Thailand

Energy development plan requires energy consumption in commercial sector to be reduced accordingly within the time frame. It is a challenge to establish milestone for building to achieve energy efficiency target in each level. The standardized SEC can be used for comparing building performance. The purpose of setting specific energy standard has two requirements

- To reflect and comply with national energy efficiency target.
- To be adopted and used by any commercial building with standardize measurement methods and result presentation.

Energy use intensity is widely used as indicator and internationally recognized. However, energy use intensity itself cannot be compared nor reflect actual building performance and efficiency. Energy use intensity is a quantitative interpretation of how much energy is used in the area. The area is a boundary which contains energy consuming activity. Energy efficiency can be determined by the amount of energy use in specific activity. Since each building has diverse activity and function, it is unable to compare energy consumption in the building. Nevertheless, energy consumption can be used to compare by defining measurement methods and information interpretation, this energy consuming result is able to compare. This process is called "Normalization".

3.1 Eligible Building

1. The building must be legally developed.
2. The building's structure, envelope and internal environment system must be constructed in full compliance with Thailand's building control act.
3. The Building must be occupied by at least 75% of total area and the building must be operated for at least 1 year.

3.2 The concept of normalization

The concept of normalization being used in this method is to reduce the advantages/disadvantages of each building parameter that effect energy use in the building. Unlike the completely new calculation, where the SEC is calculated by the summation of each energy-use parameter, this normalization method is based on actual value of measured SEC, then normalization factors is used to reduce/increase initial value of SEC. Thus the result from this method is directly comparable to baseline of energy use in the building which only relies upon area of the building.

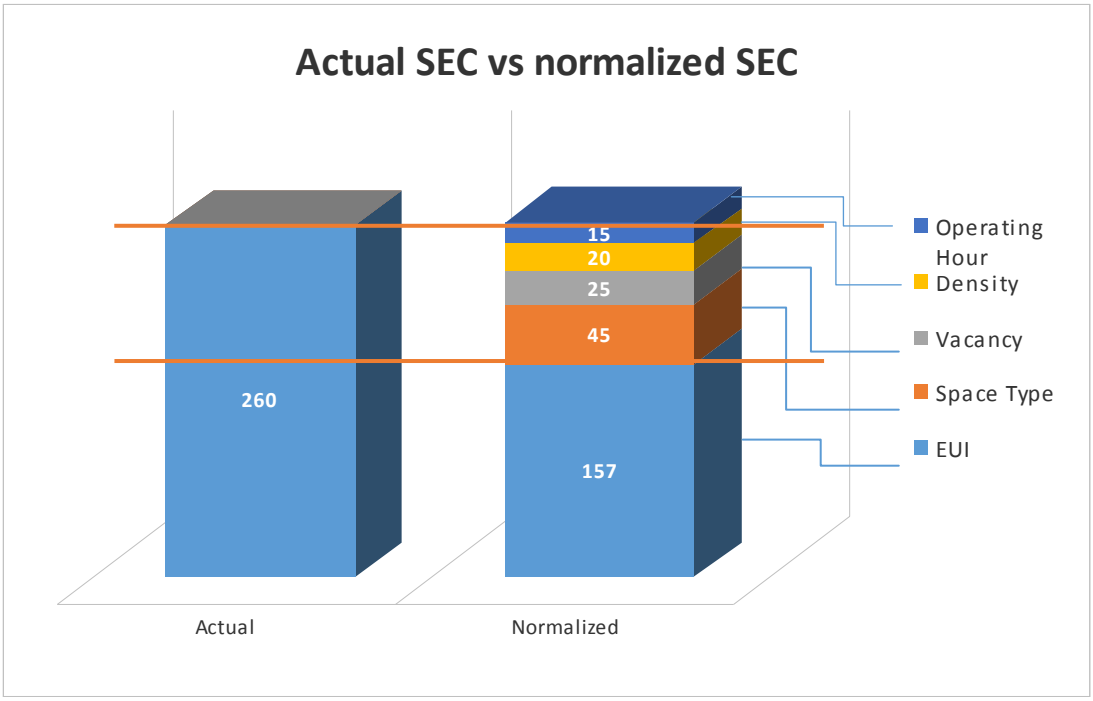


Figure C2-2.9: Comparison of actual SEC and normalized SEC

3.3 Normalization Process and Normalization Equation

Normalization is a process for balancing specific energy consumption by adjusting energy consumption that affected from related factors via the calculation process. The actual energy consumption is normalized to eliminate the unfairness in energy consumption in the building.

In the process of normalization, it is essential to design rational methodology which is used in information computation. The process should leverage energy used in different manners to be in a comparable form.

3.3.1 Normalization Equation

Normalized Specific Energy Consumption or Final Specific Energy Consumption can be calculated through this equation:

$$SEC_{Normalized} = (SEC_{actual} - \text{Total Space Type Adjustment}) \times N_{vacancy} \times N_{occupant} \times N_{operating}$$

Where:

$N_{vacancy}$ = Annual Vacancy factor
$N_{occupant}$ = Occupancy density factor
$N_{operating}$ = Operating hour factor

There are 4 significant normalization factors which will be considered to calculate the final specific energy consumption or normalized specific energy consumption. The 4 normalization factors are;

1. **Space Type Adjustment:** The area of the building where energy is used by normal and specific system such as data centre area. It is necessary to adjust energy intensity of this area by excluding specific energy use of specific system or equipment in this area.

   Space Type Adjustment equation;

   $= (SEC_{specific\ space} - SEC_{building\ (lighting\ \&\ plug\ load)})$ x Specific Space Area/Total Area

2. **Vacancy Factor:** The variation of vacancy rate can affect to energy consumption of the building. The building with high vacancy rate will cause the absence of energy use intensity per floor area. This amount of energy is to be added up.

   Vacancy Factor equation;

$$Vacancy\ Factor = \frac{1}{1 - (\%Vacancy \times \%Energy\ \ Effect(V))}$$

   Where :
   % Vacancy = % Vacancy of the building
   % Energy Effect (V) = Effect of vacancy variation to actual energy consumption

3. **Occupancy Density Factor:** The variation of occupancy density can affect to energy consumption of the building. Building with higher occupant density will greatly result in higher energy use. The building is needed to be compared with the same density.

   Occupancy Density Factor equation;

$$Occupant\ Density\ Factor = \frac{1}{1 - \%Energy\ \ Effect(O)(1 - Density\ Ratio)}$$

   Where

Density Ration = Actual density/Base density
% Energy Effect (O) = Effect of occupancy density variation to actual energy consumption

4. **Operating Hour Factor:** The variation of operation hours can significantly affect to energy consumption of the building. The building with longer operating hour will has higher energy consumption.

Operating Hour Factor equation

$$Operating\ Hour\ Factor = \frac{1}{1 + (Operating\ Hour\ Ratio \times \%Energy\ Effect(H))}$$

Where
Operating Hour Ratio = (Actual Operating Hour – Base Operating Hour)/Base Operation Hour
% Energy Effect (H) = Effect of operating hour variation to actual energy consumption

The normalization process is needed to compare building by base space type, base vacancy rate, base occupancy density and base operation hour.

3.3.2 Calculation of % Energy Effect for Normalization Factors

To calculate the normalized specific energy consumption, we need to firstly calculate normalization factors. In the equation of normalization factors, there is a parameter called "% Energy Effect". This parameter indicated the percentage that each factor affects to overall specific energy consumption of the building. % Energy Effect of each factor to each energy consumption system in the building should be analyzed.

Table C1.8-1 shows energy consumption required with a response to variation of normalization factor. For example, increasing in occupant density will affect only 10% on air conditioning (A/C) and lighting system. Because air conditioning and lighting load are much determined in building design process, such as lighting power density is designed proportional to the area and it won't increase much relate to occupants in the area. However, increasing number of building user (in case of office building, it means increasing number of employee) is much related to energy consumption from the plug load. Typically, the office will provide a computer for each employee. Therefore, the energy use in this system is more likely to have significant effect.

Table C1.8-1 : The effect of normalization factors to energy consumption of each system in office building.

	% of energy consumption affected by normalization factors					
	A/C	Lighting	Elevator	Pump	Computer	Office Equipment
Vacancy	75%	90%	50%	0%	100%	100%
Occupant Density	10%	10%	0%	0%	100%	50%
Operating Hour	75%	90%	50%	0%	100%	100%

After knowing the % of energy consumption affected by normalization factors to each system in the building, then, % Energy Effect of each normalization factor to whole energy consumption of the building can be calculated as follows;

Thailand Model Energy Breakdown								
Office Building Type (2)	Base Electricity Consumption (ekWh/m^2)						Total Energy (1)	
	A/C	Lighting	Elevator	Pump	Computer	Office Equipment		
Office	48.33%	11.80%	1.21%	0.43%	34.60%	3.63%	100%	
	125.26	30.58	3.14	1.11	89.68	9.41	259.18 (3)	
Normalization							ekWh/m^2	%
Vacancy	75%	90%	50%	0%	100%	100%	222.13	85.70%
Occupant Density	10%	10%	0%	0%	100%	50%	109.97	42.43% (5)
Operating Hour	75%	90%	50%	0%	100%	100%	222.13 (4)	85.70%

1. Energy breakdown in percentage.
2. Specific Energy Consumption in each system regarding total Specific Energy Consumption of the building
3. Actual Specific Energy Consumption.
4. Effect of normalization factors to energy consumption of each system in the building.
5. **% Base Energy of each normalization factor.**

Figure C2-2.10 : Calculation of % Base Energy for Normalization Factors

According to Figure C2-2.10, the first section is the energy breakdown model of the building. The energy breakdown of each building can be analysed by conducting actual measurement or referring to the building with similar operation.

The second section is a specific energy consumption of each system according to energy breakdown portion. The third section (last column) is the actual specific energy consumption of the building.

The forth section indicated the effect of normalization factors variation to energy consumption of each system in the building. The fifth section is the percentage of energy effect due to variation of normalization factors to energy consumption of the whole building.

3.3.3 Base Parameters and Information

The following parameters and information are required for calculation analysis of specific energy consumption and normalization process.

1. **Energy Use (kWh)**
   Energy use for the building is total annual energy consumption of the building. Annual energy consumption can be obtain from

   1.1 Electricity bills: Electricity bill provide by MEA or PEA which will report monthly energy consumption of the facilities within the meter. The amount of monthly energy consumption must be summed up in to annual energy consumption. Generally, the date report in the bill is not stared from the first date of the month and end with the last date. It is the operator responsibility to do the correction in annual energy consumption to report the total energy consumption of 365 days.

1.2 Otherwise, if energy bill for the building is not available or the building shares meter with other building within the facilities. The building can use electricity consumption information from individual sub-metered electricity meter.

2. Total Area (m^2)

2.1 Total Area is a measuring of total building area within single electricity meter, including parking space and non-air conditioned area.

2.2 The area must be enclosed and mainly being used accordingly to specific building purpose.

3. Vacancy Rate (%)

Vacancy Rate is the percentage of unused space in the building of reported total gross floor area.

3.1 In the case that building has regularly change in rental contract in a year, vacancy rate could be determined by using the bar at 75% of the year that the area is occupied.

3.2 The ratio in the ration of unused space divided by gross floor area.

4 Occupant Density

Occupant Density refers to the number of permanent occupants in the building.

4.1 The number of occupant should determine from credible source such as total registered employee in the office, staff in the hospital and the number of student enrolled to class in each year.

4.2 In each different building type, it can be interpreted into different manners.

4.2.1 Office: Number of permanent employee
4.2.2 Department Store: retail staff
4.2.3 Supermarket: cash cheer, warehouse employee
4.2.4 Hotel: reception, restaurant staff, halls
4.2.5 Condominium: registered house hold resident in the building
4.2.6 Hospital: Number of doctor, nurse
4.2.7 School: teacher, student, facility staff

Note that for Department Store, Supermarket, Hotel and Hospital are using number of permanent of the employee and neglecting the number of irregular customer. The number of employee in the building is not being used directly to calculate energy consumption directly. One must be realized that vacancy is used to adjust the density of people in the area. In many cases, the number of employee proportionally reflects the number of visitor/services in the building because the effect of visitor is hardly to determine in many cases.

- **Base Occupant Density**

  By realizing that building occupant density is varied by building type, base building density value in this normalization refer to the default values of occupant density in ASHRAE 62.1 minimum ventilation rate.

Building Types:	Occupant Density (#/100m^2)
Office Building	5
Department Store	40
Supermarket	8

Hotel	10
Condominium	10
Hospital	10
School	35

Reference: Occupant density in occupied area, ASHRAE 62.1

5. **Operating Hour (hours)**

Operating Hour is the number of hour in the year that the building is being used regularly. This number is not open-close time of the building but a normal operation hour of the building.

5.1 For each type of building, the base value is assumed as follows;

5.1.1 Office Building: The normal working hour for employee at the office. In case of rental office building, the normal working hour of 75% of tenant will be used.

5.1.2 Department Store: Total annual opening hour as announced.

5.1.3 Supermarket: Total annual opening hour as announced.

5.1.4 Hotel: 24/7 (8,760 hrs).

5.1.5 Condominium: 24/7 (8,760 hrs).

5.1.6 Hospital: 24/7 (8,760 hrs).

5.1.7 School: Annual operating class period, including summer school opening.

- **Base Operating Hour**

  Operating hour in each building type is different. For buildings which have normal operating hour, annual base operation hour of 2,876 will be used. For constantly operated building, an operating hour of 8,760 will be used.

6. Parking Space (m^2)

6.1 If the parking space has installed with separated electricity meter, the parking space must be treated as individual building.

6.2 If parking space and building space use the same electricity meter, the operator must enter the area of parking space in the provided area.

7. Non-Air Conditioned Area

7.1 If non-air conditioned area has been installed with separated electricity meter and the area is separable, this area are suggested to be excluded from the process.

7.2 If the area is embedded within the building, the area should be included in total area. This area refers to hallway, mid-building open space and area with natural ventilation.

8. High Intensity or Exceptional Energy Use

High Intensity Area and Exceptional Energy Use Area is an area within Gross Floor Area where the energy use profile is different from the main proposes of the building.

8.1 These areas are referred to

- Data Centre
- Retail
- Call Centre
- Other
- Enclosed Parking
- Non-Air Conditioned Space

If separate meter is not available and the energy consumption data in these are unavailable, the operator is required to estimate the energy consumption in the particular area.

8.2 The area (m^2) of the eligible area should be entered here.

8.3 The eligible area should be sub-metered for electricity use. The method of recording energy could adopt the same principle as total building energy consumption.

9. Model Energy Breakdown

The percentage variance in energy breakdown is customized to suit with building energy profile in each building categories.

3.4 Specific Energy Consumption Calculation & Methodology

In this section, the factors which cause diversity in building energy consumption will be determined. The determination will be based on actual operational circumstance. Since the result is reported in energy use per unit of area, the factors studied in this section will be analysed within the boundary of building area.

Main Parameter Measurements

The main parameters refer to floor area and energy consumption as it is used to represent building performance. The measurement method is important in the process of information input. It is necessary for building owner and operator to understand the measurement method of the parameters for correctness of the information.

Energy Consumption

Typically, building energy consumption is noticed by energy billing at the end of each month. Through there are many simulation programme that could perform energy use in the building for the whole year, the real energy use is preferred because it contain energy demand from others source that is not included in simulation. The objective of this evaluation is aiming for operational-based assessment, not by design-based.

The value used in calculation can be obtained from the sum of energy use in the building within a year (i.e. energy billing). The variation of energy demand in each year is not to be concerned in this benchmark since the objective of this evaluation is to evaluate building performance which will lead for better improvement.

Area

Area is another crucial parameter in specific energy consumption. In this case, calculated area may refer to building floor area. Although an area can be obviously observed, it requires an effort to justify floor area according to energy using criteria. Sub-metering for energy usage is also important in irregular space.

Floor Area Measurement

Generally, building floor area information is provided in project proposal, design and construction plan or sale and leasing process. However, floor area being used for calculation should base on energy consumption profile.

In some case, floor area is measured for air-conditioning area due to the dominant of air-conditioning energy usage in the building. However, the criteria should account all energy consumption areas. Modern passive building design contains significant natural ventilation space. These areas may contain significant energy usage such as lighting equipment or plug load. Another debatable area is parking space. Building in Thailand usually consists of considerable large area for parking space to facilitate intensively driving tenants. Therefore, energy consumption in this area should be included but can be normalized for its irregular energy profile.

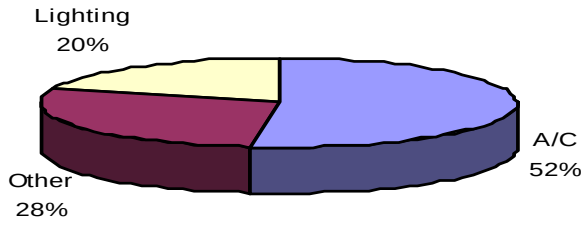


Figure C2-2.11 : Energy consumption in Commercial Building (DEDE)

The other criteria which can be used for floor area determination may refer to total indoor area, energy consumable area, utilize area, or sellable area.

3.5 Example of Specific Energy Consumption Calculation and Analysis

This example will explain method's process using in the calculation of Specific Energy Consumption.

3.5.1 Basic information of the building

In this example, the building is commissioned as office building. The building includes of parking area and non-air conditioned space are metered within single electricity meter. The building has vacancy rate at 5%. The occupant density is higher than the base level at 5.35 persons per 100 square meters and has annual operating hour of 3,000 hours. The energy use, total area, vacancy rate, occupant density and operating hour information have to be collected and reported according to the guideline. In exceptional energy use area, the building must be able to identify the area and energy consumption from sub-meter. The basic information of example building is provided in figure C2-2.12.

Building Type : Office Building Year of Operation : 5 Years		
	Value	**Unit**
Energy Use	5,500,000	kWh
Total Area	20,000	m^2
Vacancy Rate	5%	%
Occupant Density	5.35	pp/100m^2
Operating Hour	2,850	hrs
Parking Space	1000	m^2
Non-air conditioned space	1000	m^2
Space Type	**Area (m2)**	**Annual Consumption (kWh)**
Data Centre	500	138,000
Retail	800	150,000
Call Centre	650	112,000
Other	0	0
Enclosed Parking	2,000	56,064
Non-air conditioned area	1,000	75,000

Figure C2-2.12 : The list of basic information for example building.

1.5.2 Calculation of Actual SEC

The actual SEC is a report of measured energy consumption divided by qualified space. The qualified space is expressed as Gross Floor Area (GFA). The GFA is the total area of the building subtracted by parking space and non-air conditioned space.

Gross Floor Area = Total Area – Parking Space – Non air conditioned Space

Gross Floor Area = 20,000 – 1000 – 1000 = 18,000 m^2

Then, the actual SEC will be calculated from the proportion between energy use and gross floor area

$$SEC_{actual} = \frac{Annual\ Energy\ Consumption}{Gross\ Floor\ Area}$$

$$SEC_{actual} = \frac{5{,}500{,}000}{18{,}000}$$

$$SEC_{actual} = 305.56\ kWh/m^2$$

Therefore, the actual specific energy consumption of the building is 305.56 kWh/m^2. This value will be used in the final equation of finding normalized energy consumption.

1.5.3 Calculation of Normalized SEC

To calculate normalized SEC, we need to identify and calculate the normalization factors and space type adjustment.

To proceed normalization factors calculation, the energy breakdown model is introduced as basic energy information for further calculation process. The percentage of energy variation in each building system is built in accordance with the building type. The actual specific energy consumption of 305.56 kWh/m^2 is allocated into each system as shown in figure C2-2.13.

Office Building Type	Base Electricity Consumption (ekWh/m^2)						Total Energy	
	A/C	Lighting	Elevator	Pump	Computer	Office Equipment		
Office	50.48%	24.87%	1.50%	0.45%	9.36%	13.34%	100%	
	154.26	75.98	4.58	1.38	28.61	40.75	305.56	
Percentage of Energy Use Variation							ekWh/m^2	%
Vacancy	70%	90%	50%	80%	100%	100%	249.11	81.53%
Occupant Density	15%	10%	30%	35%	100%	50%	81.58	26.70%
Operating Hour	75%	90%	50%	80%	100%	100%	256.83	84.05%

Figure C2-2.13 : Energy Breakdown Model of the example case.

3.5.3.1 Calculation of Space Type Adjustment

This process will adjust the excessive energy use in particular area to match with normal energy consumption of office building. The building has to report their exceptional energy use area as shown in figure C2-2.14 below.

Space Type		Area (m^2)		Annual Consumption (kWh)		Individual Space Type kWh/m^2	Total Building Adjustment (kWh/m^2)
Data Centre		500		138000		276	3.6
Retail		800		150000		187.5	1.9
Call Centre		650		112000		172.30769	0.97
Other		0		0		0	0.00
Enclosed Parking		2000		56064		28.032	3.11
Unairconditioned space		1000		75000		75	4.17
Sum: GFA		18,000			**Total Adjustment**		9.59

Figure C2-2.14 : Information of space type normalization.

For Data Center, Retail and Call Center, the present of intensively energy use will be replaced by normal office energy use, in this case is lighting and plug load. The base lighting and plug load values are referring to energy use in the breakdown model.

For example, the adjustment of Data Center area can be calculated as follows;

$$\text{Data Center Adjustment} = (SEC_{datacenter} - SEC_{lighting\&plugload}) \times \frac{Datacenter\ Area}{Total\ Area}$$

$$\text{Data Center Adjustment} = (276 - 145.34) \times \frac{500}{18,000} = 3.6\ kWh/m^2$$

Where:
$SEC_{datacenter}$ is measured by sub-meter and reported as 276 kWh/m^2
$SEC_{lighting\&plugload}$ is calculated from energy breakdown model (lighting+computer+office equipment) = 145.34 kWh/m^2

For parking space and non-air conditioned area will employ another method of energy adjustment. The energy use in this area will be excluded from total energy consumption of the building because this area is normally not used as office space function. The calculation will divide the total energy consumption for the space type by the gross floor area of the building to get appropriate adjustment value.

For example, the adjustment of Parking Space area can be calculated as follows:

$$\text{Parking Space } Adjustment = \frac{\text{Parking Area Energy Consumption}}{\text{Gross Floor Area}}$$

$$\text{Parking Space } Adjustment = \frac{56{,}064}{18{,}000} = 3.11 \text{ kWh/m}^2$$

Finally, all space-type adjustments are summed into total adjustment value.

Space Type	Total Space Type Adjustment
Data Center	3.6
Retail	1.9
Call Center	0.97
Parking Space	3.11
Non-air conditioned Space	4.17

3.5.3.2 Vacancy Factor

The calculation of this factor is meant to compensate the absence of energy consumption in vacant space. The calculation is a proportional of vacancy rate and base electricity consumption from energy breakdown model.

$$Vacancy\ Factor = \frac{1}{1 - (\%Vacancy \times \%Enegy\ \ Effect(V))}$$

$$Vacancy\ Factor = \frac{1}{1 - (0.05 \times 0.8153)}$$

$$Vacancy\ Factor = 1.042$$

Where:
- The %Vacancy is reported directly from the provided information as a percentage (5%)

- %Energy Effect (V) comes from the summary of energy contribution in the breakdown model in Figure C2-2.13

3.5.3.3 Occupancy density Factor

The occupant density factor is aim to reduce the disadvantage of high number of occupants in the building, resulted in higher actual energy intensity.

$$Occupant\ Density\ Factor = \frac{1}{1 - \%Energy\ \ Effect(O) \times (1 - Density\ Ratio)}$$

$$Occupant\ Density\ Factor = \frac{1}{1 - 0.26 \times (1 - 1.042)}$$

$$Occupant\ Density\ Factor = 0.989$$

Where:

- The density ratio is calculated from reported density (5.35 pp/m^2) to base density value (5 pp/m^2) = 5.35/5 = 1.042
- %Energy Effect (V) comes from the summary of energy contribution in the breakdown model in Figure C2-2.13

3.5.3.4 Operating Hour Factor

This factor will be normalized for the building with longer operating hour than based value. The proportion between actual operating hour and based operating hour will result in operating hour ratio. The factor can be calculated from the effect of operating hour variation to actual energy consumption multiply by operating hour ratio.

$$Operating\ Hour\ Factor = \frac{1}{1 + (Operating\ Hour\ Ratio \times \%Energy\ \ Effect(H))}$$

$$Operating\ Hour\ Factor = \frac{1}{1 + (0.218\ \times 0.8405)}$$

$$Operating\ Hour\ Factor = 0.845$$

Where:

- The operating hour ratio is calculated from the differentiate of actual operating hour (2,850 hrs) to base operating hour (2,340 hrs) = (2,850 – 2,340)/2,340 = 0.218
- %Energy Effect (V) comes from the summary of energy contribution in the breakdown model in Figure C2-2.13.

3.5.3.5 Calculation of Normalized SEC

In the final step, the actual SEC will be adjusted by total space type adjustment and multiplied by normalization factors, resulted in normalized SEC.

$$SEC_{Normalized} = (SEC_{actual} - \text{Total Space Type Adjustment}) \times N_{vacancy} \times N_{occupant} \times N_{operating}$$

$$= (305.56 - 9.59) \times 1.042 \times 0.982 \times 0.845$$

$$= (305.56 - 9.59) \times 1.042 \times 0.982 \times 0.845$$

$$= 255.99 \text{ kWh/m}^2$$

Where:
$N_{vacancy}$ = Annual Vacancy factor
$N_{occupant}$ = Occupancy density factor
$N_{operating}$ = Operating hour factor

The actual SEC of this example building (305.56 kWh/m^2) will be normalized to be 255.99 kWh/m^2 at base condition (vacancy rate = 5 %, density rate = 5 person/100 m^2 and operating hours at 2,340 hour/year).

This normalized SEC value is comparable to other office buildings at the same base condition.

C2-3 Activity 2.2.2b: Update the SEC for Commercial Building Sector in Thailand
(Work in Progress and no report progress in this period)

SEC of various building types from Energy Management Report 2012 (Summary of Data Submitted to DEDE)

The summary of results below regarding the SEC in various building types in Thailand from energy management report 2012 of designated buildings submitted to DEDE: (Source: "Final Report" Summary of SECs by Accredited Consultant; data from BERC, DEDE)

1. Hospital Buildings:

Size	QTY	SEC elec. (kWh/bed-day)	SEC thermal. (MJ/bed-day)	SEC total (MJ/bed-day)			
				Max	Min	Avg.	SD
<150 beds	32	407.56	190.41	12,728.04	66.77	1,033.63	2,204.83
150-300 beds	29	338.74	195.81	3,642.25	110.94	748.91	644.85
>300 beds	15	457.94	278.99	4,392.80	286.06	963.45	1,044.48
Total/avg.	**76**	**391.24**	**213.51**	**12,728.04**	**66.77**	**911.13**	**1,544.45**

2. Hotel Buildings:

Size	QTY	SEC elec. (kWh/room-day)	SEC thermal. (MJ/room-day)	SEC total (MJ/room-day)			
				Max	Min	Avg.	SD
<150 rooms	19	1,261.99	10,524.00	147,311.64	140.60	8,995.56	33,551.63
150-500 rooms	151	443.87	647.58	62,466.97	56.85	1,141.31	5,349.48
>500 rooms	31	265.60	120.00	2,765.72	130.37	471.18	482.27
Total/avg.	**201**	**493.71**	**1,407.44**	**147,311.64**	**56.85**	**1,780.40**	**11,328.34**

3. Department Store/Shopping Mall Buildings:

Size	QTY	SEC elec. (kWh/m^2)	SEC thermal. (MJ/m^2)	SEC total (MJ/m^2)			
				Max	Min	Avg.	SD
<10,000 m^2	84	603.07	703.57	4,267.46	440.51	1,401.92	569.43
10,000-50,000 m^2	278	657.81	248.37	2,737.59	211.46	1,141.27	398.53
50,000-100,000 m^2	19	526.43	625.83	1,634.12	353.23	935.64	387.47
>100,000 m^2	24	325.39	480.32	2,369.14	114.72	1,142.38	403.10
Total/avg.	**405**	**493.71**	**312.71**	**4,267.46**	**114.72**	**1,185.75**	**453.41**

4. Educational Buildings:

Size	QTY	SEC elec. (kWh/m^2)	SEC thermal. (MJ/m^2)	SEC total (MJ/m^2)			
				Max	Min	Avg.	SD
<10,000 m^2	8	166.74	-	791.02	122.80	479.26	267.41
10,000-50,000 m^2	19	114.47	2.23	654.97	80.81	251.09	157.10
>50,000 m^2	8	196.33	1,101.03	872.96	174.06	379.18	216.04
Total/avg.	**35**	**145.13**	**734.76**	**872.96**	**80.81**	**332.52**	**216.06**

5. Office Buildings:

Size	QTY	SEC elec. (kWh/m^2)	SEC thermal. (MJ/m^2)	SEC total (MJ/m^2)			
				Max	Min	Avg.	SD
<10,000 m^2	41	900.77	227.24	12,760.30	222.08	3,128.74	3,312.62
10,000-50,000 m^2	137	315.65	443.83	2,511.26	87.85	727.15	404.16
50,000-100,000 m^2	32	319.00	529.18	1,378.58	184.20	691.63	289.46
>100,000 m^2	9	285.46	1.03	845.18	106.30	574.19	243.70
Total/avg.	**219**	**424.44**	**396.30**	**12,760.30**	**87.85**	**1,165.29**	**1,738.54**

6. Others Buildings:

Size	QTY	SEC elec. (kWh/m^2)	SEC thermal. (MJ/m^2)	SEC total (MJ/m^2)			
				Max	Min	Avg.	SD
<10,000 m^2	18	977.23	20,839.07	36,592.76	313.07	4,210.75	8,520.79
10,000-50,000 m^2	38	252.87	203.90	2,652.77	0.93	631.85	588.45
50,000-100,000 m^2	17	104.06	354.99	847.00	70.38	326.82	272.99
100,000-500,000 m^2	22	36.67	89.35	370.47	26.07	112.33	107.11
>500,000 m^2	10	5.37	1.29	30.30	7.86	19.83	7.00
Total/avg.	**105**	**284.08**	**3,511.50**	**36,592.76**	**0.93**	**1,028.85**	**3,764.44**

However, the above SECs should be reviewed to comply with the guidelines for development of SECs and normalization standard.

C2-4 Activity 2.2.3a: Review Existing M&V Scheme for Completed Projects in Thailand (Work in Progress and no report progress in this period)

The M&V scheme of projects subsidized by DEDE are generally applied from IPMVP Option A, B or D where energy conservation measures (ECMs) are suitable for the verified savings.

The measurement and verification (M&V) process shall be incorporated with characteristics of each project. In addition, the scheme shall be able to monitor a sustainability of the project in terms of market penetration, user acceptance, business alignment etc. The following purposes have been analyzed from DEDE's projects implemented M&V scheme:

- **Increase energy savings**
  Accurate determination of energy savings gives facility to owners and managers valuable feedback on their energy conservation measures (ECMs). This feedback helps them adjust ECM design or operations to improve savings, achieve greater persistence of savings over time, and lower variations in savings (Kats et al.1997 and 1999, Haberl et al.1996)

- **Document financial transactions**
  For some projects, the energy efficiency savings are the basis for performance-based financial payments and/or guarantee in a performance contract. A well-defined and implemented M&V Plan can be the basis for documenting performance in a transparent manner and can be subject to independent verification.

- **Enhance financing for efficiency projects**
  A good M&V Plan increases the transparency and credibility of reports on the outcome of energy efficiency investments. It also increases the credibility of projections for the outcome of energy efficiency investments. This credibility can increase the confidence that investors and sponsors have in energy efficiency projects, enhancing their chances of being financed.

- **Improve engineering design and facility operations and maintenance**
  The preparation of a good M&V Plan encourages comprehensive project design by including all M&V costs in the project's economics. Good M&V also helps managers discover and reduce maintenance and operating problems, so they can run facilities more effectively. Good M&V also provides feedback for future project designs.

- **Manage energy budget**
  Even where savings are not planned, M&V techniques help managers evaluate and manage energy usage to account for variances from budgets. M&V techniques are used to adjust for changing facility-operating conditions in order to set proper budgets and account for budget variances.

- **Enhance the value of the emission-reduction credits**
  Accounting for emission reductions provides additional value to efficiency projects. Use of an M&V plan for determining energy savings improves emissions-reduction reports compared to reports with no M&V plan.

- **Support evaluation of regional efficiency programmes**
  Utility or government programmes for managing the usage of an energy supply system can use M&V techniques to evaluate the savings at selected energy user facilities. Using statistical techniques and other assumptions, the savings determined by M&V activities at

selected individual facilities can help predict savings at unmeasured sites in order to report the performance of the entire programme.

- **Increase public understanding of energy management as a public policy tool**
  By improving the credibility of energy management projects, M&V increases public acceptance of the related emission reduction. Such public acceptance encourages investment in energy-efficiency projects or the emission credits they may create. By enhancing savings, good M&V practice highlights the public benefits provided by good energy management, such as improved community health, reduced environmental degradation, and increased employment.

It is envisaged that the future projects shall be designed for all M&V purposes mentioned above including all relevant activities aiming to be in line with the 20 Year Energy Efficiency Development Plan as an indicative tool for the 4 strategic issues : Availability, Accessibility, Acceptability and Accountability.

Monitoring & Verifications (M&V) in Thailand:

The Monitoring and Verification (M&V) protocol previously developed by DEDE, as well as common approaches being adopted by ESCOs and EE consulting firms in Thailand are mainly derived from 2 major international guidelines:

- IPMVP methodologies (Mostly used in energy efficiency projects)
- CDM methodologies (Mostly used in carbon credit projects)

IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol)
Efficiency Valuation Organization (EVO) publishes the International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) to increase investment in energy and water efficiency, demand management and renewable energy projects around the world.

The IPMVP promotes efficiency investments by the following activities:

- ⇒ IPMVP documents common terms and methods to evaluate performance of efficiency projects for buyers, sellers and financiers. Some of these terms and methods may be used in project agreements, though IPMVP does not offer contractual language.
- ⇒ IPMVP provides methods, with different levels of cost and accuracy, for determining savings either for the whole facility or for individual energy conservation measures.
- ⇒ IPMVP specifies the contents of a Measurement and Verification Plan (M&V Plan). This M&V Plan adheres to widely accepted fundamental principles of M&V and should produce verifiable savings reports. A M&V Plan must be developed for each project by a qualified professional (e.g. Certified M&V Professional : CMVP).
- ⇒ IPMVP applies to a wide variety of facilities including existing and new buildings and industrial processes.

Benefits of Using IPMVP

IPMVP's history since 1995 and its international use bring the following benefits to programmes that adhere to IPMVP's guidance.

- ⇒ **Substantiation of payments for performance**. Where financial payments are based on demonstrated energy savings, adherence to IPMVP ensures that *savings* follow good practice. An IPMVP-adherent saving report allows a customer, an energy user or a utility, to readily accept reported performance. Energy Service Company (ESCOs) whose invoices are supported by IPMVP-adherent saving reports, usually receives prompt payments.
- ⇒ **Lower transaction costs in an energy performance contract.** Specification of IPMVP as the basis for designing a project's M&V can simplify the negotiations for an energy performance contract.
- ⇒ **International credibility for energy saving reports,** thereby increasing the value to a buyer of the associated energy savings.
- ⇒ **Enhanced rating under programmes** to encourage or label sustainably designed and/or operated facilities.
- ⇒ **Help national and industry organizations promote and achieve resource efficiency and environmental objectives.** The IPMVP is widely adopted by national and regional government agencies and by industry organizations to help manage their programmes and enhance the credibility of their reported results.

Though the application of IPMVP is unique to each project, certain types of users will have similar methods in their M&V Plans and implementation. The followings are ways to use IPMVP :

- ☐ Energy performance contractors and their building customers
- ☐ Energy users doing their own retrofits and wanting to account for savings
- ☐ Facility managers properly accounting for energy budget variances
- ☐ New building designers
- ☐ New building designers seeking recognition for the sustainability of their designs
- ☐ Existing building managers seeking recognition for the environmental and quality of their building operations
- ☐ Emission reduction trading programme designers
- ☐ Energy user's seeking ISO 50001 certification
- ☐ Etc.

IPMVP Option

IPMVP Option A & B (Retrofit Isolation) :

If the purpose of reporting is to help manage only the equipment affected by the savings programme, *a measurement boundary* should be drawn around that equipment. Then all significant energy requirements of the equipment within the boundary can be determined. This approach is used as the *Retrofit Isolation Options* which categorized into :

- Option A : Retrofit Isolation (Key Parameter Measurement)
- Option B : Retrofit Isolation (All Parameter Measurement)

IPMVP Option C (Whole Facility) :
If the purpose of reporting is to help manage total *facility energy performance* , the meters measuring the supply of energy to the total facility can be used to assess performance and savings, The measurement boundary in this case encompasses the *whole facility*.

IPMVP Option D (Calibrated Simulation) :
If a baseline or reporting period data is unreliable or unavailable, energy data from a *calibrated simulation programme* can take the place of the missing data, for either part or all of the facility. The measurement boundary can be drawn accordingly.

The M&V scheme of projects subsidized by DEDE are generally applied IPMVP Option A ,B or D where energy conservation measures (ECMs) are suitable for the verified savings.

List of Major Implemented Project in Thailand having M&V process:

1. ESCO Revolving Fund by DEDE
2. Tax-incentive (Performance-based) by DEDE
3. Advanced Technologies Demonstration Project (Phase I & II) by DEDE
4. Demand Side Management by Bidding Mechanism (DSM Bidding) by EPPO
5. BEAT 2010 by EPPO

1. ESCO Revolving Fund

DEDE launches the programme by using ENCON Fund for motivating the energy efficiency and renewable energy business in Thailand. The project appoints 2 fund managers: E for E (Energy for Environment Foundation) and ECFT (Energy Conservation Foundation of Thailand) to provide the technical assistance & financing scheme for entrepreneurs from industrial sectors and ESCOs in energy efficiency and renewable energy projects.

M&V Scheme :

Measurement & verification (M&V) is the key importance specifically in developing and determining viable energy efficiency or renewable energy projects e.g.

- Equity investment
- Carbon credit facility
- Technical assistance

Therefore, the M&V of this project is considerably applied for operational verification & saving verification. In general, IPMVP option A or B is applied.

2. Tax-incentive (Performance-based) programme

M&V Scheme :

Measurement & verification (M&V) is the key importance specifically in determining tax-incentive calculation :

- Tax deduction = Cost savings x %tax rate (30%,25%,15%)

The M&V of this project is saving verification. In general, IPMVP option A is applied.

3. Advanced Technologies Demonstration Project (Phase I&II)

M&V Scheme :

Measurement & verification (M&V) is the key importance specifically in determining energy saving calculation:

- Saving = Baseline – Post Audit

The M&V of this project is operational verification & saving verification. IPMVP option A is applied.

4. Demand Side Management by Bidding Mechanism (DSM Bidding)

M&V Scheme :

Measurement & verification (M&V) is the key importance specifically in determining the calculation on energy price for bidding :

The M&V of this project is operational verification & Saving verification. IPMVP option A is applied.

5. BEAT 2010 (Building Energy Awards of Thailand 2010)

M&V Scheme :

Measurement & verification (M&V) is the key importance specifically in determining energy efficiency index after implementing projects

The M&V of this project are both operational verification and saving verification. In general, IPMVP option A, B and C is applied.

3.4 Component 3 (C-3) :

% Completed Works: Previous Period = 0.00%, this period = 0.02%: Total = 0.02%,

C3-1 Activity 3.2.1.1: Documentation of results of the demonstration projects

Completed works in this period (Progress Report No.5 (Q2/2014))

BMC organized an initial survey on three candidate sites in SAMUI Island namely, 1) Inter Continental Hotel SAMUI Island, 2) SAMUI Paradise Chaweng Beach Resort and 3) Chaweng Garden Beach Resort. The initial survey result has been analysed together with survey results of 6 existing candidate sites from the previous phase of the project. Currently, seven sites have been selected to participate as PEECB Demonstration sites as follows;

1. Samrong General Hospital
2. Provincial Electricity Authority, PEA – Office Building
3. Centara Hotel & Resort
4. Katina Hotel
5. TESCO Lotus
6. Ake Chon Hospital
7. Chaweng Garden Beach Resort, SAMUI Island

4. Expected Outputs for the Next Period

Expected outputs for **Progress Report No. 6** which is planned to submit to DEDE by **September 2014** will consist of following work progress.

Project Management (PM)

PM-1 Project Management and Coordinating Activities

Component 1 (C-1)

C1-1 Activity 1.1.1b: Design & Development of CBEEC
C1-2 Activity 1.2.1a: Design Effective Promotional Scheme
C1-3 Activity 1.3.2a: Selection and Modification of BESM
C1-4 Activity 1.4.2a: Design of Technical Training Course
C1-5 Activity 1.5a: Design of Non-Technical Training Course

Component 2 (C-2)

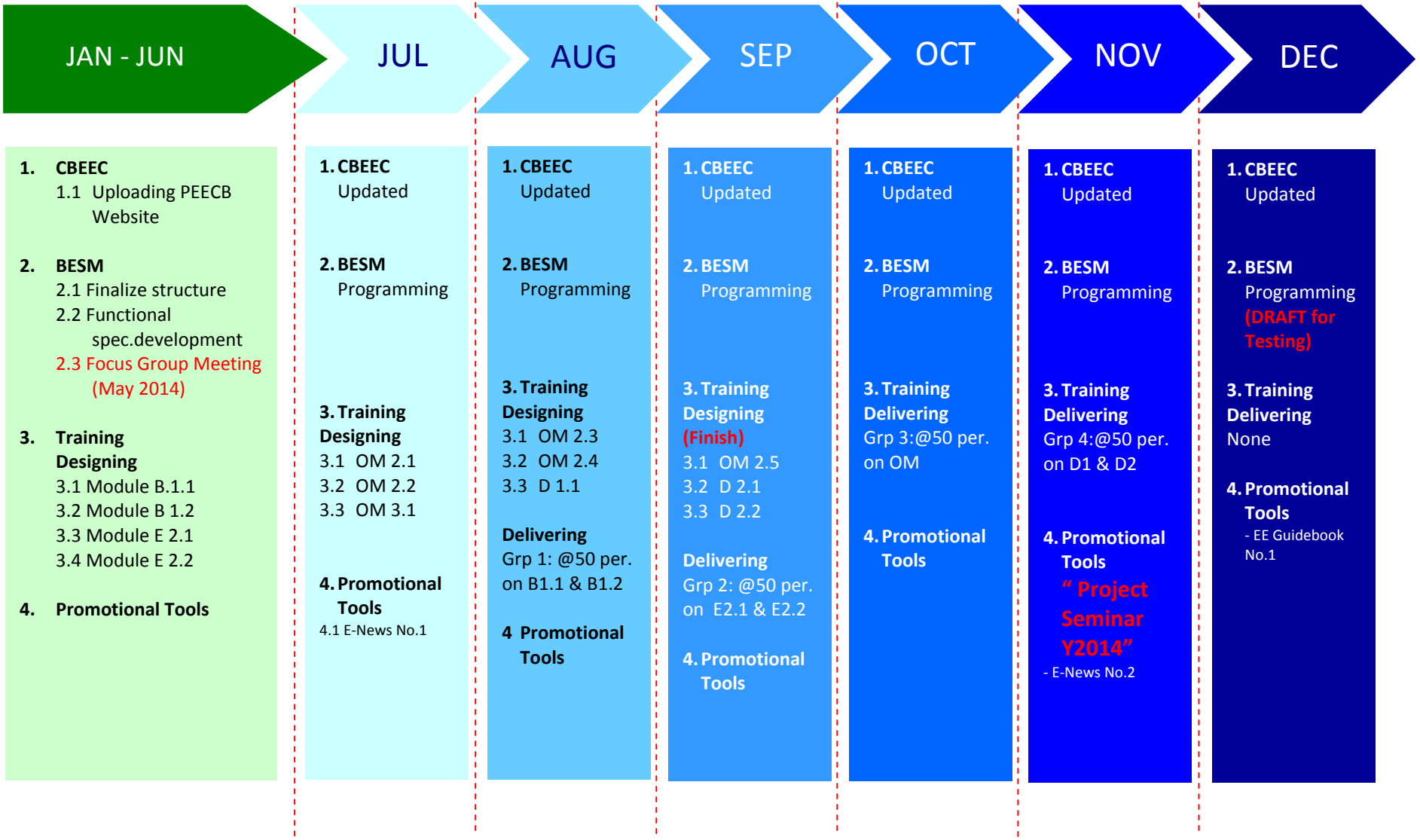
C2-1 Activity 2.2.1a: Review of BEC software database
C2-2 Activity 2.2.2a: Review the Existing Specific Energy Consumption Index (SEC)

Component 3 (C-3)

C3-1 Activity 3.2.1.1: Documentation of results of the demonstration project

Expected outputs in each period of Y2014 can be shown in following chart;

Activities Plan for Y2014 : PEECB Project



(TOR4.9) Task 9: The Consultant shall submit the Progress Reports and other required reports within the project timeframe.

Table 4-1 Submission status of Progress Reports and other required reports up to Q2/2014

No.	Type of Report	Submission Period	Submission Status
Submitted to DEDE			
1	Inception Report	July 2013	Completed
2	Progress Report #1	August 2013	Completed
3	Progress Report #2	November 2013	Completed
4	Progress Report #3	December 2013	Completed
5	Progress Report #4	March 2014	Completed
6	Progress Report #5	June 2014	Submitting
Submitted to UNDP			
1	Inception Report	August 2013	Completed
2	Quarterly Operational Report (QOR) and Quarterly Progress Report (QPR) for Q3/2013	October 2013	Completed
3.	FACE Sheet Report for Q3/2013	October 2013	Completed
4.	Quarterly Operational Report (QOR) and Quarterly Progress Report (QPR) for Q4/2013	January 2014	Completed
5.	FACE Sheet Report for Q4/2013	January 2014	Completed
6.	Quarterly Operational Report (QOR) and Quarterly Progress Report (QPR) for Q1/2014	April 2014	Completed
7.	FACE Sheet Report for Q1/2014	April 2014	Completed

(TOR4.10) Task 10: Review and provide recommendation on the reports submitted by the second contract consultant.

Table 4-2 Submission status of reports of the second contract consultant (ENSOP) up to Q2/2014

No.	Type of Report	Submission Period	Submission Status
Submitted to DEDE			
1	Inception Report	September 2013	Completed
2	Progress Report #1	December 2013	Completed
3	Progress Report #2	March 2014	Completed
4	Progress Report #3	May 2014	Submitting

Recommendation: General

1. The development of the work for component 2 and 3 being responsible by ENSOP should comply with and support to the Energy Efficiency Development Plan (EEDP 20Y. Guidelines on the development steps have been recommended as shown in Figure 4-1.

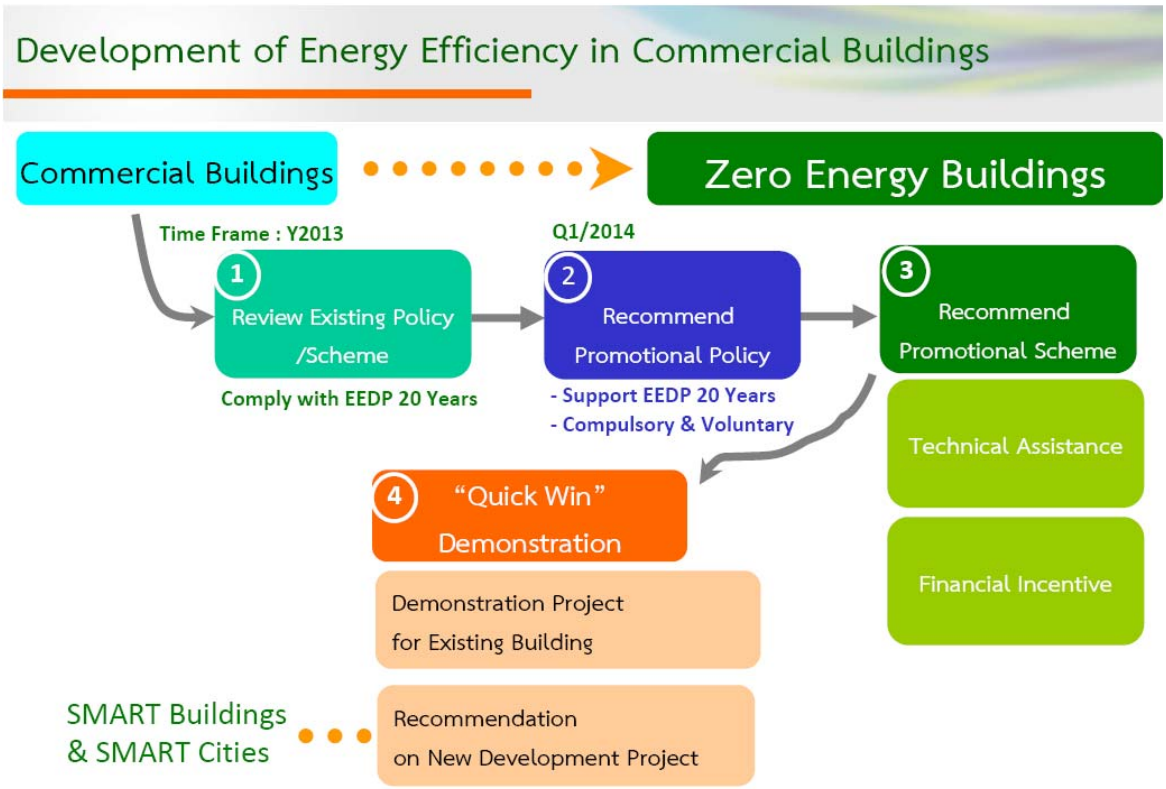


Figure 4-1 : Guidelines on the development steps to move forward to Zero Energy Buildings

2. Clear working timeframe of each sub-activity should be provided in order to communicate with related stakeholders and be able to track the progress of the project.

2. Recommendation on the progress report no.3 submitted by ENSOP

2.1 Policy Framework:

2.1.1 Specific target on policy development should be precisely identified as short, medium and long term target according to the project timeframe.

2.1.2 Reviewing of Thailand's Policy on "Energy Audit and Reporting System" should include "Thai Energy Management Standard". (ระบบการจัดการพลังงาน)

2.1.3 The recommendation on the improvement of policy framework should be complied and related to the results from SWOT analysis.

2.1.4 The recommendation on "Leadership Program" should also include the target setting for each specific building type. Road map to improve energy efficiency for each specific building type should also be considered. Development of target and road map should also be promoted and disseminated to all target groups for their development guidelines.

2.2 Database of building materials and energy efficient equipment

2.2.1 Preparation of database of building materials and energy efficient equipment should comply with the BESM requirement.

2.2.2 Updated of building materials and energy efficient should be proposed.

2.3 Specific Energy Consumption, SEC

2.3.1 Data collection and survey plan for each specific building type should be clearly prepared and proposed to the project committee for consideration

2.4 Demonstration Sites

2.4.1 Guidelines or manual for the demonstration project of component 3 should be urgently developed.

Study of Green Building Policies and Best Practice Buildings In Japan

April 30th, 2014

NSRI 日建設計総合研究所
NIKKEN SEKKEI Research Institute

nikken.jp NIKKEN SEKKEI
planners | architects | engineers

Agenda

1. Green Building Policies in Japan
   - 1.1 Building Energy Efficiency Polices in Japan
   - 1.2 Green Building Initiatives by Local Governments

2. Building Performance Assessment Tools
   - 2.1 Building Energy Simulation Tools
   - 2.2 Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (CASBEE)

3. Best Practice Buildings in Japan
   - 3.1 Low Energy and Low Carbon Buildings
   - 3.2 District Heating and Cooling System with Advanced Energy Management
   - 3.3 Urban Heat Island Mitigation
   - 3.4 Smart Cities

** Proposed Zero Energy Building (ZEB) Model

** BESM program proposed by BMC - discussions

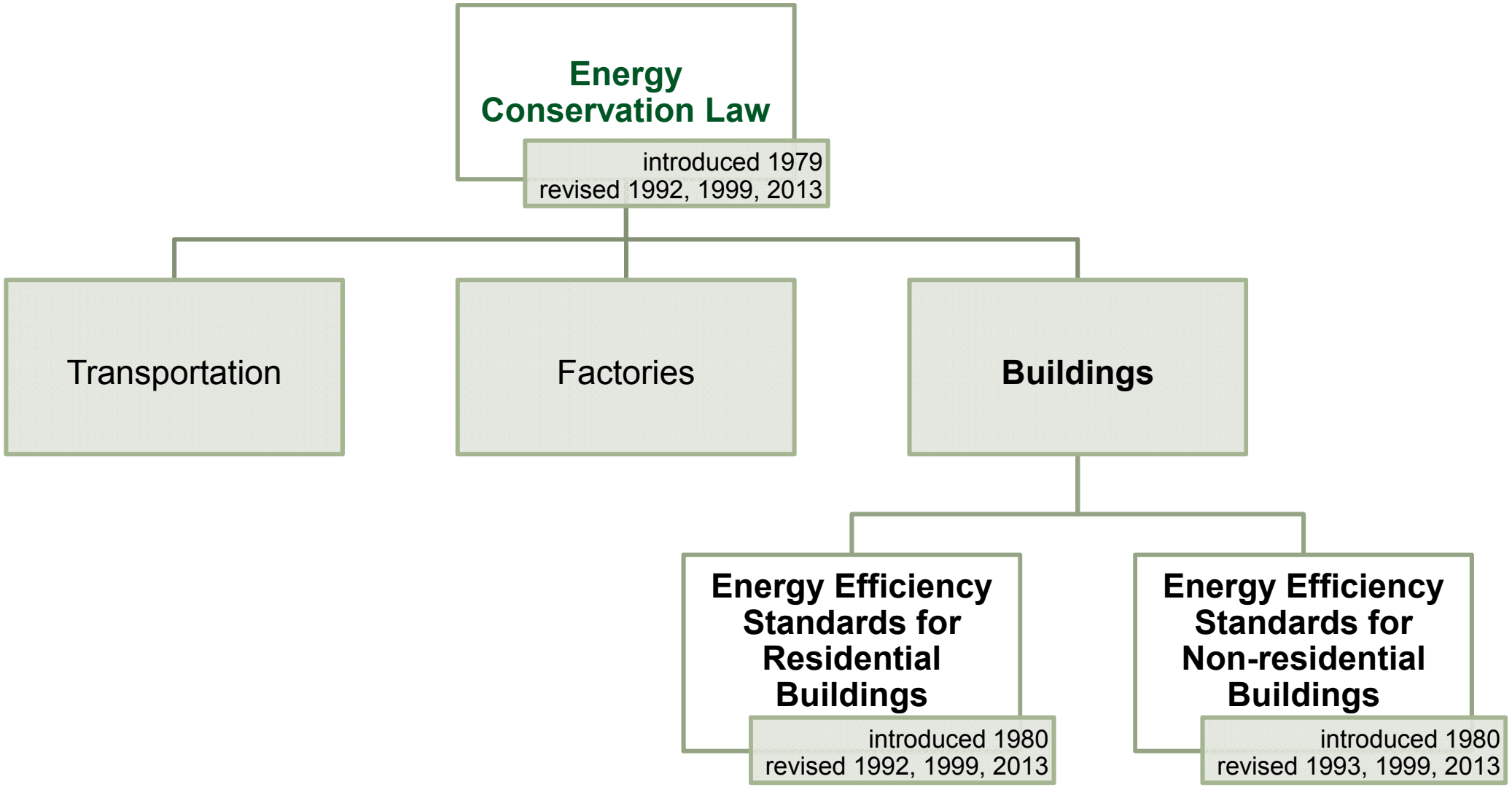
Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

1. Green Building Policies in Japan

1.1 Building Energy Efficiency Polices in Japan

1.2 Green Building Initiatives by Local Governments

Building Energy Efficiency Polices in Japan



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Energy Conservation Law (1)

- introduced in 1979; revised in 1992, 1999 and 2013.
- outlines energy measures for factories, housing/buildings, equipment and transportation.

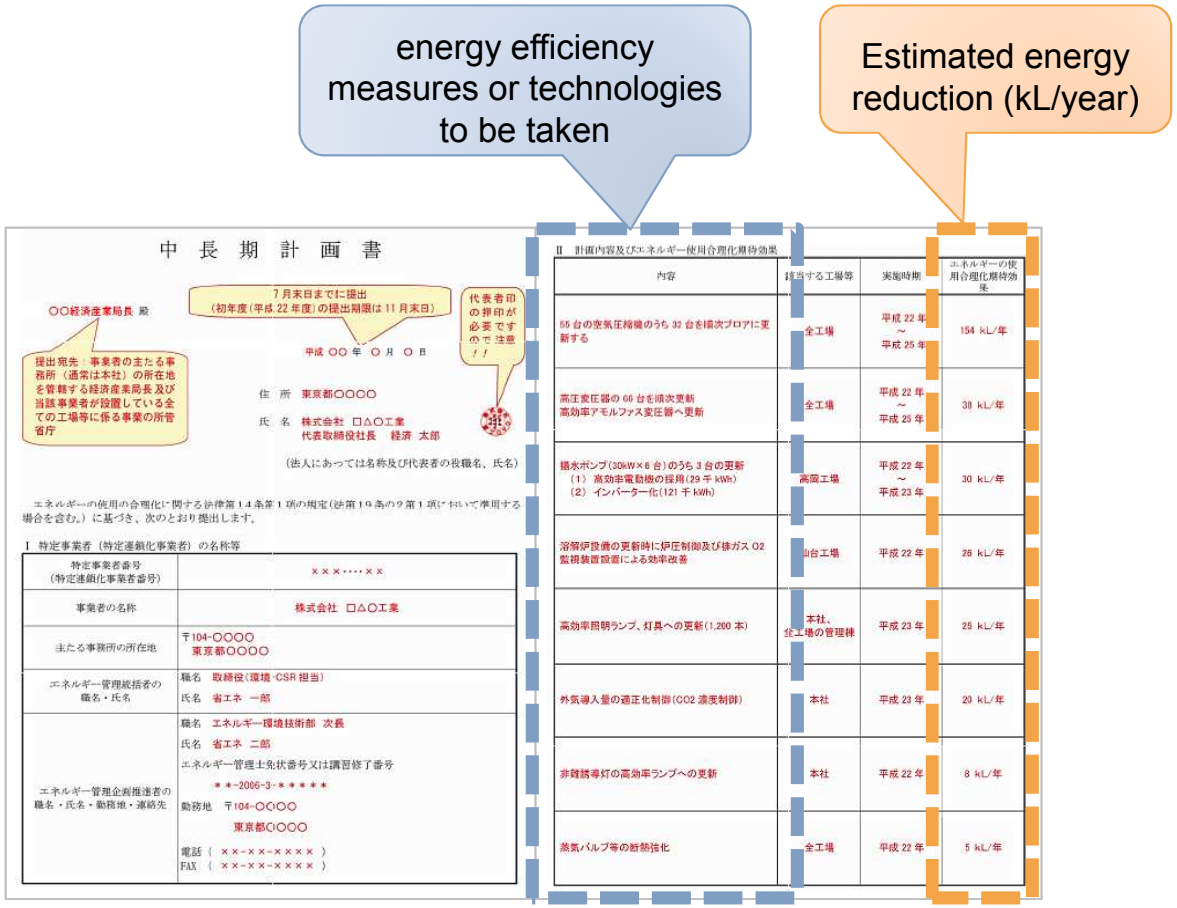
- building owners must report their **energy measures** to the local authorities 21 days before the start of construction.
  - renovated buildings with floor area over 2,000 m^2
  - new buildings with floor area over 300 m^2

- companies must submit a '**mid-to-long term energy utilization plan**' annually to the local authorities.
  - companies which operate factories with total energy consumption over 3,000 kL (crude oil equivalent)
  - other workplaces with total energy consumption over 1,500 kL.

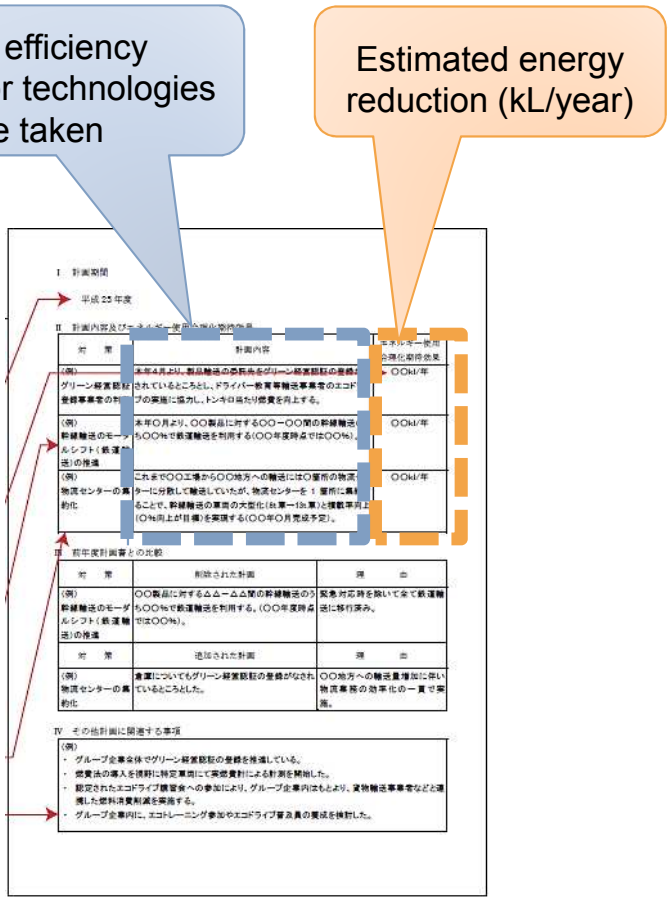
Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Energy Conservation Law (2)

- mid-to-long term energy utilization plan



- Energy-saving measures report



- These plans or reports will be <u>posted on website</u> of the local government.
- If the energy use is considered excessive, improvements will be suggested. If no energy-saving action is taken, the name of the building owner will be published.
- There is **<u>no financial or other penalty</u>** for non-compliance.

Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Energy Efficiency Standards for Non-residential Buildings (1)

- 1999 standards - two indicators used for compliance:
  - Perimeter Annual Load (PAL)
  - Coefficient of Energy Consumption (CEC)

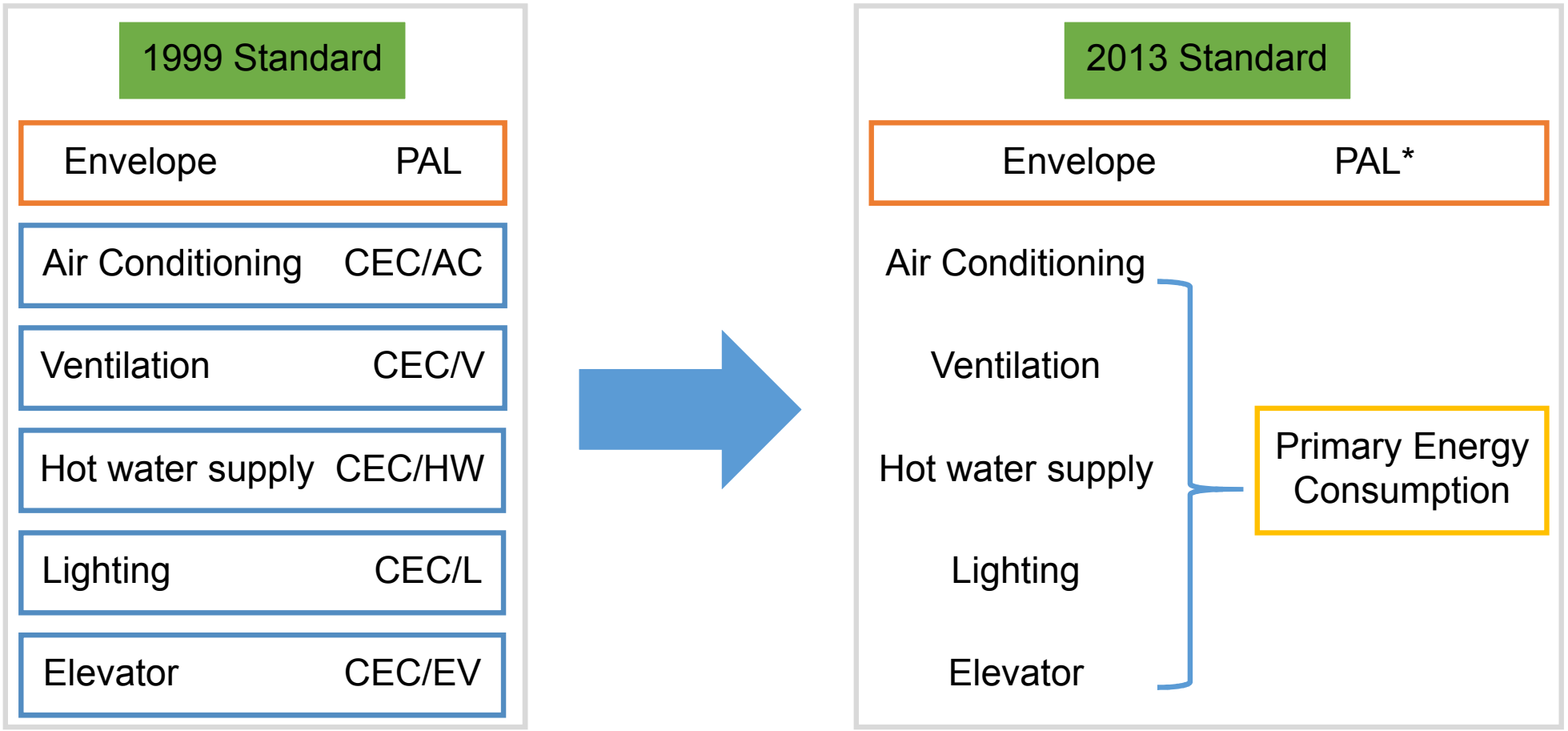
Indicator	Hotels	Hospital	Shops	Offices	Schools	Restaurants	Halls	Factories
PAL [MJ/m^2-yr]	420	340	380	300	320	550	550	-
CEC/AC	2.5	2.5	1.7	1.5	1.5	2.2	2.2	-
CEC/V	1.0	1.0	0.9	1.0	0.8	1.5	1.0	-
CEC/L	1.0							
CEC/HW	1.5 ~ 1.9 (depending on pipe length / hot water volume)							
CEC/EV	1.0	-	-	1.0	-	-	-	

*The performance criteria for PAL and CEC values of each building type were determined by energy simulation of a reference building based on standard occupancy pattern, heating/cooling loads, fuel type, standard efficiency equipment and etc.

Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Energy Efficiency Standards for Non-residential Buildings (2)

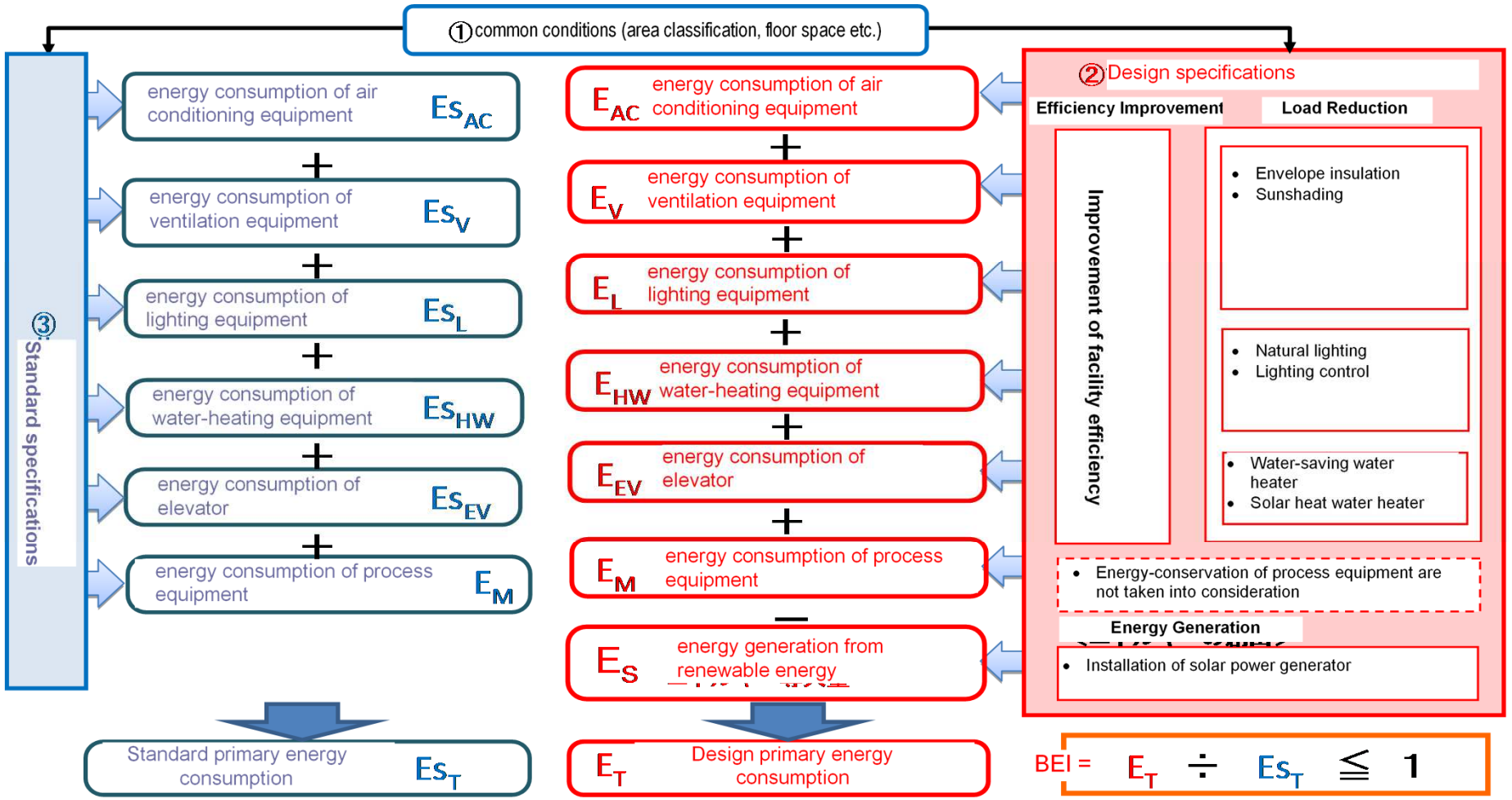
- 1999 → 2013 standards



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

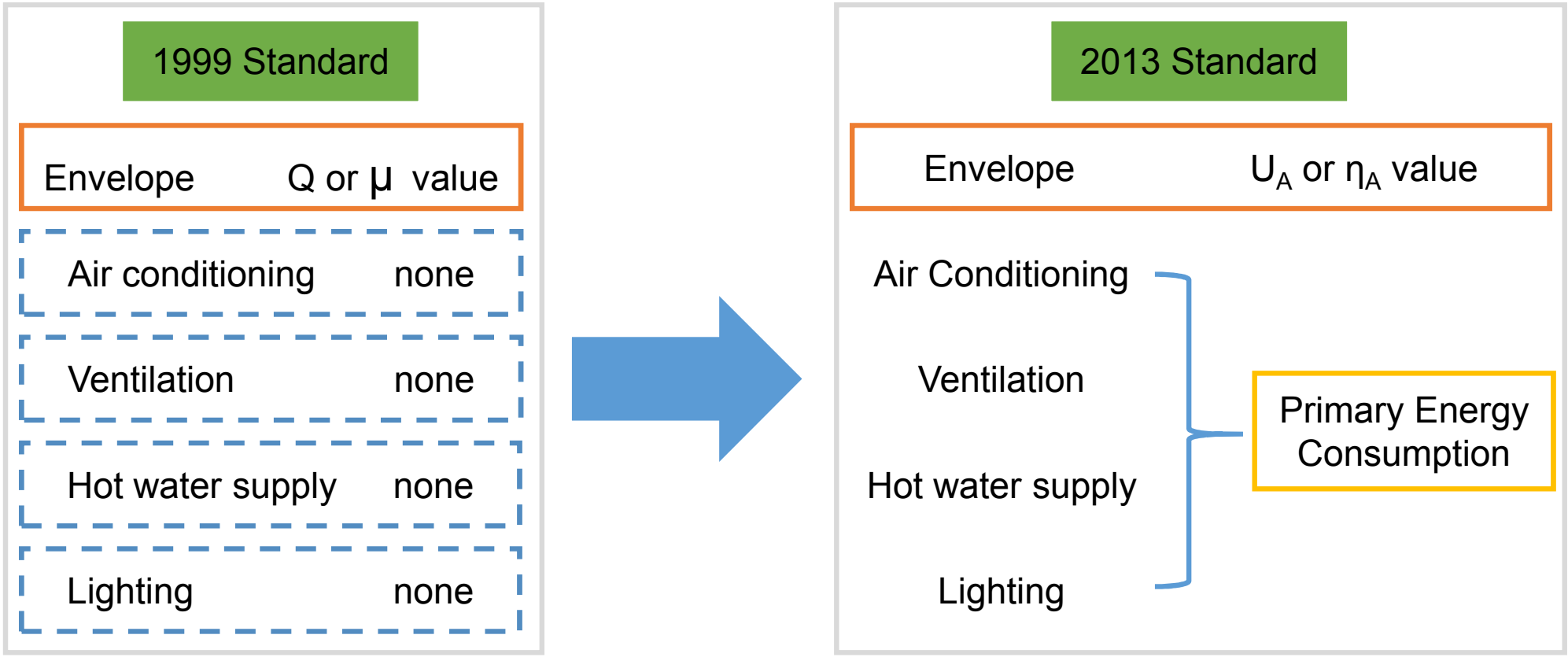
Energy Efficiency Standards for Non-residential Buildings (3)

- 2013 Energy Efficiency Standards
  - Primary Energy Consumption and BEI Calculations



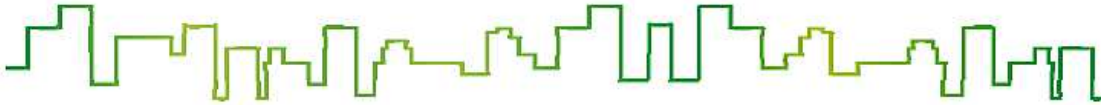
Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Energy Efficiency Standards for Residential Buildings



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

1. Tokyo Green Building Program…(1)



- introduced in 2002 by TMG. TOKYO METROPOLITAN GOVERNMENT
- Tokyo Metropolitan Environmental Security Ordinance (2000).
- requires all new construction and expansion projects exceeding a total floor area of 5,000 m^2 to submit a Green Building Plan.
- targets four fields:
  - efficient use of energy
  - effective utilization of resources
  - conservation of the natural environment
  - mitigation of the heat island effect
- Green Building Plan evaluates a building by PAL (Perimeter Annual Load) and ERR (Energy Reduction Rate of building equipment).
- Green Building Plans are posted on TMG's website for public disclosure.

Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

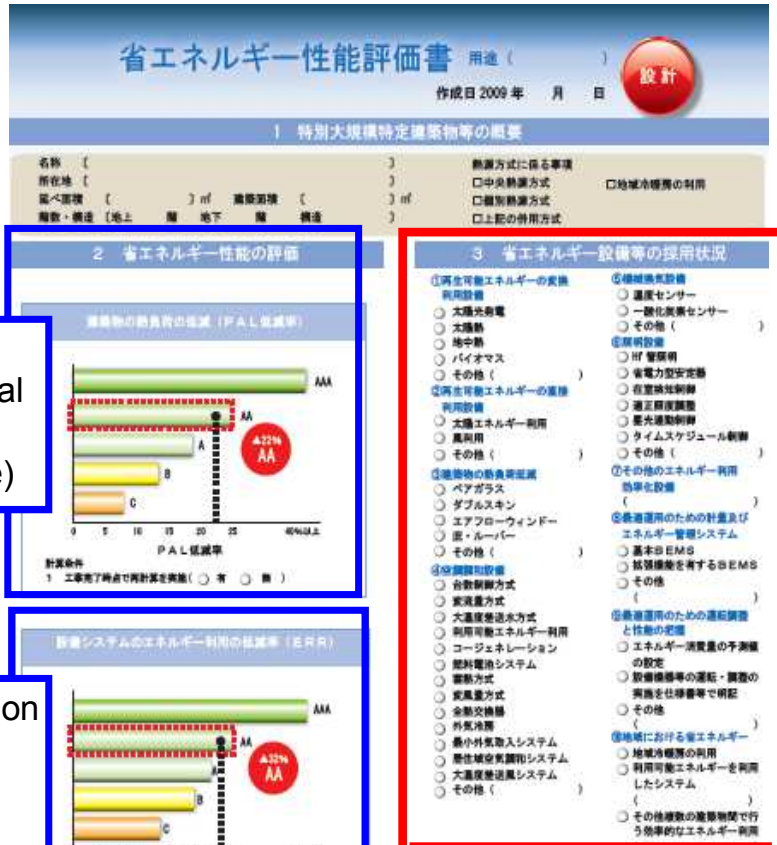
1. Tokyo Green Building Program…(2)

Two labeling programs:

Green Labeling Program for Condominiums (2005~)



Energy Efficiency Certificate for non-residential buildings (2010~)



Reduction of Building Thermal Load (PAL Reduction Rate)

Energy Reduction Ratio (ERR) of Building Equipment

Energy Efficiency Measures Checklist

Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

1. Tokyo Green Building Program…(3)

- Ranking system of Tokyo Green Building Program and Energy Efficiency Certification Program.

Ranking in Energy Efficiency Certificate	Perimeter Annual Load (PAL)	Building Equipment's Energy Reduction Rate (ERR)	Ranking in Tokyo Green Building Program
AAA	**> 25%**	**> 35%**	**Level 3**
AA	20 – 25%	30 – 35%	Level 2
A	15 – 20%	25 – 30%	Level 2
B	10 – 15%	15 – 25%	Level 1
C	<10%	5 - 15%	Level 1

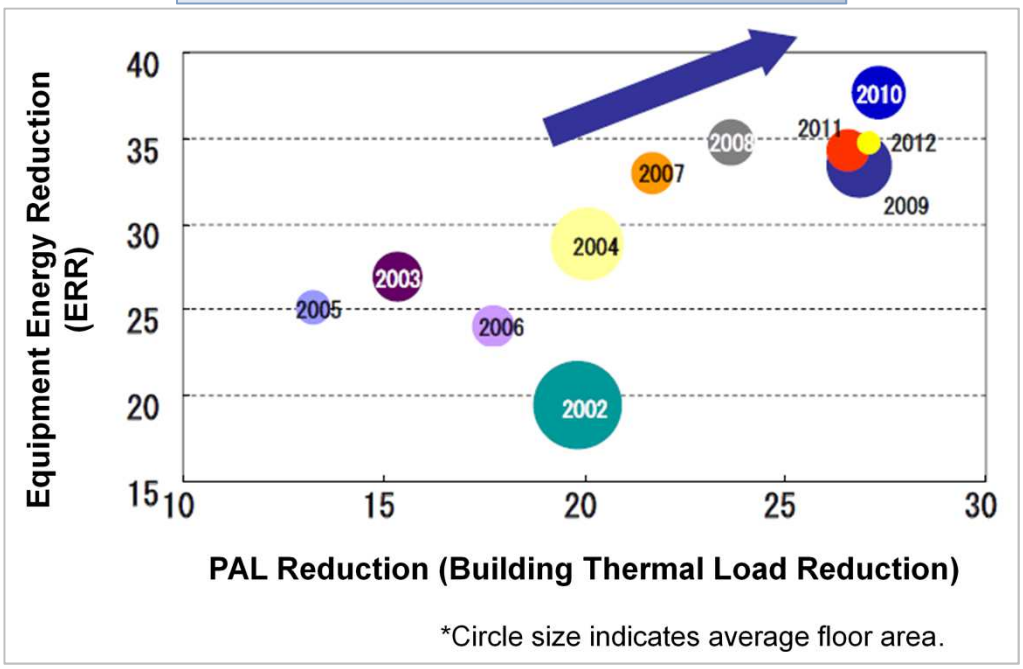
Projects are eligible for density bonus* (incentive to increase floor area ratio)

*The standard floor area ratio allowed for a site is generally based on the local zoning regulation. There is no standard criteria for density bonus; the allowable floor ratio varies from city ward to city ward.

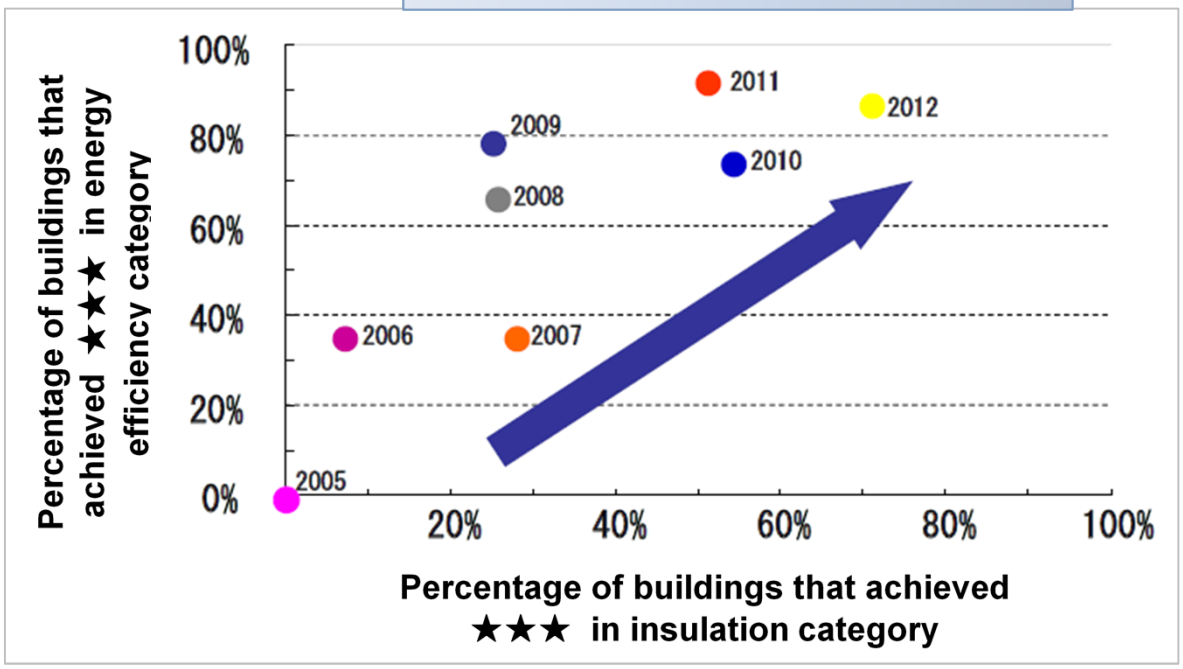
Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

1. Tokyo Green Building Program…(4)

Performance of Office Buildings



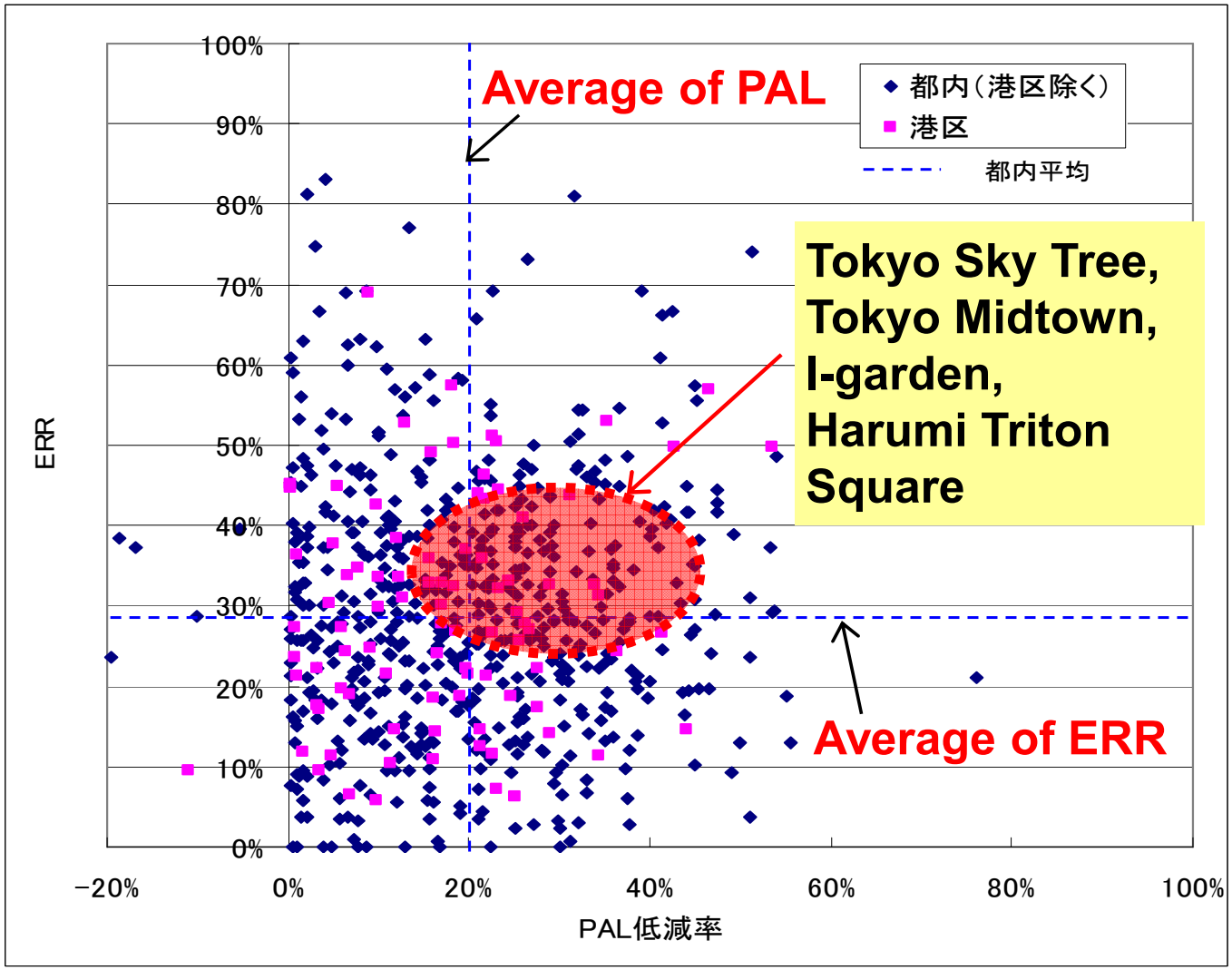
Performance of Condominiums



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

1. Tokyo Green Building Program…(5)

- PAL vs. ERR Plot based on previously submitted Energy Efficiency Certificates



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

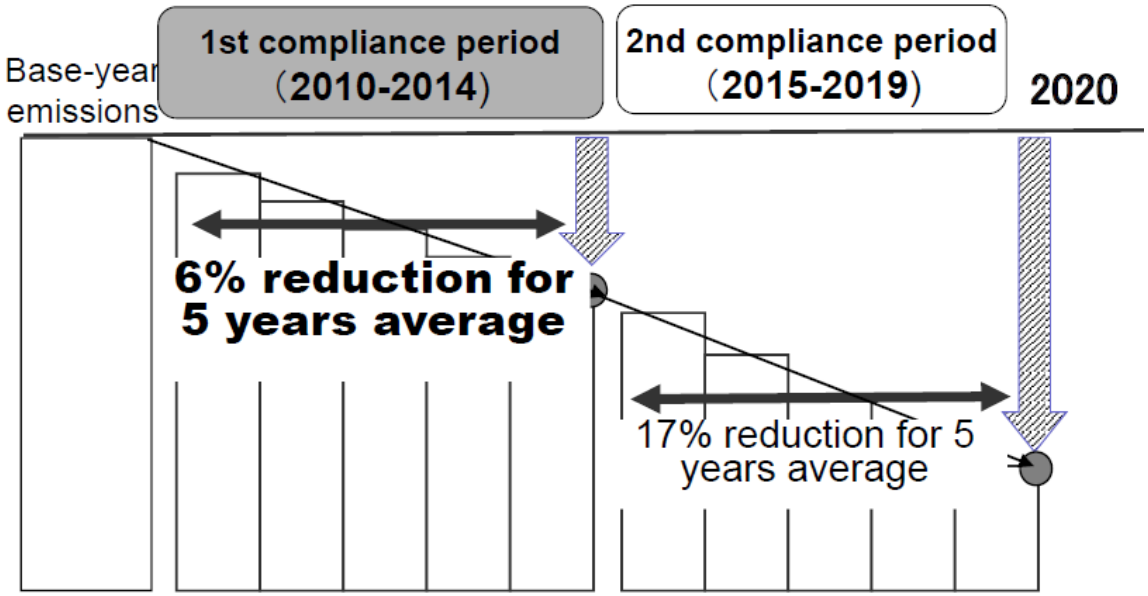
2. Tokyo Cap-and-Trade Program…(1)

- The **Tokyo Carbon Reduction Reporting Program** was implemented in April 2002
  - to promote the lowering of CO2 and other GHG emissions.
  - requires facilities that consume over 1,500 kl (crude oil equivalent) of fuel, heat, or electricity to report and announce their greenhouse gas emissions and reduction plans.
  - The carbon reduction reports
    - include energy-saving target and methodology, annual energy saving and annual carbon emissions.
    - are evaluated by TMG
    - rated using a 5-level grading system (AAA, AA, A, B, C)
    - are posted on TMG' website

Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

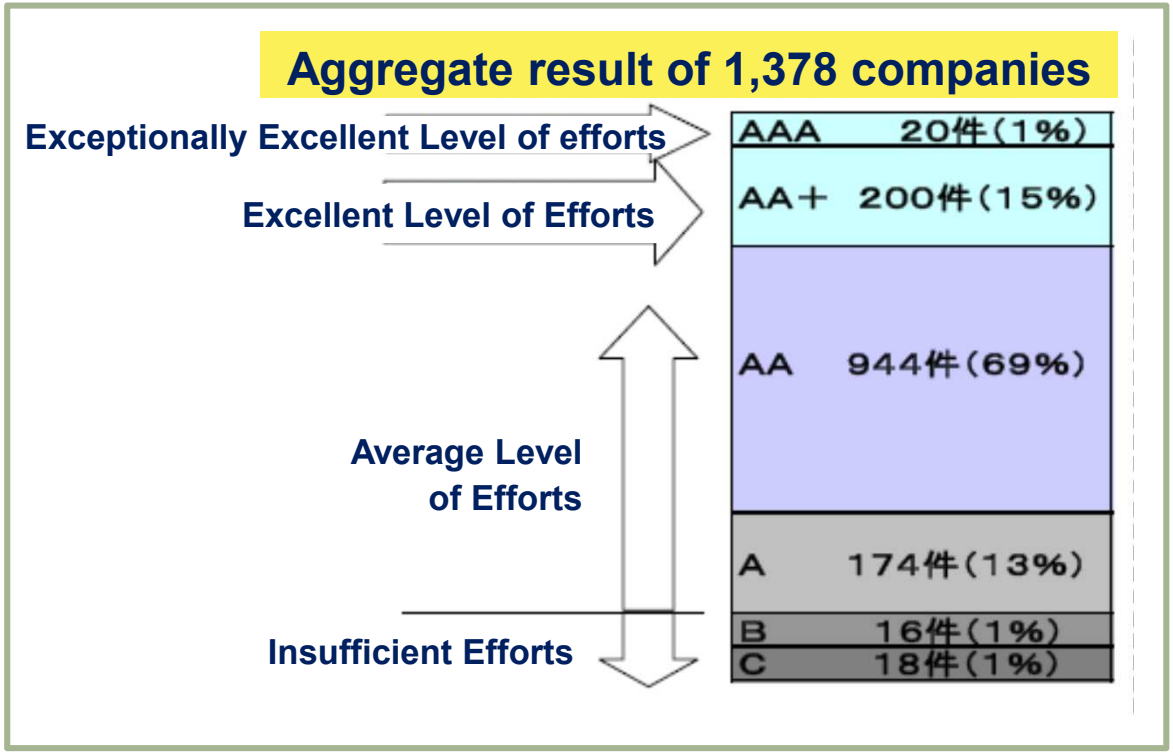
2. Tokyo Cap-and-Trade Program…(2)

- The **Tokyo Cap-and-Trade Program** was implemented in April 201o
  - to further strengthen and reinforce requirements under Tokyo Carbon Reduction Reporting Program.
  - requires monitoring and reporting of CO2 emissions every fiscal year
  - compliance period is six year.

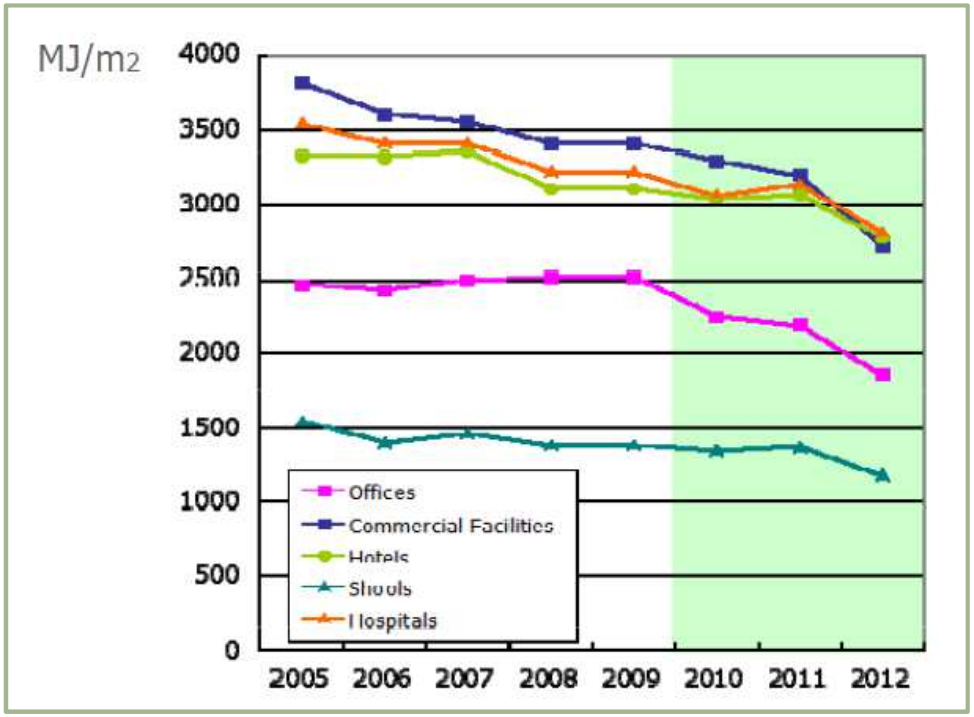


Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

2. Tokyo Cap-and-Trade Program…(3)



- Aggregate Result of Tokyo Carbon Reduction Reporting Program 2005-2009 (total of 1378 companies)



- Energy Consumption of Facilities under Tokyo Cap-and-Trade Program

Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

CASBEE for Local Governments…(1)

Sustainable Building Reporting System (SBRS) policy

- Local governments require owners of large building to prepare and submit building performance plans to demonstrate their environmental efforts.
- As of March of 2013, 24 local governments in Japan have adopted CASBEE as the reference standard for their SBRS policy.



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

CASBEE for Local Governments…(2)

- 11,096 building performance plans submitted (2004-2012).

Local Governments	Date of Initial Implementation	No. of Building Plans Submitted
Nagoya City	2004/4	1571
Osaka City	2004/10	837
Yokohama City	2005/7	970
Kyoto City	2005/10	598
Kyoto Prefecture	2006/4	251
Osaka Prefecture	2006/4	693
Kobe City	2006/8	634
Kawasaki City	2006/10	1064
Hyogo Prefecture	2006/10	346
Shizuoka Prefecture	2007/7	993
Fukuoka City	2007/10	197
Sapporo City	2007/11	402
Kitakyushu City	2007/11	100
Saitama City	2009/4	228
Saitama Prefecture	2009/10	638
Aichi Prefecture	2009/10	594
Kanagawa Prefecture	2010/4	226
Chiba City	2010/4	67
Tottori Prefecture	2010/4	50
Niigata City	2010/4	118
Hiroshima City	2010/4	183
Kumamoto Prefecture	2010/10	202
Kashiwa City	2011/1	58
Sakai City	2011/8	76

Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

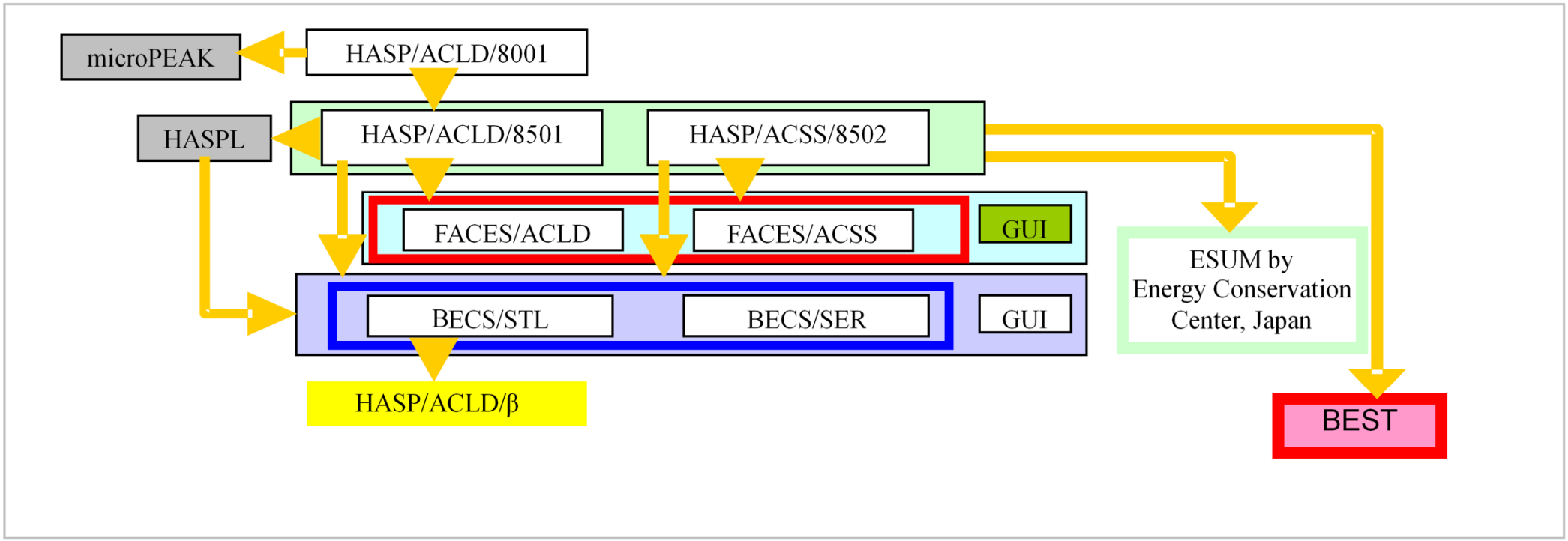
2. Building Performance Assessment Tools

2.1 Building Energy Simulation Tools

2.2 Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (CASBEE)

Development of Building Energy Simulation Tools in Japan

- HASP program series was developed over 40 years ago.
- HASP was very complex and difficult to use.
- This leads to the future creation and development of more user-friendly tools such as BECS, FACES and BEST.



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

HASP

- Developed by the Japan Building Mechanical and Electrical Engineers Association (JABMEE) in 1980.
- Open-source program that allows users to use and add additional functions freely.
- Became the basis for the development of FACES and BECS.

1980
- HASP/ACLD/8001 program was developed
- the first simulation tool in Japan for calculating HVAC system loads

1985
- - HASP/ACSS/8502 developed for simulating building thermal loads,
  - HASP/ACLD/8501 developed for simulating HVAC system loads.

2001
- NewHASP/ACLD was released as an extension to HASP/ACLD/8501.

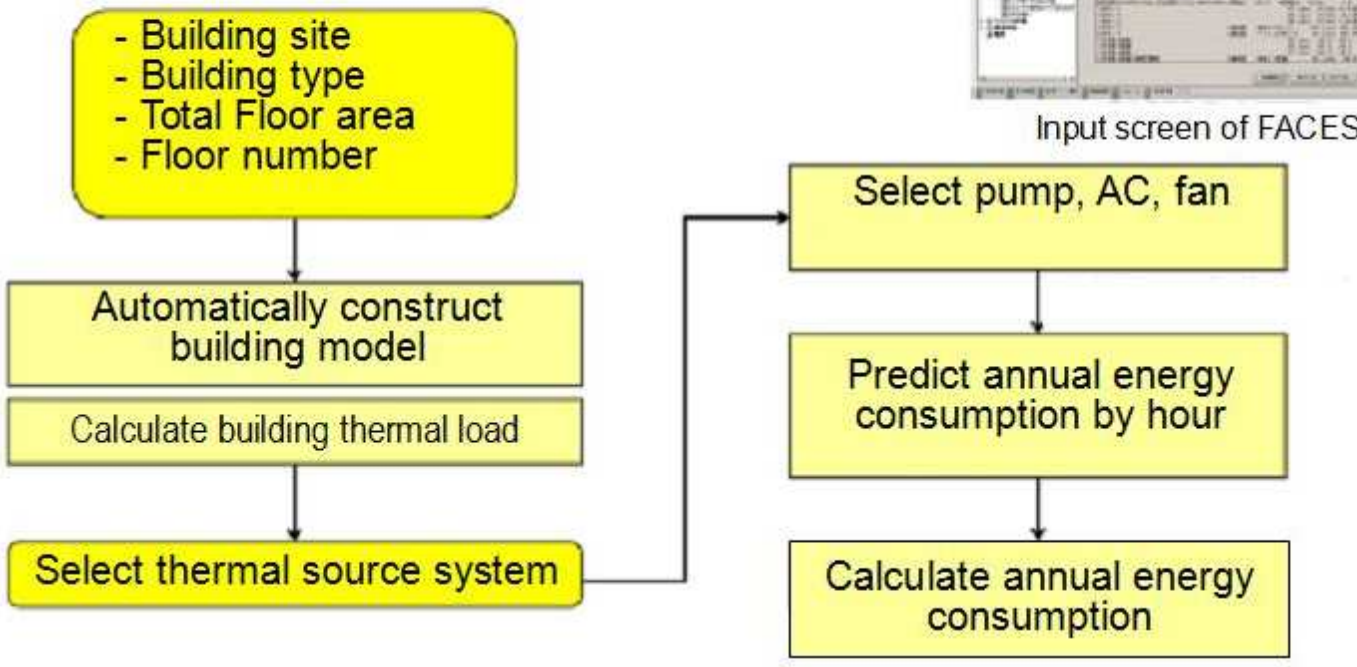
Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

FACES

- Forecasts of Air-Conditioning System's Energy, Environmental, and Economical Performance by Simulation
- Jointly developed in 2005 by electric power companies, general constructors, JABMEE and architectural firms (including Nikken Sekkei).
- Mainly used for selecting the appropriate thermal source or HVAC system in the early building design phase.



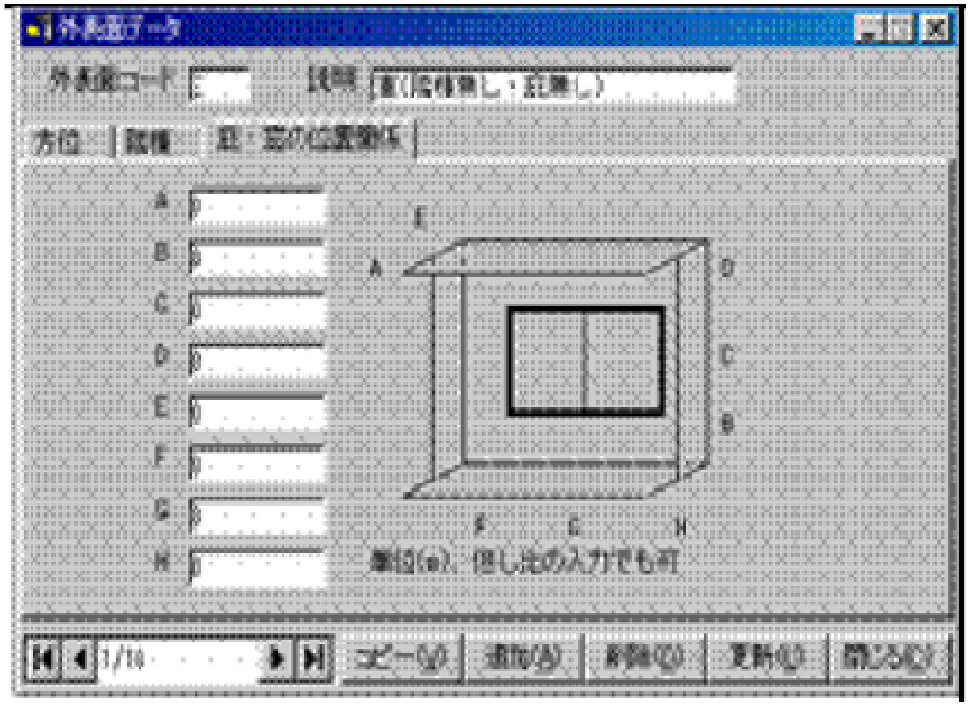
Input screen of FACES

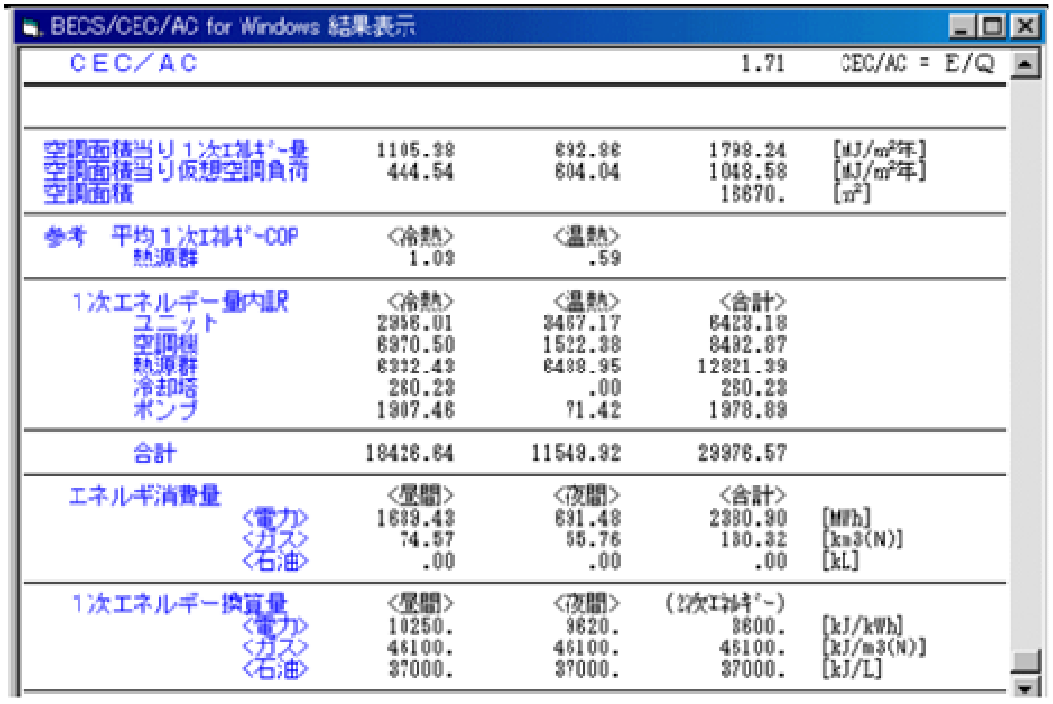


Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

BECS

- Building Energy Consumption Simulator
- developed in 1993 by Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC)
- Used for calculating CEC/AC indicator as required by the Energy Conservation Law.



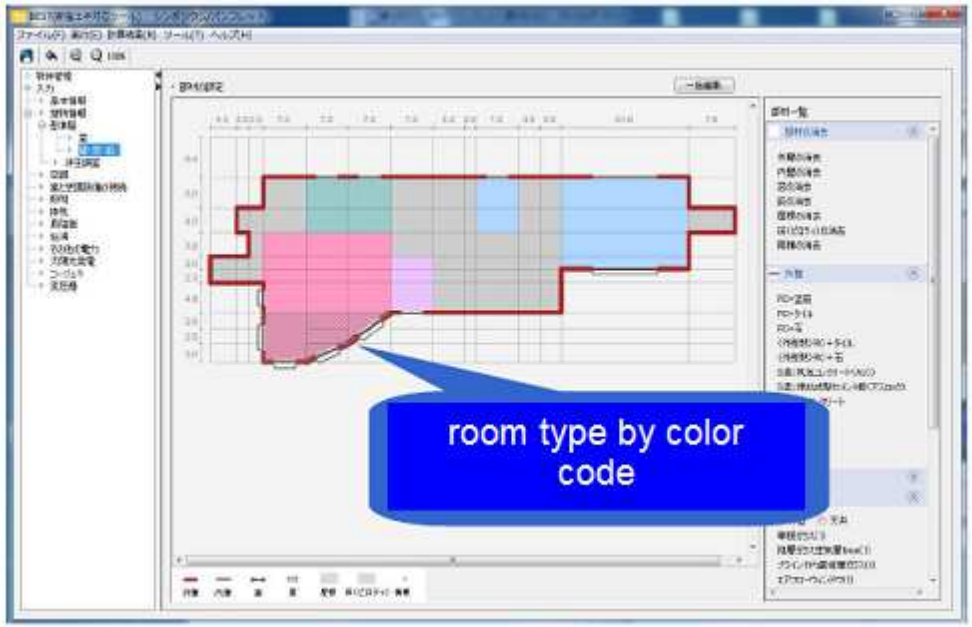


Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

BEST…(1)

- Building Energy Simulation Tool
- Developed by the BEST Consortium (MLIT, academics and private companies including Nikken Sekkei)
- First version was released in 2008
- A comprehensive energy simulation tool that can evaluate a wide variety of energy systems, friendly to all users of different professions, and address energy consumption throughout life cycle of a building.

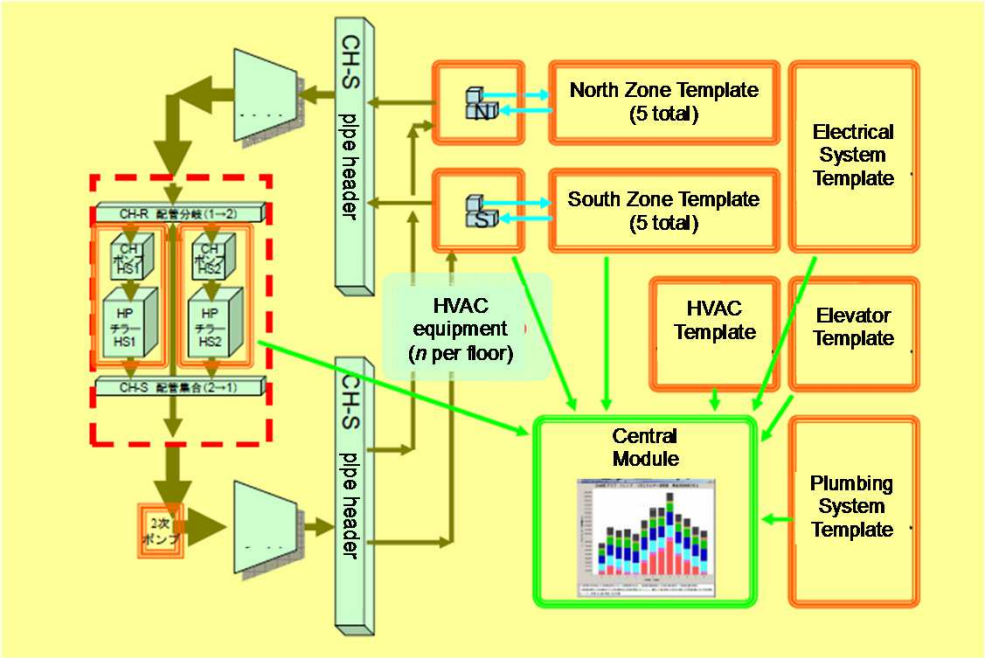
Input screen



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

BEST…(2)

- Can analyze and predict the annual energy consumption trend of the following systems:
  - thermal source system (e.g., CGS, Heat storage system, PV)
  - air conditioning system (CAV, VAV, THX, etc.)
  - ventilation system
  - lighting system
  - electrical outlet load
  - heating hot water system and others (elevator, etc.).
- Template based



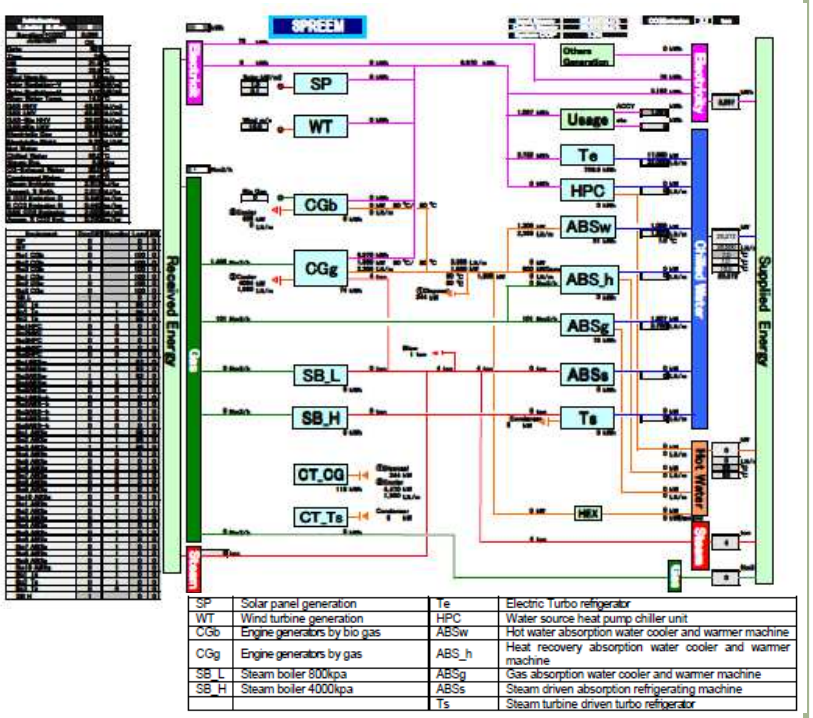
Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

SPREEM…(1)

- Simulation Program for Regional Energy and Environmental Management
- Developed mainly to address the energy management throughout the life cycle of a building or site, from planning and design to operation stage.
- Principally developed by Nikken Sekkei Research Institute.
- Main application: to analyze the energy performance of a District Heating and Cooling (DHC) system at a regional or town block level.

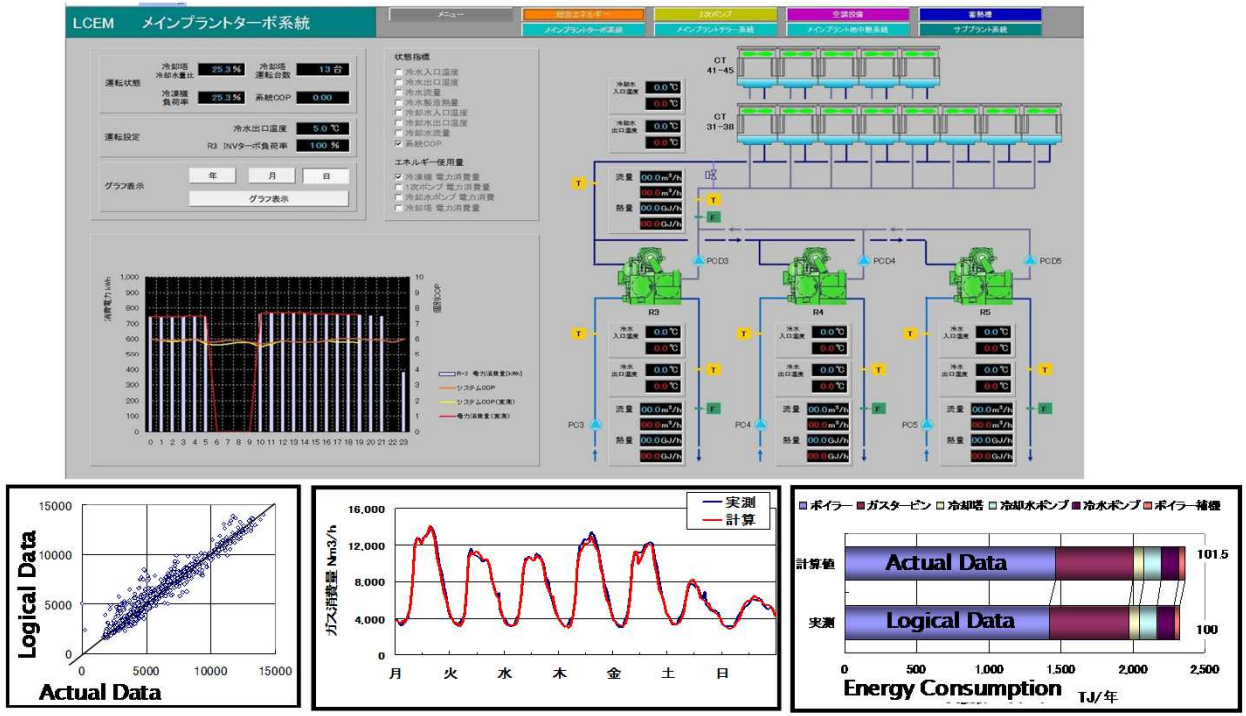
Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

SPREEM…(2)



SP	Solar panel generation	Te	Electric Turbo refrigerator
WT	Wind turbine generation	HPC	Water source heat pump chiller unit
CGb	Engine generators by bio gas	ABSw	Hot water absorption water cooler and warmer machine
CGg	Engine generators by gas	ABS_h	Heat recovery absorption water cooler and warmer machine
SB_L	Steam boiler 800kpa	ABSg	Gas absorption water cooler and warmer machine
SB_H	Steam boiler 4000kpa	ABSs	Steam driven absorption refrigerating machine
		Ts	Steam turbine driven turbo refrigerator

Control Diagram



Energy Management for Tokyo Sky Tree

Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Building Energy Simulation Tools outside of Japan…(1)

DOE-2 (USA)	• Freeware program funded by the United States Department of Energy (USDOE). • Primarily used as a building energy simulation program, it can perform hourly whole-building energy performance analysis and life-cycle cost of operation. • Widely used by architects, engineers, energy consultants, building technology researchers, utility companies, state and federal agencies • Requires substantial experience to learn and use while offering significant flexibility. • More than 20 windows-based and fully interactive programs have been developed commercially and privately using the DOE-2 simulation environment, e.g., eQuest
EnergyPlus (USA)	• Developed by the University of Illinois, LBNL and other parties under the funding from the United States Department of Energy (USDOE). • Stand-alone simulation program without a graphical interface • A number of graphical interface programs have been developed for EnergyPlus.
DeST (China)	• Originally developed as a tool for HVAC engineers by the architectural department of Tsinghua University in the 1990's, • Mainly used for building thermal performance analysis.

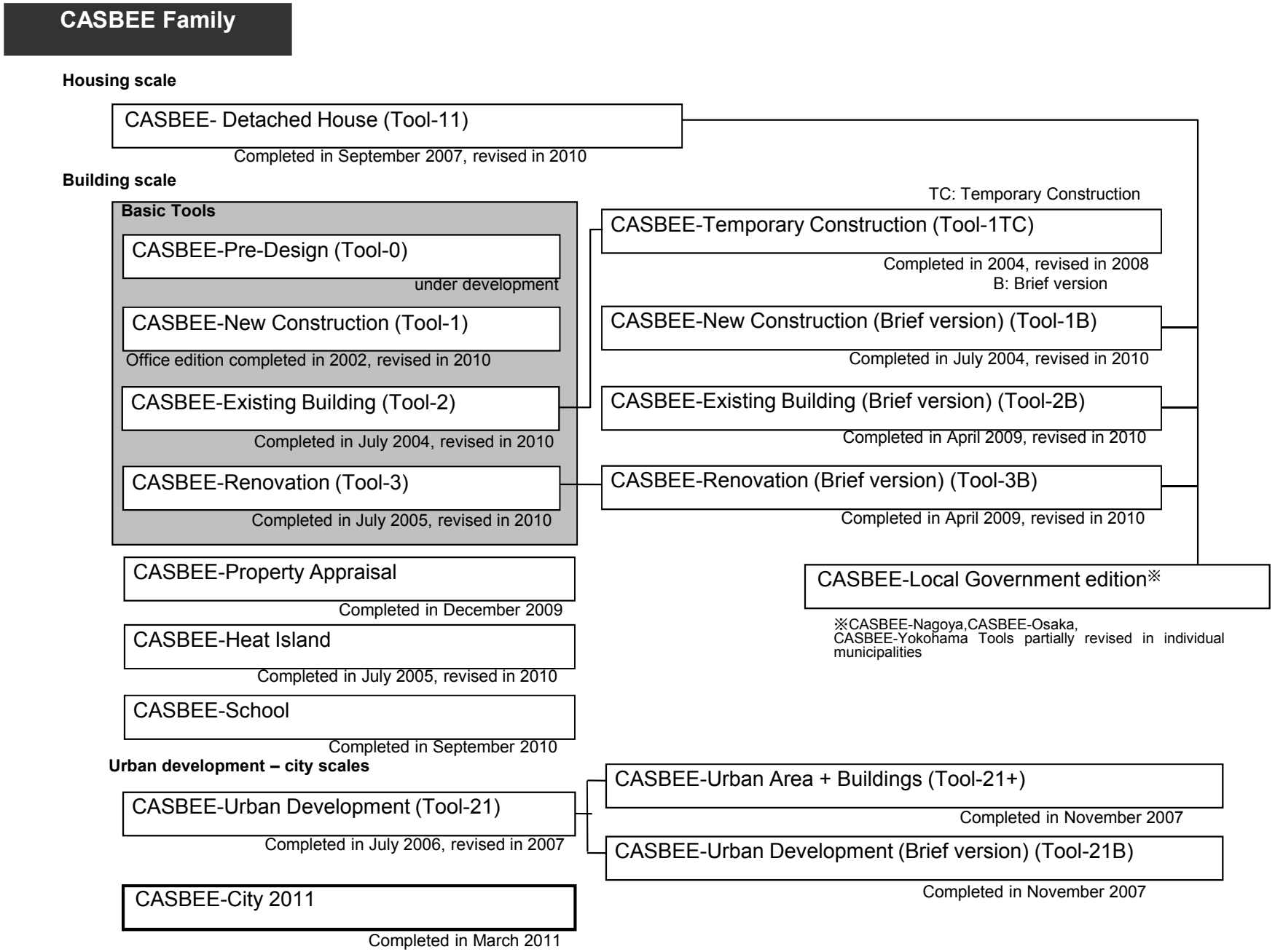
Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Building Energy Simulation Tools outside of Japan…(2)

TRNSYS (USA)	• Developed by the Solar Energy Laboratory of University of Wisconsin-Madison and released in 1975. • Originally as a simulation tool for solar thermal systems, now expanded to HVAC analysis and sizing, building thermal performance, etc. • Modular approach makes it flexible for modeling a variety of energy systems in differing levels of complexity, • Graphical interface that allows for drag-and-drop components when creating input files makes it a relative easy-to-use tool.
HVACSIM+ (USA)(Japan)	• Developed in 1984 by US National Institute of Standards and Technology (NIST). • Employs a hierarchical, modular approach based upon the TRNSYS program, and advanced equation solving techniques to perform dynamic simulations of building HVAC and control systems using variable time-steps. • Requires high level of user computer literacy.
EnergyPro (California, USA)	• Commercial building energy analysis program most widely used for the California Energy Code compliance. • Developed based on DOE-2 simulation engine by EnergySoft (private developer). • Can perform whole building analysis and individual calculations for the envelope, lighting, and mechanical building components in accordance with the California Energy Code. • Extensive use of Wizards in EnergyPro makes it extremely user-friendly and most users could learn how to make inputs, run calculations and create reports/outputs within one day. • Not capable of handling more advanced concepts such as cogeneration and daylighting.

Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

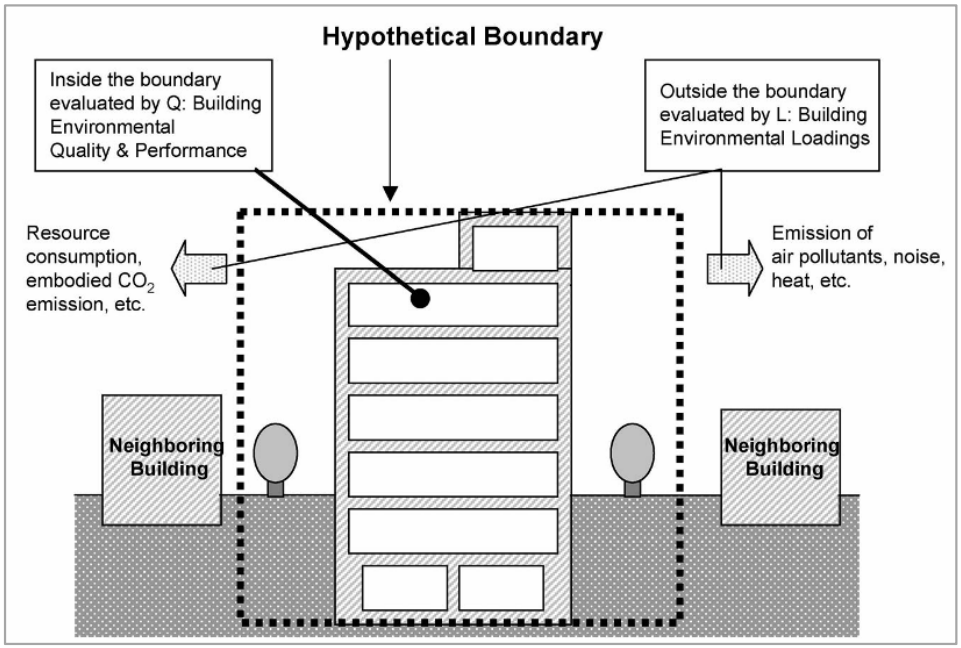
CASBEE Family

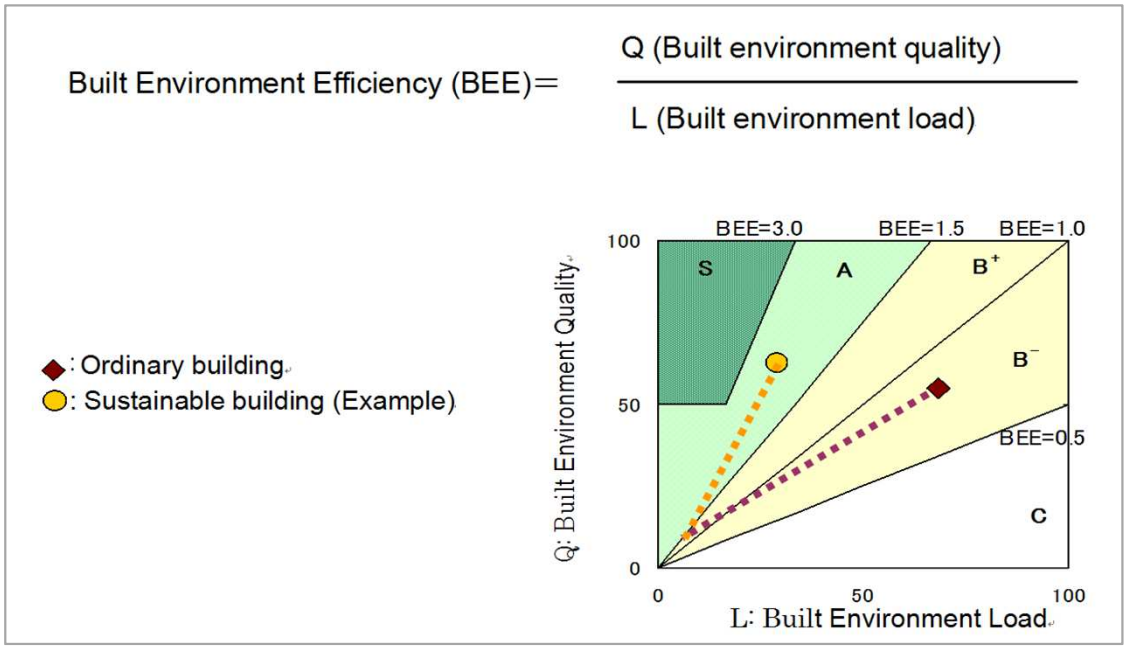


Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

CASBEE concept

- Based on Built Environment Efficiency (BEE) calculated from:
  - Built Environment Quality (Q) that measures "improvement in living amenities for building users within a hypothetical enclosed space
  - Built Environment Load (L) that measures "the negative environmental impacts that extends beyond the hypothetical enclosed space"

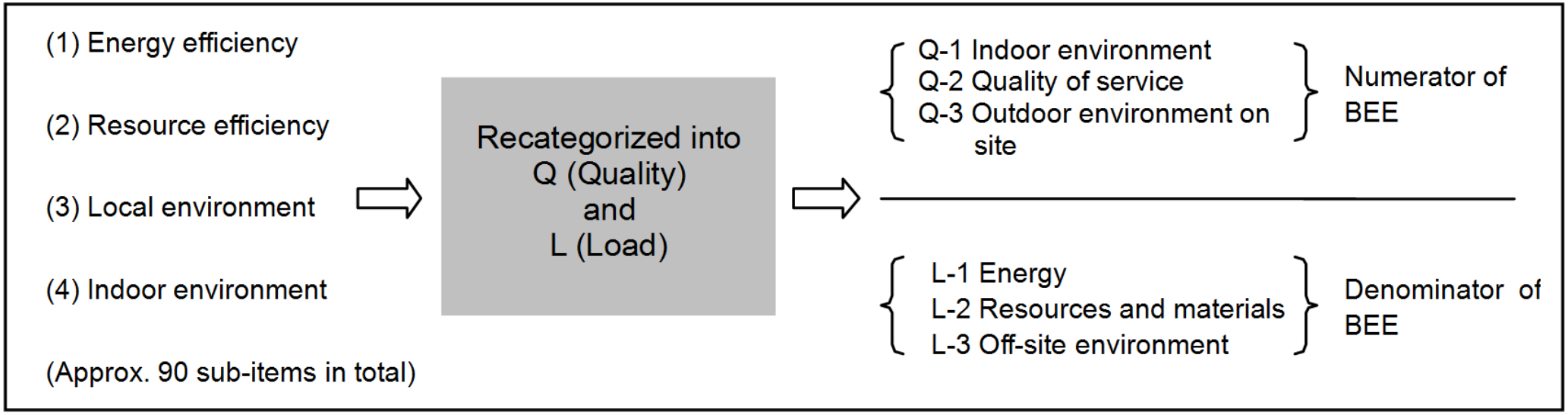




Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

CASBEE Assessment Areas

- CASBEE addresses four assessment areas
  - re-arranged into six assessment items (Q-1, Q-2, Q-3 and L-1, L-2, L-3).



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

3. Best Practice Buildings in Japan

3.1 Low-energy and Low-carbon Buildings

3.2 District Heating and Cooling System with Advanced Energy Management

3.3 Urban Heat Island Mitigation

3.4 Smart Cities

Tokyo Gas Earth Port Building…(1)

- Tokyo Gas Kohoku New Town building
  - built in 1996; underwent renovation in 2010
  - Goal to become a Zero Energy Building (ZEB).





Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Tokyo Gas Earth Port Building…(2)

Solar Thermal Collectors



Ventilation Tower

Battery (Li)

Atrium for natural ventilation

Low-e Glass

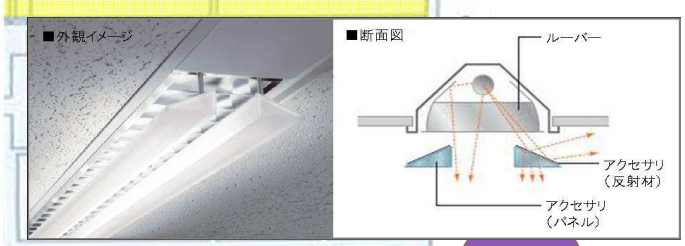
LED Lighting

Recycled concrete

“Cool Chair”



Brightness control +LED Task lights



North

South

Gas engine CGS

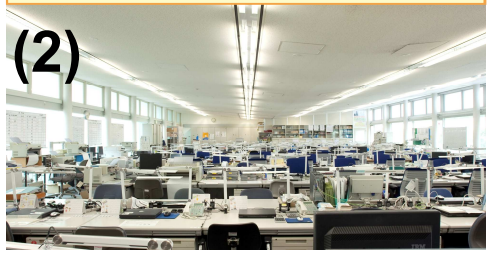
Solar Absorption Chiller

Desiccant AHU driven by waste heat of Gas Engine-Driven Heat Pump Chiller

PV



Prism Glass



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Tokyo Gas Earth Port Building…(3)

Natural Ventilation
Natural Lighting

Thermal network
(CGS, solar etc.)

PV and integrated management system

Renovation of existing equipment

Improve system operation
(fuel battery etc.)

Interactive energy use between buildings

BAU

2,518

▲24%

1,911

▲37%

1,586

▲39%

1,525

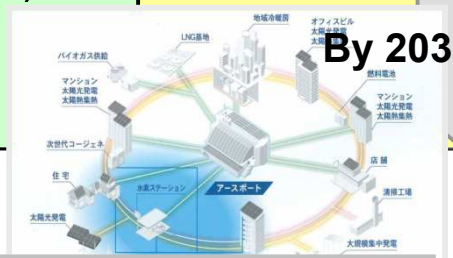
▲40%

1,518

Over 80% reduction by 2030







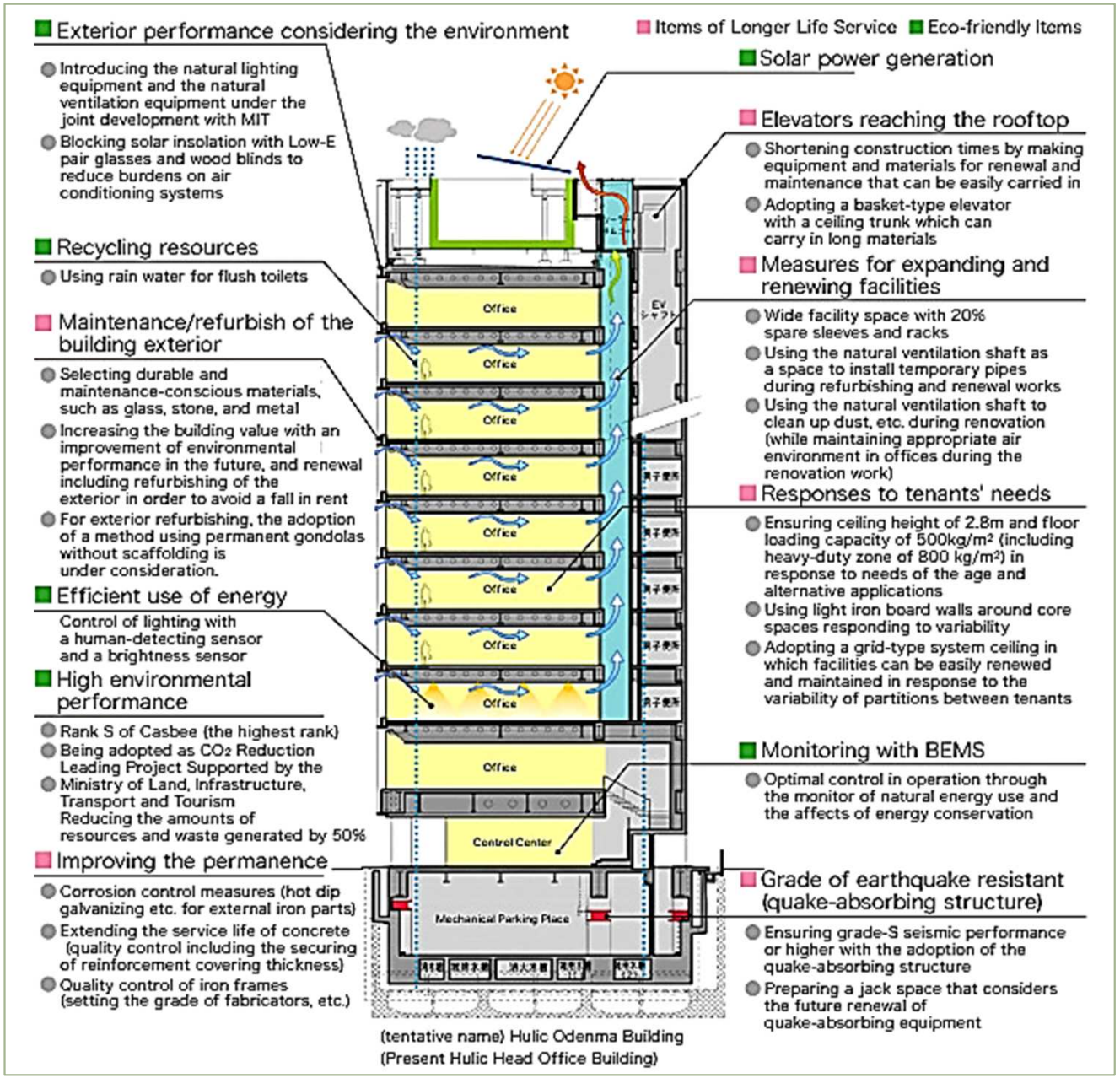
"Smart Energy Network"
Realization of Energy and CO2 Reduction at Regional Level

Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Hulic Headquarter Office Building…(1)

- Location: Central Tokyo
- Completed: 2012
- Total floor area: 7,687.94m2
- 10 above ground floors
- 1 underground floor
- Platinum Certification by the Development Bank of Japan Green Building Certification program.

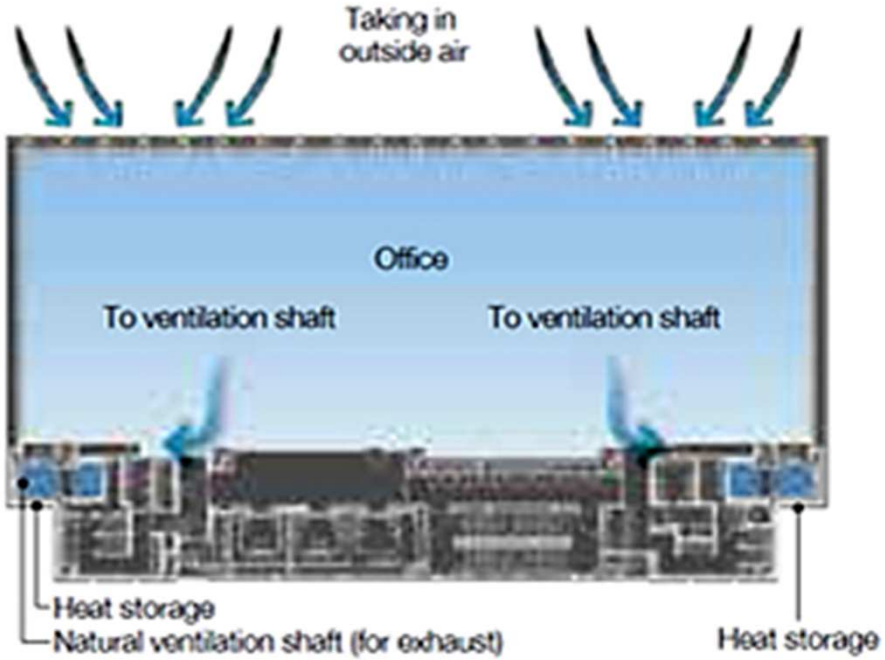


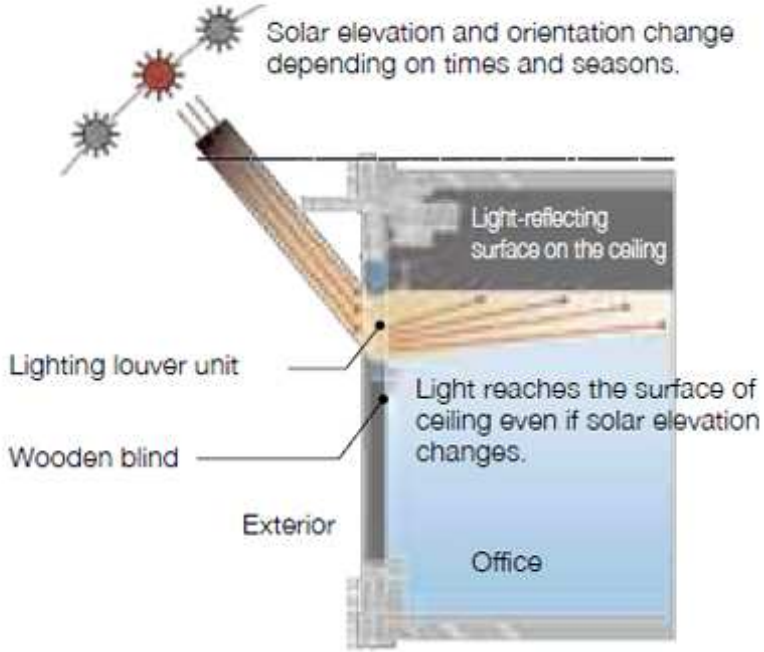


Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Hulic Headquarter Office Building…(2)

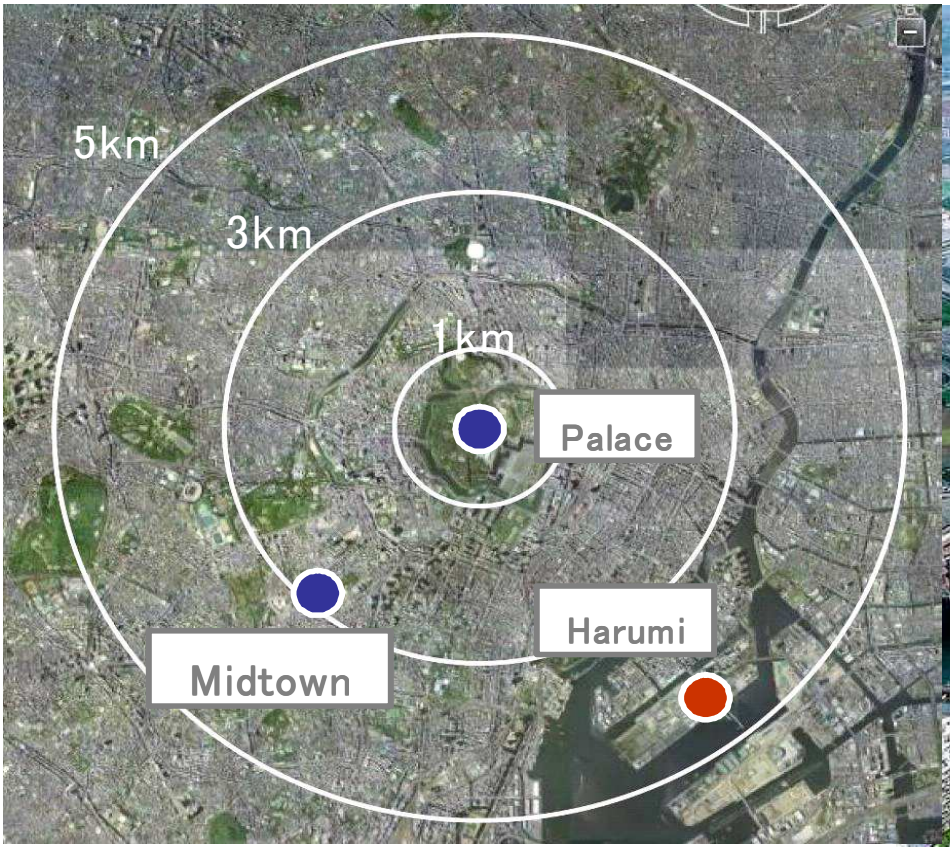
- 40% CO2 emission reduction compared to typical office buildings in Tokyo
- Natural ventilation and natural lighting design





Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Harumi Triton Square…(1)



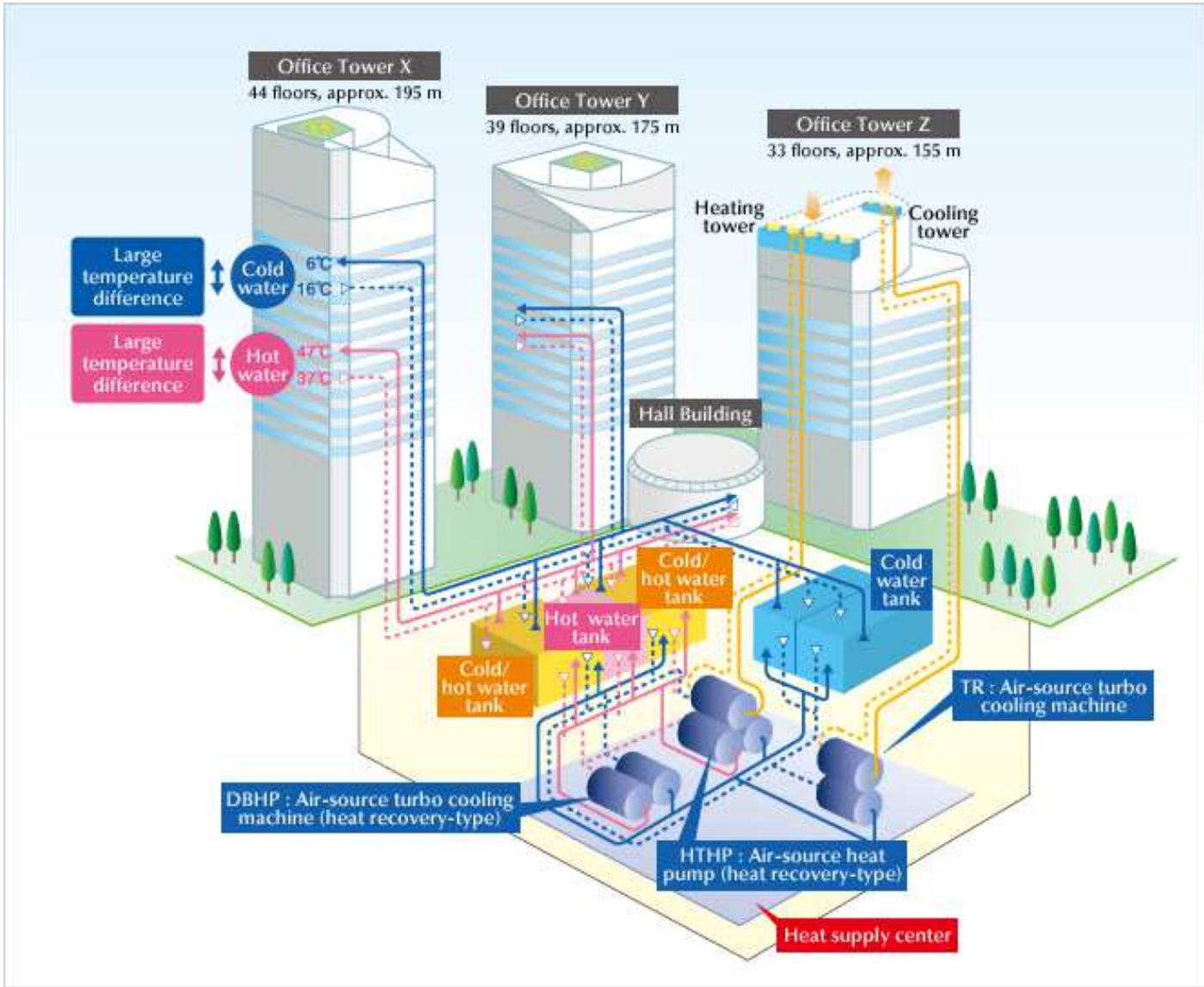


- Redevelopment of an industrial site on a reclaimed land in Tokyo Bay
- Office, Residential and Retail spaces
- Completed: 2001
- Built-up area: 435,600SQM

Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Harumi Triton Square…(2)

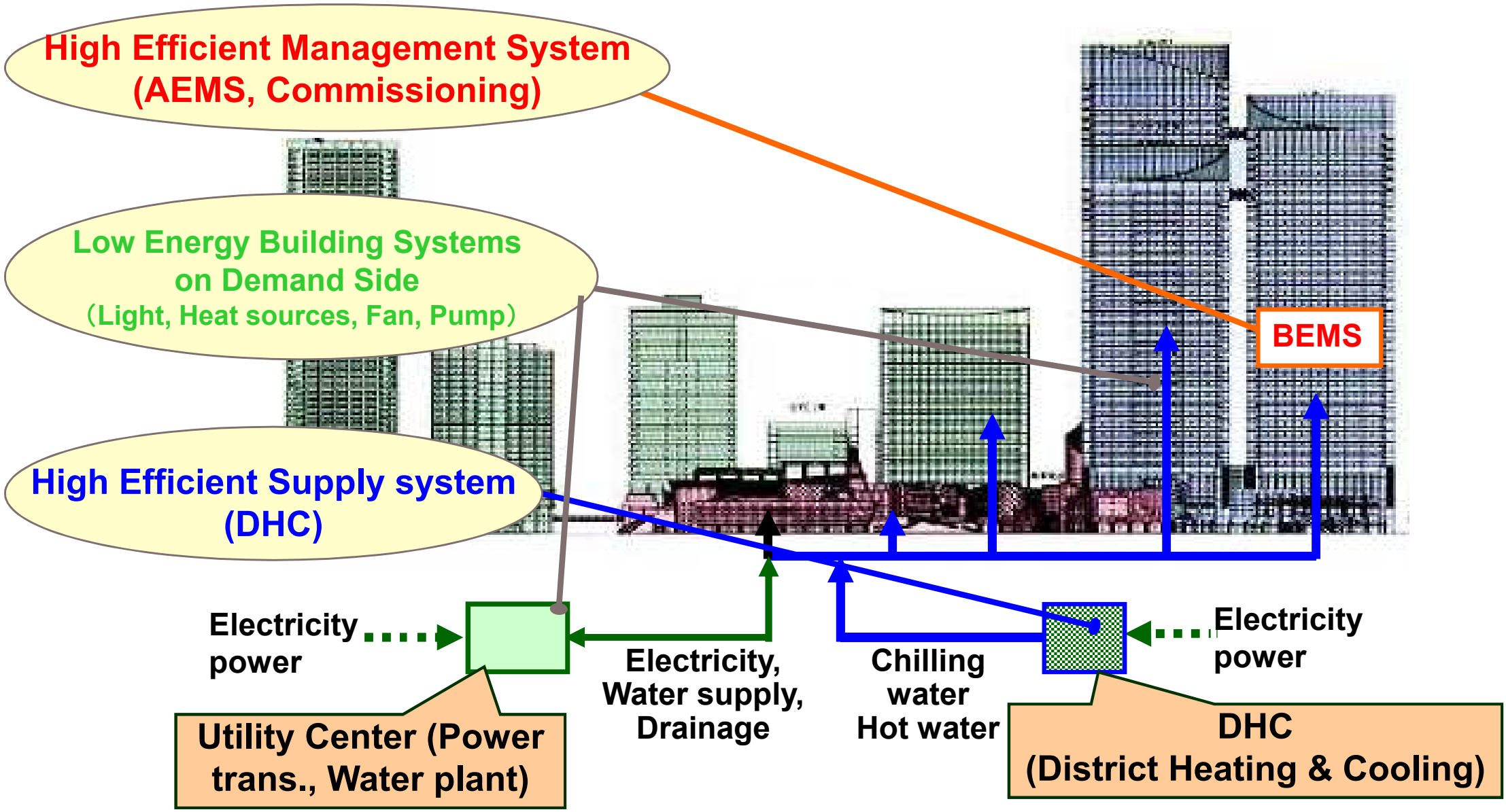
- District Heating and Cooling (DHC) System



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

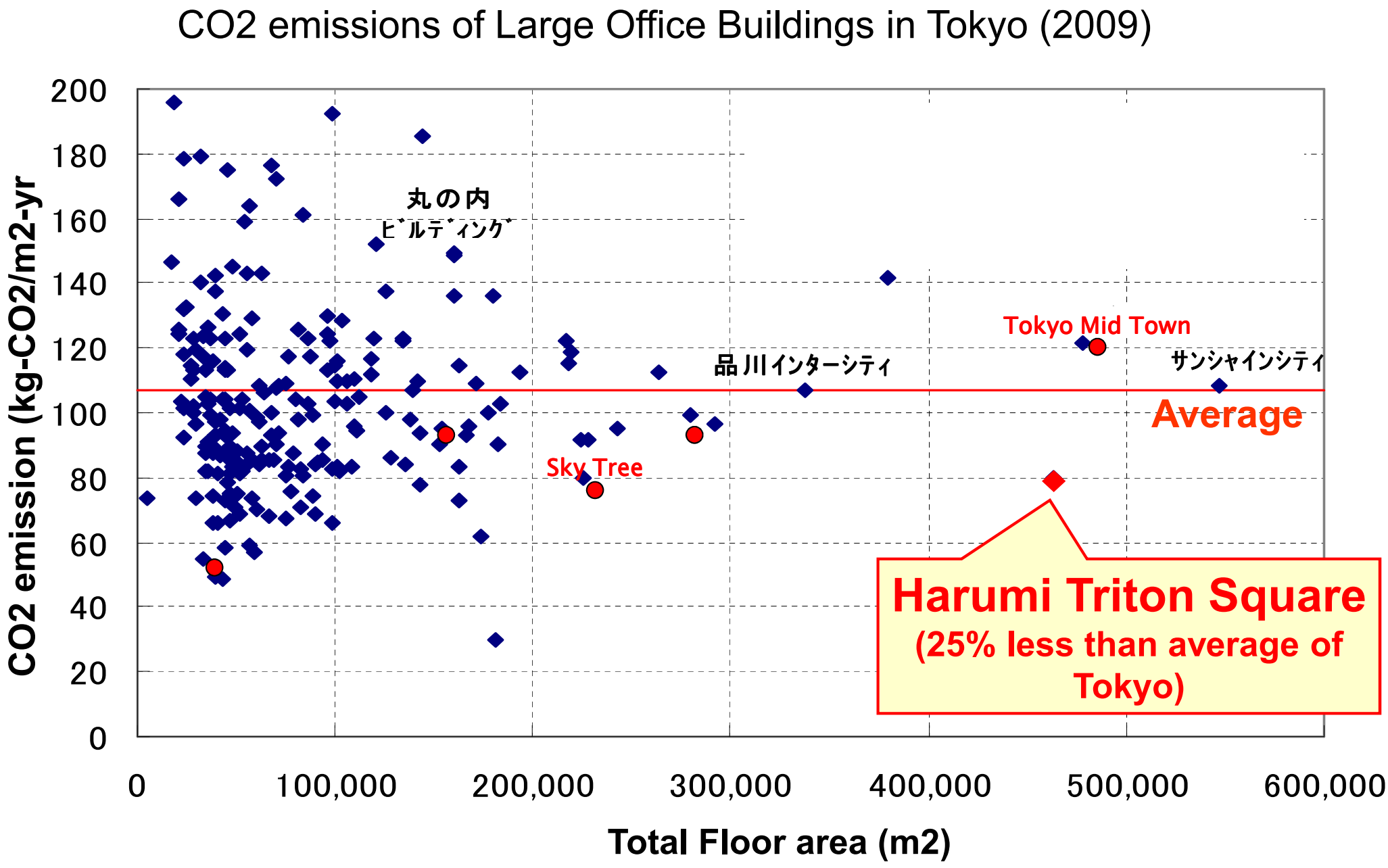
Harumi Triton Square…(3)

- Schematic of DHC and Area Energy Management Systems



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Harumi Triton Square…(4)



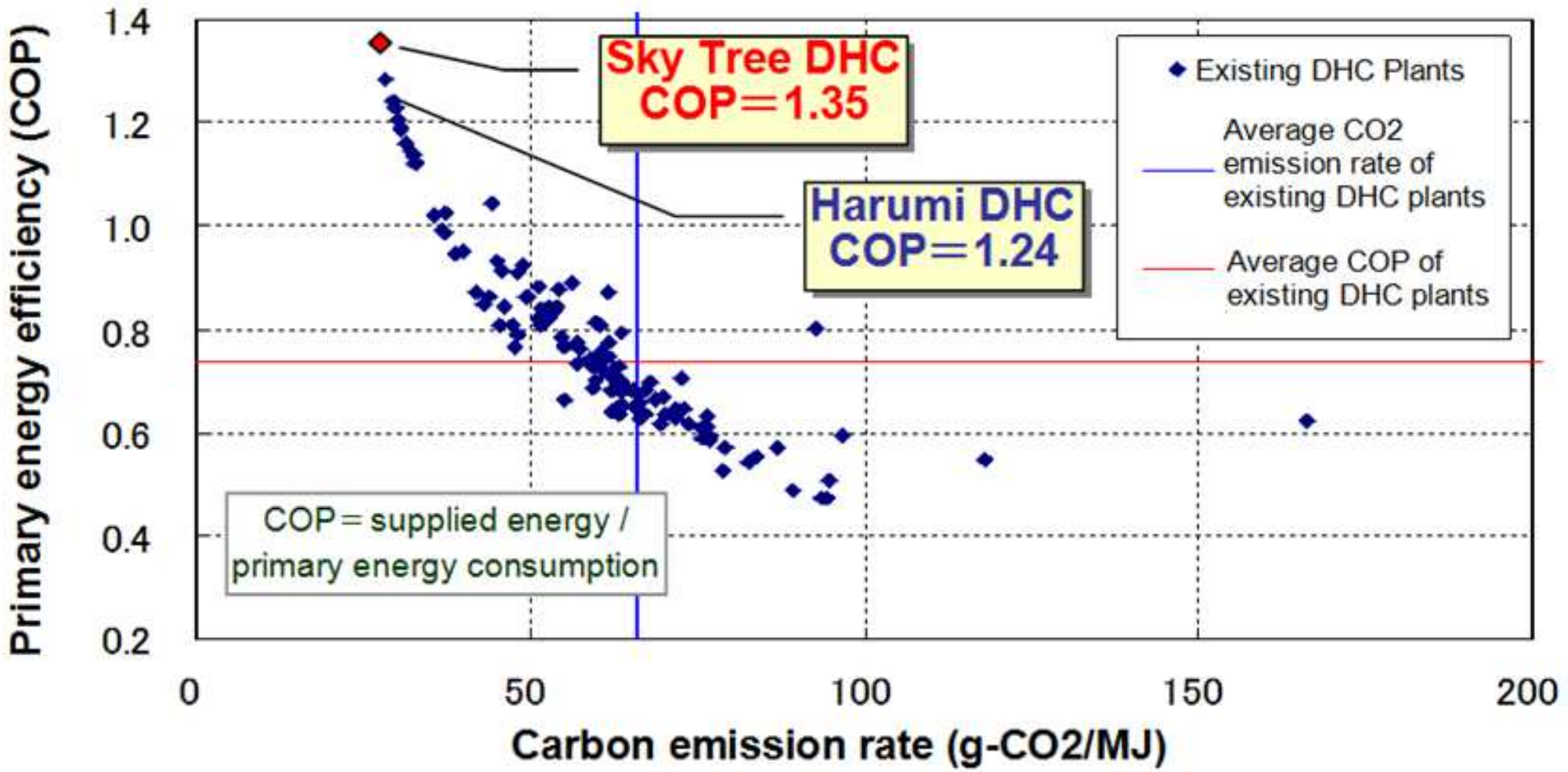
Tokyo Sky Tree Town…(1)

- Completed: 2012
- Site area: 36,844 m^2
- Total floor area: 229,783 m^2



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

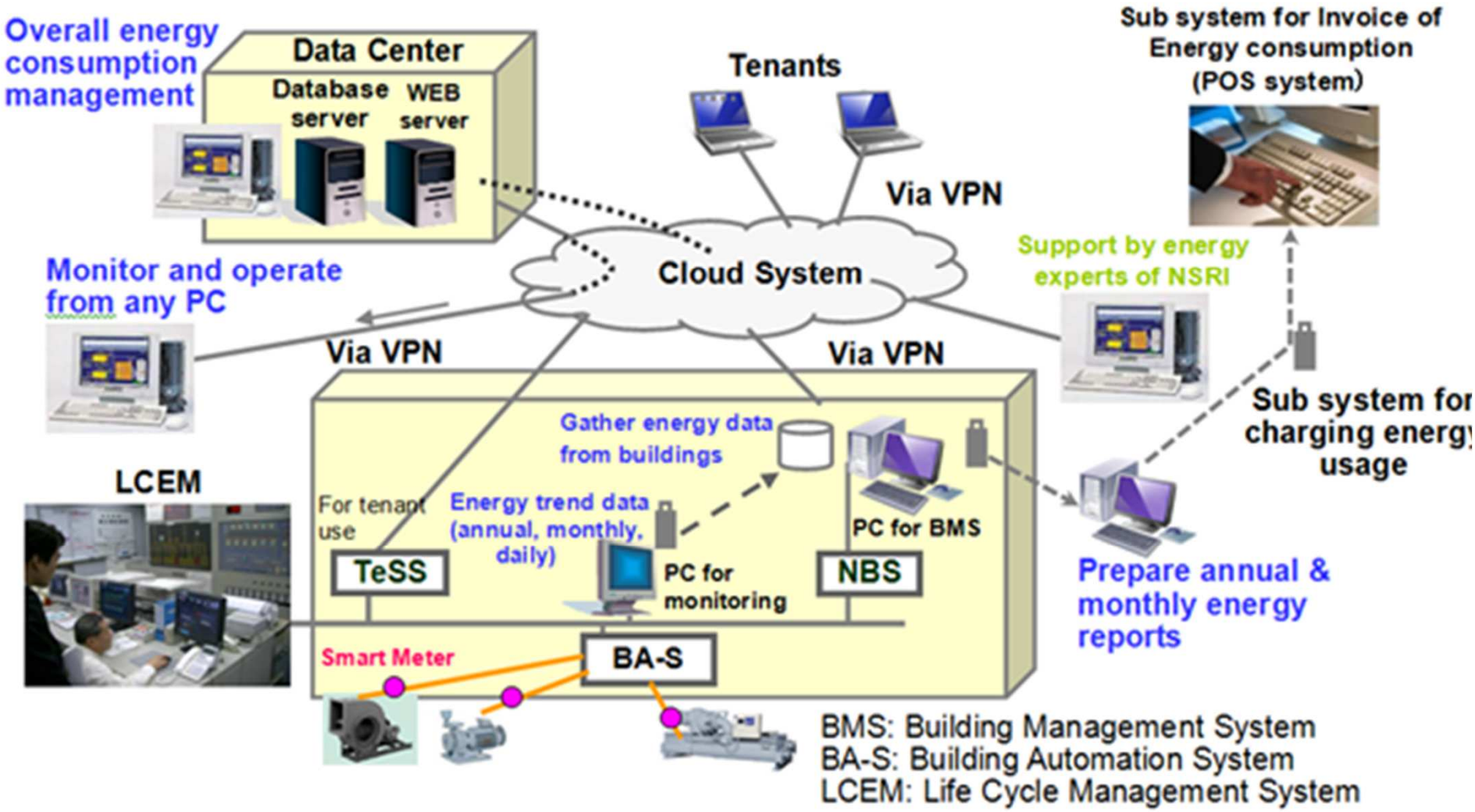
Tokyo Sky Tree Town…(2)



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Tokyo Sky Tree Town…(3)

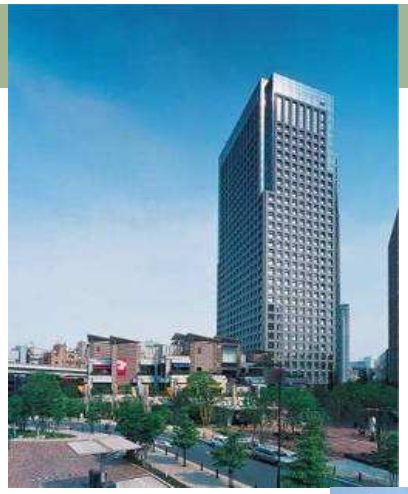
Energy Management System in Tokyo Sky Tree



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

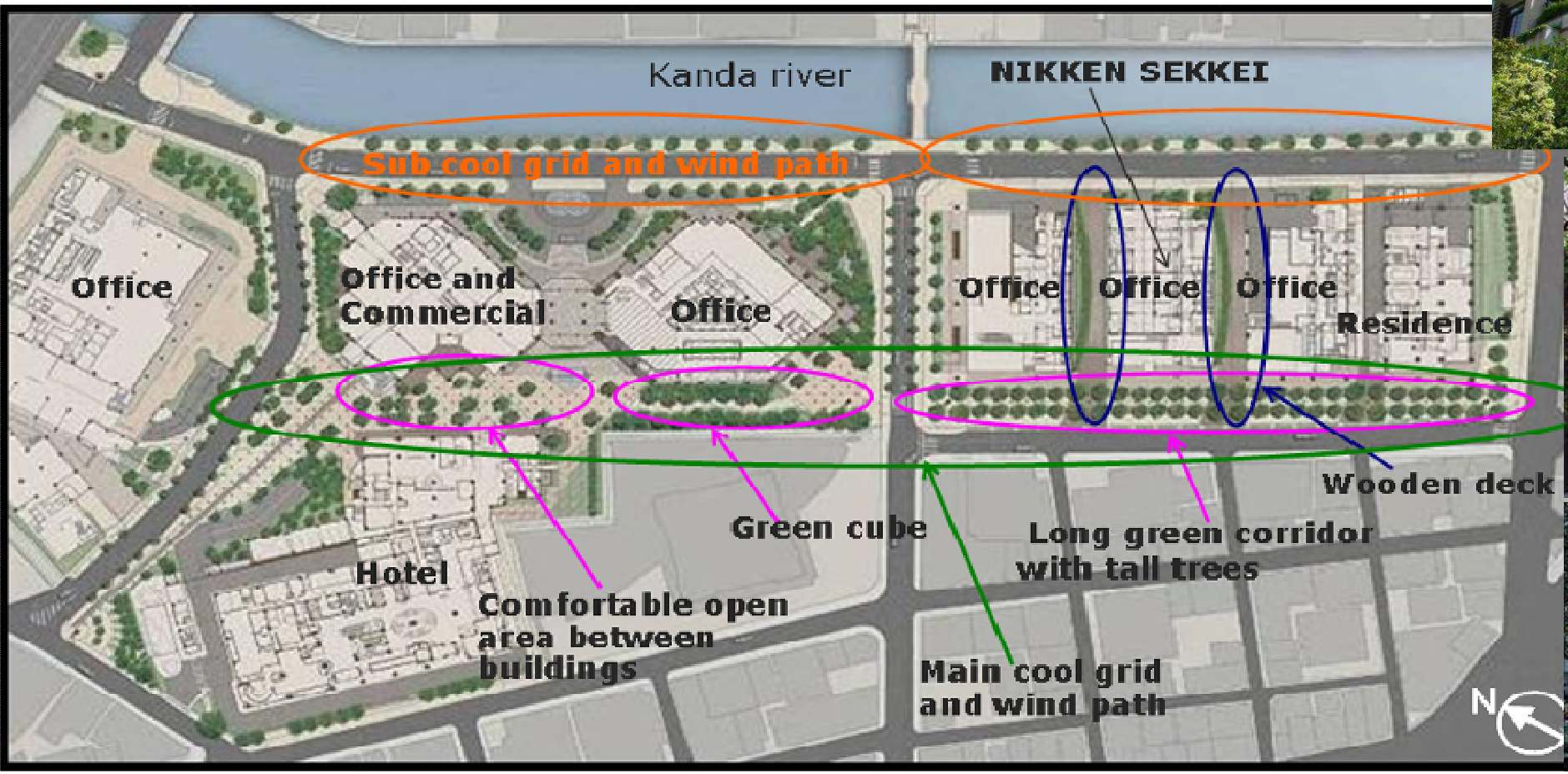
I-Garden Air, Tokyo… (1)

Location:	Chiyoda ward, Tokyo, Japan
•	Redevelopment of JR yard
Completed:	2003
Site area:	41,000m2
Total floor area	244,004m2
Planned population:	Residence 249 rooms, Hotel 220 rooms, Employees 8,200







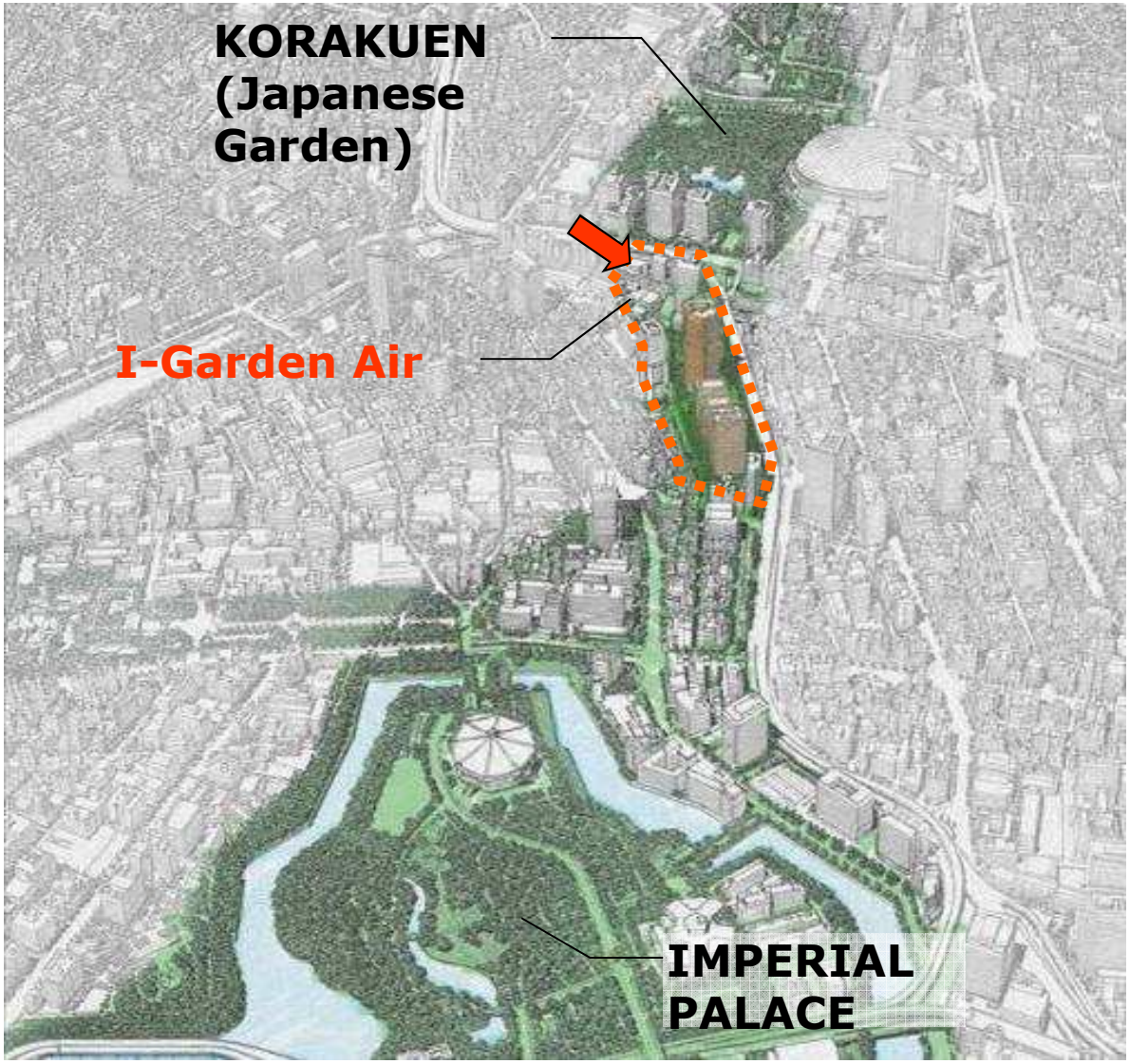






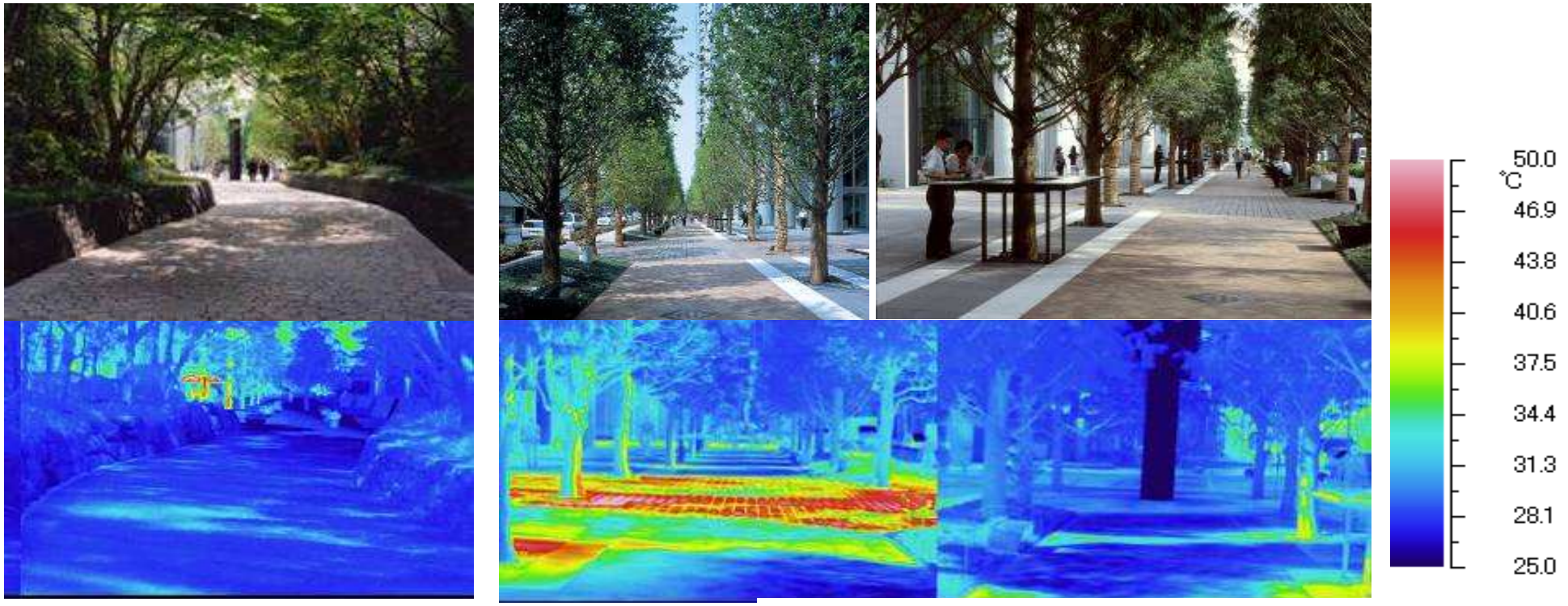
I-Garden Air, Tokyo… (2)

- The main concept is to create a "cool urban development" by designing a 300-meter "green corridor" lined with trees and greeneries between buildings with a unified setback.
- The "green corridor" forms an axis linking two nearby green spaces – the Imperial Garden and Korakuen Japanese Garden.
- The design has resulted in the improvement of the site's thermal environment and modification of the urban climate in Tokyo.

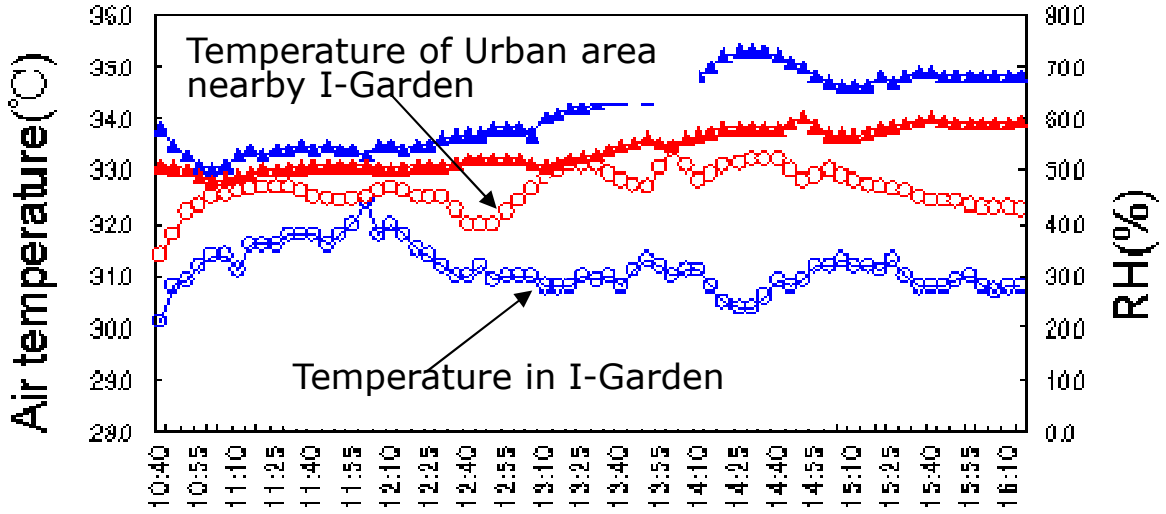


Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

I-Garden Air, Tokyo… (3)



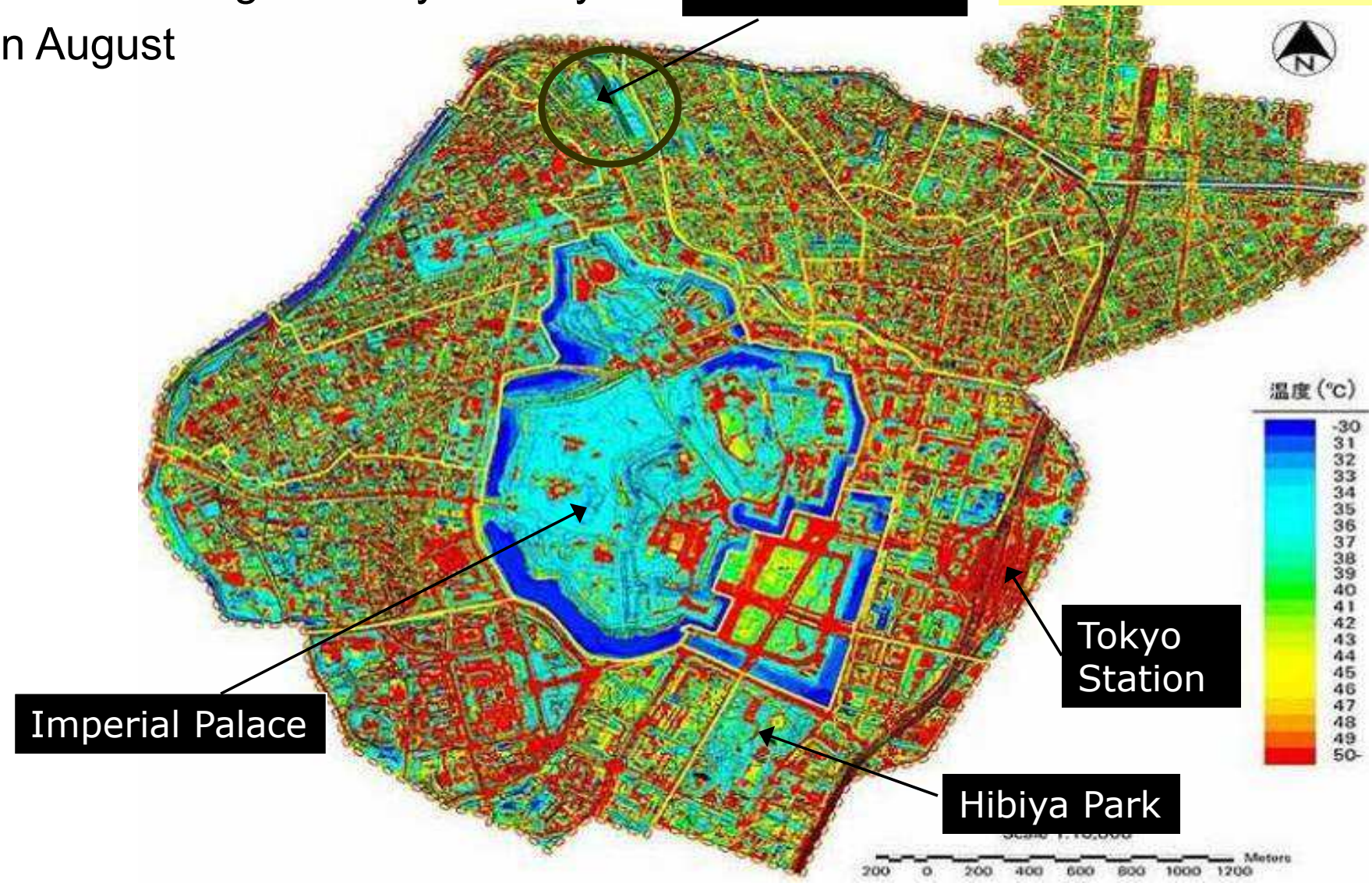
While the surface temperature of non-shaded concrete pavement is as high as 50ºC, the paved area shaded by tall trees is at least 10 degree cooler.



I-Garden Air, Tokyo… (4)

"I-garden Air" area is one of the visible cool spots in Tokyo

Aerial thermal image of Tokyo's Chiyoda Ward in August

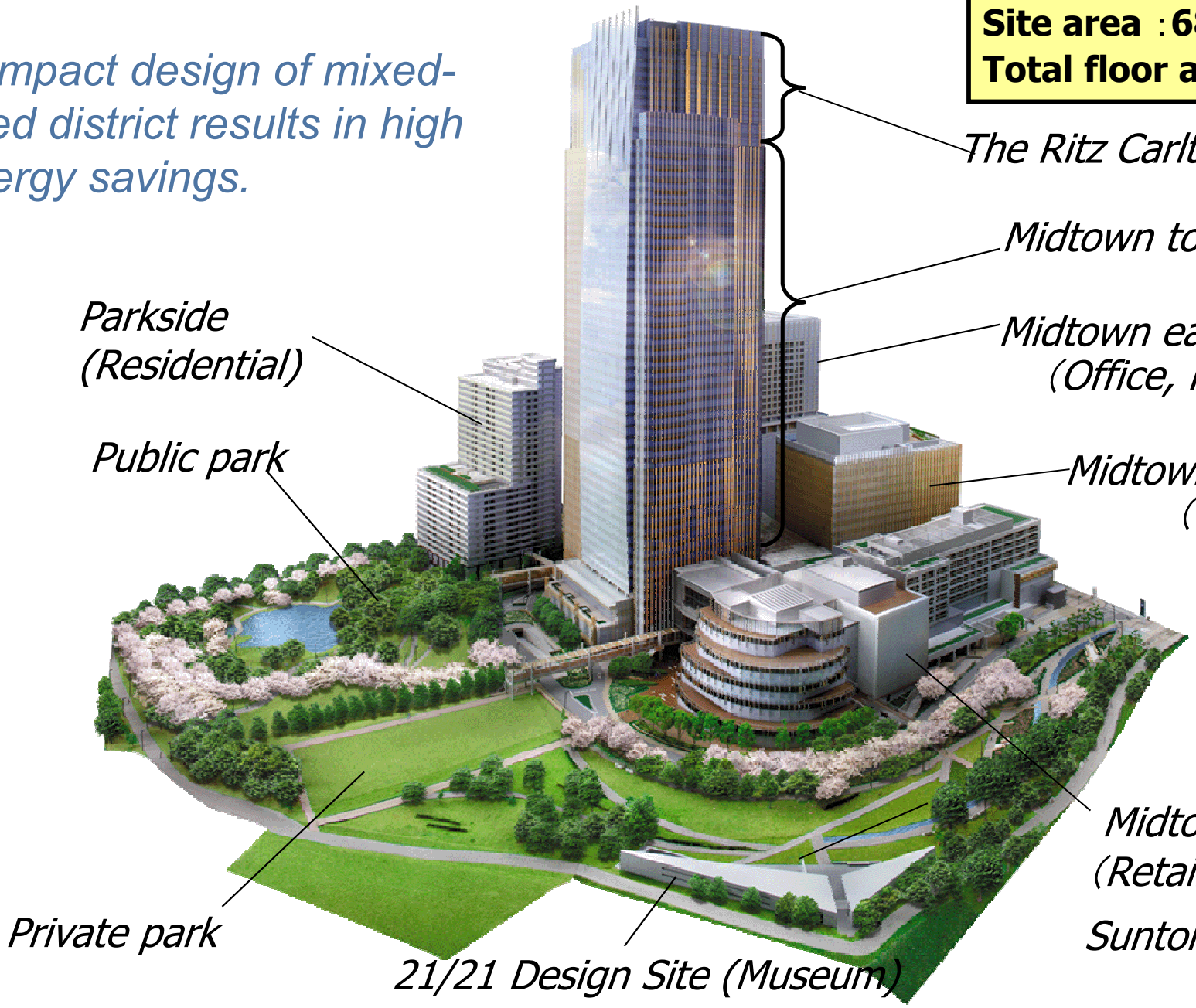


Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Tokyo Midtown…(1)

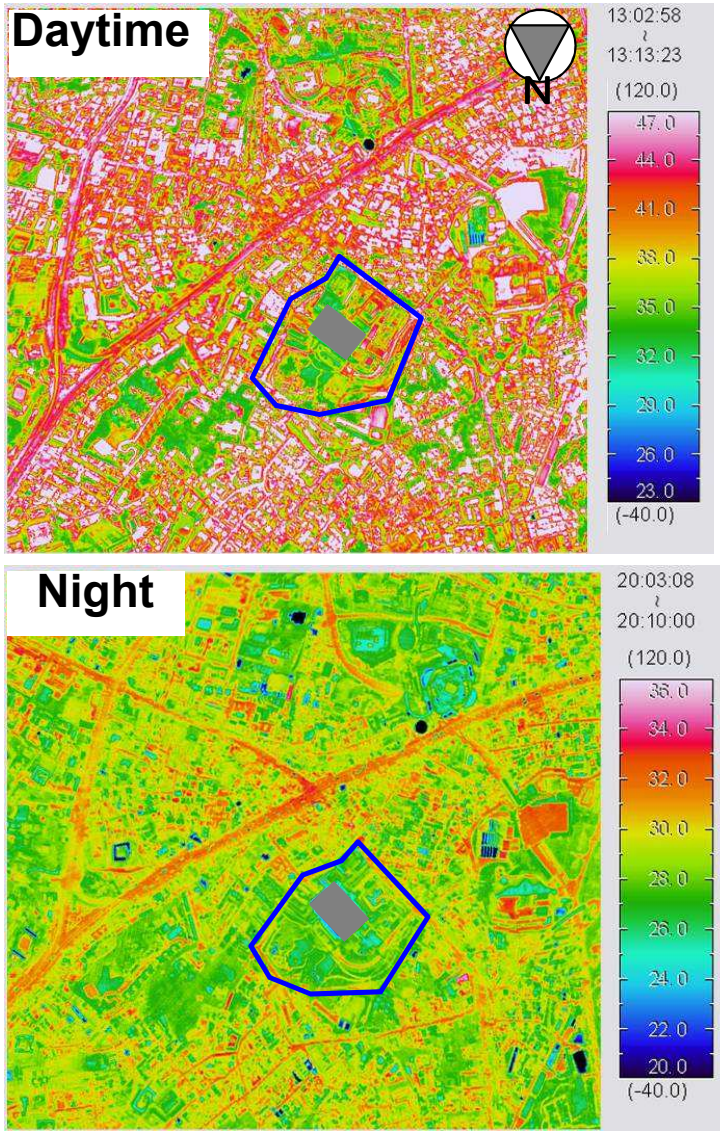
- *Compact design of mixed-used district results in high energy savings.*

Completed : 2007
Site area :68,891 ㎡
Total floor area : 563,800m²



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Tokyo Midtown…(2)



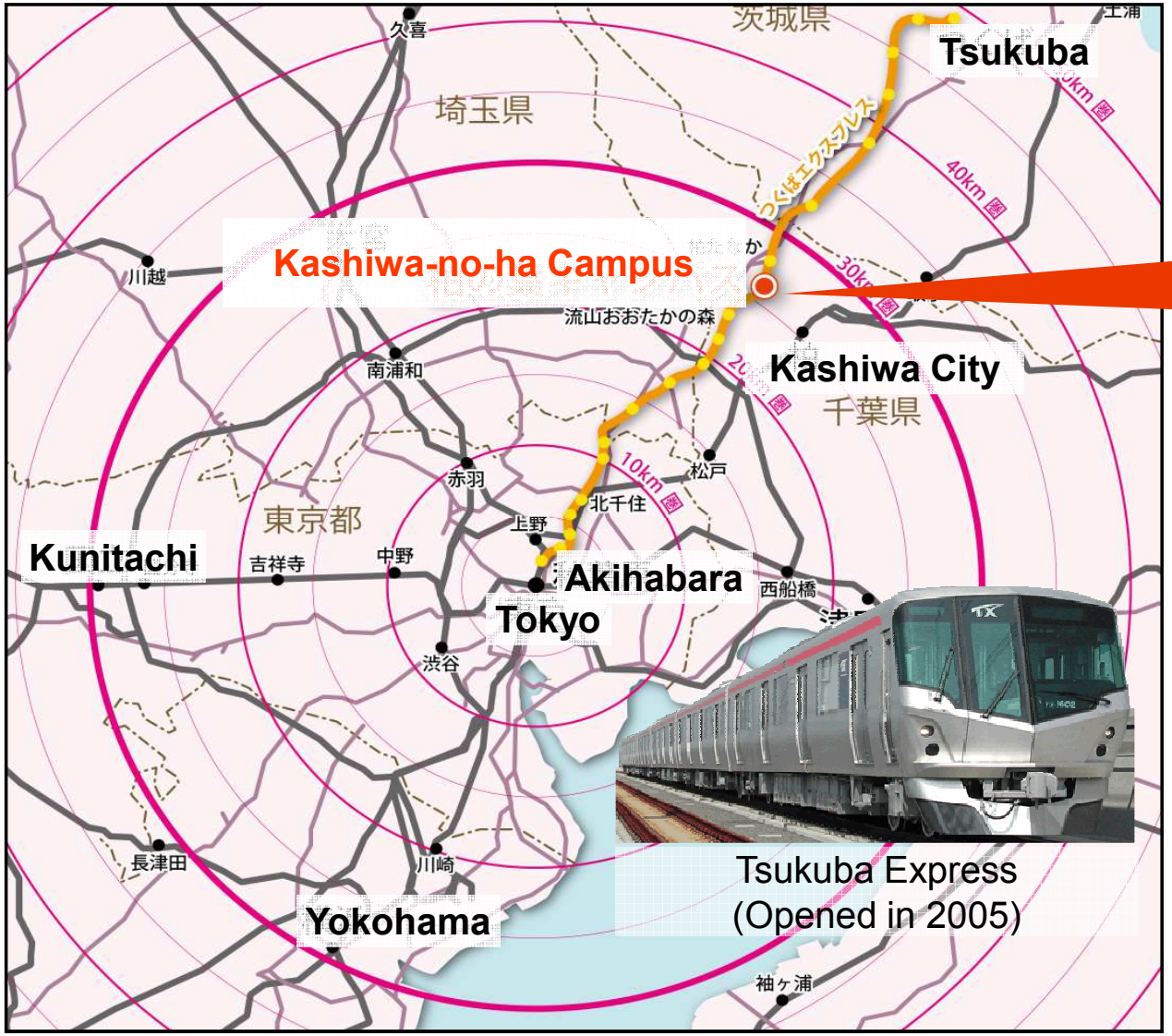
High-efficient DHC system with cogeneration and abundant green spaces on the site helps mitigate heat island effect.



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Kashiwa-no-ha Campus City…(1)

- 25 kilometers from central Tokyo
- 30 minutes from central Tokyo by Tsukuba Express



Kashiwa-no-ha Campus



Designing New town future

■Utilizing cutting-edge technology

■Many stakeholder could join figuring new town at any stage.





Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Kashiwa-no-ha Campus City…(2)

Kashiwa-no-ha: A model for resolving global issues

Environmental-friendly City

- Centralizing regional energy management
- Saving, creating, and storing energy
- Encouraging sustainable localization in food and energy
- Low-carbon urban transportation
- Maintaining lifelines during disasters

City of Health and Longevity

- Engaging in regional collaboration for disease prevention and preventive care
- Ensuring full social participation of the elderly population
- Using information and communication technology for inter-generational interaction

City of New Industry Creation

- Supporting local start-ups that utilize cutting-edge Japanese technology
- Fostering new industries that can provide a solid foundation for a green economy
- Creating a world-leading community of innovative start-ups



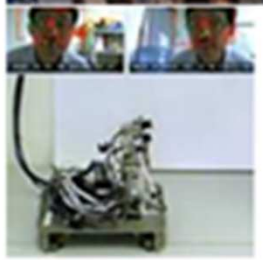




Safe, secure, and sustainable Smart City





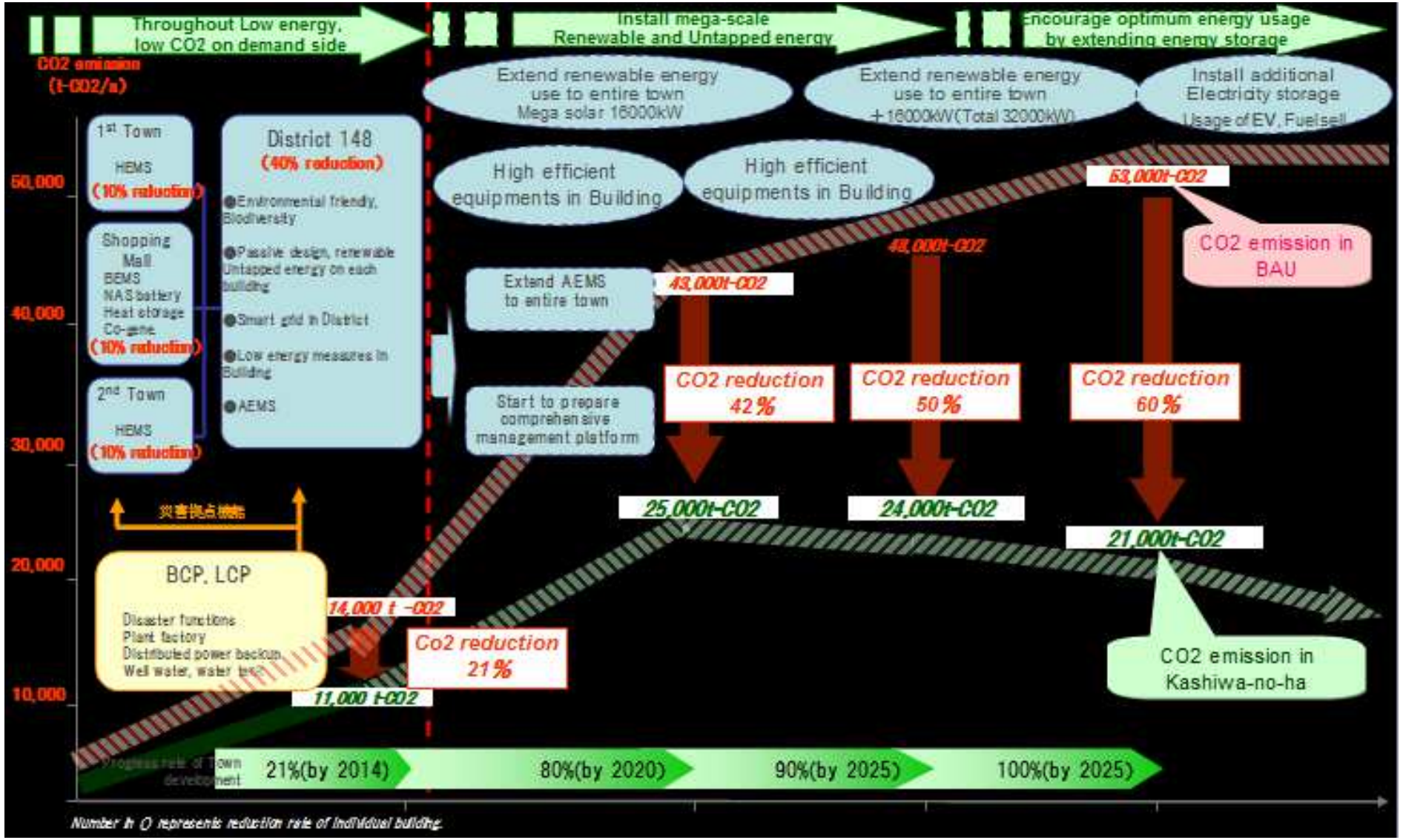




Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Kashiwa-no-ha Campus City…(3)

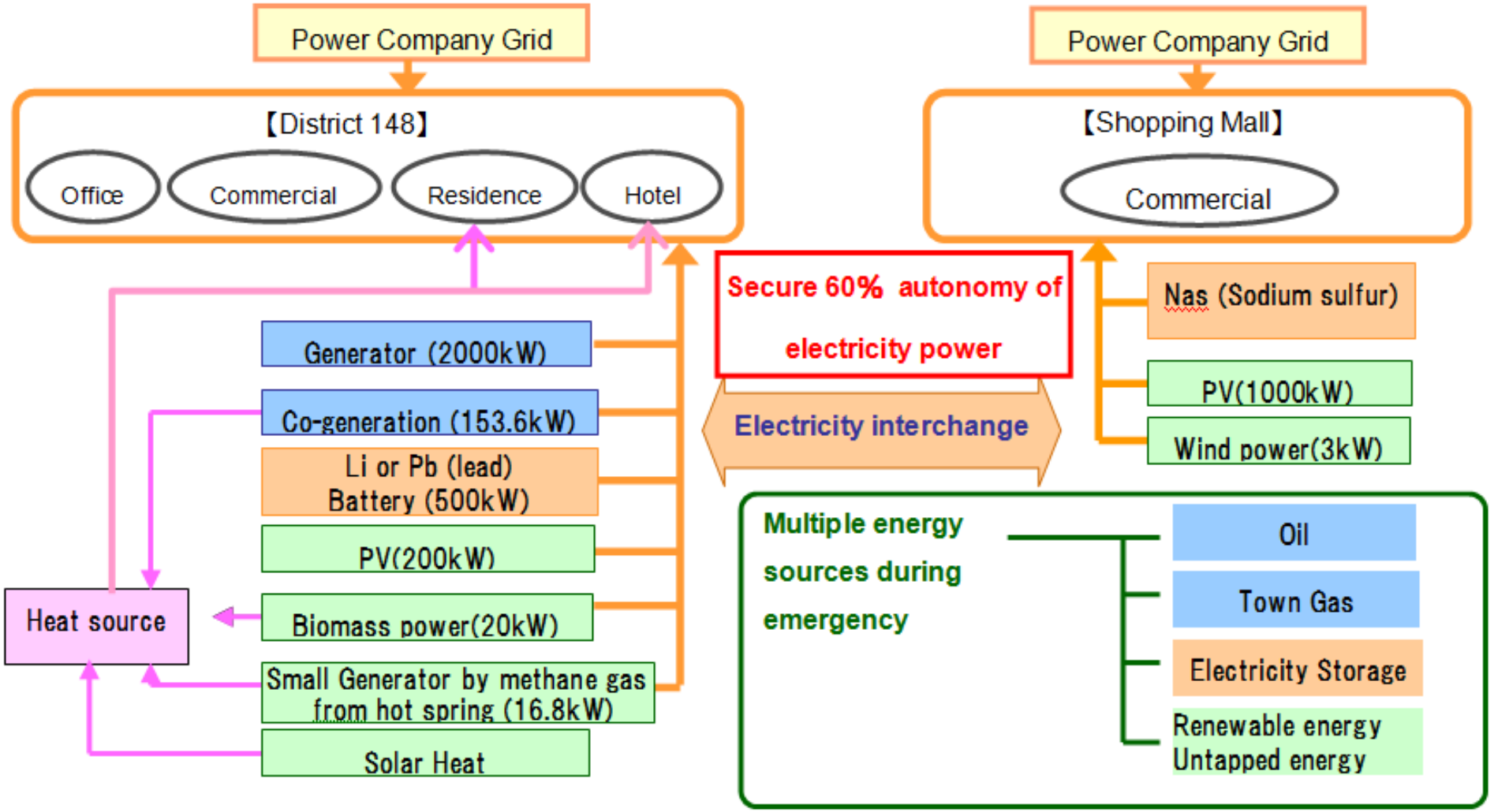
Mid-term & Long-term CO2 reduction target of Kashiwa-no-ha



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Kashiwa-no-ha Campus City…(4)

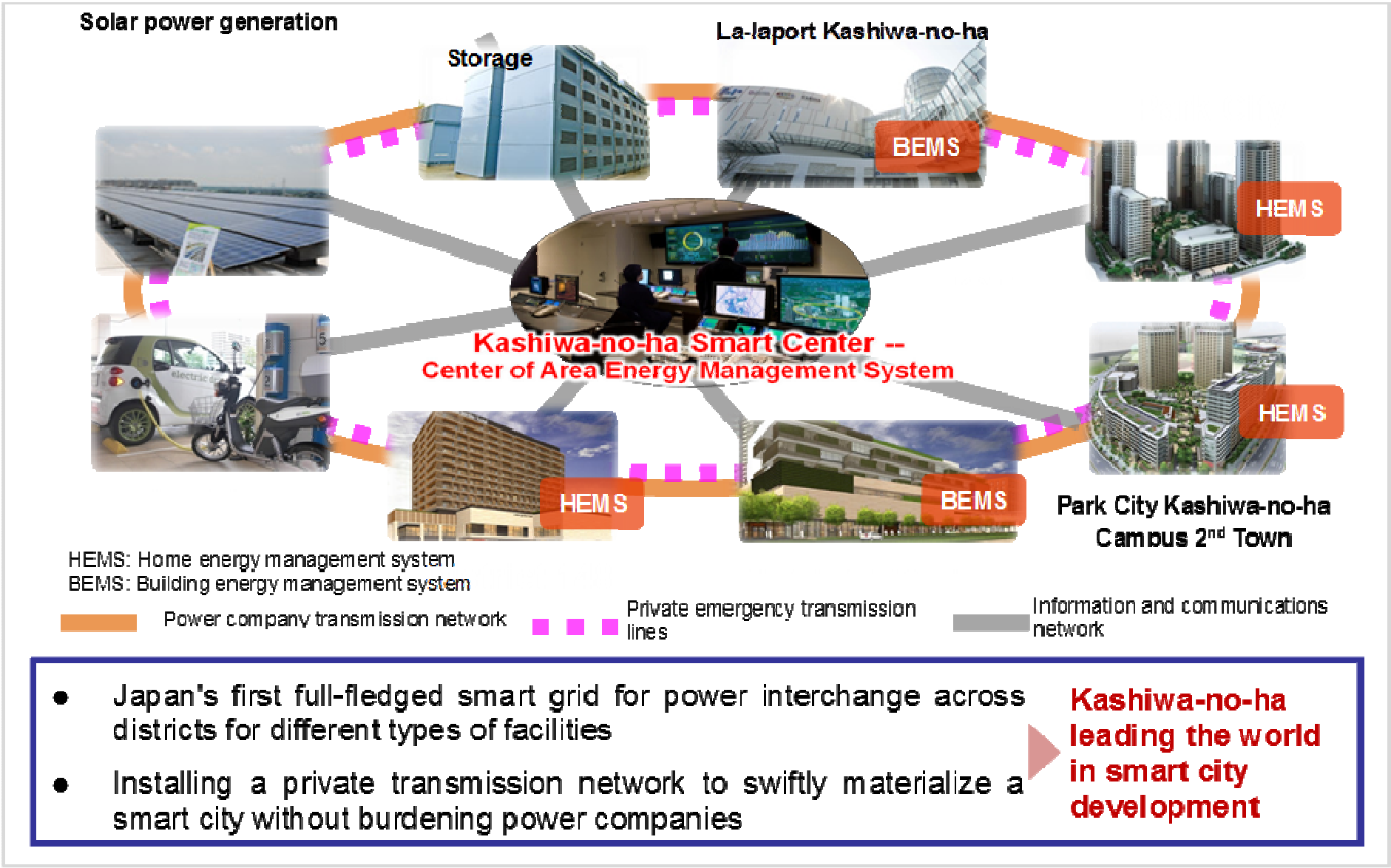
- Energy security through network of multiple energy sources: renewable energy, untapped energy, city gas, power storage and grid power.



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Kashiwa-no-ha Campus City…(5)

- First Full-Fledged Smart Grid in Japan



- Japan's first full-fledged smart grid for power interchange across districts for different types of facilities
- Installing a private transmission network to swiftly materialize a smart city without burdening power companies

Kashiwa-no-ha leading the world in smart city development

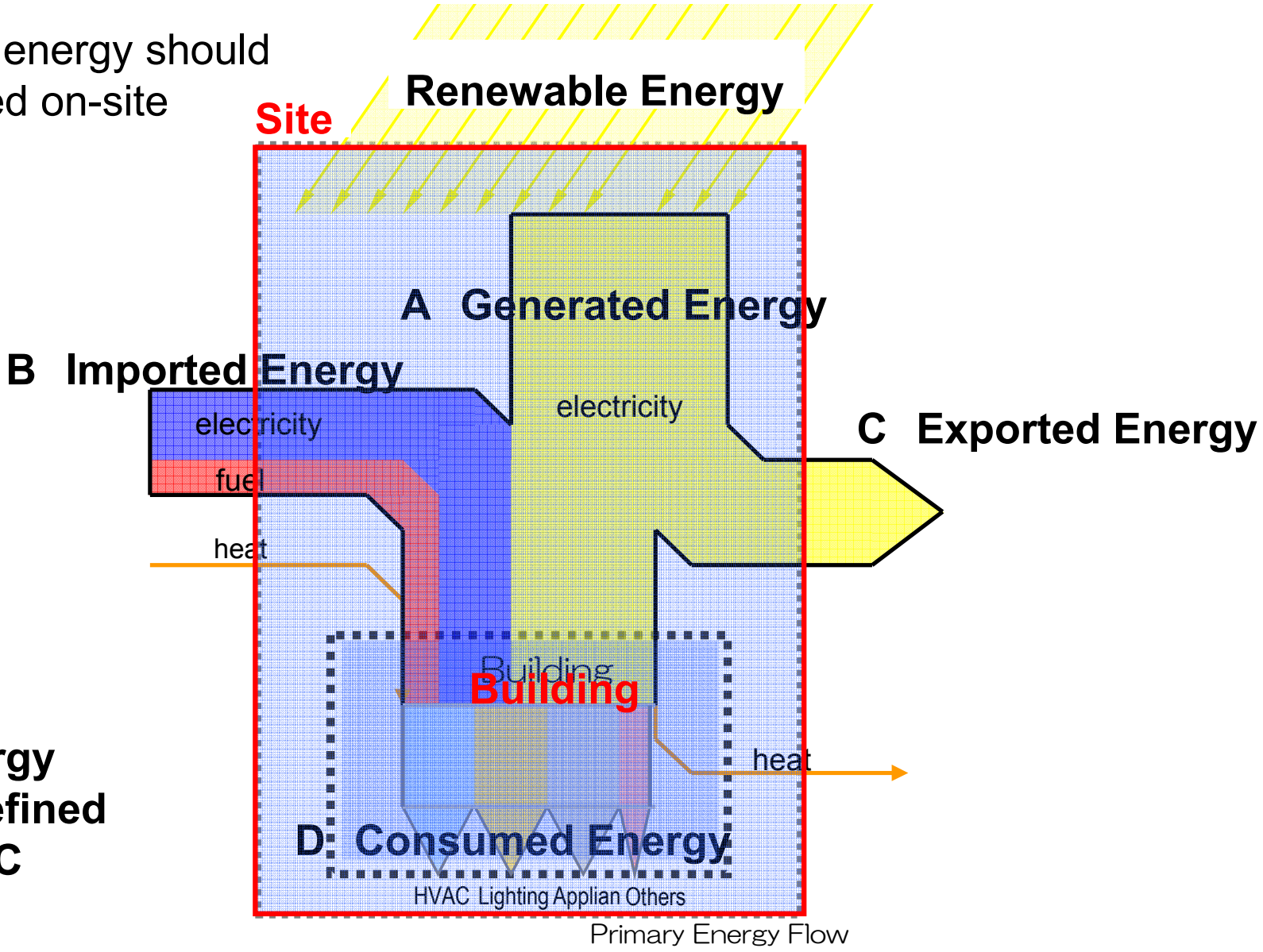
Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

ADDENDUM

- Zero Energy Building
- BESM program proposed by BMC - discussions

Definition of net Zero Energy Building (ZEB)

Renewable energy should be generated on-site

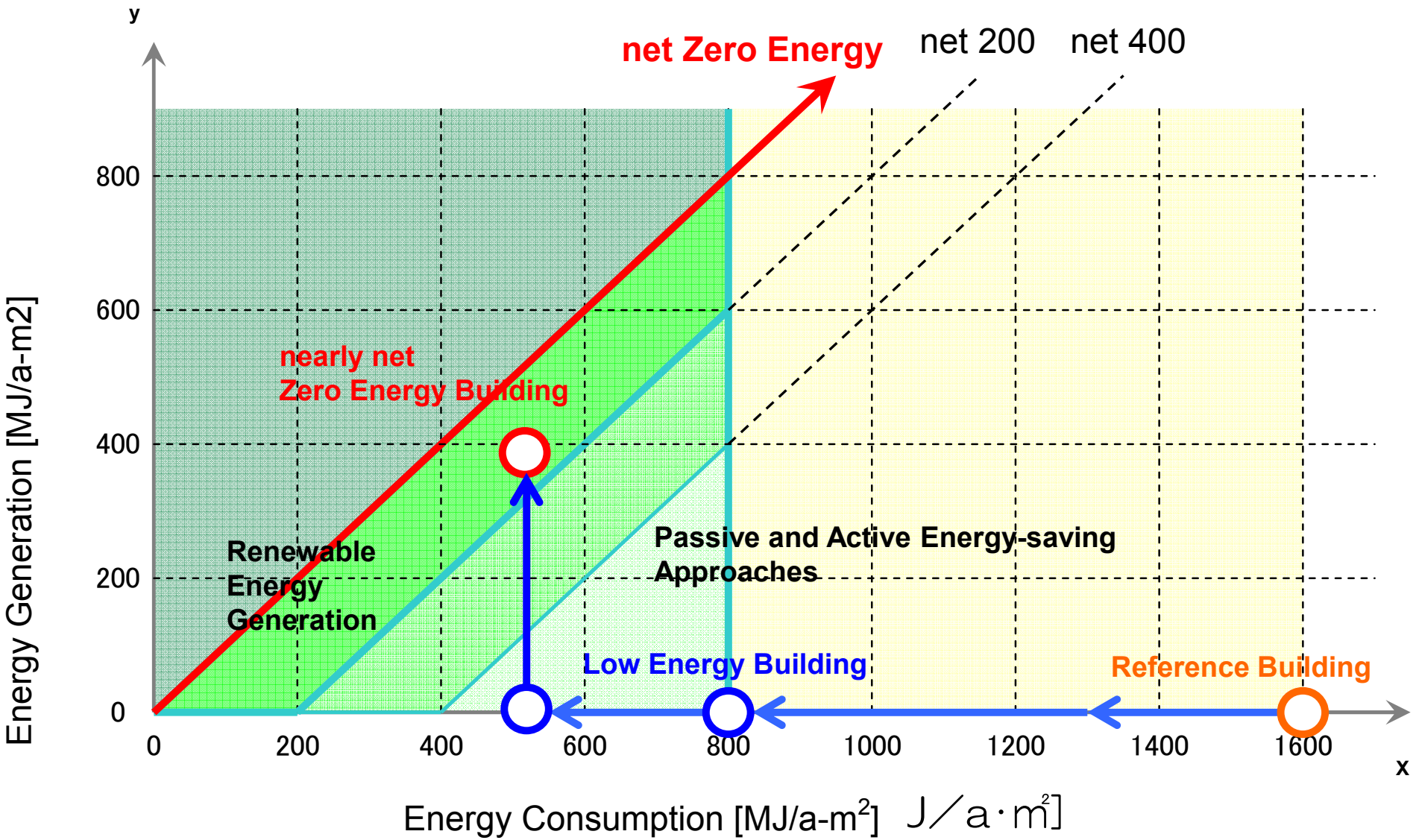


Net Zero Energy Building is defined as A=D or B=C

Primary Energy Flow of net Zero Energy Building

Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

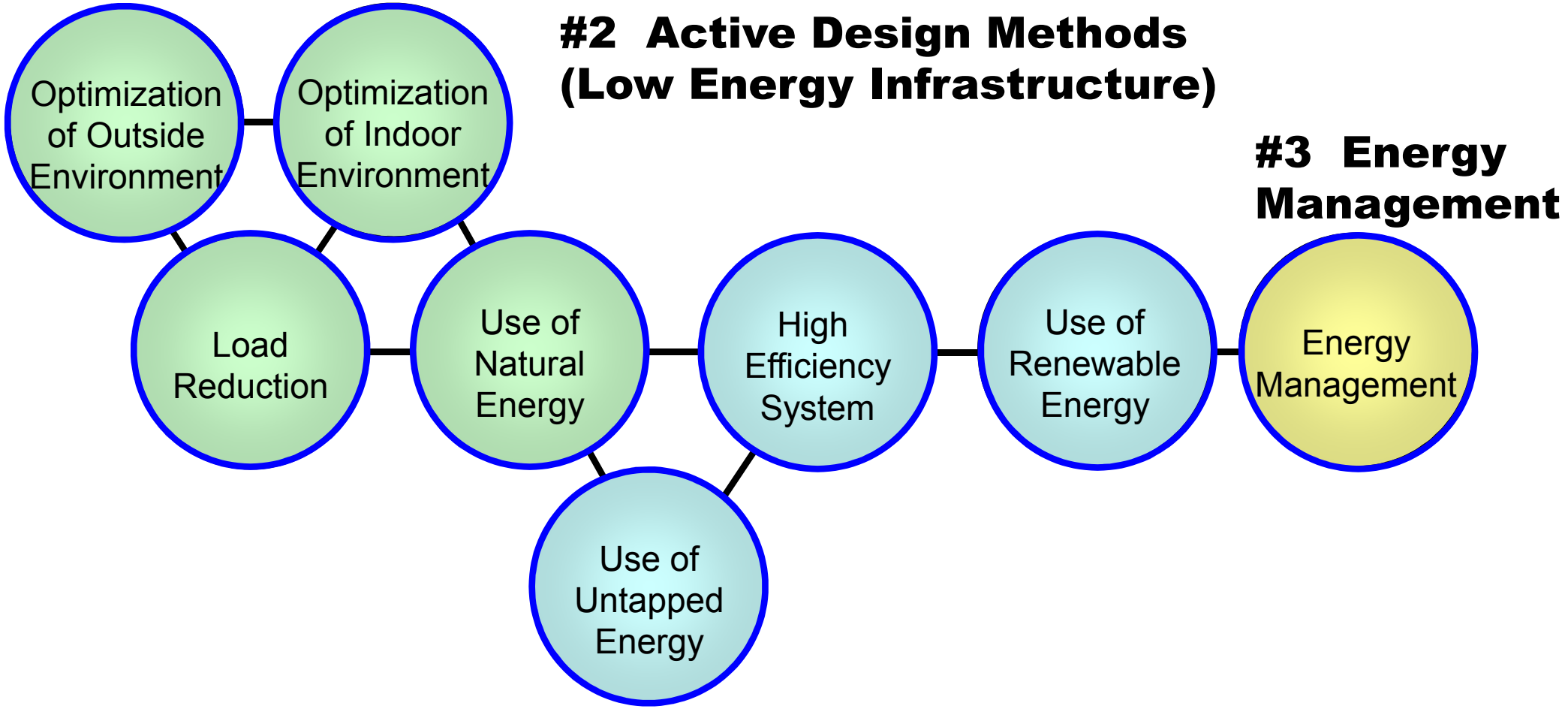
Approach to Zero Energy Building (ZEB)



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Design Methods of net Zero Energy Building

#1 Passive Design Methods (Low Energy Building)



#2 Active Design Methods (Low Energy Infrastructure)

#3 Energy Management

Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

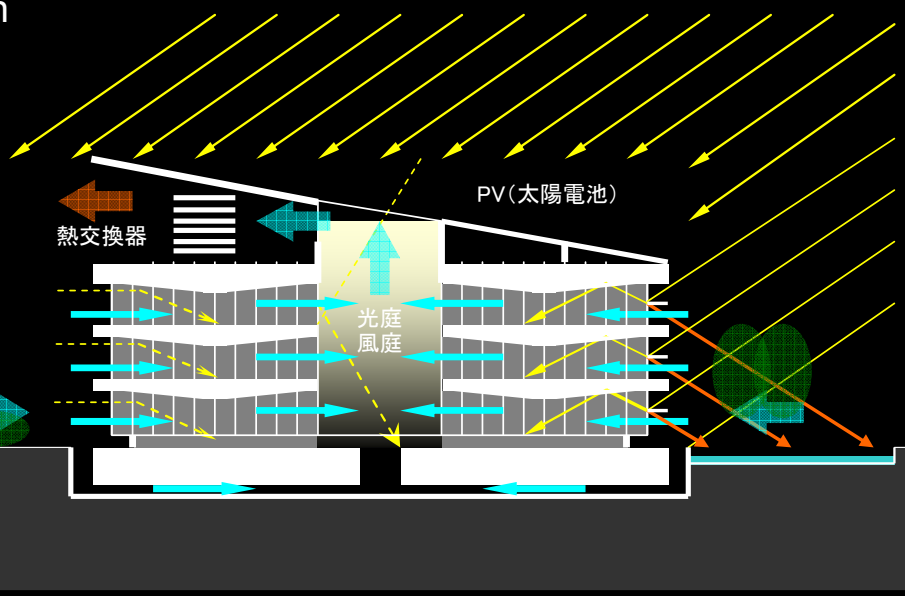
Zero Energy Building (ZEB) Model

1. Optimization of Outside Environment
- 1.1 Location of Building
  Ventilation, Location of Building
- 1.2 Outside Environment Planning
  Green and water, Surface Material

2. Optimization Indoor Environment
- 2.1 Thermal Environment
  Temperature, Humidity, Radiation
- 2.2 Lighting Environment
  Optimization of illumination
- 2.3 Air Quality
  Outside Air Volume

3. Load Reduction
- 3.1 Shading of Sunlight
  Tree, Building Shape
- 3.2 Insulation of Envelope
  Window Surface, Pair Glass
  Double Skin、Roof Greening
- 3.3 Reduction of Inner heat
  Waiting Power, Clouding

4. Use of Natural Energy
- 4.1 Natural Lighting
  Top light, Light shelf, Light Duct
- 4.2 Natural Ventilation
- 4.3 Earth heat Using
  Earth Tube, Geo-HP
- 4.4 Solar Heat Using
  Passive and Active



5. Use of Unutilized Energy
- 5.1 Temperature Difference
  Ground Water

6. High Efficiency System
- 6.1 Lighting
  LED、Natural Lighting
  Task & Ambient Lighting
- 6.2 HVAC
  High Efficiency Equipment
- 6.3 Heat Source
  High Efficiency System
- 6.4 Electricity
  High Efficiency Trans
- 6.5 Others
  HW Supply system
- 6.6 Control
  Blind Control
  Task & Ambient Control

7. Resource and Material
- 7.1 Resource
- 7.2 Materials
- 7.3 Waste

8. Use of Renewable Energy
- 8.1 PV
- 8.2 Wind Power
- 8.3 Biomass

9. Energy Management
- 9.1 BEMS
- 9.2 LCEM
- 9.3 Visualization

Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Examples of nearly ZEB in the world



Malaysia ST Diamond Building



Korea National Environmental Research



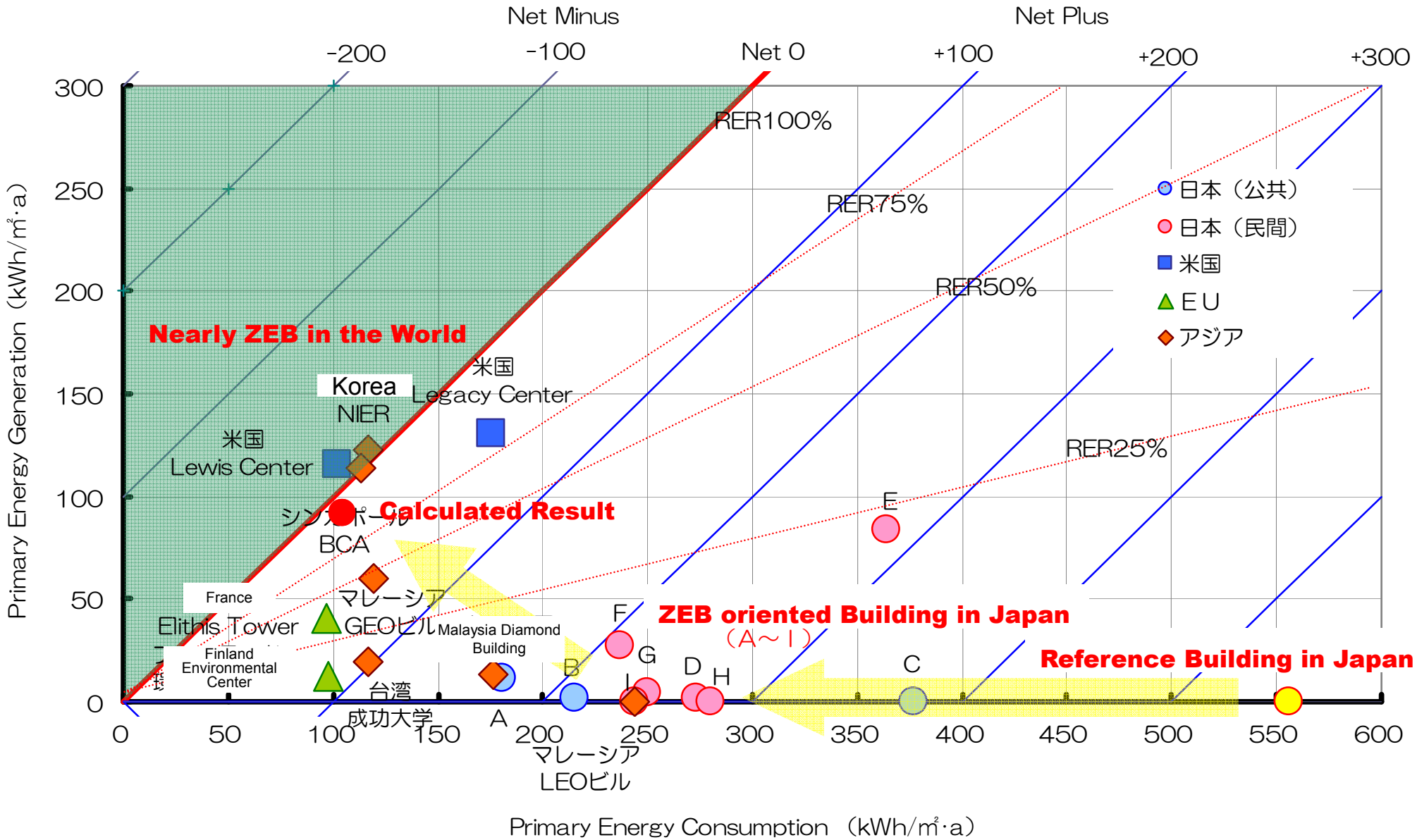
France Elithis Tower



Finland Environmental Center

Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Energy Consumption and Generation of ZEB's in the World



Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

BESM program proposed by BMC - discussions

1. Who will perform the simulation for energy compliance?
   - Architect? Engineer? Third party energy modeler?

2. Who will provide the training to architects/engineers? And how?
   - DEDE? BMC?

3. Who will provide continued technical support?
   - EnergyPlus / Openstudio / Sketchup are created and maintained by software developers outside of Thailand.

4. It is difficult to ensure seamlessness when using “integrated tools”.
   - Testing must be carried out thoroughly before implementation.

5. Will the proposed compliance standard offer “**prescriptive path**” (*building materials / equipment must meet certain level of performance individually*) besides “**performance path**” (*whole building analysis*)?

6. Other potential issues…

Copyright © 2014 NSRI. All rights reserved.

Meeting Minutes

Project: **Promoting Energy Efficiency in Commercial Building (PEECB)**

Date	April 30, 2014 (Wednesday)
Time	14:00 - 16:00
Location	BMC's Office, Bangkok Thailand
Attendees	Dr. Yamamura Shinji NSRI Mr. Ogawa Takahiro NSRI Ms.Wong Sheau-Chyng NSRI Mr. Kamol Tanpipat BMC Mr. Jirayut Charoenchatchai BMC Mr.Pahol Chaloeykitti BMC Ms.Papatsara Choo-on BMC Ms.Boonjira Janangkakan BMC Ms.Charoensri Huadmai BMC
Minutes Prepared By	Wong Sheau-Chyng NSRI

Key Points Discussed

No.	Discussion / Outcome / Decision	Action / Follow up
1	**Status Update of the PEECB project by BMC** *(discussions were based on ppt and handouts prepared by BMC)*	-
1.1	The PEECB project has three components. BMC is responsible for the overall project management and project component #1: Awareness Enhancement on Building EE Technologies and Practices. NSRI is assisting BMC in project component #1. The overall project spans from 2013 to 2017.	-
1.2	Thailand has already developed a building energy compliance software called BEC but it is too difficult to use (no graphics, manual input only, difficult to check calculations etc.) DEDE wants to develop a new and better building energy simulation model (BESM) to be used for compliance calculations and for promoting energy efficiency by whole building energy analysis. BMC is responsible for the development of the new BESM.	-
1.3	BMC has considered developing a BESM from scratch but the process was found to be too difficult. BMC has decided to adopt existing open-source simulation models, i.e., Open Studio coupled with Sketchup and EnergyPlus. NSRI will assist BMC in the development of the new BESM.	-
2	**Report on "Study of Green Building Policies and Best Practice Buildings in Japan" by NSRI** *(discussions were based on ppt prepared by NSRI, see attachment No.1)*	-
2.1	NSRI presented a summary of the report and addressed several comments	-

No.	Discussion / Outcome / Decision	Action / Follow up
	or questions previously given by DEDE/BMC.	
2.2	NSRI presented the basic concept and model for Zero-Energy-Building. BMC requested that NSRI includes them in the report on "Energy Efficiency Technologies in Commercial Buildings".	NSRI
2.3	DEDE has established a building energy efficiency rating system that rates buildings from BEC, HEPS, Econ to ZEB. BMC is currently creating a menu of technologies that are applicable to each tier. NSRI will provide recommendations for technologies to be added to the current menu.	NSRI
3	**Scope of Works for NSRI by BMC** *(discussions were based on ppt and handouts prepared by BMC)*	-
3.1	The "Experiences in Promoting Energy Efficiency in Commercial Buildings in Japan" report is equivalent to the "Study of Green Building Policies and Best Practice Buildings in Japan" report already prepared by NSRI. NSRI will revise and finalize the report and submit to BMC.	NSRI
3.2	The scope for "support BMC to organize study trip to Japan" has already been completed in November 2013.	-
3.3	The scope for "review and provide recommendation to improve Energy Simulation Software for calculating and analyzing energy consumption in commercial buildings in Thailand" is too broad for NSRI. NSRI will revise the terms in the draft contract to limit the NSRI's responsibilities to "providing feedback on the materials presented by BMC regarding BEC Software and the proposed new simulation tool" and send the revised contract to BMC.	NSRI
3.4	NSRI will prepare the report on "Energy Efficiency Technologies in Commercial Buildings" which covers the topic of Smart Buildings and Smart Cities. DEDE currently has no definition for Smart Buildings or Smart Cities. NSRI will propose the concepts. BMC is currently engaged in the exhibits renewal project for the Energy Display Center. The Smart technologies covered in NSRI's report will be used by BMC as references for this project. BMC has requested NSRI to corporate with HITACHI to support DEDE in constructing of SMART Grid Display Room at DEDE's Energy Display Center.	NSRI / BMC
3.5	NSRI will support BMC in conducting seminars in Thailand to promote energy efficiency in commercial buildings in Thailand. The exact seminar dates have not been decided, but two seminars will be conducted in 2014 and two seminars will be conducted in 2015.	NSRI/BMC

รายงานการประชุม
คณะทำงานโครงการส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอาคารธุรกิจ
(Promoting Energy Efficiency in Commercial Buildings, PEECB)
ครั้งที่ ๓/๒๕๕๗ (ครั้งที่ ๘)
เรื่อง แนวทางการจัดทำรายงานผลการดำเนินงานภายใต้ component ๒ และ ๓
วันศุกร์ที่ ๑๖ พฤษภาคม ๒๕๕๗
เวลา ๑๔.๐๐-๑๗.๓๐ น.
บริษัท ไบร์ท แมนเนจเม้นท์ คอนซัลติ้ง จำกัด
ชั้น ๑๕ อาคารฟอร์จูนทาวน์ กรุงเทพ

คณะทำงานที่เข้าร่วมประชุม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

๑. นางศิรินทร วงษ์เสาวศุภ ประธานคณะทำงาน
๒. นายมนัสวี ฮะกีมี
๓. นายบวรพงษ์ สุนิภาษา
๔. นางสาวกุลศิริ ศักดิ์ประสิทธิ์
๕. นายพงศ์พันธุ์ วรสายัณฑ์
๖. นายสุทธิชาติ แสงสุวรรณ

UNDP

๗. ดร. สุธาริน คูณผล

ที่ปรึกษา

บริษัท ไบร์ทแมเนจเม้นท้ คอนซัลติ้ง จำกัด

๘. นายกมล ตันพิพัฒน์
๙. นายพหล เฉลยกิตติ
๑๐. นางเจริญศรี ฮวดมัย

บริษัท เอ็นจิเนียริ่ง โซลลูชั่น โพรวายเดอร์ จำกัด

๑๑. นายพงศ์กานต์ เปี่ยมสุทธิธรรม
๑๒. ดร. จิระโชติ ดาวสุโข
๑๓. นายกฤต ธรรมพานิชวงศ์

เริ่มประชุมเวลา ๑๔.๐๐ น.

วาระที่ ๑ การศึกษาและกำหนดกรอบนโยบายอนุรักษ์พลังงาน

ผู้แทนบริษัท ENSOP ได้นำเสนอความก้าวหน้าของการศึกษากรอบนโยบายอนุรักษ์พลังงาน และการจัดทำข้อเสนอแนะ (Recommendations) สำหรับการจัดทำรายงานความก้าวหน้าของการดำเนินโครงการ PEECB ดังนี้

- โครงสร้างกฎหมายของไทยที่เกี่ยวข้องและบังคับใช้กับการส่งเสริมประสิทธิภาพพลังงาน คือ พระราชบัญญัติ กฎกระทรวง และประกาศตามกฎกระทรวงในเรื่องต่าง ๆ

- แผนปฏิบัติงานของแผนแม่บทอนุรักษ์พลังงาน ๒๐ปี หรือ EEDP (๒๕๕๔-๒๕๗๓) ประกอบด้วยแผนปฏิบัติการรวม ๕ กลยุทธ์ ๒๐ มาตรการ และ ๓๘ แผนงาน

- ผลการดำเนินงานด้านการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพภายใต้ EEDP ตั้งแต่ปี ๒๕๕๔-๒๕๕๗ ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับภาคอาคารธุรกิจโดยแบ่งเป็นผลการดำเนินกิจกรรมการบังคับใช้กฎหมาย การส่งเสริมและสนับสนุนการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การสร้างจิตสำนึกและปรับเปลี่ยนพฤติกรรม การส่งเสริมด้านเทคโนโลยีและนวตกรรมด้านประสิทธิภาพพลังงาน และการแสดงการเปรียบเทียบกิจกรรมโครงการที่ได้ดำเนินการแล้วกับแผนปฏิบัติการของ EEDP

- การวิเคราะห์จุดอ่อนจุดแข็งของแผนปฏิบัติการของ EEDP ในส่วนของภาคอาคารธุรกิจ โดยใช้หลักของ SWOT analysis

- นำเสนอ recommendation ของแผนปฏิบัติการ EEDP เป็น ๒ ส่วนได้แก่

    - Policy of Interest : เสนอให้มี leadership program, commercial building disclosure, tailor-made program for type-specific building และ step approach for BEC

    - Regulation Impact statement for introducing policies

ที่ประชุมมีข้อสังเกตเพิ่มเติมดังนี้

๑. การแสดงผลการดำเนินกิจกรรมตามแผนปฏิบัติการตามยุทธศาสตร์ภายใต้แผน EEDP ยังไม่ชัดเจน และเข้าใจยาก ตัวเลขของจำนวนโครงการที่ดำเนินการเมื่อเปรียบเทียบกับแผนปฏิบัติการยังไม่สอดคล้องกัน มาตรการ/โครงการสนับสนุนด้านภาษีและด้านการเงินที่นำเสนอยังมีความคลาดเคลื่อน ควรอธิบายให้ชัดเจนเข้าใจง่าย มีรายละเอียดคำอธิบายให้เข้าใจมากขึ้น

๒. SWOT analysis ที่นำเสนอในแต่ละประเด็นยังขัดเหตุและผลซึ่งกันและกัน จึงยังมีความไม่ชัดเจนในแต่ละหัวข้อ ซึ่งควรปรับแก้ให้ถูกต้องและชัดเจน

๓. Recommendation ที่ได้จากการศึกษาตาม SWOT analysis ต้องไม่ขัดแย้งกัน และมีความชัดเจนว่าผลการศึกษาจะตอบโจทย์ของข้อบกพร่องที่มีอยู่ได้จริง และสามารถเสนอแนะต่อภาครัฐถึงแนวนโยบายในอนาคตที่จะช่วยสนับสนุนการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอาคารให้เป็นไปตามเป้าหมายของแผน EEDP และสามารถเชื่อมโยงกับสิ่งที่จะต้องดำเนินการใน component ที่ ๓ ของโครงการ ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงกรอบที่จะต้องดำเนินการตามความตกลงระหว่าง พพ. กับ UNDP ในเอกสาร Project Document ด้วยและต้องเชื่อมโยงความจำเป็นของนโยบายและข้อเสนอแนะที่ได้ว่าสามารถนำไปเกี่ยวข้องกับโครงการสาธิตได้อย่างไร

<u>มติที่ประชุม</u>

๑. เห็นควรให้ ENSOP ปรับรายละเอียดตัวเลขในตารางข้อมูลการดำเนินมาตรการและโครงการของแผนปฏิบัติการ EEDP ตั้งแต่ปี ๒๕๕๔-๒๕๕๗ รวมทั้งปรับหัวข้อในเรื่องของภาษีให้มีความชัดเจน หากข้อมูลใดที่เป็นข้อมูลเสริมก็ให้แยกออกมาและอธิบายให้ชัดเจน เช่น ในข้อ ๑๑ ของตารางข้อมูลเรื่อง Building public awareness and enhancement of behavior change ซึ่งมีแหล่งที่มาของข้อมูลต่างจากข้ออื่น ก็สามารถจัดทำตารางแยกอธิบายได้

๒. เห็นควรให้ ENSOP ทำตารางสรุปผลการดำเนินงานของแผนปฏิบัติการ EEDPเพื่ออธิบายว่าเพราะเหตุใดจึงนำไปสู่การวิเคราะห์ SWOT

๓. เห็นควรให้ปรับตัวเลขในตาราง Planned V.S. Implemented Projects ให้มีความสอดคล้องกัน และง่ายในการทำความเข้าใจ

๔. เห็นควรให้ตัดประเด็นตาราง SWOT หัวข้อ Weakness ข้อ ๕ ออก

๕. เห็นควรให้ปรับ recommendations ให้สอดคล้องและตอบประเด็นปัญหาที่ได้จากจุดอ่อนในการวิเคราะห์ SWOT ซึ่ง weakness บางข้อยังไม่ได้มีข้อเสนอออกมา

๖. เห็นควรให้ปรับเนื้อหาของ recommendations โดยแสดงให้เห็นว่านโยบายที่จะนำไปเกี่ยวข้องกับโครงการสาธิตนั้นคืออย่างไร รวมทั้งปรับให้มีรายละเอียดเกี่ยวกับการจัดทำนโยบายและแผนตามกรอบเวลาเช่น สิ่งที่จะต้องทำเร่งด่วน หรือในระยะยาว และอธิบายได้ว่าเพราะเหตุใด

วาระที่ ๒ การศึกษาและปรับปรุงค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารธุรกิจ (Specific Energy Consumption, SEC)

ที่ประชุมรับทราบข้อมูลกรอบแผนงานของการศึกษาข้อมูลดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานและวิธีการตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคารธุรกิจ โดยศึกษาจากฐานดัชนีชี้วัด (baseline) ที่ได้จัดทำโดย พพ. และทำการศึกษาเปรียบเทียบกับ SEC ของประเทศต่าง ๆ เพื่อกำหนดแนวทางการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น โดยศึกษาข้อมูลจากประเภทตามข้อกำหนดและนิยามอาคารธุรกิจของโครงการจำนวน ๙ ประเภท

<u>มติที่ประชุม</u> ให้ ENSOP จัดทำข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการแบ่งลักษณะของอาคารแต่ละประเภทว่าใช้มาตรฐานใด และหลักการอย่างไรบ้างในการแบ่งลักษณะอาคารแต่ละประเภท และให้กำหนดแผนงานและรายละเอียดอาคารที่จะเข้าเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ SEC เสนอคณะกรรมการตรวจการจ้างพิจารณาโดยด่วน

วาระที่ ๓ การศึกษาและจัดทำแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน Measurement and Verification (M&V)

ที่ประชุมรับทราบข้อมูลการศึกษา M&V ของอาคารธุรกิจในประเทศไทย การพัฒนาการใช้ M&V ในด้านมาตรฐานอุปกรณ์สำหรับประสิทธิภาพพลังงานของหน่วยงานต่าง ๆ

<u>มติที่ประชุม</u> ให้ ENSOP สรุปการดำเนินงานในส่วนของ M&V เพิ่มเติมว่ากิจกรรมที่จะต้องดำเนินการในข้อเสนอเรื่อง M&V guideline and best practice in applications for commercial building ว่าจะต้องดำเนินการอย่างไรบ้าง

วาระที่ ๔ การคัดเลือกอาคารสาธิต

ผู้แทนบริษัท ENSOP ได้นำเสนอแนวทางการพิจารณาคัดเลือกอาคารสาธิตที่จะเข้าร่วมโครงการ PEECB โดยได้คัดเลือก โรงพยาบาลสำโรง กฟภ. โรงแรมเซ็นธาราและรีสอร์ท โรงแรมคาตินา เทสโก โลตัส โรงพยาบาลเอกชน และโรงแรมเฉวง การ์เดน บีช รีสอร์ท โดยบริษัทฯ จะจัดเตรียมร่างหนังสือเพื่อให้ พพ.และ UNDP เชิญอาคารดังกล่าวเข้าร่วมโครงการอย่างเป็นทางการภายในสิ้นเดือนพฤษภาคม ๒๕๕๗

<u>มติที่ประชุม</u>

รับทราบและให้ บริษัท ENSOP ไปปรับแก้ไขเพิ่มเติมข้อมูล และรายละเอียดการศึกษาพร้อมจัดทำเป็นรายงานผลการดำเนินงานเสนอ พพ. ตามที่ที่ประชุมได้มอบหมายให้ดำเนินการต่อไป

วาระที่ ๕ เรื่องอื่น ๆ (ถ้ามี)

ไม่มี

ปิดประชุม เวลา ๑๗.๓๐ น.

ผู้บันทึกรายงานการประชุม นางเจริญศรี ฮวดมัย
ผู้ตรวจรายงานการประชุม นายกมล ตันพิพัฒน์

Assessment of the Utilization of Building Energy Simulation Model (BESM) in Thailand

Promoting Energy Efficiency in Commercial Building,
PEECB

Table of Content

Background 1
Building energy simulation models being used in Thailand 5
BESM Validation Methods 17
Survey of popular simulation models being used in Thailand 19
Options for improving BESM to match with current user capacities and needs 23
Review of Building Energy Simulation Program between BEC and EnergyPlus with OpenStudio Suite 31
Building Energy Code Program (BEC) 31
EnergyPlus with OpenStudio Suite 32
Building Energy Simulation and Modeling Testing 46
References 53
Appendix 1 Popular Simulation Models Questionnaire 54
Appendix 2 Software Utilization Patterns Questionnaire 58
Appendix 3 Proposed new BEC Simulation Program Sequences (Option 2) 64
Appendix 4 Revision of OpenStudio Function 89
Appendix 5 Promoting Energy Efficiency in Commercial Building, PEECB 101

Table of figures

Page

Figure 1 History of Building Energy Modelling (http://www.bembook.ibpsa.us/ 2014) 4
Figure 2 BEC program v.1.0.6 provided from DEDE 5
Figure 3 VisualDOE program from Architectural Energy Corporation 6
Figure 4 eQUEST program available from James J. Hirsch and Associates 7
Figure 5 TRNSYS software available from Thermal Energy System Specialists, LLC 8
Figure 6 Tas software available from environmental Design Solutions Limited 9
Figure 7 IDF editor for EnergyPlus input 9
Figure 8 SketchUp interface with OpenStudio toolbar 10
Figure 9 Ener-Win graphic user interface 11
Figure 10 Example of validation process that combined analytical, empirical and comparative tests 18
Figure 11 Respondents working status 20
Figure 12 Respondents sex 20
Figure 13 Respondents ages 20
Figure 14 Current works related to building energy use evaluation 20
Figure 15 Energy simulation program use patterns 21
Figure 16 Building types in energy use evaluation 22
Figure 17 BEC program diagram 25
Figure 18 gbXML file transfer 26
Figure 19 Example of BESMs that could create simple 3D models 26
Figure 20 The New BEC workflow 26
Figure 21 Custom capacities could be added in 3d simulation programs such as EnergyPlus plug-in in SketchUp 28
Figure 22 EnergyPlus Input/output overview (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory 2013) 28
Figure 23 Modify third party software to match with Thai context 29
Figure 24 OpenStudio Software Suite 32
Figure 25 BEC data Flow 33
Figure 26 SketchUp, OpenStudio and EnergyPlus data flow 33
Figure 27 BEC building material construction 34
Figure 28 OpenStudio material construction 34
Figure 29 Example of Building Zone with building model reference 35
Figure 30 The developing of building envelope in SketchUp for OpenStudio 35
Figure 31 buildings rendered by boundary, space type, thermal zone and floor 36
Figure 32 Dataset of listed load component (lighting) in BEC 37
Figure 33 BEC, the list of load (lighting) in building zone 37

Figure 34 Example of load definition in OpenStudio....38
Figure 35 Space type properties in OpenStudio....39
Figure 36 On/Off time schedule and time step time schedule....40
Figure 37 A/C equipment list in BEC....41
Figure 38 Central A/C System with Components Configuration....41
Figure 39 HVAC system and components in OpenStudio....42
Figure 40 SC calculation tool in BEC....42
Figure 41 BEC, whole building simulation report.....43
Figure 42 OpenStudio simulation results....44
Figure 43 Total Energy Consumption Result from the Simulation....51

Table of tables

Page

Table 1 Summary Comparison of BESM Features 12
Table 2 Respondents working status 20
Table 3 Respondents sex 20
Table 4 Respondents ages 20
Table 5 Current works related to building energy use evaluation 20
Table 6 Energy simulation program use patterns 21
Table 7 Building types in energy use evaluation 22
Table 8 Comparison of BESM improvement options 30
Table 9 Hour of Operation by building type in BEC 39
Table 10 Summary of Building Energy Simulation and Modeling 45
Table 11 Test Building Information 46
Table 12 List of Opaque Material 47
Table 13 Transparent Material 47
Table 14 Comparison of OpenStudio and BEC input processes 48
Table 15 Simulation result summary 51

Background

In Thailand, the Energy Conservation Promotion Act (ECP Act) which was promulgated in 1992 and was fully implemented in 1997 has made architectural design professionals become interested in energy efficient design strategies to help conserve energy use in buildings. The law requires that every designated building conduct energy audit and set up plans to improve energy efficiency. Building energy performance such as overall thermal transfer value (OTTV), roof thermal transfer value (RTTV), lighting power density (LPD) and equipment performances were checked against allowance values set by the law. In educational field, tropical design principles related to sun protections, rain protections and natural ventilation have been taught. However, energy conservation design principles for buildings in the tropic were first introduced to architectural students in 1994 at Chulalongkorn University.

To facilitate energy code compliance, a basic tool that can calculate overall thermal transfer value (OTTV) and roof thermal transfer value (RTTV) was provided from the Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE). This early tool requires user inputs in command-line format. Two other tools with more user-friendly features were later developed by Siam Fiberglass Co., Ltd. and Chulalongkorn University (OTTVEE 1.0a). OTTV and RTTV calculations use simple mathematics except for the shading coefficient calculation of shading systems part that need computer program to help calculating the total effect of shading shapes, locations and orientation on building fenestrations resulting from different sun angles in one year. After the new building energy code 2009 has been promulgated, DEDE provides a new building energy simulation model (BESM) tool, BEC, now version 1.0.5. for evaluating building energy efficient measures in accordance with the new energy code requirements. The new building energy code divides designated buildings into 3 types according to their daily operation hours, provides credits for the use of solar energy and daylighting, adds requirements for hot water systems ,and introduces a new option of whole building energy compliance.

Complying with new building energy code could save building energy use 10%-20% annually (Chirarattananon, Chaiwiwatworakul et al. 2010). Nevertheless, energy conservation effort for commercial buildings in Thailand has been considered to have achieved limited success. Over the past 15 years of ongoing energy efficiency program, commercial building stakeholders are aware of energy conservation opportunities in their buildings. However, only simple and low cost measures have usually been implemented. In building design phase where energy efficient strategies could be effectively incorporated into the building, energy simulation tools could be used to investigate energy efficient design options and support decision making in selecting suitable strategies.

Building Energy Simulation Models (BESM)

The performance of a building is a result of complex processes. A better building design can reduce energy use by 30% compared to a conventional building design, while still provide an equal or better environment for its occupants. Barriers to achieve this goal is usually not technology constraints, but poor data to make informed decisions (Clarke 2001). Building simulation tools are created to help provide real world replication and predict how buildings and systems will perform once they are constructed and implemented, thus providing information for decision making. Building energy performance prediction tools are a series of complex mathematical models that address the dynamic interaction of building and system performances with building geometry, plan, components, system choices, climate conditions and occupant use patterns.

In early days, simple single-zone buildings used degree-hour or degree-day based calculations to predict energy used. These methods are based on steady heat flow concept and only applicable with residential and small commercial buildings. With the available of computers, simulation program with transient heat calculation methods has then been introduced to predict energy used in more complex buildings. The first program developed by the Automated Procedures for Engineering Consultants, Inc. (APEC) was the Heating and Cooling Peak Load Calculation (HCC) program (APEC 1967), which was used for calculating hourly peak and annual heating-cooling loads for heating, ventilating, and air-conditioning (HVAC) systems in buildings. The APEC members were later formed into the ASHRAE Task Group on Energy Requirements (TGER), and then developed the procedures for simulating the dynamic heat transfer through building envelopes, procedures for calculating psychrometric properties, and the algorithms for simulating the primary and secondary HVAC system components for determining heating and cooling loads for computerizing energy calculations (ASHRAE 1975).

In 1977, the Energy Research and Development Administration (ERDA) and the California Energy Commission (CEC) upgraded a simulation engine NECAP, previously developed by NASA, and renamed it CAL-ERDA which is later became DOE-1 (Jeff S. Haberl and Soolyeon Cho 2004). The US DOE consistently supported further development of the DOE program until the mid-1990s. Another famous simulation engine at the same period was Building Loads Analysis and System Thermodynamics (BLAST) developed by the US Department of Defense (DOD). DOD also supported BLAST development until the mid-1990s. In 1996, EnergyPlus, a new simulation engine designed to combined advantage features from DOE-2.1E and iBLAST programs has begun its development with supports from the US DOE. Programmer teams that had previously developed DOE-2.1E and iBLAST were recruited to join the project.

The need for BESM is primarily driven by building energy law and standard in 1990s and sustainable building rating systems in 2000s which usually rely on ASHRAE Standard 90.1 Appendix G–Performance Rating Method, that buildings desire to elevate their performances beyond ASHRAE standard code have to use energy simulation software to calculate their energy performances compared with base case buildings. ASHRAE 90.1 listed eight criteria as requirements for acceptable BESM. These

models must be able to handle 10 or more thermal zones, generate hourly data for 8,760 hours/year, account for thermal mass effects, model part load performance curve, model capacity and efficiency correction curve for mechanical heating and cooling, model air-side economizers with integrated control, and accommodate hourly variation in occupancy, lighting power, equipment power, thermostat set points, and HVAC system operation defined separately for each zone (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. 2007). ASHRAE 90.1 appendix G Performance Rating Method section G2.2.4 also states that the simulation tool must be tested in accordance to ASHRAE standard 140 by the software provider. Example of programs listed in the standard are DOE-2, BLAST, and EnergyPlus. Qualified software for calculating U.S. commercial building tax deductions are Autodesk Green Building Studio, DesignBuilder, DOE-2.2, EnergyGauge, EnergyPlus, EnergyPro, EnerSim, eQUEST, Hourly Analysis Program (HAP), IES, Tas, TRACE700, and TRNSys (U.S. Department of Energy 2013). In additional to this list, Leadership in Energy & Environmental Design (LEED) rating system indicates some qualified tools for their rating systems which are DOE-2, eQUEST, Visual DOE, EnergyPlus, EnergyPro, HAP, TRACE700 ,and IES.

The 3D representatives of building using digital generated model aided by computer have been popular in architectural design. However, these 3D models could not be used to calculate energy performances of buildings directly. Generally, the building need to be regenerated inside the BESM. Green Building XML schema, developed by Green Building Studio, Inc. with funding provided by the California Energy Commission PIER Program and Pacific Gas and Electric, is an open schema to facilitate the transfer of building properties from building information modeling (BIM) programs to building energy analysis tools. The first version of Green Building XML schema or gbXML was released in 2000 (gbXML.org 2013). An examples of tools that use gbXML is Autodesk's Green Building Studio, a web-based energy modeling tool that uses a gbXML format and runs a DOE-2.2 engine. Conceptual Energy Analysis and Project Vasari, also offered by Autodesk, are the first BIM tools to directly export to DOE-2 and EnergyPlus.

The full graphical representative of building energy simulation modeling history is showed in Figure 1.

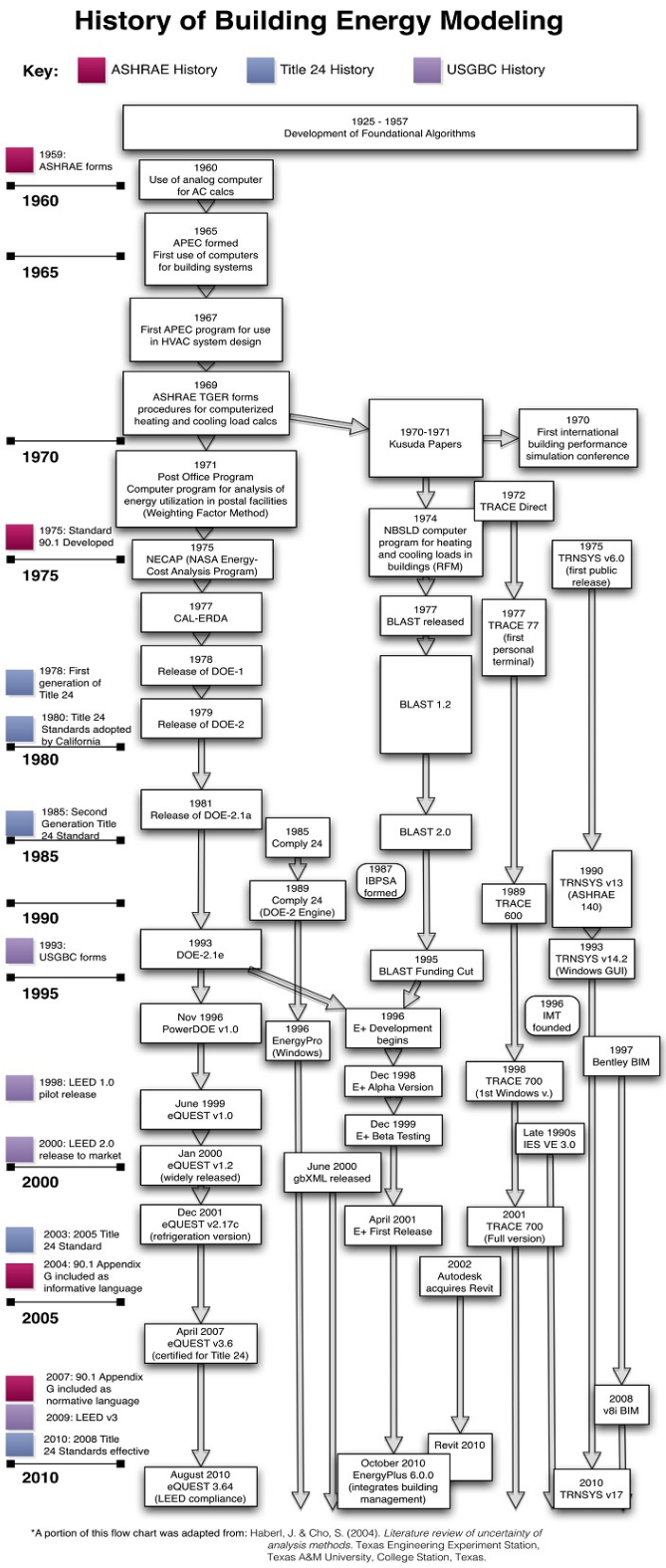


Figure 1 History of Building Energy Modelling (http://www.bembook.ibpsa.us/ 2014)

Building energy simulation models being used in Thailand

BESM have been used in Thailand in the past 20 years, mostly in academics for equipping students with building energy simulation skills and being used as tools in building technology research when scale models are too expensive. In practice, using BESM in building design phase at architectural design firms is very rare. Few design firms have their own in-house building energy simulators. BEC is one of the models being used widely because of the building code requirement that apply to some building groups. Apart from BEC, other BESM being used in academic or energy consultant firms mostly depends on programs that simulator has encountered during their own higher education periods and the software prices. Examples of BESM used in Thailand are VisualDOE, eQUEST, TRNSYS, Tas, Ecotect, EnergyPlus, and Ener-Win. Details of each model (Crawley, Hand et al. 2008) including BEC are as follows:

1. **BEC V1.0.6** http://www.2e-building.com/detail.php?id=125

BEC is an OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand (Chirarattananon and Taveekun 2004) provided for free from DEDE (Figure 2). Parametric results used in BEC to estimate building energy use were derived using DOE-2.1E and then validated with metered energy used collected by DEDE from designated buildings in the country. BEC provides database for building envelope materials and building systems. It can calculate building energy use according to building envelope systems, lighting density, air-conditioning system size and efficiency, other building equipments and the total building energy use in accordance with Thailand building energy code.

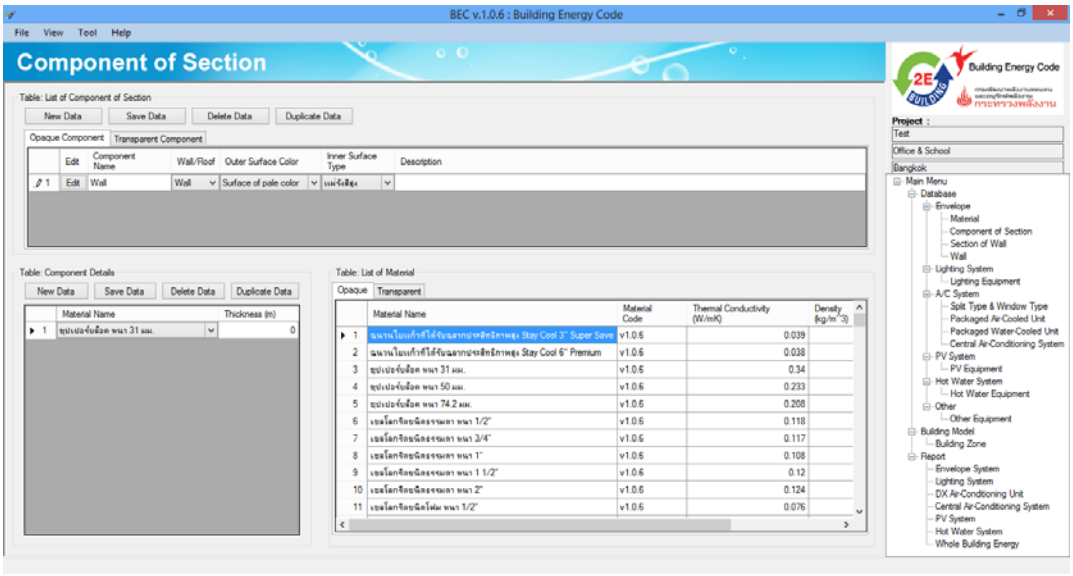


Figure 2 BEC program v.1.0.6 provided from DEDE

2. VisualDOE 4.0 http://www.archenergy.com/products/visualdoe

VisualDOE is a window interface of DOE2.1E simulation engine provided from Architectural Energy Corporation (Figure 3). VisualDOE takes care of writing the input file, running the simulation and extracting the results from the output file. No experience with DOE2.1E is necessary, but advanced users have the flexibility to modify the input files directly and still run the simulations from within VisualDOE. VisualDOE covers all major building systems including lighting, daylighting, HVAC, water heating, and the building envelope. Among the wide range of simulation results are electricity and gas consumption, electric demand, and utility cost. Through the graphical interface, users construct a model of the building's geometry using standard block shapes, using a built-in drawing tool, or importing DXF files. Building systems are defined through a point-and-click interface. A library of constructions, fenestrations, systems and operating schedules is included, and the user can add custom elements. VisualDOE is especially useful for studies of envelope and HVAC design alternatives. Up to 99 alternatives can be defined for a single project. Summary reports and graphs may be printed directly from the program. Hourly results are available for detailed analysis.

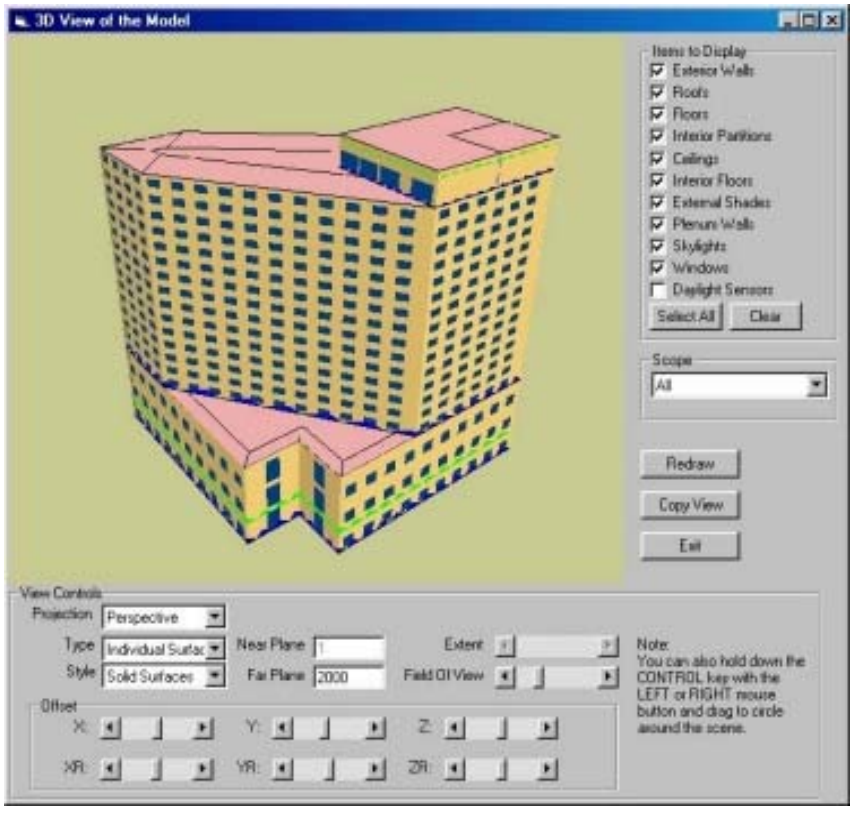


Figure 3 VisualDOE program from Architectural Energy Corporation

3. eQUEST 3.65, March 2014, http://www.doe2.com/equest/

eQUEST® is a whole-building energy analysis software that uses the latest version of DOE-2 as a simulation engine (Figure 4). The DOE-2 building energy simulation and cost calculation program was initially released by the Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) in 1978. The program has been

updated continuously by LBNL in collaboration with James J. Hirsch and Associates, mostly under funding from the U.S. DOE until version 2.1E in 2003. Since then, James J. Hirsch and Associates has been continuing the development of DOE-2; the latest version is DOE-2.2. In DOE-2, the transient heat transfer calculation methods are used to simulate the dynamic heat transfer through building envelopes. From the literature, results from DOE-2 simulations were shown to vary from 10% to 26% from measured data (Haberl and Cho 2004). eQUEST 3.64 was tested in accordance to ANSI/ASHRAE Standard 140-2007 Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs, and it is qualified for use to evaluate building energy performance for the U.S. government subsidy programs and building rating systems (U.S. Department of Energy 2013). It also meets all requirements for energy simulation software indicated in ASHRAE 90.1 Appendix G Performance Rating Method's guidelines for acceptable energy simulation software. eQUEST® is available for free from http://doe2.com/eQUEST/. Within eQUEST® graphic user interface, DOE-2.2 performs an hourly simulation of input buildings for 8,760 hours or one full year. It calculates hourly cooling load, heating load, and other energy loads such as lighting, domestic hot water, or other equipment. Users can model their buildings using "Building Creation Wizard" which quickly generates detailed building input files from simple building envelope and systems input.

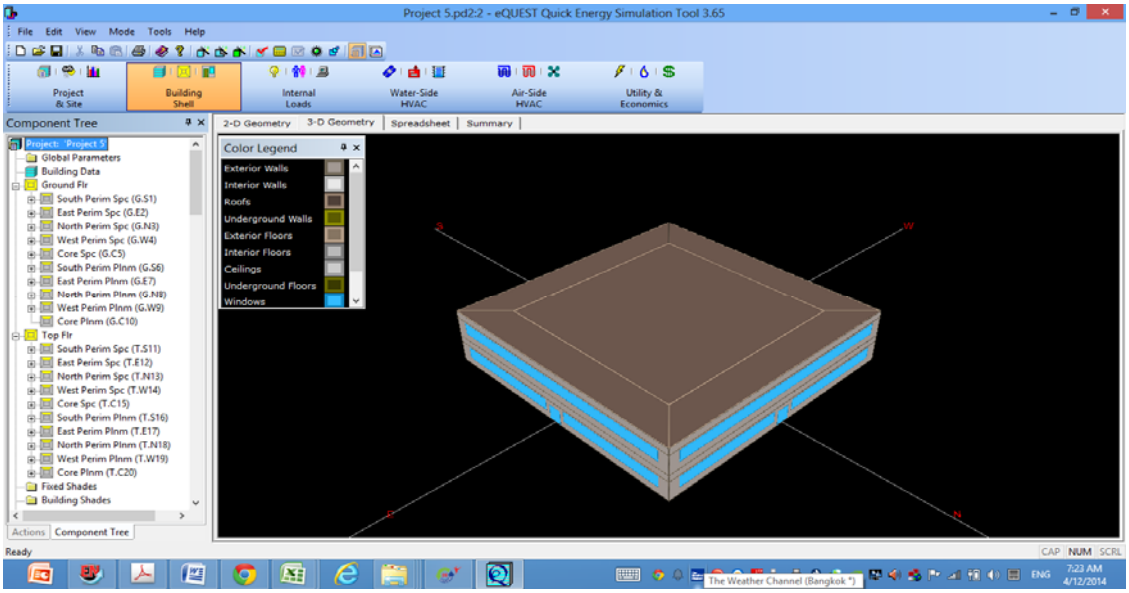


Figure 4 eQUEST program available from James J. Hirsch and Associates

4. TRNSYS 17.1, June 2012 http://www.trnsys.com/

Developed and released in 1975 by Sandy Klein as part of his PhD thesis, the TRaNsient SYstems Simulation Program (TRNSYS) is a simulation program with a modular structure that implements a component-based approach (Figure 5). TRNSYS components may be as simple as a pump or pipe, or as complex as a multi-zone building model. The components are configured and assembled using a fully integrated visual interface known as the TRNSYS Simulation Studio, while building input data is entered through a dedicated visual interface (TRNBuild). The simulation engine then solves the system of algebraic

and differential equations that represent the whole energy system. In building simulations, all HVAC-system components are solved simultaneously with the building envelope thermal balance and the air network at each time step. In addition to a detailed multizone building model, the TRNSYS library includes components for solar thermal and photovoltaic systems, low energy buildings and HVAC systems, renewable energy systems, cogeneration, fuel cells, etc. The modular nature of TRNSYS facilitates the addition of new mathematical models to the program. New components can be developed in any programming language and modules implemented using other software (e.g. Matlab/Simulink, Excel/VBA, and EES) can also be directly embedded in a simulation. TRNSYS can generate redistributable applications that allow non-expert users to run simulations and parametric studies.



Figure 5 TRNSYS software available from Thermal Energy System Specialists, LLC

5. Tas 9.2.1.5 http://www.edsl.net

Tas is a suite of software products, which simulate the dynamic thermal performance of buildings and their systems (Figure 6). The main module is Tas Building Designer, which performs dynamic building simulation with integrated natural and forced airflow. It has a 3D graphics-based geometry input that includes a CAD link. Tas can import gbXML, INP and IDF files from 3rd party program Tas Systems is a HVAC systems/controls simulator, which may be directly coupled with the building simulator. It performs automatic airflow and plant sizing and total energy demand. The third module, Tas Ambiens, is a robust and simple to use 2D CFD package which produces a cross section of micro climate variation in a space. Tas combines dynamic thermal simulation of the building structure with natural ventilation calculations, which include advanced control functions on aperture opening and the ability to simulate complex mixed mode systems. The software has heating and cooling plant sizing procedures, which include optimum start. Tas has 20 years of commercial use in the UK and around the world.



Figure 6 Tas software available from environmental Design Solutions Limited

6. **EnergyPlus Version 8.1.0, December 2013** www.energyplus.gov

EnergyPlus is a modular, structured code based on the most popular features and capabilities of BLAST and DOE-2.1E developed by NREL (Figure 7). It is a simulation engine with input and output of text files. Loads calculated (by a heat balance engine) at a user-specified time step (15-min default) are passed to the building systems simulation module at the same time step. The EnergyPlus building systems simulation module, with a variable time step, calculates heating and cooling system and plant and electrical system response. This integrated solution provides more accurate space temperature prediction crucial for system and plant sizing, occupant comfort and occupant health calculations. Integrated simulation also allows users to evaluate realistic system controls, moisture adsorption and desorption in building elements, radiant heating and cooling systems, and interzone air flow. Many graphical user interfaces for EnergyPlus are available or under development, including **Simergy, CYPE CAD MEP, DesignBuilder, EFEN, AECOsim Energy Simulator, Hevacomp, MC4 Suite, SMART ENERGY, EPlusInterface, COMFEN, Solar Shoe Box, and N++.**

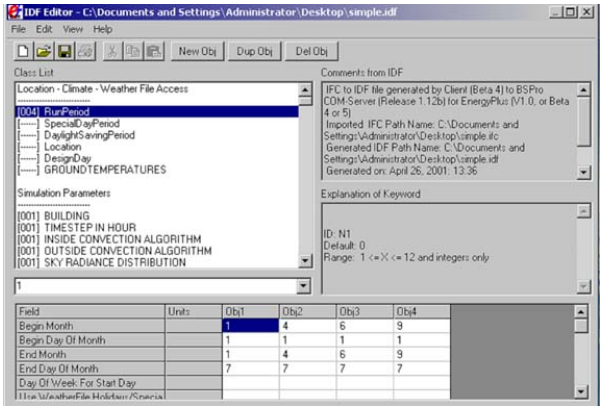


Figure 7 IDF editor for EnergyPlus input

NREL is also developing **OpenStudio** which is an open source program to facilitate community development, extension, and private sector adoption (Figure 8). OpenStudio includes graphical applications which have the updated SketchUp Plug-in, the stand alone OpenStudio application, the ParametricAnalysisTool, RunManager, and ResultsViewer. The SketchUp Plug-in is an extension to the popular 3D modeling tool that adds OpenStudio context to the SketchUp program. The Plug-in allows users to quickly create geometry and assign space attributes using the built-in functionality of SketchUp including existing drawing tools, integration with Google Earth, Building Maker, and Photo Match. The OpenStudio application is a graphical energy-modeling tool. It includes visualization and editing of schedules, editing of loads constructions and materials, a drag and drop interface to apply resources to spaces and zones, a visual HVAC and service water heating design tool, and high level results visualization. Radiance can also be integrated into the simulation workflow. This is accomplished by using an annual Radiance simulation to measure daylighting, and then creating an electric lighting usage schedule for EnergyPlus. OpenStudio also gives the modeler integrated access to data from the Building Component Library. The ParametricAnalysisTool lets users modify a baseline OpenStudio model using OpenStudio measures to produce design alternatives. OpenStudio measures are specially formatted Ruby scripts and accompanying files for modifying energy models in OpenStudio or EnergyPlus format. RunManager facilitates queuing and running simultaneous EnergyPlus simulations, and ResultsViewer enables browsing, plotting, and comparing EnergyPlus output time series data.

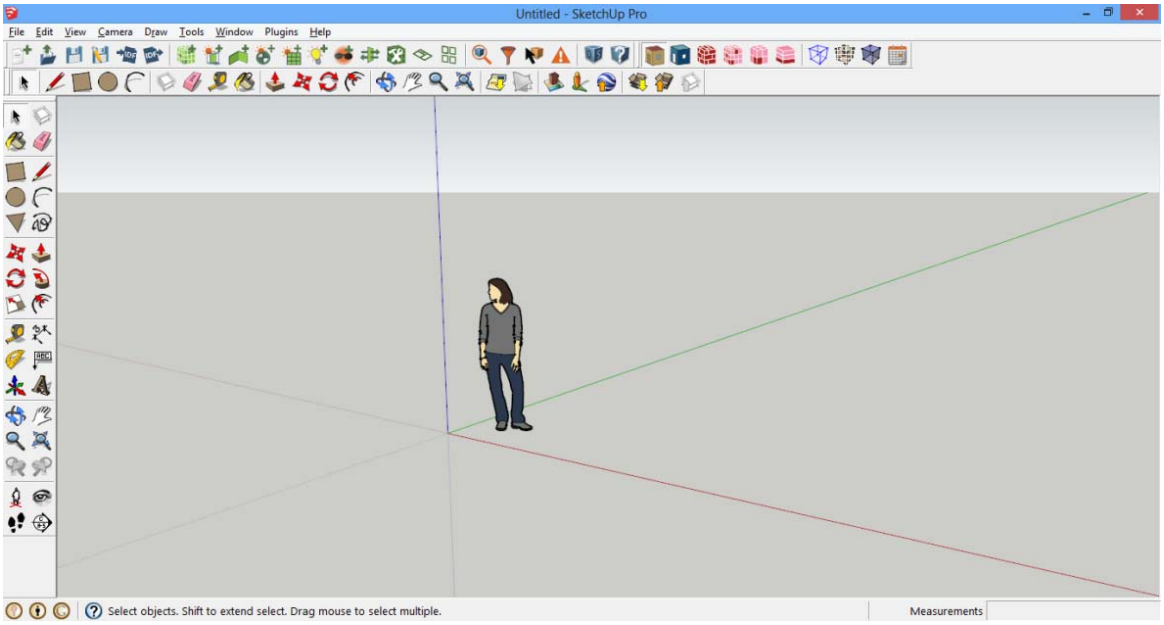


Figure 8 SketchUp interface with OpenStudio toolbar

7. **Ener-Win Version EC, April 2012** http://pages.suddenlink.net/enerwin/

Ener-Win, originally developed at Texas A&M University, simulates hourly energy consumption in buildings, including annual and monthly energy consumption, peak demand charges, peak heating and cooling loads, solar heating fraction through glazing, daylighting contribution, and a life-cycle cost analysis (Figure 9). Design data, tabulated by zones, also show duct sizes and electric power requirements. The Ener-Win software is composed of several modules— an interface module, a weather data retrieval module, a sketching module, and an energy simulation module. The interface module includes a rudimentary building-sketching interface. Ener-Win requires only three basic inputs: (1) the building type, (2) the building's location, and (3) the building's geometrical data.

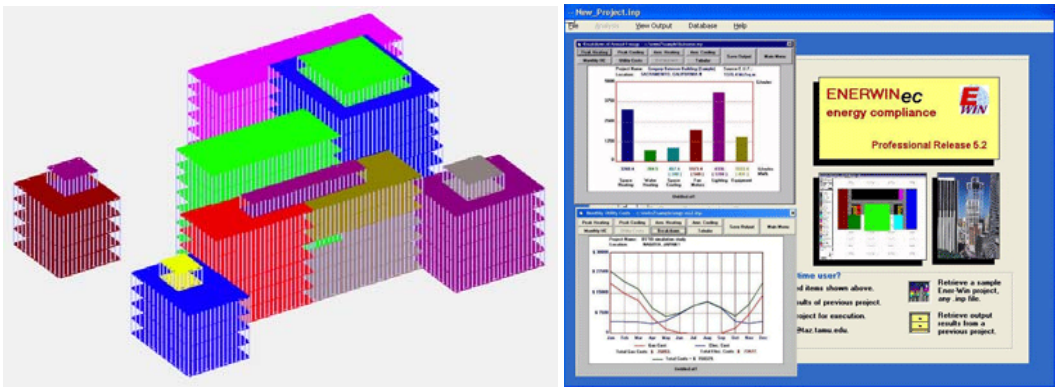


Figure 9 Ener-Win graphic user interface

Table 1 Summary Comparison of BESM Features

Features	BEC	VisualDOE	eQUEST	TRNSYS	Tas	EnergyPlus	Ener-win
Developer	Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), Thailand	Architectural Energy Corporation	James J. Hirsch & Associates.	Thermal Energy System Specialist	EDSL Ltd	U.S. Department of Energy	Degelman Engineering Group. Inc.
Simulation Engine	BEC	DOE2.1E	DOE2.2	TRNSYS	Tas	EnergyPlus	Ener-win
Public/Proprietary	Public	Proprietary	Public	Proprietary	Proprietary	Public	Proprietary
Cost	Free	$980+ tax	Free	$4500	£3,500	Free	$249
Hours	-	8,760	8,760	8,760	8,760	8,760	8,760
Audiences	n/a	1000+	10,000+ downloaded annually	500+	n/a	85,000+ downloaded since 2001	n/a
Programming language	Visual Basic	Visual Basic and Visual C++	Interface: C++, DOE-2.2: FORTRAN	FORTRAN	FORTRAN, C++	FORTRAN 2003, C++	Visual Basic and FORTRAN
Source code available	✓	-	-	-	-	✓	-
Expertise required	Basic experience with Windows and basic knowledge with	Basic experience with Windows and basic knowledge with	Small with wizard mode, engineering background is	Small with standard package, FORTRAN knowledge with	Moderate, qualified architects and engineers	Moderate/ Engineering background is helpful	Window, thermal properties and energy concept

Features	BEC	VisualDOE	eQUEST	TRNSYS	Tas	EnergyPlus	Ener-win
	building systems	building systems	helpful in detailed mode	additional components			
Support gbXML	-	-	✓	✓	✓	Depend on GUI	-
Qualified for U.S.Building Tax simulation	-	✓	✓	✓	✓	✓	-
ASHRAE-140 Validation	-	✓	✓	✓	✓	✓	-
Pros	• Easy to use compared to other BESMs	• A DOE-2.1E tool • Dramatically reduces the time necessary to build a DOE-2 model • Displays a 3-D model to help verify accuracy • Implements DOE-2's daylighting calculations • imports CADD data to define thermal zones • Allows input in	• Evaluates whole-building performance throughout the entire design process through Its wizards (schematic, design development, and energy efficiency measure) Fast • Fast execute speed • Available free of charge online	•Extremely flexible for modeling a variety of energy systems in different levels of complexity due to its modular approach. •Supplied source code and extensive documentation •Includes a graphical interface to drag-	•Excellent responsive and accurate tool for concept development •Fast and robust tool with comprehensive capabilities for all types of energy modeling •Customization and refinement of input data and highly customizable control of	•Accurate, detailed simulation capabilities through complex modeling capabilities. •Available free of charge online •Input is geared to the 'object' model way of thinking. •Successful interfacing using IFC standard architectural	• Graphic sketch input interface • Hourly weather data generator with 1500-city worldwide database. • Can run in compacted weather data mode for quick testing of alternative design strategies. • Generous use of defaults for

Features	BEC	VisualDOE	eQUEST	TRNSYS	Tas	EnergyPlus	Ener-win
		SI or IP units • For advanced users, allows editing of equipment performance curves. • Allows simple management of up to 99 design alternatives. • The interface is designed to be able to incorporate other energy simulation engines like EnergyPlus. • A live update program via the internet. • Responsive technical support is	• Displays a 3-D model to help verify accuracy	and-drop components for creating input files (Simulation Studio), a utility for easily creating a building input file (TRNBuild), and a program for building TRNSYS-based applications for distribution to non-users (TRNEdit). • Web-based library of additional components • Frequent downloadable updates also interfaces with various other	apertures, plant and systems.	model available for obtaining geometry from CAD programs. • Weather data for more than 1250 locations worldwide • Includes time steps of less than one hour, modular systems and plant integrated with heat balance-based zone simulation, multizone air flow, thermal comfort, water use, natural ventilation, and photovoltaic systems • Can calculate	materials, windows, profiles, costs, lights, etc.

Features	BEC	VisualDOE	eQUEST	TRNSYS	Tas	EnergyPlus	Ener-win
		provided. • Periodic training sessions are available.		simulation packages such as COMIS, CONTAM, EES, Excel, FLUENT, GenOpt and MATLAB.		life cycle costing	
Cons	• Only 1 building type could be specified • Limited number of shading elements(10) • Time consuming in building envelope area input • In developing stage, therefore, some bugs can be found.	• Expensive • Had limitations in accurately calculating the heat balance between multiple zones, especially for nighttime air-conditioning cases. • Not appropriate for use in radiant cooling, heating applications or passive solar due to the lack	• I-P units only • Ground-coupling and infiltration/natural ventilation models are simplified and limited. • Daylighting can be applied only to convex space. • Had limitations in calculating the heat balance between multiple zones,	•No assumptions about the building or system are made (although default information is provided) so the user must have detailed information about the building and system and enter this information into the TRNSYS interface.	•Not intended for detailed services layout design	•Stand along program without a 'user'-friendly graphical interface.	•Not intended for detailed services layout design.

Features	BEC	VisualDOE	eQUEST	TRNSYS	Tas	EnergyPlus	Ener-win
		of surface heat balance calculations	especially for nighttime air-conditioning cases. • Not appropriate for use in radiant cooling, heating applications or passive solar.				

n/a = no data available at the time of report.

BESM Validation Methods

Typical building energy simulation program contains hundreds of variables and parameters. The number of possible cases that can be simulated by varying each of these parameters in combination is astronomical and cannot practically be fully tested. For this reason the NREL validation methodology required three different kinds of tests:

- Empirical Validation—in which calculated results from a program, subroutine, or algorithm are compared to monitored data from a real building, test cell, or laboratory experiment.
- Analytical Verification—in which outputs from a program, subroutine, or algorithm are compared to results from a known analytical solution or generally accepted numerical method for isolated heat transfer mechanisms under very simple and highly defined boundary conditions
- Comparative Testing—in which a program is compared to itself, or to other programs that may be considered better validated or more detailed and, presumably, more physically correct.

These three validation tests could also be combined together (Figure 10). First the BESM code could be run to check its mathematical solution. Then the BESM code could be run against high-quality empirical validation data. Finally, the result from the code could be compared with results from other programs using the same case. The Department of Energy (DOE), through the National Renewable Energy Laboratory (NREL), worked with the International Energy Agency Solar Cooling and Heating Programme Implementing Agreement (IEA SHC) and the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) to develop standard methods of test for building energy analysis computer software. The Building Energy Simulation Tests (BESTEST) were developed under IEA SHC Tasks 8,12 and 22 (Task 12 was a collaborative effort with the IEA Buildings and Community Systems Programme). ASHRAE recently published ANSI/ASHRAE Standard 140 now version 2007 Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs, which parallels many of tests in the first IEA SHC BESTEST (Judkoff and Neymark 2006).

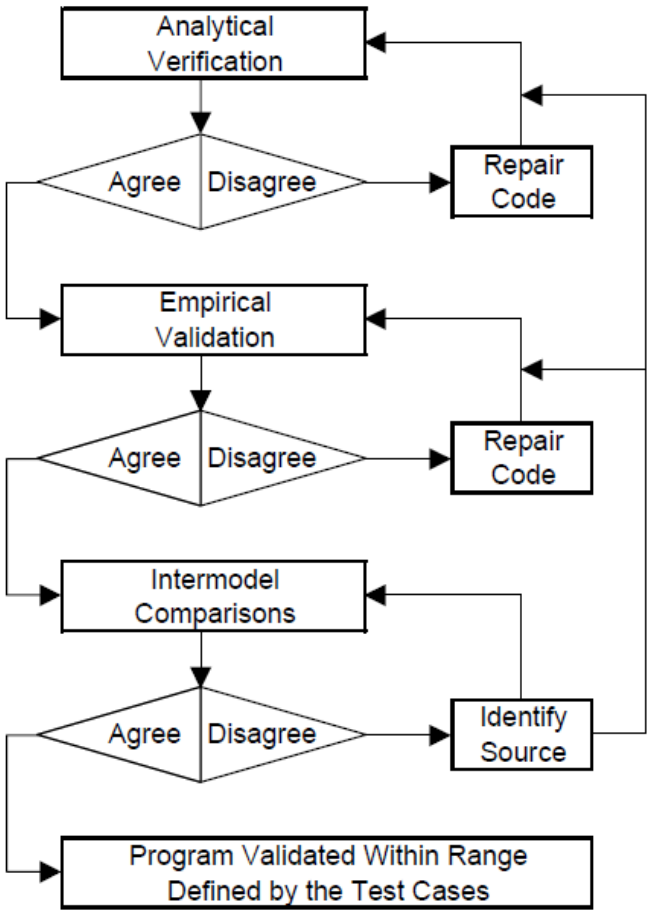


Figure 10 Example of validation process that combined analytical, empirical and comparative tests

Survey of popular simulation models being used in Thailand

In order to find out which BESMs are popular among Thai energy simulator practitioners, professional contacts have been collected from energy training attendant lists provided by DEDE and the Institute of Siamese Architect (ISA). Lists of energy consultants (registered consultants - RA), energy service companies (ESCO), architectural companies, green building consultants were also collected as well as the list of private companies and government offices related to energy code implementation. The questionnaire website address has been distributed to more than 200 email addresses and 400 companies/institutes, starting from October, 11 2013 and ended in March 2014.

Online questionnaire is used to collect profession user basic information. SurveyMonkey, a web survey development cloud based (SaaS) company was selected as a platform for the questionnaire. SurveyMonkey is the world's largest survey company with more than 1.5 million online survey responses per day. It provides easy accessibility to respondents and also tools to help collect and analyze data for users. The survey address for this questionnaire is https://www.surveymonkey.com/s/PEECB1. There were 93 respondents. However, only 47 respondents indicated that they have used or have been using BESM. The result based on 47 respondents shows that BEC is the most commonly used software to perform building energy calculation. The applications are 1) To comply with building energy code, 2) To evaluate green building energy use and 3) To do research. Ecotect and VisualDOE are the second and the third used software. These software are mostly used to evaluate single- tenant offices, educational buildings and low-rise residential buildings. Most of respondents are working in educational institutes and currently involving with building energy evaluation tasks. The results from surveys are as follows:

Table 2 Respondents working status

	Counts	%
Educational Institutes	22	47%
Government organizations	8	17%
Private organizations	17	36%
Total	47	100%

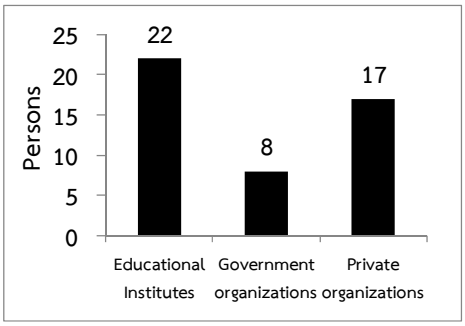


Figure 11 Respondents working status

Table 3 Respondents sex

	Counts	%
Male	32	68%
Female	15	32%
Total	47	100%

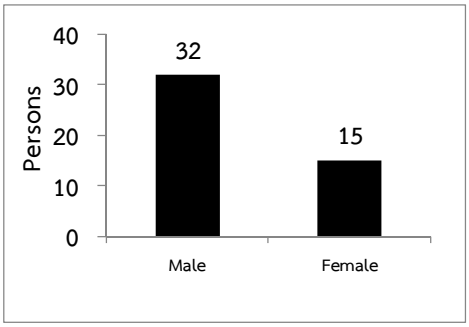


Figure 12 Respondents sex

Table 4 Respondents ages

	Counts	%
20 - 30 yrs.	12	26%
31 - 40 yrs.	21	45%
41 - 50 yrs.	13	28%
50+ yrs.	1	2%
Total	47	100%

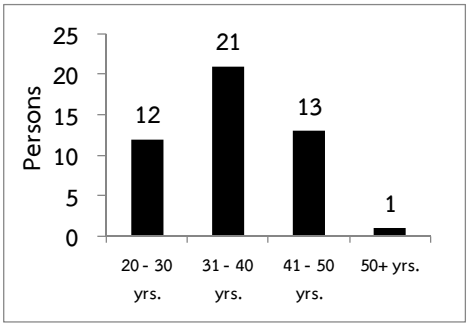


Figure 13 Respondents ages

Table 5 Current works related to building energy use evaluation

	Counts	%
Related	41	87%
Not related	6	13%
Total	47	100%

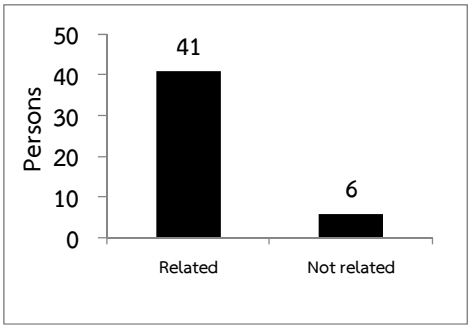


Figure 14 Current works related to building energy use evaluation.

Table 6 Energy simulation program use patterns

Program	Tried	Compliance with Thai code	Research-residential	Research-commercial	Used for green building rating system	Other purposes	Never use
BEC (DEDE)	28	20	9	13	15	13	12
Ecotect	20	6	10	15	10	11	18
EnergyPlus	18	5	8	7	5	10	18
VisualDOE	19	1	5	9	3	5	17
OTTVEE	17	10	4	7	1	9	23
DOE2.1E	15	2	7	9	3	8	21
OTTV (ISA)	15	9	5	7	6	5	27
eQUEST	10	1	3	5	4	4	28
Ener-Win	11	0	3	5	5	4	22
DesignBuilder	11	2	4	4	1	4	24
IES	4	3	0	1	1	1	35
OTTV (Siam Fiberglass)	4	0	4	1	0	4	30
Tas	7	1	2	1	1	4	31
TRNSYS	3	1	2	2	1	1	33
Trace-700	0	0	0	1	0	0	35

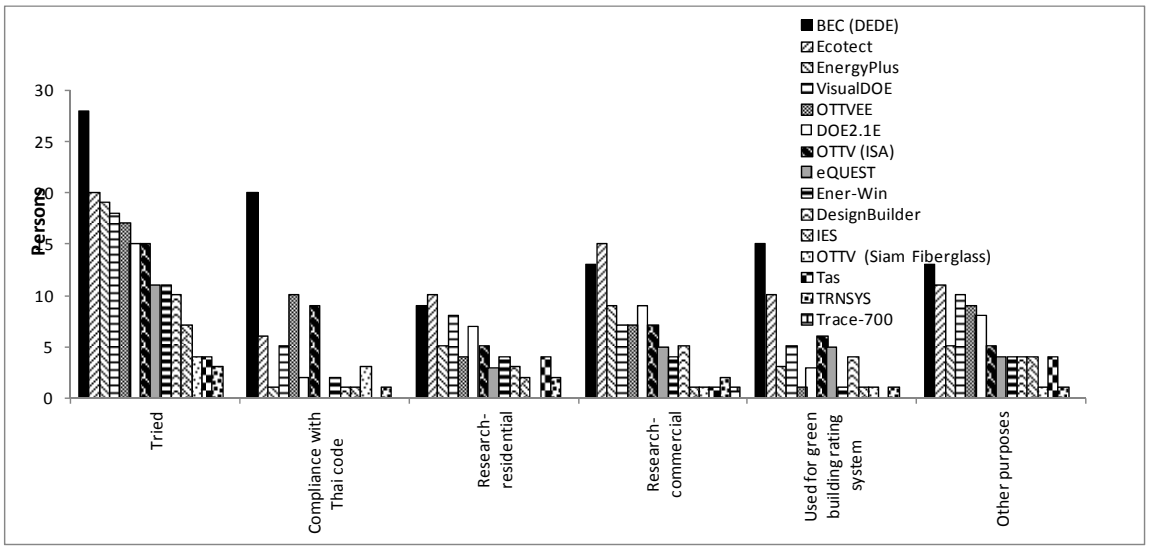


Figure 15 Energy simulation program use patterns

Table 7 Building types in energy use evaluation

	Counts	%
Low-rise residential	24	15%
Apartment	14	9%
Condominium	14	9%
Office-single tenant	33	21%
Office-rental	2	1%
Department store	13	8%
Auditorium	3	2%
Entertainment	5	3%
Convention	8	5%
Educational	24	15%
Hospital	8	5%
Hotel	10	6%
Library, Gas station, Factory	2	1%
Total	160	100%

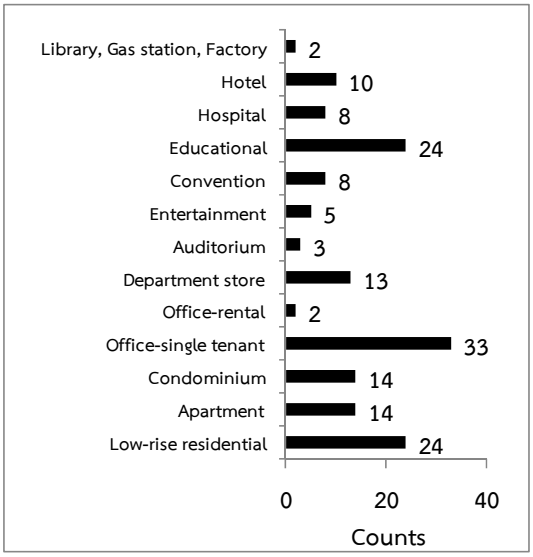


Figure 16 Building types in energy use evaluation

98% of respondents stated that they are happy to participate in the next phase of this project.

Options for improving BESM to match with current user capacities and needs

To improved BESM to match with Thai users capacities and needs, there are four possible options as follows:

Option 1 Improve BEC v.1.0.6

The ongoing activities related to improving BEC program, the only available program that eligible to be used to calculate building energy performances according to Thai's building energy code, were explored. The Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE) has been improving the BEC program. The list of new version, BEC v.1.0.6 changes are as follows:

- Lighting power density results are assessed so that the numbers "equal" to the standard number set by the energy law is considered "pass" rather than fail as in the previous version.
- For split type >12 kWh, there is no efficiency requirement available in the energy code, the program will show "n/a".
- 0- 0.5 cm width air gap will have "R" value equal to "0".
- Add "Rotary" to the air conditioning system type list and use the same calculation method with "Screw Driven" or "Scroll" types.
- Transparent component of wall and roof cannot have the same name.
- Delete "air gap" from material list. "Air gap" can be entered manually for each condition in "Custom" section.
- Change the default value of "Shading Coefficient" from "0" to "1"
- Change how to enter glazing information. If the "U-value" is entered, the program will use this number in the calculation. If other values are entered, the program will automatically calculate the U-Value from those information. When SHGC value is entered without glazing thickness. Entered SHGC will be used.
- Changes how to displayed "central air conditioning systems" such that users know which system they are currently working with.
- Change performance report sequence such that the "overall performances" are reported first. Details reports are showed in following pages.
- Materials in BEC can be exported into “วัสดุ.xls”. However, to change default material value, details must be sent to the program developers.
- Material names can be changed to give more clarification. More information about material can be entered in the "description" section".

- "Fail" result is emphasized more for clarity.
- New functions are being worked on in order to import "bec file" between versions. If this function is working, other benefits such as working with multiple files for each part of the same building could be possible.
- Change "Save As" to "Backup Project".
- Add program capability to identify "roof inner surface with high or low emissivity" according to energy code. The default value will be "high emissivity".
- The program will give warning message if two projects are opened at the same time.
- Add a function to include "frequently used materials" in the database.
- Add "Duplicate" function to duplicate input data. However, this is not available in every sections to prevent errors that might occur.
- Correct how the program treat "SHGC" and "Visible Transmittance".
- Correct the calculation method for Roof U-value in each slope.

The latest BEC version is BEC 1.06 still has some rooms for improvement, for example:

- Validate more cases and correct some incorrect calculations, if any.
- Build new function to accommodate different BEC version files.
- Add an ability to transfer custom material database between files or computers.
- Improve graphic user interface to become more use-friendly.
- Refine input steps to make the input process faster and easier.
- When shading devices are input, there should be 3D representations that users can check for correctness (Quite difficult with Visual Basic).
- Add more case studies in the tutorial section.

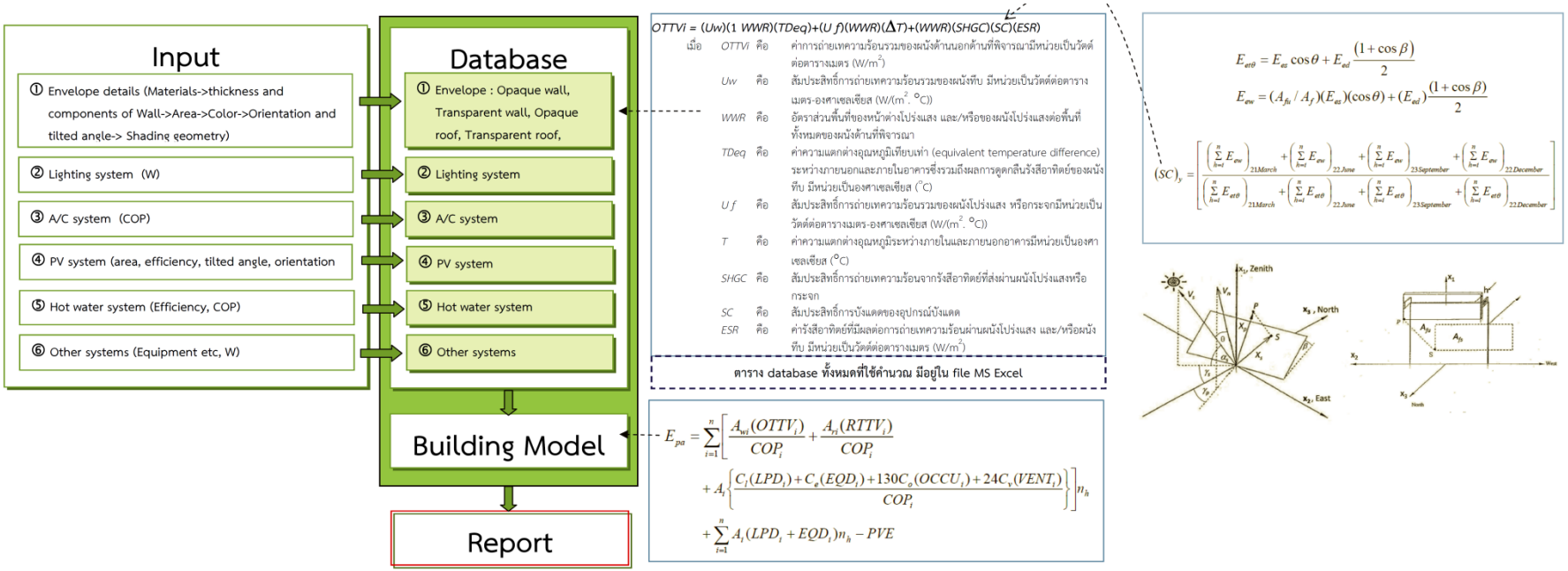


Figure 17 BEC program diagram

Option 2 Develop a new BEC program using new programming languages and add more functions

The BEC program has been writing with Visual Basic language and some components have been undergone many revisions which make it difficult to detect if something go wrong. Rewrite the program using new structure and language possibly C++ would help with some unsolved problem that program is currently facing. Some additional function could also be added for examples;

- Could accommodate gbXML file format transfer from BIM software i.e. SketchUp, 3D Max, Revit, Rhino (Figure 18)

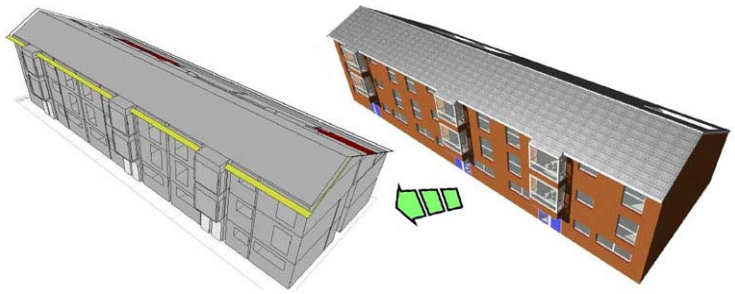


Figure 18 gbXML file transfer

- Could create a simple 3D model of the input buildings (Figure 19)

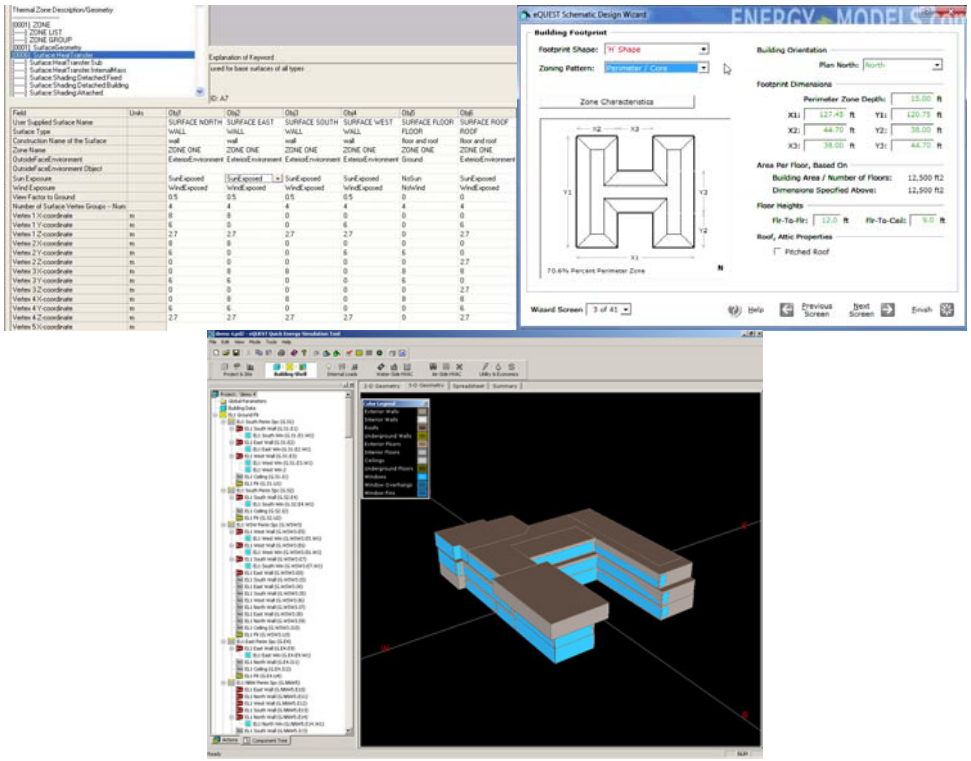


Figure 19 Example of BESMs that could create simple 3D models

The proposed program workflow can be seen in

Figure 20 and the details program sequences are in 0Appendix 3 Proposed new BEC Simulation Program Sequences (Option 2).

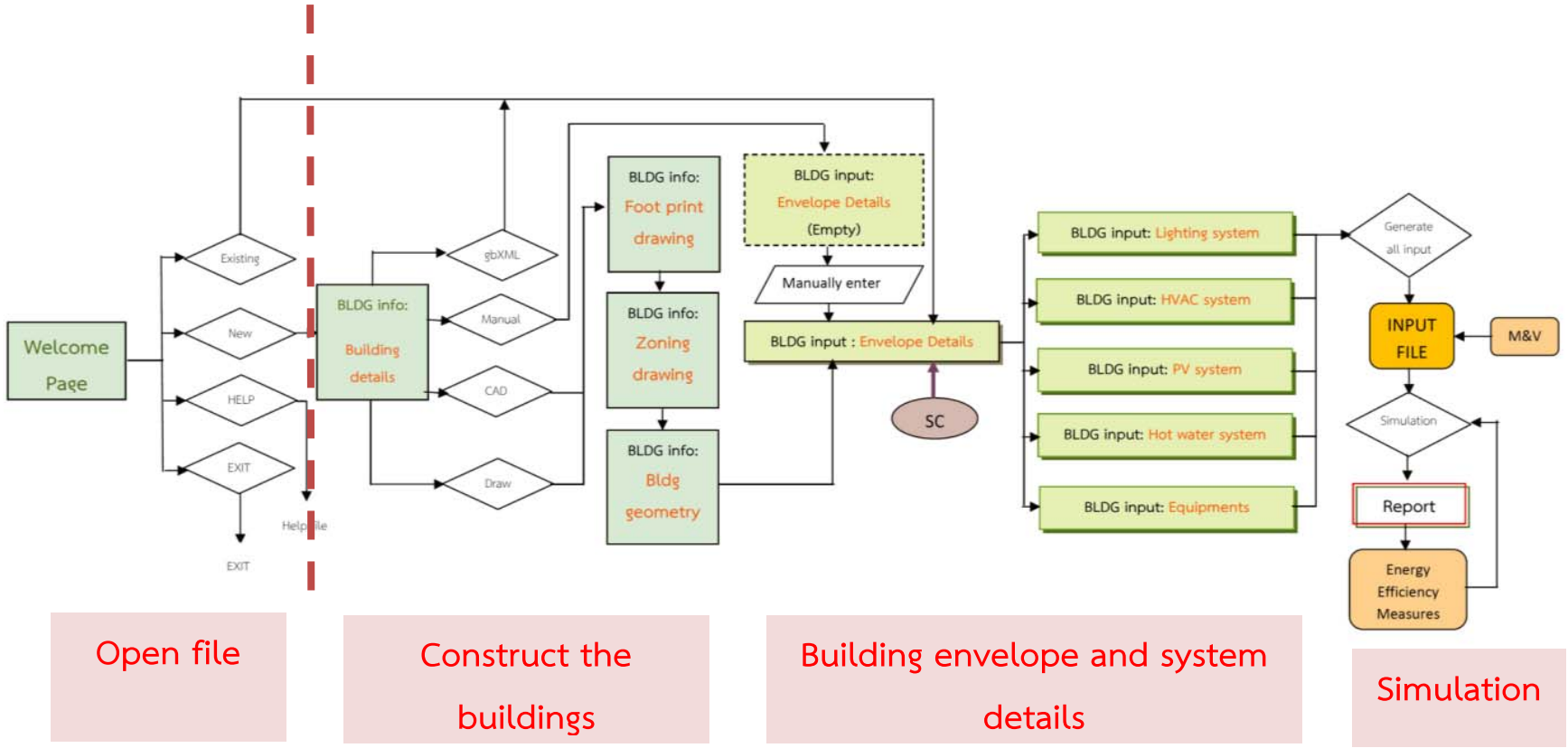


Figure 20 The New BEC workflow

- Shading coefficient (SC) input method could also be simplified. 3D representatives of SC input data could be added for validation. SC Plug-in for 3D building modeling program i.e. SketchUp, 3D Max and Revit could also be created (Figure 21).

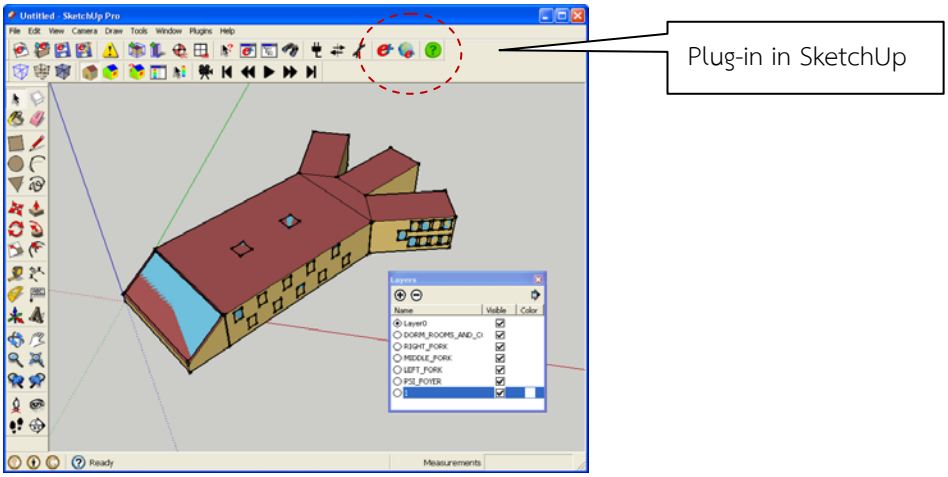


Figure 21 Custom capacities could be added in 3d simulation programs such as EnergyPlus plug-in in SketchUp

<u>Option 3 Modify existing BESMs open source code to be applicable to the Thai context</u>

EnergyPlus is one of BESM available under a true open-source license. Under this license, developer may obtain EnergyPlus source code, modify it, combine it with other software that is licensed under different terms, distribute it, and re-license it (Figure 22 and ภาพที่ 1). The license is free of charge as long as the developer distribute the modified program for free and refer to the EnergyPlus component in the program as "a modified version of EnergyPlus vX". The licensing details is available at http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_licensing.cfm

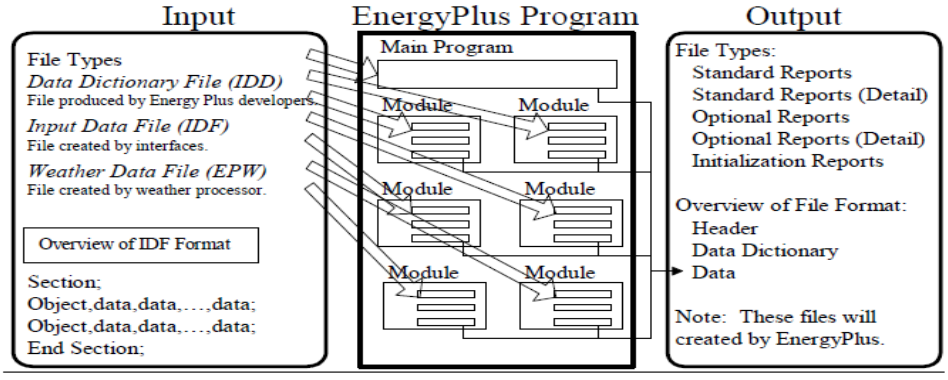
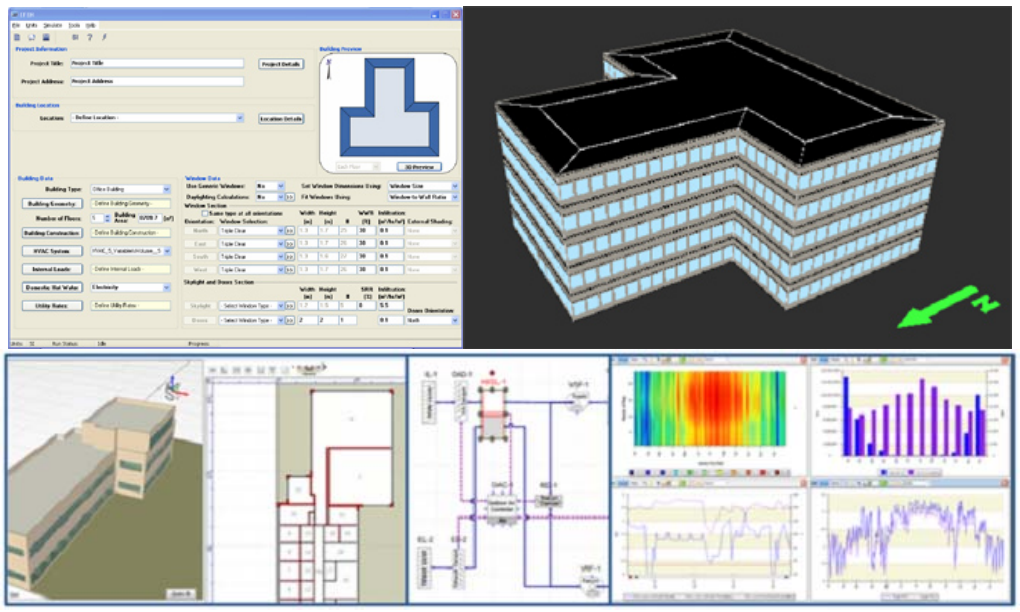


Figure 22 EnergyPlus Input/output overview (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory 2013)



ภาพที่ 1 Examples of third party EnergyPlus interfaces taken from http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/ep_interfaces.cfm

The OpenStudio which is available as a SketchUp Plug-in, uses EnergyPlus and Radiance as simulation engines and also available as open source code. Module in OpenStudio could be modified to match with the Thai context, while other function such as BEC calculation could be added. Users can have options to run the simulation as a dynamic heat transfer process using EnergyPlus or as a static BEC process to check building performance against with Thai building energy code allowances. ผิดพลาด! ไม่ใช่การอ้างอิงถึงตัวที่คั่นหน้าเองที่ถูกต้อง show conceptual framework of option 3. The proposed detail revision of OpenStudio are in Appendix 4 Revision of OpenStudio Function.

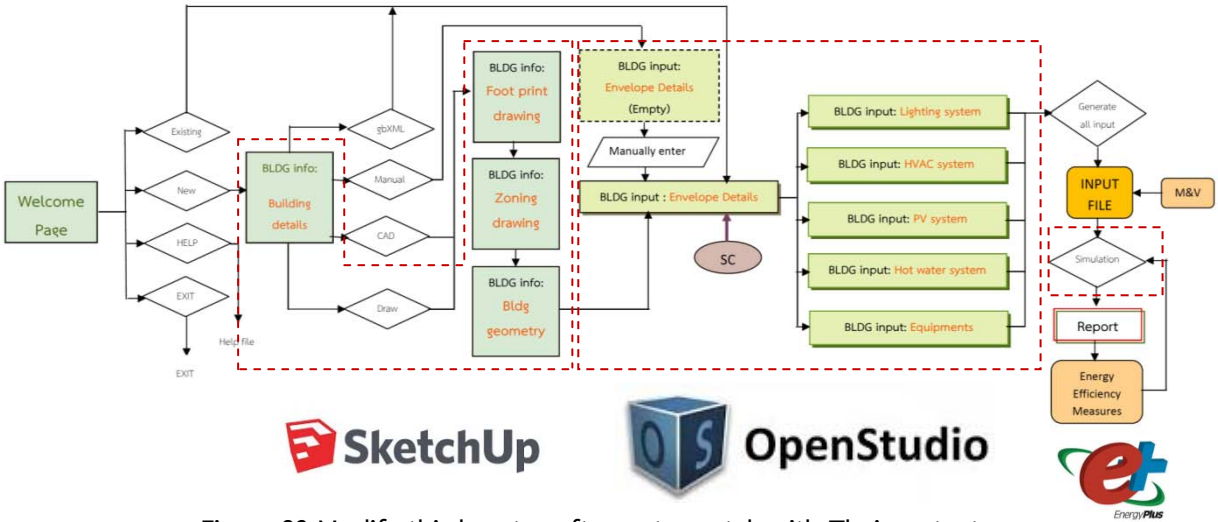


Figure 23 Modify third party software to match with Thai context

Option 4 Create a new program that is applicability to the Thai context

This option is the same with option 3, However, the whole program is created to match with the Thai context without modifying any existing open source code.

Comparison of pros and cons for each option

The project teams have discussed within the team, with programmers and with DEDE of the possibilities of each options for the available time and budget, option 3 has been chosen to further development.

Table 8 Comparison of BESM improvement options

Items	Option 1 Improved BEC from previous version	Option 2 Improve BEC by rewrite the whole program	Option 3 Improve other open source programs	Option 4 Write the new BESM program
Time used	6 months	12 months	8 months	3-5 years
Cost	300,000 Baht	800,000 Baht	800,000 Baht	n/a
Difficulty for programmers	Low	Moderate	Moderate	High
Easiness of input method for users	Moderate	Moderate	Easy	Easy
Can calculate building energy performance against BEC allowances	Yes	Yes	Yes	Yes
Can calculate hourly dynamics heat transfer process using weather data	No	No	Yes	Yes
Can create 3D representatives of buildings	No	Yes/easy geometry	Yes/complex geometry	Yes/complex geometry
Sub-calculation modules match with Thai context	Yes	Yes	Some modules might use assumptions based on different climate conditions.	Yes

Review of Building Energy Simulation Program between BEC and EnergyPlus with OpenStudio Suite

This section contains a comparison between two building energy simulation programs, Thai's BEC and US-DOE's EnergyPlus with OpenStudio Suite. The purpose of the study is to determine the difference of the function and its simulation capability for applying to a wide range of users.

Building Energy Code Program (BEC)

BEC is intentionally built to be a building code verification program. It was designed to evaluate building design compliances with building energy code. Its focus is on OTTV/RTTV and energy efficiency of the equipment to comply with the value stated in the regulation. BEC also has a capability to perform whole building energy calculation which the result shows annual energy consumption of the building.

The program provides a wide range database of Thai's building material. Almost every operation requires manually input of building information. This process is simple compared to advance building simulation tools. However, it can be considered quite time-consuming method in large scale buildings. The program is currently lack of graphical user interface.

The operation of the BEC requires user to input building envelope information and building system information into the program. Users are required to create building envelope components from materials provided in program's database. In the envelope will contain a set of materials which the users use to build the envelope components. Thermal properties of the envelope will come from the sum of each building materials. The envelopes will be assigned with location, size and orientation to form an enclosed space called "building zone". Zone is created for a purpose of monitoring energy use in the specific area. The electrical equipment such as lighting, air-conditioning will be added into the zone. The final energy consumption will be reported respectively to the zone or floor which the zone is specified in.

EnergyPlus with OpenStudio Suite

EnergyPlus with OpenStudio Suite is a collection of software to perform building energy simulation (ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง). Each program is responsible for a different task of the process. These programs will work simultaneously with the others to update a project file when new information is inputted into the program.



Figure 24 OpenStudio Software Suite

This study will focuses on OpenStudio Application and SketchUp Plug-in. OpenStudio Plug-in provided in SketchUp program will allow user to create compatible OpenStudio building. The plug-in will converts the 3D model in SketchUp into building information for OpenStudio application. The plug-in also allow SketchUp building to use database in Open Studio's library which will be assigned to "thermal zone" as constructed in the SketchUp. The information of HVAC system, equipment load and schedule will also be assigned into thermal zones.

EnergyPlus is a standalone building energy simulation program with a capability of advance thermo property simulation. The program itself is lack of any graphical user interface. The operations in this program require a lot of effort to complete building information input.

In this case, EnergyPlus will be used as simulation engine in this process. The data from OpenStudio will be converted to EnergyPlus readable file. The simulation will occur once the user press run button in OpenStudio. The EnergyPlus will run in the background and the result will be shown in OpenStudio.

Process Comparison

The process of two programs is identical in some steps. It involves with two main steps, the construction of building envelope to identify thermal zone and the definition of equipment and load in each zone. However, there are differences in the process of how building envelope information is developed and building information management using database and library. Another different point is graphical user interface of in both programs.

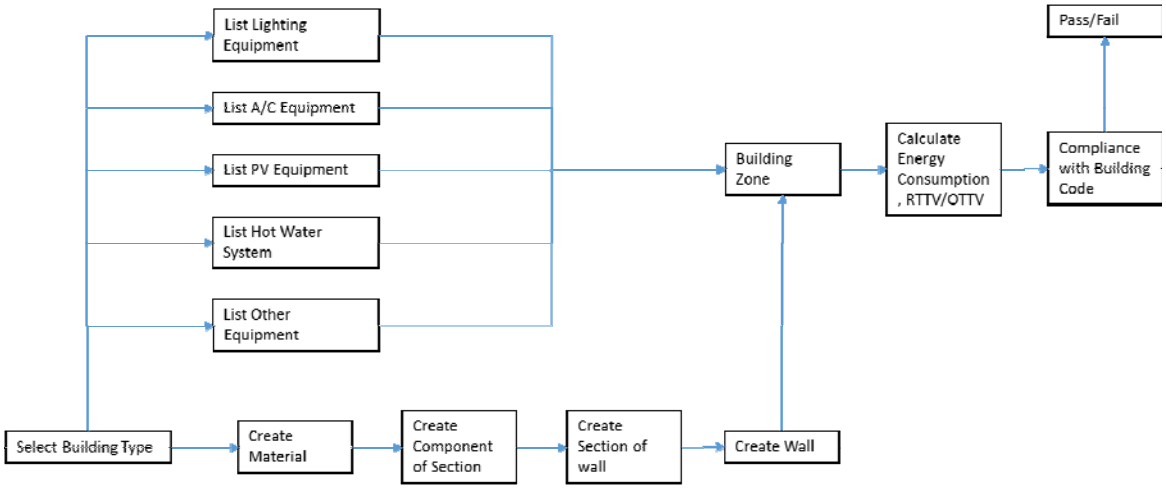


Figure 25 BEC data Flow

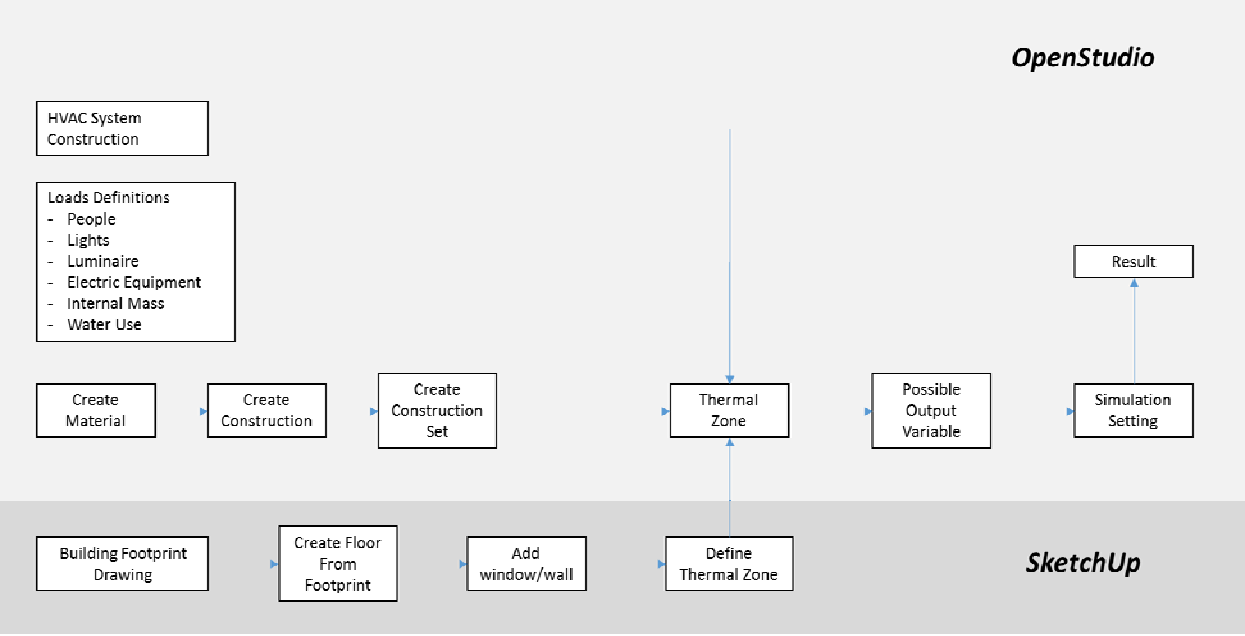


Figure 26 SketchUp, OpenStudio and EnergyPlus data flow

Material, Building Envelope Construction

In BEC, the construction of building envelope from material data is needed to be done before building assigning to building zone. In OpenStudio, building zone can be develop at the earlier stage by using SketchUp program, then the detail of construction could be added to building zone later. However, for the purpose of comparison, this study will started from the process of construction of building envelope for both programs.

BEC provides a large coverage of built-materials, which most of them are widely used in Thailand. BEC contain more steps in building envelope construction process due to the lack of 3D modeling ability to identify the component in the section of wall (Figure 27). The extra step has to be made to put the detail of transparent material.

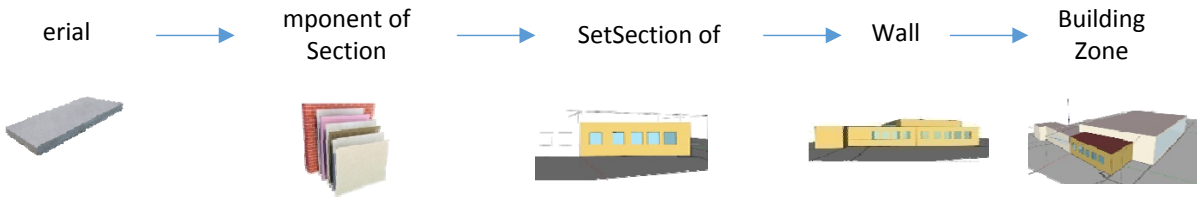


Figure 27 BEC building material construction

In OpenStudio, the construction of building envelope can be done with a fewer steps. The raw materials are combined to form “construction”. The construction is a ready-built material which is made from a composition of material. Either opaque or transparent material is with method in this step. Then, the construction will be assign to the set of building “construction set” (Figure 28). The construction set contain construction information of wall, floor, and roof in both exterior and interior. These construction sets will be used to assign to the zone in the following process.



Figure 28 OpenStudio material construction

Building and Zone Construction

The process of building zone construction is very important for energy simulation process. The zone will be used to define thermal gain through building envelope, internal heat gain and energy consumption (Figure 29). The result of energy consumption will be analyzed regarding to building's zone boundary.

For BEC, it is necessary to construct a zone after all building wall construction is finished. Zone in BEC is made of wall with wall area specified. The reason for creating a zone is to specify loads in the enclosed boundary. In another word, wall properties are assigned into the zone as a thermal load from heat gain through wall. For BEC, heat gain through the wall is only depends on wall thermal properties, azimuth and the area of the wall. Therefore, the simulation engine for heat transfer in BEC is more direct thanEnergyPlus

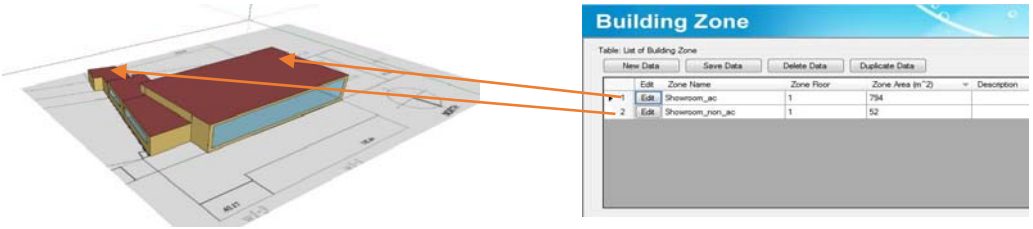


Figure 29 Example of Building Zone with building model reference.

For OpenStudio, the zone is defined automatically in SketchUp 3D Model. The building is formed by using drawing interface in SketchUp. The first step is to draft floor plan of the building using measured diagram or import building footprint as a background. Then, the 2D drawing diagram can be used to build volumetric zone using specific tools in SketchUp Plug-in (Figure 30).

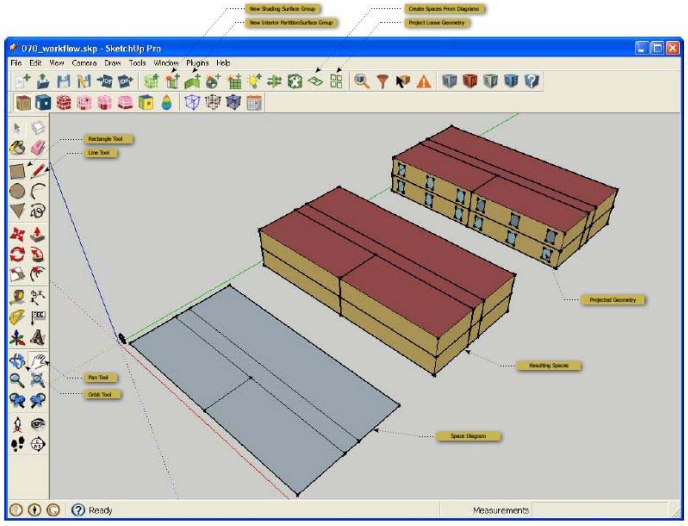


Figure 30 The developing of building envelope in SketchUp for OpenStudio

The footprint is drawn regarding to thermal zone that the user wants it to be analyzed. Typically, the zone will be divided according space type or ventilation system. The space created from using specific OpenStudio tools can be converted to thermal zone by using the script provide by the plug-in. The pre-set OpenStudio user script will analyze building geometry of the model and identify the partition of each thermal zone (Figure 31). Transparent materials, door and shading device are added in this stage.

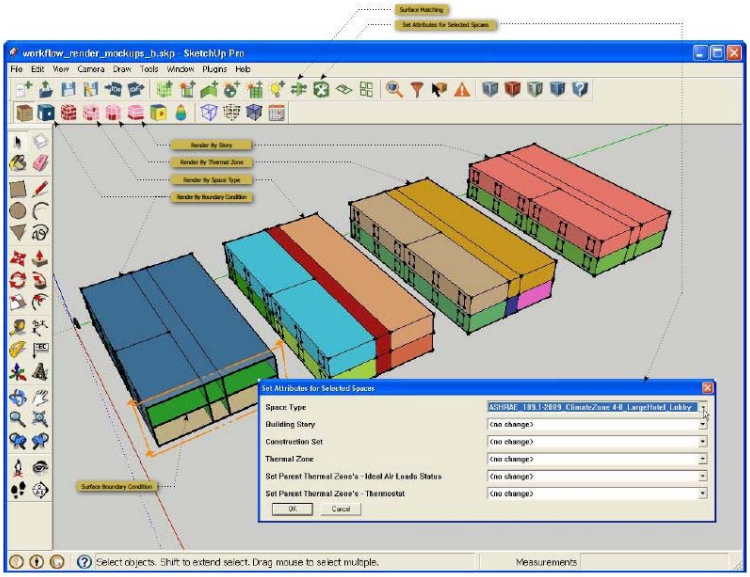


Figure 31 buildings rendered by boundary, space type, thermal zone and floor

After the thermal zone is made, user will be allowed to set attributes for the space. The attributes include space type, building story, construction set and thermal zone. Each property will be rendered in a different colors on the model. All of information in this process will be able to use data available from OpenStudio library.

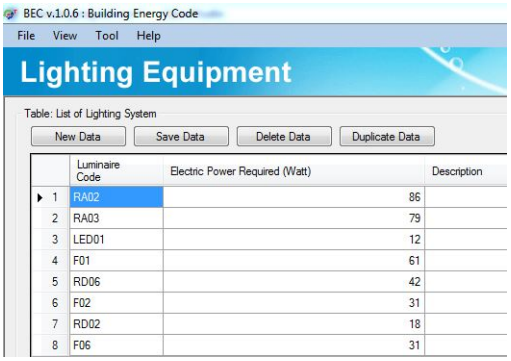
Zone Equipment and Load

After the zone boundary for energy analysis is defined, equipment load will be added into the zone for the calculation of heat balancing and energy consumption analysis.

In BEC, the structure of load definition is clearly identified. Each zone will use its own dataset of listed load components (Figure 32). The loads in the zone are available as follows:

- Exterior Wall : Represent heat gain and boundary definition
- Lighting Equipment : Lighting load by number of specified wattage bulb
- A/C System : Power capacity to determine COP of the equipment
- PV System: System area, module efficiency and installation condition.
- Hot water system : Power capacity to determine COP of the equipment

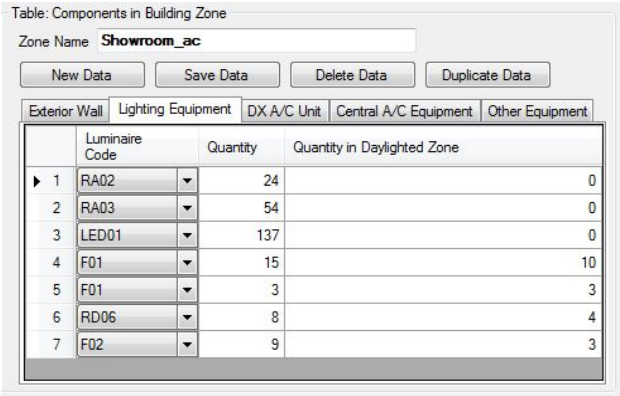
- Other equipment: Electric power required by the equipment



	Luminaire Code	Electric Power Required (Watt)	Description
1	RA02	86	
2	RA03	79	
3	LED01	12	
4	F01	61	
5	RD06	42	
6	F02	31	
7	RD02	18	
8	F06	31	

Figure 32 Dataset of listed load component (lighting) in BEC

The information required in equipment list is mainly involved with type of the equipment, power consumption and the efficiency of the equipment. All loads will be assigned into the zone according to building zone construction. In the zone, the quantity of the equipment will be defined (Figure 33). The yearly operating hours of equipment will be determined by default value according to building type selection.



	Luminaire Code	Quantity	Quantity in Daylighted Zone
1	RA02	24	0
2	RA03	54	0
3	LED01	137	0
4	F01	15	10
5	F01	3	3
6	RD06	8	4
7	F02	9	3

Figure 33 BEC, the list of load (lighting) in building zone

In OpenStudio, load definition has much more detailed than the BEC. However, it is more convenience to apply load definition into building with many zones in OpenStudio because they are applied into space type template not an individual zone. If the building contain zones with the same space type, no load definition process will be required for the same space type. Load definition can be constructed in the load library which has many more categories than the BEC (Figure 34). The list of available load definitions are listed as follows:

- People Definition
- Light Definition
- Luminaries Definition
- Electric Equipment Definition

- Gas Equipment Definition
- Steam Equipment Definition
- Other Definition
- Internal Mass Definition
- Water Use Definition

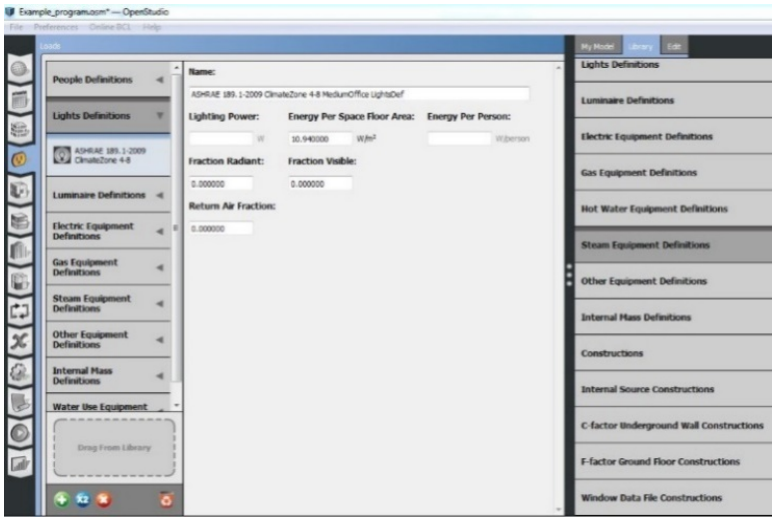


Figure 34 Example of load definition in OpenStudio

In each load definition provides flexibility for user to define energy required from load in the thermal zone. Users are provided with several methods to define energy consumption by the system.

For example, in lighting definition, user can decides to input whether

- Lighting power in wattage (W), which will fixed energy power required by lighting system in the area.
- Energy per space floor area (W/m^2) which energy use is depends on floor area.
- Energy per person which energy use in the area will depend on the number of people defined in space type property.

All load definition defined in previous step will present in the library. Each definition has to be assigned into the space type along with equipment schedule as required by the program. These space types will contain the characteristic of thermal and electricity load which the space type will be assigned into thermal zone later. This building library-based method require more effort at the initial step to define load into the space type when comparing to direct input method in BEC but it will benefit in the case of building with many identical thermal zone.

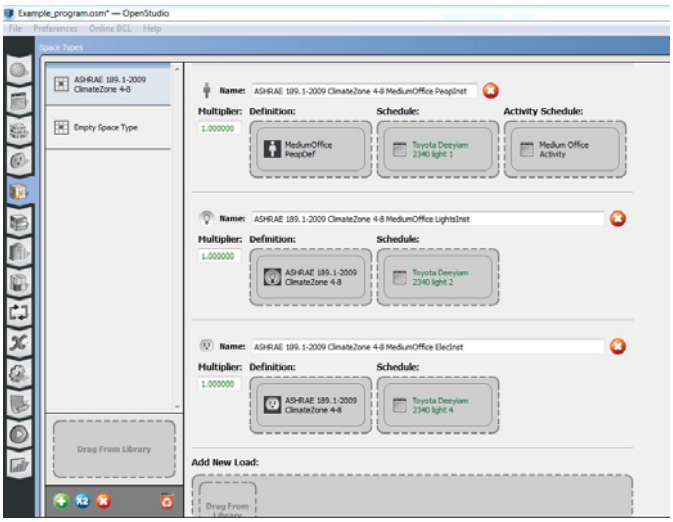


Figure 35 Space type properties in OpenStudio

Hour of Operation

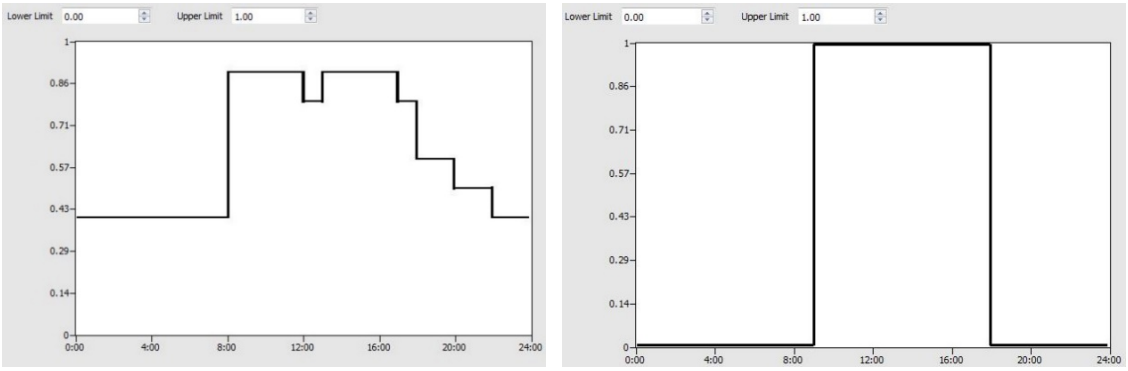
Hour of operation is a crucial factor in every building energy simulation and benchmarking. It directly affects annual energy consumption of the building due to the difference in duration that building or equipment are operated.

In BEC, hour of operation will be defined when the user selects building type in project information at beginning of the program by users. There are three main type of building according to Thai building energy code indicated in Table 9

Table 9 Hour of Operation by building type in BEC

Building Type	Hour of Operation (annual)
Department Store	4380
Hotel & Hospital	8760
Office & School	2340

In OpenStudio, the hour of operation in the equipment will be controlled by the schedule assigned in space type along with equipment from load definitions. The schedule can be set as less as 15 minute interval correspondent to the equipment usage by the building. By this method, the equipment can be controlled whether on/off operation or time step as users desire.



On/Off time schedule

Time step time schedule

Figure 36 On/Off time schedule and time step time schedule

- On/Off schedule provide convenient method to control hour of operation of the building.
- Time Step Schedule will reflect actual condition of building operation, using availability scale of 1 to represent equipment usage change by time.

Building Stories

In BEC, building floor will be defined in the zone construction stage. User has to define which floor the zone will be located. The only purpose of floor definition in BEC is to produce whole building energy consumption by floor in the report. Only the top floor is allowed to contain roof material.

In OpenStudio, every thermal space is also assigned into the floor. The importance of providing floor is to calculate interior heat transfer through the ceiling/floor in each floor. It will provide more realistic heat transfer between each building floor due to the difference in construction and activity in each floor.

HVAC System

HVAC system is an essential part for building for energy simulation. The main part of the system is cooling device since COP value affects most of energy equation of the programs.

In BEC, user is required to create a database of A/C system (Figure 37) which it requires user to input cooling capacity and rated power to determine Coefficients of Power (COP) of the equipment whether it is compelling with the law or not (Figure 38). This COP represents whole system efficiency. Only central air-conditioning system allows user to customize system's component. However, there is no requirement for user to complete HVAC system building with essential component.

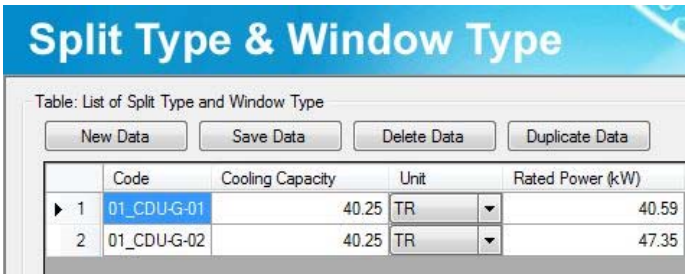


Figure 37 A/C equipment list in BEC

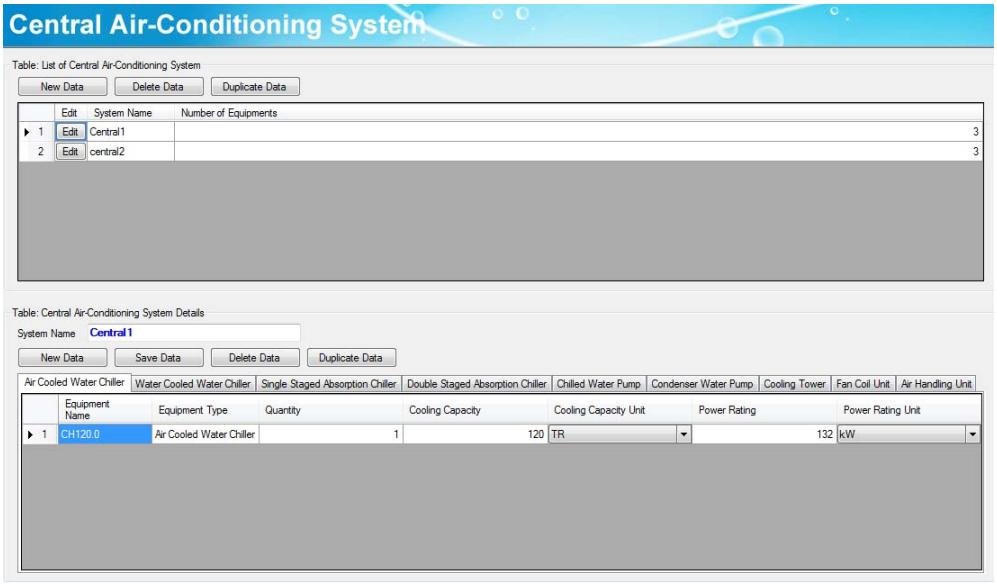


Figure 38 Central A/C System with Components Configuration

For OpenStudio, more detail of HVAC component is required to complete the construction of HVAC system (Figure 39). There are some pre-built systems with ready-use component. However, those system are mainly design for maintain indoor condition according to ASHRAE condition. In the system, each component can be defined for its own efficiency. The component included in the system such as cooling coil, fan and air duct. The construction of HVAC system has to collaborate with thermal zone of the building as it is required to identify building zone on the demand side of HVAC system.

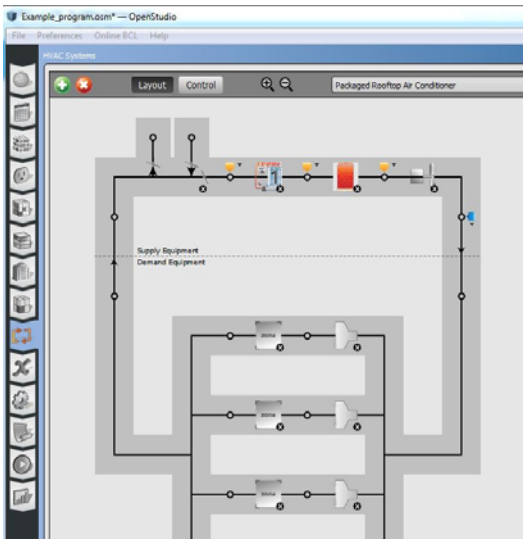


Figure 39 HVAC system and components in OpenStudio

Shading Coefficient (SC) Calculation

Since the process of developing building envelope in BEC does not provide 3D building geometry which it will accommodate the calculation of shading coefficient, BEC has provided external SC calculation tool (Figure 40). The program requires users to specify the coordinate and dimension of shading device and the fenestrations. The result from the calculation is the SC value for that specific transparent surface. This process has to be done repeatedly until SC values of every surface is defined.

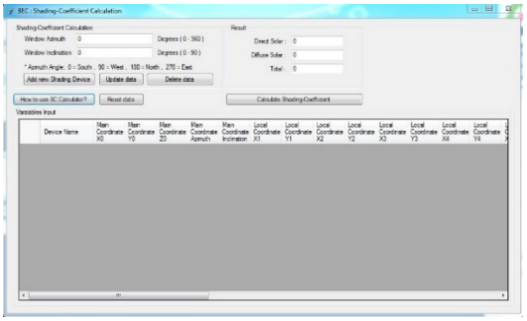


Figure 40 SC calculation tool in BEC

For OpenStudio, 3D building model is provided in the stage of SketchUp drawing. This model provides sufficient information to calculate SC value of the surface. When the simulation is running, the coordination of building envelope and shading device in SketchUp will be used to calculate SC value in EnergyPlus's calculation. OpenStudio also provides more precise daylight calculation using "Radiance", which will increases simulation time but provides more accurate result.

Report Comparison

The outcome of the whole process of simulation will be shown in this part. The detail of the report will depend on capability of the program. Although BEC is built intentionally for building regulation compliance and OpenStudio is built to simulate building energy consumption, both programs are able to provide building's total energy consumption in a year.

In BEC, a category of system can be selected to check whether the system is complying with the regulation. Whole building energy report is also provided (Figure 41). The energy consumption can be reported according to the whole building, floor or building zone. Energy consumption by equipment is also provided.

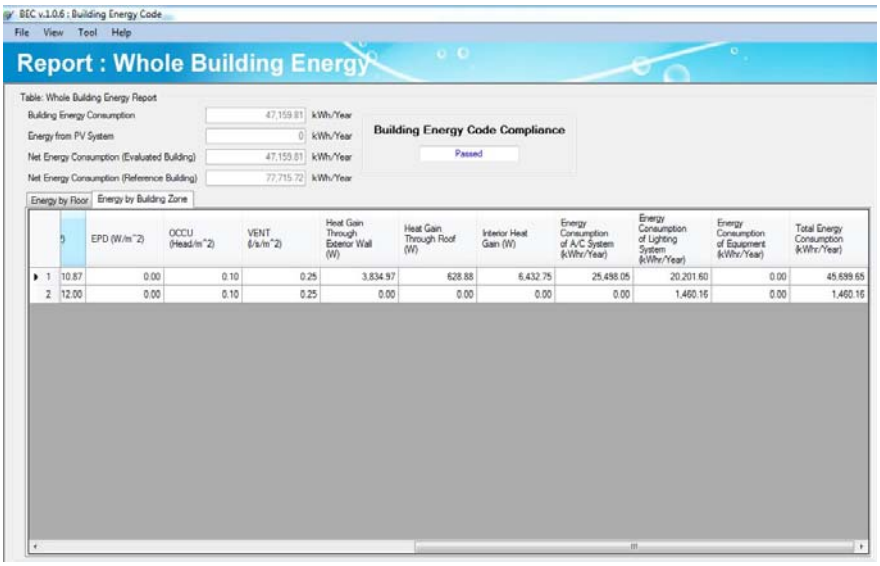


Figure 41 BEC, whole building simulation report.

In OpenStudio, the report provide energy break down by each building system with graphical visualization. The report also shows monthly energy consumption which allow user to track the fluctuation of energy consumption in each month or even each hour. Natural gas consumption is also provided if the building contain natural gas equipment. In addition, by using the function provided, the full version of report by EnergyPlus can be shown in separate result viewer (Figure 42). The available results are listed below.

- Annual Building Utility Performance Summary
- Input Verification and Results Summary
- Demand End Use Components Summary
- Source Energy End Use Components Summary
- Component Sizing Summary
- Surface Shadowing Summary
- Climatic Data Summary
- Envelope Summary
- Shading Summary
- Lighting Summary
- Equipment Summary
- HVAC Sizing Summary
- System Summary
- Outdoor Air Summary
- Object Count Summary
- Energy Meters
- Sensible Heat Gain Summary
- Standard 62.1 Summary

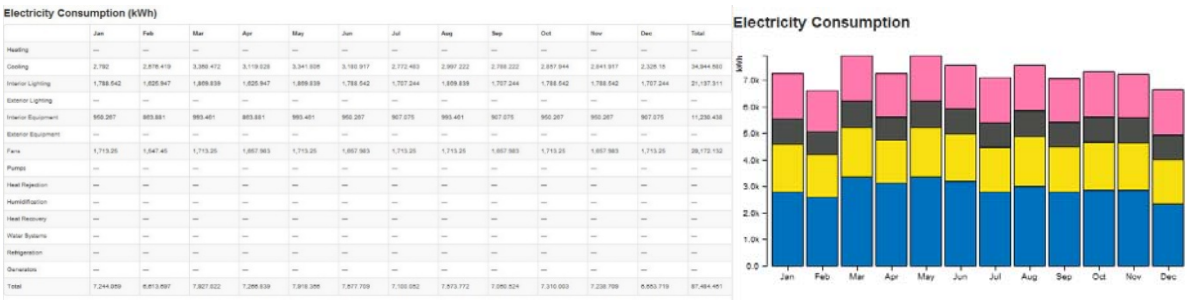


Figure 42 OpenStudio simulation results

Summary

Table 10 Summary of Building Energy Simulation and Modeling

Topic	BEC	OpenStudio
Process	Manual database input from beginning to end.	Construct library assign to building zone, mostly drag and drop.
Material and Building Envelope Construction	5 steps to create building zones.	3 steps to create construction sets plus 3D models.
Zone Equipment and Load	Manual database input, define number of equipment in zone.	Define load property and assign to building zone.
Building and Zone Construction	Each wall section and area is added one-by-one to create enclosed spaces.	Construction sets in the library are added to define zone property in 3d model.
Building Story	Required to produce report with energy consumption according to floor.	Required for calculation algorithm (ground, ceiling, roof heat transfer), report is available.
Hour of Operation	Fixed by building types in types of building selection menu.	Each system is control individually by sub-hour adjustable schedules.
HVAC	User defines capacity and wattage, system components are available but not required.	Require to construct system diagram with equipment detail in the system.
Shading Coefficient Calculation	Require manually coordinate input according to dimension and position of shading surface.	Automatically simulated using 3D building model information.
Report Comparison	Whole building energy consumption, consumption by system in zones and floors.	Whole building energy consumption, energy consumption by building systems, monthly energy consumptions.

Building Energy Simulation and Modeling Testing

In this section, two BSEM programs were reviewed. The simulation was run on each program using the same building condition and operating condition. The purpose of this study is to determine the difference of results when the programs are using same input value as much as possible. In order to obtain the closest condition, most of basic operating condition will be based on BEC default value since OpenStudio has more flexibility for user to define these values. Test building overview and simulation conditions are list in Table 11 to Table 13.

Table 11 Test Building Information

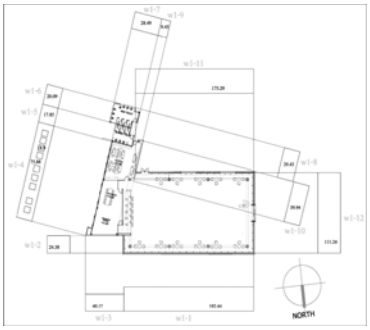
Building Type	*Office*
Area	*Total = 846 m^2*
	A/C Zone = 794 m^2, Non A/C Zone = 52 m^2
Window to Wall Ratio (WWR)	*63.54%*
Lighting	*Total = 10.94 W/m^2*
	A/C Zone = 10.87 W/m^2
	None A/C Zone = 12 W/m^2
A/C Unit	*597,300 BTU/hr*
	Type : DX
	COP = 3.24
Electric Equipment Load	*= 19,428.94 kWh/year*
	= 8,302.97 W
	=9.814 W/m^2
Annual Operating Hour	*2,340 hrs*
Occupant Density	*0.1 head/m^2*
Out Door Air Flow	*0.0025 m^3/s•person*
Dimension	

Table 12 List of Opaque Material

No	Opaque Material	Thermal Conductivity (W/mK)	Density (kg/m^3)	Specific Heat (kJ/kg K)
1	Light Wight Concrete QCON	0.13	620	0.84
2	Plaster Concrete for QCON	0.326	1200	0.84
3	Brick	0.807	1760	0.79
4	Plaster Concrete	0.72	1860	0.84
5	Ceramic Tile	0.338	2100	0.8
6	Metal Sheet	45.300	7830	0.5
7	Polyurethane Insulator	0.029	45	1.21
8	Fiberglass Insulator	0.038	32	0.96
9	Air Gap	0.5747	1.2	1.002

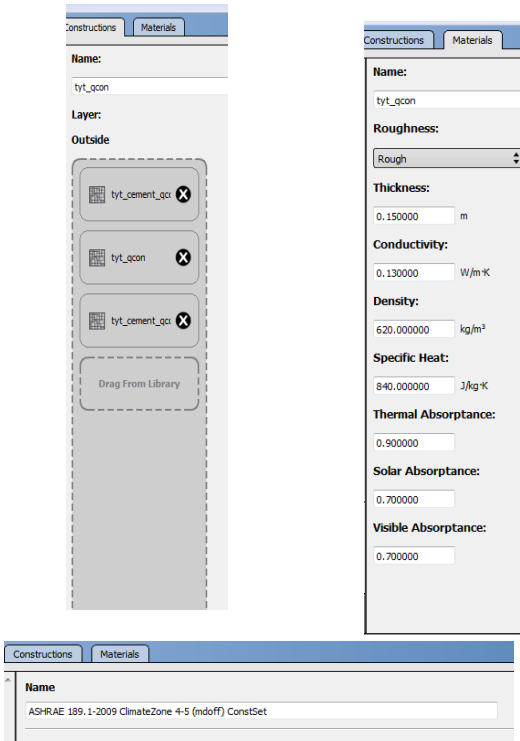
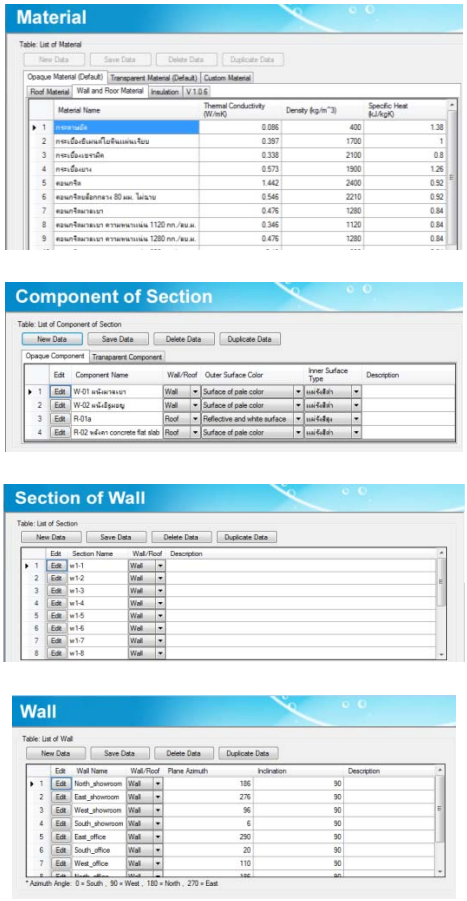
Table 13 Transparent Material

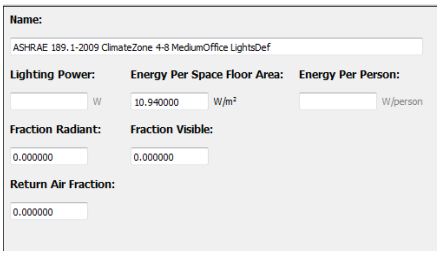
No	Material	Thickness (m)	Visible Ray		Solar Energy			SHGC	U-value
			Reflectance	Transmittance	Reflectance	Transmittance	Absorption		
1	Single laminated low-E	0.013	9.8	0.636	17.6	27.5	54.9	0.42	5.44
2	Double laminated low-E	0.038	13.8	0.5	18.9	13.1	68.1	0.27	2.9

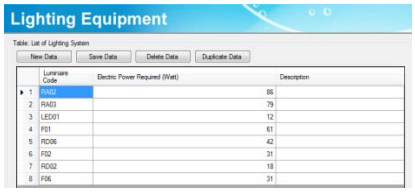
Input Process

Both programs contain some different processes in constructing building information for energy simulation. Table 14 are provided to compare an operation in each process of building modeling and simulation.

Table 14 Comparison of OpenStudio and BEC input processes

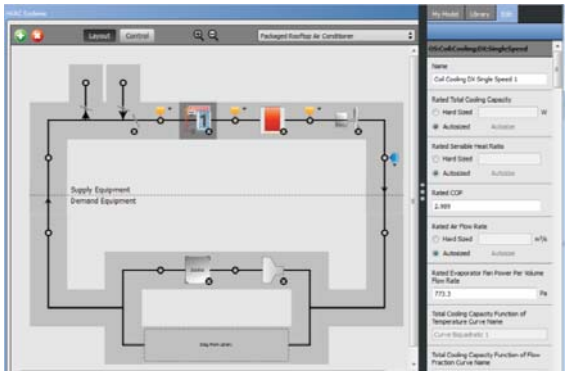
OpenStudio	BEC
1. Building Material The first step of building simulation model is to create built-material for the project. Both programs contain similar method in creating wall component. However, the final outcomes of the process were different. OpenStudio provides whole space construction set while BEC provides construction material for one side of building wall.	
	
2. Lighting OpenStudio requires user to define lighting wattages in the zone but BEC requires user to list all of lighting equipment in the project.	



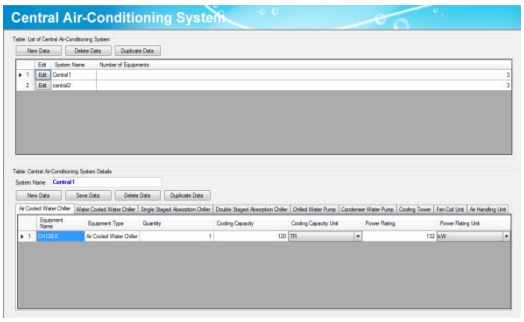


3. A/C System

In OpenStudio, user is required to build HVAC system by define the equipment in supply side and zone in demand side. In BEC, user is required to list a/c units and specify cooling capacity and rated power.

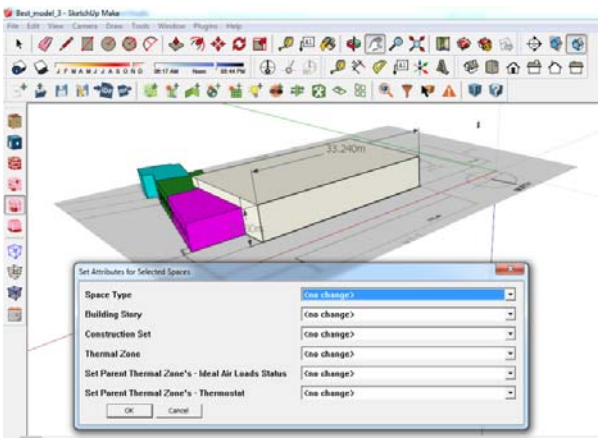


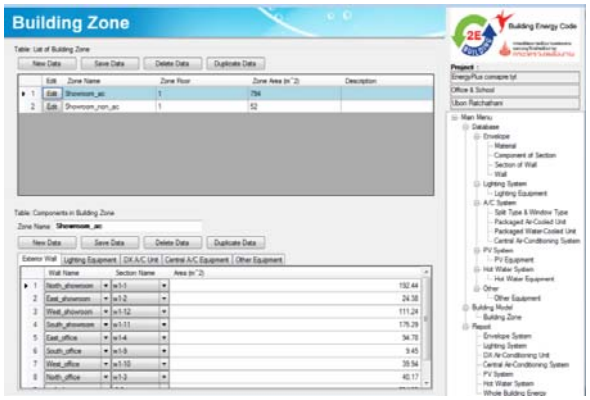




4. Building Zone Construction

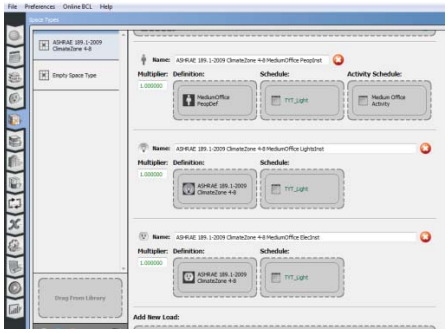
In OpenStudio, zones are detected automatically in SketchUp model. Construction set is assigned to each zone from the drop down menu. In BEC, zones are created by assign wall surfaces to the zone to create literally enclosed space.

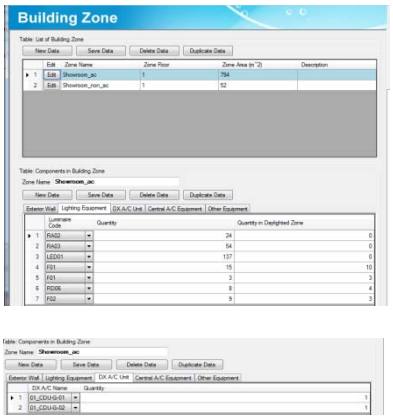




5. Zone Equipment

OpenStudio require the users to define only energy consumption by the equipment. Every load type will be put together in space type definition for further assign to the zone. While BEC need a listed details of all equipments in the project. The equipments will be assigned into the each zone individually.





Result Comparison

After the running of simulations with building condition above, the results from two program are analyzed and compared to show the differences in each building component in

Table 15 and Figure 43.

Table 15 Simulation result summary

	BEC	OpenStudio	% Difference
Building Energy Consumption, annual (kWh)	71,435.15	89,771.00	25.67%
- Lighting	21,661.76	21,770.67	0.50%
- Air conditioning	30,296.81	40,567.89	33.90%
- Equipment	19,476.58	19,477.13	0.00%
- Others (Fan)	-	8,005.46	-

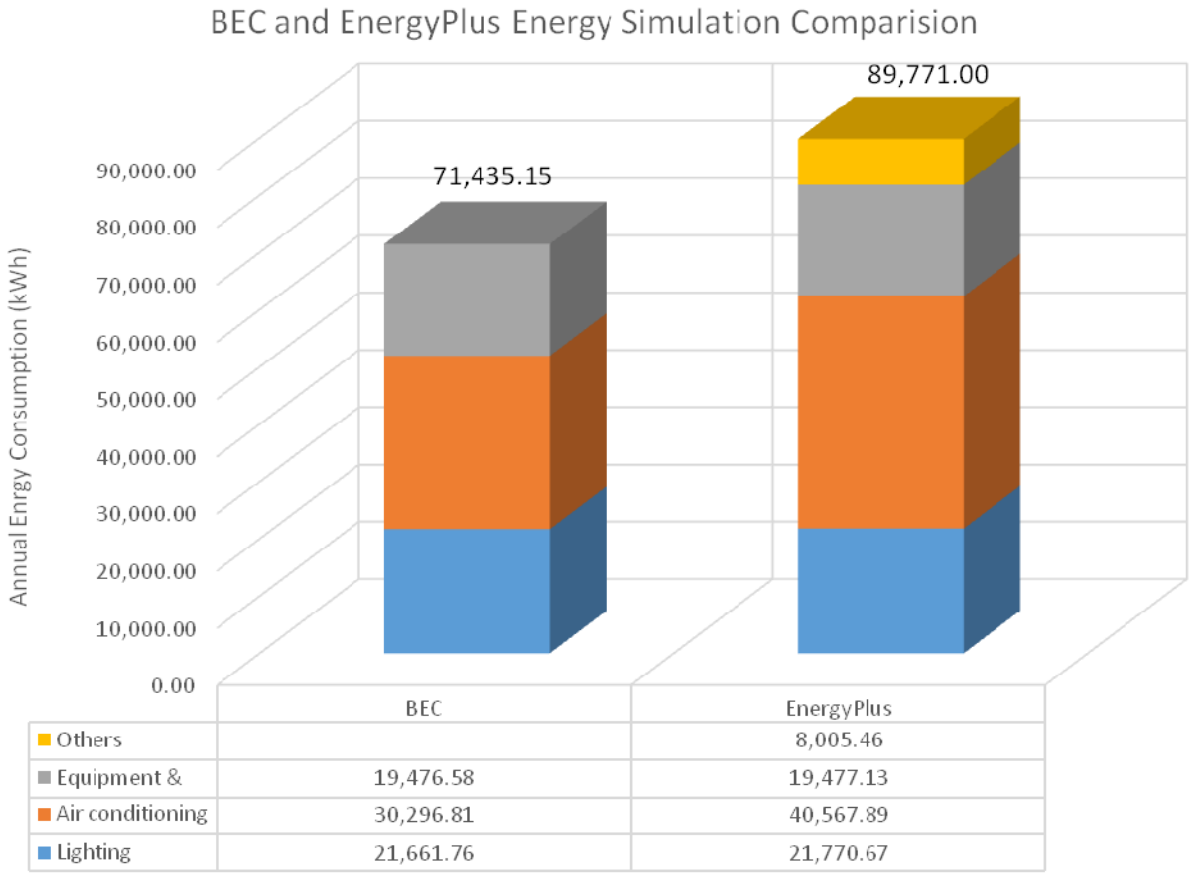


Figure 43 Total Energy Consumption Result from the Simulation

Discussion

The simulation results showed a difference in energy consumption of the building. Air-conditioning system has a great effect to total energy consumption because lighting and electric equipment are fixed to operate at designed condition. The difference in a/c energy consumption can be refer to two different factors. The first factor is the difference in the construction of A/C system. Both programs have a difference in details of HVAC system configurations. Since the test building is equipped with DX a/c unit, BEC users could only define a/c cooling capacity and rated power which they will be used to calculate COP of the unit while OpenStudio allows user to construct the whole HVAC system which user can customize each component of HVAC system with more details by dividing the system into supply side and demand side. The second factor is cooling load from heat gain into the zone. In the simulation, heat gain can be refer to heat addition from building wall, people, lighting and other equipment. These heat gain will affects cooling load from a/c system. In both heat gain and cooling load that are calculated by different algorithms resulted in different values of the results. In BEC, the parameters involving with cooling load are fixed or constant value such as temperature difference and OTTV/RTTV. OpenStudio mostly uses time-variation parameters, the cooling load is effected by hourly temperature change and activities during operating times. The maximum/minimum heat gain is also be able to report at peak cooling or peak heating condition. Energy consumptions from fan has added up to total energy consumption in OpenStudio while this equipment is not presented in BEC. This can cause total energy consumption calculated by OpenStudio to be 25.67 percents more than energy consumption calculated using BEC with 33.90 percents more energy consumption in a/c systems.

Conclusions

Both BESM programs, BEC and OpenStudio, have performed well in calculating annual energy consumption of the test building. Although there is a approximately 25% gap between total energy consumption results, the causes of differentiation are identifiable. When considering the purpose of construction of two programs, BEC is designed for complying regulation which mainly aims for OTTV/RTTV while OpenStudio is designed for building energy simulation at ASHRAE condition, aiming for study heat transfer in the building. The energy differences are mostly from different calculation algorithms of heat gain and cooling load in the zone. In fact, this A/C algorithm parts are the most complex calculation in energy simulation processes and these two factors are correlated to each other. The algorithm that provide more heat gain into the zone also increase cooling load which resulted in increasing of total energy consumption. Nevertheless, the result is still able to be used for energy-use comparison of the building.

References

American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. (2007). ASHRAE 90.1-2007 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.

APEC (1967). HCC-Heating/Cooling Load Calculation Program.

ASHRAE (1975). Procedure for Determining Heating and Cooling Loads for Computerizing Energy Calculations; Algorithms for Building Heat Transfer Subroutines. New York, NY, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Chirarattananon, S., P. Chaiwiwatworakul, V. D. Hien, P. Rakkwamsuk and K. Kubaha (2010). "Assessment of energy savings from the revised building energy code of Thailand." Energy **35**(4): 1741-1753.

Chirarattananon, S. and J. Taveekun (2004). "An OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand." Energy and Buildings **36**(7): 680-689.

Clarke, J. A. (2001). Energy Simulation in Building Design. Oxford ; Woburn, Mass., Butterworth-Heinemann.

Crawley, D. B., J. W. Hand, M. Kummert and B. T. Griffith (2008). "Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs." Building and Environment **43**(4): 661-673.

Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory (2013). EnergyPlus Guide for Interface Developers.

gbXML.org (2013). "History."

Haberl, J. S. and S. Cho (2004). Literature Review of Uncertainty of Analysis Methods, (DOE-2 Program), the Texas Commission on Environmental Quality.

http://www.bembook.ibpsa.us/. (2014). "History of Building Energy Modeling." from http://www.bembook.ibpsa.us/index.php?title=History_of_Building_Energy_Modeling.

Jeff S. Haberl and Soolyeon Cho (2004). Literature Review of Uncertainty of Analysis Methods (PV F-Chart Program).

Judkoff, R. and J. Neymark (2006). Model Validation and Testing: The Methodological Foundation of ASHRAE Standard 140 ASHRAE 2006 Annual Meeting Quebec City, Canada

U.S. Department of Energy. (2013). "Building Technology Program: Qualified Software for Calculating Commercial Building Tax Deductions." Retrieved July, 2013, from http://www1.eere.energy.gov/buildings/qualified_software.html.

Appendix 1 Popular Simulation Models Questionnaire

แบบจัดเก็บข้อมูลผู้ใช้โปรแกรมคำนวณการใช้พลังงานในอาคารเพื่อการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน

ข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถาม

แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อรวบรวมข้อมูลของผู้ใช้โปรแกรมเพื่อการคำนวณการใช้พลังงานในอาคาร โดยเป็นส่วนหนึ่งของโครงการส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอาคารธุรกิจ , กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

1. ข้อมูลส่วนตัว

ข้อมูลส่วนตัว ชื่อ-นามสกุล	
ตำแหน่ง	
หน่วยงาน	
ที่อยู่สถานที่ทำงาน	
เบอร์โทรศัพท์ที่ทำงาน	
เบอร์ทรศัพท์มือถือ	
Email	

2. เพศ

☐ หญิง ☐ ชาย

3. อายุ

☐ 20 - 30 ปี ☐ 41 - 50 ปี

☐ 31 - 40 ปี ☐ 50 ปีขึ้นไป

4. หน้าที่ปัจจุบันของท่านเกี่ยวข้องกับการประเมินการใช้พลังงานในอาคารหรือไม่

☐ เกี่ยวข้อง ☐ ไม่เกี่ยวข้อง

ประสบการณ์เกี่ยวกับการใช้โปรแกรมในการคำนวณพลังงานในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน

5. โปรดระบุประสบการณ์ในการใช้โปรแกรมคำนวณการใช้พลังงานในอาคารตาม พรบ.อนุรักษ์พลังงานของท่าน (เลือกทั้งหมดที่เคยทดลองใช้)

	OTTVEE ของจุฬาฯ	OTTV ของ Siam Fiberglass	BEC ของ พพ.	OTTV ของ ISA
เคยทดลองใช้	☐	☐	☐	☐
เคยใช้เพื่อประเมินอาคารตาม พรบ.อนุรักษ์พลังงานของไทย	☐	☐	☐	☐
เคยใช้เพื่อการศึกษาหรือการทำวิจัยอาคารประเภทอาคารพักอาศัยสูงไม่เกิน 3 ชั้น	☐	☐	☐	☐
เคยใช้เพื่อการศึกษาหรือการทำวิจัยอาคารประเภทอาคารธุรกิจ	☐	☐	☐	☐
เคยใช้เพื่อประเมินอาคารเขียว ตามเกณฑ์ TREES, LEED หรืออื่น ๆ	☐	☐	☐	☐
เคยใช้เพื่อจุดประสงค์อื่น	☐	☐	☐	☐
ไม่เคยใช้	☐	☐	☐	☐

6. โปรดระบุประสบการณ์ในการใช้โปรแกรมคำนวณการใช้พลังงานในอาคารของต่างประเทศที่ท่านเคยใช้ - 1 (เลือกทั้งหมดที่เคยทดลองใช้)

	DOE2.1E	VisualDOE	eQUEST	TRNSYS	Tas	IES
เคยทดลองใช้	☐	☐	☐	☐	☐	☐
เคยใช้เพื่อประเมินอาคารตาม พรบ.อนุรักษ์พลังงานของไทย	☐	☐	☐	☐	☐	☐
เคยใช้เพื่อการศึกษาหรือการทำวิจัยอาคารประเภทอาคารพักอาศัยสูงไม่เกิน 3 ชั้น	☐	☐	☐	☐	☐	☐
เคยใช้เพื่อการศึกษาหรือการทำวิจัยอาคารประเภทอาคารธุรกิจ	☐	☐	☐	☐	☐	☐
เคยใช้เพื่อประเมินอาคารเขียว ตามเกณฑ์ TREES, LEED หรืออื่น ๆ	☐	☐	☐	☐	☐	☐
เคยใช้เพื่อจุดประสงค์อื่น	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ไม่เคยใช้	☐	☐	☐	☐	☐	☐

7. โปรดระบุประสบการณ์ในการใช้โปรแกรมคำนวณการใช้พลังงานในอาคารของต่างประเทศที่ท่านเคยใช้ - 2 (เลือกทั้งหมดที่เคยทดลองใช้)

	Ener-Win	Ecotect	EnergyPlus	DesignBuilder	Trace-700
เคยทดลองใช้	☐	☐	☐	☐	☐
เคยใช้เพื่อประเมินอาคารตาม พรบ.อนุรักษ์พลังงานของไทย	☐	☐	☐	☐	☐
เคยใช้เพื่อการศึกษาหรือการทำวิจัยอาคารประเภทอาคารพักอาศัยสูงไม่เกิน 3 ชั้น	☐	☐	☐	☐	☐
เคยใช้เพื่อการศึกษาหรือการทำวิจัยอาคารประเภทอาคารธุรกิจ	☐	☐	☐	☐	☐
เคยใช้เพื่อประเมินอาคารเขียว ตามเกณฑ์ TREES, LEED หรืออื่น ๆ	☐	☐	☐	☐	☐
เคยใช้เพื่อจุดประสงค์อื่น	☐	☐	☐	☐	☐
ไม่เคยใช้	☐	☐	☐	☐	☐

8. หากท่านเคยใช้โปรแกรมคำนวณการใช้พลังงานในอาคารอื่น ๆ นอกเหนือจากที่ระบุในข้อ 5-7 โปรดระบุชื่อโปรแกรมพร้อมจุดประสงค์ในการใช้โปรแกรม

9. ท่านเคยใช้โปรแกรมคำนวณการใช้พลังงานในอาคารเพื่อประเมินอาคารประเภทใดบ้าง (เลือกประเภทอาคารทั้งหมดที่เคยใช้โปรแกรมประเมิน)

- ☐ อาคารพักอาศัยสูงไม่เกิน 3 ชั้น
- ☐ อาคารพักอาศัยรวม (อพาร์ตเม้น)
- ☐ อาคารชุดพักอาศัย (คอนโดมิเนียม-แยกเลขที่บ้าน)
- ☐ อาคารสำนักงาน
- ☐ อาคารชุดสำนักงาน (แยกเลขที่)
- ☐ อาคารศูนย์การค้า
- ☐ โรงมหรสพ
- ☐ สถานบริการ
- ☐ อาคารชุมนุมคน
- ☐ อาคารสถานศึกษา
- ☐ อาคารโรงพยาบาล
- ☐ อาคารโรงแรม

อื่น ๆ (โปรดระบุ)

10. ในขั้นตอนต่อไปจะมีการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะการใช้งานโปรแกรมและข้อคิดเห็นในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อคำนวณการใช้พลังงานที่เหมาะสมสำหรับอาคารธุรกิจในประเทศไทย โดยจะมีการทำแบบสอบถามละเอียด 1 ครั้ง และมีการจัดประชุมระดมความคิดเห็น 1-2 ครั้ง ท่านสนใจที่จะให้ทีมวิจัยติดต่อเพื่อเรียนเชิญเข้าร่วมเป็นผู้ให้ข้อมูลและความคิดเห็นต่องานวิจัยในระยะต่อไปหรือไม่

- ☐ ตอบแบบสอบถามในระยะต่อไป
- ☐ สนใจตอบแบบสอบถามและร่วมประชุมระดมความคิดเห็นในระยะต่อไป
- ☐ ไม่สนใจ

11. หากท่านยินดีให้ความร่วมมือในการทำวิจัยขั้นต่อไป โปรดระบุวิธีการติดต่อที่ท่านสะดวก

- ☐ จดหมาย
- ☐ email
- ☐ โทรศัพท์ที่ทำงาน
- ☐ โทรศัพท์มือถือ

Appendix 2 Software Utilization Patterns Questionnaire

แบบสำรวจเพื่อประเมินพฤติกรรมการใช้งานโปรแกรมเพื่อการคำนวณการใช้พลังงานในอาคารธุรกิจ

ข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถาม

แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อประเมินพฤติกรรมการใช้โปรแกรมเพื่อการคำนวณการใช้พลังงานในอาคารธุรกิจ สำหรับโปรแกรมที่มีความนิยมในการใช้งานมากที่สุด โดยเป็นส่วนหนึ่งของโครงการส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอาคารธุรกิจ , กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

1. ข้อมูลส่วนตัว

ข้อมูลส่วนตัว ชื่อ-นามสกุล

2. โปรดกรอกข้อมูลด้านล่าง หากท่านต้องการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่เคยให้ไว้แล้ว หากไม่มีอะไรเปลี่ยนแปลงโปรดข้ามไปข้อ 3

ตำแหน่ง

หน่วยงาน

ที่อยู่สถานที่ทำงาน

เบอร์โทรศัพท์ที่ทำงาน

เบอร์มือถือ

Email

3. การศึกษาสูงสุด

- ☐ ปวช.
- ☐ ปวส.
- ☐ ปริญญาตรี
- ☐ ปริญญาโท
- ☐ ปริญญาเอก

4. ท่านศึกษาการใช้โปรแกรมคำนวณการใช้พลังงานในอาคารจากที่ใด (เลือกทั้งหมดที่ตรงกับประสบการณ์ของท่าน)

- ☐ ขณะศึกษาในระดับปริญญาตรีหรือต่ำกว่า
- ☐ ขณะศึกษาระดับปริญญาโท
- ☐ ขณะศึกษาระดับปริญญาเอก
- ☐ อบรม สัมมาเพิ่มเติม
- ☐ ศึกษาด้วยตนเอง

5. ประสบการณ์การอบรมหรือการศึกษาาการใช้โปรแกรมคำนวณการใช้พลังงานในอาคารจากที่ใด ที่ทำให้ท่านสามารถนำความรู้ไปใช้ได้จริง

ประสบการณ์การอบรมหรือการศึกษาาการใช้โปรแกรมคำนวณการใช้พลังงานในอาคารจากที่ใด ที่ทำให้ท่านสามารถนำความรู้ไปใช้ได้จริง

พฤติกรรมการใช้โปรแกรมในการคำนวณพลังงานในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน

6. อาคารส่วนใหญ่ที่ท่านทำการประเมินการใช้พลังงานเป็นอาคารประเภทใด (เลือกทั้งหมดที่ใช้)

- ☐ อาคารส่วนใหญ่ที่ท่านทำการประเมินการใช้พลังงานเป็นอาคารประเภทใด (เลือกทั้งหมดที่ใช้) อาคารพักอาศัยสูงไม่เกิน 3 ชั้น
- ☐ อาคารพักอาศัยรวม (อพาร์ตเม้น)
- ☐ อาคารชุดพักอาศัย (คอนโดมิเนียม-แยกเลขที่บ้าน)
- ☐ อาคารสำนักงาน
- ☐ อาคารชุดสำนักงาน (แยกเลขที่)
- ☐ อาคารศูนย์การค้า
- ☐ โรงมหรสพ
- ☐ สถานบริการ
- ☐ อาคารชุมนุมคน

☐ อาคารสถานศึกษา

☐ อาคารโรงพยาบาล

☐ อาคารโรงแรม

อื่น ๆ (โปรดระบุ) 

7. ท่านเลือกใช้โปรแกรมใดในการประเมินการใช้พลังงานในอาคารในแต่ละช่วงต่อไปนี้ (เลือกเฉพาะช่วงที่เคยใช้)

	โปรแกรม BEC	โปรแกรม Ecotect	โปรแกรม VisualDOE	โปรแกรมอื่น
ช่วงเลือกแนวความคิด	☐	☐	☐	☐
ช่วงออกแบบร่าง	☐	☐	☐	☐
ช่วงพัฒนาแบบและช่วงออกแบบ	☐	☐	☐	☐
ประเมินเมื่อออกแบบเสร็จแล้ว	☐	☐	☐	☐
ช่วงเมื่อสร้างอาคารเสร็จแล้ว	☐	☐	☐	☐

8. ข้อมูลใดที่ท่านสนใจเมื่อได้ผลจากการประเมินการใช้พลังงานในอาคารจากโปรแกรม (เลือกเฉพาะที่สนใจ)

	โปรแกรม BEC	โปรแกรม Ecotect	โปรแกรม VisualDOE	โปรแกรมอื่น
การใช้พลังงานรวม	☐	☐	☐	☐
การใช้พลังงานรายชั่วโมง	☐	☐	☐	☐
สภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคาร	☐	☐	☐	☐
อิทธิพลของการหันทิศทางของอาคาร	☐	☐	☐	☐
อิทธิพลของรูปทรงอาคาร	☐	☐	☐	☐
อิทธิพลของแผงกันแดด	☐	☐	☐	☐

	โปรแกรม BEC	โปรแกรม Ecotect	โปรแกรม VisualDOE	โปรแกรมอื่น
อิทธิพลของการใช้แสงธรรมชาติ	☐	☐	☐	☐
อิทธิพลของการระบายอากาศธรรมชาติ	☐	☐	☐	☐
อิทธิพลของการใช้ฉนวน	☐	☐	☐	☐
อิทธิพลของของการออกแบบช่องเปิดและการเลือกใช้กระจก	☐	☐	☐	☐
อิทธิพลของการเลือกใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างประหยัดพลังงาน	☐	☐	☐	☐
อิทธิพลของการเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน	☐	☐	☐	☐
การใช้พลังงานหมุนเวียนในอาคาร	☐	☐	☐	☐
การควบคุมระบบปรับอากาศ	☐	☐	☐	☐

9. หัวข้ออื่น ๆ ที่ท่านสนใจจากการใช้โปรแกรม โปรดระบุ



หัวข้ออื่น ๆ ที่ท่านสนใจจากการใช้โปรแกรม โปรดระบุ

ความต้องการในการใช้โปรแกรมเพื่อการคำนวณการใช้พลังงานในอาคารธุรกิจ

10. โปรดระบุความสำคัญของคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ควรมีของโปรแกรมเพื่อการคำนวณการใช้พลังงานในอาคารธุรกิจต่อไปนี้ ที่มีต่อท่าน

	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
ยืดหยุ่นและสามารถคาดเดาวิธีการใช้งานได้	☐	☐	☐	☐	☐
มีโครงสร้างการใช้งานที่เป็นระบบ ติดตามได้ง่าย	☐	☐	☐	☐	☐
ใช้เวลาในการเรียนรู้การใช้งานไม่นาน	☐	☐	☐	☐	☐
มีภาพประกอบในช่วงของการป้อนข้อมูล	☐	☐	☐	☐	☐
มีภาพประกอบในช่วงของการแสดงผลข้อมูล	☐	☐	☐	☐	☐
สามารถสร้างภาพสามมิติของอาคารที่ศึกษาจากข้อมูลที่ป้อนได้	☐	☐	☐	☐	☐
สามารถป้อนข้อมูล ดูข้อมูลที่ป้อนไปแล้ว และแก้ไขข้อมูลได้ง่าย	☐	☐	☐	☐	☐
มีสมมุติฐานและค่า default สำหรับอาคารแต่ละประเภทไว้ให้	☐	☐	☐	☐	☐
การเก็บข้อมูล การเคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์และการเพิ่มเติมข้อมูลลงในฐานข้อมูลเดิมสามารถทำได้โดยง่าย	☐	☐	☐	☐	☐
สามารถเพิ่มเติมข้อมูลเฉพาะของอาคารที่แตกต่างกับอาคารอื่นได้	☐	☐	☐	☐	☐
มีความแม่นยำในการคำนวณสูง เป็นเครื่องมือระดับงานวิจัย	☐	☐	☐	☐	☐
สามารถคำนวณเปรียบเทียบแนวทางการออกแบบต่าง ๆ ได้โดยไม่ต้องใส่ข้อมูลใหม่ทั้งหมด	☐	☐	☐	☐	☐
ใช้เวลารวดเร็วในการคำนวณการใช้พลังงานในอาคาร	☐	☐	☐	☐	☐

	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
รองรับไฟล์ 2 มิติจากโปรแกรมอื่นได้	☐	☐	☐	☐	☐
รองรับไฟล์ 3 มิติจากโปรแกรมอื่นได้	☐	☐	☐	☐	☐
มีแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อให้สามารถผ่านการประเมินตาม พรบ. อนุรักษ์พลังงานหรือเครื่องมือประเมินอาคารยั่งยืนต่าง ๆ	☐	☐	☐	☐	☐
มีแบบฝึกหัดตัวอย่างอาคารและแนวทางการป้อนข้อมูลต่าง ๆ	☐	☐	☐	☐	☐
มีข้อมูลภูมิอากาศของสถานที่ต่าง ๆ ให้	☐	☐	☐	☐	☐
มีฐานข้อมูลของกรอบอาคารที่หลากหลาย	☐	☐	☐	☐	☐
มี online help และการอบรมการใช้โปรแกรม	☐	☐	☐	☐	☐
คำสั่งต่าง ๆ เป็นภาษาไทย	☐	☐	☐	☐	☐

11. ข้อคิดเห็นเพิ่มเติมเพื่อการปรับปรุงโปรแกรม BEC (หากมี)

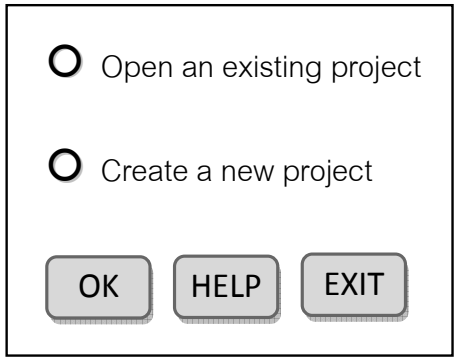
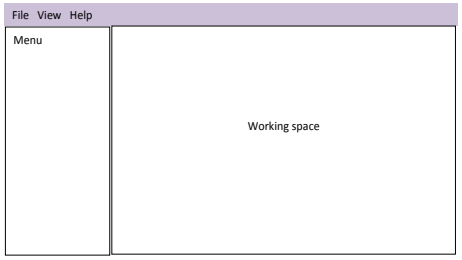
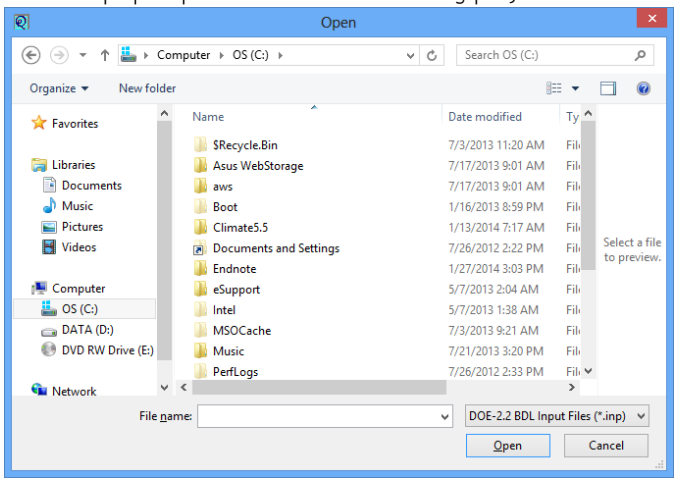
ข้อคิดเห็นเพิ่มเติมเพื่อการปรับปรุงโปรแกรม BEC

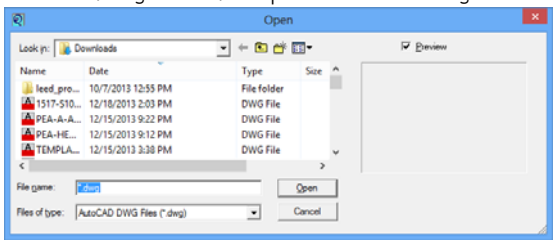
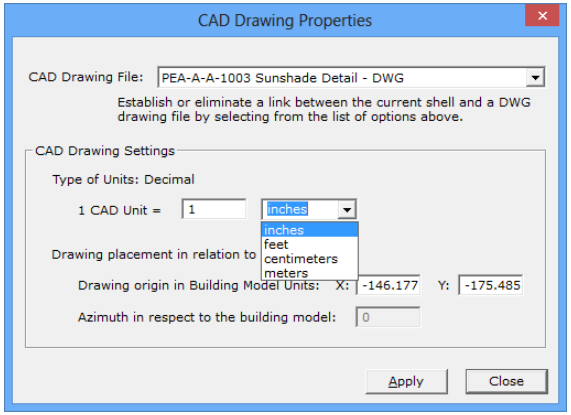
12. ความต้องการและข้อแนะนำอื่น ๆ สำหรับการพัฒนาโปรแกรมคำนวณการใช้พลังงานในอาคารธุรกิจเพื่อให้สามารถใช้งานได้ตรงตามจุดประสงค์ และพฤติกรรมการใช้งาน อย่างมีประสิทธิภาพ

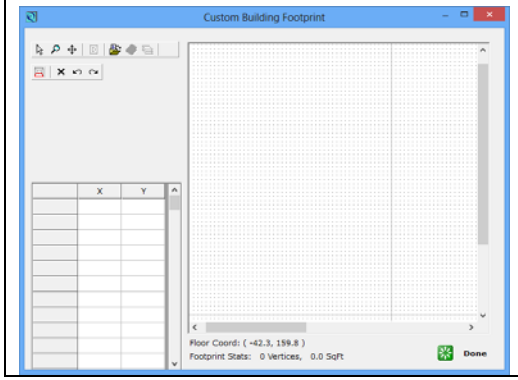
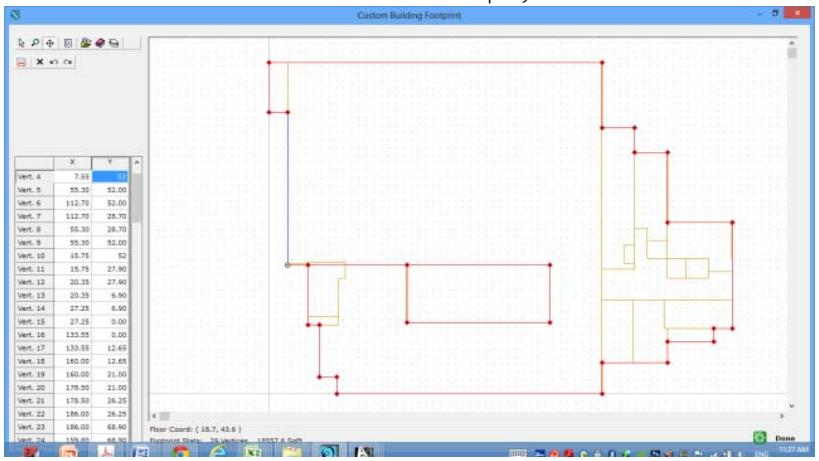
ความต้องการและข้อแนะนำอื่น ๆ สำหรับการพัฒนาโปรแกรมคำนวณการใช้พลังงานในอาคารธุรกิจเพื่อให้สามารถใช้งานได้ตรงตามจุดประสงค์ และพฤติกรรมการใช้งาน อย่างมีประสิทธิภาพ

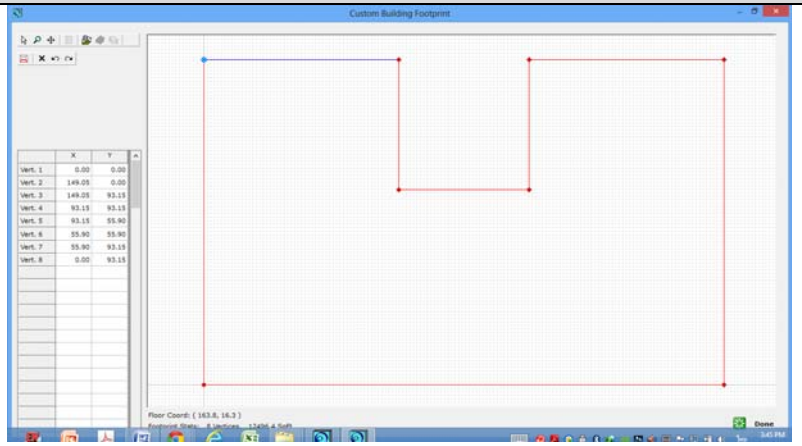
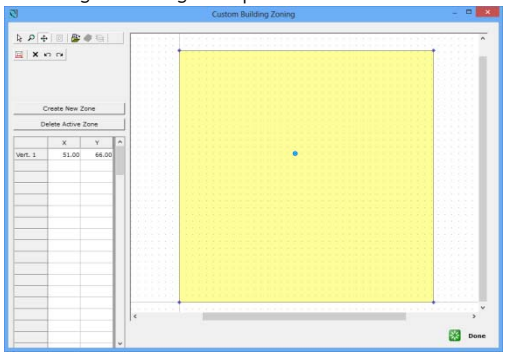
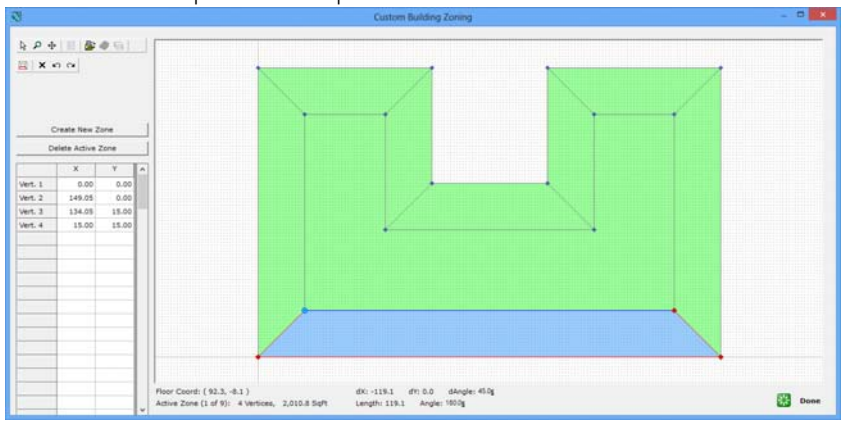
Appendix 3 Proposed new BEC Simulation Program Sequences (Option 2)

Building Energy Simulation Model Sequences

Procedure/Graphic Display	Steps	Results
Welcome page  General page lay-out 	Selections	
	○ Select to **open an existing project** then click **OK**	- Window pops up for selection of existing projects  - When the project is selected and opened, the **Building input** page is displayed
	○ Select to **create a new project** then click **OK**	Go to **Building information : Building details** page
	○ Click **Help**	Open **Help** file
	○ Click **Exit**	Exit the program

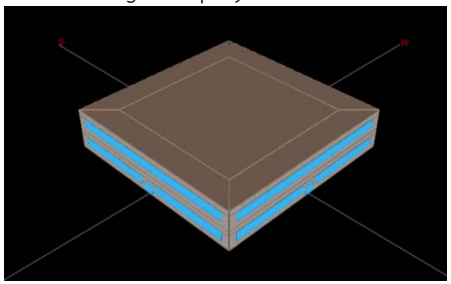
Procedure/Graphic Display	Steps	Results
Building information : Building details This page is reached by clicking **create a new project** in Welcome page Project name: Click here to enter text. Building type: Office Location: Bangkok Building shape ○ Import a gbXML file ◉ Import a CAD file as a background ○ User define footprint ○ Mannual area enter	**Inputs**	
	Project name	Enter project names
	Building type	Select building type from a drop down list : Office, School, Hospital, Hotel, Department store, Condominium, Exhibition hall, Sport venue, Theatre, Entertainment venue, Assembly building
	Selections: Building geometry	
	○ Import a gbXML file	- gbXML file imported - The program reads the file, the Building input page is displayed *Investigate the possibility to import gbXML files
	○ Import a CAD file as a background	- CAD file(dwg or dxf) imported as a background  - Scale is set  - Go to Footprint drawing canvas

Procedure/Graphic Display	Steps	Results
	○ User define footprint	Open Footprint drawing canvas
	○ Manual area enter	Go to Building input page
Building information : Footprint drawing canvas This page is reached by choosing **Import a CAD file as a background** or **User define footprint** in Building information : Building details page 	- Import CAD footprint	- A CAD file(dwg or dxf) is imported as a background - Footprint can be drawn by tracing and snapping with the background. Vertices can be adjusted, deleted and added via coordinate value displayed.  - When finish and click done, the Zoning drawing canvas is opened.
	- User define foot print	- Footprint can be drawn and vertices can be adjusted via coordinate value displayed.

Procedure/Graphic Display	Steps	Results
		 - When finish and click done, the Zoning drawing canvas is opened.
Building information : Zoning drawing canvas This page is reached when user finish drawing building footprint 	- Draw zoning	- Zonings are drawn inside specified footprint.  - When finish and click done, the Building information : Building geometry is opened.

<table>
<tr><th>Procedure/Graphic Display</th><th>Steps</th><th>Results</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Building information : Building geometry

This page is reached when user finish drawing building zoning.

Floor to floor height 3 Meters
% Glass North 30 % East 30 %
West 30 % South 30 %
No shading With shading
Shading
North East West South
Overhang : From window 0 0 0 0
Projection 0.2 0.2 0.2 0.2
Fin : From window 0 0 0 0
Projection 0 0 0 0</td><td>Inputs</td><td></td></tr>
<tr><td>Floor to floor height</td><td>Enter floor to floor height in meter</td></tr>
<tr><td>% Glass</td><td>Enter % Glazing area in each direction</td></tr>
<tr><td>Shading</td><td>Enter shading information in each direction</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>When click OK, 3D model of the building is displayed
 
Wall and roof areas, tilted angle and orientation are calculated from the model.
- Wall default - 0.1 m thick lightweight brick/ white color
- Glazing default - 6 mm green tinted glass
- Roof default - Concrete built up roof with 2 inches glass wool/ medium color
There are options to go to Building input: Envelope details or go back to edit the model</td></tr>
<tr><td>Building input : Envelope details

Materials Library Wall Library
Zone | Orientation | Wall type | Area (m²) | color | Indoor surface emissivity | Tilted angle</td><td>From Manual area enter</td><td>● Envelope details are entered manually according to zoning.
● Each wall area is specified manually with orientation, wall type, area, color, indoor surface emissivity and tilted angle.
Materials Library Wall/Roof Library
Zone | Orientation | Wall type | Area (m^2) | color | Indoor surface emissivity | Tilted angle</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>Procedure/Graphic Display</th><th>Steps</th><th>Results</th></tr>
<tr><td rowspan="3"></td><td>From
• Import gbXML
• Drawing/zoning canvas</td><td>• Areas are divided in zones and details area shown, all data are automatically entered.
• Each line can be copied, deleted or inserted. Each box can be edited
Materials Library Wall/Roof Library
<table><tr><th>Zone</th><th>Orientation</th><th>Wall type</th><th>Area (m^2)</th><th>color</th><th>Indoor surface emissivity</th><th>Tilted angle</th></tr><tr><td>1</td><td>North</td><td>Lightweight wall</td><td>120</td><td>White</td><td>High</td><td>90</td></tr><tr><td>1</td><td>North</td><td>Wood</td><td>6</td><td>Brown</td><td>High</td><td>90</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Libraries</td><td></td></tr>
<tr><td>Database of materials, and envelope are available, users can edit and add their own library</td><td>When materials or wall types are not available from drop-down menu lists, users have abilities to add more materials or create new wall types

Material library : Has an option to add/ copy/ edit materials in the library. The library must be able to transfer between computers.
• Opeque materials
Enter name, k (Conductivity-w/mK), ρ (Density-kg/m^3) and Cp (Specific heat capacity-kJ/kgK) for opeque materials.
<table><tr><th>ชื่อเรียก</th><th>k (W/(m.°C))</th><th>ρ (kg/m^3)</th><th>Cp (kJ/(kg.°C))</th></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>กระเบื้องหลังคาคอนกรีต</td><td>0.993</td><td>2400</td><td>0.79</td></tr><tr><td>กระเบื้องลอนเล็ก</td><td>0.384</td><td>1700</td><td>1.00</td></tr><tr><td>กระเบื้องลอนใหญ่</td><td>0.441</td><td>2000</td><td>1.00</td></tr><tr><td>กระเบื้องลอนคู่</td><td>0.395</td><td>2000</td><td>1.00</td></tr><tr><td>แอสฟัลต์</td><td>0.421</td><td>1500</td><td>1.51</td></tr><tr><td>กระเบื้องมวลเบา</td><td>0.341</td><td>930</td><td>0.88</td></tr><tr><td>กระเบื้องโปร่งแสงเรียบ</td><td>0.213</td><td>1340</td><td>1.88</td></tr></table></td></tr>
</table>

Procedure/Graphic Display	Steps	Results
		• Transparent materials Enter U-Value (W/m^{2}K), SC, SHGC (0.87*SC), Visible light transmission for transparent materials • Air gaps Air gap R values are available. Custom air gap values can be added.

Description	ค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (τvis)	สปส.การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC)	U-value	Visible Rays (Reflectance)	Solar Energy (Reflectance)	Solar Energy (Transmittance)	Solar Energy (Absorption)
Clear Float Glass and Tinted Float Glass							
Clear Float Glass 2 mm	0.91	0.88	5.87	8	87	7	6
Clear Float Glass 3 mm	0.9	0.87	5.84	8	85	7	8
Clear Float Glass 4 mm	0.89	0.84	5.81	8	83	7	10
Clear Float Glass 5 mm	0.89	0.83	5.77	8	81	7	12
Clear Float Glass 6 mm	0.88	0.82	5.74	8	80	7	13
Clear Float Glass 8 mm	0.87	0.8	5.67	8	77	7	16
Clear Float Glass 10 mm	0.86	0.77	5.61	8	74	7	19

ตารางที่ 1.2 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผนังด้านใน ช่องว่างอากาศ	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ		
	ความหนาของช่องว่างอากาศ		
	5 มิลลิเมตร	20 มิลลิเมตร	100 มิลลิเมตร
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.110	0.148	0.160
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.250	0.578	0.606

ตารางที่ 1.13 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในหลังคาอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผิวหลังคาด้านนอก		ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ($(m^2.{}^oC)/W$)		
		ความหนาของช่องว่างอากาศ		
		5 มม	20 มม	100 มม
กรณีที่พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง				
	0 องศา	0.11	0.148	0.174
ความลาดเอียงจากพื้นผิวแนวระนาบ	22.5 องศา	0.11	0.148	0.165
	45 องศา	0.11	0.148	0.158
กรณีที่พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ				
	0 องศา	0.25	0.572	1.423
ความลาดเอียงจากพื้นผิวแนวระนาบ	22.5 องศา	0.25	0.571	1.095
	45 องศา	0.25	0.570	0.768

Procedure/Graphic Display	Steps	Results

ตารางที่ 1.5 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือผนังโปร่งแสง

ความกว้างของช่องว่างอากาศ (มิลลิเมตร)	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ($(m^2.{}^oC)/W$)	
	พื้นผิวที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	พื้นผิวที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ
13	0.119	0.345
10	0.110	0.278
7	0.097	0.208
6	0.091	0.196
5	0.084	0.167

Wall/Roof library Select materials from database and specify thickness. For air gap, specify type of air gap, thickness and tilted angle. The R value can then be calculated.

- Opeque material $R = \frac{x}{k}$ = thickness (m)/conductivity (w/mK)
- Air gap R values can be obtained from tables. Air gap R value can be interpolated when the thickness fall between value specified in the tables. Use air gap R value at 100 mm if the thickness is beyond 100 mm. Low emissivity air gap R values are used when reflective materials i.e. aluminum foil are used at one side or both side of air gap surfaces.

The library must be able to transfer between computers.

Name	Materials	K W/mK	Thickness (m)	Reflective surface	Tilted angle	R (M^2K/W)
Double brick wall with 0.1 m air gap	Brick	0.72	0.07	-	-	86.4
	Wall Air Gap	-	0.10	☐	90	0.16
	Brick	0.72	0.07	-	-	86.4

Steps:

- Give the name to the wall

Procedure/Graphic Display	Steps	Results
		Opeque materials - Select material from drop-down menu, K is automatically shown - Specify thickness in meter, R is automatically calculated Air gap - Select air gap type, wall, glazing, roof, reflective/non-reflective air gap from drop-down menu - Specify thickness in meter - Specfify tilted angle, R is automatically calculated There is a function to copy wall/roof and save as to another name

Calculations

Heat ransfer through wall and roof

- Heat transfer through opeque envelope is calculated using the following equation;

$$Q = U.xAxTDeq$$

Orientation	Wall type	Area (m^2)	U ($W/m^2{}^oK$)	TDeq (K)	Q (W)
North	Lightweight wall	120	1.32	32	5,068.8
North	Wood	6	1.2	18	129.6

Procedure/Graphic Display	Steps	Results

- **U- value** of each wall can be calculated as follows:

$$U = \frac{1}{R_i + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \ldots + \frac{x_n}{k_n} + R_o}$$

- Outside and inside air film resistances (R_o and R_i) can also be obtained from tables. Low emissivity air film R values are used when reflective materials i.e. aluminium are used at inside surfaces of walls or roofs

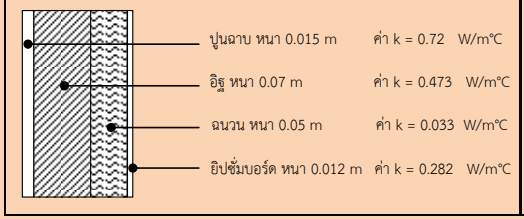
ตาราง 1.1 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิลม์อากาศสำหรับผนังอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผนัง	ค่าความต้านทานความร้อน	
	ที่ผิวผนังด้านใน (R_i)	ที่ผิวผนังด้านนอก (R_o)
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.120	0.044
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.299	-

ตารางที่ 1.12 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิลม์อากาศสำหรับหลังคาอาคาร

ชนิดของผิววัสดุที่ทำหลังคา	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิลม์อากาศ ($(m^2 \cdot °C)/W$)				
	พื้นผิวหลังคาภายใน (R_i) ที่มุมเอียงต่างๆกันจากแนวระนาบ				พื้นผิวหลังคาด้านนอก (R_o) ที่มุมเอียงใดๆ
	0 องศา	22.5 องศา	45 องศา	60 องศา	
กรณีที่พื้นผิวหลังคามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.162	0.148	0.133	0.126	0.055
กรณีที่พื้นผิวหลังคามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.801	0.595	0.391	0.249	

- Example of U calculation



ผนัง

ค่า R_o ความต้านทานอากาศภายนอก		= 0.044	m^2°C/ W
ค่า R_1 ปูนฉาบ	= 0.015/0.72	= 0.0208	m^2°C/ W
ค่า R_2 อิฐ	= 0.07/0.473	= 0.1480	m^2°C/ W
ค่า R_3 ฉนวน	= 0.05/0.033	= 1.515	m^2°C/ W
ค่า R_4 ยิปซั่มบอร์ด	= 0.012/0.282	= 0.0426	m^2°C/ W
ค่า R_i ความต้านทานอากาศภายใน		= 0.120	m^2°C/ W
	ΣR	= 1.8904	m^2°C/ W
	$U = 1/\Sigma R$	= 0.529	W/m^2°C

Procedure/Graphic Display	Steps	Results
		● **TDeq** is selected with DSH, orientation, tilted angle, building type and color

ค่า TDeq ของผนังทึบ สำหรับอาคาร				สำนักงานและสถานศึกษา				โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า หรือ อาคารชุมนุมคน				โรงแรม สถานพยาบาล หรือ อาคารอยู่อาศัยรวม			
มุมเอียงผนัง		ทิศทาง	DSH	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์				สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์				สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
				α 0.3	α 0.5	α 0.7	α 0.9	α 0.3	α 0.5	α 0.7	α 0.9	α 0.3	α 0.5	α 0.7	α 0.9
0 องศา	HOR	ทุกทิศทาง	15	16.5	25.0	33.6	42.1	12.1	17.8	23.4	29.0	7.3	10.7	14.1	17.5
0 องศา	HOR	ทุกทิศทาง	30	16.2	24.6	33.0	41.5	12.4	18.3	24.2	30.0	7.3	10.7	14.2	17.6
0 องศา	HOR	ทุกทิศทาง	50	15.7	24.0	32.3	40.6	12.7	18.8	24.9	31.0	7.3	10.8	14.3	17.7
0 องศา	HOR	ทุกทิศทาง	100	14.4	22.3	30.3	38.2	13.1	19.6	26.0	32.5	7.4	10.9	14.5	18.0
0 องศา	HOR	ทุกทิศทาง	200	12.1	19.1	26.1	33.1	12.6	19.0	25.5	31.9	7.5	11.2	14.9	18.6
0 องศา	HOR	ทุกทิศทาง	300	10.5	16.8	23.0	29.2	11.5	17.5	23.5	29.5	7.6	11.4	15.2	19.1
0 องศา	HOR	ทุกทิศทาง	400	10.2	16.2	22.2	28.3	11.0	16.9	22.7	28.5	7.7	11.5	15.4	19.3

- DSH is calculated using thickness, density and specific heat capacity

$$DSH = X.\rho.C_p$$

ผนัง

ค่า DSH_o ความต้านทานอากาศภายนอก		-	kJ/m²K
ค่า DSH_1 ปูนฉาบ	= 0.015 x 1860 x 0.84	= 22.60	kJ/m²K
ค่า DSH_2 อิฐ	= 0.07 x 1600 x 0.79	= 88.48	kJ/m²K
ค่า DSH_3 ฉนวน	= 0.05 x 36 x 0.96	= 1.73	kJ/m²K
ค่า DSH_4 ยิปซั่มบอร์ด	= 0.012 x 800 x 1.09	= 10.46	kJ/m²K
ค่า DSH_i ความต้านทานอากาศภายใน		-	kJ/m²K
	Σ DSH	= 123.27	kJ/m²K

Procedure/Graphic Display	Steps	Results
		Heat transfer through transparent envelope is calculated using the following equation $$Q = (UxAxT) + (AxESRxSHGCxSC)$$ Where • **T** = 5°C Except for building with 24h operation which T = 3°C • **ESR** or effective solar radiation could be specified with building type, envelope orientation and tilted angle (Interpolation between angle will be calculated if the angle fall between values shown)

Procedure/Graphic Display	Steps	Results

ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR)

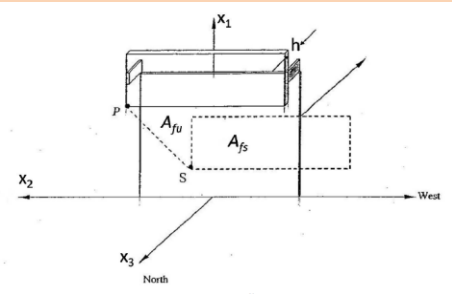
สำหรับอาคารสถานศึกษา หรือ สำนักงาน									สำหรับอาคารโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า หรือ อาคารชุมนุมคน									สำหรับอาคารโรงแรม สถานพยาบาล หรือ อาคารชุด								
มุม	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	มุม	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	มุม	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
0 องศา	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	0 องศา	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	0 องศา	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44
15 องศา	405.00	421.74	433.61	440.00	441.62	438.90	431.51	419.53	15 องศา	303.15	307.90	315.66	323.63	330.14	333.80	331.91	321.31	15 องศา	177.49	185.24	190.45	193.01	193.33	191.76	188.38	183.39
30 องศา	358.99	390.20	412.96	425.48	428.59	422.98	408.39	385.65	30 องศา	268.08	278.60	293.82	308.44	319.42	324.35	319.10	299.32	30 องศา	157.51	171.84	181.79	186.87	187.63	184.64	178.12	168.59
45 องศา	306.68	348.31	379.58	397.17	401.47	393.20	372.57	341.61	45 องศา	227.46	243.07	264.27	283.71	297.18	301.59	292.50	266.04	45 องศา	134.67	153.68	167.29	174.48	175.71	171.59	162.54	149.52
60 องศา	255.37	301.60	337.61	358.44	363.45	353.18	328.62	293.33	60 องศา	187.41	205.70	230.29	252.20	266.21	268.90	256.53	226.97	60 องศา	112.13	133.17	148.76	157.33	158.93	154.12	143.54	128.65
75 องศา	212.39	255.60	291.21	312.65	317.70	306.52	281.11	246.70	75 องศา	154.06	170.92	195.12	216.63	229.31	229.66	215.55	187.56	75 องศา	93.08	112.74	128.05	136.87	138.66	133.74	123.01	108.45
90 องศา	185.06	215.84	244.53	263.14	267.41	256.82	234.58	207.62	90 องศา	133.52	143.11	162.04	179.75	189.27	187.26	173.98	153.31	90 องศา	80.68	94.81	106.98	114.57	116.26	111.96	102.86	91.40

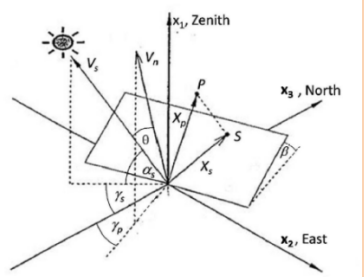
- **SHGC** is from manufacturer, when only **glass' SC** is available, SHGC = SC x 0.87
- **SC** in this equation refers to **shading's SC**. SC of shadings can be calculated from propotion that the sading can reduce solar heat gain through transparent materials on 4 reference days which are 21st of March, 22nd of June, 23rd of September and 22nd of December.

$$SC_y = \left[\frac{\left(\sum_{h=i}^{n} E_{ew}\right)_{21March} + \left(\sum_{h=i}^{n} E_{ew}\right)_{22June} + \left(\sum_{h=i}^{n} E_{ew}\right)_{23September} + \left(\sum_{h=i}^{n} E_{ew}\right)_{22December}}{\left(\sum_{h=i}^{n} E_{et\theta}\right)_{21March} + \left(\sum_{h=i}^{n} E_{et\theta}\right)_{22June} + \left(\sum_{h=i}^{n} E_{et\theta}\right)_{23September} + \left(\sum_{h=i}^{n} E_{et\theta}\right)_{22December}} \right]$$

$$E_{et\theta} = E_{es}\cos\theta + E_{ed}\frac{(1+\cos\beta)}{2}$$

$$E_{ew} = (A_{fu}/A_f)(E_{es})(\cos\theta) + (E_{ed})\frac{(1+\cos\beta)}{2}$$





Procedure/Graphic Display	Steps	Results

ตารางที่ 1.8 รังสีตรง (beam, E_{cs}) และรังสีกระจาย (diffuse, E_{cd}) ของดวงอาทิตย์ สำหรับวันอ้างอิง 4 วัน

เวลา	พลังงานของรังสีอาทิตย์ (W/m^2)							
	21 มีนาคม		22 มิถุนายน		23 กันยายน		22 ธันวาคม	
	beam	diffuse	beam	diffuse	beam	diffuse	beam	diffuse
01:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
02:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
03:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
04:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
05:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
06:00	0.0	0.0	7.5	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0
07:00	68.5	44.9	105.0	77.8	94.4	77.1	64.4	19.9
08:00	185.7	121.6	196.2	145.4	202.3	165.1	270.0	83.5
09:00	290.1	190.0	275.6	204.3	296.2	241.8	454.4	140.5
10:00	374.8	245.5	338.6	250.9	369.9	302.0	603.3	186.5
11:00	433.8	284.1	381.2	282.6	418.3	341.4	704.9	217.9
12:00	463.2	303.4	401.1	297.3	437.9	357.5	751.3	232.2
13:00	461.0	301.9	397.0	294.2	427.6	349.0	738.9	228.4
14:00	427.3	279.8	369.1	273.6	388.0	316.7	668.7	206.7
15:00	364.5	238.7	319.1	236.5	321.7	262.6	546.1	168.8
16:00	276.7	181.2	250.0	185.3	233.5	190.6	380.8	117.7
17:00	170.0	111.3	165.9	123.0	129.2	105.5	185.6	57.4
18:00	51.7	33.9	72.0	53.5	16.1	13.1	0.0	0.0
19:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Procedure/Graphic Display	Steps	Results
		All calculations are shown and can be copy/print out so that designer can identify the problem if building gain too much heat.

Orientation	Wall type	Area (m^2)	U ($W/m^{2\circ}K$)	TDeq or T (K)	ESR	SHGC	SC	Q (W)
North	Lightweight wall	120	1.32	32	-	-	-	5,068.8
North	Wood	6	1.2	18	-	-	-	129.6
North	Window1	20	2.3	5	185.06	0.8	1 SC	3,190.96

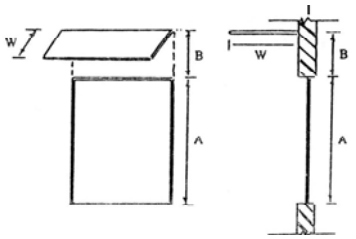
SC Calculation

To enter shading information for calculation, user can

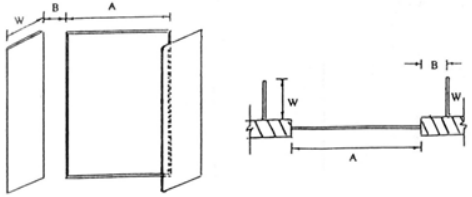
1. Put the SC number manually.
2. Click SC button, there are 2 options to calculate SC

- For simple SC specified distance of shading from top or side of window then the depth of the window

Procedure/Graphic Display	Steps	Results



A = m
B = m
W = m
Right Left Both



A = m
B = m
W = m

Calculate SC

- For complex shading, specified coordination of shadings.

Window Azimuth °
Window Inclination °

	Location from lower left point of window			Local coordinates											
	X	Y	Z	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4	X5	Y5	X6	Y6
Window															
Shading 1															
Fin 1															
Fin 2															

Calculate SC | Show drawing

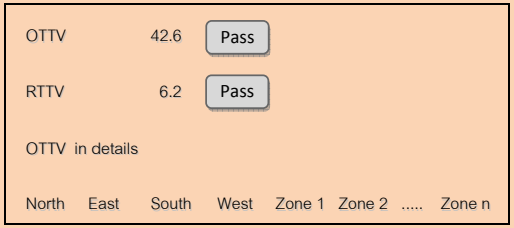
- 3D of window and shading is shown when all data are entered.

<table>
<tr><th>Procedure/Graphic Display</th><th>Steps</th><th>Results</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>
When all envelope data are entered. The overall thermal transfer value (OTTV) can be calculated by dividing total heat transfer through wall with total wall area. Similarly, Roof transfer value can be calculated the same way. OTTV/RTTV according to zones and orientations are also calculated.

$$OTTV = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i} \qquad RTTV = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i}$$

<table>
<tr><th>Buiding type</th><th>Maximum OTTV (W/m²)</th><th>Maximum RTTV (W/m²)</th></tr>
<tr><td>School Office</td><td>50</td><td>15</td></tr>
<tr><td>Department store Exhibition hall Sport venue Theatre Entertainment venue Assembly building</td><td>40</td><td>12</td></tr>
<tr><td>Hospital, Hotel, Condominium</td><td>30</td><td>10</td></tr>
</table>

The overall OTTV and RTTV are then compared with building energy code and building category, then the "pass" or "fail" message is displayed.



</td></tr>
<tr><td>Building input: HVAC system</td><td></td><td>
Air conditioning system and their efficiencies in each zone can be entered.

Airconditioning system no more than 12,000 W
Air-cooled water chiller system
Water-cooled water chiller/reciprocating system
Water-cooled water chiller /Rotary Screw or Scroll system
Water-cooled water chiller /Centrifugal system
Other equipment: Chilled water pump
Other equipment: Condensing water pump
Other equipment: Cooling tower

</td></tr>
</table>

Procedure/Graphic Display	Steps	Results
		• Other equipment: Fan coil unit • Other equipment: Air handling unit • Absorbtion chiller/Single effect/CDW flow rate 0.105 L/s/kW • Absorbtion chiller/Double effect/CDW flow rate 0.079 L/s/kW • Absorbtion chiller/Single effect/CDW T-out 37.5°C • Absorbtion chiller/Double effect/CDW T-out 37.5°

Zone	AC system	Cooling capacity (Tons)	Rated power (kW)
1	Water-cooled water chiller /Centrifugal system	900	680

Calculation

The efficiencies are compared with building energy code, then the "pass" or "fail" message is displayed.

Small air conditioning system

Size (W)	COP (W/W)	EER (Btu/u/W)
≤ 12,000	3.22	11

Procedure/Graphic Display	Steps	Results

Water chiller system

Type		Tons	kW/ton
Air-cooled	All types	< 300	1.33
		> 300	1.31
Water-cooled	reciprocating	All sizes	1.24
	Rotary Screw or Scroll	< 150	0.89
		> 150	0.78
	Centrifugal	< 500	0.76
		> 500	0.62

Other equipment related to air-conditioning system which require electricity in operation which are condesing unit water pump fan coil units air handling units must have total electricity consumtion not more than 0.5 kW/Ton

Absorbtion chiller

Type	Chilled water T		Condenser water T	Condenser water Flow rate	COP
	In	Out	In	In	
	°C			Liter/s/kW	
Single effect	12	7	32	0.105	0.65
Double effect	12	7	32	0.079	1.1

Type	Chilled water T		Condenser water T		COP
	In	Out	In	Out	
	°C				
Single effect	12	7	32	37.5	0.65
Double effect	12	7	32	37.5	1.1

Building AC efficiency	3.56	Pass
Zone 1 AC efficiency	3.42	Pass
Zone n AC efficiency	3.48	Pass

Procedure/Graphic Display	Steps	Results
Building input: Lighting Power Density (LPD)		Lighting power in each zone can be entered in W/m^2 or in total watts

Zone	Lighting power	Unit
1	5632	W
2	1200	W
3	460	W

Calculation

Lighting power density (LPD) can be calculated by summing total wattages of lighting system (Lighting lamps and ballasts) and divided by total areas. Natural lighting can be subtracted from total lighting system wattages if the conditions below are met.

$$LPD_i = \frac{(LW_i + BW_i - NW_i)}{A_i}$$

Where

LW is Total lighting wattages

BW is total ballast wattage

NW is total lighting wattage replaced by natural light when

Lightings within 1.5 mater from perimeter have separated circuits,

glazing's SC is more than 0.3 and light to solar gain ratio (LSG) more than 1.

$$LPD = \frac{\sum_{i=1}^{n}(A_i(LPD_i))}{\sum_{i=1}^{n} A_i}$$

Buiding type	Maximum LPD (W/m^2)
School Office	14
Department store Exhibition hall Sport venue Theatre Entertainment	18
Hospital Hotel Condominium	12

The LPD value is then compared with building energy code and building category, then the "pass" or "fail" message is displayed.

<table>
<tr><th>Procedure/Graphic Display</th><th>Steps</th><th>Results</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>LPD 11 Pass
LPD in details
Zone 1 Zone 2 ..... Zone n</td></tr>
<tr><td>Building input: Equipments</td><td></td><td>Equipment power in each zone can be entered in W/m^2 or in total watts.
<table><tr><th>Zone</th><th>Equipment power</th><th>Unit</th></tr><tr><td>1</td><td>2300</td><td>W</td></tr><tr><td>2</td><td>5600</td><td>W</td></tr><tr><td>3</td><td>230</td><td>W</td></tr></table>Calculation
Equipment power density (EQD) can be calculated by summing total wattages of equipment and divided by total areas.
$$EQD = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(A_i\left(EQD_i\right)\right)}{\sum_{i=1}^{n} A_i}$$</td></tr>
<tr><td>Building input : Hot water systems</td><td></td><td>Hot water system and their efficiencies in each zone can be entered. 6 types of systems area available.
Oil fired steam boiler
Oil fire hot water boiler
Gas fired steam boiler
Gas fire hot water boiler
Air-source heat pump water heater (Water T out flow 50°C)
Air-source heat pump water heater (Water T out flow 60°C)</td></tr>
</table>

Procedure/Graphic Display	Steps	Results

Zone	Hot water system	Efficiency
1	Gas fired steam boiler	85%

Calculation

The efficiencies are then compared with building energy code, then the "pass" or "fail" message is displayed.

Boiler

Type	Minimum Efficiency
Oil fired steam boiler	85
Oil fire hot water boiler	80
Gas fired steam boiler	80
Gas fire hot water boiler	80

Air-source heat pump water heater

Limit				Minimum efficiency
Design type	Water T in-flow	Water T out-flow	Outside Air T	
	°C			
Type 1	30	50	30	3.5
Type 2	30	60	30	3

Hot water system efficiency 0.85 Pass

Building input : Renewable energy

Solar cell or photovoltiac (PV) system can be used to reduce electricity use in building System areas, efficiency, orientation and tilted angle can be entered.

System name	Area	Efficiency	Orientation	Inclination
1	1200	0.12	North	30°

Calculation

$$PVE = \frac{(9)(365)(A_{mod})(\eta_{sys})(ESR_{PV})}{1000}$$

Where

A_{mod} is system areas

η_{sys} is system efficiency

ESR is effective solar radiation from table., ESR of office build is used for all projects for PV output calculation.

Whole Building Energy calculation

Calculation

$$E_{pa} = \sum_{i=1}^{n}\left[\frac{A_{wi}(OTTV_i)}{COP_i} + \frac{A_{ri}(RTTV_i)}{COP_i} + A_i\left\{\frac{C_l(LPD_i) + C_e(EQD_i) + 130C_o(OCCU) + 24C_v(VENT_i)}{COP_i}\right\}\right]n_h$$

<table>
<tr><th>Procedure/Graphic Display</th><th>Steps</th><th>Results</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>
$+ \sum_{i=1}^{n} A_i (LPD_i + EQD_i) n_h - PVE$
Where
Occu is occupancy at 0.1 person/ m^2
Vent is ventilation at 0.25 l/s
C_l, C_e, C_o, C_v , n_h are from the following table
<table>
<tr><th>Buiding type</th><th>C_i</th><th>C_e</th><th>C_o</th><th>C_v</th><th>N_h</th></tr>
<tr><td>School Office</td><td>0.84</td><td>0.85</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>2340</td></tr>
<tr><td>Department store Exhibition hall Sport venue Theatre Entertainment venue Assembly building</td><td>0.84</td><td>0.85</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>4380</td></tr>
<tr><td>Hospital, Hotel, Condominium</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>8760</td></tr>
</table>
The reference building use building energy code standard value for OTTV, RTTV, COP and LPD without affect from daylighting and also no EQD and PVE

The design building use actual value of OTTV, RTTV, COP and LPD with daylighting use subtracted where it is applicable as well as additional EQD and PVE

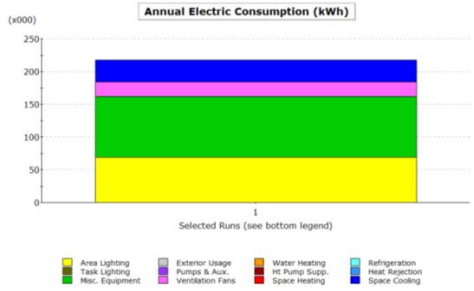
The calculation value for both buildings are shown and the then the "pass" or "fail" message is displayed.
</td></tr>
</table>

Procedure/Graphic Display	Steps	Results
Simulation and Result display		When all data entered is done, user can select **Show all input data**. Here, all inputs are shown and users have an opportunity to enter custom data/ adjust the data before the simulation. The input data can also be exported.

	Space Name	Parent Floor	Zone Type	Activity Desc.	Sunspace	Temperature (°F)	X (ft)	Y (ft)	Z (ft)	Azimuth (deg)	Height (ft)	Space Multiplier	Floor Multipli
1	South Perim Spc (G.S1)	Ground Flr	Conditioned	Office (Executive	No	70.0	0.00	0.00	0.00	0.00	9.00	1	
2	East Perim Spc (G.E2)	Ground Flr	Conditioned	Office (Executive	No	70.0	111.80	0.00	0.00	-90.00	9.00	1	
3	North Perim Spc (G.N3)	Ground Flr	Conditioned	Office (Executive	No	70.0	111.80	111.80	0.00	180.00	9.00	1	
4	West Perim Spc (G.W4)	Ground Flr	Conditioned	Office (Executive	No	70.0	0.00	111.80	0.00	90.00	9.00	1	
5	Core Spc (G.C5)	Ground Flr	Conditioned	Office (Executive	No	70.0	15.00	15.00	0.00	0.00	9.00	1	
6	South Perim Plnm (G.S6)	Ground Flr	Unconditioned	(no default)	No	70.0	0.00	0.00	9.00	0.00	3.00	1	
7	East Perim Plnm (G.E7)	Ground Flr	Unconditioned	(no default)	No	70.0	111.80	0.00	9.00	-90.00	3.00	1	
8	North Perim Plnm (G.N8)	Ground Flr	Unconditioned	(no default)	No	70.0	111.80	111.80	9.00	180.00	3.00	1	
9	West Perim Plnm (G.W9)	Ground Flr	Unconditioned	(no default)	No	70.0	0.00	111.80	9.00	90.00	3.00	1	
10	Core Plnm (G.C10)	Ground Flr	Unconditioned	(no default)	No	70.0	15.00	15.00	9.00	0.00	3.00	1	
11	South Perim Spc (T.S11)	Top Flr	Conditioned	Office (Executive	No	70.0	0.00	0.00	0.00	0.00	9.00	1	
12	East Perim Spc (T.E12)	Top Flr	Conditioned	Office (Executive	No	70.0	111.80	0.00	0.00	-90.00	9.00	1	
13	North Perim Spc (T.N13)	Top Flr	Conditioned	Office (Executive	No	70.0	111.80	111.80	0.00	180.00	9.00	1	
14	West Perim Spc (T.W14)	Top Flr	Conditioned	Office (Executive	No	70.0	0.00	111.80	0.00	90.00	9.00	1	
15	Core Spc (T.C15)	Top Flr	Conditioned	Office (Executive	No	70.0	15.00	15.00	0.00	0.00	9.00	1	
16	South Perim Plnm (T.S16)	Top Flr	Unconditioned	(no default)	No	70.0	0.00	0.00	9.00	0.00	3.00	1	
17	East Perim Plnm (T.E17)	Top Flr	Unconditioned	(no default)	No	70.0	111.80	0.00	9.00	-90.00	3.00	1	
18	North Perim Plnm (T.N18)	Top Flr	Unconditioned	(no default)	No	70.0	111.80	111.80	9.00	180.00	3.00	1	
19	West Perim Plnm (T.W19)	Top Flr	Unconditioned	(no default)	No	70.0	0.00	111.80	9.00	90.00	3.00	1	
20	Core Plnm (T.C20)	Top Flr	Unconditioned	(no default)	No	70.0	15.00	15.00	9.00	0.00	3.00	1	

Simulation and all calculations are performed at once when click **Perform simulation**. Three types of resul are display;

- Compliance with building energy code
  OTTV/ RTTV/ LPD/ Hot water system efficiency/ COP value/ Whole building calculation for the whole building as well as each direction and each zoning are display with "pass" or "fail" message.
- Caluculation result details are displayed in graphic style



Procedure/Graphic Display	Steps	Results
		- Calculation numerical results can be displayed and exported to excel format for futher analysis.
Energy efficiency measures		Simple options for energy efficiency measure such as changes of ○ Wall color ○ Wall type ○ Insulation ○ Glazing type ○ LPD ○ EQD ○ COP Etc. are available and the program take care of changing relevent features. The whole building energy uses are then compared with original design for quick decision of energy efficient measures.

Note

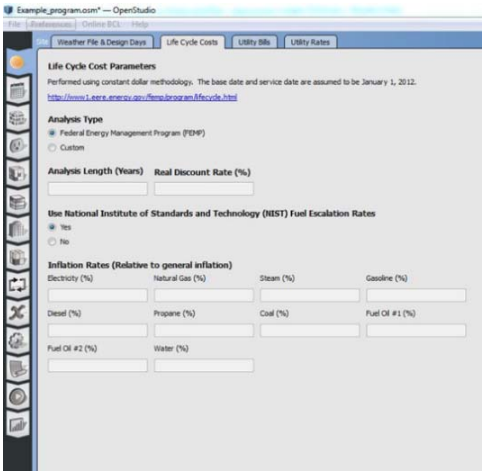
- When default value are changed, the font color is also changed to indicate that this is user's values.
- Definition/explanation appear when users place a mouse over the words.

Appendix 4 Revision of OpenStudio Function

In the effort to modify OpenStudio for using in Thailand, the program should be modified to for a convenient of target user. The program should operate with precision and the default condition should be based on Thailand environment. The unrelated function and parameter should be removed to avoid confusion and misuse. The development should be concerned with accuracy and stability of the program.

List of Noticeable Issues

1. **Life Cycle Cost Analysis**



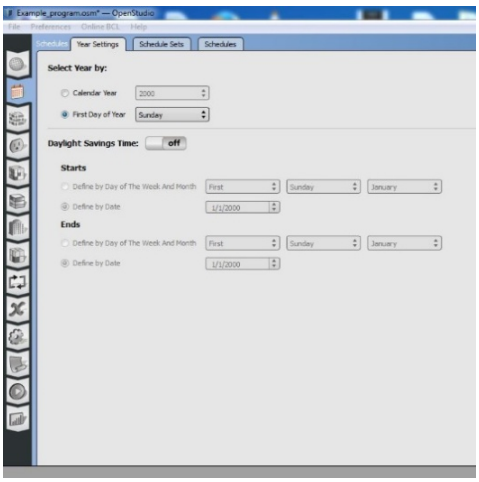
Problem:

Life cycle analysis is not in the scope of the development. Further information is require in this function.

Requirement:

Remove this function and menu from the program.

2. Daylight Saving Time



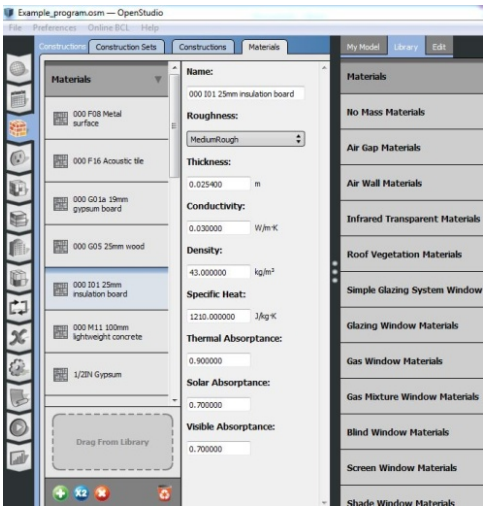
Problem:

Daylight Saving Time is a standard measure for several countries which they experience long time shift between day and night period. The measure is to forward/backward the time for 1 hour in each season to save lighting energy consumption in a big scale.

Requirement:

Since there is no daylight saving time in Thailand, to avoid the confusion, this section should be removed.

3. Construction library



Problem:

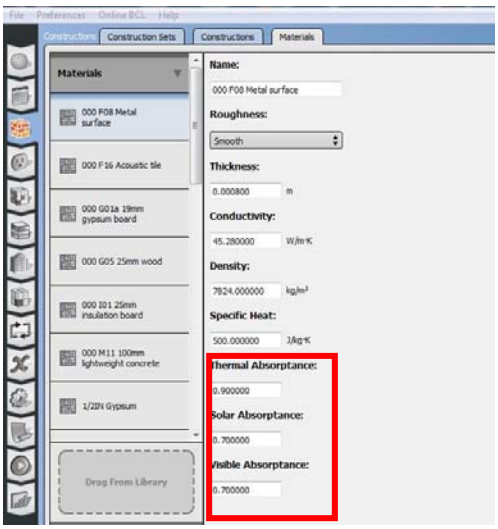
OpenStudio's material library is lack of construction material which is being used in Thailand. Even though the name of the material is existed, thermal properties of the material are different from those being used in Thailand. By providing Thai material database, it will accommodate users in the creation construction material.

Requirement:

Add the materials that are available in BEC database into OpenStudio library.

Material database in BEC contains information of thermal conductivity, density, specific heat, SHGC, U-value, reflectance and transmittance which are adequate to be used as database for OpenStudio.

4. Material Property



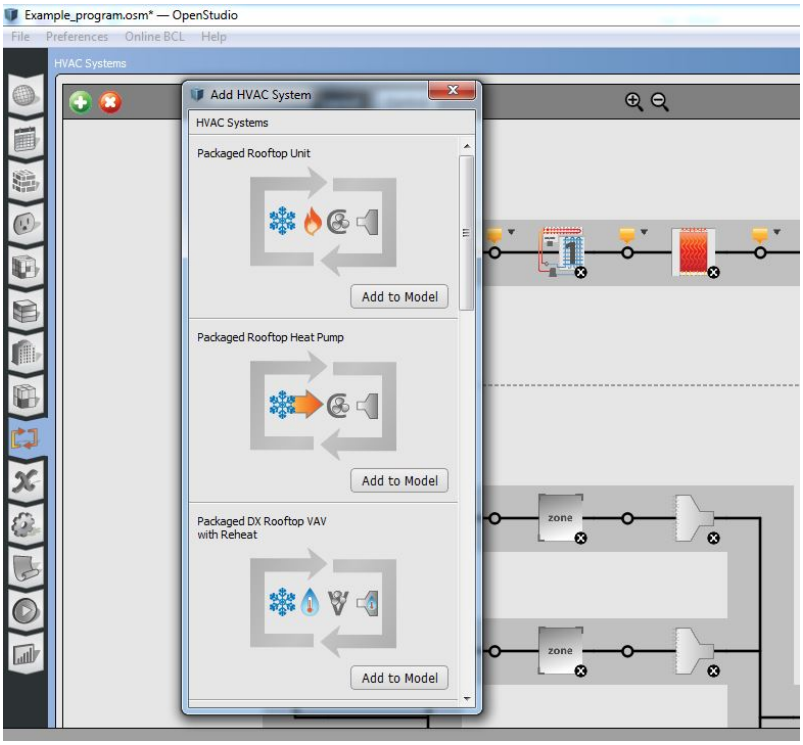
Problem:

In order to improve material database in EnergyPlus, the database using in BEC will be import. However, the absorptance property is not available in BEC database nor seems to have importance in many circumstances.

Requirement:

Exclude these parameters from material property or set a default value for each type of material.

5. HVAC system



Problem:

The existed pre-built HVAC system is very limited. Most of them are designed for cold climate countries and to compliance with ASHRAE condition. Adding pre-built systems which are design for hot climate countries are very necessary.

Requirement:

Add pre-built HVAC system and necessary component to the library as follow

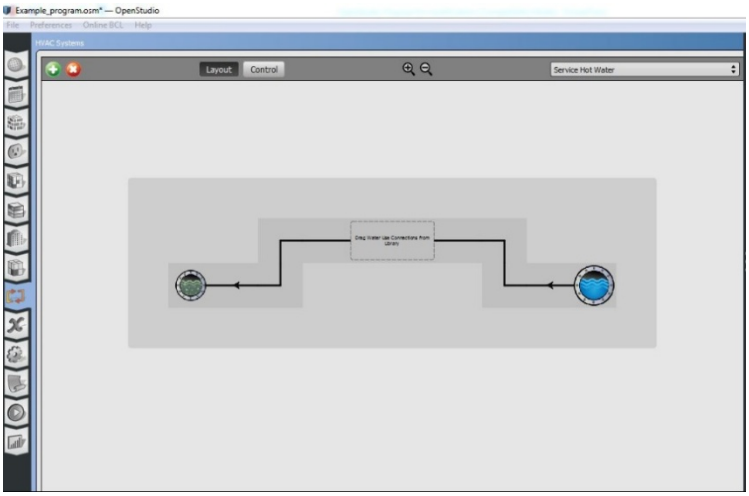
- Split Type air conditioning system
- Air-cooled water chiller system
- Water-cooled water chiller/reciprocating system
- Water-cooled water chiller /Rotary Screw or Scroll system
- Water-cooled water chiller /Centrifugal system
- Other equipment: Chilled water pump
- Other equipment: Condensing water pump
- Other equipment: Cooling tower
- Other equipment: Fan coil unit
- Other equipment: Air handling unit
- Absorption chiller/Single effect/CDW flow rate 0.105 L/s/kW
- Absorption chiller/Double effect/CDW flow rate 0.079 L/s/kW

- Absorption chiller/Single effect/CDW T-out 37.5°C
- Absorption chiller/Double effect/CDW T-out 37.5°

Specific Energy Conservation Measures for HVAC System

The complete pre-built system should require no effort more than assigning thermal zone to the system.

6. Hot Water System



Problem:

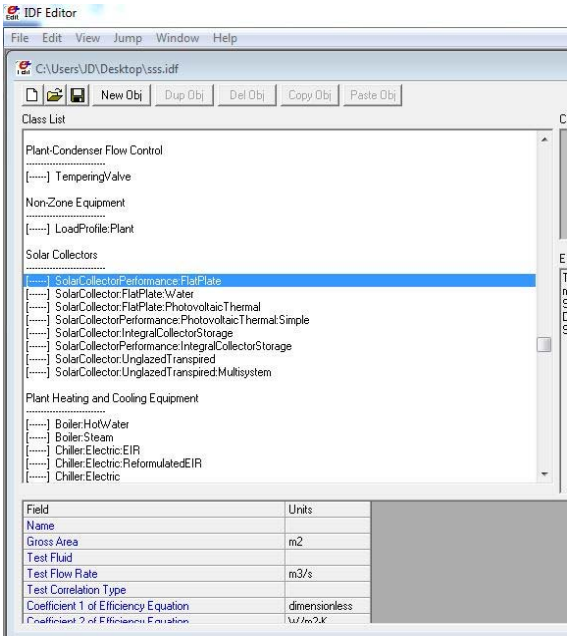
The available service hot water system require a component to be constructed in the same manner as in HVAC system. In the development of this BSEM, hot water system is expected in hotel and hospital.

Requirement:

Add boiler system and necessary component to the library as follow

- Oil fired steam boiler
- Oil fire hot water boiler
- Gas fired steam boiler
- Gas fire hot water boiler
- Air-source heat pump water heater (Water $T_{out\ flow}$ 50°C)
- Air-source heat pump water heater (Water $T_{out\ flow}$ 60°C)

7. Renewable ENERGY (PV)



$$E = A * r * H * PR$$

E = Energy (kWh)
A = Total solar panel Area (m²)
r = solar panel yield (%)
H = Annual average solar radiation on tilted panels (shadings not included)
PR = Performance ratio, coefficient for losses (range between 0.5 and 0.9, default value = 0.75)

Problem:

There is no renewable energy option available in OpenStudio. However, there is a function available in EnergyPlus to calculate solar collector energy generation which it can be modified to use for PV energy generation calculation.

Requirement:

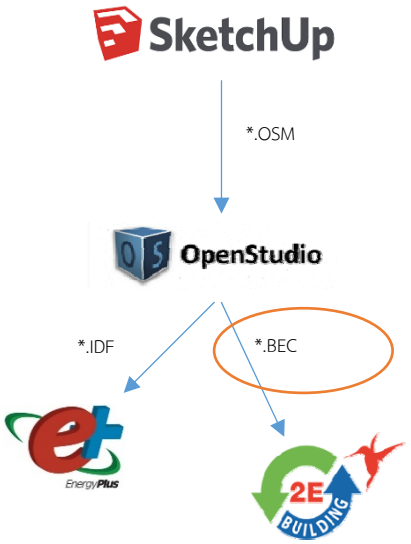
Construction PV function and interface in OpenStudio

The variable should include

- Net area of the surface
- Faction of surface air with active PV/T collector
- Panel efficiency
- Annual solar irradiance

- Solar Thermal is an optional

8. Input file for simulation Engine



Problem:

In the developing of OpenStudio for Thailand, the program is expected to export the input file to BEC to extend further utilization of the program. This method will be used to evaluate building performance according to Thai's regulation. In order to do that, the program must has a capability to export BEC-readable file format (*.bec).

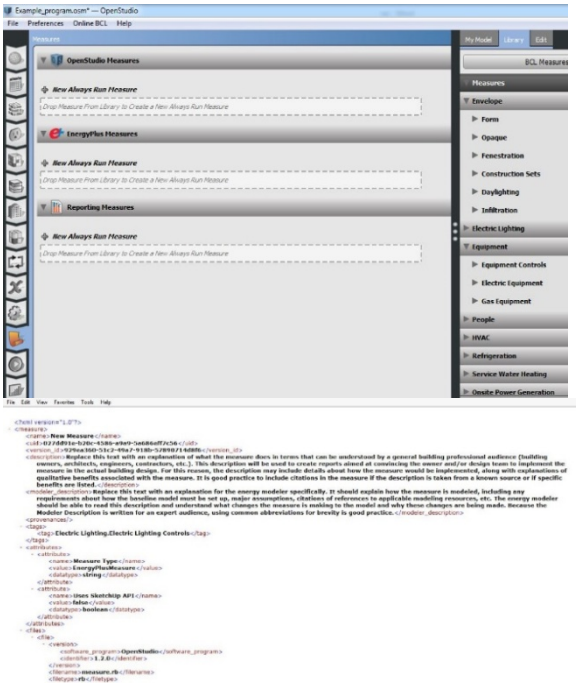
Requirement:

Modified OpenStudio must be able to produce input files for

1. EnergyPlus
2. BEC

The program must allow user to be able to manually adjust the value of the input file (for BEC) in order to put actual results from the energy conservation measures or estimated results from the selected measures for M&V purpose.

9. Measures



Problem:

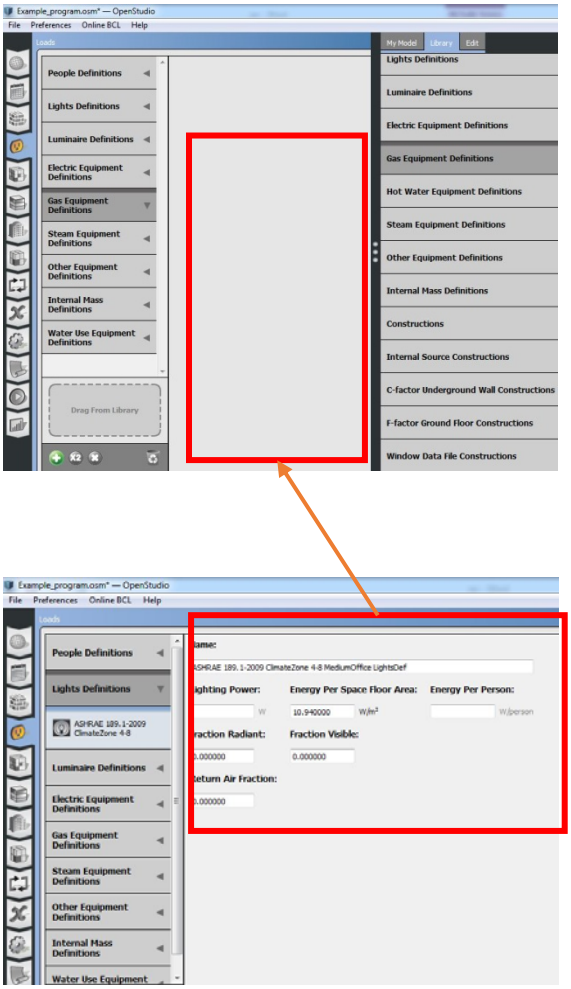
Currently, measure script is available to be used by OpenStudio, EnergyPlus and Reporting. This description will be used to create reports aimed at convincing the owner and/or design team to implement the measure in the actual building design.

However, user is required to input measures in html language form.

Requirement:

Create user-friendly interface for user to exploit the benefit of this function. User with no basic in html must be able to use this function.

10. Missing equipment input field



Problem:

In Gas, Steam, Internal Mass, Water Use and Other Equipment have no data input field available. Gas and Steam are crucial in the constructing system for hospital, which is one of building type according to Thai's regulation.

Requirement:

Provide and design data input field as available in the other function. The input method should be flexible for user to use their available data.

11. Space Type



Problem:

Only few space types are available in the library. The only available space type is based on ASHRAE 189.1-2009 Climate Zone 4-8 Medium Office condition which its value I much different from Thai's regulation. Using this space type may result in a large difference in final energy consumption.

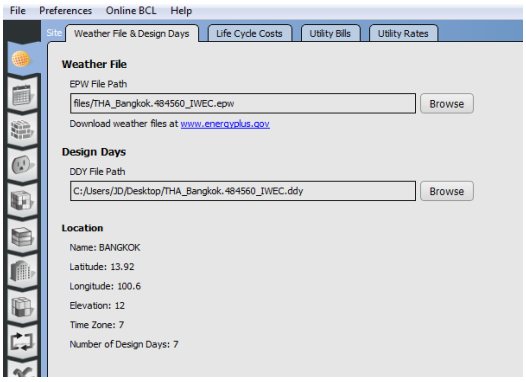
Requirement:

Add pre-set space type definition as following with the values referenced from Thai's building regulation

- Office Building
- Department Store
- Educational Institution
- Hotel
- Condominium
- Medical Center
- Theater
- Community Building
- Entertainment Complex

This pre-set must be available since the stage of building construction in the SketchUp for the ease of use of the user.

12. Embedded Weather File & Design Day



Problem:

Weather File & Design Days data is a requirement file for running the simulation. Without these files, the simulation would be unable to perform. Additional weather File and Design Days for Thailand are available for download in US's Department of Energy website. Currently, users are required to download the weather files separately from the main program.

Requirement:

- Integrate weather file & design days to the program. The file should be available within the program. When the weather data is available in the program, the users should not require to locate the file every time the program opened.
- Weather data for other province should be included.

13. Fundamental Libraries Priority

Problem:

The operations in OpenStudio are mostly involving with editing definitions in the libraries database for building material, profile and schedule. User is required to create specific library to determine the property of their building. Import Library is one of the functions that allows user to import library from other projects. However, there is no protection of pre-built definition to be replaced by imported library. Currently, the pre-set database is editable, replaceable and removable. These database should be protect for referencing pre-set definition as pre-set of definition by the regulation will be added to the library .

Requirement:

Modify library management function to give a priority to initial database. It could be copied for user to adapt as their building library but the original definition has to remain unchanged. The imported library should be located separately from the existed database.

14. OTTV/RTTV Calculation

Problem:

Currently, EnergyPlus does not report OTTV or RTTV. The available values in the report cannot be applied into BEC's OTTV/RTTV calculation formula. The noticeable issue point at the taken value of temperature difference. OTTV and RTTV are depended on two factors, built material and temperature difference. In BEC, OTTV/RTTV calculation use constant temperature difference (TD_{eq}) to evaluate heat gain through the wall, resulting in one constant heat gain through wall and OTTV/RTTV. In contrary, EnergyPlus has use weather data file which contain a variation on temperature during the day time. EnergyPlus also report heat gain through the wall at peak cooling and heating load.

Requirement:

- Investigate the most applicable method to calculate OTTV/RTTV

Appendix 5 Promoting Energy Efficiency in Commercial Building, PEECB

Component 1 : Awareness Enhancement on Building EE Technologies and Practices

Output 1.3 : Developed and Promoted Energy Use Simulation Models for Commercial Buildings Design

Activities 1.3.1: Assessment of the Utilization of Building Energy Simulation Model (BESM) in Thailand

Aims:

Determine the status of the utilization of BESM in the design, retrofitting and energy performance evaluation of commercial building in Thailand.

- Survey of popular simulation models being used in Thailand.
- Evaluation pros and cons of features of each model.
- The utilization patterns survey of the two most popular simulation models: How the model are used and for what purpose, major use groups, most frequently use functions.
- Details assessment of features and functions of the two most popular simulation models to understand their applicability to the Thai context.
- Evaluation of capacity of users and their needs on extra features and functions to understand to which extend these models are utilized and ought to be improved.

Activities as of April 2014

- Initial survey of popular simulation models being used in Thailand from literatures and interviews.
- Comparison and evaluation pros and cons of features of each model.
- Collect BEC program development progress.
- Collect professional contacts for questionnaire.
- Distribute, collect and analysis questionnaire for most popular simulation models being used in Thailand.
- Study options for BESM modifications
- Compare BEC and OpenStudio calculation results

Next phase activities

- Distribute, collect and analysis questionnaire for the utilization patterns of the three most popular simulation models.
- Professional focus group meeting.

ประชุมระดมความคิดเห็น

การพัฒนาโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารธุรกิจ (Building Energy Simulation Model, BESM)

วันศุกร์ที่ 16 พฤษภาคม 2557 เวลา 09.30 - 13.00 น.

ณ ห้องวิภาวดี2 ชั้น 4 โรงแรมปริ๊นส์ตั้น กรุงเทพ (ดินแดง)

ลำดับ	ชื่อ-นามสกุล	ชื่อหน่วยงาน	ตำแหน่ง	มือถือ	e-mail	ลงชื่อ
1	ผศ.ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	อาจารย์		atch.s@chula.ac.th	
2	ร.อ. อนุชา จาเกาะ	กรมช่างโยธาทหารอากาศ กองทัพอากาศ	สถาปนิก	083-543-4493	danc.rtaf@gmail.com	
3	ร.ต.หญิง อัญชลิดา กาญจนาธนเกียรติ	กรมช่างโยธาทหารอากาศ กองทัพอากาศ		02-534-3950	arch_aun@hotmail.com ร.ต.หญิง/อัญชลิดา	
4	คุณ ยุทธนา ทองท้วม	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	อาจารย์	081-513-4731	yuttana.t@cmu.ac.th	
5	~~คุณ ภัทราวดี ศิริวรรณ~~	~~มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลสุวรรณภูมินนทบุรี~~	อาจารย์และสถาปนิก	~~089-920-6537~~	pla012@windowslive.com	* ให้ส่งเอกสารประชุม ไปที่บ้าน.
6	~~นาย นริศ เชี่ยวชาญ~~	~~บริษัท พร้อม เทคโน เซอร์วิส จำกัด~~	~~Executive~~	~~081-711-7086~~	ch_naris@hotmail.com	
7	คุณ ธนะชัย ถาวรวัฒน์สกุล	บริษัท แอฟริคัส จำกัด	สถาปนิกและที่ปรึกษาอาคารเขียว	085-173-2859	tanachai@africvs.com	
8	คุณ ณัฐนี วงศ์วีระนนท์ชัย	บริษัท แอฟริคัส จำกัด	ที่ปรึกษาออกแบบอาคาร	081-710-2664	nuttanee@africvs.com	
9	คุณ ชญานี เลิศสัจจานันท์	บริษัท แอฟริคัส จำกัด	Green Building Specialist/ Architect	089-698-6665	chayanee@africvs.com	

ประชุมระดมความคิดเห็น

การพัฒนาโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารธุรกิจ (Building Energy Simulation Model, BESM)

วันศุกร์ที่ 16 พฤษภาคม 2557 เวลา 09.30 - 13.00 น.

ณ ห้องวิภาวดี2 ชั้น 4 โรงแรมปริ๊นส์ตั้น กรุงเทพ (ดินแดง)

ลำดับ	ชื่อ-นามสกุล	ชื่อหน่วยงาน	ตำแหน่ง	มือถือ	e-mail	ลงชื่อ
10	คุณ พงษ์พิชญ์ จงศุภางครัตน์	บริษัท แอฟริคัส จำกัด	สถาปนิก	085-062-3235	pongpitch@africvs.com	
11	คุณ ~~พิชญะ~~ เพียร~~พัฒนางกูร~~	~~บริษัท แอฟริคัส จำกัด~~		087-512-5174	pichaya@africvs.com	
12	คุณ อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รองศาสตราจารย์	02-986-9605	awi_cl@hotmail.com	
13	ผศ.ดร. ปรีชญา มหัทธนทวี	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร	อาจารย์	086-991-7088	prechaya@hotmail.com	
14	ผศ. ดรุณี มงคลสวัสดิ์	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	085-220-6408	mdarunee@gmail.com	
15	ดร. ทยากร จารุชัยมนตรี	ภาควิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร	อาจารย์	085-065-4545	tayagorn@windowslive.com	
16	คุณ คมพศิษฏ์ ประไพศิลป์	ฝ่ายโยธา สำนักงานเขตดอนเมือง		085-118-5151	kbs1311@yahoo.co.uk	
17	คุณ กุลธิดา สุวรรณแก้ว	EMO_D Co.,Ltd.		081 549 2217	k.suwannakaew@gmail.com	
18	คุณ พัฒนา รัตนนาวาทอง	Cardiff University	นักศึกษาป.เอก		maipatana@gmail.com	

ประชุมระดมความคิดเห็น

การพัฒนาโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารธุรกิจ (Building Energy Simulation Model, BESM)

วันศุกร์ที่ 16 พฤษภาคม 2557 เวลา 09.30 - 13.00 น.

ณ ห้องวิภาวดี2 ชั้น 4 โรงแรมปริ๊นส์ตั้น กรุงเทพ (ดินแดง)

ลำดับ	ชื่อ-นามสกุล	ชื่อหน่วยงาน	ตำแหน่ง	มือถือ	e-mail	ลงชื่อ
19	คุณ สุทธิรัตน์ บุญทะจิตร์	ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน	วิศวกรและผู้ประสานงานโครงการ			
20	คุณ ศุภเกียรติ ทองทับ	ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน	วิศวกรโครงการ			
21	คุณ อัญชิษฐา แซ่ลิ้ม	ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน	วิศวกรโครงการ			อัญชิษฐา แซ่ลิ้ม
22	คุณ กฤติน เจริญพรวรนาม	ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน	วิศวกรโครงการ			กฤติน
	ผศ.ดร.พันธุดา พุฒิไพโรจน์	คณะสถาปัตย์ ม.ศิลปากร	อาจารย์	0814246424		
	เพ็ญจพร พนมยงค์		โปรแกรมเมอร์	0896985637		เพ็ญจพร พนมยงค์

การประชุมระดมความคิดเห็นต่อแนวทางการพัฒนาโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคาร

(Building Energy Simulation Mode, BESM)

วันศุกร์ที่ 16 พฤษภาคม 2557 เวลา 09.30-13.00 น.

ณ ห้องวิภาวดี 2 ชั้น 4 โรงแรมปริ๊นส์ตั้น กรุงเทพ

ลำดับ	ชื่อ	สกุล	หน่วยงาน	ลงนาม
1	นางศิรินทร	วงษ์เสาวศุภ	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	
2	นายมนัสวี	ฮะกีมี	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	
3	นายประกอบ	เอี่ยมสะอาด	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	
4	นายบวรพงษ์	สุนิภาษา	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	
5	นายพงศ์พันธุ์	วรสายัณห์	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	
6	นายสุทธิชาติ	แสงสุวรรณ์	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	
7	นายณัฐพล	รุ่นประแสง	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	
8	นางสาวกุลศิริ	ศักดิ์ประสิทธิ์	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	
9	นายชวลิต	บุญแสง	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	
10	นายกมล	ตันพิพัฒน์	บริษัท ไบร์ท แมเนจเม้นท์ คอนซัลติ้ง จำกัด	
11	นายจิรยุทธ์	เจริญฉัตรชัย	บริษัท ไบร์ท แมเนจเม้นท์ คอนซัลติ้ง จำกัด	
12	นายพหล	เฉลยกิตติ	บริษัท ไบร์ท แมเนจเม้นท์ คอนซัลติ้ง จำกัด	
13	นางเจริญศรี	ฮวดมัย	บริษัท ไบร์ท แมเนจเม้นท์ คอนซัลติ้ง จำกัด	
14	~~นายพงศ์กานต์~~ นอย ราฤๅ	~~เปี่ยมสุทธิธรรม~~ ธรรมาชีวะ	บริษัท เอ็นจิเนียริ่ง โซลลูชั่น โพรวายเดอร์ จำกัด	ราฤๅ ธรรมาชีวะ
15	ดร.จิรโชติ	ดาวสุโข	บริษัท เอ็นจิเนียริ่ง โซลลูชั่น โพรวายเดอร์ จำกัด	
16	เอกอัมพน์	หวังสินศิริธรรม	กพน.	
17	กฤษณ์	ภู่ผล	สพน.	

Develop and Promote
Energy Use Simulation Models
for Commercial Buildings Design

PEECB Project Component 1
Awareness Enhancement on Building EE Technologies and Practices

Output 1.3 : Developed and Promoted Energy Use Simulation Models for Commercial Buildings Design

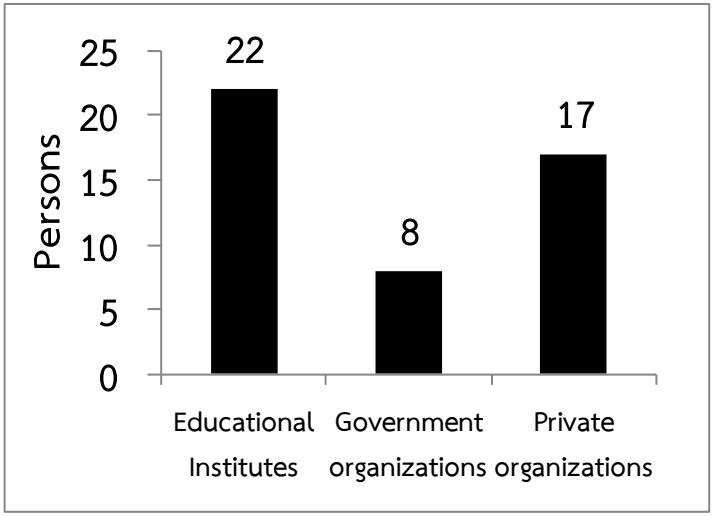
Timeframe

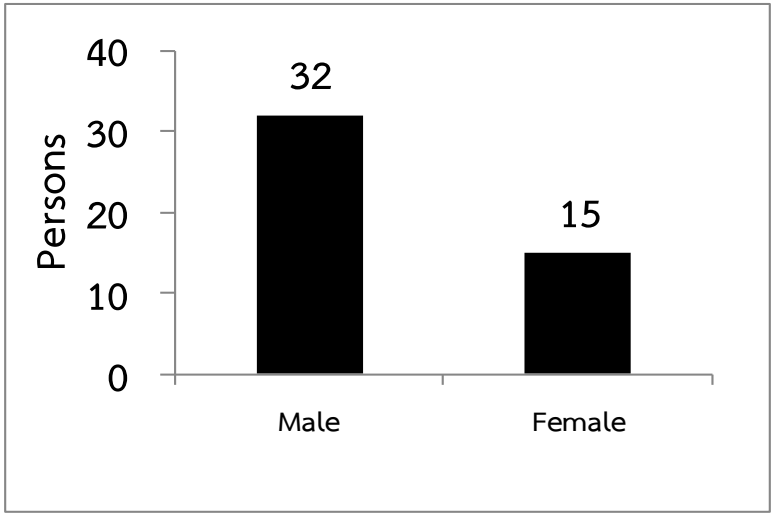
2013	2014	2015	2016
1.3.1 Assessment of the Utilization of Building Energy Simulation Model			
	1.3.2.1 Development of a Customized BESM		
	1.3.2.2 Preparation of Promotional and Training Program		
		1.3.3 Implementation of Promotional and Training Program	

gef
UNDP
Department of Alternative Energy Development and Efficiency
MINISTRY OF ENERGY
BRIGHT

1.3.1 Assessment of the Utilization of Building Energy Simulation Model

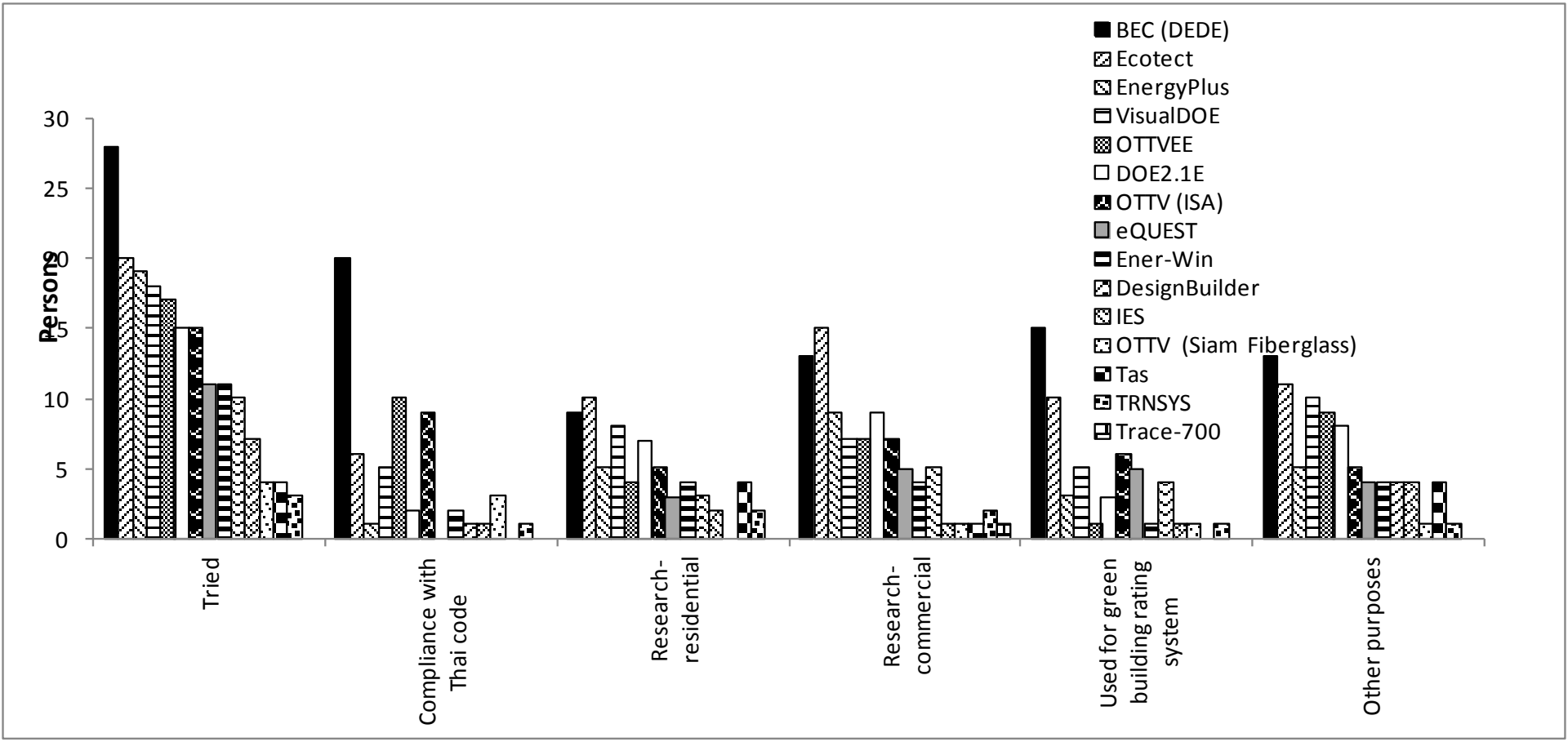
Survey of popular simulation models being used in Thailand: More than 400 email/mail were sent out, **97 person** did the survey, but only **47 persons** have used/been using BESM.





Survey of popular simulation models being used in Thailand

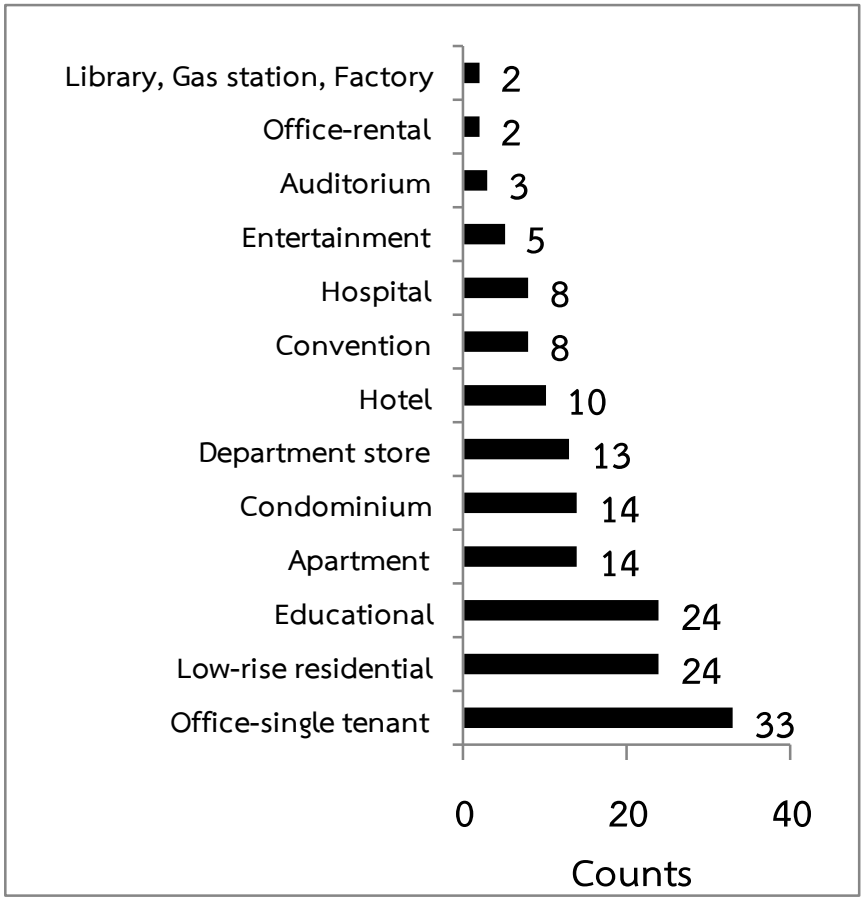
Most used software : **BEC 1.0.5, Ecotect, VisualDOE**



gef
UNDP
Department of Alternative Energy Development and Efficiency
MINISTRY OF ENERGY
BRIGHT

Survey of popular simulation models being used in Thailand

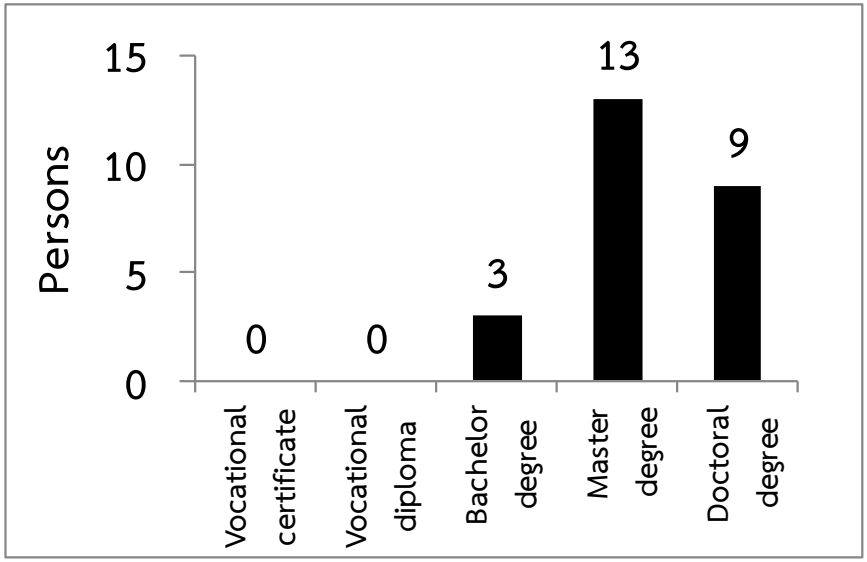
Most simulated project : **Office-single tenant, Low-rise residential, Educational, Apartment and Condominium**



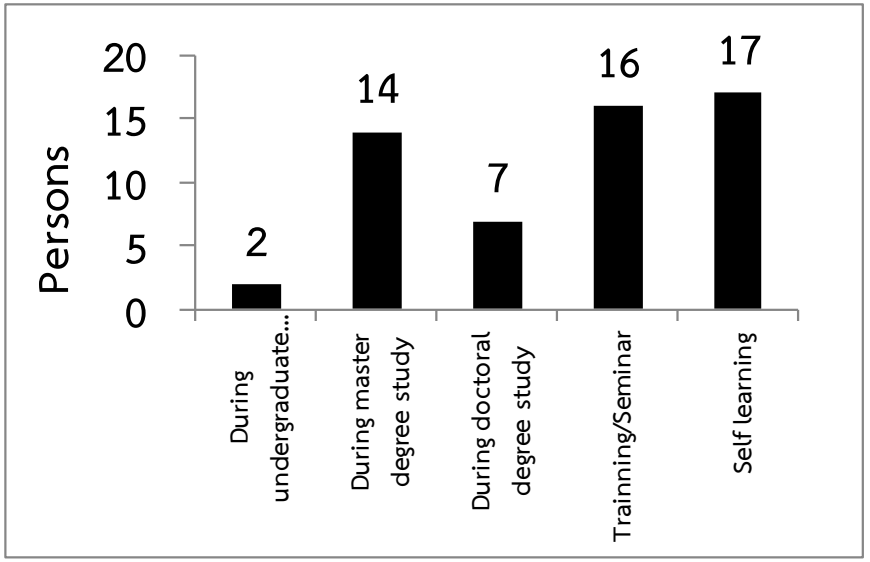
1.3.1 Assessment of the Utilization of Building Energy Simulation Model

- The utilization pattern survey of the three most popular simulation models: 50 emails were sent out, **25 persons** did the survey

Education

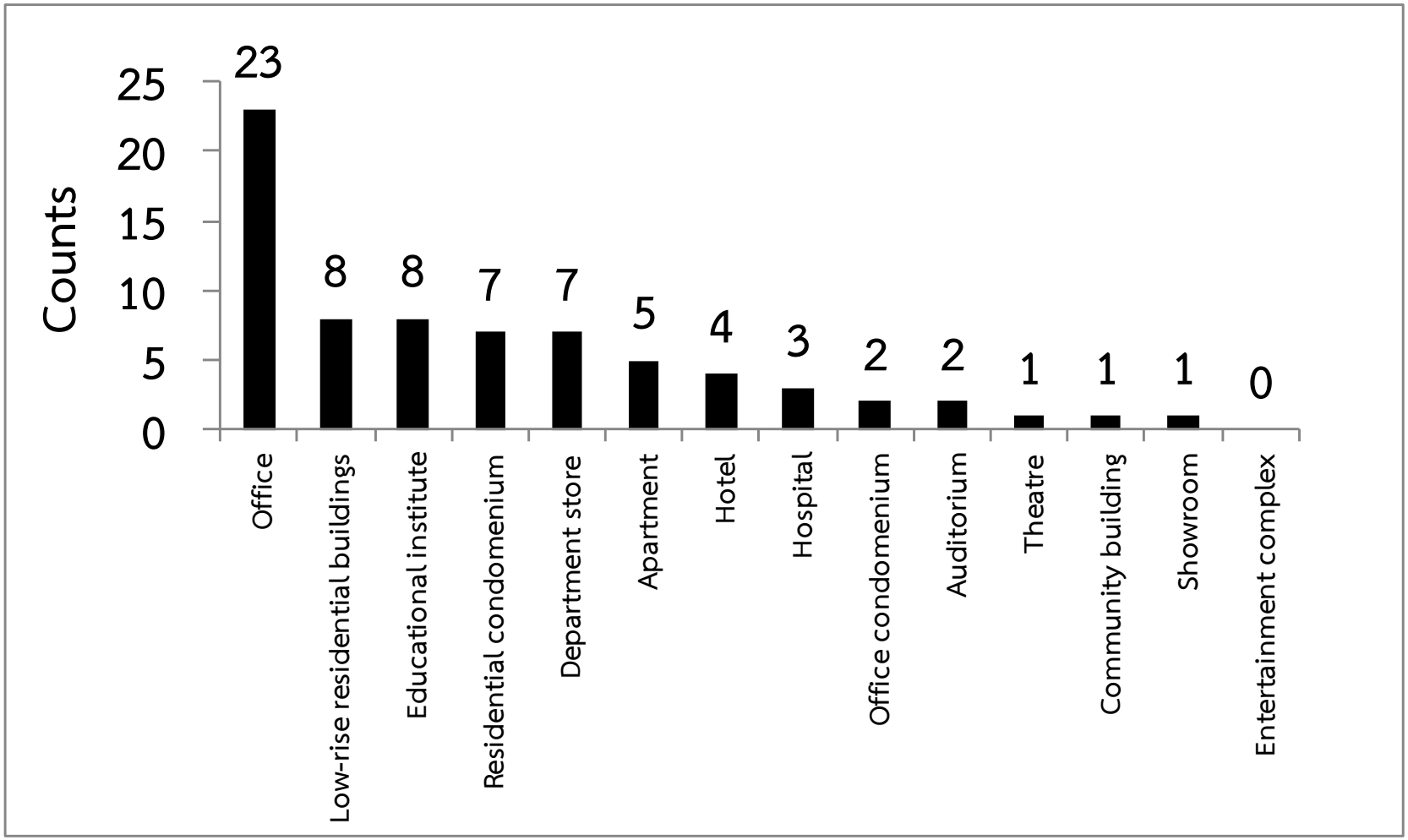


BESM Training



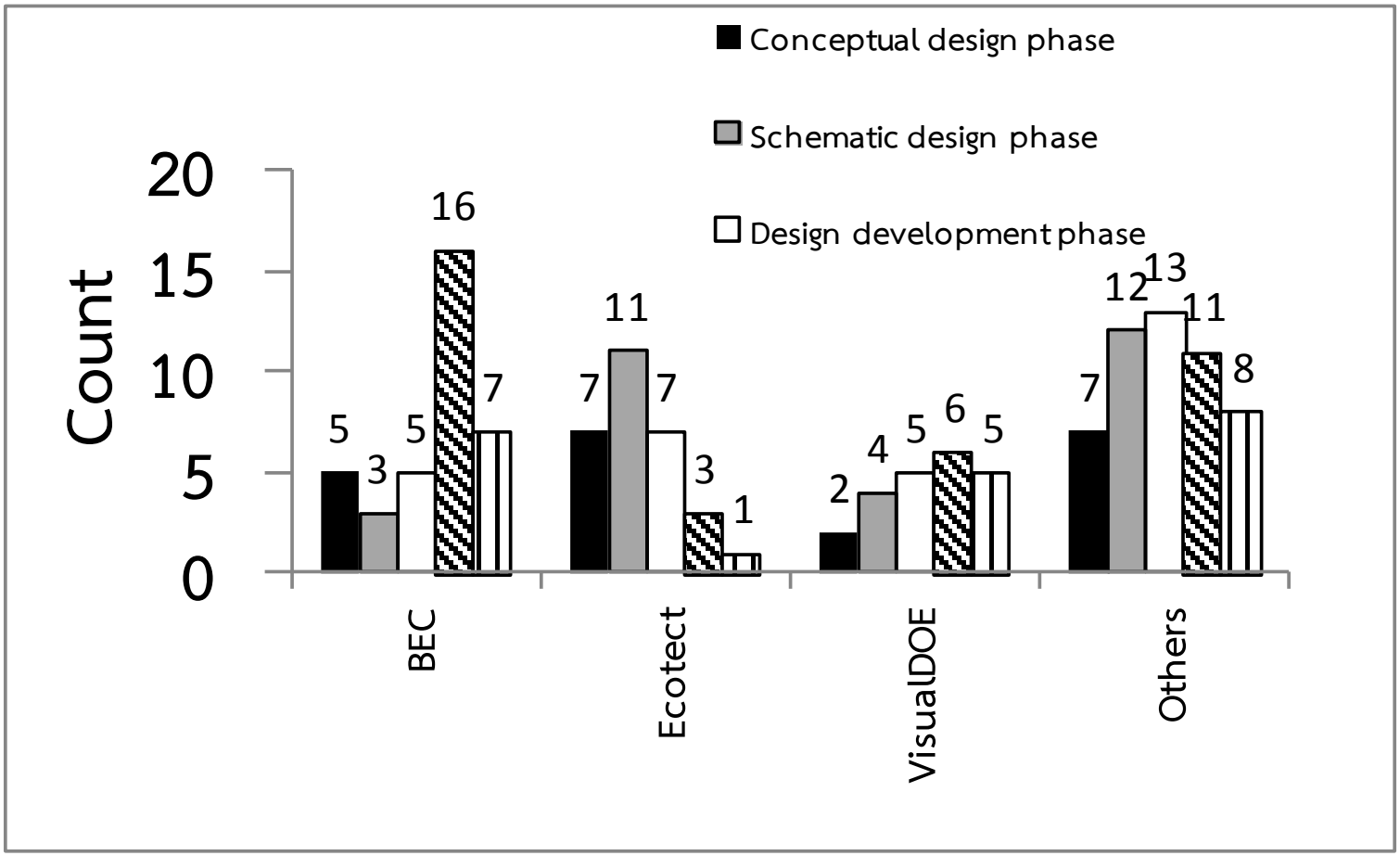
Develop and Promote Energy Use Simulation Models for Commercial Buildings Design

Typical buildings in modeling



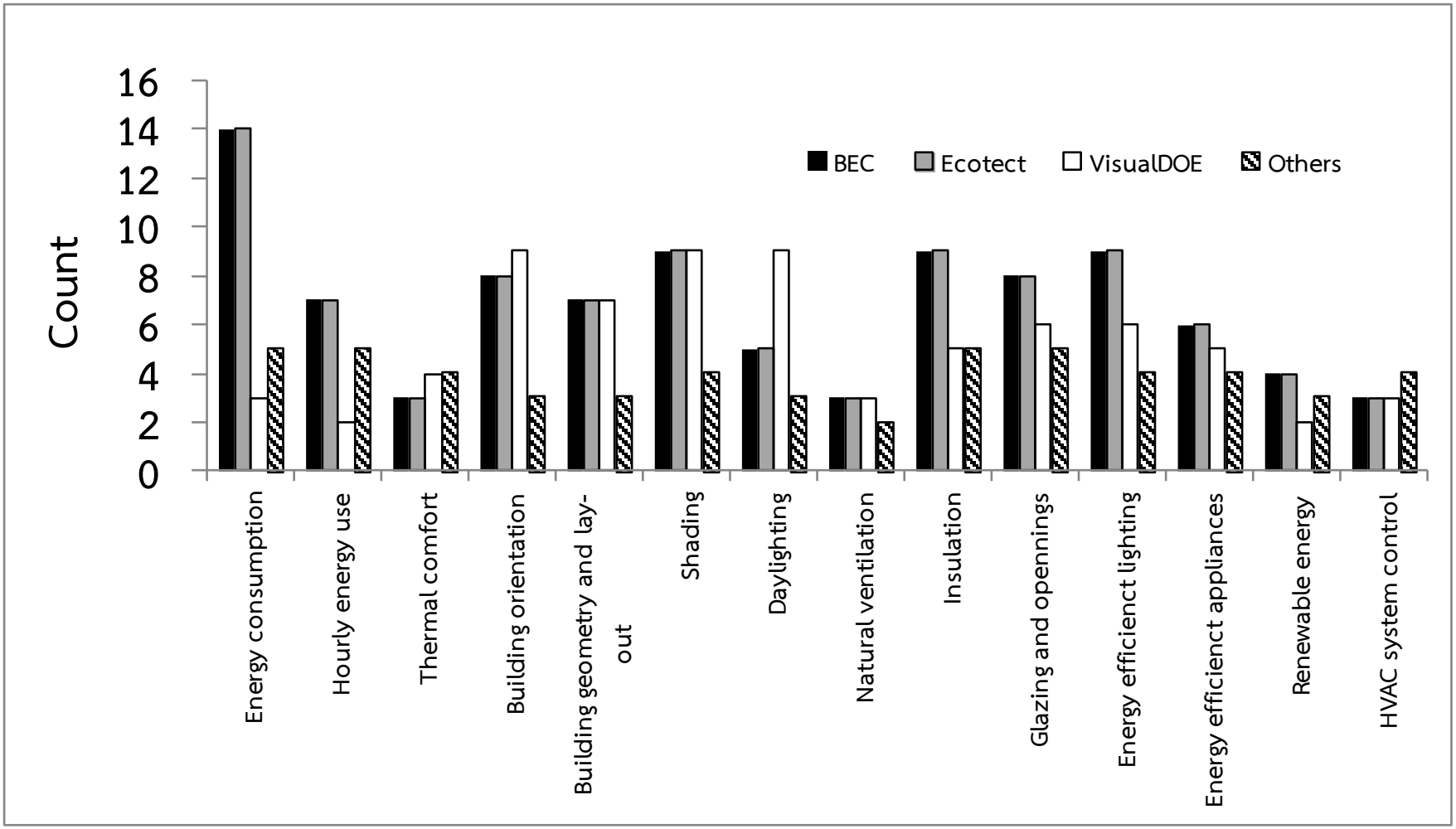
Develop and Promote Energy Use Simulation Models for Commercial Buildings Design

Phases modeling programs are used



Develop and Promote Energy Use Simulation Models for Commercial Buildings Design

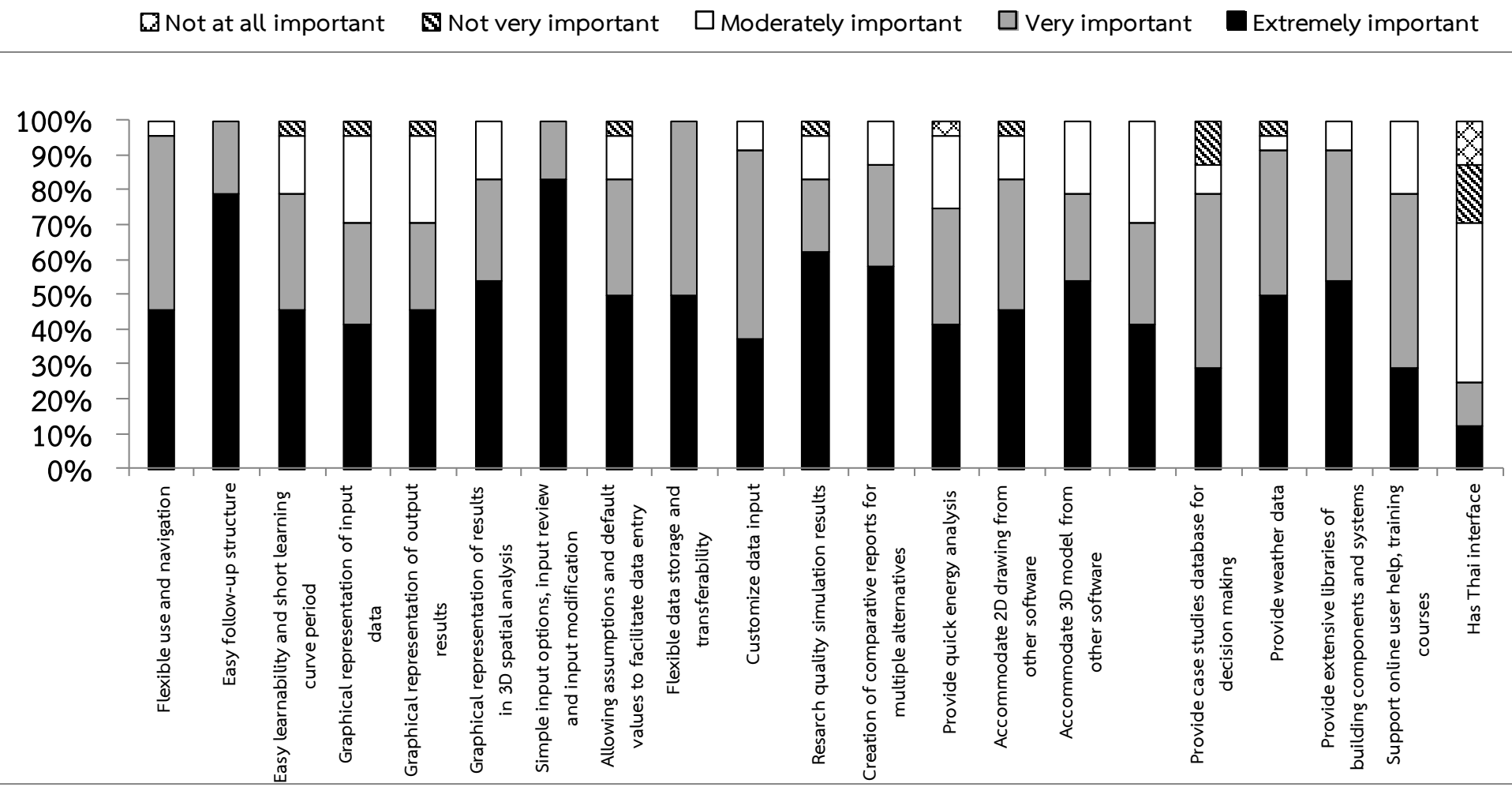
Focus results



gef
UNDP
Department of Alternative Energy Development and Efficiency
MINISTRY OF ENERGY
BRIGHT

Develop and Promote Energy Use Simulation Models for Commercial Buildings Design

How important of each objective



Simulation program for Thai context proposed features

ปัญหา	แนวทางแก้ไข
ระยะเวลาในการออกแบบอาคารมักมีน้อยและแบบมีการเปลี่ยนไปมา ในขณะที่การคำนวณการใช้พลังงานในอาคาร จะกรอกข้อมูลได้ต้องทราบรายละเอียดของอาคารพอสมควร โดยต้องทราบพื้นที่และประเภทวัสดุของผนังและหลังคาอาคาร รวมทั้งตำแหน่งห้องที่มีการปรับอากาศ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่างและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ	○ โปรแกรมจะต้องใช้เวลาน้อยในการกรอกข้อมูลและง่ายต่อการแก้ไขโดย ▪ สามารถมีส่วนที่ให้**กรอกข้อมูลเป็น 3 มิติได้หรือรับผังพื้น 2 มิติจากโปรแกรม CAD ได้** และสามารถแก้ไขได้โดยง่าย ▪ **มีฐานข้อมูลกรอบอาคารและงานระบบของประเทศไทยครบ** เช่น ฐานข้อมูลของวัสดุของประเทศไทยและของรูปแบบผนังที่หลากหลายครบถ้วน มีฐานข้อมูลของเครื่องปรับอากาศชนิดต่าง ๆ มีฐานข้อมูลของหลอดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ มีฐานข้อมูลของภูมิอากาศจังหวัดต่าง ๆ โดยสามารถ update ได้เป็นระยะ ๆ วิธีการกรอกข้อมูลไม่ซ้ำซ้อน สามารถทำซ้ำแล้วเปลี่ยนบางส่วนเพื่อ save เป็นข้อมูลเพิ่มเติมได้โดยง่าย

Simulation program for Thai context proposed features

ปัญหา	แนวทางแก้ไข
โปรแกรมหลายโปรแกรมผู้กรอกข้อมูลต้องมีพื้นฐานความรู้สูง	○ เพิ่มคุณลักษณะที่ช่วยให้การกรอกข้อมูลง่ายขึ้นและลดการผิดพลาด ▪ **การกรอกข้อมูลมีโครงสร้างชัดเจน** ตรงไปตรงมา สามารถคาดเดาได้ ▪ **มี Help** ที่ช่วยอธิบายหลักการคำนวณเพื่อให้เข้าใจในการนำไปใช้ ▪ มีคำอธิบายแต่ละค่าและ**มีค่า default** แสดงให้เห็นชัดเจนว่าส่วนใดเป็นค่า default ส่วนใดผู้กรอกได้เปลี่ยนแปลงข้อมูลไปแล้ว สามารถ restore ค่า default ได้
อาคารที่มีความซับซ้อน ต้องการแนวทางที่ตรงกันในการกรอกข้อมูล	○ มี tutorial ที่หลากหลายครอบคลุมอาคารทุกประเภทและทุกขนาด

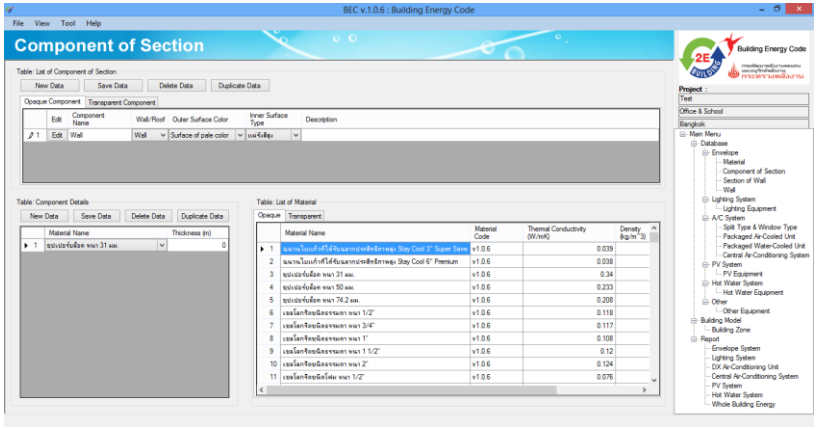
Simulation program for Thai context proposed features

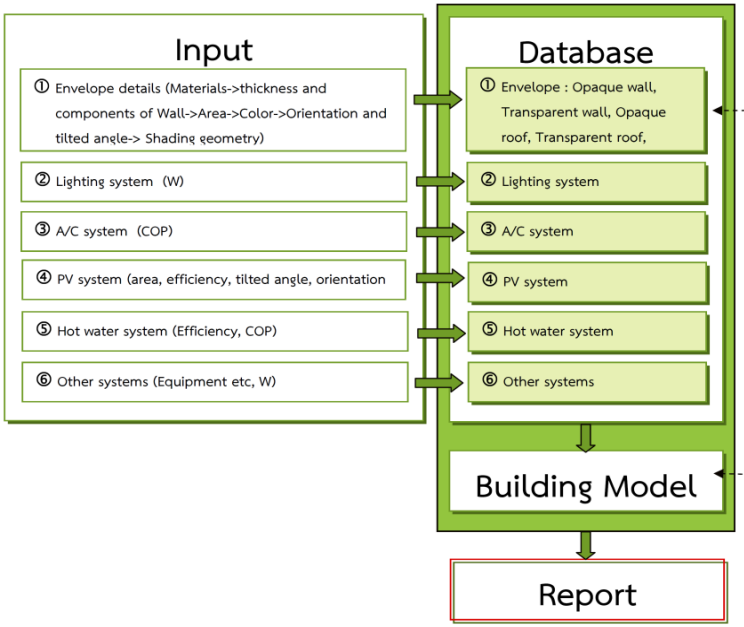
ปัญหา	แนวทางแก้ไข
การประเมินผลการใช้พลังงานเบื้องต้น (BEC, Ecotect) และการประเมินผลการใช้พลังงานแบบละเอียด เช่นการขอประเมินการใช้พลังงานรวมในอาคารเพื่อขอรับรองอาคารในเกณฑ์อาคารเขียวของต่างประเทศใช้โปรแกรมต่างกัน ทำให้ต้องกรอกข้อมูลใหม่ทั้งหมด	○ ทำโปรแกรมที่มีทางเลือกในการคำนวณข้อมูล โดยเมื่อกรอกข้อมูลเบื้องต้นแล้ว **สามารถเลือกให้โปรแกรมคำนวณค่าการใช้พลังงานเบื้องต้นก็ได้หรือแบบละเอียดก็ได้**โดยต้องกรอกข้อมูลเพิ่มเติม แต่ไม่ต้องกรอกใหม่ทั้งหมด
ขาดแนวทางที่ช่วยออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน	○ ควรมีข้อมูลที่เป็น**ข้อแนะนำเบื้องต้นในการออกแบบอาคาร**ให้ปลอดภัย ประหยัดพลังงานและมีสภาพแวดล้อมที่ดี ○ **แสดงผลของการใช้พลังงานที่มาจากส่วนประกอบต่าง ๆ** ทำให้สามารถประเมินแนวทางการในการลดการใช้พลังงานได้ ○ มี**มาตรการในการประหยัดพลังงานพื้นฐาน** เช่น ลดสัดส่วนกระจก ลดปริมาณไฟฟ้าแสงสว่าง และสามารถคำนวณเบื้องต้นให้ทราบเพื่อเป็นแนวทางในการปรับเปลี่ยนแบบหรือแนวทางในการเปรียบเทียบการออกแบบแนวทางต่าง ๆ

Develop and Promote Energy Use Simulation Models for Commercial Buildings Design

Choices of BESM development

1. Improve BEC 1.06





$$OTTVi = (Uw)(1\ WWR)(TDeq)+(U\ f)(WWR)(\Delta T)+(WWR)(SHGC)(SC)(ESR)$$

เมื่อ *OTTVi* คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณามีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

Uw คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส ($W/(m^2.\ ^\circ C)$)

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และ/หรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TDeq คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (equivalent temperature difference) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^\circ C$)

U f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจกมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส ($W/(m^2.\ ^\circ C)$)

T คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^\circ C$)

SHGC คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือผนังทึบ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

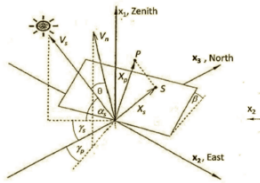
ตาราง database ทั้งหมดที่ใช้คำนวณ มีอยู่ใน file MS Excel

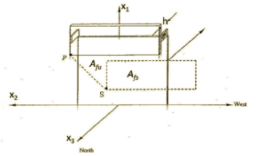
$$E_{pa} = \sum_{i=1}^{n}\left[\frac{A_{wi}(OTTV_i)}{COP_i}+\frac{A_{ri}(RTTV_i)}{COP_i}+A_i\left\{\frac{C_l(LPD_i)+C_e(EQD_i)+130C_o(OCCU_i)+24C_v(VENT_i)}{COP_i}\right\}\right]n_h+\sum_{i=1}^{n}A_i(LPD_i+EQD_i)n_h-PVE$$

$$E_{a\theta} = E_{ea}\cos\theta + E_{ed}\frac{(1+\cos\beta)}{2}$$

$$E_{ew} = (A_{fh}/A_f)(E_{ea})(\cos\theta)+(E_{ed})\frac{(1+\cos\beta)}{2}$$

$$(SC)_y = \frac{\left(\sum_{h=1}^{n}E_{ew}\right)_{21March}+\left(\sum_{h=1}^{n}E_{ew}\right)_{22June}+\left(\sum_{h=1}^{n}E_{ew}\right)_{23September}+\left(\sum_{h=1}^{n}E_{ew}\right)_{22December}}{\left(\sum_{h=1}^{n}E_{a\theta}\right)_{21March}+\left(\sum_{h=1}^{n}E_{a\theta}\right)_{22June}+\left(\sum_{h=1}^{n}E_{a\theta}\right)_{23September}+\left(\sum_{h=1}^{n}E_{a\theta}\right)_{22December}}$$

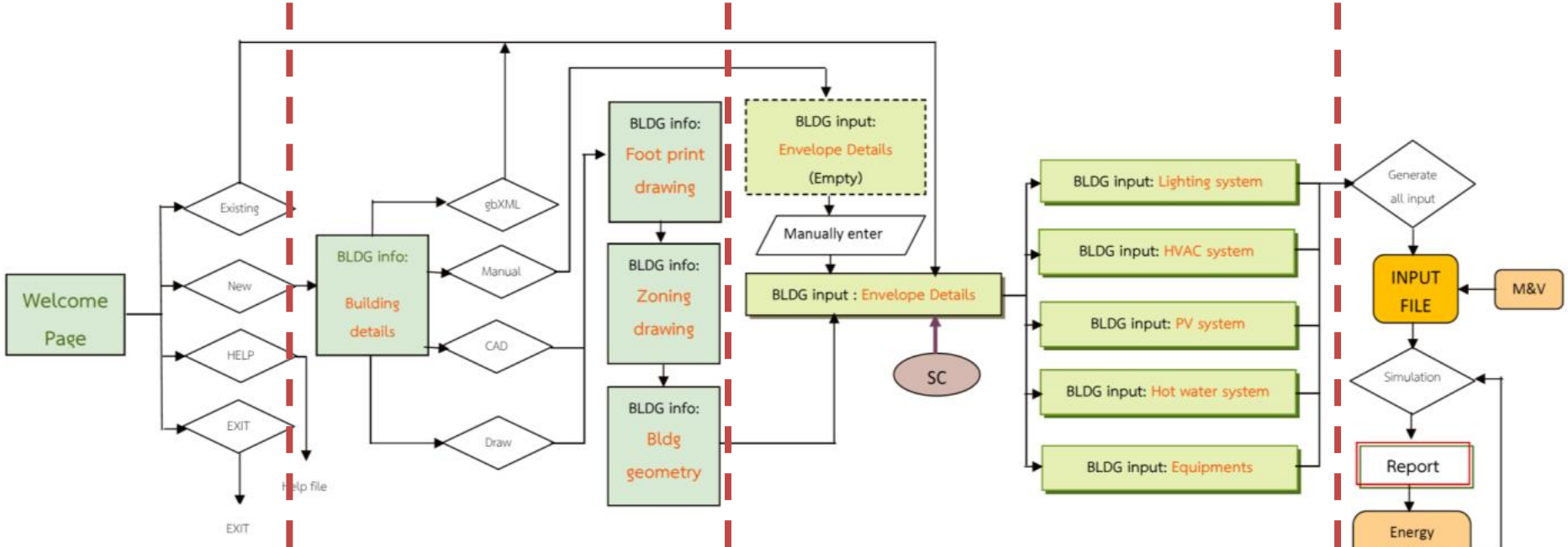




gef
UNDP
Department of Alternative Energy Development and Efficiency
MINISTRY OF ENERGY
BRIGHT

Choice of BESM development

2. Develop a new BEC program using new programming languages and add more functions

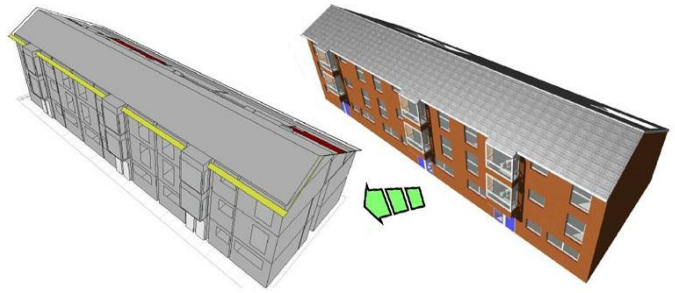


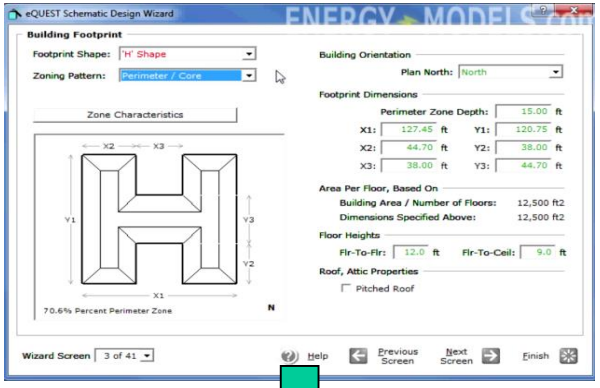
Open file | **Construct the buildings** | **Building envelope and system details** | **Simulation**

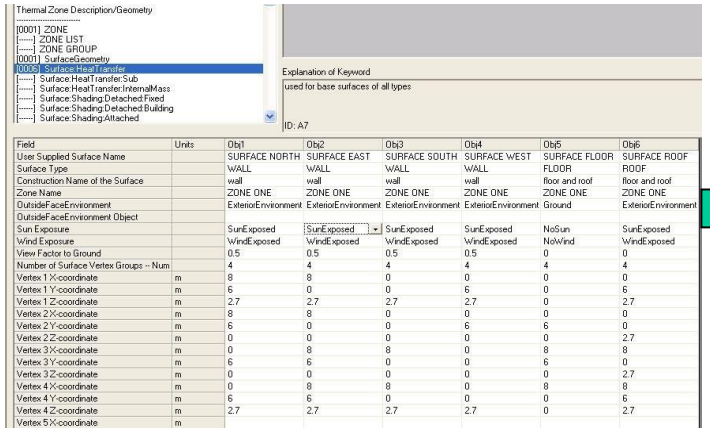
Develop and Promote Energy Use Simulation Models for Commercial Buildings Design

Choice of BESM development

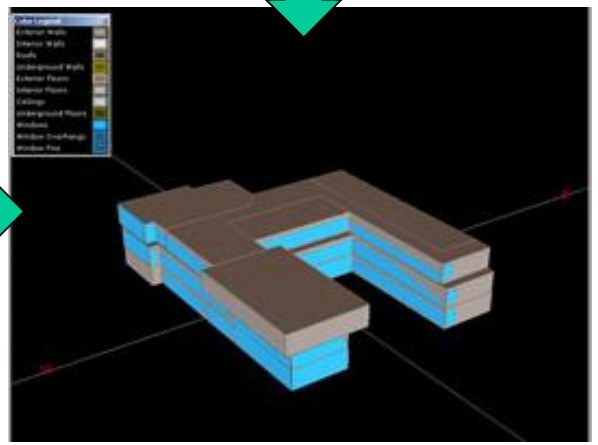
2. Develop a new BEC program using new programming languages and add more functions







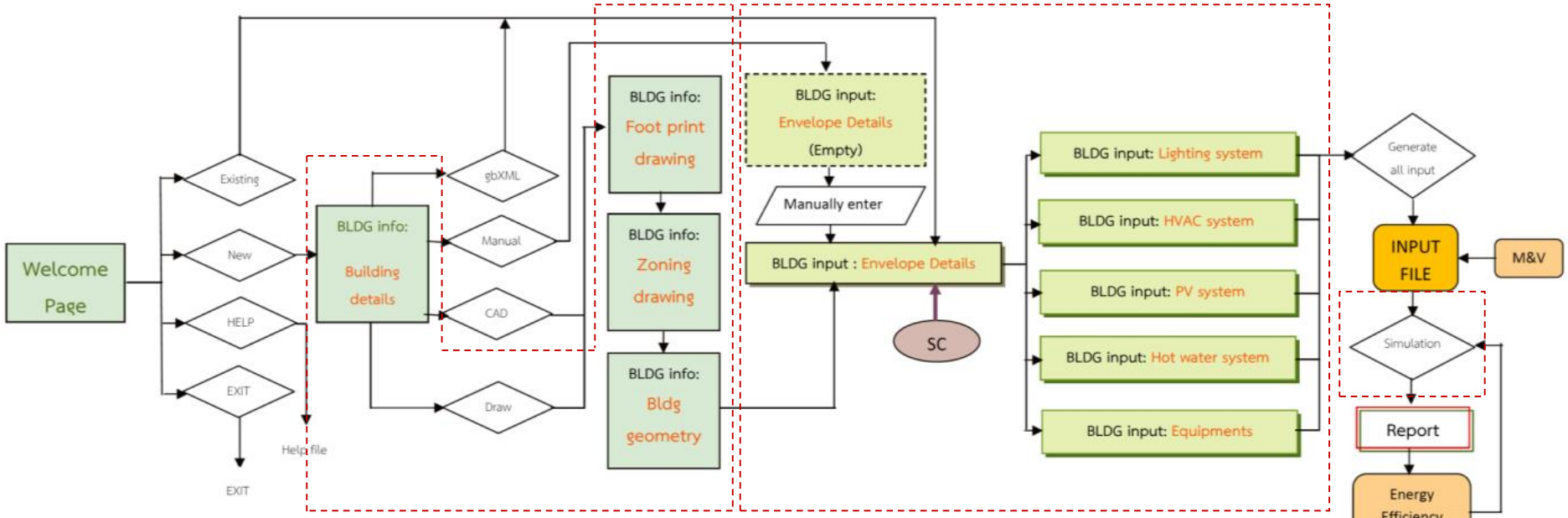
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
User Supplied Surface Name		SURFACE NORTH	SURFACE EAST	SURFACE SOUTH	SURFACE WEST	SURFACE FLOOR	SURFACE ROOF
Suiface Type		WALL	WALL	WALL	WALL	FLOOR	ROOF
Construction Name of the Suiface		wall	wall	wall	wall	floor and roof	floor and roof
Zone Name		ZONE ONE	ZONE ONE	ZONE ONE	ZONE ONE	ZONE ONE	ZONE ONE
OutsideFaceEnvironment		ExteriorEnvironment	ExteriorEnvironment	ExteriorEnvironment	ExteriorEnvironment	Ground	ExteriorEnvironment
OutsideFaceEnvironment Object							
Sun Exposure		SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	NoSun	SunExposed
Wind Exposure		WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	NoWind	WindExposed
View Factor to Ground		0.5	0.5	0.5	0.5	0	0
Number of Suiface Vertex Groups -- Num		4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	8	8	0	0	0	0
Vertex 1 Y-coordinate	m	6	0	0	6	0	6
Vertex 1 Z-coordinate	m	2.7	2.7	2.7	2.7	0	2.7
Vertex 2 X-coordinate	m	8	8	0	0	0	0
Vertex 2 Y-coordinate	m	6	0	0	6	6	0
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	0	0	0	0	2.7
Vertex 3 X-coordinate	m	0	8	8	0	8	8
Vertex 3 Y-coordinate	m	6	6	0	0	6	0
Vertex 3 Z-coordinate	m	0	0	0	0	0	2.7
Vertex 4 X-coordinate	m	0	8	8	0	8	8
Vertex 4 Y-coordinate	m	6	6	0	0	0	6
Vertex 4 Z-coordinate	m	2.7	2.7	2.7	2.7	0	2.7
Vertex 5 X-coordinate	m						



gef
UNDP
Department of Alternative Energy Development and Efficiency
MINISTRY OF ENERGY
BRIGHT

Choice of BESM development

3. Modify existing BESMs open source codes to be applicable to the Thai context



Free version available
SketchUp
Allow Ruby plug-in

SketchUp plug-in
OpenStudio
Open source

Open source
EnergyPlus

4. Create a new program that is applicability to the Thai context

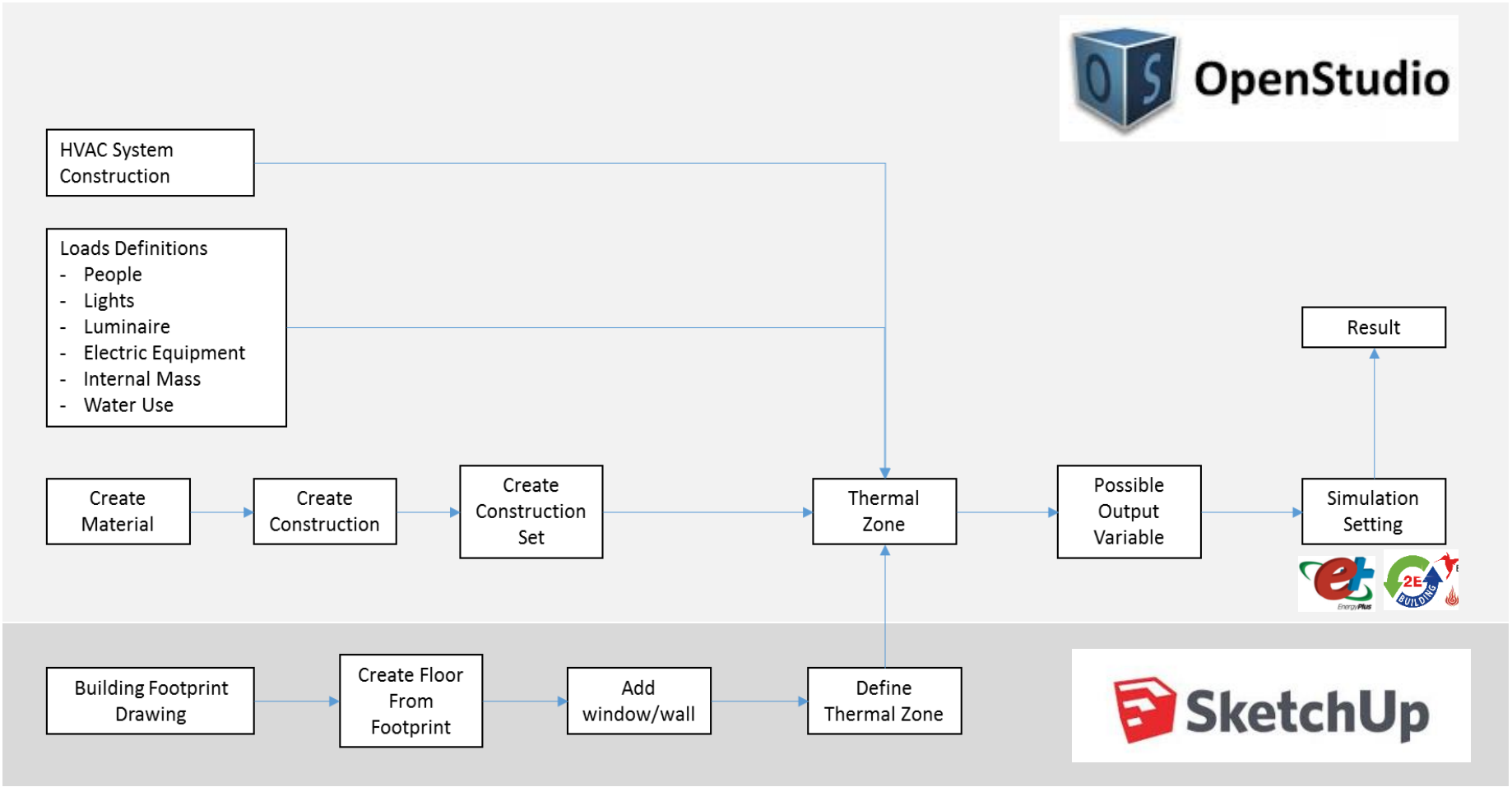
Develop and Promote Energy Use Simulation Models for Commercial Buildings Design

Comparisons

Items	Option 1 Improved BEC 1.06	Option 2 Rewrite the BEC program	Option 3 Improve other programs	Option 4 Write the new BESM program
Time used	6 months	12 months	8 months	3-5 years
Cost/Difficulty for programmers	Low	Moderate	Moderate	High
Accommodate 2D/3D from CAD software	No	Yes	Yes	Yes
Easiness of input method for users	Moderate	Moderate	Easy	Easy
Can calculate building energy performance against BEC allowances	Yes	Yes	Yes	Yes
Can calculate hourly dynamics heat transfer process using weather data	No	No	Yes	Yes
Can create 3D representatives of buildings	No	Yes/easy geometry	Yes/complex geometry	Yes/complex geometry
Sub-calculation modules match with Thai context	Yes/but need update	Yes/ but need update	Some modules might use assumptions based on different climate conditions.	Yes

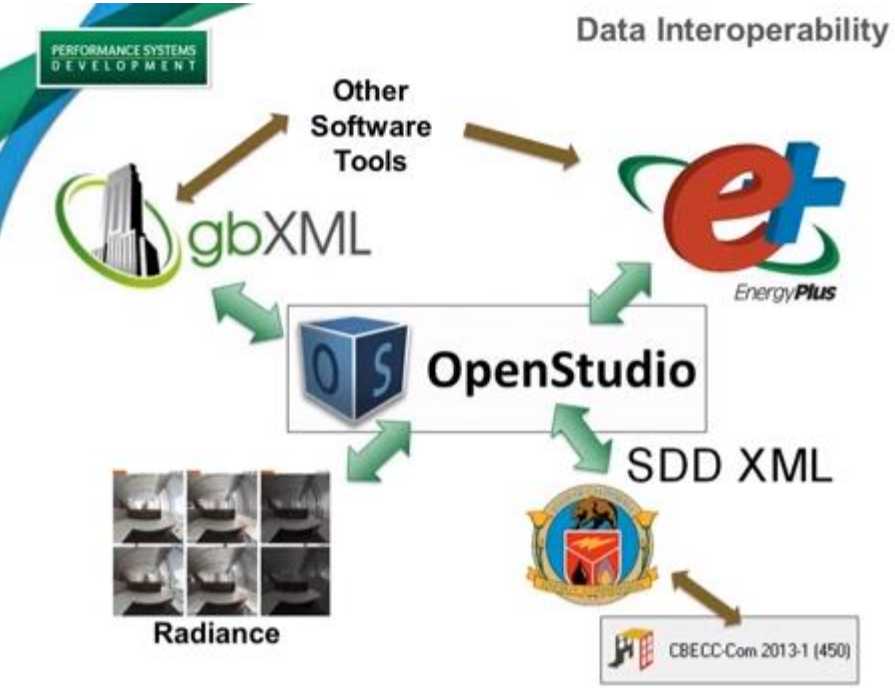
Develop and Promote Energy Use Simulation Models for Commercial Buildings Design

New BESM data flow



Develop and Promote Energy Use Simulation Models for Commercial Buildings Design

New BESM data flow

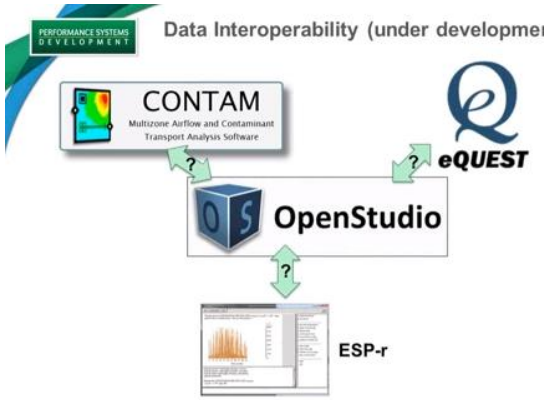


Connection to EnergyPlus

EnergyPlus is large production software branded by DOE

- 604,600 lines of code (Fortran2003, some C++)
- 689 input objects (e.g., Fan), 55,143 fields
- Runtime programming language
- 3,490 output variables, 89 summary tables
- 4,300+ pages of documentation, 775 pages of validation reports
- Major rewrite underway (C++/Modelica, multi-core enabled)

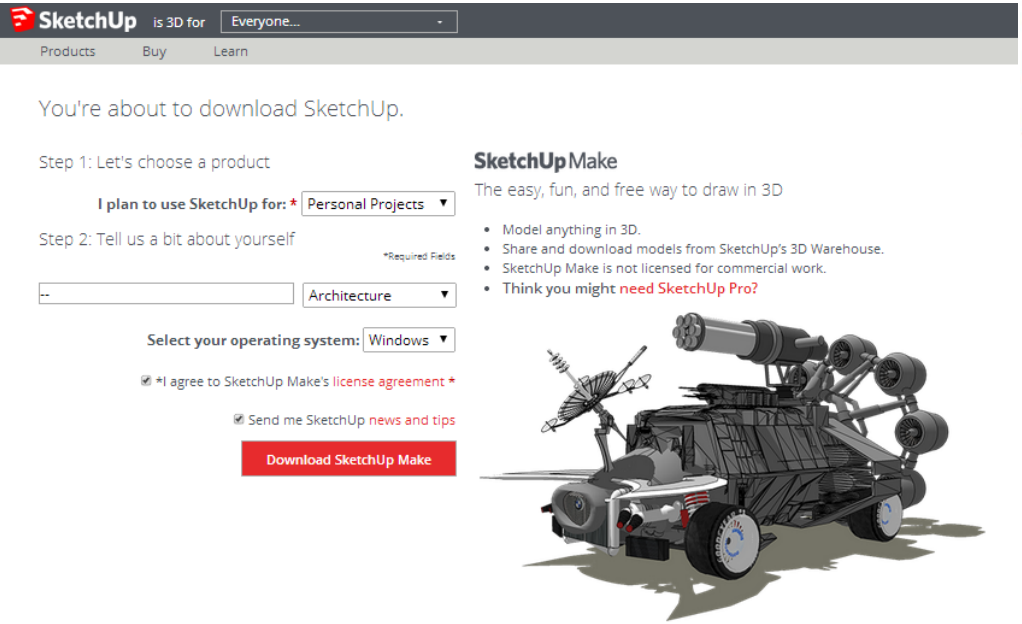
OpenStudio will provide seamless integration between E+ 8.1 and (E+ 9.0?)

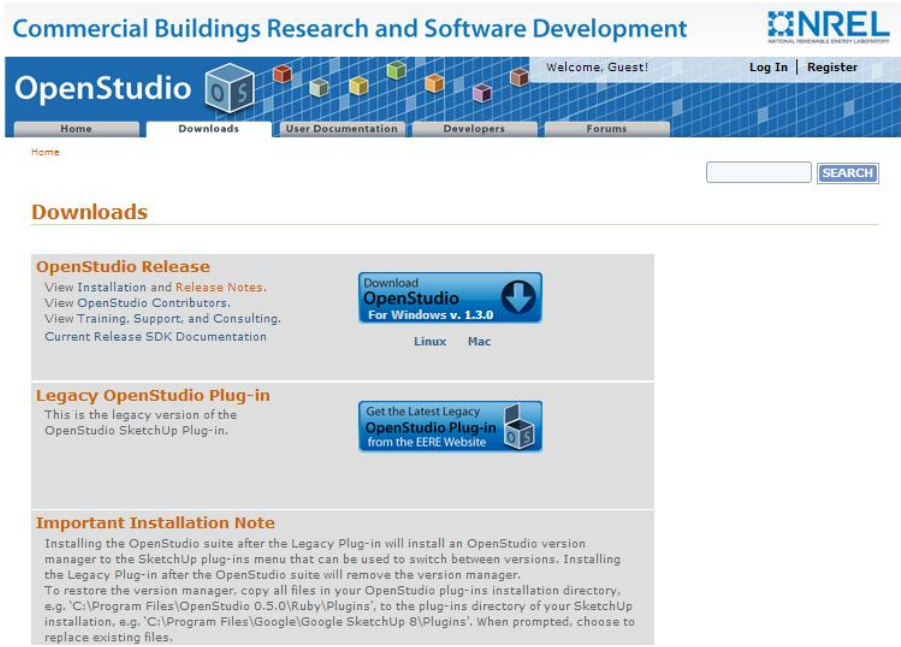


Develop and Promote Energy Use Simulation Models for Commercial Buildings Design

http://www.sketchup.com/download

https://openstudio.nrel.gov/downloads





SketchUp Make 2014

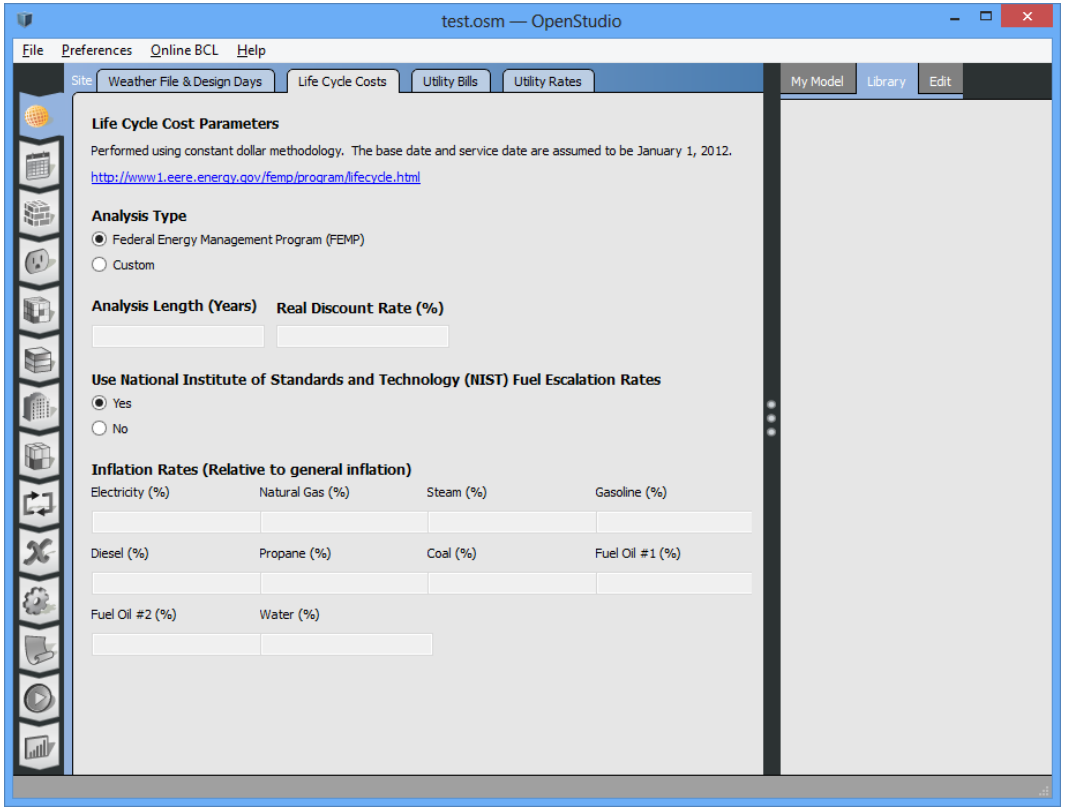
OpenStudio 1.3.0

Develop and Promote Energy Use Simulation Models for Commercial Buildings Design

Open Studio Demo



List of modification : Life cycle assessment



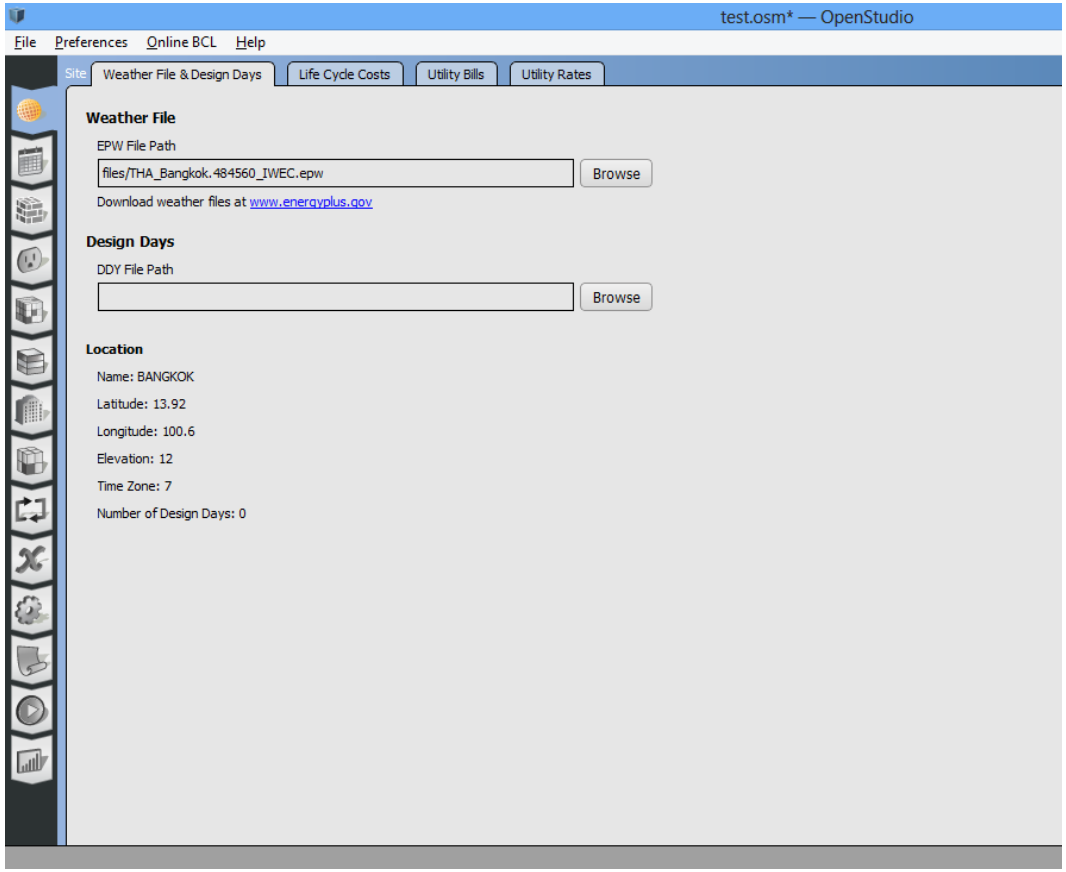
Problem:

Life cycle analysis is not in the scope of the development. Further information is require in this function.

Requirement:

Remove this function and menu from the program.

List of modification : Embed weather file and design day



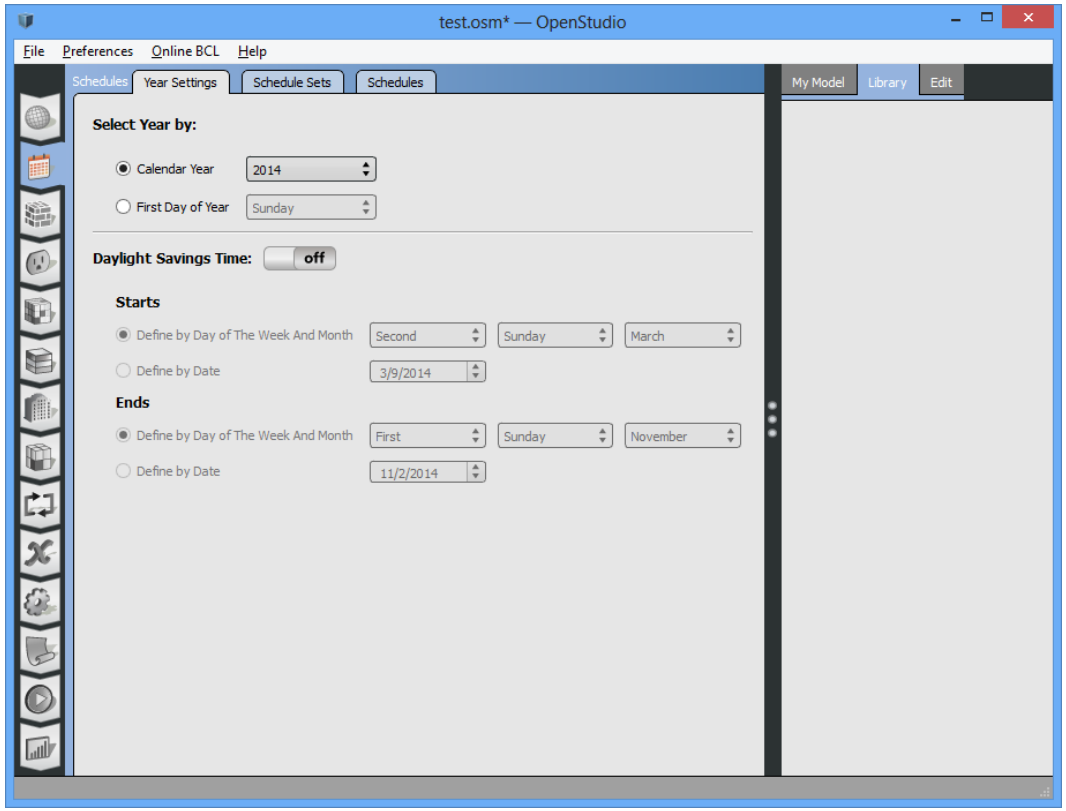
Problem:

Weather File & Design Days data is a requirement file for running the simulation. Currently, users are required to download the weather files separately from the main program.

Requirement:

Integrate Thailand weather files & design days to the program. Weather data for other province should be included.

List of modification : Daylight saving time



Problem:

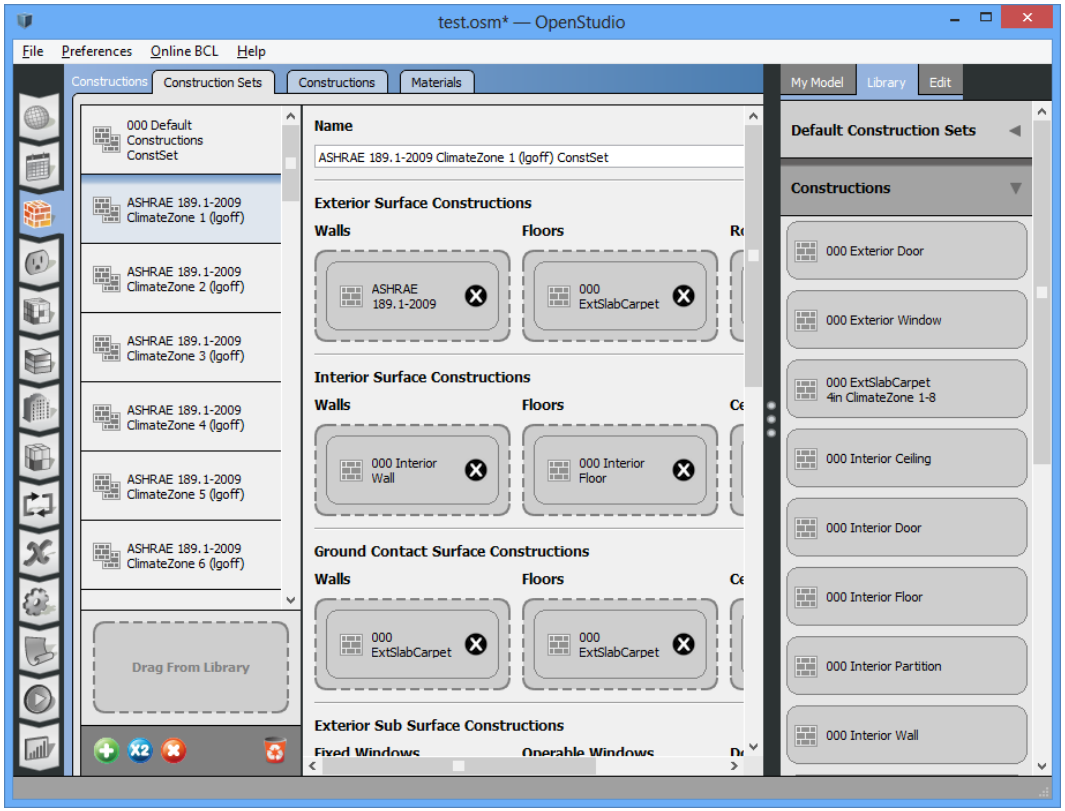
Daylight Saving Time is a standard measure for several countries which they experience long time shift between day and night period. The measure is to forward/backward the time for 1 hour in each season to save lighting energy consumption in a big scale.

Requirement:

Since there is no daylight saving time in Thailand, to avoid the confusion, this section should be removed.

Develop and Promote Energy Use Simulation Models for Commercial Buildings Design

List of modification : Construction library



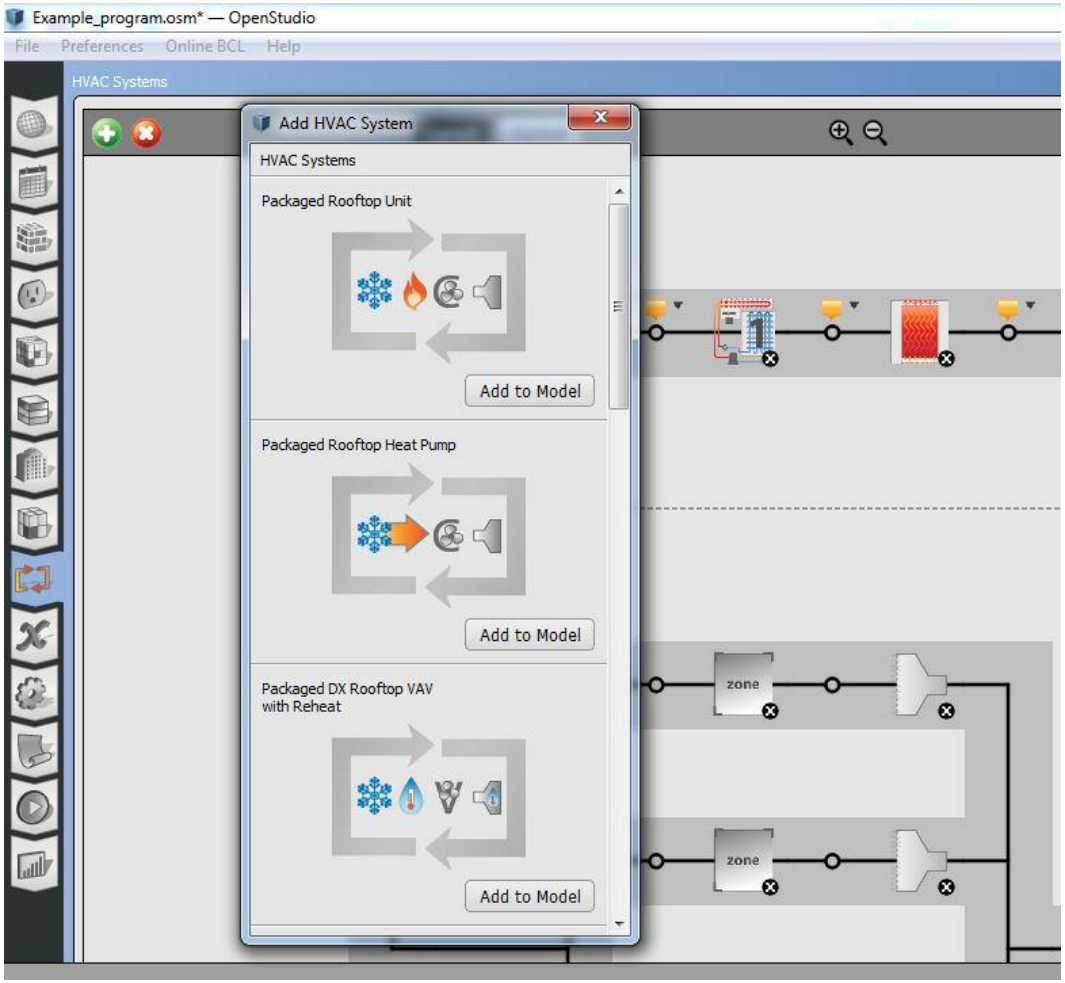
Problem:

Lack of construction material which is being used in Thailand. Same materials also have different properties.

Requirement:

Add the materials that are available in BEC database into OpenStudio library. Make typical construction sets being used in Thailand. When modified, should be saved in another name to preserve the original values. The library must be transferable between computers.

List of modification : HVAC system



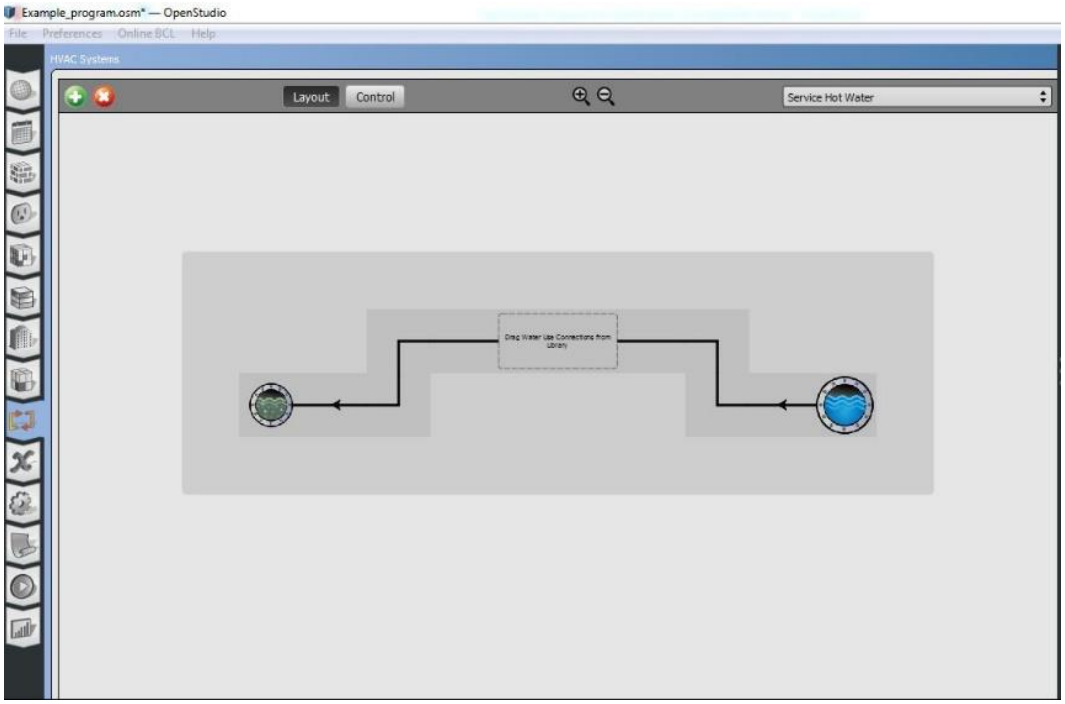
Problem:

The existed pre-built HVAC system is very limited. Most of them are designed for cold climate countries and to compliance with ASHRAE condition. Adding pre-built systems which are design for hot climate countries are very necessary.

Requirement:

Add pre-built HVAC system and necessary component to the library

List of modification : Hot water systems



Problem:

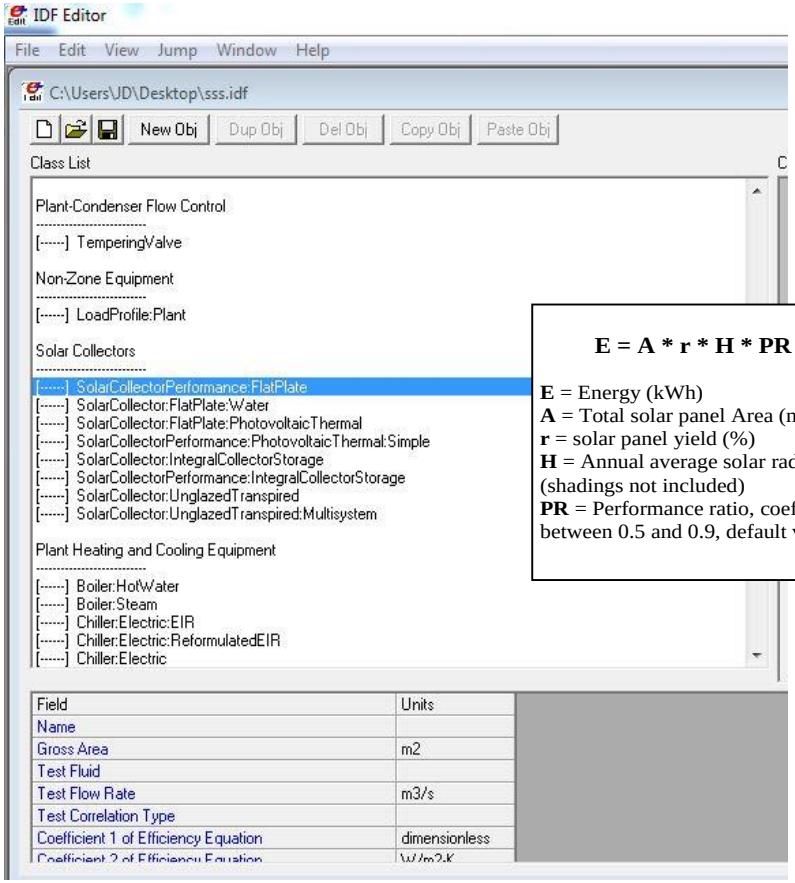
In the development of this BSEM, hot water system is expected in hotel and hospital.

Requirement:

Add boiler system and necessary component to the library as follow

- Oil fired steam boiler
- Oil fire hot water boiler
- Gas fired steam boiler
- Gas fire hot water boiler
- Air-source heat pump water heater(Water $T_{\text{out flow}}$ 50°C)
- Air-source heat pump water heater (Water $T_{\text{out flow}}$ 60°C)

List of modification : Renewable Energy (PV)



E = A * r * H * PR

E = Energy (kWh)
A = Total solar panel Area (m²)
r = solar panel yield (%)
H = Annual average solar radiation on tilted panels (shadings not included)
PR = Performance ratio, coefficient for losses (range between 0.5 and 0.9, default value = 0.75)

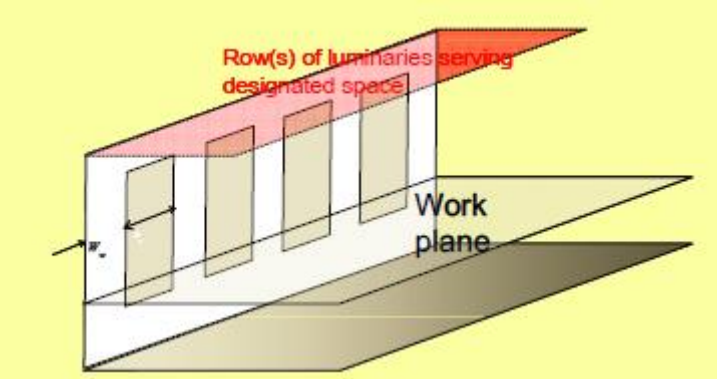
Problem:

There is no renewable energy option available in OpenStudio. However, there is a function available in EnergyPlus.

Requirement:

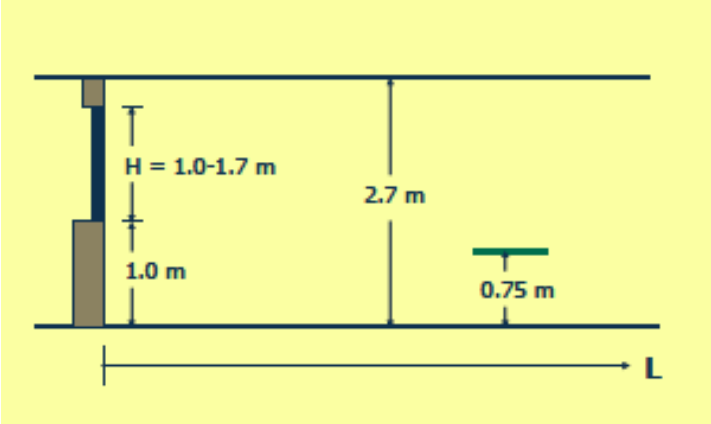
Construction PV function and interface in OpenStudio - Solar Thermal is an optional

List of modification : Daylighting in BEC calculation



$$SC_{eff} \geq 0.3$$

$$SC_{eff} = SC.\tau_{vis}$$



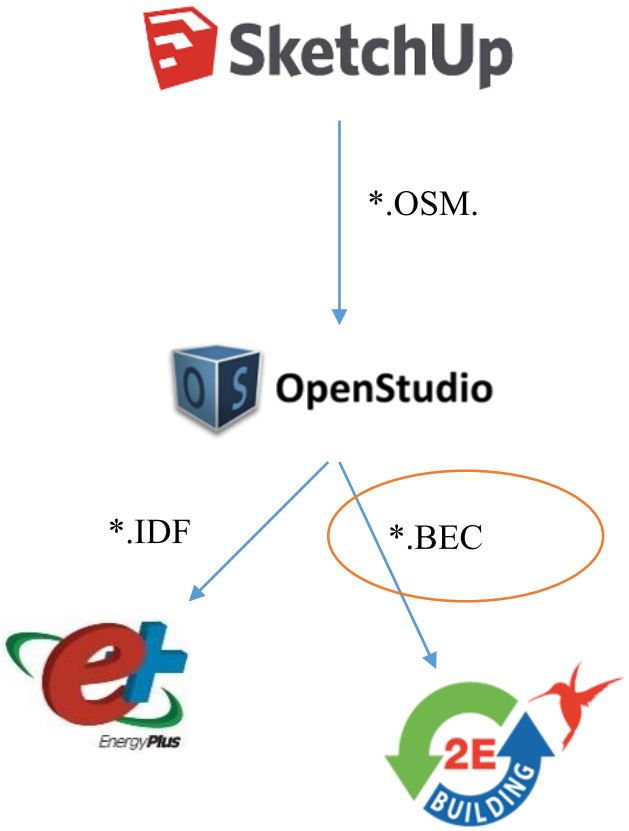
Problem:

BEC give credit to when appropriate glazing are used to encourage daylighting in buildings. The calculation method is different and need manual input from user.

Requirement:

Create the function for manual input lighting power of the row near window when window design is eligible for daylighting credit.

List of modification : Input file for simulation engine



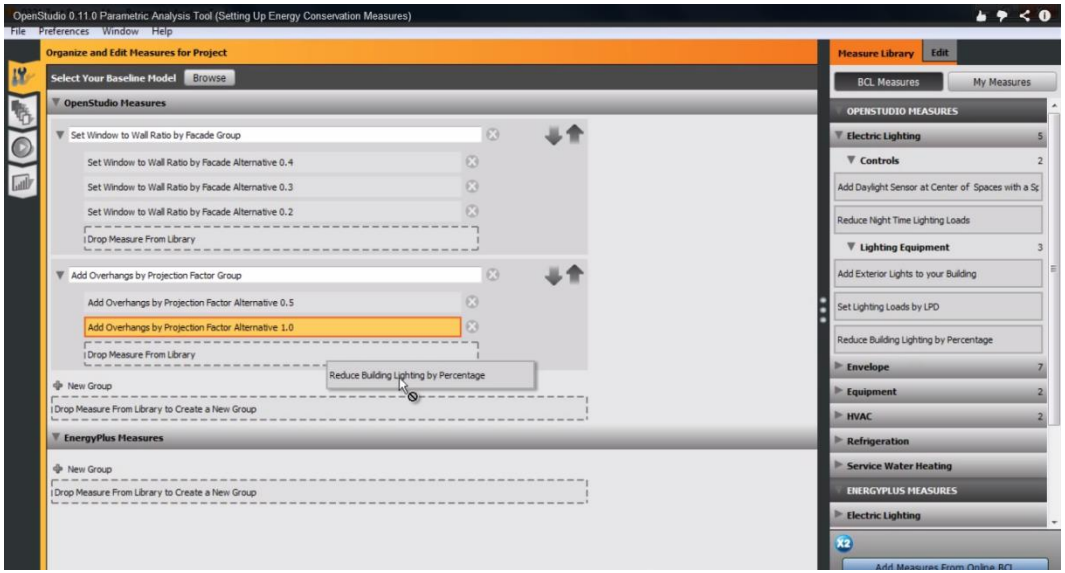
Problem:

The program does not have a capability to export BEC-readable file format (*.bec).

Requirement:

Modified OpenStudio must be able to produce input files for EnergyPlus/BEC
The program must allow user to be able to manually adjust the value of the input file (for BEC) in order to put actual results from the energy conservation measures or estimated results from the selected measures for M&V purpose.

List of modification : Parametric Analysis



Problem:

The program does not have a capability to export BEC-readable file format (*.bec).

Requirement:

Modified PAT to be able to produce input files for BEC

Survey of popular simulation models being used in Thailand

Focus group meeting discussion points

1. What are pros and cons of for the development choice? : SketchUp+OpenStudio+(EnergyPlus&BEC)

2. What type of database should be available in the program? Is there any additional source of database that we could use? : Envelop/HVAC/Lighting/DHW

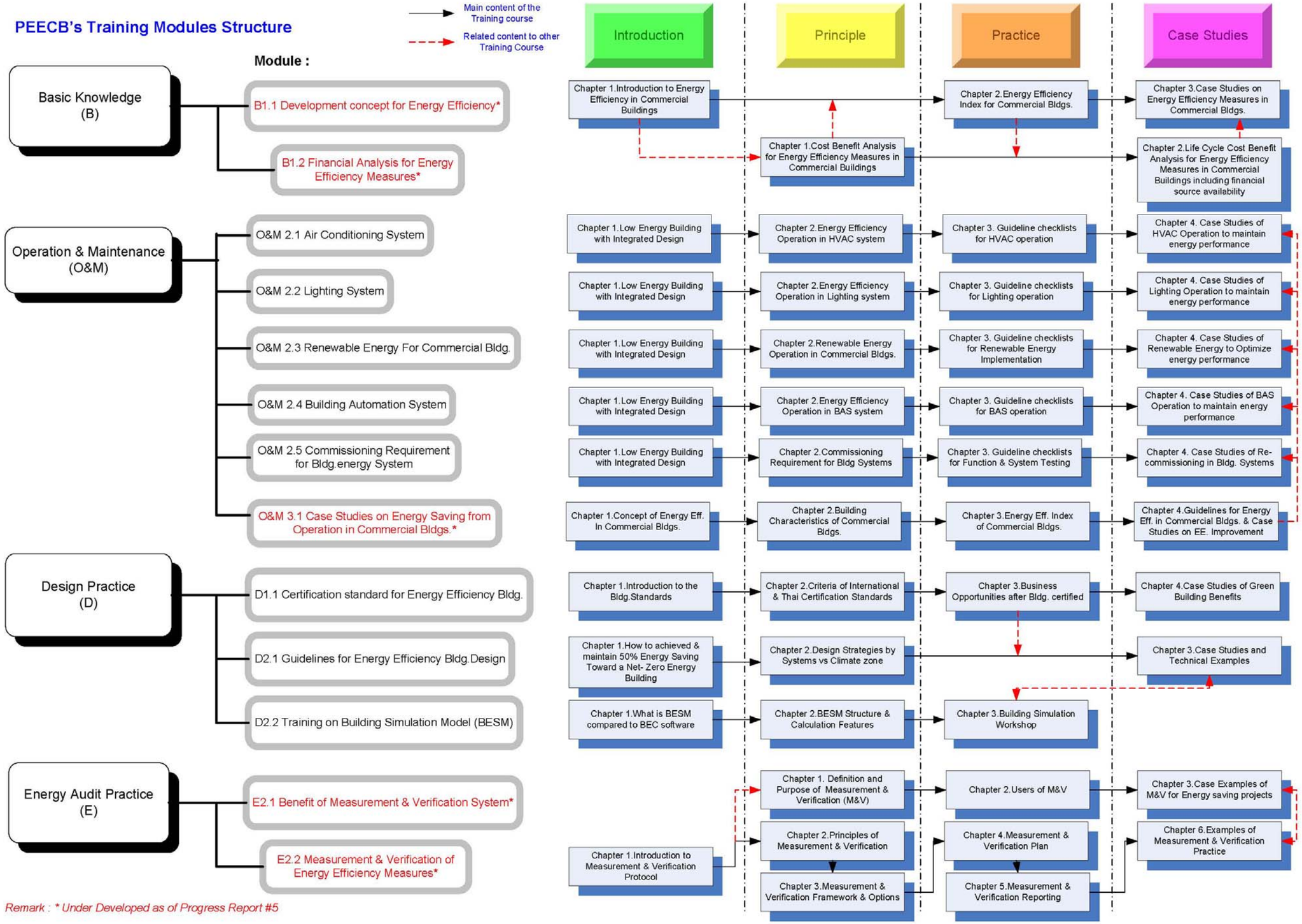
3. Bangkok weather data Bangkok 484560 (IWEC) **will be available. Is there any source of weather data of other provinces that we can use ?**

4. How should building type schedules and user profiles be constructed?

5. To reduce confusion, should some components be removed from the program? : Gas, Steam, Internal Mass, Water Use, Other

6. Any recommendation on how to increase the program use rate among designer teams.

THANK YOU


PEECB's Training Modules Structure
Main content of the Training course
Related content to other Training Course
Module :
Introduction
Principle
Practice
Case Studies
Basic Knowledge (B)
B1.1 Development concept for Energy Efficiency*
B1.2 Financial Analysis for Energy Efficiency Measures*
Operation & Maintenance (O&M)
O&M 2.1 Air Conditioning System
O&M 2.2 Lighting System
O&M 2.3 Renewable Energy For Commercial Bldg.
O&M 2.4 Building Automation System
O&M 2.5 Commissioning Requirement for Bldg.energy System
O&M 3.1 Case Studies on Energy Saving from Operation in Commercial Bldgs.*
Design Practice (D)
D1.1 Certification standard for Energy Efficiency Bldg.
D2.1 Guidelines for Energy Efficiency Bldg.Design
D2.2 Training on Building Simulation Model (BESM)
Energy Audit Practice (E)
E2.1 Benefit of Measurement & Verification System*
E2.2 Measurement & Verification of Energy Efficiency Measures*
Remark : * Under Developed as of Progress Report #5
Chapter 1.Introduction to Energy Efficiency in Commercial Buildings
Chapter 2.Energy Efficiency Index for Commercial Bldgs.
Chapter 3.Case Studies on Energy Efficiency Measures in Commercial Bldgs.
Chapter 1.Cost Benefit Analysis for Energy Efficiency Measures in Commercial Buildings
Chapter 2.Life Cycle Cost Benefit Analysis for Energy Efficiency Measures in Commercial Buildings including financial source availability
Chapter 1.Low Energy Building with Integrated Design
Chapter 2.Energy Efficiency Operation in HVAC system
Chapter 3. Guideline checklists for HVAC operation
Chapter 4. Case Studies of HVAC Operation to maintain energy performance
Chapter 1.Low Energy Building with Integrated Design
Chapter 2.Energy Efficiency Operation in Lighting system
Chapter 3. Guideline checklists for Lighting operation
Chapter 4. Case Studies of Lighting Operation to maintain energy performance
Chapter 1.Low Energy Building with Integrated Design
Chapter 2.Renewable Energy Operation in Commercial Bldgs.
Chapter 3. Guideline checklists for Renewable Energy Implementation
Chapter 4. Case Studies of Renewable Energy to Optimize energy performance
Chapter 1.Low Energy Building with Integrated Design
Chapter 2.Energy Efficiency Operation in BAS system
Chapter 3. Guideline checklists for BAS operation
Chapter 4. Case Studies of BAS Operation to maintain energy performance
Chapter 1.Low Energy Building with Integrated Design
Chapter 2.Commissioning Requirement for Bldg Systems
Chapter 3. Guideline checklists for Function & System Testing
Chapter 4. Case Studies of Re-commissioning in Bldg. Systems
Chapter 1.Concept of Energy Eff. In Commercial Bldgs.
Chapter 2.Building Characteristics of Commercial Bldgs.
Chapter 3.Energy Eff. Index of Commercial Bldgs.
Chapter 4.Guidelines for Energy Eff. in Commercial Bldgs. & Case Studies on EE. Improvement
Chapter 1.Introduction to the Bldg.Standards
Chapter 2.Criteria of International & Thai Certification Standards
Chapter 3.Business Opportunities after Bldg. certified
Chapter 4.Case Studies of Green Building Benefits
Chapter 1.How to achieved & maintain 50% Energy Saving Toward a Net- Zero Energy Building
Chapter 2.Design Strategies by Systems vs Climate zone
Chapter 3.Case Studies and Technical Examples
Chapter 1.What is BESM compared to BEC software
Chapter 2.BESM Structure & Calculation Features
Chapter 3.Building Simulation Workshop
Chapter 1. Definition and Purpose of Measurement & Verification (M&V)
Chapter 2.Users of M&V
Chapter 3.Case Examples of M&V for Energy saving projects
Chapter 1.Introduction to Measurement & Verification Protocol
Chapter 2.Principles of Measurement & Verification
Chapter 4.Measurement & Verification Plan
Chapter 6.Examples of Measurement & Verification Practice
Chapter 3.Measurement & Verification Framework & Options
Chapter 5.Measurement & Verification Reporting

PEECB's Training Modules Structure : B1.1 & B1.2

Module :

Basic Knowledge (B)

- B1.1 Development concept for Energy Efficiency*
- B1.2 Financial Analysis for Energy Efficiency Measures*

Introduction	Principle	Practice	Case Studies
Chapter 1.Introduction to Energy Efficiency in Commercial Buildings		Chapter 2.Energy Efficiency Index for Commercial Bldgs.	Chapter 3.Case Studies on Energy Efficiency Measures in Commercial Bldgs.
1.1 Building Energy Efficiency with Developer's Perspective - Sustainable Building - Project Integration into ZEB **1.2 Hospital Building Characteristics** - Energy Consumption - Factors Affected Energy Efficiency **1.3 Hotel Building Characteristics** - Energy Consumption - Factors Affected Energy Efficiency **1.4 Department store Building Characteristics** - Energy Consumption - Factors Affected Energy Efficiency **1.5 Office Building Characteristics** - Energy Consumption - Factors Affected Energy Efficiency		**2.1 Energy Efficiency Index for Commercial Buildings** - SEC of Hospital Buildings - SEC of Hotel Buildings - SEC of Department Store Buildings - SEC of Educational Buildings - SEC of Office Buildings - SEC of Other Buildings **2.2 Normalization of SECs** - Normalization Process	**3.1 Case Studies on Energy Efficiency Measures in Office Buildings** 1.Research Support Facility (RSF),NREL, USA 2.BCA Academy, Singapore 3.ENCO , Thailand 4.Pearl River Tower, China **3.2 Case Studies on Energy Efficiency Measures in Hospital Buildings** 1.Okinawa Medical Center, Japan **3.3 Case Studies on Energy Efficiency Measures in Hotel Buildings** 1.ETAP Hotel, France **3.4 Case Studies on Energy Efficiency Measures in Department Store Buildings** 1.AEON Mall, Japan
Chapter 1.Cost Benefit Analysis for Energy Efficiency Measures in Commercial Buildings			Chapter 2.Life Cycle Cost Benefit Analysis for Energy Efficiency Measures in Commercial Buildings including financial source availability
1.1 Basic Tools for Economic Calculation - BCR (Benefit-Cost Ratio) - SPP (Simple Payback Period) - NPV (Net Present Value) - IRR (Internal Rate of Return) **1.2 Examples of Cost-Effectiveness points of view** - Cash Flow Projection - IRR Projection - Comparing the Profitability or Upgrade Options - Assemble a Profitable Package			**2.1 Why do we need Life-Cycle Cost Analysis (LCCA).?** - What is LCCA.? - Obstacles of LCCA **2.2 Life-Cycle Cost Calculations** - Example of Base Case - Example of Alternative Case **2.3 Financial Evaluation Criteria** - Life Cycle Cost (LCC) - Net saving (NS) - Savings-to Investment Ratio (SIR) - Adjusted Internal Rate of Return (AIRR) - Simple & Discounted Payback (SPB & DPB) **2.4 Case Example of Decision on Optimal System Type**

*Remark : * Under Developed as of Progress Report #5*

PEECB's Training Modules Structure : O&M 2.1, O&M 2.2

Module :

- Operation & Maintenance (O&M)
  - O&M 2.1 Air Conditioning System
  - O&M 2.2 Lighting System
  - O&M 2.3 Renewable Energy For Commercial Bldg.
  - O&M 2.4 Building Automation System
  - O&M 2.5 Commissioning Requirement for Bldg.energy System
  - O&M 3.1 Case Studies on Energy Saving from Operation in Commercial Bldgs.*

Introduction	Principle	Practice	Case Studies
Chapter 1.Low Energy Building with Integrated Design	Chapter 2.Energy Efficiency Operation in HVAC system	Chapter 3. Guideline checklists for HVAC operation	Chapter 4. Case Studies of HVAC Operation to maintain energy performance
1.1 Principle of Integrated Design - What is Integrated Design.? - Why use Integrated Design to Maximize energy efficiency.? **1.2 Energy Efficiency Strategies for Integrated Design** - Setting Energy Target - Overview of Design Influences **1.3 Low Energy Building Criteria** - ECON Building - ZEB Building	**2.1 HVAC equipment & Performance** - Cooling Supply equipment - Cooling Demand equipment **2.2 HVAC system & Performance** - Central System - Split System - Hybrid System **2.3 Control Conditions in HVAC system** - Fully Operated Condition - Partly Operated Condition	**3.1 Guideline & Checklist for energy performance monitoring** - Central System - Split System - Hybrid System **3.2 Guideline & Checklist for energy saving opportunities in O&M** - Central System - Split System - Hybrid System	**4.1 Case Studies of HVAC operation** - Fully Occupied Period - Partly Occupied Period **4.2 Sensitivity Analysis of HVAC Improvement** - By energy cost (Baht/kWh) -By performance (kWh/m2)
Chapter 1.Low Energy Building with Integrated Design	Chapter 2.Energy Efficiency Operation in Lighting system	Chapter 3. Guideline checklists for Lighting operation	Chapter 4. Case Studies of Lighting Operation to maintain energy performance
1.1 Principle of Integrated Design - What is Integrated Design.? - Why use Integrated Design to Maximize energy efficiency.? **1.2 Energy Efficiency Strategies for Integrated Design** - Setting Energy Target - Overview of Design Influences **1.3 Low Energy Building Criteria** - ECON Building - ZEB Building	**2.1 Lighting equipment & Performance** - Indoor Lighting - Outdoor Lighting **2.2 Lighting system & Performance** - General Lighting System - Task Lighting System - Hybrid System **2.3 Control Conditions in Lighting system** - Fully Operated Condition - Partly Operated Condition	**3.1 Guideline & Checklist for energy performance monitoring** - General Lighting System - Task Lighting System - Hybrid System **3.2 Guideline & Checklist for energy saving opportunities in O&M** - General Lighting System - Task Lighting System - Hybrid System	**4.1 Case Studies of Lighting operation** - Fully Occupied Period - Partly Occupied Period **4.2 Sensitivity Analysis of Lighting Improvement** - By energy cost (Baht/kWh) -By performance (kWh/m2)

*Remark : * Under Developed as of Progress Report #5*

PEECB's Training Modules Structure : O&M2.3, 2.4

Module :

- Operation & Maintenance (O&M)
  - O&M 2.1 Air Conditioning System
  - O&M 2.2 Lighting System
  - O&M 2.3 Renewable Energy For Commercial Bldg.
  - O&M 2.4 Building Automation System
  - O&M 2.5 Commissioning Requirement for Bldg.energy System
  - O&M 3.1 Case Studies on Energy Saving from Operation in Commercial Bldgs.*

*Remark : * Under Developed as of Progress Report #5*

O&M 2.3 Renewable Energy For Commercial Bldg.

Introduction	Principle	Practice	Case Studies
Chapter 1.Low Energy Building with Integrated Design	Chapter 2.Renewable Energy Operation in Commercial Bldgs.	Chapter 3. Guideline checklists for Renewable Energy Implementation	Chapter 4. Case Studies of Renewable Energy to Optimize energy performance
1.1 Principle of Integrated Design - What is Integrated Design.? - Why use Integrated Design to Maximize energy efficiency.? **1.2 Energy Efficiency Strategies for Integrated Design** - Setting Energy Target - Overview of Design Influences **1.3 Low Energy Building Criteria** - ECON Building - ZEB Building	**2.1 Renewable Energy equipment & Performance** - Solar PV/Solar Collector - Wind Turbine Generator **2.2 Renewable Energy system & Performance** - Passive System - Active System - Hybrid System **2.3 Control Conditions in Renewable Energy system** - Fully Operated Condition - Partly Operated Condition	**3.1 Guideline & Checklist for renewable energy implementation** - Passive System - Active System - Hybrid System	**4.1 Case Studies of Renewable Energy in operation** - Fully Occupied Period - Partly Occupied Period **4.2 Sensitivity Analysis of Renewable Energy Potential** - By energy cost (Baht/kWh) - By performance (kWh/m2)

O&M 2.4 Building Automation System

Chapter 1.Low Energy Building with Integrated Design	Chapter 2.Energy Efficiency Operation in BAS system	Chapter 3. Guideline checklists for BAS operation	Chapter 4. Case Studies of BAS Operation to maintain energy performance
1.1 Principle of Integrated Design - What is Integrated Design.? - Why use Integrated Design to Maximize energy efficiency.? **1.2 Energy Efficiency Strategies for Integrated Design** - Setting Energy Target - Overview of Design Influences **1.3 Low Energy Building Criteria** - ECON Building - ZEB Building	**2.1 BAS equipment & Functions** - Network Control Units - Field Devices **2.2 Control Strategies in BAS system** - Event/Alarm/Trend/Schedule - Fully Operated Condition - Partly Operated Condition	**3.1 Guideline & Checklist for energy performance monitoring** - Fully Operated Condition - Partly Operated Condition **3.2 Guideline & Checklist for energy saving opportunities in BAS** - Fully Operated Condition - Partly Operated Condition	**4.1 Case Studies of BAS operation** - Fully Occupied Period - Partly Occupied Period

PEECB's Training Modules Structure : O&M 2.5, 3.1

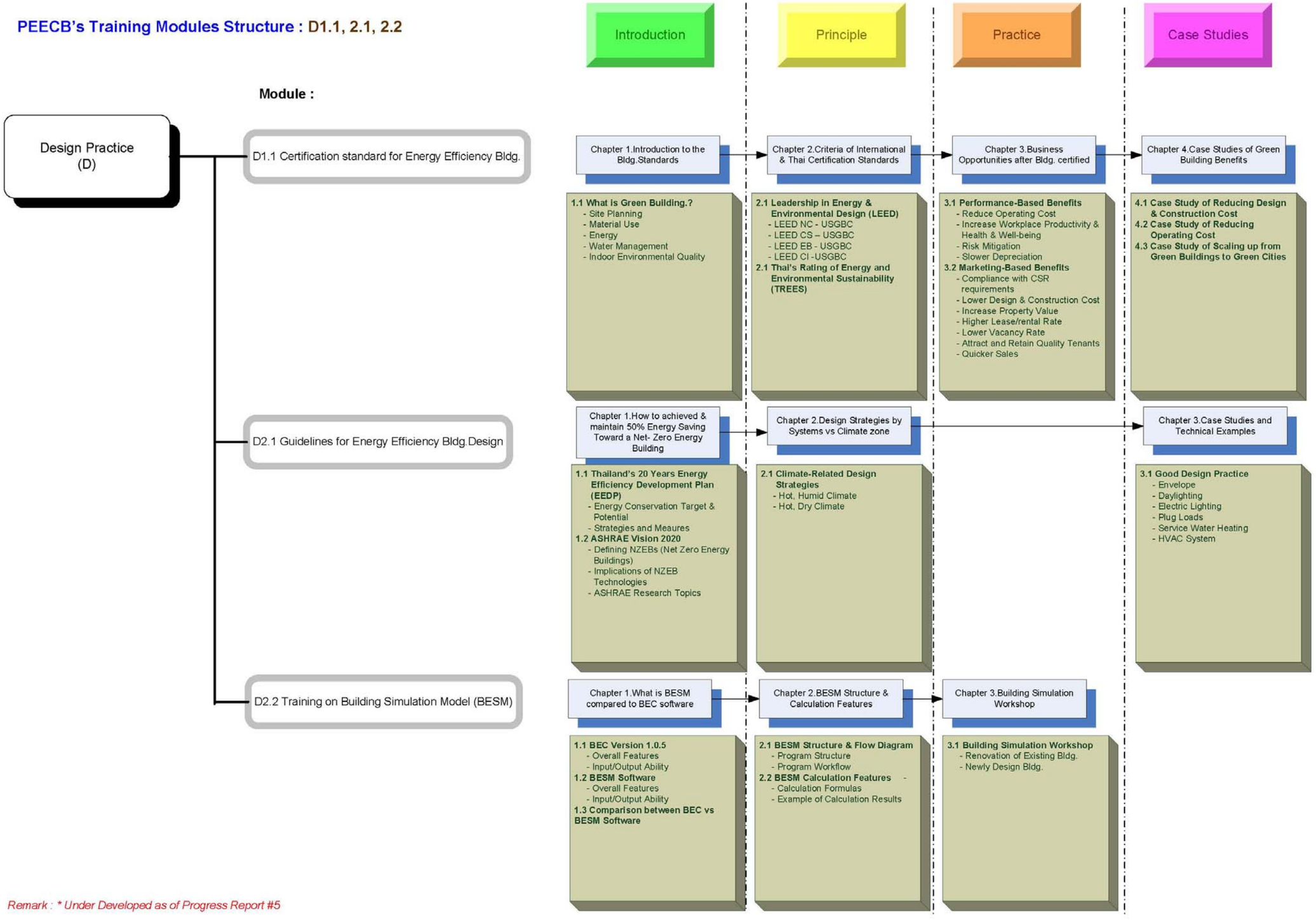
Module :

- Operation & Maintenance (O&M)
  - O&M 2.1 Air Conditioning System
  - O&M 2.2 Lighting System
  - O&M 2.3 Renewable Energy For Commercial Bldg.
  - O&M 2.4 Building Automation System
  - O&M 2.5 Commissioning Requirement for Bldg.energy System
  - O&M 3.1 Case Studies on Energy Saving from Operation in Commercial Bldgs.*

Introduction	Principle	Practice	Case Studies
Chapter 1.Low Energy Building with Integrated Design	Chapter 2.Commissioning Requirement for Bldg Systems	Chapter 3. Guideline checklists for Function & System Testing	Chapter 4. Case Studies of Re-commissioning in Bldg. Systems
1.1 Principle of Integrated Design - What is Integrated Design.? - Why use Integrated Design to Maximize energy efficiency.? **1.2 Energy Efficiency Strategies for Integrated Design** - Setting Energy Target - Overview of Design Influences **1.3 Low Energy Building Criteria** - ECON Building - ZEB Building	**2.1 LEED Enhanced Commissioning Process** - Conceptual Design - Design Development Document - Construction Document - Construction - Verify Installation - Verify Functional Performance - Verify Training & Documentation **2.2 Commissioning requirement for HVAC System** **2.3 Commissioning requirement for Lighting System** **2.4 Commissioning requirement for Hot Water System** **2.5 Commissioning requirement for Generation by Renewable Energy**	**3.1 Guideline & Checklist for Pre-functional** **3.2 Guideline & Checklist for Function Test** **3.3 Guideline & Checklist for System Test**	**4.1 Case Studies of Re-commissioning in HVAC System** **4.2 Case Studies of Re-commissioning in Lighting System**
Chapter 1.Concept of Energy Eff. In Commercial Bldgs.	Chapter 2.Building Characteristics of Commercial Bldgs.	Chapter 3.Energy Eff. Index of Commercial Bldgs.	Chapter 4.Guidelines for Energy Eff. in Commercial Bldgs. & Case Studies on EE. Improvement
1.1 Laws associated with Commercial Buildings by Type - Hospital Bldgs. - Hotel Bldgs. - Department Store Bldgs. - Office Bldgs. **1.2 Standard & Code associated with Hospital Buildings by Type** - Hospital Bldgs. - Hotel Bldgs. - Department Store Bldgs. - Office Bldgs.	**2.1 General Information of Commercial Building by Type** - Hospital Bldgs. - Hotel Bldgs. - Department Store Bldgs. - Office Bldgs. **2.2 Building Classification** - Hospital Bldgs. - Hotel Bldgs. - Department Store Bldgs. - Office Bldgs. **2.3 Main Equipment in Building by Area** - Hospital Bldgs. - Hotel Bldgs. - Department Store Bldgs. - Office Bldgs. **2.4 Energy Profiles of Building**	**3.1 Energy Efficiency Index for Commercial Buildings** - SEC of Hospital Buildings - SEC of Hotel Buildings - SEC of Department Store Buildings - SEC of Educational Buildings - SEC of Office Buildings - SEC of Other Buildings **3.2 Normalization of SECs** - Normalization Process	**4.1 Guideline & Checklist for Energy Efficiency Improvement** - Guidelines for consideration - Checklist by System **4.2 Case Studies on EE. Improvement** - Whole Bldg. Operation Measures - Whole Bldg. Maintenance Measures - Whole Bldg. Renovation Measures

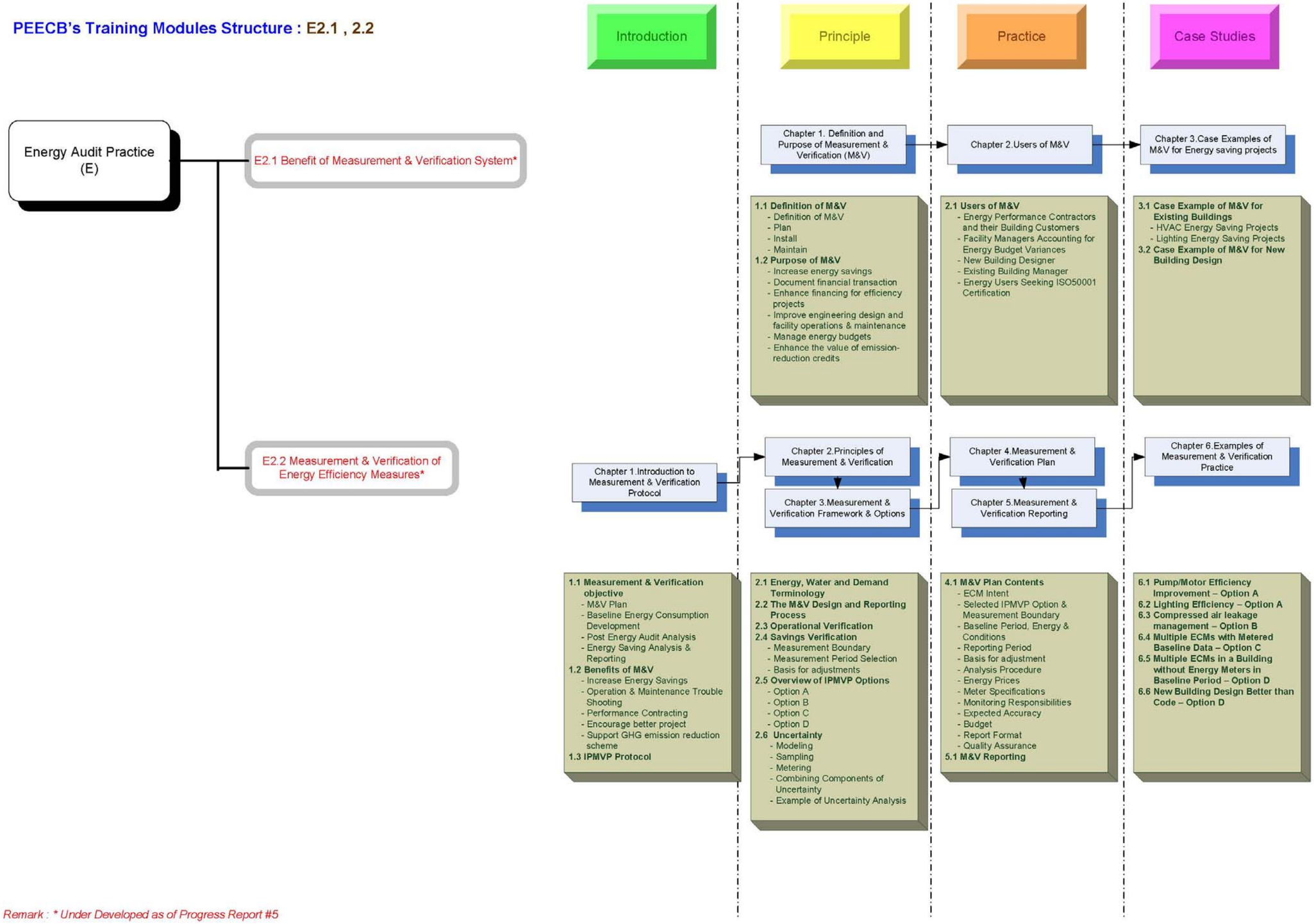
*Remark : * Under Developed as of Progress Report #5*

PEECB's Training Modules Structure : D1.1, 2.1, 2.2



*Remark : * Under Developed as of Progress Report #5*

PEECB's Training Modules Structure : E2.1 , 2.2



*Remark : * Under Developed as of Progress Report #5*

โครงสร้างวิชา (Module's Structure)

หมวดวิชา GROUP	การใช้งานและการบำรุงรักษา OPERATION & MAINTENANCE (O&M)	O&M
วิชา Module	กรณีศึกษาการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารธุรกิจประเภทโรงพยาบาล Case Studies on Energy Saving from Operation in Commercial Buildings	3.1 (M2)
เวลาอบรม	1 วัน (6 ชั่วโมง)	
Version	1.0 , มีนาคม 2557	
ความรู้พื้นฐานที่ต้องการ	OM2.1 – Air conditioning system OM2.2 – Lighting system OM2.3 – Renewable energy for commercial buildings OM2.4 – Building Automation system (BAS) OM2.5 – Commissioning requirement for building energy systems D2.1 – Guidelines for Energy Efficient Building Design E2.1 – Benefit of Measurement & Verification System E2.2 – Measurement and Verification Plan and Reporting	

หัวข้อวิชา

Chapter 1 Concept of Energy Efficiency in Hospital Buildings
บทที่ 1 แนวคิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับอาคารประเภทโรงพยาบาล
1.1 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับอาคารโรงพยาบาล
1.2 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับอาคารโรงพยาบาล

Chapter 2 Building Characteristics of Hospital Buildings
บทที่ 2 ข้อมูลลักษณะเฉพาะของอาคารประเภทโรงพยาบาล
2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงพยาบาล
2.2 การจำแนกประเภทของโรงพยาบาล
2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโรงพยาบาล แยกตามพื้นที่ใช้งาน
2.4 ลักษณะการใช้พลังงานของอาคารโรงพยาบาล

Chapter 3 Energy Efficiency Index of Hospital Buildings
บทที่ 3 ดัชนีประสิทธิภาพพลังงานของอาคารประเภทโรงพยาบาล
3.1 ดัชนีประสิทธิภาพพลังงานของอาคารโรงพยาบาล
3.2 การปรับค่าดัชนีประสิทธิภาพพลังงานเพื่อเข้าสู่ค่ามาตรฐาน (Normalization)

Chapter 4 Guidelines for Energy Efficiency in Hospital Buildings & Case Studies on Energy Efficiency Improvement
บทที่ 4 แนวทางและกรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคารโรงพยาบาล
4.1 รายการตรวจสอบการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคารโรงพยาบาล
4.2 กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคารโรงพยาบาล

หมวดวิชา GROUP	การใช้งานและการบำรุงรักษา OPERATION & MAINTENANCE (O&M)	O&M
วิชา Module	กรณีศึกษาการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารธุรกิจประเภทโรงพยาบาล Case Studies on Energy Saving from Operation in Commercial Buildings	3.1 (M2)
เวลาอบรม	1 วัน (6 ชั่วโมง)	
Version	1.0 , มีนาคม 2557	
ความรู้พื้นฐานที่ต้องการ	OM2.1 – Air conditioning system OM2.2 – Lighting system OM2.3 – Renewable energy for commercial buildings OM2.4 – Building Automation system (BAS) OM2.5 – Commissioning requirement for building energy systems D2.1 – Guidelines for Energy Efficient Building Design E2.1 – Benefit of Measurement & Verification System E2.2 – Measurement and Verification Plan and Reporting	

Chapter 1 Concept of Energy Efficiency in Hospital Buildings
บทที่ 1 แนวคิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับอาคารประเภทโรงพยาบาล

1.1 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับอาคารโรงพยาบาล
1.2 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับอาคารโรงพยาบาล

บทที่ 1
แนวคิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับอาคารประเภทโรงพยาบาล

อาคารโรงพยาบาล เป็นอาคารประเภทหนึ่งที่มีการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมงต่อวัน และ 365 วันต่อปี ดังนั้น ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานตลอดการใช้งานของอายุอาคารโรงพยาบาลจึงมีนัยสำคัญค่อนข้างมาก ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโครงการอาคารธุรกิจตลอดจนการใช้งานและการบำรุงรักษาอาคารจึงควรที่มีแนวคิดและความรู้ความเข้าใจที่สอดคล้องกัน จึงจะสามารถทำให้อาคารธุรกิจนั้นๆ สามารถที่จะดำเนินธุรกิจได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโครงการที่เหมาะสมต่อการใช้งานอาคารในระยะยาว มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและการบำรุงรักษาที่ต่ำ มีผลการดำเนินธุรกิจที่สามารถสร้างความพึงพอใจแก่ผู้มาใช้บริการทั้งในด้านความปลอดภัยและสุขอนามัย ดังนั้น ความมุ่งหมายของเนื้อหาวิชาบทต่อๆ ไปที่จะกล่าวถึงนี้ จะเน้นไปที่การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับโครงการก่อสร้างใหม่ รวมถึงการพิจารณาปรับปรุงการใช้งานและการบำรุงรักษาอาคารเดิมเพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันทางธุรกิจในปัจจุบันและในอนาคตต่อไป

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากอาคารโรงพยาบาล เป็นอาคารที่ต้องให้ความสำคัญกับมาตรฐานหรือคุณภาพการให้การบริการเป็นหลัก เช่น การควบคุมอัตราการระบายอากาศและการเติมอากาศบริสุทธิ์เพื่อป้องกันการติดเชื้อภายในบริเวณต่างๆ เป็นต้น ดังนั้น จึงควรพิจารณาถึงกฎหมาย และมาตรฐานการออกแบบและใช้งานที่เกี่ยวข้องกับอาคารโรงพยาบาล ซึ่งมีหัวข้อดังต่อไปนี้

1.1 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับอาคารโรงพยาบาล

พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร

พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร ประกาศใช้ในปี พ.ศ. 2522 มีการแก้ไขเพิ่มเติม และมีกฎกระทรวงออกตามมาหลายฉบับ โดยมีฉบับที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานอาคารและการอนุรักษ์พลังงาน ดังนี้

- กฎกระทรวงฉบับที่ 33
- กฎกระทรวงฉบับที่ 39
- กฎกระทรวงฉบับที่ 50

พ.ร.บ. ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

พ.ร.บ. ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ประกาศใช้ในปี พ.ศ. 2535 โดยมีส่วนที่สำคัญต่อการใช้งานอาคารคือ

- ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด

พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ประกาศใช้ในปี พ.ศ. 2535 และมีการแก้ไขเพิ่มเติมในปี พ.ศ.2550 โดยมีพระราชกฤษฎีกา กฎกระทรวง และประกาศกระทรวงฯ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานอาคาร ดังนี้

- พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ.2538
- กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ.2552

- กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือ ขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552
- ประกาศกระทรวงเรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น และค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ.2552

1.2 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับอาคารโรงพยาบาล

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) เช่น

- มาตรฐานการติดตั้งสัญญาณเตือนอัคคีภัย
- มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย
- มาตรฐานท่อในอาคาร
- มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ
- มาตรฐานก๊าซหุงต้ม
- มาตรฐานระบบไอน้ำ
- มาตรฐานป้องกันอัคคีภัย
- มาตรฐานระบบเครื่องกลขนส่งในอาคาร (ลิฟต์)
- การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร
- คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำเสียและน้ำฝน

American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE) เช่น

- ASHRAE Standard 15 Safety Code for Mechanical Refrigeration
- ASHRAE Standard 62 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality
- ASHRAE Standard 90.1 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings
- ASHRAE Handbook

National Fire Protection Association (NFPA) เช่น

- NFPA 1: Fire Prevention Code
- NFPA 10: Standard for Portable Fire Extinguishers
- NFPA 11: Standard for Low-Expansion Foam
- NFPA 13: Installation of Sprinkler Systems, 1999
- NFPA 14: Standard for the Installation of Standpipe, Private Hydrants and Hose Systems
- NFPA 20: Standard for the Installation of Stationary Fire Pumps for Fire Protection
- NFPA 22: Standard for Water Tanks for Private Fire Protection
- NFPA 24: Installation of Private Fire Service Mains and Their Appurtenances

- NFPA 70: National Electrical Code
- NFPA 72: National Fire Alarm Code
- NFPA 90A: Standard for the Installation of Air Conditioning and Ventilating Systems
- NFPA 92A: Recommended Practice for Smoke-Control Systems
- NFPA 92B: Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Areas
- NFPA 96: Standard for Ventilation Control and Fire Protection of Commercial Cooking Operations
- NFPA 99: Standard for Health Care Facilities
- NFPA 101: Life Safety Code

IES - Lighting Design Handbook

Illuminating Engineering Society เป็นองค์ทางวิชาชีพทางด้านไฟฟ้าส่องสว่าง ได้ออกคู่มือการออกแบบ โดยมีคำแนะนำระดับค่าความส่องสว่างในพื้นที่แต่ละประเภทไว้และเป็นเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในต่างประเทศ และในประเทศไทย

ASPE - Handbook

American Society of Plumbing Engineers เป็นองค์ทางวิชาชีพทางด้านระบบท่อ, ระบบประปา, ระบบระบายน้ำเสียน้ำทิ้ง มีคู่มือสำหรับวิศวกรสุขาภิบาลใช้ในการออกแบบ เป็นเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในต่างประเทศ และในประเทศไทย

มาตรฐานส่วนใหญ่ในการออกแบบอาคารมักจะเป็นมาตรฐานทางด้านความปลอดภัย และสุขอนามัย เช่น เป็นมาตรฐานเกี่ยวกับการป้องกันการเกิดอัคคีภัย, มาตรฐานเกี่ยวกับการระบายอากาศในอาคาร, มาตรฐานป้องกันการเกิดอันตรายจากกระแสไฟฟ้า, มาตรฐานค่าระดับการส่องสว่าง เป็นต้น ดังนั้น เพื่อรักษาระดับความปลอดภัยและสุขอนามัยให้ได้เหมือนเดิม อย่างไรก็ตามยังมีมาตรฐานที่เกี่ยวกับโรงพยาบาลที่ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับและดำเนินการอย่างแพร่หลาย นั่นคือ มาตรฐาน HA

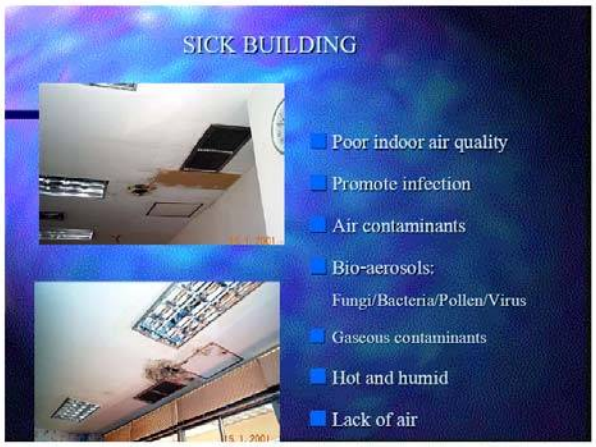
มาตรฐาน HA (Hospital Accreditation)

HA คือ มาตรฐานคุณภาพการบริหารและการให้บริการของโรงพยาบาล และส่วนหนึ่งของ HA คือเรื่องการบริหารความเสี่ยง หรือ Risk Management ซึ่งมีเหตุผลของความเสี่ยงในการให้บริการของโรงพยาบาลอยู่หลายด้านด้วยกัน เช่น ความเสี่ยงทางด้านกายภาพ ได้แก่ การควบคุมคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ไม่ดีสามารถให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อแบคทีเรียและไวรัสต่างๆ (Sick Building Syndrome) เป็นต้น

ดังนั้น ก่อนหรือระหว่างการพิจารณาแนวทางการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานจึงควรพิจารณาการควบคุมสภาพการใช้งานอาคารให้ได้ตามมาตรฐานต่างๆ ข้างต้น โดยมีประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

- การตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในอาคาร เช่น การวัดปริมาณฝุ่นละอองและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- การเกิดเชื้อราภายในห้อง ภายในท่อลมของระบบปรับอากาศ
- การบำรุงรักษาอุปกรณ์ตามระยะเวลาที่เหมาะสม
- การแยกพื้นที่ เพื่อป้องกันการแพร่เชื้อและการแพร่ควันไฟและลุกลามของเพลิงไหม้ โดยการแยกพื้นที่ที่ดีที่สุดคือการแยกอาคารออกจากกันเท่าที่จะทำได้
- การควบคุมความดันอากาศที่เหมาะสมในบริเวณต่างๆ จากปริมาณอากาศบริสุทธิ์ที่เติม ปริมาณการรั่วซึมและการระบายอากาศ เพื่อป้องกันอากาศภายนอกที่เข้าสู่ตัวอาคาร/ป้องกันการติดเชื้อ หรือ ป้องกันอากาศที่มีเชื้อแพร่กระจายออกสู่บริเวณต่างๆ ได้โดยง่าย เป็นต้น

“โรงพยาบาลที่ปรับปรุงจนได้มาตรฐานจะมีค่าใช้จ่ายลดลง ลดการสูญเสีย ลดการรั่วไหล และลดเบี้ยประกันภัย ในขณะเดียวกันก็จะเป็นโรงพยาบาลที่มีชื่อเสียง เป็นที่ยอมรับ และมีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลา” (เกชา ธีระโกเมน, บ.อีอีซี เอ็นจิเนียริ่ง เน็ทเวอร์ค จก.)





หมวดวิชา GROUP	การใช้งานและการบำรุงรักษา OPERATION & MAINTENANCE (O&M)	O&M
วิชา Module	กรณีศึกษาการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารธุรกิจประเภทโรงพยาบาล Case Studies on Energy Saving from Operation in Commercial Buildings	3.1 (M2)
เวลาอบรม	1 วัน (6 ชั่วโมง)	
Version	1.0 , มีนาคม 2557	
ความรู้พื้นฐานที่ต้องการ	OM2.1 – Air conditioning system OM2.2 – Lighting system OM2.3 – Renewable energy for commercial buildings OM2.4 – Building Automation system (BAS) OM2.5 – Commissioning requirement for building energy systems D2.1 – Guidelines for Energy Efficient Building Design E2.1 – Benefit of Measurement & Verification System E2.2 – Measurement and Verification Plan and Reporting	

Chapter 2 Building Characteristics of Hospital Buildings

บทที่ 2 ข้อมูลลักษณะเฉพาะของอาคารประเภทโรงพยาบาล

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงพยาบาล

2.2 การจำแนกประเภทของโรงพยาบาล

2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโรงพยาบาล แยกตามพื้นที่ใช้งาน

2.4 ลักษณะการใช้พลังงานของอาคารโรงพยาบาล

บทที่ 2
ข้อมูลลักษณะเฉพาะของอาคารประเภทโรงพยาบาล

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงพยาบาล

2.1.1 คำจำกัดความของโรงพยาบาล

องค์การอนามัยโลก (World Health Organization หรือ WHO) ได้ให้ความหมายของโรงพยาบาลว่า เป็นองค์กรที่ทำงานด้านการแพทย์ทั้งในสถานที่และในชุมชน มีหน้าที่ในการให้บริการสาธารณสุขทุกด้านแก่ประชาชนทั้งด้านการรักษาพยาบาล การป้องกันโรค การบริการผู้ป่วย ควรครอบคลุมขยายไปถึงบ้านของผู้ป่วยเอง โรงพยาบาลยังเป็นที่ฝึกอบรมของบุคลากรสาธารณสุขและค้นคว้าวิจัยปัญหาสาธารณสุขของชุมชนอีกด้วย

แม้คำว่า *"โรงพยาบาล"* จะมิได้ถูกบัญญัติไว้ใน พระราชบัญญัติสถานพยาบาล (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2547 แต่ได้ให้นิยามคำว่า "สถานพยาบาล" ไว้ หมายถึง สถานที่รวมตลอดถึงยานพาหนะซึ่งจัดไว้เพื่อการประกอบโรคศิลปะตามกฎหมายว่าด้วยการประกอบโรคศิลปะ การประกอบวิชาชีพเวชกรรม ตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพเวชกรรม การประกอบวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์ตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์ การประกอบวิชาชีพทันตกรรมว่าด้วยกฎหมายวิชาชีพทันตกรรม การประกอบวิชาชีพกายภาพบำบัดตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพกายภาพบำบัด หรือการประกอบวิชาชีพเทคนิคการแพทย์ตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพเทคนิคการแพทย์ ทั้งนี้โดยกระทำเป็นปกติธุระไม่ว่าจะได้รับประโยชน์ตอบแทนหรือไม่ แต่ไม่รวมถึงสถานที่ขายยาตามกฎหมายว่าด้วยยา ซึ่งประกอบธุรกิจการขายยาโดยเฉพาะ **แต่ได้มีการให้ความหมายของคำว่า *"โรงพยาบาล"* ตามกฎกระทรวงว่าด้วยลักษณะของสถานพยาบาลและลักษณะการให้บริการของสถานพยาบาล พ.ศ. 2545 ออกตามความในพระราชบัญญัติสถานพยาบาล พ.ศ. 2541 หมวด 2 ลักษณะของสถานพยาบาลและลักษณะการให้บริการของสถานพยาบาลประเภทที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืน ข้อ 4 (1) "โรงพยาบาล" เป็นสถานพยาบาลที่จัดให้บริการผู้ป่วยโดยสามารถรับผู้ป่วยไว้ค้างคืนเกินสามสิบเตียงขึ้นไป ซึ่งมีบริการด้านเวชกรรม ด้านการพยาบาล ด้านเภสัชกรรม และด้านเทคนิคการแพทย์เป็นอย่างน้อย และอาจจะมีบริการด้านทันตกรรมหรือด้านการประกอบโรคศิลปะอื่นๆ**

2.2 การจำแนกประเภทของโรงพยาบาล

ประเภทของโรงพยาบาล มีการจำแนกได้อยู่หลายวิธี โดยมีการจำแนกด้วยองค์กรที่เกี่ยวข้อง จำแนกด้วยจำนวนเตียง จำแนกด้วยลักษณะกิจการสถานพยาบาลตามที่กฎหมายกำหนด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 กระทรวงสาธารณสุข ได้แบ่งประเภทของโรงพยาบาลตามจำนวนของเตียงที่มีอยู่ในโรงพยาบาลดังนี้

1) โรงพยาบาลมหาราช หรือโรงพยาบาลศูนย์ประจำจังหวัด มีจำนวนเตียงระหว่าง 600 -1,000 เตียง
2) โรงพยาบาลศูนย์ มีจำนวนเตียงระหว่าง 500 – 600 เตียง
3) โรงพยาบาลทั่วไป แบ่งเป็น 2 ขนาด คือขนาด 150- 250 เตียง และขนาด 250 – 500 เตียง
4) โรงพยาบาลชุมชน แบ่งเป็น 5 ขนาด คือ 10 – 30 เตียง 30 - 60 เตียง 60 - 90 เตียง 90 – 120 เตียง และ 120 – 150 เตียง

2.2.2 การจำแนกตามองค์กรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งโดยทั่วไปการประกอบธุรกิจสถานพยาบาลมีทั้งโรงพยาบาลที่เป็นของหน่วยงานรัฐและเอกชน ซึ่งแบ่งโรงพยาบาลทั่วไปตามลักษณะกิจการ เช่น

1) **โรงพยาบาลทั่วไป (General Hospital)** โรงพยาบาลประเภทนี้มีทั้งโรงพยาบาลของรัฐและของเอกชน โดยเฉพาะโรงพยาบาลเอกชน (Private Hospital) จะรับรักษาโรคทั่วไป และมักจะลงทุนให้มีจำนวนเตียงอยู่ที่ประมาณ 100-400 เตียงเนื่องจากเหตุผลในด้านการลงทุน
2) **โรงพยาบาลรักษาโรคเฉพาะทาง (Specialized Hospital)** เป็นโรงพยาบาลเน้นการรักษาเฉพาะทางสาขาใดสาขาหนึ่ง เช่น โรงพยาบาลโรคตา หู คอ จมูก โรงพยาบาลโรคผิวหนัง โรงพยาบาลจิตเวช โรงพยาบาลแม่และเด็ก โรงพยาบาลโรคทรวงอก สถาบันมะเร็งแห่งชาติ ส่วนมากจะเป็นโรงพยาบาลของรัฐ ซึ่งต้องลงทุนกับเครื่องมือแพทย์เฉพาะทางสูงมาก แต่ก็มีบางแห่งที่เป็นของโรงพยาบาลเอกชน
3) **โรงพยาบาลแยกประเภทผู้ป่วย (Special Patient Hospital)** เป็นโรงพยาบาลที่แยกประเภทผู้ป่วยพิเศษออกต่างหากเนื่องจากข้อจำกัดบางประการเช่น โรงพยาบาลสงฆ์ มีข้อจำกัดเรื่องผู้ป่วยเป็นสมณะเพศ โรงพยาบาลเด็ก สำหรับเด็กที่มีโอกาสติดเชื้อง่ายกว่าบุคคลทั่วไป เป็นต้น
4) **โรงพยาบาลที่ก่อตั้งขึ้นจากมูลนิธิการกุศล (Non-profit Hospital)** ส่วนใหญ่เป็นโรงพยาบาลของมูลนิธิทางศาสนา เช่น ศาสนาคริสต์ หรือมูลนิธิ สมาคมชนเชื้อชาติจีน จะมีเตียงสำหรับผู้ป่วยอนาถาเป็นส่วนใหญ่ และมีเตียงพิเศษสำหรับผู้ป่วยที่มีความสามารถในการบริจาคเงินเพื่อเป็นทุนให้มูลนิธิในการดำเนินกิจการโรงพยาบาล

2.2.3 การจำแนกลักษณะสถานพยาบาลและลักษณะการให้บริการของสถานพยาบาลประเภทที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืน ตามกฎกระทรวงว่าด้วยลักษณะของสถานพยาบาลและลักษณะการให้บริการของสถานพยาบาล พ.ศ. 2545 ออกตามความในพระราชบัญญัติสถานพยาบาล พ.ศ. 2541 หมวด 2 ลักษณะของสถานพยาบาลและลักษณะการให้บริการของสถานพยาบาลประเภทที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืน

“โรงพยาบาล” เป็นสถานพยาบาลที่จัดให้บริการผู้ป่วยโดยสามารถรับผู้ป่วยไว้ค้างคืนเกินสามสิบเตียงขึ้นไป ซึ่งมีบริการด้านเวชกรรม ด้านการพยาบาล ด้านเภสัชกรรม และด้านเทคนิคการแพทย์เป็นอย่างน้อย และอาจจะมีบริการด้านทันตกรรมหรือด้านการประกอบโรคศิลปะอื่น แบ่งเป็น

1) **โรงพยาบาลทั่วไป**
เป็นสถานพยาบาลที่ให้บริการผู้ป่วยด้านเวชกรรมอย่างน้อยสี่สาขาหลัก คือ อายุรกรรม ศัลยกรรม กุมารเวช และสูตินรีเวช ฯลฯ
2) **โรงพยาบาลเฉพาะทาง** เป็นสถานพยาบาลที่ให้บริการผู้ป่วยด้านเวชกรรมเฉพาะสาขาใดสาขาหนึ่ง ฯลฯ

2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโรงพยาบาล แยกตามพื้นที่ใช้งาน

เครื่องมือ เครื่องใช้ ยาและเวชภัณฑ์หรือยานพาหนะที่จำเป็นประจำสถานพยาบาลประเภทที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืน โดยมีแผนกดังนี้

(1) แผนกผู้ป่วยนอก
(2) แผนกผู้ป่วยใน
(3) แผนกฉุกเฉิน
(4) แผนกเภสัชกรรม
(5) แผนกเทคนิคการแพทย์
(6) แผนกรังสีวินิจฉัย
(7) รถรับส่งผู้ป่วยฉุกเฉิน
(8) ระบบควบคุมการติดเชื้อ
(9) ระบบไฟฟ้าแสงสว่างสำรอง
(10) ระบบน้ำสำรอง
(11) หอผู้ป่วยหนัก
(12) แผนกผ่าตัด
(13) ห้องผ่าตัดเล็ก
(14) ห้องให้การรักษา ห้องฉีดยา แผล
(15) ห้องตรวจภายในและขูดมดลูก
(16) แผนกสูติกรรม
(17) ห้องทารกหลังคลอด
(18) ห้องทันตกรรม
(19) แผนกกายภาพบำบัด
(20) ห้องไตเทียม
(21) แผนกซักฟอก
(22) แผนกโภชนาการ
(23) แผนกห้องพักศพ

โดยสามารถแยกพื้นที่ใช้งานออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

1. ฝ่ายวินิจฉัยและบำบัดรักษา (Diagnostic and Therapeutic Facilities) ได้แก่

แผนก	อุปกรณ์เกี่ยวข้องที่ใช้พลังงาน
แผนกต้อนรับ โถงส่วนกลาง (Reception, Hall)	ลิฟต์โดยสาร (Passenger Lift) ลิฟต์เตียง (Bed Lift) ลิฟต์ขนของ (Service Lift) บันไดเลื่อน (Escalator) เครื่องฟอกอากาศ โทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) ร้านค้าต่างๆ
แผนกทำบัตรและเวชระเบียน (Registration and Medical Record)	คอมพิวเตอร์ Printer เครื่องถ่ายเอกสาร
แผนกผู้ป่วยนอก (Out Patient Department : OPD)	อุปกรณ์ทั่วไปภายในห้องตรวจ เช่น คอมพิวเตอร์ กล่องไฟสำหรับส่องฟิล์มเอ็กซเรย์ เครื่องวัดความดัน เป็นต้น - คลีนิกอายุรกรรม (Medical Clinic) เช่น เครื่องตรวจสมรรถภาพการหายใจของปอด

แผนก	อุปกรณ์เกี่ยวข้องที่ใช้พลังงาน
	(Pulmonary Test) เครื่องวัดคลื่นหัวใจ (Electrokardiogram ; EKG or ECG) เครื่องออกกำลังกาย (Exercise Stress Test) เครื่องวัดการเต้นของหัวใจ (Echocardiogram) เป็นต้น - คลีนิกศัลยกรรม (Surgical Clinic) เช่น โคมไฟผ่าตัด - คลีนิกสูตินรีเวชกรรม (Obstetrics and Gynecology Clinic) เช่น โคมไฟผ่าตัด - คลีนิกกุมารเวช (Pediatrics Clinic) เช่น ตู้อบ - คลีนิกจักษุ (Eyes Clinic) เช่น โคมไฟ - คลีนิกโสต ศอ นาสิก (Ear Nose and Throat Clinic) เช่น โคมไฟ - คลีนิกทันตกรรม (Dental Clinic) เช่น เครื่องกรอฟัน โคมไฟ เครื่องบดและผสมยาอุดฟัน
ห้องฉุกเฉิน (Emergency Room)	เครื่องกระตุ้นการทำงานของหัวใจด้วยไฟฟ้า อุปกรณ์เพื่อใช้ในส่วนปราศจากเชื้อ (CSSD) อุปกรณ์ในห้องผ่าตัดเล็ก ห้องพักแพทย์เวร เป็นต้น



รูปที่ 2.3.1 ห้องตรวจทั่วไป



รูปที่ 2.3.2 เครื่องตรวจสมรรถภาพการหายใจของปอด



รูปที่ 2.3.3 เครื่องออกกำลังกาย



รูปที่ 2.3.4 แสดงศูนย์โรคหัวใจ (Cardiac Care Unit; CCU) ซึ่งจะมีห้องฉีดสี ทำบอลลูน (Balloon) และบายพาส (Bypass) หัวใจ โดยมีห้องทำการสวนหัวใจด้วยอากาศหรือบอลลูน (Cardiac Cath) มีห้องปฏิบัติการฉีดสีและฉายรังสีเพื่อดูการเดินของเลือดในหัวใจ (Cath Lab)

2. ฝ่ายสนับสนุนทางคลีนิค (Clinical Support Facilities) ได้แก่

แผนก	อุปกรณ์เกี่ยวข้องที่ใช้พลังงาน
แผนกเภสัชกรรม (Pharmacy Department)	ระบบส่งเอกสาร (Pneumatic Tube, Dump waiter ฯลฯ)
แผนกรังสีวิทยา (Radiology Department)	เครื่องเอ็กซเรย์ทั่วไป (General X-ray Radiography) เครื่องฉายเอ็กซเรย์ชนิดตรวจละเอียด (Fluoroscopic Radiography) เครื่องเอ็กซเรย์ร่วมกับระบบคอมพิวเตอร์ (X-ray Computerized Tomography Scanner ; CT Scan) เครื่องตรวจคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Resonance Imagine ; MRI) เครื่องเอ็กซเรย์ระบบดิจิตอล (Digital Subtraction Angiography ; DSA) เครื่องตรวจอวัยวะภายในด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultra Sound Scan) เครื่องตรวจเต้านม (Mammography)
ห้องปฏิบัติการ (Laboratory) ของแผนกพยาธิวิทยา (Pathology Department) หรือ แผนกเทคนิคการแพทย์ (Medical Technology Department)	-ตู้เย็น หรือ ตู้รักษาอุณหภูมิ (Refrigerator) -ตู้ดูดควัน (Fume hood) -ตู้ดูดกรองและฆ่าเชื้อ (Laminar Air Flow) -หม้อนึ่งฆ่าเชื้อขนาดเล็ก (Sterilizer) -เครื่องอัตโนมัติตรวจวิเคราะห์ทางเคมีคลินิก (Automated Chemistry) -เครื่องอัตโนมัติตรวจวิเคราะห์ทางจุลทรรศน์วิทยา (Automated Hematology) -เครื่องอัตโนมัติตรวจวิเคราะห์ทางภูมิคุ้มกันวิทยา (Automated Serology) -เครื่องตรวจวัดค่าความเข้มของแสง (Photometer) -เครื่องตรวจวัดปริมาณแก๊สในเลือด (Blood Gas) -เครื่องอิเล็กโทรไลต์ (Electrolytic) -เครื่องปั่นแยกเลือด (Refrigerator Centrifuge)

แผนก	อุปกรณ์เกี่ยวข้องที่ใช้พลังงาน
	-เครื่องตรวจวัดค่าความเข้มแสงทางพิษวิทยา (Atomic Absorption Photometer) -เครื่องทำน้ำร้อน -ตู้อบไมโครเวฟ
แผนกกายภาพบำบัด (Physical Therapy Department)	-เครื่องนวดกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า



รูปที่ 2.3.5 แสดงแผนกเภสัชกรรม (Pharmacy Department) และท่อส่งเอกสารในการติดต่อกับแผนกอื่นๆ



รูปที่ 2.3.6 แสดงเครื่องเอ็กซ์เรย์ร่วมกับระบบคอมพิวเตอร์
(X-Ray Computerized Tomography Scanner; CT scan)



รูปที่ 2.3.7 แสดงเครื่องตรวจด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Resonance Imagine; MRI)

3. **ฝ่ายรักษาพิเศษ (Special Unit Facilities)** ได้แก่

แผนก	อุปกรณ์เกี่ยวข้องที่ใช้พลังงาน
ห้องผ่าตัด	ระบบสำรองไฟฟ้า (UPS) เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า (Stabilizer) โคมไฟผ่าตัด เครื่องวัดการเต้นของหัวใจ เครื่องกระตุ้นหัวใจ
หออภิบาลผู้ป่วยหนัก (Intensive Care Unit ; ICU)	เครื่องวัดการเต้นของหัวใจ เครื่องกระตุ้นหัวใจ เครื่องช่วยหายใจ เครื่องวัดชีพจรและระบบการไหลเวียนของโลหิต
ห้องคลอด (Delivery Room ; DR)	โคมไฟผ่าตัด เครื่องวัดการเต้นของหัวใจ เครื่องกระตุ้นหัวใจ เครื่องช่วยหายใจ กล่องไฟดูฟิล์มเอ็กซเรย์ ตู้อบทารก (Baby Incubator)
หน่วยทารกแรกเกิด (Nursery)	ตู้อบทารก หม้อนึ่งขวดนม ตู้เย็น หม้อทำน้ำร้อน
หน่วยไตเทียม (Hemodialysis Unit)	เครื่องฟอกเลือดด้วยไตเทียม (Hemodialysis)

4. **ฝ่ายผู้ป่วยใน (In Patient Department ; IPD)** ได้แก่

แผนก	อุปกรณ์เกี่ยวข้องที่ใช้พลังงาน
หอผู้ป่วยใน (Ward) และ ส่วนพยาบาลดูแล (Nurse Station)	เครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องคอมพิวเตอร์ กล่องดูฟิล์มเอ็กซเรย์ ลิฟต์ขนของ ตู้เย็น โทรทัศน์ พัดลม กาต้มน้ำร้อน เตาไมโครเวฟ

5. **ฝ่ายบริหารและสำนักงาน (Administration Facilities)** ได้แก่

แผนก	อุปกรณ์เกี่ยวข้องที่ใช้พลังงาน
สำนักงานผู้บริหาร และสำนักงานแพทย์	คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์สำนักงานทั่วไป
สำนักงานฝ่ายธุรการ	คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์สำนักงานทั่วไป
สำนักงานฝ่ายบัญชีและการเงิน	คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์สำนักงานทั่วไป
สำนักงานฝ่ายทะเบียนและสถิติ	คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์สำนักงานทั่วไป

แผนก	อุปกรณ์เกี่ยวข้องที่ใช้พลังงาน
สำนักงานทั่วไปและฝ่ายทรัพยากรบุคคล	คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์สำนักงานทั่วไป
สำนักงานประชาสัมพันธ์และการสื่อสาร	คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์สำนักงานทั่วไป
สำนักงานศูนย์คอมพิวเตอร์	คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์สำนักงานทั่วไป

6. ฝ่ายบริการ (Service Facilities) ได้แก่

แผนก	อุปกรณ์เกี่ยวข้องที่ใช้พลังงาน
แผนกจ่ายวัสดุกลางปราศจากเชื้อ (Central Sterilie Supply Department ; CSSD)	หม้อนึ่งอัตโนมัติ (Steam Auto Clave) เครื่องอบแก๊ส (Gas sterilizer) เตารีด
แผนกโภชนาการ (Dietary Department)	อุปกรณ์ไฟฟ้าในครัว เช่น เครื่องปั่นอาหารเหลว หม้อหุงข้าวไฟฟ้า เตาอบ เครื่องทำน้ำร้อน เครื่องล้านจาน
แผนกซักรีด (Laundry Department)	เครื่องซักผ้า เครื่องรีดผ้า เครื่องอบผ้า
แผนกห้องเก็บศพ (Morgue)	ตู้แช่ศพ
แผนกไฟฟ้าและเครื่องกล (Mechanical & Electrical Department ; M&E)	ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง ระบบไฟฟ้า ระบบประปา ระบบสื่อสาร ระบบดับเพลิง ระบบน้ำทิ้ง ระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบทำความร้อน



รูปที่ 2.3.8แสดงหม้อนึ่งอัตโนมัติ (Steam Auto Clave) หรือ เครื่องอบแก๊ส (Gas Sterilizer) ในแผนกจ่ายวัสดุกลางปราศจากเชื้อ (Central Sterile Supply Department; CSSD)



รูปที่ 2.3.9แสดงเครื่องซักผ้าขนาดต่างๆ เครื่องอบผ้า และเครื่องรีดลูกกลิ้ง (Rolled Cylinder)
แผนกซักรีดและอาภรณ์ภัณฑ์ (Laundry Department)



รูปที่ 2.3.10แสดงเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Chiller System)
ติดตั้งชุดเครื่องทำความเย็น (Chiller) ปั๊มสำหรับเครื่องทำความเย็น (Chiller Pump)



รูปที่ 2.3.11 แสดงเครื่องทำน้ำร้อน (Boiler) และไอน้ำร้อน (Steam Boiler)




รูปที่ 2.3.12 แสดงปั๊มน้ำดับเพลิง (Fire Pump) และปั๊มปรับแรงดันในระบบท่อดับเพลิง (Jockey Pump)




รูปที่ 2.3.13 แสดงปั๊มน้ำประปา (Water Pump) และปั๊มระบบบำบัดน้ำเสีย (Sanitary Pump)

2.4 ลักษณะการใช้พลังงานของอาคารโรงพยาบาล

ดัชนีการใช้พลังงานเฉลี่ย 244 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี*
ชั่วโมงการใช้งานเฉลี่ย : 24 ชั่วโมง
*(ที่มา : แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี พ.พ.)

การวิเคราะห์การใช้พลังงานและรูปแบบการใช้พลังงาน จะช่วยให้สามารถทราบได้ว่าส่วนใดของอาคารที่มีการใช้พลังงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถปรับปรุงและดำเนินแผนการจัดการพลังงานได้อย่างถูกต้องเหมาะสมและสามารถลดค่าใช้จ่ายได้

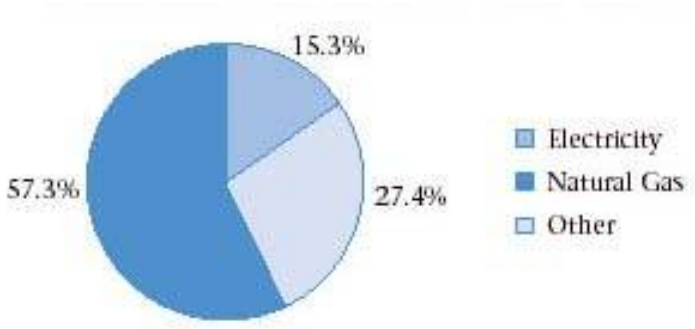
การกำหนด Base Line ของการใช้พลังงานรวมของอาคาร เป็นสิ่งที่ต้องทำเป็นอันดับแรก ต้องกำหนดว่าส่วนใดของอาคารที่สำคัญ ปริมาณและชนิดของพลังงานที่ใช้ พื้นที่ใดที่มีการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ ตัวชี้วัด

ประสิทธิภาพพลังงาน โดยเมื่อมีการวิเคราะห์การใช้พลังงานแล้ว ต้องเข้าใจถึงแนวโน้มและรูปแบบการใช้พลังงานของอาคารประเภทเดียวกัน เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่ามาตรฐานของการใช้พลังงาน

การใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาล

- ลักษณะของการใช้พลังงานในอาคาร

ข้อมูลตามรูปที่ 2.4.1 นี้เป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจการใช้พลังงานของโรงพยาบาล 222 แห่งจากทั้งหมด 879 แห่งในประเทศแคนาดา

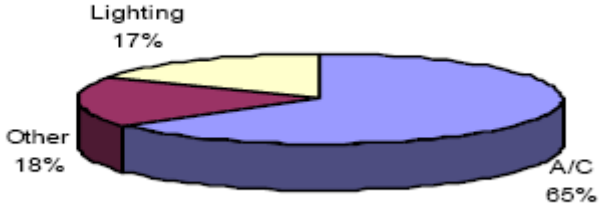


รูปที่ 2.4.1 แสดงลักษณะการใช้พลังงานในอาคารสถานพยาบาล
ที่มา : Office of Energy Efficiency Natural Resources Canada. Benchmark and Best Practices for Acute and Extended Healthcare Facilities : A Guide for Energy Managers and Finance Officers. 2003. p.7

จากโครงการจัดทำมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานของอาคารควบคุม ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน เมื่อพิจารณาถึงรายละเอียดการใช้พลังงาน ซึ่งประกอบไปด้วยพื้นที่ซึ่งมีลักษณะใช้งานที่แตกต่างกัน สามารถจำแนกการใช้พลังงานเป็นระบบได้ดังนี้

- ระบบปรับอากาศ
- ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
- ระบบที่ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน
- ระบบทำความร้อน

ระบบดังกล่าวใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนเป็นหลัก พบว่า การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมีมากถึงร้อยละ 65 การใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างร้อยละ 17 และการใช้พลังงานในระบบส่วนอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 18 ตามอันดับ



รูปที่ 2.4.2 แผนภาพแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่างๆของอาคารควบคุมประเภทโรงพยาบาล
ที่มา : โครงการจัดทำมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานของอาคารควบคุม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

จะเห็นว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าไปกับระบบปรับอากาศเสียส่วนมาก ซึ่งโรงพยาบาลเอกชนมีการใช้ระบบปรับอากาศมากกว่าโรงพยาบาลของรัฐ ดังนั้น การมุ่งเป้าประเด็นการทำการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานอาคารควบคุมประเภทโรงพยาบาลนั้น ควรเลือกอาคารโรงพยาบาลเอกชนที่มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่างเป็นจำนวนมาก เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาหาหนทางไปสู่การประหยัดพลังงานในส่วนการใช้พลังงานในระบบดังกล่าว

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารประเภทโรงพยาบาล

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารประเภทโรงพยาบาล มีดังนี้

- ชนิดของพลังงานที่ใช้
- ขนาดและประเภทของพื้นที่อาคาร
- อายุการใช้งานของอุปกรณ์
- จำนวนชั่วโมงการทำงาน
- สภาพภูมิอากาศ
- ระบบทำความร้อน ระบายอากาศและระบบปรับอากาศ (HVAC Systems)
- งบประมาณในการจัดการการใช้พลังงาน

ปัจจัยรองที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารประเภทโรงพยาบาล มีดังนี้

- ชนิดของ on-site facilities ซึ่งประกอบด้วย
  - Kitchen
  - Laundry
  - Incinerators
  - Burn Units
  - Laboratories
  - Emergency Services
  - Hospital Equipment
- กรอบอาคาร (Building Envelope และชนิดของช่องเปิด)
- ชนิดของหลอดไฟฟ้าและค่าปริมาณการส่องสว่าง

แหล่งข้อมูลอ้างอิง :

(1) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมและอาคารต่างๆ (SEC) ; กันยายน 2550

หมวดวิชา GROUP	การใช้งานและการบำรุงรักษา OPERATION & MAINTENANCE (O&M)	O&M
วิชา Module	กรณีศึกษาการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารธุรกิจประเภทโรงพยาบาล Case Studies on Energy Saving from Operation in Commercial Buildings	3.1 (M2)
เวลาอบรม	1 วัน (6 ชั่วโมง)	
Version	1.0 , มีนาคม 2557	
ความรู้พื้นฐานที่ต้องการ	OM2.1 – Air conditioning system OM2.2 – Lighting system OM2.3 – Renewable energy for commercial buildings OM2.4 – Building Automation system (BAS) OM2.5 – Commissioning requirement for building energy systems D2.1 – Guidelines for Energy Efficient Building Design E2.1 – Benefit of Measurement & Verification System E2.2 – Measurement and Verification Plan and Reporting	

Chapter 3 Energy Efficiency Index Hospital Buildings

บทที่ 3 ดัชนีประสิทธิภาพพลังงานของอาคารประเภทโรงพยาบาล

3.1 ดัชนีประสิทธิภาพพลังงานของอาคารโรงพยาบาล

3.2 การปรับค่าดัชนีประสิทธิภาพพลังงานเพื่อเข้าสู่ค่ามาตรฐาน (Normalization)

บทที่ 3
ดัชนีประสิทธิภาพพลังงานของอาคารประเภทโรงพยาบาล

ดัชนีการใช้พลังงาน (Energy Use Index : EUI) ดัชนีประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Index : EEI) หรือดัชนีค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption : SEC) มีความหมายเดียวกัน คือเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการตรวจติดตามและตั้งค่าเป้าหมายการประหยัดพลังงานของอาคารธุรกิจแต่ละแห่ง โดยที่แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี ของกระทรวงพลังงาน ได้มีการกำหนดให้อาคารธุรกิจในภาพรวม มีการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น กล่าวคือ มีนโยบายที่จะสนับสนุนและส่งเสริมให้อาคารธุรกิจแต่ละประเภท สามารถที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานให้มุ่งสู่การเป็นอาคารคาร์บอนต่ำในระดับต่างๆ มากยิ่งขึ้น (HEPS, ECON, ZEB)

จากข้อมูลรายงานการจัดการพลังงาน พ.ศ. 2555 ของอาคารควบคุมที่ดำเนินการตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 สามารถสรุปดัชนีค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption : SEC) สำหรับอาคารประเภทโรงพยาบาล ได้ดังต่อไปนี้

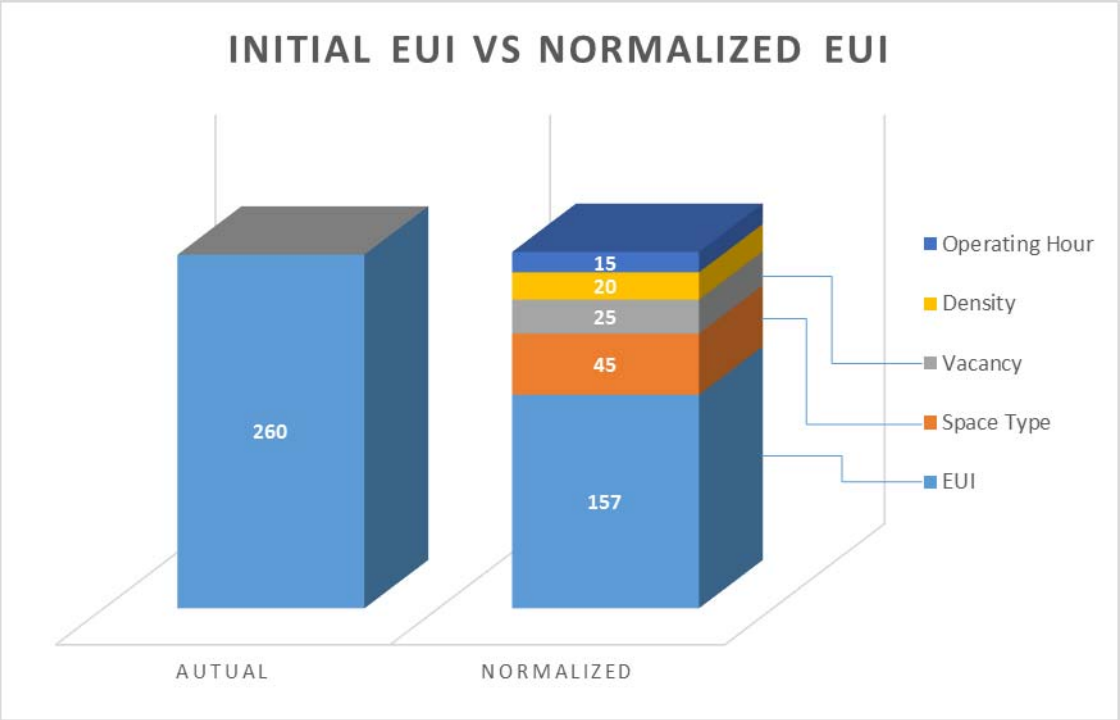
3.1 ดัชนีประสิทธิภาพพลังงานของอาคารโรงพยาบาล

Size	QTY	SEC elec. (kWh/เตียง-วัน)	SEC thermal. (MJ/เตียง-วัน)	SEC total (MJ/เตียง-วัน)			
				Max	Min	Avg.	SD
<150 เตียง	32	407.56	190.41	12,728.04	66.77	1,033.63	2,204.83
150-300 เตียง	29	338.74	195.81	3,642.25	110.94	748.91	644.85
>300 เตียง	15	457.94	278.99	4,392.80	286.06	963.45	1,044.48
Total/avg.	**76**	**391.24**	**213.51**	**12,728.04**	**66.77**	**911.13**	**1,544.45**

(ที่มา : Final Report สรุปรายงานการจัดการพลังงาน 2555 โดย ที่ปรึกษาตรวจสอบอาคารควบคุม : Accredited Consultant)

3.2 การปรับค่าดัชนีประสิทธิภาพพลังงานเพื่อเข้าสู่ค่ามาตรฐาน (Normailzation)

อย่างไรก็ตาม การพิจารณาค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะของแต่ละอาคารนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องปรับเข้าสู่ค่ามาตรฐานเพื่อใช้ในการพิจารณาเทียบกับอาคารอื่นๆ และเพื่อกำหนดค่าเป้าหมายในการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานของอาคารตนเองได้ด้วย ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วอาคารแต่ละแห่งจะมีลักษณะและพฤติกรรมการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงควรดำเนินการเก็บข้อมูลตัวแปรที่เกี่ยวข้อง (Parameters) ต่างๆ ของอาคารของตนเองเพื่อให้สามารถปรับค่า (Normalized) ให้เข้าสู่ค่าที่เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบได้ต่อไป

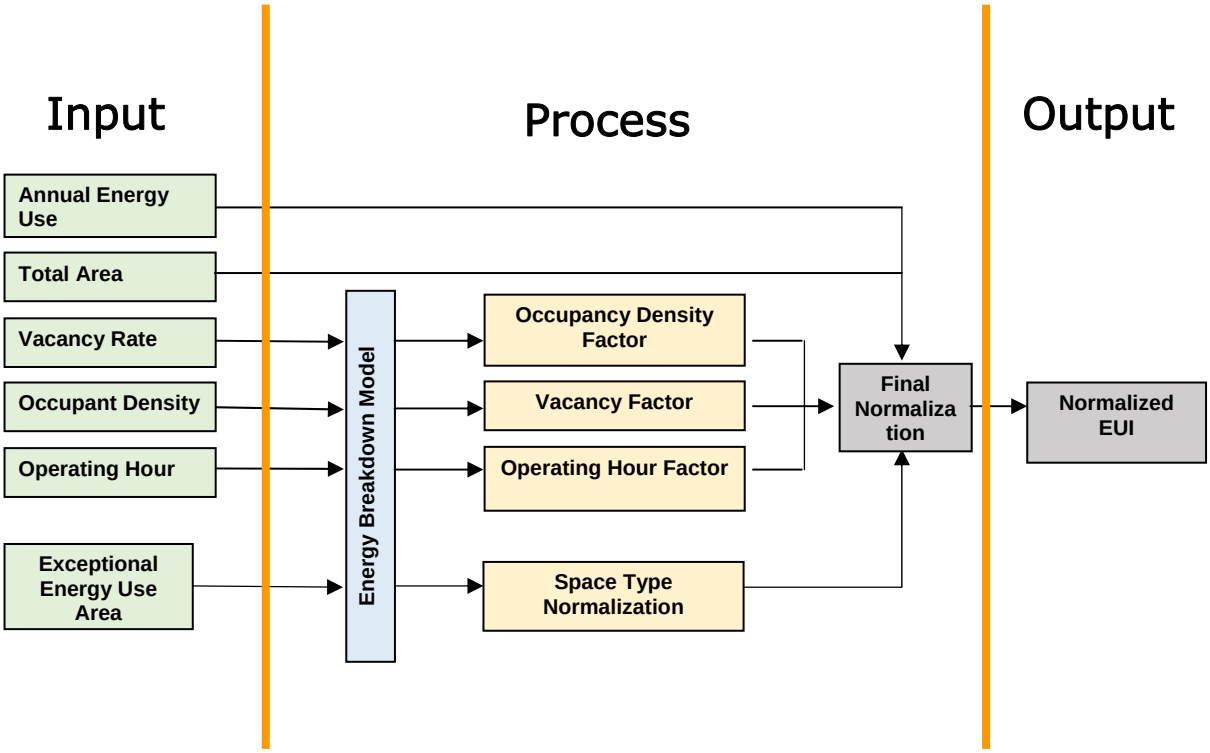


รูปที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) ก่อนและหลังการปรับค่า (Normailzed)

ตัวอย่างจากรูปที่ 2.1 ข้างต้น แสดงให้เห็นถึงค่าดัชนีการใช้พลังงานที่ได้จากข้อมูลอัตราส่วนพลังงานต่อการบริการ (พื้นที่) ที่ยังไม่ได้มีการพิจารณาตัวแปร (Parameter) ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและมีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน เช่น ชั่วโมงการทำงาน (Hours of Operation) ความหนาแน่นของบุคลากรในแต่ละพื้นที่ (Occupancy Density) อัตราการว่างของพื้นที่ใช้สอย (Vacancy Rate) พื้นที่ใช้งานที่มีการใช้พลังงานสูง (Space Type) เป็นต้น จะมีค่า EUI actual = 260 แต่หากพิจารณาถึงปัจจัยตัวแปรต่างๆ ทั้งหมดแล้ว EUI Normalized = 157 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อาคารดังกล่าวจะมีการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (พลังงานต่อพื้นที่ลดลง) ที่สภาวะเทียบกับตัวแปรที่เป็นค่ามาตรฐาน เป็นต้น

ขั้นตอนการทำปรับค่าดัชนีให้เข้าสู่ค่ามาตรฐาน (Normalization Process)

มีขั้นตอนในการดำเนินการตาม Flow Diagram ตามรูปที่ 2.2 ต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 แสดงแผนผัง (Flow Diagram) การป้อนข้อมูล การประมวลผล และแสดงผลภายหลังการปรับค่า (Normalized)

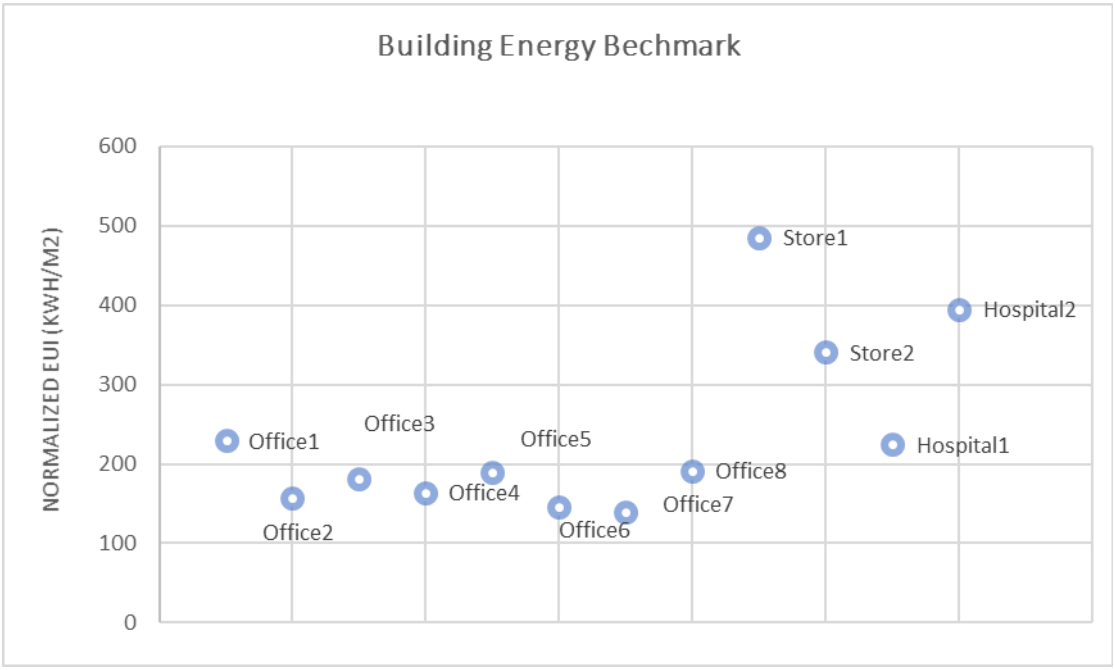
Input : คือกระบวนการป้อนเข้าของข้อมูลตัวแปรที่เกี่ยวข้องหรือมีผลต่อการใช้พลังงาน
Process : คือกระบวนการคำนวณและวิเคราะห์
Output : คือกระบวนการแสดงผลค่าดัชนีที่ปรับเข้าสู่ค่ามาตรฐานแล้ว (Normalized EUI)

ดังนั้น สมการด้านล่างต่อไปนี้ คือการคำนวณเพื่อให้ได้มาซึ่ง Normalized EUI

$$EUI_{Normalized} = (EUI_{measured} - \text{Total Space Type Adjustment}) \times N_{vacancy} \times N_{occupant} \times N_{operating}$$

โดยที่ :
$N_{vacancy}$ = Normalizing annual vacancy factor
$N_{occupant}$ = Normalizing occupancy density factor
$N_{operating}$ = Normalizing operating hour factor

กราฟด้านล่าง (รูปที่ 2.3) แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานที่ปรับค่าเข้าสู่ค่ามาตรฐานเดียวกันแล้ว จากอาคารสำนักงาน 8 แห่ง อาคารห้างสรรพสินค้า 2 แห่ง และอาคารโรงพยาบาล 2 แห่ง ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าอาคารที่มีค่า Normalized EUI ที่สูง (Office 1 , Store 1, Hospital 2) มีศักยภาพสูงในการที่จะปรับปรุงการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เมื่อเทียบกับอาคารในลักษณะเดียวกัน



รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบ (Benchmarking) ค่าดัชนีประสิทธิภาพพลังงานที่ปรับค่าแล้ว (Normalized EUI) ของอาคารแต่ละแห่ง

แหล่งข้อมูลอ้างอิง :

(1) Final Report สรุปรายงานการจัดการพลังงาน 2555 โดย ที่ปรึกษาตรวจสอบอาคารควบคุม : Accredited Consultant
(2) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. โครงการส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอาคารธุรกิจ (Promoting Energy Efficiency in Commercial Buildings; PEECB)

หมวดวิชา GROUP	การใช้งานและการบำรุงรักษา OPERATION & MAINTENANCE (O&M)	O&M
วิชา Module	กรณีศึกษาการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารธุรกิจประเภทโรงพยาบาล Case Studies on Energy Saving from Operation in Commercial Buildings	3.1 (M2)
เวลาอบรม	1 วัน (6 ชั่วโมง)	
Version	1.0 , มีนาคม 2557	
ความรู้พื้นฐานที่ต้องการ	OM2.1 – Air conditioning system OM2.2 – Lighting system OM2.3 – Renewable energy for commercial buildings OM2.4 – Building Automation system (BAS) OM2.5 – Commissioning requirement for building energy systems D2.1 – Guidelines for Energy Efficient Building Design E2.1 – Benefit of Measurement & Verification System E2.2 – Measurement and Verification Plan and Reporting	

Chapter 4 Guidelines for Energy Efficiency in Hospital Buildings & Case Studies on Energy Efficiency Improvement

บทที่ 4 แนวทางและกรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคารโรงพยาบาล

4.1 รายการตรวจสอบการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคารโรงพยาบาล
4.2 กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคารโรงพยาบาล

บทที่ 4
แนวทางและกรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคารโรงพยาบาล

4.1 รายการตรวจสอบการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคารโรงพยาบาล :

การปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร ส่งผลต่อการใช้พลังงาน และ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ลดลงอย่างมาก นอกจากนี้ยังเป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมากจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ที่ลดลง

สำหรับแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานนั้น ควรเริ่มต้นจากการมีระบบการจัดการพลังงานที่ดี ซึ่งจะทำให้สามารถเก็บบันทึกข้อมูลสภาพการใช้พลังงานของระบบอุปกรณ์ต่างๆ รวมไปถึงการวิเคราะห์เพื่อดำเนินการปรับปรุงและตรวจติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้อย่างเหมาะสมและต่อเนื่อง

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน ควรพิจารณาและให้น้ำหนักความสำคัญในประเด็นต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง ได้แก่

- ระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ส่วนกลาง
- ระบบไฟฟ้าแสงสว่างนอกอาคารที่มีความสูญเสียจากบัลลาสต์ (Reactive Load) ในปริมาณมาก
- ระบบปรับอากาศสำหรับพื้นที่ส่วนกลาง

4.1.2 พื้นที่ขนาดกว้างใหญ่ ได้แก่

- พื้นที่โถงต้อนรับและลงทะเบียน
- พื้นที่ทางเดินเชื่อมต่อไปยังอาคารต่างๆ

4.1.3 ความต้องการน้ำร้อน ได้แก่

- ความต้องการน้ำร้อนในปริมาณและช่วงเวลาต่างๆ

4.1.4 ความต้องการในสภาวะที่น่าสบาย ได้แก่

- อุณหภูมิและความชื้นของอากาศในบริเวณปรับอากาศ
- ความสะอาดของอากาศที่ลดการเสี่ยงต่อการติดเชื้อและแพร่กระจายของเชื้อโรคในโรงพยาบาล

4.1.5 การฆ่าเชื้อเครื่องมือเครื่องใช้ในโรงพยาบาล ได้แก่

- ปริมาณไอน้ำ และความสูญเสียในระหว่างทางของการจ่ายไปยังบริเวณที่ใช้งานในจุดต่างๆ

4.1.6 การใช้พลังงานของอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาล ได้แก่

- Life Cycle Cost Analysis ของอุปกรณ์ และคุณภาพทางไฟฟ้าจากการใช้งานอุปกรณ์

อย่างไรก็ตาม รายการตรวจสอบการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานต่อไปนี้ จะช่วยให้เจ้าหน้าที่ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง สามารถพิจารณาจัดลำดับความสำคัญของการปรับปรุงแก้ไขในประเด็นต่างๆ ได้อย่างครอบคลุมและสามารถใช้เป็นมาตรฐานการทำงานในช่วงต่างๆ ของอาคาร ตั้งแต่การออกแบบปรับปรุง การใช้งานและการบำรุงรักษาได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 รายการตรวจสอบการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร

หัวข้อ	รายการตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	ข้อเสนอแนะ
1. ระบบกรอบอาคาร			
	1.1 มีการควบคุมช่องเปิดในพื้นที่ปรับอากาศในแต่ละบริเวณหรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	ควบคุมการเปิด-ปิดของประตูและหน้าต่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณรอยต่อที่มีสภาวะในการทำความเย็นและควบคุมความชื้นที่แตกต่างกัน
	1.2 มีการใช้อุปกรณ์การบังเงาตามทิศและฤดูกาลต่างๆ หรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	พิจารณาการใช้ Automatic Louver/Shading Devices ภายนอกอาคาร
	1.3 มีการตรวจสอบรอยรั่วของอากาศจากกรอบประตู/กรอบหน้าต่างจากกลไกทางกล เช่น บานพับ รางเลื่อน ฯลฯ หรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	ซ่อมแซมหรืออุดรอยรั่ว หรือเปลี่ยนมาใช้กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น หรือประตูอัตโนมัติ
	1.4 มีการระบายอากาศทางธรรมชาติในเวลากลางคืนหรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	หลีกเลี่ยงการระบายอากาศทางธรรมชาติในช่วงเวลากลางวันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูร้อน
	1.5 ความสูงของฝ้าเพดานในพื้นที่ปรับอากาศสูงเกินกว่าค่าที่เหมาะสมหรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	พิจารณาการใช้ระบบปรับอากาศแบบ Spot Cooling ในบริเวณที่มีฝ้าเพดานสูงมากๆ
2. ระบบปรับอากาศ			
	2.1 มีการบำรุงรักษาทำความสะอาดแผงแลกเปลี่ยนหรือระบายความร้อนอย่างสม่ำเสมอหรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	อาจเพิ่มความสามารถในการระบายความร้อนของ Cooling Tower เพื่อเพิ่มสมรรถนะของ Chiller
	2.2 มีการตรวจสอบการตั้งค่า set point และอุณหภูมิ/ความชื้นจริงในพื้นที่ปรับอากาศตามภาระโหลดช่วงเวลาต่างๆ ทั่วทุกบริเวณอย่างสม่ำเสมอหรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	ในสภาวะที่สบาย สามารถเพิ่มอุณหภูมิอากาศได้เล็กน้อย 1-2 องศาเซลเซียส ในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำอยู่ในช่วง 55-60%

หัวข้อ	รายการตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	ข้อเสนอแนะ
	2.3 มีการพิจารณาความดันสูญเสียในระบบปั๊มน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็นหรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	ตรวจสอบเฮดปั๊ม ขนาดและระยะทางของท่อเพื่อลดการสูญเสียระหว่างปั๊มและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
	2.4 มีการพิจารณาการนำความร้อน/ความเย็นกลับมาใช้ใหม่หรือไม่ (Heat Recovery)	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	ความเย็นที่เหลือทิ้งนำกลับมา Pre-cooled Fresh Air , ความร้อนที่เหลือทิ้งนำกลับมา Pre-heat Feed Water Boiler
	2.5 มีการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติเพื่อคำนวณและเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของทั้งระบบ (Overall System Efficiency) หรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	ติดตั้ง Sensor ที่เพียงพอและได้รับการสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอเพื่อป้องกันการวิเคราะห์ข้อมูลที่ผิดพลาด
	2.6 มีการพิจารณาการใช้พลังงานทดแทนเป็นแหล่งความร้อนในการผลิตความเย็นจากกระบวนการ Absorption Process หรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	พิจารณาการใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์หรือ Biomass/Biogas โดยมี Backup Heat Source ด้วย
	2.7 มีการควบคุมหรือบริหารจัดการอุปกรณ์ในช่วงเวลาที่มีภาระต่ำๆ หรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	พิจารณาการใช้ Variable Speed Drive (VSD) สำหรับปั๊ม หรือ VSD Chiller
	2.8 มีการปรับอัตราการระบายอากาศทางกล ในบริเวณและในช่วงเวลาที่เหมาะสมหรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	พิจารณาร่วมกับค่ามาตรฐานในการระบายอากาศตามประเภทและภาระการใช้งานของพื้นที่
	2.9 มีการพิจารณาความสามารถในการทำความเย็น (Cooling Supply) และภาระการทำความเย็น (Cooling Demand) ว่าเพียงพอและเหมาะสมหรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	พิจารณาความเหมาะสมและสมรรถนะทั้งด้าน Air Side และ Water Side ของระบบ Chilled water system
	2.10 มีการตรวจสอบสภาพฉนวนของท่อน้ำยา (แอร์แบบแยกส่วน) หรือท่อน้ำเย็น (แอร์แบบรวมศูนย์) หรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	
3. ระบบแสงสว่าง			
	3.1 มีพื้นที่ที่ความสว่างมากเกินความต้องการในบางเวลาหรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	กำหนดตารางการควบคุมการเปิด-ปิดตามการใช้งานหรือใช้ Motion Sensor/

หัวข้อ	รายการตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	ข้อเสนอแนะ
			Dual-Looped control
	3.2 มีการทำความสะอาดหลอดและโคมไฟอย่างสม่ำเสมอหรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	ตรวจสอบค่าความส่องสว่างก่อนและหลังปรับปรุงเพื่อพิจารณาการใช้หลอดและจำนวนที่เหมาะสม
	3.3 มีการใช้แสงธรรมชาติในบางบริเวณหรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	ควรใช้ช่องแสงที่มีการนำเฉพาะ Indirect light หรือมีการใช้แผ่นสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพสูง ร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ เช่น Daylight Sensor เป็นต้น
	3.4 มีการใช้หลอดประสิทธิภาพสูงหรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	ใช้หลอดที่มีค่า Lumen/Watt ต่ำกว่าหลอดเดิม หรือมีความร้อนน้อยกว่าเดิม
4. ระบบไอน้ำและทำน้ำร้อน			
	4.1 มีการตรวจสอบค่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ หม้อต้มน้ำร้อนหรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	ค่าประสิทธิภาพไม่ควรต่ำกว่าที่กฎกระทรวงกำหนด หรืออ้างอิงจากค่า % O_2 ที่ Flue gas ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ
	4.2 มีการตรวจสอบค่าอุณหภูมิและความดันของไอน้ำ/น้ำร้อนในระบบหรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	ความดันที่สูงหรือต่ำเกินไปจะทำให้เกิด Thermal Losses / inefficient operation of radiator ตามลำดับ
	4.3 มีการตรวจสอบฉนวนกันความร้อนและรอยรั่วในแต่ละอุปกรณ์หรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	ตรวจสอบจากอุณหภูมิอากาศที่ร้อนผิดปกติรอบๆ บริเวณที่มีฉนวนหุ้ม หรือสังเกตการรั่วไหลจากเสียง
	4.4 มีการนำความร้อนทิ้งมาใช้งานในรูปแบบต่างๆ หรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	พิจารณาการใช้ความร้อนทิ้งร่วมกับประเภทของหัวเผาชนิดต่างๆ
	4.5 มีพลังงานความร้อนเหลือทิ้งในปริมาณมากและสม่ำเสมอหรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	ประเมินความเป็นไปได้ในการใช้ Cogeneartion เพื่อผลิตความร้อนและไฟฟ้า ในลักษณะที่เป็น Distrct Heating/Cooling

หัวข้อ	รายการตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	ข้อเสนอแนะ
	4.6 มีระบบการเก็บสำรองน้ำร้อนหรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	หลีกเลี่ยงการสำรองในปริมาณที่มากเกินความจำเป็นซึ่งจะทำให้ต้องเสียพลังงานในการรักษาอุณหภูมิอยู่ตลอดเวลา
	4.7 มีระบบการตรวจวัดปริมาณการใช้ไอน้ำ/น้ำร้อนในแต่ละบริเวณหลักหรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	ใช้ข้อมูลเพื่อพิจารณาการ Decentralized เพื่อลด Distrubution losses
5. ระบบไฟฟ้า			
	5.1 มีการตรวจสอบความสมดุลทางเฟส (Phase Unbalance) หรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	Unbalance Voltage ≤5%
	5.2 มีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ใน ECO Mode หรือ Power Saved Mode หรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	
	5.3 มีการตรวจสอบค่าฮาร์มอนิกส์หรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	ตรวจสอบทั้ง THD current และ THD voltage โดยเฉพาะในจุดที่มีระบบอุปกรณ์ Power Switching
	5.4 มีข้อมูลประสิทธิภาพ ณ ปัจจุบันของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ หรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอุปกรณ์ในเทคโนโลยีที่ทันสมัยในปัจจุบัน
	5.5 สามารถบริหารจัดการอุปกรณ์ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีค่าไฟฟ้าสูง (On-Peak Demand) หรือไม่	❑ มี/ใช่ ❑ ไม่มี/ไม่ใช่	จัดทำ Load shading schedule หรือ เลือกใช้อุปกรณ์ที่มี Soft Start เพื่อลดค่า Peak Demand

4.2 กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคารโรงพยาบาล :

การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคารโรงพยาบาล มีความจำเป็นที่จะต้องเริ่มจากการพิจารณาสภาวะในการใช้งานระบบอุปกรณ์ในปัจจุบันเพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการใช้งานและบำรุงรักษาระบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุด (Cost-Effectiveness) ดังจะเห็นได้อย่างตัวอย่างกรณีศึกษาในด้านการบำรุงรักษาประสิทธิภาพของระบบ (หัวข้อ 4.2.1) และ ตัวอย่างกรณีศึกษาในด้านการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ (หัวข้อ 4.2.2) ต่อไปนี้

4.2.1 เทคนิคการพิจารณาเปลี่ยนแผ่นกรองอากาศในเครื่องส่งลมเย็น (Filter)

แผ่นกรองอากาศ (Filter) นับได้ว่ามีความสำคัญที่ไม่ควรมองข้ามสำหรับระบบปรับอากาศ เนื่องจากแผ่นกรองอากาศที่สกปรกและอุดตัน จะเป็นต้นเหตุให้เกิดการใช้พลังงานที่มากขึ้น (เพิ่ม Pressure Losses) และส่งผลต่อคุณภาพของอากาศที่ผ่านการกรองที่ไม่ได้มาตรฐาน ในทางเศรษฐศาสตร์แล้ว การเปลี่ยนแผ่นกรองอากาศในระยะเวลาที่เหมาะสมจะยังคงไว้ซึ่งประสิทธิภาพทางพลังงานโดยที่เป็นการใช้วัสดุอุปกรณ์ได้เต็มประสิทธิภาพและมีค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมตามความจำเป็นอีกด้วย

โดยปกติการเปลี่ยนแผ่นกรองอากาศจะพิจารณาจากค่าความดันตกคร่อม ซึ่งแผ่นกรองอากาศที่สะอาดจะมีความดันตกคร่อมอยู่ที่ประมาณ 0.4 in.wc และแนะนำให้เปลี่ยนแผ่นกรองเมื่อความดันตกคร่อมมีค่าสูงถึง 1.5 in.wc

กรณีศึกษา : การพิจารณาเปลี่ยนแผ่นกรองอากาศในระยะเวลาที่เหมาะสม

แผ่นกรองอากาศขนาด 24x24x6 MERV 13 Filter ใช้งานสำหรับความเร็วลมที่ 400 fpm และ ใช้ได้ที่ชั่วโมงการใช้งาน 2,190 ชั่วโมง ก่อนที่จะมีการอุดตันตามความดันตกคร่อมที่กำหนด (1.5 in.wc)

<u>การคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น</u>

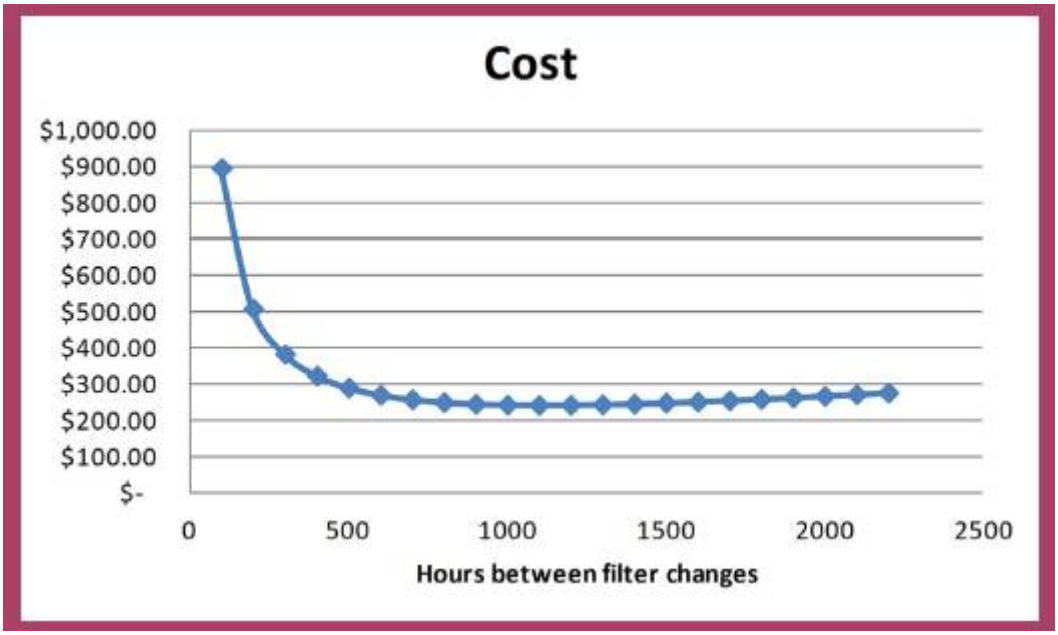
ค่า Filter ใหม่ = $4/ชุด ,
ค่าแรงในการเปลี่ยน = $5/ชุด
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการหมุนเวียนอากาศผ่านแผ่นกรอง = $60 ตลอด 2,190 ชม. (ที่ $0.10/kWh)
จำนวน Filter ที่เปลี่ยน = 4 ชุดต่อปี

โดยที่ กำลังไฟฟ้าของพัดลม (HP) = (CFM x average (DP initial, DP final))/(6356xEff.)
= (4x400 CFM x 0.95) / (6356 x 0.65)
= 0.3679 HP
พลังงานไฟฟ้าของพัดลม = 2,190 Hours x HP x 0.7457
= 600 kWh

คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า = 600 kWh x $0.10/kWh = 60 $

ในทำนองเดียวกัน สำหรับการเปลี่ยนแผ่นกรองอากาศทุกเดือนที่ 730 ชั่วโมง ที่ค่า Final Pressure Drop = 0.77 in.wc. จะมีค่าใช้จ่ายต่อปี = $252

ดังนั้นจากหลักการคำนวณข้างต้น สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในระยะเวลาการใช้งาน (เปลี่ยน) ได้ดังกราฟต่อไปนี้



จากกราฟข้างต้น จะเห็นได้ว่า ที่ชั่วโมงการใช้งาน 1,100 ชั่วโมง จะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแผ่นกรองอากาศต่ำสุด คือที่ = $243 ซึ่งถือว่าเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในเชิงเทคนิค (ยังคงไว้ซึ่งประสิทธิภาพพลังงาน) และเชิงเศรษฐศาสตร์ (เกิดค่าใช้จ่ายต่ำสุด)

4.2.2 เทคนิคการอนุรักษ์พลังงานสำหรับห้องสะอาด

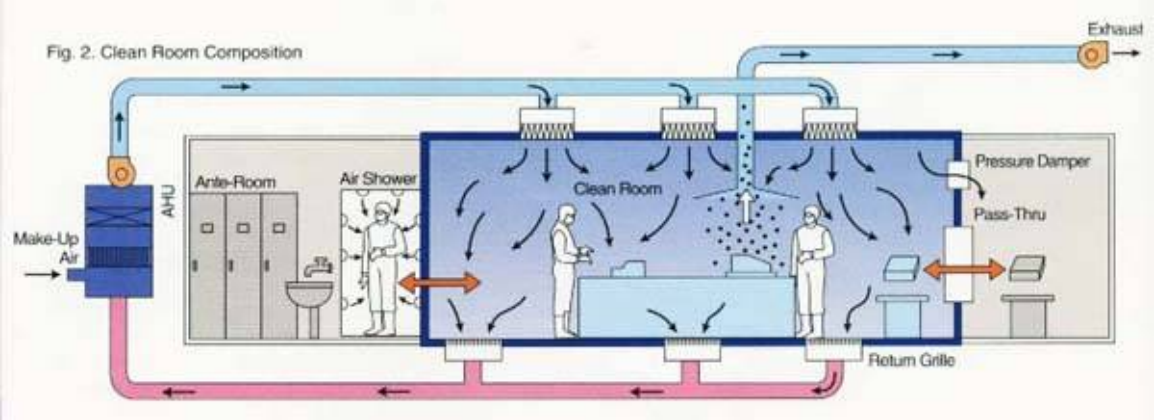
ห้องสะอาดคืออะไร

คำนิยามของห้องสะอาด คือ “ห้องที่สร้างขึ้นเป็นพิเศษซึ่ง ลมจ่าย, การกระจายลม, ฝุ่นและอนุภาคแขวนลอยในอากาศ , ความดันของห้อง, อุณหภูมิและความชื้น ได้รับการควบคุม เพื่อให้มีระดับความสะอาดเหมาะสมตามลักษณะการใช้งาน”

อนุภาคที่กล่าวถึงในที่นี้ หมายถึง อนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กจนถึง 1/1000 ของขนาดเส้นผมของคน ซึ่งเทียบเท่ากับ 1/100 ของอนุภาคที่มองด้วยตาเปล่าเห็น แผงกรองอากาศที่ใช้ในระบบปรับอากาศปกติ ไม่สามารถกรองอนุภาคขนาดเล็กๆเหล่านี้ได้

เราสามารถแบ่งห้องสะอาดได้เป็น 2 ประเภทคือ ห้องสะอาดในอุตสาหกรรม (Industrial Clean Room) และห้องสะอาดทางชีววิทยา (Biological Clean Room) ห้องสะอาดทางชีววิทยานี้จะควบคุมปริมาณสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก (Micro-organism) และเป็นส่วนสำคัญอย่างมากในการวิจัยและทดลองทางการแพทย์

เทคโนโลยีของห้องสะอาดเริ่มต้นในโครงการอโพโลขององค์การนาซ่า เทคโนโลยีได้รับการพัฒนาจนปัจจุบัน แผงกรองอากาศประสิทธิภาพสูงได้ถูกนำไปใช้งานกันอย่างแพร่หลาย และได้รับการพัฒนาไปมากจากการกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนของ HEPA (High Efficient Particulates Air Filter) จนถึง ULPA (Ultra Low Penetration Air Filter) ซึ่งสามารถกรองอนุภาคขนาด 0.1-0.2 ไมครอนได้มีประสิทธิภาพสูงถึง 99.999%



ระดับของความสะอาด

การแบ่งระดับของห้องสะอาด เป็นการแบ่งตามปริมาณอนุภาคฝุ่นภายในห้องต่อหนึ่งปริมาตร การแบ่งระดับความสะอาดมีหลายแบบ แบบที่เป็นที่นิยมใช้กันได้แก่ หน่วยอังกฤษ, หน่วยเอสไอ ตามมาตรฐาน U.S. Federal Standard 209

หน่วยอังกฤษ (Inch-Pound) แบ่งระดับเป็น Class โดยมีตั้งแต่ Class 1, 10, 100, 1000, 10000 และ 100000 โดยตัวเลขหมายถึงจำนวนอนุภาคที่มีขนาด 0.5 ไมครอนและใหญ่กว่า ต่อปริมาตรอากาศหนึ่งลูกบาศก์ฟุต เช่น Class 100 หมายถึง มีอนุภาคขนาด 0.5 ไมครอนและใหญ่กว่าไม่เกิน 100 อนุภาคต่อหนึ่งลูกบาศก์ฟุต

สำหรับหน่วยเอสไอ ก็แบ่งระดับความสะอาดเป็น Class เช่นกัน โดยมีตั้งแต่ M1, M1.5, M2, M2.5, ..., M7 โดยหมายเลข คือ x จากปริมาณอนุภาค 10x อนุภาคต่อปริมาตรอากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร เช่น Class M3 คือ ยอมให้มีอนุภาคขนาด 0.5 ไมครอนและใหญ่กว่า ได้ไม่เกิน 103 = 1000 อนุภาค ต่อปริมาตรอากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร

เทคนิคการควบคุมความสะอาดและสุขอนามัยของโรงพยาบาล

ไม่ให้ฝุ่นเข้า

- ไม่ให้ฝุ่นรั่วผ่านแผงกรองและกรอบของแผงกรอง
- รักษาความดันภายในห้อง
- คนเข้าห้องต้องเปลี่ยนเสื้อผ้า, รองเท้า
- ทำความสะอาดอุปกรณ์ทุกชนิดก่อนนำเข้าห้อง

ไม่สะสมฝุ่น

- ไม่ทำให้เกิดมุมอับที่ทำความสะอาดยาก
- ไม่เดินท่อลมและท่อน้ำภายในห้อง
- ทำความสะอาดห้องอย่างสม่ำเสมอ

ไม่สร้างฝุ่น

- เสื้อผ้าต้องเป็นชนิดไม่สร้างฝุ่น
- ไม่ใช้อุปกรณ์หรือเครื่องใช้ที่สร้างฝุ่น
- ไม่เคลื่อนไหวถ้าไม่จำเป็น
- ไม่นำสิ่งของที่ไม่ใช้เข้าในห้อง

กำจัดฝุ่นให้เร็วที่สุด

- เพิ่มอัตราการหมุนเวียนของลม
- มีระบบระบายอากาศใกล้ๆกับจุดที่มีการกำเนิดฝุ่น
- ให้ลมมีลักษณะการไหลอย่างเหมาะสม

เทคนิคการอนุรักษ์พลังงานสำหรับห้องสะอาด

4.2.2.1 ปรับ All Outdoor Air System เป็น Recirculate Air System

ห้องผ่าตัดในอดีต นิยมออกแบบโดยใช้อากาศจากภายนอกทั้งหมดจ่ายเข้ามาในห้อง (All Outdoor Air System) แล้วระบายลมจากในห้องทิ้งออกไปทั้งหมด โดยไม่นำกลับมาใช้หมุนเวียนใหม่ ทั้งนี้เป็นเพราะ เทคโนโลยีการกรองอากาศในอดีตยังไม่พัฒนาดีพอ และค่าพลังงานยังมีราคาถูก

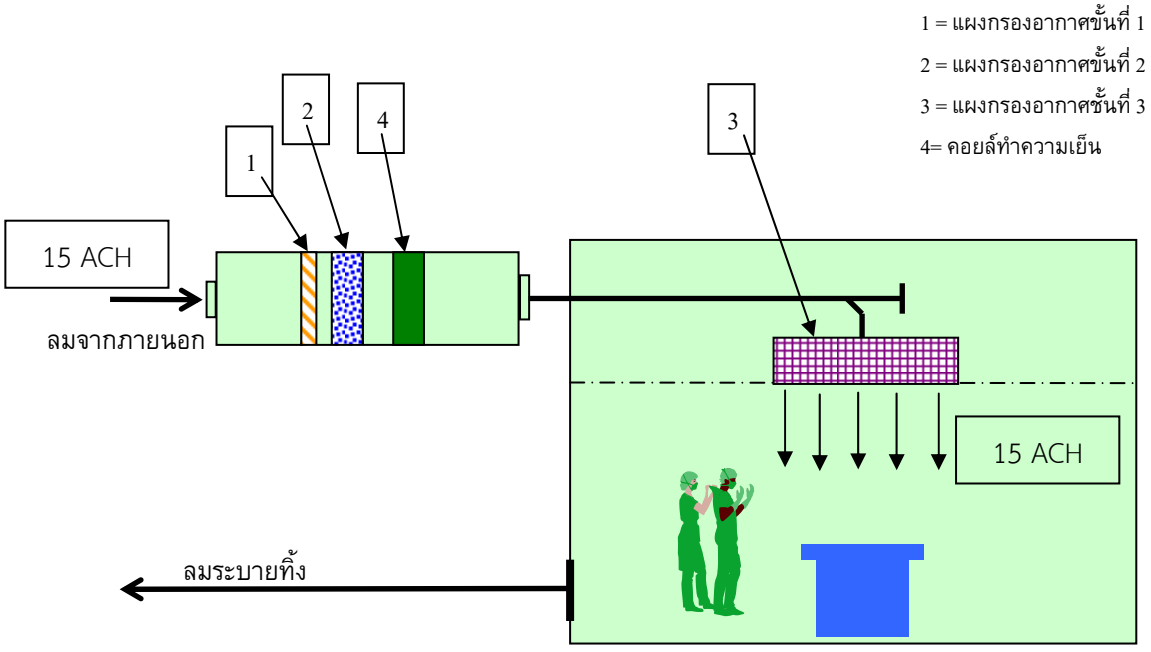
แต่ปัจจุบัน ห้องผ่าตัดสมัยใหม่จะได้รับการออกแบบโดยใช้ระบบอากาศหมุนเวียน (Recirculate Air System) แทน โดยยังคงสามารถรักษาระดับความสะอาดไว้ได้

อย่างไรก็ตาม การปรับจากระบบอากาศจากภายนอกทั้งหมด เป็นระบบหมุนเวียนอากาศ ต้องทำการปรับปริมาณอากาศหมุนเวียนภายในห้องผ่าตัดให้ได้ตามมาตรฐาน

ตารางอัตราอากาศจากภายนอกและอากาศหมุนเวียนภายในห้องสะอาด

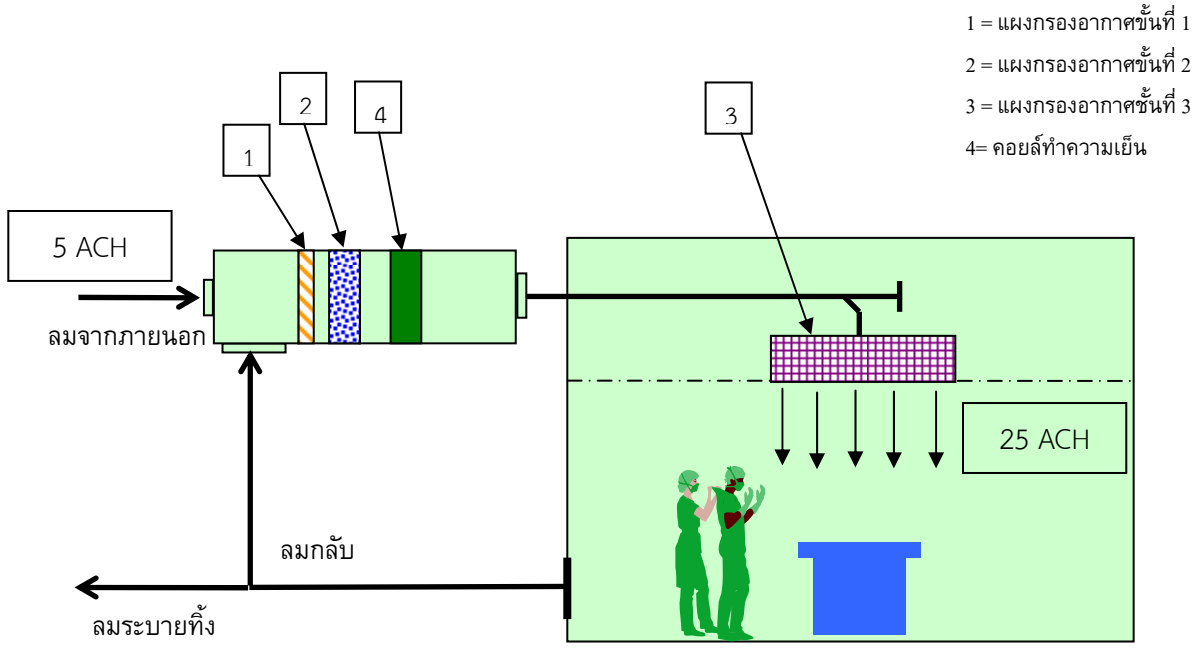
ระบบ	อัตราอากาศจากภายนอกน้อยที่สุด, ปริมาตรห้อง ต่อ ชั่วโมง	อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้อง ปริมาตรห้อง ต่อ ชั่วโมง
ระบบอากาศจากภายนอกทั้งหมด	15	15
ระบบอากาศหมุนเวียน	5	25

ที่มา : 1999 ASHRAE Handbook - Application



ระบบลมจากภายนอกทั้งหมด (All Outdoor Air System)

*** ACH = Air Change per Hour = ปริมาตรห้อง ต่อ ชั่วโมง



ระบบลมหมุนเวียน (Recirculate Air System)

กรณีศึกษา ; การปรับระบบห้องผ่าตัดจากระบบอากาศจากภายนอกทั้งหมดเป็นระบบอากาศหมุนเวียน

ห้องผ่าตัดขนาด 50 ตารางเมตร สูง 2.8 เมตร เดิมออกแบบไว้เป็นระบบอากาศจากภายนอกทั้งหมด โดยมีอัตราการเดิมอากาศ 15 ACH มีจำนวนชั่วโมงใช้งานปีละ 2000 ชั่วโมง

มีอัตราการเติมอากาศ

= (50 ตร.ม. X 2.8 ม.) x 15 ACH

= 2100 ลบ.ม. ต่อชั่วโมง

=1235 CFM

ดังนั้นระบบเดิมใช้พลังงานสำหรับอากาศเติม

= [4.45 x CFM x (H2-H1) /12000] x kW/ton x Hr

= 4.45 x 1235 x (40.425-29.216)/12000 x 1.0 kW/ton x 2000 Hr

= 10,267 kWh

เมื่อปรับเปลี่ยนเป็นระบบอากาศหมุนเวียน โดยให้มีอัตราอากาศหมุนเวียนภายในห้อง 25 ACH และให้มีอัตราการเติมอากาศจากภายนอก 5 ACH

จะมีอัตราการระบายอากาศใหม่

= (50 ตร.ม. X 2.8 ม.) x 5 ACH

= 700 ลบ.ม. ต่อชั่วโมง

= 412 CFM

ดังนั้นระบบใหม่ใช้พลังงานสำหรับอากาศเติม

= [4.45 x CFM x (H2-H1) /12000] x kW/ton x Hr

= 4.45 x 412 x (40.425-29.216)/12000 x 1.0 kW/ton x 2000 Hr

= 3,425 kWh

แต่พัดลมของระบบอากาศหมุนเวียนจะต้องใหญ่ขึ้นจากที่เคยจ่ายลมได้ 15 ACH เป็น 25 ACH หรือเพิ่มขึ้น 10 ACH

พัดลมต้องมีอัตราการจ่ายลมเพิ่มขึ้น

= (50 ตร.ม. X 2.8 ม.) x 10 ACH

= 1400 ลบ.ม. ต่อชั่วโมง

= 824 CFM

พัดลมต้องใช้กำลังเพิ่มขึ้น

$$= \frac{824 \text{ CFM} \times 3.0 \text{ in.wg} \times 0.746 \text{ kW/Hp}}{6346 \times 40\% \text{ Eff}}$$

= 0.07 kW

พัดลมใช้พลังงานมากขึ้น

= 0.07 kW x 2000 Hr

= 1,400 kWh

ดังนั้นประหยัดพลังงานเนื่องจากปรับระบบได้

= พลังงานอากาศเติมที่ลดลง - พลังงานพัดลมที่เพิ่มขึ้น

= (10,267 kWh - 3,425 kWh) -1,400

= 5,442 kWh

คิดเป็นเงิน = 5,442 kWh x 2.0 บาท/kWh

= 10,884 บาทต่อปี

เนื่องจากระบบนี้ต้องมีการลงทุนซื้อพัดลมใหม่ให้มีอัตราเพิ่มขึ้นและต้องปรับปรุงระบบท่อลมให้สอดคล้องกับอัตราลมหมุนเวียนใหม่ จึงต้องลงทุนค่อนข้างสูง แต่มีผลประหยัดไม่มากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบที่มีจำนวนชั่วโมงทำงานต่อปีน้อย ดังนั้นมาตรการนี้จึงเหมาะกับการลงทุนเมื่อระบบปรับอากาศของห้องผ่าตัดที่ใช้งานอยู่หมดอายุการใช้งานแล้วและต้องทำการปรับปรุงใหม่อยู่แล้ว ซึ่งมูลค่าการลงทุนจะคิดเฉพาะส่วนต่างที่เพิ่มขึ้น จึงจะมีระยะเวลาในการคืนทุนสั้นลง

4.2.2.2 ใช้ Air-to-Air Heat Exchanger ช่วยลดภาระของอากาศจากภายนอก

ตามที่กล่าวมาแล้วว่า ห้องสะอาดต้องต้องมีการเติมอากาศจากภายนอก เพื่อเจือจางสิ่งสกปรก และควบคุมความดันในห้องให้มากกว่าภายนอก ซึ่งอัตราการเติมอากาศจากภายนอกของห้องสะอาดจะมากกว่าระบบปรับอากาศของห้องทั่วไปมาก เราสามารถลดการใช้พลังงานในส่วนของอากาศเติมได้โดย นำอากาศเย็นที่เหลือทิ้งไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศจากภายนอกที่เติมเข้ามา

อุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้เรียกว่า อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอากาศ หรือ Air-to-Air Heat Exchanger ซึ่งปัจจุบันนี้ มีเทคโนโลยีให้เลือก 3 แบบ

1. แบบวงล้อ (Wheel)
2. แบบแผ่น (Plate)
3. แบบท่อความร้อน (Heat Pipe)

โดยเฉลี่ยแล้ว อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะมีประสิทธิภาพประมาณ 40-70 เปอร์เซ็นต์ (ขึ้นอยู่กับชนิด ขนาดและสัดส่วนอัตราอากาศระบายทิ้งและอากาศจากภายนอก)

ดังนั้น เราจึงสามารถลดการใช้พลังงานเนื่องจากอากาศจากภายนอกได้ประมาณ 40-70 เปอร์เซ็นต์

กรณีศึกษา ; การใช้ Energy Recovery Ventilation (ERV)

กรณีที่ระบบเดิม เป็น 100% Outdoor Air สามารถที่ใช้ Energy Recovery Ventilation (ERV) ซึ่งเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน หรือ ความเย็น โดยใช้หลักการนำพลังงานที่เหลือของอากาศปล่อยทิ้ง (Exhaust Air) มาป้อนเพื่อปรับสภาวะให้กับอากาศที่เติมเข้ามาใหม่ (Fresh Air Intake) โดยที่

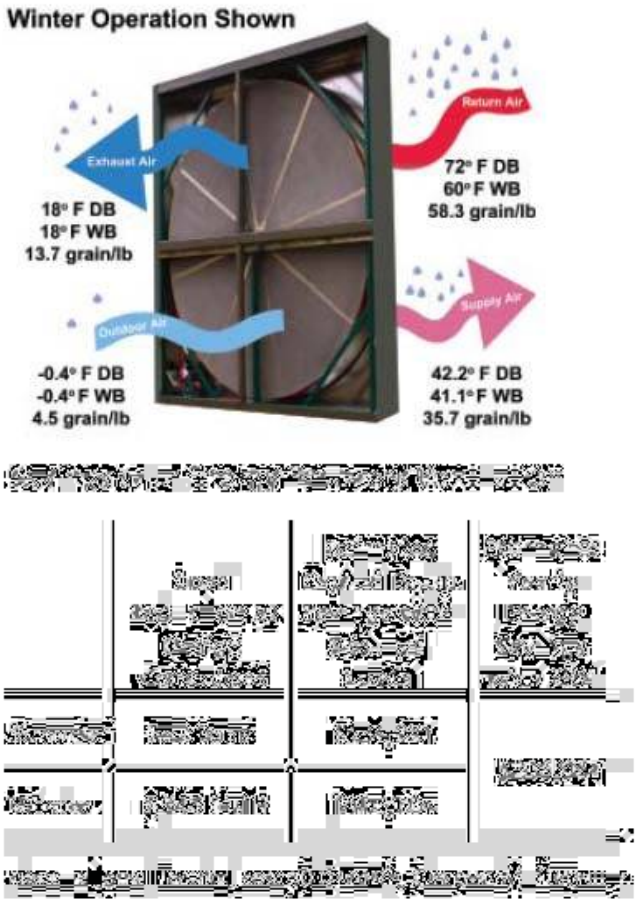
- ในฤดูร้อน : ERV จะทำหน้าที่ในการ Pre-cooled และลดความชื้นอากาศที่เติมเข้ามา
- ในฤดูหนาว : ERV จะทำหน้าที่ในการ Pre-heated และเพิ่มความชื้นอากาศที่เติมเข้ามา

จากหลักการทำงานของทั้ง 2 ฤดูกาลข้างต้น ERV จะสามารถช่วยให้ลดพลังงานในระบบปรับอากาศอันเนื่องมาจากการทำความเย็นหรือเพิ่ม/ลดความชื้นให้เหมาะสมตามค่ามาตรฐาน

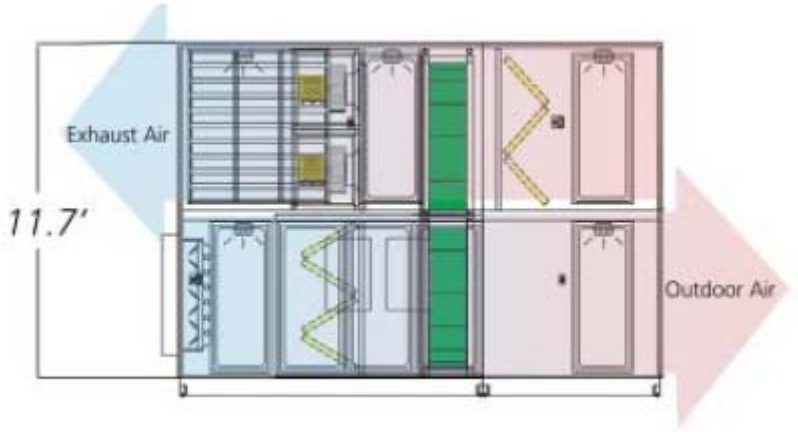
โรงพยาบาล Cox South Healthcare , รัฐมิสซูรี ประเทศสหรัฐอเมริกา



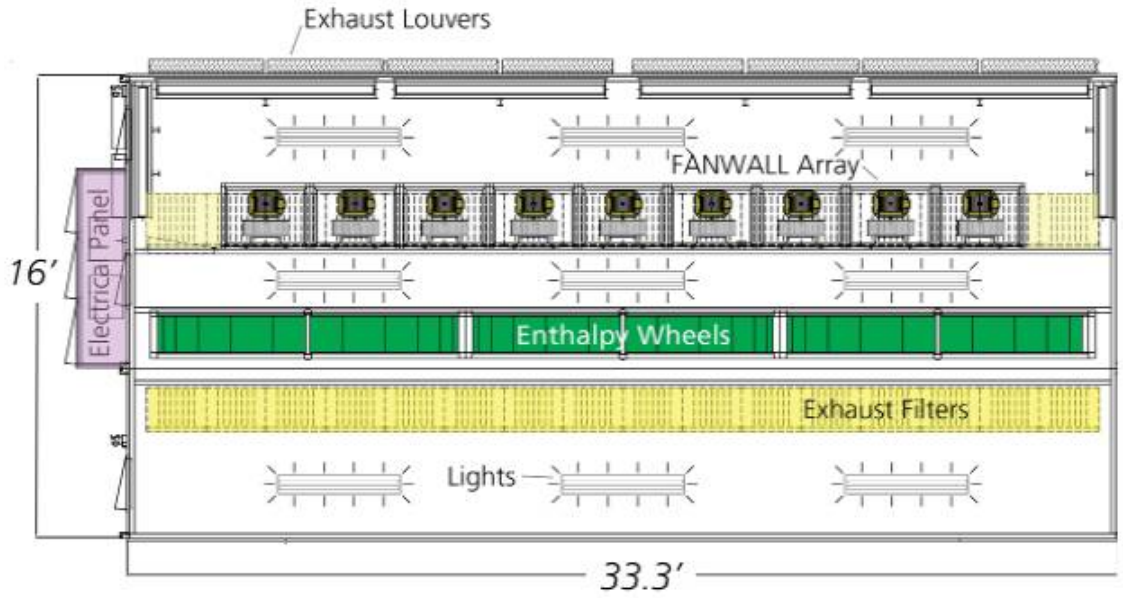




รูปที่ 4.2.1 ผลการใช้ ERV ติดตั้งบนหลังคาพร้อมระบบพัดลมระบายอากาศ “FAN WALL” ร่วมกับ VSD



รูปที่ 4.2.2 รูปด้านข้างตัดขวาง (Elevation view) ของ ERV



รูปที่ 4.2.3 รูปด้านบน (Plan view) ของ ERV



รูปที่ 4.2.4 ชุดพัดลม Exhaust Air ใน “Fan Wall” (18ชุด)

Operation of Wheel :

Wheels rotate	:	20 rpm by ¾ HP motor
Air velocity (Supply side)	:	866 CFM
Air velocity (Return side)	:	740 CFM
Total Capacity	:	88,000 CFM
น้ำหนักรวม	:	42,000 lbs

ประโยชน์จากการใช้ ERV คือ สามารถลดการใช้พลังงานลงได้มากกว่า $206,064 ต่อปี และเพิ่มคุณภาพอากาศภายในอาคาร (Improved Indoor Air Quality) จากการระบายอากาศโดยสามารถลดปัญหาการร้องเรียนจากผู้ใช้อาคารในเรื่องของความเย็นที่ไม่เพียงพอและกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ได้เป็นอย่างดี

แหล่งข้อมูลอ้างอิง :

(1) Guidelines for Energy Efficiency in Hospitals. EMAS and Information Technology in Hospitals. LIFE 04 ENV/GR/000114. EPTA Environmental Engineers-Consultants
(2) GovernAir. Striving for Air Quality Perfection Case Study. Available from URL : http://www.governair.com
(3) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), The American Institute of Architects, Illuminating Engineering Society of North America, U.S.Green Building Council, U.S. Department of Energy. Advanced Energy Design Guide for Large Hospital Buildings; 2011.

โครงสร้างวิชา (Module's Structure)

หมวดวิชา GROUP	ความรู้พื้นฐาน BASIC KNOWLEDGE (B)	B
วิชา Module	แนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานสำหรับการพัฒนาโครงการก่อสร้างอาคารธุรกิจยุคใหม่ Development concept for Energy Efficiency in Commercial Buildings	1.1
เวลาอบรม	0.5 วัน (3 ชั่วโมง)	
Version	1.0 , มีนาคม 2557	
ความรู้พื้นฐานที่ต้องการ	-	

หัวข้อวิชา

Chapter 1 Introduction to Energy Efficiency in Commercial Buildings
บทที่ 1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารธุรกิจ
1.1 การพัฒนาโครงการอาคารธุรกิจกับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
1.2 ข้อมูลลักษณะเฉพาะของอาคารประเภทโรงพยาบาล
1.3 ข้อมูลลักษณะเฉพาะของอาคารประเภทโรงแรม
1.4 ข้อมูลลักษณะเฉพาะของอาคารประเภทศูนย์การค้า
1.5 ข้อมูลลักษณะเฉพาะของอาคารประเภทสำนักงาน

Chapter 2 Energy Efficiency Index for Commercial Buildings
บทที่ 2 ดัชนีประสิทธิภาพพลังงานของอาคารธุรกิจ
2.1 ดัชนีประสิทธิภาพพลังงานของอาคารธุรกิจประเภทต่างๆ
2.2 การปรับค่าดัชนีประสิทธิภาพพลังงานเพื่อเข้าสู่ค่ามาตรฐาน (Normalization)

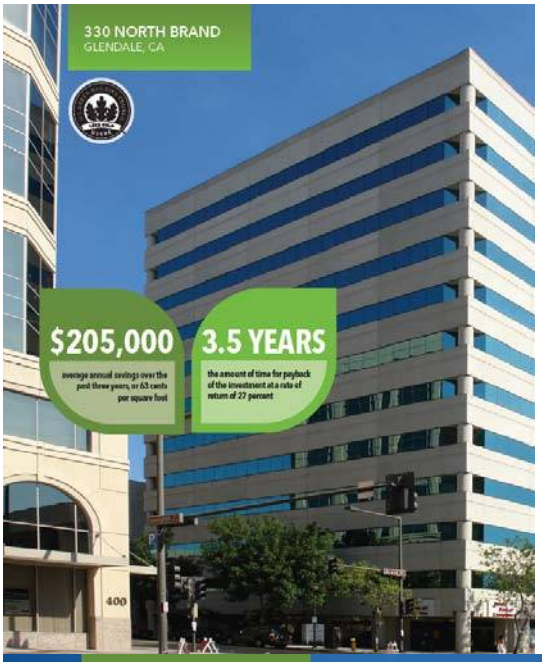
Chapter 3 Case Studies on Energy Efficiency Measures in Commercial Buildings
บทที่ 3 กรณีศึกษามาตรการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคารธุรกิจ
3.1 กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคารประเภทสำนักงาน
3.2 กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคารประเภทโรงพยาบาล
3.3 กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคารประเภทโรงแรม
3.4 กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคารประเภทศูนย์การค้า

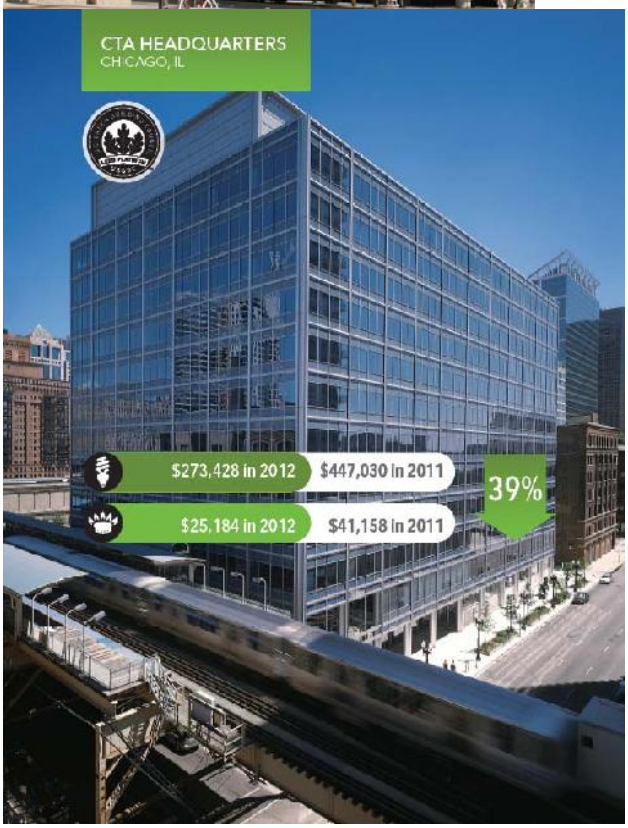
หมวดวิชา GROUP	ความรู้พื้นฐาน BASIC KNOWLEDGE (B)	B
วิชา Module	แนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานสำหรับการพัฒนาโครงการก่อสร้างอาคารธุรกิจยุคใหม่ Development concept for Energy Efficiency in Commercial Buildings	1.1

Chapter 1 Introduction to Energy Efficiency in Commercial Buildings

บทที่ 1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารธุรกิจ

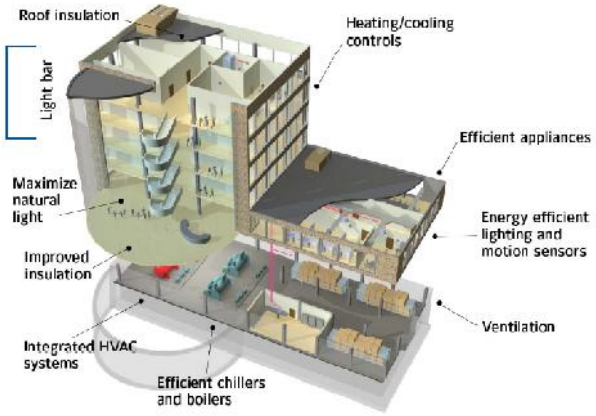
1.1 การพัฒนาโครงการอาคารธุรกิจกับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
1.2 ข้อมูลลักษณะเฉพาะของอาคารประเภทโรงพยาบาล
1.3 ข้อมูลลักษณะเฉพาะของอาคารประเภทโรงแรม
1.4 ข้อมูลลักษณะเฉพาะของอาคารประเภทศูนย์การค้า
1.5 ข้อมูลลักษณะเฉพาะของอาคารประเภทสำนักงาน


330 NORTH BRAND
GLENDALE, CA
$205,000
3.5 YEARS
400

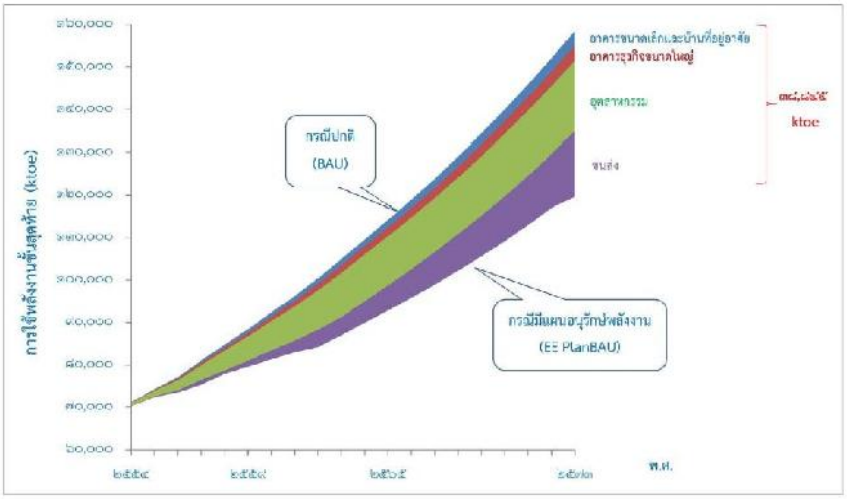

CTA HEADQUARTERS
CHICAGO, IL
$273,428 in 2012
$447,030 in 2011
39%
$25,184 in 2012
$41,158 in 2011

บทที่ 1
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารธุรกิจ

นักลงทุนผู้พัฒนาโครงการ (Building Developers) สำหรับอาคารธุรกิจที่ผ่านมา โดยมากจะพิจารณาการพัฒนาโครงการจากปัจจัยทางการตลาด อาทิ ทำเลที่ตั้งที่เป็นย่านธุรกิจ ความต้องการของเจ้าของธุรกิจและกลุ่มเป้าหมายในการใช้ระบบสาธารณูปโภค ฯลฯ ซึ่งอาจทำให้โครงการก่อสร้างต่างๆ มักได้รับการวางแนวคิดให้เน้นความสะดวกสบายเป็นหลัก ซึ่งในบางกรณีอาจสวนทางกับการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณข้างเคียง ดังนั้น การพัฒนาโครงการสำหรับอาคารธุรกิจยุคใหม่ที่ยั่งยืน จึงควรได้รับการสร้างความเข้าใจให้แก่ผู้ประกอบการในธุรกิจที่เกี่ยวข้องเพื่อให้สามารถดำเนินโครงการได้อย่างสอดคล้องกับแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปีของประเทศไทยในปัจจุบัน ซึ่งจะส่งผลต่อภาพรวมของการเติบโตทางธุรกิจสำหรับอาคารธุรกิจอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน



"Energy- Efficient Building"



"20 Yrs.-Energy Efficiency Action Plan"

1.1 การพัฒนาโครงการอาคารธุรกิจกับการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพ

ในอดีตที่ผ่านมา นักลงทุนพัฒนาโครงการอาคารธุรกิจอาจยังไม่ได้พิจารณาเกี่ยวกับการลงทุนเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคารมากนัก อันเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ผู้พัฒนาโครงการไม่ได้ตระหนักถึงศักยภาพของผลกำไรจากการลงทุนด้านการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร
- ตลาดไม่ได้มีกลไกทางการเงินเพื่อรองรับการลงทุนด้านอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน
- ตลาดไม่ได้มีผลตอบแทนหรือแรงจูงใจให้เจ้าของอาคารและผู้บริหารอาคารตัดสินใจลงทุนในโครงการด้านการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร
- ฯลฯ

จากผลการศึกษาในรายงานหัวข้อ “Environmental Performance” A Global Perspective on Commercial Real Estate Investors , The European Centre for Corporate Engagement, Maastricht University School of Business and Economics ประเทศเนเธอร์แลนด์ พบว่าอาคารธุรกิจที่มีประสิทธิภาพพลังงาน จะให้ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์แก่ผู้ลงทุนในลักษณะของการให้เช่าในอัตราที่สูงขึ้นมากกว่าอาคารทั่วไปประมาณ **6-8%** และในลักษณะของการซื้อ-ขายจะมีมูลค่าที่มากขึ้นประมาณ **18%**

นอกจากนี้ จากผลการศึกษาดังกล่าว ได้มีการสร้างแบบสอบถามและทำการสำรวจกลุ่มตัวอย่างโดยจำแนกประเภทของคำถามออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ Environmental Management & Policy และ Implementation & Measurement เพื่อพิจารณา **Environmental Real Estate Index** จาก Global Private Sample ดังนี้

Environmental Management Policy : เป็นชุดคำถามเพื่อประเมินการตัดสินใจของผู้บริหารเกี่ยวกับการพิจารณาลงทุนด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม
Implementation & Measurement : เป็นชุดคำถามเพื่อประเมินด้านข้อมูลประสิทธิภาพพลังงานและศักยภาพที่มีอยู่ของบุคลากรผู้ปฏิบัติงาน

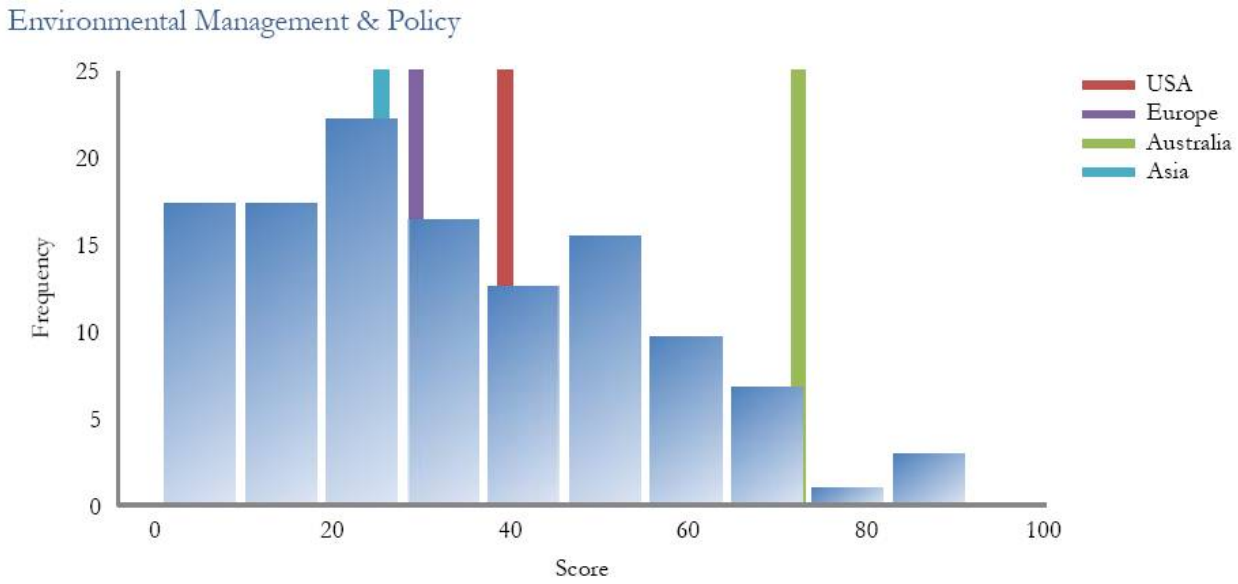
สำหรับผลการสำรวจสามารถสรุปได้ดังตารางและกราฟต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 Environmental Real Estate Index : Global Private Sample

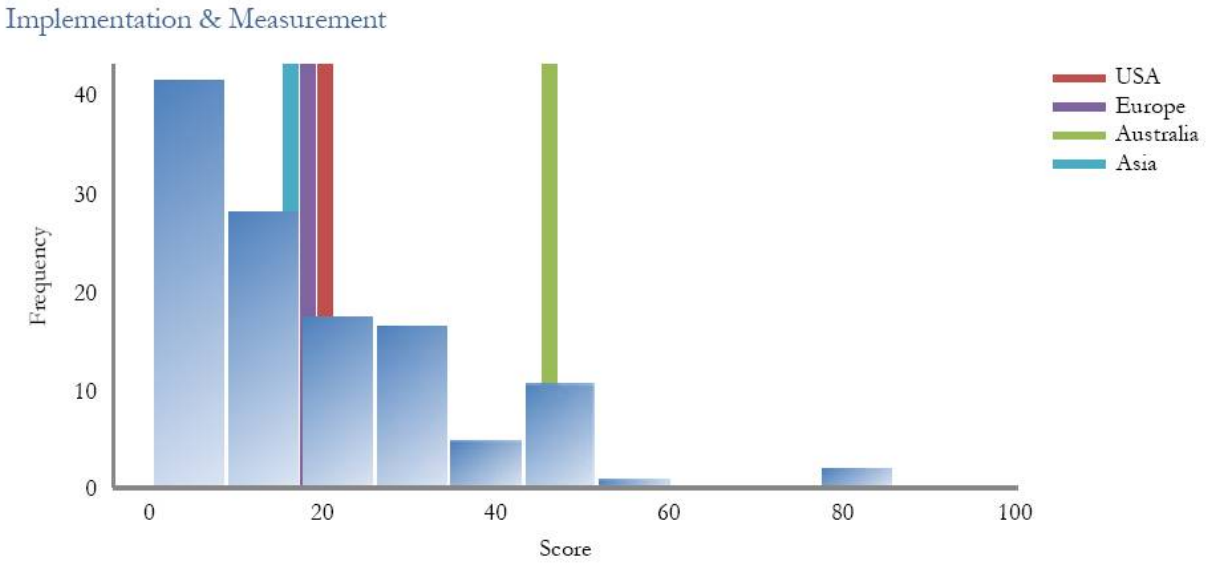
	Europe	Australia	U.S.	Asia
Sample	**64**	**5**	**37**	**20**
Management & Policy	29.3%	71.7%	39.1%	24.8%
	(17.0)	(23.7)	(17.9)	(22.9)
Implementation & Measurement	17.7%	47.1%	20.2%	15.9%
	(14.8)	(26.6)	(12.3)	(13.9)
Total Score	22.3%	56.9%	27.7%	19.4%
	(13.8)	(23.0)	(12.1)	(16.9)

(ตัวเลขในวงเล็บคือค่า Standard Deviation)

เมื่อพิจารณาข้อมูลในกลุ่มประเทศเอเชีย ได้คะแนนเพียง 19.4% ซึ่งค่อนข้างต่ำหากเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นๆ สาเหตุน่าจะมาจากการที่โครงการที่พัฒนาต่างๆ ยังมองว่าเรื่องการบริหารจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ไม่ได้มีความสำคัญในอันดับต้นๆ เนื่องจากยังไม่มีแรงกดดันจากหน่วยงาน องค์กรต่างๆ ในเรื่องพลังงานและสิ่งแวดล้อมมากนัก



รูปที่ 1.1 กราฟแสดง Environmental Real Estate Index : Management & Policy



รูปที่ 1.2 กราฟแสดง Environmental Real Estate Index : Implementation & Measurement

ตารางที่ 1.2 Environmental Performance per Sector

	Industrial	Office	Retail	Residential	Diversified	Other
Sample	7	26	31	19	35	8
Management & Policy	16.1%	39.8%	37.9%	26.1%	30.4%	29.9%
	(15.3)	(24.0)	(23.0)	(15.4)	(19.2)	(16.8)
Implementation & Measurement	9.4%	28.0%	21.1%	11.9%	18.4%	19.3%
	(7.3)	(21.6)	(15.9)	(4.69)	(14.8)	(16.0)
Total Score	16.0%	32.7%	27.8%	17.5%	23.2%	23.5%
	(9.8)	(21.2)	(16.7)	(6.6)	(15.0)	(13.8)

สืบเนื่องจากนโยบายของผู้บริหารที่ต่ำในรูปที่ 1.1 ทำให้แนวทางการปฏิบัติในเรื่องของ Implementation & Measurement ของพนักงานผู้ปฏิบัติจึงมีค่าต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศในแถบเอเชียซึ่งยังมีศักยภาพในการพัฒนาโครงการด้านอาคารธุรกิจค่อนข้างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเภทอาคารเพื่อการพักอาศัย Residential (ดูตารางที่ 1.2) เช่น อาคารชุด (คอนโดมิเนียม อพาร์ทเม้นท์) เป็นต้น

มีการประมาณการไว้ว่ากว่าร้อยละ 40 ของการใช้วัสดุและพลังงานทั่วโลก จะถูกนำมาใช้ในภาคอาคารธุรกิจ (Roodman et al,1995) ดังนั้น ความเข้าใจในการพัฒนาโครงการที่ให้ความสำคัญทางด้านการบริหารจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งที่ทั่วโลกกำลังให้ความสำคัญมากยิ่งขึ้น เนื่องจากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของภาคอาคารธุรกิจและธุรกิจที่เกี่ยวข้องจึงมีความจำเป็นต้องปรับตัวเพื่อสร้างศักยภาพในการแข่งขันและสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ธุรกิจมากยิ่งขึ้น

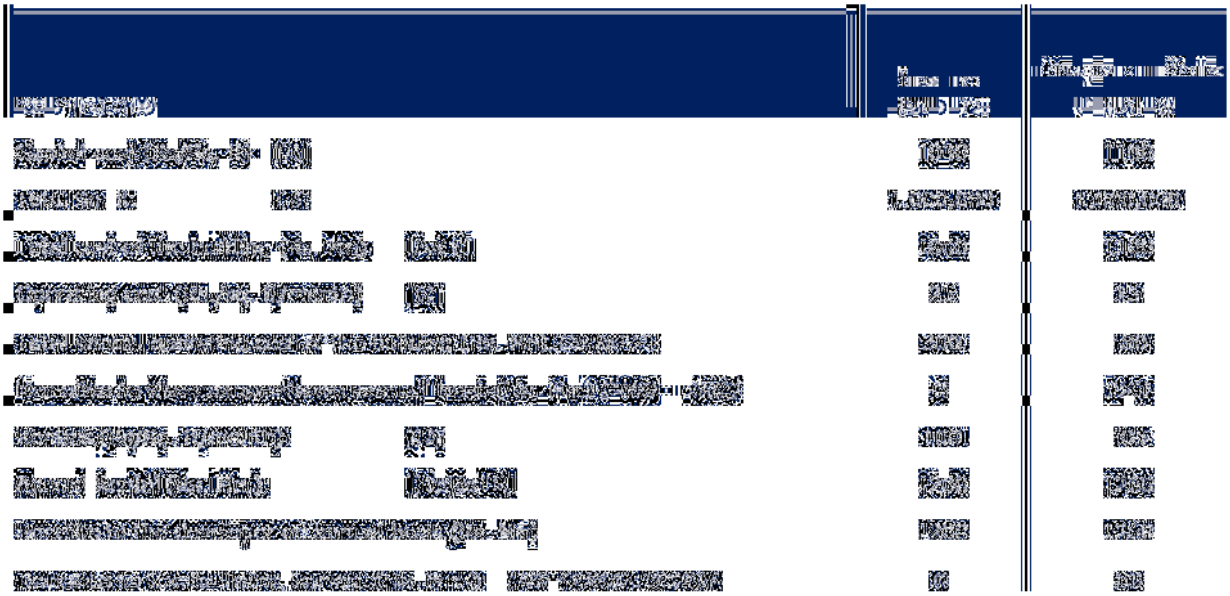
มุมมองใหม่สำหรับผู้พัฒนาโครงการสำหรับอาคารธุรกิจยุคใหม่

อาคารธุรกิจยุคใหม่ ต้องเป็นอาคารที่มีความยั่งยืน (Sustainable Buildings) สามารถตอบโจทย์ในมุมมองของเจ้าของอาคาร ผู้บริหารอาคาร และผู้ใช้งานอาคารได้อย่างลงตัว ทั้งในเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์และส่งผลให้เกิดการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว ดังนั้น มุมมองใหม่สำหรับผู้พัฒนาโครงการของอาคารธุรกิจ จึงควรพิจารณาในประเด็นต่างๆ ดังต่อไปนี้

- **ประสิทธิภาพพลังงานในมุมมองทางธุรกิจ** (Building Energy Efficiency – Developer's Perspective)

การก่อสร้างอาคารที่มีประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficient Building) ถึงแม้ว่าจะมีค่าใช้จ่ายที่มากขึ้นกว่าอาคารที่ออกแบบทั่วไปแต่ในลักษณะของอาคารบางประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีผู้เช่าแยกตามพื้นที่นั้น ผลประโยชน์ในด้านของพลังงานที่ประหยัดได้จากการใช้งานระบบอุปกรณ์จะสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มในด้านการพิจารณาทางธุรกิจของนักลงทุนพัฒนาโครงการและผู้ใช้งานอาคารได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 1.3 แสดงผลประโยชน์ทางธุรกิจจากการพัฒนาโครงการอาคารที่มีประสิทธิภาพพลังงาน

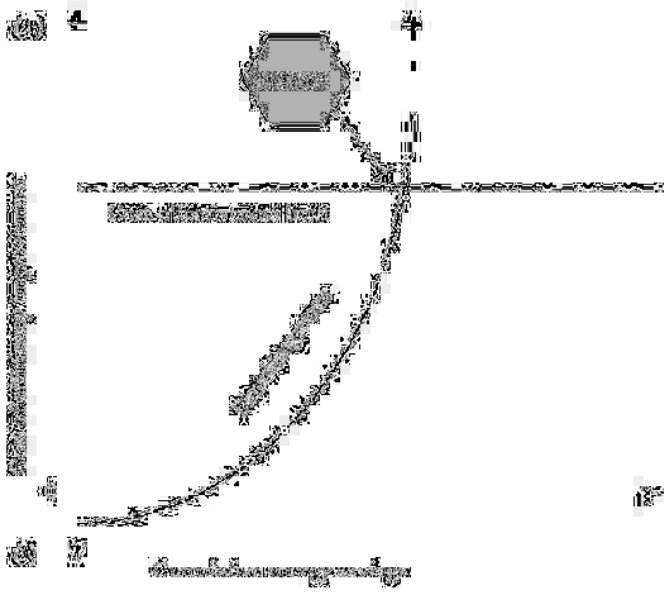


(ที่มา : Building Energy Efficiency – Barriers to Real Estate Developers,
Dr.Sanjay Vashishtha- First Green Consulting)

อาคารที่มีประสิทธิภาพพลังงาน จะได้รับการออกแบบที่ให้ผลประหยัดพลังงานจากการใช้งานอย่างน้อย 30-40% มากขึ้นจากการออกแบบทั่วไป โดยมีค่าใช้จ่ายด้านการลงทุนที่เพิ่มขึ้นประมาณ 10-20%

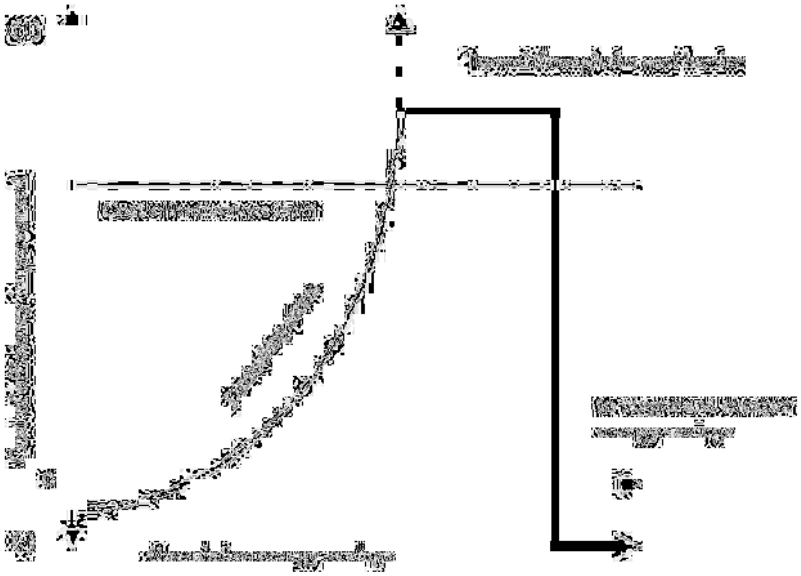
❖ **ผลประโยชน์ตลอดอายุการใช้งานอาคาร** (Life Cycle Costing and Service Life Planning)

การพิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคาร จะคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่เป็น Operation cost ได้แก่ ค่าพลังงาน และค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ลงทุนเริ่มแรก โดยทั่วไปจะเข้าใจว่า การจะเพิ่มผลประหยัดพลังงาน มักต้องเพิ่มการใช้เงินลงทุนเริ่มแรกด้วยในด้านของอุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง และระบบควบคุมอัตโนมัติต่างๆ นั่นคือ โครงการต่างๆ จะต้องพิจารณาถึงระยะเวลาคืนทุนเป็นหลัก ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แสดงค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการและผลประหยัด (กรณีทั่วไป)

อย่างไรก็ตาม หากสามารถใช้ผลของการพิจารณาผลประโยชน์อื่นๆของระบบรวมทั้งอาคาร และการบริหารจัดการตรวจติดตามประเมินในช่วงเวลาที่เหมาะสม จะเกิดผลสืบเนื่องต่อในการดำเนินการ นั่นคือ สามารถกระตุ้นให้เกิดการลงทุนที่ให้ประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น ซึ่งเรียกว่า “Tunnel Trough the cost Barrier” (ดูรูปที่ 1.4)

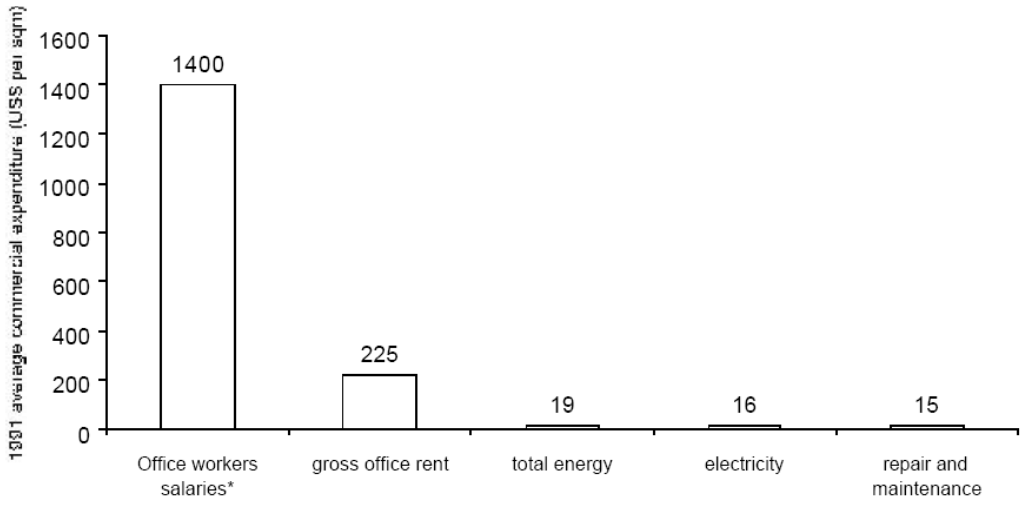


รูปที่ 1.4 แสดงสภาวะการเกิด “Tunnel through the cost barrier”

❖ เพิ่มคุณภาพการทำงาน (Increase Productivity)

ข้อมูลจากการสำรวจโดยทั่วไปพบว่า ค่าใช้จ่ายของเงินเดือนพนักงานในองค์กรเป็นสัดส่วนมากกว่า 70% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด ดังนั้นอาคารธุรกิจที่มีความยั่งยืนนั้นจะต้องสามารถช่วยให้พนักงานที่อยู่ในอาคารมีประสิทธิภาพในการทำงานมากยิ่งขึ้น อันเนื่องมาจากการปรับปรุงสภาพการทำงานที่มีคุณภาพ อาทิ มีแสงสว่างที่เพียงพอและเหมาะสม มี

คุณภาพอากาศที่ได้มาตรฐาน เป็นต้น ซึ่งประมาณการได้ว่า ประสิทธิภาพการทำงานที่เพิ่มขึ้นเพียง 1.5% จะสามารถช่วยให้เกิดมูลค่างานที่ครอบคลุมค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ตลอดปี



รูปที่ 1.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของอาคารสำนักงานทั่วไป
(ที่มา : Incentive for Sustainable Buildings in Australia – A designer's perspective)

กล่าวโดยสรุป ผู้พัฒนาโครงการ (Building Developers) สำหรับอาคารธุรกิจ หากสามารถประสานการพิจารณาจากข้อมูลด้านต่างๆ กับผู้ที่เกี่ยวข้อง อาทิ สถาปนิก วิศวกร สถาบัน องค์กรวิชาชีพต่างๆ อย่างต่อเนื่อง จะทำให้มีข้อมูลที่เพียงพอต่อการกำหนดนโยบายการพัฒนาโครงการเป็นอาคารที่มีความยั่งยืน (Sustainable Buildings) โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากผู้พัฒนาโครงการเป็นผู้ใช้งาน (End Users) ด้วยแล้ว ก็จะทำให้การพิจารณาโครงการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานต่างๆ รวมอยู่ในงบประมาณการลงทุนก่อสร้างอาคารได้ง่ายขึ้นในทางปฏิบัติ

อาคารธุรกิจที่ยั่งยืน (Sustainable Building)

ความหมายของ "อาคารธุรกิจที่ยั่งยืน" คือ อาคารธุรกิจที่สามารถตอบโจทย์ให้แก่เจ้าของอาคาร ผู้พัฒนาโครงการและผู้ใช้งานอาคาร ในด้านการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านการก่อสร้างหรือการลงทุนพัฒนาโครงการ ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจากการใช้งานและลดค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษา ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในขณะที่ยังคงไว้หรือมีมูลค่าเพิ่มซึ่งคุณภาพการให้การบริการ สุขอนามัยของผู้ใช้งานอาคารตลอดอายุการใช้งานอาคาร

ในการจัดทำมาตรฐานอาคารอนุรักษ์พลังงานนั้น ได้ดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน20ปีของกระทรวงพลังงาน โดยได้มีการกำหนดให้จัดตั้งค่าการใช้พลังงานของอาคารมาตรฐาน (Reference Building) เป็นเกณฑ์พื้นฐาน โดยได้จากค่าเฉลี่ยจากการสำรวจการใช้พลังงานของอาคารของภาครัฐ และได้มีการกำหนดเป้าหมายผลักดันการใช้พลังงานในภาคธุรกิจแบ่งเป็น BEC, HEPS, Econ และ ZEB
โดยที่ :

BEC = อาคารที่มีระดับการใช้พลังงานตามมาตรฐานของกฎกระทรวง (Building Energy Code)
HEPS = อาคารที่มีระดับการใช้พลังงานตามเกณฑ์ขั้นสูงของอุปกรณ์ด้วยเทคโนโลยีปัจจุบัน (High Energy Performance Standard)
Econ = อาคารที่มีระดับการใช้พลังงานจากระบบอุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีที่สูงขึ้นแต่ยังมีความคุ้มค่าในการ

ลงทุน (Economic Building)

ZEB = อาคารที่ระดับการใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์หรือเป็นศูนย์เนื่องจากมีความต้องการพลังงานในระดับต่ำ โดยมีการผลิตพลังงานที่ใช้ในอาคารจากพลังงานหมุนเวียนด้วย (Zero Energy Building)

	Reference	BEC	HEPS	Econ	ZEB
อัตราส่วนการประหยัด	0	20 – 25 %	30 – 35 %	60 %	70 %

ทั้งนี้ ได้กำหนดตัวชี้วัดสำหรับแต่ละภารกิจเทียบกับแผนอนุรักษ์พลังงาน *20* ปี โดยจำแนกอาคารธุรกิจออกเป็น *8* ประเภท ดังนี้

1. อาคารสำนักงาน
2. อาคารศูนย์การค้า
3. อาคารห้างสรรพสินค้า
4. อาคารโรงแรม
5. อาคารชุดห้องพัก
6. อาคารสถานพยาบาล
7. อาคารสถาบันการศึกษา
8. อาคารประเภทอื่นๆ

โดยการกำหนดตัวชี้วัดสำหรับอาคารแต่ละประเภทข้างต้น สามารถพิจารณาจากดัชนีการใช้พลังงาน*(kWh/m2/y)* ของระดับการใช้พลังงานประเภทต่างๆ ภายหลังจากการส่งเสริมให้เกิดการปรับปรุงเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง *(Reference)* ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1.4 ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานของระดับการใช้พลังงานสำหรับอาคารประเภทต่างๆ

Building Type	Energy Consumption under Each Level of Energy Saving Capability (kWh/m^2/y)				
	Reference	BEC	HEPS	Econ	ZEB
Office building	219	171	141	82	57
Department store	308	231	194	146	112
Retail & wholesale business facility	370	298	266	161	126
Hotel	271	199	160	116	97
Condominium	256	211	198	132	95
Medical center	244	195	168	115	81
Educational institution	102	85	72	58	39
Other general buildings	182	134	110	66	53

ดังนั้น สำหรับแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี สามารถกำหนดจำนวนอาคารที่ดำเนินปรับปรุงการเข้าสู่ระดับการใช้พลังงานแบบต่างๆ ตามสัดส่วนที่กำหนดดังต่อไปนี้

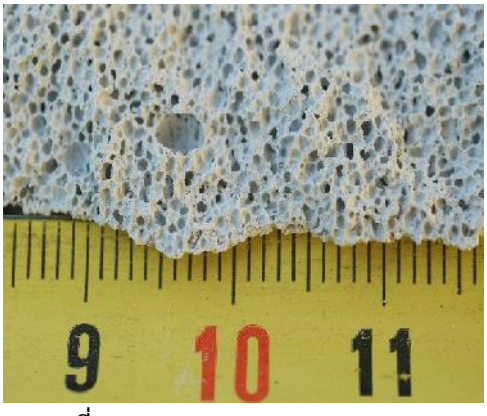
ตารางที่ 1.5 ประมาณการสัดส่วนอาคารธุรกิจในระดับอาคารประเภทต่างๆ ตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี

ระดับอาคาร	ประมาณการสัดส่วนอาคารธุรกิจในระดับต่างๆ		
	ระยะสั้น (2554-2559)	ระยะกลาง (2560-2566)	ระยะยาว (2567-2573)
Reference	38%	10%	5%
BEC	30%	5%	2%
HEPS	30%	33%	3%
ECON	2%	50%	85%
ZEB	0%	2%	5%
Total	**100%**	**100%**	**100%**

ตัวอย่างเทคโนโลยีที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ใน BEC

อิฐมวลเบา

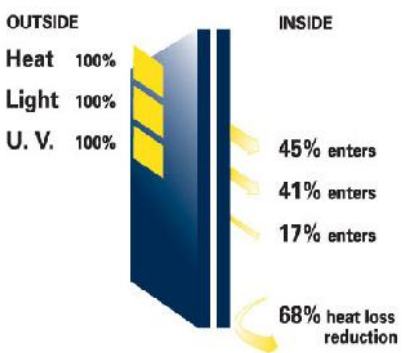
อิฐมวลเบา เป็นอิฐที่มีการเสริมฟองอากาศเข้าไปในโครงสร้าง ส่งผลให้มีน้ำหนักเบากว่าอิฐธรรมดาทั่วไป และยังเพิ่มคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อน ช่วยลดภาระของเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร เนื่องมาจากฟองอากาศที่อยู่ภายใน นอกจากนี้แล้วยังมีคุณสมบัติกันเสียงและกันอัคคีภัยได้อีกด้วย



รูปที่ 1.6 : Cross sectional of AAC concrete (Greenbang,2012)

กระจกแผ่รังสีต่ำ (Low-e glass)

กระจกแผ่รังสีต่ำคือกระจกที่เพิ่มคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อน ทำให้สามารถลดการแผ่รังสีของตัวกระจกจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร ในขณะที่ยอมให้แสงที่ตามองเห็นผ่านเข้ามาได้ค่อนข้างมาก เหมาะสำหรับการใช้แสงธรรมชาติสำหรับการส่องสว่างภายในอาคาร



รูปที่ 1.7 : Low-e glass emissivity (Althem)

เครื่องปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5

ประเทศไทยมีสภาพอากาศร้อนชื้นตลอดทั้งปี เครื่องปรับอากาศจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการควบคุมสภาพแวดล้อมในอาคาร อย่างไรก็ตามเครื่องปรับอากาศมีผลต่อการใช้พลังงานโดยรวมอย่างมาก ฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5 เป็นมาตรการของการไฟฟ้าในการช่วยลดการใช้ไฟฟ้าในอาคาร โดยได้มีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการใช้พลังงาน (COP) เท่ากับ 3.4 หรือ EER เท่ากับ 11.6



รูปที่ 1.8 : No.5 efficiency label in air conditioning unit

หลอดประหยัดไฟ

หลอดประหยัดไฟหรือหลอดฟลูออเรสเซ็นต์ เป็นหลอดที่พัฒนาเพื่อให้ประหยัดไฟมากกว่าหลอดไส้ หลักการทำงานของหลอด คือการจ่ายไฟเข้าที่ขั้วให้เกิดการแตกตัวของก๊าซไปกระตุ้นสารเรืองแสงที่เคลือบหลอดทำให้เกิดแสงสว่าง ซึ่งต่างจากหลอดไส้ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าเผาไหม้ที่ไส้หลอดทำให้เกิดความร้อนและสูญเสียพลังงาน

ตัวอย่างเทคโนโลยีที่สามารถประยุกต์ใน HEPS : High Energy Performance Standard

HEPS คือระดับของอาคารประหยัดพลังงานที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยผ่านการส่งเสริมและการสาธิตการใช้เทคโนโลยีประหยัดพลังงานในอาคาร ด้วยการส่งเสริมและสนับสนุนเงินทุนสำหรับโครงการสาธิตจะเป็นการกระตุ้นให้เอกชนหันมาสนใจและยอมรับในเทคโนโลยีที่ประสบความสำเร็จมากยิ่งขึ้น

ผนังอาคารเขียว และหลังคาเขียว (Green Roofs/Green Walls)

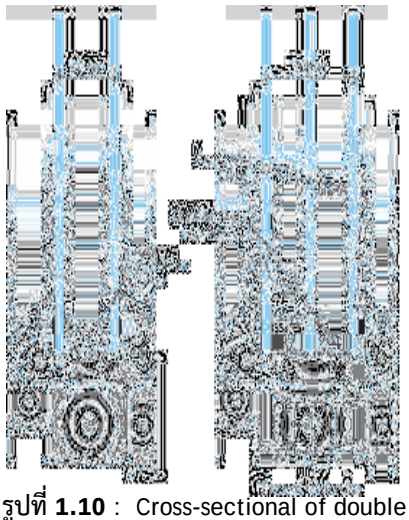
ผนังอาคารเขียว และหลังคาเขียวในที่นี้หมายถึงการใช้ระบบปลูกพืชตามแนวกำแพงหรือบนหลังคาอาคาร เนื่องจากการพัฒนาพื้นที่ในเขตชุมชนเมืองทำได้มีการสะท้อนแสงจากพื้นผิวของตึกและถนน ทำให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อน การใช้ผนังอาคารเขียวหรือหลังคาเขียวนอกจากจะช่วยให้พื้นผิวอาคารเองมีคุณสมบัติกันความร้อนได้ดีขึ้นแล้วยังช่วยลดความร้อนสภาพแวดล้อมโดยรอบเนื่องจากลดการสะท้อนความร้อนแก่บริเวณข้างเคียง ทั้งนี้การใช้พื้นที่สีเขียวยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบน้ำหมุนเวียนได้อีกด้วย



รูปที่ 1.9 : Example of exterior green wall (Sexton,2013)

กระจก 2 ชั้น และ 3 ชั้น (Double & Triple Glazing)

เป็นกระจกที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนสูงอันเนื่องมากจากการใช้ช่องว่างระหว่างกระจก (Air gap) เพื่อลดการนำความร้อนผ่านกระจก ช่องว่างนี้สามารถเติมด้วยอากาศหรือก๊าซเฉื่อยที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน โดยมีชิ้นปิดทำหน้าที่รักษาก๊าซภายในและกันอากาศภายนอกกับก๊าซภายในกระจก นอกจากนี้กระจกแผ่รังสีต่ำ (Low-e) ยังสามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของกระจกแต่ละชั้นได้อีกด้วย



รูปที่ 1.10 : Cross-sectional of double glazing and triple glazing (G2S group,2008)

หลอดแอลอีดี (Light Emitting Diodes :LEDs)

หลอด LEDs คือหลอดไฟชนิดประหยัดพลังงานซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าหลอด fluorescent โดยอาศัยหลักการเปล่งแสงของอนุภาคที่เกิดจากสารกึ่งตัวนำทำให้ก่อให้เกิดความร้อนที่น้อยกว่าและประหยัดพลังงานมากกว่า หลอด LED มีโครงสร้างเป็นของแข็งทั้งหมด ซึ่งแตกต่างจากหลอดไฟทั่วไปที่มีหลอดแก้วและก๊าซที่บรรจุอยู่ภายใน ทำให้มีความทนทานและอายุการใช้งานที่นานกว่า



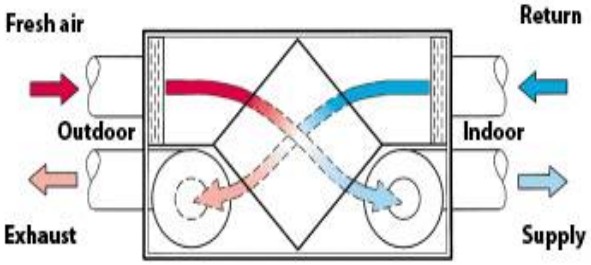
รูปที่ 1.11 : LEDs in T8 tube light (XiangDa,2011)

การพัฒนาศักยภาพของระบบ

ในอาคาร HEPS นั้นระบบปรับอากาศจะต้องได้รับการพัฒนาให้มีศักยภาพสูงขึ้นไปอีกขั้น ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับปรุงเพิ่มศักยภาพระบบโดยรวมนอกเหนือจากการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศเพียงอย่างเดียว

ระบบนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ หรือ ERV (Energy Recovery System) คือระบบที่นำพลังงานจากอากาศเสียหรืออากาศทิ้งจากบริเวณปรับอากาศ นำมาใช้ประโยชน์ในการปรับสภาพอากาศใหม่ก่อนที่จะนำเข้าสู่อาคารผ่านทางระบบปรับอากาศ (Pre-cool) ในสภาพอากาศร้อนชื้นที่ต้องการทำความเย็นอย่างในประเทศไทย ระบบนี้จะมีประโยชน์ในการทำความเย็นเบื้องต้นและลดความชื้นของอากาศจากภายนอก ระบบนี้นอกจากจะทำให้คุณภาพอากาศภายในอาคารเป็นไปตามมาตรฐานแล้วยังสามารถลดปริมาณภาระงานของระบบปรับอากาศได้อีกด้วย

ในการออกแบบระบบ นอกเหนือจากประโยชน์ในการประหยัดพลังงาน การออกแบบให้มีระบบนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ยังช่วยให้ระบบปรับอากาศมีขนาดที่เล็กลงและยังสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในช่วง 40%-50% ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมของการปรับอากาศภายในอาคาร



รูปที่ 1.12 : Air-to-Air Heat Recovery in ventilation system (Schild,2004)

เครื่องทำน้ำเย็นชนิดปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ (VSD Chiller)

อาคารทั่วไป ภาระของระบบปรับอากาศจะขึ้นอยู่กับความต้องการความเย็นในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งความต้องการความเย็นอาจปรับเปลี่ยนไปตามช่วงเวลาระหว่างวันหรือสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาล ซึ่งในการออกแบบเครื่องทำน้ำเย็นนั้นต้องออกแบบเครื่องให้สามารถรองรับความต้องการในช่วงเวลาสูงสุดได้ ดังนั้นเครื่องทำน้ำเย็นจึงมีโอกาสที่จะทำงานที่ภาระไม่เต็มพิกัดในบางช่วงเวลา ทำให้ให้เกิดความสิ้นเปลืองในการใช้พลังงานเป็นอย่างมาก โดยเครื่องทำน้ำเย็นชนิดปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์นี้จะใช้หลักการปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ให้ตอบสนองกับภาระความต้องการที่เกิดขึ้นจริงซึ่งจะเกิดประโยชน์สูงสุดในลักษณะอาคารที่มีความต้องการความเย็นที่ไม่คงที่ สำหรับอาคารที่มีความต้องการความเย็นที่คงที่จึงควรที่เน้นในการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงแทน

ตัวอย่างเทคโนโลยีที่สามารถประยุกต์ใช้ใน Econ : Economic Building

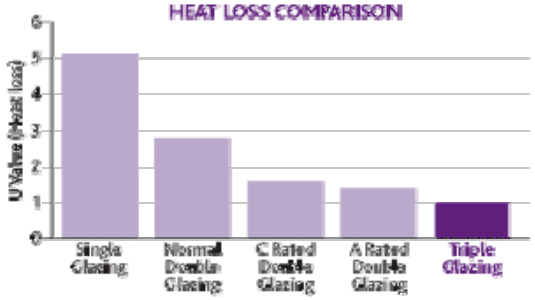
Econ คือ ระดับของอาคารที่สามารถพัฒนาได้ด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบันหรืออนาคตที่มีความคุ้มทุนในการเลือกใช้ โดยเทคโนโลยีดังกล่าวอาจมีอยู่ในปัจจุบันแต่ยังคงมีการใช้งานในวงจำกัด แต่ด้วยมาตรการสนับสนุนส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีดังกล่าว จะทำให้เกิดการประยุกต์ใช้ได้แพร่หลายมากยิ่งขึ้น ซึ่งตัวอย่างเทคโนโลยีที่สามารถประยุกต์ใช้ใน ECON มีดังนี้

กำแพงฉนวนกันความร้อน (Cavity Insulation Wall)

กำแพงฉนวนคือกำแพงที่มีการก่อสร้างผนังสองชั้น โดยมีช่องว่างอากาศตรงกลางซึ่งสามารถเติมสารที่เป็นฉนวนกันความร้อนได้โดยฉนวนทำหน้าที่เป็นตัวกันความร้อนถ่ายเทจากภายนอกเข้าสู่อาคาร วัสดุที่ในการทำฉนวน อาทิ styryne foam เป็นต้น



รูปที่ 1.13 : PU foam in cavity wall insulation (Dino Green,2012)



รูปที่ 1.14 : Heat loss comparison in each glazing technology (G2S group,2008)

กระจกสามชั้น (Triple Glazing)

กระจกสามชั้นได้รับการพัฒนามาจากกระจกสองชั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อน โดยหลักการแล้วกระจกสามชั้นมีความสามารถมากกว่ากระจกที่มีสองชั้น แต่ในการพิจารณาการใช้งานอาจต้องคำนึงถึงสภาพความแตกต่างของอากาศภายในและภายนอกด้วย

เครื่องปรับอากาศแบบแปรผันสารทำความเย็น (VRF)

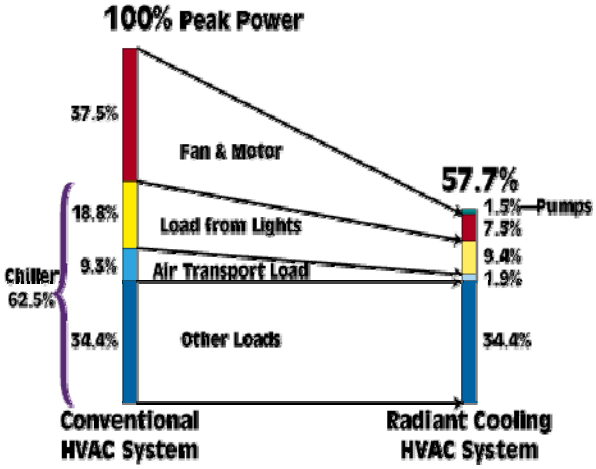
เครื่องปรับอากาศแบบแปรผันสารทำความเย็นหรือ VRF (Variable Refrigerant Flow) เป็นระบบที่สามารถปรับเปลี่ยนปริมาณสารทำความเย็นให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้อาคารในบริเวณต่างๆได้ดี VRF นั้นมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน ประหยัดพลังงานและสามารถควบคุมอุณหภูมิในพื้นที่ต่างๆ ได้ดี



รูปที่ 1.15 : Illustration of VRF system in the building (Johnson Controls,2013)

ระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสี (Radiant Cooling)

ระบบทำความเย็นแบบแผ่รังสีช่วยให้การทำความเย็นในอาคารมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการพาความร้อนหรือความเย็นทางธรรมชาติจากพื้น ผนัง หรือ เพดาน สู่ผู้อยู่อาศัย และมีการใช้พลังงานที่น้อยกว่าการทำความเย็นแบบทั่วไป เนื่องจากไม่ต้องใช้ระบบท่อลมอย่างไรก็ตามระบบนี้จะมีประสิทธิภาพลดลงในอากาศร้อนชื้นเนื่องจากความชื้นจะเพิ่มภาระในการทำความเย็นมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1.16: Peak Loads of Conventional HVAC and Radiant Cooling System (Berkeley Lab, 1994)



รูปที่ 1.17 : Radiant ceiling cooling and heating system (S&P,2013)

ท่อนำแสงอาทิตย์ (Solar Tube/Light Pipe)

ในการที่จะลดการใช้พลังงานจากระบบส่องสว่าง จำเป็นต้องอาศัยการใช้แสงธรรมชาติช่วยในการส่องสว่างในอาคาร ในพื้นที่ที่ติดกับกรอบอาคารสามารถนำแสงเข้ามาโดยใช้กระจกได้ แต่ในส่วนภายในนั้นสามารถทำได้ด้วยการใช้ท่อนำแสงอาทิตย์จากบนหลังคาอาคาร โดยการติดตั้งโคมรวมแสงในด้านบนแล้วนำแสงสะท้อนภายในท่อลงมาสู่จุดปลายท่อเพื่อส่องสว่างภายในอาคาร โดยการประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบไฟ LED ที่มีระบบควบคุมอย่างเหมาะสมจะสามารถทำให้อาคารได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอในตอนกลางวันและกลางคืน



รูปที่ 1.18 : Solatube tubular daylight devices (Solartube,2013)

ตัวอย่างเทคโนโลยีที่สามารถประยุกต์ใช้กับZEB (Zero Energy Building)

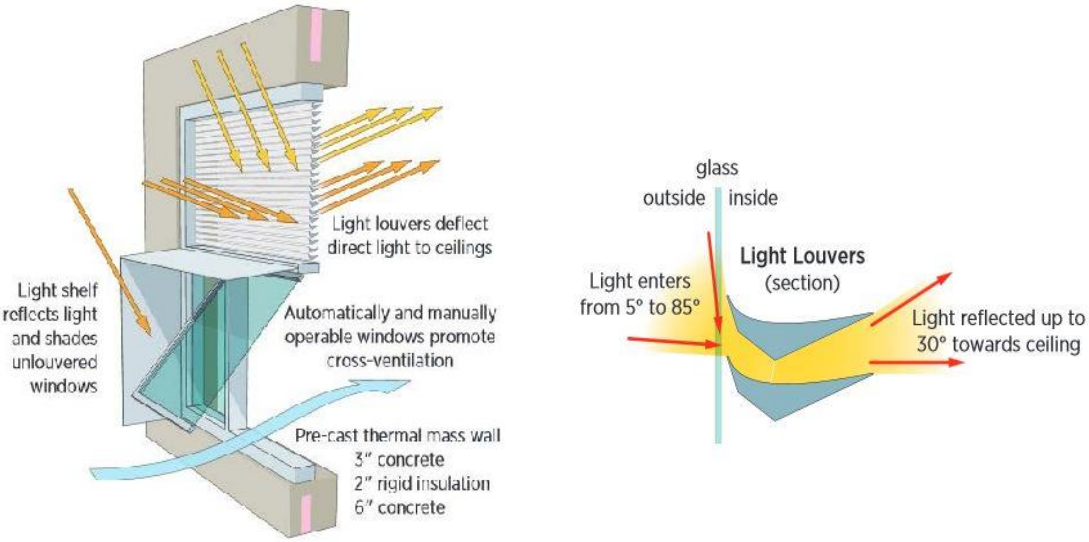
อาคารที่มีการใช้พลังงานเป็นศูนย์เป็นเป้าหมายสูงสุดในแผนอนุรักษ์พลังงาน ด้วยการเน้นการออกแบบ Passive สำหรับตัวอาคารโดยการลดพลังงานในระดับต่ำสุด และการเพิ่มประสิทธิภาพในส่วนของระบบกลไก (Active) อาคารประเภทนี้จะมีการใช้พลังงานที่น้อยกว่าอาคารโดยทั่วไปเป็นอย่างมาก และยังมีการผลิตพลังงานทดแทนในพื้นที่เพื่อนำมาชดเชยกับความต้องการพลังงานภายในอาคาร

หลักเกณฑ์การพิจารณา

- ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยลดปริมาณการใช้พลังงานจากตัวอาคาร
- ใช้พลังงานหมุนเวียนภายในตัวอาคารเป็นหลักเนื่องจากลดผลกระทบจากการขนส่ง
- แหล่งพลังงานต้องสามารถใช้ได้ตลอดอายุการใช้งานของตัวอาคาร
- แหล่งพลังงานต้องสามารถหาได้โดยทั่วไปและสามารถใช้ได้สำหรับอาคารในอนาคต

ระบบม่านกันแดดและอุปกรณ์บังแสง (Light Louvers and Sunshade Overhang)

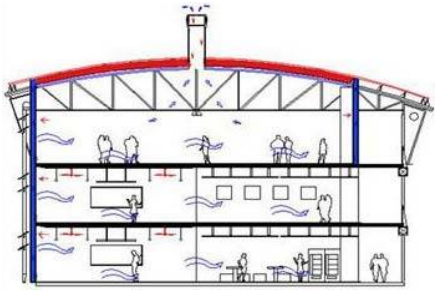
ในการออกแบบอาคาร หนึ่งในตัวแปรสำคัญในการออกแบบกรอบอาคารคือค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient) โดยเฉพาะในส่วนของกระจก ซึ่งเป็นจุดที่มีการสูญเสียความร้อนสูง การใช้ระบบจัดการแสงที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นส่วนสำคัญ ซึ่งระบบที่ดีนอกจากสามารถบังแสงเพื่อลดการส่งผ่านความร้อนแล้วยังต้องสามารถส่งผ่านแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคารได้ดีอีกด้วย



รูปที่ 1.19 : A light louver daylighting system reflects sunlight to the ceiling, creating an indirect lighting effect. Fixed sunshades limit excess light and glare (NREL,2012)

ปล่องแสงระบายอากาศ (Solar Stack Ventilation)

ปล่องแสงระบายอากาศเป็นหนึ่งในการออกแบบอาคารแบบ Passive เพื่อช่วยในระบบหมุนเวียนของอากาศ โดยอาศัยหลักการแทนที่ของอากาศร้อนในปล่องแสงที่ลอยตัวขึ้นสู่ด้านบนตามธรรมชาติและถูกระบายออกเพื่อนำอากาศใหม่เข้าสู่ตัวอาคาร โดยความร้อนที่สะสมอยู่ภายในอาคารจะไหลเข้าสู่ช่องระบายอากาศพื่อไหลไปรวมที่ปล่อยระบายอากาศนี้

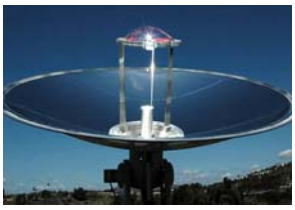


รูปที่ 1.20 : Solar stack ventilation system at ZER building , Singapore (BCA,2010)



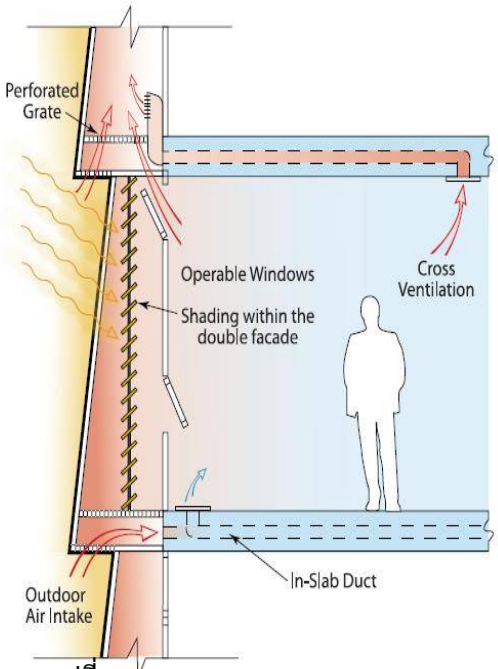
ระบบแสงธรรมชาติใยแก้วนำแสง (Fiber Optic Solar Lighting)

เป็นระบบที่มีลักษณะการทำงานคล้ายท่อนำแสงอาทิตย์ แต่ได้เปลี่ยนจากท่อที่มีความหนาเป็นใยแก้วนำแสงที่มีขนาดเล็กกว่าซึ่งสามารถทำให้วางผ่านผนังอาคารหลายชั้นได้และสามารถนำแสงความเข้มข้นสูงกว่าอากาศ โดยอาจมีอุปกรณ์รวมแสงเพื่อเพิ่มปริมานแสงที่จะส่งผ่านเข้าไปในอาคาร





รูปที่ 1.21 : (Left) Solar concentration device, (right top) solar fiber optic system in the building, (right bottom) solar fiber optic illuminator (Proefrock,2006)



รูปที่ 1.22 : Example of double façade as buffer space (City of Vancouver, 2009)

ระบบกรอบอาคารแบบมีพื้นที่ว่าง (Integrated Double Facade Buffer Space)

การออกแบบพื้นที่ว่างของกรอบอาคารภายในอาคารเป็นเทคนิคการออกแบบอาคารชนิดหนึ่ง โดยการประยุกต์ใช้พื้นที่เหล่านี้ร่วมกับการระบายอากาถือเป็นเทคนิคชั้นสูง โดยในสภาพภูมิอากาศร้อน การใช้เทคนิคนี้จะช่วยลดภาระแก่ระบบทำความเย็นได้

พื้นที่ร่วมนี้ยังสามารถทำงานร่วมกับระบบอื่นๆได้เช่นระบบบังแสงและสะท้อนแสงจากภายใน หรือระบบระบายอากาศเวลากลางคืนเพื่อไล่มวลอากาศร้อนที่ยังสะสมอยู่ภายในตัวอาคาร ในการออกแบบสมัยใหม่ยังสามารถทำประโยชน์ใช้สอยจากพื้นที่เหล่านี้ได้ โดยออกแบบให้เป็นพื้นที่ๆมีการใช้งานเป็นครั้งคราว

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน

ในการที่จะมุ่งสู่อาคารที่มีการใช้พลังงานเป็นศูนย์นั้นอาคารจำเป็นต้องมีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนเพื่อที่จะลดความต้องการไฟฟ้าจากการไฟฟ้าซึ่งในการเลือกใช้เทคโนโลยีนั้นมีหลายปัจจัยในการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับโครงการ ในที่นี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด 2 ชนิด คือ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม

1. เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าและผลิตความร้อน (Solar Photo Voltaic (PV) & Solar Collector)

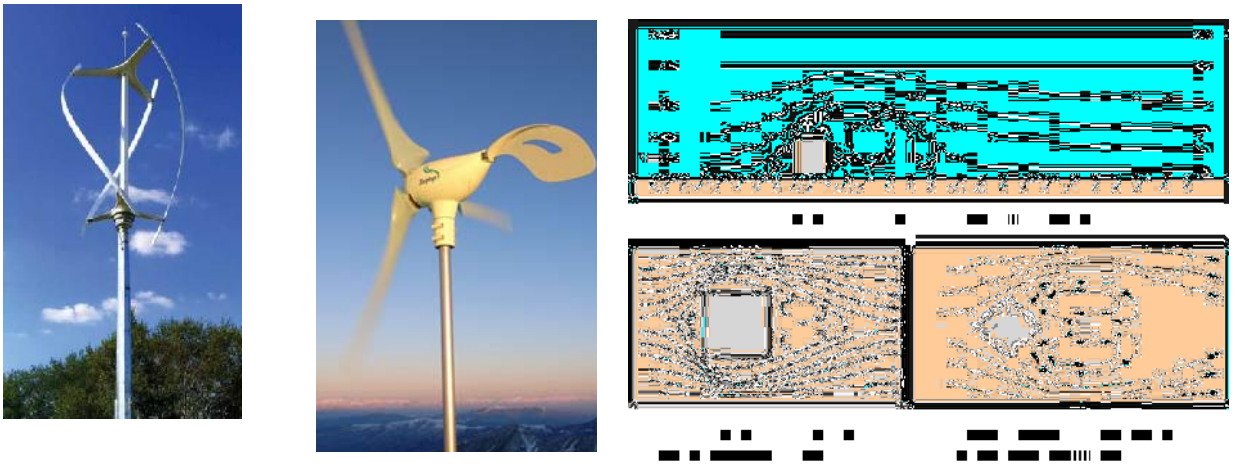
สำหรับอาคารหรือโครงการที่มีพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง พลังงานแสงอาทิตย์เป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตพลังงาน โดยมีสองลักษณะคือ เซลล์แสงอาทิตย์ (PV) ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าจากแสงแดดและสามารถจ่ายให้กับอาคารโดยตรงได้ ในบริเวณที่มีพื้นที่ราบ เทคโนโลยี poly crystalline อาจถูกเลือกใช้อันเนื่องมาจากประสิทธิภาพที่สูง ส่วนในบริเวณพื้นที่ที่มีความโค้ง สามารถเลือกใช้แบบ Thin film เพื่อความยืดหยุ่นในการติดตั้งและใช้งาน ซึ่งจะทำการเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วยระบบเก็บกักความร้อนที่มีน้ำเป็นตัวนำ โดยน้ำร้อนที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างเช่น น้ำร้อนสำหรับระบบทำความเย็น เป็นต้น



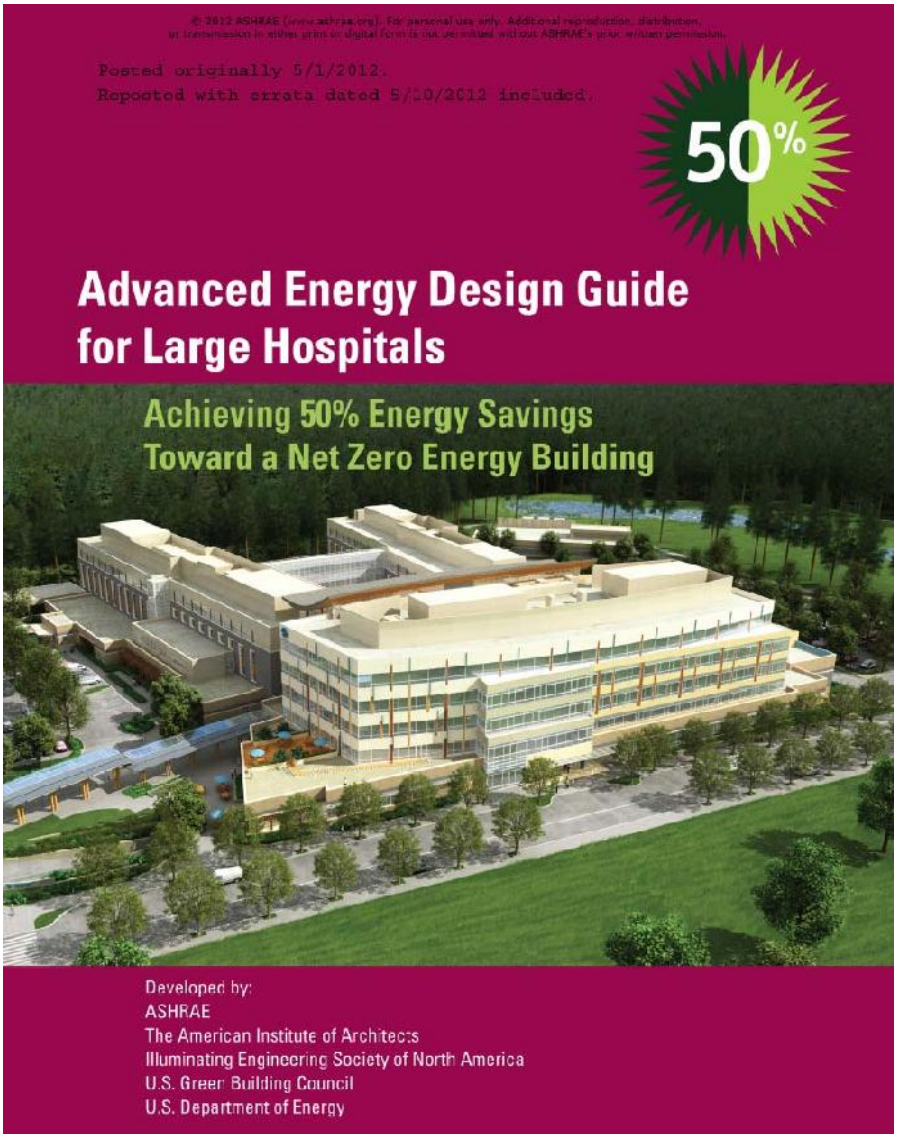
รูปที่ 1.23: Solar thin film and solar water heater (Solar Renewable, 2012)

2. กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (Micro Wind Turbine)

ในพื้นที่ที่มีความเร็วลมเพียงพอ กังหันลมอาจถูกนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ กังหันลมขนาดเล็กที่ใช้งานในชุมชนเมืองสามารถแบ่งออกได้เป็นสองลักษณะคือ กังหันลมแนวนอน และกังหันลมแนวตั้ง กังหันลมแนวนอนเป็นแบบที่เห็นทั่วไปคล้ายกับกังหันขนาดใหญ่ โดยจะต้องมีการติดตามทิศทางลมเพื่อประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ในส่วนกังหันลมแนวตั้ง เป็นการออกแบบให้สามารถทำงานได้จากลมในหลากหลายทิศทาง



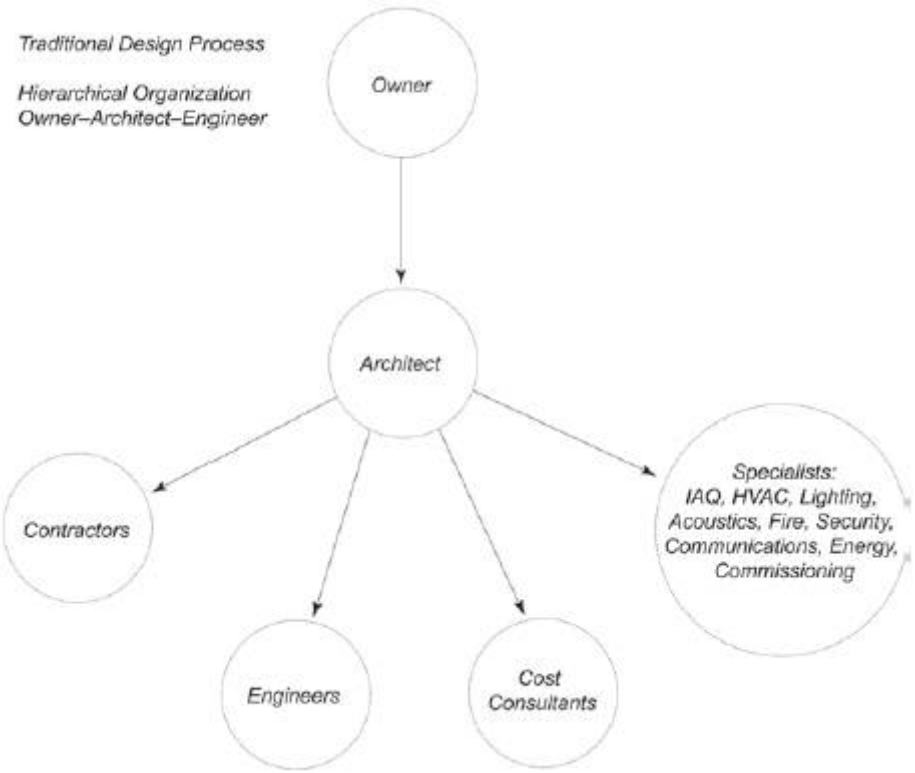
รูปที่ 1.24 : Vertical axis turbine, horizontal axis turbine, wind profile in urban environment (Williams, 1997).



หลักการบูรณาการโครงการเพื่อมุ่งสู่อาคารระดับ Zero Energy Building (ZEB)

ในอดีตที่ผ่านมา การออกแบบ ก่อสร้างและใช้งานอาคารมักจะถูกกำหนดตามลำดับโครงสร้างการบริหาร เริ่มตั้งแต่เจ้าของอาคาร สถาปนิกออกแบบ จนกระทั่งถึงวิศวกรออกแบบ วิศวกรโครงการ ผู้รับเหมา โดยที่ผลลัพธ์ของงานมักจะได้รับการพิจารณาเป็นส่วนๆ ตามหน้าที่ความรับผิดชอบของแต่ละฝ่าย ซึ่งขาดการมองในภาพรวมถึงผลสำเร็จจากการออกแบบและก่อสร้างอย่างมีประสิทธิภาพในหลายมิติ อาทิ ค่าใช้จ่ายโครงการ ผลการประหยัดพลังงาน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ฯลฯ

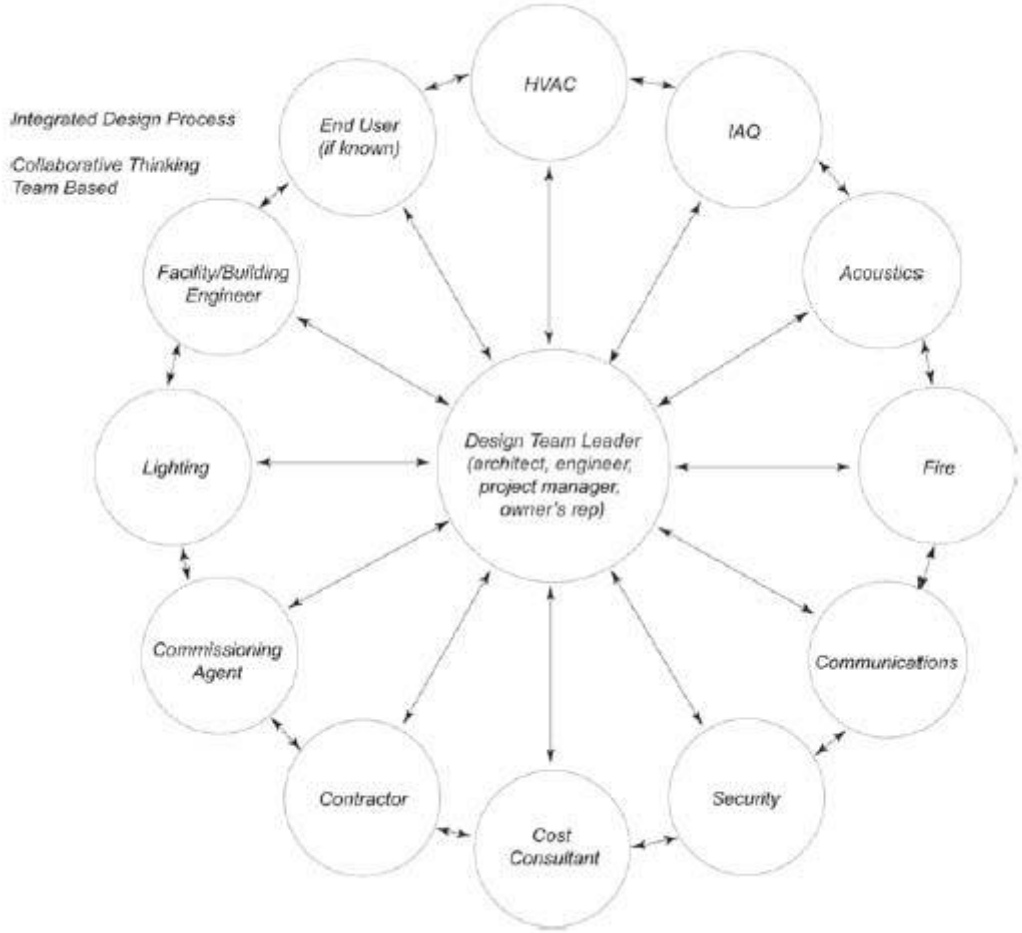
รูปที่ 1.25 ต่อไปนี้ แสดงถึงโครงสร้างทีมออกแบบอาคารทั่วไปแบบเดิม (Traditional Project Design Team) ซึ่งจะเห็นได้ว่า “การสื่อสาร” (Communication) เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ยังไม่สามารถบริหารจัดการโครงการให้เกิดการมีส่วนร่วมจากฝ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในช่วงเวลาที่เหมาะสมได้



รูปที่ 1.25 โครงสร้างทีมออกแบบอาคารทั่วไปแบบเดิม (Traditional Project Design Team)

รูปที่ 1.26 จะเป็นการแสดงถึงโครงสร้างทีมออกแบบอาคารแบบบูรณาการ (Integrated Project Design Team) ที่มีการกำหนดเป้าหมายร่วมกันจากทุกฝ่ายตั้งแต่เริ่มต้นโครงการ โดยมีการสื่อสารและประสานงานในแต่ละขั้นตอนทำให้สามารถลดความเสี่ยงของโครงการ รวมถึงสามารถกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาอุปสรรคที่เป็นที่ยอมรับจากทุกฝ่ายได้ โดยผลลัพธ์ที่ได้ก็คือ “อาคารที่มีความยั่งยืนในการใช้งาน” (Sustainable Building) และเกิดประโยชน์สูงสุดต่อเจ้าของอาคาร (Owner) และ ผู้ใช้งานอาคาร (End Users) ซึ่งสามารถสรุปได้ในประเด็นสำคัญดังต่อไปนี้

- *ลดค่าใช้จ่ายโครงการ* จากการที่มีระบบอุปกรณ์ที่มีขนาดพอเพียงไม่มากจนเกินความจำเป็น
- *ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน และค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษา* จากการออกแบบและใช้งานที่เหมาะสม
- *เพิ่มคุณภาพด้านสุขอนามัย และเพิ่มคุณภาพการทำงาน* จากการประยุกต์ใช้สภาวะธรรมชาติที่ตอบสนองต่อร่างกายมนุษย์
- *ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม* จากการลดการใช้พลังงาน ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ส่งผลต่อสังคมในภาพรวม



รูปที่ 1.26 โครงสร้างทีมออกแบบอาคารแบบบูรณาการ (Integrated Project Design Team)

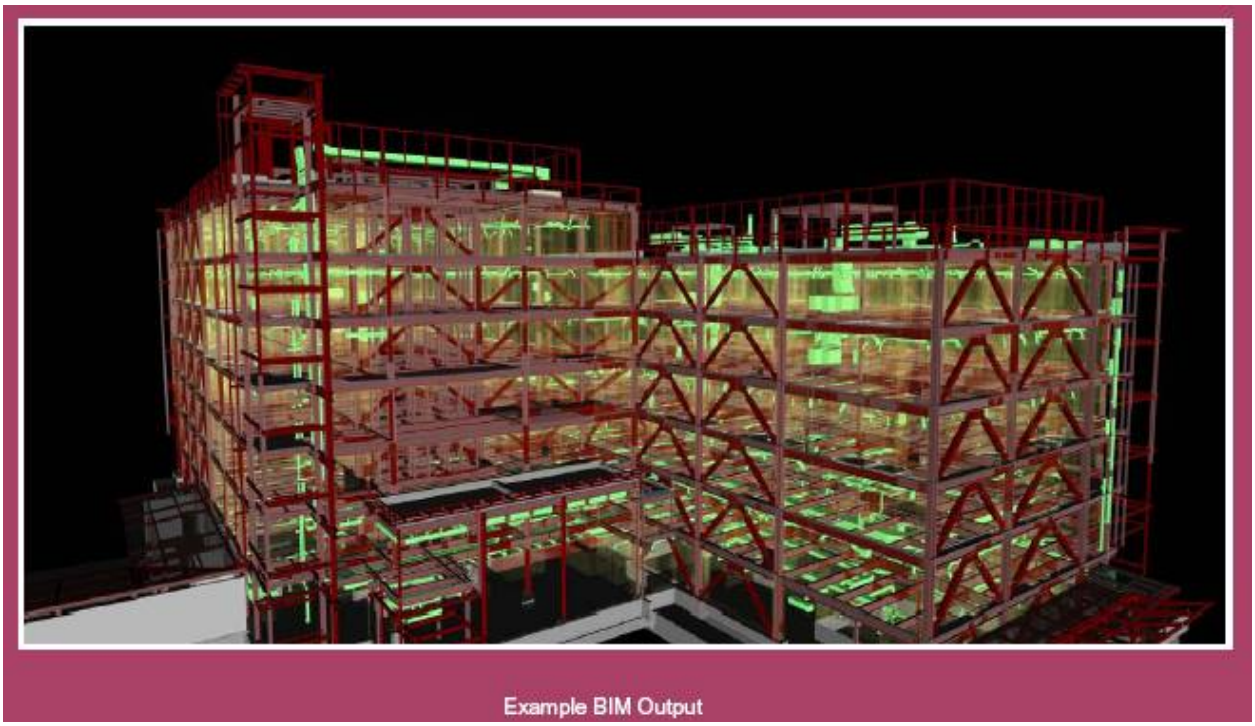
ตารางที่ 1.6 แสดงเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างทีมออกแบบอาคารแบบเดิมและแบบบูรณาการในด้านต่างๆ



(ที่มา : Advanced Energy Design Guide for Large Hospitals Developed by ASHRAE, USGBC, USDOE 2012)

จากหลักการดังกล่าว สามารถแสดงรายละเอียดการพิจารณาแบบบูรณาการตามขั้นตอนของโครงการ ได้ดังต่อไปนี้

1. การจัดตั้งทีมงาน (Assembling the team)	จัดตั้งทีมงานที่เกี่ยวข้องทั้งด้านการออกแบบ ก่อสร้าง และใช้งานอาคาร โดยสามารถพิจารณาในด้าน Passive และ Active ของระบบอุปกรณ์ต่างๆ
2. การประชุมเริ่มต้นโครงการ (Project Kickoff)	ประชุมเริ่มต้นโครงการ โดยมุ่งเน้นให้สามารถพัฒนาเอกสารความต้องการของเจ้าของ หรือ OPR (Owner's Project Requirement) จากการทำ Workshop ร่วมกันระหว่างทีมงาน และให้ซึ่งผลลัพธ์ที่เป็นความสำเร็จของโครงการในประเด็นที่เป็นที่เข้าใจตรงกัน
3. การออกแบบเบื้องต้น (Predesign)	เน้นการทบทวน OPR อย่างรอบด้าน เพื่อกำหนดทางเลือกในการออกแบบ ในบางกรณี อาจใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองรูปแบบอาคารที่เหมาะสม ตามความต้องการได้ เช่น BIM (Building Information Modeling)



Example BIM Output

4. การออกแบบข้อกำหนดหลัก (Schematic Design)	1.วางกรอบพื้นที่ใช้งานส่วนใหญ่ (Occupied Area) ให้อยู่ในบริเวณ Perimeter zone และให้พื้นที่ใช้งานส่วนน้อย (Unoccupied Area) หรือ ส่วนของ High heat load เช่น Server ให้อยู่บริเวณ Core zone เพื่อสะดวกต่อการนำความร้อนมาใช้ประโยชน์ในการประหยัดพลังงาน 2.พิจารณาเทคโนโลยีและการควบคุม/มาตรการอนุรักษ์พลังงาน/ผลประหยัดจากการเลือกวัสดุกรอบอาคาร เช่น ❖ Natural Ventilation for Cooling ❖ Daylighting ❖ Heat recovery ❖ Use of Radiant Surfaces 3.ประเมินความคุ้มทุนในการลงทุนในลักษณะต่างๆ เทียบกับ Base Case (กรณี Conventional) เช่น ❖ ค่าใช้จ่ายลงทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้น ❖ ผลประหยัดพลังงานต่อปี ❖ ผลประหยัดค่าบำรุงรักษาต่อปี ❖ ระยะเวลาคืนทุน ❖ อัตราผลตอบแทนการลงทุน ❖ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง ❖ ผลประหยัดที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับ ASHRAE/IES Standard 90.1-2010 ❖ ช่วงอุณหภูมิที่ควบคุมได้ตลอดทั้งปี ❖ ช่วงระดับความสว่างที่ควบคุมได้ตลอดทั้งปี ❖ ฯลฯ
5. การพัฒนากระบวนการออกแบบ (Design Development)	เป็นการนำผลที่ได้จากขั้นตอน Schematic Design มาพิจารณากับมาตรฐานต่างๆ เช่น LEED เป็นต้น และโดยเฉพาะอย่างยิ่งการคำนวณ LCCA (Life Cycle Cost Assessment) เพื่อยืนยันความมั่นใจต่อเจ้าของอาคารหรือผู้พัฒนาโครงการ จนสามารถกำหนดรายละเอียดเป็นเอกสาร BOD (Basis of Design) และสามารถให้ที่ปรึกษาควบคุมการก่อสร้างติดตั้ง (Commissioning Authority : CxA) พิจารณาเทียบกับ OPR ได้ตลอดโครงการ
6. การเตรียมเอกสารก่อสร้างติดตั้ง (Construction Documents : CDs)	เอกสารที่ได้จากขั้นตอนการออกแบบพร้อมสำหรับการก่อสร้างติดตั้ง โดยได้พิจารณาถึงปัจจัยของความยั่งยืน (Sustainability Features) เป้าหมายพลังงาน (Energy Target) และการสื่อสารในกระบวนการ

7. การประมูลหาผู้รับเหมา (Bid Phase)	การชี้แจงวัตถุประสงค์เบื้องลึกในการออกแบบที่มีประสิทธิภาพแก่ผู้รับเหมาที่จะรับงานเป็นสิ่งที่สำคัญ อันจะทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องในโครงการตระหนักถึงปัจจัยต่างๆ ที่ต้องควบคุมให้ได้ตามวัตถุประสงค์การออกแบบ
8. การก่อสร้างและติดตั้ง (Construction)	ผู้ออกแบบและที่ปรึกษา CxA มีการทบทวนเอกสารจากผู้รับเหมา (Submittal Review) ที่ยื่นเพื่อขออนุญาตการก่อสร้าง ติดตั้ง เพื่อพิจารณาความสอดคล้องกับข้อกำหนดในการออกแบบ เช่น OPR, BOD, CDs เป็นต้น
9. การทดสอบติดตั้งใช้งาน (Commissioning)	การตรวจสอบควรที่จะครอบคลุมถึง Prefunctional Test, Functional Test และการฝึกอบรมให้เจ้าหน้าที่ผู้ดูแลอาคารสามารถแก้ไขสภาวะใช้งานให้เข้าสู่สภาวะ
10. การใช้งานและบำรุงรักษา (Operating & Maintenance)	ควรมีการตรวจติดตามการใช้พลังงาน (Monitoring & Verifications) อย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่ง 12-18 เดือนหลังจากส่งมอบงานก่อสร้างติดตั้ง จากหน่วยงานกลางหรือที่ปรึกษา Commissioning Authority (CxA) ที่มีประสบการณ์ นอกจากนี้ ควรมีการจัดฝึกอบรมช่างเทคนิคผู้ควบคุมการใช้งานระบบอุปกรณ์ในอาคารให้สามารถใช้งานและบำรุงรักษาอุปกรณ์อย่างเหมาะสมตลอดจนใช้เครื่องมือวัดเก็บข้อมูลเพื่อติดตามประสิทธิภาพพลังงานที่เปลี่ยนแปลง และวิเคราะห์หาสาเหตุความผิดปกติของการใช้งานและบำรุงรักษาได้
11. การให้ผู้ใช้อาคารมีส่วนร่วมอย่างต่อเนื่อง (Ongoing Occupant Engagement)	หลีกเลี่ยงการใช้งานอาคารในลักษณะที่ฝ่ายช่างของอาคารควบคุมการเดินระบบอุปกรณ์ฟุ่มเฟือย มากจนเกินความจำเป็นเพื่อป้องกันการร้องเรียนมากกว่าการพิจารณาเรื่องผลประหยัดพลังงาน ดังนั้น จึงควรสร้างความตระหนักทางด้านประหยัดพลังงานแก่ผู้ใช้อาคารอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดพฤติกรรมและทัศนคติในเชิงบวก (Positive-Impact Behaviors)

1.2 ข้อมูลลักษณะเฉพาะของอาคารประเภทโรงพยาบาล

ดัชนีการใช้พลังงานเฉลี่ย 244 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี*
ชั่วโมงการใช้งานเฉลี่ย : 24 ชั่วโมง
*(ที่มา : แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี พ.พ.)

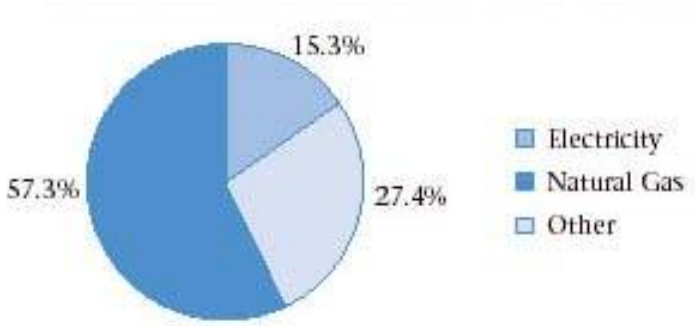
การวิเคราะห์การใช้พลังงานและรูปแบบการใช้พลังงาน จะช่วยให้สามารถทราบได้ว่าส่วนใดของอาคารที่มีการใช้พลังงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถปรับปรุงและดำเนินแผนการจัดการพลังงานได้อย่างถูกต้องเหมาะสมและสามารถลดค่าใช้จ่ายได้

การกำหนด Base Line ของการใช้พลังงานรวมของอาคาร เป็นสิ่งที่ต้องทำเป็นอันดับแรก ต้องกำหนดว่าส่วนใดของอาคารที่สำคัญ ปริมาณและชนิดของพลังงานที่ใช้ พื้นที่ใดที่มีการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ ตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงาน โดยเมื่อมีการวิเคราะห์การใช้พลังงานแล้ว ต้องเข้าใจถึงแนวโน้มและรูปแบบการใช้พลังงานของอาคารประเภทเดียวกัน เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่ามาตรฐานของการใช้พลังงาน

การใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาล

- ลักษณะของการใช้พลังงานในอาคาร

ข้อมูลตามรูปที่ 1.27 นี้เป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจการใช้พลังงานของโรงพยาบาล 222 แห่งจากทั้งหมด 879 แห่งในประเทศแคนาดา

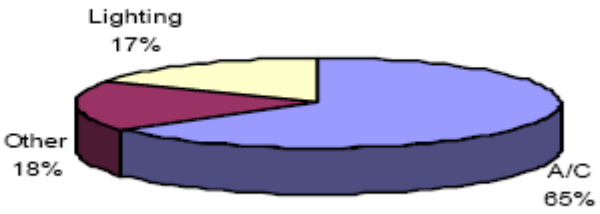


รูปที่ 1.27 แสดงลักษณะการใช้พลังงานในอาคารสถานพยาบาล
ที่มา : Office of Energy Efficiency Natural Resources Canada. Benchmark and Best Practices for Acute and Extended Healthcare Facilities : A Guide for Energy Managers and Finance Officers. 2003. p.7

จากโครงการจัดทำมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานของอาคารควบคุม ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน เมื่อพิจารณาถึงรายละเอียดการใช้พลังงาน ซึ่งประกอบไปด้วยพื้นที่ซึ่งมีลักษณะใช้งานที่แตกต่างกัน สามารถจำแนกการใช้พลังงานเป็นระบบได้ดังนี้

- ระบบปรับอากาศ
- ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
- ระบบที่ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน
- ระบบทำความร้อน

ระบบดังกล่าวใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนเป็นหลัก พบว่า การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมีมากถึงร้อยละ 65 การใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างร้อยละ 17 และการใช้พลังงานในระบบส่วนอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 18 ตามอันดับ



รูปที่ 1.28 แผนภาพแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่างๆของอาคารควบคุมประเภทโรงพยาบาล
ที่มา : โครงการจัดทำมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานของอาคารควบคุม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

จะเห็นว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าไปกับระบบปรับอากาศเสียส่วนมาก ซึ่งโรงพยาบาลเอกชนมีการใช้ระบบปรับอากาศมากกว่าโรงพยาบาลของรัฐ ดังนั้น การมุ่งเป้าประเด็นการทำการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานอาคารควบคุมประเภทโรงพยาบาลนั้น ควรเลือกอาคารโรงพยาบาลเอกชนที่มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่างเป็นจำนวนมาก เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาหาหนทางไปสู่การประหยัดพลังงานในส่วนการใช้พลังงานในระบบดังกล่าว

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารประเภทโรงพยาบาล

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารประเภทโรงพยาบาล มีดังนี้

- ชนิดของพลังงานที่ใช้
- ขนาดและประเภทของพื้นที่อาคาร
- อายุการใช้งานของอุปกรณ์
- จำนวนชั่วโมงการทำงาน
- สภาพภูมิอากาศ
- ระบบทำความร้อน ระบายอากาศและระบบปรับอากาศ (HVAC Systems)
- งบประมาณในการจัดการการใช้พลังงาน

ปัจจัยรองที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารประเภทโรงพยาบาล มีดังนี้

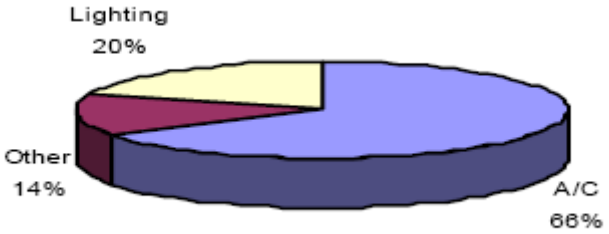
- ชนิดของ on-site facilities ซึ่งประกอบด้วย
  - Kitchen
  - Laundry
  - Incinerators
  - Burn Units
  - Laboratories
  - Emergency Services
  - Hospital Equipment
- กรอบอาคาร (Building Envelope และชนิดของช่องเปิด)
- ชนิดของหลอดไฟฟ้าและค่าปริมาณการส่องสว่าง

1.3 ข้อมูลลักษณะเฉพาะของอาคารประเภทโรงแรม

ดัชนีการใช้พลังงานเฉลี่ย 271 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี*
ชั่วโมงการใช้งานเฉลี่ย : 24 ชั่วโมง
*(ที่มา : แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี พ.พ.)

การใช้พลังงานในอาคารโรงแรม

- ลักษณะของการใช้พลังงานในอาคาร



รูปที่ 1.29 แผนภาพแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่างๆของอาคารควบคุมประเภทโรงแรม
ที่มา : โครงการจัดทำมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานของอาคารควบคุม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารประเภทโรงแรม

ตัวแปรที่ใช้พิจารณาลักษณะการบริการของโรงแรม 7 ตัวแปร คือ

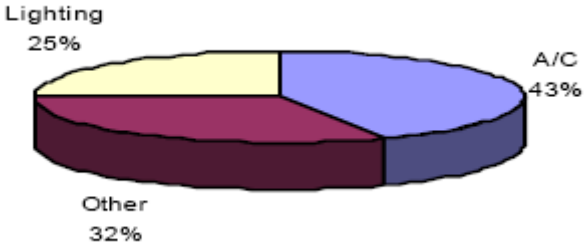
1. จำนวนห้องพัก
2. พื้นที่ร้านอาหารและภัตตาคาร
3. พื้นที่ห้องจัดเลี้ยง ประชุมสัมมนา
4. พื้นที่สุขภาพ สันทนาการ และส่วนกลาง
5. พื้นที่สระว่ายน้ำ
6. พื้นที่สำนักงาน ร้านค้า
7. ปริมาณผ้าในแผนกบริการซักรีด

1.4 ข้อมูลลักษณะเฉพาะของอาคารประเภทศูนย์การค้า

ดัชนีการใช้พลังงานเฉลี่ย 308 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี*
ชั่วโมงการใช้งานเฉลี่ย : 12 ชั่วโมง (10.00-22.00 น.)
*(ที่มา : แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี พ.พ.)

การใช้พลังงานในอาคารศูนย์การค้า

- ลักษณะของการใช้พลังงานในอาคาร



รูปที่ 1.30 แผนภาพแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่างๆของอาคารควบคุมประเภทศูนย์การค้า
ที่มา : โครงการจัดทำมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานของอาคารควบคุม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

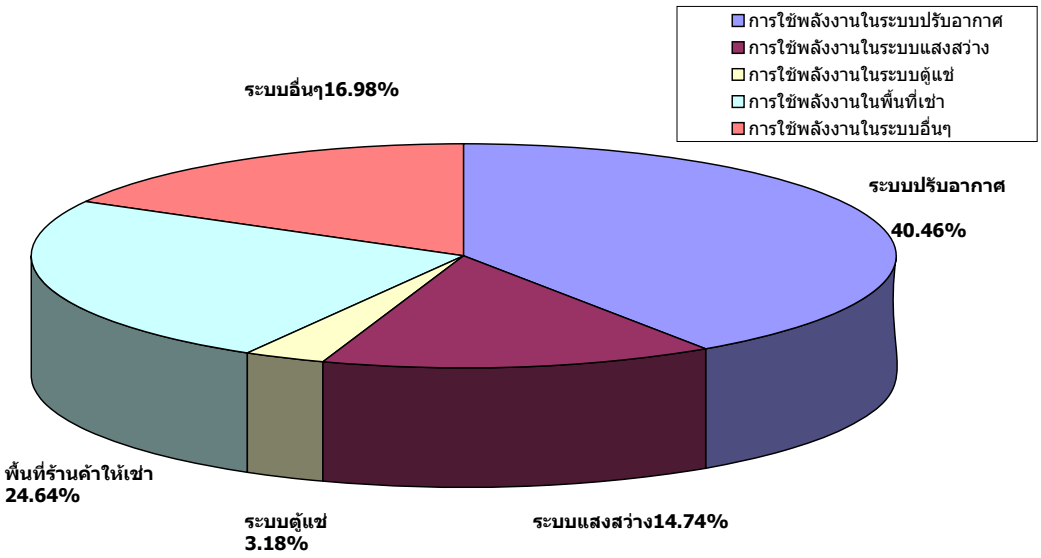
อาคารประเภทศูนย์การค้า สามารถจำแนกออกเป็น 4 ประเภท ดังต่อไปนี้

1) ดิสเคาท์สโตร์ (Discount Store) ดำเนินธุรกิจการขายปลีกและขายส่งของสินค้าอุปโภค บริโภค โดยเน้นการขายสินค้าราคาถูกและขายปริมาณมากๆ อาคารประกอบด้วยพื้นที่ใช้สอยต่างๆ เช่น พื้นที่ขายสินค้าของห้างเอง (เช่น บิ๊กซี คาร์ฟูร์ โลตัส) พื้นที่ขายอาหาร Fast Food และร้านค้าเช่า

2) ห้างสรรพสินค้า (Department Store) ดำเนินธุรกิจการขายปลีกของสินค้าอุปโภค บริโภค โดยมีสินค้าครบทุกหมวดตามที่ลูกค้าส่วนใหญ่ต้องการ เน้นการขายสินค้าราคาปกติและทำการลดราคาเป็นบางช่วงเวลา อาคารประกอบด้วยพื้นที่ใช้สอยต่างๆ เช่น ห้างสรรพสินค้าของห้างเอง (เซ็นทรัล เดอะมอลล์ โรบินสัน ฯลฯ) พื้นที่ขายอาหาร Fast Food ร้านค้าเช่า บางแห่งอาจจะมี โรงภาพยนตร์และโบวล์ลิ่ง ฯลฯ

3) ช็อปปิ้งพลาซ่า (Shopping Plaza) หรือ พื้นที่ให้เช่า ดำเนินธุรกิจในลักษณะร้านค้าเช่าเป็นส่วนใหญ่ ขายสินค้าอุปโภค บริโภค อาคารประกอบด้วยพื้นที่ใช้สอยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเจ้าของอาคาร เช่น พื้นที่ขายอาหาร Fast Food ร้านค้าเช่า ฯลฯ

4) ซุปเปอร์มาร์เก็ต (Supermarket) ดำเนินธุรกิจการขายสินค้าอุปโภค บริโภค ที่เกี่ยวข้องกับอาหารเป็นหลัก มีทั้งอาหารสดและอาหารแห้ง สิ่งของเครื่องใช้ภายในบ้าน อาคารประกอบด้วยพื้นที่ขายสินค้าและอาจจะมีพื้นที่ร้านค้าเช่าเพียงเล็กน้อย



ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารประเภทศูนย์การค้า

จากการสำรวจลักษณะการใช้พลังงานของอาคารศูนย์การค้า สามารถจำแนกลักษณะการใช้พลังงานในกิจกรรมต่างๆ ซึ่งเกิดขึ้นภายในบริเวณพื้นที่ต่างๆ ของศูนย์การค้า โดยสามารถทำการวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption, SEC) ของระบบต่างๆ ในอาคารประเภทศูนย์การค้า ได้ดังนี้

- ดัชนีการใช้พลังงานรวม
- ดัชนีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ
- ดัชนีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง
- ดัชนีการใช้พลังงานในระบบตู้แช่

ดังนั้น ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารประเภทศูนย์การค้า จึงขึ้นกับขนาด จำนวน และ ชั่วโมงการใช้งานของอุปกรณ์หลักในระบบดังกล่าวข้างต้น ซึ่งจะแปรผันโดยตรงต่อจำนวนผู้มาใช้บริการของอาคาร

1.5 ข้อมูลลักษณะเฉพาะของอาคารประเภทสำนักงาน

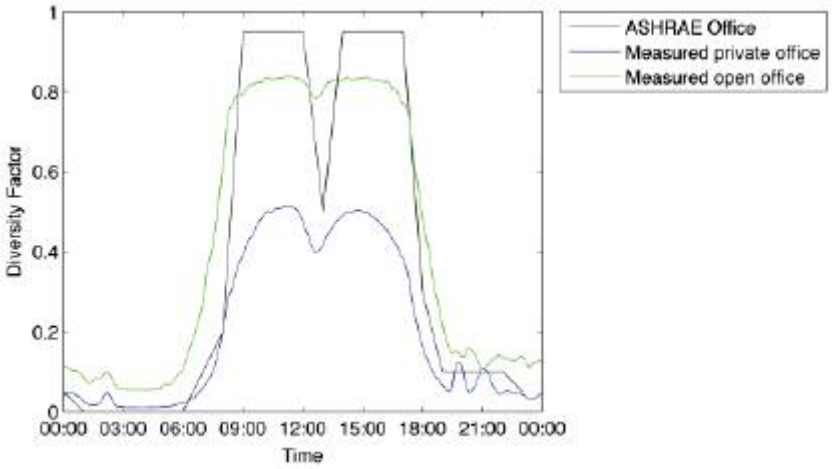
ดัชนีการใช้พลังงานเฉลี่ย 219 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี*
ชั่วโมงการใช้งานเฉลี่ย : 12 ชั่วโมง (8.00-17.00 น.)
*(ที่มา : แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี พ.พ.)

การใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

- ลักษณะของการใช้พลังงานในอาคาร



รูปที่ 1.31 แผนภาพแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่างๆของอาคารควบคุมประเภทสำนักงาน
ที่มา : โครงการจัดทำมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานของอาคารควบคุม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน



ที่มา : Revealing Occupancy Patterns in Office Building Through the Use of Annual Occupancy Sensor Data, ASHRAE Annual Conference, June 2013
จะเห็นได้ว่า ลักษณะการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ค่อนข้างที่จะมีรูปแบบที่แน่นอน กล่าวคือ ขึ้นกับมีการใช้พลังงานที่มีค่าคงที่ ตามเวลาการเข้าและออกจากพื้นที่ทำงานของพนักงานภายในอาคาร

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน

อาคารสำนักงาน ประกอบด้วยปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานแบ่งตามระบบที่มีการใช้พลังงาน ดังต่อไปนี้

ระบบที่มีการใช้พลังงาน	**ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงาน**
ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ	จำนวนคน พื้นที่ให้บริการ อุปกรณ์ไฟฟ้า ชั่วโมงการทำงาน อุณหภูมิ
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	จำนวนคน พื้นที่ให้บริการ ชั่วโมงการทำงาน
ระบบปั๊มน้ำใช้	จำนวนคน พื้นที่ให้บริการ ชั่วโมงการทำงาน
ระบบอื่นๆ (ปลั๊กโหลด)	จำนวนคน จำนวนและประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ชั่วโมงการทำงาน

และหากพิจารณาแยกตามพื้นที่ สามารถจำแนกพื้นที่ที่มีผลต่อการพิจารณาพลังงานที่ใช้ตามลำดับความสำคัญได้ดังนี้

- พื้นที่ปรับอากาศ ส่วนศูนย์คอมพิวเตอร์
- พื้นที่ปรับอากาศ ส่วนสำนักงาน
- พื้นที่ปรับอากาศ ส่วนกลาง (โถง ทางเดิน หน้าลิฟท์)
- ห้องประชุม
- ห้องอาหาร
- พื้นที่ลานจอดรถ
- พื้นที่ลานรอบๆ ตัวอาคาร

แหล่งข้อมูลอ้างอิง :

(1) Nils Kok, Piet Eichholtz, Rob Bauer, Paulo Peneda. Environmental Performance A Global Perspective on Commercial Real Estate. Maastricht University. Netherland.
(2) Dr.Sanjay Vashishtha. Building Energy Efficiency-Barriers to Real Estate Developers. First Green Consulting.
(3) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), The American Institute of Architects, Illuminating Engineering Society of North America, U.S.Green Building Council, U.S. Department of Energy. Advanced Energy Design Guide for Large Hospital Buildings; 2011.
(4) Ministry of Energy. Thailand 20-Year Energy Efficiency Development Plan (2011-2030)
(5) David Clark. Incentives for Sustainable Buildings in Australia – A Designer Perspective. Sinclair Knight Merz
(6) Michelle Quibell. Energy Efficiency Technology Exchange and Capacity Building : A Private Sector Perspective. Johnson Control.
(7) Kevin Van Den Wymelenberg, PhD., Carlos Duarte, Craig Rieger, PhD. Revealing Occupancy Patterns in Office Buildings through the use of Annual Occupancy Sensor Data. U.S.DOE
(8) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. โครงการจัดทำมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานของอาคารควบคุม

หมวดวิชา GROUP	ความรู้พื้นฐาน BASIC KNOWLEDGE (B)	B
วิชา Module	แนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานสำหรับการพัฒนาโครงการก่อสร้างอาคารธุรกิจยุคใหม่ Development concept for Energy Efficiency in Commercial Buildings	1.1

Chapter 2 Energy Efficiency Index for Commercial Buildings
บทที่ 2 ดัชนีประสิทธิภาพพลังงานของอาคารธุรกิจ

2.1 ดัชนีประสิทธิภาพพลังงานของอาคารธุรกิจประเภทต่างๆ
2.2 การปรับค่าดัชนีประสิทธิภาพพลังงานเพื่อเข้าสู่ค่ามาตรฐาน (Normalization)

บทที่ 2
ดัชนีประสิทธิภาพพลังงานของอาคารธุรกิจ

ดัชนีการใช้พลังงาน (Energy Use Index : EUI) ดัชนีประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Index : EEI) หรือดัชนีค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption : SEC) มีความหมายเดียวกัน คือเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการตรวจติดตามและตั้งค่าเป้าหมายการประหยัดพลังงานของอาคารธุรกิจแต่ละแห่ง โดยที่แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี ของกระทรวงพลังงาน ได้มีการกำหนดให้อาคารธุรกิจในภาพรวม มีการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น กล่าวคือ มีนโยบายที่จะสนับสนุนและส่งเสริมให้อาคารธุรกิจแต่ละประเภท สามารถที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานให้มุ่งสู่การเป็นอาคารคาร์บอนต่ำในระดับต่างๆ มากยิ่งขึ้น (HEPS, ECON, ZEB)

จากข้อมูลรายงานการจัดการพลังงาน พ.ศ. 2555 ของอาคารควบคุมที่ดำเนินการตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 สามารถสรุปดัชนีค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption : SEC) สำหรับอาคารประเภทต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

2.1 ดัชนีประสิทธิภาพพลังงานของอาคารธุรกิจประเภทต่างๆ

1.อาคารประเภทโรงพยาบาล :

Size	QTY	SEC elec. (kWh/เตียง-วัน)	SEC thermal. (MJ/เตียง-วัน)	SEC total (MJ/เตียง-วัน)			
				Max	Min	Avg.	SD
<150 เตียง	32	407.56	190.41	12,728.04	66.77	1,033.63	2,204.83
150-300 เตียง	29	338.74	195.81	3,642.25	110.94	748.91	644.85
>300 เตียง	15	457.94	278.99	4,392.80	286.06	963.45	1,044.48
Total/avg.	**76**	**391.24**	**213.51**	**12,728.04**	**66.77**	**911.13**	**1,544.45**

(ที่มา : Final Report สรุปรายงานการจัดการพลังงาน 2555 โดย ที่ปรึกษาตรวจสอบอาคารควบคุม : Accredited Consultant)

2.อาคารประเภทโรงแรม :

Size	QTY	SEC elec. (kWh/ห้อง-วัน)	SEC thermal. (MJ/ห้อง-วัน)	SEC total (MJ/ห้อง-วัน)			
				Max	Min	Avg.	SD
<150 ห้อง	19	1,261.99	10,524.00	147,311.64	140.60	8,995.56	33,551.63
150-500 ห้อง	151	443.87	647.58	62,466.97	56.85	1,141.31	5,349.48
>500 ห้อง	31	265.60	120.00	2,765.72	130.37	471.18	482.27

Total/avg.	**201**	**493.71**	**1,407.44**	**147,311.64**	**56.85**	**1,780.40**	**11,328.34**

(ที่มา : Final Report สรุปรายงานการจัดการพลังงาน 2555 โดย ที่ปรึกษาตรวจสอบอาคารควบคุม : Accredited Consultant)

3.อาคารประเภทศูนย์การค้า :

Size	QTY	SEC elec. (kWh/m^2)	SEC thermal. (MJ/m^2)	SEC total (MJ/m^2)			
				Max	Min	Avg.	SD
<10,000 m^2	84	603.07	703.57	4,267.46	440.51	1,401.92	569.43
10,000-50,000 m^2	278	657.81	248.37	2,737.59	211.46	1,141.27	398.53
50,000-100,000 m^2	19	526.43	625.83	1,634.12	353.23	935.64	387.47
>100,000 m^2	24	325.39	480.32	2,369.14	114.72	1,142.38	403.10
Total/avg.	**405**	**493.71**	**312.71**	**4,267.46**	**114.72**	**1,185.75**	**453.41**

(ที่มา : Final Report สรุปรายงานการจัดการพลังงาน 2555 โดย ที่ปรึกษาตรวจสอบอาคารควบคุม : Accredited Consultant)

4.อาคารประเภทสถานศึกษา :

Size	QTY	SEC elec. (kWh/m^2)	SEC thermal. (MJ/m^2)	SEC total (MJ/m^2)			
				Max	Min	Avg.	SD
<10,000 m^2	8	166.74	-	791.02	122.80	479.26	267.41
10,000-50,000 m^2	19	114.47	2.23	654.97	80.81	251.09	157.10
>50,000 m^2	8	196.33	1,101.03	872.96	174.06	379.18	216.04
Total/avg.	**35**	**145.13**	**734.76**	**872.96**	**80.81**	**332.52**	**216.06**

(ที่มา : Final Report สรุปรายงานการจัดการพลังงาน 2555 โดย ที่ปรึกษาตรวจสอบอาคารควบคุม : Accredited Consultant)

5.อาคารประเภทสำนักงาน :

Size	QTY	SEC elec. (kWh/m^2)	SEC thermal. (MJ/m^2)	SEC total (MJ/m^2)			
				Max	Min	Avg.	SD
<10,000 m^2	41	900.77	227.24	12,760.30	222.08	3,128.74	3,312.62
10,000-50,000 m^2	137	315.65	443.83	2,511.26	87.85	727.15	404.16
50,000-100,000 m^2	32	319.00	529.18	1,378.58	184.20	691.63	289.46
>100,000 m^2	9	285.46	1.03	845.18	106.30	574.19	243.70
Total/avg.	**219**	**424.44**	**396.30**	**12,760.30**	**87.85**	**1,165.29**	**1,738.54**

(ที่มา : Final Report สรุปรายงานการจัดการพลังงาน 2555 โดย ที่ปรึกษาตรวจสอบอาคารควบคุม : Accredited Consultant)

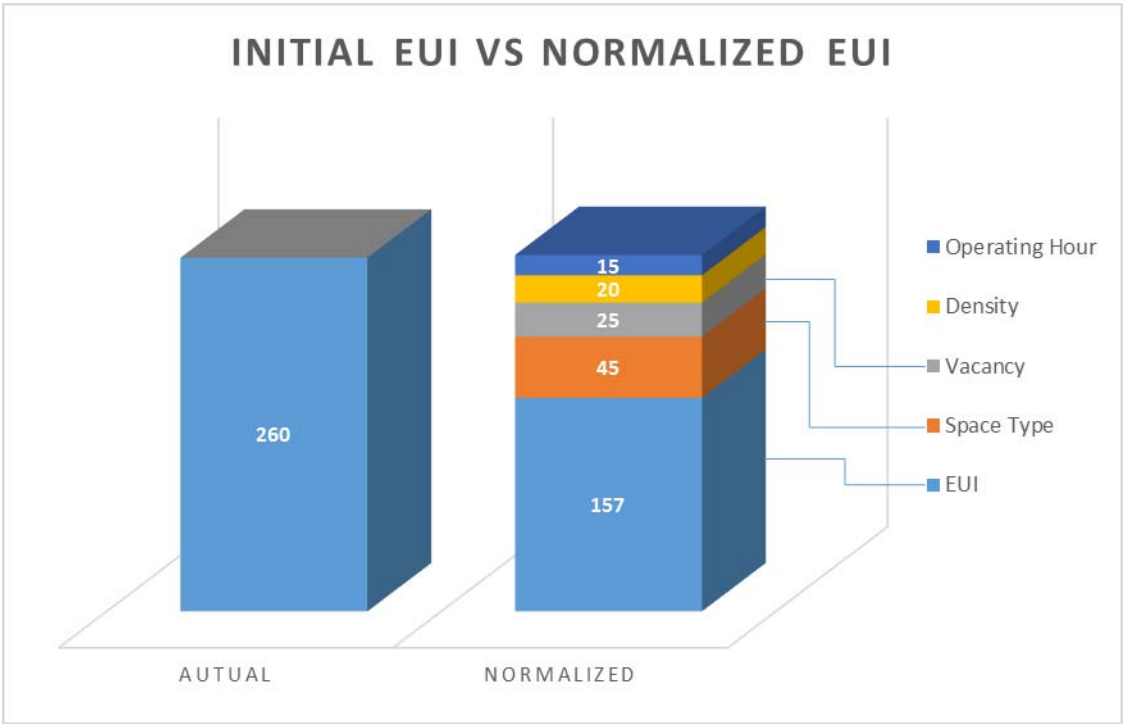
6.อาคารประเภทอื่นๆ :

Size	QTY	SEC elec. (kWh/m^2)	SEC thermal. (MJ/m^2)	SEC total (MJ/m^2)			
				Max	Min	Avg.	SD
<10,000 m^2	18	977.23	20,839.07	36,592.76	313.07	4,210.75	8,520.79
10,000-50,000 m^2	38	252.87	203.90	2,652.77	0.93	631.85	588.45
50,000-100,000 m^2	17	104.06	354.99	847.00	70.38	326.82	272.99
100,000-500,000 m^2	22	36.67	89.35	370.47	26.07	112.33	107.11
>500,000 m^2	10	5.37	1.29	30.30	7.86	19.83	7.00
Total/avg.	**105**	**284.08**	**3,511.50**	**36,592.76**	**0.93**	**1,028.85**	**3,764.44**

(ที่มา : Final Report สรุปรายงานการจัดการพลังงาน 2555 โดย ที่ปรึกษาตรวจสอบอาคารควบคุม : Accredited Consultant)

2.2 การปรับค่าดัชนีประสิทธิภาพพลังงานเพื่อเข้าสู่ค่ามาตรฐาน (Normailzation)

อย่างไรก็ตาม การพิจารณาค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะของแต่ละอาคารนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องปรับเข้าสู่ค่ามาตรฐานเพื่อใช้ในการพิจารณาเทียบกับอาคารอื่นๆ และเพื่อกำหนดค่าเป้าหมายในการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานของอาคารตนเองได้ด้วย ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วอาคารแต่ละแห่งจะมีลักษณะและพฤติกรรมการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงควรดำเนินการเก็บข้อมูลตัวแปรที่เกี่ยวข้อง (Parameters) ต่างๆ ของอาคารของตนเองเพื่อให้สามารถปรับค่า (Normalized) ให้เข้าสู่ค่าที่เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบได้ต่อไป

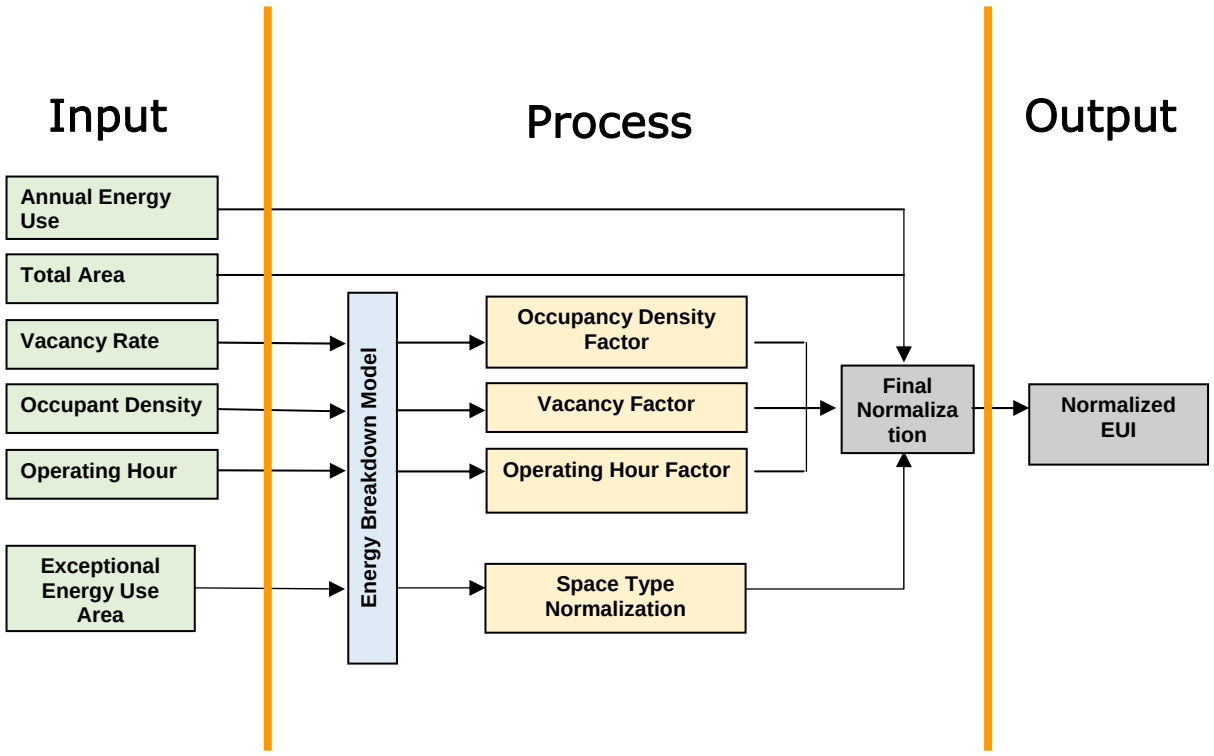


รูปที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) ก่อนและหลังการปรับค่า (Normailzed)

ตัวอย่างจากรูปที่ 2.1 ข้างต้น แสดงให้เห็นถึงค่าดัชนีการใช้พลังงานที่ได้จากข้อมูลอัตราส่วนพลังงานต่อการบริการ (พื้นที่) ที่ยังไม่ได้มีการพิจารณาตัวแปร (Parameter) ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและมีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน เช่น ชั่วโมงการทำงาน (Hours of Operation) ความหนาแน่นของบุคลากรในแต่ละพื้นที่ (Occupancy Density) อัตราการว่างของพื้นที่ใช้สอย (Vacancy Rate) พื้นที่ใช้งานที่มีการใช้พลังงานสูง (Space Type) เป็นต้น จะมีค่า EUI actual = 260 แต่หากพิจารณาถึงปัจจัยตัวแปรต่างๆ ทั้งหมดแล้ว EUI Normalized = 157 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อาคารดังกล่าวจะมีการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (พลังงานต่อพื้นที่ลดลง) ที่สภาวะเทียบกับตัวแปรที่เป็นค่ามาตรฐาน เป็นต้น

ขั้นตอนการทำปรับค่าดัชนีให้เข้าสู่ค่ามาตรฐาน (Normalization Process)

มีขั้นตอนในการดำเนินการตาม Flow Diagram ตามรูปที่ 2.2 ด้านล่างต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 แสดงแผนผัง (Flow Diagram) การป้อนข้อมูล การประมวลผล และแสดงผลภายหลังการปรับค่า (Normalized)

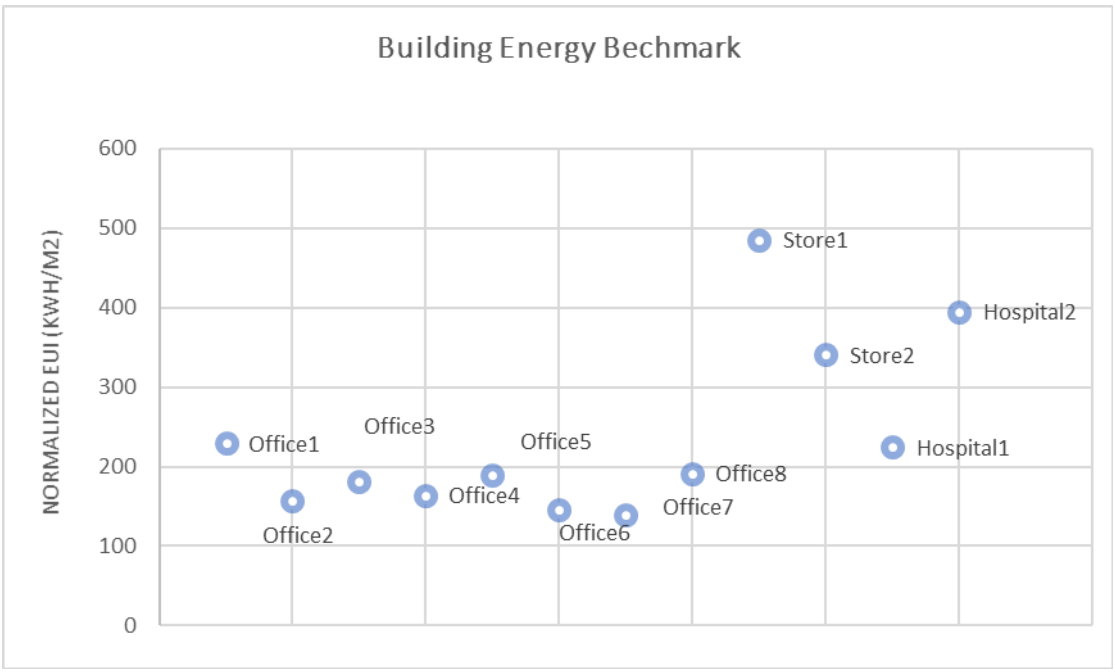
Input : คือกระบวนการป้อนเข้าของข้อมูลตัวแปรที่เกี่ยวข้องหรือมีผลต่อการใช้พลังงาน
Process : คือกระบวนการคำนวณและวิเคราะห์
Output : คือกระบวนการแสดงผลค่าดัชนีที่ปรับเข้าสู่ค่ามาตรฐานแล้ว (Normalized EUI)

ดังนั้น สมการด้านล่างต่อไปนี้ คือการคำนวณเพื่อให้ได้มาซึ่ง Normalized EUI

$$EUI_{Normalized} = (EUI_{measured} - \text{Total Space Type Adjustment}) \times N_{vacancy} \times N_{occupant} \times N_{operating}$$

โดยที่ :
$N_{vacancy}$ = Normalizing annual vacancy factor
$N_{occupant}$ = Normalizing occupancy density factor
$N_{operating}$ = Normalizing operating hour factor

กราฟด้านล่าง (รูปที่ 2.3) แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานที่ปรับค่าเข้าสู่ค่ามาตรฐานเดียวกันแล้ว จากอาคารสำนักงาน 8 แห่ง อาคารห้างสรรพสินค้า 2 แห่ง และอาคารโรงพยาบาล 2 แห่ง ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า อาคารที่มีค่า Normalized EUI ที่สูง (Office 1 , Store 1, Hospital 2) มีศักยภาพสูงในการที่จะปรับปรุงการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เมื่อเทียบกับอาคารในลักษณะเดียวกัน



รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบ (Benchmarking) ค่าดัชนีประสิทธิภาพพลังงานที่ปรับค่าแล้ว (Normalized EUI) ของอาคารแต่ละแห่ง

แหล่งข้อมูลอ้างอิง :

(1) Final Report สรุปรายงานการจัดการพลังงาน 2555 โดย ที่ปรึกษาตรวจสอบอาคารควบคุม : Accredited Consultant
(2) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. โครงการส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอาคารธุรกิจ (Promoting Energy Efficiency in Commercial Buildings; PEECB)

หมวดวิชา GROUP	ความรู้พื้นฐาน BASIC KNOWLEDGE (B)	B
วิชา Module	แนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานสำหรับการพัฒนาโครงการก่อสร้างอาคารธุรกิจยุคใหม่ Development concept for Energy Efficiency in Commercial Buildings	1.1

Chapter 3 Case Studies on Energy Efficiency Measures in Commercial Buildings

บทที่ 3 กรณีศึกษามาตรการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคารธุรกิจ

3.1 กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคารประเภทสำนักงาน
3.2 กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคารประเภทโรงพยาบาล
3.3 กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคารประเภทโรงแรม
3.4 กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคารประเภทศูนย์การค้า

บทที่ 3

กรณีศึกษามาตรการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคารธุรกิจ

การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคารธุรกิจ สามารถทำได้หลากหลายวิธี อาทิ เช่น หากเป็นอาคารเก่าที่เปิดใช้งานมาแล้วหลายปี อาจพิจารณาการปรับปรุงในระบบวิศวกรรมต่างๆ ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เป็นต้น หากเป็นอาคารใหม่ที่กำลังจะก่อสร้าง อาจสามารถพิจารณาการปรับปรุงด้านการลดภาระปรับอากาศด้วยการใช้วัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อนแบบพิเศษสำหรับผนัง หลังคา ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ ที่เชื่อมโยงระบบต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการใช้และผลิตพลังงานทดแทนจากธรรมชาติ เพื่อให้เป็นอาคารที่มีการใช้พลังงานในระดับต่ำสุดหรือแทบจะไม่ใช้พลังงานเลย มุ่งสู่การเป็นอาคารคาร์บอนต่ำ หรือ สุทธิเป็นศูนย์ เป็นต้น สำหรับกรณีศึกษาต่อไปนี้ เป็นกรณีศึกษาที่แบ่งตามประเภทอาคาร โดยนับได้ว่าเป็นอาคารที่อยู่ในเกณฑ์ที่มีการใช้พลังงานตั้งแต่ระดับ ECON (Economic Building) จนกระทั่งถึงระดับ ZEB (Zero Energy Building) ซึ่งได้แก่

3.1 กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคารประเภทสำนักงาน

ZERO ENERGY BUILDING (ZEB) :



“Research Support Facility (RSF) , NREL” - USA

อาคาร Research Support Facility (RSF) เป็นส่วนหนึ่งของ National Renewable Energy Laboratories (NREL) ตั้งอยู่ในรัฐโคโลราโด ประเทศสหรัฐอเมริกา ก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2553 โดยให้เป็น Showcase สำหรับ Sustainable & High-performance design ซึ่งรวมเอาแนวคิดของทั้งสามด้าน ได้แก่ The Best in Energy Efficiency, Environmental Performance, Advanced Controls จนนับว่าเป็น “Whole Building Integrated Design Practice”



Project Detail : Research Support Facility, NREL (USA)
Type : Research Facility (Office + Laboratory)
Certified : LEED Platinum
Envelope : Insulated Panels, -Triple-Glazed Windows with Individual Overhangs
HVAC : Transpired Solar Collector, Radiant Heating and Cooling, Night purging
Lighting : T8, LED specific task light, Maximized Natural light
Etc. - Energy-Efficient Data Center (free cool)
- Rain water for plantation
Renewable Energy : Photovoltaic System
1.6 MW of photovoltaic on site, 450 kW on rooftop
Energy Use Intensity : EUI = 110.6 kWh/m^2, 33.4 kWh/m2 of which is for data center equipment
Reference : USDOE , EERE





อาคารได้รับการออกแบบโดยคำนึงถึงการใช้ปัจจัยทางธรรมชาติ (Passive Design) ในเบื้องต้นโดยสามารถใช้แสงธรรมชาติ (Daylighting) และการระบายอากาศทางธรรมชาติ (Natural Ventilation) ควบคู่ไปกับการทำอาคารสามารถกักเก็บความร้อนและความเย็น (Thermal mass & energy) โดยมี Thermal Labyrinth เพื่อให้เป็น Thermal Sink ในการ reject heat จาก Data center ซึ่งเป็นการลดภาระในการทำความเย็นได้อีกทางหนึ่งด้วย





7 Electrochromic west glazing and thermochromic east glazing, shaded with recessed balconies

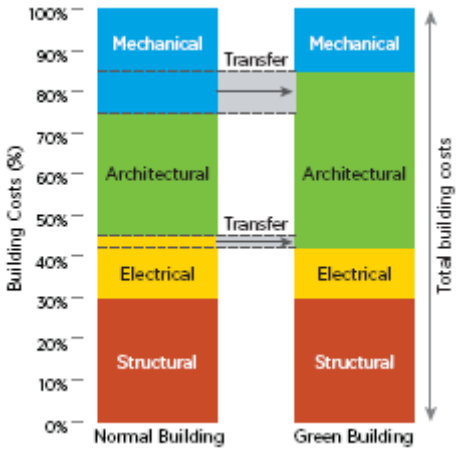
8 Transpired solar collectors on south facade of building

9 An open office plan with low profile workstations allows proper daylighting and natural ventilation

10 12" high raised floor provides ventilation air, power and data

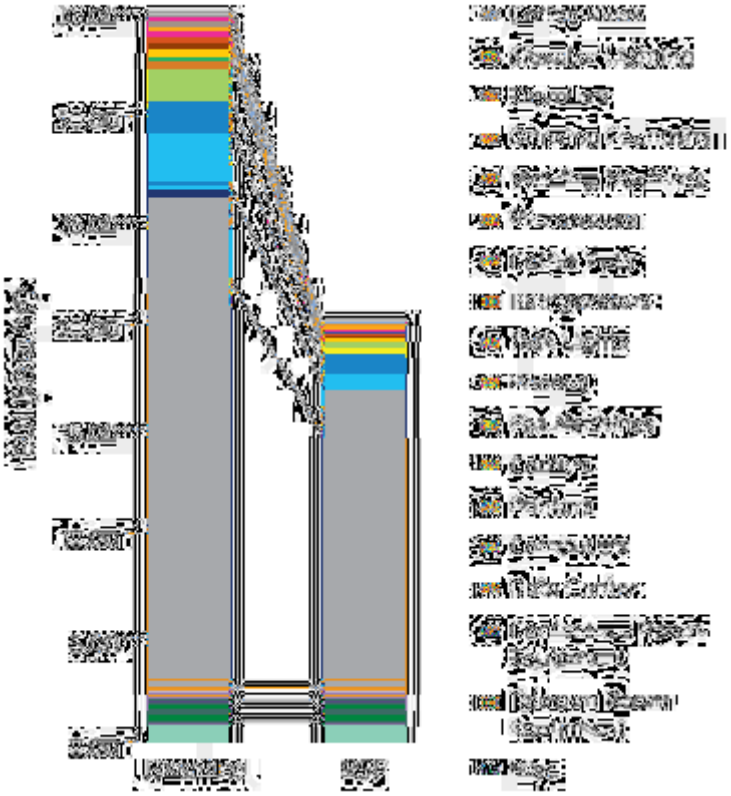
11 Thermal labyrinth stores passively cooled and heated air for future use.

Illustration from RNL



ด้วยพื้นที่กว่า 222,000 ft^2 ใช้ค่าก่อสร้างประมาณ $259/$ft^2$ จะเห็นได้ชัดเจนว่า อาคาร RSF ที่เข้าเกณฑ์ Green Building จะมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบไฟฟ้าและเครื่องกลต่ำกว่าอาคารที่ออกแบบทั่วไป (Normal Building) ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในระบบสถาปัตยกรรมมีค่าสูงกว่า ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าก่อสร้างโดยรวมแล้วแทบจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่ก่อให้เกิดประโยชน์ในระยะยาวด้วยค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและการบำรุงรักษาระบบอุปกรณ์ที่ต่ำกว่า

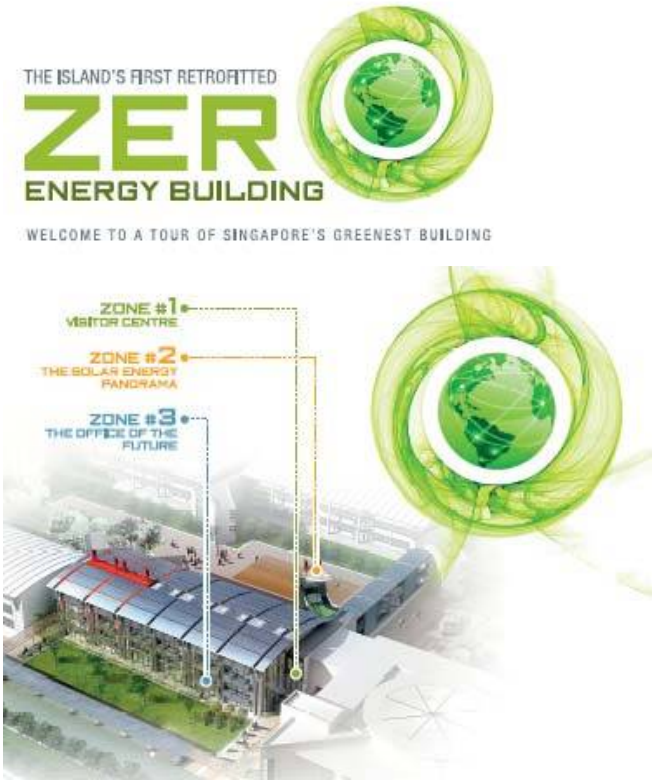
นอกเหนือจากการที่ได้รับการออกแบบอาคารอย่างมีประสิทธิภาพพลังงานแล้ว อาคารแห่งนี้ยังได้มีการบริหารจัดการเพื่อลดการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ (Plug load) โดยการจำกัดการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆ ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานลงได้อีกมากกว่า 31.8% เช่น unoccupied hours control, higher efficiency kitchen and office equipment, increase the number of 30 watt laptops, increase the use of all-in one machines (copier, printer,fax) เป็นต้น



ZERO ENERGY BUILDING (ZEB) :



“BCA Academy” - Singapore



Project Detail : BCA Academy (Singapore)
Type : Office (Retrofitted)
Envelope : Green roof & Green, Wall Shading Device, Low-e glass
HVAC : Efficient Chiller Plants & Cooling Towers, Variable Speed Drive, Personalized Ventilation, Displacement Cooling, Solar Chimney
Lighting : T5, Task Lights, Mirror Duct, Light Shelves, Light Pipes
Etc. - Sensors & Monitoring System
Renewable Energy : PV roof (Poly & Thin film), Shading Device with PV, PV rail
Energy Use Intensity : Electricity Consumption 183 MWh, 41 kWh/sq.m.
Renewable Energy Production 203 MWh, 45 kWh/sq.m
Reference : Yudelson Assosiates, BCA Academy

อาคาร BCA Academy ในประเทศสิงคโปร์ นับได้ว่าเป็นอาคาร Zero Energy Building (ZEB) ประเภท Retrofited Existing Building แห่งแรกในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ถึง 84,000 เหรียญดอลลาร์สิงคโปร์ต่อปี เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคารทั่วไปในประเทศสิงคโปร์

อาคารแบ่งออกเป็น 3 Zone โดยมีจุดมุ่งหมายในการแสดงในประเด็นต่างๆ ได้แก่

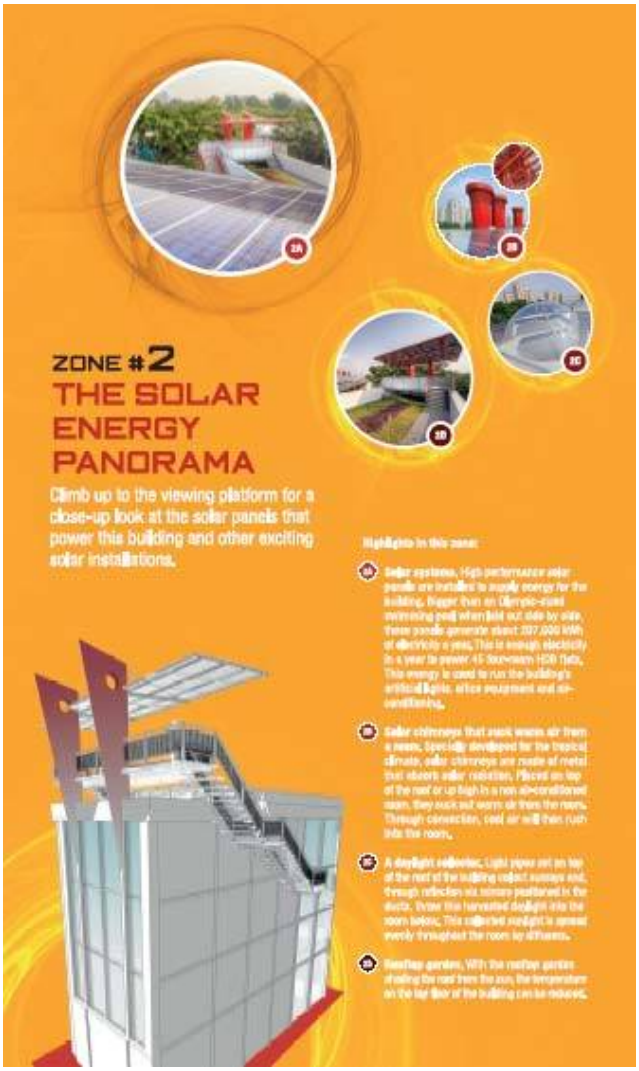
Zone#1 : Visitor center : แสดงให้เห็นถึงการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์และการนำแสงอาทิตย์มาใช้ในการส่องสว่าง
อย่างเหมาะสม
Zone#2 : The Solar Energy Panorama : แสดงให้เห็นถึงการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์มาผลิตพลังงานและการระบาย

อากาศทิ้งออกจากตัวอาคาร

Zone#3 : The Office of the Future : แสดงให้เห็นถึงการปรับสภาวะในการทำงานอย่างเหมาะสมกับคนในแต่ละบริเวณ



- Shading Device : แสดงการป้องกันแสงอาทิตย์ในขณะเดียวกันกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร
- Living Wall : แสดงการปลูกพืชในแนวดิ่งบนผนังอาคารเพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร
- Mirror Ducts : แสดงการสะท้อนแสงธรรมชาติผ่านท่อและกระจายไปทั่วบริเวณในอาคาร

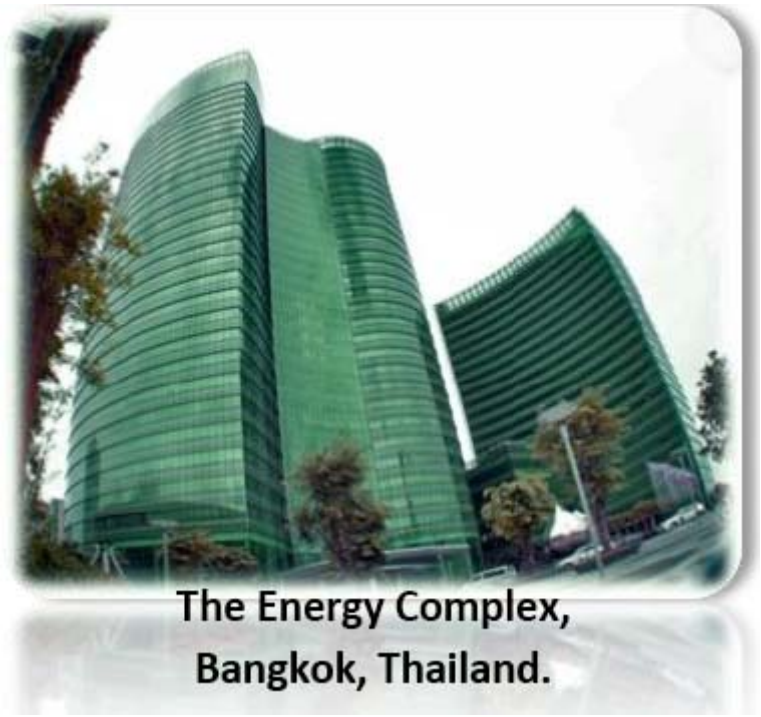


- Solar System : ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ที่สามารถผลิตได้ 207,000 kWh ต่อปี และรองรับการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ หลอดไฟ และอุปกรณ์เครื่องใช้สำนักงาน
- Solar Chimney : เป็นกระบวนการทางธรรมชาติ ที่อาศัยการพาความร้อนจากปล่องแสงที่ดึงอากาศร้อนทิ้งออกจากตัวอาคารและนำอากาศเย็นไหลเข้าสู่อาคารได้โดยอัตโนมัติ
- Daylight Collector : แสดง Light Pipe ที่เป็นท่อนำแสงจากด้านบนของหลังคาอาคารสะท้อนแสงผ่านท่อและกระจายลงมาภายในอาคาร
- Rooftop Garden : แสดงการปลูกพืชบนหลังคา เพื่อลดภาระความร้อนของแสงอาทิตย์จากด้านบนอาคาร



- Personnelised Ventialtion : สามารถระบายอากาศและนำอากาศบริสุทธ์เฉพาะจุดผ่านทางเก้าอี้ของพนักงาน
- Displacement Cooling : เป็นการให้ความเย็นเฉพาะจุดจากพื้นสู่เพดานในลักษณะที่มีความเร็วลมต่ำ ทำให้มีสมรรถนะสูงและประหยัดพลังงานกว่าการให้ลมเย็นแบบเดิม
- Daylight Collector : แสดง Light Pipe ที่เป็นท่อนำแสงจากด้านบนของหลังคาอาคารสะท้อนแสงผ่านท่อและกระจายลงมาภายในอาคาร
- Light Shelf : นำแสงธรรมชาติเข้ามาได้ลึกกว่าปกติ
- Automatic Light Level Adjustment : มี Sensor ตรวจจับปริมาณความสว่างในพื้นที่จากแสงธรรมชาติ เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดหลอดไฟได้อย่างอัตโนมัติ

ECONOMIC BUILDING (ECON) :





"**Energy Comlex** " – Bangkok, Thailand

Project Detail : ENCO Energy Complex (Bangkok, Thailand)
Type : Office
Certified : LEED Platinum
Envelope : Low-e Green Glass, Double Skin Façade, Roof plantation
HVAC : VAV-Variable Air Volume Control, VSD-Variable Speed Drive, CO_2 Sensor to control fresh air intake, Air-to- Air Heat Exchanger
Condensate Drain for pre-cooling
Lighting : Fluorescent
Etc. Occupancy Sensors, Building Automation System, Smart Lift (destination control) + Regenerative Power, Gray water system
Renewable Energy : Photovoltaic System 336 MWh/year+96 MWh/year Tower D+E
Energy Use Intensity : OTTV 23.82 W/m^2, RTTV 8.55 W/m^2, LOD 7.73 W/m^2, COP = 6.2 ,EUI = 95.38 kWh/m^2 (2000 hrs/year) PV Generation (Parking Tower D & E) 432 MWh/year
Reference : ENCO, Energy Smart Communities Initiative

อาคารศูนย์เอนเนอร์ยี่คอมเพล็กซ์ เป็นที่ตั้งของบริษัทในกลุ่มปตท. บริษัทในกลุ่มพลังงานและกระทรวงพลังงาน ใช้เงินลงทุนประมาณ 9,000 ล้านบาท โดยวางเป้าหมายให้มีการสรรสร้างนวัตกรรมทั้งด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมในอาคาร โดยใช้แนวคิดหลักในการออกแบบให้เป็นอาคารที่ยั่งยืน (Sustainable Building) และอาคารอัจฉริยะ (Intelligent Building) รวมทั้งได้การรับรองเป็น อาคารเขียว (Green Building) ตามมาตรฐาน LEED Platinum Version 2.0 ประเภท Core & Shell จากสภาอาคารเขียวของประเทศสหรัฐอเมริกา (USGBC)



Total area : 307,915.70 m^2

Electrical Energy Consumption : 22,198,000 kWh/yr

76 % Reuse Construction Waste Material
90% Less in Waste Water Generation
55.3% Less Potable Water Use
287% Green Open Space above local requirements

ภายในศูนย์เอ็นเนอร์ยี่คอมเพล็กซ์ ประกอบด้วย อาคารต่างๆ ดังนี้

- อาคาร A รูปทรงมีลักษณะเป็นทรงน้ำมัน 2 หยด หันเข้าหากัน เป็นสำนักงานของบริษัทในกลุ่มปตท. และบริษัทในธุรกิจที่เกี่ยวเนื่องกับธุรกิจพลังงาน มีความสูง 36 ชั้น พื้นที่ก่อสร้างรวม 120,000 ตารางเมตร และพื้นที่เช่าสำนักงานรวมประมาณ 80,000 ตารางเมตร
- อาคาร B เป็นสำนักงานของบริษัทในกลุ่มปตท. และกระทรวงพลังงาน มีความสูง 25 ชั้น พื้นที่ก่อสร้างรวม 60,000 ตารางเมตร และพื้นที่เช่าสำนักงานรวมประมาณ 40,000 ตารางเมตร
- อาคาร C เป็นอาคารบริการ เชื่อมต่อระหว่างอาคาร A และอาคาร B มีความสูง 8 ชั้น พื้นที่ก่อสร้างรวม 20,000 ตารางเมตร และพื้นที่เช่าประมาณ 8,000 ประกอบด้วยบริการและสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ เช่น ห้องประชุม ธนาคาร ร้านค้า ศูนย์อาหาร และ ศูนย์ออกกำลังกาย
- อาคารจอดระ P1/P2 เป็นอาคารสูง 10 ชั้น และชั้นใต้ดิน 2 ชั้น พื้นที่ก่อสร้างประมาณ 96,000 ตารางเมตร สามารถจอดรถยนต์ได้มากกว่า 2,500 คัน
- อาคาร F เป็นอาคาร Electric Chiller ขนาดกำลังการผลิต 4,400 ตันความเย็นต่อชม. มีความสูง 3 ชั้น พื้นที่ก่อสร้างรวม 6,600 ตารางเมตร

1. **ทำเลที่ตั้ง :** เลือกสถานที่ตั้งที่มีคมนาคมสะดวก มีระบบขนส่งสาธารณะ และมีสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานอยู่ในบริเวณใกล้เคียง
2. **การออกแบบและก่อสร้างอาคาร** : ออกแบบให้อาคารมีรูปทรงโค้งมน ลดแรงปะทะและการรั่วซึมของอากาศร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร และมีอัตราส่วนของผนังต่อพื้นที่ใช้สอยในระดับต่ำ ใช้วัสดุในการก่อสร้างมากกว่า 44% เป็นวัสดุ ReUse ใช้กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้นโดยมีช่องว่างระหว่างผนัง 1 เมตร เพื่อเป็นช่องระบายความร้อนโดยนำอากาศเย็นเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศมาลดอุณหภูมิกระจก นอกจากนี้ยังคำนึงถึงการบังเงาที่ตกกระทบในแต่ละช่วงเวลาต่างๆ เพื่อให้การออกแบบระบบปรับอากาศ (VAV) และแสงสว่างมีประสิทธิภาพสูงสุด มีระบบบริหารจัดการน้ำ เช่นนำน้ำที่ใช้แล้วมาปรับสภาพและใช้ซ้ำกับสุขภัณฑ์และนำน้ำฝนที่กักเก็บมารดน้ำต้นไม้ เป็นต้น ที่จอดรถทั้งหมดอยู่ภายในอาคาร ลดผลกระทบจากสภาวะที่เป็นเกาะความร้อน (Heat Island) หลังคาเขียว (Greenroof) ฯลฯ
3. **ระบบอุปกรณ์ :** ใช้เครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ที่มีสมรรถนะสูง เฉลี่ย 0.56 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็นที่ภาระการทำความเย็น 61 m^2/TR มีระบบบริหารจัดการอาคารอัจฉริยะ และติดตั้ง Solar cell กำลังการผลิต 330 kWที่หลังคาอาคารจอดรถเพื่อผลิตไฟฟ้าใช้ในอาคาร ฯลฯ



Solar Cell Panels beside Green Roof



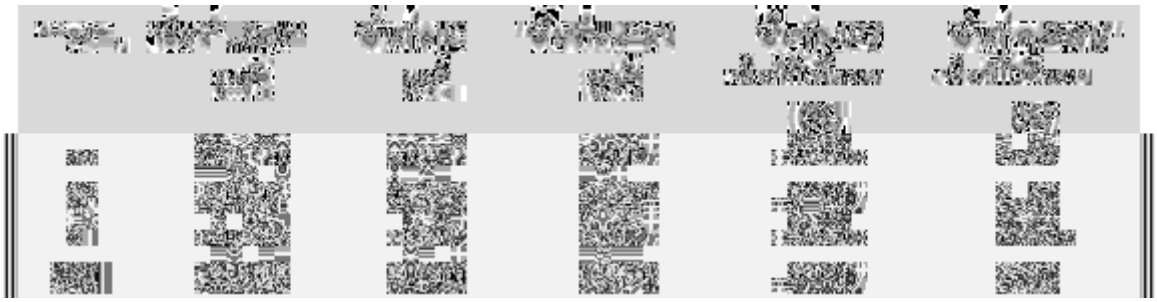
Green Roof Garden

SHADE AND SHADOW STUDY









ECONOMIC BUILDING (ECON) :



“**Pearl River Tower** ” – Guangzhou, China

Project Detail : Pearl River Tower (Guangzhou, China)
Type : Office
Certified : LEED Platinum
Envelope : Triple glazed glass, Double Façade Skin
HVAC : Radiant cooling, Displacement ventilation, Chiller heat recovery, Generator heat recovery, Exhaust air heat recovery, Hot air vented, Night cool thermal mass
Lighting : T8, LED specific task light, Maximized Natural light
Etc. Condensate reclamation system for plantation, Hydrogen Fuel Cells
Renewable Energy : Wind Turbine (10 MWh/year)
PV system generation 300 MWh/year
Energy Use Intensity :
Reference : Skidmore, Owing & Merril LLP, The Journal of Sustainable Real Estate (JOSRE)

อาคาร Pearl River Tower ออกแบบให้เป็นอาคาร “Net-zero” โดยมีแนวคิดหลัก 4 ประการได้แก่

- Reduction : ลดการใช้พลังงานในระบบหลักได้แก่ระบบ HVAC โดยกรอบอาคารที่มีประสิทธิภาพสูง และการระบายอากาศที่เหมาะสม ฯลฯ
- Absorption : ใช้ประโยชน์จากการผลิตพลังงานธรรมชาติรอบตัวอาคาร เช่น Fixed External Shades & Integrated PV’s (E/W facades) , Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) ฯลฯ
- Reclaimation : ใช้ประโยชน์จากพลังงานเหลือทิ้งนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น Recirculated air for Preheat/Cooling of fresh air ฯลฯ
- Generation : ใช้การผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงในรูปแบบต่างๆ เช่น Micro-Turbine ซึ่งได้พลังงานความร้อนปล่อยทิ้งในการทำน้ำร้อนภายในอาคาร ฯลฯ

3.2 กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคารประเภทโรงพยาบาล*



“Okinawa Medical Centre ” – Okinawa-Japan

Project Detail : Okinawa Medical Centre (Okinawa, Japan)
Type : Hospital
Certified : CASSBEE S
Envelope : multi-functional vertical louvers, roof insulation and rooftop garden, vertical louvers
HVAC : Radiant Cooling, Desiccant Air
Lighting :
Etc. - Rain water
Renewable Energy : Photovoltaic System
1.6 MW of photovoltaic on site, 450 kW on rooftop
Energy Use Intensity :
Reference : IBEC



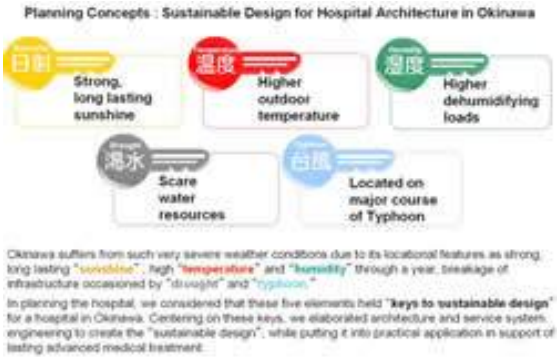
***** ลดการใช้พลังงานลง 16% เมื่อเทียบกับโรงพยาบาลในประเภทและขนาดเดียวกัน *****

แหล่งข้อมูลอ้างอิง : Japan Sustainable Building Database
http://www.ibec.or.jp/jsbd/AM/tech.htm

Basic Information

[CASBEE rank]	S (★★★★★)
[CASBEE tool used]	CASBEE for New Construction (2008 edition)
[Location]	118-1 Aza Arakawa, Haebaru-cho, Shimajiri-gun, Okinawa Prefecture
[Completion date]	2006/4/1
[Site area]	54,706.39m^2
[Total floor area]	42,733.90m^2
[Structure]	Steel reinforced concrete/partly reinforced concrete/seismic-isolated structure
[Floors]	6 floors aboveground/1-floor rooftop utility structure
[Owner]	Okinawa Prefecture
[Designer]	Nikken Sekkei, Inc., Kuniken Ltd., Souken Sekkei Office Ltd.
[Contractor]	Kokuba-gumi Co., Ltd., Kanehide Construction Inc., Daiyonekensetsu Corp., Oshirogumi Co., Ltd., Kokuwa Setsubi Kogyo Co., Ltd. , Misato Kogyo (LP), Okinawa Panasonic Tokki Co., Ltd., Okinawa Kogyo Co., Ltd., Taisei Setsubi Kogyo Co., Ltd., plus 38 other companies

Planning Concept : Sustainable Design for Hospital Architecture in Okinawa



การออกแบบอาคารปรับให้เข้ากับลักษณะเฉพาะของพื้นที่ในเมืองโอกินาวา ดังต่อไปนี้

- Strong , long lasting sunshine
- Higher Outdoor Temperature
- Higher Dehumidifying loads
- Scare water resources
- Located on major course of Typhoon

ดังนั้น ลักษณะเด่นของอาคารแห่งนี้ (Special Features) จึงได้รับการออกแบบเพื่อรองรับคุณลักษณะเฉพาะข้างต้น ดังนี้

Special Features

Q-1 Indoor Environment	Building envelope suitable for Okinawa's climatic conditions (multi-functional vertical louvers, roof insulation and rooftop garden) Improved room environment and energy efficiency with the use of task/ambient A/C system in 4-bed inpatient rooms (cool air is radiated from ceiling) Improved low-humidity environment and energy efficiency through humidity control of major systems and ward systems using desiccant A/C
Q-2 Quality of Service	Individual interior planning for adult and children areas Okinawa's first medical facility with seismic-isolated structure, ensuring reliability as disaster response hub Improved maintenance and upgrade performance and disaster recovery of A/C systems by adding ISS in the 1st and 3rd floor ceilings where the main A/C rooms are located Enhanced energy-supply reliability through dual system for power and cold-water supply systems and multi-energy heat source system
Q-3 Outdoor Environment on Site	Community-based medical facility equipped with meeting space for adult/children and rooftop garden Amahaji, structure typically seen in Okinawa's traditional houses, surround the building and shelter pedestrians from rain and the intense sun
LR-1 Energy	Reduced thermal load by installing vertical louvers throughout the building 41% reduction in energy consumption by utilizing desiccant A/C system with water-conveyance cold-source system using mid-large temperature difference suitable for Okinawa's high-humidity environment.
LR-2 Resources and Materials	Use of large amount of A/C condensation water created due to high-humidity conditions, in addition to rainwater, accounting for 48% of general service water usage, as a water-saving measure for water-poor Okinawa
LR-3 Off-site Environment	Sterilization of waste water prior to discharge in order to eliminate threat of infection from

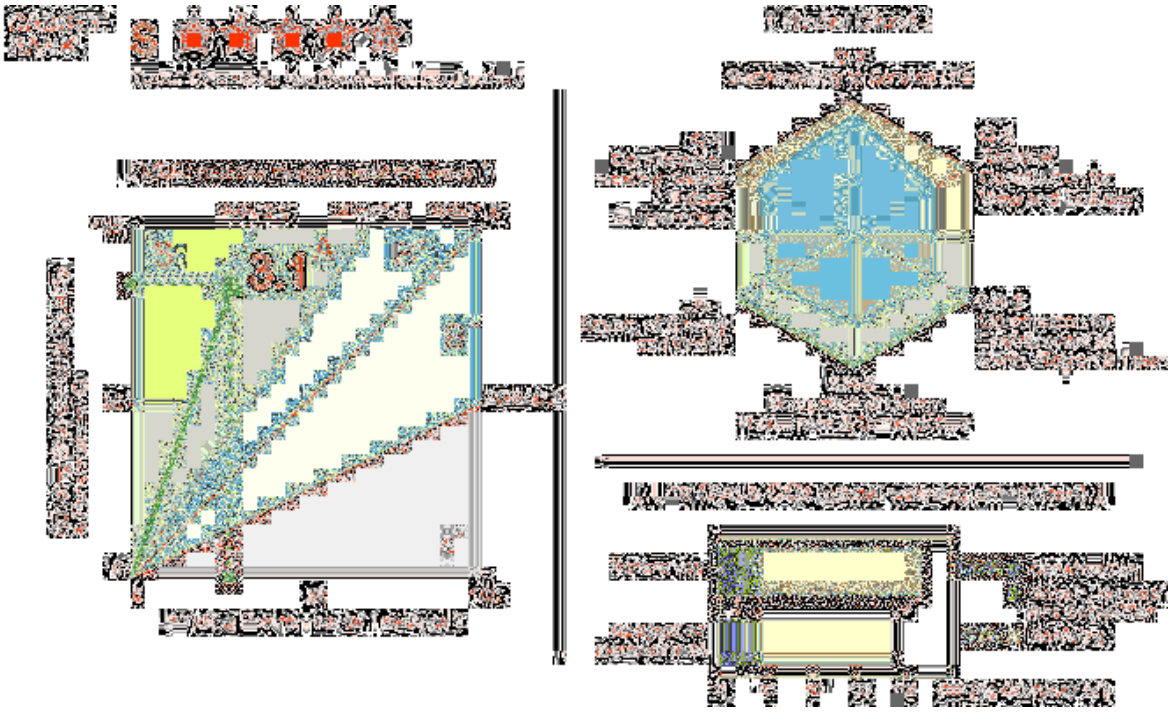
advanced medical care

Ample distance from adjacent sites and vertical louvers providing relief from daytime sun

exposure and nighttime light pollution

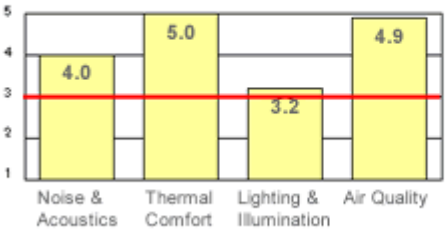
Other Features

Front entrance furnished with large eaves (approximately 1,000m^2) to be used as triage space for potential major aircraft and tour bus accidents due to the hospital's close proximity to Naha airport and interchange

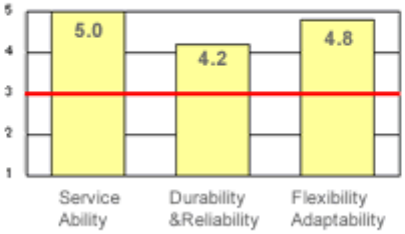


【 Q. Building Environmental Quality & Performance 】 SQ = **4.3** (SQ : Score of Q category)

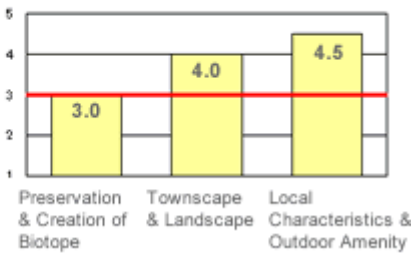
Q-1 Indoor Environment
Score: SQ1 = 4.4

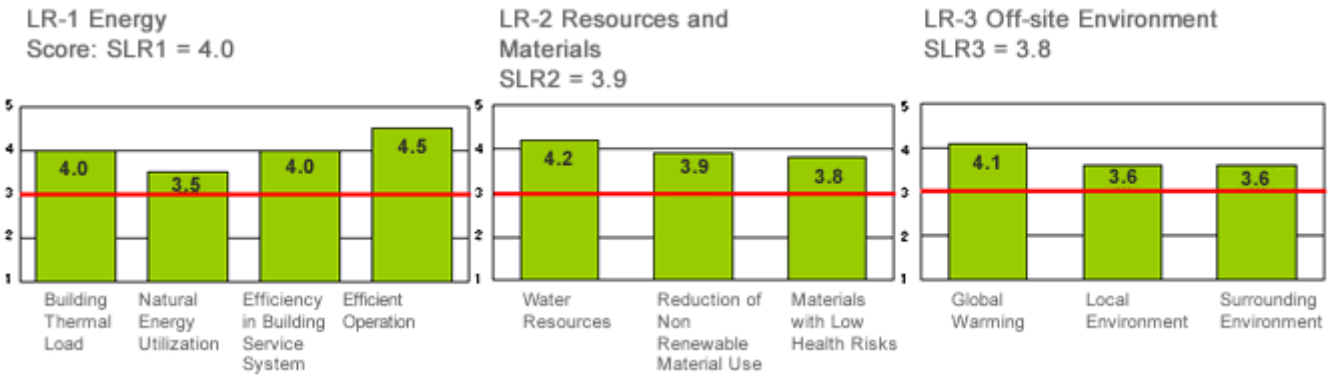


Q-2 Quality of Service
SQ2 = 4.7



Q-3 Outdoor Environment on Site
SQ3 = 3.8





【 LR. Reduction of Building Environmental Loadings 】 SLR = **3.9** (SLR : Score of LR category)

Multi-functional vertical louvers

ออกแบบติดตั้ง Vertical Louvers ให้มีคุณลักษณะการใช้งานที่หลากหลาย เช่น เพื่อป้องกันรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ เพิ่มความเป็นส่วนตัวภายในห้องคนไข้ ใช้วัสดุที่เบาและไม่เป็นอันตรายยามประสบกับพายุได้ฝุ่น เป็นต้น

While annual hours of daylight in Naha and Tokyo are both approximately 2,000 hours, in Naha, however, daylight hours are long in summer and short in winter (opposite Tokyo's daylight pattern), making the blocking of particularly intense, extended summer daylight a key element of sustainable design for this region.

To this end, the hospital was furnished with light-weight GRC vertical louvers with no wood frame to block Okinawa's strong sunlight, while its deep-set facade design protects the building openings from strong wind gusts and flying objects from typhoons. In addition, some louvers are set diagonally outward in order to provide patient privacy by blocking the view from opposing windows. Use of multi-functional vertical louvers (i.e., sun shielding, environmental performance, wind gust protection and privacy protection) provides the hospital with long-lasting sustainability well-adapted to the regional climate.

Task/ambient A/C system for 4-bed inpatient room (cool air radiated from ceiling)

ลดอุณหภูมิแตกต่างระหว่างภายในห้องพักคนไข้และภายนอกอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน และใช้หลักการแผ่รังสีของความเย็นบริเวณฝ้าเพดานให้เกิดสภาวะที่สบายและประหยัดพลังงาน

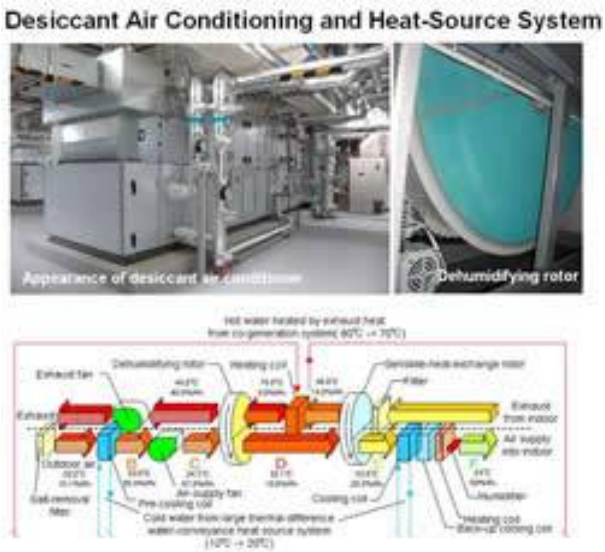


Air conditioning is required almost year-around in Okinawa with the exception of 1 to 2 weeks typically between mid-January and early February when heating is required. Outside air temperature remains high with little day and night fluctuation, particularly in summer. Thus, minimizing temperature differences in and outside of inpatient rooms is an important energy-saving feature for sustainable design.

4-bed inpatient rooms are equipped with task/ambient A/C system. While ambient indoor air set at approximately 28°C provides a small temperature difference from outside, the system allows individuals to adjust their personal environment by controlling air flow according to their preferences and needs. Furthermore, the system achieves improved patient comfort and energy efficiency in individual spaces by using the Coandă effect, in which cooling air is supplied along the ceiling surface, allowing cooling air to radiate from the ceiling and eliminating cold drafts.

Desiccant A/C system and water-conveyance cold-source system using mid-large temperature difference

ใช้ระบบสารดูดความชื้นในระบบปรับอากาศเพื่อลดการสิ้นเปลืองพลังงานในการลดความชื้น



The energy required for air cooling/dehumidifying process in Okinawa is 2.5 times that of Tokyo due to its climate. In a hospital setting, where high fresh air intake occurs and humidity control is crucial, reduction in energy use for the dehumidification process is a key element in sustainable design. The desiccant A/C system for this hospital uses absorbent material for dehumidification, thus achieving a 38% reduction in cold energy under outdoor air design conditions. Furthermore, a water-conveyance system using mid-large temperature difference (10-20°C) was selected based on the characteristics of the desiccant A/C system that allow dehumidification by sensible heat cooling at approximately 23°C. This heat source system resulted in both an improvement in refrigerator COP (up 3.8%) and a reduction in water conveyance motive energy (down 43%), achieving a total reduction of approximately 41% in power consumption when combined with the desiccant A/C system.

A performance study of desiccant A/C systems based on climate data for 10 domestic sites and 7 overseas sites shows the reduction in annual primary energy consumption per outdoor air intake decreases in proportion to the latitude, indicating higher performance in high-humidity areas at low latitudes.

3.3 กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคารประเภทโรงแรม*

ECONOMIC BUILDING (ECON) :



"Etap Hotel" – Toulouse, France

Project Detail : Etap Hotel (Toulouse, France)
Type : Hotel
Envelope : Extra-thick insulation, double glazing
HVAC : Geothermal heat pump
Etc. High energy-efficient pumps, Under floor heating/cooling in the hotel
Renewable Energy : Domestic hot water production by solar panels and by a geothermal heat pump,110 m² of solar panels
Energy Use Intensity : Total energy consumption (ventilation, heating, and lighting) will be 60 kWh/m2 equipment
Reference : Planet 21, ACCOR

อาคารโรงแรม Etap Hotel มีห้องพักจำนวน 106 ห้อง ในพื้นที่รวมเท่ากับ 2,200 ตารางเมตร ได้รับการออกแบบให้มีประสิทธิภาพทางพลังงานมากกว่าอาคารทั่วไปตามที่กฎหมายกำหนดถึง 3 เท่า โดยมีระบบปรับอากาศ ระบบทำความร้อน และระบบทำน้ำร้อนที่ใช้พลังงานทดแทนเสริมในบางส่วนจาก Geothermal Heat pump และ Solar Panel ซึ่งให้ผลการประหยัดพลังงานประมาณ 15,000 ยูโรต่อปี (270,000 kWh/ปี) ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง รวมประมาณ 3,000 ยูโรต่อปี

3.4 กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคารประเภทศูนย์การค้า*



"AEON" Shiga – Yokohama, Japan

Project Detail : AEON Mall, Shiga (Yokohama, Japan)
Type : Shopping Mall
Certified : CASSBEE S
Envelope : Louvers of recycled lumber obscuring
HVAC : Night purge
Lighting : LED
Etc. - Ice thermal storage, groundwater and rainwater, Green wall and green roof
Renewable Energy : Solar panels: rooftop 190kW/south exterior wall 10 kW
Energy Use Intensity :
Reference : IBEC



แหล่งข้อมูลอ้างอิง : Japan Sustainable Building Database
http://www.ibec.or.jp/jsbd/AM/tech.htm

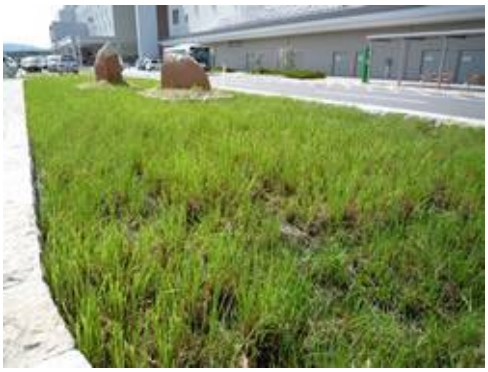
Basic Information

[CASBEE rank]	S (★★★★★)
[CASBEE tool used]	CASBEE for New Construction (2008)
[Location]	Kusatsu, Shiga Prefecture
[Completion date]	2008/11/20
[Site area]	102,827m^2
[Total floor area]	165,238m^2
[Structure]	Steel reinforced concrete/Steel structure
[Floors]	6 floors aboveground /1 basement floor
[Owner]	Aeon Mall Co., Ltd.
[Designer]	Takenaka Corporation
[Contractor]	Takenaka Corporation


Rooftop Solar Panel 190 kW



Restoration of rice field



Biotope area designed to simulate natural ecosystem of Lake Biwa



Louvers with Recycled lumber



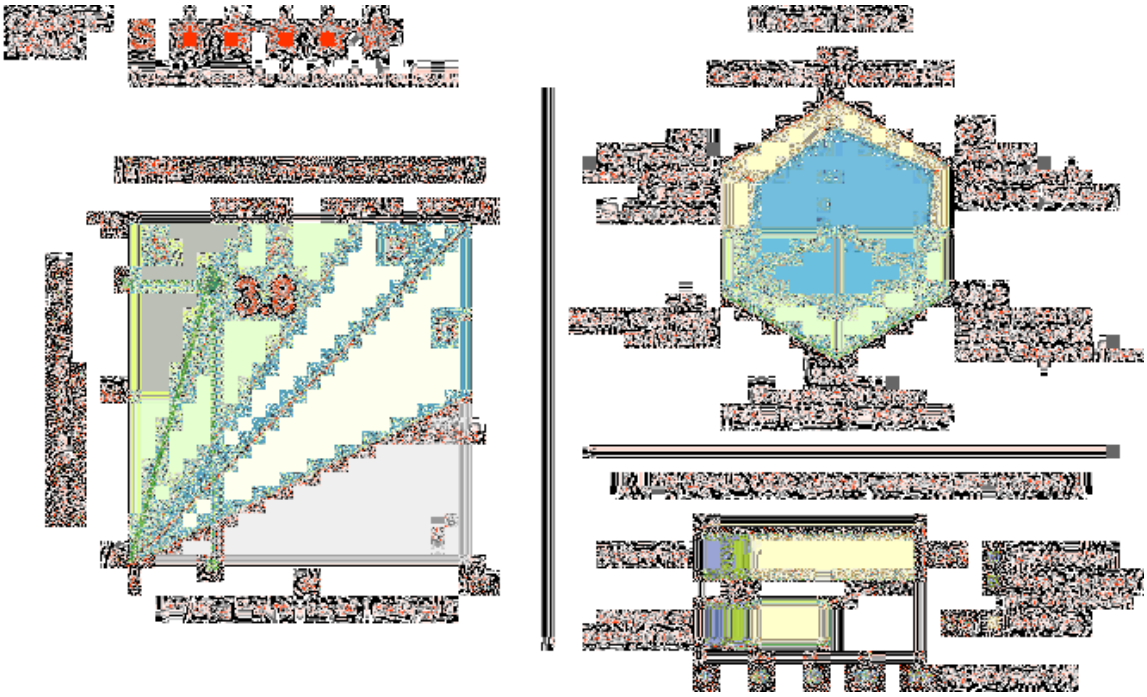
Eco information panel

Special Features

Q-1 Indoor Environment	Central A/C system for year-around A/C area (individual system for other areas) Light wells for daylight utilization Time scheduled control of individual public area lighting (full/half lighting) Occupancy sensor for emergency stairs/staff washrooms Four-star rated products for all finishing materials Interior designed to enhance ease of cleaning and maintenance Completely closed-off smoking sections
Q-2 Quality of Service	Ample floor and ceiling heights Multiple devices in place as backup for equipment failure Electric equipment installed on 2nd floor or higher to ensure improved reliability in case Of flooding Universal design Maintenance measures (e.g., use of filter cleaning robot and LED lighting)
Q-3 Outdoor Environment on Site	Low-rise building design, louvers of recycled lumber obscuring views of parkade ramps And he mall from the lake side and reduced light level for signs and illumination systems were incorporated in order to enhance integration with surrounding landscape Green space: 28.26% of outside area by planting native seedlings and installing green blocks for parkade Green zoning targets set based on vegetation study including preservation of mature nettle trees and creation of biotope area that reflects realistic ecosystem in Lake Biwa wetland grass area Restoration of rice field in order to conserve surrounding vegetation including Elymus humidus, which is listed as an endangered species Collaborative art projects with Shigaraki pottery using subsoil of Lake Biwa (e.g., monuments and tiles) Eco-stations set up to raise community's environmental awareness
LR-1 Energy	Exposure to sunlight load reduction by installing smaller windows with exception of north side of the building; PAL value lowered by 23% (retail area) Large temperature difference A/C system using cascading control with ice thermal storage system as heat source Night purge system Solar panels: rooftop 190kW/south exterior wall 10kW High-efficiency lighting system Energy data collection using BEMS Post-construction, monthly commissioning meetings conducted to implement operational improvement measures
LR-2 Resources and Materials	Water resource management using groundwater and rainwater Use of water-saving mechanisms Use of recycled materials: local forest thinnings from Shiga Prefecture area, recycled lumber for louvers, recycled interlocking blocks and laminated materials for railings

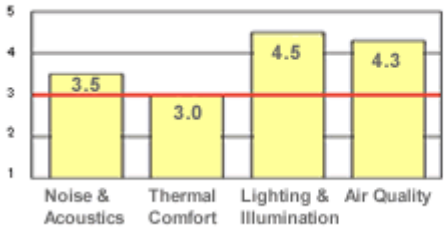
LR-3 Off-site Environment

Segregated garbage collection and waste reduction measures
Ample parking space with multiple entrance/exit points and on-site bus depots for public
transportation in order to reduce traffic congestion
Wind hazard prevention and thermal environment improvement planning based on wind
simulations
Effluent load reduction with bio-processing of waste water from restaurants
Green walls with Shigaraki moss tiles at each entrance
Green roof using cogon grass seedlings previously harvested at building site pre-
construction

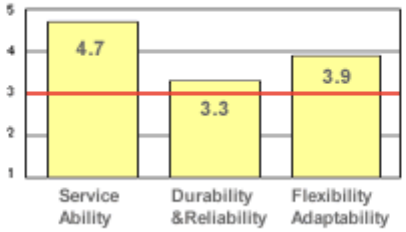


Q. Building Environmental Quality & Performance 】 SQ = 4.1 (SQ : Score of Q category)

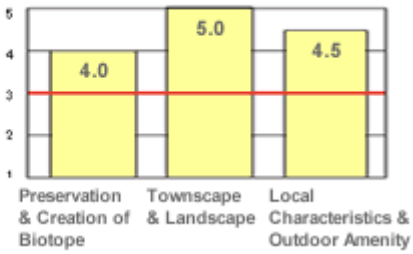
Q-1 Indoor Environment
Score: SQ1 = 3.7

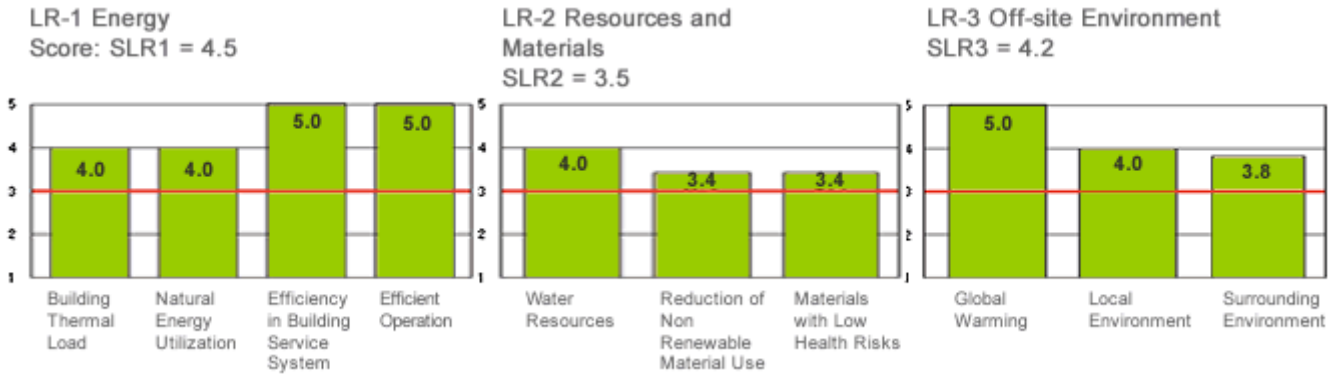


Q-2 Quality of Service
SQ2 = 4.0



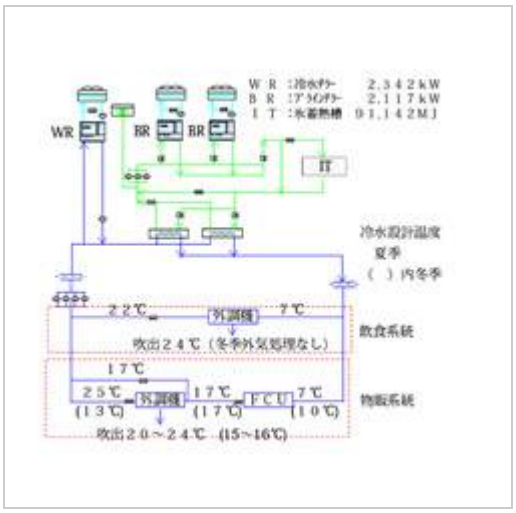
Q-3 Outdoor Environment on Site
SQ3 = 4.5





【 LR. Reduction of Building Environmental Loadings 】 SLR = **4.1** (SLR : Score of LR category)

A/C system using large temperature difference with cascade control



Heat source/air conditioning system overview



ใช้การเก็บพลังงานด้วยการทำน้ำแข็ง (Ice Thermal Storage) ร่วมกับเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นในฤดูหนาวและฤดูร้อน โดยพิจารณาการใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิอากาศภายนอกเพื่อลดภาระการทำความเย็น

An ice thermal storage system combined with a super high-efficiency chiller is used as the heat source. Secondary A/C links FCU with AHU, using return air from FCU in AHU with cascade control. The system performs processes such as water conveyance using temperature difference of 13°C in summertime and water heat exchange in AHU after temperature of cold water is first raised in FCU

in wintertime. The processes allows the temperature of outdoor air diffused inside the building to be raised to 15-16°C and enables heat recovery from cold water by lowering its temperature by 3-4°C using even colder outdoor air, thus achieving a reduction in A/C energy consumption. It also significantly contributed to electric-load leveling, as approximately half of power consumption has shifted to night-time (annual night-time power consumption of heat source: 53%).

Light wells



A light well in the mall's ceiling



ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติตามช่องเปิดที่บริเวณฝ้าเพดานในบริเวณต่างๆ อย่างเหมาะสม

Daylight is utilized to provide natural light in the mall through openings in vaulted ceiling

แหล่งข้อมูลอ้างอิง :

(1) U.S. DOE. The Design-Build Process of the Research Support Facility (RSF).
(2) ZEB@BCA Academy, Singapore. Available from URL : http://www.bcaa.edu.sg/zero_energy_building.aspx
(3) เอกสารการประกวด Thailand Energy Awards 2011 ประเภท อาคารสร้างสรรค์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานดีเด่นอาคารใหม่ (New and Existing Building). ENCO.
(4) Roger E. Frechette, Russell Gilchrist. Towards Zero Energy- A Case Study of the Pearl River Tower, Guangzhou, China.
(5) Okinawa Perfectural Nanbu Medical Center & Children Medical Center. Japan Sustainable Building Database. Available from URL : http://www.ibec.or.jp/jsbd/AM
(6) Etap Hotel Toulouse Aeroport, France. ACCOR Best Practice – Promote Sustainable Building. Available from URL : http://www.etaphotel.com/fr/discovering-etap-hotel/eco-friendly-hotels.shtml.
(7) AEON Mall Kusatsu. Japan Sustainable Building Database. Available from URL : http://www.ibec.or.jp/jsbd/AG

โครงสร้างวิชา (Module's Structure)

หมวดวิชา GROUP	ความรู้พื้นฐาน BASIC KNOWLEDGE (B)	B
วิชา Module	การวิเคราะห์ทางการเงินสำหรับมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน Financial Analysis for Energy Efficiency Measures	1.2
เวลาอบรม	0.5 วัน (3 ชั่วโมง)	
Version	1.0 , มิถุนายน 2557	
ความรู้พื้นฐานที่ต้องการ	B1.1 Development Concept for Energy Efficiency in Commercial Buildings	

หัวข้อวิชา

Chapter 1 Cost Benefit Analysis for Energy Efficiency Measures in Commercial Buildings

บทที่ 1 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคารธุรกิจ

1.1 พื้นฐานการหาผลตอบแทนการลงทุนทางการเงิน

1.2 ตัวอย่างการหาผลตอบแทนการลงทุนแบบต่างๆ

Chapter 2 Life Cycle Cost Benefit Analysis for Energy Efficiency Measures in Commercial Buildings including financial source availability

บทที่ 2 การวิเคราะห์ความคุ้มทุนตลอดทั้งวัฏจักรของอาคารในการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานรวมถึงการจัดหาแหล่งเงินทุนต่าง ๆ

2.1 ทำไมถึงต้องทำการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost Analysis (LCCA)

2.2 การคำนวณ Life-Cycle Cost (LCC)

2.2.1 กรณีตัวอย่างการคำนวณ Base Case : Conventional HVAC Design

2.2.2 กรณีตัวอย่างการคำนวณ Alternative Case : Energy Saving HVAC Design

2.3 เกณฑ์การประเมินโครงการ

2.3.1 กรณีตัวอย่างการประเมินโครงการ

2.4 การจัดหาแหล่งเงินทุนต่างๆ

หมวดวิชา GROUP	ความรู้พื้นฐาน BASIC KNOWLEDGE (B)	B
วิชา Module	การวิเคราะห์ทางการเงินสำหรับมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน Financial Analysis for Energy Efficiency Measures	1.2
เวลาอบรม	0.5 วัน (3 ชั่วโมง)	
Version	1.0 , มิถุนายน 2557	
ความรู้พื้นฐานที่ต้องการ	B1.1 Development Concept for Energy Efficiency in Commercial Buildings	

Chapter 1 Cost Benefit Analysis for Energy Efficiency Measures in Commercial Buildings

บทที่ 1 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคารธุรกิจ

1.1 พื้นฐานการหาผลตอบแทนการลงทุนทางการเงิน

1.2 ตัวอย่างการหาผลตอบแทนการลงทุนแบบต่างๆ

บทที่ 1
การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการ เพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคารธุรกิจ

โครงการอนุรักษ์พลังงานต่างๆมีความจำเป็นที่จะต้องอาศัยนโยบายและการสนับสนุนจากผู้บริหาร เนื่องจากโครงการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานโดยส่วนใหญ่ มักจะต้องมีการลงทุน ดังนั้นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานจึงต้องสามารถแสดงให้ผู้บริหารเห็นความสำคัญและประโยชน์ในด้านต่างๆ อาทิ ผลประหยัดพลังงาน ผลประหยัดต่อค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ฯลฯ ซึ่งควรที่จะพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการในระยะยาวโดยที่พิจารณามูลค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วย ดังนั้น การวิเคราะห์ทางการเงินตลอดวัฏจักรของโครงการในลักษณะที่เรียกว่า Life Cycle Cost (LCC) จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทที่ 2 ต่อไป

1.1 พื้นฐานการหาผลตอบแทนการลงทุนทางการเงิน

โครงการลงทุนที่ต้องพิจารณาการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนทางการเงิน มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1) เพื่อพิจารณาหาความคุ้มค่ากับเงินลงทุน (cost-effectiveness)
2) เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาของสถาบันการเงินทั้งในและ/หรือนอกประเทศ เพราะผู้ให้กู้ต้องประเมินความสามารถในการทำกำไรของโครงการว่าเพียงพอต่อการชำระคืนทั้งเงินต้นและดอกเบี้ยหรือไม่

การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนโดยทั่วไป มีทั้งแบบอย่างง่าย และแบบที่ต้องพิจารณาตลอดอายุโครงการ (Project Life time) ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

- **BCR (Benefit-Cost Ratio)**

  คือการคำนวณจากอัตราส่วนผลประโยชน์ (ผลประหยัด) ต่อค่าใช้จ่าย (เงินลงทุน) สำหรับโครงการที่น่าสนใจในการลงทุนต้องมีค่า BCR มากกว่า 1 เสมอ ดังนั้น หากมีการแสดงเปรียบเทียบโครงการที่เป็นทางเลือกต่างๆ หลายโครงการ โครงการที่มี BCR มากที่สุดจะได้รับการพิจารณา อย่างไรก็ตาม การคำนวณ BCR อาจแสดงค่าที่ทำให้การพิจารณาคลาดเคลื่อนหรือไม่เหมาะสมกับความเป็นจริงได้ กรณี โครงการมีขนาดที่ไม่เท่ากัน หรือ ไม่ได้พิจารณาถึงอัตราผลตอบแทนที่เท่ากัน เป็นต้น

- **SPP (Simple Payback Period)**

  ระยะเวลาการคืนทุน (Simple Payback Period) เป็นการวัดมูลค่าการลงทุนแบบง่าย ๆ โดยดูผลตอบแทน (ผลประหยัด) เป็นตัวเงินที่จะได้รับกลับคืนในแต่ละปี เทียบกับเงินลงทุน เพื่อให้ทราบว่าจะได้คืนทุนในระยะเวลากี่ปี

(กรณีผลประหยัดคงที่) สูตรการคำนวณ SPP (ปี) = $\frac{\text{เงินลงทุนเริ่มแรก (บาท)}}{\text{ผลประหยัดที่ได้รับในแต่ละปี (บาท/ปี)}}$

(กรณีผลประหยัดไม่คงที่) SPP = จำนวนปีที่ทำให้ผลประหยัดรวมเท่ากับเงินลงทุน ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง

ผลประหยัด	โครงการ Aลงทุนเริ่มแรก = 1,000,000 บาท	โครงการ B ลงทุนเริ่มแรก = 1,000,000 บาท
ปีที่ 1	500,000	400,000
ปีที่ 2	400,000	300,000
ปีที่ 3	100,000	200,000
ปีที่ 4	0	100,000
รวม	1,000,000	1,000,000

ระยะเวลาคืนทุน โครงการ A = 3 ปี (เลือก)
ระยะเวลาคืนทุน โครงการ B = 4 ปี (ไม่เลือก)

สรุปได้ว่า โครงการ A มีความจูงใจในการลงทุนมากกว่า โครงการ B เมื่อต้องใช้เงินลงทุนที่เท่ากัน

- **NPV (Net Present Value) & IRR (Internal Rate of Return)**

  NPV

  มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) หมายถึง ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิ (ผลประหยัด) ตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ

มูลค่าปัจจุบัน (NPV) = มูลค่าปัจจุบันเงินสดรับ (ผลประหยัด) - มูลค่าปัจจุบันเงินสดจ่าย (เงินลงทุน)

เกณฑ์การตัดสินใจ
-มูลค่าปัจจุบัน(NPV) มีค่าเป็น บวก (+) หมายถึงโครงการมีความน่าสนใจที่จะลงทุน (รายรับมากกว่ารายจ่าย)
-มูลค่าปัจจุบัน (NPV) มีค่าเป็น ลบ (-) หมายถึงโครงการไม่สมควรที่จะลงทุน (รายจ่ายมากกว่ารายรับ)

ทั้งนี้การที่จะหา NPV ได้ จะต้องทำความเข้าใจมูลค่าปัจจุบัน (Present Value: PV) ซึ่งหมายถึงการปรับค่าของเงินที่จะได้ในอนาคตให้เป็นค่าในปัจจุบัน โดยมีตัวแปรคือ r ซึ่งหมายถึงอัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ยที่เหมาะสมที่คาดว่าจะได้รับ

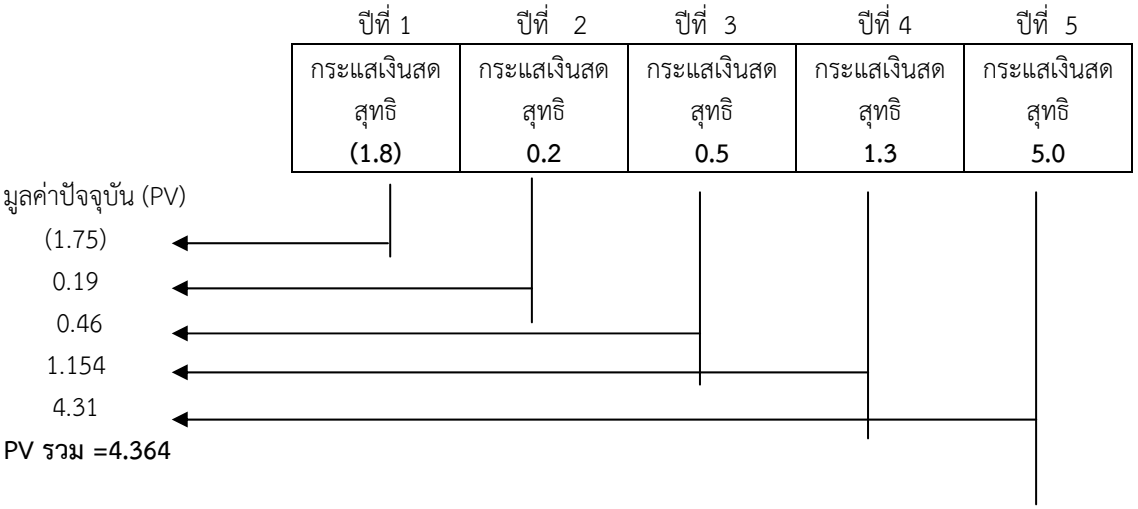
$$\text{Present Value} = \text{Future Value} / (1+r)^n$$

ตัวอย่าง ผลประหยัด 1,000,000 บาทในอีก 5 ปีข้างหน้าเมื่อเทียบกลับมาเป็นปัจจุบันมีค่าเท่าใด ? (อัตราคิดลด 3% ต่อปี)

มูลค่าเงินของปี 2555 = มูลค่าเงินปี2560 / $(1+0.03)^5$

= 1,000,000 / $(1.03)^5$ = 862,608.78 บาท

ตัวอย่างการหา Present Value (กรณี r = 3%)

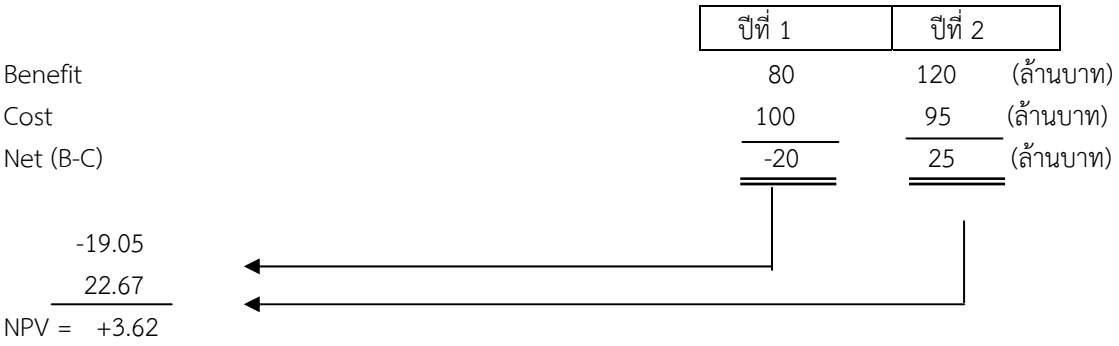


อธิบายได้ว่า เงินที่จะได้รับในอนาคตทั้ง 5 ปี 5.2 ล้านบาท (-1.8 + 0.2 + 0.5 +1.3 + 5.0) เมื่อคำนวณกลับเป็นค่าในปัจจุบันหรือ Present Value ในอัตราดอกเบี้ย 3% จะมีค่าเท่ากับ 4.364 ล้านบาท

เมื่อทราบวิธีการคำนวณหา Present value แล้ว ก็สามารถคำนวณหา Net Present Value ได้ ซึ่งค่า NPV นี้อาจมีค่าเป็นลบ เป็นบวก หรือเป็นศูนย์ ก็ได้ ขึ้นกับขนาดของมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวม (Present Value Benefit: PVB) หักออกด้วย มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม (Present Value Cost: PVC) ของโครงการ

สูตรการหา NPV = PVB – PVC

ตัวอย่าง การหา NPV ของบริษัท BBB (r = 5%)



หมายถึง โครงการนี้ได้ผลตอบแทนเป็นบวก หรือมีเงินเหลือ 3.62 ล้านบาท

IRR

อัตราผลตอบแทนลดค่า (Internal Required Rate of Return: IRR**)** หมายถึง อัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากการเลือกลงทุนในโครงการ โดยพิจารณาค่าของเงินที่ได้รับแต่ละปีด้วย ซึ่งอัตราผลตอบแทนนี้จะคำนวณโดยหาอัตราลดค่าที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดรับเท่ากับเงินลงทุนพอดี หรือ การหาผลคูณของอัตราลดค่าที่นำมาคูณกับกระแสเงินสดรับแล้วทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิหรือ NPV มีค่า = 0 นั่นเอง

จะเห็นได้ว่า วิธีหา IRR เป็นวิธีที่สำคัญ และจำเป็น ซึ่งผู้ลงทุนทุกคน ต้องประเมินก่อนว่า โครงการที่จะลงทุนนั้นมีค่า IRR เป็นเท่าไร ยิ่งถ้าลักษณะของโครงการ มีความเสี่ยงสูง ก็ยิ่งต้องมีค่า IRR สูง เพื่อชดเชยกับความเสี่ยงที่เรียกกันว่า High risk high return

ทั้งนี้ ในการลงทุน ผู้ลงทุนคงต้องพิจารณาว่า หากโครงการที่จะลงทุน ให้ผลตอบแทนต่ำกว่าต้นทุนเงินทุน เช่น สมมติว่า ผู้ลงทุน ได้เงินทุนมาจากการกู้ ในอัตรา 15% หากประเมินโครงการแล้วพบว่า โครงการที่สนใจ ให้ผลตอบแทนเพียง 10 หรือ 12 % ก็ไม่น่าลงทุน หรือแม้แต่บางโครงการอาจให้ผลตอบแทนถึง 15% เท่ากับต้นทุนเงินกู้ ก็ยังไม่น่าลงทุนอยู่ดี เพราะทำไปก็เสมอตัว ไม่มีกำไร ยกเว้นแต่ว่าหากเป็นโครงการเพื่อส่งเสริมภาพลักษณ์หรือการขาย ก็อาจพิจารณาถึงผลประโยชน์ด้านอื่นประกอบ

1.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนแบบต่างๆ

การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนในหัวข้อ 1.1 ที่ผ่านมา ได้กล่าวถึงเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์แต่ละแบบว่าคืออะไร และมีวิธีการคำนวณอย่างไร อย่างไรก็ตามในหัวข้อนี้ จะเน้นไปที่การแสดงผลของการวิเคราะห์และการแปลความหมายของผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน เพื่อให้สำเสนอให้ผู้บริหารเข้าใจถึงทางเลือกของโครงการที่จะก่อให้เกิดผลตอบแทนการลงทุนที่ดีที่สุด (Cost-Effectiveness)

สามารถพิจารณาตัวอย่างโครงการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน โดยการเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟประสิทธิภาพสูง เป็นหลอดแอลอีดี (LED lamp) ทดแทนหลอดไส้ (Incandescent lamp) สำหรับไฟป้ายสัญลักษณ์ทางออก (Exit Sign) โดยมีการวิเคราะห์กระแสเงินสด (Cash Flow) จากเงินลงทุนในปีที่ 0 และจากผลประหยัดพลังงานในปีที่ 1- ปีที่ 10 ในระยะเวลา 10 ปีตามอายุอุปกรณ์ (50,000 ชั่วโมง) ดังตารางที่ 1.1 ต่อไปนี้

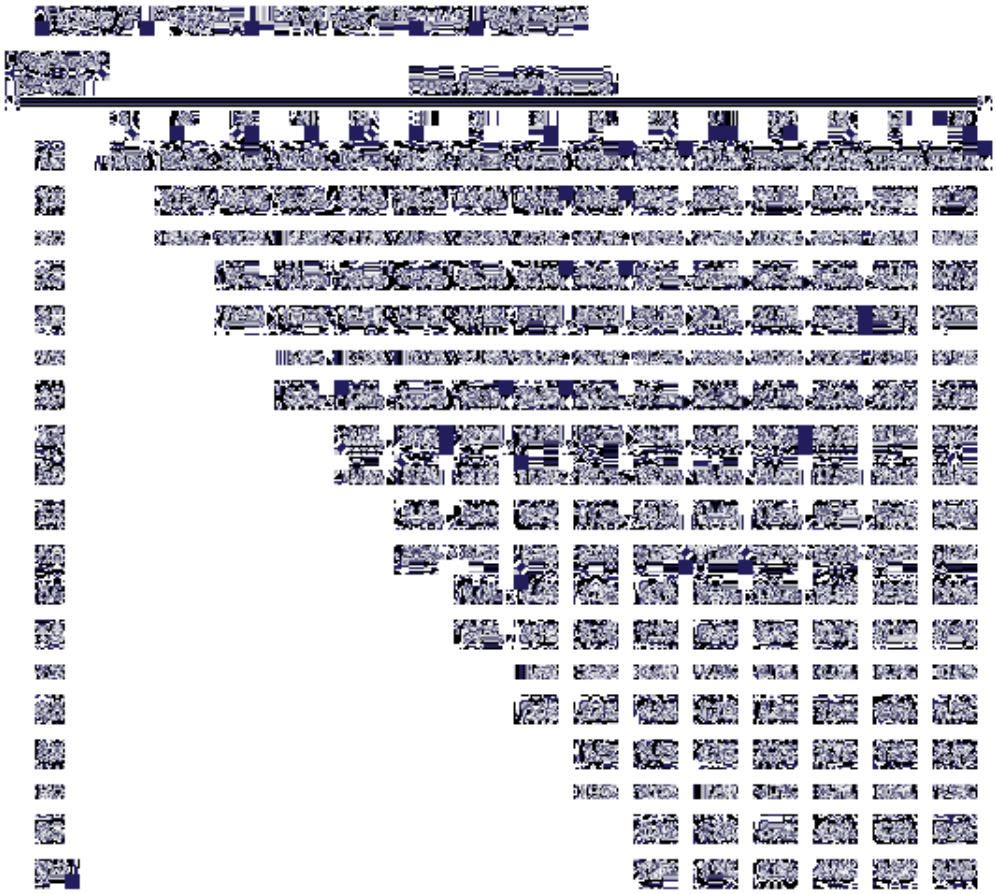
ตารางที่ 1.1 แสดงการวิเคราะห์กระแสเงินสด (Cash Flow) ของโครงการเปลี่ยนมาใช้หลอด LED สำหรับป้ายทางออก (Exit Sign)



จากตารางที่ 1.1 จะเห็นว่ามีการประมาณผลประหยัดพลังงานคิดเป็นค่าคงที่ตั้งแต่ปีที่ 1 จนถึงปีที่ 10 (คิดจากอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยที่มีค่าคงที่) ซึ่งหากคิดระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple Payback Period ; SPP) ก็จะไม่แสดงให้เห็นถึงกระแสเงินสดภายหลังจากผ่านจุดคุ้มทุนไปแล้ว นอกจากนี้ ได้มีการพิจารณาถึงผลประหยัดด้านค่าบำรุงรักษา (เฉลี่ย) อันเนื่องมาจากที่ไม่ต้องมีการเปลี่ยนหลอดใหม่ทดแทนหลอดเดิมที่ขาดในช่วงระยะเวลาของโครงการ (10ปี) อีกด้วย

นอกเหนือจากการพิจารณาผลประหยัดด้านต่างๆ ซึ่งกำหนดให้มีค่าคงที่แล้ว การพิจารณามูลค่าของเงินที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Timed-Value) ทำให้สามารถพิจารณาความคุ้มทุนของโครงการได้อย่างสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น กล่าวคือ ใช้การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return ; IRR) ซึ่งจะช่วยให้การตัดสินใจในการพิจารณาแหล่งทุนภายในหรือแหล่งทุนจากภายนอกมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1.2 ต่อไปนี้

ตารางที่ 1.2 แสดงการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return ; IRR)



จากตารางข้างต้น จะเห็นว่า ที่ IRR = 20% (กรณี Minimum Acceptable Rate of Return ; MARR หรือเรียกว่า Hurdle rate = 20% ตามเงื่อนไขขององค์กร) ระยะเวลาคืนทุนของโครงการที่สมควรลงทุนคือน้อยกว่า 4.2 ปี

ในทางปฏิบัติแล้ว อาจมีโครงการที่พิจารณาในการลงทุนเสนอเป็นทางเลือกที่มากกว่า 1 โครงการ ดังนั้น การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน (SPP), อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เพื่อเปรียบเทียบระหว่างโครงการในลักษณะเดียวกันนี้ จะทำให้สามารถตัดสินใจดำเนินการได้อย่างเหมาะสมมากยิ่งขึ้น ดังตัวอย่างที่จะกล่าวถึงในตารางที่ 1.3 ต่อไปนี้

ตารางที่ 1.3 แสดงการเปรียบเทียบโครงการลงทุนในระบบแสงสว่างโดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว (Occupancy Sensor) และอุปกรณ์ตั้งเวลาส่วนกลาง (Central Timeclock) เพื่อประหยัดพลังงาน

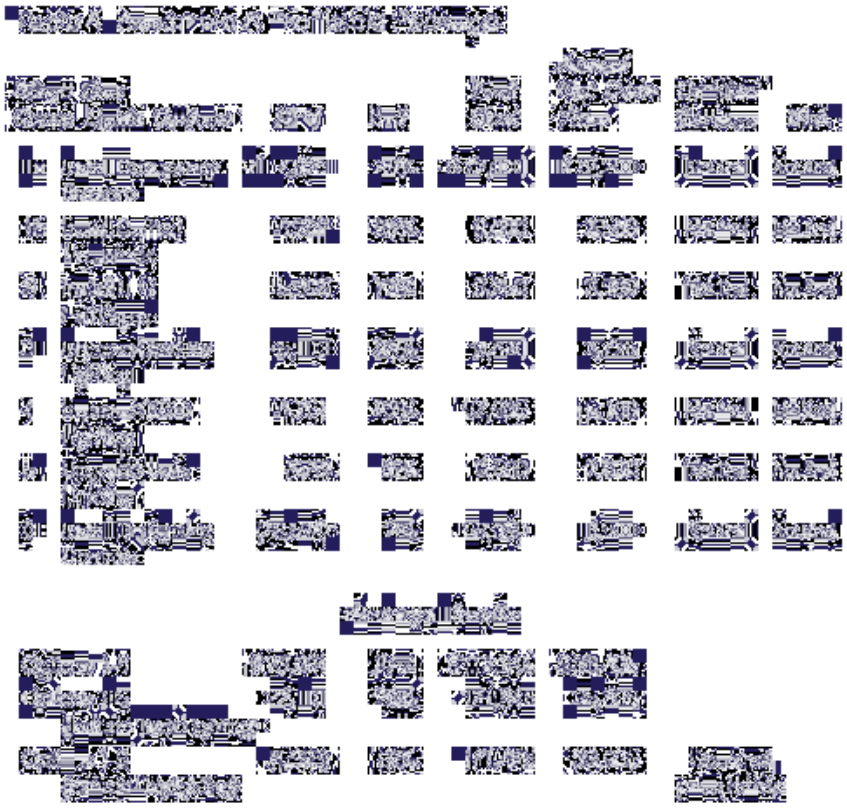


หากพิจารณาอย่างผิวเผิน ดูเหมือนกับว่า โครงการติดตั้ง Occupancy Sensor (Option 1A) จะมีความจูงใจในการลงทุนดำเนินการมากกว่าโครงการติดตั้ง Central Timeclock (Option 1B) จากการพิจารณาค่า SPP ที่น้อยกว่า และ IRR ที่มากกว่า แต่หากพิจารณา NPV แล้วจะพบว่าโครงการติดตั้ง Occupancy Sensor (Option 1A) มีค่าที่มากกว่า แปลความหมายได้ว่าภายหลังหมดอายุโครงการแล้ว (สิ้นสุดอายุอุปกรณ์) โครงการนี้จะสามารถก่อให้เกิดผลประหยัดรวมได้มากกว่านั่นเอง ทำให้ผู้บริหารสามารถจัดลำดับความสำคัญในการดำเนินการก่อน-หลังได้เป็นอย่างดี

สำหรับการพิจารณาโครงการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในลักษณะที่มีหลายๆ โครงการเข้าด้วยกัน การประเมินทางเลือกของกลุ่มมาตรการต่างๆ จะทำให้ผู้บริหารสามารถที่จะตัดสินใจได้ง่ายยิ่งขึ้น

ตารางที่ 1.4 ด้านล่างต่อไปนี้ แสดงการเปรียบเทียบภาพรวมโครงการปรับปรุงที่เป็นทางเลือกต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนได้ว่า การดำเนินโครงการรวมของ Option 1-4 ให้ผลตอบแทนการลงทุนที่มากกว่า (NPV ที่เป็นค่าเงินมากที่สุด) และมีเงื่อนไขในการลงทุนเริ่มแรก (First Cost) ต่ำสุด

ตารางที่ 1.4 แสดงการพิจารณาโครงการเพิ่มประสิทธิภาพหลายโครงการในภาพรวมก่อนการตัดสินใจลงทุน



แหล่งข้อมูลอ้างอิง :

(1) United State Environmental Protection Agency (EPA). Business Analysis for Energy-Efficiency Investment.; June 1998

หมวดวิชา GROUP	ความรู้พื้นฐาน BASIC KNOWLEDGE (B)	B
วิชา Module	การวิเคราะห์ทางการเงินสำหรับมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน Financial Analysis for Energy Efficiency Measures	1.2
เวลาอบรม	0.5 วัน (3 ชั่วโมง)	
Version	1.0 , มิถุนายน 2557	
ความรู้พื้นฐานที่ต้องการ	B1.1 Development Concept for Energy Efficiency in Commercial Buildings	

Chapter 2 Life Cycle Cost Benefit Analysis for Energy Efficiency Measures in Commercial Buildings including financial source availability

บทที่ 2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าตลอดทั้งวัฏจักรของอาคารในการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานรวมถึงการจัดหาแหล่งเงินทุนต่าง ๆ

2.1 ทำไมถึงต้องทำการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost Analysis (LCCA)

2.2 การคำนวณ Life-Cycle Cost (LCC)

2.2.1 กรณีตัวอย่างการคำนวณ Base Case : Conventional HVAC Design

2.2.2 กรณีตัวอย่างการคำนวณ Alternative Case : Energy Saving HVAC Design

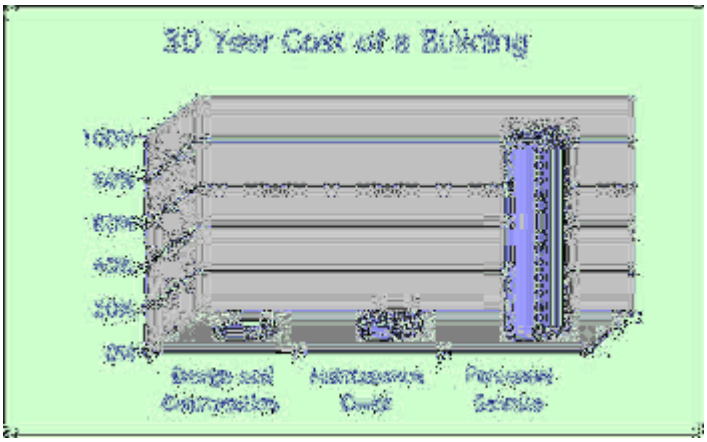
2.3 เกณฑ์การประเมินโครงการ

2.3.1 กรณีตัวอย่างการประเมินโครงการ

2.4 การจัดหาแหล่งเงินทุนต่างๆ

บทที่ 2
การวิเคราะห์ความคุ้มค่าตลอดทั้งวัฏจักรของอาคารในการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน รวมถึงการจัดหาแหล่งเงินทุนต่าง ๆ

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนตลอดทั้งวัฏจักรของอาคาร หรือที่เรียกว่า Life-Cycle Cost Analysis (LCCA) คือ วิธีการทางเศรษฐศาสตร์ที่พิจารณาค่าใช้จ่ายตั้งแต่เริ่มต้นของโครงการ การใช้งาน การบำรุงรักษา การทำลาย เพื่อให้สามารถตัดสินใจในทางเลือกต่างๆ ในการออกแบบอาคาร ซึ่งในทางเลือกต่างๆ นั้น อาจมีค่าใช้จ่ายในแต่ละขั้นตอนแตกต่างกัน หากแต่อยู่ที่มุมมองในภาพรวมในระยะยาวตลอดอายุของอาคารว่าทางเลือกใดจะให้ผลที่ตอบสนองต่อความต้องการของเจ้าของ หรือผู้บริหารอาคารในด้านต่างๆ มากน้อยเพียงใด เช่น ผลในด้านการประหยัดพลังงาน ผลในด้านคุณภาพการใช้อาคาร ผลในด้านความปลอดภัย ฯลฯ



รูปที่ 2.1 แสดงค่าใช้จ่ายเริ่มต้นของอาคารในสัดส่วน 2% ของค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคาร 30 ปี
(Source : Sustainable Building Technical Manual, Lean & Clean Management , 1994)

2.1 ทำไมถึงต้องทำการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost Analysis (LCCA)

โครงการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร เป็นตัวอย่างที่ดีสำหรับการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost Analysis (LCCA) เนื่องจากการออกแบบอาคารใหม่ (New Building) หรือการปรับปรุงอาคารเก่า (Retrofited Existing Buillding) ให้มีประสิทธิภาพพลังงานมากขึ้นนั้น ส่งผลต่อการลงทุน หรือ ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น ในทางเลือกต่างๆ

ดังนั้น การพิจารณาตัดสินใจโครงการที่เป็นทางเลือกต่างๆ ว่าจะดำเนินการได้คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์หรือไม่นั้น มีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาในระยะยาวตลอดอายุโครงการ ซึ่งทำให้การจัดลำดับความสำคัญในการดำเนินโครงการโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ LCCA ในด้านต่างๆ มาช่วยให้นักลงทุน หรือ ผู้ให้แหล่งเงินกู้ในโครงการมีข้อมูลประกอบการตัดสินใจได้ง่ายยิ่งขึ้น รวมถึงเจ้าของหรือผู้บริหารโครงการสามารถเลือกการดำเนินงานที่มีค่าใช้จ่ายโดยรวมที่ต่ำสุด (Lowest overall cost) โดยเฉพาะอย่างยิ่งระหว่างในขั้นตอนการออกแบบอาคาร

อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ LCCA ที่ผ่านมา มักประสบกับอุปสรรคจากความไม่เข้าใจที่เพียงพอ ดังนี้

ปัญหาอุปสรรคสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ LCCA

- มีการวิเคราะห์ LCCA ที่ช้าเกินไป (ไม่ได้ทำในช่วงออกแบบ) เนื่องจากถูกมองว่าเป็นเพียงเครื่องมือในการยืนยันผลจากการออกแบบ ซึ่งแท้จริงแล้ววัตถุประสงค์หลักคือเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อตัดสินใจในทางเลือกการลงทุนที่ดีที่สุด
- เอกสาร Owner Project Requirement (OPR's) เสร็จล่าช้ากว่ากระบวนการออกแบบและก่อสร้างทำให้ขาดความชัดเจนของงานจากฝ่ายต่างๆ
- การเติบโตขยายส่วนต่างๆ ของอาคาร ทำให้ยากต่อการใช้งานและบำรุงรักษา และส่งผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์ LCCA ที่คลาดเคลื่อน
- ฯลฯ

2.2 การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุวัฏจักร (Life-Cycle Cost, LCC)

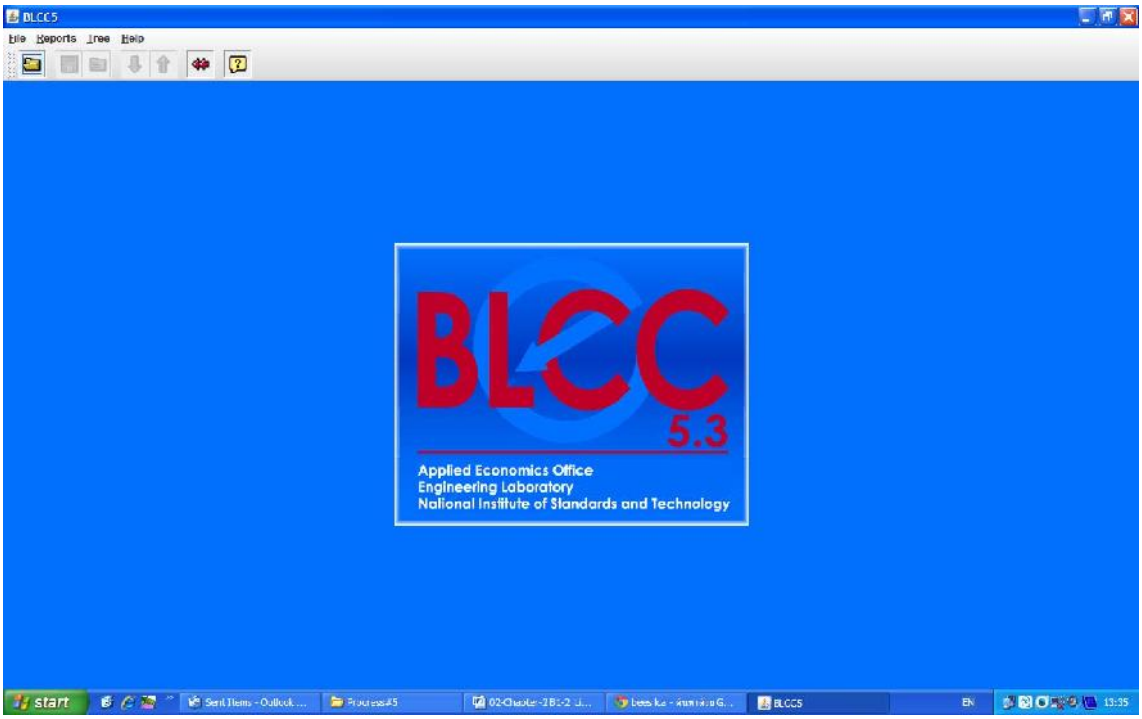
ค่าใช้จ่ายตลอดอายุวัฏจักร (Life-Cycle Cost, LCC) ถูกนำมาใช้ประกอบการวิเคราะห์และกำหนดค่าดัชนีประสิทธิภาพพลังงานของระบบอาคาร ค่าใช้จ่ายตลอดอายุวัฏจักรจะเป็นตัวชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์สำหรับประเมินความเหมาะสมของโครงการ ซึ่งประกอบด้วย ต้นทุน ค่าดำเนินการ ค่าพลังงาน ค่าซ่อมบำรุง รวมถึงมูลค่าซากของระบบ ในกระบวนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่แตกต่างกันจะถูกแปลงเป็นมูลค่าปัจจุบัน (Present Value) โดยคำนึงถึงมูลค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา มูลค่าสุทธิของราคาค่าซาก (Resale , Scrap Value) ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ค่าใช้จ่ายด้านน้ำ ค่าช่ายในการซ่อมบำรุงฯลฯ ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยสมการคำนวณต่อไปนี้

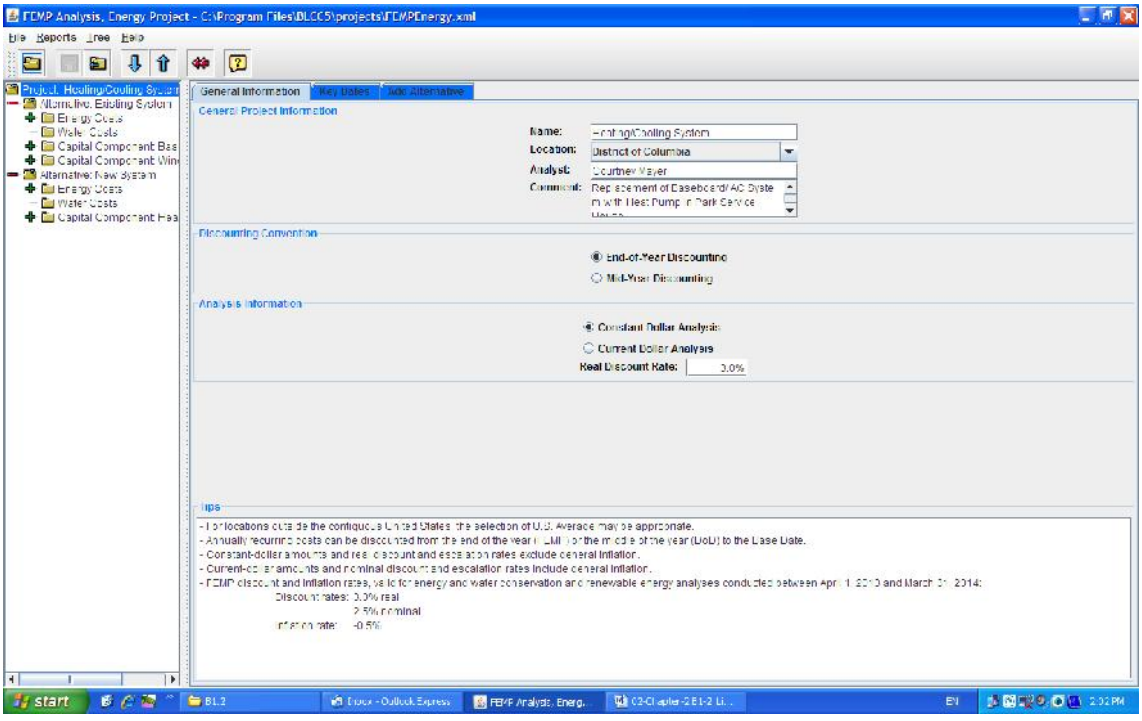
$$LCC = I_0 + Repl - Res + E + W + OM\&R + O$$

โดยที่

LCC	=	Total Life Cycle Cost in Present Value of given alternative
I_0	=	Initial Investment Cost
Repl	=	Present Value capital replacement cost
Res	=	Present Value residual (resale value, scrap value, salvage value) less disposal costs
E	=	Present Value Energy Cost
W	=	Present Value Water Cost
OM&R	=	Present Value non-fuel operating, maintenance, and repair costs
O	=	Present Value of Other costs (e.g. contract costs)

การคำนวณข้างต้น อาจใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ อาทิ BLCC5.3 (Building Life Cycle Cost Version 5.3) หรือ โปรแกรม BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability) ของ US Department of Commerce , NIST (National Institute of Standards and Technology) หรือโปรแกรม Excel Spreadsheet จากหน่วยงานต่างๆ ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก

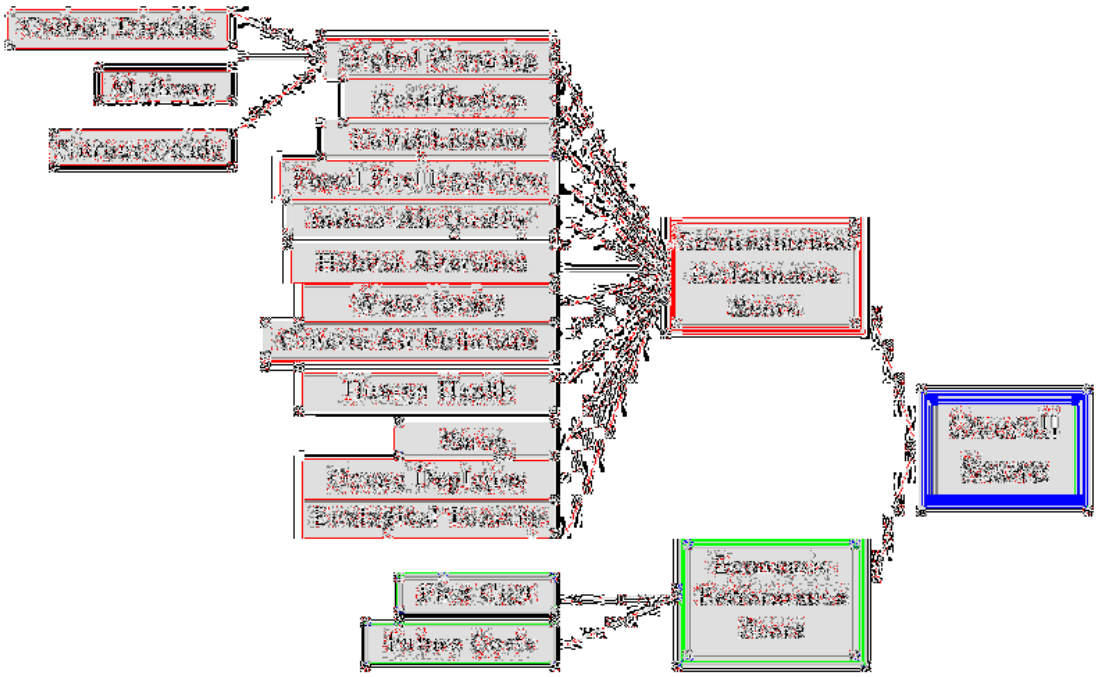




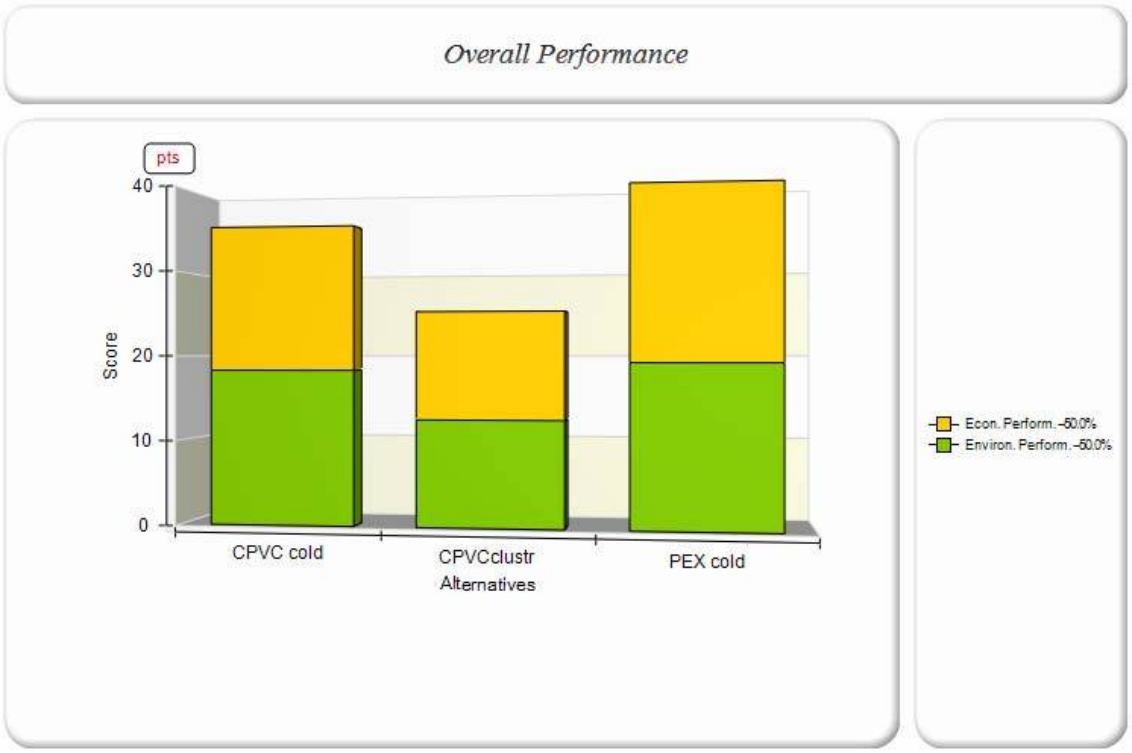
รูปที่ 2.2 แสดงภาพหน้าจอโปรแกรมการคำนวณ BLCC 5.3
(Source : www.nist.gov)



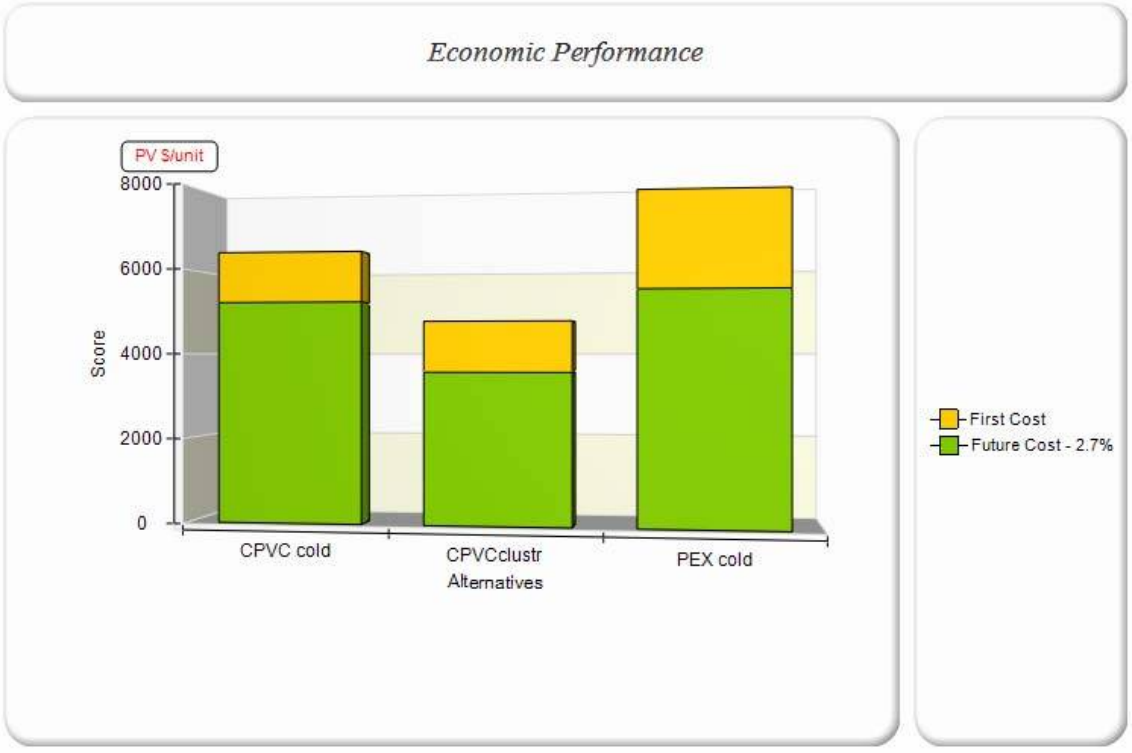
รูปที่ 2.3 แสดงภาพหน้าจอโปรแกรมการคำนวณ BEES
(Source : www.nist.gov)



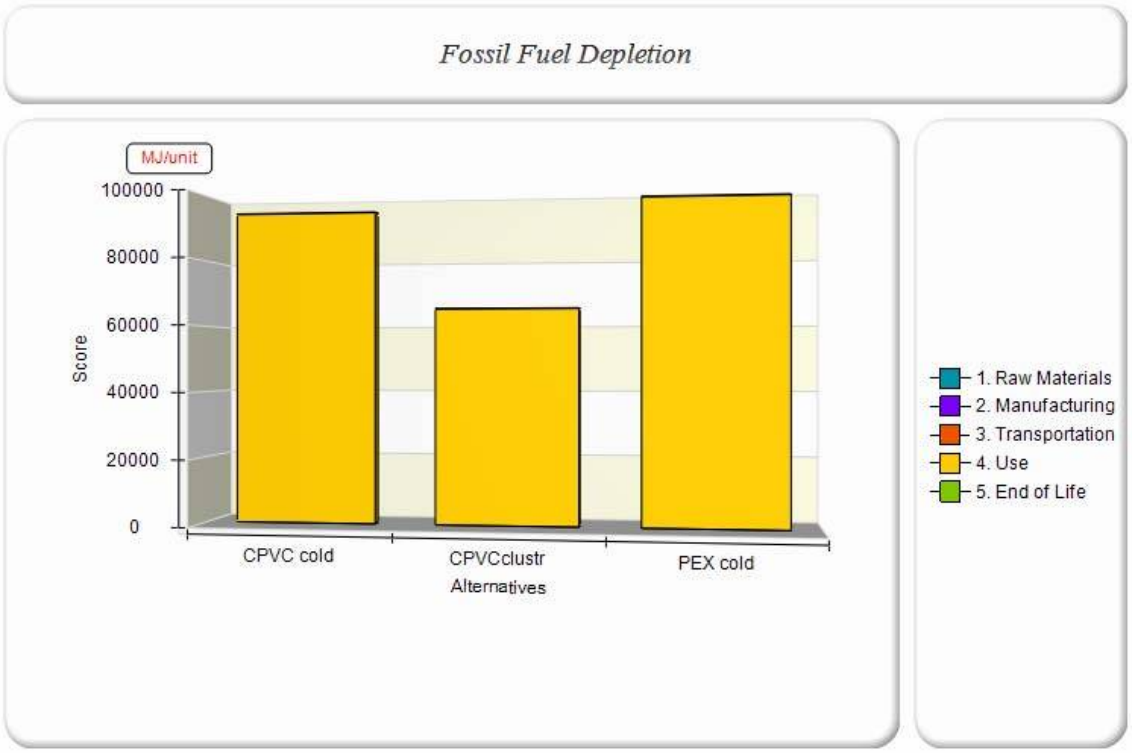
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของโปรแกรม BEES
(Source : www.nist.gov)



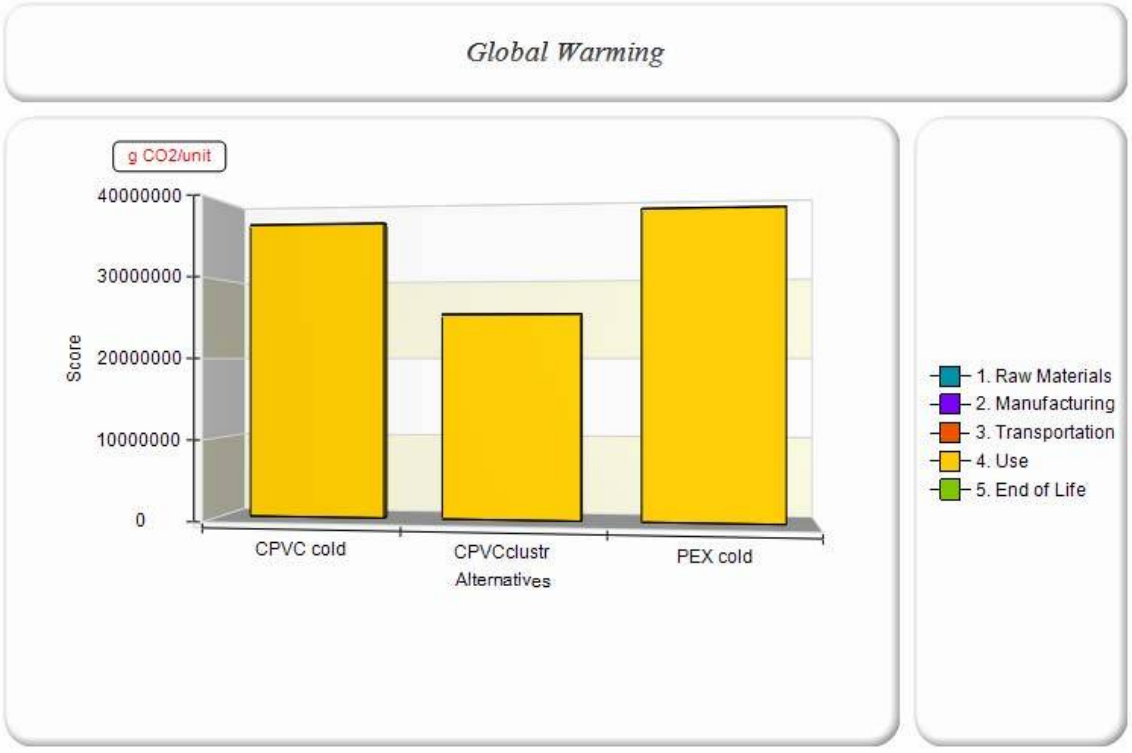
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Overall Performance (Economic & Environmental) ของโปรแกรม BEES- Online (Source : www.nist.gov)



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Economic Performance ของโปรแกรม BEES- Online (Source : www.nist.gov)



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Life Cycle Stage จาก Fossil Fuel Depletion ของโปรแกรม BEES- Online (Source : www.nist.gov)



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Global warming ของโปรแกรม BEES- Online
(Source : www.nist.gov)

2.2.1 กรณีตัวอย่างการคำนวณ LCC- Base Case : Conventional Design

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการต่อไปนี้ แสดงการเปรียบเทียบของโครงการ 2 กรณี คือ กรณีปกติที่มีการออกแบบระบบปรับอากาศแบบ Constant Air Volume (CAV) ที่ไม่มีการควบคุมและการใช้ประโยชน์จากความร้อนทิ้ง และกรณีทางเลือกเพื่อพิจารณา คือมีการออกแบบระบบปรับอากาศที่ประหยัดพลังงาน มี Night time set-back และ มี Economizer ดังนั้น กรณีที่มีค่า LCC ต่ำกว่า จะได้รับการพิจารณาตัดสินใจในการลงทุนนั่นเอง

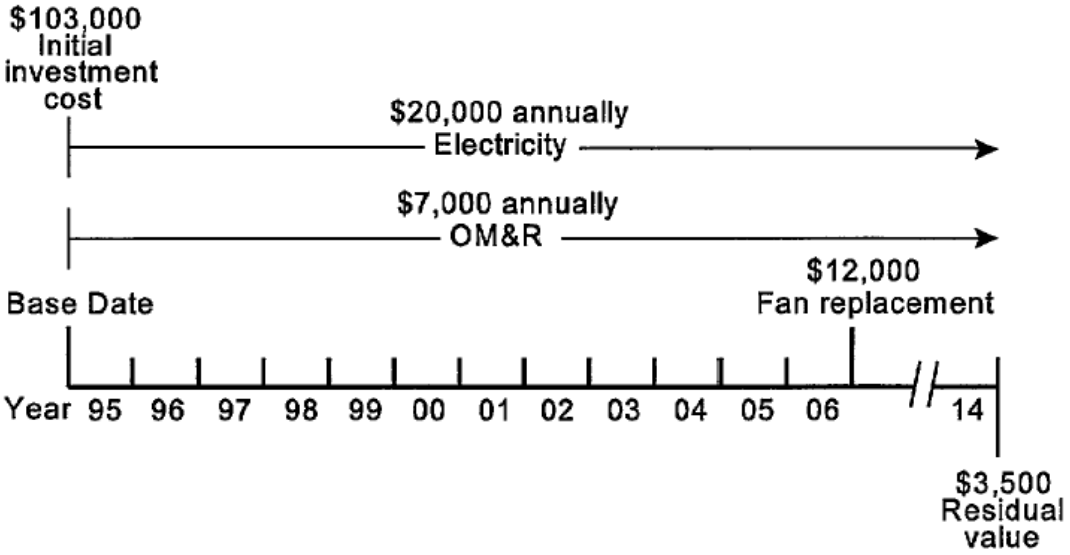
ข้อมูลทั่วไป :

สถานที่ตั้งอาคาร	Washington, DC ; DOE Region 3
อัตราคิดลด (Discount Rate)	3%
ราคาพลังงาน	ไฟฟ้า $0.08/kWh
อายุอุปกรณ์	20 ปี

จากข้อมูลข้างต้น สามารถแสดง Cash Flow ได้ดังต่อไปนี้

- เงินลงทุนเริ่มต้น (Initial investment cost ; Lump sum cost) = $103,000
- มีค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนพัดลมใหม่ ณ สิ้นปีที่ 12 = $12,000
- มีมูลค่าซากของอุปกรณ์ในระบบ ณ สิ้นปีที่ 20 = $3,500
- มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อปี = $20,000 (250,000 kWh ที่ $0.08/kWh
- มีค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาระบบต่อปี = $7,000

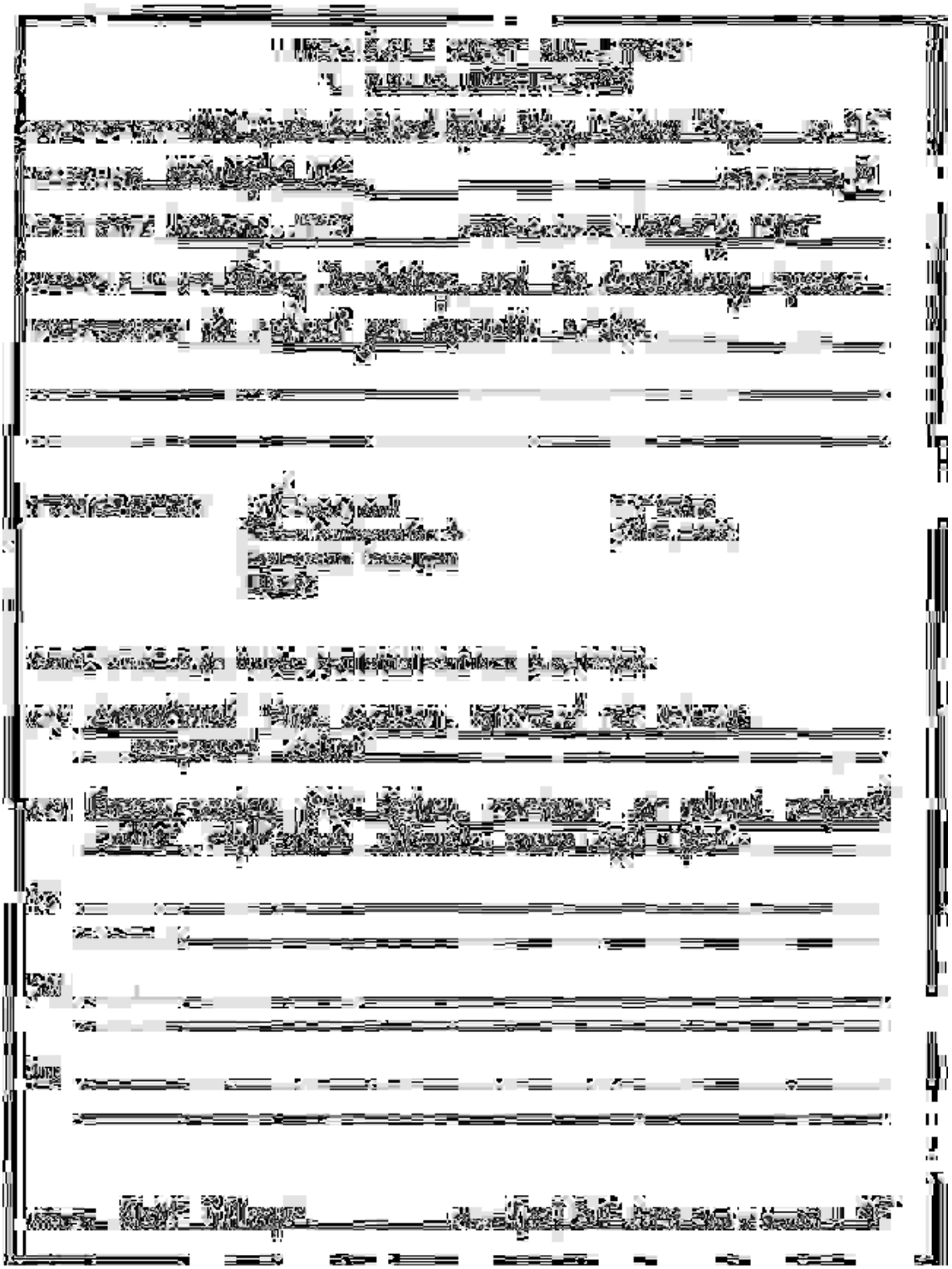
สามารถเขียน Cash Flow Projection อย่างง่าย ได้ดังรูปต่อไปนี้

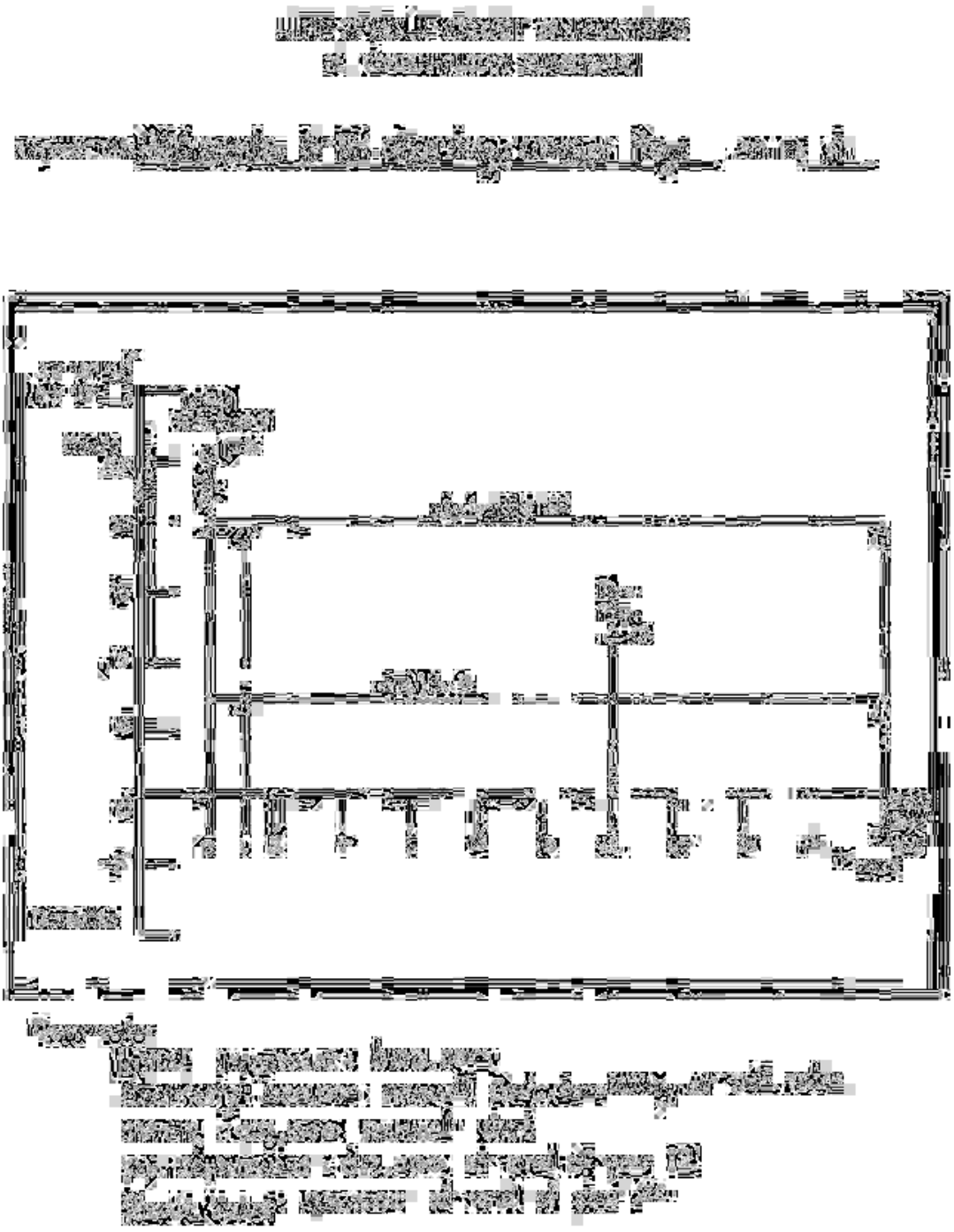


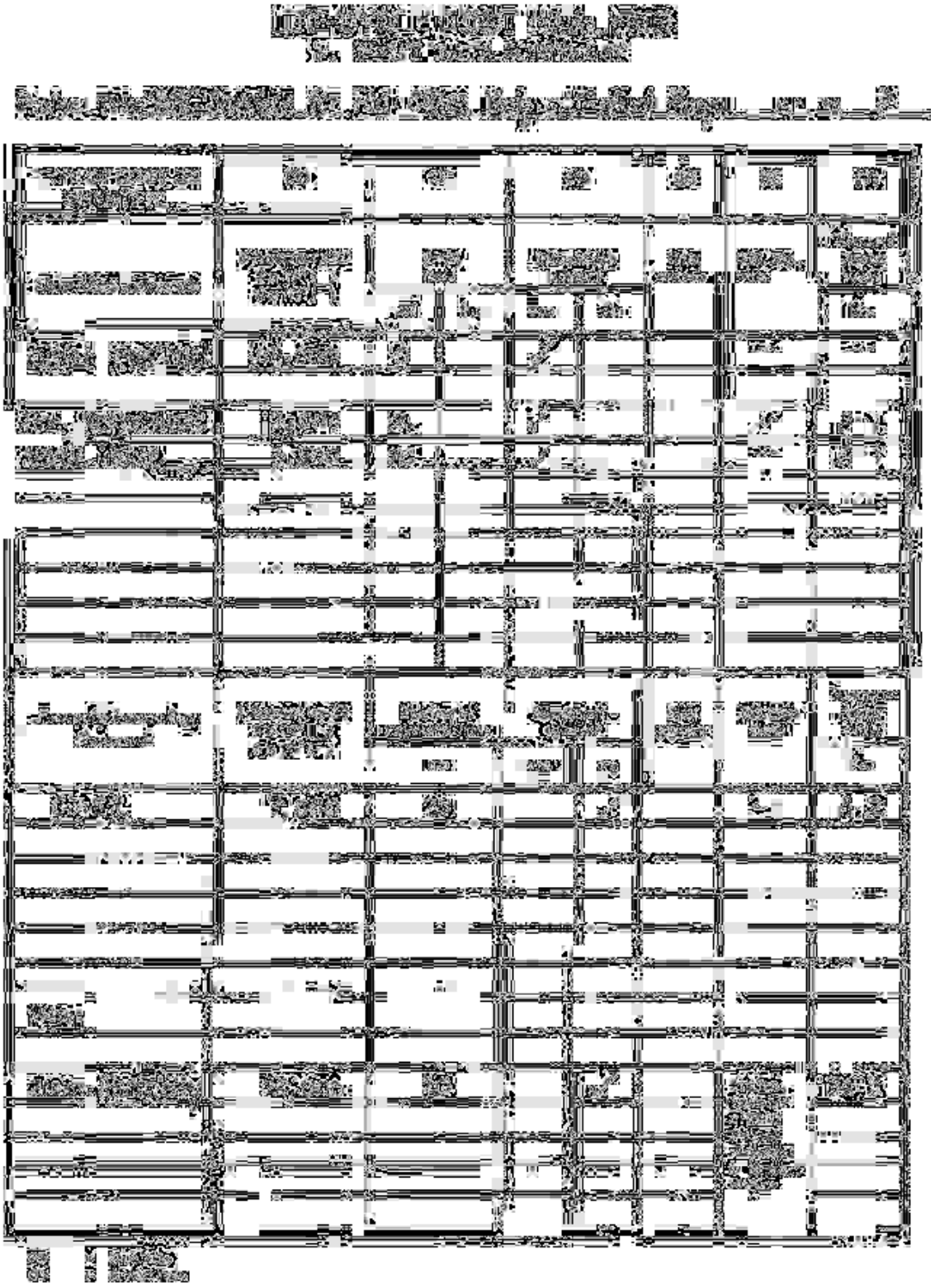
รูปที่ 2.9 Cash Flow Diagram สำหรับ Conventional HVAC Design

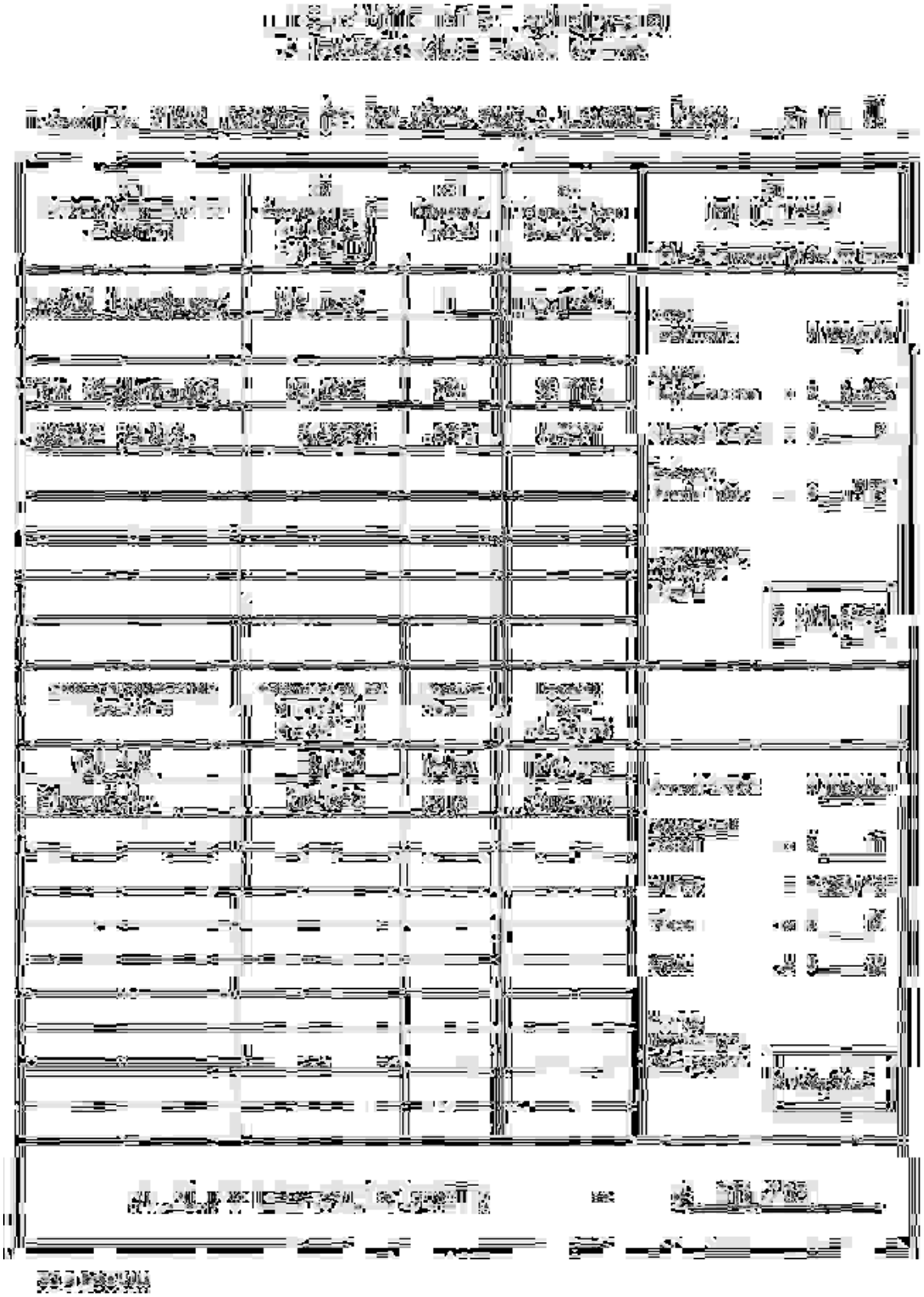
จาก Worksheet รายการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost ต่อไปนี้ แสดงถึงตัวอย่างในการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่างๆ ตามลำดับดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : กำหนดรายละเอียดโครงการ (Project Identification)
ขั้นตอนที่ 2 : จัดทำ Cash Flow Diagram
ขั้นตอนที่ 3 : สรุปข้อมูล Input Data Summary
ขั้นตอนที่ 4 : คำนวณ Present Value (PV)
ขั้นตอนที่ 5 : คำนวณ Saving – to – Investment Ratio (SIR)
ขั้นตอนที่ 6 : คำนวณ Discounted Payback Period
ขั้นตอนที่ 7 : พิจารณาตัดสินใจเลือกดำเนินโครงการ (Selection)









ดังนั้น สามารถแสดงสรุปผลการคำนวณเพื่อหาค่า LCC กรณี Base Case : Conventional HVAC Design ได้ดังตารางที่ 2.1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงผลการคำนวณ Life Cycle Cost (LCC) – Base Case : Conventional HVAC Design

Data Summary for Conventional HVAC Design: Base Case—Simple Example

Cost Items (1)	BaseDate Cost (2)	Year of Occurrence (3)	Discount Factor (4)		Present Value (5)=(2)x(4)
Initial investment cost	$103,000	Base date	already in present value		$103,000
Capital replacement (fan)	$12,000	12	SPV_{12}	0.701	$8,412
Residual value	($3,500)	20	SPV_{20}	0.554	($1,939)[a]
Electricity: 250,000 kWh at $0.08/kWh	$20,000	annual	FEMP UPV^*_{20}	15.13	$302,600
OM&R	$7,000	annual	UPV_{20}	14.88	$104,160
Total LCC					**$516,233**

[a] The residual value is subtracted from the LCC.

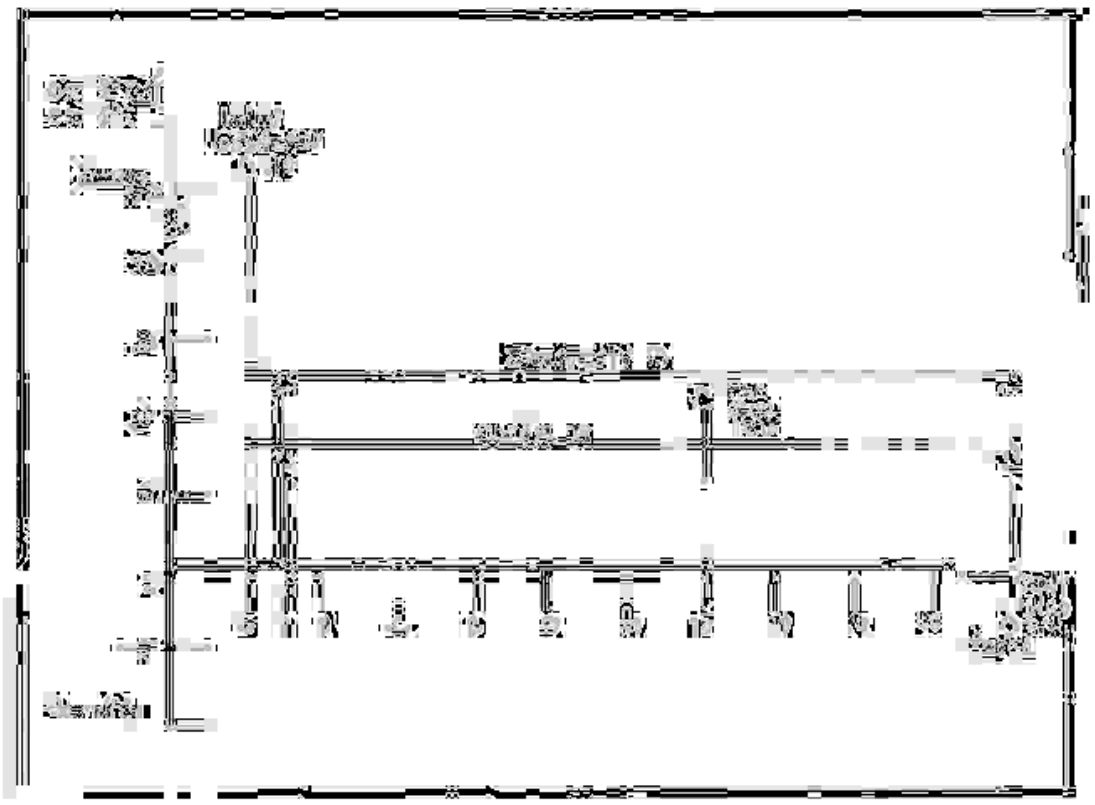
สรุป กรณี **Base Case :** Conventional HVAC Design มีค่า Life-Cycle Cost (LCC) = **$516,233** ตลอดการใช้งาน 20 ปี

2.2.2 กรณีตัวอย่างการคำนวณ LCC- Alternative Case : Energy Saving Design

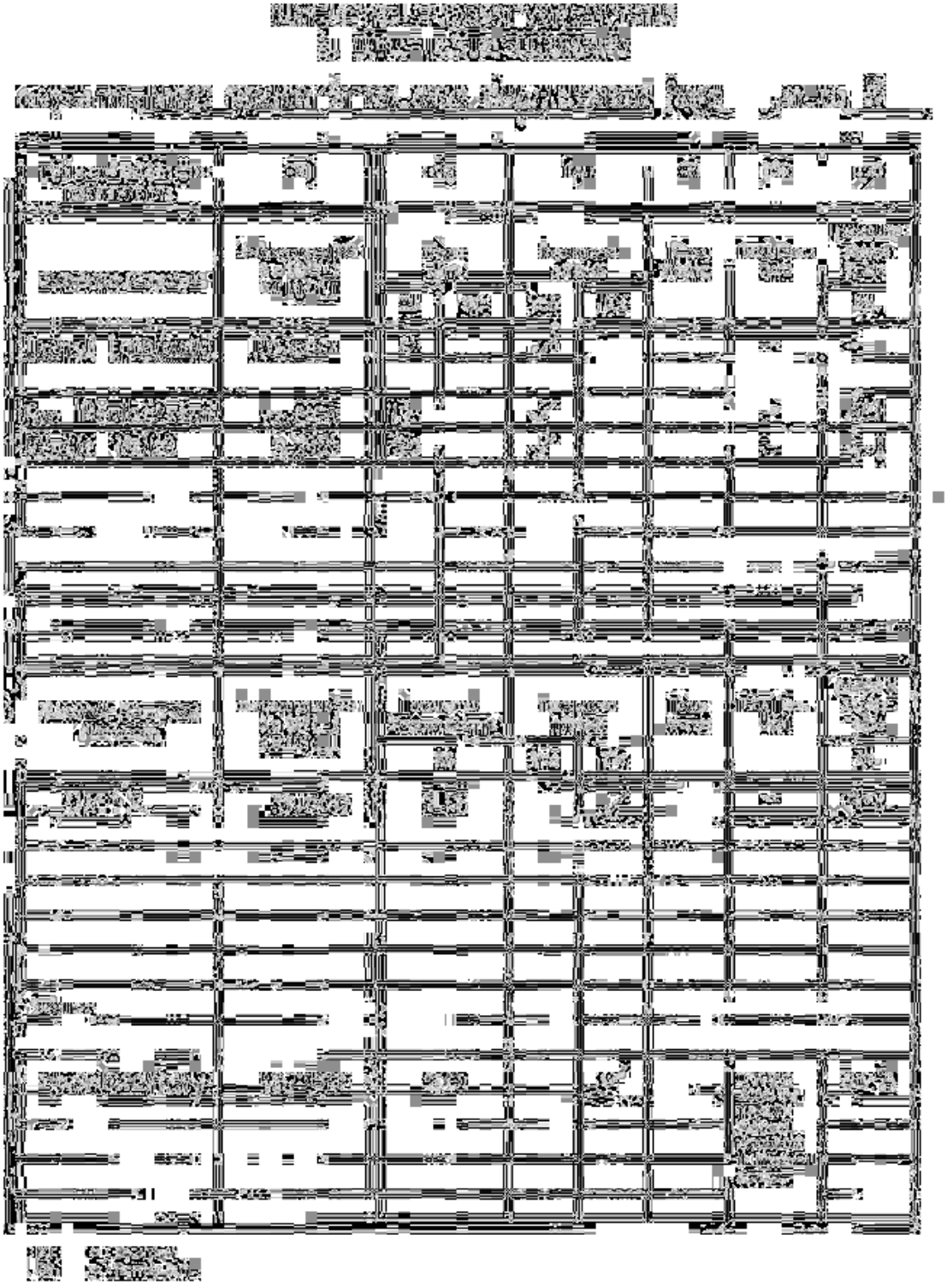
จากการออกแบบระบบ HVAC ที่ประหยัดพลังงาน โดยมีระบบ Night Time Set-back for heating and air-conditioning และ Economizer Cycle สามารถแสดง Cash Flow ได้ดังต่อไปนี้

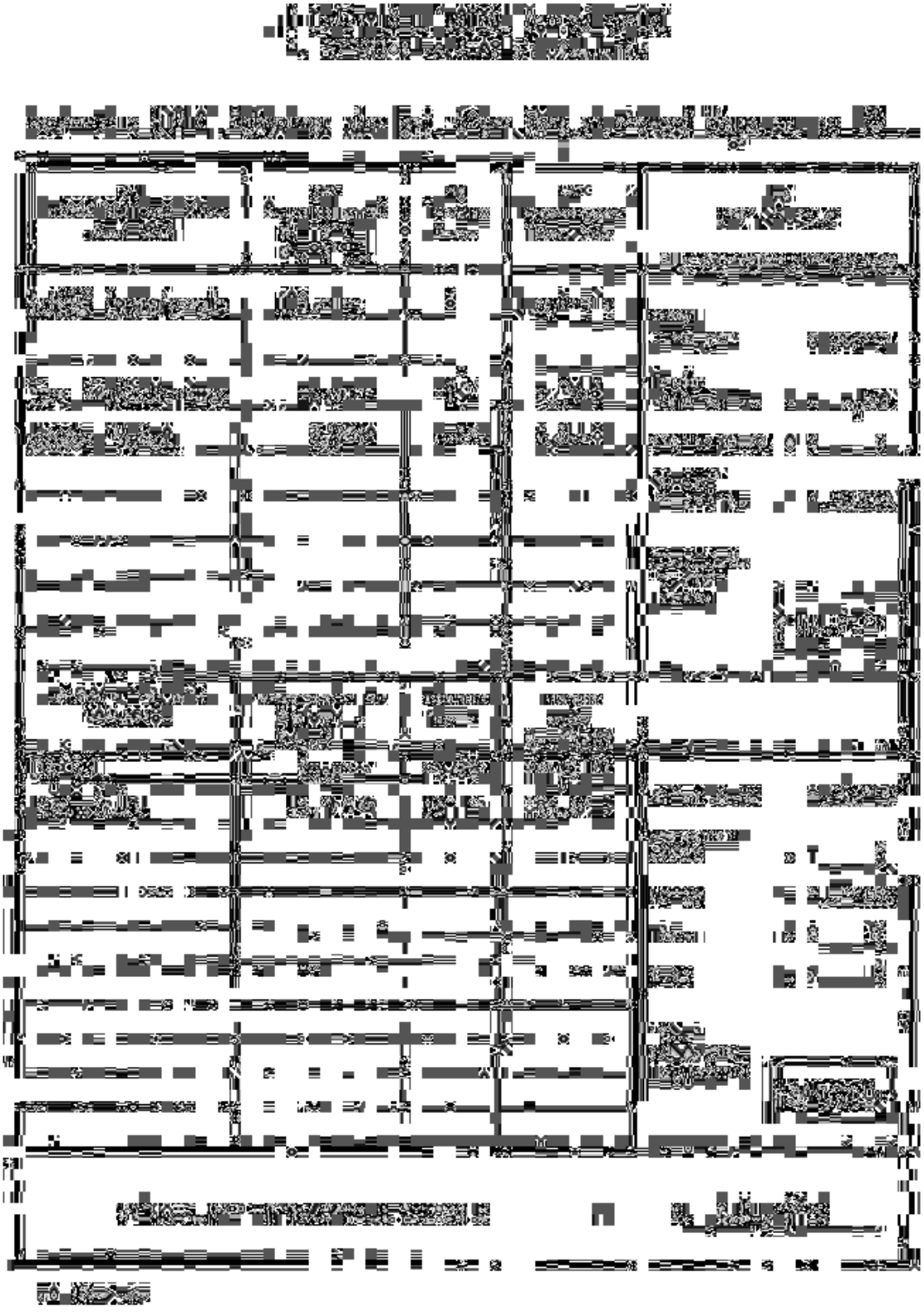
- เงินลงทุนเริ่มต้น (Initial investment cost ; Lump sum cost) = $110,000
- มีค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนพัดลมใหม่ ณ สิ้นปีที่ 12 = $12,500
- มีมูลค่าซากของอุปกรณ์ในระบบ ณ สิ้นปีที่ 20 = $3,700
- มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อปี = $13,000 (162,500 kWh ที่ $0.08/kWh
- มีค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาระบบต่อปี = $8,000











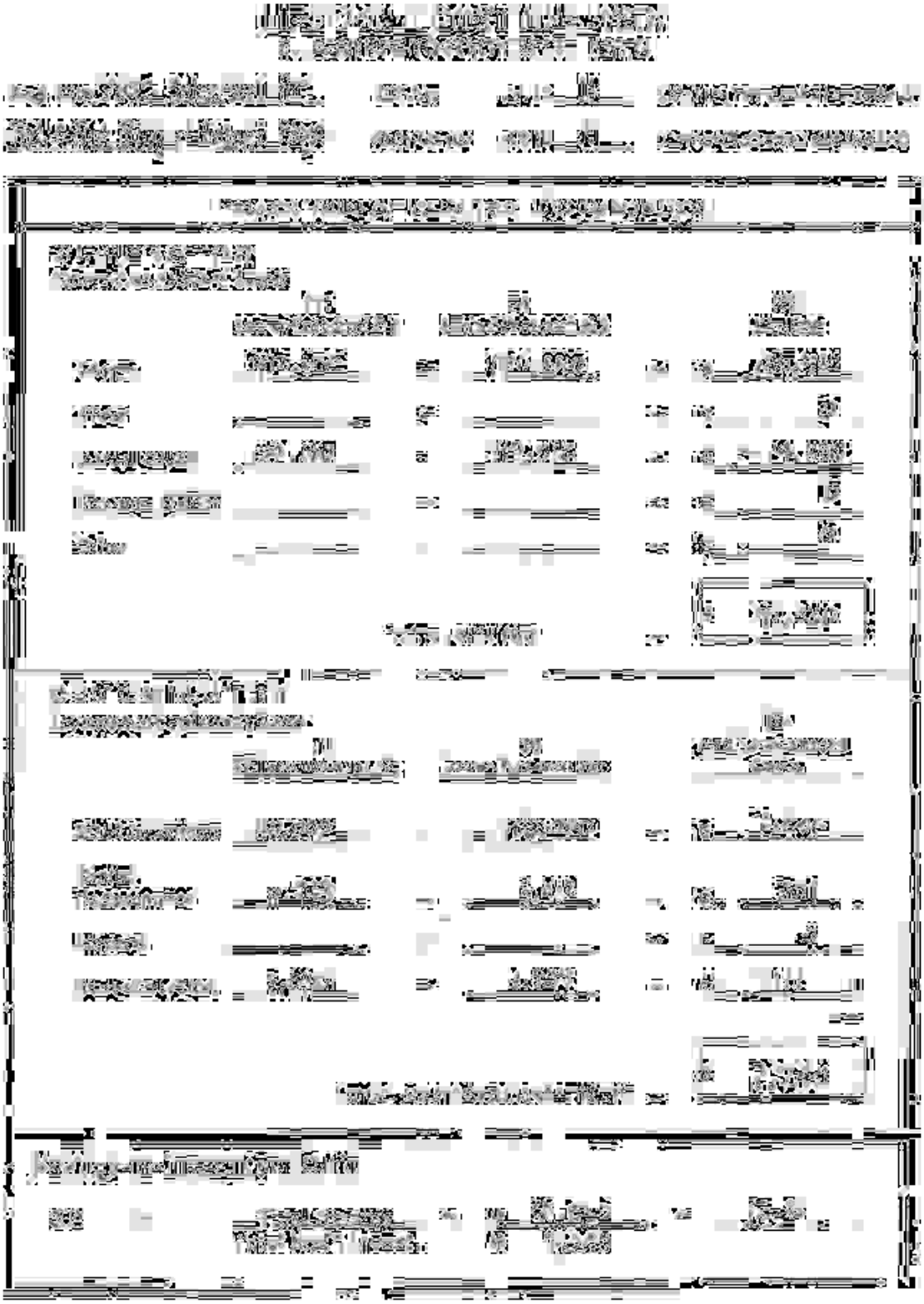
ดังนั้น สามารถแสดงผลการคำนวณเพื่อหาค่า LCC กรณี Alternative Case : Energy Saving HVAC Design ได้ดังตารางที่ 2.2 ต่อไปนี้

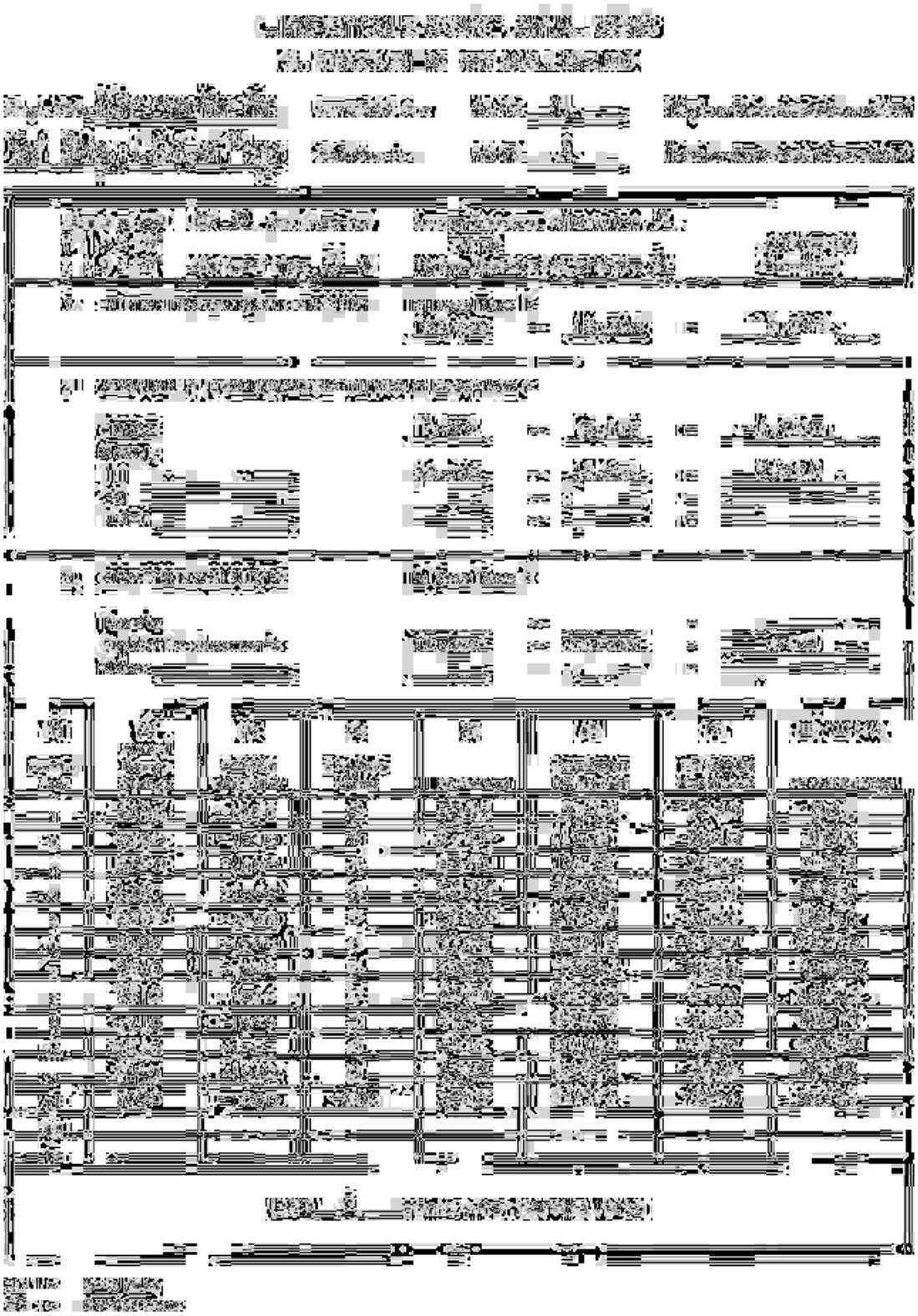
ตารางที่ 2.2 แสดงผลการคำนวณ Life Cycle Cost (LCC) – Alternative Case : Energy Saving HVAC Design

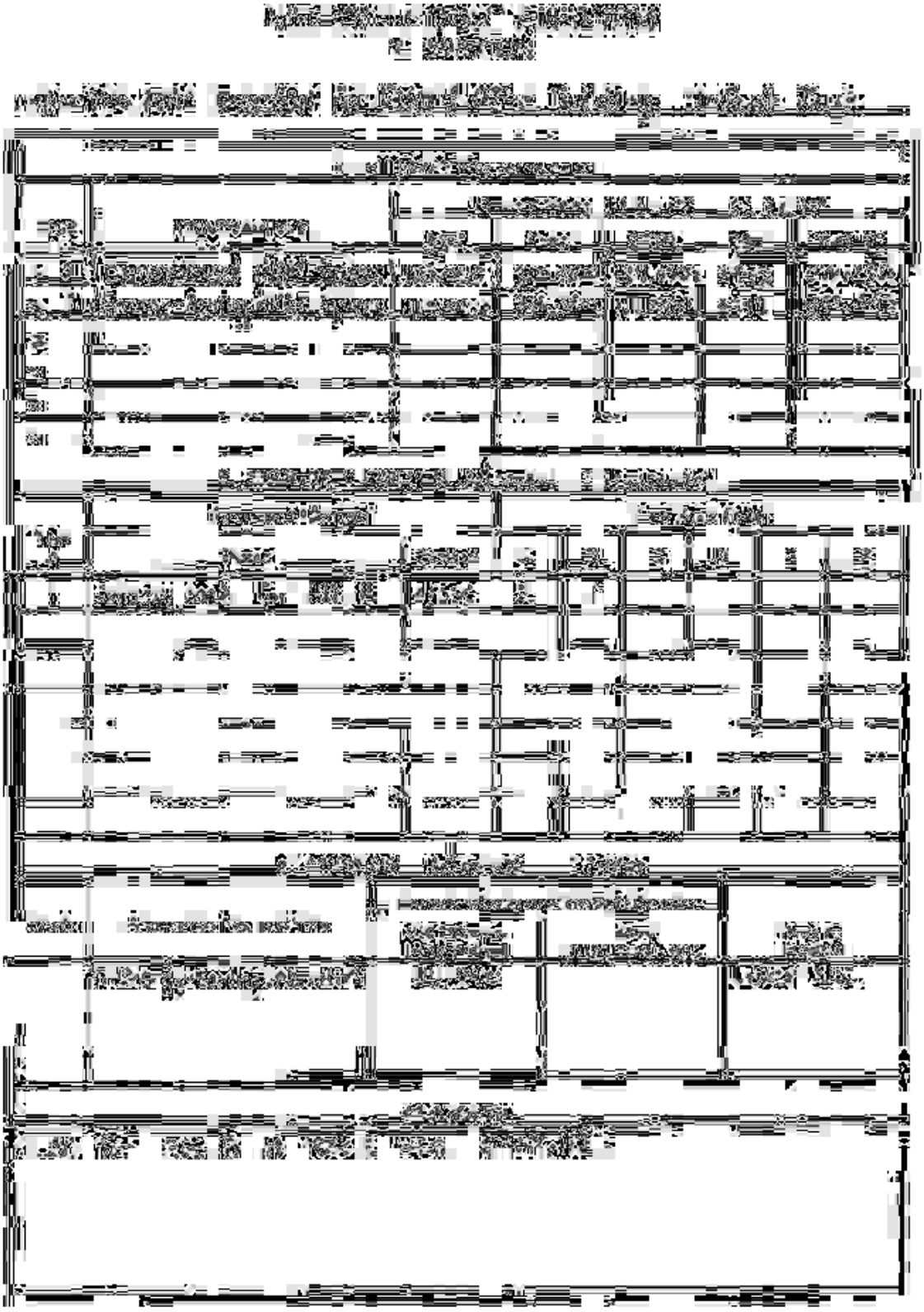
Data Summary for Energy-Saving HVAC Design Alternative—Simple Example

Cost Items (1)	Base Date Cost (2)	Year of Occurrence (3)	Discount Factor (4)	Present Value (5)=(2)x(4)
Initial investment cost	$110,000	Base date	already in present value	$110,000
Capital replacement (fan)	$12,500	12	SPV_{12} 0.701	$8,762
Residual value	($3,700)	20	SPV_{20} 0.554	($2,050)
Electricity: 162,500 kWh at $0.08/kWh	$13,000	annual	FEMP UPV^*_{20} 15.13	$196,690
OM&R	$8,000	annual	UPV_{20} 14.88	$119,040
Total LCC				**$432,442**

สรุป กรณี **Alternative Case :** Energy Saving HVAC Design มีค่า Life-Cycle Cost (LCC) = **$432,442** ตลอดการใช้งาน 20 ปี







สรุป

การตัดสินใจดำเนินการ เลือก กรณีที่ให้ค่า LCC ต่ำกว่า คือ กรณี Energy Saving HVAC Design โดยมีค่า Net savings = $516,233 - $432,442 = $83,791 ที่ค่าเงิน ณ ปัจจุบัน (Present Value เมื่อคิด 3% discount rate)

2.3 เกณฑ์การประเมินโครงการ

จากหัวข้อ 2.2 จะเห็นได้ว่า โครงการที่มีการลงทุนจำเป็นที่จะต้องพิจารณาในด้านความคุ้มค่าการลงทุนว่าสมควรที่จะทำหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่า LCC , NS ในขณะเดียวกันก็ต้องพิจารณาในด้านการจัดลำดับความสำคัญในการลงทุนว่าจะพิจารณาดำเนินโครงการใดก่อน-หลัง ตามลำดับ (กรณีมีมากกว่า 2 โครงการขึ้นไป) ดังนั้น เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงการจึงต้องพิจารณาจากหลายปัจจัยด้วยกัน

สรุปเครื่องมือการวิเคราะห์ที่เพิ่มเติมประกอบจากการพิจารณา LCC มีดังต่อไปนี้

LCC	=	Life-Cycle Cost
NS	=	Net Savings
SIR	=	Savings-to-Investment Ratio หรือ Benefit-to-Cost Ratio
AIRR	=	Adjusted Internal Rate of Return
SPB	=	Simple Payback Period
DPB	=	Discounted Payback

ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรการคำนวณ ต่อไปนี้

Net savings (NS)

$$NS_{A:BC} = \sum_{t=0}^{N} \frac{S_t}{(1+d)^t} - \sum_{t=0}^{N} \frac{\Delta I_t}{(1+d)^t}$$

where

$NS_{A:BC}$	=	NS, in present value dollars, of the alternative (A), relative to the base case (BC),
S_t	=	Savings in year t in operational costs associated with the alternative,
ΔI_t	=	Additional investment-related costs in year t associated with the alternative,
t	=	Year of occurrence (where 0 is the base date),

สรุปประเด็นสำคัญเกี่ยวกับ Net Saving (NS)

- NS เป็นการวิเคราะห์ Economic Performance ที่เกี่ยวกับการลด Operational Cost
- NS เป็นการวิเคราะห์ที่ต้องคำนวณเทียบกับกรณี Base Case
- โครงการปรับปรุงที่เป็นทางเลือก (Project Alternatives) ต้องประเมินจากช่วงระยะเวลาเดียวกัน และค่า Discount rate ที่เท่ากัน

- NS ที่สมควรพิจารณาลงทุน คือ NS ที่มีค่าเป็นบวก ซึ่งหมายถึง โครงการที่เป็นทางเลือกมีค่า LCC ต่ำกว่าโครงการที่เป็น Base Case

Savings-to Investment Ratio (SIR)

$$SIR_{A:BC} = \frac{\sum_{t=0}^{N} S_t \,/\, (1+d)^t}{\sum_{t=0}^{N} \Delta I_t \,/\, (1+d)^t}$$

where

$SIR_{A:BC}$	=	Ratio of PV savings to additional PV investment costs of the (mutually exclusive) alternative relative to the base case,
S_t	=	Savings in year t in operational costs attributable to the alternative,
ΔI_t	=	Additional investment-related costs in year t attributable to the alternative,
t	=	Year of occurrence (where 0 is the base date),
d	=	Discount rate, and
N	=	Length of study period.

สรุปประเด็นสำคัญเกี่ยวกับ Saving-to-Investment Ratio (SIR)

- SIR ที่มากกว่า 1.0 เทียบเท่ากับ NS ที่มากกว่า 0
- โครงการปรับปรุงที่เป็นทางเลือก (Project Alternatives) ต้องประเมินจากช่วงระยะเวลาเดียวกัน และค่า Discount rate ที่เท่ากัน
- SIR เหมาะสำหรับการพิจารณาโครงการต่างๆ ที่แยกเป็นอิสระ ไม่เหมาะกับโครงการหลายโครงการที่มีความเชื่อมโยงกัน

Adjusted Internal Rate of Return (AIRR)

$$AIRR = (1 + r)\,(SIR)^{\frac{1}{N}} - 1$$

where r = the reinvestment rate and N = the number of years in the study period.

สรุปประเด็นสำคัญเกี่ยวกับ Adjusted Internal Rate of Return (AIRR)

- AIRR เป็นการวิเคราะห์ Economic Performance ที่แสดงถึงผลตอบแทนการลงทุนรายปี
- โครงการปรับปรุงที่เป็นทางเลือก (Alternatives) จะได้รับการพิจารณาเมื่อเทียบกับ Base Case โดยให้ค่า AIRR ที่มากกว่า Discount Rate
- โครงการปรับปรุงที่เป็นทางเลือก (Project Alternatives) ต้องประเมินจากช่วงระยะเวลาเดียวกัน และค่า Discount rate ที่เท่ากัน
- ฯลฯ

Simple & Discounted Payback (SPB & DPB)

$$\sum_{t=1}^{y} \frac{(S_t - \Delta I_t)}{(1 + d)^t} \geq \Delta I_0$$

where

y	=	Minimum length of time (usually years) over which future net cash flows have to be accumulated in order to offset initial investment costs,
S_t	=	Savings in operational costs in year t associated with a given alternative,
ΔI_0	=	Initial investment costs associated with the project alternative,
ΔI_t	=	Additional investment-related costs in year t, other than initial investment costs, and
d	=	Discount rate.

สรุปประเด็นสำคัญเกี่ยวกับ Simple & Discounted Payback (SPB & DPB)

- SPB และ DPB เป็นการวิเคราะห์ระยะเวลาที่จะได้รับการคืนทุนจากเงินลงทุน
- DPB เป็นการพิจารณาค่าของเงินตามช่วงเวลา
- การคิดระยะเวลาคืนทุนจะใช้สำหรับพิจารณาว่าสมควรดำเนินการหรือไม่เท่านั้นไม่เหมาะสำหรับการพิจารณาจัดลำดับโครงการที่เป็นทางเลือก

ดังนั้น โดยทั่วไป เกณฑ์การประเมินโครงการที่สมควรจะลงทุน มีดังนี้

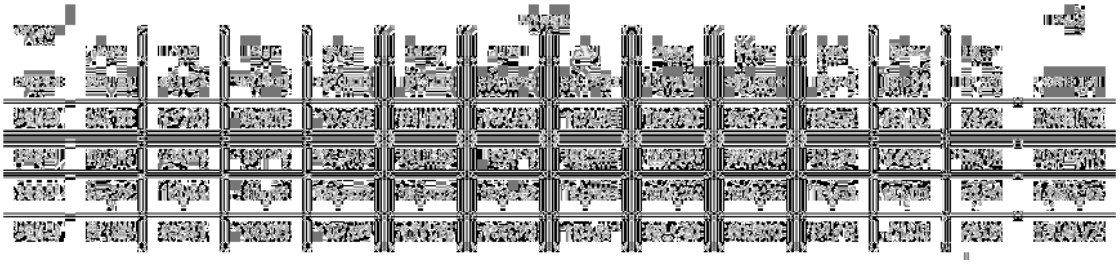
⇒ Lowest LCC (for Determining cost-effectiveness)
⇒ NS > 0 (for Determining cost-effectiveness)
⇒ SIR >1 (for Ranking projects)
⇒ AIRR > discount rate (for Ranking projects)
⇒ SPB, DPB < study period (for Screening projects)

2.3.1 กรณีตัวอย่างการประเมินโครงการ

2.3.1.1 กรณีตัวอย่างการประเมิน LCC สำหรับการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร :

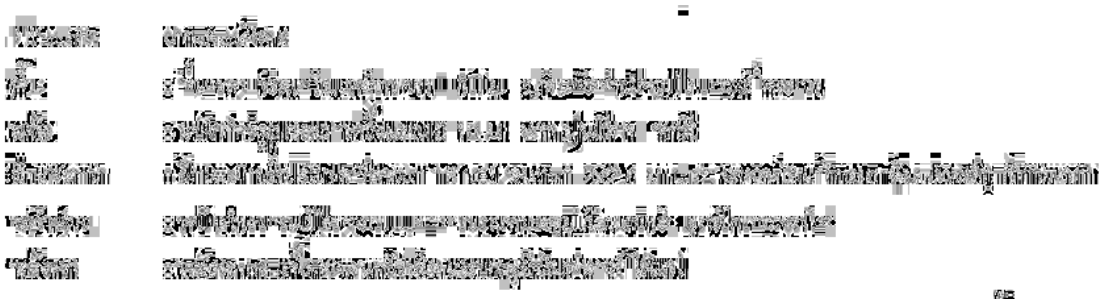
กรณีตัวอย่างต่อไปนี้ เป็นการประเมินโครงการปรับปรุงอาคารศาลากลางจังหวัดสุพรรณบุรี (ที่มาข้อมูล : แหล่งข้อมูลอ้างอิง (3)) ซึ่งเป็นอาคาร 4 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยรวม 15,985 ตารางเมตร เฉลี่ยใช้งาน 8-10 ชั่วโมงต่อวัน และมีข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจริงจากใบเสร็จค่าไฟ ดังตารางที่ 2.4 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือนของอาคารศาลางกลางจังหวัดสุพรรณบุรี



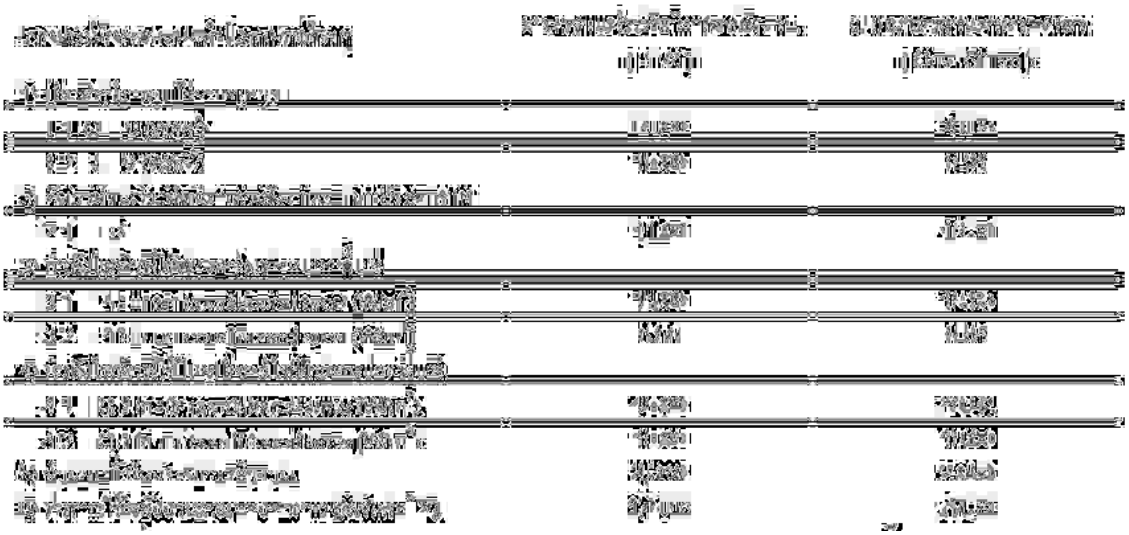
โดยมีการสำรวจข้อมูลทางกายภาพของวัสดุประกอบอาคาร เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการประเมินประสิทธิภาพด้านต่างๆ ดังตารางที่ 2.5 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5 สรุปรายการวัสดุที่ใช้ในองค์ประกอบต่างๆ ของแบบมาตรฐานอาคารศาลากลางจังหวัด



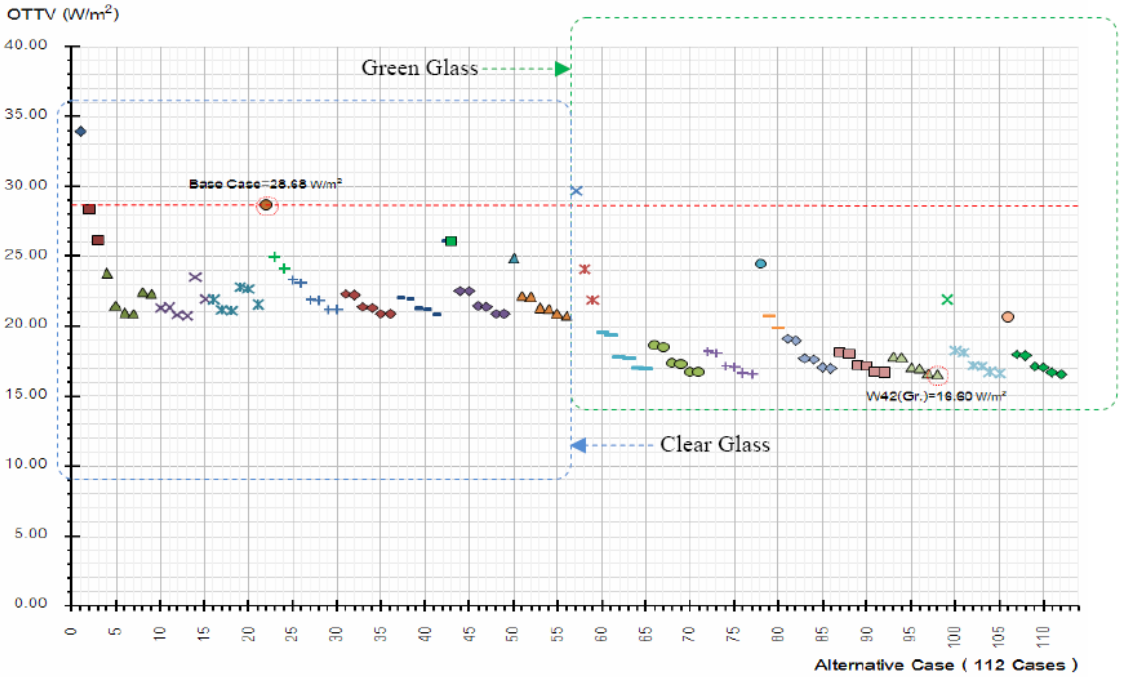
ทั้งนี้ สามารถคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของกรอบอาคาร ซึ่งได้ OTTV = 28.68 W/m2 และ RTTV = 8.91 W/m2 ตามลำดับ จากนั้น สร้างอาคารอ้างอิงโดยจำลองสภาพการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 เพื่อหาค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาร ซึ่งได้เท่ากับ 79.39 kWh/m2-yr. ดังตารางสรุปที่ 2.6 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2.6 ประสิทธิภาพของแบบมาตรฐานอาคารศาลากลางเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงาน (BEC) (ศ.ดร.สุรพงศ์ จิระรัตนานนท์ , 2553)

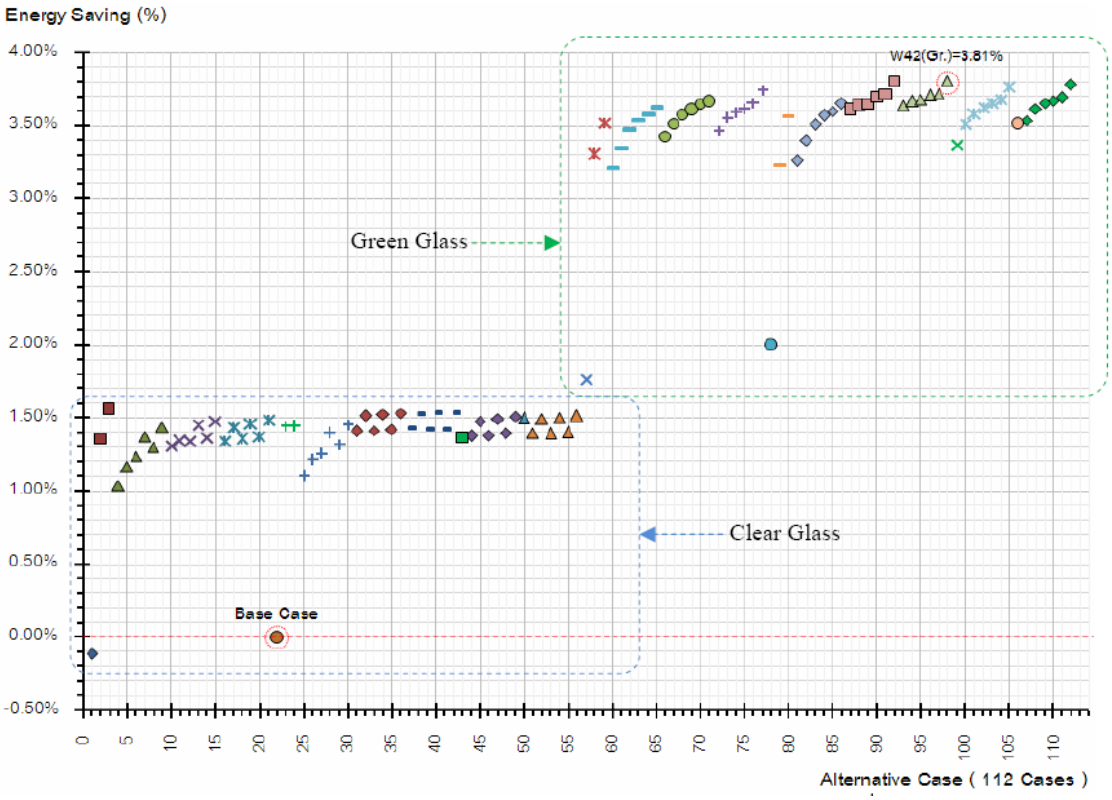


ดังนั้น สามารถกำหนดแนวทางการปรับปรุงได้ 112 แนวทาง จากนั้น คำนวณค่าประสิทธิภาพต่างๆ เช่น OTTV, Energy Consumption, Energy Saving, Initial Cost, Life Cycle Cost (LCC) โดยมีแนวทางที่ 22 (ผนังอิฐมวลเบาครึ่งแผ่นฉาบเรียบทาสี+กระจกใส) ซึ่งเป็นวัสดุกรอบอาคารของแบบมาตรฐานศาลากลางที่ใช้ในปัจจุบันเป็นอาคารอ้างอิง (Base Case) โดยเหลือแนวทางที่พิจารณาเพียง 14 แนวทางที่สมควรพิจารณาการปรับปรุง จากค่า LCC ที่ต่ำกว่า LCC แนวทางที่ 22 (LCC ต่ำกว่า 62,811,469 บาท) ซึ่งแนวทางที่ 59 จะมีค่า LCC ต่ำสุด (LCC=61,401,441)

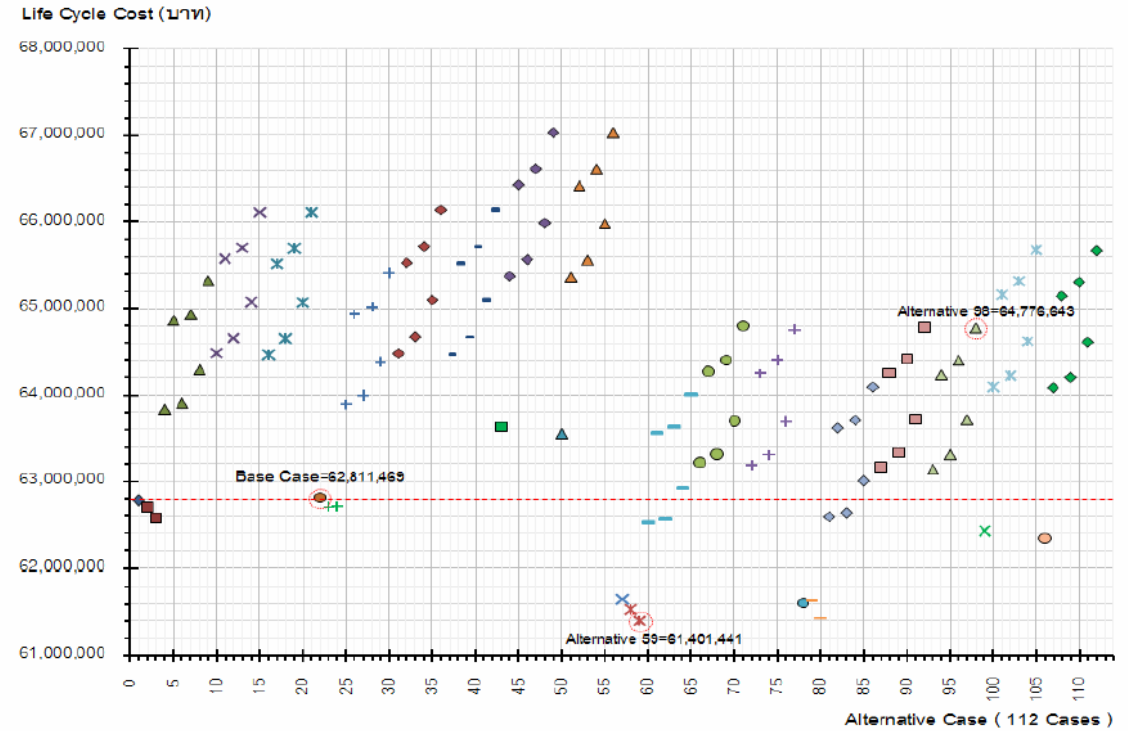
สามารถพิจารณาค่าประสิทธิภาพต่างๆ ได้ดังรูปที่ 2.10 – 2.13 และตารางที่ 2.7-2.8 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.10 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) ของแต่ละแนวทางการปรับปรุง



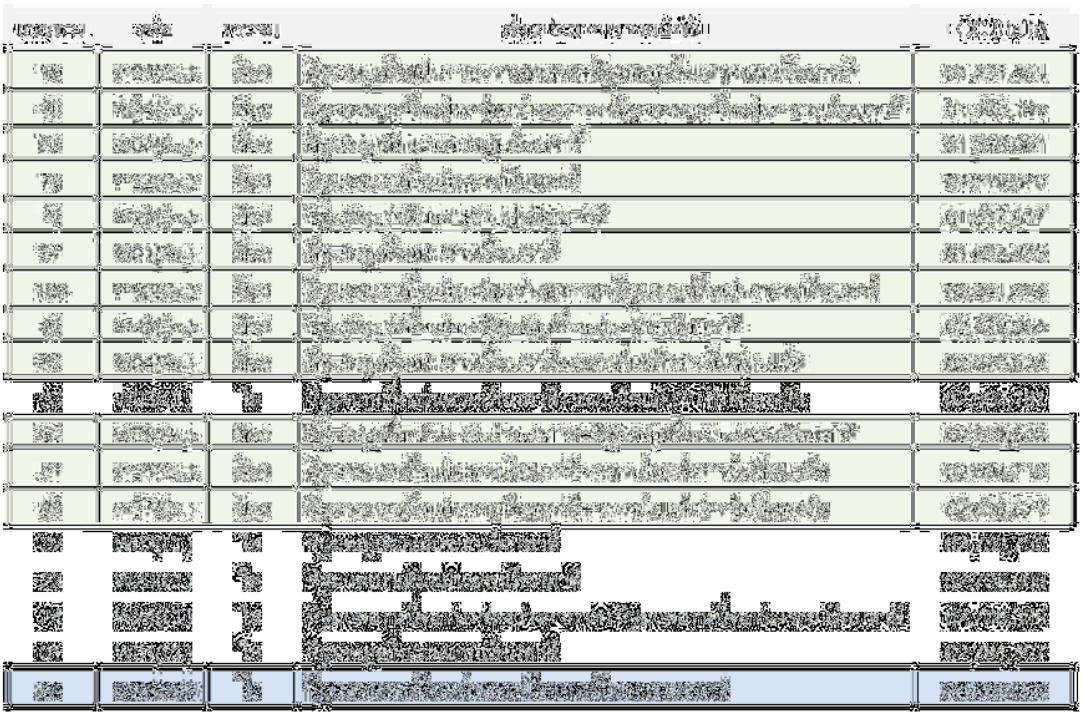
รูปที่ 2.11 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (%) ของแต่ละแนวทางปรับปรุง



รูปที่ 2.12 เปรียบเทียบค่าต้นทุนตลอดอายุวัฏจักร (LCC) ของแต่ละแนวทางการปรับปรุง

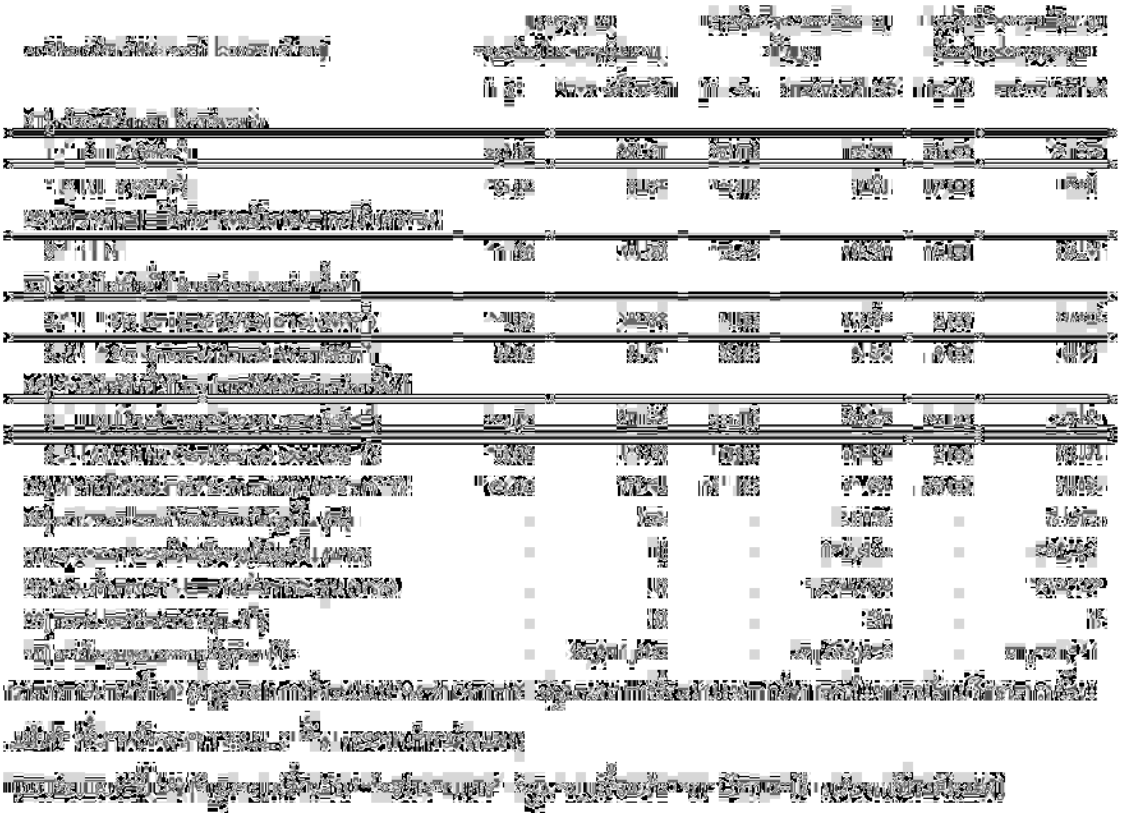
สำหรับรายละเอียดของ LCC สำหรับแนวทางการปรับปรุงทั้ง 14 รูปแบบ ที่ควรพิจารณาเนื่องจากให้ค่า LCC ที่ต่ำกว่าแนวทางอ้างอิงที่ 22 มีดังตารางที่ 2.7 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2.7 ค่าต้นทุนตลอดอายุวัฏจักร (LCC) สำหรับแนวทางการปรับปรุงทั้ง 14 รูปแบบที่มีความคุ้มค่าแก่การลงทุน



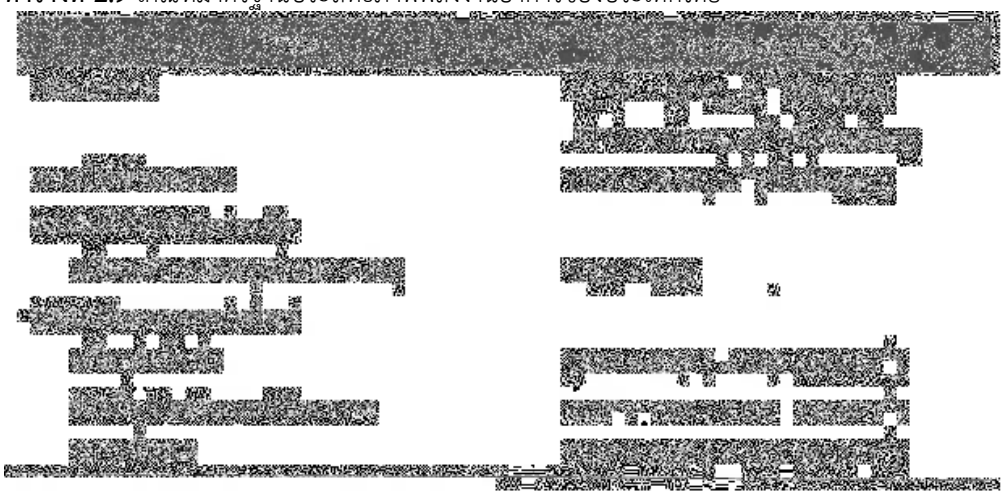
อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงอาคารที่มีประสิทธิภาพพลังงานนั้น ควรพิจารณาถึงประสิทธิภาพพลังงานที่คุ้มค่าแก่การลงทุน (Economic Building : ECON) ซึ่งจะเห็นได้จากตารางที่ 2.8 ต่อไปนี้ พบว่า การปรับปรุงอาคารเป็นอาคารที่มีมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานระดับสูง (High Energy Performance System : HEPS) ตามแนวทางที่ 98 นั้น แม้ว่าจะก่อให้เกิดผลประหยัดพลังงานที่สูงแต่จำเป็นต้องใช้เงินลงทุนที่สูงเช่นกัน เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุนที่มากถึง 30 ปี ดังนั้นจึงไม่คุ้มค่าในการลงทุน ซึ่งต่างจากการปรับปรุงในแนวทางที่ 59 ซึ่งให้ค่า LCC ที่ต่ำกว่า และมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 6 ปี แต่ก่อให้เกิดผลประหยัดพลังงานที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 2.8 สรุปประสิทธิภาพด้านต่างๆ ของแบบมาตรฐานอาคารศาลางกลาง และแนวทางการปรับปรุงเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ (BEC) มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานระดับสูง (HEPS) และมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานที่คุ้มค่าแก่การลงทุน (ECON) (ศ.ดร.สุรพงศ์ จิระรัตนานนท์ , 2553)

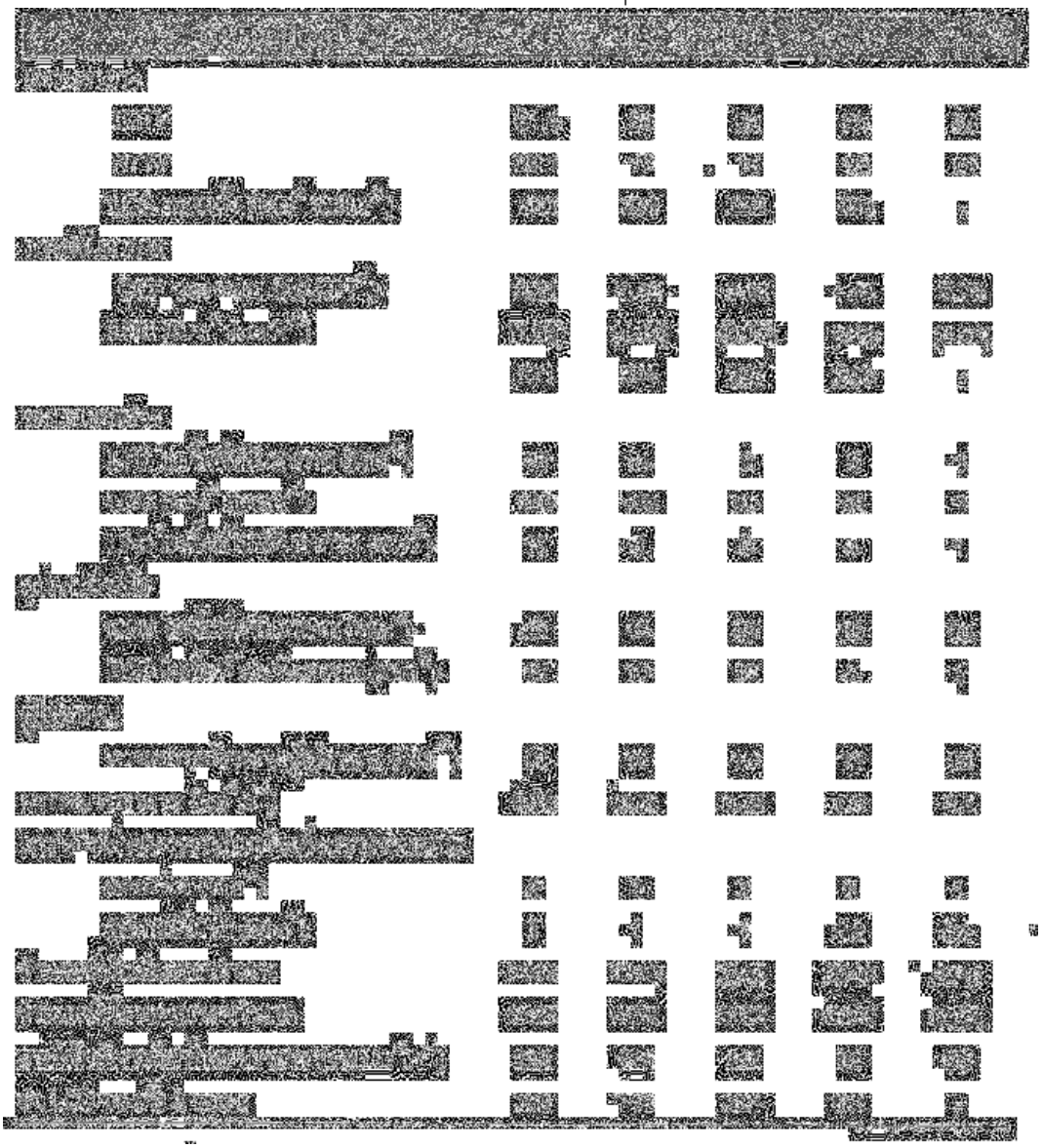


อย่างไรก็ตาม จากค่าเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานอาคารของประเทศไทย (ตารางที่ 2.9) และ สมรรถนะของระบบอาคารและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง (ตารางที่ 2.10) ต่อไปนี้ ทำให้สามารถพิจารณาค่า LCC ของระดับอาคารประเภทต่างๆ เพื่อประกอบการพิจารณาการปรับปรุงได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2.9 เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานอาคารของประเทศไทย



ตารางที่ 2.10 สมรรถนะของระบบอาคารและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง



2.4 การจัดหาแหล่งเงินทุนต่างๆ

- **โครงการเงินหมุนเวียน เพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน**

โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน ได้ดำเนินการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 จนถึงปัจจุบัน ทั้งนี้สาเหตุที่ดำเนินโครงการเนื่องจากสถาบันการเงินในประเทศไม่มั่นใจในการให้สินเชื่อทางด้านพลังงาน ทั้งที่โครงการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนจะก่อให้เกิดผลดีต่อประเทศทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น การประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน การลดการนำเข้าเชื้อเพลิง การลดภาวะเรือนกระจก เป็นต้น ดังนั้นกระทรวงพลังงานจึงได้รับการจัดสรรจากเงินกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานมาเป็นทุนหมุนเวียนในการปล่อยผ่านสถาบันการเงินที่เข้าร่วมโครงการไปยังผู้ประกอบการที่ประสงค์จะลงทุนทางด้านการอนุรักษ์พลังงานหรือพลังงานทดแทน ในอัตราดอกเบี้ยต่ำ ไม่เกินร้อยละ 4 จากธนาคารที่เข้าร่วมโครงการ โดยสถาบันการเงินจะต้องนำเงินต้นที่ได้รับคืนแก่กองทุนฯ ตามระยะเวลาที่กำหนดไม่เกิน 7 ปี โดยมีรอบระยะเวลาในการปล่อยสินเชื่อแต่ละระยะไม่เกิน 3 ปี และมีหลักเกณฑ์และเงื่อนไขดังนี้

- วงเงินกู้ไม่เกิน 50 ล้านบาทต่อโครงการ
- อัตราดอกเบี้ยไม่เกินร้อยละ 4 ต่อปี
- อายุเงินกู้ไม่เกิน 7 ปี หรือโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 7 ปี
- ช่องทางปล่อยกู้ผ่านสถาบันการเงิน เช่น ธนาคาร บริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมที่เข้า ร่วมโครงการ
- ผู้มีสิทธิ์กู้ โรงงาน/อาคารทั่วไป ตลอดจนบริษัทจัดการพลังงาน ESCO นำไปลงทุนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานหรือพลังงานทดแทน



ทั้งนี้ กองทุนได้อนุมัติวงเงินมาให้ดำเนินงานอย่างต่อเนื่อง รวม 6 ครั้ง

1. โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ระยะที่ 1 จำนวน 2,000 ล้านบาท
2. โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ระยะที่ 2 จำนวน 2,000 ล้านบาท
3. โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ระยะที่ 3 จำนวน 1,000 ล้าน
4. โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน ระยะที่ 1 จำนวน 1,000 ล้านบาท
5. โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ระยะที่ 3 เพิ่มเติม จำนวน 942.50 ล้านบาท
6. โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ระยะที่ 4 จำนวน 400 ล้านบาท

และล่าสุด โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ระยะที่ 5 จำนวน 500 ล้านบาท ซึ่งมีระยะเวลาการสนับสนุนตั้งแต่ 1 มิถุนายน 2553 – 31 พฤษภาคม 2556 ดังนั้นการสนับสนุนในรอบต่างๆ ต้องติดตามประกาศจากกระทรวงพลังงานเป็นระยะๆ

ลักษณะโครงการ/หลักเกณฑ์ และเงื่อนไข

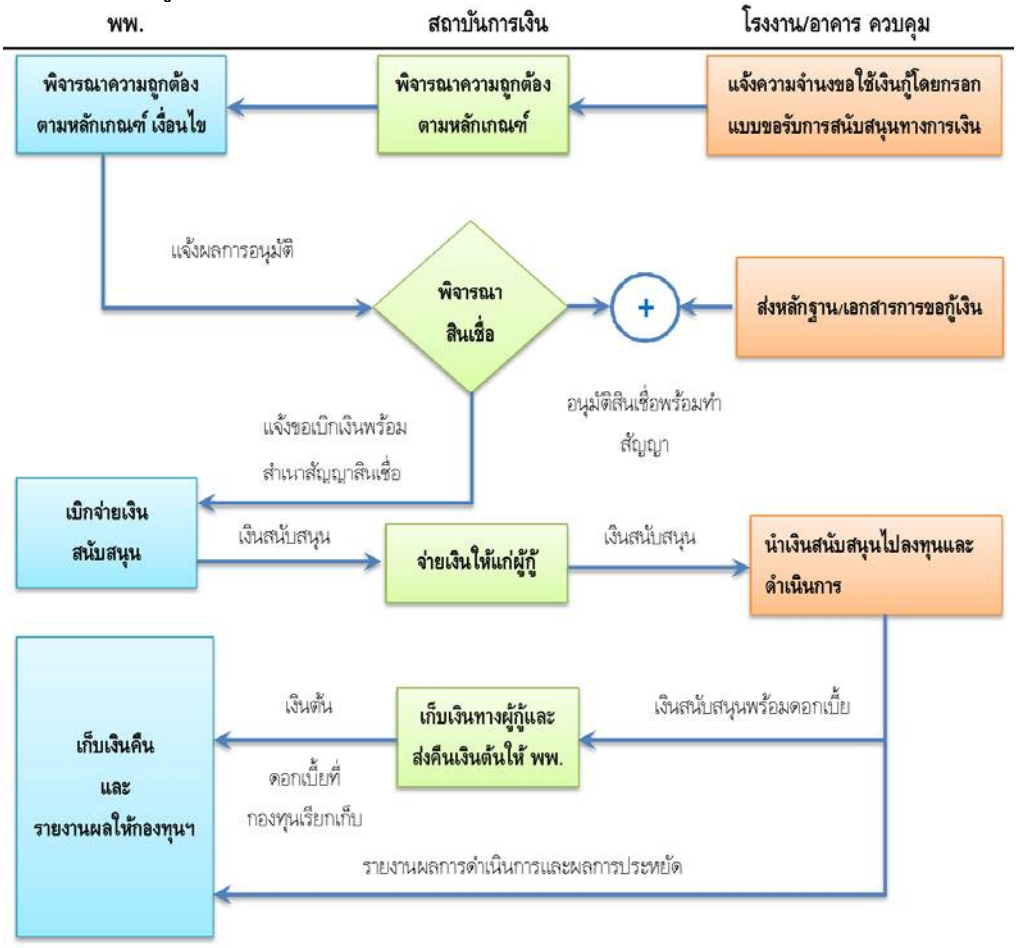
กำหนดให้สถาบันการเงินนำเงินที่ พพ.จัดสรรให้ไปเป็นเงินกู้ผ่านต่อให้โรงงาน/อาคารควบคุมหรือโรงงาน/อาคารทั่วไป ตลอดจนบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) นำไปลงทุนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน โดยมีหลักเกณฑ์และเงื่อนไขดัง**ตารางที่ 2.11** โดยสถาบันการเงินจะเป็นผู้อนุมัติเงินกู้เพื่อโครงการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนตามแนวหลักเกณฑ์และเงื่อนไขของสถาบันการเงินนั้นๆ นอกเหนือจากหลักเกณฑ์เงื่อนไขนี้โดยดอกเบี้ยวงเงินกู้และระยะเวลาการกู้จะขึ้นอยู่กับการพิจารณาและข้อตกลงระหว่างผู้กู้กับสถาบันการเงินขั้นตอนการขอรับการสนับสนุนรายละเอียดเพิ่มเติมสามารถติดต่อสอบถามมายังศูนย์อำนวยการโครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานหมายเลขโทรศัพท์ 0 2226-3850-1, 0 2225-3106 โทรสาร 02-226-3851 เว็บไซต์ http://www.dede.go.th

ตารางที่ 2.11 หลักเกณฑ์ และเงื่อนไขของโครงการที่มีสิทธิ์ขอรับการสนับสนุน

วงเงินโครงการ	1. โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน ระยะที่ 1 จำนวน 1,000 ล้านบาท 2. โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ระยะที่ 3 จำนวน

	1,000 ล้านบาท
อายุเงินกู้	ไม่เกิน 7 ปี
ช่องทางปล่อยกู้	ผ่านสถาบันการเงินที่เข้าร่วมโครงการโดยต้องรับผิดชอบเงินที่ปล่อยกู้ทั้งหมด
ผู้มีสิทธิ์กู้	เป็นอาคารควบคุมและโรงงานควบคุมตามพรบ.ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ประสงค์จะลงทุนในด้านการประหยัดพลังงานหรือโรงงาน/อาคารทั่วไป ตลอดจนบริษัท จัดการพลังงาน (ESCO) นำไปลงทุนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน
วงเงินกู้	ไม่เกิน 50 ล้านบาทต่อโครงการ
อัตราดอกเบี้ย	ไม่เกินร้อยละ 4 ต่อปี (ระหว่างสถาบันการเงินกับผู้กู้)
โครงการที่มีสิทธิ์ขอรับการสนับสนุนต้องเป็น	โครงการอนุรักษ์พลังงานหรือเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 มาตรา 7 และมาตรา 17

ในการเข้าร่วมโครงการ ผู้มีสิทธิ์ต้องปฏิบัติตามขั้นตอนตามวิธีปฏิบัติในการขอรับเงินกู้โครงการเงินทุนหมุนเวียน ที่แสดงไว้ใน**รูปที่ 2.13**

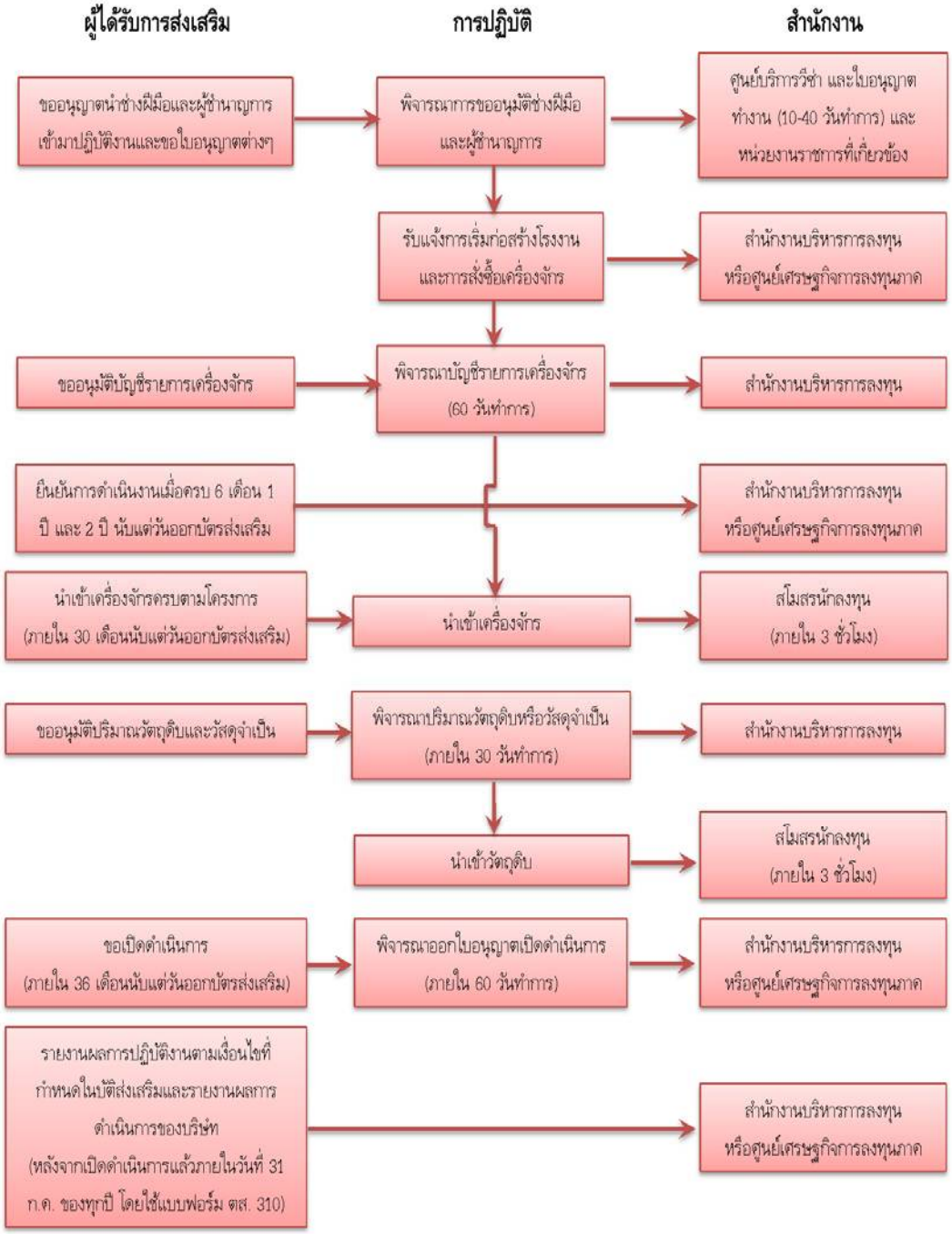


รูปที่ 2.13 วิธีปฏิบัติในการขอรับเงินกู้โครงการเงินทุนหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน

- **โครงการส่งเสริมการลงทุน (BOI) เพื่อส่งเสริมกิจการที่เกี่ยวกับการประหยัดพลังงาน**

  ภาครัฐได้ยกระดับให้อุตสาหกรรมพลังงานทดแทน เป็นกิจการที่มีระดับความสำคัญและจะได้รับการส่งเสริมการลงทุนในระดับสูงสุดเช่นกัน จึงมีมาตรการส่งเสริมการลงทุนเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน (Maximum incentive) จากคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) ซึ่งได้กำหนดสิทธิประโยชน์ที่ยกเว้นอากรขาเข้าสำหรับเครื่องจักร ยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล เป็นเวลา 8 ปี และหลังจากนั้นอีก 5 ปี หรือตั้งแต่ปีที่ 9-13 จะลดหย่อนภาษีเงินได้นิติบุคคลได้ 50% รวมทั้งมาตรการจูงใจด้านภาษี อาทิ การลดภาษีเครื่องจักร อุปกรณ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ รวมทั้งการอนุญาตให้นำต้นทุนในการติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ เช่น ไฟฟ้า ประปา ขอหักลบภาษีได้สูงสุด 2 เท่าสำหรับโครงการที่เป็นประโยชน์ต่อสาธารณะ เป็นต้นมีขั้นตอนขอรับการสนับสนุนแสดงใน**รูปที่ 2.14**

  หลักเกณฑ์ในการพิจารณาส่งเสริมโครงการด้านพลังงานทดแทน ได้แก่ กรณีที่ผู้ประกอบการหรือนักลงทุนมีสัดส่วนหนี้ต่อทุน น้อยกว่า 3 ต่อ 1 สำหรับโครงการใหม่ หรือมีเครื่องจักรใหม่ที่มีขบวนการผลิตที่ทันสมัย หรือมีระบบจัดการที่ปลอดภัย รักษาสิ่งแวดล้อม และใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบในการผลิต เป็นต้น โดยผู้ประกอบหรือนักลงทุนที่สนใจขอทราบรายละเอียดเพิ่มเติมสามารถติดต่อสอบถามยัง สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนเลขที่ 555 ถ.วิภาวดี รังสิต จตุจักรกรุงเทพฯ 10900โทร 02-537-8111, 02-537-8155 โทรสาร 02-537-8177 E-mail : head@boi.go.th
  Website :http://www.boi.go.th



รูปที่ 2.14 ขั้นตอนขอรับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI)

- **โครงการส่งเสริมการลงทุนด้านอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน (ESCO Fund) บริหารโครงการโดยมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (มพส.) และมูลนิธิอนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย (มอพท.)**

ในปี พ.ศ. 2535 รัฐบาลไทยได้มีการจัดตั้ง พ.ร.บ. ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานเพื่อจะส่งเสริมให้มีการอนุรักษ์พลังงานภายในประเทศ ดังนั้นกระทรวงพลังงาน โดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย จึงได้จัดตั้ง “โครงการส่งเสริมการลงทุนด้านอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน” โดยดำเนินการเป็นโครงการที่กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานได้นำวงเงินจำนวน 500 ล้านบาท จัดตั้ง “กองทุนร่วมทุนพลังงาน หรือ ESCO Capital Fund” เพื่อส่งเสริมการลงทุนด้านการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพทางเทคนิค แต่ยังขาดปัจจัยการลงทุนและช่วยผู้ประกอบการหรือผู้ลงทุนให้ได้ประโยชน์จากการขายคาร์บอนเครดิต โดยมอบหมายให้มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (มพส.) และ มูลนิธิอนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทยเป็นผู้บริหารโครงการการจัดการของผู้จัดการกองทุน (Fund Manager) ทำการเปิดรับ และพิจารณาข้อเสนอจากผู้ที่สนใจยื่นขอรับการส่งเสริมลงทุน ภายใต้ความสมัครใจในการเข้าร่วมโครงการของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมต่างๆ

วัตถุประสงค์

1. ส่งเสริมให้เกิดการลงทุนด้านอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนมากกว่า 1,250 ล้านบาท
2. ก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานไม่น้อยกว่า 10 ktoe หรือมูลค่าผลประหยัดพลังงานกว่า 250 ล้านบาทต่อปี
3. สนับสนุนให้มีการใช้บริการธุรกิจการจัดการพลังงาน
4. ช่วยเหลือผู้ประกอบการลดต้นทุนการผลิตด้านพลังงานและมีรายได้เพิ่มจากการขายคาร์บอนเครดิต
5. สนับสนุนแหล่งเงินทุนต่ำ

ที่ผ่านมามีโครงการเข้าร่วมลงทุนแล้ว จำนวน 26 โครงการ คิดเป็นเงินสนับสนุนจำนวน 407 ล้านบาท และก่อให้เกิดการลงทุนมากกว่า 5,000 ล้านบาท ในรอบ 2 ปีที่ผ่านมา และในระยะต่อไปคณะกรรมการกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานได้อนุมัติวงเงินต่อเนื่องอีก 500 ล้านบาท สำหรับรอบการลงทุนในปี 2553-2555 เพื่อส่งเสริมการลงทุนด้านการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพทางเทคนิคแต่ยังขาดปัจจัยการลงทุนและช่วยผู้ประกอบการหรือผู้ลงทุนให้ได้ประโยชน์จากการขายคาร์บอนเครดิตโดยมีรูปแบบการจะส่งเสริมในหลายลักษณะ อาทิเช่น ร่วมลงทุนในโครงการ (Equity Investment) ร่วมลงทุนในบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO Venture Capital) ร่วมลงทุนในการพัฒนาและซื้อขายคาร์บอนเครดิต (Carbon Market) การเช่าซื้ออุปกรณ์ (Equipment Leasing) การอำนวยเครดิตให้สินเชื่อ (Credit Guarantee Facility) และการให้ความช่วยเหลือทางด้านเทคนิค (Technical Assistance) ดัง**รูปที่ 2.15**

<u>ผู้มีสิทธิยื่นข้อเสนอ</u> ได้แก่ ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรม และ/หรือ บริษัทจัดการพลังงาน (Energy Service Company – ESCO) ที่มีโครงการด้านอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนวัตถุประสงค์เพื่อจะลดปริมาณการใช้พลังงาน เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน หรือต้องการปรับปรับเปลี่ยนการใช้เชื้อเพลิงมาเป็นพลังงานทดแทน

ลักษณะการส่งเสริมการลงทุน

1. การเข้าร่วมทุนในโครงการ (Equity Investment) โครงการส่งเสริมการลงทุนฯจะเข้าร่วมลงทุนในโครงการที่ก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานหรือพลังงานทดแทนเท่านั้น เพื่อก่อให้เกิดผลประหยัดพลังงานทั้งนี้จะต้องมีการแบ่งผลประหยัดพลังงาน (Shared Saving) ตามสัดส่วนเงินลงทุนที่ได้รับการส่งเสริม ระยะเวลาในการส่งเสริมประมาณ 5 - 7 ปีผู้ที่ได้รับการส่งเสริมทำการคืนเงินลงทุนแก่โครงการภายในระยะเวลาที่ส่งเสริม
2. การเข้าร่วมทุนกับบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO Venture Capital)การเข้าร่วมทุนกับบริษัทจัดการพลังงานโดยช่วยให้บริษัทที่ได้รับพิจารณาร่วมทุนนั้นมีทุนในการประกอบการโดยโครงการจะได้รับผลตอบแทนขึ้นอยู่กับผลประกอบการของบริษัททั้งนี้โครงการจะร่วมหุ้นไม่เกินร้อยละ 30 ของทุนจดทะเบียนและมีส่วนในการควบคุมดูแลการบริหารจัดการของบริษัท
3. การช่วยให้โครงการอนุรักษ์พลังงาน/พลังงานทดแทนได้รับผลประโยชน์จากการขาย Carbon Credit
4. โครงการส่งเสริมการลงทุนฯจะดำเนินการจัดทำแบบประเมินเบื้องต้นของโครงการ หรือ Project Idea Note (PIN) ซึ่งจะทำให้ผู้ประกอบการสามารถเห็นภาพรวมของโครงการที่จะพัฒนาให้เกิดการซื้อขายหรือได้รับประโยชน์จาก Carbon Credit หรือ เป็นตัวกลางในการรับซื้อ Carbon Credit จากโครงการอนุรักษ์พลังงาน/พลังงานทดแทนที่มีขนาดเล็ก และรวบรวม (Bundle Up) เพื่อนำไปขายในมูลค่าที่สูงขึ้น
5. การเช่าซื้ออุปกรณ์ประหยัดพลังงาน/พลังงานทดแทน (Equipment Leasing)
6. โครงการส่งเสริมการลงทุนฯจะทำการซื้ออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนให้กับผู้ประกอบการก่อนและทำสัญญาเช่าซื้อระยะยาวระหว่างผู้ประกอบการกับโครงการโดยผู้ประกอบการจะต้องทำการผ่อนชำระคืนเงินต้นพร้อมดอกเบี้ยเป็นรายงวดงวดละเท่า ๆ กันตลอดอายุสัญญาเช่าซื้อ การสนับสนุนในการเช่าซื้ออุปกรณ์ได้ 100% ของราคาอุปกรณ์นั้น แต่ไม่เกิน 10 ล้านบาทระยะเวลาการผ่อนชำระคืน 3-5 ปีโดยคิดอัตราดอกเบี้ยต่ำ
7. การอำนวยเครดิตให้สินเชื่อ (Credit Guarantee Facility) โครงการส่งเสริมการลงทุนฯจะดำเนินการจัดหาสถาบันหรือองค์กรที่ให้การสนับสนุนในเรื่อง Credit Guarantee เพื่อให้โครงการลงทุนได้รับการปล่อยสินเชื่อจากธนาคารพาณิชย์ทั้งนี้โครงการอาจจะเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในเรื่องค่าธรรมเนียมรับประกันสินเชื่อทั้งหมดหรือบางส่วนโดยคิดค่าธรรมเนียมต่ำในการส่งเสริมในด้านนี้
8. การช่วยเหลือทางเทคนิค (Technical Assistance) โครงการส่งเสริมการลงทุนฯ จะให้ความช่วยเหลือทางด้านเทคนิคในการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานแก่ผู้ประกอบการหรือหน่วยงานองค์การต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับผู้ประกอบการโดยกองทุนจะให้ความช่วยเหลือทางด้านเทคนิคตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดระยะเวลาโครงการโดยคิดค่าธรรมเนียมต่ำในการส่งเสริมหรือ อาจมีการแบ่งผลการประหยัดพลังงาน



รูปที่ 2.15 โครงการส่งเสริมการลงทุนด้านอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน

สามารถสอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่

1. มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (Energy for Environment Foundation)
   487/1 อาคารศรีอยุธยา ชั้น 14 ถนนศรีอยุธยา ราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
   โทรศัพท์ 02-6426424 -5 โทรสาร 02-642-6426 หรือ escofund@efe.or.th
2. มูลนิธิอนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน – อาคาร 9 ชั้น 2)
   เลขที่ 17 ถนนพระราม 1 เชิงสะพานกษัตริย์ศึก แขวงรองเมือง เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

- **โครงการสนับสนุนการลงทุนเพื่อปรับเปลี่ยน ปรับปรุง เครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (โครงการ 80:20) โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)**

วัตถุประสงค์

เพื่อส่งเสริมสนับสนุนการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในเครื่องจักรและอุปกรณ์ในสถานประกอบการ โดยมุ่งเน้นสถานประกอบการที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็กเป็นหลัก

หลักเกณฑ์และเงื่อนไขของโครงการ

การสนับสนุนการลงทุนในเครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์ที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขดังนี้

1. มาตรการที่ขอรับการสนับสนุน ต้องเป็นมาตรการที่ไม่เคยได้รับการสนับสนุนหรืออยู่ระหว่าง

การขอรับการสนับสนุนเงินลงทุนจากภาครัฐในโครงการอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน ยกเว้นโครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

2. มาตรการที่ขอรับการสนับสนุน ต้องเป็นมาตรการที่ก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานอย่างเป็นรูปธรรม มีระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period; SPP) ไม่เกิน 7 ปี ได้แก่มาตรการดังต่อไปนี้
   (1) มาตรการมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง
   (2) มาตรการอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์
   (3) มาตรการเครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูง
   (4) มาตรการการเปลี่ยนหม้อไอน้ำ
   (5) มาตรการระบบแสงสว่าง
3. พพ. จะสนับสนุนเงินลงทุนร้อยละ 20 ของค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้ง แต่ไม่เกินราคากลางที่ พพ. กำหนดในภาคผนวกแนบท้ายนี้ ในกรณีมาตรการที่ขอรับการสนับสนุนยังไม่มีการกำหนดราคากลาง ผู้ขอรับการสนับสนุนจะต้องแสดงใบเสนอราคาจากผู้จำหน่ายอุปกรณ์จำนวนไม่น้อยกว่า 3 รายหรือตามที่ พพ. เห็นชอบ

   ทั้งนี้ พพ.สงวนสิทธิในการปรับราคากลางเครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์ที่จะให้การสนับสนุนในโครงการได้ตามความเหมาะสม โดยสามารถตรวจสอบราคากลางได้จากเว็บไซต์ www.dede.go.th และผู้ขอรับการสนับสนุนจะเรียกร้องค่าเสียหายใดๆ ไม่ได้
4. ผู้ขอรับการสนับสนุนสามารถขอรับการสนับสนุนได้มากกว่า 1 มาตรการ ภายในวงเงินสนับสนุนไม่เกิน 3 ล้านบาทต่อราย โดย พพ. สงวนสิทธิที่จะกำหนดวงเงินขั้นต่ำในการสนับสนุนได้ตามความเหมาะสม
5. เครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์ ที่ขอรับการสนับสนุน ต้องไม่เป็น เครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์ที่ได้ติดตั้งหรือสั่งซื้อก่อนยื่นใบสมัครขอรับการสนับสนุนในโครงการนี้
6. พพ.จะพิจารณาอนุมัติวงเงินสนับสนุนแก่ผู้ขอรับการสนับสนุนตามหลักเกณฑ์ ความถูกต้องและความครบถ้วนของเอกสารใบสมัครของสถานประกอบการตามลำดับก่อนหลัง โดยยึดถือตามเลขที่รับเอกสารของ พพ. เป็นสำคัญ
7. สถานประกอบการที่ได้รับอนุมัติการสนับสนุนจะต้องทำสัญญาสนับสนุนตามรูปแบบที่ พพ. กำหนด
8. สถานประกอบการที่ได้รับอนุมัติการสนับสนุน จะต้องดำเนินการจัดหาและติดตั้งเครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์ให้แล้วเสร็จ และยื่นหนังสือขอเบิกเงินสนับสนุนภายใน 6 เดือน นับแต่วันที่ พพ. มีหนังสือแจ้งผลการอนุมัติการสนับสนุน หากไม่สามารถดำเนินการได้ทันภายในกำหนดเวลาดังกล่าว จะต้องแจ้งสาเหตุให้ พพ. ทราบและขออนุมัติขยายเวลาการติดตั้ง โดย พพ. อาจพิจารณาขยายเวลาการติดตั้งให้หรือไม่ก็ได้ตามความเหมาะสม และระยะเวลาที่ พพ. อนุมัติให้ขยายนั้น จะไม่เกินระยะเวลาสิ้นสุดการดำเนินการของโครงการ

   ทั้งนี้ ผู้ขอรับการสนับสนุนต้องแสดงรายละเอียดแผนการดำเนินการอย่างชัดเจนในเอกสารใบสมัครขอรับการสนับสนุน
9. ผู้ขอรับการสนับสนุนที่ยื่นขอเบิกเงินสนับสนุน ต้องแสดงหลักฐานการจ่ายเงินสำหรับค่าใช้จ่ายต่างๆ ในแต่ละมาตรการที่ขอรับการสนับสนุนตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนดให้ถูกต้องและครบถ้วน
10. ผู้ขอรับการสนับสนุนจะต้องติดตั้งใช้งาน เครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์ ที่ได้รับการสนับสนุนให้มีการทำงานอย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์การใช้งานและตามเงื่อนไขที่ได้รับการสนับสนุนจากโครงการโดยจะต้องไม่ดัดแปลง รื้อถอน เคลื่อนย้าย เครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์ ให้มีสภาพการใช้งานผิดไปจากวัตถุประสงค์ในการให้การสนับสนุนนี้ และจะต้องติดตั้งใช้งานเครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์ ที่ได้รับการสนับสนุนภายในระยะเวลาไม่น้อยกว่า ๒ ปี หรือตามที่ พพ. กำหนด

ในสัญญาสนับสนุน

(ดูรายละเอียดเพิ่มเติมที่ http://www.dede.go.th/dede/images/stories/file/Scan5781.pdf)

- **โครงการส่งเสริมการใช้น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสาน โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)**

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้มีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตน้ำร้อนในกิจการธุรกิจภาคต่างๆ
2. เพื่อเป็นการกระตุ้นให้เกิดการลงทุนใช้ระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อย่างแพร่หลาย

รูปแบบโครงการ

ให้การสนับสนุนเงินลงทุนแก่ผู้ประกอบการที่มีความสนใจลงทุนติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ระบบผสมผสาน ตลอดจนให้การสนับสนุนการศึกษาความเป็นไปได้และการออกแบบเบื้องต้น แก่สถานประกอบการ โดยสถานประกอบการ ต้องมีหนังสือยืนยันการเข้าร่วมโครงการฯ จากผู้บริหารระดับสูงซึ่งเป็นผู้มีอำนาจลงนาม และส่งใบสมัครกลับมาตาม ที่อยู่ด้านล่างนี้:สำหรับผู้ที่ต้องการลงทุน

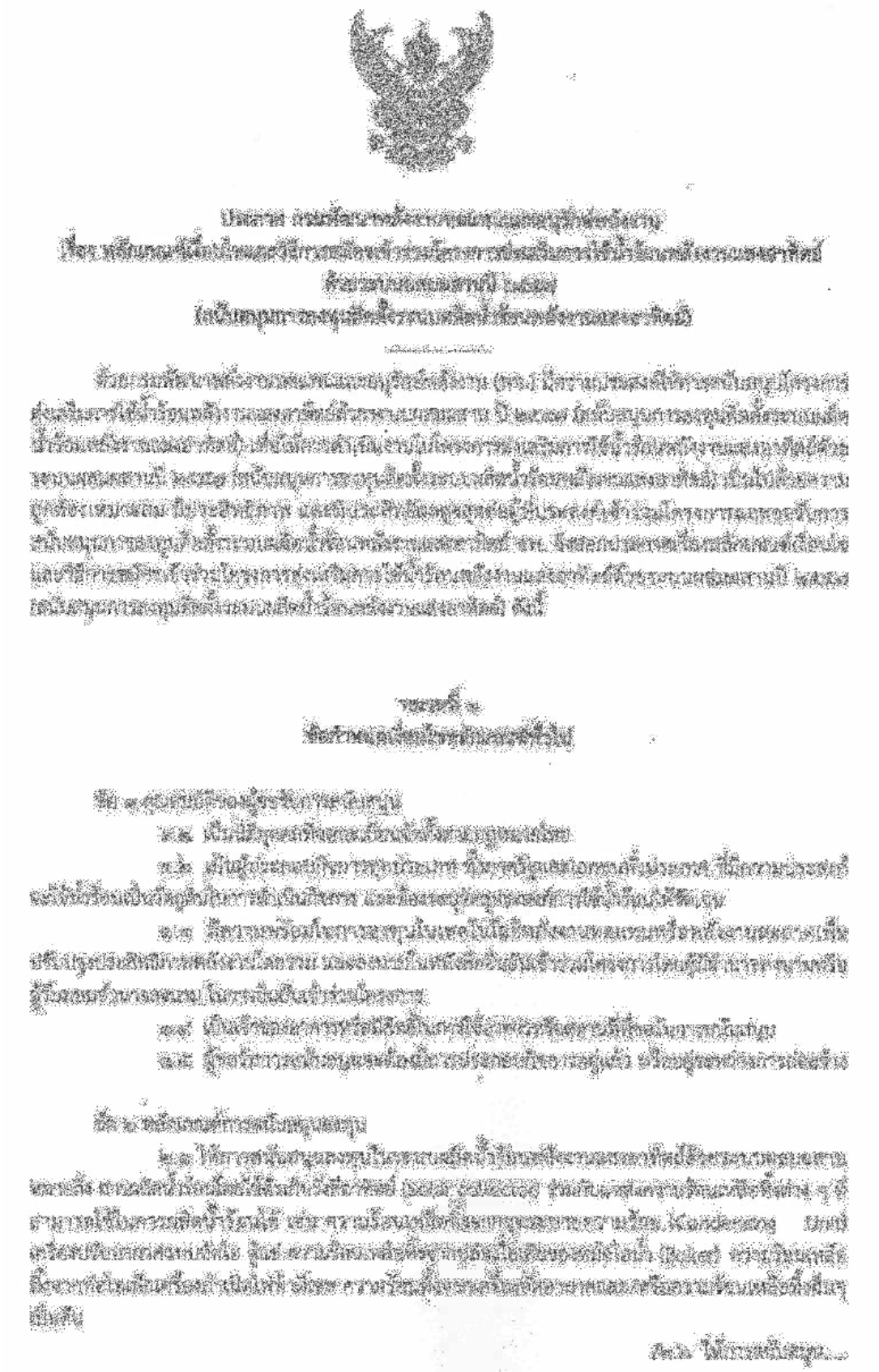
หลักเกณฑ์การสนับสนุนการลงทุน

1. ให้การสนับสนุนลงทุนในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสาน หมายถึง การผลิตน้ำร้อนโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector) ร่วมกับแหล่งความร้อนเหลือทิ้งต่าง ๆ ที่สามารถใช้ในการผลิตน้ำร้อนได้ เช่น ความร้อนเหลือทิ้งจากชุดระบายความร้อน (Condensing Unit) เครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ ตู้แช่ ความร้อนเหลือทิ้งจากปล่องไอเสียของหม้อไอน้ำ (Boiler) ความร้อนเหลือทิ้งจากท่อไอเสียเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ความร้อนทิ้งจากเครื่องอัดอากาศและ/หรือความร้อนเหลือทิ้งอื่นๆ เป็นต้น
2. ให้การสนับสนุนการลงทุนเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับการติดตั้งระบบ ประกอบด้วยแผงเก็บรังสีอาทิตย์ ระบบท่อ ถังเก็บน้ำร้อน ระบบควบคุม และอื่นๆ ซึ่งไม่รวมในส่วนของระบบการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่
3. ให้เงินสนับสนุนการลงทุนระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์
4. ให้การสนับสนุนระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ขอรับการสนับสนุนในส่วนของ ถังเก็บน้ำร้อน

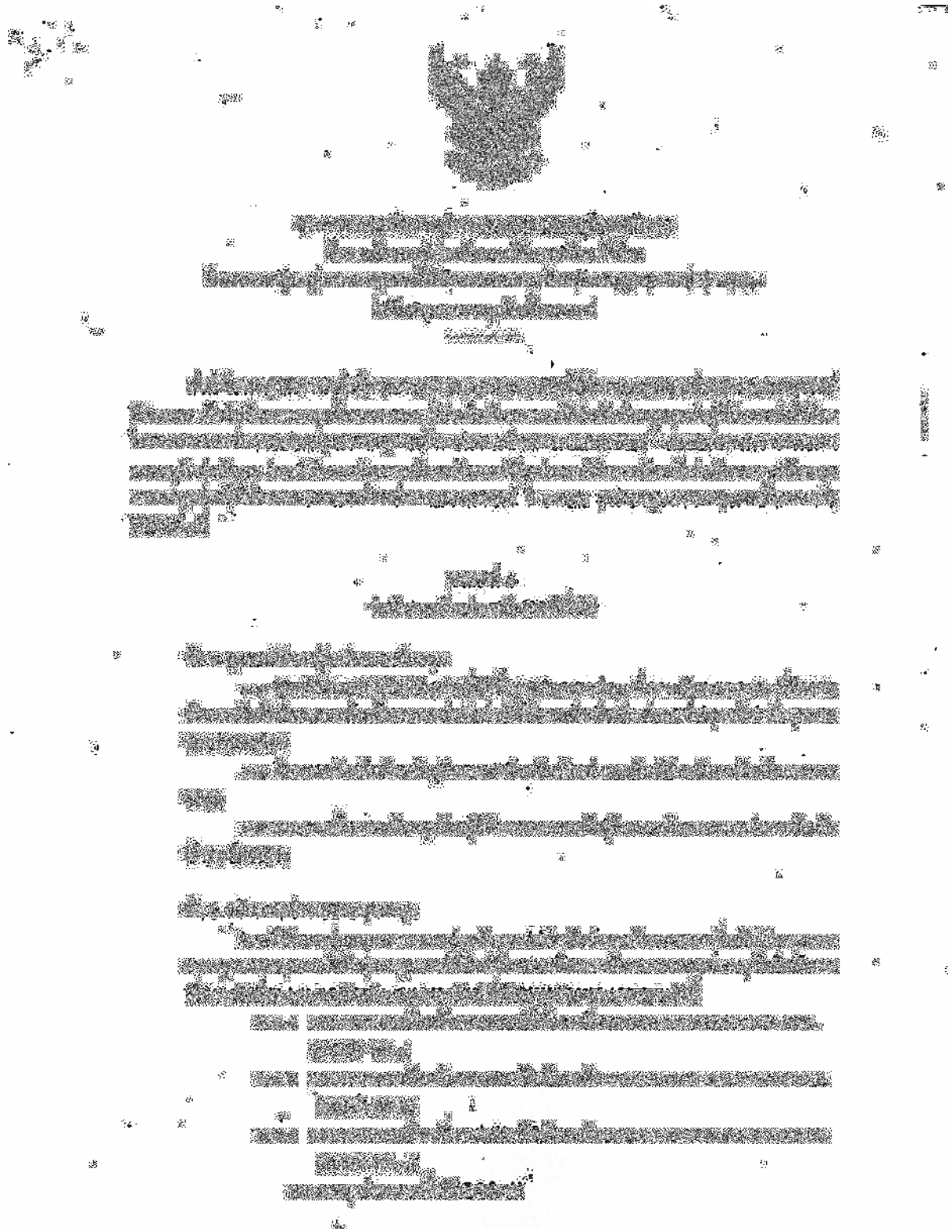
พพ. ได้ให้การสนับสนุนและส่งเสริมการใช้น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 โดยมีผู้ประกอบการอาคารและโรงงานอุตสาหกรรมเข้าร่วมโครงการอย่างต่อเนื่อง สำหรับปี 2557 พพ. ได้เปิดรับสมัครเพื่อให้การสนับสนุน จำนวน 2 รอบ

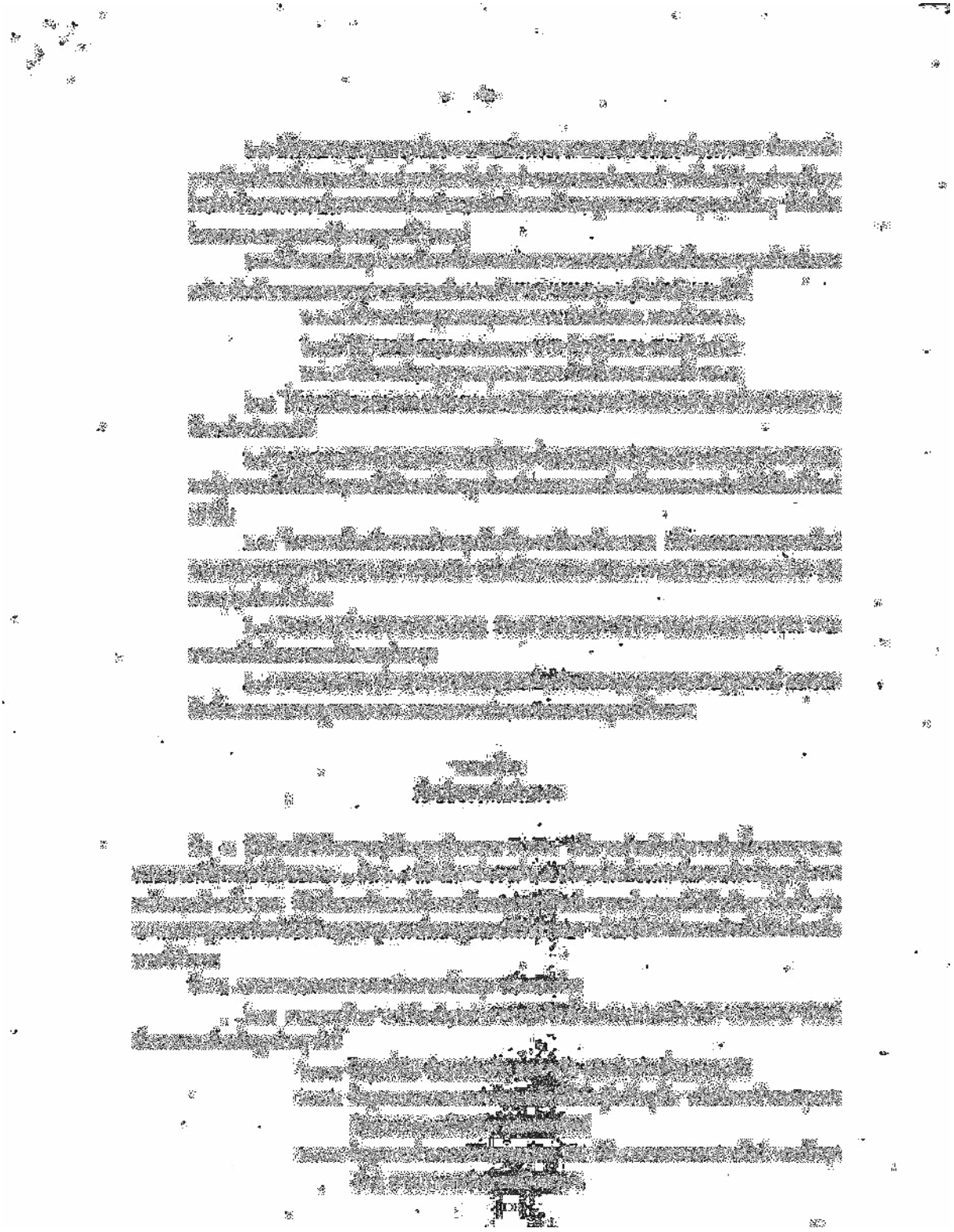
รอบที่ 1 เริ่มวันที่ 24 มกราคม 2557 และสิ้นสุดภายในวันที่ 30 เมษายน 2557

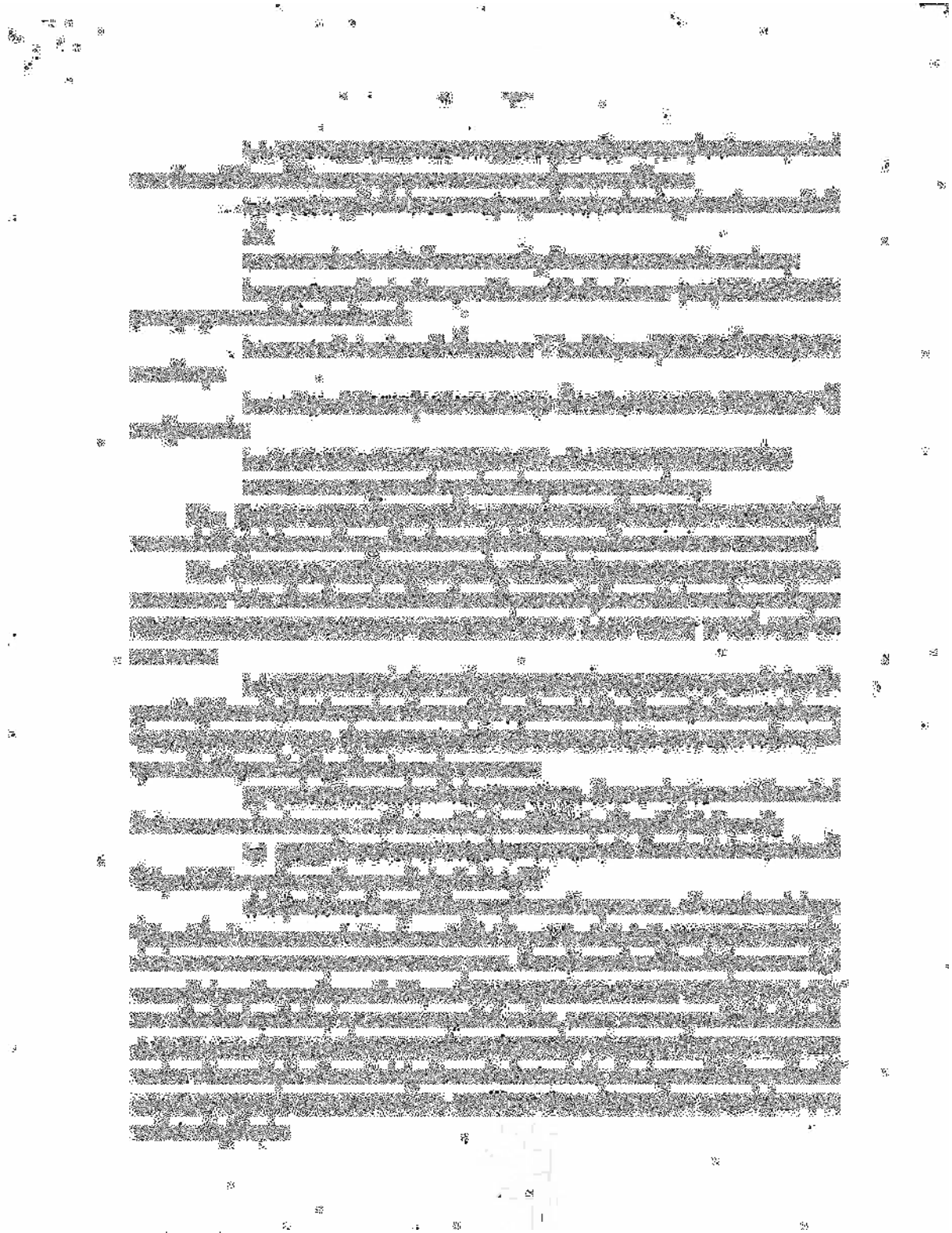
รอบที่ 2 เริ่มวันที่ 15 พฤษภาคม 2557 และสิ้นสุดภายในวันที่ 30 มิถุนายน 2557 กรณีเงินสนับสนุนหมดในรอบที่ 1 พพ. จะยกเลิกการสนับสนุนในรอบที่ 2



(ดูรายละเอียดเพิ่มเติมที่ http://www.solarhotwaterdede.com/)







(ดูรายละเอียดเพิ่มเติมที่ http://www.solardryerdede.com/wp-content/uploads/2014/02/ประกาศหลักเกณฑ์อบแห้งปี-57.pdf)

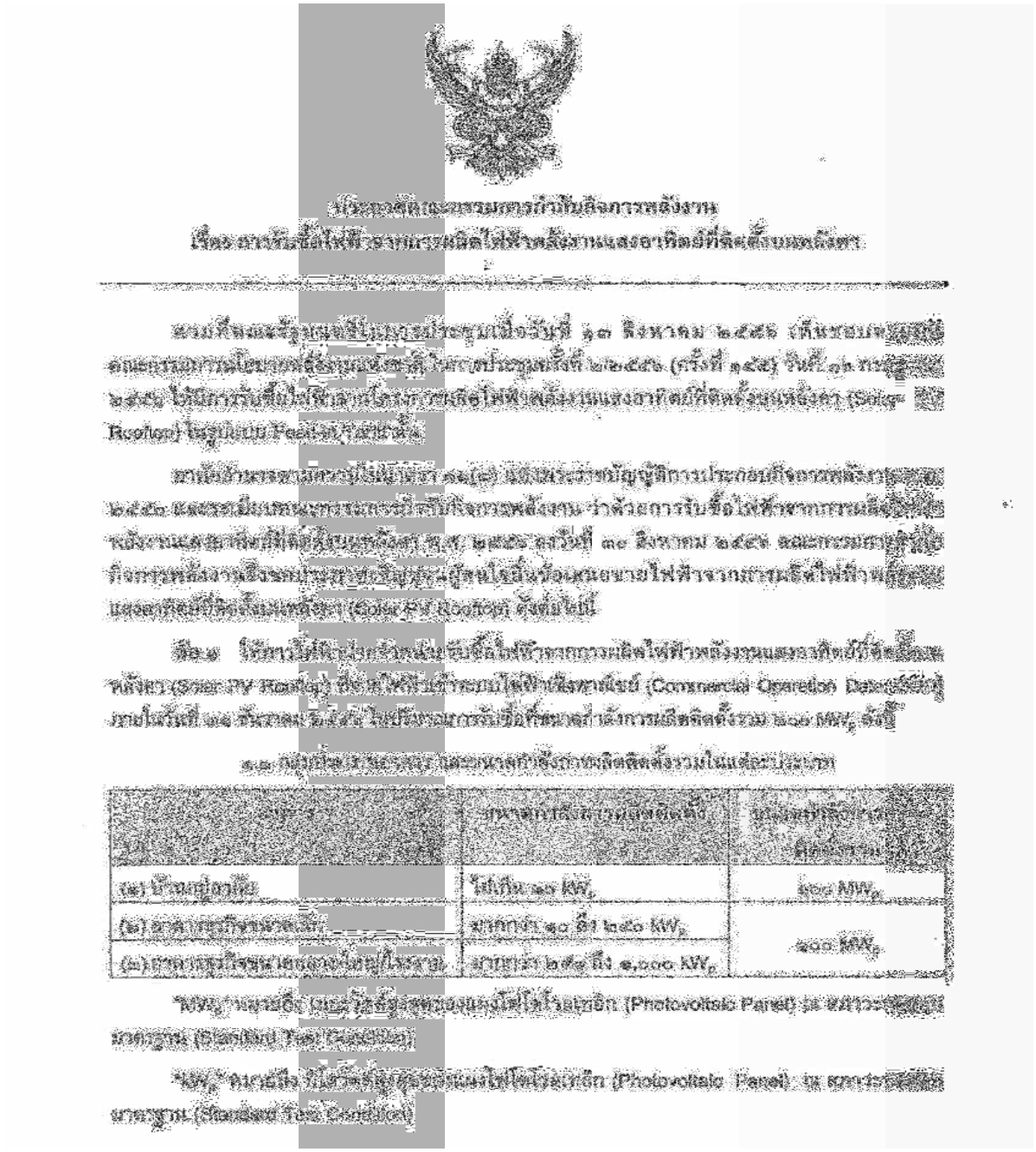
- **โครงการรับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar Rooftop) โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)**

คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) ปรับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (ปี 2555-2564) หรือ AEDP ใหม่ โดยเพิ่มเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นทุกประเภททั้งพลังงานก๊าซชีวภาพ จากหญ้าเนเปียร์ พลังงานโซลาร์เซลล์บนหลังคาบ้าน/อาคาร

ในส่วนของพลังงานโซลาร์เซลล์บนหลังคาบ้าน/อาคาร มีการกำหนดเป้าหมายอยู่ที่ 200 เมกะวัตต์ แบ่งเป็นประเภทบ้านอยู่อาศัย 100 เมกะวัตต์ และอาคารธุรกิจขนาดเล็ก กลาง และใหญ่อีก 100 เมกะวัตต์ ระยะเวลาสนับสนุน 25 ปี พร้อมกำหนดอัตรารับซื้อไฟราคาพิเศษ ซึ่งโครงการดังกล่าวมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อลดการลงทุนภาครัฐ
2. เพื่อลด Peak Load
3. สร้างความมั่นคงด้านพลังงาน

เมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม 2556 คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) มีมติเห็นชอบอัตราการรับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FIT สำหรับโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) ระยะเวลาสนับสนุน 25 ปี โดยมีรายละเอียดของเป้าหมายและอัตรา Feed-in Tariff (FIT)



ประกาศคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน
เรื่อง การรับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

ตามที่คณะรัฐมนตรีในการประชุมเมื่อวันที่ ๑๓ สิงหาคม ๒๕๕๖ (ครั้งที่ ๑๕) วันที่ ๑๖ กรกฎาคม ๒๕๕๗ ได้มีการรับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar Rooftop) ในรูปแบบ Feed-in Tariff นั้น

ตามข้อกำหนดของกฎหมาย ข้อ ๑๑(๑) แห่งประกาศคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน พ.ศ. ๒๕๕๐ และระเบียบการแสดงเจตนาเพื่อขอรับใบอนุญาตประกอบกิจการพลังงาน ว่าด้วยการรับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา พ.ศ. ๒๕๕๖ ลงวันที่ ๓๐ สิงหาคม ๒๕๕๖ และตามมาตรา ๗ แห่งพระราชบัญญัติการประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. ๒๕๕๐ คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานจึงออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

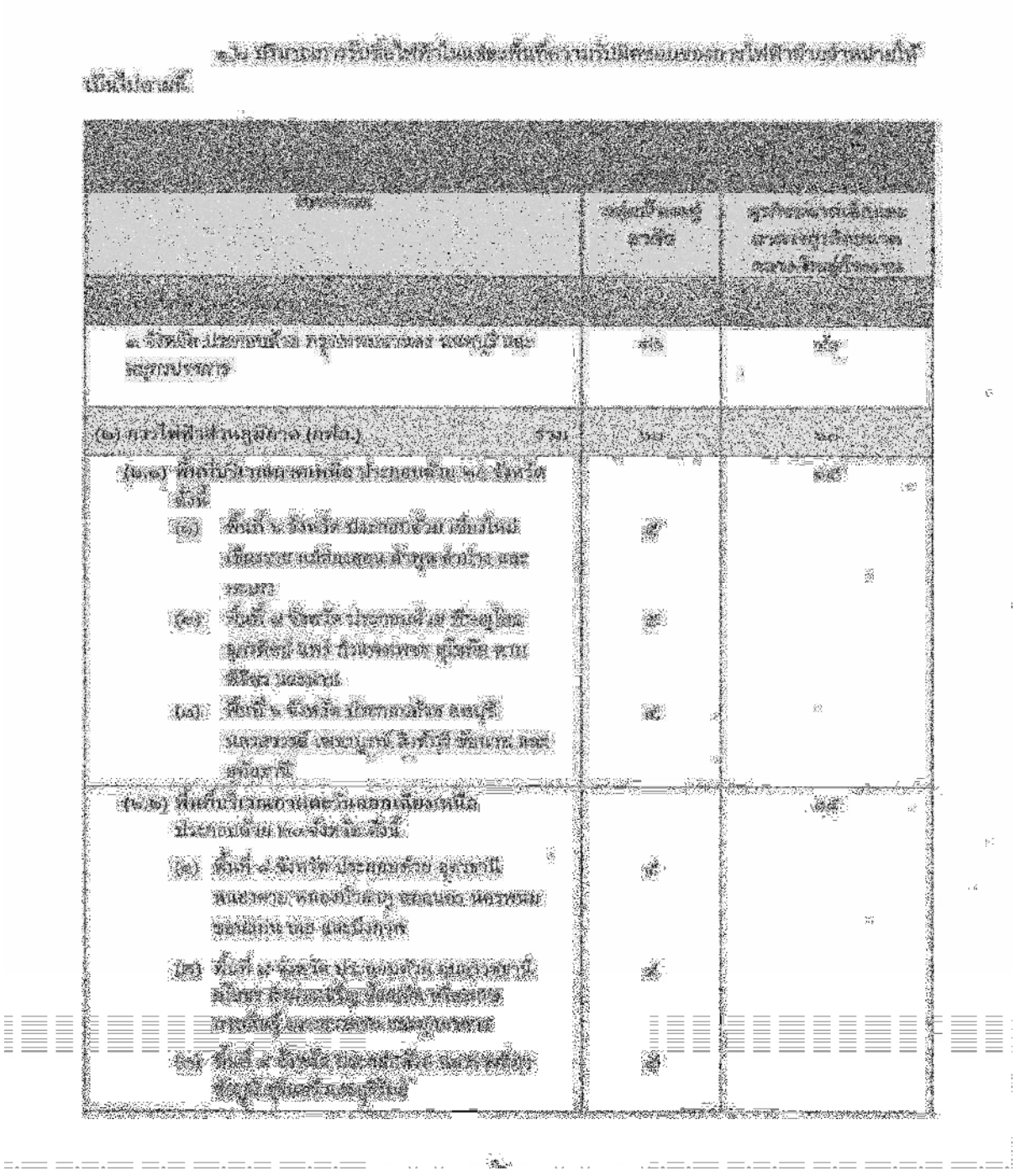
ข้อ ๑ ให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้านครหลวง รับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) ซึ่งได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการพลังงานประเภทผู้ผลิตไฟฟ้าเพื่อการพาณิชย์ (Commercial Operation Date) ภายในวันที่ ๓๑ ธันวาคม ๒๕๖๘ ในปริมาณการรับซื้อที่ขนาดกำลังการผลิตติดตั้งรวม ๒๐๐ MW$_p$ ดังนี้

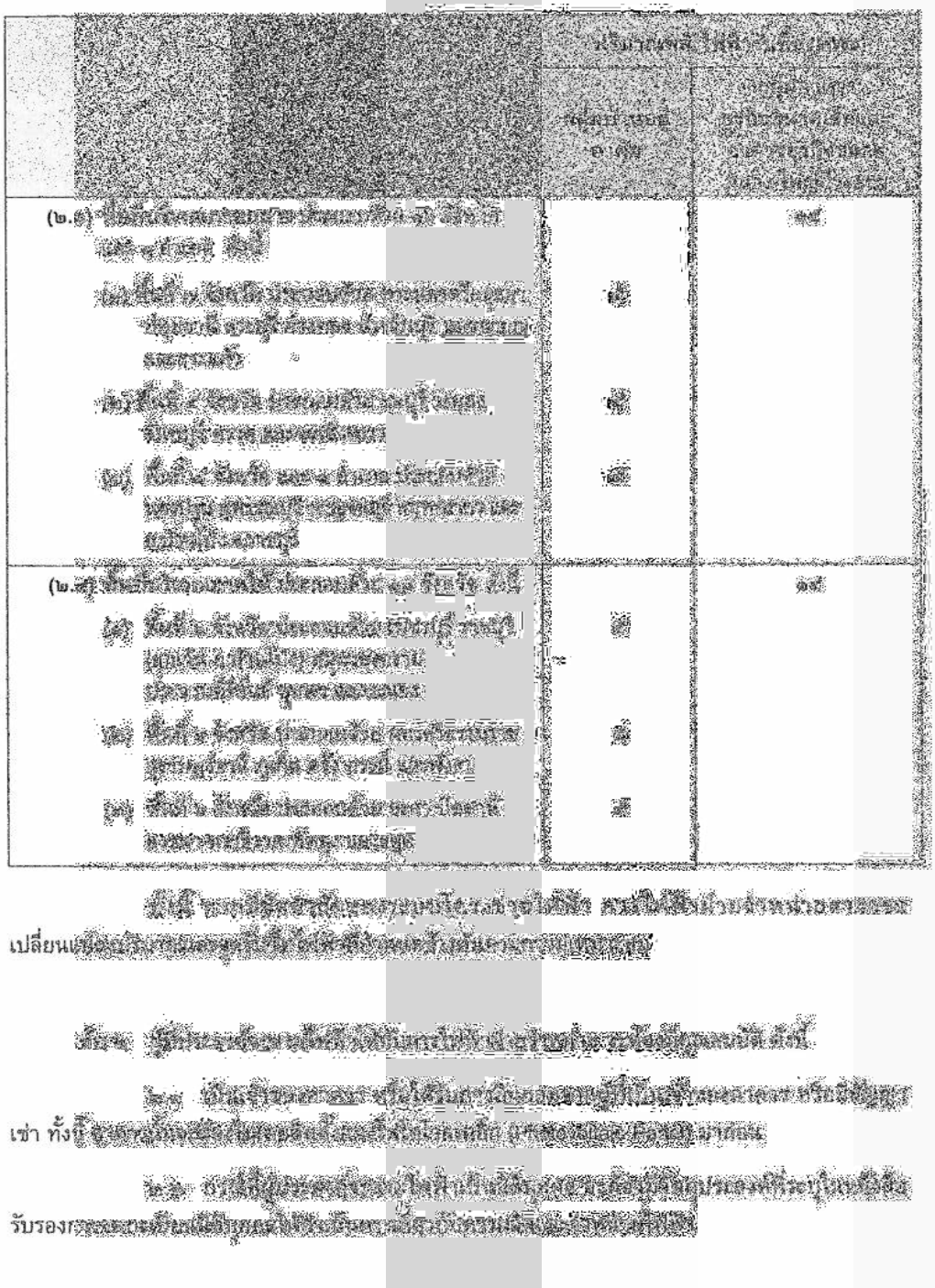
๑.๑ ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า และขนาดกำลังการผลิตติดตั้งรวมในแต่ละประเภท

ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า	ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง	ปริมาณการรับซื้อรวมตลอดอายุสัญญา
(๑) บ้านอยู่อาศัย	ไม่เกิน ๑๐ kW$_p$	๒๐๐ MW$_p$
(๒) อาคารธุรกิจขนาดเล็ก	มากกว่า ๑๐ ถึง ๒๕๐ kW$_p$	
(๓) อาคารธุรกิจขนาดกลางและขนาดใหญ่/โรงงาน	มากกว่า ๒๕๐ ถึง ๑,๐๐๐ kW$_p$	

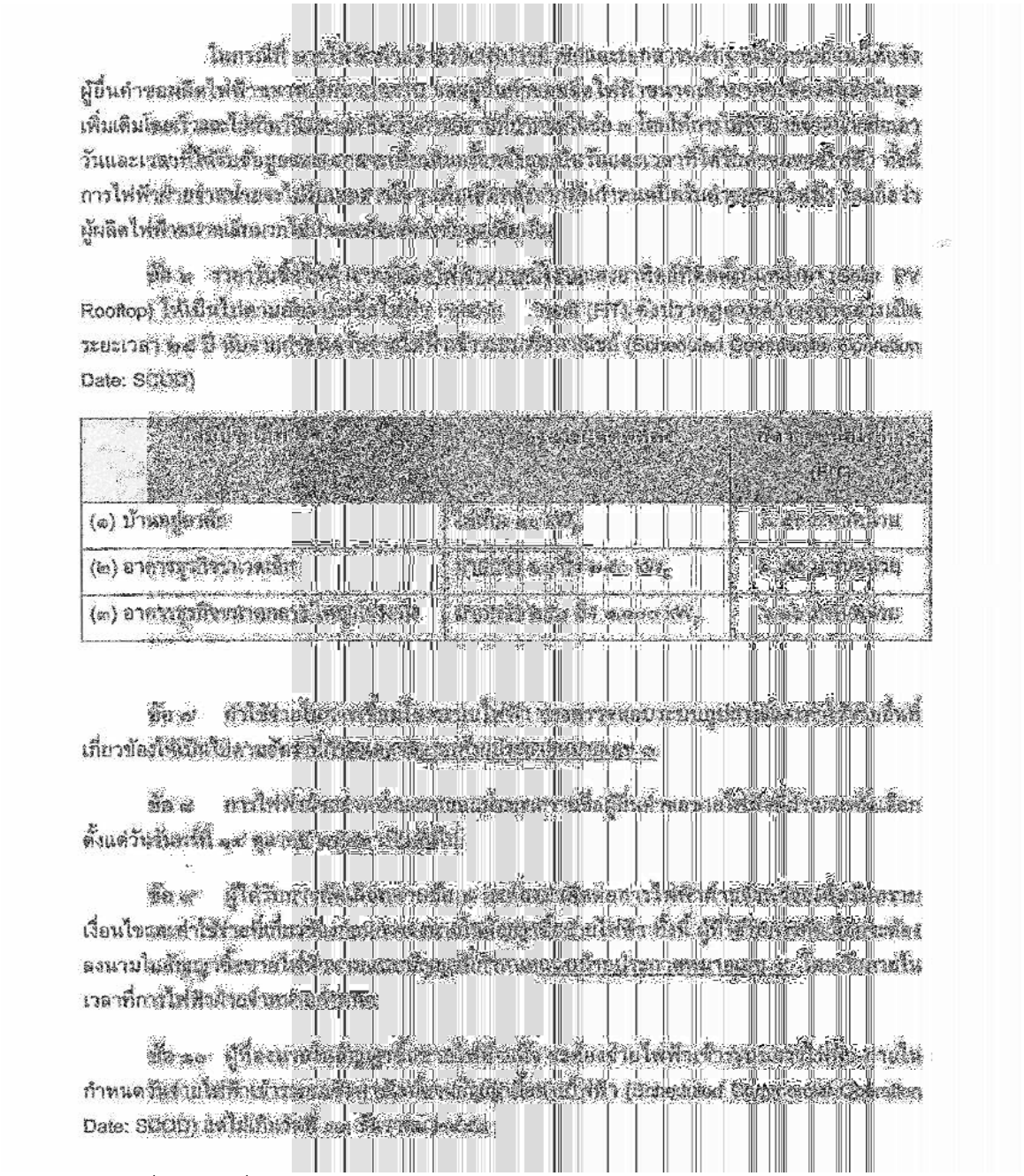
kW$_p$ หมายถึง กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์ (Photovoltaic Panel) ที่สภาวะมาตรฐาน (Standard Test Condition)

kW$_p$ หมายถึง กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์ (Photovoltaic Panel) ที่สภาวะมาตรฐาน (Standard Test Condition)









ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ http://www.pea.co.th/vspp/Documents/Rooftop/announce.pdf

แหล่งข้อมูลอ้างอิง :

(1) Sieglinde K.Fuller, Stephen R. Pertersen. Life-Cycle Costing Manual for the Federal Energy Management Program. U.S. Department of Commerce. National Institute of Standards and Technology. NIST Handbook 135 ; 1995 edition.
(2) Capital Projects Advisory Review Board. Life Cycle Cost Analysis and Energy Effciency ; December 2013.
(3) ศาณิส ยี่โถขาว คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. แนวทางการปรับปรุงการออกแบบศาลากลางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน.
(4) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. รายงานการสังเคราะห์และประมวลผลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1 : 2554

Project : Promoting Energy Efficiency in Commercial Buildings (PEECB)
Master Plan (4 Years) : Work Plan and Progress

Item	Details of Activiites/Sub-Activities	Works Portion (%)	Status	Y2013					Y2014				Y2015				Y2016				Y2017			
				% Work Progress																				
				Q1	Q2	Q3	Q4/1	Q4/2	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
	% of Payment Planning- by Quarter				5	5	5	5	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5		5			
	% of Payment Planning - Accumulation				5	10	15	20	30	40	50	60	65	70	75	80	85	90	95		100			
PM	**Project Management**	**16.91%**																						
			Plan		4.06	0.68	0.66	0.52	1.19	2.66														
			Actual		4.06	0.68	0.66	0.52	1.19	2.66														
	PM-A) Project Meeting & Workshop & Seminar																							
	A.1) Project Team Meeting (UNDP & DEDE & BMC (Consultant))	2.54%	Plan		5	5	8	5	7	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5		5			
			Actual		5	5	8	5	7	10														
	A.2) Inception Workshop	1.69%	Plan		100																			
			Actual		100																			
	A.3) Meeting with International Expert (Japanese)	3.38%	Plan		5	5	6	4	15	30	30	5												
			Actual		5	5	6	4	15	30														
	A.4) Project Public Seminar	1.69%	Plan		5	5				35				20				20			15			
			Actual		5	5				35														
	A.5) Stakeholders Meeting	0.85%	Plan		5	5				35				20				20			15			
			Actual		5	5				35														
	PM-B) TOR for DEDE to select the competence consultant for Component 2 & 3																							
	B.1) TOR Development	0.85%	Plan		100																			
			Actual		100																			
	B.2) Bidding Process	0.34%	Plan		100																			
			Actual		100																			
	B.3) Proposal Evaluation	0.34%	Plan		100																			
			Actual		100																			
	PM-C) Project Board & Project Management Unit & Working Group																							
	C.1) Preparation of project document and invitation document	0.17%	Plan		100																			
			Actual		100																			
	C.2) Set up coordination	0.85%	Plan		5	5	5	5	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5		5			
			Actual		5	5	5	5	10	10														
	C.3) Organize the meeting	0.85%	Plan		5	5	5	5	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5		5			
			Actual		5	5	5	5	10	10														
	PM-D) Project Administration																							
	D.1) General organization and administration	2.54%	Plan		5	5	5	5	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5		5			
			Actual		5	5	5	5	10	10														
	D2.) Report Preparation	0.85%	Plan		5	5	5	5	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5		5			
			Actual		5	5	5	5	10	10														
	Sub-Total PM	**16.91%**																						
C1	**COMPONENT 1 : Awareness Enhancement on Building EE Technologies and Practices**	**63.28%**																						
			Plan		0.91	5.02	8.57	8.04	11.25	4.84														
			Actual		0.91	5.38	8.57	4.19	9.18	6.32														
	1.1 Establish Commercial Building EE Information Center (CBEEC)																							
	1.1.1 Activity 1.1.1 Establishment of the Commercial Building EE Information Center (CBEEC)																							
	1.1.1 a Conduct of Situation Analysis	3.16%	Plan		5	5	10	5	75															
			Actual		5	12	10	5	63	5														
	1.1.1 b Design and Development of the CBEEC	1.90%	Plan		1	1	5	2	91															
			Actual		1	8.5	5	2	81															
	1.1.1 C Administration and Maintenance of the CBEEC	6.33%	Plan		5	5	9	5	5	6	10	10	10	5	10	10	2	2	2		4			
			Actual		5	5	9	2	10	6														
	1.1.1 d Collaboration on Database of the CBEEC	1.90%	Plan			1	1	1	5	10	10	10	5	5	20	12	2	2	2	5	9			
			Actual			1	1		6	15														
	1.2 A system of information exchange and dissemination on EE technologies and practices for commercial building stakeholders																							
	1.2.1 Activity 1.2.1 Promoting CBEEC as the information portal for the Commercial Bldg. Sector in Thailand																							
	1.2.1 a Design effective promotional scheme	1.27%	Plan		1	1	50	48																
			Actual		1	1	50	18	20	5														
	1.2.2 Activity 1.2.2 Implementation of Awareness Raising Campaigns																							
	1.2.2 a Review of Profiles and Level of Awareness of Target Audience	1.27%	Plan		1	1	50	48																
			Actual		1	1	50	15	25	5														
	1.2.2 b Compilation and Production of Marketing and Promotional Tools and Materials	1.90%	Plan		1	1	50	48																
			Actual		1	1	50	10	10	10														
	1.2.2 c Design and Implementation of Awareness Campaigns	1.90%	Plan			5	5	5	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5			
			Actual			5	5	5	5	10														
	1.2.3 Activity 1.2.3 Implementation of Information Disclosure Program for Commercial Bldg. Energy Consumption																							
	1.2.3 a Design Information Disclosure (ID) program & publication materials (link with C2.2)	1.27%	Plan						5	5	5	5	10	5	5	10	10	10	10	10	10			
			Actual						2	5														
	1.3 Development and Promoted Energy Use Simulation Models for Commercial Building Design																							
	1.3.1 Activity 1.3.1 Assessment of the Utilization of Building Energy Simulation Models (BESM) in Thailand																							
	1.3.1 a Assessment of the two (2) most popular simulation models	3.16%	Plan		10	40	40	10																
			Actual		10	40	40	10																
	1.3.2 Activity 1.3.2 Development of a Customized BESM for Commercial Buildings in Thailand																							
	1.3.2 a Selection and Modification of BESM	6.33%	Plan					20	20	20	20	20												
			Actual					20	20	20														
	1.3.2 b Preparation of Promotional and Training Program	1.90%	Plan									50	50											
			Actual							10														
	1.3.3 Activity 1.3.3 Implementation of Sustainable Promotional and Training Program on EE Commercial Building Design																							
	1.3.3 a Conduct the BESM training courses	1.90%	Plan											10	20	30	15	25						
			Actual																					
	1.4 Completed training courses on EE technologies and practices, and financial arrangement for commercial buildings																							
	1.4.1 Activity 1.4.1 Capacity Building Need Assessment for Commercial Building Stakeholder																							
	1.4.1 a Scoping Study on the Training Program	3.16%	Plan		1	50	45	4																
			Actual		1	50	45	4																
	1.4.1 b Identification of Training Activities for Stakeholders	1.27%	Plan		1	40	49	10																
			Actual		1	40	49	10																
	1.4.1 c Development of the Overall Training Program	1.27%	Plan		1	40	49	10																
			Actual		1	40	49	10																
	1.4.2 Activity 1.4.2 Design and Implementation of Training Courses on EE Technologies and Practices, and Financial Arrangement for Commercial Buildings																							
	1.4.2 a Design of Technical Training Courses	1.27%	Plan					5	40	55														
			Actual					5	35	35														
	1.4.2 b Design and Preparation of Training Materials	1.90%	Plan							25	50	25												
			Actual							25														
	1.4.2 c Conduct of Training Program	1.27%	Plan							10	10	10	10	10	10	10	20	10						
			Actual							0														
	1.4.2 d Certification and Quality Assurance Mechanism	1.27%	Plan							10	10	10	10	10	10	10	20	10						
			Actual							2														
	1.4.2 e Training Program Monitoring and Evaluation	1.27%	Plan							10	10	10	5	5	10	10	20	10	10					
			Actual							2														
	1.4.2 f Sustainable Follow-up Capacity Development Program Design	1.27%	Plan							10	10	10	5	5	10	10	20	10	10					
			Actual							0														
	1.5 Completed training courses on financial assessment of EE application projects in commercial buildings																							
	1.5 Activity 1.5 Completed Training Courses on Financial Assessment of EE Application Projects in Commercial Buildings																							
	1.5 a Design of Non-Technical Training Courses	1.27%	Plan			5	5	5	80	5														
			Actual			5	5	5	35	45														
	1.5 b Design and Preparation of Training Materials	1.90%	Plan						50	50														
			Actual						30	50														

Project : Promoting Energy Efficiency in Commercial Buildings (PEECB)
Master Plan (4 Years) : Work Plan and Progress

						Y2013				Y2014				Y2015				Y2016				Y2017
		% of Payment Planning- by Quarter				5	5	5	5	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5		5
		% of Payment Planning - Accumulation				5	10	15	20	30	40	50	60	65	70	75	80	85	90	95		100
Item		Details of Activiites/Sub-Activities																				
	1.5 c	Conduct of Training Program	1.27%	Plan							10	10	10	10	20	20	10	10				
				Actual																		
	1.5 d	Training Program Monitoring and Evaluation	1.27%	Plan							5	10	5	10	10	20	10	10	20			
				Actual																		
	1.5 e	Sustainable Follow-up Capacity Development Program Design	0.63%	Plan							5	10	5	10	10	20	10	10	20			
				Actual																		
		Additional Activity : Design and Conduct the Capacity Building - Train the Trainer for DEDE's staff																				
	1	Design and develop the Train the Trainer curriculum for DEDE's staffs	1.27%	Plan			15	80	5													
				Actual			15	80	5													
	2	Develop and Preparation of Training Materials	1.90%	Plan			5	5	90													
				Actual			5	5	50		10											
	3	Conduct of Training Program	1.27%	Plan					100													
				Actual							60											
	1.6	**Established business linkages between supplier of EE technologies, building owners, banks and building practitioners**																				
	1.6	**Activity 1.6 Established Business Linkages Between Suppliers of EE Technologies, Building Owners, Banks, and Building Practitioners**																				
	1.6 a	Framework Study of Commercial Building Business in Thailand	3.16%	Plan			5	5	5	85												
				Actual			5	5	2	40												
	1.6 b	Establish Business Linkages	1.27%	Plan						5	5	5	5	10	10	10	10	5	5	10	10	10
				Actual						3	3											
		Sub-Total Component 1	63.28%																			
C2		**COMPONENT 2 : EE Building Policy Frameworks**	6.86%																			
				Plan		0.0	0.14	0.24	0.21	1.41	1.85											
				Actual		0.0	0.14	0.24	0.34	1.17	1.23											
	2.1	**Updated and More Effective Policy Measures on Energy Efficiency in Commercial Buildings**																				
	2.1.1	**Evaluation and recommendation of effective approaches and incentives for inclusion of building EE technologies and practices in the design and operation of various types of commercial buidlings**																				
	2.1.1.1	Evaluation of Best EE Options for Commercial Buildings		Plan																		
				Actual																		
	2.1.1.2	Modification of Existing and Development of New EE Policy Instruments for Commercial Buildings		Plan																		
				Actual																		
	2.1.1.3	Seeking Approval on New and Modified Policy from Policymakers		Plan																		
				Actual																		
	2.1.2	**Strengthening implementation effectiveness of the new Building Energy Code**																				
	2.1.2.1	Integration of the BEC Requirements with the EIA Approval Process		Plan																		
				Actual																		
	2.1.2.2	Establishment of the BEC Self-Learning Course for Building		Plan																		
				Actual																		
	2.1.2.3	Maintain Ongoing Dialogues with Municipalities and LAOs		Plan																		
				Actual																		
	2.1.2.4	Strengthening the Inter-Ministerial Coordination Process		Plan																		
				Actual																		
	2.1.3	**Assessment of DEDE's building energy labeling scheme and preparation of recommentations for strengthening implementation in buildings**																				
	2.1.3.1	Review of Available Information on Buildings Energy Labeling and Green Building Scheme		Plan																		
				Actual																		
	2.1.3.2	Assessment and Recommendation of Collaboration between the DEDE's Building Energy Label and Other Rating Sche		Plan																		
				Actual																		
	2.2	**Revised and Up-to-date Data and Information to Facilitate Policy Implementation of Commercial Building EE**																				
	2.2.1	**Activity 2.2.1 Compilation and Update of Energy Performance Database for Building Construction Materials and Electrical Equipement for Commercial Buildings**																				
	2.2.1 a	Data Review of BESM Software	0.69%	Plan			5	20	15	60												
				Actual			5	20	15	35												
	2.2.1 b	Compile and Update of Energy Performance Database	0.69%	Plan						5	15	30	30	20								
				Actual						5	15											
	2.2.2	**Activity 2.2.2 Review and Update of DEDE's SEC Studies and Compilation of Building Stock Data**																				
	2.2.2 a	Review the Existing Specific Energy Consumption Index (SEC)	1.37%	Plan			5	5	5	30	55											
				Actual			5	5	15	30	25											
	2.2.2 b	Update the SEC for Commercial Building Sector in Thailand	2.06%	Plan						5	15	20	25	35								
				Actual						5	15											
	2.2.3	**Activity 2.2.3 Review and Assessment of DEDE's M&V Scheme and Development of an Improved M&V Protocol for Commercial Building EE Projects**																				
	2.2.3 a	Review Existing M&V Scheme for Completed Projects in Thailand	0.69%	Plan			5	5	5	25	60											
				Actual			5	5	5	25	30											
	2.2.3 b	Develop recommended M&V Scheme for Commercial Bldgs EE Project in Thailand	1.37%	Plan						20	20	60										
				Actual						15	20											
	2.3	**Approved and Implemented New and Improved Financing Models for Commercial Buildings**																				
	2.3.1	**Development of new and improved financing models for EE commercial building investments**		Plan																		
				Actual																		
	2.3.2	**Approval and implementation of new fiscal policies to promote EE building design for new existing buildings**																				
	2.3.2.1	Conclusion of New Fiscal Policies to Promote EE building Design for New and Existing Buildings		Plan																		
				Actual																		
	2.3.2.2	Organization and Conduct of EE Building Fiscal Policy Workshop		Plan																		
				Actual																		
	2.3.2.3	Conduct of Targeted Policy Coordination Meetings		Plan																		
				Actual																		
	2.3.2.4	Approval and Implementation of new fiscal policies for EE building Projects		Plan																		
				Actual																		
	2.4	**Approved energy efficiency promotion action plan (short and long term) to supplement DEDE Activities**																				
	2.4	Preparation of draft energy efficiency promotion Action Plan (Short and long term) to supplement DEDE activities		Plan																		
				Actual																		
		Sub-Total Component 2	6.86%																			
C3		**COMPONENT 3 : EE Building Technologies and Applications Demonstration**	12.95%																			
				Plan		0.0	0.0	0.0	0.0	0.13	0.32											
				Actual		0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.02											
	3.1	**Improved confidence in the feasibility, performance, energy, environmental and economic benefits of EE technologies and practices in commercial buildings**																				
	3.1.1	**Installed and operational demonstration projects in selected buildings**																				
	3.1.1.1	**Conduct of comprehensive feasibility studies and determination of implementation requirement, costing and engineering studies/design of selected demonstration projects**																				
	3.1.1.1a	conduct of Comprehensive Feasibility Studies of Demonstration Projects		Plan																		
				Actual																		
	3.1.1.1b	Determination of PEECB Implementation Requirements for Demonstration Projects		Plan																		
				Actual																		
	3.1.1.1c	Establishment of Baseline Data for the Demonstration Project Sites		Plan																		
				Actual																		
	3.1.1.1d	Finalized Design of Demonstration Projects		Plan																		
				Actual																		
	3.2	**Improved local technical and managerial capacity to design, manage and maintain EE technologies and practices**																				
	3.2.1	**Documentation on the results of the demonstration projects and available EE technologies in the markets and dissemination of demo project results**																				
	3.2.1.1	**Activity 3.2.1.1 Documentation of Results of the Demonstration Projects**																				
	3.2.1.1 a	Collect Data and Information of Demonstration Projects	0.65%	Plan						10	10	25	25	30								
				Actual						0	2											
	3.2.1.1 b	Documentation of Results of the Demonstration Projects	1.30%	Plan							5	5	5	5	5	5	5	20	20	20	5	
				Actual							0											

Project : Promoting Energy Efficiency in Commercial Buildings (PEECB)
Master Plan (4 Years) : Work Plan and Progress

Item		Details of Activiites/Sub-Activities			Y2013				Y2014				Y2015				Y2016				Y2017
		% of Payment Planning- by Quarter			5	5	5	5	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5		5
		% of Payment Planning - Accumulation			5	10	15	20	30	40	50	60	65	70	75	80	85	90	95		100
	3.2.1.2	**Activity 3.2.1.2 Documentation of Information on the Availability and Quality of EE Technologies and Practices**																			
		Applied in Thailand and Other Countries																			
	3.2.1.2 a	Review the Existing Demonstration Projects and Case Studies in Other Countries	0.65%	Plan					10	10	25	25	30								
				Actual					0	0											
	3.2.1.2 b	Documentation of Information on the Availability & Quality of EE Technologies and Practices Applied in Th	2.59%	Plan						5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5	
				Actual						0											
	3.2.1.3	**Activity 3.2.1.3 Dissemination of Successful Case Studies on Demo Projects**																			
	3.2.1.3 a	Dissemination of Successful Case Studies on Demo Projects	3.89%	Plan											10	15	20	20	20	15	
				Actual																	
	3.2.2	**Completed training courses for personnel attached to the demo projects**																			
	3.2.2.1	**Activity 3.2.2.1 Design and Conduct of Training Courses for Demo Building Personnel**																			
	3.2.2.1 a	Design the Training Course Outline on Demo Projects & DEDE's Capacity Building	2.59%	Plan									50	50							
				Actual																	
	3.2.2.1 b	Conduct the training Courses on Demo Projects	1.30%	Plan											25	25	25	25			
				Actual																	
	3.3	**Replication of demonstration projects within the commercial building sector**																			
	3.3.1	**Completed project documents/recommendations for EE project replication in the commercial building sector**																			
	3.3.1.1	Preparation of project documents/recommendations for project replication in hotels, hospitals, office buildings and shopping malls		Plan																	
				Actual																	
		Sub-Total Component 3	12.95%																		
					Q2	Q2	Q4/1	Q4/2	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1
		Total (Sub Total PM+Sub Total Component 1 + 2 + 3) : For Contract 1 Only	100%	%Plan	5.0	5.8	9.5	8.8	13.98	9.68	7.9	6.9	5.9	4.1	4.0	4.5	4.1	4.3	2.8	1.2	1.5
				% Actual	5.0	6.2	9.5	5.0	11.54	10.23											
				Accumulation %Plan	5.0	10.8	20.3	29.03	43.0	52.7	60.6	67.6	73.5	77.5	81.6	86.1	90.2	94.4	97.2	98.5	100
				Accumulation %Actual	5.0	11.2	20.6	25.68	37.22	47.45											

Note: responsible by the consultant of contract-2