แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐในประเทศไทยให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

โดย
นางสาววงศิยา อนุศักดากุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐในประเทศไทยให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

โดย
นางสาววงศิยา อนุศักดากุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

GUIDELINES FOR DEVELOPMENT OF NET ZERO ENERGY BUILDINGS FOR GOVERNMENTAL OFFICE BUILDINGS IN THAILAND

By

Miss Wongsiya Anusakdakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2016

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐในประเทศไทยให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์” เสนอโดย นางสาววงศิยา อนุศักดากุล เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
รองศาสตราจารย์ ดร.พันธุดา พุฒิไพโรจน์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.สัทธา ปัญญาแก้ว)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร)
...../...../.....

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พันธุดา พุฒิไพโรจน์)
...../...../.....

57054215: สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คำสำคัญ: อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ / อาคารสำนักงานภาครัฐ / แผงเซลล์แสงอาทิตย์ / การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา

วงศิยา อนุศักดากุล: แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐในประเทศไทยให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: รศ. ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์. 233 หน้า.

แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573) มีเป้าหมายในการปรับศักยภาพพลังงานอาคารภาครัฐและเอกชนให้สูงขึ้น จากเกณฑ์การใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 ที่ใช้ในปัจจุบัน สู่เกณฑ์การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (ZEB) ในปี พ.ศ. 2573 การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินว่า อาคารสำนักงานภาครัฐที่สร้างตามแบบมาตรฐานต่าง ๆ ในปัจจุบัน จะสามารถพัฒนาเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building, NZEB) ได้หรือไม่ หากยังคงรูปลักษณ์และสัดส่วนอาคารแบบเดิม โดยการนำแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานภาครัฐ 3 รูปแบบ ตั้งแต่ขนาดน้อยกว่า 2,000 ตารางเมตร ขนาด 2,000-10,000 ตารางเมตรและขนาดมากกว่า 10,000 ตารางเมตร มาศึกษาการใช้พลังงานและเสนอวิธีลดการใช้พลังงาน เพื่อเปรียบเทียบระหว่างความต้องการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารกับความสามารถในการผลิตพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ บนพื้นที่หลังคาที่มีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งประเมินด้วยโปรแกรม PVsyst Photovoltaic Software ให้เกิดสมดุลพลังงานตามหลักการอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ผลการศึกษาพบว่า อาคารทั้ง 3 รูปแบบก่อนปรับปรุงมีการใช้พลังงานสูงกว่าที่ผลิตได้เอง โดยมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด ซึ่งประเมินด้วยโปรแกรม Building Energy Code (BEC) มีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดผ่านเกณฑ์ทุกอาคาร แต่ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในบางอาคารต่ำกว่าเกณฑ์ จึงแบ่งแนวทางลดการใช้พลังงานดังนี้ แนวทางที่ 1 ปรับปรุงกรอบอาคารเพียงอย่างเดียว ให้ผ่านเกณฑ์ตามกฎหมาย คือ OTTV≤50 วัตต์ต่อตารางเมตร และ RTTV≤15 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยเปลี่ยนวัสดุผนังทึบและกระจก เพิ่มฉนวนใยแก้วใต้หลังคา ซึ่งพบว่าความต้องการพลังงานรวมทุกอาคาร ยังสูงกว่าที่สามารถผลิตได้ จึงยังเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ไม่ได้ แนวทางที่ 2 ปรับปรุงการจัดการระบบภายในอาคาร โดยเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดไฟประสิทธิภาพสูงแอลอีดี (LED) เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ใช้อุปกรณ์สำนักงานและคอมพิวเตอร์ที่มีเครื่องหมายประหยัดพลังงาน Energy Star โดยไม่ปรับปรุงกรอบอาคาร ซึ่งพบว่าแนวทางนี้สามารถลดพลังงานรวมในทุกอาคารได้มากกว่าแนวทางแรก จนสามารถเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้

แต่อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ นอกจากจะเป็นอาคารที่ประหยัดพลังงานแล้ว ยังต้องมีศักยภาพสอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐานพลังงานและกฎหมายด้วย ซึ่งการปรับปรุงผนังและหลังคา ให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา (OTTV, RTTV) ผ่านเกณฑ์ตามกฎหมาย ควบคู่กับการเปลี่ยนหลอดไฟ เครื่องปรับอากาศและอุปกรณ์สำนักงาน จะยิ่งทำให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และยังช่วยลดจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการได้อีกด้วย

ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ลายมือชื่อนักศึกษา ..... ปีการศึกษา 2559
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ .....

57054215: MAJOR: ARCHITECTURE
KEY WORD: NET ZERO ENERGY BUILDING / GOVERNMENT OFFICE BUILDING / SOLAR CELL / OVERALL THERMAL TRANSFER VALUE (OTTV) AND ROOF THERMAL TRANSFER VALUE (RTTV)
WONGSIYA ANUSAKDAKUL: GUIDELINES FOR DEVELOPMENT OF NET ZERO ENERGY BUILDINGS FOR GOVERNMENTAL OFFICE BUILDINGS IN THAILAND. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. PANTUDA PUTHIPIROJ, Ph.D. 233 pp.

Ministry of Energy had Thailand 20 Year Energy Efficiency Development Plan (2011–2030), aimed to increase the energy efficiency of the government and private buildings beyond the Building Energy Code (BEC) toward Net Zero Energy Building (NZEB) within 2030. This study aimed to evaluate the possibility of using the current prototypes of governmental standard buildings design as NZEB without changing their appearance.

The study was conducted by using three government buildings with different sizes from less than 2,000 sq.m., 2,000–10,000 sq.m. to over 10,000 sq.m. To study the total energy and reduce the energy use. Comparative the total energy demand of each building and the total energy produced from rooftop solar cells predicted by PVsyst Photovoltaic Software was analyzed.

The results showed that the energy demand was higher than that being produced. If without any changes, these buildings were not capable of being NZEBs. The building envelops of these buildings have Overall Thermal Transfer Value (OTTV) and Roof Thermal Transfer Value (RTTV) exceed the values allowed by code, estimated by BEC software, while the lighting power density passed. The air-conditioning efficiency in some buildings also did not meet the code. Thus, the methods to reduce the energy consumption to be lower than energy supply from rooftop solar cells can be divided as follows. The first approach was to increase thermal performance of building envelope to pass the building energy code, OTTV≤50 W/sq.m., and RTTV≤15 W/sq.m. By changing envelope materials and strengthening fiberglass insulation under the roof. This was found that the energy demand was still higher than that being produced, not achieving NZEB target.

The second approach was to replace the fluorescent lamps with LED, to use high efficient air-conditioners and use energy-star computers. The second approach showed that the total energy use was lower than the energy supply. The second approach has greater impact in reducing energy to be NZEB.

However, the building envelop should be improved to pass the code in addition to the second approach. If reduced energy consumption by using suitable technology, designing and improving in accordance with the criteria of the energy law and energy production, this will be a net-zero energy building, benefit in energy balancing and reducing the number of solar panels required.

Department of Architecture Graduate School, Silpakorn University
Student's signature..... Academic Year 2016
Thesis Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความเมตตาและกรุณา จากรองศาสตราจารย์ ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ ให้ความรู้และตักเตือนให้ข้าพเจ้าเข้าใจกระบวนการเขียนงานทางวิชาการที่มีคุณภาพ มีความรอบคอบและใส่ใจในรายละเอียดการทำงาน นอกจากนี้ยังได้รับความกรุณาจากคณาจารย์ทุก ๆ ท่านที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความรู้และคำแนะนำเสมอมา

ขอขอบพระคุณครูอาจารย์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ให้คำแนะนำที่ดีและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ คุณนภดล สวาสดิ์ญาติ หัวหน้ากลุ่มงานออกแบบอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเจ้าหน้าที่สำนักสถาปัตยกรรม กรมโยธาธิการและผังเมือง ที่เอื้อเฟื้อแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานและให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณดิลกา จำนงภักดี ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญ ศาลากลางจังหวัดขอนแก่น และคุณสุภาพ ผิวผุย ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญ ศาลากลางจังหวัดมหาสารคาม ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคารศาลากลางจังหวัด ซึ่งเป็นประโยชน์ในการศึกษาอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ คุณพัชรี เริ่มสูงเนิน เสมียนตราอำเภอโนนสูง จังหวัดนครราชสีมา ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลอาคารที่ว่าการอำเภอเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย

ขอขอบคุณพี่ ๆ และเพื่อน สายวิชาอนุรักษ์พลังงาน มหาวิทยาลัยศิลปากร และเพื่อนสถาปัตย์ฯ ขอนแก่นที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอ

ขอขอบพระคุณ ผู้ที่มิได้กล่าวนามทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยเหลือให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และน้องชาย ที่ให้การสนับสนุน ดูแลเอาใจใส่และเป็นกำลังใจสำคัญของข้าพเจ้าตลอดมา และขอบคุณวิทยานิพนธ์เล่มนี้ที่ทำให้ข้าพเจ้าได้ความรู้และประสบการณ์ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ข้าพเจ้า คุณค่าที่เกิดจากงานศึกษานี้ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณและผู้ที่สนใจทุกท่านเช่นกัน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฑ
สารบัญแผนภูมิ ..... ธ
บทที่
1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา 4
ขอบเขตการศึกษา 5
ขั้นตอนการศึกษา 6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7
2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 8
ความสำคัญของการพัฒนาอาคารให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 9
นโยบายและแผนงานที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 9
นโยบายและแผนงาน ด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารของประเทศไทย 10
นโยบายและแผนงานที่เกี่ยวกับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในต่างประเทศ 11
อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 13
คำนิยามของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building, NZEB) 13
ข้อดีและข้อเสียของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 17
ข้อควรพิจารณาเพื่อการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 17
หลักการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 21
การออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ด้านการลดการใช้พลังงานในอาคารที่ตั้งอยู่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น 23
กรณีศึกษาอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 23
สถิติข้อมูลอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 24
กรณีศึกษาอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์หรือที่มีแนวทางใกล้เคียง 25
ตารางสรุปข้อมูลอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 36
พลังงานหมุนเวียนและศักยภาพของพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย 41
พลังงานแสงอาทิตย์ 41
การออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 49

บทที่ หน้า
2 การออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม 54
พลังงานลม 59
แนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารสำนักงาน 61
กรอบอาคาร 61
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 65
ระบบปรับอากาศ 66
ระบบอื่นๆ เช่น อุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้า 67
แนวทางการศึกษาและวิเคราะห์อาคารสำนักงานภาครัฐ 67
การแบ่งประเภทของอาคารสำนักงานราชการ 67
การศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลและการใช้พลังงานในอาคาร 68
สรุปการศึกษาและวิเคราะห์อาคารสำนักงานภาครัฐ 68
3 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย 69
ตอนที่ 1 ขั้นตอนการคัดเลือกอาคารที่เหมาะสมในการศึกษา 70
รูปแบบอาคารสำนักงานภาครัฐที่เลือกศึกษา 70
ตอนที่ 2 วิธีการศึกษาการใช้พลังงานและระบบเซลล์แสงอาทิตย์
ของอาคารที่คัดเลือก 74
การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาอาคาร
ด้วยโปรแกรม Building Energy Code (BEC) V.1.0.6 74
การคำนวณการใช้พลังงานรวมของอาคาร 76
การออกแบบขนาดระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคาร 79
ตอนที่ 3 การสำรวจและประเมินการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานภาครัฐ
ก่อนปรับปรุง 83
อาคารรูปแบบที่ 1 อาคารขนาดมากกว่า 10,000 ตารางเมตร กรณีศึกษา
อาคารศาลากลาง 83
อาคารรูปแบบที่ 2 อาคารขนาด 2,000 – 10,000 ตารางเมตร กรณีศึกษา
อาคารสำนักงานทั่วไป สำนักงานที่ดินขนาดใหญ่ 96
อาคารรูปแบบที่ 3 อาคารขนาดน้อยกว่า 2,000 ตารางเมตร กรณีศึกษา
อาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่ 106
สรุปการวิเคราะห์และประเมินผลการใช้พลังงานเดิมก่อนเสนอแนวทาง
ปรับปรุงอาคาร 117
ตอนที่ 4 การกำหนดแนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐ
ที่คัดเลือกให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 120
การกำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐ 120
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 124

บทที่ หน้า
4 ผลการประเมินขนาดระบบและการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 124
ความต้องการขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตามความต้องการใช้พลังงานเดิมก่อนการปรับปรุง 125
ผลการศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้า จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคาร กรณีติดตั้งบนพื้นที่หลังคา ที่ติดตั้งได้มากที่สุด 126
ผลการประเมินศักยภาพพลังงานอาคารก่อนการปรับปรุงและความเป็นไปได้ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 128
ผลการลดการใช้พลังงานตามแนวทางที่กำหนดและความเป็นไปได้ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 130
แนวทางที่ 1 : ปรับปรุงกรอบอาคาร 130
แนวทางที่ 2 : ปรับปรุงเฉพาะระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ อุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ 134
การปรับปรุงการใช้พลังงานเพิ่มเติม ตามแนวทางที่ 1 และ 2 ร่วมกัน 145
สรุปผลการศึกษาการปรับปรุงอาคารและความเป็นไปได้ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 147
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 150
การศึกษาศักยภาพและการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารก่อนปรับปรุง 152
ขอบเขตการปรับปรุงและพัฒนาอาคารให้มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 152
อภิปรายผลการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐ และความเป็นไปได้ในการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 153
การเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ของอาคารสำนักงานภาครัฐที่คัดเลือก 155
ข้อจำกัดของการศึกษา 156
ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป 163
รายการอ้างอิง 164
ภาคผนวก 169
ภาคผนวก ก 170
ภาคผนวก ข 186
ภาคผนวก ค 226
ประวัติผู้วิจัย 233

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงค่าการใช้พลังงานสุทธิ (Net Consumption) จากแบบจำลองของอาคารแต่ละประเภทในแต่ละระดับความสามารถในการประหยัดพลังงาน	2
2	แสดงเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานที่ใช้ในปัจจุบัน (เกณฑ์ BEC), เกณฑ์ HEPS, เกณฑ์ Econ และเกณฑ์ ZEB	10
3	แสดงวิธีการออกแบบและข้อจำกัดของประเภทอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์	13
4	การจัดลำดับแหล่งพลังงานหมุนเวียนตามการใช้งานของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์	15
5	ข้อดีและข้อเสียของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์	17
6	ข้อมูลอาคาร กรณีศึกษาอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ข้อมูลการใช้และการผลิตพลังงาน	38
7	ข้อมูลอาคารและการออกแบบ กรณีศึกษาอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์	39
8	แสดงค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของแต่ละประเทศ	41
9	แสดงชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์และข้อดีข้อเสีย	44
10	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์	45
11	แสดงตัวอย่างค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือนในรอบ 3 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543-พ.ศ. 2545 ของกรุงเทพมหานคร	51
12	แสดงชนิดและลักษณะการเลือกใช้งานของอินเวอร์เตอร์	53
13	ข้อดีและข้อจำกัดของการใช้พลังงานลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า	61
14	แสดงคุณสมบัติของวัสดุผนังทึบ	62
15	แสดงคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อน	64
16	การกำหนดเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552	66
17	การวิเคราะห์อาคารสำนักงานที่คัดเลือก	70
18	ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนที่เป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศ และจำนวนชั่วโมงใช้งานสำหรับอาคารแต่ละประเภท	77
19	การใช้พื้นที่ของอาคารรูปแบบที่ 1 กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัด	85
20	ส่วนประกอบของวัสดุผนังทึบอาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง	88
21	ส่วนประกอบของผนังโปร่งแสง อาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง	88
22	พื้นที่ผนังทึบและกระจกกรอบอาคารส่วนพื้นที่ปรับอากาศ ในอาคารรูปแบบที่ 1	89
23	พื้นที่ผนังทึบและกระจกกรอบอาคารส่วนพื้นที่ไม่ปรับอากาศ ในอาคารรูปแบบที่ 1	89
24	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง	91
25	การกำหนดช่วงเวลาทำงานของอาคารรูปแบบที่ 1	91
26	ข้อมูลการใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง	92
27	ข้อมูลระบบปรับอากาศอาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง	93
28	ข้อมูลอุปกรณ์สำนักงานของอาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง	94

ตารางที่		หน้า
29	ผลการประเมินการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง	95
30	การใช้พื้นที่ของอาคารรูปแบบที่ 2 กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป	97
31	ส่วนประกอบของวัสดุผนังทึบอาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง	98
32	ส่วนประกอบของผนังโปร่งแสง อาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง	99
33	พื้นที่ผนังทึบและกระจกของอาคารส่วนพื้นที่ปรับอากาศ ในอาคารรูปแบบที่ 2	99
34	พื้นที่ผนังทึบและกระจกของอาคารส่วนพื้นที่ไม่ปรับอากาศ ในอาคารรูปแบบที่ 2	99
35	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง	100
36	การกำหนดช่วงเวลาทำงานของอาคารรูปแบบที่ 2	101
37	ข้อมูลการใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง	102
38	ข้อมูลระบบปรับอากาศ อาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง	104
39	ข้อมูลอุปกรณ์สำนักงานของอาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง	105
40	ผลการประเมินการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง	105
41	การใช้พื้นที่ของอาคารรูปแบบที่ 3 กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่	108
42	ส่วนประกอบของวัสดุผนังทึบ อาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง	110
43	ส่วนประกอบของผนังโปร่งแสง อาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง	110
44	พื้นที่ผนังทึบและกระจกของกรอบอาคารส่วนพื้นที่ปรับอากาศ ของอาคารรูปแบบที่ 3	111
45	พื้นที่ผนังทึบและกระจกของกรอบอาคารส่วนพื้นที่ไม่ปรับอากาศ ของอาคารรูปแบบที่ 3	111
46	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง	112
47	การกำหนดช่วงเวลาทำงานของอาคารรูปแบบที่ 3	112
48	ข้อมูลการใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง	113
49	ข้อมูลระบบปรับอากาศอาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง	115
50	ข้อมูลอุปกรณ์สำนักงานของอาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง	116
51	ผลการประเมินการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง	116
52	การเปรียบเทียบศักยภาพอาคารก่อนปรับปรุง กับเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงาน ขั้นต่ำ (BEC) และเกณฑ์การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (ZEB) ตามเป้าหมาย ในปี พ.ศ. 2573	118
53	การใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ อุปกรณ์สำนักงาน และการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารทุกรูปแบบ ก่อนปรับปรุง	118
54	รายละเอียดหลังคาอาคารทั้ง 3 รูปแบบที่คัดเลือก	124
55	พลังงานที่ใช้และขนาดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการ ก่อนปรับปรุง การใช้พลังงานของอาคารทั้ง 3 รูปแบบ	125
56	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคากรณีติดตั้งบนพื้นที่หลังคา ที่ติดตั้งได้มากที่สุด ของอาคารทั้ง 3 รูปแบบ	127

ตารางที่ หน้า

57 ผลประเมินการใช้พลังงานในอาคารก่อนปรับปรุงและเปรียบเทียบกับพลังงานที่ผลิตได้ 129
58 ส่วนประกอบหลังคาอาคารทั้ง 3 รูปแบบก่อนการปรับปรุง 130
59 ส่วนประกอบหลังคาอาคารทั้ง 3 รูปแบบหลังการปรับปรุง 130
60 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (RTTV) ของอาคารทั้ง 3 รูปแบบก่อนและหลังปรับปรุง 131
61 แสดงวัสดุผนัง กระจก ของอาคารทั้ง 3 รูปแบบ ก่อนและหลังปรับปรุง 132
62 แสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุช่องเปิดที่ปรับปรุงใหม่ 132
63 แสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุผนังทึบที่ปรับปรุงใหม่ 132
64 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) ของอาคารทั้ง 3 รูปแบบก่อนและหลังปรับปรุง 133
65 เปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตได้และพลังงานรวมทั้งอาคารหลังจากปรับปรุงแนวทางที่ 1 133
66 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารรูปแบบที่ 1 หลังปรับปรุง 135
67 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารรูปแบบที่ 2 หลังปรับปรุง 135
68 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารรูปแบบที่ 3 หลังปรับปรุง 136
69 สรุปการใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารทุกรูปแบบก่อนและหลังปรับปรุง 138
70 ระบบปรับอากาศอาคารรูปแบบที่ 1 หลังปรับปรุง 139
71 ระบบปรับอากาศอาคารรูปแบบที่ 3 หลังปรับปรุง 140
72 สรุปการใช้พลังงานระบบปรับอากาศของอาคารทุกรูปแบบก่อนและหลังปรับปรุง 141
73 ข้อมูลอุปกรณ์สำนักงานของอาคารรูปแบบที่ 1 หลังปรับปรุง 142
74 ข้อมูลอุปกรณ์สำนักงานของอาคารรูปแบบที่ 2 หลังปรับปรุง 142
75 ข้อมูลอุปกรณ์สำนักงานของอาคารรูปแบบที่ 3 หลังปรับปรุง 143
76 การใช้พลังงานระบบปรับอากาศของอาคารทุกรูปแบบก่อนและหลังปรับปรุง 143
77 สรุปเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตได้และพลังงานรวมทั้งอาคารหลังปรับปรุงแนวทางที่ 2 144
78 สรุปเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตได้และพลังงานรวมทั้งอาคาร หลังจากปรับปรุงแนวทางที่ 1 และ 2 ร่วมกัน 146
79 สรุปผลพลังงานก่อนและหลังปรับปรุงอาคาร เปรียบเทียบกับพลังงานที่สามารถผลิตได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 154
80 สรุปผลพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแยกตามทิศ ของอาคารรูปแบบที่ 1 ประเมินด้วยโปรแกรม PVsyst 187
81 สรุปผลพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแยกตามทิศ ของอาคารรูปแบบที่ 2 ประเมินด้วยโปรแกรม PVsyst 200

ตารางที่ หน้า

82 สรุปผลพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์
บนหลังคาแยกตามทิศ ของอาคารรูปแบบที่ 3 ประเมินด้วยโปรแกรม PVsyst... 213
83 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนและหลังปรับปรุง
อาคารรูปแบบที่ 1..... 227
84 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนและหลังปรับปรุง
อาคารรูปแบบที่ 2..... 229
85 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนและหลังปรับปรุง
อาคารรูปแบบที่ 3..... 231

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงภาพรวมของการใช้พลังงานในอาคาร การเชื่อมต่อกับระบบสายส่ง และแนวคิดความสมดุลของพลังงาน อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์	19
2	แสดงหลักการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์	21
3	แสดงตำแหน่งที่ตั้งอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์	24
4	แสดงสัดส่วนปริมาณอาคารและการเพิ่มจำนวนอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์	25
5	ภาพถ่ายทางอากาศ อาคารกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยขอนแก่น	26
6	ภาพลักษณะอาคารกองสื่อสารองค์กรมหาวิทยาลัยขอนแก่น	27
7	ลักษณะหลังคาอาคารก่อนและหลังปรับปรุง	28
8	ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและท่อนำแสงของอาคารกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยขอนแก่น	28
9	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยขอนแก่น	29
10	ภาพรวมอาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus (ตลาดโลตัส)	30
11	แสดงบรรยากาศภายในอาคารส่วนของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และช่องแสงด้านข้าง	30
12	แสดงตู้แช่อาหารปรับอากาศ และพื้นที่ระบบปรับอากาศ อาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus (ตลาดโลตัส)	31
13	แสดงพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาและฟาร์มโซล่าเซลล์	31
14	แสดงเครื่องทำความร้อน ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ อาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus (ตลาดโลตัส)	32
15	แสดงห้องควบคุม และหน้าจอแสดงผลการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ อาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus (ตลาดโลตัส)	32
16	ทัศนียภาพภายนอกอาคาร Zero Energy Building (ZEB) at BCA Academy	33
17	ทัศนียภาพภายในอาคาร การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในห้องทำงาน	34
18	แสดงท่อปรับอากาศจากพื้นอาคาร ZEB at BCA Academy	34
19	แสดง Green Roof ของอาคาร ZEB at BCA Academy	35
20	แสดงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำหน้าที่เป็น façade และแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา	36
21	แสดงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย	42
22	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนผลึกเดี่ยว (Mono Crystaline)	43
23	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนผลึกโพลี (Poly Crystaline)	43
24	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบไม่มีรูปผลึก (Thin Film)	43
25	ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระต่อตรงเข้ากับโหลดไฟฟ้า	46
26	ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่เชื่อมต่อกับแบตเตอรี่	46
27	ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ แบบมีอุปกรณ์ควบคุมการประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่	46

ภาพที่		หน้า
28	ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ	47
29	ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ แบบมีแหล่งผลิตไฟฟ้าหลายแหล่ง	47
30	ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งของการไฟฟ้า (grid connected system)	47
31	แสดงรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนอาคาร	49
32	แสดงขั้นตอนการออกแบบขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์	50
33	แสดงตัวอย่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PVsyst Photovoltaic Software	55
34	หน้าต่างกรอกข้อมูลโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PVsyst Photovoltaic Software	56
35	แสดงตัวอย่างโปรแกรมออนไลน์ PVWatts Calculator	57
36	ตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณของโปรแกรมออนไลน์ PVWatts Calculator	58
37	แสดงศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทย	59
38	แสดงระบบการติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า แบบเดี่ยว	60
39	แสดงระบบการติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า แบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง	60
40	แสดงลักษณะของผนัง	62
41	แสดงลักษณะของท่อนำแสง (Light Pipe)	65
42	แสดงลักษณะของหิ้งสะท้อนแสง (Light shelf)	65
43	แสดงภาพสามมิติ อาคารรูปแบบที่ 1	71
44	บริเวณด้านในและด้านนอกอาคารศาลากลางจังหวัด	72
45	แสดงภาพสามมิติอาคารรูปแบบที่ 2	72
46	แสดงภาพสามมิติอาคารรูปแบบที่ 3	73
47	บริเวณด้านในและด้านนอกอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่	73
48	แสดงหน้าหลักของโปรแกรม BEC	75
49	การแสดงผลการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของโปรแกรม BEC	75
50	แสดงตัวอย่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว ขนาด 250 Wp	80
51	หน้าต่างโปรแกรม PVsyst และการเลือกวิธีการออกแบบขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์	81
52	แสดงรายงานการประเมินผลการผลิตพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม PVsyst	82
53	ลักษณะการจัดพื้นที่ใช้สอยของอาคารรูปแบบที่ 1	83
54	การแบ่งพื้นที่ปรับอากาศ (สีน้ำตาล) และไม่ปรับอากาศ ผังพื้นอาคารรูปแบบที่ 1 ชั้น 1 และชั้น 2	84
55	การแบ่งพื้นที่ปรับอากาศ (สีน้ำตาล) และไม่ปรับอากาศ ผังพื้นอาคารรูปแบบที่ 1 ชั้น 3 และชั้น 4	84
56	ผังหลังคาอาคารรูปแบบที่ 1 กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัด	87

ภาพที่ หน้า

57 รูปด้านอาคารรูปแบบที่ 1 ทิศเหนือและทิศใต้ 87
58 รูปด้านอาคารรูปแบบที่ 2 ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก 87
59 ผลการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) ของอาคารรูปแบบที่ 1 ด้วยโปรแกรม BEC 91
60 ลักษณะการวางผังระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารรูปแบบที่ 1 92
61 การแบ่งพื้นที่ปรับอากาศ (สีน้ำตาล) และไม่ปรับอากาศ ผังพื้นอาคารรูปแบบที่ 2 ชั้น 1 และชั้น 2 96
62 ผังหลังคาอาคารรูปแบบที่ 2 กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป 96
63 รูปด้านอาคารรูปแบบที่ 2 กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป 98
64 ผลการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) ของอาคารรูปแบบที่ 2 ด้วยโปรแกรม BEC 101
65 ลักษณะการวางผังระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง 101
66 ลักษณะการจัดพื้นที่ใช้สอยของอาคารรูปแบบที่ 3 107
67 การแบ่งพื้นที่ปรับอากาศ (สีน้ำตาล) และไม่ปรับอากาศ ผังพื้นอาคารรูปแบบที่ 3 ชั้น 1 107
68 การแบ่งพื้นที่ปรับอากาศ (สีน้ำตาล) และไม่ปรับอากาศ ผังพื้นอาคารรูปแบบที่ 3 ชั้น 2 107
69 ผังหลังคาอาคารรูปแบบที่ 3 กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอ 108
70 รูปด้านอาคารรูปแบบที่ 3 กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่ 109
71 ผลการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) อาคารรูปแบบที่ 3 ด้วยโปรแกรม BEC 112
72 ลักษณะการวางผังระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารรูปแบบที่ 3 113
73 แนวทางปรับปรุงอาคารที่คัดเลือกให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 121
74 แสดงผังหลังคาอาคารที่คัดเลือกมาศึกษา 125
75 แสดงสัดส่วนของพื้นที่หลังคาอาคาร รูปแบบที่ 1 ที่ถูกตัดทอนออกไป 126
76 พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารรูปแบบที่ 1 126
77 แสดงสัดส่วนของพื้นที่หลังคาอาคาร รูปแบบที่ 2 ที่ถูกตัดทอนออกไป 127
78 พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาหลังคาอาคารรูปแบบที่ 2 127
79 แสดงสัดส่วนของพื้นที่หลังคาอาคาร รูปแบบที่ 3 ที่ถูกตัดทอนออกไป 127
80 พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาหลังคาอาคารรูปแบบที่ 3 127
81 การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารทั้ง 3 รูปแบบ 128
82 อาคารรูปแบบที่ 1 151
83 อาคารรูปแบบที่ 2 151
84 อาคารรูปแบบที่ 3 151

ภาพที่ หน้า

85 แผนความคิดสรุปหลักการในการพัฒนาอาคารให้เป็นอาคาร ที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 155
86 ตัวอย่างสัดส่วนพื้นที่หลังคาที่ถูกตัดทอนออกไปสำหรับการติดตั้ง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารรูปแบบที่ 1 159
87 ผังหลังคาอาคารรูปแบบที่ 1 กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัด 160
88 ตัวอย่างสัดส่วนพื้นที่หลังคาที่ถูกตัดทอนออกไปสำหรับการติดตั้ง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารรูปแบบที่ 2 160
89 ผังหลังคาอาคารรูปแบบที่ 2 กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป 161
90 ตัวอย่างสัดส่วนพื้นที่หลังคาที่ถูกตัดทอนออกไปสำหรับการติดตั้ง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารรูปแบบที่ 3 161
91 ผังหลังคาอาคารรูปแบบที่ 3 กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่ 162
92 แสดงหน้าต่างโปรแกรม BEC และลำดับการเข้าสู่ระบบ 172
93 แสดงหน้าหลักของโปรแกรม BEC 172
94 แสดงลำดับการกรอกข้อมูลผนัง 173
95 แสดงลำดับการระบุส่วนประกอบวัสดุ (component detail) ที่ประกอบกันเป็นผนัง หลังคา และชนิดกระจก 173
96 ลำดับการกรอกข้อมูล “Section of Wall” ในส่วน “List of Section” โปรแกรม BEC 174
97 ลำดับการกรอกข้อมูล “Section of Wall” ในส่วน “Section Detail” โปรแกรม BEC 174
98 ลำดับการกรอกข้อมูล “Wall” ในส่วนของ “List of Wall” โปรแกรม BEC 175
99 ลำดับการกรอกข้อมูล “Wall” ในส่วนของ “Wall Details” โปรแกรม BEC 175
100 ลำดับการกรอกข้อมูลระบบไฟฟ้าแสงสว่างในโปรแกรม BEC 176
101 ลำดับการกรอกข้อมูลระบบปรับอากาศ ในโปรแกรม BEC 176
102 ลำดับการกรอกข้อมูลรายละเอียดอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ในอาคาร โดยใช้โปรแกรม BEC 177
103 ลำดับการกำหนดโซนของอาคาร (building zone) ในคำสั่ง “List of Building Zone” โปรแกรม BEC 178
104 ลำดับการกำหนดโซนของอาคาร (building zone) ในคำสั่ง “Components in Building Zone” โปรแกรม BEC 178
105 การแสดงผลการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของโปรแกรม BEC 179
106 การแสดงผลประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง โปรแกรม BEC 180
107 การแสดงผลประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ โปรแกรม BEC 180
108 หน้าต่างโปรแกรม PVsyst และการเลือกวิธีการออกแบบ ขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 181

ภาพที่ หน้า

109 ลำดับการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งโครงการ ในโปรแกรม PVsyst 182
110 ลำดับการกำหนดทิศทางและมุมเอียงหลังคาอาคารที่ทำการประเมิน
ในโปรแกรม PVsyst..... 183
111 ลำดับการกำหนดส่วนประกอบของระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อประเมินผล
ในโปรแกรม PVsyst..... 184
112 ลำดับการสั่งประเมินผลการผลิตพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ด้วยโปรแกรม PVsyst..... 185
113 หน้าต่างแสดงผลการประเมินการผลิตพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์
ด้วยโปรแกรม PVsyst..... 185
114 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศเหนือ (1)..... 188
115 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศเหนือ (2)..... 189
116 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศเหนือ (3)..... 190
117 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศใต้ (1)..... 191
118 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศใต้ (2)..... 192
119 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศใต้ (3)..... 193
120 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศตะวันออก (1)..... 194
121 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศตะวันออก (2)..... 195
122 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศตะวันออก (3)..... 196
123 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศตะวันตก (1)..... 197
124 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศตะวันตก (2)..... 198
125 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศตะวันตก (3)..... 199
126 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศเหนือ (1)..... 201

ภาพที่ หน้า

127 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศเหนือ (2) 202
128 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศเหนือ (3) 203
129 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศใต้ (1) 204
130 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศใต้ (2) 205
131 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศใต้ (3) 206
132 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศตะวันออก (1) 207
133 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศตะวันออก (2) 208
134 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศตะวันออก (3) 209
135 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศตะวันตก (1) 210
136 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศตะวันตก (2) 211
137 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศตะวันตก (3) 212
138 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศเหนือ (1) 214
139 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศเหนือ (2) 215
140 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศเหนือ (3) 216
141 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศใต้ (1) 217
142 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศใต้ (2) 218
143 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศใต้ (3) 219

ภาพที่ หน้า

144 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศตะวันออก (1)..... 220
145 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศตะวันออก (2)..... 221
146 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศตะวันออก (3)..... 222
147 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศตะวันตก (1)..... 223
148 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศตะวันตก (2)..... 224
149 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศตะวันตก (3)..... 225

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่		หน้า
1	ขั้นตอนดำเนินการศึกษาวิจัย	69
2	เปรียบเทียบพลังงานรวมทั้งอาคารก่อนและหลังปรับปรุงแนวทางที่ 1 กับพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	134
3	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งต่อพื้นที่ (LPD) ก่อนและหลังปรับปรุง (W/m^2)	138
4	เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศ (COP) ก่อนและหลังปรับปรุง	141
5	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ใช้อุปกรณ์ต่อพื้นที่ (EQD) ก่อนและหลังปรับปรุง (W/m^2)	143
6	สรุปผลเปรียบเทียบพลังงานรวมทั้งอาคาร ($kWh/m^2/year$) ก่อนและหลังปรับปรุงแนวทางที่ 2 กับพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ($kWh/m^2/year$)	145
7	สรุปผลเปรียบเทียบพลังงานรวมทั้งอาคาร ($kWh/m^2/year$) ก่อนและหลังปรับปรุงแนวทางที่ 1+2 กับพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ($kWh/m^2/year$)	146
8	สรุปผลเปรียบเทียบพลังงานรวมทั้งอาคาร ($kWh/m^2/year$) ก่อนและหลังปรับปรุงทุกแนวทาง กับพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ($kWh/m^2/year$)	148

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กระทรวงพลังงานได้จัดทำแผนอนุรักษ์พลังงานระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573) เพื่อกำหนดนโยบายด้านการอนุรักษ์พลังงานในระยะยาว เป้าหมายหนึ่งคือการปรับระดับศักยภาพพลังงานของอาคารภาครัฐและเอกชนให้สูงขึ้น โดยประเมินจากเกณฑ์มาตรฐานอาคารอนุรักษ์พลังงาน คือเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ที่บังคับใช้ในปัจจุบัน สู่เกณฑ์การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (ZEB) ภายในปี พ.ศ. 2573 เริ่มจากการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารของหน่วยงานภาครัฐ และสนับสนุนให้อาคารของหน่วยงานภาครัฐแสดงบทบาทการเป็นผู้นำและเป็นแบบอย่างที่ดีแก่หน่วยงานและอาคารประเภทอื่น ๆ[1] เช่น การจัดทำโครงการลดการใช้พลังงานในภาคราชการที่จัดทำโดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (ปี พ.ศ. 2558) หรือการรณรงค์ให้มีการออกแบบอาคารต้นแบบอาคารราชการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อเผยแพร่ให้แก่หน่วยงานและผู้ที่สนใจ ถือเป็นการวางรากฐานเพื่อปรับระดับประสิทธิภาพพลังงานสู่อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในอนาคต

อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building, NZEB) คือ อาคารที่มีการประหยัดพลังงานจากการออกแบบ เลือกใช้เทคโนโลยีที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน สามารถผลิตพลังงานได้เองจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนต่าง ๆ คิดได้จากพลังงานที่ผลิตได้ลบกับพลังงานที่ใช้ในอาคารมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ หรือเรียกว่า “เกิดสมดุลพลังงาน” อย่างไรก็ตามการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์นั้น ยังขึ้นอยู่กับที่ตั้งและสภาพภูมิอากาศด้วย ซึ่งสภาพภูมิอากาศจะมีผลต่อการผลิตพลังงานได้มากน้อยตามระยะเวลา เช่น การผลิตพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์ ในวันที่มีสภาพอากาศผิดปกติ วันที่ฝนตก มีความเข้มของแสงอาทิตย์น้อย ก็จะทำให้ผลิตพลังงานได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการได้ เป็นต้น นอกจากนี้การใช้งานอาคารหรือการก่อสร้างอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์นั้น ต้องไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม และหากสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ จะเป็นผลดีอย่างยิ่ง

ข้อดีและศักยภาพของการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์นั้น จากแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573) ได้ประเมินการใช้พลังงานของอาคาร โดยเปรียบเทียบการใช้พลังงานสุทธิของอาคารประเภทต่าง ๆ ที่ออกแบบตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงาน ดังนี้

1. Building Energy Code (BEC) คือ เกณฑ์การใช้พลังงานขั้นต่ำ ซึ่งกำหนดอยู่ในกฎกระทรวง พ.ศ. 2552

[1] กระทรวงพลังงาน, “แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573).” 2554: 3-5,5-13.

2. High Energy Performance Standard (HEPS) คือ ระดับเกณฑ์มาตรฐานขั้นสูงของระบบต่าง ๆ ซึ่งเป็นเป้าหมายที่บรรลุด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน

3. Economic building (Econ) คือ เป้าหมายในอนาคตอันใกล้ มีการพัฒนาเทคโนโลยีของอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นไปอีกแต่ยังมีความคุ้มค่าในการลงทุน

4. Zero Energy Building (ZEB) คือ เป้าหมายในระยะยาวที่อาคารใช้พลังงานที่จ่ายเข้าจากภายนอกในระดับใกล้ศูนย์ เนื่องจากความต้องการพลังงานของอาคารที่ต่ำมากและยังมีการผลิตพลังงานที่ใช้ในอาคารจากพลังงานหมุนเวียนด้วย

พบว่าอาคารที่ออกแบบตามเกณฑ์การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (ZEB) มีการใช้พลังงาน 1/4 ถึง 1/3 ของการใช้พลังงานในกรณีอ้างอิงในปัจจุบัน (reference) ซึ่งทำให้เห็นศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานสูงสุด[2] แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าการใช้พลังงานสุทธิ (Net Energy Consumption) จากแบบจำลองของอาคารแต่ละประเภทในแต่ละระดับความสามารถในการประหยัดพลังงาน

ประเภทอาคาร	**การใช้พลังงานภายใต้ระดับความสามารถในการอนุรักษ์พลังงาน (kWh/m^2/year)**				
	Reference	**BEC**	**HEPS**	**ECON**	**ZEB**
เป้าหมายปีที่ใช้	**2555**	**2558**	**2564**	**2570**	**2576**
อาคารสำนักงาน	219	171	141	82	57
อาคารห้างสรรพสินค้า	308	231	194	146	112
อาคารธุรกิจค้าปลีกและส่ง	370	298	266	161	126
โรงแรม	271	199	160	116	97
คอนโดมิเนียม	256	211	198	132	95
สถานพยาบาล	244	195	168	115	81
สถานศึกษา	102	85	72	58	39
อาคารทั่วไป	182	134	110	66	53

ที่มา: กระทรวงพลังงาน, “แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573).” 2554: 3-5; ดนัย เอกกมล, “การปฏิรูปการอนุรักษ์พลังงานในอาคารและหน่วยราชการโดยใช้กลไก BEC” (เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาคณะกรรมาธิการปฏิรูปพลังงาน สภาปฏิรูปแห่งชาติ, สโมสรทหารบก กรุงเทพฯ, 2558),18.

อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ยังมีแนวคิดในการใช้ระบบพลังงานหมุนเวียนเป็นหลักสำคัญ ช่วยลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นปัญหาทำให้โลกร้อนได้ แต่อาจมีข้อเสียด้านการลงทุนสูง เนื่องจากต้องใช้อุปกรณ์หรือเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบ แต่

[2] กระทรวงพลังงาน, “แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573).” 3-6.

เมื่อคิดถึงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน ของแต่ละระบบที่ใช้ในอาคารจะลดลงได้มาก หากประสิทธิภาพของระบบมีเพิ่มมากขึ้น[3]

ในต่างประเทศเริ่มให้ความสนใจและพัฒนาอาคารให้เป็นอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์มากขึ้น เช่น ในกลุ่มสมาชิกสหภาพยุโรป ได้จัดทำยุทธศาสตร์แห่งชาติยุโรป (European National Strategies) สู่อาคารที่ใช้พลังงานต่ำมาก (very low energy buildings) โดยกำหนดว่า ในวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2563 อาคารที่สร้างขึ้นมาใหม่ทั้งหมดจะต้องเป็นอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเกือบศูนย์ (nearly zero energy building) และหลังวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2561 อาคารใหม่ที่มีการใช้งานอยู่และเป็นเจ้าของโดยหน่วยงานรัฐบาล จะต้องเป็นอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเกือบศูนย์ หรือในประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีเป้าหมายยุทธศาสตร์ระยะยาวในการออกแบบเทคโนโลยีและออกแบบอาคารให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในปี พ.ศ. 2563[4] ในส่วนของทวีปเอเชียนั้น ประเทศญี่ปุ่นได้กำหนดให้ อาคารสาธารณะที่มีการสร้างใหม่เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ภายในปี พ.ศ. 2563 เช่นกัน แต่ในส่วนของอาคารภาคเอกชนนั้นให้เป็นไปตามเป้าหมายภายในปี พ.ศ. 2573[5] และเช่นเดียวกันกับประเทศสิงคโปร์ที่มีนโยบายสร้างอาคารที่มีความยั่งยืนภายในปี พ.ศ. 2573 หนึ่งในนั้นคือการพัฒนาอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

การศึกษาความหมายและหลักการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานศูนย์มีอยู่มากมายในต่างประเทศ โดยการศึกษาของ S. Deng a และคณะ (2014) ได้เปรียบเทียบแนวทางการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ทั้งหมด 30 อาคารจากทั้งหมดทั่วโลก โดยแบ่งตามสภาพภูมิอากาศและที่ตั้ง ทำให้เกิดข้อสังเกตว่าในแต่ละสภาพภูมิอากาศหรือในประเภทอาคารที่แตกต่างกัน จะมีวิธีการออกแบบและใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน รวมทั้งในการกำหนดคำนิยามของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ยังขึ้นอยู่กับประเภทของพลังงานหมุนเวียนและตัวชี้วัดความสมดุลที่เลือกใช้ในแต่ละโครงการด้วย[6] ดังนั้นแม้ว่าในต่างประเทศจะมีการศึกษาออกแบบและพัฒนาอาคารมากมาย อาจนำมาใช้กับพื้นที่อื่นได้ไม่เหมาะสมหรืออาจให้ผลทางด้านพลังงานที่แตกต่างออกไปตามแต่ละสภาพภูมิอากาศและสภาพพื้นที่

ในขณะที่การศึกษาและเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในประเทศไทยยังมีไม่มากนัก แต่ก็ยังมีการศึกษาและออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์อยู่ 1 แห่ง คือ โครงการพัฒนาเทคโนโลยีอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศ

---

[3] Surapong Chirarattananon, “Building Energy Conservation in Thailand, in The Joint Graduate School of Energy and Materials.” (n.d.), 27.

[4] Karsten Voss and Eike Musall, **Net Zero Energy Buildings International Project of Carbon Neutrality in Building**, 2013 new ed. (Hackerbrucke 6, D-80335 Munich: GmbH&Co.KG, 2011), 12.

[5] Tatsuo Ito. **Japan Pushes Zero-Energy Structures** (2014), accessed September 14,2015, available from ttp://www.wsj.com/articles/japan-pushes-zero-energy-structures-1411745117.

[6] Paul Torcellini, et al., “Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition.” **National Renewable Energy Laboratory: Innovation for Our Energy Future**, **Conference Paper NREL/CP-550-39833**, (June 2006): 1-15.

ไทย อาคารกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นอาคาร 2 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 315 ตารางเมตร และพื้นที่หลังคา 200 ตารางเมตร มีการปรับปรุงระบบการใช้พลังงานในอาคารให้มีประสิทธิภาพสูง ปรับรูปแบบหลังคาทรงปั้นหยาเป็นหลังคาเพิง ลาดเอียง 12.5 องศากับแนวระนาบสำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยหลังการปรับปรุง ทำให้อาคารใช้พลังงานรวมรายปีเพียง 69.5 kWh/m^2/year และสามารถผลิตพลังงานได้ 28,707 kWh/year (หรือ 91.13 kWh/m^2/year) ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการพลังงาน สามารถเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ และจากการรวบรวมกรณีศึกษาอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ประเภทสำนักงานจำนวน 24 อาคาร ที่ตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นหรือที่ใกล้เคียงกับประเทศไทยพบว่า อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ส่วนใหญ่จะเป็นอาคารสูง 2-3 ชั้น ขนาดพื้นที่ 300-4,500 ตารางเมตร และมีค่าเฉลี่ยของการใช้พลังงาน 75 kWh/m^2/year

จึงเกิดคำถามในการศึกษานี้ว่า หากเป็นอาคารอื่น ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น มีจำนวนชั้นที่มากกว่า และผังอาคารมีความซับซ้อนมากขึ้น เมื่อมีการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยไม่ปรับปรุงรูปลักษณ์หรือสัดส่วนของอาคาร จะสามารถเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้หรือไม่

อย่างไรก็ตาม จากความต้องการลดการใช้พลังงานภายในประเทศลงให้ได้ร้อยละ 25 ในปี พ.ศ. 2573 ของแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573) จึงได้มีเป้าหมายหนึ่งคือการปรับระดับศักยภาพพลังงานของอาคาร โดยเริ่มจากการสนับสนุนมาตรการประหยัดพลังงานอาคารภาครัฐและพัฒนาออกแบบปรับปรุงอาคารภาครัฐให้เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงาน เพื่อเป็นแบบอย่างแก่อาคารอื่น ซึ่งจะช่วยผลักดันให้สามารถพัฒนาอาคารได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

การศึกษานี้จึงได้คัดเลือกอาคารสำนักงานภาครัฐ 3 แบบที่มีขนาดต่างกัน ตั้งแต่น้อยกว่า 2,000 ตารางเมตร จนถึงมากกว่า 10,000 ตารางเมตร ที่เป็นแบบมาตรฐานจากส่วนกลาง เพื่อศึกษาศักยภาพที่มีอยู่เดิม ปรับปรุงการใช้พลังงานของอาคาร โดยไม่เปลี่ยนสัดส่วนใด ๆ ของอาคารและประเมินความเป็นไปได้ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยการเลือกศึกษาอาคารภาครัฐที่มีรูปแบบที่และขนาดที่แตกต่างออกไปนั้น จะทำให้เห็นถึงความแตกต่างของการใช้และการผลิตพลังงานในอาคารแต่ละรูปแบบ รวมทั้งจะช่วยให้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาอาคารตามเป้าหมายของแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573) ได้อย่างกว้างขวาง ในแง่ของอาคารอื่น ๆ ที่มีขนาดหรือลักษณะใกล้เคียง ซึ่งจะเป็นประโยชน์มากกว่าการศึกษาเพียงอาคารใดอาคารหนึ่ง

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาคำนิยาม ความหมาย ทฤษฎี แนวคิดและวิธีการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building, NZEB) โดยทำการศึกษาในส่วนของงานวิจัย หนังสือและบทความที่เกี่ยวข้อง

2. เพื่อศึกษากรณีศึกษาอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building, NZEB) ทั้งในและต่างประเทศ รวบรวมวิเคราะห์วิธีการออกแบบ และประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน เพื่อนำมาสู่แนวทางการออกแบบที่เหมาะสมในประเทศไทย

3. เพื่อเสนอแนวทางปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐ จากหลักการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์และประเมินความเป็นไปได้ของอาคารสำนักงานภาครัฐ ในการพัฒนาให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในช่วงเวลาปัจจุบัน และเป็นไปตามเป้าหมายของแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573)

ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตการศึกษาด้านการทบทวนวรรณกรรมของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

1. ศึกษา วิเคราะห์นโยบายและแผน ตลอดจนวิธีการการออกแบบอาคารใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building, NZEB) จากงานวิจัย หนังสือ และบทความที่เกี่ยวข้อง

2. ศึกษาวิธีการออกแบบอาคารใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building, NZEB) และประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของอาคารจากกรณีศึกษาที่มีอยู่ทั้งต่างประเทศและในประเทศไทย โดยเลือกกรณีศึกษาเฉพาะอาคารประเภทสำนักงาน ที่ตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้นหรือสภาพอากาศใกล้เคียงกับประเทศไทย

ขอบเขตการศึกษาด้านการปรับปรุงพัฒนาอาคารสำนักงานภาครัฐ เพื่อเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

1. ศึกษาการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารเดิมของสำนักงานภาครัฐที่คัดเลือก 3 รูปแบบ โดยแบ่งเป็นอาคารที่มีขนาดน้อยกว่า 2,000 ตารางเมตร อาคารที่มีขนาดมากกว่า 2,000-10,000 ตารางเมตร และอาคารที่มีขนาดมากกว่า 10,000 ตารางเมตร รวมทั้งศึกษาความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

2. เสนอการปรับปรุงการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานภาครัฐที่คัดเลือก โดยยังคงรูปลักษณ์และสัดส่วนเดิมของอาคารตามแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานภาครัฐ

2.1 ปรับปรุงเฉพาะวัสดุผนังและหลังคาอาคาร เพื่อให้มีค่าการถ่ายความร้อนผ่านผนังและหลังคาผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ตามกฎกระทรวง ปี พ.ศ. 2552 แล้วประเมินผลการใช้พลังงานรวมของอาคารหลังจากปรับปรุงเพียงผนังอาคาร เพื่อสรุปความเป็นไปได้ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

2.2 ปรับปรุงเฉพาะระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์สำนักงานต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพ และผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 โดยไม่ปรับเปลี่ยนวัสดุผนังและหลังคา แล้วประเมินผลการใช้พลังงานรวมของอาคารหลังจากปรับปรุงเพียงผนังอาคาร เพื่อสรุปความเป็นไปได้ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์จากเอกสารและงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาในส่วนของ

1.1 ความหมาย นโยบายและแผนพัฒนา ลักษณะและหลักการออกแบบอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building, NZEB)

1.2 กรณีศึกษาอาคารสำนักงานที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ที่มีอยู่ในและต่างประเทศ

1.3 พลังงานหมุนเวียนและศักยภาพของพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย

1.4 แนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารสำนักงาน

1.5 แนวทางการศึกษาและวิเคราะห์อาคารสำนักงานภาครัฐ

2. คัดเลือกอาคารสำนักงานภาครัฐสำหรับการศึกษาแนวทางปรับปรุงพัฒนาให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

2.1 ทำการขอข้อมูลและรวมรวมแบบสำนักงานภาครัฐ โดยเลือกอาคารที่มีแบบมาตรฐานจากส่วนกลาง ถูกนำไปเป็นแบบก่อสร้างอาคารสำนักงานภาครัฐในหลายพื้นที่ ซึ่งจะส่งผลดีต่อการนำไปพัฒนาได้อย่างกว้างขวาง แบ่งเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

2.1.1 แบบที่ 1 อาคารขนาดมากกว่า 10,000 ตารางเมตร กรณีศึกษาศาลากลางจังหวัด เลขที่แบบ สถ.37107 จากกรมโยธาธิการและผังเมือง

2.1.2 แบบที่ 2 อาคารขนาด 2,000–10,000 ตารางเมตร กรณีศึกษาสำนักงานทั่วไปสำนักงานที่ดินขนาดใหญ่ แบบเลขที่ 8-58/1 กรมที่ดิน กระทรวงมหาดไทย

2.1.3 แบบที่ 3 อาคารขนาดน้อยกว่า 2,000 ตารางเมตร กรณีศึกษาที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่ เลขที่แบบ ม.18155 จากกรมโยธาธิการและผังเมือง

2.2 ศึกษาการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานภาครัฐที่คัดเลือก โดยประเมินการใช้พลังงานรวมรายปีของอาคาร ในส่วนของระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อุปกรณ์สำนักงานและเครื่องคอมพิวเตอร์ รวมทั้งค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคาร ซึ่งประเมินจากแบบแปลนมาตรฐานที่ขอข้อมูลจากหน่วยงานส่วนกลาง และการสำรวจข้อมูลเพิ่มเติมของแต่ละอาคาร จากกรณีศึกษาอาคารจริงหรือที่มีขนาดพื้นที่และรูปแบบที่ใกล้เคียงกับแบบมาตรฐานอาคารทั้ง 3 แบบตามที่คัดเลือก

2.2.1 คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคาร ด้วยโปรแกรม Building Energy Code (BEC)

2.2.2 คำนวณการใช้พลังงานรวมของอาคาร ตามสมการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานรวมของอาคาร ในประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552

3. ออกแบบขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาของอาคารสำนักงานภาครัฐ โดยการศึกษานี้กำหนดให้อาคารผลิตพลังงานไฟฟ้าเองจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

3.1 ทำการคัดเลือกประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว (monocrystalline silicon) ขนาดแผงละ 250 Wp ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงและนิยมในเชิงพาณิชย์

3.2 คำนวณขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อใช้ประเมินความต้องการพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และใช้หาจำนวนแผงที่ต้องการ หลังจากนั้นจึงนำไปเปรียบเทียบกับการคำนวณขนาดระบบและพลังงานที่ผลิตได้ตามพื้นที่ที่สามารถติดตั้งได้ด้วยโปรแกรม PVsyst Software version 6.43 (demo mode) เพื่อตรวจสอบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพื้นที่หลังคา

4. เสนอแนวทางปรับปรุงพัฒนาอาคารสำนักงานภาครัฐให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยวิธีการลดการใช้พลังงานในอาคารโดยไม่ปรับเปลี่ยนรูปลักษณ์อาคาร เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารด้วยอุปกรณ์และเทคโนโลยีที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน

5. วิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนและหลังปรับปรุงอาคารตามแนวทางที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับพลังงานที่ผลิตได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาทั้งบนหลังคา ตรวจสอบความสมดุลของพลังงานเป็นแบบรายปี เพื่อสรุปความเป็นไปได้ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ตามเป้าหมายแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี ของกระทรวงพลังงาน

6. สรุปผลและข้อเสนอแนะของการศึกษา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นทางเลือกในการออกแบบอาคาร ที่มีการนำเทคโนโลยีที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน และทำให้อาคารมีการใช้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์ (Net Zero Energy Building, NZEB)

2. ช่วยพัฒนาอาคารในประเทศไทยให้อนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน

3. เป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานต่างๆ และผู้สนใจ ในการพัฒนาประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอาคารภายในประเทศไทย

4. เป็นข้อมูลที่สามารถเผยแพร่ และเพิ่มเติมองค์ความรู้ใหม่แก่ผู้ที่สนใจและต่อการพัฒนาการออกแบบและเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อไป

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการปรับปรุงและพัฒนาอาคารสำนักงานภาครัฐ ให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ซึ่งต้องทำการศึกษาที่มา นโยบายหรือกฎหมายในการพัฒนาอาคาร รวมทั้งการศึกษาคำนิยาม ลักษณะอาคารและหลักการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ รวมทั้งทฤษฎีด้านพลังงานหมุนเวียนซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ เพื่อนำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับอาคารสำนักงานภาครัฐอย่างเหมาะสม ให้มีการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพและเกิดการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ โดยได้รวบรวมและสรุปเป็นประเด็นต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. ความสำคัญของการพัฒนาอาคารให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์
2. นโยบายและแผนงานที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์
3. อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์
4. กรณีศึกษาอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์
5. พลังงานหมุนเวียนและศักยภาพของพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย
6. แนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารสำนักงาน
7. แนวทางการศึกษาและวิเคราะห์อาคารสำนักงานภาครัฐ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ความสำคัญของการพัฒนาอาคารให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

จากแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554–พ.ศ. 2573) ที่มีเป้าหมายในการลดการใช้พลังงานภายในประเทศลงให้ได้ร้อยละ 25 ภายในปี 2573 เพื่อให้สอดคล้องกับข้อตกลงของกลุ่มประเทศความร่วมมือทางเศรษฐกิจภาคพื้นเอเชียแปซิฟิก (เอเปค) เมื่อปี พ.ศ. 2550 ส่วนหนึ่งในมาตรการลดการใช้พลังงาน คือ มาตรการลดการใช้พลังงานในส่วนของภาคอาคารธุรกิจและบ้านอยู่อาศัย โดยใช้การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในอาคารจากกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 ที่กำหนดให้ใช้เกณฑ์การใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ในอาคารที่มีขนาด 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ในช่วงเวลาปัจจุบัน และมีแผนพัฒนาเกณฑ์การใช้พลังงานระดับที่สูงกว่า BEC ในอนาคต ซึ่งมี 3 ระดับ คือ[1]

1. High Energy Performance Standard (HEPS) คือ ระดับเกณฑ์มาตรฐานขั้นสูงของระบบต่าง ๆ ซึ่งเป็นเป้าหมายที่บรรลุด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน

2. Economic building (Econ) คือ เป้าหมายในอนาคตอันใกล้ เมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยีของอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นไปอีกแต่ยังมีความคุ้มค่าในการลงทุน

3. Zero Energy Building (ZEB) คือ เป้าหมายในระยะยาว ที่อาคารใช้พลังงานที่จ่ายเข้าจากภายนอกในระดับใกล้ศูนย์ เนื่องจากความต้องการพลังงานของอาคารที่ต่ำมากและยังมีการผลิตพลังงานที่ใช้ในอาคารจากพลังงานหมุนเวียนด้วย

โดยการปรับเปลี่ยนส่วนต่าง ๆ ของอาคารให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานตามเกณฑ์ เช่น การปรับปรุงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร ปรับปรุงระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง การระบายอากาศ และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งหากสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานให้เป็นไปตามเกณฑ์พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (ZEB) จะทำให้มีการใช้พลังงานรวมของอาคารเพียง 1/4 ถึง 1/3 ของการใช้งานในกรณีอ้างอิงหรือการใช้งานพลังงานตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ในปัจจุบัน[2] รวมทั้งในหลายประเทศทั่วโลก ได้มีนโยบายที่จะรณรงค์ให้ออกแบบและพัฒนาอาคารต่าง ๆ เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building, NZEB) ภายในระยะเวลา 10-20 ปี ซึ่งสำหรับประเทศไทยก็ได้เริ่มวางแผนนโยบายที่สอดคล้องด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากสามารถพัฒนาอาคารให้มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ตามเป้าหมาย จะเกิดผลประโยชน์สูงสุดทั้งต่อผู้ใช้อาคาร อนุรักษ์พลังงานได้มากและเกิดประโยชน์แก่การใช้พลังงานรวมของประเทศ

นโยบายและแผนงานที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ด้วยปัญหาการใช้พลังงานในอาคาร และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศโลกที่เพิ่มสูงมากขึ้น เกิดปรากฏการณ์ทางสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลก จึงเกิดความตื่นตัวที่จะปรับปรุงระบบการออกแบบและการผลิตพลังงานที่รักษาสภาพแวดล้อมของโลกให้ดีขึ้น ซึ่งได้เกิดนโยบายและการวางแผนทั่วโลก ที่มีเป้าหมายในการใช้พลังงานให้เกิด

---

[1] กระทรวงพลังงาน, “แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573).” 2554:3-5.

[2] เรื่องเดียวกัน,3-6.

ประสิทธิภาพสูงสุดในระยะยาว ผลักดันและพัฒนาอาคารทั้งอาคารเก่าหรืออาคารที่กำลังจะสร้างขึ้นใหม่ ให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

นโยบายและแผนงาน ด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารของประเทศไทย

1. เป้าหมายและศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในอาคารของประเทศไทยสู่การเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ จากแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554–พ.ศ. 2573) กระทรวงพลังงานได้กำหนดให้เกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานและฉลากแสดงประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร เป็นตัวขับเคลื่อนการปรับระดับประสิทธิภาพพลังงาน จากเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ที่ใช้ในปัจจุบัน มุ่งสู่เกณฑ์ที่สูงขึ้นในอนาคต จนถึงเกณฑ์การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ในปี พ.ศ. 2573 เป็นต้นไป โดยถือเป็นเกณฑ์ที่จะต้องมีการพัฒนาในระยะยาว

2. แนวทางการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน จากแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี ได้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ต่อปีของอาคารประเภทต่างๆ ในปัจจุบัน กับกรณีที่ใช้เกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำในอาคาร (BEC) และเกณฑ์ที่สูงกว่านี้ในอนาคต โดยประเมินในส่วนของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร ประสิทธิภาพระบบปรับอากาศ ประสิทธิภาพส่องสว่าง อุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้า และการระบายอากาศ[3] นอกจากนี้ในการศึกษาอื่นๆ ยังมีการกำหนดหลักเกณฑ์การใช้พลังงานของ HEPS, Econ และ ZEB เพิ่มเติมจากเกณฑ์ BEC ที่ใช้ในปัจจุบัน กรณีที่เป็นอาคารประเภทสำนักงาน ซึ่งสรุปเกณฑ์ต่าง ๆ ได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานที่ใช้ในปัจจุบัน (เกณฑ์ BEC) ,เกณฑ์ HEPS, เกณฑ์ Econ และเกณฑ์ ZEB

เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงาน				
ปีที่ พ.ศ.	**2558**	**2564**	**2570**	**2573 / 2576**
เกณฑ์	**BEC**	**HEPS**	**Econ**	**ZEB**
OTTV (W/m^2)	≤50	≤40	≤30	≤20
RTTV (W/m^2)	≤15	≤15	≤12	≤12
COP	≥3.22	≥3.64	≥4.42	≥5.45
LPD (W/m^2)	≤14.00	≤10.00	≤6.00	≤2
การใช้พลังงาน	80%	60%	40%	20%

ที่มา : ดนัย เอกกมล, “การปฏิรูปการอนุรักษ์พลังงานในอาคารและหน่วยราชการโดยใช้กลไก BEC” (เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาคณะกรรมาธิการปฏิรูปพลังงาน สภาปฏิรูปแห่งชาติ, สโมสรทหารบก กรุงเทพฯ,2558),18.; กระทรวงพลังงาน, แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573).” 2554: 3-5.

[3] กระทรวงพลังงาน, “แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573).” 2554: 3-5.

3.เป้าหมายในการพัฒนาต่อจากเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC)[4]

3.1 ผลักดันให้กฎกระทรวง เรื่องการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 มีผลบังคับใช้ได้จริง โดยการจัดเตรียมความพร้อมทั้งทางด้านผู้ตรวจสอบอาคาร และการฝึกอบรม ทดสอบความรู้ และเผยแพร่ข้อมูลให้มากขึ้น

3.2 แผนงานบังคับให้ติดฉลากแสดงประสิทธิภาพพลังงาน สำหรับอาคารของภาครัฐที่สร้างขึ้นใหม่ เพื่อเป็นแบบอย่างที่ดีแก่อาคารอื่น ๆ ทางด้านการอนุรักษ์พลังงาน

3.3 สนับสนุนให้มีการติดฉลากแสดงประสิทธิภาพพลังงานและประเมินการใช้พลังงานของอาคารแบบสมัครใจ

3.4 สนับสนุนการออกแบบ พัฒนาอาคารเพื่อเป็นอาคารประหยัดพลังงานต้นแบบ เช่น อาคารภาครัฐ ทั้งการพัฒนาตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ที่ใช้ในปัจจุบันสู่การพัฒนาตันแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

การออกแบบอาคารที่สร้างใหม่ หรือการปรับปรุงอาคารเดิมให้มีค่าพลังงานต่าง ๆ เป็นไปตามเกณฑ์พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (ZEB) ข้างต้น จะต้องใช้วัสดุและเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งจะต้องมีการพัฒนาด้านต่าง ๆ ควบคู่ไปกับการออกแบบในระยะยาว อย่างไรก็ตาม การออกแบบและปรับปรุงอาคารให้เป็นไปตามเกณฑ์อื่น ๆ ที่ต่ำลงมา และเลือกใช้พลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตพลังงานใช้เองให้สมดุลกับความต้องการพลังงาน ก็อาจจะทำให้อาคารสามารถเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้เช่นกัน

นโยบายและแผนงานที่เกี่ยวกับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในต่างประเทศ

1. Low & Zero Energy Buildings ในกลุ่มสมาชิกสหภาพยุโรป EU Energy Performance in Building Directive (EPBD) ได้เสนอวิธีจัดการพลังงานให้สมดุล โดยต้องปรับปรุงทั้งระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและการใช้พลังงานหมุนเวียน ไปพร้อมกัน และในปี พ.ศ. 2553 ได้เริ่มกำหนดใช้คำว่า “Near Zero Energy Building” พร้อมทั้งระบุระยะเวลาสำหรับดำเนินการพัฒนาออกแบบและก่อสร้างอาคารให้เป็นมาตรฐานของทุกประเทศสมาชิก[5]

“Near Zero Energy Building” คือ อาคารที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง โดยมีพลังงานสุทธิเกือบศูนย์ หรือมีการใช้พลังงานต่ำมาก โดยต้องผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนภายในที่ตั้งหรือภายนอกที่ตั้งก็ได้[6]

สำหรับ “Near Zero Energy Building” นั้นประเทศสมาชิกต้องทำให้ได้ ดังนี้

1.1 ในวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2563 อาคารที่สร้างใหม่ทั้งหมด จะต้องเป็น “Near Zero Energy Building”

---

[4] กระทรวงพลังงาน, แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี : พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573 (2554):5-14.

[5] Karsten Voss and Eike Musall, **Net Zero Energy Buildings International Project of Carbon Neutrality in Building**, 2013 new ed. (Hackerbrucke 6, D-80335 Munich: GmbH&Co.KG, 2011), 12.

[6] เรื่องเดียวกัน.

1.2 หลังจาก 31 ธันวาคม พ.ศ. 2561 อาคารใหม่ที่มีการใช้งานอยู่และเป็นเจ้าของโดยหน่วยงานรัฐบาล ต้องเป็น “Near Zero Energy Buildings”

2. ประเทศสหรัฐอเมริกา มีเป้าหมายลดการใช้พลังงานในอาคารลงให้เพียงพอกับพลังงานที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียน เป้าหมายดังกล่าวถูกวางแผนโดย the Department of Energy (DOE) ซึ่งเป็นแผนในระยะยาวเกี่ยวกับการออกแบบเทคโนโลยีและอาคาร มีดังนี้[7]

2.1 พัฒนาเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในปี พ.ศ. 2563

2.2 พัฒนาอาคารสาธารณะให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในปี พ.ศ. 2568

3. ประเทศญี่ปุ่น เริ่มกำหนดเป้าหมายอาคาร ให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ตั้งแต่เดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2553 โดยมีเป้าหมายให้อาคารสาธารณะ ที่มีการก่อสร้างใหม่เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ทั้งหมดภายในปี พ.ศ. 2563 และกำหนดให้อาคารภาคเอกชนเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ทั้งหมดภายในปี พ.ศ. 2573

4. ประเทศสิงคโปร์ กำหนดแผนการสร้างอาคารที่มีความยั่งยืนอย่างแท้จริงในประเทศสิงคโปร์ให้ได้ ภายในปี พ.ศ. 2573 หนึ่งในนั้นคือการพัฒนาเทคโนโลยีอาคารเขียว แบ่งเป็น 2 กลยุทธ์ ดังนี้[8]

4.1 โครงการอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์และการแสดงเทคโนโลยีการออกแบบสำหรับการก่อสร้างอาคารเพื่อสิ่งแวดล้อม

4.2 การร่วมมือระหว่าง BCA และคู่ค้าที่เหมาะสม ในการริเริ่มโครงการที่จะสามารถประหยัดพลังงานได้ 50% หรือมากกว่า

จากการศึกษานโยบายในหลากหลายประเทศ รวมทั้งในประเทศไทยพบว่ามีเป้าหมายและความพยายามพัฒนาอาคาร ให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ซึ่งสอดคล้องกันในทุกประเทศ แต่มีความแตกต่างด้านระยะเวลาในการดำเนินงาน ขึ้นอยู่กับความพร้อมและความร่วมมือภายในประเทศ สำหรับประเทศไทย มีเป้าหมายระยะยาวที่จะพัฒนาให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ จึงเป็นเรื่องที่ควรการศึกษา เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบให้นำไปประยุกต์ใช้ และพัฒนาให้เป็นไปตามเป้าหมายได้

---

[7] Karsten Voss and Eike Musall, **Net Zero Energy Buildings International Project of Carbon Neutrality in Building**, 2013 new ed. (Hackerbrucke 6, D-80335 Munich: GmbH&Co.KG, 2011), 12.

[8] **Case of the month – Singapore** (2012). accessed September 14, 2015, available from http://www.re-green.eu/en/go/case-of-the-month---singapore.

อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

คำนิยามอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building, NZEB)

อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ หมายถึง อาคารที่มีการประหยัดพลังงาน จากการออกแบบหรือปรับปรุงอาคาร มีการเลือกใช้เทคโนโลยีที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน และสามารถผลิตพลังงานได้เองจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนต่างๆ โดยพลังงานที่ผลิตได้เอง เมื่อลบกับพลังงานที่ต้องการใช้ในอาคาร แล้วมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ หรืออาจเรียกว่า “เกิดสมดุลพลังงาน” ซึ่งอาจจะมีการประเมินพลังงานสุทธิในรอบเดือน ตามฤดูกาล หรือในระยะเวลาหนึ่งปีก็ได้ ตามเป้าหมายของแต่ละโครงการ ทั้งนี้การประเมินในระยะเวลาหนึ่งปีมีความนิยมมากที่สุด

อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ต้องเป็นอาคารที่มีการลดความต้องการในการใช้พลังงานได้เป็นอย่างดี พร้อมกับการใช้เทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนในการผลิตพลังงาน[9] และการเลือกใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนนี้เอง ที่จำแนกคำจำกัดความอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ดังนี้

1. Net Zero Site Energy หมายถึง อาคารที่สร้างพลังงานจากพลังงานหมุนเวียน ได้เพียงพอต่อการใช้งานตลอดปี เมื่อคิดตามสัดส่วนของที่ตั้งโครงการ

2. Net Zero Source Energy หมายถึง อาคารที่สร้างพลังงานจากพลังงานหมุนเวียนได้เพียงพอต่อการใช้งานตลอดทั้งปี เมื่อคำนวณจากแหล่งที่ใช้ในการสร้างและส่งพลังงานมายังที่ตั้ง

3. Net Zero Energy Costs หมายถึง อาคารที่คิดจากรายได้ของเจ้าของอาคาร ที่ได้จากการขายพลังงานที่สร้างเองจากพลังงานหมุนเวียน ต้องเท่ากับที่จ่ายให้กับการซื้อพลังงานเข้ามาใช้

4. Net Zero Emissions หมายถึง อาคารที่สร้างพลังงานจากพลังงานหมุนเวียน (emission free) เพื่อชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของอาคารทั้งปี ได้เท่ากับหรือมากกว่าแหล่งพลังงานชนิดปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission producing) ที่ใช้ไป

ตารางที่ 3 แสดงวิธีการออกแบบและข้อจำกัดของประเภทอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ประเภท	การออกแบบ	ข้อจำกัด
Net Zero Site Energy Building	- ผลิตพลังงานใช้เองจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนในที่ตั้งโครงการ - ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ก๊าซ - ตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อพลังงาน เป็นสิ่งที่อยู่ในอาคารและที่ตั้ง ซึ่งสามารถควบคุมและจัดการได้ง่าย	- การผลิตพลังงานไฟฟ้าภายในที่ตั้งมีการชดเชยก๊าซเท่ากับ 1 ต่อ 1 - อาจไม่ช่วยในการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ถ้าหากความต้องการสูงสุดและค่าสาธารณูปโภคไม่ได้รับการจัดการ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานอาจจะลดลงหรือไม่ลดลงเช่นเดียวกัน

[9] Paul Torcellini, et al., “Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition.” **National Renewable Energy Laboratory: Innovation for Our Energy Future, Conference Paper NREL/CP-550-39833**, (June 2006): 1-15.

ตารางที่ 3 แสดงวิธีการออกแบบและข้อจำกัดของประเภทอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (ต่อ)

ประเภท	การออกแบบ	ข้อจำกัด
Net Zero Source Energy	- ผลิตพลังงานใช้เอง จากแหล่งพลังงานหมุนเวียน - การใช้พลังงานก๊าซในที่ตั้งจะได้รับการชดเชยด้วยการผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ ในอัตราส่วน 3.37 ต่อ 1 - มีการส่งเสริมการใช้พลังงานก๊าซมากกว่า (หม้อไอน้ำ การผลิตน้ำร้อน เครื่องอบแห้ง เครื่องดูดความชื้น)	- การใช้ไฟฟ้าในเวลากลางคืนอาจมีผลกระทบจากแหล่งที่มามากกว่าการใช้ไฟฟ้าระหว่างช่วงเวลาที่มีการใช้งานสูงสุดระหว่างวัน - ต้องมีการกำหนดวิธีการขนส่งสาธารณูปโภครูปแบบต่างๆ - หากมีการใช้ก๊าซเชื้อเพลิงฟอสซิล จะเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ไม่ได้ - ไม่ช่วยในการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน
Net Zero Energy Costs	- ได้รับเครดิตทางการเงิน สำหรับการส่งออกพลังงาน ซึ่งจะดูจากค่าใช้จ่ายด้านสาธารณูปโภคของอาคาร (มีการชดเชยพลังงาน การกระจายความต้องการ ความต้องการสูงสุด ภาษีและมิเตอร์ สำหรับการใช้ไฟฟ้าและก๊าซ)	- การจัดซื้อน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลัง งานไฟฟ้า จะต้องมีการบริการที่น่าเชื่อถือ - ด้วยค่าใช้จ่ายที่จำกัดส่งผลให้มีอาคาร cost ZEB มีอยู่อย่างจำกัด
Net Zero Emissions	- อาคารไม่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน - จะต้องมีระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กในพื้นที่ ร่วมกับพลังงานไอน้ำหรือพลังงานนิวเคลียร์ขนาดใหญ่ เปรียบเทียบกับอาคารที่คล้ายกันที่มีการใช้ถ่านหินขนาดใหญ่ในการผลิตพลังงาน	- ถ้าอาคารเดียวกันมีการใช้ก๊าซธรรมชาติ เพื่อให้ความร้อน จะต้องสร้างและส่งออกพลังงานหมุนเวียนที่เพียงพอต่อการชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก - มีการคำนวณค่าพลังงานที่ค่อนข้างยาก - มีความไม่แน่นอนในการกำหนดแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้า

ที่มา: ปารวี ตั้งจิตวิทยา, “การออกแบบกรอบอาคารบ้านเดี่ยว เพื่อนำไปสู่อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์.”(วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2556), 22.; Paul Torcellini, et al., “Zero Energy Buildings : A Critical Look at the Definition.” **National Renewable Energy Laboratory : Innovation for Our Energy Future**, **Conference Paper NREL/CP-550-39833**, (June 2006):1-15. ; ดัดแปลงโดยผู้วิจัย

หัวใจสำคัญของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ส่วนหนึ่ง คือ แหล่งพลังงานหมุนเวียน ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการผลิตพลังงานให้เพียงพอแก่ความต้องการใช้พลังงาน ตัวอย่างเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน ในปัจจุบัน เช่น โซล่าเซลล์ การผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำและเชื้อเพลิงชีวภาพ เป็นต้น ซึ่งแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เลือกใช้ได้ แบ่งตามลำดับแหล่งที่มาได้ดังนี้

ตารางที่ 4 การจัดลำดับแหล่งพลังงานหมุนเวียนตามการใช้งานของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ลำดับ	การจัดหาแหล่งพลังงานหมุนเวียน	ตัวอย่างพลังงานหมุนเวียน
0	ลดการใช้พลังงาน ให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานต่ำ	- แสงธรรมชาติ, อุปกรณ์ HVAC คุณภาพสูง, ลมธรรมชาติ, การระเหย
การจัดหาแหล่งพลังงานหมุนเวียนในที่ตั้งโครงการ (On-Site Supply Options)		
1	ใช้พลังงานหมุนเวียนและพลังงานทดแทนที่มีอยู่ในพื้นที่ฐานอาคาร	โซล่าเซลล์, น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานลม, ชีวมวล
2	ใช้พลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่ในที่ตั้งโครงการ	โซล่าเซลล์, น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมภายในที่ตั้ง แต่ไม่ได้ติดตั้งอยู่ในขอบเขตพื้นที่อาคาร
การจัดหาแหล่งพลังงานหมุนเวียนนอกที่ตั้งโครงการ (Off-Site Supply Options)		
3	ใช้พลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่นอกสถานที่เพื่อสร้างพลังงานภายในที่ตั้ง	ชีวมวล, เมล็ดพันธ์พืช, เอทานอล, ไบโอดีเซล ที่สามารถนำเข้ามาจากนอกสถานที่ หรือการบำบัดน้ำเสียนำกลับมาใช้ หรือนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนภายในที่ตั้งโครงการ
4	การซื้อพลังงานหมุนเวียนจากนอกสถานที่	พลังงานลม, โซล่าเซลล์, emissions credits หรือพลังงานสีเขียวอื่น ๆ และในบางครั้งอาจมีการซื้อพลังงานน้ำได้

ที่มา : Paul Torcellini, et al., “Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition.” **National Renewable Energy Laboratory: Innovation for Our Energy Future, Conference Paper NREL/CP-550-39833**, (June 2006): 1-15. ดัดแปลงโดยผู้วิจัย

การศึกษานี้มีเป้าหมายพัฒนาอาคารสำนักงานภาครัฐ ให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ จึงกำหนดให้มีการผลิตพลังงานใช้เองจากพลังงานหมุนเวียน ตามที่ตั้งโครงการ (Net Zero Site Energy) และใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่ในพื้นที่ฐานอาคาร (building footprint) เป็นการจัดหาแหล่งพลังงานหมุนเวียนในที่ตั้งโครงการ (on-site supply options) ซึ่งเลือกใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตพลังงานด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคา

นอกจากนี้ ยังมีการอธิบายคำนิยามและความหมายของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ที่แตกต่างกันออกไปในการศึกษาอื่น ๆ ดังเช่น

Torcellini, et al. (2006) ได้อธิบายว่า คำนิยามของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์มักจะขาดคำอธิบายที่ชัดเจนและความเข้าใจที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันอย่างแท้จริง ซึ่งแนวคิดของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์นั้นก่อให้เกิดกระบวนการได้หลากหลาย ขึ้นอยู่กับเป้าหมายของ

โครงการ นักลงทุน สภาพของภูมิอากาศ การ-ปลดปล่อยก๊าซ และค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน[10] หรือในงานศึกษาของ Marszal and Heiselberg (2011) ได้เสนอแนวคิดเพิ่มเติมของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ว่าควรคำนึงถึง Exergy Balance แทนการคำนึงถึงสมดุลพลังงาน (energy balance) คือการคำนึงถึงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอาคารและปริมาณที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม และอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ควรคำนึงถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน คุณภาพอากาศภายในอาคาร และมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตพลังงานให้แก่อาคารมากกว่าการใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนชนิดอื่น[11]

หลักสำคัญของแนวคิดการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ คือ การเลือกใช้พลังงาน วัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในประเทศ ที่ต้นทุนต่ำ ไม่เป็นมลพิษ[12] โดยอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ที่ตั้งในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น จะมีการใช้พลังงานและสภาวะสบายที่แตกต่างกับอาคาร อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ที่ตั้งอยู่ในสภาพภูมิอากาศหนาวเย็น แต่การศึกษาในเขตพื้นที่ภูมิอากาศแบบร้อนชื้นยังมีน้อย[13]

เป้าหมายของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ คือ การยกระดับประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร ซึ่งโดยทั่วไปการกำหนดว่าอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์คืออะไร มักจะขึ้นอยู่กับตัวชี้วัดต่าง ๆ เช่น การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น และองค์ประกอบที่ถูกพิจารณาด้านความสมดุล เช่น การใช้พลังงานในอาคาร พลังงานสะสมในวัสดุ เป็นต้น ในทางกลับกันคำจำกัดความที่แตกต่างนั้นอาจจบลงโดยการเลือกใช้กลยุทธ์การออกแบบที่ดีที่สุด เช่น การใช้ฉนวนกันความร้อน ประสิทธิภาพของระบบการทำความร้อน ปรับอากาศและการระบายอากาศ (HVAC) หรือระบบไฟฟ้า เป็นต้น โดยคำว่าอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ มักจะถูกใช้ในเชิงพาณิชย์ซึ่งปราศจากความเข้าใจอย่างถูกต้องชัดเจน รวมทั้งในส่วนของนโยบายและเป้าหมายของประเทศยังมีพื้นฐานของการออกแบบที่ยังไม่ชัดเจน ซึ่งอาจเข้าใจว่าเป็นการรวมปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด ให้มีความสมดุลจนเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ด้วยการใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ แต่กลับไม่ได้มีการปรับปรุงหรือมีมาตรการใด ๆ เกี่ยวกับการประหยัดพลังงานในอาคาร เป็นต้น[14]

---

[10] Paul Torcellini, et al., “Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition.” **National Renewable Energy Laboratory : Innovation for Our Energy Future**, **Conference Paper NREL/CP-550-39833**, (June 2006): 1.

[11] Anna Joanna Marszal and Per Heiselberg, Zero Energy Building definition – a literature review. **IEA SHC/ECBCS Task 40/Annex 52 – Towards Net Zero Energy Solar Buildings**, (2011): 5.

[12] Paul Torcellini, et al., **Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition**, 2-4.

[13] Shady Attia , et al., Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design. **Energy and Buildings**, (2011): 2-15.

[14] Igor Sartori , Assunta Napolitano, and Karsten Voss, Net zero energy buildings: A consistent definition framework. **Energy and Buildings** 48 (2012): 220-232.

ข้อดีและข้อเสียของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building, NZEB)

อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์มีข้อดีและข้อเสีย ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อดีและข้อเสียของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ข้อดี	ข้อเสีย
1. เป็นทางเลือกสำหรับเจ้าของอาคารจากการเพิ่มขึ้นของราคาพลังงานในอนาคต 2. มีความสบายเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิภายในอาคาร มีความสม่ำเสมอมากขึ้น 3. ลดความต้องการด้านพลังงานลง 4. ลดต้นทุนของเจ้าของโครงการ เนื่องจากมีการประหยัดพลังงานที่มากขึ้น 5. ลดค่าใช้จ่ายสุทธิรายเดือนของการอยู่อาศัย 6. ลดความเสี่ยงของการสูญเสียจากระบบสายส่งไฟฟ้า 7. มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างใหม่ลดลง เมื่อเทียบกับการติดตั้งหรือต่อเติมในภายหลัง 9. มูลค่าการขายที่สูงขึ้นตามความต้องการอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ 10. เป็นผลดีหากในอนาคตหากมีการกำหนดข้อจำกัดของกฎหมาย จากการปล่อยก๊าซ CO_2	1. ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นค่อนข้างสูง 2. มีนักออกแบบหรือผู้ก่อสร้างอาคารที่มีทักษะและความเข้าใจในอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์อยู่ไม่มาก 3. มีความไปได้ที่จะมีค่าใช้จ่ายทางด้านบริษัทที่ผลิตพลังงานทดแทนลดลงในอนาคต ซึ่งอาจลดคุณค่าของการลงทุนในด้านประสิทธิภาพพลังงาน 4. มีความท้าทายในส่วนของการกู้คืนต้นทุนค่าใช้จ่าย และการขายอาคารที่สูงขึ้น 5. อาคารพักอาศัย ที่มีการคิดพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ที่เฉลี่ยในช่วงปี อาจมีบางช่วงเวลาในหนึ่งปีที่เกิดความต้องการพลังงานที่สูงจากระบบสายส่ง ในกรณีนี้ กำลังผลิตของระบบสายส่งจะยังคงผลิตไฟฟ้าให้กับความต้องการทั้งหมด ดังนั้นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ อาจไม่ได้ทำหน้าที่ลดกำลังการผลิตจากโรงไฟฟ้าได้มากนัก

ข้อควรพิจารณาเพื่อการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

หลักการในการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ มีองค์ประกอบหลายประการในการพิจารณาออกแบบหรือการปรับปรุงอาคาร ดังนี้[15]

1. ขอบเขตของระบบอาคาร (Building System Boundary) เป็นการกำหนดขอบ - เขตด้านระบบต่าง ๆ ในอาคาร เกี่ยวข้องกับค่าพลังงานที่นำมาใช้ และเป็นตัวกำหนดความสมดุลของพลังงานในอาคาร ขอบเขตของระบบอาคาร แบ่งออกได้ดังนี้

1.1 ขอบเขตทางกายภาพ (Physical Boundary) เพื่อกำหนดขอบเขตของอาคารที่ออกแบบหรือพิจารณา ไม่ว่าจะเป็นอาคารเดี่ยวหรือกลุ่มอาคาร ในการใช้พลังงานหมุนเวียนเพื่อการผลิตพลังงานว่าเป็นแบบใด เช่น ในพื้นที่ (on-site) หรือใช้จากภายนอกพื้นที่ (off-site) เป็นต้น

[15] Igor Sartori , Assunta Napolitano, and Karsten Voss, **Net zero energy buildings: A consistent definition framework**, 220-232.

1.2 ขอบเขตความสมดุล (Balance Boundary) เพื่อกำหนดการใช้พลังงานอาคารจากระบบต่าง ๆ เช่น ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบผลิตน้ำร้อน และเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งจะนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับพลังงานที่ผลิตได้[16]

1.3 ขอบเขตการออกแบบ (Boundary Conditions) ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ควรมีการอธิบายเพื่อเปรียบเทียบกับการออกแบบอาคารที่คล้ายกัน หรือในสภาพภูมิอากาศแบบเดียวกัน เพื่อให้เห็นถึงสัดส่วน หรือการออกแบบอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ได้หากมีการออกแบบตามการอธิบายนี้ เช่น ประสิทธิภาพของพื้นที่ อาจแสดงได้ในแง่ของขนาดการใช้งาน คนต่อตารางเมตร (people/m^2) เป็นต้น

2. ระบบน้ำหนัก (Weighting System) การกำหนดหน่วยทางพลังงาน ให้เป็นหน่วยเดียวกันทั้งหมด เพื่อประเมินการใช้และการผลิตพลังงานของอาคาร แบ่งออกได้ดังนี้

2.1 ตัวชี้วัด (Metrics) เป็นเสมือนหลักเกณฑ์หรือมาตรการที่ตั้งไว้ เพื่อใช้พิจารณาการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยประเภทของการเลือกใช้พลังงานหมุนเวียนถือเป็นตัวชี้วัดหนึ่ง และยังมีตัวชี้วัดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่พลังงานหมุนเวียน เช่น primary energy, exergy, ปัจจัยทางการเมือง เกณฑ์มาตรฐานตามกฎหมาย เป็นต้น

2.2 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลา (Time Dependent Accounting) การใช้พลังงานหรือการผลิตพลังงาน มีความแตกต่างในแต่ละช่วงเวลาและพื้นที่ตั้งอาคาร ซึ่งอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ จะมีการเลือกประเมินค่าพลังงานสุทธิในช่วงเวลาที่แตกต่างกันไป อาจประเมินในระยะเวลาเป็นจำนวนชั่วโมง หรือประเมินค่าเฉลี่ยตามฤดูกาล รายเดือน หรือรายวัน

2.3 ความสมดุลของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (NZEB Balance)[17]

ภาระการใช้พลังงานในอาคาร (load) ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งาน พื้นที่และอุณหภูมิของที่ตั้ง และยังขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเทคนิคการติดตั้งระบบต่าง ๆ ของอาคารด้วย รวมทั้งการผลิตพลังงานของอาคารยังครอบคลุมถึงพื้นที่จัดเก็บและการแปลงพลังงานที่สูญเสียไป โดยจะถือว่าอาคารไม่มีการสะสมพลังงานสุทธิภายในขอบเขตของระบบอาคาร (building system boundary) ตามภาพที่ 1

แหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่ในที่ตั้งโครงการจะถูกนำมาใช้งาน เพื่อรองรับความต้องการพลังงาน พลังงานหมุนเวียนจะถูกนำมาใช้ในการผลิตพลังงาน ซึ่งจะครอบคลุมส่วนของความต้องการพลังงานของอาคาร (load)

ระบบการจ่ายพลังงานสู่อาคาร เรียกว่า Energy Grids หรือ Simply Grids โดยการแลกเปลี่ยนพลังงานของระบบสายส่ง พลังงานดังกล่าวถูกสร้างมาจากแหล่งทรัพยากรธรรมชาติต่าง ๆ เช่น ไฟฟ้า ก๊าซธรรมชาติ ชีวมวล เชื้อเพลิงอื่น ๆ เป็นต้น[18]

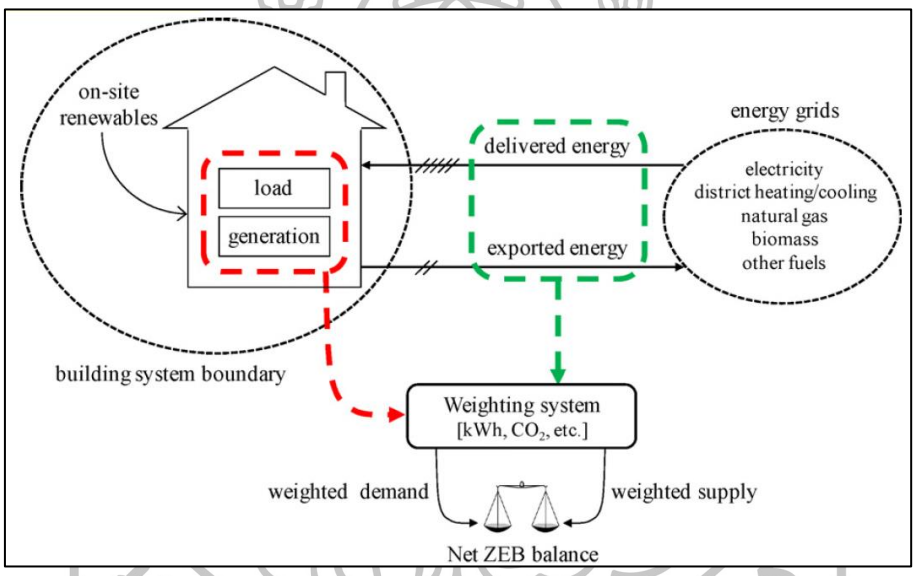
---

[16] Anna Joanna Marszal and Per Heiselberg, Zero Energy Building definition – a literature review. **IEA SHC/ECBCS Task 40/Annex 52 – Towards Net Zero Energy Solar Buildings**, (2011): 6-7.

[17] Igor Sartori, et al., Criteria for Definition of Net Zero Energy Buildings. **EuroSun Conference Graz** (2010):n. pag.

Delivered Energy คือ พลังงานที่ถูกสร้างจากระบบสายส่ง และส่งเข้าอาคารนั้น ๆ ในขณะที่พลังงานที่ออกจากอาคารสู่ระบบสายส่ง เรียกว่า Exported Energy

ความสมดุลระหว่าง Delivered Energy และ Exported Energy ร่วมกับรูปแบบของการมีปฏิสัมพันธ์กับระบบสายส่งนั้น เป็นส่วนสำคัญของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ปริมาณพลังงานดังกล่าวประเมินจาก Weighting System หรือ Credit system ในบางกรณีอาจมีการประเมินจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ หรือที่ผลิตเอง (kWh/year หรือ kWh/m^2/year) แต่บางกรณีอาจประเมินจากประมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ Weighted Demand คือ ผลรวมของพลังงานที่ส่งเข้าอาคารทั้งหมดหรือโหลดการใช้พลังงานในอาคาร และ Weighted Supply คือ ผลรวมของพลังงานที่ส่งออกจากอาคารทั้งหมด หรือพลังงานที่ผลิตได้[19] ดังที่แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงภาพรวมของการใช้พลังงานในอาคาร การเชื่อมต่อกับระบบสายส่ง และแนวคิดความสมดุลของพลังงาน อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ที่มา : Igor Sartori , Assunta Napolitano, and Karsten Voss, Net zero energy buildings: A consistent definition framework. **Energy and Buildings** 48 (2012): 222.

สถานะของอาคารที่มีประสิทธิภาพตามแนวคิดของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ คือ เมื่อ Weighted Supply มีค่าเท่ากับหรือเกินกว่า Weighted Demand ในช่วงเวลาหนึ่งปี จะทำให้เกิดความสมดุล โดยอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์อาจกำหนดได้จากความสมดุลระหว่างการนำเข้าและการส่งออกพลังงานจากระบบสายส่ง (import/export balance) หรือ ความสมดุล

---

[18] Igor Sartori, et al., Criteria for Definition of Net Zero Energy Buildings. **EuroSun Conference Graz** (2010):n. pag.

[19] Igor Sartori , Assunta Napolitano, and Karsten Voss, Net zero energy buildings: A consistent definition framework. **Energy and Buildings** 48 (2012): 222

ระหว่างความต้องการพลังงานและพลังงานที่ผลิตได้ (load/generation balance) มีสมการความสมดุล ดังนี้[20]

$$\text{NZEB Balance: } |\text{weighted supply}| - |\text{weighted demand}| \geq 0 \qquad (1)$$

นอกจากนี้ ความสมดุลของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (NZEB Balance) ยังมีข้อควรพิจารณาอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

2.3.1 ระยะเวลาที่สมดุล (Balancing Period) ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการคำนวณความสมดุล โดยส่วนใหญ่มักจะใช้เวลาตลอดทั้งปี เนื่องจากระยะเวลารายปี จะครอบคลุมในทุกสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ และการเปลี่ยนแปลงลองฤดูกาล แต่ก็ยังสามารถเลือกพิจารณาตามช่วงระยะเวลาได้ ขึ้นอยู่กับเป้าหมายของแต่ละโครงการ

2.3.2 ประเภทของความสมดุล (Type of Balance) มีการเลือกพิจารณาหลายเงื่อนไข เช่น ความสมดุลระหว่างการนำเข้าและการส่งออกพลังงานจากระบบสายส่ง ความสมดุลระหว่างค่าพลังงานสุทธิจากการผลิตและความต้องการรายเดือน และความสมดุลระหว่างความต้องการพลังงานและพลังงานที่ผลิตได้ (load/generation balance) เป็นรายปี ซึ่งวิธีการนี้มีการนำมาใช้มากที่สุด

2.3.3 ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency) ในการให้คำนิยามหรือหลักการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ อาจมีการตั้งข้อกำหนดขั้นต่ำที่บังคับใช้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพด้านพลังงานที่ดีได้ โดยการกำหนดคุณสมบัติของกรอบอาคาร เช่น ค่าการต้านทานความร้อนของผนังและหน้าต่าง ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา เป็นต้น ระบบพลังงานในอาคาร เช่น ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศ (COP) ค่าพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้สูงสุดต่อพื้นที่ (LPD) เป็นต้น

2.3.4 การจัดหาพลังงาน (Energy Supply) จากแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมกับโครงการ โดยมีความแตกต่างกันในด้านแหล่งที่มาของพลังงานหมุนเวียน ระหว่างที่มีในพื้นที่ตั้งโครงการ (on-site) และนอกที่ตั้งโครงการ (off-site) ต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ลดการสูญเสียพลังงานจากการขนส่งหรือการแปลงค่าต่างๆ ใช้ได้ตามช่วงอายุการใช้งานอาคาร และนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ[21] ซึ่งพลังงานหมุนเวียนที่มีการเลือกใช้มากที่สุด คือ แสงอาทิตย์ โดยการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตพลังงานให้แก่อาคาร และติดตั้งอยู่บนหลังคาอาคาร หรือหากต้องการใช้พลังงานลม เพื่อการผลิตพลังงานให้แก่อาคาร มักจะมีข้อจำกัดเนื่องจากความเร็วลม ที่อย่างน้อยต้องมีความเร็วลมเฉลี่ย 4 m/s และจะไม่สามารถหลีกเลี่ยงเสียงรบกวน ที่อาจเกิดขึ้นจาก -

---

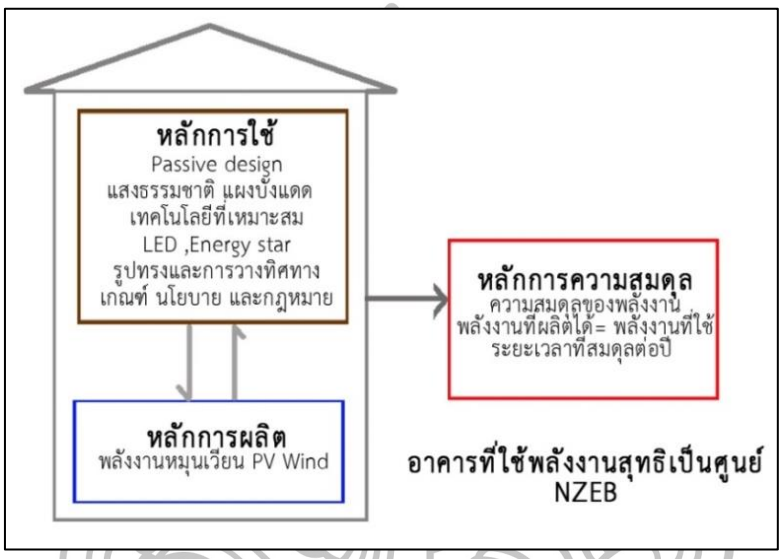
[20] Igor Sartori , Assunta Napolitano, and Karsten Voss, Net zero energy buildings: A consistent definition framework. **Energy and Buildings** 48 (2012): 222

[21] Paul Torcellini, et al., “Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition.” **National Renewable Energy Laboratory : Innovation for Our Energy Future**, **Conference Paper NREL/CP-550-39833**, (June 2006): 28-29.

กังหันลมได้ ทำให้พลังงานลมนั้นยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานมากนัก[22]

หลักการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ มีแนวคิดที่คำนึงถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นอาคารที่ประหยัดพลังงาน ร่วมกับการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมกับที่ตั้งโครงการ โดยหลักการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ มีวิธีการที่สำคัญ 3 วิธีการ ดังนี้



ภาพที่ 2 แสดงหลักการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

1. ลดความต้องการพลังงาน ด้วย “หลักการใช้”

1.1 ใช้การออกแบบโดยใช้ปัจจัยทางธรรมชาติ (Passive Design) เช่น

1.1.1 การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร ด้วยการออกแบบอาคารหรือช่องเปิด การใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ท่อนำแสง หิ้งสะท้อนแสง เป็นต้น

1.1.2 เลือกใช้การวางผัง ทิศทางอาคาร รูปร่างอาคารที่เหมาะสมกับพื้นที่และสภาพอากาศ เช่น สำหรับพื้นที่ประเทศไทย ควรวางด้านแคบของอาคารไปทางทิศตะวันออก-ตก เพื่อลดการรับความร้อนในช่วงบ่าย เป็นต้น

1.1.3 เลือกใช้วัสดุผนังหรือหลังคา ที่ช่วยลดการถ่ายความร้อนเข้าสู่อาคารหรือในพื้นที่หนาวเย็นก็ควรเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมเช่นกัน

1.1.4 ใช้วิธีการระบายอากาศ จัดวางผังอาคารให้สามารถรับลมได้เป็นอย่างดี

---

[22] Karsten Voss and Eike Musall, **Net Zero Energy Buildings International Project of Carbon Neutrality in Building**, 2013 new ed. (Hackerbrucke 6, D-80335 Munich: GmbH&Co.KG, 2011).18-26.

1.1.5 ใช้สภาพแวดล้อมโดยรอบของอาคารให้เป็นประโยชน์ต่อการใช้พลังงานในอาคาร เช่น ลดพื้นที่ดาดแข็ง การปลูกต้นไม้เพื่อช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร เป็นต้น

1.1.6 การป้องกันการรั่วซึมของอากาศ ผ่านรอยต่อของประตู หน้าต่าง

1.1.7 การใช้แผงบังแดดหรือฉนวนกันความร้อน

1.2 การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการประหยัดพลังงาน

1.2.1 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็นโคมไฟบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ หลอดไฟที่มีประสิทธิภาพ เช่น หลอดประหยัดพลังงาน ฟลูออเรสเซนต์ หลอดไฟประสิทธิภาพสูง LED การใช้ระบบเซนเซอร์อัตโนมัติ เป็นต้น

1.2.2 ระบบปรับอากาศ เลือกใช้ระบบปรับอากาศให้เหมาะสมกับขนาดของห้องหรืออาคาร ใช้เครื่องปรับอากาศที่มีฉลากประหยัดพลังงาน หรือการเลือกใช้ระบบปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ ก็จะช่วยลดการใช้พลังงานลงได้ ในบางกรณีศึกษาอาคาร เช่น อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ BCA academy[23] มีการใช้ระบบปรับอากาศแบบส่วนตัว โดยผู้ใช้งานแต่ละคนสามารถปรับลมได้เองตามต้องการ ก็จะช่วยลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศได้เช่นกัน

1.2.3 ระบบระบายอากาศ เช่น การใช้ปล่องระบายอากาศโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ (solar chimney)

1.2.4 เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ต่างๆในอาคาร เลือกใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีฉลากประหยัดพลังงาน เช่น Energy Star ฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5 เป็นต้น

2. เพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร ด้วย “หลักการผลิต”

ส่วนสำคัญของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ คือการผลิตพลังงานเอง ไม่ว่าจะเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานอื่น ๆ โดยจัดหาพลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนประเภทต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความสมดุลกับความต้องการพลังงาน[24]

3. การตรวจสอบความเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

หลักการประเมินความเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ จะมีความสมดุลเข้ามาเกี่ยวข้อง คือความสมดุลของพลังงาน ระหว่างพลังงานที่สามารถผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียนกับพลังงานที่ต้องการใช้ เมื่อนำมาหักลบกันแล้วมีค่าเท่ากับศูนย์

---

[23] Yudelson Associates. “**Building and Construction Authority Zero Energy Building Braddell Road Campus, Singapore**.” (2011). accessed June 6, 2015, available from http://www.solaripedia.com/ files/1009.pdf.

[24] Laura Aeleneia and Helder Gonçalves, From solar building design to Net Zero Energy Buildings : performance insights of an office building. **Energy Procedia** 48 (2014): 1236 – 1243.

การออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ด้านการลดการใช้พลังงานในอาคารที่ตั้งอยู่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น

จากการศึกษาแนวทางการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ มีหลักการสำคัญ คือ การลดการใช้พลังงาน ซึ่งหลักการลดการใช้พลังงานในพื้นที่ภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย กับพื้นที่ที่มีอากาศหนาวเย็นนั้น มีความแตกต่างกัน อาคารในเขตภูมิอากาศหนาว จะเน้นการใช้เทคโนโลยีเพื่อสร้างความอบอุ่นให้แก่อาคาร เช่น เครื่องทำน้ำร้อน การทำให้ผนังร้อนหรือการนำแสงอาทิตย์เข้ามาให้ได้มากที่สุด เพื่อให้เกิดความอบอุ่นภายในอาคาร แต่หากเป็นอาคารในแถบร้อนชื้น จะมีประเด็นของการปรับอากาศเข้ามาเป็นหลัก เพื่อให้อาคารเย็น

ดังนั้นในหัวข้อนี้ จึงเป็นการศึกษาถึงหลักการออกแบบเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร ที่อยู่ในพื้นที่ภูมิอากาศแบบร้อนชื้น แบบประเทศไทย ดังนี้

1. การศึกษาของ François GARDE (2011) ได้อธิบายวิธีการออกแบบให้เป็นไปตามเป้าหมายของ net zero energy ในพื้นที่ภูมิอากาศเขตร้อน ซึ่งได้อธิบายลักษณะของอาคารในภูมิอากาศเขตร้อน ดังนี้[25]

1.1 แหล่งที่มาหลักของพลังงานคือไฟฟ้าเท่านั้น

1.2 ในส่วนของการใช้พลังงานและสำหรับอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย มีการใช้พลังงานปรับอากาศ 50% คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ไฟฟ้า 25% และแสงประดิษฐ์ 11%

1.3 ในส่วนของการออกแบบโดยใช้ปัจจัยทางธรรมชาติ (passive design) มีสองหลักการที่สำคัญในภูมิอากาศเขตร้อน คือ การป้องกันแสงอาทิตย์และการระบายอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้เกิดความสะดวกสบายที่สุด

2. การออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานต่ำ ต้องอาศัยขั้นตอน ดังนี้

2.1 ความรู้ที่ดีเกี่ยวกับสภาพอากาศในท้องถิ่น

2.2 การออกแบบสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น การปลูกพืชรอบอาคารเพื่อลดความร้อน ลานจอดรถไม่ควรอยู่ด้านหน้าอาคาร เป็นต้น

2.3 ส่วนสำคัญในการออกแบบโดยใช้ปัจจัยทางธรรมชาติ (passive design) เช่น การติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนหลังคา แผงบังแดด การระบายอากาศ การใช้แสงธรรมชาติ เป็นต้น

2.4 การเลือกใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีในอาคารที่เหมาะสม

2.5 การบังคับใช้ระบบการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

กรณีศึกษาอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

เป็นการรวบรวมข้อมูลอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ ปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐในการศึกษานี้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้

---

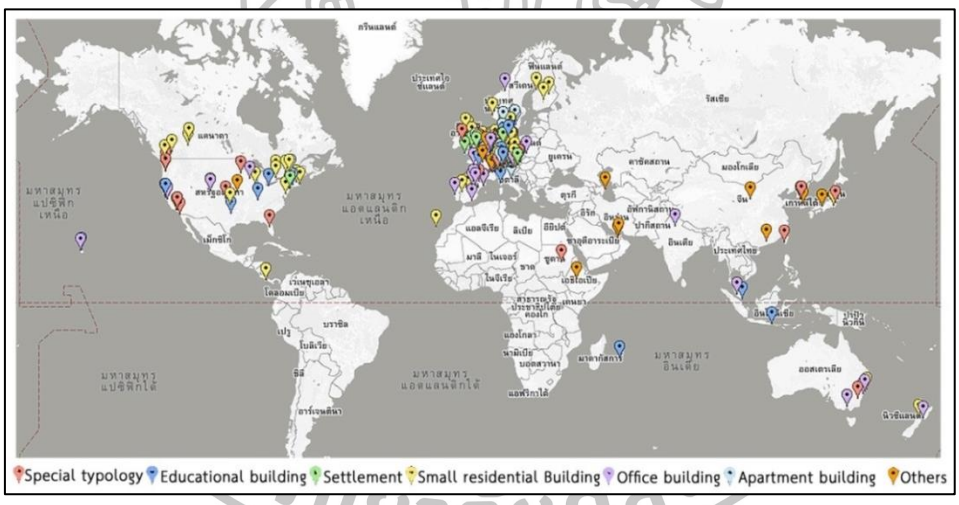
[25] François GARDE, Towards Net Zero Energy Buildings in Hot Climates: Part 1, New Tools and Methods. **ASHRAE**(2011): 1-3.

สถิติข้อมูลอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

จากการศึกษาของ Eike Musall (2013) ได้รวบรวมจำนวนอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ทั่วโลก เมื่อปี 2013 (พ.ศ. 2556) ซึ่งมีจำนวน 378 อาคาร แบ่งประเภทอาคาร ดังนี้[26]

1. โรงแรม โรงพยาบาล อาคารศูนย์กีฬา จำนวน 44 อาคาร
2. สถานศึกษา จำนวน 37 อาคาร
3. กลุ่มอาคาร ชุมชน จำนวน 20 อาคาร
4. ที่พักอาศัยขนาดเล็ก จำนวน 158 อาคาร
5. อาคารสำนักงาน จำนวน 65 อาคาร
6. อาคารที่พักอาศัยรวม อพาร์ทเมนต์ จำนวน 32 อาคาร
7. อาคารประเภทอื่นๆ จำนวน 22 อาคาร

จากงานศึกษาของ Voss and Musall (2011) ได้แสดงปริมาณอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ เมื่อปี พ.ศ. 2554 ซึ่งยังมีเพียง 291 อาคารทั่วโลก โดยพบว่าอาคารทางกลุ่มสหภาพยุโรปมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือประเทศสหรัฐอเมริกา[27]



ภาพที่ 3 แสดงตำแหน่งที่ตั้งอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

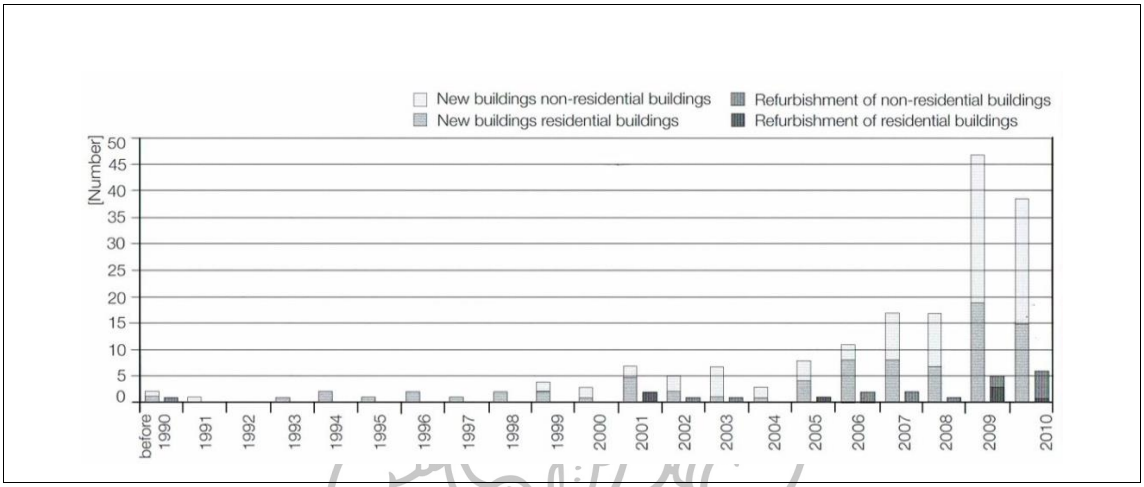
ที่มา: Eike Musal, “**Towards Net Zero Energy Solar Buildings,**” (2013),accessed November 20,2015; Available from: http://batchgeo.com/map/net-zero-energy-buildings. ดัดแปลงโดยผู้วิจัย

---

[26] Eike Musal, “**Towards Net Zero Energy Solar Buildings.**” (2013), accessed November 20,2015, available from: http://batchgeo.com/map/net-zero-energy-buildings.

[27] Karsten Voss and Eike Musall, **Net Zero Energy Buildings International Project of Carbon Neutrality in Building**, 2013 new ed. (Hackerbrucke 6, D-80335 Munich: GmbH&Co.KG, 2011), 50.

จากภาพที่ 4 เห็นได้ว่าตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 (พ.ศ. 2543) ขึ้นไป ปริมาณของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้เพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ แสดงให้เห็นถึงการให้ความสำคัญต่อการใช้พลังงานในทุกพื้นที่ทั่วโลก และเห็นได้ถึงการให้ความสนใจในการก่อสร้าง หรือปรับปรุงอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ที่อาจมีเพิ่มมาขึ้นในปัจจุบันและอนาคต



ภาพที่ 4 แสดงสัดส่วนปริมาณอาคารและการเพิ่มจำนวนอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์
ที่มา: Karsten Voss and Eike Musall, **Net Zero Energy Buildings International Project of Carbon Neutrality in Building**, 2013 new ed. (Hackerbrucke 6, D-80335 Munich: GmbH&Co.KG, 2011), 50.

กรณีศึกษาอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์หรือที่มีแนวทางใกล้เคียง

การศึกษานี้มีเป้าหมายในการปรับปรุงพัฒนาอาคารสำนักงานภาครัฐ เพื่อให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ เนื่องจากแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573) ได้มีพยายามปรับระดับศักยภาพพลังงานของอาคารในประเทศให้สูงขึ้น โดยเริ่มสนับสนุนมาตรการประหยัดพลังงานอาคารภาครัฐและต้องการพัฒนาอาคารภาครัฐให้เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงาน เพื่อเป็นแบบอย่างแก่อาคารอื่นได้ ซึ่งจะช่วยพัฒนาอาคารอื่น ๆ ได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น ดังนั้นการรวบรวมข้อมูลกรณีศึกษาอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์นี้ จึงรวบรวมเฉพาะอาคารประเภทสำนักงาน หรือมีพื้นที่สำนักงาน ทั้งในและต่างประเทศที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ภูมิอากาศแบบร้อนชื้นหรือใกล้เคียง เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิธีการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. กรณีศึกษาในประเทศไทย

1.1 โครงการพัฒนาเทคโนโลยีอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย อาคารกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัย ขอนแก่น

อาคารกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยขอนแก่นนี้ เป็นอาคารสูง 2 ชั้น โครงสร้างเดิมเป็นแบบก่ออิฐฉาบปูน ขนาดพื้นที่ 315 ตารางเมตร แบ่งเป็น ชั้น 1 พื้นที่ปรับอากาศ

63.00 ตารางเมตรและพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 94.50 ตารางเมตร ชั้น 2 พื้นที่ปรับอากาศ 157.50 ตารางเมตร พื้นที่หลังคา 200 ตารางเมตร[28]

การใช้สอยของอาคารชั้น 2 เป็นพื้นที่สำนักงาน และชั้น 1 ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือพื้นที่ห้องรับรอง และพื้นที่นั่งแบบเปิดโล่งไม่มีกำแพงกั้น

ภาพที่ 5 ภาพถ่ายทางอากาศ อาคารกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
(ภาพจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Google Earth)

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอาคารดังกล่าวให้มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยการปรับปรุงระบบต่าง ๆ ของอาคารให้มีประสิทธิภาพพลังงานสูงขึ้น ปรับปรุงสัดส่วนของอาคารบางส่วน กรอบในการวิจัยของโครงการดังกล่าว มีข้อกำหนด ต่อไปนี้[29]

1. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV) ไม่เกิน 20 W/m^2
2. อุปกรณ์ให้แสงสว่างด้วยไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าติดตั้งต้องไม่สูงกว่า 6 W/m^2
3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำระบบทำความเย็นที่ใช้รังสีอาทิตย์หรือใช้ระบบทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพ ใช้พลังงานไม่สูงกว่า 0.6 kW/Ton
4. ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากรังสีอาทิตย์ และใช้แสงธรรมชาติผ่านหน้าต่าง
5. ออกแบบให้อาคารมีคุณภาพเชิงแสง มีสัดส่วนพื้นที่โปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ไม่ต่ำกว่า 0.15 และมีคุณภาพเชิงเสียงที่ได้มาตรฐาน

1.1.1 การออกแบบและปรับปรุงผนังอาคาร ก่อนการปรับปรุงมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) ประมาณ 39.79 W/m^2 ได้ทำการลดพื้นที่ผนังกระจกเปลี่ยนเป็นผนังทึบไฟเบอร์ซีเมนต์ หนา 10 มิลลิเมตร แกนกลางบุด้วยฉนวนใยแก้ว และติดตั้งฟิล์ม -

---

[28] มหาวิทยาลัยขอนแก่น และกองทุนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, “รายงานฉบับสุดท้าย โครงการการพัฒนาเทคโนโลยีอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) ที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย.” มกราคม 2557.

[29] “อาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building)” (เอกสารในการประชุมสัมมนาคณะกรรมาธิการปฏิรูปพลังงาน สภาปฏิรูปแห่งชาติ, สโมสรทหารบก กรุงเทพมหานคร, 2558).

ลดความร้อนบนกระจกเดิม[30] หลังปรับปรุงพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร ลดลงเหลือ 18.95 W/m^2

(ก) (ข)

ภาพที่ 6 ภาพลักษณะอาคารกองสื่อสารองค์กรมหาวิทยาลัยขอนแก่น

(ก) ภาพผนังภายนอกอาคารและแผงบังแดด (ข) ภาพการปรับปรุงผนังภายนอกอาคาร

ที่มา: (ก) ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ อาคารกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อมิถุนายน 2558; (ข) มหาวิทยาลัยขอนแก่น, “อาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building)” (เอกสารประกอบ การประชุมสัมมนาคณะกรรมาธิการปฏิรูปพลังงาน สภาปฏิรูปแห่งชาติ, สโมสรทหารบก กรุงเทพมหานคร, 2558).

1.1.2 การออกแบบและปรับปรุงหลังคาอาคาร เดิมเป็นหลังคาคอนกรีตมุงกระเบื้องทำให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาสูงและโครงการวิจัยนี้ ได้เลือกใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นแหล่งในการผลิตพลังงานให้แก่อาคาร จึงได้ออกแบบปรับปรุง ให้หลังคาถูกยกสูงทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือและลาดลงไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทำมุมกับแนวราบ 12.5 องศา เปลี่ยนวัสดุมุงหลังคาเป็นเมทัลชีท เพื่อความสะดวกในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เลือกใช้แผงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว (monocrystalline silicon) ติดตั้งจำนวน 78 แผงและติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 4 นิ้ว เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาและหลังคาส่วนหนึ่งถูกแบ่งเป็นช่องนำแสงธรรมชาติ เพื่อช่วยลดการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร

[30] มหาวิทยาลัยขอนแก่น และกองทุนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, “รายงานฉบับสุดท้าย โครงการการพัฒนาเทคโนโลยีอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) ที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย.” มกราคม 2557.

(ก) (ข)

ภาพที่ 7 ลักษณะหลังคาอาคารก่อนและหลังปรับปรุง

(ก) ภาพหลังคาอาคารหลังปรับปรุง (ข) ภาพการปรับปรุงหลังคาอาคาร

ที่มา: (ก) ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ อาคารกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อมิถุนายน 2558; (ข) มหาวิทยาลัยขอนแก่น, “อาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building)” (เอกสารประกอบ การประชุมสัมมนาคณะกรรมาธิการปฏิรูปพลังงาน สภาปฏิรูปแห่งชาติ, สโมสรทหารบก กรุงเทพมหานคร, 2558);

1.1.3 การออกแบบและปรับปรุงระบบทำความเย็น เลือกติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบ VRF ขนาดทำความเย็นรวม 18.75 ton มีคอนเดนซิ่งยูนิตจำนวน 3 ชุด ทำให้การใช้พลังงานหลังการปรับปรุงลดลงจาก 1.09 kW/ton เหลือ 0.57 kW/ton และใช้ระบบปรับอากาศแบบ Solar Air ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน มาติดตั้งเป็นอุปกรณ์ร่วมอยู่ในระบบการทำงาน

ภาพที่ 8 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและท่อนำแสงของอาคารกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ที่มา: “การถ่ายทอดความรู้ อาคารต้นแบบพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.” (ม.ป.ป.), เข้าถึงเมื่อ 25 กรกฎาคม 2558 , เข้าถึงได้จาก http://www.thai-explore.net/search_detail/result/494.

1.1.4 การออกแบบปรับปรุงระบบแสงสว่างและอุปกรณ์สำนักงาน ใช้หลอดไฟ LED แทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8 และโคมไฟดาวน์ไลท์เดิมในอาคาร ทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อพื้นที่ใช้งานลดลงจากเดิม เหลือ 3.36 W/m^2 นอกจากนี้ยังใช้แสงธรรมชาติโดยติดตั้งอุปกรณ์นำแสงธรรมชาติบริเวณทางเดินในสำนักงาน ในส่วนของอุปกรณ์สำนักงาน เดิมใช้คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ เปลี่ยนเป็นคอมพิวเตอร์แบบ Ultra book แทน

1.1.5 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากรังสีอาทิตย์ เลือกใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากรังสีอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย ผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดได้โดยตรง และหากมีพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เกินจะถูกจ่ายเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 78 แผง ผลิตไฟฟ้าได้ 28,707 kWh/year

ผลของการศึกษาวิจัยโครงการนี้พบว่า การใช้พลังงานในอาคารสำนักงานกองสื่อสารองค์กรลดลงจาก 35,988 เหลือ 21,921 kWh/year และจากการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาได้ 28,707 kWh/year ซึ่งมากกว่าพลังงานที่ใช้ หลังจากปรับปรุงอาคารแล้ว ทำให้สามารถเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้

ในบางปีอาจจะเป็นเพียงอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเกือบศูนย์ (Near Zero Energy Building) เนื่องจากปัญหาทางด้านสภาพอากาศและความชื้น ทำให้ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยกว่าความต้องการ

ภาพที่ 9 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ อาคารกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อมิถุนายน 2558)

1.1.6 สิ่งที่น่าสนใจในการนำไปศึกษาวิจัยต่อ จากการศึกษานี้ ทำให้ทราบว่าประเทศไทยสามารถมีอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ และหากมีการคิดในแง่การปรับปรุงพัฒนาที่คำนึงจากขนาดพื้นที่ที่ใช้สอยและการใช้พลังงานไฟฟ้า ให้สัมพันธ์กับพื้นที่หลังคาอาคารที่เพียงพอต่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบหลังคามาก จะสามารถนำแนวคิดดังกล่าวไปพัฒนาอาคารอื่น ๆ ให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในประเทศไทย ได้มากขึ้นหรือไม่ โดยในการศึกษานี้ได้ทดลองตามแนวคิดดังกล่าว ซึ่งจะอธิบายในบทที่ 3-4 ต่อไป

1.2 อาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus (ตลาดโลตัส)[31]

อาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus (ตลาดโลตัส) อ.บางพระ จ.ชลบุรี เปิดทำการในปี พ.ศ. 2554 เป็นอาคารที่มีเป้าหมายที่จะลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการดำเนินธุรกิจลง 50% ภายในปี พ.ศ. 2563

ลักษณะอาคารเป็นอาคารชั้นเดียว ขนาดพื้นที่ของอาคาร 1,200 ตารางเมตร พื้นที่ขาย 700 ตารางเมตร และมีพื้นที่หลังคา 1,215.55 ตารางเมตร

ภาพที่ 10 ภาพรวมอาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus (ตลาดโลตัส)
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ อาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus เมื่อกรกฎาคม 2558)

1.2.1 การออกแบบโครงสร้างอาคาร เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ได้ติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนหลังคาแบบบาง เลือกใช้ผนังกระจกแผ่รังสีต่ำ (low-e glass) ทางด้านทิศเหนือและทิศใต้ เพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร เลือกใช้หลอดไฟ LED ทั้งหมด 200 หลอด ขนาด 60 W นอกจากนี้ยังติดตั้งระบบอัตโนมัติ มีอุปกรณ์ตรวจวัดแสงและปรับลดความสว่างอัตโนมัติ โดยตั้งค่าไว้ที่ 900 lux แบ่งโซนการตรวจจับแสงไว้ทั้งหมด 4 โซน

ภาพที่ 11 แสดงบรรยากาศภายในอาคารส่วนของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และช่องแสงด้านข้าง
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ อาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus เมื่อกรกฎาคม 2558)

---

[31] สัมภาษณ์ วิรัตน์ สุขน้อย, วิศวกร/FM อาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus (ตลาดโลตัส) อ.บางพระ จ.ชลบุรี, 31 กรกฎาคม 2558.

1.2.2 การออกแบบระบบปรับอากาศและตู้แช่ การเลือกใช้เครื่องปรับอากาศของอาคารเป็นระบบ VRV (variable refrigerant volume) โดยภายในอาคาร ตั้งอุณหภูมิที่ 26°C ใช้น้ำยา R410A ในส่วนของตู้แช่อาหารปรับอากาศ ได้เลือกใช้สารทำความเย็น ไฮโดรโพรเพน ซึ่งเป็นก๊าซธรรมชาติ แต่การใช้สารโพรเพน ก็มีข้อเสียคือ เป็นสารที่ติดไฟง่ายและราคาแพง เมื่อเกิดการรั่วไหลของก๊าซ จะมีระบบเซนเซอร์ตรวจจับการรั่วไหล และทำการตัดระบบไฟ เพื่อหยุดการทำงาน จากนั้นใช้พัดลมดูดอากาศ ไล่อากาศออกไปทำให้ก๊าซเจือจางลง

ภาพที่ 12 แสดงตู้แช่อาหารปรับอากาศ และพื้นที่ระบบปรับอากาศ อาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus (ตลาดโลตัส)
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ อาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus เมื่อกรกฎาคม 2558)

1.2.3 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีพื้นที่ติดตั้งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่อยู่บนหลังคา และส่วนฟาร์มโซล่าเซลล์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นที่หลังคา ซึ่งหันไปทางด้านทิศเหนือและทิศใต้ มีทั้งหมดจำนวน 465 แผง แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีกำลังผลิตแผงละ 140 W สามารถผลิตไฟฟ้าได้ด้านละ 33 kWh รวม 66 kWh

ส่วนของฟาร์มโซล่าเซลล์ มีจำนวน 1,860 แผง แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีกำลังผลิตแผงละ 140 W ผลิตไฟฟ้าได้ 214 kWh รวมทั้งหมดได้ 330 kWh เมื่อเฉลี่ยแล้วใน 1 วัน สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1,200-1,300 kWh/day

ภาพที่ 13 แสดงพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาและฟาร์มโซล่าเซลล์
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ อาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus เมื่อกรกฎาคม 2558)

นอกจากนี้ยังมีเครื่องทำความร้อน ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจะมีการติดตั้งแผงที่มีขดลวดขดอยู่ภายในบนหลังคา ใช้เก็บความร้อนเพื่อผลิตน้ำร้อน และนำไปใช้ในห้องล้างไขมัน โดยมีความร้อนประมาณ 40-60 ˚C

ภาพที่ 14 แสดงเครื่องทำความร้อน ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ อาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus (ตลาดโลตัส)
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ อาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus เมื่อกรกฎาคม 2558)

1.2.4 ห้องควบคุม ในโครงการนี้มีการเผื่อพื้นที่สำหรับห้องควบคุมระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยภายในห้องประกอบไปด้วย ตู้ควบคุมระบบโซล่าเซลล์และกังหันลม ขนาดห้องประมาณ 18 ตารางเมตร

ภาพที่ 15 แสดงห้องควบคุม และหน้าจอแสดงผลการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ อาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus (ตลาดโลตัส)
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ อาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus เมื่อกรกฎาคม 2558

โครงการแห่งนี้มีสถิติการผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบรายวัน เริ่มตั้งแต่วันที่ 20 ตุลาคม พ.ศ. 2554 โดยในปี 2558 (มกราคม ถึงเดือน กรกฎาคม) สามารถผลิตพลังงานได้ 245,630 kWh ช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 154,746.90 kg (ข้อมูลเมื่อวันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 จากการสัมภาษณ์)

1.2.5 ข้อสังเกตจากการศึกษาอาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus (ตลาดโลตัส) อ.บางพระ จ.ชลบุรี

1.2.5.1 แม้ว่าจะติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมาก แต่การใช้ไฟฟ้าในอาคารยังคงมีมากกว่าการผลิต โดยเฉพาะในช่วงกลางคืนที่ต้องมีการใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งจากการไฟฟ้า เนื่องมาจากอาคารไม่มีระบบในการจัดเก็บพลังงานส่วนเกินไว้ใช้ เพราะแบตเตอรี่มีอายุการใช้งานต่ำ ต้องใช้สถานที่ใหญ่ในการเก็บและมีราคาแพง ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน

1.2.5.2 สารไฮโดรโพรเพน มีการใช้เฉพาะตู้แช่อาหารเท่านั้น ไม่ได้มีการใช้กับระบบปรับอากาศ จึงยังให้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่

2. ตัวอย่างอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์หรืออาคารที่มีแนวทางใกล้เคียง ในต่างประเทศ อาคาร Zero Energy Building (ZEB) at BCA Academy[32]

ZEB ตั้งอยู่ในสถาบันการศึกษา BCA Academy ของประเทศสิงคโปร์ ประกอบไปด้วย ห้องเรียน สำนักงานวิจัย และพื้นที่สาธารณะ ขนาดพื้นที่ 4,500 ตารางเมตร ผลิตพลังงานโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ มีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งบนพื้นที่รวม 1,540 ตารางเมตร ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ $84,000 ต่อปี[33]

ภาพที่ 16 ทัศนียภาพภายนอกอาคาร Zero Energy Building (ZEB) at BCA Academy
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ อาคาร ZEB at BCA Academy เมื่อพฤษภาคม 2558)

การปรับปรุงและพัฒนาอาคารให้กลายเป็นอาคารที่ประหยัดพลังงาน เป็นศูนย์กลางสำหรับผู้ปฏิบัติงานและนักศึกษาในการศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาคารสีเขียว มีดังนี้

---

[32] ข้อมูลบางส่วนและรูปภาพอาคาร จากการศึกษาดูงาน ในรายวิชา 261417 FOREIGN STUDY TRIP เมื่อวันที่ 5 พ.ค.2558

[33] **Case of the month – Singapore** (2012). accessed September 14, 2015, available from http://www.re-green.eu/en/go/case-of-the-month---singapore.

2.1 การประหยัดพลังงานในอาคาร[34]

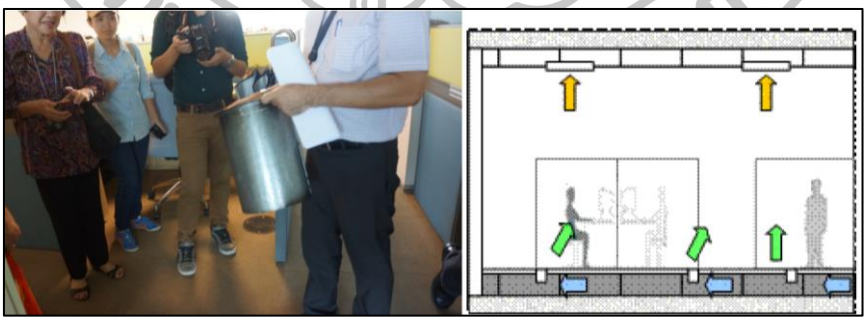
2.1.1 มีการใช้กระจกแผ่รังสีต่ำ (low-e) เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านกระจก

2.1.2 มีอุปกรณ์บังแดดที่ช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร และเพิ่มคุณภาพของแสงภายใน

2.1.3 มีระบบการจัดการบริหารอัตโนมัติ ควบคุมระบบทั้งอาคาร เช่น Motion sensors, CO_2 sensors เป็นต้น

ภาพที่ 17 ทัศนียภาพภายในอาคาร การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในห้องทำงาน
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ อาคาร ZEB at BCA Academy เมื่อพฤษภาคม 2558)

2.1.4 ใช้เทคโนโลยีด้านแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพ เช่น หลอดไฟประสิทธิภาพสูง มีระบบเซนเซอร์อัตโนมัติ และการใช้แสงธรรมชาติจากท่อนำแสง (light pipes) และหิ้งสะท้อนแสง (light shelf).



ภาพที่ 18 แสดงท่อปรับอากาศจากพื้นอาคาร ZEB at BCA Academy
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ อาคาร ZEB at BCA Academy เมื่อพฤษภาคม 2558)

---

[34] Singapore government. **“The island's first retrofitted ZERO energy building,”** (2010), accessed September 14, 2015, available from: https://www.bca.gov.sg/zeb/default.html.

2.1.5 ใช้ระบบปรับอากาศส่วนบุคคล (personalized ventilation) ทำให้การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศลดลง โดยควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 26°C อากาศเย็นจะถูกปล่อยไปตามท่อ โดยที่ปริมาณอากาศสามารถปรับได้เอง ซึ่งถูกติดตั้งที่โต๊ะทำงานของแต่ละบุคคล วิธีการนี้ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศของผู้อยู่อาศัยได้ เป็นผลให้เครื่องปรับอากาศโดยรอบสามารถตั้งค่าในอัตราที่จ่ายอากาศลดลงโดยไม่สูญเสียความสบาย และยังมีท่อปรับอากาศอยู่บริเวณพื้น ตามจุดต่าง ๆ ช่วยให้มีความเย็นที่สม่ำเสมอ และลดการใช้พลังงานได้มาก

2.1.6 หลังคาเขียว ช่วยป้องกันแสงแดด และกักเก็บน้ำจากพายุและการคายน้ำของพืช นอกจากนี้ยังตอบสนองวัตถุประสงค์ในการสร้างพื้นที่สีเขียวในเมืองได้[35]

ภาพที่ 19 แสดง Green Roof ของอาคาร ZEB at BCA Academy
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ อาคาร ZEB at BCA Academy เมื่อพฤษภาคม 2558)

2.1.7 ปล่องลมแสงอาทิตย์ (solar chimney) มีการใช้ความร้อนที่ออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้เกิดการระบายอากาศในห้องเรียน (buoyancy effect) ส่วนของปล่อง ใช้ท่อโลหะสีเข้มช่วยดูดความร้อนและเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อน โดยมีปล่องวางไว้บนหลังคาแต่ละจุดรวม 4 ปล่อง

2.2 การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์[36] โดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา และส่วนของกรอบอาคาร เพื่อใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้แก่อาคาร การจัดการพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

2.2.1 พลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบสายส่งไฟฟ้า

2.2.2 พลังงานจะจ่ายให้กับ BCA Academy ก่อนที่ส่วนเกินอื่น ๆ จะถูกส่งกลับไปที่ระบบสายส่งไฟฟ้า

---

[35] Singapore government. **“The island's first retrofitted ZERO energy building.”** (2010), accessed September 14, 2015, available from: https://www.bca.gov.sg/zeb/default.html

[36] เรื่องเดียวกัน

ภาพที่ 20 แสดงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำหน้าที่เป็น façade และแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ อาคาร ZEB at BCA Academy เมื่อพฤษภาคม 2558)

2.3 สรุปผลการใช้พลังงานและพลังงานที่ผลิตได้ของอาคาร[37]

2.3.1 พลังงานไฟฟ้ารวมต่อปีเท่ากับ 183 MWh/year หรือ 41 kWh/m^2/year

2.3.2 พลังงานที่ผลิตได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่ติดตั้งทั้งหมด 1,540 ตารางเมตร เท่ากับ 203 MWh/year หรือ 45 kWh/m^2/year

2.3.3 มีพลังงานที่ผลิตได้มากกว่าความต้องการพลังงาน ทำให้เป็นอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

2.4 ข้อสังเกตจากการศึกษาอาคาร BCA Academy เป็นอาคารที่มีการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานที่หลากหลาย และครอบคลุมในทุกระบบ ทั้งระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ และการใช้พลังงานทดแทน สามารถเป็นแบบอย่างของอาคารประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี ในพื้นที่บางส่วน เช่น ห้องที่ใช้ปล่องลมแสงอาทิตย์ (solar chimney) ในทางทฤษฎี อาจช่วยอากาศภายในอาคารเย็นขึ้นได้ แต่ในทางปฏิบัติจริง เมื่อผู้วิจัยได้เข้าไปอยู่ในห้องที่มีการออกแบบนี้ กลับมีความรู้สึกว่า อากาศภายในยังคงร้อนอยู่ ซึ่งทำให้มีความคิดเห็นว่าควรมีการปรับปรุงในส่วนนี้เพิ่มเติม

ตารางสรุปข้อมูลอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

นอกจากการนำเสนอตัวอย่างกรณีศึกษาอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ข้างต้น ยังมีอาคารอื่น ๆ ซึ่งได้รวบรวมไว้จากการศึกษาวรรณกรรม และงานวิจัย

จากการรวบรวมกรณีศึกษาอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์หรืออาคารที่มีเป้าหมายใกล้เคียงกัน ประเภทอาคารสำนักงาน ซึ่งเป็นอาคารที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ทั่วโลกพบว่า อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ส่วนใหญ่ เป็นอาคารสูง 2-3 ชั้น มีขนาดพื้นที่ 300-4,500 ตารางเมตร และพบว่าสิ่งสำคัญใน

---

[37] Yudelson Associates, **“Building and Construction Authority Zero Energy Building Braddell Road Campus, Singapore.”** (2011), accessed September 14, 2015, available from http://www.solaripedia.com/files/1009.pdf.

การทำให้อาคารมีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ คือ การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าให้แก่อาคาร และนิยมติดตั้งบนหลังคาอาคารมากที่สุด ตารางรวบรวมกรณีศึกษาอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ตารางที่ 6-7 แสดงในหน้าถัดไป

ตารางที่ 6 ข้อมูลอาคาร กรณีศึกษาอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ข้อมูลการใช้และการผลิตพลังงาน

ชื่ออาคาร	ประเภท	ปีที่สร้างเสร็จ	ที่ตั้ง	สภาพอากาศ	ขนาดพื้นที่ (ตร.ม.)		จำนวนชั้น	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้		ระบบเซลล์แสงอาทิตย์	
					พื้นที่รวม	หลังคา		kWh/m^2/year	kWh/year	kWh/year	พื้นที่ติดตั้ง
1. อาคารกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยขอนแก่น	สำนักงาน	2014	ขอนแก่น,ไทย	ร้อน-ชื้น	315	200	2	69.59	21,921	28,707	หลังคา
2. เทสโก้ โลตัส สาขาบางพระ	ซุปเปอร์สโตร์	2013	ชลบุรี, ไทย	ร้อน-ชื้น	1,200	1,215	1	456.25	547,500	245,630	หลังคา, farm
3.Zero Energy Building at BCA Academy	สำนักงาน, สถานศึกษา	2009	สิงคโปร์	ร้อน-ชื้น	4,359	1,540	3	41.98	183,000	207,000	หลังคา, facade
4.EnerPos building	สถานศึกษา	2008	Reunion Island	ร้อน-ชื้น	1,425	350	2	6.89	9,824	70,000	หลังคา
5.Pusat Tenaga Malaysia Zero Energy Office Building	สำนักงาน	2007	มาเลเซีย	ร้อน-ชื้น	4,000	-	3	-	-	103,000	หลังคา
6.Doyle Conservation Center	สำนักงาน	2004	Leominster, MA	-	2,043	1,831	2	-	-	22,349	หลังคา
7.ORNL Office Building 3156	สำนักงาน	2009	Oak Ridge, TN	ร้อน-ชื้น	641	-	2	101.34	64,960	68,000	
8.Rice Fergus Miller Office	สำนักงาน	2011	WA	-	1,723	-	3	67.14	115,693	-	หลังคา
9.PNC Net Zero Bank Branch	สำนักงาน	2003	ฟลอลิดา	เขตร้อน	429	-	1	-	36.6 kBtu/ft^2	32.1 kBtu/ft^2	หลังคา
10.Watsonville Water Resources Center	สำนักงาน	2009	CA	เมดิเตอร์เรเนียน	1,486	-	1	84.79	126,000	160,000/ 392,000	หลังคา, พื้นดิน

ตารางที่ 7 ข้อมูลอาคารและการออกแบบ กรณีศึกษาอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ชื่ออาคาร	การออกแบบโดยใช้ปัจจัยทางธรรมชาติ				การใช้เทคโนโลยี	การผลิตพลังงาน		การจัดหาพลังงาน	
	ฉนวนกันความร้อน	การบังแดด	ระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ	แสงธรรมชาติ		แผงเซลล์แสงอาทิตย์	กังหันลม	On-site	Off -site
1. อาคารกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยขอนแก่น	✓	✓		✓	✓	✓		✓	
2. เทสโก้ โลตัส สาขาบางพระ				✓	✓	✓	✓	✓	
3. BCA Academy	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
4. EnerPos building	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
5. PTM ZEO	✓	✓		✓	✓	✓		✓	
6. Zero Net Energy Center		✓		✓	✓	✓		✓	
7. PNC Net Zero Bank Branch		✓						✓	
8. Aldo Leopold Legacy Center		✓	✓	✓	✓	✓		✓	
9. Kirsch Center For Environmental Study					✓	✓		✓	
10. Packard Foundation Headquarters Building	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
11. IDeAs Office Building	✓		✓	✓	✓	✓		✓	
12. Watsonville Water Resources Center		✓	✓	✓	✓	✓		✓	
13. Omega Center For Sustainable Living	✓			✓	✓	✓		✓	
14. Wampanoag Headquarters	✓		✓	✓	✓			✓	
15. Ridgehaven Office Building	✓			✓	✓	✓		✓	
16. Zion Comfort Station			✓	✓	✓	✓		✓	
17. Bazzani Associates Headquarters	✓		✓	✓	✓	✓		✓	

ตารางที่ 7 ข้อมูลอาคารและการออกแบบ กรณีศึกษาอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (ต่อ)

ชื่ออาคาร	การออกแบบโดยใช้ปัจจัยทางธรรมชาติ				การใช้เทคโนโลยี	การผลิตพลังงาน		การจัดหาพลังงาน	
	ฉนวนกันความร้อน	การบังแดด	ระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ	แสงธรรมชาติ		แผงเซลล์แสงอาทิตย์	กังหันลม	On-site	Off -site
18. ORNL Office Building 3156	✓	✓			✓	✓		✓	
19. DPR Construction San Diego Net Zero Office		✓	✓	✓	✓	✓		✓	
20. Rice Fergus Miller Office & Studio	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
21. Corporate Headquarters	✓	✓		✓	✓	✓		✓	
22. Pixel building	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓

พลังงานหมุนเวียนและศักยภาพของพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย

พลังงานแสงอาทิตย์

1. ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

จากแผนที่พลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคม มีค่าอยู่ในช่วง 5.56-6.67 kWh/m^2/day บริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปี อยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี อุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อยุธยา และจังหวัดลพบุรี[38]

ซึ่งพื้นที่ของประเทศไทยทั้งหมด ได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีในช่วง 5.0-5.28 kWh/m^2/day เมื่อทำการเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศจากทุกพื้นที่ เป็นค่ารายวันเฉลี่ยต่อปี ได้เท่ากับ 5.0 kWh/m^2/day[39] เห็นได้ว่า ประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่น ๆ ตามภาพที่ 21 และตารางที่ 8

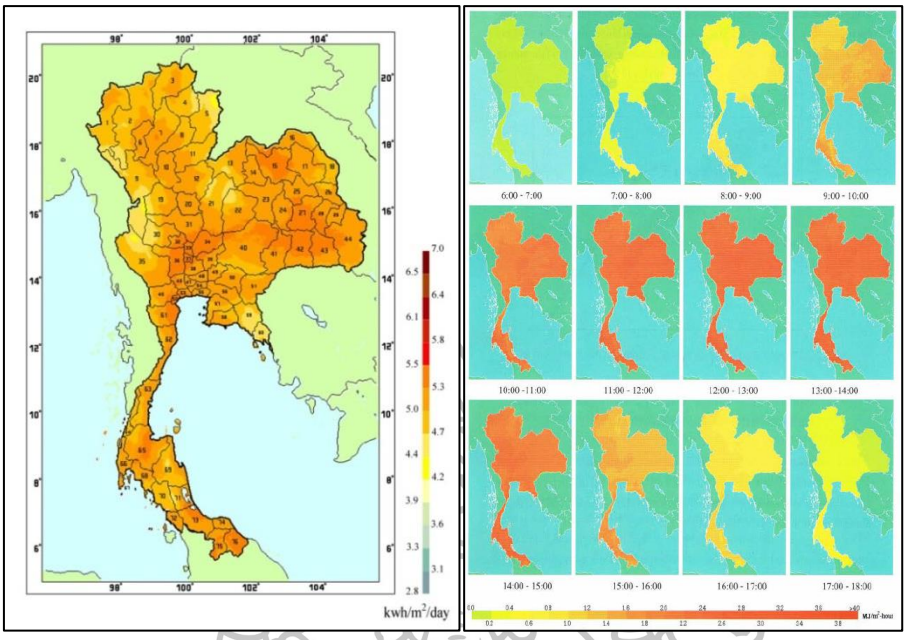
ตารางที่ 8 แสดงค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของแต่ละประเทศ

ประเทศ	ช่วงความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี (kWh/m^2/day)
อังกฤษ	2.5
ไอร์แลนด์	2.8
ญี่ปุ่น	3.6
สหรัฐอเมริกา	4.4
ออสเตรเลีย	5.4
อินเดีย	5.6
ไทย	5.0

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, “พลังงานแสงอาทิตย์.” ใน **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2**, ม.ป.ท., (ม.ป.ป.), 1-5. 4. ดัดแปลงโดยผู้วิจัย

[38] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, “พลังงานแสงอาทิตย์.” ใน **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2**, ม.ป.ท., (ม.ป.ป.), 1-2.

[39] เรื่องเดียวกัน



ภาพที่ 21 แสดงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย
ที่มา: การไฟฟ้าผ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. "ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542)." เข้าถึงเมื่อ 16 กันยายน 2558, เข้าถึงได้จาก http://www3.egat.co.th/re/egat_pv/sun_thailand.htm. ; กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, “พลังงานแสงอาทิตย์.” ใน **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2**, ม.ป.ท., (ม.ป.ป.), 5.

2. เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic)

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีศักยภาพสูง ทำให้การศึกษานี้เลือกวิธีการผลิตพลังงานด้วยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ซึ่งการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์โดยตรง ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ เครื่องเปลี่ยนระบบไฟฟ้าและแบตเตอรี่

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ

2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมาจากซิลิคอน เป็นประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความนิยมใช้มากที่สุด เพราะซิลิคอนเป็นธาตุที่มีอยู่มากมายในโลก เช่น ในทรายที่มีอยู่ทั่วไปตามชายหาด หรือในหินประเภทควอตซ์ (quartz) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมาจากซิลิคอน แบ่งตามลักษณะของโครงสร้างผลึกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกโพลี และเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบไม่มีรูปผลึก หรือแบบอะมอร์ฟัส[40]

[40] ศิริชัย วัฒนาโสภณ และ สาริณี อุยตระกูล, “รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการจ้างที่ปรึกษาวิจัยศักยภาพพลังงานลม/พลังงานแสงอาทิตย์ หรือพลังงานทดแทนอื่น ๆ.” 2555.

2.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมาจากสารประกอบ เช่น สารประกอบแกลเลี่ยมอาเซไนด์ (GaAs) แคดเมียมเทลเลอไรด์ (CdTe) คอปเปอร์อินเดียมไดอาเซไนด์ (CIS) เป็นต้น เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้มีทั้งแบบผลึกเดี่ยวและผลึกโพลี ส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพสูง แต่มีข้อเสียคือราคาแพงจึงทำให้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมนำมาใช้ และบางชนิดทำมาจากสารที่ก่อให้เกิดมลพิษ[41]

ภาพที่ 22 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนผลึกเดี่ยว (Mono Crystalline)
ที่มา: “ความรู้เบื้องต้นเกี่ยว กับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์.” (28 กุมภาพันธ์ 2553),เข้าถึงเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2558, รูปภาพจาก http://www.t-how.com/tag/amorphous-silicon-solar-cell/.

ภาพที่ 23 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนผลึกโพลี (Poly Crystalline)
ที่มา: “แผงโซล่าเซลแบบโพลีซีรี่ Solar Panel POLY Series.” เข้าถึงเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2558, รูปภาพจาก http://www.truetronix.com

ภาพที่ 24 แผงเซลล์แสง – อาทิตย์ซิลิคอนแบบไม่มีรูปผลึก (Thin Film)
ที่มา: “Sharp NA-V128H1, 128 Watt Thin Film Solar Panel.” เข้าถึงเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2558, รูปภาพจาก http://www.gogreensolar.com/products/sharp-na-v128h1-128-watt-thin-film-solar-panel.

2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมายถึง ผลลัพธ์กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูง หมายถึง ภายในหนึ่งพื้นที่ที่ทำการวัดค่าจะมีกำลังไฟฟ้ามาก ยิ่งมีประสิทธิภาพสูงมากเท่าไรก็ยิ่งมีความคุ้มค่ามากขึ้นเท่านั้น และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ ขึ้นอยู่กับตัวแปร เช่น ชนิดของโซล่าเซลล์ที่นำมาประกอบโครงสร้างของแผง วัสดุส่วนประกอบแผง การติดตั้งรับแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น

[41] ศิริชัย วัฒนาโสภณ และ สาริณี อุยตระกูล, “รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการจ้างที่ปรึกษาวิจัยศักยภาพพลังงานลม/พลังงานแสงอาทิตย์ หรือพลังงานทดแทนอื่น ๆ.” 2555.

2.2.1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์และข้อดีข้อเสีย ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์และข้อดีข้อเสีย

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	ราคา/วัตต์ (บาท)	ข้อดี-ข้อเสีย
ผลึกเดี่ยวหรือโมโน (Mono Crystalline)	28-32	1) มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง 2) ราคาสูงกว่าแบบผลึกผสมหรือโพลี 3) เหมาะสำหรับการผลิตไฟฟ้าแบบอิสระ สำหรับบ้าน อาคาร โรงงาน หรือการผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมระบบ เช่น Solar Roof โรงไฟฟ้าโซล่าเซลล์หรือ Solar Farm 4) นิยมใช้ในประเทศที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ปานกลางถึงสูง และมีระยะเวลายาวนาน
ผลึกผสม หรือ โพลี่ (Poly Crystalline)	23-24	1) มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง 2) ให้กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในการประจุสม่ำเสมอ 3) มีขั้นตอนกระบวนการผลิตที่ง่าย ไม่ซับซ้อน จึง ใช้ปริมาณซิลิคอน ในการผลิตน้อยกว่า เมื่อเทียบกับชนิดโมโนคริสตัลไลน์ 4) มีประสิทธิภาพในการใช้งาน ในที่อุณหภูมิสูง ดีกว่าชนิดโมโนคริสตัลไลน์เล็กน้อย 5) มีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับชนิดโมโนคริสตัลไลน์ 6) มีประสิทธิภาพต่อพื้นที่ต่ำกว่าชนิดโมโนคริสตัลไลน์
อะมอลฟัส (Thin Film)	18-20	1) มีราคาถูกกว่า เพราะสามารถผลิตจำนวนมากได้ง่ายกว่าชนิดผลึกซิลิคอน 2) ในที่อากาศร้อนมากๆ แผงโซล่าเซลล์ ชนิด ฟิล์มบาง มีผลกระทบน้อยกว่า 3) ไม่มีปัญหาเรื่องแผงสกปรกแล้วจะทำให้วงจรไหม้ 4) เป็นแผงโซลาเซลล์ที่ไวแสงมากที่สุด สามารถรับแสงที่อ่อน ๆ ได้ รวมทั้งแสงจากหลอดไฟฟ้าต่าง ๆ จึงทำงานได้ในพื้นที่ที่ มีเมฆหมอก ฝุ่นละออง มีฝนตกชุก

ที่มา: มอนเด ดาษดา, “นวัตกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านลอยน้ำ.” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557), 31-33. ; **แผงโซล่าเซลล์เลือกแบบไหนดี? โมโน กับ โพลี หรือ อะมอร์ฟัส**, เข้าถึงเมื่อ 2 สิงหาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.klcbright.com/solarcellpanel-mono-poly-thinfilm.php

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	ประเภทวัสดุ	ประสิทธิภาพของเซลล์ (%)	ประสิทธิภาพของแผง(%)
Mono-crystalline Si	Sc-Si	20-24	10-14
Poly-crystalline Si	mc-Si	13-16	9-12
Thin Film	Amorphous Silicon (a-Si)	8-13	6-9
	Cadmiumtelluride (CdTe)	10-17	
	Copper indium gallium selenide	10-19	
	Organic cells	3-4	
สารประกอบ	GaAs/InP	18-30	N/A
	CdS/CdTe	10-15	
	CuInSe2	10-15	

ที่มา: System integration for optimal production output of solar farms, Schneider Electric Thailand, 2553.; มอนเด ดาษดา, “นวัตกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านลอยน้ำ.” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557), 31-33.; การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2547. ออนไลน์ อ้างถึงใน คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา, “รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการจ้างที่ปรึกษาวิจัยศักยภาพพลังงานลม/พลังงานแสงอาทิตย์ หรือพลังงานทดแทนอื่น ๆ.” พฤศจิกายน 2555.

2.2.2 สรุปการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในการศึกษานี้ เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว (monocrystalline silicon) เนื่องจากมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าดีที่สุด และสามารถใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอื่น

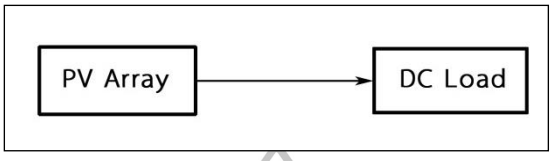
3. การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์

รูปแบบของการประยุกต์นำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า แบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ คือ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV stand alone system) และระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่ง (PV grid connected system) รายละเอียด ดังนี้[42]

3.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ เป็นระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตไฟฟ้า โดยไม่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าจากระบบสายส่งของการไฟฟ้า แบ่งออกได้ดังนี้

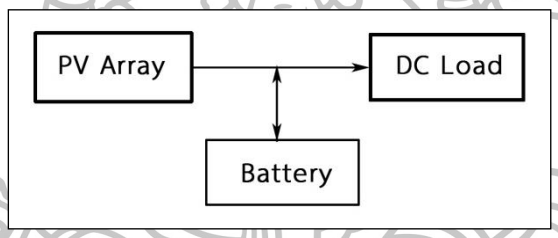
[42] คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา, “รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการจ้างที่ปรึกษาวิจัยศักยภาพพลังงานลม/พลังงานแสงอาทิตย์ หรือพลังงานทดแทนอื่น ๆ.” พฤศจิกายน 2555.

3.1.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ต่อตรงเข้ากับโหลดไฟฟ้า ระบบนี้เป็นแบบที่ง่ายที่สุด ไม่มีความซับซ้อน ใช้ได้เฉพาะตอนมีแสงอาทิตย์และใช้เฉพาะกับอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงเท่านั้น



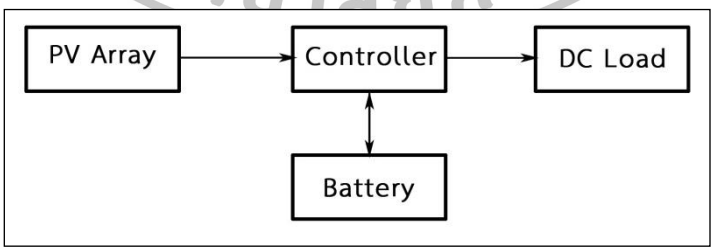
ภาพที่ 25 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระต่อตรงเข้ากับโหลดไฟฟ้า

3.1.2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่เชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้ในตอนกลางคืนได้ แต่ในปัจจุบันระบบแบบนี้ได้เลิกใช้ไปแล้ว



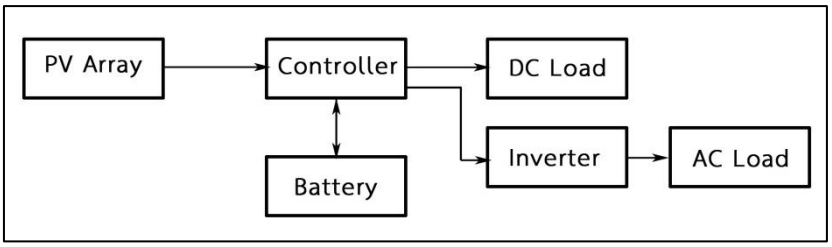
ภาพที่ 26 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่เชื่อมต่อกับแบตเตอรี่

3.1.3 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ แบบมีอุปกรณ์ควบคุมการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ เพื่อให้เป็นไปตามขนาดหรือความสามารถในการรับการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ จะช่วยยืดอายุการใช้ของแบตเตอรี่



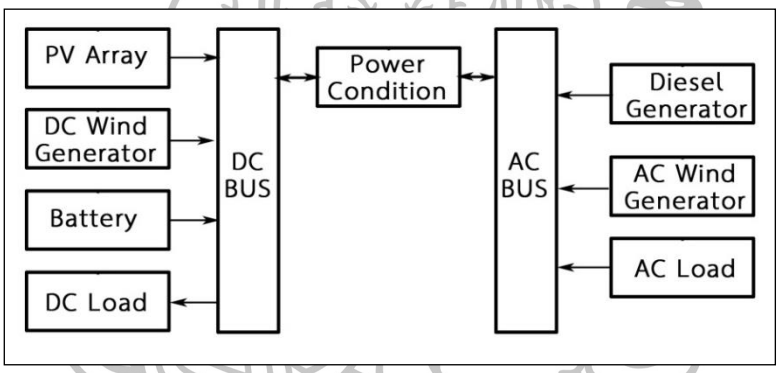
ภาพที่ 27 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ แบบมีอุปกรณ์ควบคุมการประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่

3.1.4 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ แบบใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ ต้องใช้อุปกรณ์ในการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับเพื่อนำไปใช้กับโหลด



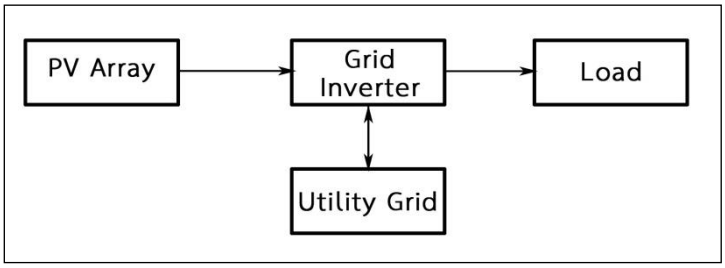
ภาพที่ 28 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ

3.1.5 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ แบบมีแหล่งผลิตไฟฟ้าหลายแหล่ง หรือเรียกว่า แบบผสมผสาน (hybrid system) ระบบนี้มีแหล่งผลิตไฟฟ้าอื่นๆ มาช่วยเสริมความมั่นคงให้กับระบบ



ภาพที่ 29 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ แบบมีแหล่งผลิตไฟฟ้าหลายแหล่ง

3.2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งของการไฟฟ้า เหมาะสำหรับเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ ที่ต้องการความมั่นคงของระบบมาก หากแสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงจะสามารถใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งได้ทันที ในตอนกลางคืนยังสามารถใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งได้ ซึ่งปริมาณการผลิตและการใช้ไฟฟ้าดังกล่าวจะถูกนำมาหักลบกัน แล้วคิดเป็นค่าไฟฟ้าออกมา



ภาพที่ 30 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งของการไฟฟ้า (grid connected system)

4. คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์[43]

4.1 ความเข้มของแสง ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่า เมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะสูงขึ้น ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐาน 1,000 W/m^2 ใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

4.2 อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุก 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.4-0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25°C สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าจะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

4.3 สาเหตุอื่นๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งสกปรกและฝุ่น การเอียงมุมติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะมีผลต่อการผลิตพลังงาน เช่น ควรคำนึงถึงแนวของหลังคาว่าสามารถวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ขนานกับท้องฟ้าในทิศใต้ได้หรือไม่ เพราะจะทำให้สามารถรับแสงอาทิตย์ได้มากและเป็นทิศที่แสงแดดทำงานดีที่สุด ในส่วนของประเทศไทยควรวางแผงเอียงทำมุมประมาณ 15 องศา เนื่องจากดวงอาทิตย์ช่วงเที่ยง-บ่ายของประเทศไทยจะอยู่ที่ตำแหน่ง 15 องศา เป็นต้น นอกจากนี้การสูญเสียพลังงานหรือประสิทธิภาพการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ก็มีผลต่อการผลิตพลังงานเช่นกัน

5. การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในอาคาร สามารถประยุกต์ใช้ได้ดังนี้

จากการศึกษาของ Angel A. Bayod-Rújula, et al. (2010) ได้แบ่งความเป็นไปได้ในพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนกรอบอาคาร 4 แนวทาง คือ หลังคาลาด หลังคาแบน ประยุกต์ใช้กับผนังภายนอก และระบบแผงบังแดด[44]

การศึกษาดังกล่าวได้สรุปว่าศักยภาพของหลังคาแบนนั้นมีมาก เนื่องจากมีขนาดพื้นที่ในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างมาก มีความได้เปรียบในการวางตำแหน่งตามโครงสร้างและสามารถปรับมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตามที่ต้องการ

อย่างไรก็ตามสำหรับประเทศไทย การติดตั้งและองศาที่เหมาะสมในการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อาจแบ่งได้แบ่งเป็น 2 ฤดู คือ ฤดูหนาวและฤดูร้อน ซึ่งองศาที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งทางทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ของฤดูหนาวคือ 10 30 10 และ 10 ตามลำดับ และมีมุมองศา 20 14 10 10 สำหรับฤดูร้อน ซึ่งทิศทางที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดคือ ทิศใต้[45] แต่โดยทั่วไปแล้วการติดตั้งแผง

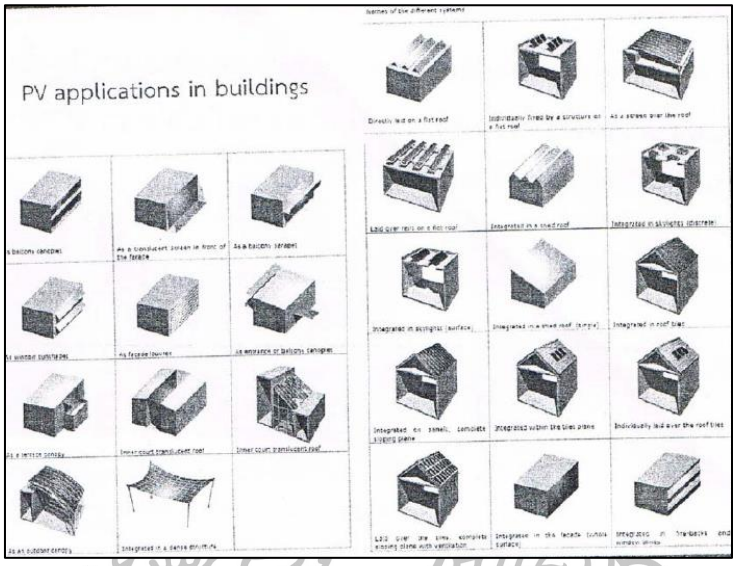
---

[43] ชานนท์ ชูพงษ์, “การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง โดยไม่ใช้ตัววัดรังสีดวงอาทิตย์ กรณีศึกษาระบบที่ติดตั้งในมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี,2554), 24-25.

[44] Angel A. Bayod-Rújula, Abel Ortego-Bielsa, and Amaya Martínez-Gracia, Photovoltaics on flat roofs: Energy considerations. **Energy,** 36 (2011): 1996-2010.

[45] ปารวี ตั้งจิตวิทยา,”การออกแบบกรอบอาคารบ้านเดี่ยว เพื่อนำไปสู่อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์.” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2556), 1.

เซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะติดตั้งในลักษณะเอียงเพื่อรับแสงอาทิตย์ให้ได้แนวตั้งฉากมากที่สุด โดยมุมเอียงในการติดตั้งจะมีค่าเท่ากับละติจูดของพื้นที่นั้น ๆ เช่น กรุงเทพมหานคร ตั้งอยู่ที่ละติจูด 13.5 องศา หรือจังหวัดอุบลราชธานีตั้งอยู่ที่ละติจูด 15 องศา ก็ควรติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ลาดเอียงจากแนวราบตามละติจูดของพื้นที่นั้น ๆ นั่นเอง



ภาพที่ 31 แสดงรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนอาคาร
ที่มา: Angel A. Bayod-Rújula, Abel Ortego-Bielsa, and Amaya Martinez-Gracia, Photovoltaics on flat roofs: Energy considerations. **Energy,** 36 (2011):1996-2010.

6. สรุปแนวทางในการเลือกใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในการศึกษา

การเลือกใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในการศึกษานี้ พิจารณาจากกรณีศึกษาอาคาร การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัย สรุปได้ว่าใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งของการไฟฟ้า (grid connected system) ซึ่งหากแสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงจะสามารถใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งได้ทันที และติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาทั้งหมด

การออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ศึกษารวบรวมข้อมูลการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารให้เพียงพอต่อความต้องการแนวทางทางหนึ่ง ขั้นตอนในการออกแบบและคำนวณระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มีดังนี้

ภาพที่ 32 แสดงขั้นตอนการออกแบบขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์

1. การคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในอาคาร

พิชยดา จิรวรรษวงศ์ (2556) ได้แสดงวิธีการคิดความต้องการพลังงานไฟฟ้าของบ้านพลังงานแสงอาทิตย์ภายในหนึ่งวัน[46] ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับหนังสือ ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ ของ ดุสิต เครืองาม ได้ยกตัวอย่างวิธีการคำนวณปริมาณพลังงานไฟฟ้าของอาคาร โดยใช้วิธีการและหลักการเดียวกัน โดยคิดจากกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าและจำนวนชั่วโมงการใช้งานต่อวัน การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้คำนวณได้จากสมการ[47] ดังต่อไปนี้

$$\text{พลังงานไฟฟ้า (kWh)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด(วัตต์)} \times \text{ เวลาที่เปิดใช้งาน (ชั่วโมง)}}{1000} \qquad (2)$$

2. ศึกษาปริมาณแสงอาทิตย์ในพื้นที่ มุมและทิศทางซึ่งมีผลต่อปริมาณแสงอาทิตย์

ประเทศไทยได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 5 kWh/m^2/day[48] อย่างไรก็ตาม พื้นที่ในแต่ละจังหวัด จะมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ไม่เท่ากัน โดยในการประเมินหรือคำนวณขนาดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ควรเลือกใช้ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ของพื้นที่นั้น ๆ เพื่อให้ผลที่ถูกต้องที่สุด

---

[46] พิชยดา จิรวรรษวงศ์,“การศึกษาต้นทุนในการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในบ้านที่อยู่อาศัย.” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 2556), 43.

[47] ดุสิต เครืองาม, ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์, ม.ป.ท., (ม.ป.ป.): 131.

[48] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, “พลังงานแสงอาทิตย์.” ใน **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2**, ม.ป.ท., (ม.ป.ป.), 1-2.

ตารางที่ 11 แสดงตัวอย่างค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือนในรอบ 3 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543-พ.ศ. 2545 ของกรุงเทพมหานคร

เดือน	รังสีอาทิตย์ (kWh/m^2)											
	6.00 ถึง 7.00 น.	7.00 ถึง 8.00 น.	8.00 ถึง 9.00 น.	9.00 ถึง 10.00 น.	10.00 ถึง 11.00 น.	11.00 ถึง 12.00 น.	12.00 ถึง 13.00 น.	13.00 ถึง 14.00 น.	14.00 ถึง 15.00 น.	15.00 ถึง 16.00 น.	16.00 ถึง 17.00 น.	17.00 ถึง 18.00 น.
ม.ค.	0.00	0.08	0.18	0.38	0.56	0.67	0.71	0.69	0.59	0.41	0.25	0.09
ก.พ.	0.00	0.09	0.20	0.39	0.57	0.70	0.75	0.74	0.63	0.45	0.29	0.13
มี.ค.	0.00	0.11	0.22	0.41	0.59	0.72	0.78	0.76	0.65	0.47	0.31	0.15
เม.ย.	0.04	0.14	0.24	0.43	0.61	0.73	0.79	0.77	0.65	0.43	0.31	0.15
พ.ค.	0.06	0.16	0.26	0.45	0.62	0.74	0.79	0.76	0.64	0.41	0.30	0.15
มิ.ย.	0.06	0.17	0.28	0.46	0.62	0.73	0.78	0.75	0.63	0.44	0.30	0.16
ก.ค.	0.05	0.17	0.28	0.46	0.62	0.73	0.77	0.74	0.62	0.43	0.30	0.17
ส.ค.	0.04	0.16	0.28	0.46	0.63	0.72	0.77	0.73	0.61	0.43	0.29	0.15
ก.ย.	0.04	0.16	0.28	0.46	0.63	0.72	0.76	0.73	0.60	0.41	0.26	0.11
ต.ค.	0.04	0.16	0.28	0.46	0.62	0.71	0.75	0.71	0.59	0.40	0.24	0.07
พ.ย.	0.02	0.15	0.28	0.46	0.62	0.71	0.74	0.70	0.58	0.39	0.22	0.04
ธ.ค.	0.00	0.13	0.28	0.46	0.62	0.70	0.74	0.70	0.58	0.39	0.22	0.06

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน และภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร, **คู่มือข้อมูลมาตรฐานภูมิอากาศและแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในงานด้านพลังงานทดแทน** (2548),181.

3. การคำนวณขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์และขนาดพื้นที่ติดตั้ง

F. Almonacid, et al. (2010) ได้อธิบายไว้ว่าพลังงานรายปีที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับรังสีอาทิตย์ประจำปี แต่ยังมีหลายเหตุผลที่เป็นสาเหตุของการลดลงของพลังงานที่คาดไว้ หรือการสูญเสียพลังงานในทุกวิธีการติดตั้ง[49]

ตัวอย่างเช่น เมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดตกกระทบที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 100% จะเกิดการสูญเสียเนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปประมาณ 11 % ซึ่งทุก ๆ อุณหภูมิที่สูงขึ้น 1 องศา จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และยังเกิดการสูญเสียจากสิ่งสกปรกหรือฝุ่นที่เกาะบนแผงประมาณ 7% ทำให้พลังงานที่จะได้ในส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เหลือเท่ากับ 82%

ในส่วนต่อไปจะเกิดการสูญเสียเนื่องจากแผงที่ไม่สัมพันธ์กันประมาณ 2% ส่งผลให้พลังงานที่จะได้ในส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เหลือเท่ากับ 80% หลังจากนั้นจะเกิดการสูญเสีย

[49] F. Almonacid, et al., Calculation of the energy provided by a PV generator. Comparative study: Conventional methods vs. artificial neural networks. **Energy,** 36 (2010): 375-384.

เนื่องจากความต้านทานสายไฟฟ้าประมาณ 3% ในขั้นตอนนี้จะมีการส่งพลังงานมาที่อินเวอร์เตอร์แล้ว ทำให้เหลือพลังงานที่จะสามารถผลิตได้ 77% และจะเกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการแปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ (พลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นกระแสตรง จึงต้องแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อให้ใช้งานในอาคารได้) โดยจะเกิดการสูญเสียประมาณ 10% และยังต้องเสียพลังงานจากการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าอีก 2% ซึ่งส่งผลให้พลังงานในขั้นสุดท้ายที่จะได้จากมิเตอร์ไฟฟ้ามีเท่ากับ 65% นั่นเอง

วิธีการกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ควรติดตั้ง[50] มีสมการ ดังนี้

$$Pcell = \frac{PL}{Q \times A \times B \times C/D} \quad (3)$$

เมื่อ Pcell คือ กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

P_L คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน

Q คือ พลังงานแสงอาทิตย์ในหนึ่งวัน (Wh/m^2) ประเทศไทยเท่ากับ 5,000 Wh/m^2

A คือ ค่าชดเชยการสูญเสียของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไปกำหนดค่าประมาณ 0.8

B คือ ค่าชดเชยการสูญเสียเชิงความร้อน โดยทั่วไปกำหนดค่าประมาณ 0.85

C คือ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ โดยทั่วไปกำหนดค่าประมาณ 0.85-0.9

D คือ ความเข้มแสง โดยปกติความเข้มแสงประมาณ 1,000 W/m^2

วิธีคำนวณจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการต่อแบบอนุกรมและแบบขนาน ดังนี้[51]

3.1 ต้องทราบขนาดกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการ (วัตต์)

3.2 หาจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากสมการ ดังนี้

$$\text{จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์} = \frac{\text{ปริมาณพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (วัตต์)}}{\text{ขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (วัตต์)}} \quad (4)$$

3.3 หลังจากนั้น ศึกษาข้อมูลและรายละเอียดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดที่เลือก รวมทั้งข้อมูลรายละเอียดของอินเวอร์เตอร์

3.4 หาจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะต้องต่ออนุกรม คำนวณจากสมการ

$$\text{จำนวนแผงต่อแบบอนุกรม} = \frac{\text{แรงดันไฟฟ้า input ของอินเวอร์เตอร์}}{\text{แรงดันไฟฟ้าขณะกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์}} \quad (5)$$

---

[50] พิชยดา จิรวรรษวงศ์, “การศึกษาต้นทุนในการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในบ้านที่อยู่อาศัย.”(วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 2556), 44.

[51] ดุสิต เครืองาม, ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์, ม.ป.ท., (ม.ป.ป.): 132.

3.5 หาจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะต้องต่อแบบขนาน จากสมการ

$$\text{จำนวนแผงที่ต่อแบบขนาน} = \frac{\text{จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด}}{\text{จำนวนแผงที่ต่อแบบอนุกรม}} \quad (6)$$

3.6 จะได้จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องติดตั้งทั้งหมด คำนวณได้จากสมการ

$$\text{จำนวนแผงทั้งหมด} = \text{จำนวนแผงต่ออนุกรม} \times \text{จำนวนแผงต่อขนาน} \quad (7)$$

เมื่อทราบจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดแล้ว จะทำให้ทราบขนาดพื้นที่ที่ต้องใช้ในการติดตั้ง โดยคำนวณจากขนาดพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คูณด้วยจำนวนของแผงที่ติดตั้ง

4. การคำนวณขนาดอินเวอร์เตอร์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาในรูปแบบของไฟฟ้ากระแสตรง แต่เครื่องใช้ไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยหรืออาคารโดยส่วนใหญ่ มักจะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นจึงต้องมีตัวแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อให้สามารถนำไฟฟ้าที่ผลิตได้มาใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในอาคาร อุปกรณ์นั้นคือ อินเวอร์เตอร์

ชนิดของอินเวอร์เตอร์ แบ่งได้ 2 ชนิด คือ Modified Sine Wave และ Pure sine wave และแบ่งตามระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ ได้แก่ อินเวอร์เตอร์ที่ใช้กับระบบอิสระที่ไม่มีปฏิสัมพันธ์กับการไฟฟ้า (stand-alone system) และอินเวอร์เตอร์ที่ใช้กับระบบที่ทำงานกับการไฟฟ้า (on-grid system)

ตารางที่ 12 แสดงชนิดและลักษณะการเลือกใช้งานของอินเวอร์เตอร์

ชนิดอินเวอร์เตอร์	ประสิทธิภาพ	ลักษณะการใช้งาน
Modified Sine Wave	90%	กำลังไม่สูง ใช้งานกับมอเตอร์ไม่ได้ เช่น หลอดไฟฟ้าแสงสว่าง โทรทัศน์ โทรศัพท์
Pure Sine Wave	95-97%	กำลังสูง และใช้งานกับชนิดที่มีมอเตอร์ได้ เช่น ไมโครเวฟ หม้อหุงข้าว ตู้เย็น

ที่มา: มอนเด ดาษดา, “นวัตกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านลอยน้ำ.” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557), 99.

4.1 องค์ประกอบในการออกแบบขนาดของอินเวอร์เตอร์และการเลือกใช้ ดังนี้

4.1.1 ต้องทราบความต้องการพลังงานที่ใช้ทั้งหมด หน่วยเป็นวัตต์ (W)

4.1.2 เผื่อปริมาณการใช้งานสำหรับการเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ คือ การเผื่อการใช้ปริมาณพลังงาน 1.5 – 2 วัน หรือเผื่อ 2-3 เท่า หรือคิดเป็นปริมาณการใช้งานมากกว่า 25-30 %

4.1.3 เลือกใช้ประเภทของอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งานและชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร โดยสามารถหาขนาดอินเวอร์เตอร์ ได้ตามสมการ ดังนี้[52]

$$\text{ขนาดอินเวอร์เตอร์} = \frac{\text{ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของอาคาร}}{\text{ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ (\%)}} \quad (8)$$

5. การคำนวณขนาดแบตเตอรี่

การคำนวณหาความจุของแบตเตอรี่และระยะเวลาที่สามารถใช้งานโหลดได้ มีสมการความจุของแบตเตอรี่[53] ดังนี้

$$\text{ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (Ah)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าของโหลด (W)} \times \text{ระยะเวลาที่ต้องการใช้งานโหลด(hr)}}{\text{แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ (V)} \times \text{ประสิทธิภาพแบตเตอรี่} \times \text{ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์}} \quad (9)$$

เมื่อ ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ = 0.60 (สำหรับแบตเตอรี่ธรรมดา)
และ = 0.80 (สำหรับแบตเตอรี่ Deep Cycle)
ประสิทธิภาพของ Inverter = 0.85

Ah	คือ แอมป์-ชั่วโมง หรือ Amp-hour
W	คือ วัตต์ หรือ Watts
hr	คือ ชั่วโมง หรือ hour
V	คือ โวลท์ หรือ Volt

การออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม

การคำนวณขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณได้ ซึ่งมีทั้งแบบที่ติดตั้งได้ในคอมพิวเตอร์และโปรแกรมออนไลน์ เช่น

1.ประเภทโปรแกรมที่สามารถติดตั้งได้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ เช่น System Advisor Model (SAM), SOLARIUS PV Free UPP (ACCA Software), Pvsyst Photovoltaic Software

2.ประเภทโปรแกรมออนไลน์ เช่น PVWatts Calculator, Poly sun online, PV*SOL (GE) หรือจากเว็บไซต์ของผู้ผลิตต่างๆ

ตัวอย่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถคำนวณขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เป็นโปรแกรมที่สามารถใช้งานได้อย่างถูกกฎหมาย และมีข้อมูลสภาพภูมิอากาศและรังสีอาทิตย์ของประเทศไทย ปรับปรุงข้อมูลอยู่เสมอ มีความน่าเชื่อถือ และมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย

---

[52] มอนเด ดาษดา, “นวัตกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านลอยน้ำ.” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557), 98.

[53] “การคำนวณหาความจุของแบตเตอรี่และระยะเวลาที่สามารถใช้งานโหลดได้.” เข้าถึงเมื่อ 22 ตุลาคม 2558, เข้าถึงได้จาก www.champbizshop.com.

1. โปรแกรมที่ติดตั้งในคอมพิวเตอร์: PVsyst Photovoltaic Software[54]

PVSyst เป็นโปรแกรมสำหรับการออกแบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับความนิยม มีเนื้อหาที่ครอบคลุมครบถ้วนและเป็นที่ยอมรับในวงการพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด

โปรแกรม PVsyst เป็นซอฟต์แวร์การจำลองการศึกษาเพื่อคำนวณการออกแบบ ผลิตและการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถใช้ฟรีได้ 1 เดือน หรือสามารถสั่งซื้อได้ใน http://www.pvsyst.com/en/

1.1 คุณสมบัติของโปรแกรม

1.1.1 ออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเต็มระบบ

1.1.2 ออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบสายส่งแบบเต็มระบบ

1.1.3 มีฐานข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ และอุตุนิยมวิทยา

1.1.4 จำลองโปรแกรมแบบ 3 มิติ เพื่อวิเคราะห์การบังเงาได้

1.1.5 นำเข้าข้อมูลจาก PVGIS,NASA ได้

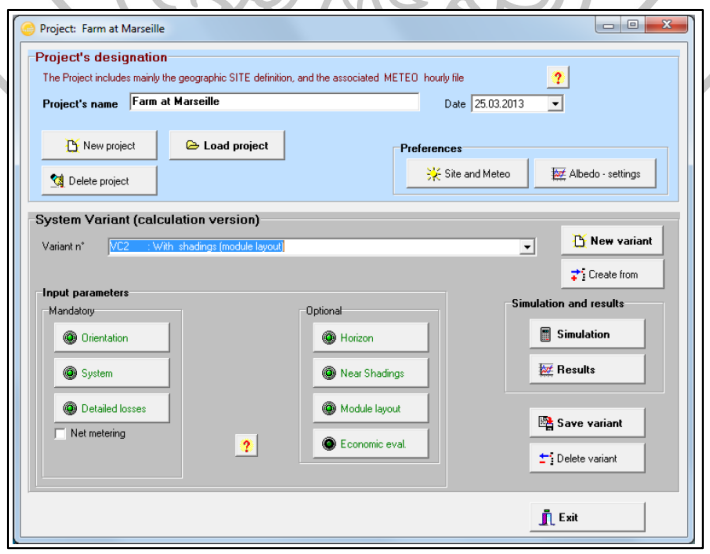
1.1.6 นำเข้าข้อมูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้

1.1.7 ประเมินผลทางด้านเศรษฐกิจได้

1.1.8 ส่งออกผลการวิเคราะห์ออกเป็น CSV files

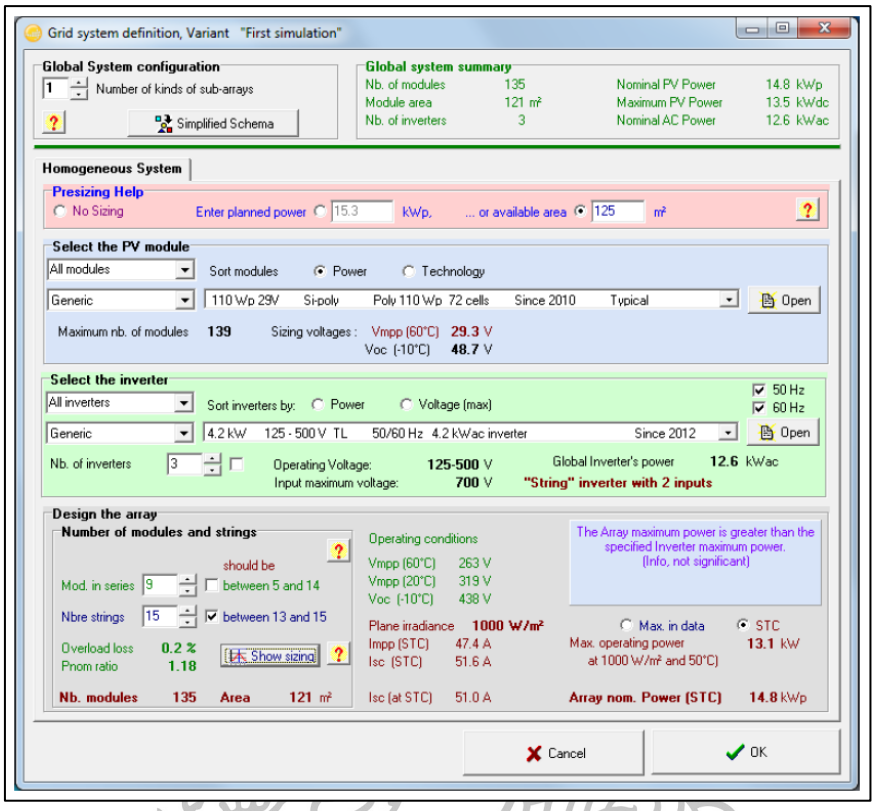
1.2 การติดตั้งโปรแกรม

สามารถติดตั้งโปรแกรมเวอร์ชั่น Demo mode ได้ฟรี แต่จะไม่สามารถบันทึกข้อมูลและพิมพ์ผลการวิเคราะห์ได้ และสามารถติดตั้งโปรแกรมเวอร์ชั่น Evaluation mode ได้ฟรี 1 เดือน บันทึกข้อมูลและพิมพ์ข้อมูลการวิเคราะห์ได้แต่จะมีลายน้ำกำกับไว้ ซึ่งโปรแกรมสมบูรณ์ต้องทำการซื้อโปรแกรม



ภาพที่ 33 ตัวอย่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PVsyst Photovoltaic Software

[54] โปรแกรมคอมพิวเตอร์ PVsyst Photovoltaic Software จาก http://www.pvsyst.com/en/



ภาพที่ 34 หน้าต่างกรอกข้อมูลโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PVsyst Photovoltaic Software

1.3 การรวบรวมการศึกษาและงานวิจัย ในประเทศไทยที่มีการใช้โปรแกรม PVsyst ดังนี้

1.3.1 นิพนธ์ เกตุจ้อยและคณะ (2555) ได้ทำการประเมินทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยใช้โปรแกรม PVsyst ในการประเมิน[55]

1.3.2 จากโครงการสนับสนุน เพื่อการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการสถานีผลิตพลังงานสีเขียว Distributed Green Generation: DGG (โครงการศึกษาความเป็นไปได้ และความเหมาะสมของโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน อ.จะนะ จ.สงขลา) ได้วิเคราะห์และประเมินศักยภาพ และต้นทุนการผลิตไฟฟ้า จากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลพลังงานภายในพื้นที่[56] โดยใช้

---

[55] นิพนธ์ เกตุจ้อย และคณะ, “การประเมินทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ในประเทศไทย.” (2555).

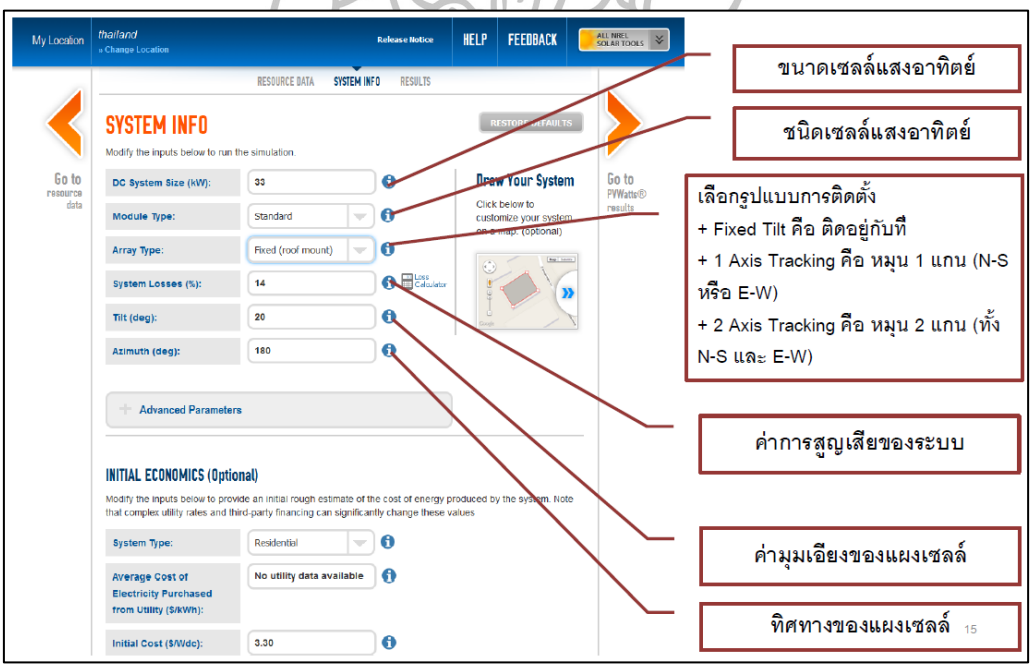
[56] ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ, “รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการสนับสนุนเพื่อการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการสถานีผลิตพลังงานสีเขียว Distributed Green Generation: DGG (โครงการศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมของโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน อ.จะนะ จ.สงขลา).” 2556.

โปรแกรม PVsyst Software Version 5.12 ประเมินระบบพลังงานแสงอาทิตย์ และโปรแกรม Solar Design Studio 6.0 ประเมินระบบด้านพลังงานแสงอาทิตย์

1.3.3 มหาวิทยาลัยขอนแก่นและกองทุนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน ได้ศึกษาโครงการการพัฒนาเทคโนโลยีอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย ใช้โปรแกรมในการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลด้านการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้มีพลังงานที่เพียงพอต่อความต้องการ ให้เป็นอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์[57]

2. โปรแกรมออนไลน์: PVWatts Calculator[58]

โปรแกรม PVWatts เป็นโปรแกรมออนไลน์แบบไม่เสียค่าใช้จ่าย สามารถวิเคราะห์ผลระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ทั่วโลก สามารถพิมพ์ผลการวิเคราะห์พลังงานออกมาได้ ในรูปของพลังงานที่ผลิตได้รายปี แต่มีข้อจำกัดคือ คำนวณได้เฉพาะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด crystalline เท่านั้น เข้าใช้โปรแกรมได้ที่ http://pvwatts.nrel.gov/index.php เป็นโปรแกรมออนไลน์ ที่ถูกพัฒนาโดย NREL หรือศูนย์ปฏิบัติการด้านพลังงานทดแทนแห่งชาติของกระทรวงพลังงานสหรัฐ เพื่อการวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนและประสิทธิภาพพลังงาน

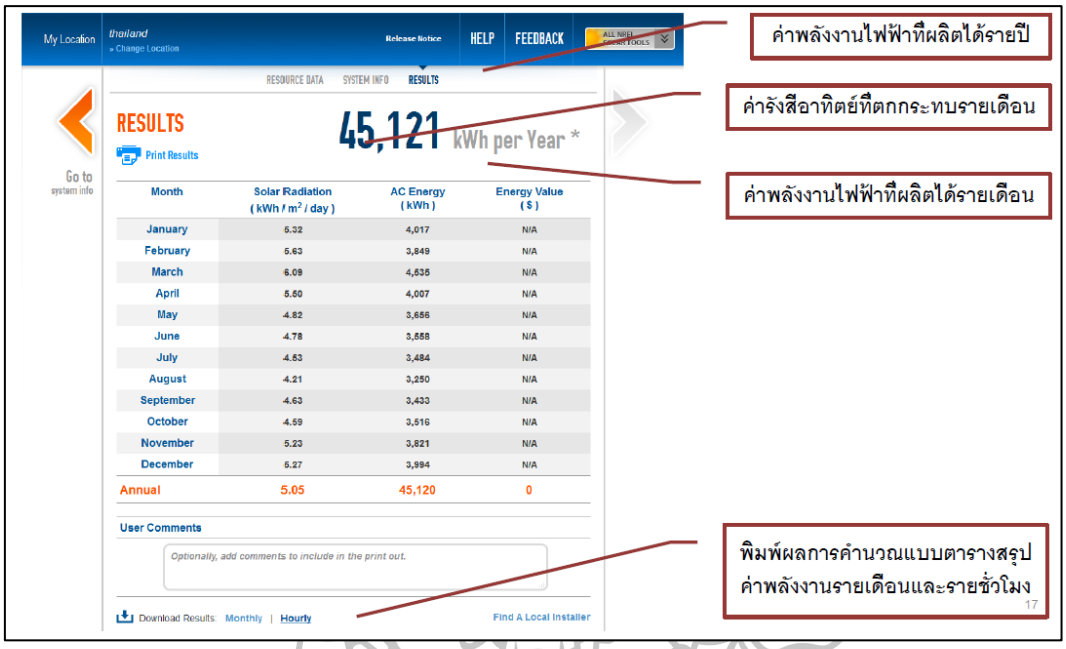


ภาพที่ 35 แสดงตัวอย่างโปรแกรมออนไลน์ PVWatts Calculator

---

[57] มหาวิทยาลัยขอนแก่น และกองทุนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, “รายงานฉบับสุดท้าย โครงการการพัฒนาเทคโนโลยีอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) ที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย.” มกราคม 2557.

[58] โปรแกรมออนไลน์ จาก http://pvwatts.nrel.gov/index.php

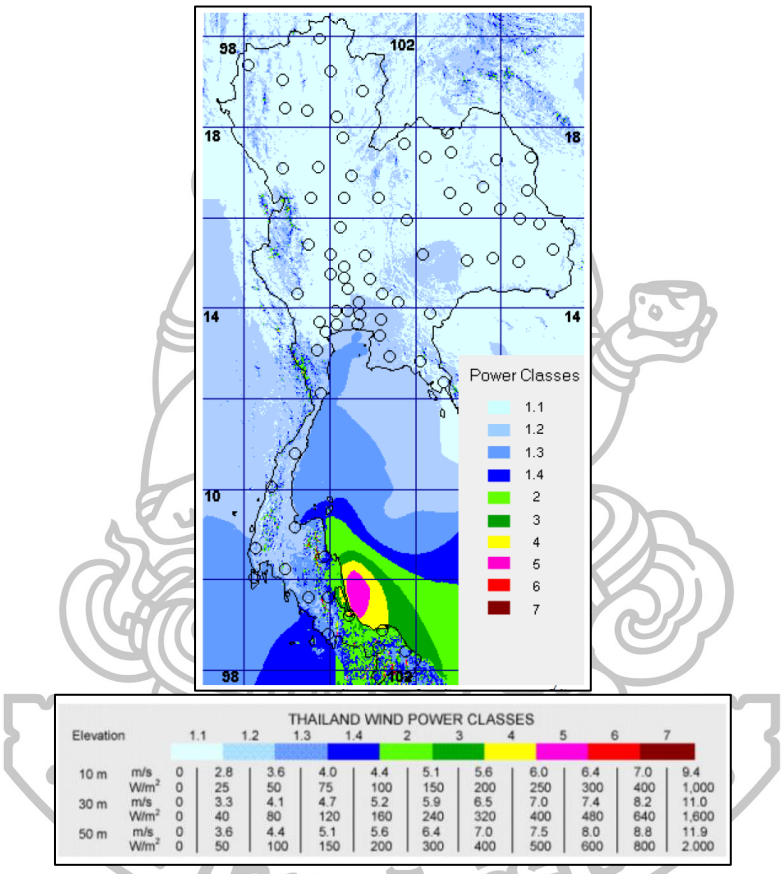


ภาพที่ 36 ตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณของโปรแกรมออนไลน์ PVWatts Calculator

จากตัวอย่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 โปรแกรมดังกล่าว เมื่อผู้วิจัยได้ทดลองเปรียบเทียบผลการคำนวณของโปรแกรม พบว่ามีผลที่ใกล้เคียงกัน แต่โปรแกรม PVsyst จะมีความละเอียดมากกว่า สามารถคำนวณพลังงานจากขนาดพื้นที่ติดตั้งหรือจากความต้องการพลังงานก่อนก็ได้ การศึกษานี้จึงเลือกใช้โปรแกรม PVsyst ในการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์

พลังงานลม

ความเร็วลมจากแผนที่ศักยภาพพลังงานลม ประเทศไทยมีความเร็วลมเฉลี่ยรายปี 2.8-3.6 m/s ที่ความสูง 10 เมตร หรือเมื่อเทียบความเร็วลมที่มีในประเทศไทยกับตาราง Power Class พบว่าลมในประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่ 1.1-1.4 มีเพียงพื้นที่ทางชายฝั่งทะเลภาคใต้ตอนล่างที่อยู่ Power Class ระดับ 2 ดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 แสดงศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทย
ที่มา: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, "แผนที่ศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทย." (2544), เข้าถึงเมื่อ 16 กันยายน, 2558, รูปภาพจาก http://www2.dede.go.th/renew/Twm/main.htm.

1. กังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า[59] แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

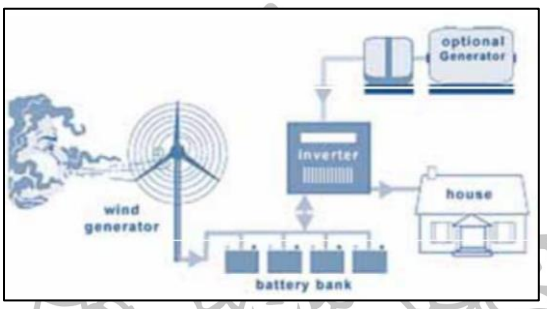
1.1 กังหันลมแบบแกนหมุนแนวนอน (horizontal axis wind turbine, HAWIT) หมายถึง กังหันลมที่มีแกนหมุน ขนานกับทิศทางของกระแสลม ใบพัดเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม เช่น กังหันลมพรอเพลเลอร์ หรือกังหันลม ใบเสื่อลำแพน เป็นต้น

[59] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, “พลังงานลม.” ใน คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 1, ม.ป.ท., (ม.ป.ป.), 6.

1.2 กังหันลมแบบแกนหมุนแนวตั้ง (vertical axis wind turbine, VAWIT) หมายถึง กังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับทิศทางของกระแสลม และตั้งฉากกับพื้นผิวโลก รับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง เช่น กังหันลมแดร์เรียส (Darrius) หรือกังหันลมซาโวเนียส (Savonius) เป็นต้น

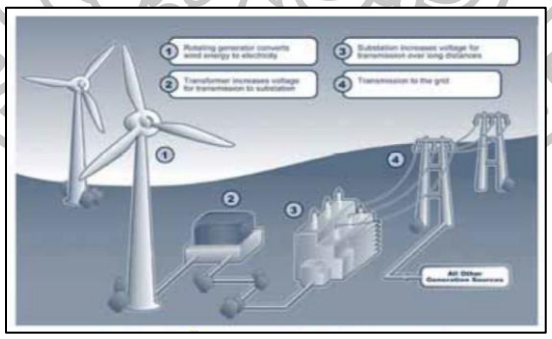
2. การติดตั้งกังหันลมเพื่อการผลิตพลังงานให้แก่อาคาร ติดตั้งได้ 2 แบบ[60] คือ

2.1 ระบบการติดตั้งแบบเดี่ยว เหมาะสำหรับการติดตั้งใช้งานในที่พักอาศัย ชุมชน หรือพื้นที่ที่ห่างไกลจากระบบสายส่งหลัก



ภาพที่ 38 แสดงระบบการติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า แบบเดี่ยว
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, “พลังงานลม.” **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 1**, ม.ป.ท., (ม.ป.ป.): 11.

2.2 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง เป็นการใช้งานในกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ เชื่อมต่อกับระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องมีแบตเตอรี่



ภาพที่ 39 แสดงระบบการติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า แบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, “พลังงานลม.” **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 1**, ม.ป.ท., (ม.ป.ป.): 12.

---

[60] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, “พลังงานลม.” ใน **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 1**, ม.ป.ท., (ม.ป.ป.), 10-11.

2. การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม

จากการศึกษาของ Karsten Voss and Eike Musall (2011) ได้อธิบายถึงการใช้พลัง งานลมเพื่อผลิตพลังงานให้แก่อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ว่า หากต้องการใช้พลังงานลมเพื่อการผลิตพลังงานให้แก่อาคาร มักจะมีข้อจำกัดเนื่องจากความเร็วลมที่มีน้อย โดยหากใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า อย่างน้อยต้องมีความเร็วลมเฉลี่ยต่อปี เท่ากับ 4 m/s อย่างไรก็ตามในประเทศไทยมีพลังงานลมเฉลี่ยเพียง 2.8-3.6 m/s ซึ่งยังไม่เพียงพอ[61]

3. ข้อดีและข้อจำกัดของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม มีดังนี้

ตารางที่ 13 ข้อดีและข้อจำกัดของการใช้พลังงานลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า

ข้อดี	ข้อจำกัด
- เป็นแหล่งพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ ไม่มีต้นทุน - เป็นพลังงานสะอาด - ไม่กินเนื้อที่ ด้านล่างยังใช้พื้นที่ได้ - สามารถใช้ระบบไฮบริดเพื่อประโยชน์สูงสุด คือ กลางคืนใช้พลังงานลม กลางวันใช้พลังงานแสงอาทิตย์	- ลมในประเทศไทยมีความเร็วค่อนข้างต่ำ - พื้นที่ที่เหมาะสมมีจำกัด - ขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศ บางฤดูอาจไม่มีลม - ต้องใช้แบตเตอรี่ราคาแพงเป็นแหล่งเก็บพลังงาน - ขาดเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับศักยภาพลมในประเทศ และขาดบุคคลากรผู้เชี่ยวชาญ

แนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารสำนักงาน

การศึกษาเพื่อรวบรวมแนวทางในการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารสำนักงาน ให้เป็นตัวเลือกในการออกแบบและปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐ ในส่วนของการลดการใช้พลังงานในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ มีรายละเอียดดังนี้

กรอบอาคาร

กรอบอาคารเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร โดยเฉพาะภาระปรับอากาศและระบบไฟฟ้าแสงสว่าง จึงต้องออกแบบสัดส่วนและเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม[62]

---

[61] Karsten Voss and Eike Musall, **Net Zero Energy Buildings International Project of Carbon Neutrality in Building**, 2013 new ed. (Hackerbrucke 6, D-80335 Munich: GmbH&Co.KG, 2011), 16-20.

[62] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. "ตอนที่ 3 บทที่ 3 กรอบอาคาร." ใน **คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร)** (ปทุมธานี: ศูนย์ฝึกอบรมปฏิบัติการด้านการจัดการพลังงาน, 2553), 1.

1. ผนังทึบ

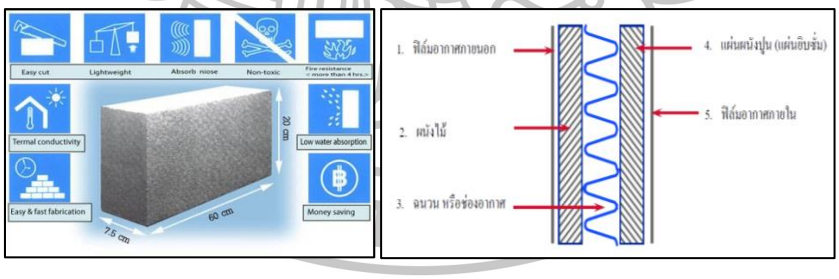
วัสดุที่ใช้ประกอบเป็นผนังทึบในปัจจุบันจะมีความหลากหลาย ซึ่งวัสดุต่าง ๆ จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน โดยค่าการถ่ายเทความร้อนนี้จะส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

1.1 การเลือกใช้วัสดุผนังทึบในปัจจุบัน คอนกรีตมวลเบามีความนิยมมากขึ้น และยังถือว่าเป็นวัสดุที่กันความร้อนได้ดี มีคุณสมบัติความเป็นฉนวนมากกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุผนังอื่นๆ

ตารางที่ 14 แสดงคุณสมบัติของวัสดุผนังทึบ

วัสดุผนัง	ความหนา (cm)	ความหนาแน่น (kg/m^2)	ค่าการนำความร้อน (K- value, $W/m^2.^\circ C$)	ความต้านทานความร้อน (R- value ,$W/m^2.^\circ C$)
อิฐมอญครึ่งแผ่น	7	1,615-1,650	0.473	0.15
อิฐมอญเต็มแผ่น	7*(2)	1,650	0.473	0.29
คอนกรีตบล็อก	7	765	0.519	0.13
คอนกรีตมวลเบา	7.5	620-1,280	0.18-0.476	0.42-0.16
ยิบซั่มบอร์ด	1.2	800	0.14-0.19	0.09-0.06

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. "ตอนที่ 3 บทที่ 3 กรอบอาคาร." ใน **คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร)** (ปทุมธานี: ศูนย์ฝึกอบรมปฏิบัติการด้านการจัดการพลังงาน, 2553), 3-4. ดัดแปลงโดยผู้วิจัย



(ก) (ข)

ภาพที่ 40 แสดงลักษณะของผนัง

(ก) ลักษณะของผนังคอนกรีตมวลเบา (ข) ผนังบุฉนวนหรือการเว้นช่องว่างอากาศ

ที่มา: (ก) C-Lite Company Limited., **คุณสมบัติบล็อคซีไล้ท์**, เข้าถึงเมื่อ 15 พฤษภาคม 2559, รูปภาพจาก http://www.c-lite.net/facility_th.html.; (ข) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. "ตอนที่ 3 บทที่ 3 กรอบอาคาร." ใน **คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร)** (ปทุมธานี: ศูนย์ฝึกอบรมปฏิบัติการด้านการจัดการพลังงาน, 2553), 38.

จากการศึกษางานวิจัยของ จรัญพัฒน์ ภูวนันท์ (2551) [63] ได้ศึกษาการออกแบบและประยุกต์ผนังวัสดุแผ่นประกบโฟม เพื่อใช้ก่อสร้างอาคารพักอาศัยเรียกว่า ผนัง SIP หมายถึง ผนังที่ประกอบขึ้นจากแผ่นวัสดุแข็งอยู่ภายนอกทั้ง 2 ด้าน และมีฉนวนหรือโฟมเป็นแกนกลาง (core) วัสดุแผ่นทั้ง 3 ชั้น ถูกยึดติดกันแน่นด้วยกาว (structural glue) หรือสารยึดเหนี่ยวอื่นซึ่งจะช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังมากกว่าการใช้ผนังที่ไม่มีฉนวน

อย่างไรก็ตาม การบุฉนวนและการเว้นช่องว่างอากาศระหว่างผนังนั้น ยังมีการใช้งานน้อย เนื่องจากต้นทุนค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าการใช้ผนังธรรมดา และความยุ่งยากในการก่อสร้าง

1.2 การทาผนังด้วยสีอ่อน จะช่วยสะท้อนความร้อนและรังสีอาทิตย์ได้ดี

2. กระจก

นอกจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ ที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคารแล้ว ยังมีส่วนของผนังโปร่งแสงด้วย โดยการออกแบบและเลือกใช้วัสดุสำหรับผนังโปร่งแสง มีดังนี้

2.1 การเลือกใช้กระจก ที่สามารถสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์และช่วยลดปริมาณความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารได้[64]

2.1.1 กระจกที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ จะมีการฉาบสารที่ผิวกระจก เพื่อลดความร้อนที่จะดูดกลืนไว้ไม่ให้แผ่รังสีเข้าภายในห้อง ซึ่งจะมีประโยชน์มากในฤดูร้อน ขณะที่ช่วยลดการสูญเสียความร้อนออกสู่ภายนอก ซึ่งจะมีประโยชน์ในฤดูหนาว ส่วนมากจะเป็นกระจกแบบ 2 ชั้น มีค่า U ประมาณ 50% ของกระจกชั้นเดียว

2.1.2 การติดฟิล์มกันความร้อนบนกระจก แม้ว่าจะเป็นกระจกชั้นเดียว ก็สามารถเลือกใช้และช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้มากเช่นกัน อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารด้วย

2.2 กระจกที่เหมาะสมกับอาคารอนุรักษ์พลังงานควรมีคุณสมบัติ ต่อไปนี้[65]

2.2.1 กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำ (Shading Coefficient: SC) เพื่อลดปริมาณรังสีอาทิตย์ที่จะผ่านกระจกเข้าสู่ภายในอาคาร

2.2.2 กระจกที่มีค่าการส่องผ่านของแสง (Light Transmittance: LT) ปริมาณที่จำเป็นต่อการมองเห็น LT ไม่ควรน้อยกว่า 20%

2.2.3 กระจกที่มีอัตราส่วน LSG (Light to Solar Gain Ratio) สูง โดยค่า LSG เป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบปริมาณของแสงสว่างกับปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจก ดังนั้น ถ้ากระจกมีค่า LSG มากกว่า 1 แสดงว่ามีแสงสว่างผ่านเข้ามาภายในอาคารมากกว่าความร้อน และเหมาะสมสำหรับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร

---

[63] จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, “การออกแบบและประยุกต์ผนังวัสดุแผ่นประกับโฟมเพื่อใช้ก่อสร้างอาคารพักอาศัย.” **หน้าจั่ว : วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร**, (2551): 130-134.

[64] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. "ตอนที่ 3 บทที่ 3 กรอบอาคาร." ใน **คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร)** (ปทุมธานี: ศูนย์ฝึกอบรมปฏิบัติการด้านการจัดการพลังงาน, 2553), 39.

[65] “เรื่องของกระจก The Story of Glass.” เข้าถึงเมื่อ 18 มกราคม 2559, เนื้อหาจาก http://www.2e-building.com/article.php?cat=knowledge&id=188.

2.2.4 กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-value) ต่ำ เพื่อลดปริมาณความร้อนที่เกิดจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร เช่น กระจก 2 ชั้น หรือกระจก 3 ชั้น

2.2.5 กระจกที่มีค่า SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) ต่ำ ค่า SHGC คือ ผลรวมของความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกกับส่วนของรังสีที่ถูกดูดซับอยู่ภายในกระจก โดยให้มีค่า SHGC ไม่เกิน 0.55

2.3 การติดตั้งอุปกรณ์บังแดด[66] เช่น ติดตั้งอุปกรณ์บังแดดบริเวณชายคา ติดตั้งบานเกล็ดภายนอกหน้าต่าง ติดตั้งกันสาดหรือผ้าใบ ติดตั้งม่านบังตา มู่ลี่แบบใช้ภายนอก เป็นต้น

3. หลังคา

ออกแบบหลังคาให้มีการติดตั้งฉนวน และแผ่นสะท้อนรังสีใต้หลังคา เพื่อลดปริมาณความร้อนรับที่เข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา รวมทั้งใช้หลังคาที่มีสีอ่อนเพื่อช่วยสะท้อนรังสีอาทิตย์[67]

4. ฉนวนกันความร้อน

ฉนวนกันความร้อน หมายถึง วัสดุที่มีความสามารถในการป้องกันความร้อน ลักษณะเป็นโพรงเล็ก ๆ และมีช่องอากาศภายใน อาจเกิดขึ้นจากเกล็ด หรือเส้นใย หรือเซลล์ของตัววัตถุเอง[68] ซึ่งในปัจจุบันมีวัสดุฉนวนกันความร้อนอยู่มากมาย เช่น ฉนวนใยแก้ว ฉนวนเยื่อกระดาษ แผ่นสะท้อนความร้อน ยิบซั่มบอร์ดที่รวมกับแผ่นสะท้อนความร้อน ฉนวนโฟมพอลิยูรีเทน ฉนวนโฟมพอลิเอทิลีน ฉนวนโฟมพอลิสไตรีน เป็นต้น ซึ่งฉนวนที่ดีจะต้องมีค่าความต้านทานความร้อนสูงและนำความร้อนต่ำ

ตารางที่ 15 แสดงคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อน

วัสดุฉนวน	ความหนาแน่น (kg/m^2)	ค่าการนำความร้อน (K- value,$W/m^2.^\circ C$)
ฉนวนใยแก้ว 3”	12-48	0.039-0.031
แผ่นสะท้อนความร้อน	0.17	-
ยิบซั่มบอร์ดรวมกับแผ่นสะท้อนความร้อน	745	0.322
ฉนวนโฟมพอลิยูรีเทน	24-40	0.023-0.026
ฉนวนโฟมพอลิเอทิลีน	45	0.029
ฉนวนโฟมพอลิสไตรีน	9-32	0.047-0.035
ฉนวนเยื่อกระดาษ	45-80	0.029-0.045

ที่มา: คุณสมบัติฉนวนจากโปรแกรม BEC รวบรวมโดยผู้วิจัย

---

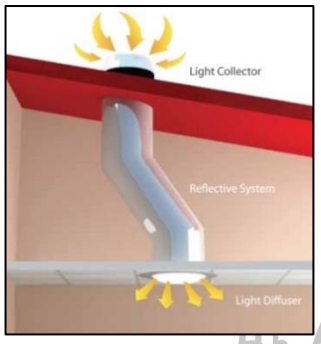
[66] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. "ตอนที่ 3 บทที่ 3 กรอบอาคาร." ใน **คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร)** (ปทุมธานี: ศูนย์ฝึกอบรมปฏิบัติการด้านการจัดการพลังงาน, 2553), 39.

[67] เรื่องเดียวกัน, 40-41.

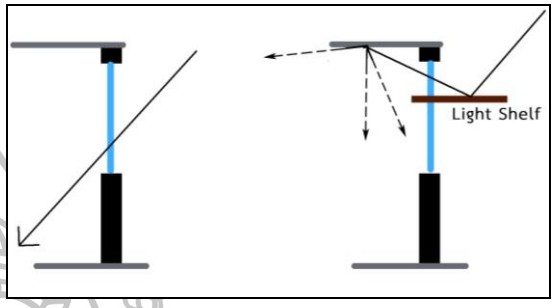
[68] อภิชญา อธิคมบัณฑิตกุล, “การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวัสดุหลังคาที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำและฉนวนกันความร้อนทั่วไป.” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2555), 14.

ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ความสว่างบริเวณพื้นที่ทำงาน ต้องมีความสว่างอยู่ที่ 300-500 ลักซ์ ซึ่งการลดการใช้พลังงานด้านระบบไฟฟ้าแสงสว่าง มีดังนี้[69]



ภาพที่ 41 แสดงลักษณะของท่อนำแสง (Light Pipe)



ภาพที่ 42 แสดงลักษณะของหิ้งสะท้อนแสง (Light shelf)

ที่มา: Eco Structures Pvt. Ltd., **Lightpipe**, accessed May 15, 2016, available from http://www.ecostructures.in/?page_id=37.

1. การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างโดยไม่ต้องลงทุน เช่น

1.1 ปิดไฟเมื่อไม่ใช้งาน ถ้าหากเป็นอาคารสำนักงาน อาจมีการกำหนดช่วงเวลาเปิด-ปิดไฟฟ้าในอาคาร เช่น ปิดไฟตอนพักเที่ยง เป็นต้น

1.2 ปิดไฟ เปิดม่านหรือหน้าต่างเพื่อใช้แสงธรรมชาติแทนการใช้แสงประดิษฐ์

2. การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง โดยการลงทุนหรือปรับเปลี่ยนระบบ เช่น

2.1 เปลี่ยนหลอดไฟ เป็นหลอดคอมแพคฟลูอเรสเซนต์ หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 หรือการเลือกใช้หลอดไฟ LED ก็จะช่วยประหยัดไฟฟ้าได้มากกว่า 33%

2.2 วางผังการติดตั้งสวิตซ์เปิด-ปิดไฟ เพื่อให้สามารถปิดไฟเฉพาะจุดได้เมื่อไม่ใช้งาน

2.3 การใช้ระบบอัตโนมัติเข้ามาใช้ควบคุมการเปิดปิดไฟฟ้าในอาคาร เช่น ระบบหรี่ไฟอัตโนมัติ หรือระบบตรวจจับความเคลื่อนไหว เป็นต้น

2.4 การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ที่สามารถเพิ่มการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคารได้ เช่น การใช้หิ้งสะท้อนแสง ท่อนำแสง เป็นต้น

---

[69] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, “ความรู้พื้นฐานด้านพลังงาน 2.” ใน **โครงการลดใช้พลังงานในภาครัฐ**, (2558), 22.

ระบบปรับอากาศ

การออกแบบระบบปรับอากาศ ให้มีการใช้พลังงานน้อย ช่วยประหยัดพลังงานในอาคารนั้น นอกจากจะต้องเลือกขนาดการทำความเย็นที่เหมาะสมกับห้องแล้ว ยังต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศด้วย ซึ่งถูกกำหนดในกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 ดังตาราง[70]

ตารางที่ 16 การกำหนดเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552

ขนาดเครื่องปรับอากาศ (วัตต์)	ค่าประสิทธิภาพพลังงาน
ไม่เกิน 8,000	3.22-4.10
มากกว่า 8,000 แต่ไม่เกิน 12,000	3.22-4.10

ซึ่งสามารถดูค่าประสิทธิภาพพลังงานได้จากข้อมูลของผู้ผลิต และควรเลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่มีฉลากประหยัดพลังงาน เช่น ฉลากประหยัดพลังงานเบอร์ 5 เป็นต้น

ระบบปรับอากาศในอาคารแบ่งได้ ดังนี้[71]

1. ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type) เป็นระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานง่าย แต่มีประสิทธิภาพต่ำ โดยส่วนใหญ่มีขนาดทำความเย็นไม่เกิน 40,000 บีทียูต่อชั่วโมง ส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศจะแยกเป็น 2 ส่วนหลักคือส่วนของคอล์ยทำความเย็น เรียกว่า คอล์ยเย็น (fan coil unit) ติดตั้งในพื้นที่ปรับอากาศ และคอล์ยร้อน (condensing unit) ซึ่งจะมีเครื่องอัดสารทำความเย็น (compressor) อยู่ภายในโดยจะติดตั้งไว้ภายนอกอาคาร เหมาะสำหรับอาคารที่แบ่งเป็นพื้นที่ขนาดเล็กหลาย ๆ ส่วน เช่น อาคารชุดพัก สำนักงาน เป็นต้น ต้องเผื่อพื้นที่สำหรับวางคอล์ยร้อน

2. ระบบปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (package) เป็นระบบที่ติดตั้งง่าย แต่สำหรับเครื่องที่มีขนาดใหญ่ อาจจำเป็นต้องมีห้องเครื่องและระบบส่งจ่ายลมเย็น มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน เหมาะสำหรับอาคารที่แบ่งพื้นที่เป็นชั้นและต้องการเปิด ปิดใช้งานอย่างอิสระ เช่น ระบบ VRV ระบบ VRF เป็นต้น

3. ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น (chiller) หรือระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ เป็นระบบปรับอากาศขนาดใหญ่เหมาะสำหรับอาคารที่ต้องการปรับอากาศทั้งอาคาร มีความยุ่งยากซับซ้อนในการออกแบบและติดตั้งมากกว่าระบบอื่น มีส่วนประกอบ คือ เครื่องทำน้ำเย็น ระบบระบายความร้อน ระบบท่อและอื่นๆ เป็นระบบปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ต้องมีการเผื่อพื้นที่ห้องงานระบบและความสูงของชั้น เพื่อการเดินท่อ เหมาะสำหรับการใช้งานในสำนักงานขนาดใหญ่ หรือคอนโดมิเนียม

อาคารสำนักงานอาจกำหนดช่วงเวลาเปิด-ปิดระบบปรับอากาศ เช่น เริ่มเปิดใช้งานเวลา 10.00 น. ถึง 12.00 น. และปิดช่วงเวลาพักเที่ยง เปิดใช้งานอีกเวลา 13.00 น. ถึง 16.00 น. เป็นต้น

---

[70] “กฎกระทรวง กำหนดเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง พ.ศ. 2552.” (2552, 8 เมษายน), **ราชกิจจานุเบกษา**, เล่ม 126 ตอนพิเศษ 23 ก, 25-27.

[71] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, “ระบบปรับอากาศ.” เอกสารเผยแพร่ หมวดที่ 2, ม.ป.ท., (ม.ป.ป.), 2-5 ,7.

ระบบอื่น ๆ เช่น อุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้า[72]

1. การเลือกใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ควรเลือกใช้รุ่นที่มีเครื่องหมายประหยัดพลังงาน เช่น Energy Star เป็นต้น เปลี่ยนหน้าจอมอนิเตอร์เป็นแบบ LCD จะช่วยลดการใช้พลังงานในระบบได้ 50% หรือการเปลี่ยนมาใช้คอมพิวเตอร์ Notebook ก็จะช่วยลดการใช้พลังงานในระบบได้ 60%

2. เลือกใช้เครื่องพิมพ์เอกสาร หรือเครื่องถ่ายเอกสารที่มีเครื่องหมายประหยัดพลังงาน

3. เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น พัดลม ตู้เย็น ควรเลือกใช้ที่มีฉลากประหยัดพลังงาน ฉลากเบอร์ 5 และควรมีการทำความสะอาดเครื่องใช้อย่างสม่ำเสมอ

แนวทางการศึกษาและวิเคราะห์อาคารสำนักงานภาครัฐ

ตามมาตรา 4 แห่งพระราชบัญญัติประกอบรัฐธรรมนูญว่าด้วยผู้ตรวจการแผ่นดิน พ.ศ. 2552 ได้ให้ความหมายที่เกี่ยวข้อง[73] ดังต่อไปนี้

“หน่วยราชการ” หมายความว่า กระทรวง ทบวง กรม หรือส่วนราชการที่เรียกชื่ออย่างอื่นแต่มีฐานะเทียบเท่ากระทรวง ทบวง กรม

“หน่วยงานของรัฐ” หมายความว่า หน่วยงานอื่นของรัฐนอกจากหน่วยราชการ ราชการส่วนท้องถิ่น หรือ รัฐวิสาหกิจ

“รัฐวิสาหกิจ” หมายความว่า รัฐวิสาหกิจตามกฎหมายว่าด้วยวิธีการงบประมาณ

“ราชการส่วนท้องถิ่น” หมายความว่า ราชการส่วนท้องถิ่นตามกฎหมายว่าด้วยระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน

ซึ่งยังมีความหมายอื่นๆเพิ่มเติม ดังนี้

“หน่วยงานราชการ” คือ องค์กรหลักที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการพัฒนาประเทศและดูแลความเป็นอยู่ของประชาชน ภายใต้การกำหนดแนวทางการบริหารงานโดยรัฐบาล

“สถานที่ราชการ” คือ หน่วยงานที่ทำหน้าที่ปกครองประเทศ รวมทั้งด้านการป้องกันประเทศ บริหารประเทศและกิจการต่าง ๆ ของประเทศ จะดำเนินไปได้ต้องอาศัยข้าราชการดำเนินงาน ซึ่งรวมไปถึงโรงเรียน โรงพยาบาล และอาคารบริการอื่น ๆ

การแบ่งประเภทของอาคารสำนักงานราชการ

ประเภทอาคารสำนักงานราชการ ได้ดังนี้[74]

1. อาคารที่ทำงาน ได้แก่ อาคารที่ใช้สำหรับปฏิบัติราชการ มีการกำหนด 2 รูปแบบ คือ

---

[72] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, “ความรู้พื้นฐานด้านพลังงาน 2.” ใน **โครงการลดใช้พลังงานในภาครัฐ**, (2558), 25-27.

[73] กิตติยา โสภณโภไคย, “ความหมายและคุณลักษณะสำคัญของหน่วยงานของรัฐ กับการจัดทำประมวลจริยธรรมตามรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พุทธศักราช 2550.” เข้าถึงเมื่อ 16 มกราคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.ombudsman.go.th/10/documents/Ethical211.pdf.

[74] เลอสม สถาปิตานนท์, **สถานที่ราชการสมัยรัชกาลที่ 1 ถึงรัชกาลที่ 9**, ม.ป.ป. (กรุงเทพฯ : ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

รูปแบบที่เฉพาะและรูปแบบอาคารมาตรฐาน เช่น ที่ว่าการอำเภอ ศาลากลางจังหวัด เป็นต้น

2. อาคารบริการทางการแพทย์และอนามัย เป็นอาคารที่ให้บริการทางการแพทย์และอนามัยชุมชนหรือท้องถิ่นต่าง ๆ เช่น โรงพยาบาล ศูนย์บริการสาธารณสุข สถานีอนามัย สถานพยาบาลและผดุงครรภ์ เป็นต้น

3. อาคารที่เกี่ยวกับการศึกษา เป็นอาคารที่ทางราชการจัดสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นสถานที่ที่ให้บริการทางด้านการศึกษา เช่น โรงเรียน วิทยาลัยและมหาวิทยาลัย เป็นต้น

จากระบบบริหารราชการไทย มีการจัดโครงสร้างของระบบบริหารราชการของประเทศไทยกำหนดไว้ในพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2534 ซึ่งได้กำหนดให้จัด-ระเบียบบริหารราชการแผ่นดินเป็น 3 ส่วน คือ

1. การบริหารราชการส่วนกลาง คือ สำนักนายกรัฐมนตรี กระทรวง ทบวง กรม

2. การบริหารราชการส่วนภูมิภาค แบ่งออกเป็น ส่วนจังหวัด เช่น สำนักงานจังหวัด ส่วนราชการประจำจังหวัด เป็นต้น และส่วนอำเภอ เช่น สำนักงานอำเภอ เป็นต้น

3. การบริหารราชการส่วนท้องถิ่น แบ่งออกเป็น องค์การบริหารส่วนจังหวัด เทศบาล องค์การปริหารส่วนตำบล กรุงเทพมหานครและเมืองพัทยา

การศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลและการใช้พลังงานในอาคาร

ในการออกแบบอาคารทุกครั้งจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลของอาคารกรณีศึกษา เพื่อนำข้อมูลเหล่านั้นไปประเมินหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหาของอาคาร แบ่งข้อมูลได้ดังนี้ [75]

1. การสำรวจลักษณะทางกายภาพ
2. การสำรวจเก็บข้อมูลงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคาร
3. การสำรวจเก็บข้อมูลลักษณะการใช้งานของผู้ใช้อาคาร
4. การสำรวจเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร

สรุปการศึกษาและวิเคราะห์อาคารสำนักงานภาครัฐ

การศึกษาหัวข้อนี้เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินศักยภาพของอาคาร และรายละเอียดสำหรับการสำรวจเก็บข้อมูลอาคาร ซึ่งจะนำมาวิเคราะห์ ปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐ ให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ โดยขั้นตอนและวิธีการประเมินอาคาร อธิบายในบทต่อไป

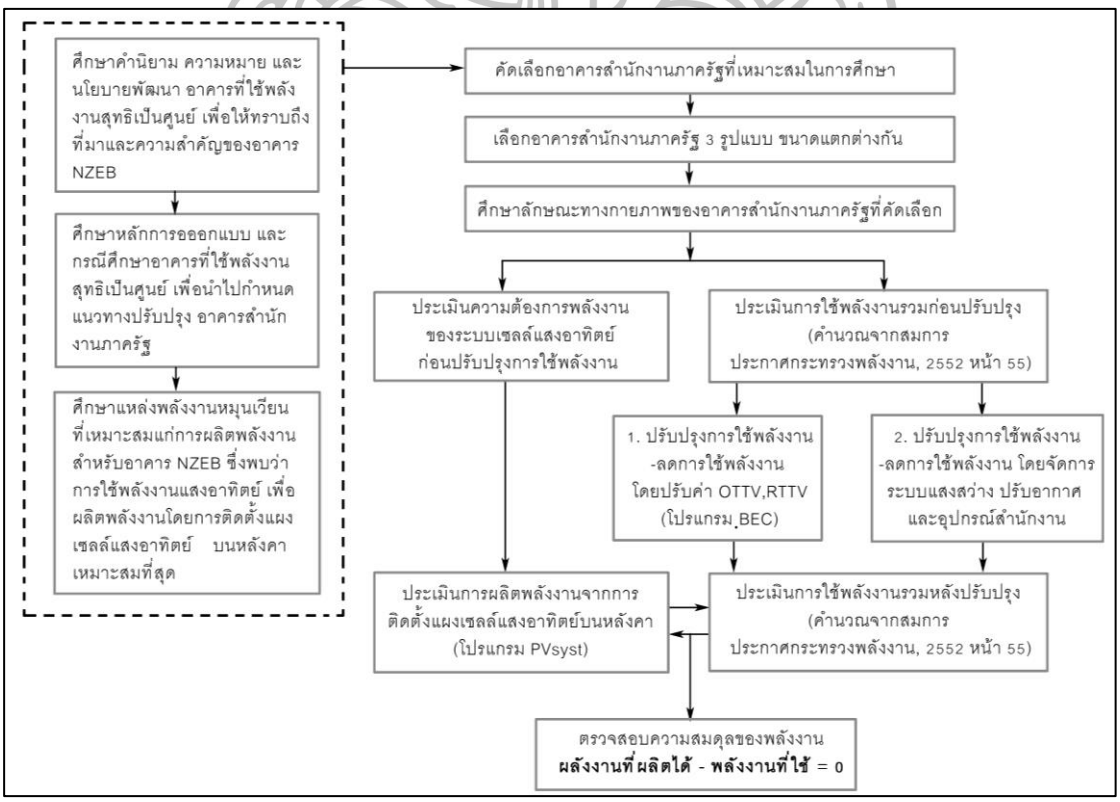
---

[75] ปิติรัตน์ ยศวัฒน, 2545: 62-63 อ้างถึงโดย ดลยา ศิริปรุ, “แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐเพื่อการประหยัดพลังงาน : กรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลนคร จ.นครราชสีมา.” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548), 5.

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ เป็นการศึกษาแนวทางปรับปรุงพัฒนาอาคารสำนักงานภาครัฐ สู่การเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยทำการลดการใช้พลังงานรวมทั้งหมดของอาคาร จากการปรับปรุงเฉพาะค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) เพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศและการเลือกใช้อุปกรณ์สำนักงาน และศึกษาความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ไม่มีการปรับเปลี่ยนรูปลักษณ์หรือสัดส่วนใด ๆ ของผังพื้น ผนังและหลังคาอาคาร เพื่อไม่ให้กระทบกับแบบมาตรฐานอาคารเดิมจากส่วนกลาง

หลังจากนั้นจึงทำการประเมินการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารสำนักงานภาครัฐก่อนและหลังปรับปรุงการใช้พลังงาน เปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเดิม ตามแบบมาตรฐานอาคาร และสรุปความเป็นไปได้ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในปัจจุบันและตามเป้าหมายของแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573) โดยการศึกษาในขั้นตอนต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้



แผนภูมิที่ 1 ขั้นตอนดำเนินการศึกษาวิจัย

ตอนที่ 1 การคัดเลือกอาคารที่เหมาะสมในการศึกษา

เพื่อเป็นตัวแทนในการศึกษาศักยภาพอาคารและออกแบบปรับปรุง เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยอาคารสำนักงานภาครัฐที่คัดเลือก มีหลักเกณฑ์ในการพิจารณา ดังนี้

1. ต้องเป็นอาคารสำนักงานภาครัฐ ที่มีแบบมาตรฐานอาคารจากหน่วยงานส่วนกลาง ถูกนำไปเป็นแบบก่อสร้างในหลายพื้นที่ทั่วประเทศ ซึ่งจะส่งผลดีต่อการนำไปพัฒนาได้อย่างกว้างขวาง

2. คัดเลือกอาคารมีลักษณะทางกายภาพและขนาดที่แตกต่างกัน

3. อาคารที่ทำการศึกษาอาคารสำนักงานภาครัฐ ควรมีข้อมูลจากการขอความอนุเคราะห์ หรือจากการสำรวจเพียงต่อการวิเคราะห์

ซึ่งมีการวิเคราะห์อาคารสำนักงาน แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ตามตารางที่ 17

ตารางที่ 17 การวิเคราะห์อาคารสำนักงานที่คัดเลือก

ประเภท	วิเคราะห์	ผล
ระดับที่ 1 อาคารราชการส่วนกลาง	ส่วนราชการระดับกรมและสำนักงานใหญ่ เป็นอาคารที่มีขนาดใหญ่และมีมากกว่า 3 ชั้น รูปแบบอาคารที่ใช้มักมีความแตกต่างจากระดับอื่น ๆ จึงไม่ใช่แบบมาตรฐานหรือให้ผลของการนำไปใช้ในวงกว้าง	ไม่ผ่านวัตถุประสงค์
ระดับที่ 2 อาคารราชการส่วนภูมิภาค	แบ่งออกเป็นส่วนจังหวัด และอำเภอ ซึ่งมีอยู่ในทุกจังหวัดและอำเภอของประเทศไทย เช่น สำนักงานจังหวัด ศาลากลางจังหวัด ที่ว่าการอำเภอ เป็นต้น มีรูปแบบอาคารที่มีการใช้งานเหมือนกัน ลักษณะอาคารที่คล้ายคลึงกันในแต่พื้นที่ มีขนาดอาคารหลากหลาย สามารถเป็นแบบอย่างอาคารและให้ประโยชน์ในวงกว้างได้	ผ่านวัตถุประสงค์
ระดับที่ 2 อาคารราชการส่วนท้องถิ่น	แบ่งออกเป็น อบจ. เทศบาล อบต. และเขตการปกครองพิเศษ มีจำนวนอาคารจำนวนมากกระจายอยู่ทั่วทั้งประเทศ สามารถคัดเลือกอาคารที่เข้าข่ายมาทำการวิเคราะห์และเป็นแบบอย่างอาคารอื่นได้	ผ่านวัตถุประสงค์

ดังนั้น การศึกษานี้ได้เลือกศึกษาอาคารสำนักงาน ประเภทอาคาร อาคารราชการส่วนภูมิภาคและส่วนท้องถิ่น มีรูปแบบที่เป็นมาตรฐาน และมีการออกแบบจากหน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่รับผิดชอบ เช่น กรมโยธาธิการและผังเมือง เป็นต้น มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันในแต่ละท้องที่ และมีการใช้งานอยู่มากในประเทศไทย สามารถเป็นตัวอย่างอาคาร ในการนำไปปรับใช้ในหน่วยงานอื่น ๆ หรือการก่อสร้างอาคารราชแห่งใหม่ได้

รูปแบบอาคารสำนักงานภาครัฐที่เลือกศึกษา แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

1. รูปแบบที่ 1 อาคารขนาดมากกว่า 10,000 ตารางเมตร กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัด เลขที่แบบ สถ.37107 จากกรมโยธาธิการและผังเมือง

2. รูปแบบที่ 2 อาคารขนาด 2,000–10,000 ตารางเมตร กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป สำนักงานที่ดินขนาดใหญ่ แบบเลขที่ 8-58/1 กรมที่ดิน กระทรวงมหาดไทย

3. รูปแบบที่ 3 อาคารขนาดน้อยกว่า 2,000 ตารางเมตร กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่ เลขที่แบบ ม.18155 จากกรมโยธาธิการและผังเมือง

รายละเอียดของอาคารที่คัดเลือกมานั้น ศึกษาจากแบบมาตรฐานอาคาร และกรณีที่ในแบบมาตรฐานอาคารมีข้อมูลไม่ครบถ้วน จะทำการเก็บข้อมูลจากสถานที่จริงควบคู่กัน โดยเลือกสำรวจอาคารที่มีผังพื้น รูปแบบ และขนาดใกล้เคียงกับแบบมาตรฐานอาคารที่คัดเลือก ดังนี้

1. อาคารรูปแบบที่ 1 กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัด รวบรวมข้อมูลระบบปรับอากาศและไฟฟ้าแสงสว่างจากการสำรวจและขอข้อมูลจริง (ในการศึกษานี้เก็บข้อมูลจากอาคารศาลากลาง จังหวัดมหาสารคาม)

2. อาคารรูปแบบที่ 2 กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป อาคารสำนักงานที่ดินจังหวัด มีข้อมูลจากแบบมาตรฐานอาคารที่เพียงพอ จึงประเมินจากแบบแปลนมาตรฐาน

3. อาคารรูปแบบที่ 3 กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่ รวบรวมข้อมูลระบบปรับอากาศและอุปกรณ์สำนักงานจากการสำรวจและขอข้อมูลจริง (ในการศึกษานี้เก็บข้อมูลจากอาคารที่ว่าการอำเภอโนนสูง จังหวัดนครราชสีมา)

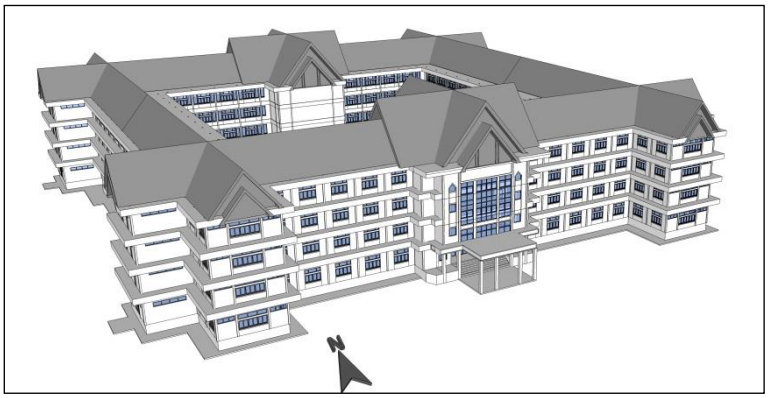
4. จำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ ประมาณจำนวนเครื่องจากจำนวนพนักงาน

1. อาคารรูปแบบที่ 1 อาคารขนาดมากกว่า 10,000 ตารางเมตร อาคารศาลากลางจังหวัด เลขที่แบบ สถ.37107 จากกรมโยธาธิการและผังเมือง

ลักษณะทางกายภาพของอาคาร

อาคารสูง 4 ชั้น ขนาดพื้นที่ 16,718.87 ตารางเมตร ผังอาคารทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสล้อมรอบคอร์ดหรือพื้นที่ว่างตรงกลางอาคาร ซึ่งจัดเป็นพื้นที่สีเขียว หลังคาทรงจั่ว

อาคารมีการเปิดช่องว่างตรงกลางอาคารตลอดทั้ง 4 ชั้น ทำให้สามารถรับแสงสว่างจากธรรมชาติได้ในทุกด้านของอาคาร และในทุกชั้นของอาคารมีการยื่นระเบียงโดยรอบอาคาร เป็นเสมือนแผงบังแดดให้แก่อาคารได้ รายละเอียดของอาคารอธิบายในส่วนถัดไป (ตอนที่ 3)



ภาพที่ 43 แสดงภาพสามมิติ อาคารรูปแบบที่ 1

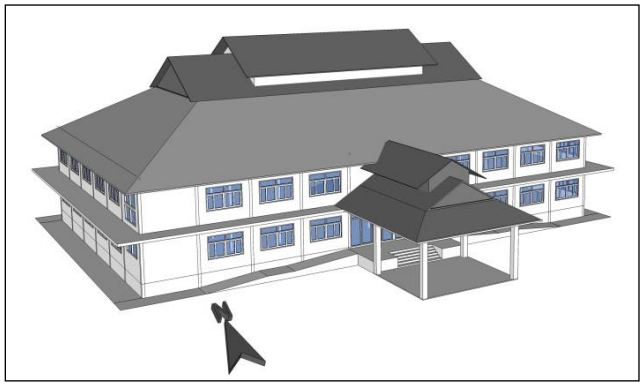
ภาพที่ 44 บริเวณด้านในและด้านนอกอาคารศาลากลางจังหวัด
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ อาคารศาลากลาง จังหวัดมหาสารคาม เมื่อมีนาคม 2559)

2. อาคารรูปแบบที่ 2 อาคารขนาด 2,000–10,000 ตารางเมตร อาคารสำนักงานทั่วไป แบบเลขที่ 8-58/1 กรมที่ดิน กระทรวงมหาดไทย

ลักษณะทางกายภาพของอาคาร

อาคารสูงสองชั้น ขนาดพื้นที่ 2,245.60 ตารางเมตร ผังอาคารทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีมุขทางเข้าตรงกลาง และมีหลังคาทรงปั้นหยาขนาดค่อนข้างใหญ่

ตัวอาคารมีความกว้างค่อนข้างมากทำให้มีพื้นที่ในการรับแสงสว่างจากธรรมชาติได้เพียงบางห้อง บริเวณชั้นสองมีการยื่นระเบียงรอบอาคาร เป็นเสมือนแผงบังแดดให้พื้นที่ชั้นหนึ่ง รายละเอียดของอาคารอธิบายในส่วนถัดไป (ตอนที่ 3)



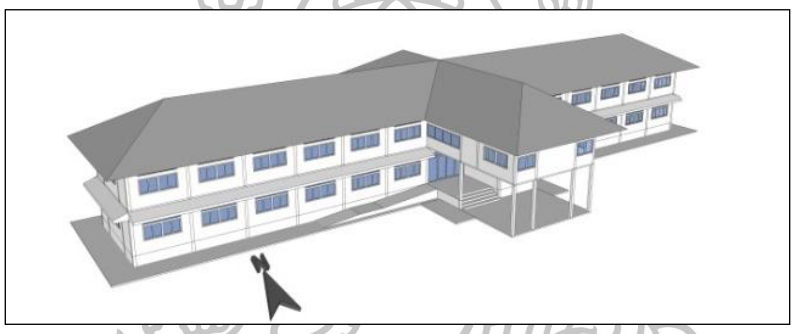
ภาพที่ 45 แสดงภาพสามมิติอาคารรูปแบบที่ 2

3. อาคารรูปแบบที่ 3 อาคารขนาดน้อยกว่า 2,000 ตารางเมตร อาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่ เลขที่แบบ ม.18155 จากกรมโยธาธิการและผังเมือง

ลักษณะทางกายภาพของอาคาร

อาคารสูงสองชั้น ขนาดพื้นที่ 1,448.00 ตารางเมตร รูปทรงอาคารทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าผังพื้นคล้ายเครื่องหมายบวก มีมุขทางเข้าตรงกลาง และมีหลังคาทรงจั่ว

การออกแบบอาคารตามแบบมาตรฐานอาคาร มีการยื่นส่วนของโครงสร้างอาคารเพื่อเป็นแผงบังแดดในแต่ละส่วนของช่องเปิดชั้น 1 อาคารเป็นลักษณะที่มีช่วงเสาไม่กว้างมากนัก แต่จะวางตามแนวยาว ห้องทำงานแต่ละส่วนได้รับแสงสว่างจากธรรมชาติทั้ง 2 ฝั่งของอาคาร รายละเอียดของอาคารอธิบายในส่วนถัดไป (ตอนที่ 3)



ภาพที่ 46 แสดงภาพสามมิติอาคารรูปแบบที่ 3

ภาพที่ 47 บริเวณด้านในและด้านนอกอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่
(ถ่ายโดยผู้วิจัย ณ อาคารที่ว่าการอำเภอโนนสูง จ.นครราชสีมา เมื่อกุมภาพันธ์ 2559)

ตอนที่ 2 วิธีการศึกษาการใช้พลังงานและระบบเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารที่คัดเลือก

ทำการประเมินการใช้พลังงานรวมรายปีของอาคารสำนักงานภาครัฐทั้ง 3 รูปแบบ ก่อนและหลังปรับปรุง เพื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการผลิตพลังงานจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา โดยประเมินการใช้พลังงาน ในส่วนของระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์สำนักงาน ขั้นตอนการประเมินการใช้พลังงานรวมรายปีของอาคารที่คัดเลือก ดังนี้

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคาร ด้วยโปรแกรม Building Energy Code (BEC) V.1.0.6

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร (overall thermal transfer value, OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (roof thermal transfer value, RTTV) มีผลต่อการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ และในกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 มีการกำหนดตามเกณฑ์การใช้พลังงานขึ้นต่ำ ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจวัด เพื่อใช้เป็นส่วนประกอบในการประเมินค่าการใช้พลังงานและศักยภาพการประหยัดพลังงานของอาคารก่อนทำการปรับปรุง

การศึกษานี้ คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคาร ด้วยการใช้โปรแกรม Building Energy Code (BEC) V.1.0.6 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบความสอดคล้องของแบบอาคาร ต่อเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร[1] โปรแกรมจะแสดงผลด้านพลังงานในอาคาร ดังนี้ รายงานค่า OTTV และ RTTV ของอาคาร รายงานผลสมรรถนะด้านพลังงานของระบบแสงสว่าง รายงานผลสมรรถนะด้านพลังงานของระบบปรับอากาศแบบเป็นชุด รายงานผลสมรรถนะด้านพลังงานของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ รายงานค่าพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ รายงานค่าพลังงานของระบบเครื่องทำน้ำร้อน รายงานสมรรถนะด้านพลังงานและผลประเมินพลังงานรวม และมีเครื่องมือช่วยในการหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด

1. การประเมินค่า OTTV และ RTTV ในโปรแกรม จะต้องทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร ดังนี้

1.1 ส่วนประกอบวัสดุของผนังทึบ กระจก และหลังคา

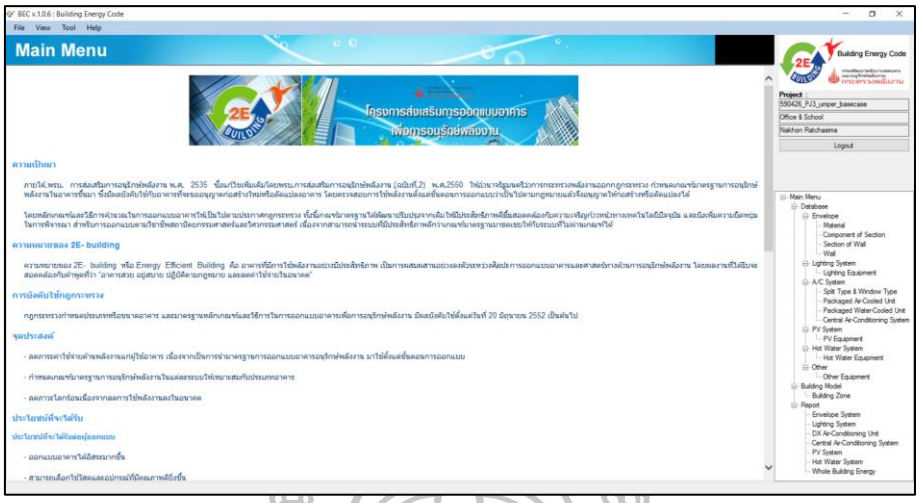
1.2 ขนาดพื้นที่ของผนังทึบ กระจกและหลังคาอาคาร

1.3 ขนาดพื้นที่ใช้สอยส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

1.4 อุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ และหลอดไฟที่ใช้ในอาคาร

ขั้นตอนการใช้โปรแกรมโดยสังเขป อธิบายใน ภาคผนวก ก

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, “คู่มือโปรแกรม Building Energy Code การตรวจประเมินอาคารที่ก่อสร้างหรือดัดแปลง เพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมาย.” ม.ป.ท., (ม.ป.ป.): 3-38.



ภาพที่ 48 แสดงหน้าหลักของโปรแกรม BEC

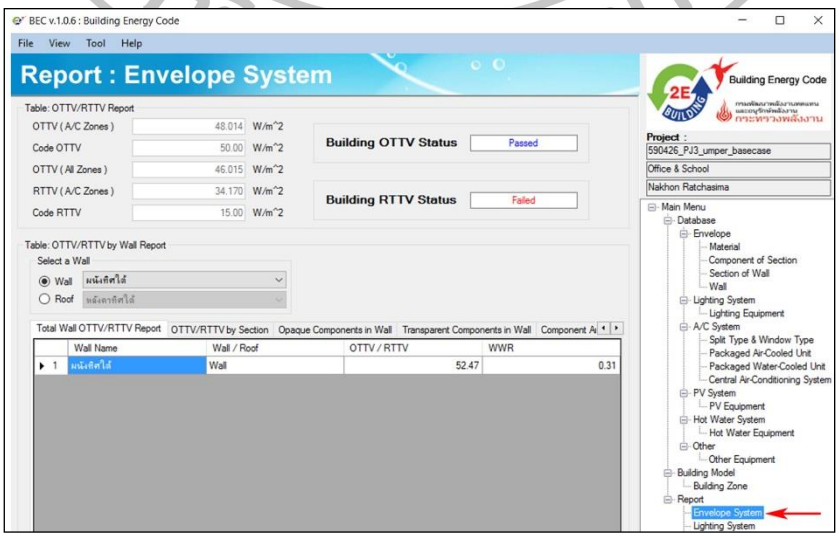
2. การแสดงผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคารของโปรแกรม BEC

การแสดงผลของโปรแกรมในส่วนของ Envelope system แสดงผล 2 ส่วน คือ

2.1 OTTV/RTTV Report รายงานค่า OTTV/RTTV รวมของทั้งอาคาร

2.2 OTTV/RTTV by Wall Report รายงานค่า OTTV/RTTV แบ่งตามชนิดของผนัง

ผลของค่า OTTV, RTTV ถ้าหากผ่านการประเมินจะแสดงเป็นตัวหนังสือสีแดงว่า Failed และถ้าผลผ่านเกณฑ์การประเมินจะแสดงเป็นสีฟ้าว่า Passed โดยจะแสดงค่า OTTV ในโซนปรับอากาศและในทุก ๆ โซน รวมทั้งแสดงระดับมาตรฐานตามกฎหมายให้เปรียบเทียบด้วย การแสดงผลค่า RTTV จะแสดงระดับมาตรฐานตามกฎหมายให้เปรียบเทียบเช่นกัน



ภาพที่ 49 การแสดงผลการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของโปรแกรม BEC

การคำนวณการใช้พลังงานรวมของอาคาร

ประเมินตามสมการใน ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552[2]

ปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารก่อนและหลังการปรับปรุงอาคาร จะนำมาเปรียบเทียบกับความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ติดตั้งบนหลังคา ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณการใช้พลังงานรวมของอาคาร (E_{pa}) จากสมการดัง ต่อไปนี้

$$E_{pa} = \sum_{i=1}^{n} [\frac{A_{Wi}(OTTV_i)}{COP_i} + \frac{A_{ri}(RTTV_i)}{COP_i} + A_i\{\frac{C_l(LPD_i) + C_e(EQD_i) + 130C_o(OCCU_i) + 24C_v(VENT_i)}{COP_i}\}]n_h + \sum_{i=1}^{n} A_i(LPD_i + EQD_i)n_h - PVE \quad (10)$$

เมื่อ LPD_i คือ กำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ i มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

EQD_i คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ต่อหน่วยพื้นที่ i มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

$OCCU_i$ คือ ความหนาแน่นผู้ใช้อาคารในพื้นที่ i มีหน่วยเป็น จำนวนคนต่อตารางเมตร ($person/m^2$)

$VENT_i$ คือ อัตราการระบายอากาศต่อพื้นที่ i สำหรับพื้นที่ i มีหน่วยเป็น ลิตรต่อวินาที (l/s)

COP_i คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำของระบบปรับอากาศขนาดเล็กหรือระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ที่ใช้งานสำหรับพื้นที่ i

A_i คือ พื้นที่ส่วนปรับอากาศ i (พื้นที่ i) มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)

PVE คือ พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีที่ผลิตโดยเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh) มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ในการศึกษานี้ กำหนดเท่ากับศูนย์

กรณีที่มีส่วนที่เป็นผนังภายนอกล้อมรอบพื้นที่ i

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกที่พิจารณา มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

---

[2] "ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวม ของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552." **ราชกิจจานุเบกษา** เล่ม 126, ตอนพิเศษ 122 ง (28 สิงหาคม 2552): 21-58.

$RTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

A_{wi} คือ พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)

A_{ri} คือ พื้นที่ของหลังคาส่วนที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่หลังคาทึบและพื้นที่หลังคาโปร่งแสง มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)

n_h คือ จำนวนชั่วโมงใช้งานสำหรับอาคารแต่ละประเภท (ชั่วโมง)

C_l ,C_e ,C_o และ C_v คือ สัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนที่เป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศจากไฟฟ้าแสงสว่าง อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ผู้ใช้อาคารและการระบายอากาศ ตามลำดับ ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนที่เป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศและจำนวนชั่วโมงใช้งานสำหรับอาคารแต่ละประเภท ตามตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนที่เป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศ และจำนวนชั่วโมงใช้งานสำหรับอาคารแต่ละประเภท

ประเภทของอาคาร	C_l	C_e	C_o	C_v	n_h
สถานศึกษา สำนักงาน	0.84	0.85	0.90	0.90	2,340
โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	0.84	0.85	0.90	0.90	2,340
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	1.0	1.0	1.0	1.0	2,340

การศึกษานี้เป็นการศึกษาอาคารประเภทอาคารสำนักงาน จึงต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนที่เป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศ ในส่วนของ “สถานศึกษา สำนักงาน”

2.1 ชั่วโมงการทำงานสำหรับคำนวณการใช้พลังงานรวมของอาคาร

เนื่องจากการศึกษานี้ ได้อ้างอิงชั่วโมงการทำงานของสำนักงานภาครัฐตามการใช้งานจริง ที่มีการทำงานในวันจันทร์ถึงศุกร์ หยุดทำงานวันเสาร์และอาทิตย์ โดยเริ่มทำงานช่วงเช้าในเวลา 8.30 น.–12.00 น. พักกลางวันเวลา 12.00 น.–13.00 น. และเริ่มทำงานช่วงบ่ายในเวลา 13.00 น.–16.30 น. ซึ่งจะมีจำนวนชั่วโมงการทำงานที่แตกต่างจากการคำนวณตามโปรแกรม BEC และตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวม ของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552 ที่ได้กำหนดชั่วโมงทำงานสำหรับอาคารประเภทสำนักงานไว้ที่ 2,340 ชั่วโมงต่อปี โดยการศึกษานี้ กำหนดชั่วโมงการทำงาน ดังนี้

2.1.1 ชั่วโมงการทำงานตามการใช้งานจริงเป็น 7 ชั่วโมง/วัน

2.1.2 พักกลางวัน 1 ชั่วโมง (ปิดเครื่องปรับอากาศและไฟฟ้าแสงสว่าง)

2.1.3 จำนวนวันทำงาน 261 วันต่อปี (1 ปี = 365 วัน หยุดเสาร์-อาทิตย์ 104 วัน)

2.1.4 คิดเป็น 1,827 ชั่วโมงต่อปี

2.2 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

อาคารทั้งสามรูปแบบที่คัดเลือกในการศึกษานี้ ทั้งก่อนและหลังปรับปรุง ใช้เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก จึงคำนวณตามวิธีการต่อไปนี้

ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างในพื้นที่ i คือ ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ใช้สอยทั้งหมดของบริเวณพื้นที่ i คำนวณตามสมการ ดังนี้

$$LPDi = \frac{(LWi+BWi-NWi)}{Ai} \quad (11)$$

เมื่อ LPDi คือ กำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ i (W/m^2)

LWi คือ ผลรวมของค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งในพื้นที่ i มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

BWi คือ ผลรวมของกำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ทั้งหมดที่ติดตั้งในพื้นที่ i มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

NWi คือ ผลรวมของค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่ i ด้วยแสงธรรมชาติภายใต้เงื่อนไขการใช้พลังงานหมุนเวียนในอาคาร หน่วยวัตต์ (W)

Ai คือ พื้นที่ใช้สอยทั้งหมดของบริเวณพื้นที่ I (m^2)

ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดในอาคาร คือ ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่อาคาร โดยไม่รวมพื้นที่ที่จอดรถ คำนวณตามสมการ ดังนี้

$$LPD = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Ai(LPDi))}{\sum_{i=1}^{n} Ai} \quad (12)$$

เมื่อ LPD คือ กำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่อาคาร (W/m^2)

2.3 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of performance, COP) คือ อัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของระบบปรับอากาศ หน่วยเป็นวัตต์ (W) กับพิกัดกำลังไฟฟ้า หน่วยเป็นวัตต์ (W) คำนวณตามสมการ ดังนี้[3]

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (13)$$

[3] "ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวม ของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552." **ราชกิจจานุเบกษา** เล่ม 126, ตอนพิเศษ 122 ง (28 สิงหาคม 2552): 51.

เมื่อ Q คือ ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิระบบปรับอากาศ หน่วยเป็นวัตต์ (W)
W คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ หน่วยเป็นวัตต์ (W)

ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น คือ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นของระบบปรับอากาศ โดยกำหนดในรูปของค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน

อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER) คือ อัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของระบบปรับอากาศ หน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมง กับพิกัดกำลังไฟฟ้า หน่วยเป็นวัตต์ (W) คำนวณตามสมการ ดังนี้

$$EER = 3.412\ (COP) \qquad (14)$$

เมื่อ EER คือ อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน มีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมงต่อวัตต์
โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) และอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) สามารถใช้ค่าตามที่ระบุในรายละเอียดของเครื่องปรับอากาศแต่ละผู้ผลิตได้

การออกแบบขนาดระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคาร

การศึกษานี้เลือกวิธีการผลิตพลังงานไฟฟ้า สำหรับพัฒนาอาคารสำนักงานภาครัฐ ให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ด้วยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตพลังงาน จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร

1. การคัดเลือกประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการศึกษาประเภทและประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (รายละเอียดในบทที่ 2) พบว่าประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมที่สุดคือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว (monocrystalline silicon) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าแผงประเภทอื่น มีความนิยมในเชิงพาณิชย์[4] ส่งผลดีกับพื้นที่หลังคาของอาคารสำนักงานภาครัฐที่มีอยู่อย่างจำกัด และยังใช้พื้นที่ติดตั้งน้อยกว่าแผงประเภทอื่น ๆ การศึกษานี้ จึงเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว ขนาดแผงละ 250 Wp

2. การคำนวณขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนการปรับปรุงการใช้พลังงานในอาคาร เพื่อใช้ประเมินความต้องการพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนปรับปรุงอาคาร หลังจากนั้นจึงนำไปเปรียบเทียบกับการคำนวณขนาดระบบและพลังงานที่ผลิตได้จากพื้นที่หลังคาที่มีอย่างจำกัด ที่คำนวณด้วยโปรแกรม PVsyst โดยใช้สมการ (3) (อธิบายไว้ในบทที่ 2) ดังนี้[5]

---

[4] มหาวิทยาลัยขอนแก่น และกองทุนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, “รายงานฉบับสุดท้าย โครงการการพัฒนาเทคโนโลยีอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) ที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย.” มกราคม 2557.

[5] พิชยดา จิรวรรษวงศ์, “การศึกษาต้นทุนในการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในบ้านที่อยู่อาศัย.”(วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 2556), 44.

$$Pcell = \frac{PL}{Q \times A \times B \times C/D}$$

เมื่อ Pcell คือ กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)

P_L คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน (W)

Q คือ พลังงานแสงอาทิตย์ในหนึ่งวัน (Wh/m^2) สำหรับประเทศไทยเท่ากับ 5,000 Wh/m^2 โดยประมาณ

A คือ ค่าชดเชยการสูญเสียของเซลล์แสงอาทิตย์ กำหนดค่าประมาณ 0.8

B คือ ค่าชดเชยการสูญเสียเชิงความร้อน กำหนดค่าประมาณ 0.85

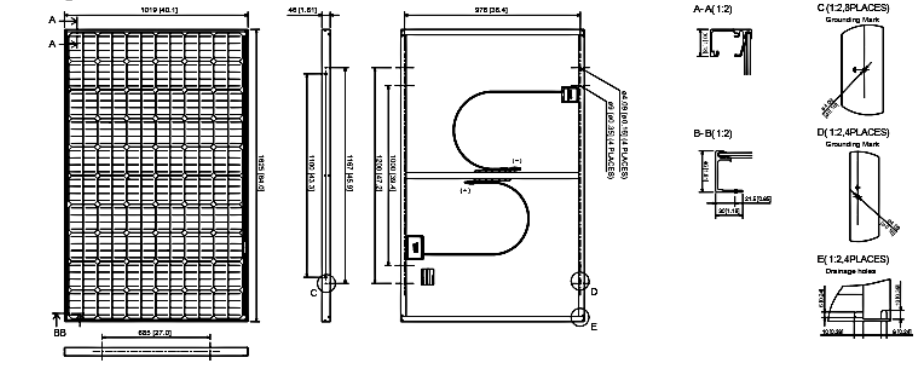
C คือ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ กำหนดค่าประมาณ 0.85-0.9

D คือ ความเข้มแสง โดยปกติความเข้มแสงประมาณ 1,000 W/m^2

Specification Sheet

Manufacturer	MITSUBISHI ELECTRIC	
Model name	PV-MLU255HC	PV-MLU250HC
Cell type	Monocrystalline Silicon, 78mm x 156 mm	
Number of cells	120 cells	
Maximum power rating (Pmax)	255Wp	250Wp
Warranted minimum Pmax	247.4Wp	242.5Wp
PV USA test condition rating (PTC)	230.5Wp	225.8Wp
Open circuit voltage (Voc)	37.8V	37.6V
Short circuit current (Isc)	8.89A	8.79A
Maximum power voltage (Vmp)	31.2V	31.0V
Maximum power current (Imp)	8.18A	8.08A
Module efficiency	15.4%	15.1%
Aperture efficiency	16.7%	16.4%
Tolerance of maximum power rating	+3/-3%	
Static load test passed	5,400 Pa	
Number of bus bars per cell	4 Bus bars	
Normal operating cell temperature (NOCT)	45.7°C	
Maximum system voltage	DC 600V	
Fuse rating	15A	
Dimensions	64.0 x 40.1 x 1.81 inch (1625 x 1019 x 46 mm)	
Weight	44 lbs (20kg)	
Number of modules per pallet	20	
Number of modules per container (40 ft. container)	560	
Output terminal	(+) 800mm (-) 1250mm with MC connector (PV-KTB4/6 II-UR, PV-KST4/6 II-UR)	
Certifications	IEC 61215 2nd Edition, UL1703	
Fire rating	Class C	

Drawings and Dimensions Unit: inch (mm)



ภาพที่ 50 แสดงตัวอย่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว ขนาด 250 Wp

ที่มา: Mitsubishi Electric solar electric innovations. **“MLU series Photovoltaic Module.”** n.d., accessed JUNE 1,2016, available from: http://www.mitsubishielectric-solar.com/images/uploads/documents/specs/MLU_spec_sheet_250W_255W.pdf.

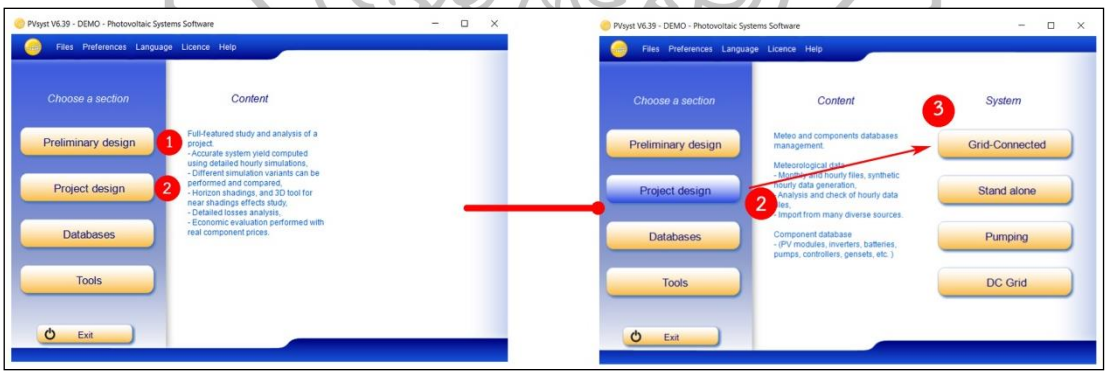
3. การคำนวณขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ จากพื้นที่หลังคาอาคารที่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากที่สุด ด้วย PVsyst Photovoltaic Software Version 6.43

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมในบทที่ 2 โปรแกรม PVSyst เป็นโปรแกรมสำหรับการออกแบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสามารถคำนวณการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากขนาดพื้นที่ที่ติดตั้ง หรือจากขนาดระบบที่ต้องการก็ได้ ซึ่งสามารถเลือกข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ได้จากฐานข้อมูลของโปรแกรม ที่เป็นข้อมูลจากผู้ผลิตอย่างละเอียด และยังมีฐานข้อมูลของอุตุนิยมวิทยาของประเทศไทย กรุงเทพมหานครและเชียงใหม่ โดยในการศึกษานี้ได้จำลองสภาพอากาศและความเข้มแสงอาทิตย์ของกรุงเทพมหานคร (Bangkok MeteoNorm 7.1 station-Synthetic) ในทุกอาคารที่คัดเลือกมาทำการประเมิน เนื่องจากข้อจำกัดของฐานข้อมูลในโปรแกรมและต้องการอ้างอิงให้ทุกอาคารมีสภาพความเข้มแสงอาทิตย์ที่เท่ากันทั้ง 3 รูปแบบ

อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ได้ใช้โปรแกรมเวอร์ชั่น 6.43 Evaluation mode และ 6.43 Demo mode ในการคำนวณ การใช้โปรแกรมเพื่อคำนวณขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์และปริมาณพลังงานที่ผลิตได้ อธิบายโดยสังเขปใน ภาคผนวก ก

3.1 การใช้งานโปรแกรม PVsyst การออกแบบ แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

3.1.1 Preliminary design เป็นการออกแบบและคำนวณขนาดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์หรือปริมาณพลังงานที่ผลิตได้อย่างรวดเร็ว โดยกำหนดการคำนวณจากพื้นที่ติดตั้ง หรือขนาดความต้องการของระบบ ยังไม่มีการระบุรายละเอียดขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือรายละเอียดจากยี่ห้อผู้ผลิต สามารถระบุลักษณะการติดตั้งและมุมของการติดตั้งได้ ไม่มีการระบุขนาดของอินเวอร์เตอร์ จากนั้นจึงเลือกคำสั่งให้คำนวณปริมาณพลังงานที่ผลิตได้



ภาพที่ 51 หน้าต่างโปรแกรม PVsyst และการเลือกวิธีการออกแบบขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์

3.1.2 ในการศึกษานี้เลือกใช้คำสั่ง Project design → Grid-Connected จะปรากฏหน้าต่างใหม่ขึ้นมา (new project) ให้กำหนดชื่อโครงการ (project's name) และวันเริ่มต้นในการคำนวณ ซึ่งเป็นส่วนที่สามารถระบุการประเมินได้ละเอียดกว่า preliminary design โดยต้องมีการศึกษาข้อมูลระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการออกแบบ ดังนี้

3.1.2.1 กำหนดตำแหน่งที่ตั้งของโครงการ การศึกษานี้เลือกที่ตั้งเป็นกรุงเทพมหานครทั้ง 3 อาคาร เนื่องจากข้อจำกัดของโปรแกรม ที่มีข้อมูลจังหวัดในประเทศไทยเพียงจังหวัดเชียงใหม่ และกรุงเทพมหานครเท่านั้น

3.1.2.2 ศึกษาทิศทางและมุมเอียงของหลังคาที่จะติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และช่วงเวลาการคำนวณกำหนดเป็นรายปี

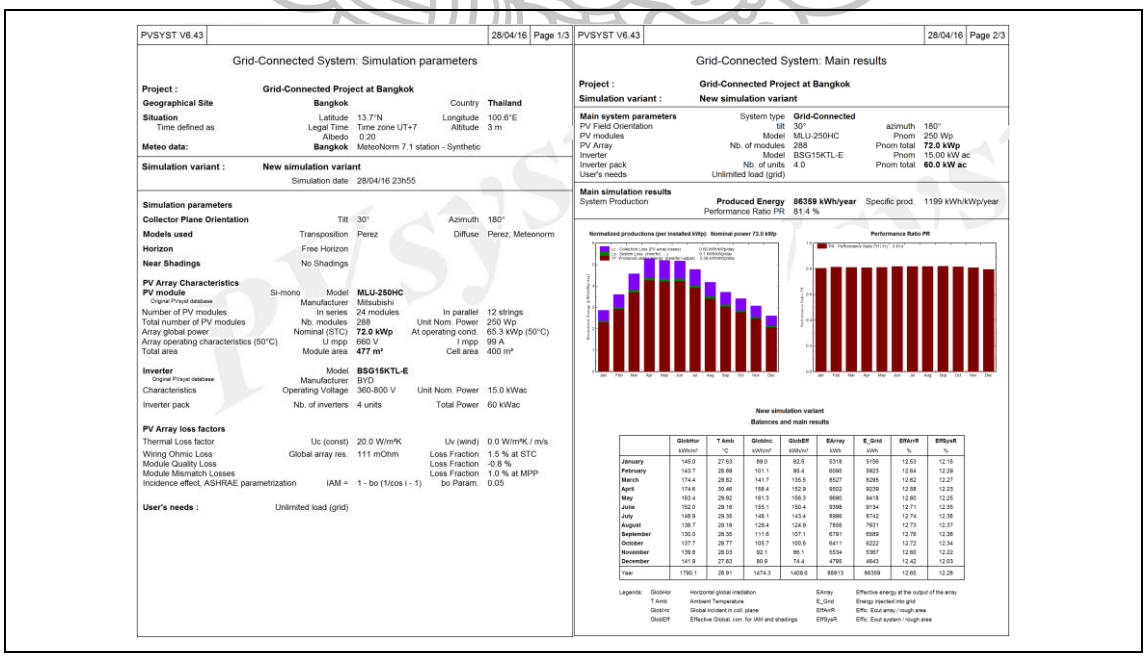
3.1.2.3 การเก็บข้อมูลพื้นที่บนหลังคาที่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

3.1.2.4 การศึกษาและกำหนเขอบเขตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้ง ซึ่งในโปรแกรมจะรวบรวมฐานข้อมูลจากผู้ผลิตไว้ให้แล้ว ในการศึกษานี้เลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว ขนาดแผงละ 250 Wp

3.1.2.5 การศึกษาขนาดของอินเวอร์เตอร์ให้เพียงพอต่อความต้องการของระบบ และความเหมาะสมของจำนวนอินเวอร์เตอร์ ซึ่งต้องคำนึงถึงพื้นที่ที่จะติดตั้งในอาคารด้วย โดยในโปรแกรมจะมีผลความเหมาะสมของอินเวอร์เตอร์ที่เลือกให้อัตโนมัติ

3.2 การแสดงผลการประเมินขนาดและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์

การใช้โปรแกรม PVsyst ทำให้ทราบจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สามารถติดตั้งได้บนพื้นที่หลังคาของอาคาร ที่ติดตั้งได้มากที่สุด และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ในรอบปี ซึ่งจะนำไปเปรียบเทียบกับความต้องการใช้พลังงาน ของอาคารทั้ง 3 รูปแบบ ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงการใช้พลังงาน เพื่อสรุปผลการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในขั้นตอนสุดท้าย



ภาพที่ 52 แสดงรายงานการประเมินผลการผลิตพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม PVsyst

ตอนที่ 3 การสำรวจและประเมินการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานภาครัฐก่อนปรับปรุง

ในการศึกษาศักยภาพพลังงานของอาคารสำนักงานภาครัฐเดิมก่อนปรับปรุงนี้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพิจารณาเสนอวิธีการปรับปรุงและพัฒนาอาคาร ลดพลังงานและให้มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในขั้นตอนต่อไป

การศึกษาการใช้พลังงานของอาคารที่คัดเลือก ประเมินจาก

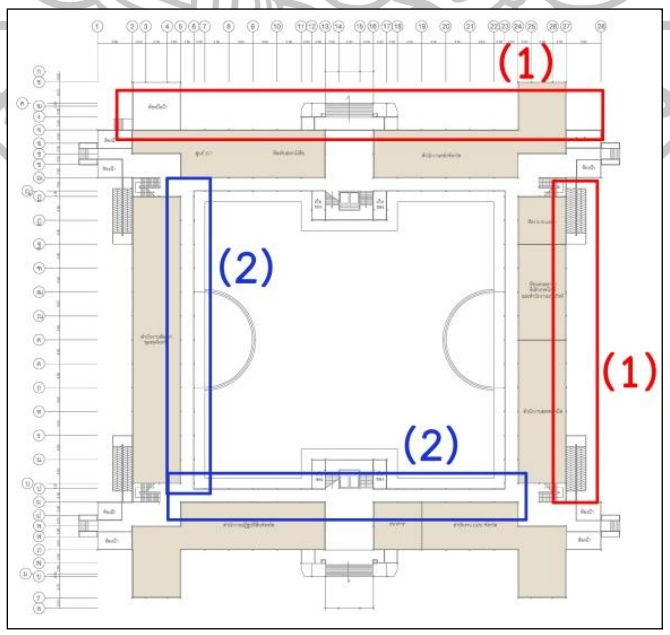
1. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา (OTTV, RTTV)
2. การใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
3. การใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศ
4. การใช้พลังงานจากอุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ

อาคารรูปแบบที่ 1 อาคารขนาดมากกว่า 10,000 ตารางเมตร กรณีศึกษาอาคารศาลากลาง

1. การจัดพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารรูปแบบที่ 1

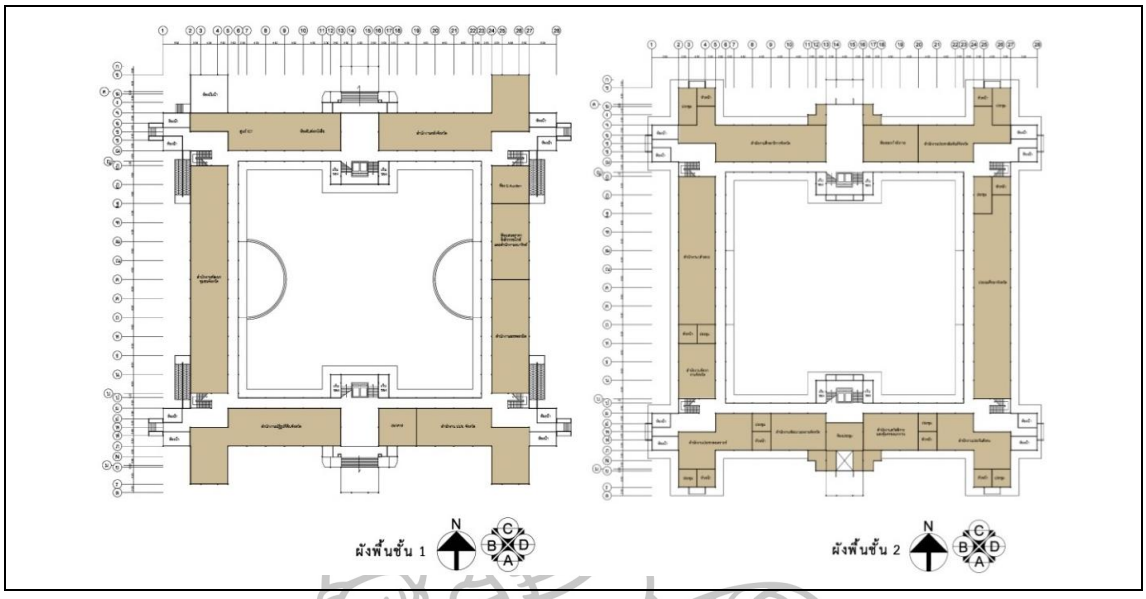
อาคารรูปแบบที่ 1 แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศในส่วนสำนักงานและห้องประชุม พื้นที่ไม่ปรับอากาศในส่วนของโถงทางเดิน ทางสัญจรและห้องงานระบบต่าง ๆ

ลักษณะพื้นที่ของส่วนสำนักงานที่เป็นพื้นที่ปรับอากาศนั้น ผนังด้านหนึ่งเป็นกรอบอาคารภายนอก (ภาพที่ 53 หมายเลข (1)) ซึ่งในส่วนนี้จะได้รับอิทธิพลของแสงอาทิตย์และการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารโดยตรง และผนังอีกด้านหนึ่งของสำนักงานอยู่ภายในอาคารถัดจากพื้นที่โถงทางเดิน (ภาพที่ 53 หมายเลข (2)) ในส่วนนี้จะได้รับอิทธิพลดังกล่าวน้อยกว่า

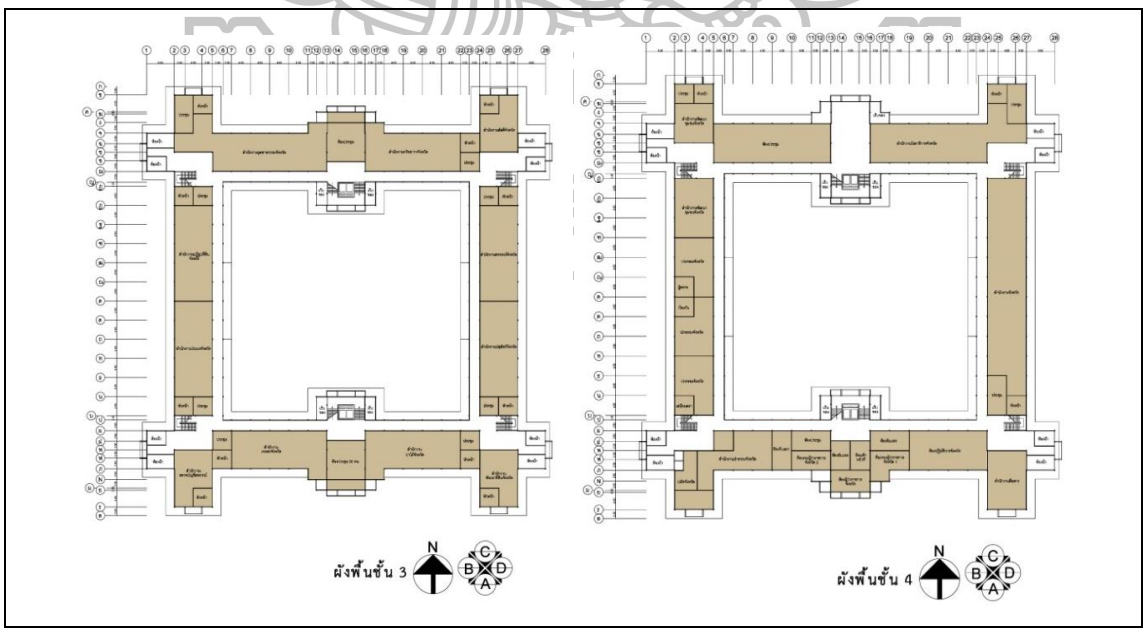


ภาพที่ 53 ลักษณะการจัดพื้นที่ใช้สอยของอาคารรูปแบบที่ 1

ขนาดพื้นที่ใช้สอย พื้นที่ผนังทึบ พื้นที่กระจก และพื้นที่หลังคา จะนำไปกรอกข้อมูลในโปรแกรม BEC เพื่อประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคาร มีรายละเอียดขนาดพื้นที่ ดังนี้



ภาพที่ 54 การแบ่งพื้นที่ปรับอากาศ (สีน้ำตาล) และไม่ปรับอากาศ ผังพื้นอาคารรูปแบบที่ 1 ชั้น 1 และชั้น 2



ภาพที่ 55 การแบ่งพื้นที่ปรับอากาศ (สีน้ำตาล) และไม่ปรับอากาศ ผังพื้นอาคารรูปแบบที่ 1 ชั้น 3 และชั้น 4

ตารางที่ 19 การใช้พื้นที่ของอาคารรูปแบบที่ 1 กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัด

ชั้น	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ		พื้นที่ปรับอากาศ	
	การใช้สอย	พื้นที่ (ตร.ม.)	การใช้สอย	พื้นที่ (ตร.ม.)
1	ทางสัญจร	1,905.83	สำนักงานคลังจังหวัด	364.50
	ห้องน้ำ	153.20	ศูนย์ไอซีที(ICT) และห้องรับ-ส่งหนังสือ	283.95
	ห้องงานระบบ	183.00	สำนักงานปฏิรูปที่ดินจังหวัด	364.50
			ธนาคารกรุงไทย สาขาศาลากลาง	80.00
			สำนักงาน ปปช.จว.	284.50
			สำนักงานพระพุทธศาสนาจังหวัด	486.00
			ห้อง E- Auction	80.55
			ห้องเสนอราคาอิเล็กทรอนิกส์และสำนักงานธนารักษ์	162.00
			สำนักงานสรรพสามิต	243.00
2	ทางสัญจร	1,149.42	ห้องออกกำลังกาย	139.00
	ห้องน้ำ	194.20	สำนักงานประชาสัมพันธ์จังหวัด	243.00
	ห้องงานระบบ	182.20	ประถมศึกษาจังหวัด	486.00
			สำนักงานประกันสังคม	201.60
			สำนักงานสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน	180.40
			ห้องประชุม	78.15
			พัฒนาแรงงานจังหวัด	180.40
			สำนักงานประชาสงเคราะห์	202.95
			สำนักงานจัดหางานจังหวัด	162.90
			สำนักงาน (สำรอง)	232.10
			สำนักงานศึกษาธิการจังหวัด	382.00
3	ทางสัญจร	1,045.92	สำนักงานทรัพยากรจังหวัด	255.40
	ห้องน้ำ	194.20	สำนักงานสัสดีจังหวัด	121.50
	ห้องงานระบบ	162.20	ห้องประชุม	94.95
			สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัด	375.75
			สำนักงานสหกรณ์จังหวัด	243.00
			สำนักงานปศุสัตว์จังหวัด	243.00
			สำนักงานพัฒนาที่ดินจังหวัด	121.50
			สำนักงานป่าไม้จังหวัด	254.70
			ห้องประชุม 50 คน	105.00
			สำนักงานตรวจบัญชีสหกรณ์	121.50

ตารางที่ 19 การใช้พื้นที่ของอาคารรูปแบบที่ 1 กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัด (ต่อ)

ชั้น	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ		พื้นที่ปรับอากาศ	
	การใช้สอย	พื้นที่ (ตร.ม.)	การใช้สอย	พื้นที่ (ตร.ม.)
			สำนักงานตรวจบัญชีสหกรณ์	121.50
			สำนักงานประมงจังหวัด	243.00
			สำนักงานปฏิรูปที่ดินจังหวัด / ว่าง	243.00
4	ทางสัญจร	1,149.42	สำนักงานโยธาธิการจังหวัด	364.00
	ห้องน้ำ	217.83	ห้องประชุมใหญ่	246.50
	ห้องงานระบบ	133.45	สำนักงานพัฒนาชุมชนจังหวัด	243.50
			สำนักงานจังหวัด	486.00
			สำนักงานสื่อสาร	121.50
			ห้องปฏิบัติการจังหวัด	162.00
			ห้องรองผู้ว่าราชการจังหวัด 1	86.00
			ห้องรองผู้ว่าราชการจังหวัด 2	72.00
			ห้องผู้ว่าราชการจังหวัด	115.00
			สำนักงานปกครองจังหวัด	518.50
			ปลัดจังหวัด	78.50
			ห้องประชุม	40.00
รวม		**6,670.87**		**10,048.00**

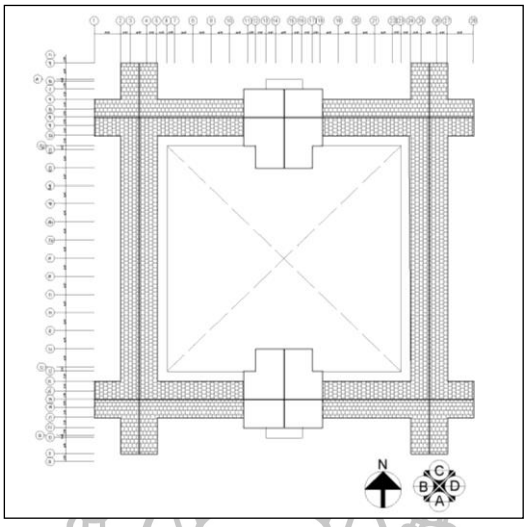
จากตาราง อาคารรูปแบบที่ 1 กรณีศึกษาอาคารศาลากลาง มีขนาดพื้นที่อาคาร ดังนี้

1.1 ขนาดพื้นที่ใช้สอยรวมเท่ากับ 16,718.87 ตารางเมตร

1.1.1 ขนาดพื้นที่ปรับอากาศเท่ากับ 10,048.00 ตารางเมตร

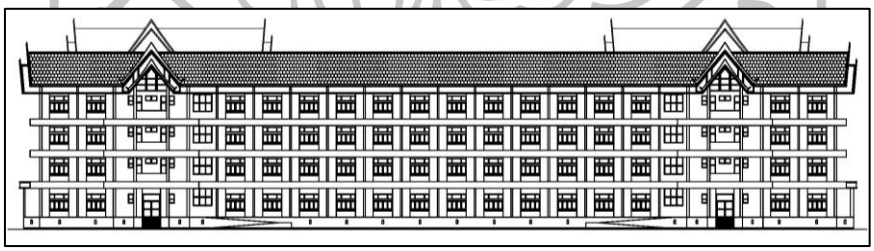
1.1.2 ขนาดพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 6,670.87 ตารางเมตร

1.2 พื้นที่หลังคาทั้งหมด 5,065.44 ตารางเมตร



ภาพที่ 56 ผังหลังคาอาคารรูปแบบที่ 1 กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัด

ภาพที่ 57 รูปด้านอาคารรูปแบบที่ 1 ทิศเหนือและทิศใต้



ภาพที่ 58 รูปด้านอาคารรูปแบบที่ 1 ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

2. ทิศทางการวางตัวอาคาร

ทิศทางการวางอาคารนั้นมีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร และมีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคาร ซึ่งในการศึกษานี้ได้ยึดตามแบบมาตรฐานอาคาร โดยรูปทรงของอาคารเป็นผังสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความกว้างและความยาวของอาคารแต่ละด้านเท่ากันทุกด้าน ตามภาพที่ 54-55 และรูปด้านอาคารภาพที่ 57-58 ทางเข้าหลักของอาคารอยู่ทางทิศใต้

สัดส่วนพื้นที่โปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทึบของอาคารด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีมากกว่าทางด้านทิศเหนือและทิศใต้ ทำให้อาคารได้รับความร้อนมากกว่าวางอาคารทิศทางอื่น

3. โครงสร้างและวัสดุกรอบอาคาร

อาคารรูปแบบที่ 1 ใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก มีการยื่นโครงสร้างอาคารเป็นเสมือนระเบียงรอบอาคาร ซึ่งทำหน้าที่สำหรับวางคอนเดนซิ่งยูนิตและเป็นแผงบังแดดได้

จากแบบมาตรฐานก่อสร้างอาคารรูปแบบที่ 1 สามารถระบุส่วนของผนังทึบได้ 1 แบบ และผนังโปร่งแสง 2 แบบ รวมทั้งวัสดุหลังคาอีก 1 แบบ ซึ่งข้อมูลส่วนนี้จะใช้ในการกรอกข้อมูลในโปรแกรม BEC ในเมนู database คำสั่ง component of section โดยมีรายละเอียดวัสดุดังนี้

3.1 วัสดุหลังคาและผนังทึบ อาคารรูปแบบที่ 1 มีหลังคาอาคารทรงจั่วครอบคลุมตลอดทั้งแนวอาคาร โดยมีส่วนประกอบของวัสดุหลังคา ดังนี้

3.1.1 หลังคามุงกระเบื้องหลังคาคอนกรีต มุมเอียง 50 องศา

3.1.2 ฝ้ายิปซั่มบอร์ดอลูมิเนียมฟอยล์ หนา 12 มิลลิเมตร

3.1.3 ไม่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้หลังคา

3.2 วัสดุผนังทึบภายนอกและภายในอาคาร ใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา มีส่วนประกอบของวัสดุผนังดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ส่วนประกอบของวัสดุผนังทึบอาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง

Component of section	วัสดุ	หนา (m)	K (W/m.°C)	R (m^2.°C/W)	Density (kg/m^3)
ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบเรียบ	- ปูนฉาบคอนกรีตมวลเบา	0.015	0.326	0.046	1200
	- คอนกรีตมวลเบา	0.075	0.476	0.158	1280
	- ปูนฉาบคอนกรีตมวลเบา	0.015	0.326	0.046	1200
ประตูไม้	ไม้สัก	0.050	0.209	0.239	685

3.2 ผนังโปร่งแสงหรือกระจก อาคารติดตั้งหน้าต่างกระจกสีชาในพื้นที่สำนักงานและระเบียงทางเดินทั้งหมดทุกชั้น ซึ่งกระจกสีชาจะช่วยลดความร้อนที่จะเข้ามาภายในอาคารได้มากกว่ากระจกสีเขียวหรือกระจกใส ในความหนาที่เท่ากัน แต่กระจกสีชาจะทำให้แสงที่ผ่านเข้ามาในอาคารน้อยกว่ากระจกสีอื่น ๆ อาจทำให้อาคารต้องเพิ่มการใช้พลังงานด้านระบบไฟฟ้าแสงสว่างมากขึ้นได้ และในส่วนพื้นที่ห้องน้ำเลือกใช้กระจกฝ้า รายละเอียดของกระจกเดิม แสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ส่วนประกอบของผนังโปร่งแสง อาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง

Component of section	วัสดุ	หนา (mm)	SHGC	Transmittance
กระจกสีชา	กระจกสีชา	5	0.49	0.220
กระจกฝ้า	กระจกฝ้า	5	0.52	0.435

4. ขนาดพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่กระจก นอกจากการรวมรวมวัสดุกรอบอาคารแล้ว ยังมีขนาดพื้นที่ของผนังส่วนที่มีการปรับอากาศของแต่ละชั้น ที่เป็นส่วนสำคัญในการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังของอาคาร และมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร โดยมีรายละเอียดทั้งพื้นที่ผนังส่วนที่มีการปรับอากาศและไม่มีการปรับอากาศ แสดงในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 พื้นที่ผนังทึบและกระจกกรอบอาคารส่วนพื้นที่ปรับอากาศ ในอาคารรูปแบบที่ 1

ชั้น	ทิศ	พื้นที่ (ตร.ม.)		พื้นที่ผนังรวม (ตร.ม.)
		ผนังทึบ	กระจก	
1	เหนือ	259.20	58.08	317.28
	ใต้	259.20	58.08	317.28
	ตะวันออก	258.00	84.00	342.00
	ตะวันตก	258.00	54.00	342.00
2	เหนือ	168.72	58.08	226.80
	ใต้	183.12	76.08	259.20
	ตะวันออก	242.40	81.60	324.00
	ตะวันตก	242.40	81.60	324.00
3	เหนือ	188.22	85.38	273.60
	ใต้	188.22	85.83	273.60
	ตะวันออก	242.40	81.60	324.00
	ตะวันตก	242.40	81.60	324.00
4	เหนือ	168.72	58.08	226.80
	ใต้	186.48	79.92	266.40
	ตะวันออก	246.90	86.10	333.00
	ตะวันตก	251.40	81.60	333.00
รวม		**3,585.78**	**1,221.18**	**4,806.96**

ตารางที่ 23 พื้นที่ผนังทึบและกระจกกรอบอาคารส่วนพื้นที่ไม่ปรับอากาศ ในอาคารรูปแบบที่ 1

ชั้น	ทิศ	พื้นที่ (ตร.ม.)		พื้นที่ผนังรวม (ตร.ม.)
		ผนังทึบ	กระจก	
1	เหนือ	221.42	120.05	341.47
	ใต้	221.42	120.05	341.47
	ตะวันออก	214.72	109.28	324.00
	ตะวันตก	214.72	109.28	324.00

ตารางที่ 23 พื้นที่ผนังทึบและกระจกของอาคารส่วนพื้นที่ไม่ปรับอากาศ ในอาคารรูปแบบที่ 1 (ต่อ)

ชั้น	ทิศ	พื้นที่ (ตร.ม.)		พื้นที่ผนังรวม (ตร.ม.)
		ผนังทึบ	กระจก	
2	เหนือ	254.90	105.10	360.00
	ใต้	237.30	89.86	327.16
	ตะวันออก	244.86	111.54	356.40
	ตะวันตก	244.86	105.94	350.80
3	เหนือ	229.94	83.26	313.20
	ใต้	229.94	83.26	313.20
	ตะวันออก	244.86	111.54	356.40
	ตะวันตก	244.86	111.54	356.40
4	เหนือ	254.90	105.10	360.00
	ใต้	237.14	83.26	320.40
	ตะวันออก	235.86	111.54	347.40
	ตะวันตก	231.36	116.04	347.40
รวม		**3,763.06**	**1,676.64**	**5,439.70**

5. ผลการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาอาคาร

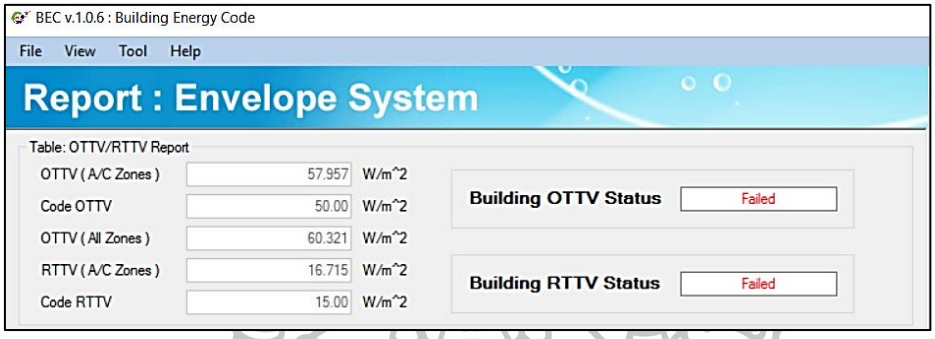
อาคารรูปแบบที่ 1 มีสัดส่วนพื้นที่โปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) เท่ากับ 25% (เฉพาะพื้นที่ปรับอากาศ) และจากการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) ก่อนปรับปรุง ด้วยโปรแกรม BEC มีค่าเท่ากับ 57.96 W/m^2 ซึ่งมีค่าสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552[6] (OTTV ต้องไม่เกิน 50 W/m^2)

ผลการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (RTTV) ด้วยโปรแกรม BEC พบว่า มีค่าเท่ากับ 16.72 W/m^2 ซึ่งมีค่าสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) เช่นกัน (RTTV ต้องไม่เกิน 15 W/m^2) รายละเอียดแสดงในตารางที่ 24 และภาพที่ 59

[6] “กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการ ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552.” **ราชกิจจานุเบกษา** เล่ม 126, ตอนที่ 12 ก (20 กุมภาพันธ์ 2552): 10-11.

ตารางที่ 24 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง

การประเมิน	เกณฑ์ BEC	อาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง	ผลประเมิน
OTTV (W/m^2)	≤50	57.96	**ไม่ผ่าน**
RTTV (W/m^2)	≤15	16.72	**ไม่ผ่าน**



ภาพที่ 59 ผลการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) ของอาคารรูปแบบที่ 1 ด้วยโปรแกรม BEC

6. การประเมินการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารของอาคารรูปแบบที่ 1

จำนวนผู้ใช้งานอาคารรูปแบบที่ 1 กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัดมีทั้งหมด 300 คน หรือคิดเป็น 0.03 คน/ตารางเมตร และการศึกษานี้กำหนดชั่วโมงการใช้งานอาคารตามเวลาการทำงานราชการจากการสำรวจการใช้งาน โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 25

ตารางที่ 25 การกำหนดช่วงเวลาทำงานของอาคารรูปแบบที่ 1

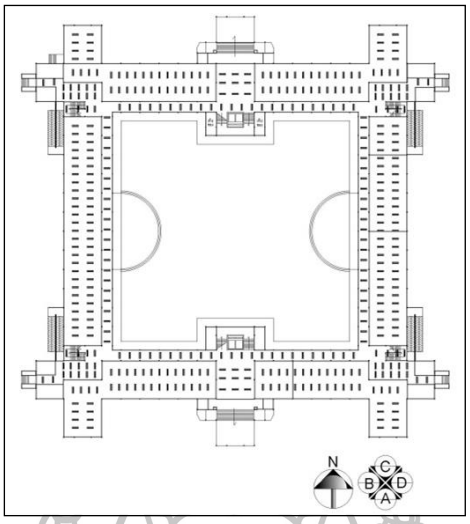
ช่วงเวลาทำงาน				วัน ทำงาน/ปี	ชั่วโมง ทำงาน/ปี
วันจันทร์-ศุกร์	การใช้งาน	วันเสาร์-อาทิตย์	การใช้งาน		
08.30-16.30	พักกลางวัน 1 ชั่วโมง/วัน	-	-	261	1,827

หมายเหตุ ปิดเครื่องปรับอากาศและไฟฟ้าแสงสว่างเวลาพักกลางวัน

6.1 การใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

อาคารรูปแบบที่ 1 กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัด ใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 28 W จำนวน 3,000 หลอด[7] โดยมีรายละเอียดดังนี้

[7] ศาลากลางจังหวัดมหาสารคาม,"รายงานการจัดการพลังงาน ประจำปี 2557." ม.ป.ป. และสัมภาษณ์ สุภาพ ผิวผุย, นายช่างไฟฟ้าชำนาญงาน สำนักงานจังหวัดมหาสารคาม, 9 กุมภาพันธ์ 2559



ภาพที่ 60 ลักษณะการวางผังระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารรูปแบบที่ 1

อาคารรูปแบบที่ 1 มีกำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งต่อพื้นที่ (LPD) เท่ากับ 6.82 W/m^2 ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552[8] (LPD ต้องไม่เกิน 14 W/m^2) ซึ่งถือว่าระบบไฟฟ้าแสงสว่างยังมีประสิทธิภาพที่ดี

ตารางที่ 26 ข้อมูลการใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง

พื้นที่ใช้สอย	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟ	จำนวนหลอดไฟ	ขนาด (W)	LW (W)	BW (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)
ทั้งอาคาร	16,718.87	ฟลูออเรสเซนต์	3,000	28	84,000	30,000	114,000

หมายเหตุ LW คือ ผลรวมของค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งในพื้นที่
BW คือ ผลรวมของกำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ทั้งหมดที่ติดตั้งในพื้นที่

การใช้แสงธรรมชาติภายในอาคารยังไม่สามารถใช้ได้ดีมากนัก เนื่องจากอาคารเลือกใช้กระจกสีชา ทำให้มีแสงธรรมชาติส่องผ่านเข้าไปในอาคารได้น้อย ภายในห้องทำงานเปิดไฟฟ้าแสงสว่างอยู่ตลอดเวลา ทางเดินภายนอกสามารถปิดการใช้งานไฟฟ้าแสงสว่างได้บางส่วน แต่การศึกษานี้ ประเมินการใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างในกรณีที่มีการเปิดใช้ตลอดช่วงเวลาการทำงาน เพื่อให้ทราบความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของอาคาร

[8] “กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการ ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552.” **ราชกิจจานุเบกษา** เล่ม 126, ตอนที่ 12 ก (20 กุมภาพันธ์ 2552): 11.

6.2 การใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศ

จากแบบมาตรฐานอาคารรูปแบบที่ 1 ที่ได้มาจากกรมโยธาธิการและผังเมืองนั้น มีข้อมูลด้านระบบปรับอากาศไม่เพียงพอ จึงได้ขอข้อมูลเพิ่มเติมจากอาคารศาลากลางจังหวัดมหาสารคามที่มีผังพื้นเดียวกันและขนาดเท่ากันกับแบบมาตรฐานอาคาร ซึ่งมีการใช้งาน ดังนี้[9]

6.2.1 ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type) ทั้งอาคาร โดยเครื่องปรับอากาศที่ใช้ส่วนใหญ่ มีการใช้งานมากกว่า 16 ปี และไม่มีฉลากประหยัดพลังงาน

6.2.2 พฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้อาคาร มักจะเปิดเครื่องปรับอากาศทิ้งไว้ในเวลาพักกลางวันซึ่งมีผู้ใช้งานอาคารค่อนข้างน้อย ไม่เป็นไปตามมาตรการประหยัดพลังงานของอาคาร

6.2.3 ปัญหาด้านฝุ่นเกาะติดแผงคอนเดนซิ่งยูนิต ซึ่งทำให้เครื่องปรับอากาศระบายความร้อนได้ไม่ดี ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพต่ำลง ใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น

จากการศึกษาพบว่า อาคารรูปแบบที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศ (COP) เฉลี่ยเท่ากับ 2.91 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC)[10] ทำให้ระบบปรับอากาศมีประสิทธิภาพต่ำ (COP ต้องมีค่ามากกว่า 3.22) มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง ซึ่งรายละเอียดของเครื่องปรับอากาศในอาคารรูปแบบที่ 1 มีดังนี้

ตารางที่ 27 ข้อมูลระบบปรับอากาศอาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง

ชั้น	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/hr)	จำนวนเครื่อง	Power input (W) ต่อเครื่อง	COP
1	38,000	62	3,800	2.95
	28,000	2	2,825	2.94
	20,000	31	2,052	2.88
2	44,000	1	4,410	2.93
	38,000	46	3,800	2.95
	20,000	12	2,052	2.88
3	44,000	3	4,410	2.93
	38,000	40	3,800	2.95
	33,000	2	3,150	3.08
	20,000	18	2,052	2.88

[9] ศาลากลางจังหวัดมหาสารคาม,"รายงานการจัดการพลังงาน ประจำปี 2557." ม.ป.ป. และสัมภาษณ์ สุภาพ ผิวผุย, นายช่างไฟฟ้าชำนาญงาน สำนักงานจังหวัดมหาสารคาม, 9 กุมภาพันธ์ 2559.

[10] "กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการ ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552." **ราชกิจจานุเบกษา** เล่ม 126, ตอนที่ 12 ก (20 กุมภาพันธ์ 2552): 12.

ตารางที่ 27 ข้อมูลระบบปรับอากาศอาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง (ต่อ)

ชั้น	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/hr)	จำนวนเครื่อง	Power input (W) ต่อเครื่อง	COP
4	44,000	11	4,410	2.93
	38,000	51	3,800	2.95
	32,000	1	3,310	2.84
	20,000	9	2,052	2.88

6.3 การใช้พลังงานจากอุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ

เนื่องจากอาคารแบบที่ 1 กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัด เป็นอาคารที่เป็นศูนย์รวมของหน่วยงานต่าง ๆ ค่อนข้างมาก อีกทั้งจากการที่ผู้วิจัยได้เข้าไปสอบถามการจัดการด้านอุปกรณ์สำนักงานพบว่ามีจำนวนมาก และไม่ได้มีการรวบรวมสถิติข้อมูลไว้ จึงได้ประเมินการใช้พลังงานจากอุปกรณ์สำนักงานเฉพาะเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งประมาณการจากจำนวนผู้ใช้อาคารทั้งหมด 300 คน เท่ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ 300 เครื่อง เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ และไม่มีฉลากประหยัดพลังงานทั้งหมด เพื่อให้ทราบถึงการใช้พลังงานสูงสุด และพิจารณาการลดการใช้พลังงาน ลำดับต่อไป

ตารางที่ 28 ข้อมูลอุปกรณ์สำนักงานของอาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง

ลำดับที่	เครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวนเครื่อง	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม(W)
1	คอมพิวเตอร์ PC	300	350	105,000

จากตารางที่ 28 อาคารรูปแบบที่ 1 มีค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ต่อหน่วยพื้นที่สำนักงาน 10,048 ตารางเมตร (EQD) เท่ากับ 10.45 W/m^2

6.4 ผลการประเมินการใช้พลังงานรวมของอาคาร

จากการศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ระบบปรับอากาศ (COP) การใช้อุปกรณ์สำนักงาน (EQD) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคารนั้น ทำให้สามารถคำนวณการใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร ตามสมการที่ (10) (บทที่ 3) ได้ ซึ่งพบว่า อาคารรูปแบบที่ 1 ตามการก่อสร้างและใช้วัสดุตามแบบมาตรฐานอาคารเดิม ใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร 995,822 kWh/year หรือ 59.56 kWh/m^2/year รายละเอียดแสดงในตารางที่ 29

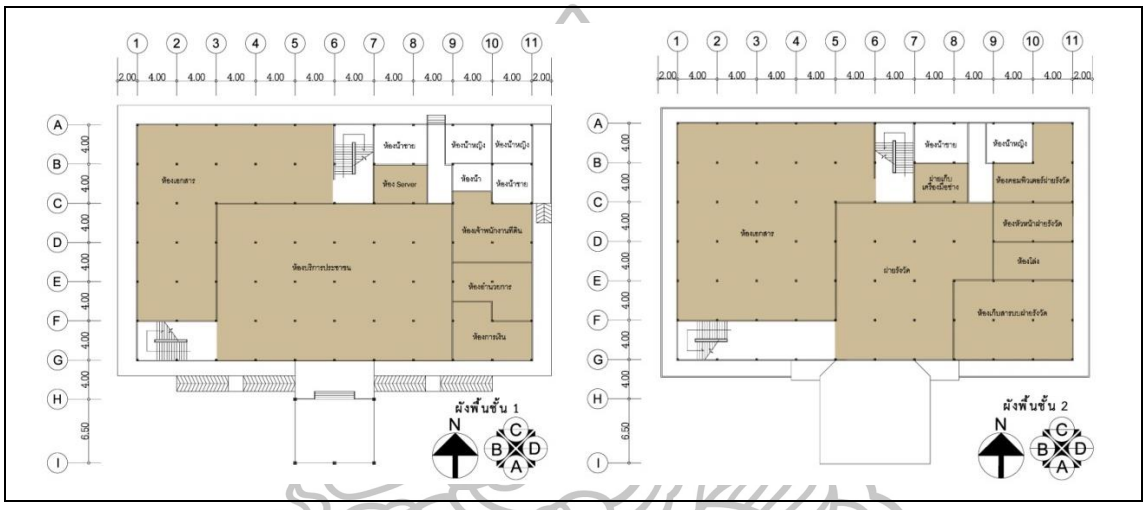
ตารางที่ 29 ผลการประเมินการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง

ลำดับที่	รายการ	อาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง
1	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	16,718.87
2	พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	10,048.00
3	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	6,670.87
4	จำนวนผู้ใช้อาคาร (คน)	300
5	OTTV (W/m^2)	57.96
6	RTTV (W/m^2)	16.72
7	Coefficient of Performance, COP	2.91
8	Lighting Power Density, LPD (W/m^2)	6.82
9	Equipment Power Density, EQD (W/m^2)	10.45
10	Occupancy, OCCU (person/ m^2)	0.03
11	Ventilation Rete, VENT (l/s)	0.25
12	Lighting cooling load, C_l	0.84
13	Equipment cooling load, C_e	0.85
14	Occupant cooling load, C_o	0.90
15	Ventilation cooling load, C_v	0.90
16	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน (n_h)	1,827.00
ผลการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์สำนักงาน		
17	**Lighting Load (kWh/year)**	**208,319**
18	**Equipment Load (kWh/year)**	**319,199**
19	**Cooling Load (kWh/year)**	**468,304**
ผลการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารรูปแบบที่ 1		
20	**การใช้พลังงานรวมของอาคาร (E_{pa}) ต่อปี (kWh/year)**	**995,822**
21	**การใช้พลังงานรวมของอาคารต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m^2/year)**	**59.56**

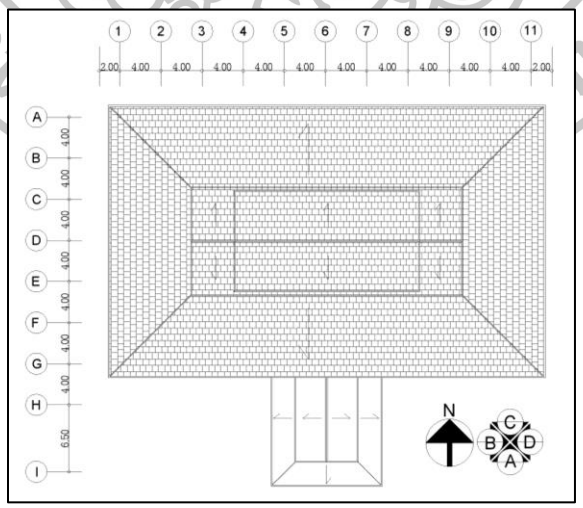
อาคารรูปแบบที่ 2 อาคารขนาด 2,000 – 10,000 ตารางเมตร กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป สำนักงานที่ดินขนาดใหญ่

1. การจัดพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารรูปแบบที่ 2

การใช้พื้นที่ของอาคารแบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศในส่วนสำนักงาน พื้นที่ไม่ปรับอากาศในส่วนของทางสัญจรและห้องน้ำ รูปทรงของอาคารมีช่วงอาคารกว้างมาก อาจทำให้แสงธรรมชาติเข้ามาไม่ถึงส่วนกลางอาคาร ส่งผลให้ต้องมีการใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างอยู่ตลอดเวลา



ภาพที่ 61 การแบ่งพื้นที่ปรับอากาศ (สีน้ำตาล) และไม่ปรับอากาศ ผังพื้นอาคารรูปแบบที่ 2 ชั้น 1 และชั้น 2



ภาพที่ 62 ผังหลังคาอาคารรูปแบบที่ 2 กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป

อาคารรูปแบบที่ 2 กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป มีขนาดพื้นที่ใช้สอย ดังนี้

1.1 ขนาดพื้นที่ใช้สอยรวมเท่ากับ	2,433.64	ตารางเมตร
1.1.1 ขนาดพื้นที่ปรับอากาศเท่ากับ	1,632.16	ตารางเมตร
1.1.2 ขนาดพื้นที่ไม่ปรับอากาศ	801.48	ตารางเมตร
1.2 พื้นที่หลังคาทั้งหมด	1,493.72	ตารางเมตร

ขนาดของพื้นที่ใช้สอย พื้นที่ผนังทึบและกระจก รวมทั้งพื้นที่หลังคา จะถูกนำไปกรอกในโปรแกรม BEC เพื่อประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคาร ดังตารางที่ 30

ตารางที่ 30 การใช้พื้นที่ของอาคารรูปแบบที่ 2 กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป

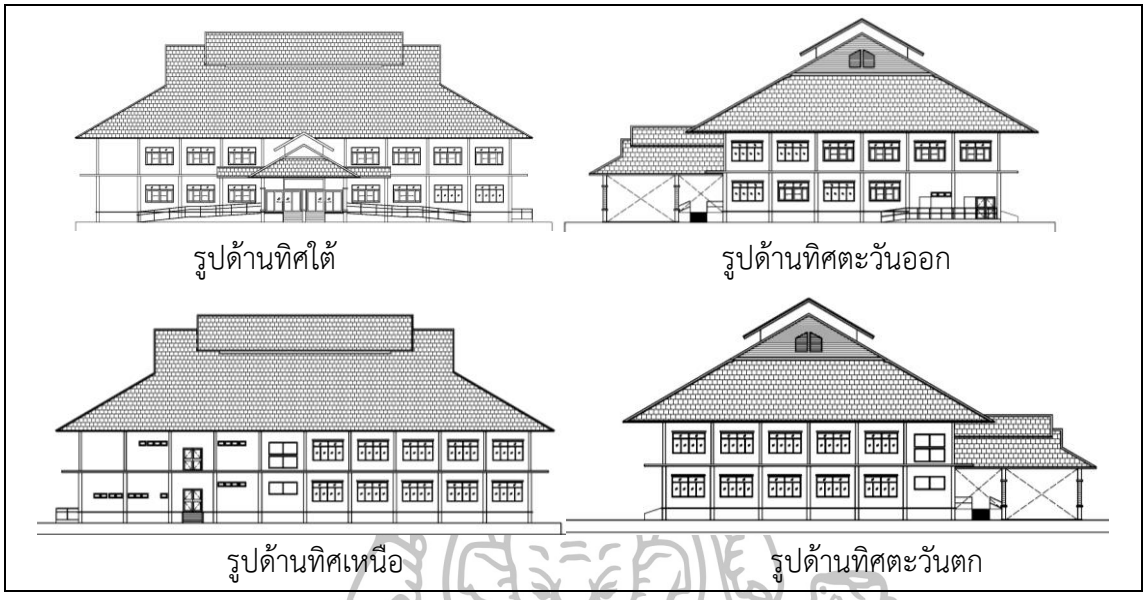
ชั้น	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ		พื้นที่ปรับอากาศ	
	การใช้สอย	พื้นที่ (ตร.ม.)	การใช้สอย	พื้นที่ (ตร.ม.)
1	ทางสัญจรและโถงทางเดิน	407.72	ห้องบริการประชาชน	372.50
	ห้องน้ำ	83.40	ห้องเอกสาร	262.40
			ห้อง Server	22.43
			ห้องการเงิน	40.80
			ห้องอำนวยการ	41.20
			ห้องเจ้าพนักงานที่ดิน	55.35
2	ทางสัญจรและโถงทางเดิน	82.12	ฝ่ายรังวัด	220.00
	ห้องน้ำ	40.40	ห้องเอกสาร	320.40
	ระเบียง	187.84	ห้องเก็บสารบบฝ่ายรังวัด	100.04
			ห้องโล่ง	92.76
			ห้องหัวหน้าฝ่ายรังวัด	32.80
			ห้องคอมพิวเตอร์ฝ่ายรังวัด	49.20
			ห้องเก็บเครื่องมือช่าง	22.28
รวม		**801.48**		**1,632.16**

2. ทิศทางของอาคาร

ทิศทางการวางอาคารรูปแบบที่ 2 ในการศึกษานี้ ยึดตามแบบมาตรฐานอาคาร โดยอาคารมีผังรูปแบบสีเหลี่ยมจัตุรัส มีความกว้างของอาคารมาก ตามภาพที่ 54 ทางเข้าหลักของอาคารอยู่ทางทิศใต้ การวางตัวอาคารหันด้านแคบไปทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

3. โครงสร้างและวัสดุกรอบอาคาร

อาคารรูปแบบที่ 2 ใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก มีระเบียงรอบอาคารชั้น 2 ซึ่งทำหน้าที่สำหรับวางคอนเดนซิ่งยูนิตและเป็นแผงบังแดดได้บางส่วน รูปด้านของอาคาร แสดงในภาพที่ 63



ภาพที่ 63 รูปด้านอาคารรูปแบบที่ 2 กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป

จากการศึกษาแบบมาตรฐานก่อสร้างอาคารรูปแบบที่ 2 สามารถระบุส่วนของผนังทึบได้ 1 แบบ ผนังโปร่งแสง 3 แบบ และวัสดุหลังคาอีก 1 แบบ ซึ่งข้อมูลส่วนนี้จะใช้ในการกรอกข้อมูลในโปรแกรม BEC ในเมนู database คำสั่ง component of section รายละเอียดวัสดุ ดังนี้

3.1 วัสดุหลังคาและผนังทึบ อาคารรูปแบบที่ 2 มีลักษณะหลังคาอาคารเป็นทรงปั้นหยาซ้อนด้วยหลังคาทรงจั่ว มีส่วนประกอบของวัสดุหลังคา ดังนี้

3.1.1 หลังคามุงกระเบื้องหลังคาคอนกรีต มุมเอียง 30 องศา

3.1.2 ฝ้ายิปซั่มบอร์ดทั่วไป หนา 9 มิลลิเมตร

3.1.3 ไม่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้หลังคา

ผนังทึบเป็นผนังก่อคอนกรีตบล็อก มีส่วนประกอบดังตารางที่ 31

ตารางที่ 31 ส่วนประกอบของวัสดุผนังทึบอาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง

Component of section	วัสดุ	หนา (m)	K (W/m.°C)	R (m^2.°C/W)	Density (kg/m^3)
ผนังก่อคอนกรีตบล็อก	- ปูนฉาบ	0.015	0.72	0.021	1860
	- คอนกรีตบล็อก	0.075	0.546	0.128	2210
	- ปูนฉาบ	0.015	0.72	0.021	1860

3.2 ผนังโปร่งแสงหรือกระจก อาคารรูปแบบที่ 2 ติดตั้งหน้าต่างกระจกใสในพื้นที่สำนักงาน กระจกสีเขียวส่วนของโถงบันได และกระจกฝ้าในส่วนของห้องน้ำ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 32

ตารางที่ 32 ส่วนประกอบของผนังโปร่งแสง อาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง

Component of section	วัสดุ	หนา (mm)	SHGC	Transmittance
กระจกใส	กระจกใส	6	0.82	0.880
กระจกสีเขียว	กระจกสีเขียว	6	0.60	0.760
กระจกฝ้า	กระจกฝ้า	6	0.51	0.428

4. ขนาดพื้นที่ผนังทึบและผนังโปร่งแสง

ขนาดพื้นที่ของผนังส่วนที่มีการปรับอากาศของแต่ละชั้น เป็นส่วนที่ต้องใช้ในการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังของอาคาร และมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร โดยมีรายละเอียดทั้งพื้นที่ผนังส่วนที่มีการปรับอากาศและไม่มีการปรับอากาศ แสดงในตารางที่ 33

ตารางที่ 33 พื้นที่ผนังทึบและกระจกของอาคารส่วนพื้นที่ปรับอากาศ ในอาคารรูปแบบที่ 2

ชั้น	ทิศ	พื้นที่ (ตร.ม.)		พื้นที่ผนังรวม (ตร.ม.)
		ผนังทึบ	กระจก	
1	เหนือ	61.29	28.29	89.58
	ใต้	100.01	44.00	144.00
	ตะวันออก	40.86	16.74	57.60
	ตะวันตก	62.30	27.29	89.58
2	เหนือ	73.52	33.65	107.16
	ใต้	114.71	29.30	144.00
	ตะวันออก	61.29	25.11	86.40
	ตะวันตก	59.12	33.65	92.76
รวม		**573.1**	**238.03**	**811.08**

ตารางที่ 34 พื้นที่ผนังทึบและกระจกของอาคารส่วนพื้นที่ไม่ปรับอากาศ ในอาคารรูปแบบที่ 2

ชั้น	ทิศ	พื้นที่ (ตร.ม.)		พื้นที่ผนังรวม (ตร.ม.)
		ผนังทึบ	กระจก	
1	เหนือ	51.32	6.28	57.6
	ใต้	-	-	-
	ตะวันออก	28.08	0.72	28.8
	ตะวันตก	-	-	-
2	เหนือ	37.88	5.32	43.2

ตารางที่ 34 พื้นที่ผนังทึบและกระจกของอาคารส่วนพื้นที่ไม่ปรับอากาศ ในอาคารรูปแบบที่ 2 (ต่อ)

ชั้น	ทิศ	พื้นที่ (ตร.ม.)		พื้นที่ผนังรวม (ตร.ม.)
		ผนังทึบ	กระจก	
2	ใต้	-	-	-
	ตะวันออก	-	-	-
	ตะวันตก	-	-	-
รวม		**117.28**	**12.32**	**129.6**

5. ผลการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาอาคาร

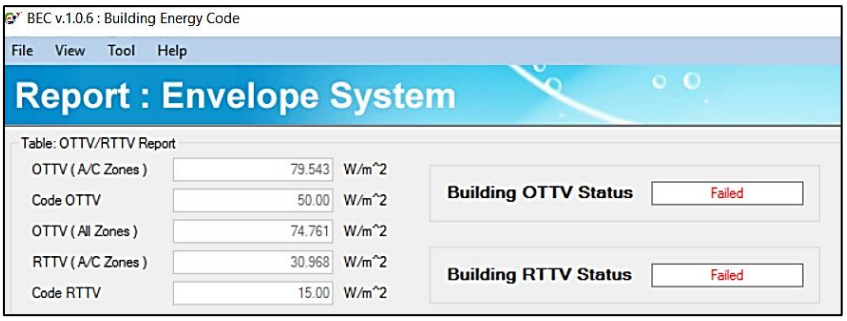
อาคารรูปแบบที่ 2 มีสัดส่วนพื้นที่โปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) 29% (เฉพาะพื้นที่ปรับอากาศ) และจากการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) ก่อนปรับปรุง ด้วยโปรแกรม BEC เท่ากับ 79.54 W/m^2 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552[11] (OTTV ต้องไม่เกิน 50 W/m^2)

การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (RTTV) ด้วยโปรแกรม BEC พบว่ามีค่าเท่ากับ 30.96 W/m^2 ซึ่งมีค่าสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) เช่นกัน (RTTV ต้องไม่เกิน 15 W/m^2) แสดงในตารางที่ 35 และภาพที่ 64

ตารางที่ 35 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง

การประเมิน	เกณฑ์ BEC	อาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง	ผลประเมิน
OTTV (W/m^2)	≤50	79.54	**ไม่ผ่าน**
RTTV (W/m^2)	≤15	30.96	**ไม่ผ่าน**

[11] "กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการ ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552." **ราชกิจจานุเบกษา** เล่ม 126, ตอนที่ 12 ก (20 กุมภาพันธ์ 2552): 10-11.



ภาพที่ 64 ผลการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) ของอาคารรูปแบบที่ 2 ด้วยโปรแกรม BEC

6. การประเมินการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารของอาคารรูปแบบที่ 2

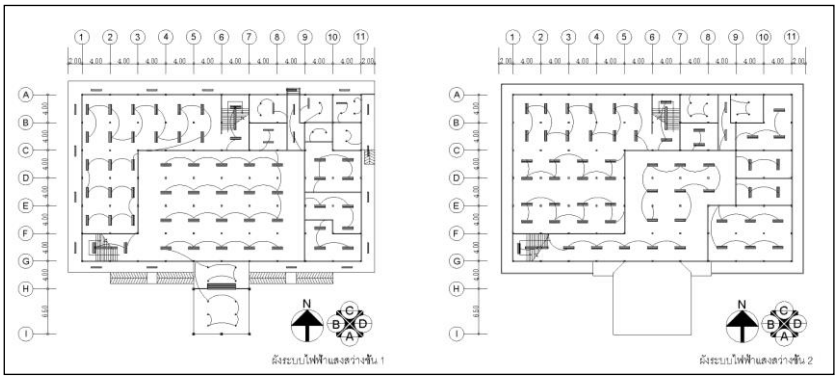
จำนวนพนักงานอาคารรูปแบบที่ 2 กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป มีทั้งหมด 66 คน และยังมีผู้มาใช้บริการเฉลี่ยวันละ 150-200 คน หรือคิดเป็น 0.16 คน/ตารางเมตร การศึกษานี้กำหนดชั่วโมงการใช้งานอาคาร ตามเวลาการทำงานราชการจากการสำรวจการใช้งาน รายละเอียดตามตารางที่ 36

ตารางที่ 36 การกำหนดช่วงเวลาทำงานของอาคารรูปแบบที่ 2

ช่วงเวลาทำงาน				วัน ทำงาน/ปี	ชั่วโมง ทำงาน/ปี
วันจันทร์-ศุกร์	การใช้งาน	วันเสาร์-อาทิตย์	การใช้งาน		
08.30-16.30	พักกลางวัน 1 ชั่วโมง/วัน	-	-	261	1,827

หมายเหตุ ปิดเครื่องปรับอากาศและไฟฟ้าแสงสว่าง เวลาพักกลางวัน

6.1 การใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารรูปแบบที่ 2 มีรายละเอียด ดังนี้



ภาพที่ 65 ลักษณะการวางผังระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง

ตารางที่ 37 ข้อมูลการใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง

ชั้น	พื้นที่ใช้สอย	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟ	จำนวนหลอดไฟ	ขนาด (W)	LW (W)	BW (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)
1	ห้องบริการประชาชน	372.50	ฟลูออเรสเซนต์	40	36	1,440	400	1,840
	ห้องเอกสาร	262.40	ฟลูออเรสเซนต์	42	36	1,512	420	1,932
	ห้อง Server	22.43	ฟลูออเรสเซนต์	2	36	72	20	92
	ห้องการเงิน	40.80	ฟลูออเรสเซนต์	6	36	216	60	276
	ห้องอำนวยการ	41.20	ฟลูออเรสเซนต์	6	36	216	60	276
	ห้องเจ้าพนักงาน	55.35	ฟลูออเรสเซนต์	8	36	288	80	368
	โถงบันได	67.24	ฟลูออเรสเซนต์	6	36	216	60	276
	ทางสัญจร	14.88	ฟลูออเรสเซนต์	2	36	72	20	92
	ห้องน้ำ	83.40	ฟลูออเรสเซนต์	3	36	108	30	138
			คอมแพคฟลูออเรสเซนต์	11	26	286	0	286
	โถงทางเข้า	84.00	คอมแพคฟลูออเรสเซนต์	10	26	260	0	260
	ระเบียงรอบอาคาร	241.6	ฟลูออเรสเซนต์	18	36	648	180	828
2	ฝ่ายรังวัด	220.00	ฟลูออเรสเซนต์	22	36	792	220	1,012
	ห้องเอกสาร	320.40	ฟลูออเรสเซนต์	56	36	2,016	560	2,576

ตารางที่ 37 ข้อมูลการใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง (ต่อ)

ชั้น	พื้นที่ใช้สอย	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟ	จำนวนหลอดไฟ	ขนาด (W)	LW (W)	BW (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)
2	ห้องเก็บสารบบ	100.04	ฟลูออเรสเซนต์	12	36	432	120	552
	ห้องโล่ง	92.76	ฟลูออเรสเซนต์	4	36	144	40	184
	ห้องหัวหน้าฝ่ายรังวัด	32.80	ฟลูออเรสเซนต์	4	36	144	40	184
	ห้องคอมพิวเตอร์	49.20	ฟลูออเรสเซนต์	6	36	216	60	276
	ห้องเก็บเครื่องมือช่าง	22.28	ฟลูออเรสเซนต์	4	36	144	40	184
	โถงบันได	31.88	ฟลูออเรสเซนต์	2	36	72	20	92
	ทางสัญจร	50.24	ฟลูออเรสเซนต์	6	36	216	60	276
	ห้องน้ำ	40.40	คอมแพคฟลูออเรสเซนต์	6	26	156	0	156
รวม		**2,246.16**		**276**		**9,666**	**2,490**	**12,156**

หมายเหตุ LW คือ ผลรวมของค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งในพื้นที่
BW คือ ผลรวมของกำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ทั้งหมดที่ติดตั้งในพื้นที่

จากตารางที่ 37 อาคารรูปแบบที่ 2 มีกำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งต่อพื้นที่ (LPD) เท่ากับ 5.41 W/m^2 ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC)[12] ที่ LPD ต้องไม่เกิน 14 W/m^2 ซึ่งยังถือว่าระบบไฟฟ้าแสงสว่างยังมีประสิทธิภาพที่ดี

[12] “กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการ ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552.” **ราชกิจจานุเบกษา** เล่ม 126, ตอนที่ 12 ก (20 กุมภาพันธ์ 2552): 11.

6.2 การใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศ

อาคารรูปแบบที่ 2 ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type) โดยในแบบมาตรฐานอาคาร ได้กำหนดให้เลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่ผ่านมาตรฐาน มอก.2134-2545 และฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5 ซึ่งช่วยให้มีการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ รายละเอียดเครื่องปรับอากาศ ดังนี้

ตารางที่ 38 ข้อมูลระบบปรับอากาศ อาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง

ชั้น	พื้นที่ใช้สอย	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/hr)	จำนวนเครื่อง	Power input ต่อ1 เครื่อง (W)	COP
1	ห้องบริการประชาชน	40,000	10	3,538	3.34
	ห้องเอกสาร	40,000	5	3,538	3.34
	ห้อง Server	24,000	2	2,050	3.51
	ห้องการเงิน	36,000	1	3,025	3.51
	ห้องอำนวยการ	36,000	1	3,025	3.51
	ห้องเจ้าพนักงานที่ดิน	36,000	1	3,025	3.51
2	ฝ่ายรังวัด	40,000	6	3,538	3.34
	ห้องเอกสาร	40,000	7	3,538	3.34
	ห้องเก็บสารบบฝ่ายรังวัด	40,000	2	3,538	3.34
	ห้องโล่ง	24,000	1	2,050	3.51
	ห้องหัวหน้าฝ่ายรังวัด	24,000	1	2,050	3.51
	ห้องคอมพิวเตอร์ฝ่ายรังวัด	18,000	1	1,519	3.49
		24,000	1	2,050	3.51
	ห้องเก็บเครื่องมือช่าง	18,000	1	1,519	3.49

จากตารางที่ 38 อาคารรูปแบบที่ 2 มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 3.37 ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC)[13] ที่จะต้องมีค่า COP มากกว่า 3.22 ทำให้ระบบปรับอากาศของอาคารหลังนี้มีประสิทธิภาพที่ดี

6.3 การใช้พลังงานจากอุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ

การศึกษาอาคารแบบที่ 2 กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป ประเมินการใช้พลังงานจากเครื่องคอมพิวเตอร์ จะกำหนดตามจำนวนพนักงานทั้งหมด 66 คน เท่ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ 66 เครื่อง เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ และไม่มีฉลากประหยัดพลังงานทั้งหมด

[13] “กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการ ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552.” **ราชกิจจานุเบกษา** เล่ม 126, ตอนที่ 12 ก (20 กุมภาพันธ์ 2552): 12.

นอกจากนี้ยังมีเครื่องพิมพ์เอกสาร เครื่องถ่ายเอกสาร และเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ด้วย การศึกษาพบว่าอาคารมีค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ต่อหน่วยพื้นที่ (EQD) เท่ากับ 24.91 W/m^2 รายละเอียดอุปกรณ์ แสดงในตารางที่ 39

ตารางที่ 39 ข้อมูลอุปกรณ์สำนักงานของอาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง

ลำดับที่	เครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวนเครื่อง	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)
1	คอมพิวเตอร์ PC	66	350	231,000
2	เครื่องพิมพ์เอกสาร	50	200	10,000
3	เครื่องถ่ายเอกสาร	4	1800	7,200
4	พัดลม	6	60	360
รวม		**126**		**40,660**

6.4 ผลการประเมินการใช้พลังงานรวมของอาคาร

จากการศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ระบบปรับอากาศ (COP) การใช้อุปกรณ์สำนักงาน (EQD) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคารรูปแบบที่ 2 สามารถคำนวณการใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร ตามสมการที่ (10) (บทที่ 3) ซึ่งพบว่า ตามการก่อสร้างและใช้วัสดุตามแบบมาตรฐานอาคารเดิมก่อนการปรับปรุง ใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร 233,764 kWh/year หรือ 96.06 kWh/m^2/year รายละเอียดการใช้พลังงาน ดังตารางที่ 40

ตารางที่ 40 ผลการประเมินการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง

ลำดับที่	รายการ	อาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง
1	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	2,433.64
2	พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	1,632.16
3	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	801.48
4	จำนวนผู้ใช้อาคาร (คน)	66
5	OTTV (W/m^2)	79.54
6	RTTV (W/m^2)	30.96
7	Coefficient of Performance, COP	3.37
8	Lighting Power Density, LPD (W/m^2)	5.41
9	Equipment Power Density, EQD (W/m^2)	24.91
10	Occupancy, OCCU (person/ m^2)	0.16

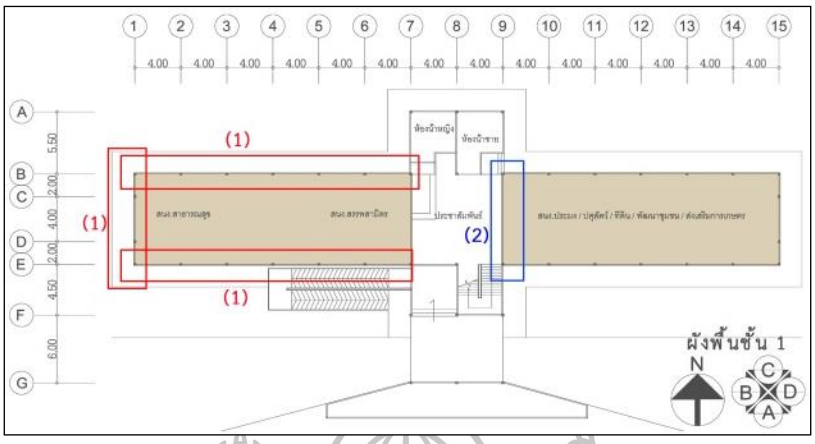
ตารางที่ 40 ผลการประเมินการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับที่	รายการ	อาคารรูปแบบที่ 2 ก่อนปรับปรุง
11	Ventilation Rete, VENT (l/s)	0.25
12	Lighting cooling load, C_l	0.84
13	Equipment cooling load, C_e	0.85
14	Occupant cooling load, C_o	0.90
15	Ventilation cooling load, C_v	0.90
16	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน (n_h)	1,827.00
ผลการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์สำนักงาน		
17	**Lighting Load (kWh/year)**	**24,054.27**
18	**Equipment Load (kWh/year)**	**110,756.34**
19	**Cooling Load (kWh/year)**	**98,953.23**
ผลการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารรูปแบบที่ 2		
20	**การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร (E_{pa}) ต่อปี (kWh/year)**	**233,764**
21	**การใช้พลังงานรวมของอาคารต่อตารางเมตรต่อปี(kWh/m^2/year)**	**96.06**

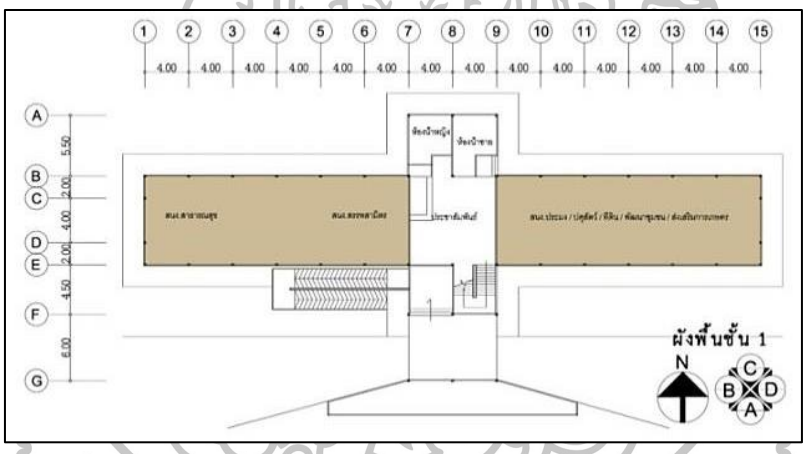
อาคารรูปแบบที่ 3 อาคารขนาดน้อยกว่า 2,000 ตารางเมตร กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่

1. การจัดพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารรูปแบบที่ 3

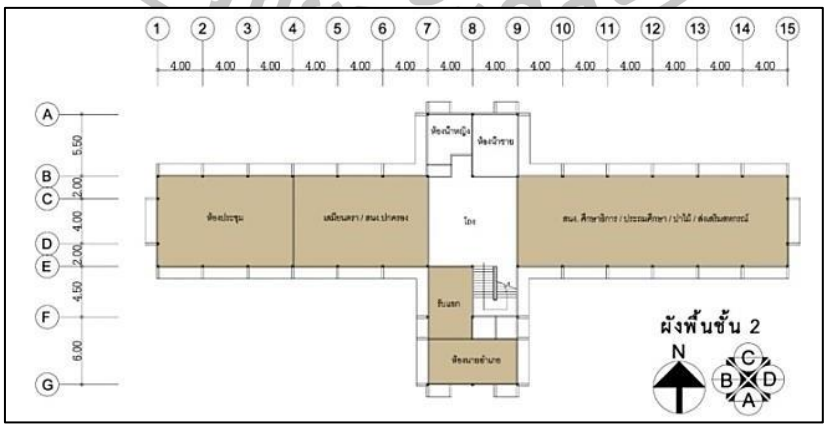
พื้นที่อาคารแบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศในส่วนสำนักงาน พื้นที่ไม่ปรับอากาศในส่วนของโถงทางเดิน ทางสัญจร ห้องน้ำและห้องงานระบบ อาคารมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าและมีมุขทางเข้าตรงกลางอาคาร พื้นที่สำนักงานต่าง ๆ ในอาคารซึ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ มีกรอบอาคารที่ได้รับอิทธิพลของแสงอาทิตย์และการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารโดยตรง 3 ด้าน (ภาพที่ 66 หมายเลข (1)) และผนังอีกด้านหนึ่งของสำนักงานอยู่ภายในอาคารถัดจากพื้นที่โถงทางเดิน (ภาพที่ 66 หมายเลข (2)) ในส่วนนี้จะได้รับอิทธิพลดังกล่าวน้อยกว่า



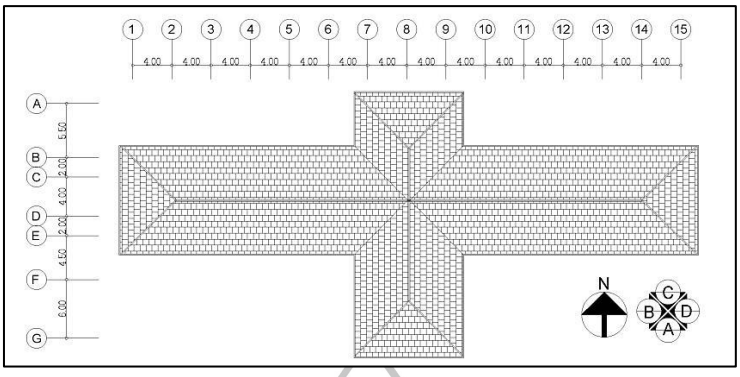
ภาพที่ 66 ลักษณะการจัดพื้นที่ใช้สอยของอาคารรูปแบบที่ 3



ภาพที่ 67 การแบ่งพื้นที่ปรับอากาศ (สีน้ำตาล) และไม่ปรับอากาศ ผังพื้นอาคารรูปแบบที่ 3 ชั้น 1



ภาพที่ 68 การแบ่งพื้นที่ปรับอากาศ (สีน้ำตาล) และไม่ปรับอากาศ ผังพื้นอาคารรูปแบบที่ 3 ชั้น 2



ภาพที่ 69 ผังหลังคาอาคารรูปแบบที่ 3 กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอ

อาคารรูปแบบที่ 3 อาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่ มีขนาดพื้นที่อาคาร ดังนี้

1.1 ขนาดพื้นที่ใช้สอยรวมเท่ากับ 1,448.00 ตารางเมตร

1.1.1 ขนาดพื้นที่ปรับอากาศเท่ากับ 826.20 ตารางเมตร

1.1.2 ขนาดพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 621.80 ตารางเมตร

1.2 พื้นที่หลังคาทั้งหมด 1,029.69 ตารางเมตร

ขนาดของพื้นที่ใช้สอย พื้นที่ผนังทึบและกระจกของอาคาร จะนำไปเป็นข้อมูลสำหรับประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคารในโปรแกรม BEC มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 41 การใช้พื้นที่ของอาคารรูปแบบที่ 3 กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่

ชั้น	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ		พื้นที่ปรับอากาศ	
	การใช้สอย	พื้นที่ (ตร.ม.)	การใช้สอย	พื้นที่ (ตร.ม.)
1	ทางสัญจร	66.00	สำนักงานสรรพสามิตรและสำนักงานสาธารณสุข	192.00
	ห้องน้ำ	36.40	สำนักงานประมง / ปศุสัตว์ / ที่ดิน / พัฒนาชุมชน / ส่งเสริมการเกษตร	192.00
	โถง	67.80		
	ระเบียง	317.80		
2	ทางสัญจร	18.00	ห้องประชุม	96.00
	ห้องน้ำ	48.00	สำนักงานปกครอง / เสมียนตรา	96.00
	โถง	67.80	ห้องรับแขก	18.20
			ห้องนายอำเภอ	40.00
			สำนักงานศึกษาธิการ / ป่าไม้ประถมศึกษา / ส่งเสริมสหกรณ์	192.00
รวม		**621.80**		**826.20**

2. ทิศทางของอาคาร

ทิศทางการวางตัวอาคารรูปแบบที่ 3 ยึดตามแบบมาตรฐานอาคาร โดยรูปทรงของอาคารมีผังแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า และมีมุขยื่นเป็นทางเข้าอาคารช่วงกลางอาคาร และทางด้านหลังอาคาร ทางเข้าหลักของอาคารอยู่ทางทิศใต้ อาคารวางด้านแคบทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ตามภาพที่ 67-68 และรูปด้านอาคารภาพที่ 70

3. โครงสร้างและวัสดุกรอบอาคาร

อาคารใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูน มีแผงบังแดดแนวนอน อยู่โดยรอบอาคารชั้น 1 ซึ่งสามารถช่วยบังแดดได้เล็กน้อย รูปด้านของอาคารแสดงในภาพที่ 69

ภาพที่ 70 รูปด้านอาคารรูปแบบที่ 3 กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่

จากการศึกษาแบบมาตรฐานก่อสร้างอาคารรูปแบบที่ 3 มีผนังทึบ 1 แบบ ผนังโปร่งแสง 3 แบบ และวัสดุหลังคา 1 แบบ ข้อมูลส่วนนี้จะใช้ในการกรอกข้อมูลในโปรแกรม BEC ในเมนู database คำสั่ง component of section โดยมีรายละเอียดวัสดุดังนี้

3.1.วัสดุหลังคาและผนังทึบ อาคารรูปแบบที่ 3 มีหลังคาอาคารเป็นทรงปั้นหยา โดยมีส่วนส่วนประกอบของวัสดุหลังคา ดังนี้

3.1.1 หลังคามุงกระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนคู่ มุมเอียง		30	องศา
3.1.2 ฝ้ายิปซั่มบอร์ดทั่วไป	หนา	9	มิลลิเมตร
3.1.3 ไม่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้หลังคา			

ผนังทึบภายนอกและภายในเป็นผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนเรียบ มีส่วนประกอบของวัสดุผนังดังตารางที่ 42

ตารางที่ 42 ส่วนประกอบของวัสดุผนังทึบ อาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง

Component of section	วัสดุ	หนา (m)	K (W/m.˚C)	R (m^2.˚C/W)	Density (kg/m^3)
ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนเรียบ	- ปูนฉาบ	0.015	0.72	0.021	1860
	- อิฐมอญ	0.075	0.498	0.151	1615
	- ปูนฉาบ	0.015	0.72	0.021	1860

3.2 ผนังโปร่งแสงหรือกระจก อาคารติดตั้งหน้าต่างกระจกใส หนา 4 มิลลิเมตร ในพื้นที่สำนักงาน พื้นที่ห้องน้ำใช้กระจกฝ้า และประตูทางเข้าใช้กระจกใสหนา 5 มิลลิเมตร โดยมีรายละเอียดในตารางที่ 43

ตารางที่ 43 ส่วนประกอบของผนังโปร่งแสง อาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง

Component of section	วัสดุ	หนา (mm)	SHGC	Transmittance
กระจกใส 4 mm	กระจกใส	4	0.84	0.890
กระจกใส 5 mm	กระจกใส	5	0.83	0.890
กระจกฝ้า	กระจกฝ้า	4	0.53	0.437

อาคารรูปแบบที่ 3 ติดตั้งกระจกใสหนา 4 มิลลิเมตร กำหนดตามแบบมาตรฐานเลขที่แบบ ม.18155 จากกรมโยธาธิการและผังเมือง โดยเป็นแบบที่ออกแบบไว้ เมื่อปี พ.ศ. 2537 ซึ่งอาคารที่ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานดังกล่าวในปัจจุบัน อาจมีการกำหนดขนาดกระจกที่แตกต่างออกไป

4. ขนาดพื้นที่ผนังทึบและผนังโปร่งแสง ขนาดพื้นที่ของผนังส่วนที่มีการปรับอากาศของแต่ละชั้น เป็นส่วนสำคัญในการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังของอาคาร ซึ่งมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร โดยมีรายละเอียดที่นำไปกำหนดข้อมูลในโปรแกรม BEC ได้ดังนี้

ตารางที่ 44 พื้นที่ผนังทึบและกระจกของกรอบอาคารส่วนพื้นที่ปรับอากาศ ของอาคารรูปแบบที่ 3

ชั้น	ทิศ	พื้นที่ (ตร.ม.)		พื้นที่ผนังรวม (ตร.ม.)
		ผนังทึบ	กระจก	
1	เหนือ	105.36	53.04	158.40
	ใต้	105.36	53.04	158.40
	ตะวันออก	21.98	4.42	26.40
	ตะวันตก	21.98	4.42	26.40
2	เหนือ	124.56	53.04	177.60
	ใต้	148.38	58.82	207.20
	ตะวันออก	35.56	8.84	44.40
	ตะวันตก	53.66	14.79	68.45
รวม		**616.84**	**250.41**	**867.25**

ตารางที่ 45 พื้นที่ผนังทึบและกระจกของกรอบอาคารส่วนพื้นที่ไม่ปรับอากาศ ของอาคารรูปแบบที่ 3

ชั้น	ทิศ	พื้นที่ (ตร.ม.)		พื้นที่ผนังรวม (ตร.ม.)
		ผนังทึบ	กระจก	
1	เหนือ	23.90	2.10	26.00
	ใต้	16.56	9.75	26.31
	ตะวันออก	31.50	1.50	33.00
	ตะวันตก	30.42	2.58	33.00
2	เหนือ	27.50	2.10	29.60
	ใต้	-	-	-
	ตะวันออก	40.77	3.63	44.4
	ตะวันตก	17.77	2.58	20.35
รวม		**188.42**	**24.24**	**212.66**

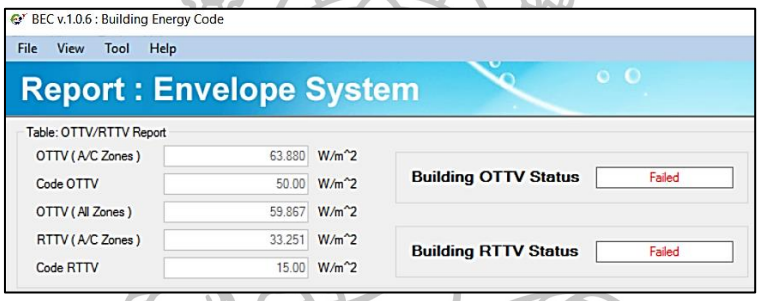
5. ผลของการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาอาคาร

อาคารรูปแบบที่ 3 มีสัดส่วนพื้นที่โปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) 28% (เฉพาะพื้นที่ปรับอากาศ) และจากการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) ก่อนปรับปรุง ด้วยโปรแกรม BEC มีค่าเท่ากับ 63.88 W/m^2 ซึ่งมีค่าสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 (OTTV ต้องไม่เกิน 50 W/m^2)

ผลการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (RTTV) ด้วยโปรแกรม BEC พบว่ามีค่าเท่ากับ 33.25 W/m^2 ซึ่งมีค่าสูงเกินกว่าเกณฑ์เกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) เช่นกัน (RTTV ต้องไม่เกิน 15 W/m^2) รายละเอียดแสดงในตารางที่ 46 และภาพที่ 71

ตารางที่ 46 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง

การประเมิน	เกณฑ์ BEC	อาคารรูปแบบที่ 1 ก่อนปรับปรุง	ผลประเมิน
OTTV (W/m^2)	≤50	63.88	**ไม่ผ่าน**
RTTV (W/m^2)	≤15	33.25	**ไม่ผ่าน**



ภาพที่ 71 ผลการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) อาคารรูปแบบที่ 3 ด้วยโปรแกรม BEC

6. การประเมินการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารของอาคารรูปแบบที่ 3

จำนวนผู้ใช้งานอาคารรูปแบบที่ 3 กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่ มีทั้งหมด 30 คน หรือคิดเป็น 0.04 คน/ตารางเมตร และการศึกษานี้กำหนดชั่วโมงการใช้งานอาคารตามเวลาการทำงานราชการจากการสำรวจการใช้งาน โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 47

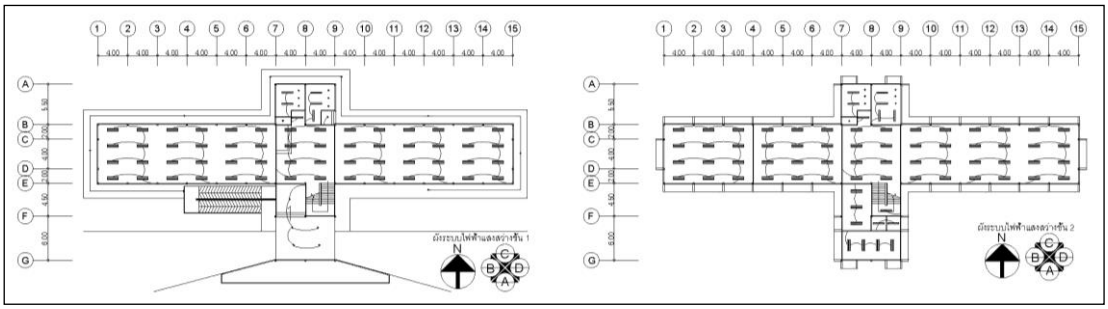
ตารางที่ 47 การกำหนดช่วงเวลาทำงานของอาคารรูปแบบที่ 3

ช่วงเวลาทำงาน				วัน	ชั่วโมง
วันจันทร์-ศุกร์	การใช้งาน	วันเสาร์-อาทิตย์	การใช้งาน	ทำงาน/ปี	ทำงาน/ปี
08.30-16.30	พักกลางวัน 1 ชั่วโมง/วัน	-	-	261	1,827

หมายเหตุ ปิดเครื่องปรับอากาศและไฟฟ้าแสงสว่างเวลาพักกลางวัน

6.1 การใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

อาคารรูปแบบที่ 3 มีรายละเอียดการใช้หลอดไฟฟ้าแสงสว่างตามแบบมาตรฐานอาคารและจากการสำรวจอาคารจริงที่มีผังพื้นและขนาดเดียวกัน ดังนี้



ภาพที่ 72 ลักษณะการวางผังระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารรูปแบบที่ 3

จากแบบมาตรฐานอาคาร การจัดวางผังไฟฟ้าแสงสว่างในอาคาร โดยเฉพาะในส่วนห้องทำงาน ได้ออกแบบผังสวิตซ์ไฟ ที่ไม่ได้แบ่งโซนพื้นที่ส่วนที่ได้รับแสงธรรมชาติ และพื้นที่อยู่ลึกเข้าไปอาคาร หากปิดไฟส่วนใดส่วนหนึ่ง อาจทำให้แสงสว่างในห้องทำงานไม่เพียงพอต่อการใช้งาน

ตารางที่ 48 ข้อมูลการใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง

ชั้น	พื้นที่ใช้สอย	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟ	จำนวนหลอดไฟ	ขนาด (W)	LW (W)	BW (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)
1	สำนักงานสรรพสามิตและสำนักงานสาธารณสุข	192.00	ฟลูออเรสเซนต์	48	36	1,728	480	2,208
	สำนักงานประมง / ที่ดิน / พัฒนาชุมชน / ส่งเสริมการเกษตร	192.00	ฟลูออเรสเซนต์	48	36	1,728	480	2,208
	ห้องน้ำ	36.40	- ฟลูออเรสเซนต์ - คอมแพคฟลูออเรสเซนต์	10 7	36 26	360 182	100 0	460 182
	โถง	67.80	ฟลูออเรสเซนต์	18	36	648	180	828

ตารางที่ 48 ข้อมูลการใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง (ต่อ)

ชั้น	พื้นที่ใช้สอย	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟ	จำนวนหลอดไฟ	ขนาด (W)	LW (W)	BW (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)
1	ภายนอกอาคาร							
	ทางสัญจร	66.00	ฟลูออเรสเซนต์	5	36	180	50	230
	ระเบียง	317.80	ฟลูออเรสเซนต์	9	36	324	90	414
2	ห้องประชุม	96.00	ฟลูออเรสเซนต์	24	36	864	240	1,104
	สำนักงานปกครอง / เสมียนตรา	96.00	ฟลูออเรสเซนต์	24	36	864	240	1,104
	ห้องรับแขก	18.20	ฟลูออเรสเซนต์	6	36	216	60	276
	ห้องนายอำเภอ	40.00	ฟลูออเรสเซนต์	12	36	432	120	552
	สำนักงานศึกษาธิการ / ป่าไม้ / ประถมศึกษา	192.00	ฟลูออเรสเซนต์	48	36	1,728	480	2,208
	ทางสัญจร	18.00	ฟลูออเรสเซนต์	1	36	36	10	46
	ห้องน้ำ	48.00	- ฟลูออเรสเซนต์ - คอมแพคฟลูออเรสเซนต์	12 7	36 26	432 182	120 0	552 182
	โถง	67.80	ฟลูออเรสเซนต์	18	36	648	180	828
รวม		**1,448.0**		**297**		**10,552**	**2,830**	**13,382**

หมายเหตุ LW คือ ผลรวมของค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งในพื้นที่
BW คือ ผลรวมของกำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ทั้งหมดที่ติดตั้งในพื้นที่

อาคารรูปแบบที่ 3 มีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งต่อพื้นที่ (LPD) เท่ากับ 8.89 W/m^2 (โดยปิดไฟบริเวณภายนอกอาคารช่วงกลางวัน ใช้แสงธรรมชาติ) ซึ่งมีค่าสอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC)[14] ที่จะต้องมีค่า LPD ไม่เกิน 14 W/m^2

6.2 การใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศ

อาคารรูปแบบที่ 3 ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) เนื่องจากในแบบมาตรฐานก่อสร้างอาคารมีข้อมูลไม่เพียงพอ จึงได้สำรวจสถานที่จริง พบว่าเครื่องปรับอากาศที่ใช้มีประสิทธิภาพต่ำ มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศ (COP) เท่ากับ 3.10 ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ที่ COP จะต้องมีค่ามากกว่า 3.22 รายละเอียดดังตารางที่ 49

ตารางที่ 49 ข้อมูลระบบปรับอากาศอาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง

ชั้น	พื้นที่ใช้สอย	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/hr)	จำนวน (เครื่อง)	Power input (Watt) ต่อเครื่อง	COP
1	สำนักงานสรรพสามิตและสำนักงานสาธารณสุข	30,500	3	2,697.50	3.00
		16,000	1	1,480.00	3.24
	สำนักงานประมง / ปศุสัตว์ / ที่ดิน / พัฒนาชุมชน / ส่งเสริมการเกษตร	30,500	4	2,697.50	3.00
2	ห้องประชุม	18,800	1	1,721.00	3.20
		21,000	1	1,844.00	3.47
		30,500	1	2,697.50	3.00
	สำนักงานปกครอง / เสมียนตรา	18,800	1	1,721.00	3.20
		21,000	1	1,844.00	3.47
		30,500	1	2,697.50	3.00
	ห้องรับแขก	30,500	1	2,697.50	3.00
	ห้องนายอำเภอ	30,500	1	2,697.50	3.00
	สำนักงานศึกษาธิการ / ป่าไม้ประถมศึกษา / ส่งเสริมสหกรณ์	18,000	1	1,637.00	3.43
		18,800	1	1,721.00	3.20
		30,500	4	2,697.00	3.00

[14] “กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการ ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552.” **ราชกิจจานุเบกษา** เล่ม 126, ตอนที่ 12 ก (20 กุมภาพันธ์ 2552): 11-12.

6.3 การใช้พลังงานจากอุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ

การศึกษาอาคารแบบที่ 3 กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่ ได้สำรวจและรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมจากสถานที่จริง ในส่วนของการใช้อุปกรณ์สำนักงาน ซึ่งการประเมินการใช้พลังงานจากเครื่องคอมพิวเตอร์ กำหนดตามจำนวนพนักงานทั้งหมด 31 คน เท่ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ 31 เครื่อง เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ และไม่มีฉลากประหยัดพลังงานทั้งหมด นอกจากนี้ยังรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจในส่วนของเครื่องพิมพ์เอกสาร และเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 50

ตารางที่ 50 ข้อมูลอุปกรณ์สำนักงานของอาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง

ลำดับที่	เครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวนเครื่อง	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)
1	คอมพิวเตอร์ PC	31	350	10,850.00
2	เครื่องพิมพ์เอกสาร	21	200	4,200.00
3	พัดลม	29	54	1,566.00
รวม		**81**		**16,616.00**

อาคารรูปแบบที่ 3 มีค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ต่อหน่วยพื้นที่ (EQD) เท่ากับ 18.59 W/m^2

6.4 ผลการประเมินการใช้พลังงานรวมของอาคาร

จากการศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ระบบปรับอากาศ (COP) การใช้อุปกรณ์สำนักงาน (EQD) อัตราการระบายอากาศ รวมทั้งค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคารรูปแบบที่ 3 ทำให้สามารถคำนวณการใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร ตามสมการที่ (10) (บทที่ 3) ซึ่งพบว่า มีการใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร 139,431 kWh/year หรือ 96.29 kWh/m^2/year โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 51

ตารางที่ 51 ผลการประเมินการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง

ลำดับที่	รายละเอียดอาคาร	อาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง
1	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	1,448.00
2	พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	826.20
3	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	621.80
4	จำนวนผู้ใช้อาคาร (คน)	31
5	OTTV (W/m^2)	63.88

ตารางที่ 51 ผลการประเมินการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับที่	รายละเอียดอาคาร	อาคารรูปแบบที่ 3 ก่อนปรับปรุง
6	RTTV (W/m^2)	33.25
7	Coefficient of Performance, COP	3.10
8	Lighting Power Density, LPD (W/m^2)	8.89
9	Equipment Power Density, EQD (W/m^2)	18.59
10	Occupancy, OCCU (person/ m^2)	0.04
11	Ventilation Rete, VENT (l/s)	0.25
12	Lighting cooling load, C_l	0.84
13	Equipment cooling load, C_e	0.85
14	Occupant cooling load, C_o	0.90
15	Ventilation cooling load, C_v	0.90
16	จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน (n_h)	1,827.00
ผลการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์สำนักงาน		
17	**Lighting Load (kWh/year)**	**23,518**
18	**Equipment Load (kWh/year)**	**49,180**
19	**Cooling Load (kWh/year)**	**66,733**
ผลการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารรูปแบบที่ 3		
20	**การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร (E_{pa}) ต่อปี (kWh/year)**	**139,431**
21	**kWh/m^2 ต่อปี**	**96.29**

สรุปการวิเคราะห์และประเมินผลการใช้พลังงานเดิมก่อนเสนอแนวทางปรับปรุงอาคาร

จากการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคาร การใช้พลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์สำนักงาน ของอาคารทั้ง 3 รูปแบบที่คัดเลือก จะทำให้สามารถกำหนดหลักการออกแบบปรับปรุงอาคาร ว่าควรใช้วิธีการใด ให้ลดปริมาณการใช้พลังงาน มีการใช้พลังงานเฉพาะที่จำเป็น เพื่อนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับความสามารถในการผลิตพลังงาน ด้วยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาว่ามีความสมดุลกันหรือไม่ เพื่อสรุปแนวโน้มและความเป็นไปได้ ในการพัฒนาให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยสามารถสรุปการใช้พลังงานของอาคารทั้ง 3 รูปแบบ ดังตารางที่ 52 และ 53

ตารางที่ 52 การเปรียบเทียบศักยภาพอาคารก่อนปรับปรุง กับเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) และเกณฑ์การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (ZEB) ตามเป้าหมายในปี พ.ศ. 2573

มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงาน			**ศักยภาพอาคารที่คัดเลือกก่อนปรับปรุง**		
ปีที่ พ.ศ.	**2558**	**2573**	**รูปแบบที่ 1***	**รูปแบบที่ 2***	**รูปแบบที่ 3***
เกณฑ์	**BEC**	**ZEB**			
OTTV (W/m^2)	≤50	≤20	**57.96**	**79.54**	**63.88**
RTTV (W/m^2)	≤15	≤12	**16.73**	**30.96**	**33.25**
COP	≥3.22	≥5.45	**2.91**	3.37	**3.10**
LPD (W/m^2)	≤14	≤2	6.82	5.41	8.89
kWh/m^2/ปี	≤171	≤57	59.56	96.06	96.29

หมายเหตุ 1. (*) = ค่าจากการประเมิน

ตารางที่ 53 การใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ อุปกรณ์สำนักงาน และการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารทุกรูปแบบ ก่อนปรับปรุง

รายละเอียด	**อาคารที่คัดเลือก**		
	รูปแบบที่ 1 (ศาลากลาง)	**รูปแบบที่ 2 (สำนักงานทั่วไป)**	**รูปแบบที่ 3 (ที่ว่าการอำเภอ)**
ขนาดพื้นที่ใช้สอย (ตร.ม.)	16,718.87	2,433.64	1,448.00
จำนวนชั้นอาคาร	4	2	2
จำนวนผู้ใช้อาคาร (คน)	300	66	31
WWR	0.25	0.29	0.28
Lighting Load (kWh/year)	208,319	24,054	23,518
Equipment Load (kWh/year)	319,199	110,756	49,180
Cooling Load (kWh/year)	468,304	97,319	66,733
พลังงานรวมรายปี (kWh/year)	**995,822**	**233,764**	**139,431**
พลังงานรวมรายปีต่อ ตร.ม. (kWh/m^2/year)	**59.56**	**96.06**	**96.29**

การศึกษามีเป้าหมายให้อาคารควรมีศักยภาพการใช้พลังงานที่เป็นไปตามกฎหมาย ซึ่งส่วนนี้จะช่วยชี้วัดว่าอาคารดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและการประหยัดพลังงานได้หรือไม่ ซึ่งสามารถสรุปศักยภาพการใช้พลังงานและการประหยัดพลังงานของอาคารทั้ง 3 รูปแบบก่อนการปรับปรุง ได้ดังนี้

1. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา (OTTV, RTTV)

อาคารทั้ง 3 แบบ มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 สำหรับอาคารที่มีขนาด 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป อย่างไรก็ตาม อาคารรูปแบบที่ 3 มีขนาดพื้นที่น้อยกว่า 2,000 ตารางเมตร ซึ่งไม่ได้กำหนดให้ต้องทำตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ แต่อาคารก็ยังมีค่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาที่ค่อนข้างสูง การศึกษานี้จึงกำหนดให้อาคารรูปแบบที่ 3 ควรมีศักยภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ หรือเรียกว่าเกณฑ์ BEC เช่นเดียวกัน

แนวทางในการออกแบบปรับปรุงอาคาร

จากการศึกษากรอบอาคารรูปแบบที่ 2 และ 3 นั้นใช้กระจกใส ซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้มากกว่ากระจกชนิดอื่น ดังนั้นแนวทางในการปรับปรุงจึงควรเลือกใช้กระจกที่มีประสิทธิภาพในการกันความร้อนเข้าสู่อาคาร เช่น กระจกสี กระจกสะท้อนแสง เป็นต้น

ผนังทึบของอาคารรูปแบบที่ 2 ใช้ผนังก่ออิฐบล็อก อาคารรูปแบบที่ 3 ใช้ผนังก่ออิฐมอญ ซึ่งมีค่าการต้านทานความร้อนต่ำ และแม้ว่าอาคารรูปแบบที่ 1 จะใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาที่มีค่าการต้านทานความสูงกว่าผนัง 2 ชนิดข้างต้นแล้วแต่ยังมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) ที่สูงเกินกว่าเกณฑ์ ดังนั้นแนวทางในการปรับปรุงจึงควรเลือกใช้วัสดุผนังที่มีค่าความต้านทานความร้อนที่สูงมากขึ้น และควรเป็นวัสดุที่หาง่ายในท้องตลาด เช่น การเพิ่มความหนาของวัสดุผนังหรือการติดตั้งฉนวนกันความร้อน หรือการเลือกใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่นน้อยลง

หลังคาอาคารทุกรูปแบบ ไม่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้หลังคา ดังนั้นแนวทางในการปรับปรุงจึงควรทำการเพิ่มฉนวนกันความร้อนใต้หลังคา เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนลง

2. การใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

จากการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ของอาคารทั้ง 3 รูปแบบ พบว่ามีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งต่อพื้นที่ (LPD) สอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 อย่างไรก็ตาม อาคารทุกแบบได้ใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน ยังสามารถพัฒนาให้อาคารมีระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ จึงควรมีการปรับปรุงเพิ่มเติม เพื่อให้มีการใช้พลังงานลดลง

แนวทางในการออกแบบปรับปรุงระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

พิจารณาเลือกใช้หลอดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง คือ หลอดไฟ LED ในทุกอาคาร

3. การใช้พลังงานระบบปรับอากาศ

อาคารทุกแบบใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type) ซึ่งอาคารรูปแบบที่ 1 และ 3 มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำของระบบปรับอากาศ (COP) ไม่ผ่านเกณฑ์ตามกฎหมาย โดยได้ใช้เครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพต่ำ มีค่า COP เท่ากับ 2.91 และ 3.10 ตามลำดับ ตามตารางที่ 52 แต่อาคารรูปแบบที่ 2 ใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง มีฉลากเบอร์ 5 ทำให้อาคารมีค่า COP เท่ากับ 3.37 ซึ่งผ่านเกณฑ์ตามกฎหมาย

แนวทางในการออกแบบปรับปรุงระบบปรับอากาศ

พิจารณาปรับปรุงและเลือกใช้เครื่องปรับอากาศหรือประเภทระบบปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น การเลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่ผ่านมาตรฐานอนุรักษ์พลังงาน หรือ

เครื่องปรับอากาศชนิดที่มีระบบอินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้ยังอาจเลือกใช้ประเภทระบบปรับอากาศ ที่เหมาะสมกับขนาดอาคารและการใช้งาน เช่น ระบบ VRV, VRF, Chiller เป็นต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศได้

4. การใช้พลังงานจากอุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ

อาคารทุกรูปแบบใช้อุปกรณ์สำนักงานและเครื่องคอมพิวเตอร์ ที่ไม่มีฉลากประหยัดพลังงาน ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้น

แนวทางในการออกแบบปรับปรุงการใช้อุปกรณ์สำนักงาน

เลือกใช้อุปกรณ์สำนักงาน เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์เอกสาร ที่มีฉลากประหยัดพลังงาน หรือ ได้ฉลาก Energy Star และการเปลี่ยนจากการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ เป็นแบบ Notebook ก็จะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์สำนักงานลงได้มากกว่า 60%[15]

ตอนที่ 4 การกำหนดแนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐที่คัดเลือกให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

จากหลักการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ที่ได้ศึกษาในบทที่ 2 นั้นมีหลักการโดยสรุป 3 หลักการคือ

1. “หลักการใช้” เพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร เป็นการเลือกใช้วิธีการออกแบบที่ช่วยลดพลังงาน เช่น การออกแบบโดยใช้ปัจจัยทางธรรมชาติ (passive design) การเลือกใช้วัสดุอาคารที่ช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร หรือการใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง และส่วนสำคัญคือ การออกแบบให้สอดคล้องกับเกณฑ์และกฎหมายการใช้พลังงาน

2. “หลักการผลิต” เพื่อผลิตพลังงานใช้เอง จากพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมกับสภาพที่ตั้งของโครงการ

3. “หลักการตรวจสอบความสมดุลพลังงาน” เพื่อสรุปผลการใช้พลังงานสุทธิของอาคาร ความสมดุลของพลังงานระหว่างพลังงานที่ต้องการใช้กับพลังงานที่ผลิตได้ หักลบกันแล้วต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ และระยะเวลาที่พิจารณาความสมดุล อาจใช้เวลารายเดือน ฤดูกาล หรือรายปี ตามเป้าหมายของโครงการก็ได้

การกำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐ ในการศึกษานี้มีขอบเขต ดังนี้

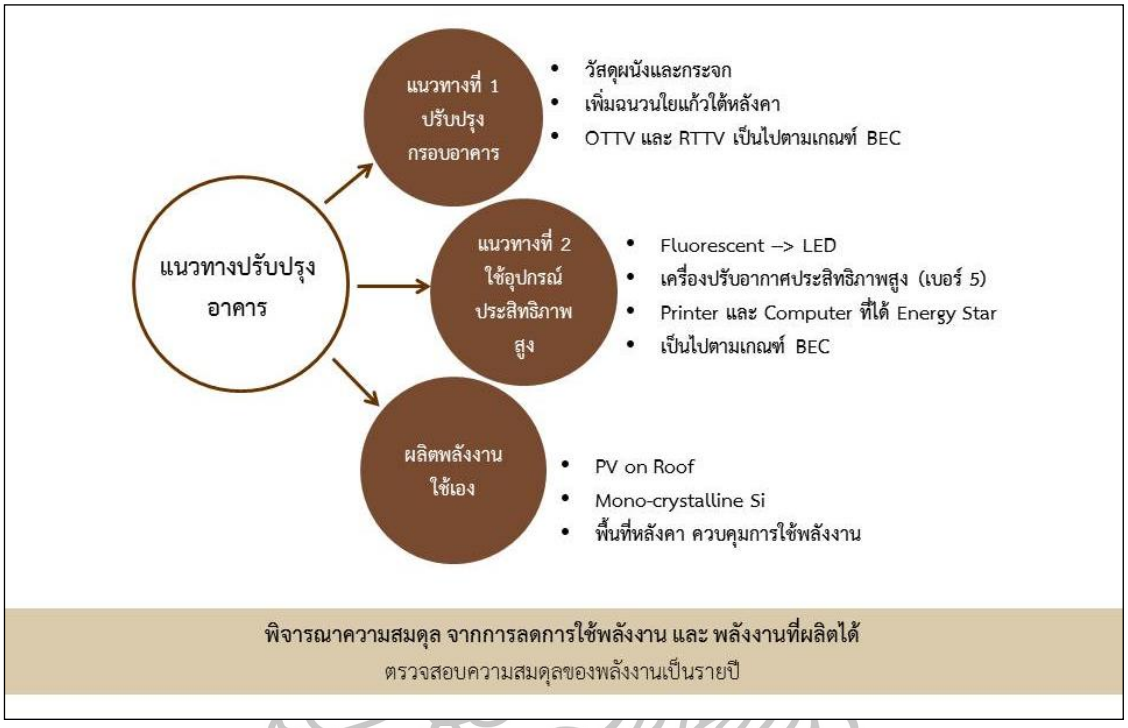
1. ไม่มีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนใด ๆ ของอาคาร เนื่องจากไม่ต้องการให้กระทบกับแบบมาตรฐานอาคารจากส่วนกลาง และยังคงรูปลักษณ์เดิมของอาคารไว้

2. พยายามเสนอทางเลือกที่สามารถทำได้ง่าย และมีวิธีการที่ไม่ยุ่งยากในปัจจุบัน เช่น การเลือกใช้วิธีการที่ไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยนจากลักษณะทางกายภาพเดิมของอาคารมาก และใช้วัสดุที่มีอยู่ตามท้องตลาด เป็นต้น

---

[15] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, “ความรู้พื้นฐานด้านพลังงาน 2.” ในโครงการลดใช้พลังงานในภาครัฐ, (2558), 25-27.

วิธีการออกแบบและทดลองปรับปรุง ดังนี้



ภาพที่ 73 แนวทางปรับปรุงอาคารที่คัดเลือกให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

1. ลดการใช้พลังงานในอาคาร โดยแบ่งเป็น 2 แนวทาง ดังนี้

1.1 แนวทางที่ 1 การปรับปรุงกรอบอาคาร

1.1.1 ปรับปรุงผนังอาคาร โดยเลือกใช้ผนังที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูง เช่น ผนังคอนกรีตมวลเบา เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

1.1.2 ปรับปรุงกระจก โดยเลือกใช้กระจกที่ช่วยป้องกันความร้อน และให้แสง - สว่างผ่านเข้ามาอย่างเหมาะสม เช่น การเลือกกระจกกระจกสีหรือกระจกสีสะท้อนแสง ที่เป็นไปตามประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2553[16] ที่ได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) ของกระจกไม่ควรเกิน 0.55 และค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (LSG) ไม่ต่ำกว่า 1

1.1.3 ปรับปรุงหลังคาอาคาร โดยเพิ่มฉนวนใยแก้วใต้หลังคา 3” เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา

---

[16] “ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์และค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ หน่วยงานทดสอบหาค่ามาตรฐานพลังงานของกระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2533.” **ราชกิจจานุเบกษา** เล่ม 127, ตอนพิเศษ 124 ง (19 พฤศจิกายน 2553): 63.

ความเหมาะสมและสาเหตุในการเลือกใช้การปรับปรุงแนวทางที่ 1

เนื่องจากการศึกษานี้ไม่มีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนหรือรูปลักษณ์ภายนอกของอาคาร แต่ด้วยวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร โดยเฉพาะส่วนของกรอบอาคารที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร การปรับปรุงเฉพาะผนังทึบ กระจก และการติดตั้งฉนวนบนหลังคา อาจสร้างความยุ่งยากในการปรับปรุงอาคารเดิม แต่จะไม่กระทบต่อสัดส่วนหรือรูปลักษณ์ของอาคาร

การเลือกใช้วัสดุผนังคอนกรีตมวลเบา ซึ่งมีค่าความต้านทานความร้อนสูงกว่าวัสดุผนังอื่น ๆ ที่มีความหนาที่เท่ากัน หรือกระจกสีสะท้อนแสงที่มีค่า SHGC และ LSG ที่เหมาะสม รวมทั้งการติดตั้งฉนวนใต้หลังคา นั้นเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในปัจจุบัน นิยมนำมาก่อสร้างและราคาไม่สูง

โดยแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารนี้ มีผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ ซึ่งถือเป็นการใช้พลังงานโดยส่วนใหญ่ของอาคาร

1.2 แนวทางที่ 2 เลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง

1.2.1 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ปรับเปลี่ยนการใช้หลอดไฟในอาคารทั้ง 3 รูปแบบที่คัดเลือก ซึ่งจากเดิมใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ เปลี่ยนมาใช้หลอดไฟประสิทธิภาพสูง LED

1.2.2 ระบบปรับอากาศ ปรับเปลี่ยนการเลือกใช้เครื่องปรับอากาศ ของอาคารรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 3 จากเดิมที่ใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำ ให้เปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง ที่มีฉลากเบอร์ 5

1.2.3 เลือกใช้อุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีเครื่องหมาย Energy Star

ความเหมาะสมและสาเหตุในการเลือกใช้การปรับปรุงแนวทางที่ 2

แนวทางลดพลังงาน โดยการเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟ LED การใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ใช้อุปกรณ์สำนักงานที่ได้รับเครื่องหมาย Energy Star จะสามารถลดพลังงานลงได้มาก และมีความยุ่งยากน้อยกว่าในการปรับปรุงอาคารที่มีการใช้งานอยู่แล้ว

การใช้แสงธรรมชาติทดแทนการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารที่คัดเลือกนั้น อาจมีความเป็นไปได้น้อย เนื่องจากการจัดวางผังระบบไฟฟ้าแสงสว่างตามแบบมาตรฐาน ที่ไม่เอื้อต่อการเปิดหรือปิดไฟบางส่วนของห้องทำงาน ดังนั้นจึงประเมินในกรณีที่มีการเปิดใช้ไฟฟ้าแสงสว่างครบทุกส่วน อีกทั้งหากมีการออกแบบเพื่อนำแสงสว่างจากธรรมชาติเข้ามาใช้งานให้มากขึ้น เช่น การเพิ่มหิ้งสะท้อนแสง หรือท่อนำแสง อาจจะส่งผลต่อสัดส่วนและรูปลักษณ์ของอาคารได้

เลือกใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type) ตามระบบเดิมของอาคารทั้ง 3 รูปแบบที่คัดเลือก เพื่อลดความยุ่งยากในการปรับปรุง เพราะการปรับเปลี่ยนประเภทของระบบปรับอากาศ เช่น ระบบ VRF ระบบ Chiller หรือการใช้ระบบปรับอากาศส่วนตัวเฉพาะจุดทำงานที่ต้องการ หรือ การใช้ Solar Air Conditioning แม้ว่าจะเป็นระบบปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง แต่จะส่งผลให้ต้องเพิ่มพื้นที่สำหรับห้องงานระบบปรับอากาศ การปรับเปลี่ยนความสูงของฝ้าเพดานเพื่อการเดินท่อส่งความเย็น อาจส่งผลต่อพื้นที่และสัดส่วนของอาคารได้ ซึ่งผิดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

อย่างไรก็ตาม เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type) ที่มีในในปัจจุบัน ซึ่งได้รับฉลากประหยัดพลังงาน หรือมีระบบอินเวอร์เตอร์ ถือได้ว่ามีประสิทธิภาพด้านพลังงาน และด้วยขนาดของอาคารที่คัดเลือกมีขนาดไม่ใหญ่มาก การใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนจึงมีความเหมาะสมเพียงพอ

1.3 พิจารณาความสอดคล้องกับกฎหมายและเกณฑ์การประเมินศักยภาพพลังงาน โดยให้มีค่าพลังงานตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 บทที่ 2

นอกเหนือจากเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ยังมีเกณฑ์ที่พยายามพัฒนาอาคารให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในอนาคต ตามเป้าหมายของแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573) โดยเฉพาะเกณฑ์การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (ZEB) นั้น[17] ด้วยศักยภาพของวัสดุและอุปกรณ์ที่มีอยู่ในปัจจุบันอาจยังมีไม่เพียงพอ อย่างไรก็ตามหากใช้วัสดุที่มีอยู่ในปัจจุบัน เช่น เพื่อให้อาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) ผ่านเกณฑ์ ZEB ที่ต้องมีค่าไม่เกิน 20 W/m^2 จะต้องใช้ผนังที่มีการติดตั้งฉนวนเพิ่ม หรือการเพิ่มความหนาของผนังให้มากขึ้น ซึ่งมีความเป็นไปได้น้อยในการนำมาประยุกต์ใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และยังไม่เป็นที่นิยมในการก่อสร้าง ดังนั้นการศึกษานี้จึงยึดหลักเกณฑ์ในการประเมินศักยภาพอาคารด้านการใช้พลังงาน ให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ที่กำหนดและบังคับใช้ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 เท่านั้น

2. เพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร ด้วยการผลิตพลังงานใช้เอง โดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร ด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว (monocrystalline silicon) ขนาดแผงละ 250 Wp

3. พิจารณาความสมดุลที่เกิดขึ้นจากการลดการใช้พลังงานและพลังงานที่ผลิตได้

3.1 ตรวจสอบความสมดุลของพลังงานเป็นรายปี

3.2 พิจารณาพลังงานที่ผลิตได้จากพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเปรียบเทียบกับความต้องการพลังงานของอาคาร ว่าเพียงพอหรือมีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์หรือไม่ โดยพิจารณาจาก

$$\text{Energy Supply} - \text{Energy Demand} \geq 0 \qquad (15)$$

เมื่อ Energy Supply คือ พลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/year)
Energy Demand คือ ความต้องการใช้พลังงานของอาคาร (kWh/year)

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบแล้วผลที่ได้มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ หรือเป็นบวกแสดงว่าอาคารนั้น ๆ ที่มีการปรับปรุงด้วยแนวทางที่ 1 หรือ 2 ตามที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น สามารถเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้

จากขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัยทั้งหมด ดังที่ได้อธิบายข้างต้น จะสามารถประเมินผลการลดพลังงาน และสรุปแนวทางที่สามารถนำไปพัฒนาอาคารสำนักงานภาครัฐ ให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ ซึ่งจะนำเสนอในลำดับต่อไป

---

[17] กระทรวงพลังงาน, “**แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573),**” **2554**: 3-5.

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากขั้นตอนการศึกษาศักยภาพการใช้พลังงานก่อนปรับปรุงของอาคารสำนักงานภาครัฐที่คัดเลือกมาเป็นตัวอย่างในการศึกษา ทำให้สามารถเสนอแนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐ ให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยการลดการใช้พลังงานในอาคาร ตามแนวทางที่ 1 และแนวทางที่ 2 ซึ่งได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 และการผลิตพลังงานเองด้วยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา จากนั้นจะนำมาเปรียบเทียบผลพลังงานสุทธิระหว่างพลังงานที่ผลิตได้กับพลังงานที่ต้องการใช้ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงอาคาร เพื่อสรุปผลความเป็นไปได้ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ด้วยวิธีการออกแบบต่าง ๆ โดยมีผลการศึกษาดังนี้

ผลการประเมินขนาดระบบและการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ขอบเขตของการประเมิน: การออกแบบอาคารให้มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่หลังคาอาคารที่สามารถติดตั้งได้มากที่สุด จากรูปแบบและมุมเอียงหลังคาตามแบบมาตรฐานอาคาร

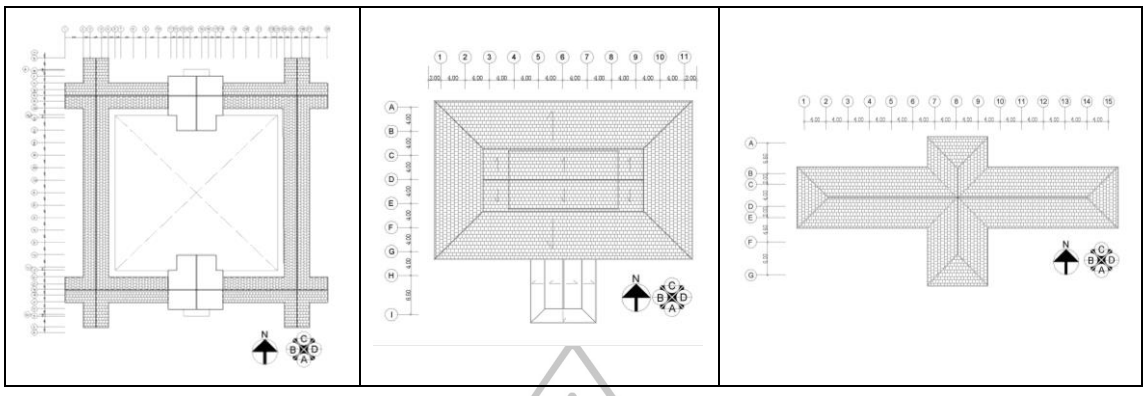
จากการศึกษาแนวทางการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ จากงานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งจากการรวบรวมกรณีศึกษาอาคาร (รายละเอียดในบทที่ 2) พบว่าส่วนสำคัญที่ทำให้อาคารมีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ คือการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่เพียงพอต่อความต้องการพลังงาน ซึ่งการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคามีความเหมาะสมที่สุด

การศึกษานี้เลือกใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่ง (PV grid connected system) โดยในตอนกลางวันใช้ไฟฟ้าจากการผลิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือหากแสงอาทิตย์เกิดการเปลี่ยนแปลงจะสามารถใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งได้ทันที และในตอนกลางคืนยังสามารถใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งได้ ในส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้เลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว (monocrystalline silicon) ขนาดแผงละ 250 Wp

เนื่องจากการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ที่จะไม่ปรับเปลี่ยนสัดส่วนใด ๆ ของอาคาร ทำให้มีพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอย่างจำกัด โดยอาคารมีพื้นที่หลังคาทั้งหมด ดังนี้

ตารางที่ 54 รายละเอียดหลังคาอาคารทั้ง 3 รูปแบบที่คัดเลือก

รายละเอียด	อาคารรูปแบบที่ 1	อาคารรูปแบบที่ 2	อาคารรูปแบบที่ 3
มุมเอียง (องศา)	50	30	30
พื้นที่หลังคาทั้งหมด (ตร.ม.)	5,065.44	1,493.72	1,029.69



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 74 แสดงผังหลังคาอาคารที่คัดเลือกมาศึกษา
(ก) หลังคาอาคารรูปแบบที่ 1
(ข) หลังคาอาคารรูปแบบที่ 2
(ค) หลังคาอาคารรูปแบบที่ 3

1. ความต้องการขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตามความต้องการใช้พลังงานเดิมก่อนการปรับปรุง ตามที่ในบทที่ 3 ตอนที่ 3 ได้ประเมินการใช้พลังงานรวมรายปีของอาคารทั้ง 3 รูปแบบก่อนปรับปรุง ในส่วนนี้จึงได้ประเมินการออกแบบขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้เพียงพอกับการใช้พลังงานเดิมของอาคาร โดยคำนวณตามสมการที่ (3) ซึ่งได้ผลตามตารางที่ 55

ตารางที่ 55 พลังงานที่ใช้และขนาดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการ ก่อนปรับปรุงการใช้พลัง - งานของอาคารทั้ง 3 รูปแบบ

รายการพลังงาน	อาคารรูปแบบที่ 1	อาคารรูปแบบที่ 2	อาคารรูปแบบที่ 3
พลังงานรวมรายปีก่อนปรับปรุง (kWh/year)	995,822.00	233,764.00	139,431.00
ขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการ (kWp)	1,247.00	293.00	175.00
จำนวนแผงที่ต้องใช้ (แผง)	4,988	1,172	700
ขนาดพื้นที่ ที่ต้องการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ตร.ม.)	*8,281.00*	*1,946.00*	*1,162.00*
พื้นที่หลังคาทั้งหมดที่มี (ตร.ม.)	*5,065.44*	*1,493.72*	*1,029.69*
ผลการวิเคราะห์	มีพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาไม่เพียงพอ ต้องลดการใช้พลังงานลง		

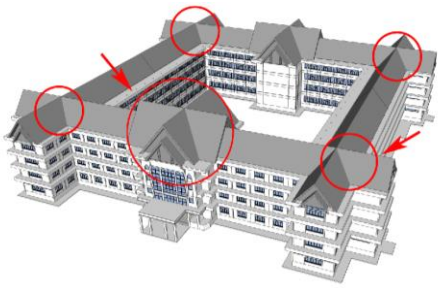
ผลการศึกษาพบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลือกใช้มีขนาดพื้นที่แผงละ 1.66 ตารางเมตร และขนาดพื้นที่ ที่ต้องการติดตั้งบนหลังคาของอาคารทุกรูปแบบ เพื่อให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอกับการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุงนั้น มีพื้นที่ไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอกับความต้องการพลังงาน จึงต้องมีการออกแบบปรับปรุงเพื่อลดการใช้พลังงานลงให้สมดุลกับพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ซึ่งมีพื้นที่จำกัด

2. ผลการศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้า จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคาร กรณีติดตั้งบนพื้นที่หลังคาที่ติดตั้งได้มากที่สุด เพื่อให้ทราบพลังงานที่มากที่สุด ที่สามารถผลิตได้ ทำการวิเคราะห์ประเมินด้วยโปรแกรม PVsyst Photovoltaic Software Version 6.43

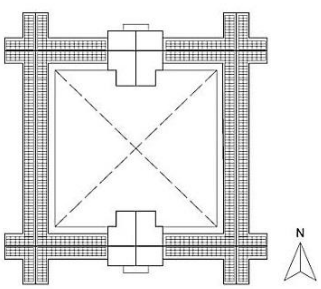
สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมและให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดนั้น จะต้องคำนึงถึงทิศทางและความลาดชันของแผงจากแนวระนาบ ตามละติจูดของที่ตั้งแต่ละโครงการ โดยในประเทศไทย ควรติดตั้งให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีระนาบแผงหันไปทางทิศใต้ และเอียงทำมุมตามละติจูดของพื้นที่จังหวัดนั้น ๆ โดยที่กรุงเทพมหานครจะมีความชันแผงอยู่ที่ประมาณ 13.5 องศา จากแนวระนาบ จึงจะทำให้สามารถรับแสงอาทิตย์ได้มาก และส่งผลให้สามารถผลิตพลังงานได้ดี

แต่เนื่องจากการศึกษานี้ไม่มีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนใด ๆ ของอาคาร โดยยึดตามรูปแบบมาตรฐานอาคารที่คัดเลือกมา ซึ่งหลังคาของอาคารที่คัดเลือกทั้ง 3 รูปแบบ มีลักษณะทางกายภาพของหลังคาอาคารรูปแบบที่ 1 เป็นหลังคาทรงจั่ว หลังคาของอาคารรูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 เป็นทรงปั้นหยา และหลังคาของทุกอาคารมีความลาดชันสูง ซึ่งจะส่งผลต่อพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะถูกลดทอนลง เนื่องจากสัดส่วนของหลังคา ในส่วนมุมแหลมของผืนหลังคาแต่ละด้านที่จะไม่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ทั้งหมด และมีความจำเป็นที่จะต้องติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกด้านของหลังคา เพื่อให้มีพื้นที่ติดตั้งมากที่สุด สำหรับการผลิตพลังงานให้เพียงพอกับความต้องการ แม้ว่าในทิศทางอื่น ๆ จะสามารถผลิตพลังงานได้น้อยกว่าทิศใต้ก็ตาม

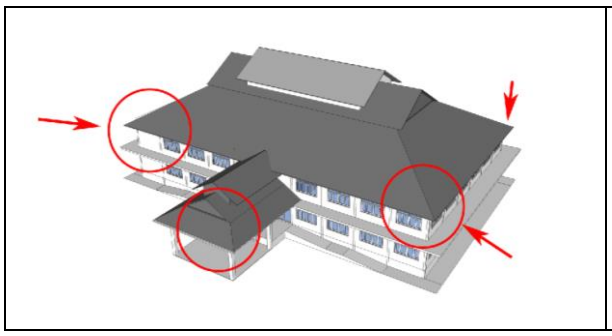
อย่างไรก็ตาม วัตถุประสงค์ที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนหลังคาอาคารสำนักงานราชการนั้น เนื่องจากไม่ต้องการให้เกิดความยุ่งยาก และการเพิ่มงบประมาณจากการปรับปรุงโครงสร้างหลังคา และหากมีการนำผลการศึกษานี้ไปใช้เป็นแนวทางพัฒนาแล้ว อาจจะช่วยให้นำไปใช้ได้ง่ายกว่า ในการปรับปรุงอาคารของภาครัฐ ที่มักจะมีข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ และระยะเวลา



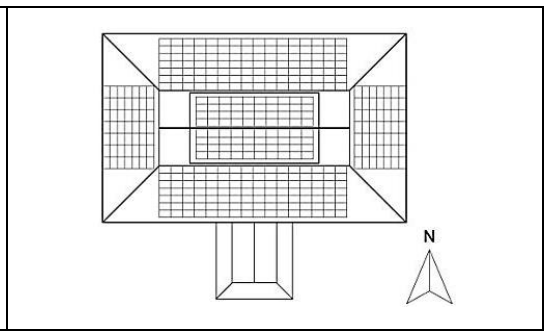
ภาพที่ 75 แสดงสัดส่วนของพื้นที่หลังคาอาคารรูปแบบที่ 1 ที่ถูกตัดทอนออกไป



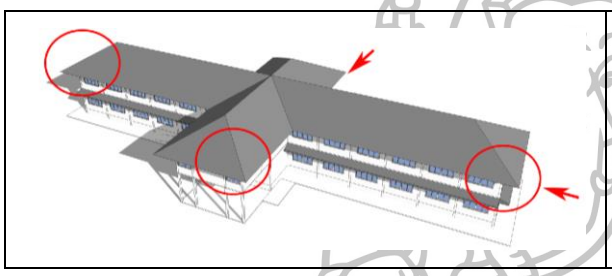
ภาพที่ 76 พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารรูปแบบที่ 1



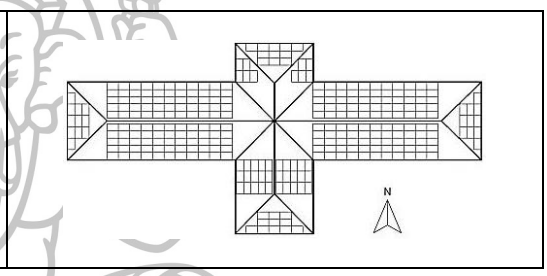
ภาพที่ 77 แสดงสัดส่วนของพื้นที่หลังคาอาคารรูปแบบที่ 2 ที่ถูกตัดทอนออกไป



ภาพที่ 78 พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารรูปแบบที่ 2



ภาพที่ 79 แสดงสัดส่วนของพื้นที่หลังคาอาคารรูปแบบที่ 3 ที่ถูกตัดทอนออกไป



ภาพที่ 80 พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารรูปแบบที่ 3

ผลการประเมินการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีติดตั้งบนพื้นที่หลังคาที่ติดตั้งได้มากที่สุด ด้วยโปรแกรม PVsyst แสดงในตารางที่ 56 และรายละเอียดการคำนวณจากโปรแกรมแสดงใน ภาคผนวก ก และ ข

ตารางที่ 56 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา กรณีติดตั้งบนพื้นที่หลังคา ที่ติดตั้งได้มากที่สุด ของอาคารทั้ง 3 รูปแบบ

รายละเอียด	อาคารรูปแบบที่ 1	อาคารรูปแบบที่ 2	อาคารรูปแบบที่ 3
พื้นที่หลังคาทั้งหมด (ตร.ม.)	*5,065.44*	*1,493.72*	*1,029.69*
พื้นที่หลังคาที่ติดตั้งได้ (ตร.ม.)	*3,696.00*	*977.00*	*544.00*
% พื้นที่ติดตั้งต่อพื้นที่ใช้สอย	22%	40%	37%
ขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWp)	558.00	141.50	81.00
พลังงานที่ผลิตได้ (kWh/year)	635,203	189,052	107,052
จำนวนแผง (แผง)	2,232	566	324

สรุปผลการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่หลังคา ที่สามารถติดตั้งได้ ซึ่งถูกลดทอนลงจากสัดส่วนและมุมแหลมของแผ่นหลังคาของอาคารทั้ง 3 รูปแบบ ได้ดังนี้

2.1 อาคารรูปแบบที่ 1 ผลิตได้ 635,203 kWh/year โดยมีพื้นที่หลังคาที่ติดตั้งได้คิดเป็น 78% ของพื้นที่หลังคาทั้งหมด และคิดเป็น 22% ของพื้นที่ใช้สอยอาคาร

2.2 อาคารรูปแบบที่ 2 ผลิตได้ 189,052 kWh/year โดยมีพื้นที่หลังคาที่ติดตั้งได้คิดเป็น 65% ของพื้นที่หลังคาทั้งหมด และคิดเป็น 40% ของพื้นที่ใช้สอยอาคาร

2.3 อาคารรูปแบบที่ 3 ผลิตได้ 107,052 kWh/year โดยมีพื้นที่หลังคาที่ติดตั้งได้คิดเป็น 53% ของพื้นที่หลังคาทั้งหมด และคิดเป็น 37% ของพื้นที่ใช้สอยอาคาร

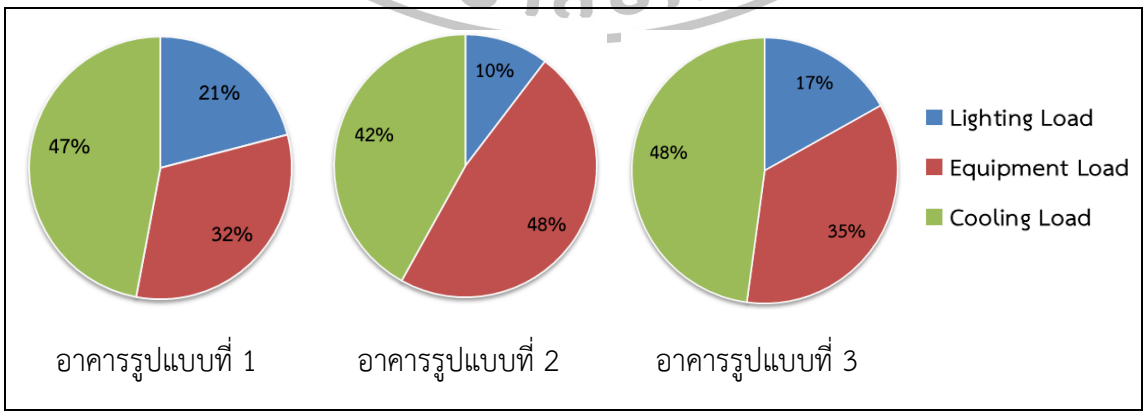
ซึ่งผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าดังกล่าว จะใช้ในการเปรียบเทียบกับผลพลังงานรวมก่อนและหลังปรับปรุงการใช้พลังงานของอาคาร เพื่อสรุปผลความเป็นไปได้ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ผลการประเมินศักยภาพพลังงานอาคารก่อนการปรับปรุงและความเป็นไปได้ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

จากการศึกษาศักยภาพพลังงานอาคารทั้ง 3 รูปแบบก่อนปรับปรุงในบทที่ 3 ตอนที่ 3 สรุปได้ดังนี้

1. อาคารทั้ง 3 รูปแบบ มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา (OTTV, RTTV) ไม่ผ่านเกณฑ์ ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 ที่ได้ใช้เป็นขอบเขตการปรับปรุงพัฒนาการใช้พลังงานในอาคารของการศึกษานี้ โดยอาคารทั้ง 3 รูปแบบมีค่า OTTV เท่ากับ 57.96, 79.54, 63.88 W/m^2 ตามลำดับ และมีค่า RTTV เท่ากับ 16.73, 30.96, 33.25 W/m^2 ตามลำดับ

2. อาคารทั้ง 3 รูปแบบใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคาร กรณีติดตั้งบนพื้นที่หลังคาที่ติดตั้งได้มากที่สุด



ภาพที่ 81 การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารทั้ง 3 รูปแบบ

2.1 อาคารรูปแบบที่ 1 และ 3 มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำของระบบปรับอากาศ (COP) ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) เนื่องจากอาคารมีการใช้เครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพต่ำ โดยมีค่า COP เท่ากับ 2.91 และ 3.10 ตามลำดับ แต่อาคารรูปแบบที่ 2 ได้ใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง มีฉลากเบอร์ 5 ทำให้มีค่า COP เท่ากับ 3.37 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ ผลของปริมาณการใช้พลังงานระบบปรับอากาศก่อนปรับปรุง ดูตามตารางที่ 57

2.2 อาคารทุกรูปแบบใช้อุปกรณ์สำนักงานและเครื่องคอมพิวเตอร์ ที่ไม่มีฉลากประหยัดพลังงาน มีปริมาณการใช้พลังงาน ดังตารางที่ 57

2.3 อาคารทั้ง 3 รูปแบบ มีปริมาณการใช้พลังงาน 59.56, 96.06, 96.29 kWh/m^2/ year ตาม ลำดับ

3. ความเป็นไปได้ของอาคารก่อนการปรับปรุง ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

จากการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารของอาคารที่คัดเลือกทั้ง 3 รูปแบบ โดยที่ยังไม่มีการปรับปรุงการใช้พลังงานหรือส่วนใด ๆ ของอาคาร พบว่ามีการใช้พลังงานสูงกว่าพลังงานที่ผลิตได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร ทำให้มีการผลิตและการใช้พลังงานที่ไม่สมดุล ดังนั้นจึงไม่สามารถเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้

ตารางที่ 57 ผลประเมินการใช้พลังงานในอาคารก่อนปรับปรุงและเปรียบเทียบกับพลังงานที่ผลิตได้

รายละเอียดการประเมินการใช้พลังงานในอาคาร	**อาคารรูปแบบที่ 1 ศาลากลางจังหวัด**	**อาคารรูปแบบที่ 2 สำนักงานทั่วไป**	**อาคารรูปแบบที่ 3 ที่ว่าการอำเภอ**
Lighting Load (kWh/year)	208,319	24,054	23,518
Equipment Load (kWh/ year)	319,199	110,756	49,180
Cooling Load (kWh/ year)	468,304	97,319	66,695
พลังงานรวมรายปี (kWh/ year)	**995,822**	**233,764**	**139,431**
พลังงานรวมรายปีต่อ ตร.ม. (kWh/m^2/ year)	59.56	96.06	96.29
ขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการ (kWp)	**1,247**	**293**	**175**
พลังงานจากระบบเซลล์แสง - อาทิตย์ผลิตได้ (kWh/ year)	**635,203** (558 kWp)	**189,052** (141.5 kWp)	**107,575** (81 kWp)
สมดุลพลังงาน	**ไม่สมดุล**	**ไม่สมดุล**	**ไม่สมดุล**

ผลการลดการใช้พลังงานตามแนวทางที่กำหนด และความเป็นไปได้ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

1. แนวทางที่ 1: ปรับปรุงกรอบอาคาร

1.1 ปรับปรุงหลังคา

ขอบเขตของการประเมิน: เพื่อให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (RTTV) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 (RTTV≤15 W/m^2)

หลังคาอาคารสำนักงานภาครัฐที่คัดเลือกทั้ง 3 รูปแบบ ไม่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้หลังคา โดยอาคารแต่ละรูปแบบมีส่วนประกอบของหลังคาดังตารางที่ 58

ตารางที่ 58 ส่วนประกอบหลังคาอาคารทั้ง 3 รูปแบบก่อนการปรับปรุง

อาคาร	ส่วนประกอบวัสดุหลังคา	K (W/m.˚C)	R (m^2.˚C/W)
รูปแบบที่ 1	- กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	0.993	0.201
(ศาลากลาง)	- ฝ้ายิปซั่มบอร์ดอลูมิเนียมฟอยล์	0.322	0.037
รูปแบบที่ 2	- กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	0.993	0.201
(สำนักงานทั่วไป)	- ฝ้ายิปซั่มบอร์ดทั่วไป	0.306	0.029
รูปแบบที่ 3	- กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนคู่	0.395	0.015
(ที่ว่าการอำเภอ)	- ฝ้ายิปซั่มบอร์ดทั่วไป	0.306	0.029

อาคารทุกรูปแบบมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (RTTV) สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ดังนั้นจึงเสนอแนวทางปรับปรุง โดยเพิ่มฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาทุกอาคาร ซึ่งติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3” (R=1.95 m^2.˚C/W) เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร ส่งผลในการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ

ตารางที่ 59 ส่วนประกอบหลังคาอาคารทั้ง 3 รูปแบบหลังการปรับปรุง

อาคาร	ส่วนประกอบวัสดุหลังคา	K (W/m.˚C)	R (m^2.˚C/W)
หลังคาอาคาร	- กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	0.993	0.201
รูปแบบที่ 1	*- ฉนวนใยแก้ว หนา 3”*	*0.039*	*1.954*
(ศาลากลาง)	- ฝ้ายิปซั่มบอร์ดอลูมิเนียมฟอยล์	0.322	0.037
หลังคาอาคาร	- กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	0.993	0.201
รูปแบบที่ 2	*- ฉนวนใยแก้ว หนา 3”*	*0.039*	*1.954*
(สำนักงานทั่วไป)	- ฝ้ายิปซั่มบอร์ดทั่วไป	0.306	0.029

ตารางที่ 59 ส่วนประกอบหลังคาอาคารทั้ง 3 รูปแบบหลังการปรับปรุง (ต่อ)

อาคาร	ส่วนประกอบวัสดุหลังคา	K (W/m.˚C)	R (m^2.˚C/W)
หลังคาอาคาร	- กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนคู่	0.395	0.015
รูปแบบที่ 3	*- ฉนวนใยแก้ว หนา 3”*	*0.039*	*1.954*
(ที่ว่าการอำเภอ)	- ฝ้ายิปซั่มบอร์ดทั่วไป	0.306	0.029

หลังจากปรับปรุงส่วนประกอบของหลังคาอาคาร และประเมินผลค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (RTTV) ด้วยโปรแกรม BEC แล้วพบว่าอาคารทุกรูปแบบมีค่า RTTV ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (RTTV≤15 W/m^2) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 60

ตารางที่ 60 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (RTTV) ของอาคารทั้ง 3 รูปแบบ ก่อนและหลังปรับปรุง

	อาคารรูปแบบที่ 1	อาคารรูปแบบที่ 2	อาคารรูปแบบที่ 3
RTTV เดิม	16.72 W/m^2	30.96 W/m^2	33.25 W/m^2
RTTV หลังปรับปรุง	**7.49 W/m^2**	**8.50 W/m^2**	**8.78 W/m^2**

1.2 ปรับปรุงวัสดุผนังอาคาร

ขอบเขตของการประเมิน: ให้อาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 (OTTV≤50 W/m^2)

จากการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) เดิมก่อนปรับปรุงอาคารทั้ง 3 รูปแบบที่คัดเลือกมาศึกษา มีค่าเท่ากับ 57.96, 79.54, 63.88 W/m^2 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ

ดังนั้นจึงเสนอแนวทางปรับปรุงวัสดุผนังทึบและวัสดุช่องเปิด ให้เปลี่ยนมาใช้วัสดุที่ช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร เป็นวัสดุที่มีอยู่ในท้องตลาด เลือกใช้กระจกที่ช่วยลดการถ่ายเทความร้อนและมีแสงธรรมชาติเข้ามาได้ในระดับที่ดี โดยมีรายละเอียดคุณสมบัติของผนังทึบและวัสดุช่องเปิดก่อนและหลังปรับปรุง แสดงในตารางที่ 61-63 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 61 แสดงวัสดุผนัง กระจก ของอาคารทั้ง 3 รูปแบบ ก่อนและหลังปรับปรุง

รายการ	ผนังเดิม	ผนังปรับปรุงใหม่
อาคารรูปแบบที่ 1	- ผนังคอนกรีตมวลเบา (1,280 กก./ลบ.ม.) หนา 3” - กระจกสีชา 5 มม.	- ผนังคอนกรีตมวลเบา (700 กก./ลบ.ม.) หนา 4” - กระจกสะท้อนแสง 6 มม.
อาคารรูปแบบที่ 2	- ผนังก่อคอนกรีตบล็อกฉาบเรียบ - กระจกใสหนา 6 มม.	- ผนังคอนกรีตมวลเบา (700 กก./ลบ.ม.) หนา 4” - กระจกสะท้อนแสง 6 มม.
อาคารรูปแบบที่ 3	- ผนังก่ออิฐมอญฉาบเรียบ - กระจกใสหนา 4 มม.	- ผนังคอนกรีตมวลเบา (1,280 กก./ลบ.ม.) หนา 3” - กระจกสะท้อนแสง 6 มม.

ตารางที่ 62 แสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุช่องเปิดที่ปรับปรุงใหม่

Component of section	วัสดุ	หนา (mm)	SHGC	Transmittance
กระจกสีสะท้อนแสง	กระจกสีสะท้อนแสง	6	0.46	0.461

ตารางที่ 63 แสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุผนังทึบที่ปรับปรุงใหม่

Component of section	วัสดุ	หนา (m)	K (W/m.°C)	R (m^2.°C/W)	Density (kg/m^3)
ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบเรียบ (700 กก./ลบ.ม.)	- ปูนฉาบคอนกรีตมวลเบา	0.015	0.326	0.046	1200
	- คอนกรีตมวลเบา	0.100	0.210	0.476	700
	- ปูนฉาบคอนกรีตมวลเบา	0.015	0.326	0.046	1200
ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบเรียบ (1,280 กก./ลบ.ม.)	- ปูนฉาบคอนกรีตมวลเบา	0.015	0.326	0.046	1200
	- คอนกรีตมวลเบา	0.075	0.476	0.158	1280
	- ปูนฉาบคอนกรีตมวลเบา	0.015	0.326	0.046	1200

หลังจากปรับปรุงวัสดุผนังอาคาร และประเมินผลด้วยโปรแกรม BEC แล้วพบว่าอาคารทุกรูปแบบมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ได้ ผลการประเมินแสดงในตารางที่ 64

ตารางที่ 64 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) ของอาคารทั้ง 3 รูปแบบก่อนและหลังปรับปรุง

รายการ	OTTV เดิม (W/m^2)	OTTV ปรับปรุงใหม่ (W/m^2)
อาคารรูปแบบที่ 1	57.96	45.57
อาคารรูปแบบที่ 2	79.54	48.69
อาคารรูปแบบที่ 3	63.88	48.01

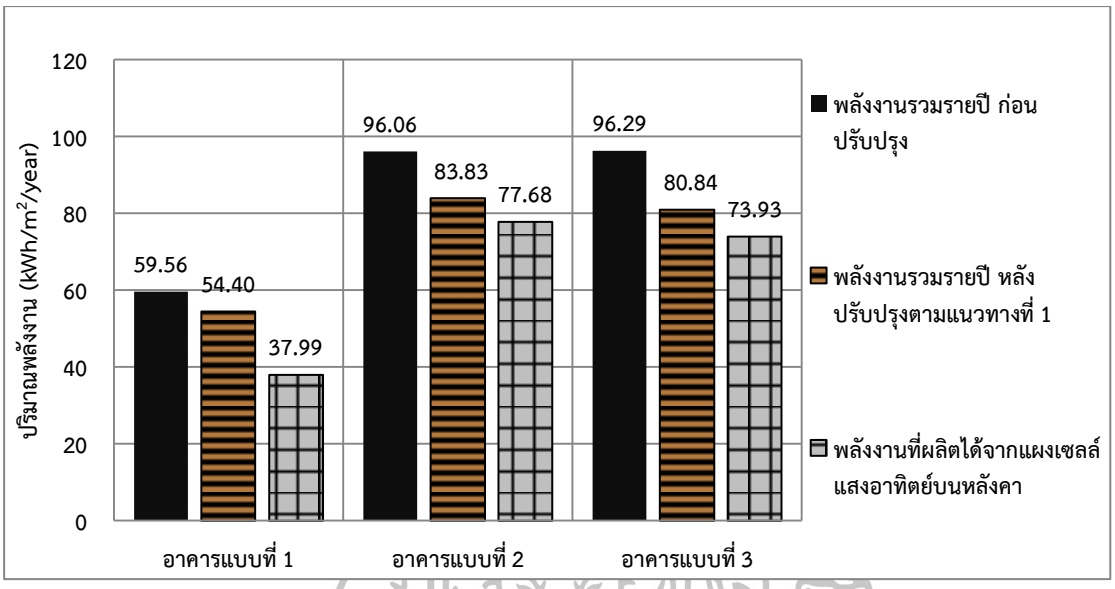
จากการปรับปรุงข้างต้น การเลือกใช้กระจกสะท้อนแสง อาจส่งผลต่อค่าการส่องผ่านของแสงเข้าสู่อาคาร ซึ่งมีค่าน้อยกว่ากระจกใสหรือกระจกสีเขียว แต่หากเลือกใช้กระจกชนิดอื่นจะไม่สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารให้ผ่านเกณฑ์ได้ ทั้งนี้ ได้คัดเลือกกระจกที่มีค่าการส่องผ่านของแสงที่เหมาะสม ป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารได้ ซึ่งเป็นไปตาม ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2553 ที่ได้กำหนดค่า SHGC ไม่ควรเกิน 0.55 และ LSG ไม่ต่ำกว่า 1

1.3 สรุปการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารรายปี และความเป็นไปได้ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ เมื่อปรับปรุงตามแนวทางที่ 1

หลังจากปรับปรุงค่าการถ่ายความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคาร (OTTV, RTTV) พบว่าอาคารทั้ง 3 รูปแบบใช้พลังงานลดลงได้ไม่เกิน 16% ต่อปี ซึ่งพลังงานรวมทั้งอาคารคำนวณตามสมการที่ 10 (รายละเอียดในบทที่ 3) โดยอาคารรูปแบบที่ 1 ใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร 54.40 $kWh/m^2/year$ อาคารรูปแบบที่ 2 ใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร 83.83 $kWh/m^2/year$ และอาคารรูปแบบที่ 3 ใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร 80.78 $kWh/m^2/year$ ดังตารางที่ 65 และแผนภูมิที่ 2

ตารางที่ 65 เปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตได้และพลังงานรวมทั้งอาคารหลังจากปรับปรุงแนวทางที่ 1

รายการ	อาคารรูปแบบที่ 1	อาคารรูปแบบที่ 2	อาคารรูปแบบที่ 3
พลังงานรวมก่อนปรับปรุง (kWh/year)	995,822	233,764	139,431
พลังงานรวมหลังปรับปรุงแนวทางที่ 1 (kWh/year)	909,447	204,022	117,050
พลังงานรวมหลังปรับปรุงแนวทางที่ 1 ($kWh/m^2/year$)	54.40	83.83	80.84
พลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/year)	635,203	189,052	107,052
สมดุลพลังงาน	**ไม่สมดุล**	**ไม่สมดุล**	**ไม่สมดุล**



แผนภูมิที่ 2 เปรียบเทียบพลังงานรวมทั้งอาคารก่อนและหลังปรับปรุงแนวทางที่ 1 (kWh/m^2/year) กับพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m^2/year)

จากการปรับลดการใช้พลังงานในอาคารแนวทางที่ 1 เปลี่ยนวัสดุผนังอาคาร เปลี่ยนกระจกและเพิ่มฉนวนใต้หลังคา พบว่าแม้จะลดการใช้พลังงานของทุกอาคารลงได้ แต่ก็ยังมีการใช้พลังงานมากกว่าที่ผลิตได้เอง ดังนั้นการลดพลังงานโดยเลือกใช้แนวทางที่ 1 เพียงอย่างเดียวยังไม่สามารถทำให้อาคารสำนักงานภาครัฐทั้ง 3 รูปแบบ เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้

2. แนวทางที่ 2 : ปรับปรุงเฉพาะระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ อุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ

2.1 การปรับปรุงระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ขอบเขตของการประเมิน: เพื่อให้การใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างลดลงและมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งต่อพื้นที่ (LPD) สอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 (LPD ≤ 14 W/m^2)

อาคารทุกรูปแบบก่อนปรับปรุง ใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ทั้งหมด และมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งต่อพื้นที่ (LPD) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำแล้ว อย่างไรก็ตาม เพื่อให้สามารถลดการใช้พลังงานในส่วนของระบบไฟฟ้าแสงสว่างลงได้มากยิ่งขึ้น การศึกษานี้จึงเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบไฟฟ้าแสงสว่าง โดยการเปลี่ยนจากการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟประสิทธิภาพสูง ที่ช่วยในการประหยัดพลังงานได้มากขึ้น คือ หลอดไฟแอลอีดี (LED) ในทุกอาคารที่คัดเลือก

2.1.1 อาคารรูปแบบที่ 1 กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัด หลอดไฟฟ้าที่เปลี่ยนจากเดิม (ฟลูออเรสเซนต์) แสดงในตารางที่ 66 (รายละเอียดหลอดไฟเดิมในบทที่ 3 ตารางที่ 26)

ตารางที่ 66 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารรูปแบบที่ 1 หลังปรับปรุง

พื้นที่ใช้สอย	พื้นที่ (ตร.ม.)	ชนิดหลอดไฟ	จำนวน (หลอด)	ขนาด (วัตต์)	กำลังไฟฟ้ารวม(วัตต์)
ทั้งอาคาร	16,718.87	LED tube	3,000	14	42,000

อาคารรูปแบบที่ 1 มีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งต่อพื้นที่ (LPD) ก่อนปรับปรุงเท่ากับ 6.82 W/m^2 และหลังจากปรับปรุงแล้วมีค่าเท่ากับ 2.51 W/m^2 พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่างลดลง 63 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

2.1.2 อาคารรูปแบบที่ 2 กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป หลอดไฟฟ้าที่เปลี่ยนจากเดิม (ฟลูออเรสเซนต์) แสดงในตารางที่ 67 (รายละเอียดหลอดไฟเดิมอยู่ในบทที่ 3 ตารางที่ 37)

ตารางที่ 67 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารรูปแบบที่ 2 หลังปรับปรุง

ชั้น	พื้นที่ใช้สอย	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟ	จำนวนหลอดไฟ	ขนาด (W)	กำลังไฟฟ้ารวม(W)
1	ห้องบริการประชาชน	372.50	LED tube	40	18	720
	ห้องเอกสาร	262.40	LED tube	42	18	756
	ห้อง Server	22.43	LED tube	2	18	36
	ห้องการเงิน	40.80	LED tube	6	18	108
	ห้องอำนวยการ	41.20	LED tube	6	18	108
	ห้องเจ้าพนักงานที่ดิน	55.35	LED tube	8	18	144
	โถงบันได	67.24	LED tube	6	18	108
2	ทางสัญจร	14.88	LED tube	2	18	36
	ห้องน้ำ	83.40	LED tube	3	18	54
			LED Down Light	11	12	132
	โถงทางเข้า	84.00	LED Down Light	10	12	120
	ระเบียงทางเดินรอบอาคาร	241.6	LED tube	18	18	324
	ฝ่ายรังวัด	220.00	LED tube	22	18	396
	ห้องเอกสาร	320.40	LED tube	56	18	1,008

ตารางที่ 67 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารรูปแบบที่ 2 หลังปรับปรุง (ต่อ)

ชั้น	พื้นที่ใช้สอย	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟ	จำนวนหลอดไฟ	ขนาด (W)	กำลังไฟฟ้ารวม(W)
2	ห้องเก็บสารบบฝ่ายรังวัด	100.04	LED tube	12	18	216
	ห้องโล่ง	92.76	LED tube	4	18	72
	ห้องหัวหน้าฝ่ายรังวัด	32.80	LED tube	4	18	72
	ห้องคอมพิวเตอร์ฝ่ายรังวัด	49.20	LED tube	6	18	108
	ห้องเก็บเครื่องมือช่าง	22.28	LED tube	4	18	72
	โถงบันได	31.883	LED tube	2	18	36
	ทางสัญจร	50.237	LED tube	6	18	108
	ห้องน้ำ	40.40	LED Down Light	6	12	72
รวม		**2,246.16**		**276**		**4,806**

อาคารรูปแบบที่ 2 มีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งต่อพื้นที่ (LPD) ก่อนปรับปรุงเท่ากับ 5.41 W/m^2 และหลังจากปรับปรุงแล้วมีค่าเท่ากับ 2.14 W/m^2 การใช้พลังงานระบบแสงสว่างลดลง 60 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

2.1.3 อาคารรูปแบบที่ 3 กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่ หลอดไฟฟ้าที่เปลี่ยนจากเดิม (ฟลูออเรสเซนต์) แสดงในตารางที่ 68 (รายละเอียดหลอดไฟเดิมอยู่ในบทที่ 3 ตารางที่ 48)

ตารางที่ 68 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารรูปแบบที่ 3 หลังปรับปรุง

ชั้น	พื้นที่ใช้สอย	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟ	จำนวนหลอดไฟ	ขนาด (W)	กำลังไฟฟ้ารวม(W)
1	สำนักงานสรรพสามิตและสำนักงานสาธารณสุข	192.00	LED tube	48	18	864
	สำนักงานประมง / ปศุสัตว์ / ที่ดิน / พัฒนาชุมชน / ส่งเสริมการเกษตร	192.00	LED tube	48	18	864
	ห้องน้ำ	36.40	LED tube	10	18	180

ตารางที่ 68 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารรูปแบบที่ 3 หลังปรับปรุง (ต่อ)

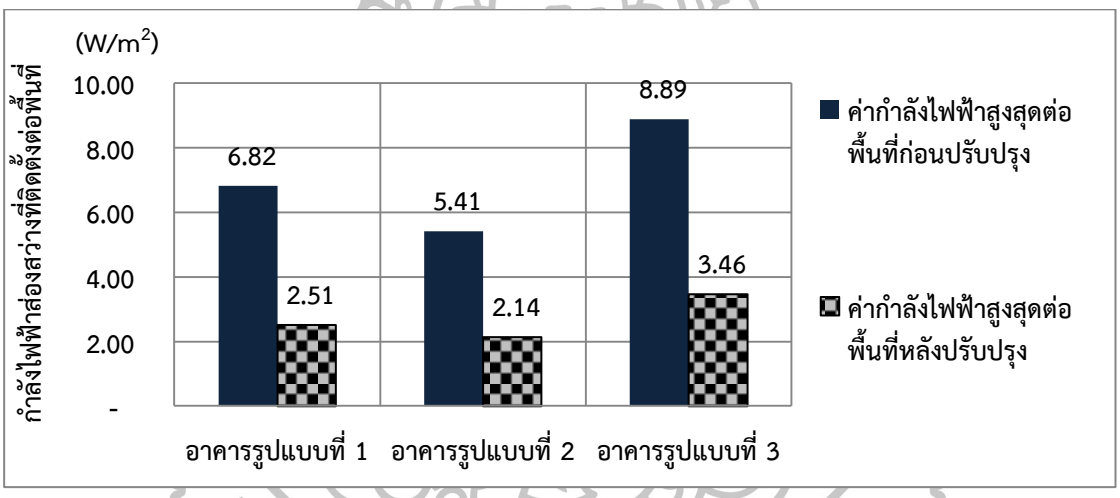
ชั้น	พื้นที่ใช้สอย	พื้นที่ (m^2)	ชนิดหลอดไฟ	จำนวนหลอดไฟ	ขนาด (W)	กำลังไฟฟ้ารวม(W)
			LED Down Light	7	12	84
1	โถง	67.80	LED tube	18	18	324
	ภายนอกอาคาร					
	ทางสัญจร	66.00	LED tube	5	18	90
	ระเบียง	317.80	LED tube	9	18	162
2	ห้องประชุม	96.00	LED tube	24	18	432
	สำนักงานปกครอง / เสมียนตรา	96.00	LED tube	24	18	432
	ห้องรับแขก	18.20	LED tube	6	18	108
	ห้องนายอำเภอ	40.00	LED tube	12	18	216
	สำนักงานศึกษาธิการ / ป่าไม้ ประถมศึกษา / ส่งเสริมสหกรณ์	192.00	LED tube	48	18	864
	ทางสัญจร	18.00	LED tube	1	18	18
	ห้องน้ำ	48.00	LED tube	12	18	216
	ห้องน้ำ (ต่อ)		LED Down Light	7	12	84
	โถง	67.80	LED tube	18	18	324
รวม		**1,448.0**		**297**		**5,262**

อาคารรูปแบบที่ 3 มีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งต่อพื้นที่ (LPD) ก่อนปรับปรุงเท่ากับ 8.89 W/m^2 และหลังจากปรับปรุงแล้วมีค่าเท่ากับ 3.46 W/m^2 การใช้พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่างลดลง 61 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

2.1.4 สรุปผลการลดการใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารทุกรูปแบบเมื่อเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟ LED ทำให้มีการใช้พลังงานส่วนของระบบไฟฟ้าแสงสว่างลดลงมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต่อปี ในทุกอาคารที่คัดเลือกมาศึกษา โดยมีรายละเอียดค่าการใช้พลังงานดังตารางที่ 69 และแผนภูมิที่ 3

ตารางที่ 69 สรุปการใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารทุกรูปแบบก่อนและหลังปรับปรุง

รายการ	อาคาร รูปแบบที่ 1	อาคาร รูปแบบที่ 2	อาคาร รูปแบบที่ 3
Lighting Load (kWh/year) ก่อนปรับปรุง	208,319	24,054	23,518
Lighting Load (kWh/year) หลังปรับปรุง	76,669	9,515	9,153
การประหยัดพลังงานต่อปี	63%	60%	61%
LPD (W/m^2) ตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ กำหนด ≤ 14 W/m^2			
LPD (W/m^2) ก่อนปรับปรุง	6.82	5.41	8.89
LPD (W/m^2) หลังปรับปรุง	2.51	2.14	3.46



แผนภูมิที่ 3 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งต่อพื้นที่ (LPD) ก่อนและหลังปรับปรุง (W/m^2)

2.2 การปรับปรุงระบบปรับอากาศ

ขอบเขตการประเมิน: เพื่อให้การใช้พลังงานระบบปรับอากาศลดลงและมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำของระบบปรับอากาศ (COP) สอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 (COP ≥3.22)

อาคารทุกรูปแบบใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนทุกอาคาร โดยอาคารรูปแบบที่ 2 ใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง มีฉลากประหยัดพลังงาน ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำของระบบปรับอากาศ (COP) สอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) โดยมีค่า COP เท่ากับ 3.37 แต่อาคารที่ 1 และ 3 ใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำ มีค่า COP ไม่ผ่านเกณฑ์ BEC

จึงเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบปรับอากาศของอาคารรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 3 โดยการเลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น มีฉลากประหยัดพลังงานเบอร์ 5 โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 อาคารรูปแบบที่ 1 กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัด เครื่องปรับ - อากาศที่ปรับเปลี่ยนจากเดิม แสดงในตารางที่ 70 (ระบบปรับอากาศเดิมอยู่ในบทที่ 3 ตารางที่ 27)

ตารางที่ 70 ระบบปรับอากาศอาคารรูปแบบที่ 1 หลังปรับปรุง

ชั้น	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/hr)	จำนวน(เครื่อง)	Power input (Watt) ต่อเครื่อง	COP
1	38000 (ฉลากเบอร์ 5)	62	3,260	3.31
	28000 (ฉลากเบอร์ 5)	2	2,500	3.52
	20000 (ฉลากเบอร์ 5)	31	2,050	3.51
2	44000 (ฉลากเบอร์ 5)	1	4,410	2.93
	38000 (ฉลากเบอร์ 5)	46	3,260	3.31
	20000 (ฉลากเบอร์ 5)	12	2,050	3.51
3	44000 (ฉลากเบอร์ 5)	3	4,410	2.93
	38000 (ฉลากเบอร์ 5)	40	3,260	3.31
	33000 (ฉลากเบอร์ 5)	2	2,763	3.43
	20000 (ฉลากเบอร์ 5)	18	2,050	3.51
4	44000 (ฉลากเบอร์ 5)	11	4,410	2.93
	38000 (ฉลากเบอร์ 5)	51	3,260	3.31
	32000 (ฉลากเบอร์ 5)	1	2,844	3.32
	20000 (ฉลากเบอร์ 5)	9	2,050	3.51

อาคารรูปแบบที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำของระบบปรับอากาศ (COP) ก่อนปรับปรุง เท่ากับ 2.91 และหลังจากปรับปรุงแล้วมีค่าเท่ากับ 3.34 การใช้พลังงานระบบปรับอากาศลดลง 24 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

2.2.2 อาคารรูปแบบที่ 3 กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่ เครื่องปรับอากาศที่เปลี่ยนจากเดิม แสดงในตารางที่ 71 (ระบบปรับอากาศเดิมในบทที่ 3 ตารางที่ 49)

ตารางที่ 71 ระบบปรับอากาศอาคารรูปแบบที่ 3 หลังปรับปรุง

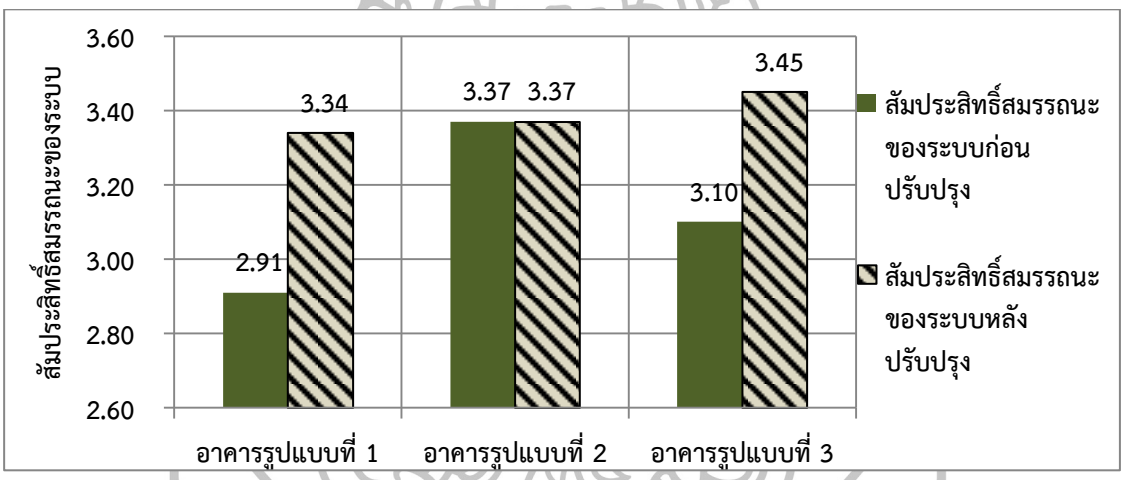
ชั้น	พื้นที่ใช้สอย	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/hr)	จำนวน (เครื่อง)	Power input (Watt) ต่อเครื่อง	COP
1	สำนักงานสรรพสามิตและ	30,500 (ฉลากเบอร์ 5)	3	8,900	3.52
	สำนักงานสาธารณสุข	16,000 (ฉลากเบอร์ 5)	1	1,480	3.24
	สำนักงานประมง / ปศุสัตว์ / ที่ดิน / พัฒนาชุมชน	30,500 (ฉลากเบอร์ 5)	4	8,900	3.52
2	ห้องประชุม	18,800 (ฉลากเบอร์ 5)	1	1,721	3.20
		21,000 (ฉลากเบอร์ 5)	1	5,618	3.47
		30,500 (ฉลากเบอร์ 5)	1	8,900	3.52
	สำนักงานปกครอง / เสมียน	18,800 (ฉลากเบอร์ 5)	1	1,721	3.20
	ตรา	21,000 (ฉลากเบอร์ 5)	1	1,844	3.47
		30,500 (ฉลากเบอร์ 5)	1	8,900	3.52
	ห้องรับแขก	30,500 (ฉลากเบอร์ 5)	1	8,900	3.52
	ห้องนายอำเภอ	30,500 (ฉลากเบอร์ 5)	1	8,900	3.52
	สำนักงานศึกษาธิการ / ป่าไม้	18,000 (ฉลากเบอร์ 5)	1	1,637	3.43
	ประถมศึกษา / ส่งเสริม	18,800 (ฉลากเบอร์ 5)	1	1,721	3.20
	สหกรณ์	30,500 (ฉลากเบอร์ 5)	4	8,900	3.52

อาคารรูปแบบที่ 3 มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำของระบบปรับอากาศ (COP) ก่อนปรับปรุง เท่ากับ 3.10 และหลังจากปรับปรุงแล้วมีค่าเท่ากับ 3.45 การใช้พลังงานระบบปรับอากาศลดลง 21 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

2.2.4 ผลการลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ อาคารรูปแบบที่ 1 และ 3 เมื่อเปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศได้ฉลากประหยัดพลังงานเบอร์ 5 ทำให้มีพลังงานส่วนระบบปรับอากาศลดลงมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ในขณะที่อาคารรูปแบบที่ 2 ไม่มีการปรับเปลี่ยน เนื่องจากใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพแล้ว รายละเอียดค่าการใช้พลังงานแสดงในตารางที่ 72

ตารางที่ 72 สรุปการใช้พลังงานระบบปรับอากาศของอาคารทุกรูปแบบก่อนและหลังปรับปรุง

รายการ	อาคาร รูปแบบที่ 1	อาคาร รูปแบบที่ 2	อาคาร รูปแบบที่ 3
Cooling Load (kWh/year) ก่อนปรับปรุง	468,304	97,319	66,733
Cooling Load (kWh/year) หลังปรับปรุง	76,669	97,319	24,834
การประหยัดพลังงานต่อปี	24%	-	21%
COP ตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ กำหนด ≥3.22			
COP ก่อนปรับปรุง	2.91	3.37	3.10
COP หลังปรับปรุง	3.34	3.37	3.45



แผนภูมิที่ 4 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศ (COP) ก่อนและหลังปรับปรุง

2.3 การปรับปรุงอุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ

ขอบเขตการประเมิน: ใช้อุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ได้รับฉลากประหยัดพลังงานเบอร์ 5 หรือเครื่องหมาย Energy Star

จากการวิเคราะห์และประเมินการใช้อุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้า ก่อนปรับปรุงอาคาร ในบทที่ 3 ตอนที่ 3 อาคารทุกรูปแบบใช้อุปกรณ์สำนักงานและเครื่องคอมพิวเตอร์ ที่ไม่มีฉลากประหยัดพลังงาน ทำให้มีการใช้พลังงานสูง จึงเสนอแนวทาง ให้เปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง ประหยัดพลังงาน คือ เลือกใช้คอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์เอกสารที่ได้เครื่องหมาย Energy Star และใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีฉลากประหยัดพลังงานเบอร์ 5

2.3.1 อาคารรูปแบบที่ 1 กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัด ปรับเปลี่ยนเครื่องคอมพิวเตอร์เดิม เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ได้เครื่องหมาย Energy Star แสดงในตารางที่ 73

ตารางที่ 73 ข้อมูลอุปกรณ์สำนักงานของอาคารรูปแบบที่ 1 หลังปรับปรุง

ลำดับที่	เครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวนเครื่อง	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)
1	คอมพิวเตอร์ PC (Energy Star)	300	113	33,900

เมื่อปรับปรุงการเลือกใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ของอาคารรูปแบบที่ 1 ทำให้มีค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้อุปกรณ์ต่อพื้นที่ (EQD) ลดลงจากเดิม 10.45 W/m^2 เป็น 3.37 W/m^2 และการใช้พลังงานรายปีส่วนของอุปกรณ์สำนักงานลดลง 68% จากการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง

2.3.2 อาคารรูปแบบที่ 2 กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป เปลี่ยนมาใช้เครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์เอกสาร ที่ได้เครื่องหมาย Energy Star แสดงในตารางที่ 74

ตารางที่ 74 ข้อมูลอุปกรณ์สำนักงานของอาคารรูปแบบที่ 2 หลังปรับปรุง

ลำดับที่	เครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวนเครื่อง	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)
1	คอมพิวเตอร์ PC (Energy Star)	66	113	7,458
2	เครื่องพิมพ์เอกสาร (Energy Star)	50	45	2,250
3	เครื่องถ่ายเอกสาร	4	1,800	7,200
4	พัดลม	6	60	360
รวม		**126**		**17,268**

เมื่อปรับปรุงการเลือกใช้เครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์เอกสาร ของอาคารรูปแบบที่ 2 มีค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้อุปกรณ์ต่อพื้นที่ (EQD) ลดลงจากเดิม 24.91 W/m^2 เหลือเท่ากับ 10.57 W/m^2 และพลังงานรายปีส่วนอุปกรณ์สำนักงานลดลง 57% จากการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง

2.3.3 อาคารรูปแบบที่ 3 กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่ เปลี่ยนมาใช้เครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์เอกสารที่ได้เครื่องหมาย Energy Star แสดงในตารางที่ 75

เมื่อปรับปรุงการเลือกใช้เครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์เอกสาร ของอาคารรูปแบบที่ 3 ทำให้มีค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้อุปกรณ์ต่อพื้นที่ (EQD) ลดลงจากเดิม 18.59 W/m^2 เหลือเท่ากับ 5.67 W/m^2 และการใช้พลังงานรายปีส่วนของอุปกรณ์สำนักงานลดลง 69% จากการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง

ตารางที่ 75 ข้อมูลอุปกรณ์สำนักงานของอาคารรูปแบบที่ 3 หลังปรับปรุง

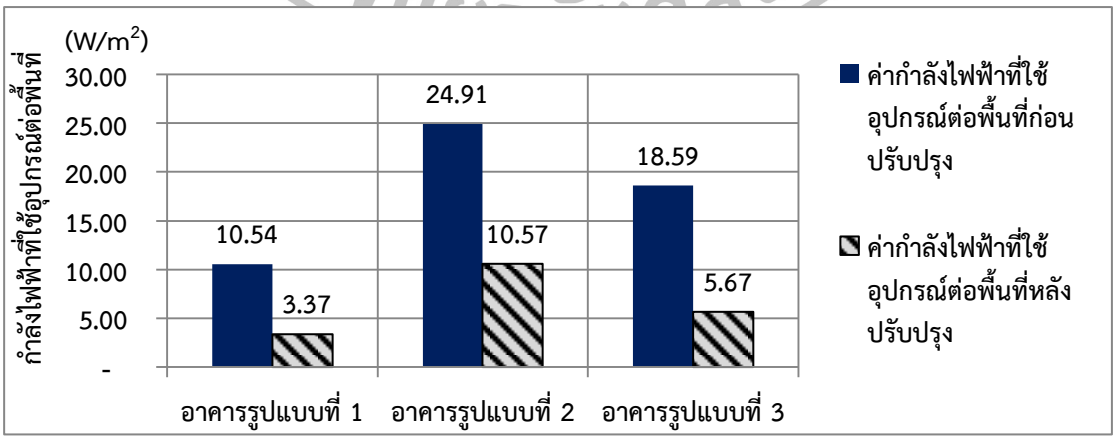
ลำดับที่	เครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวนเครื่อง	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)
1	คอมพิวเตอร์ PC (Energy Star)	31	113	3,503
2	เครื่องพิมพ์เอกสาร (Energy Star)	21	45	945
3	พัดลม	29	54	1,566
รวม		**81**		**5,069**

2.3.4 ผลการลดการใช้พลังงานส่วนอุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้า

อาคารทุกรูปแบบ เมื่อเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ และช่วยประหยัดพลังงานทำให้มีการใช้พลังงานส่วนของอุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้า ลดลงมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ต่อปี รายละเอียดค่าการใช้พลังงานแสดงในตารางที่ 76 และแผนภูมิที่ 5

ตารางที่ 76 การใช้พลังงานในส่วนของอุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้าของอาคารทุกรูปแบบก่อนและหลังปรับปรุง

รายการ	อาคารรูปแบบที่ 1	อาคารรูปแบบที่ 2	อาคารรูปแบบที่ 3
Equipment Load (kWh/year) ก่อนปรับปรุง	319,199	110,756	49,180
Equipment Load (kWh/year) หลังปรับปรุง	102,938	46,967	15,000
การประหยัดพลังงานต่อปี	68%	57%	69%



แผนภูมิที่ 5 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ใช้อุปกรณ์ต่อพื้นที่ (EQD) ก่อนและหลังปรับปรุง (W/m^2)

2.4 สรุปการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารรายปี และความเป็นไปได้ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ เมื่อปรับปรุงตามแนวทางที่ 2

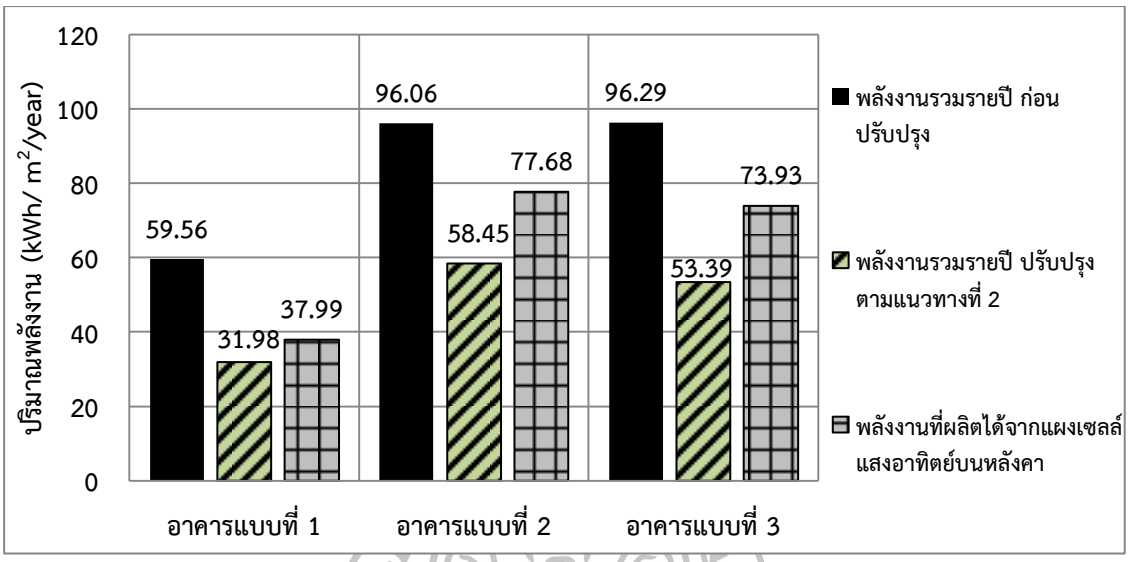
จากการปรับปรุงเฉพาะระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์ - สำนักงาน พบว่าอาคารทั้ง 3 รูปแบบใช้พลังงานลดลงมากกว่า 35% ต่อปี ซึ่งการใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร คำนวณจากสมการที่ 10 ซึ่งพบว่าอาคารทั้ง 3 รูปแบบ มีการใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร 31.98, 58.45, 53.39 kWh/m^2/year ตามลำดับ ดังตารางที่ 77 และแผนภูมิที่ 6

ซึ่งจากการปรับลดการใช้พลังงานในอาคาร ตามแนวทางที่ 2 โดยการปรับปรุงเฉพาะระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศและอุปกรณ์สำนักงานนั้น ผลที่ได้คือ อาคารที่คัดเลือกทั้ง 3 รูปแบบ มีพลังงานที่ผลิตได้เพียงพอกับพลังงานที่ต้องการใช้ และยังมีพลังงานเหลือใช้ สามารถลดจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาจากเดิมลงได้

ดังนั้นการลดพลังงานโดยเลือกใช้แนวทางที่ 2 มีแนวโน้มที่จะทำให้อาคารทั้ง 3 รูปแบบเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ โดยไม่ต้องปรับปรุงกรอบอาคารใด ๆ

ตารางที่ 77 สรุปเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตได้และพลังงานรวมทั้งอาคารหลังปรับปรุงแนวทางที่ 2

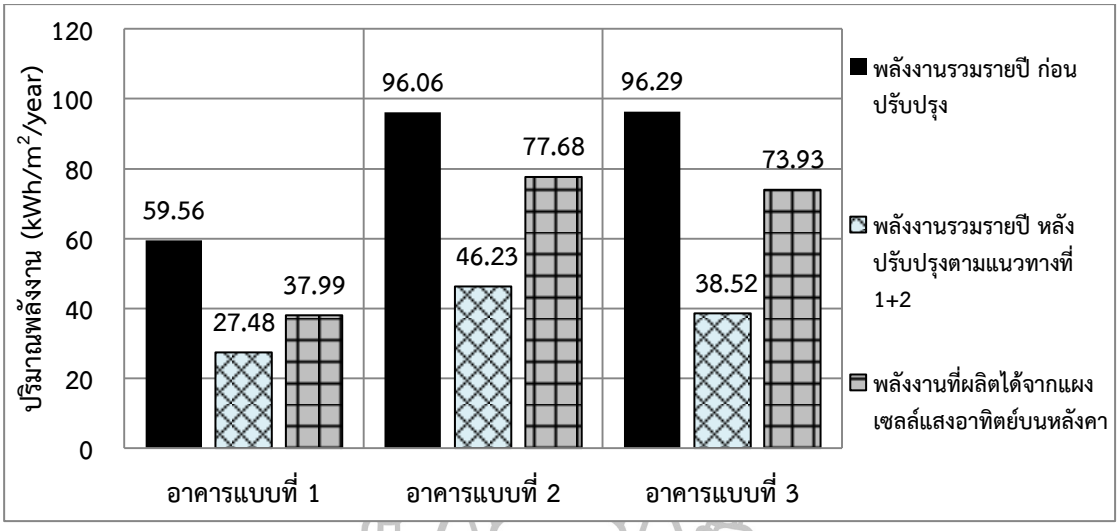
รายการ	**อาคาร รูปแบบที่ 1**	**อาคาร รูปแบบที่ 2**	**อาคาร รูปแบบที่ 3**
พลังงานรวมก่อนปรับปรุง (kWh/year)	995,822	233,764	139,431
พลังงานรวมหลังปรับปรุงแนวทางที่ 2 (kWh/year)	534,652	142,248	77,316
พลังงานรวมหลังปรับปรุงแนวทางที่ 2 (kWh/m^2/year)	31.98	58.45	53.39
พลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/year)	635,203	189,052	107,052
สมดุลพลังงาน	**สมดุลและเหลือใช้**	**สมดุลและเหลือใช้**	**สมดุลและเหลือใช้**



แผนภูมิที่ 6 สรุปผลเปรียบเทียบพลังงานรวมทั้งอาคาร (kWh/m^2/year) ก่อนและหลังปรับปรุงแนวทางที่ 2 กับพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m^2/year)

3. การปรับปรุงการใช้พลังงานเพิ่มเติม ตามแนวทางที่ 1 และ 2 ร่วมกัน โดยการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศและอุปกรณ์สำนักงาน แม้ว่าอาคารที่คัดเลือกทั้ง 3 อาคาร จะสามารถเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ โดยที่ไม่ต้องปรับปรุงกรอบอาคาร แต่ตามหลักการของการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ นอกจากจะต้องเป็นอาคารที่ประหยัดพลังงานแล้ว ควรมีศักยภาพสอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐานพลังงานและกฎหมายด้วย

จึงได้ประเมินพลังงานรวมเพิ่มเติม โดยการปรับปรุงทั้งแนวทางที่ 1 และ 2 ร่วมกัน เพื่อให้อาคารสำนักงานภาครัฐมีประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานสูงสุด และเป็นไปตามเกณฑ์ตามกฎหมาย ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานในอาคารทั้งสามรูปแบบได้มากถึง 50% จากการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง ทำให้อาคารทั้งสามรูปแบบ มีค่าการใช้พลังงานรวมไม่เกิน 47 kWh/m^2/year ซึ่งเกิดสมดุลพลังงานและมีพลังงานเหลือใช้ เป็นผลดีมากกว่าการปรับปรุงเพียงแนวทางใดแนวทางหนึ่ง รายละเอียดแสดงในแผนภูมิที่ 7 และตารางที่ 78



แผนภูมิที่ 7 สรุปผลเปรียบเทียบพลังงานรวมทั้งอาคาร (kWh/m^2/year) ก่อนและหลังปรับปรุงแนวทางที่ 1+2 กับพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m^2/year)

ตารางที่ 78 สรุปเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตได้และพลังงานรวมทั้งอาคาร หลังจากปรับปรุงแนวทางที่ 1 และ 2 ร่วมกัน

รายการ	**อาคารรูปแบบที่ 1**	**อาคารรูปแบบที่ 2**	**อาคารรูปแบบที่ 3**
พลังงานรวมก่อนปรับปรุง (kWh/year)	995,822	233,764	139,431
พลังงานรวมหลังปรับปรุงแนวทางที่ 1+2 (kWh/year)	459,397	112,509	55,780
พลังงานรวมหลังปรับปรุงแนวทางที่ 1+2 (kWh/m^2/year)	27.48	46.23	38.52
พลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/year)	635,203	189,052	107,052
สมดุลพลังงาน	**สมดุลและเหลือใช้**	**สมดุลและเหลือใช้**	**สมดุลและเหลือใช้**

สรุปผลการศึกษาการปรับปรุงอาคาร และความเป็นไปได้ในการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

1. การศึกษาศักยภาพการใช้พลังงานของอาคารทั้ง 3 รูปแบบ ที่มีขนาดและรูปแบบที่แตกต่างกัน จากแบบมาตรฐานการก่อสร้างอาคาร และการสำรวจเก็บข้อมูล พบว่าอาคารที่คัดเลือกไม่มีประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานที่ดี ซึ่งในการศึกษานี้ ได้กำหนดตัวชี้วัดศักยภาพการใช้พลังงานในอาคาร โดยยึดตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 ซึ่งมีรายละเอียดของส่วนต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร โดยยังไม่มีการปรับปรุง ดังนี้

1.1 อาคารทุกรูปแบบที่คัดเลือก มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) สูงกว่าที่กำหนดไว้ในเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ซึ่งต้องมี OTTV≤50 W/m^2 และ RTTV ≤15 W/m^2

1.2 อาคารรูปแบบที่ 1 และ 3 ยังใช้เครื่องปรับอากาศที่ไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศ (COP) ที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ซึ่งต้องมี COP ≥3.22

1.3 อาคารทุกรูปแบบเดิมเลือกใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และมีกำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งต่อพื้นที่ (LPD) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ซึ่งต้องมี LPD≤14 W/m^2

การใช้พลังงานรวมของอาคารทั้ง 3 รูปแบบ โดยที่ยังไม่มีการปรับปรุงการใช้พลังงานมีการใช้พลังงานสูงกว่าพลังงานที่ผลิตได้ ทำให้มีพลังงานที่ไม่สมดุล จึงไม่สามารถเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ ต้องปรับปรุงและจัดการระบบภายในอาคาร เพื่อลดการใช้พลังงานลง

2. การลดพลังงานเพื่อให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

2.1 แนวทางที่ 1 ลดการใช้พลังงาน โดยการปรับปรุงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) ให้สอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) คือ การปรับปรุงผนังทึบเปลี่ยนกระจก ปรับปรุงเพิ่มฉนวนหลังคา

ผลการปรับปรุงค่า OTTV และ RTTV ของอาคารทั้ง 3 รูปแบบ คือในทุกอาคารมีค่าสอดคล้องตามเกณฑ์ มีการประหยัดพลังงานมากขึ้น แต่ยังใช้พลังงานที่สูงกว่าพลังงานที่สามารถผลิตได้ ดังนั้นการลดพลังงานด้วยแนวทางที่ 1 เพียงอย่างเดียว ยังไม่สามารถทำให้เกิดสมดุลพลังงานและยังไม่สามารถเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ รายละเอียดแสดงในแผนภูมิที่ 8

2.2 แนวทางที่ 2 ลดการใช้พลังงานโดยการปรับปรุงระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ อุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ดังนี้

2.2.1 เปลี่ยนหลอดไฟของอาคารทุกรูปแบบ เป็นหลอด LED

2.2.2 ในอาคารรูปแบบที่ 1 และ 3 เปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศ (COP) สอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC)

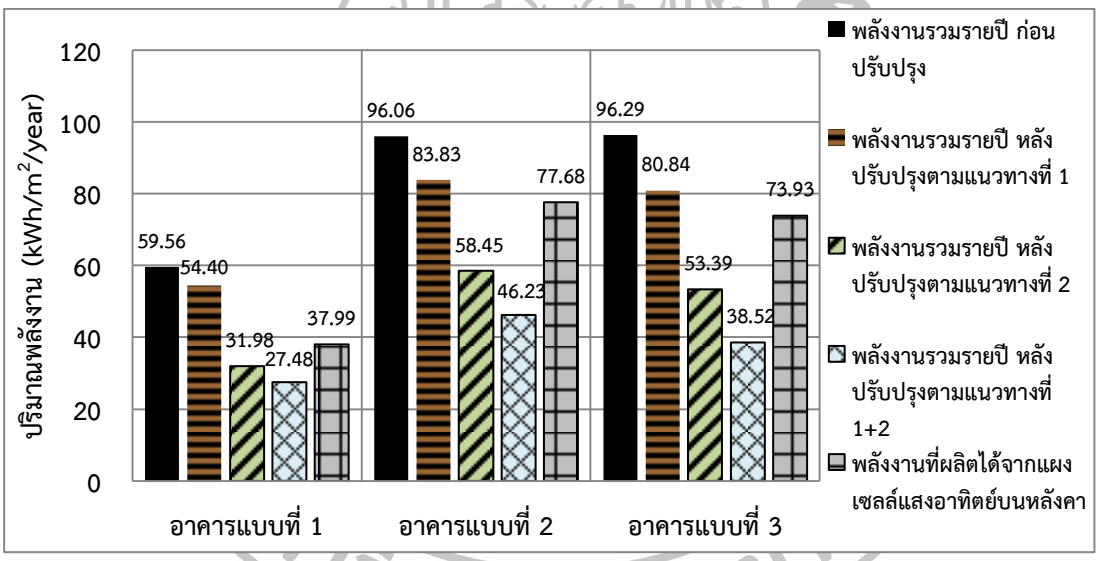
2.2.3 เปลี่ยนมาใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์เอกสาร และเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพ ได้รับเครื่องหมาย Energy Star หรือฉลากเบอร์ 5

ผลการลดพลังงานตามแนวทางที่ 2 ทำให้อาคารทุกรูปแบบมีพลังงานลดลงมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ต่อปี และการใช้พลังงานรวมในอาคารน้อยกว่าพลังงานที่ผลิตได้ ดังนั้นการ

ปรับปรุงเพียงระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ เปลี่ยนอุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้า ให้มีประสิทธิภาพด้านพลังงานที่ดี แม้จะเป็นเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน ก็สามารถทำให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ โดยไม่ต้องปรับปรุงกรอบอาคาร รายละเอียดแสดงในแผนภูมิที่ 8

2.3 แนวทางเพิ่มเติมเพื่อให้การลดพลังงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น คือ การปรับปรุงทั้งเปลือกอาคารและจัดการระบบภายในอาคาร คือการใช้แนวทางที่ 1 และ 2 ร่วมกัน ส่งผลให้อาคารลดการใช้พลังงานลงได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ซึ่งการปรับปรุงทั้งแนวทางนี้จะทำให้อาคารมี ความต้องการพลังงานลดลงมากกว่าการปรับปรุงเพียงแนวทางใดแนวทางหนึ่ง และทำให้สามารถลดจำนวนแผงและพื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้มาก

อย่างไรก็ตาม ทั้งการปรับปรุงเฉพาะแนวทางที่ 2 หรือการปรับปรุงแนวทางที่ 1 และ 2 ร่วมกัน สามารถทำให้อาคารสำนักงานภาครัฐทั้ง 3 รูปแบบที่คัดเลือกมาศึกษา เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ รายละเอียดแสดงในแผนภูมิที่ 8



แผนภูมิที่ 8 สรุปผลเปรียบเทียบพลังงานรวมทั้งอาคาร (kWh/m^2/year) ก่อนและหลังปรับปรุงทุกแนวทาง กับพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m^2/year)

3. การศึกษานี้กำหนดให้มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าเอง โดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร แต่มิได้มีเปลี่ยนรูปแบบหลังคาของอาคาร แม้ว่าตามหลักการของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดนั้น จะต้องมีการติดตั้งตามทิศทางและมีความลาดชันของแผงจากแนวระนาบ ตามละติจูดของที่ตั้งก็ตาม เช่น ในประเทศไทย ทิศทางที่เหมาะสมคือการหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ และกรุงเทพมหานคร ตั้งอยู่ในพื้นที่ละติจูด 13.5 องศา ก็ควรติดตั้งแผงให้ลาดชันจากแนวระนาบ 13.5 องศา เป็นต้น ซึ่งการศึกษานี้จะต้องยอมรับในส่วนนี้ เนื่องจากเมื่อคำนึงความเป็นไปได้ในการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐนั้น จะมีข้อจำกัดในส่วนของงบประมาณ การปรับเปลี่ยนรูปแบบอาคารหรือลักษณะของหลังคา จะมีผลในด้านค่าก่อสร้างปรับปรุง ซึ่งเป็นไปได้ยากที่จะพัฒนาได้

นอกจากความลาดชันของหลังคารูปแบบเดิมมีความชันสูงแล้ว คือ อาคารรูปแบบที่ 1 หลังคาลาดชั้น 50 องศา และหลังคาอาคารรูปแบบที่ 2 และ 3 ลาดชัน 30 องศา ยังมีพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จำกัดด้วย เนื่องจากสัดส่วนของรูปทรงหลังคาที่เป็นทรงจั่ว และทรงปั้นหยา ที่แผ่นผืนหลังคาในแต่ละด้านที่มาบรรจบกัน จะเกิดมุมแหลม ทำให้มีพื้นที่บางส่วนถูกตัดทอนไป ไม่สามารถติดตั้งแผงซึ่งเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้เพียงพอ และยังมีความจำเป็นที่จะต้องติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกทิศทาง ซึ่งในบางทิศทางนั้นจะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อย แต่ก็เพื่อให้เกิดการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด อันเนื่องจากข้อจำกัดดังที่กล่าวข้างต้น โดยรายละเอียดพื้นที่และข้อจำกัดของหลังคาอย่างละเอียด ได้แสดงไว้ในหัวข้อผล “ผลการศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคาร กรณีติดตั้งบนพื้นที่หลังคาที่ติดตั้งได้มากที่สุด” และหัวข้อ “ข้อจำกัดของการศึกษา” ในบทที่ 5

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

เนื่องจากแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573) ที่ต้องการเพิ่มศักยภาพการใช้พลังงานของอาคารให้สูงขึ้น โดยใช้การประเมินให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) จนถึงเกณฑ์การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (ZEB) ในปี พ.ศ. 2573 โดยมุ่งหวังให้อาคารสำนักงานภาครัฐได้เป็นแบบอย่างแก่อาคารอื่น ๆ งานวิทยานิพนธ์นี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษา ทฤษฎี ความหมาย แนวคิดและวิธีการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building, NZEB) และสรุปเป็นแนวทางการออกแบบอาคารที่เหมาะสมและมีความเป็นไปได้สำหรับประเทศไทย ซึ่งในการศึกษานี้ได้นำหลักการดังกล่าวมาปรับปรุงพัฒนาอาคารสำนักงานภาครัฐ เพื่อประเมินว่าจะสามารถเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้หรือไม่ หากยังคงรูปลักษณ์และสัดส่วนเดิมตามแบบมาตรฐานก่อสร้างอาคาร

อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ คือ อาคารที่มีการประหยัดพลังงานจากการออกแบบใช้เทคโนโลยีที่ช่วยประหยัดพลังงาน และสามารถผลิตพลังงานใช้เองได้ โดยพลังงานที่ผลิตได้เองจากพลังงานหมุนเวียนภายในหรือนอกที่ตั้งอาคาร ลบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งแล้วมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ โดยหลักการในการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมและการรวบรวมกรณีศึกษา สรุปได้ 3 หลักการ คือ

1. “หลักการใช้” เพื่อลดพลังงานในอาคาร โดยใช้วิธีออกแบบโดยใช้ปัจจัยทางธรรมชาติ (passive design) เช่น

1.1 การใช้แสงธรรมชาติ การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ เลือกใช้วัสดุและทิศทางการวางอาคารที่ช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

1.2 การใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อช่วยลดพลังงานในอาคาร

1.3 ออกแบบอาคารให้สอดคล้องกับเกณฑ์และกฎหมายการใช้พลังงาน

2. “หลักการผลิต” เพื่อผลิตพลังงานใช้เองจากพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมกับที่ตั้ง

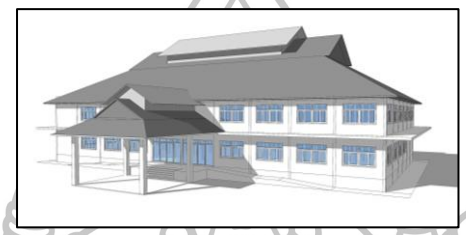
3. “หลักการตรวจสอบความสมดุลพลังงาน” เพื่อสรุปผลการใช้พลังงานสุทธิของอาคาร

3.1 ความสมดุลของพลังงาน ระหว่างพลังงานที่ผลิตได้กับพลังงานที่ต้องการใช้ หักลบกันแล้วมีค่าเท่ากับศูนย์หรือเรียกว่าเกิดสมดุลพลังงาน

3.2 ระยะเวลาที่พิจารณาความสมดุล กำหนดตามเป้าหมายของโครงการ เช่น รายเดือน ฤดูกาล หรือรายปี เป็นต้น

ดังนั้นขั้นตอนในการศึกษานี้ จึงได้คัดเลือกอาคารสำนักงานภาครัฐ 3 รูปแบบ ที่มีขนาดพื้นที่แตกต่างกัน จากแบบมาตรฐานอาคารของหน่วยงานส่วนกลาง ดังนี้

ภาพที่ 82 อาคารรูปแบบที่ 1



ภาพที่ 83 อาคารรูปแบบที่ 2

ภาพที่ 84 อาคารรูปแบบที่ 3

1. รูปแบบที่ 1 อาคารขนาดมากกว่า 10,000 ตารางเมตร กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัด เลขที่แบบ สถ.37107 จากกรมโยธาธิการและผังเมือง

2. รูปแบบที่ 2 อาคารขนาด 2,000–10,000 ตารางเมตร กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป สำนักงานที่ดินขนาดใหญ่ แบบเลขที่ 8-58/1 กรมที่ดิน กระทรวงมหาดไทย

3. รูปแบบที่ 3 อาคารขนาดน้อยกว่า 2,000 ตารางเมตร กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่ เลขที่แบบ ม.18155 จากกรมโยธาธิการและผังเมือง

นำมาศึกษาการใช้พลังงานรวมเดิมและการใช้พลังงานรวมหลังจากปรับปรุงอาคารเพื่อลดพลังงานแล้ว เปรียบเทียบกับความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ซึ่งประเมินด้วยโปรแกรม PVsyst Photovoltaic Software โดยปริมาณพลังงานรวมทั้งอาคาร ประกอบไปด้วย การตรวจสอบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) และหลังคาอาคาร (RTTV) ซึ่งประเมินด้วยโปรแกรม Building Energy Code (BEC) และประเมินระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ อุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ภายในอาคาร

การศึกษาศักยภาพและการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารก่อนปรับปรุง

การศึกษาศักยภาพการใช้พลังงานอาคารก่อนปรับปรุงนี้ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับเสนอแนวทางปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐ ให้มีศักยภาพด้านพลังงานมากขึ้น พบว่าอาคารทั้ง 3 รูปแบบ ยังไม่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานที่ดี มีผนังและหลังคาที่ส่งผลให้อาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา (OTTV, RTTV) ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ที่บังคับใช้ในกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 ส่งผลทำให้มีการใช้พลังงานในส่วนนี้สูง นอกจากนี้อาคารรูปแบบที่ 1 และ 3 ยังใช้เครื่องปรับอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ต่ำกว่าเกณฑ์ตามกฎหมาย รายละเอียดดังตารางที่ 79 ในส่วนของเครื่องคอมพิวเตอร์สำนักงานนั้น อาคารทั้ง 3 รูปแบบ ยังมีการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะที่ไม่มีฉลากประหยัดพลังงาน ส่งผลให้ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น จึงต้องมีการจัดระบบการใช้พลังงานในอาคารและการปรับปรุงกรอบอาคารก่อน เพื่อให้เป็นอาคารประหยัดพลังงานมีประสิทธิภาพด้านพลังงานที่ดี ซึ่งได้กำหนดวิธีการปรับปรุงอาคารและพัฒนาให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ รายละเอียดในลำดับต่อไป

ขอบเขตการปรับปรุงและพัฒนาอาคารให้มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ในการศึกษานี้กำหนดขอบเขตและวิธีการพัฒนาอาคาร เพื่อให้เป็นตัวชี้วัดและเป็นการตรวจสอบการเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ โดยในส่วนของการปรับปรุงอาคารนั้นไม่มีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนใด ๆ ของอาคาร เพื่อไม่ให้กระทบกับแบบมาตรฐานอาคารจากส่วนกลาง ไม่มีการศึกษาด้านงบประมาณหรือความคุ้มทุน และเสนอแนวทางที่สามารถทำได้ด้วยวิธีการและเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน

1. ลดการใช้พลังงานในอาคาร แบ่งเป็น 2 แนวทาง คือ

แนวทางที่ 1 ลดการใช้พลังงาน จากหลักการออกแบบโดยใช้ปัจจัยทางธรรมชาติ (passive design) คือ การปรับปรุงผนังอาคารโดยเลือกใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อน ปรับปรุงกระจก โดยเลือกใช้กระจกที่ช่วยป้องกันความร้อนและให้แสงสว่างผ่านเข้ามาอย่างเหมาะสม ปรับปรุงหลังคา โดยเพิ่มฉนวนใยแก้วใต้หลังคา 3” เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา

แนวทางที่ 2 ลดการใช้พลังงานโดยเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเปลี่ยนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟ LED เลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง และเลือกใช้เครื่องคอมพิวเตอร์หรือเครื่องพิมพ์เอกสารที่มีเครื่องหมาย Energy Star

การใช้แนวทางที่ 1 และ 2 ร่วมกัน เพื่อศึกษาการลดพลังงานเพิ่มเติม ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการปรับปรุงเพียงแนวทางใดแนวทางหนึ่ง

พิจารณาความสอดคล้องกับกฎหมายและเกณฑ์การประเมินศักยภาพพลังงานอาคาร โดยให้มีค่าพลังงานในส่วนต่าง ๆ เป็นไปตามเกณฑ์การใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC)[1] ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 เพื่อเป็นตัวชี้วัดความมีศักยภาพด้านพลังงานของอาคาร ดังตารางที่ 79

[1] “กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการ ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552.” **ราชกิจจานุเบกษา** เล่ม 126, ตอนที่ 12 ก (20 กุมภาพันธ์ 2552): 9-15.

2. เพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร ด้วยการผลิตพลังงานใช้เองจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร ด้วยการเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว (monocrystalline silicon) ขนาดแผงละ 250 Wp ซึ่งถือว่าเป็นประเภทแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีประสิทธิภาพและนิยมในเชิงพาณิชย์ เช่นเดียวกับการศึกษาโครงการพัฒนาเทคโนโลยีอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย อาคารกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยขอนแก่น[2] ที่ได้เลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทเดียวกัน

3. พิจารณาความสมดุลที่เกิดขึ้นจากการลดการใช้พลังงานและพลังงานที่ผลิตได้ โดยตรวจสอบความสมดุลของพลังงานเป็นรายปี ซึ่งพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ลบกับพลังงานที่ใช้แล้วต้องมีพลังงานสุทธิมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

อภิปรายผลการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐ และความเป็นไปได้ในการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

1. การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา การศึกษานี้ไม่มีการปรับเปลี่ยนพื้นที่ สัดส่วน และรูปทรงของหลังคาอาคาร ทำให้มีพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างจำกัด เนื่องจากจะถูกลดทอนลงตามสัดส่วนและรูปทรงหลังคา เช่น แผ่นผืนหลังคาที่มีมุมแหลมในแต่ละด้าน เป็นต้น ทำให้ไม่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเต็มพื้นที่หลังคาทั้งหมดได้ (รายละเอียดข้อจำกัดของพื้นที่หลังคาแสดงใน ข้อจำกัดของการศึกษา ในส่วนต่อไป)

อย่างไรก็ตามอาคารทั้ง 3 รูปแบบ มีพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อพื้นที่ใช้สอยเท่ากับ 22%, 40%, 37% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอาคาร BCA Academy ประเทศสิงคโปร์ ที่เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ซึ่งมีพื้นที่หลังคาที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์คิดเป็น 34% ของขนาดพื้นที่ใช้สอยอาคารเช่นกัน[3]

2. จากการศึกษาตัวอย่างอาคาร 3 รูปแบบ ที่มีขนาดแตกต่างกัน พบว่าศักยภาพของอาคารสำนักงานภาครัฐในปัจจุบัน ยังไม่สามารถเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ หากไม่มีการปรับปรุง อาคารต้องการใช้พลังงานมากกว่าที่สามารถผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่หลังคา โดยในทุกอาคาร มีผนังและหลังคา ที่ยังไม่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานที่ดี มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา (OTTV, RTTV) ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) และในอาคารรูปแบบที่ 1 และ 3 ยังคงใช้เครื่องปรับอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศ (COP) ต่ำกว่าเกณฑ์ตามกฎหมาย โดยมีรายละเอียดพลังงานในตารางที่ 79

---

[2] มหาวิทยาลัยขอนแก่น และกองทุนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, “รายงานฉบับสุดท้าย โครงการการพัฒนาเทคโนโลยีอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) ที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย.” มกราคม 2557.

[3] Yudelson Associates, **“Building and Construction Authority Zero Energy Building Braddell Road Campus, Singapore.”** (2011), accessed September 14, 2015, available from http://www.solaripedia.com/files/1009.pdf.

ตารางที่ 79 สรุปผลพลังงานก่อนและหลังปรับปรุงอาคาร เปรียบเทียบกับพลังงานที่สามารถผลิตได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

อาคารที่คัดเลือก		OTTV	RTTV	LPD	COP	kWh/ m^2/year	**พลังงานที่ผลิตได้ (kWh/ m^2/year)**	
เกณฑ์ (BEC)		**≤50**	**≤15**	**≤14**	**≥3.22**	**171**		
รูปแบบที่ 1 >10,000 ตร.ม. (ศาลากลางจังหวัด)	ก่อนปรับปรุง	**57.96**	**16.72**	**6.82**	**2.91**	**59.56**	38.00	ไม่สมดุล
	ปรับแนวทาง 1	45.57	7.49	ไม่ปรับปรุง		54.40		ไม่สมดุล
	ปรับแนวทาง 2	ไม่ปรับปรุง		2.51	3.34	31.98		สมดุล
	แนวทาง 1+2	45.57	7.49	2.51	3.34	27.48		สมดุล
รูปแบบที่ 2 2,000–10,000 ตร.ม. (สำนักงานทั่วไป)	ก่อนปรับปรุง	**79.54**	**30.96**	**5.41**	**3.37**	**96.06**	77.68	ไม่สมดุล
	ปรับแนวทาง 1	48.69	8.50	ไม่ปรับปรุง		83.83		ไม่สมดุล
	ปรับแนวทาง 2	ไม่ปรับปรุง		2.14	3.37	58.45		สมดุล
	แนวทาง 1+2	48.69	8.50	2.14	3.37	46.23		สมดุล
รูปแบบที่ 3 < 2,000 ตร.ม. (ที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่)	ก่อนปรับปรุง	**63.88**	**33.25**	**8.89**	**3.10**	**96.29**	73.93	ไม่สมดุล
	ปรับแนวทาง 1	48.01	8.78	ไม่ปรับปรุง		80.84		ไม่สมดุล
	ปรับแนวทาง 2	ไม่ปรับปรุง		3.46	3.45	53.39		สมดุล
	แนวทาง 1+2	48.01	8.78	3.46	3.45	38.52		สมดุล

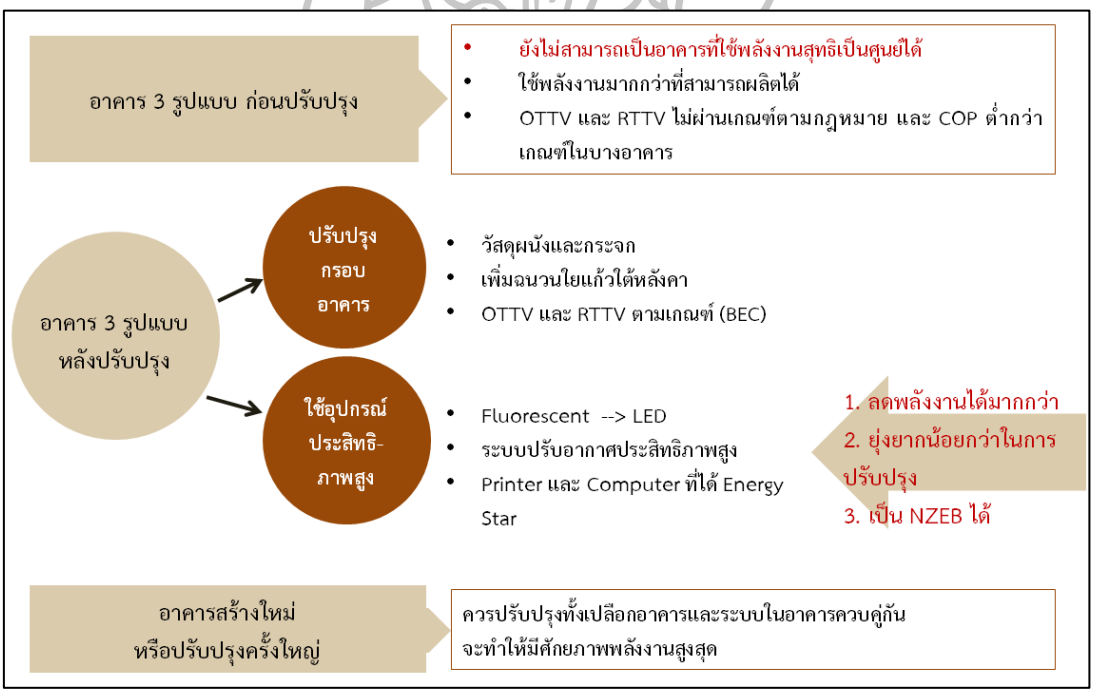
3. แนวทางการลดพลังงาน เพื่อให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

แนวทางที่ 1 การปรับปรุงผนังทึบ เปลี่ยนกระจก เพิ่มฉนวนหลังคา ให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา (OTTV, RTTV) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ (BEC) ในอาคารทั้ง 3 รูปแบบ ทำให้การใช้พลังงานรวมทั้งอาคารลดลงได้ไม่เกิน 16 เปอร์เซ็นต์ต่อปี และยังมีการใช้พลังงานมากกว่าพลังงานที่สามารถผลิตได้เอง จึงยังเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ไม่ได้

แนวทางที่ 2 การเปลี่ยนหลอดไฟเป็นหลอด LED ใช้เครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูงขึ้น เปลี่ยนเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สำนักงานให้มีประสิทธิภาพ เช่น ได้รับเครื่องหมาย Energy Star ในอาคารทั้ง 3 รูปแบบ สามารถลดพลังงานลงได้มากกว่าการปรับปรุงผนังทึบ เปลี่ยนกระจก เพิ่มฉนวนหลังคา และอาจจะมีความยุ่งยากน้อยกว่าในการปรับปรุง โดยเฉพาะในกรณีที่อาคารนั้นมีการใช้งานแล้ว ซึ่งเพียงการปรับปรุงในส่วนดังกล่าว ก็สามารถทำให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้

อย่างไรก็ตามสำหรับอาคารสร้างใหม่ หรือต้องการปรับปรุงครั้งใหญ่ควรปรับปรุงเปลือกอาคารให้ถูกต้องตามกฎหมายอนุรักษ์พลังงานด้วย ซึ่งจะทำให้อาคารมีศักยภาพพลังงานสูงสุด ความต้องการพลังงานลดลงมากกว่าการปรับปรุงหรือจัดการพลังงานเพียงส่วนใดส่วนหนึ่ง ทำให้ไม่จำเป็นต้องติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จนเต็มพื้นที่หลังคา ก็สามารถผลิตพลังงานได้เพียงตามความต้องการได้ โดยในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงเพิ่มเติม เรียกว่าเป็นแนวทางที่ 1+2 ซึ่งพบว่าทำให้อาคารทั้ง 3 รูปแบบลดการใช้พลังงานลงได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

การเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ของอาคารสำนักงานภาครัฐที่คัดเลือก



ภาพที่ 85 แผนความคิดสรุปหลักการในการพัฒนาอาคารให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

จากการศึกษาแนวทางปรับปรุงอาคารเพื่อให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งการปรับปรุงกรอบอาคารและการจัดการระบบพลังงานภายในอาคาร พบว่าเพียงการปรับปรุงระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และการเลือกใช้อุปกรณ์สำนักงานที่มีประสิทธิภาพ ก็สามารถลด

การใช้พลังงานได้มากและทำให้มีการใช้พลังงานสมดุลกับพลังงานที่สามารถผลิตได้ เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ โดยไม่ต้องใช้วิธีการที่ยุ่งยากมากนัก และยังใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันได้

อาคารทั้ง 3 รูปแบบ เมื่อปรับปรุงระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์สำนักงาน มีการใช้พลังงานไม่เกิน 59 kWh/m^2/year และหากปรับปรุงเปลือกอาคารพร้อมกับปรับปรุงระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์สำนักงาน จะมีการใช้พลังงานรวมไม่เกิน 47 kWh/m^2/year ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับอาคาร BCA Academy ของประเทศสิงคโปร์ ซึ่งเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ที่นำอาคารเก่ามาปรับปรุง จนมีค่าการใช้พลังงานที่ 41.92 kWh/m^2/year[4] และเป็นค่าที่ไม่เกินเกณฑ์ ZEB ที่กระทรวงพลังงานได้ประเมินไว้ที่ 57 kWh/m^2/year ตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี[5]

สรุปผลการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐตามแนวทางการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ที่ได้เสนอตามการศึกษาจากวรรณกรรม งานวิจัย กรณีศึกษาอาคารที่เกี่ยวข้อง ทำให้อาคารทุกอาคารมีการใช้พลังงานลดลงตามเป้าหมาย และมีพลังงานที่สมดุลกับพลังงานที่สามารถผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ทำให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ตามคำนิยาม ตามเป้าหมายของแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573) ด้วยการใช้วิธีการหรือเทคโนโลยีที่มีในปัจจุบัน

ข้อจำกัดของการศึกษา

1. ข้อจำกัดของการประเมินการใช้พลังงานในส่วนของอุปกรณ์สำนักงานและเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ

1.1 ในอาคารที่มีไม่ครบถ้วนตามการใช้งานจริง เนื่องจากอุปกรณ์และเครื่องใช้ดังกล่าวมีจำนวนมาก และไม่สามารถเข้าไปสำรวจในอาคารจริงได้ครบทั้งหมด จึงต้องทำการประมาณจำนวนการอุปกรณ์สำนักงานเฉพาะเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์เอกสาร ตามจำนวนพนักงาน ซึ่งทำให้ผลการใช้พลังงานน้อยกว่าความเป็นจริง

ดังเช่นอาคารรูปแบบที่ 1 มีการใช้พลังงานรวมรายปีต่อตารางเมตรค่อนข้างน้อย โดยการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง เท่ากับ 59.56 kWh/m^2/year ซึ่งใกล้เคียงกับเกณฑ์การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (ZEB) ของแผนพลังงาน 20 ปี ที่ประเมินการใช้พลังงานรวมของอาคารสำนักงานไว้ไม่เกิน 57 kWh/m^2/year เนื่องจากการศึกษาอาคารรูปแบบที่ 1 ได้ประเมินอุปกรณ์สำนักงานเฉพาะเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้มีปริมาณการใช้พลังงานของอุปกรณ์สำนักงานน้อยกว่าความเป็นจริง ส่งผลต่อการใช้พลังงานรวมที่ค่อนข้างน้อย

ทั้งนี้ได้ตรวจสอบเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่น ที่มีวิธีการศึกษาโดยการประเมินการใช้พลังงานจากแบบมาตรฐานของอาคารศาลากลางจังหวัดขนาดใกล้เคียงกันกับการศึกษานี้ คือ

---

[4] Yudelson Associates, **“Building and Construction Authority Zero Energy Building Braddell Road Campus, Singapore.”** (2011), accessed September 14, 2015, available from http://www.solaripedia.com/files/1009.pdf.

[5] กระทรวงพลังงาน, “แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2573).” 2554: 3-6.

โครงการศึกษาและพัฒนาเพื่อสร้างต้นแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานสำหรับภาครัฐ[6] พบว่ามีการใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร 797,778.07 kWh/year หรือ 47.9 kWh/m^2/year ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยที่การศึกษาดังกล่าว อาจไม่ได้ประเมินค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์สำนักงานอย่างครบถ้วน เช่นกัน

1.2 ในปัจจุบันอาคารสำนักงานมักจะมีห้อง Server ที่จะมีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง การศึกษานี้ไม่ได้ทำการเผื่อการใช้พลังงานในส่วนนี้

2. ข้อจำกัดในการลดการใช้พลังงานในอาคาร

2.1 การศึกษานี้เน้นในเรื่อง *การลดการใช้พลังงานในอาคาร* โดยในส่วนที่เกี่ยวกับอาคาร ได้จำลองตามทิศทางการวางอาคารของอาคารที่ศึกษา ดังที่ปรากฏในแบบมาตรฐานการก่อสร้างอาคาร จากหน่วยงานส่วนกลางและจากการสำรวจ ซึ่งผลของการใช้พลังงานในการปรับอากาศอาจจะแตกต่างไป เมื่ออาคารรูปแบบดังกล่าว วางในทิศทางอื่น ดังนั้นอาคารที่สร้างใหม่ ควรให้ความสำคัญต่อทิศทางอาคาร ซึ่งควรให้ด้านแคบหันไปทางทิศตะวันออกและตะวันตก การจัดผังบริเวณที่ช่วยลดความร้อนของอากาศโดยรอบ โดยการจัดภูมิทัศน์ช่วย เช่น การลดพื้นที่ดาดแข็ง การเพิ่มพื้นที่สีเขียว เป็นต้น และควรใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติให้มากที่สุด เพื่อลดการใช้แสงประดิษฐ์ โดยใช้กระจกที่ยอมให้แสงผ่านมากกว่าความร้อน

2.2 ในด้าน *การปรับปรุงค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร* งานวิจัยนี้มิได้ปรับเปลี่ยนสัดส่วนพื้นที่โปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนหรือความชื้นเข้าสู่อาคาร และภาระการทำความเย็นของอาคาร โดยเฉพาะทางด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ดังนั้นหากมีการปรับปรุง WWR ของอาคาร จะช่วยลดการใช้พลังงานลงได้มากกว่า อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลง WWR นั้นไม่ควรลดให้เหลือน้อยจนเกินไป ซึ่งจะทำให้ภายในอาคารได้รับแสงธรรมชาติไม่เพียงพอ ทำให้อาจต้องเพิ่มการใช้พลังงานระบบแสงสว่างมากขึ้น

3. ข้อจำกัดของการใช้โปรแกรมในการประเมินการใช้พลังงานรวมในอาคาร

3.1 การศึกษานี้เลือกใช้โปรแกรม Building Energy Code (BEC) V.1.0.6 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบความสอดคล้องของแบบอาคารต่อเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำ หรือเกณฑ์ BEC ที่กำหนดอยู่ในกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 สำหรับการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคารเท่านั้น และประเมินการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารโดยการอ้างอิงตามสมการคำนวณการใช้พลังงานรวมของอาคาร ตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวม ของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552

แม้ว่าโปรแกรม BEC ดังกล่าว จะสามารถประเมินการใช้พลังงานรวมของอาคารได้ แต่เนื่องจากโปรแกรมใช้ชั่วโมงการทำงานของอาคารสำนักงาน ตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวม ของ

---

[6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน,"รายงานการสรุปแนวทางการออกแบบอาคารต้นแบบประหยัดพลังงาน โครงการศึกษาและพัฒนาเพื่อสร้างต้นแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานสำหรับภาครัฐ." 2558.

อาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552 ที่ได้กำหนดชั่วโมงทำงานสำหรับอาคารประเภทสำนักงานไว้ที่ 2,340 ชั่วโมงต่อปี แต่การศึกษานี้ ได้อ้างอิงชั่วโมงการทำงานของสำนักงานภาครัฐตามการใช้งานจริง ที่มีการทำงานในวันจันทร์ถึงศุกร์ หยุดทำงานวันเสาร์และอาทิตย์ โดยเริ่มทำงานช่วงเช้าในเวลา 8.30 น.–12.00 น. พักกลางวันเวลา 12.00 น.–13.00 น. และเริ่มทำงานช่วงบ่ายในเวลา 13.00 น.–16.30 น. ซึ่งมีจำนวนชั่วโมงการทำงานที่แตกต่างจากการคำนวณตามโปรแกรม BEC และตาม โดยการศึกษานี้ กำหนดชั่วโมงการทำงาน ดังนี้

3.1.1 ชั่วโมงการทำงานตามการใช้งานจริงเป็น 7 ชั่วโมง/วัน

3.1.2 พักกลางวัน 1 ชั่วโมง (ปิดเครื่องปรับอากาศและไฟฟ้าแสงสว่าง)

3.1.3 วันทำงาน 261 วันต่อปี (1 ปี = 365 วัน หยุดเสาร์-อาทิตย์ 104 วัน)

3.1.4 คิดเป็น 1,827 ชั่วโมงต่อปี

ซึ่งชั่วโมงการทำงานนี้เองที่เป็นข้อจำกัดของโปรแกรม BEC ที่ทำให้ต้องเลือกใช้ประเมินเพียงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาเท่านั้น

3.2 การเลือกใช้โปรแกรมในการประเมินต่างโปรแกรมกัน จะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน โดยนอกเหนือจากโปรแกรม BEC และสมการการคำนวณค่าพลังงานรวมของอาคารตามประกาศของกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 ที่เลือกใช้ในการประเมินค่าในการศึกษานี้แล้ว ยังมีโปรแกรมอื่น ๆ ที่สามารถประเมินได้ และในการศึกษาหรืองานวิจัยอื่น ๆ ก็ได้มีการนำมาใช้พอสมควร คือโปรแกรม Autodesk Ecotect Analysis แต่เนื่องจากการกรอกข้อมูลสำหรับโปรแกรม Autodesk Ecotect Analysis นั้นจะต้องมีการจำลองแบบอาคาร ระบุตำแหน่งของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ซึ่งในการศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดในส่วนของความครบถ้วนของอุปกรณ์ และตำแหน่งที่แน่นอน จึงอาจทำให้มีความคลาดเคลื่อนของการประเมิน และเกิดผลลัพธ์ที่ไม่สมบูรณ์ได้

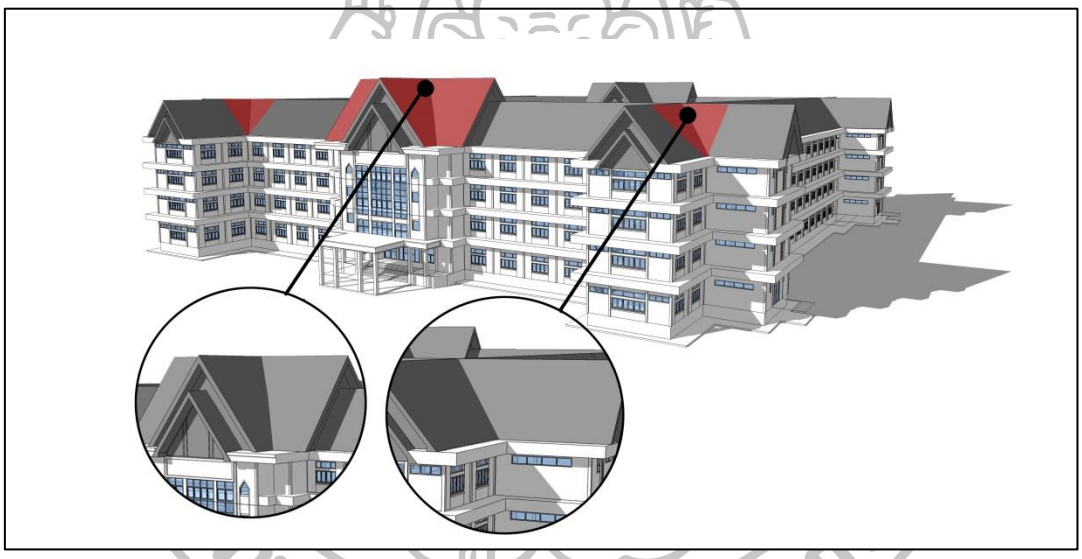
อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาต่อไป อาจมีการเลือกใช้โปรแกรม Autodesk Ecotect Analysis มาศึกษาควบคู่กับการใช้โปรแกรม BEC มาเปรียบเทียบอาจก่อให้เกิดข้อสังเกตใหม่ ๆ ทางด้านผลของพลังงานที่เป็นประโยชน์ได้มากขึ้น

4. ข้อจำกัดด้านการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

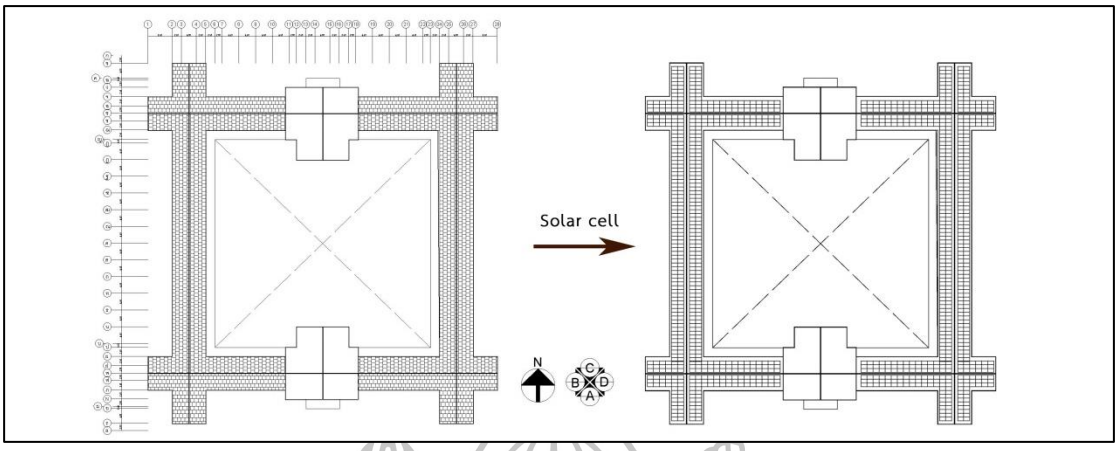
การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานมากที่สุดนั้น จะต้องคำนึงถึงพลังงานแสงอาทิตย์ที่มาตกกระทบกับแผง ควรวางแผนตำแหน่งที่เหมาะสม ไม่มีเงามาบดบัง เช่น เงาจากต้นไม้หรืออาคารข้างเคียง เพราะจะทำให้แผงผลิตพลังงานได้ไม่เต็มที่ เป็นต้น นอกจากนี้ทิศทางและความลาดชันแผงที่ติดตั้ง ยังเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า กล่าวคือ โลกหมุนรอบตัวเองรอบเส้นศูนย์สูตร ซึ่งตำแหน่งที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรจะมีความเข้มแสงของดวงอาทิตย์มาก และประเทศไทยอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะแก่การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ เพราะอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร มีปริมาณความเข้มแสงที่สูง การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องติดตั้งแผงให้ระนาบรับแสงหันไปทางด้านทิศใต้ (มุมจากทิศเหนือหรืออะซิมูท ประมาณ 180 องศา) และมีความชันของแผง (tilt angle) จากแนวระนาบ ตามองศาละติจูดแต่ละพื้นที่ตั้งโครงการที่จะติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น กรุงเทพมหานคร จะมีความชันแผงเซลล์อยู่ที่ประมาณ 13.5 องศาจากแนวระนาบ จังหวัดเชียงใหม่ความชันแผงประมาณ 18.4 องศา ระบบเซลล์แสงอาทิตย์จึงจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ดี

แต่การศึกษานี้ใช้การผลิตพลังงานจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร ซึ่งไม่ได้มีการเปลี่ยนรูปแบบหลังคาหรือสัดส่วนของหลังคา จึงมีข้อจำกัดหลายด้าน ดังนี้

4.1 ด้านพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่จะไม่สามารถติดตั้งแผงได้เต็มพื้นที่หลังคา เนื่องจากหลังคาอาคารรูปแบบที่ 1 เป็นหลังคาทรงจั่ว หลังคาของอาคารรูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 เป็นทรงปั้นหยา มีผืนหลังคาที่มีมุมแหลมอยู่ในทุกด้าน จึงต้องตัดทอนสัดส่วนพื้นที่บางส่วนออกไป เนื่องจากมีขนาดพื้นที่และรูปร่างของพื้นที่ไม่สัมพันธ์กับขนาดและรูปร่างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในการศึกษานี้เลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว (monocrystalline silicon) ขนาดแผงละ 250 Wp มีลักษณะทางกายภาพเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดแผง 1.625 x 1.019 ตารางเมตร หรือ 1.66 ตารางเมตร โดยพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร ที่ติดตั้งได้มากที่สุด ของแต่ละอาคารที่คัดเลือก แสดงในภาพที่ 86-91

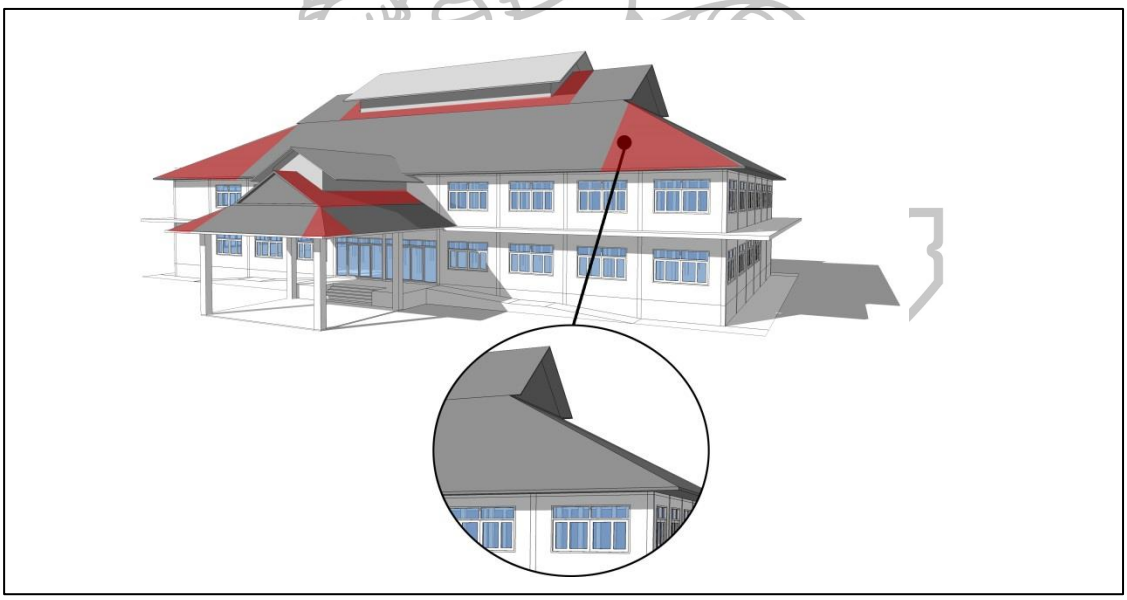


ภาพที่ 86 ตัวอย่างสัดส่วนพื้นที่หลังคาที่ถูกตัดทอนออกไปสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์อาคารรูปแบบที่ 1

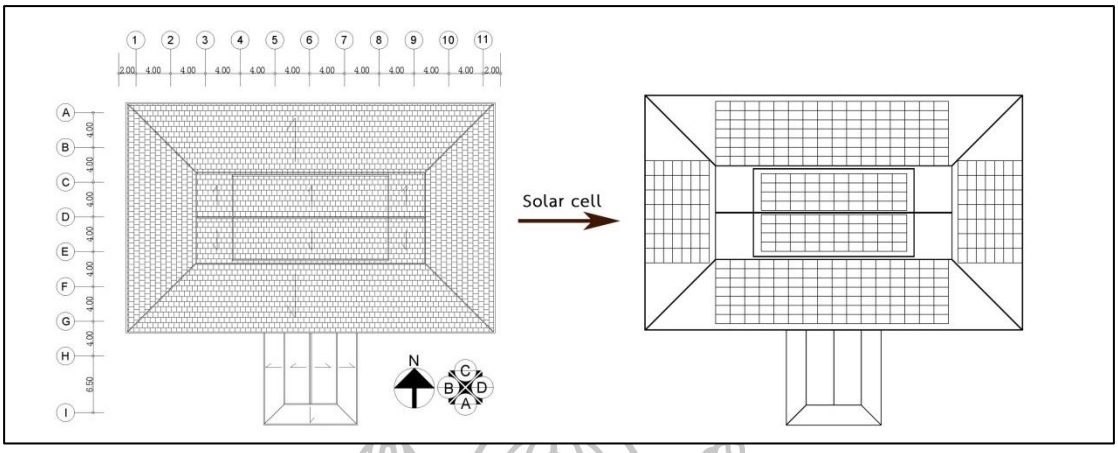


(ก) (ข)

ภาพที่ 87 ผังหลังคาอาคารรูปแบบที่ 1 กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัด
(ก) ผังหลังคาอาคารแบบไม่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์
(ข) ผังหลังคาอาคารแบบที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ บนที่ที่ติดตั้งได้มากที่สุด

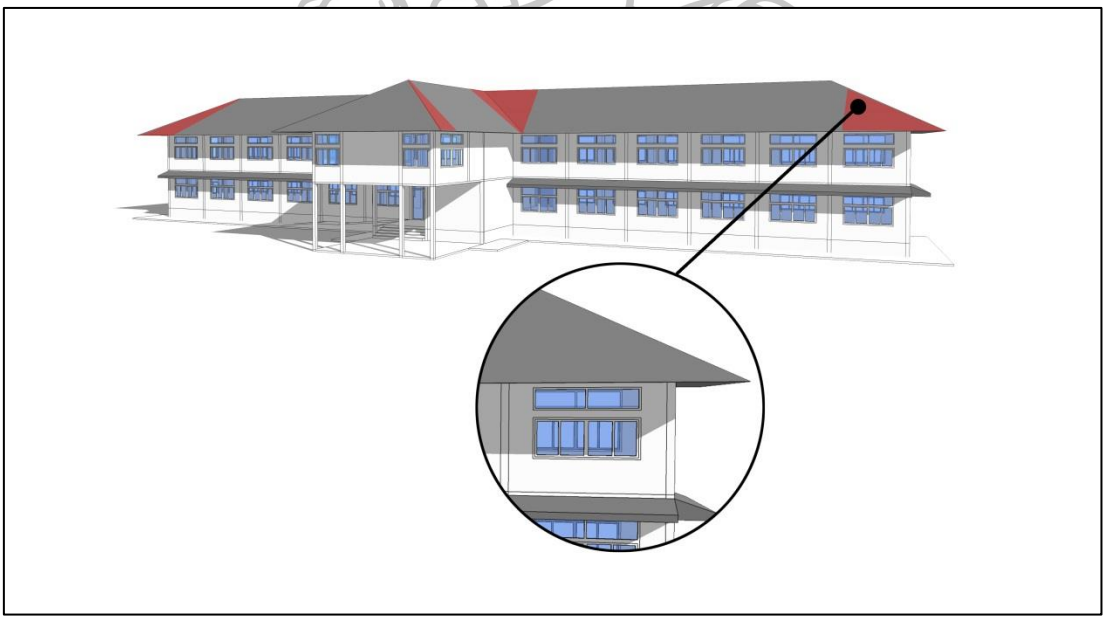


ภาพที่ 88 ตัวอย่างสัดส่วนพื้นที่หลังคาที่ถูกตัดทอนออกไปสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์
อาคารรูปแบบที่ 2

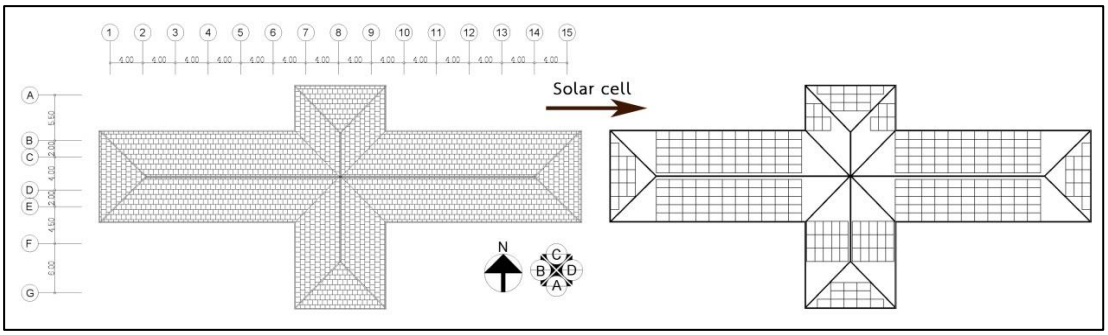


(ก) (ข)

ภาพที่ 89 ผังหลังคาอาคารรูปแบบที่ 2 กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป
(ก) ผังหลังคาอาคารแบบไม่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์
(ข) ผังหลังคาอาคารแบบที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ บนที่ที่ติดตั้งได้มากที่สุด



ภาพที่ 90 ตัวอย่างสัดส่วนพื้นที่หลังคาที่ถูกตัดทอนออกไปสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารรูปแบบที่ 3



(ก) (ข)

ภาพที่ 91 ผังหลังคาอาคารรูปแบบที่ 3 กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่
(ก) ผังหลังคาอาคารแบบไม่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์
(ข) ผังหลังคาอาคารแบบที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ บนที่ที่ติดตั้งได้มากที่สุด

4.2 ทางด้านการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่หลังคาอาคารที่มีอย่างจำกัดตามข้อ 3.1 ซึ่งการใช้พลังงานในอาคารจะถูกควบคุม ให้ต้องลดพลังงานลงให้สมดุลหรือน้อยกว่าพลังงานที่ผลิตได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา จึงจะถือว่าอาคารที่คัดเลือกมาศึกษานั้นสามารถพัฒนาแล้วเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ โดยผลของการศึกษาพลังงานที่สามารถผลิตได้ แสดงในผลการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนของการประเมินขนาดระบบและการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วข้างต้น

4.3 หลังคาของทุกอาคารมีความลาดชันสูง ซึ่งจะส่งผลต่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะไม่สามารถติดตั้งให้แผงมีความลาดชันตามละติจูดของพื้นที่ตั้งโครงการ และการไม่ปรับเปลี่ยนสัดส่วนและรูปลักษณ์ของตามวัตถุประสงค์ของโครงการ จึงมีความจำเป็นต้องติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกด้านของหลังคา เพื่อให้มีพื้นที่ติดตั้งมากที่สุด สำหรับการผลิตพลังงานให้เพียงพอกับความต้องการ แม้ว่าในทิศทางอื่น ๆ จะสามารถผลิตพลังงานได้น้อยกว่าทิศใต้ก็ตาม

การไม่ปรับเปลี่ยนสัดส่วนหลังคาอาคารสำนักงานราชการนั้น เนื่องจากไม่ต้องการให้เกิดความยุ่งยาก และการเพิ่มงบประมาณจากการปรับปรุงโครงสร้างหลังคา และหากมีการนำผลการศึกษานี้ไปใช้เป็นแนวทางพัฒนาแล้ว อาจจะช่วยให้นำไปใช้ได้ง่ายกว่ากว่าการปรับปรุงหลังคาอาคารที่มีอยู่เดิม และสำหรับการปรับปรุงอาคารในส่วนของภาครัฐเอง ที่มักจะมีข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ และระยะเวลาที่จำกัด

แต่ในการออกแบบอาคารใหม่ ในอนาคต ควรพิจารณามุมเอียงและทิศทางการติดตั้งแผงเซลแสงอาทิตย์ ที่เหมาะสม ในแง่ของการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น เป็นหลังคาที่มีพื้นที่ส่วนใหญ่ลาดเอียงมาทางทิศใต้ และมีมุมเอียงที่ใกล้เคียงกับค่าละติจูดของที่ตั้ง จะช่วยให้ใช้จำนวนแผงที่น้อยลง ประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุน

ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษางบประมาณและโครงสร้างที่จะต้องเพิ่มขึ้นของอาคารที่สร้างใหม่ เพื่อรองรับให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในอนาคตได้ เช่น การเผื่อการรับน้ำหนักของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หลังคา เพราะในอนาคตคาดว่าราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงต่อเนื่อง ตลอดจนศึกษารูปแบบอาคารที่สามารถมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า เพื่อให้สามารถติดตั้งแผงได้ เมื่อมีความพร้อมด้านการลงทุน

ในการพัฒนาอาคารภาครัฐ มักจะมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไป อาจกำหนดแนวทางการปรับปรุงพัฒนาอาคาร ตามงบประมาณที่มี ซึ่งจะทำให้เห็นแนวโน้มที่เป็นไปได้ในการพัฒนาอาคารมากขึ้น

2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับค่าที่เหมาะสมของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา (OTTV, RTTV) ในแง่การลงทุน เพื่อเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ เมื่อเปรียบกับการลดพลังงานโดยการใช้วิธีอื่น เช่น เพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ และหลอดไฟ เป็นต้น

3. ควรศึกษาเกี่ยวกับสัดส่วนพื้นที่โปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ที่เหมาะสม ช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร และให้ผลดีด้านการใช้พลังงานในอาคาร เช่น ช่วยลดภาระการปรับอากาศ มีแสงสว่างจากธรรมชาติและการระบายอากาศที่เพียงพอ เพิ่มเติมด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อการนำไปพัฒนาอาคารให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้

4. ควรศึกษาข้อจำกัดของการใช้โปรแกรมเพื่อการประเมินการใช้พลังงานในอาคาร และเปรียบผลของพลังงานที่ประเมินในแต่ละโปรแกรม จะทำให้เห็นถึงความแตกต่างของผลลัพธ์พลังงาน และจะช่วยให้สามารถเลือกใช้โปรแกรมที่มีความเมาะสมได้มากขึ้น

5. ควรมีศึกษาถึงรูปแบบของหลังคาที่ส่งผลต่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อการผลิตพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง และให้ผลคุ้มค่าที่สุด ศึกษาทดลองการติดตั้งในแต่ละทิศทาง ความลาดชัน และขนาดพื้นที่ ที่จะส่งผลให้มีการผลิตพลังงานที่เพียงพอกับความต้องการ ให้เป็นแบบอย่างของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้

รายการอ้างอิง

“กฎกระทรวง กำหนดเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง พ.ศ. 2552.” (2552, 8 เมษายน), **ราชกิจจานุเบกษา**, เล่ม 126 ตอนพิเศษ 23 ก, 25-27.

“กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการ ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552.” **ราชกิจจานุเบกษา** เล่ม 126, ตอนที่ 12 ก (20 กุมภาพันธ์ 2552): 9-15.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. "ตอนที่ 3 บทที่ 3 กรอบอาคาร." ใน **คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร)** (ปทุมธานี: ศูนย์ฝึกอบรมปฏิบัติการด้านการจัดการพลังงาน, 2553), 38-41.

_____. “ระบบปรับอากาศ.” เอกสารเผยแพร่ หมวดที่ 2, ม.ป.ท., (ม.ป.ป.): 2-7.

_____. “รายงานการสรุปแนวทางการออกแบบอาคารต้นแบบประหยัดพลังงาน โครงการศึกษาและพัฒนาเพื่อสร้างต้นแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานสำหรับภาครัฐ.” 2558.

_____. “คู่มือโปรแกรม Building Energy Code การตรวจประเมินอาคารที่ก่อสร้างหรือดัดแปลง เพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมาย.” ม.ป.ท., (ม.ป.ป.): 3-38.

_____. “พลังงานลม.” ใน **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 1**, ม.ป.ท., (ม.ป.ป.), 6-12.

_____. “พลังงานแสงอาทิตย์.” ใน **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2** ,ม.ป.ท., (ม.ป.ป.), 1-5.

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, "แผนที่ศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทย." (2544), เข้าถึงเมื่อ 16 กันยายน, 2558, รูปภาพจาก http://www2.dede.go.th/renew/Twm/main.htm.

กระทรวงพลังงาน, “แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ.2554-2573).” 2554: 3-14.

“การคำนวณหาความจุของแบตเตอรี่และระยะเวลาที่สามารถใช้งานโหลดได้.” เข้าถึงเมื่อ 22 ตุลาคม 2558, เข้าถึงได้จาก www.champbizshop.com.

“การถ่ายทอดความรู้ อาคารต้นแบบพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.” (ม.ป.ป.), เข้าถึงเมื่อ 25 กรกฎาคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://www.thai-explore.net/search_detail/result/494.

การไฟฟ้าผ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. "ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542)." เข้าถึงเมื่อ 16 กันยายน 2558, เข้าถึงได้จาก http://www3.egat.co.th/re/egat_pv/sun_thailand.htm.

_____. (2547). ออน-ไลน์ อ้างถึงใน คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา, “รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการจ้างที่ปรึกษาวิจัยศักยภาพพลังงานลม/พลังงานแสงอาทิตย์ หรือพลังงานทดแทนอื่น ๆ.” พฤศจิกายน 2555.

กิตติยา โสภณโภไคย, “ความหมายและคุณลักษณะสำคัญของหน่วยงานของรัฐ กับการจัดทำประมวลจริยธรรมตามรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พุทธศักราช 2550.” เข้าถึงเมื่อ 16 มกราคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.ombudsman.go.th/10/documents/Ethical211.pdf.

คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา, “รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการจ้างที่ปรึกษาวิจัยศักยภาพพลังงานลม/พลังงานแสงอาทิตย์ หรือพลังงานทดแทนอื่นๆ.” พฤศจิกายน 2555.

“ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์.” (28 กุมภาพันธ์ 2553), เข้าถึงเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2558, รูปภาพจาก http://www.t-how.com/tag/amorphous-silicon-solar- cell/.

จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, “การออกแบบและประยุกต์ผนังวัสดุแผ่นประกับโฟมเพื่อใช้ก่อสร้างอาคารพักอาศัย.” **หน้าจั่ว: วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร**, (2551): 130-134.

ชานนท์ ชูพงษ์, “การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง โดยไม่ใช้ตัววัดรังสีดวงอาทิตย์ กรณีศึกษาระบบที่ติดตั้งในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี,2554), 24-25.

ดนัย เอกกมล, “การปฏิรูปการอนุรักษ์พลังงานในอาคารและหน่วยราชการโดยใช้กลไก BEC” (เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาคณะกรรมาธิการปฏิรูปพลังงาน สภาปฏิรูปแห่งชาติ, สโมสรทหารบก กรุงเทพฯ, 2558), 18.

ดุสิต เครืองาม, ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์, ม.ป.ท., (ม.ป.ป.): 131-132.

นิพนธ์ เกตุจ้อย และคณะ, “การประเมินทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ในประเทศไทย.” (2555).

"ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวม ของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552.” **ราชกิจจานุเบกษา** เล่ม 126, ตอนพิเศษ 122 ง (28 สิงหาคม 2552): 21-58.

“ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์และค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ หน่วยงานทดสอบหาค่ามาตรฐานพลังงานของกระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2533.” **ราชกิจจานุเบกษา** เล่ม 127, ตอนพิเศษ 124 ง (19 พฤศจิกายน 2553): 63.

ปารวี ตั้งจิตวิทยา, “การออกแบบกรอบอาคารบ้านเดี่ยว เพื่อนำไปสู่อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์.” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2556), 1 และ 22.

ปิติรัตน์ ยศวัฒน, 2545: 62-63 อ้างถึงโดย ดลยา ศิริปรุ, “แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐเพื่อการประหยัดพลังงาน : กรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลนคร จ.นครราชสีมา.” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548), 5.

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ PV syst Photovoltaic Software จาก http://www.pvsyst.com/en/

โปรแกรมออนไลน์ จาก http://pvwatts.nrel.gov/index.php

“แผงโซล่าเซลล์ แบบ โพลี ซีรี่ Solar Panel POLY Series.” เข้าถึงเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2558, รูปภาพจาก http://www.truetronix.com/.

พิชยดา จิรวรรษวงศ์, “การศึกษาต้นทุนในการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในบ้านที่อยู่อาศัย.” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์,2556), 43-44.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น และกองทุนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, “รายงานฉบับสุดท้าย โครงการการพัฒนาเทคโนโลยีอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) ที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย.” มกราคม 2557.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น, “อาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building)” (เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาคณะกรรมาธิการปฏิรูปพลังงาน สภาปฏิรูปแห่งชาติ, สโมสรทหารบก กรุงเทพมหานคร, 2558)

มอนเด ดาษดา, “นวัตกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านลอยน้ำ.” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557), 31-33 และ 98-99.

“เรื่องของกระจก The Story of Glass.” เข้าถึงเมื่อ 18 มกราคม 2559, เนื้อหาจาก http://www.2e-building.com/article.php?cat=knowledge&id=188.

เลอสม สถาปิตานนท์, **สถานที่ราชการสมัยรัชกาลที่ 1 ถึงรัชกาลที่ 9**, ม.ป.ป. (กรุงเทพฯ : ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

ศาลากลางจังหวัดมหาสารคาม, “รายงานการจัดการพลังงาน ประจำปี 2557.” ม.ป.ท., ม.ป.ป.

ศิริชัย วัฒนาโสภณ และ สาริณี อุยตระกูล, “รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการจ้างที่ปรึกษาวิจัยศักยภาพพลังงานลม/พลังงานแสงอาทิตย์ หรือพลังงานทดแทนอื่น ๆ.” 2555.

ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ, “รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการสนับสนุนเพื่อการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการสถานีผลิตพลังงานสีเขียว Distributed Green Generation: DGG (โครงการศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมของโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน อ.จะนะ จ.สงขลา).” 2556.

สัมภาษณ์ วิรัตน์ สุขน้อย, วิศวกร/FM อาคาร Zero Carbon Store Tesco Lotus (ตลาดโลตัส) อ.บางพระ จ.ชลบุรี, 31 กรกฎาคม 2558.

สัมภาษณ์ สุภาพ ผิวผุย, นายช่างไฟฟ้าชำนาญงาน สำนักงานจังหวัดมหาสารคาม, 9 กุมภาพันธ์ 2559.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, “ความรู้พื้นฐานด้านพลังงาน 2.” ใน **โครงการลดใช้พลังงานในภาครัฐ**, (2558), 22-27.

อภิชญา อธิคมบัณฑิตกุล, “การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวัสดุหลังคาที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำและฉนวนกันความร้อนทั่วไป.” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2555), 14.

“อาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building)” (เอกสารในการประชุมสัมมนาคณะกรรมาธิการปฏิรูปพลังงาน สภาปฏิรูปแห่งชาติ, สโมสรทหารบก กรุงเทพมหานคร,2558).

Angel A. Bayod-Rújula, Abel Ortego-Bielsa, and Amaya Martínez-Gracia, Photovoltaics on flat roofs: Energy considerations. **Energy,** 36 (2011): 1996-2010.

Anna Joanna Marszal and Per Heiselberg, Zero Energy Building definition – a literature review. **IEA SHC/ECBCS Task 40/Annex 52 – Towards Net Zero Energy Solar Buildings**, (2011): 5.

Case of the month – Singapore (2012). accessed September 14, 2015, available from http://www.re-green.eu/en/go/case-of-the-month---singapore.

C-Lite Company Limited., **คุณสมบัติบล็อคซีไล้ท์**, 2553, เข้าถึงเมื่อ 15 พฤษภาคม 2559, รูปภาพจาก http://www.c-lite.net/facility_th.html.

Eco Structures Pvt. Ltd., **Lightpipe**, accessed May 15, 2016, available from http://www.ecostructures.in/?page_id=37.

Eike Musal, “**Towards Net Zero Energy Solar Buildings.”** (2013), accessed November 20, 2015, available from: http://batchgeo.com/map/net-zero-energy-buildings.

F. Almonacid, et al., Calculation of the energy provided by a PV generator. Comparative study: Conventional methods vs. artificial neural networks. **Energy,** 36 (2010): 375-384.

François GARDE, Towards Net Zero Energy Buildings in Hot Climates: Part 1, New Tools and Methods. **ASHRAE**(2011): 1-3.

Igor Sartori , Assunta Napolitano, and Karsten Voss, Net zero energy buildings: A consistent definition framework. **Energy and Buildings** 48 (2012): 220-232.

Igor Sartori, et al., Criteria for Definition of Net Zero Energy Buildings. **EuroSun Conference Graz** (2010): n. pag.

Karsten Voss and Eike Musall, **Net Zero Energy Buildings International Project of Carbon Neutrality in Building**, 2013 new ed. (Hackerbrucke 6, D-80335 Munich: GmbH&Co.KG, 2011), 12-26,50.

Laura Aeleneia and Helder Gonçalves, From solar building design to Net Zero Energy Buildings: performance insights of an office building. **Energy Procedia** 48 (2014): 1236–1243.

Mitsubishi Electric solar electric innovations. **"MLU series Photovoltaic Module."** n.d., accessed JUNE 1,2016, available from: http://www.mitsubishielectric-solar.com/images/uploads/documents/specs/MLU_spec_sheet_250W_255W.pdf.

Paul Torcellini, et al., "Zero Energy Buildings : A Critical Look at the Definition." **National Renewable Energy Laboratory : Innovation for Our Energy Future**, **Conference Paper NREL/CP-550-39833**, (June 2006):1-15.

Shady Attia, et al., Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design. **Energy and Buildings**, (2011): 2-15.

"Sharp NA-V128H1, 128 Watt Thin Film Solar Panel." เข้าถึงเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2558, รูปภาพจาก http://www.gogreensolar.com/products/sharp-na-v128h1-128-watt-thin-film-solar-panel.

Singapore government. **"The island's first retrofitted ZERO energy building."** (2010), accessed September 14, 2015, available from: https://www.bca.gov.sg/zeb/default.html.

Surapong Chirarattananon, "Building Energy Conservation in Thailand, in The Joint Graduate School of Energy and Materials." (n.d.), 27.

System integration for optimal production output of solar farms, Schneider Electric Thailand, 2553.

Tatsuo Ito. **Japan Pushes Zero-Energy Structures** (2014), accessed September 14,2015, available from http://www.wsj.com/articles/japan-pushes-zero-energy-structures-1411745117

Yudelson Associates. "**Building and Construction Authority Zero Energy Building Braddell Road Campus, Singapore**." (2011). accessed June 6, 2015, available from http://www.solaripedia.com/ files/1009.pdf

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการใช้โปรแกรม Building Energy Code (BEC) V 1.0.6 และ โปรแกรม PVsyst Photovoltaic Software Version 6.43

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาอาคาร ด้วยโปรแกรม Building Energy Code (BEC) V.1.0.6

การศึกษานี้ คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา (OTTV, RTTV) ด้วยโปรแกรม Building Energy Code (BEC) V.1.0.6[1] โดยความสามารถของโปรแกรมนี้จะแสดงผลด้านพลังงานในอาคารส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. Envelope System: รายงานค่า OTTV / RTTV ของตัวอาคาร และแบ่งตามด้านผนัง
2. Lighting System: รายงานสมรรถนะด้านพลังงานของระบบแสงสว่าง
3. DX Air-Conditioning Unit: รายงานสมรรถนะด้านพลังงานของระบบปรับอากาศแบบเป็นชุด
4. Central Air-Conditioning System: รายงานสมรรถนะด้านพลังงานของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์
5. PV System Report: รายงานค่าพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์
6. Hot Water System Report: รายงานค่าพลังงานของระบบเครื่องทำน้ำร้อน
7. Whole Building Energy: รายงานสมรรถนะด้านพลังงานและประเมินพลังงานรวม
8. Shading Coefficient: เครื่องมือช่วยในการหาค่า Shading Coefficient

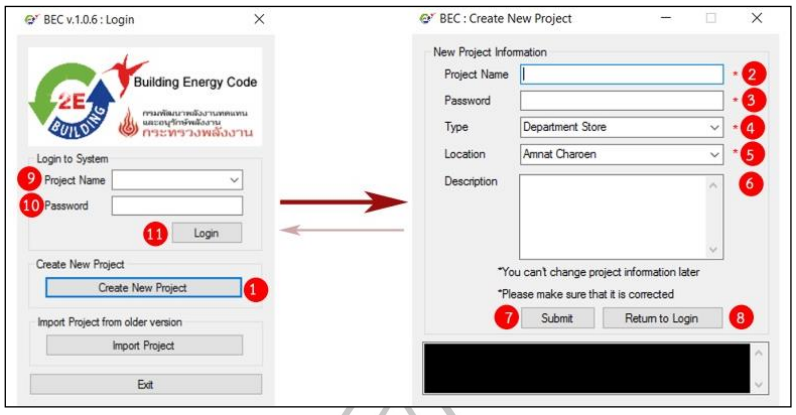
การประเมินการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา (OTTV, RTTV) ได้ศึกษาจากคู่มือโปรแกรม Building Energy Code การตรวจประเมินอาคารที่ก่อสร้างหรือดัดแปลง เพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมาย โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน[2] โดยได้แสดงวิธีการใช้โปรแกรมโดยสังเขป ดังนี้

1. การเข้าสู่ระบบ เมื่อกดเข้าสู่โปรแกรม จะปรากฏหน้าต่างเข้าสู่ระบบ (ภาพที่ 91 (ก)) ต้องทำการเลือกโครงการ ที่จะประเมิน (project name) และใส่ข้อมูลรหัสผ่าน (password) หรือลงทะเบียนสำหรับการเริ่มอาคารใหม่ (ภาพที่ 91 (ข)) โดยตั้งชื่อโครงการ (project name) และตั้งรหัสผ่าน (password) เลือกประเภทโครงการ (type) และที่ตั้งโครงการ (location) ซึ่งจะมีผลในการพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา ที่มีเกณฑ์แตกต่างกันไปตามแต่ละประเภทอาคาร อาจเขียนคำอธิบายโครงการ (description) แล้วจึงกดปุ่ม Submit เพื่อเข้าสู่ระบบตามที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น

---

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, “คู่มือโปรแกรม Building Energy Code การตรวจประเมินอาคารที่ก่อสร้างหรือดัดแปลง เพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมาย.” ม.ป.ท., (ม.ป.ป.): 3-38.

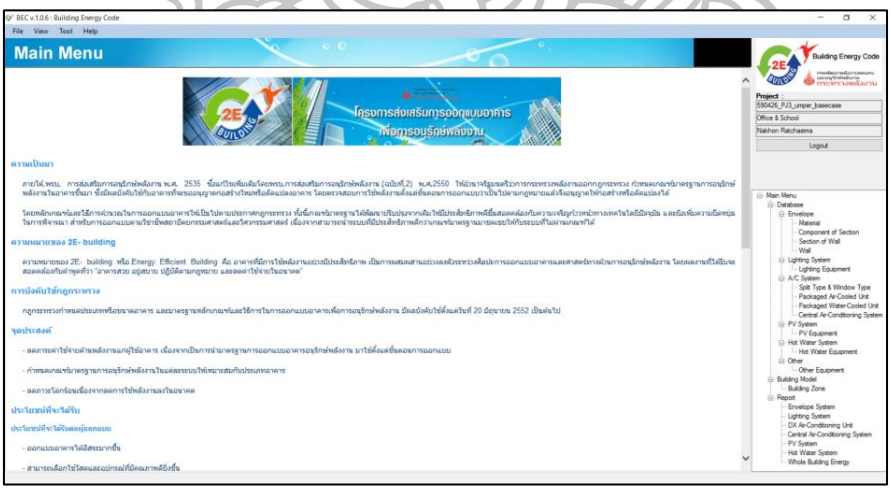
[2] เรื่องเดียวกัน.



(ก) (ข)

ภาพที่ 92 แสดงหน้าต่างโปรแกรม BEC และลำดับการเข้าสู่ระบบ
(ก) การเข้าสู่โปรแกรม (ข) การตั้งค่าโครงการสำหรับการเริ่มใช้อาคารใหม่

2. หน้าหลักของโปรแกรม หลังจากเข้าสู่ระบบแล้ว จะเข้ามาในหน้าหลักของโปรแกรม ดังภาพที่ 92



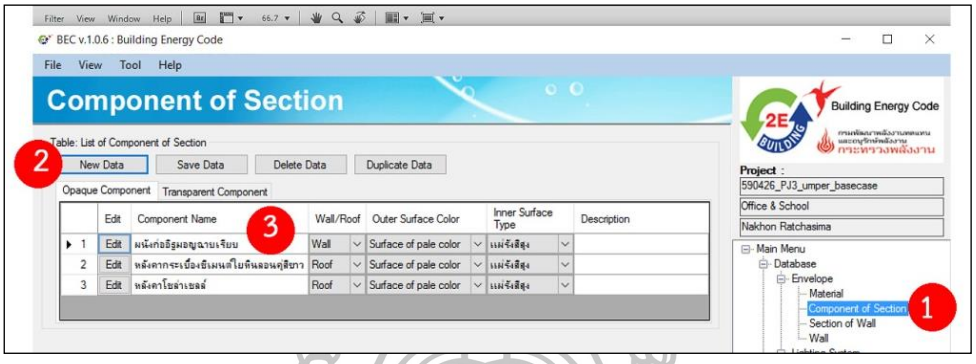
ภาพที่ 93 แสดงหน้าหลักของโปรแกรม BEC

3. เลือกเมนู Database

3.1 เลือก Component of Section เพื่อเลือกกำหนดส่วนประกอบของผนังทึบ (opaque component) และผนังโปร่งแสงของอาคาร (transparent component) ที่จะทำการประเมิน

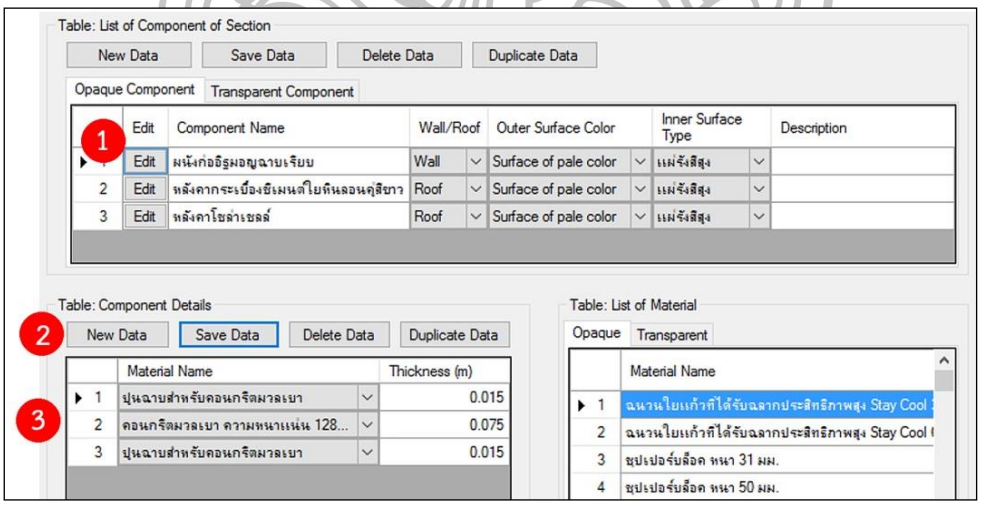
ซึ่งในการเลือกส่วนประกอบของผนังทึบ (opaque component) จะมีตัวเลือก new data ที่ใช้เพิ่มข้อมูลลงในตาราง โดยระบุชนิดของวัสดุซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังทึบหรือ

หลังคาได้ และจึงเลือกวัสดุผนังโปร่งแสง (transparent component) ซึ่งมีวิธีการเดียวกัน หลังจากนั้นจึงกดปุ่ม “Save Data”



ภาพที่ 94 แสดงลำดับการกรอกข้อมูลผนัง

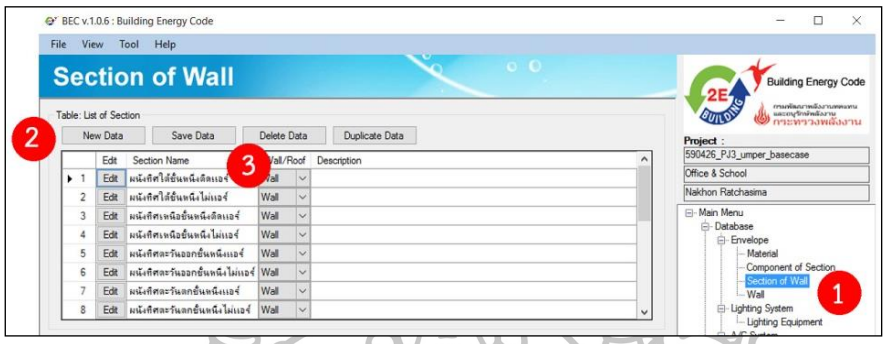
ปุ่ม Edit ที่ปรากฏหน้าของ “Component Detail” และ “List of Material” ขึ้นมา ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของวัสดุต่างๆได้ สามารถกรอกข้อมูล ระบุชื่อของวัสดุ (material name) และความหนาของวัสดุ (thickness) มีหน่วยเป็นเมตร (m) หลังจากนั้นจึงกดปุ่ม “Save Data”



ภาพที่ 95 แสดงลำดับการระบุส่วนประกอบวัสดุ (component detail) ที่ประกอบกันเป็นผนังหลังคา และชนิดกระจก

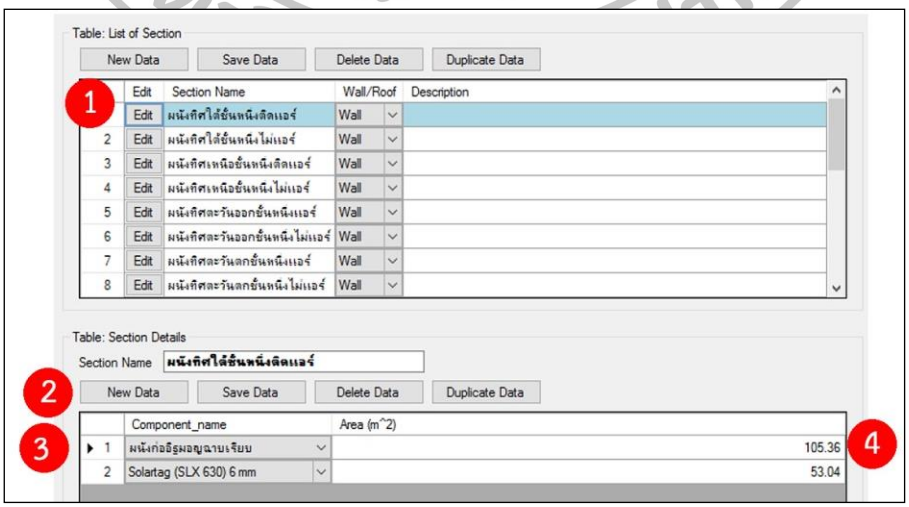
3.2 เลือก Section of Wall เพื่อรวบรวมกลุ่มวัสดุของผนังส่วนต่าง ๆ โดยมีส่วนประกอบ 2 ส่วน ดังนี้

List of Section เป็นส่วนที่แสดงรายละเอียดของเซคชั่นกรอบอาคาร กดปุ่ม New Data เพื่อเพิ่มข้อมูลในตามราง แบ่งกลุ่มของผนังทึบ กระจกหรือหลังคา ที่ประกอบกันจนเป็นเซคชั่น (หรือหมายความว่า ที่ประกอบกันเป็นผนังหรือหลังคาหนึ่งแผ่น) ซึ่งจะต้องระบุชื่อกลุ่มในช่อง “Section Name” และระบุว่าเป็นส่วนของผนังหรือหลังคาในช่อง “Wall/Roof” รวมทั้งอาจระบุรายละเอียดอื่น ๆ ได้ในช่อง “Description” หลังจากนั้นจึงกดปุ่ม “Save Data”



ภาพที่ 96 ลำดับการกรอกข้อมูล “Section of Wall” ในส่วน “List of Section” โปรแกรม BEC

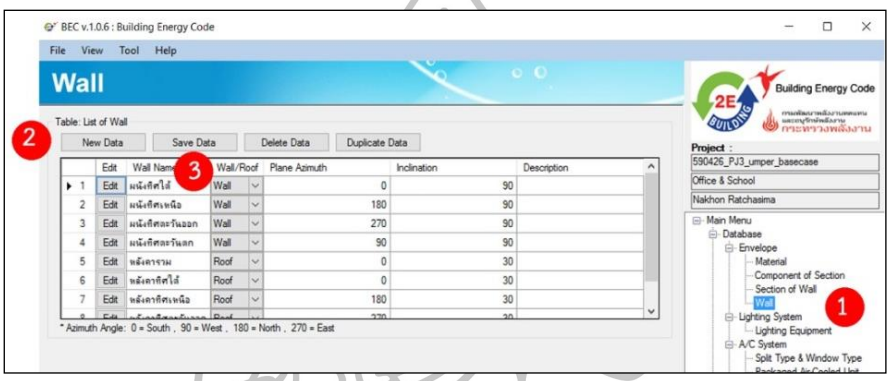
Section Detail หลังจากกดปุ่ม “Edit” จะปรากฏหน้า “Section Detail” ซึ่งจะมีส่วนที่ระบุชื่อกลุ่ม “Section Name” ที่ได้กรอกข้อมูลไว้แล้วในเบื้องต้น ในส่วนนี้ให้ทำการเลือกข้อมูลส่วนประกอบของผนังหรือหลังคา (ซึ่งกำหนดชนิดวัสดุไว้ใน ข้อ 4.1.3.1) ที่ประกอบกันรวมเป็นกลุ่มเซคชั่น ที่ได้ตั้งไว้ โดยเลือกส่วนประกอบของผนังหรือหลังคาในช่อง “Component Name” และระบุพื้นที่ของส่วนประกอบนั้นๆ มีหน่วยเป็นตารางเมตร ในช่อง area หลังจากนั้นจึงกดปุ่ม “Save Data”



ภาพที่ 97 ลำดับการกรอกข้อมูล “Section of Wall” ในส่วน “Section Detail” โปรแกรม BEC

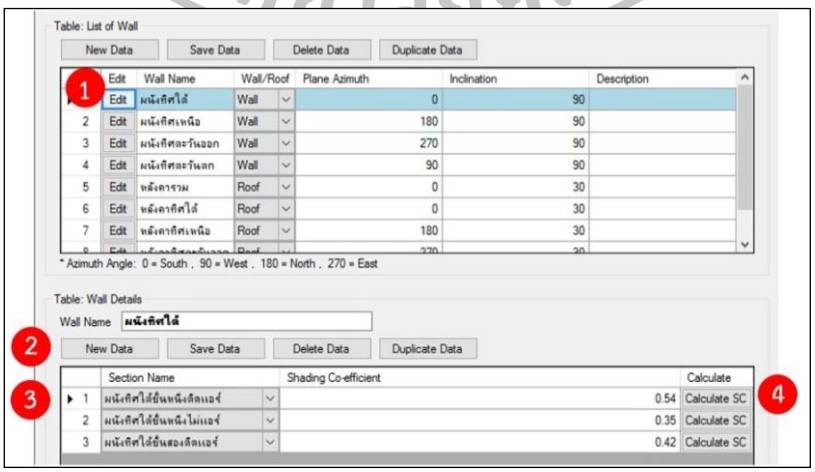
3.3 เลือก Wall เป็นส่วนที่รวบรวมกลุ่มของ “Section of Wall” โดยแบ่งส่วนประกอบเป็น 2 ส่วน ดังนี้

List of Wall เป็นส่วนที่แสดงกลุ่มชื่อของผนัง อาจแบ่งเป็นทิศทางของตำแหน่งผนังแต่ละด้านของอาคาร กดปุ่ม “New Data” ใช้สำหรับเพิ่มข้อมูลลงในตาราง จะปรากฏหน้าต่างมาให้กรอกชื่อผนัง (wall name) และต้องระบุว่าเป็นส่วนผนังหรือหลังคา (wall/roof) กำหนดมุม “Plane Azimuth” และมุม “Inclination” หรืออาจระบุรายละเอียดอื่นๆของผนัง (description) ด้วยได้



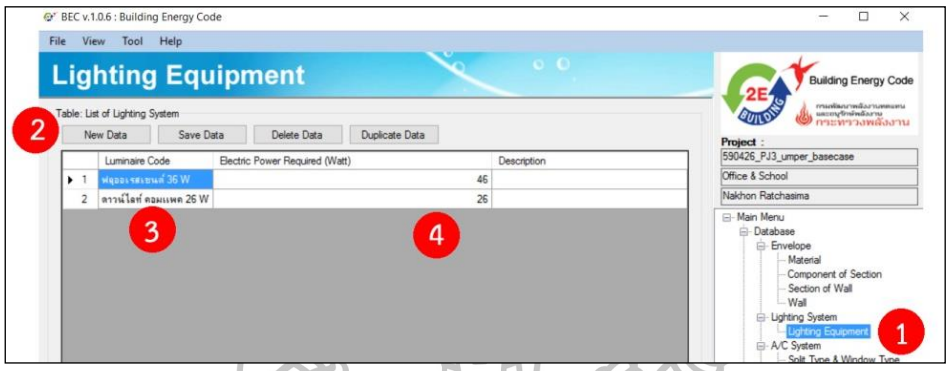
ภาพที่ 98 ลำดับการกรอกข้อมูล “Wall” ในส่วนของ “List of Wall” โปรแกรม BEC

หลังจากนั้นกดที่ Edit จะปรากฏหน้าของ **Wall Details** ในส่วนนี้จะมี “Wall Name” ระบุไว้ เพื่อให้ทราบว่ากำลังกรอกข้อมูลในส่วนของผนังส่วนไหนอยู่ ให้กดปุ่ม “New Data” เพื่อเพิ่มข้อมูลในตาราง โดยรายละเอียดของส่วนประกอบผนังจาก “Section of Wall” จะปรากฏขึ้นให้เลือก “Section Name” หลังจากนั้นให้ระบุค่าของ “Shading Co-efficient” หรืออาจคำนวณได้โดยการกดปุ่ม “Calculate SC” หลังจากนั้นจึงกดปุ่ม “Save Data”



ภาพที่ 99 ลำดับการกรอกข้อมูล “Wall” ในส่วนของ “Wall Details” โปรแกรม BEC

4. เลือกคำสั่ง Lighting Equipment เพื่อระบุข้อมูลเกี่ยวกับไฟฟ้าแสงสว่าง โดยสามารถจัดการและกรอกข้อมูลตามโซน ได้เมื่อกดปุ่ม “New Data” จะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาให้กรอกชื่อของไฟฟ้าแสงสว่าง (luminaire code) แล้วจึงระบุความต้องการไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์ (electric power required) และอาจระบุรายละเอียดอื่น ๆ ของไฟฟ้าแสงสว่าง (description) ด้วยก็ได้ หลังจากนั้นจึงกดปุ่ม “Save Data”



ภาพที่ 100 ลำดับการกรอกข้อมูลระบบไฟฟ้าแสงสว่างในโปรแกรม BEC

5. เลือกคำสั่ง A/C System

เลือก Split Type & Window Type เป็นส่วนที่ต้องระบุรายละเอียดของระบบปรับอากาศประเภท “Split Type” และ “Window Type” โดยเลือก “New Data” แล้วจะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาให้

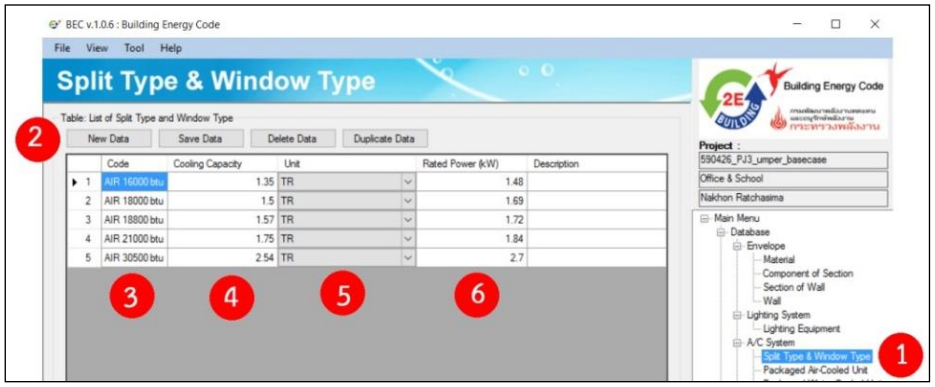
5.1 กรอกชื่อของระบบปรับอากาศ (code)

5.2 ระบุขนาดของระบบปรับอากาศ (cooling capacity)

5.3 ระบุหน่วยของขนาดระบบปรับอากาศ (unit)

5.4 ระบุกำลังไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ มีหน่วยเป็น kW

5.5 อาจระบุรายละเอียดอื่นๆของระบบปรับอากาศ (description) ด้วยก็ได้

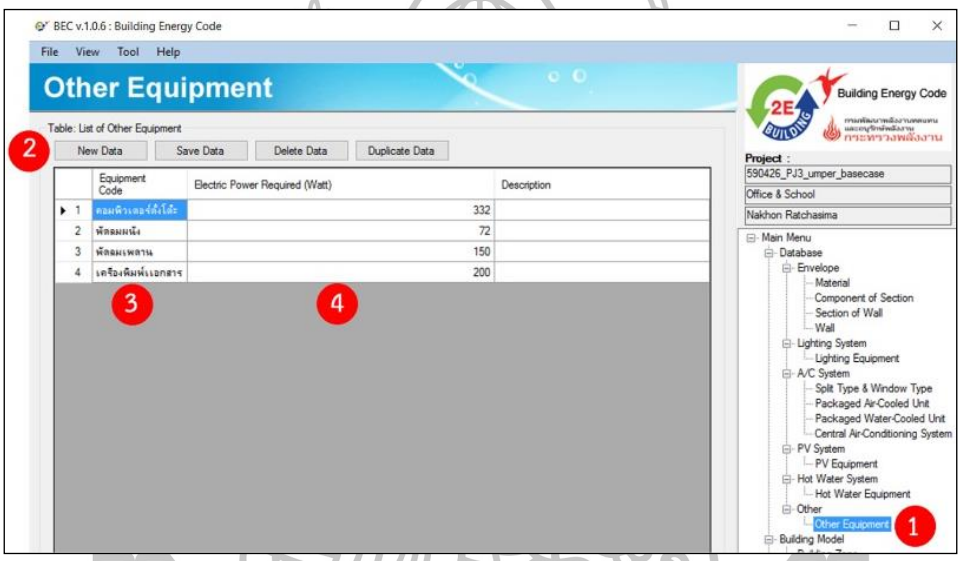


ภาพที่ 101 ลำดับการกรอกข้อมูลระบบปรับอากาศ ในโปรแกรม BEC

นอกจากนี้ยังสามารถระบุรายละเอียดระบบปรับอากาศประเภทอื่นๆได้จากการเลือกคำสั่งต่าง ๆ ดังนี้ Packaged Air-Cooled Unit, Packaged Water-Cooled Unit และ Central Air-Conditioning System

6. เลือกคำสั่ง Other

เลือก Other Equipment การระบุรายละเอียดของอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ทำได้โดยเลือก “New Data” เพื่อเพิ่มข้อมูลลงในตาราง ให้ระบุชื่อของอุปกรณ์ไฟฟ้า (equipment code) ระบุความต้องการไฟฟ้า หน่วยเป็นวัตต์ (electric power required) และอาจระบุรายละเอียดอื่นๆ ของอุปกรณ์ไฟฟ้า (description) ด้วยก็ได้ หลังจากนั้นจึงกดปุ่ม “Save Data”

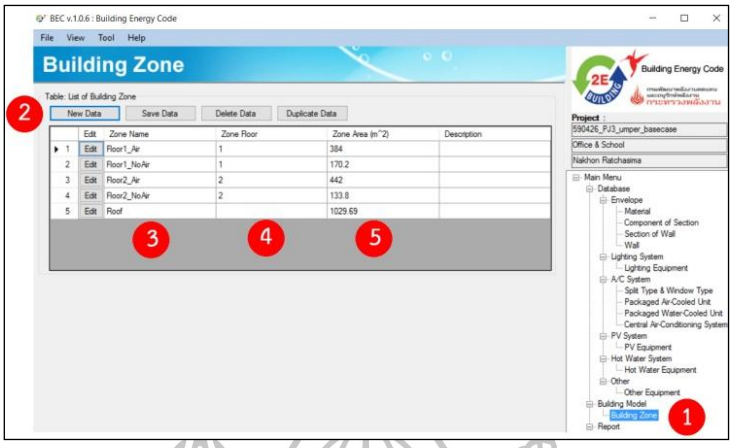


ภาพที่ 102 ลำดับการกรอกข้อมูลรายละเอียดอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ในอาคาร โดยใช้โปรแกรม BEC

7. เลือกคำสั่ง Building Model

เลือก Building Zone แบ่งโซนของ “Wall” และอุปกรณ์ แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

List of Building Zone เป็นส่วนที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มโซน การเพิ่มข้อมูลลงในตารางโดยกด “New Data” และจะปรากฏหน้าต่างให้ระบุชื่อโซน (name) ระบุชั้นของโซน (floor) ระบุขนาดพื้นที่ของโซน มีหน่วยเป็นตารางเมตร และอาจระบุรายละเอียดอื่นๆของโซน ด้วยก็ได้ หลังจากนั้นจึงกดปุ่ม “Save Data”

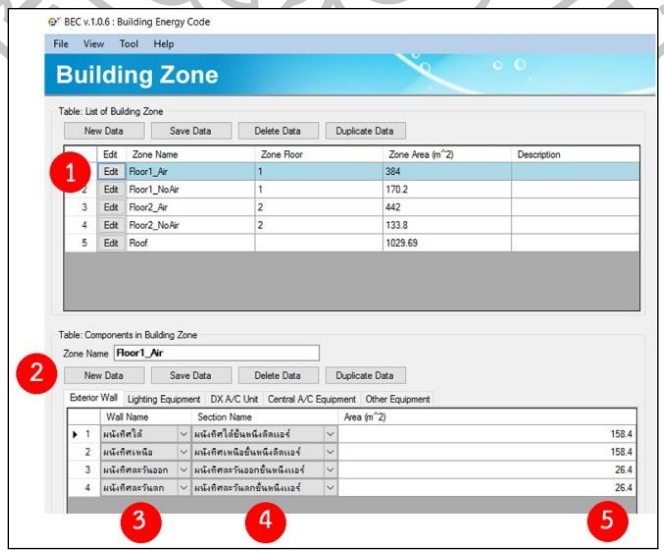


ภาพที่ 103 ลำดับการกำหนดโซนของอาคาร (building zone) ในคำสั่ง “List of Building Zone” โปรแกรม BEC

หลังจากนั้นกดปุ่ม “Edit” หน้าชื่อโซนต่าง ๆ ที่ได้ตั้งไว้ จะปรากฏหน้าต่างในส่วนของ “Components in Building Zone” ซึ่งจะต้องระบุเลือกรายเอียด ดังนี้

Exterior Wall ระบุรายละเอียดชนิดผนังภายนอกของโซนนั้น ๆ โดยกดปุ่ม “New Data” ระบุชนิดของผนัง (wall name) ระบุชนิดของเซคชั่น (section name) และระบุพื้นที่ของผนังมีหน่วยเป็นตารางเมตร หลังจากนั้นจึงกดปุ่ม “Save Data”

นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถระบุข้อมูล Lighting Equipment, A/C System, และ Other Equipment ในแต่ละโซนต่อจากการระบุชนิดผนัง โดยกดปุ่ม “New Data” แล้วระบุชื่อของอุปกรณ์และจำนวนของอุปกรณ์ในโซนนั้นๆ หลังจากนั้นจึงกดปุ่ม “Save Data”



ภาพที่ 104 ลำดับการกำหนดโซนของอาคารในคำสั่ง “Components in Building Zone” โปรแกรม BEC

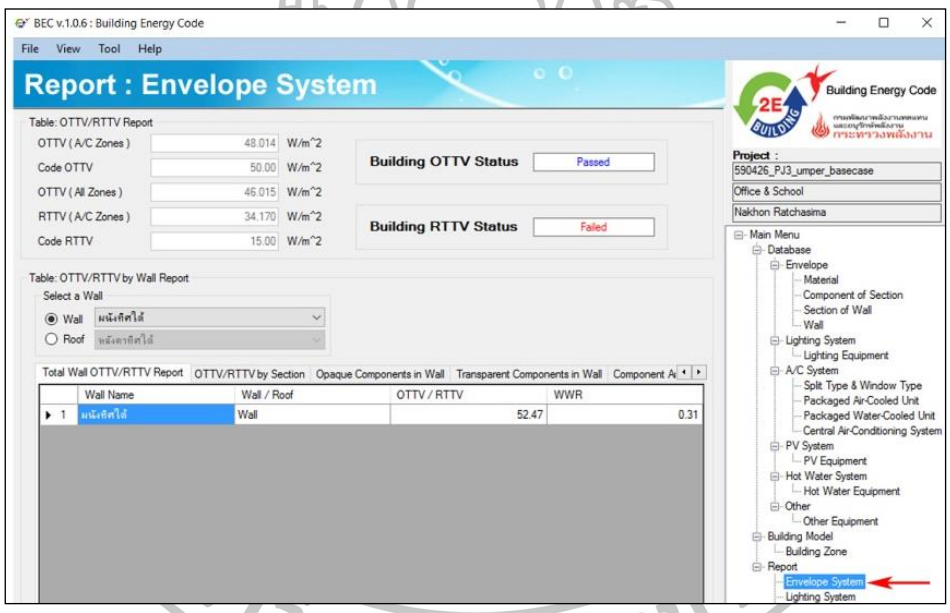
8. การแสดงผลการคำนวณของโปรแกรม (คำสั่ง Report)

เลือก Envelope System เพื่อรายงานค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา (OTTV, RTTV) ของตัวอาคารและแบ่งตามด้านของผนัง ซึ่งจะมีตารางแสดงผล 2 ส่วน คือ

1. OTTV / RTTV Report แสดงรายงานค่า OTTV, RTTV รวมของทั้งอาคาร

2. OTTV / RTTV by Wall Report แสดงรายงานค่า OTTV, RTTV แบ่งตามผนัง

ผลของค่า OTTV, RTTV ถ้าหากผ่านการประเมินจะแสดงเป็นตัวหนังสือสีแดงว่า Failed และถ้าผลผ่านเกณฑ์การประเมินจะแสดงเป็นสีฟ้าว่า “Passed” โดยจะแสดงค่า OTTV ในโซนปรับอากาศและในทุก ๆ โซน รวมทั้งแสดงระดับมาตรฐานตามกฎหมายให้เปรียบเทียบด้วยการแสดงผลค่า RTTV และแสดงระดับมาตรฐานตามกฎหมายเช่นกัน นอกจากนี้ในหน้า OTTV / RTTV by Wall Report ยังสามารถเลือกดูผลสรุปในแต่ละโซนหรือแต่ละผนังได้



ภาพที่ 105 การแสดงผลการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของโปรแกรม BEC

เลือก Lighting System เพื่อตรวจสอบและแสดงผลของระบบแสงสว่าง ซึ่งสามารถเลือกดูได้ 2 ส่วน คือ

1.ส่วนข้อมูลด้านบนจะแสดง

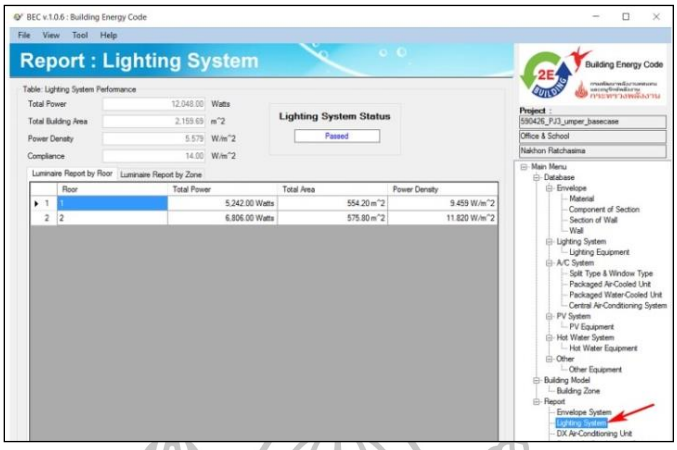
1.1 ผลรวมของระบบพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง (total power) มีหน่วยเป็นวัตต์

1.2 แสดงผลรวมของพื้นที่อาคาร มีหน่วยเป็นตารางเมตร (total building area)

1.3 แสดงระดับประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแสงสว่างทั้งอาคาร (compliance)

1.4 แถบแสดงผลประสิทธิภาพตามเกณฑ์ (status)

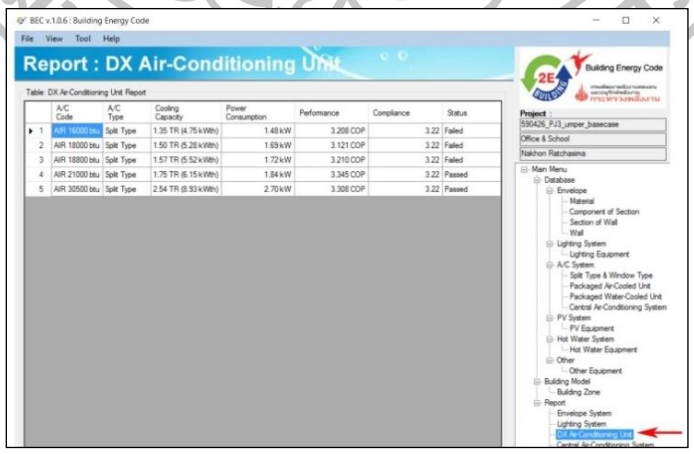
2.ส่วนตารางรายงานผลด้านล่าง จะแสดงรายงานผลรวมของระบบแสงสว่างแบ่งตามชั้นและตามโซนที่ได้ทำการกรอกข้อมูลไว้



ภาพที่ 106 การแสดงผลประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง โปรแกรม BEC

เลือก DX Air-Conditioning Unit เพื่อตรวจสอบรายงานสมรรถนะด้านพลังงานของระบบปรับอากาศแบบเป็นชุด ซึ่งจะมีการรายงานดังนี้

1. แสดงชื่อของระบบปรับอากาศ (A/C name)
2. แสดงประเภทของระบบกรับอากาศ (A/C type)
3. แสดงขนาดของระบบปรับอากาศ มีหน่วยเป็น TR และ kWth
4. แสดงพลังงานของระบบปรับอากาศ มีหน่วยเป็น kW (power consumption)
5. แสดงประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ มีหน่วยเป็น COP (performance)
6. แสดงเกณฑ์มาตรฐาน
7. แสดงระดับประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ (status)



ภาพที่ 107 การแสดงผลประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ โปรแกรม BEC

จากการใช้โปรแกรม BEC ข้างต้น ในการประเมินตรวจสอบสำหรับการศึกษานี้ จะใช้ตรวจสอบเฉพาะค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา (OTTV, RTTV) เท่านั้น

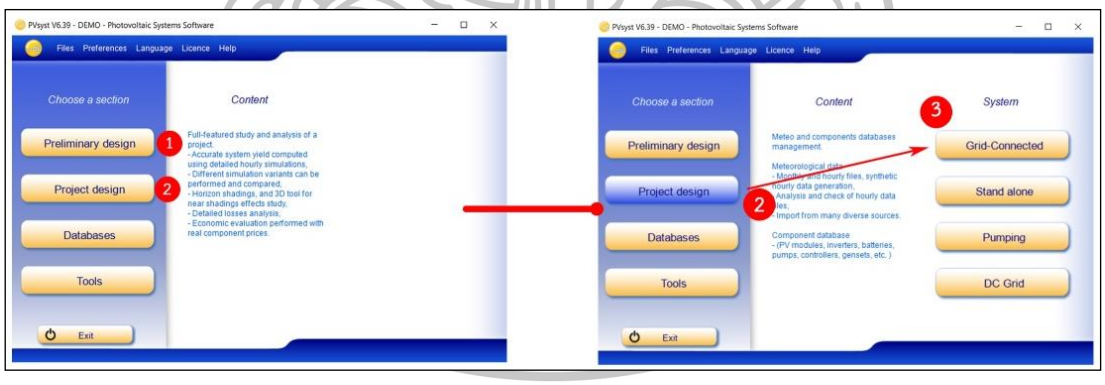
การคำนวณขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ จากพื้นที่หลังคาอาคารที่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากที่สุด ด้วย PVsyst Photovoltaic Software Version 6.43[3]

PVsyst เป็นโปรแกรมสำหรับการออกแบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสามารถคำนวณการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากขนาดพื้นที่ที่ติดตั้ง หรือจากขนาดระบบที่ต้องการก็ได้ ซึ่งสามารถเลือกข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ได้จากฐานข้อมูลของโปรแกรม ที่เป็นข้อมูลจากผู้ผลิตอย่างละเอียด และยังมีฐานข้อมูลของอุตุนิยมวิทยาของประเทศไทย กรุงเทพมหานครและเชียงใหม่

การใช้โปรแกรมเพื่อคำนวณขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์และปริมาณพลังงานที่ผลิตได้ อธิบายโดยสังเขป ดังนี้

1. การเข้าสู่โปรแกรม เมื่อกดเข้าสู่โปรแกรมจะปรากฏหน้าต่างให้เลือกคำสั่งในการออกแบบขนาดของระบบ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1.1 Preliminary design เป็นการออกแบบและคำนวณขนาดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์หรือปริมาณพลังงานที่ผลิตได้อย่างรวดเร็ว โดยกำหนดการคำนวณจากพื้นที่ติดตั้งหรือขนาดความต้องการของระบบ ยังไม่มีการระบุรายละเอียดขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือรายละเอียดจากยี่ห้อผู้ผลิต สามารถระบุลักษณะการติดตั้งและมุมของการติดตั้งได้ ไม่มีการระบุขนาดของอินเวอร์เตอร์ จากนั้นจึงเลือกคำสั่งให้คำนวณปริมาณพลังงานที่ผลิตได้



ภาพที่ 108 หน้าต่างโปรแกรม PVsyst และการเลือกวิธีการออกแบบขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์

1.2 ในการศึกษานี้เลือกใช้คำสั่ง Project design → Grid-Connected จะปรากฏหน้าต่างใหม่ขึ้นมา (new project) ให้กำหนดชื่อโครงการ (project's name) และวันเริ่มต้นในการคำนวณ

2. เลือกคำสั่ง Site and Meteo เพื่อกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของโครงการ ซึ่งจะส่งผลต่อข้อมูลสถิติอุตุนิยมวิทยา และความเข้มแสงอาทิตย์ตามพื้นที่ตั้งนั้น ๆ โดยในโปรแกรมนี้มีข้อมูลที่ตั้ง

[3] โปรแกรมคอมพิวเตอร์ PV syst Photovoltaic Software จาก http://www.pvsyst.com/en/

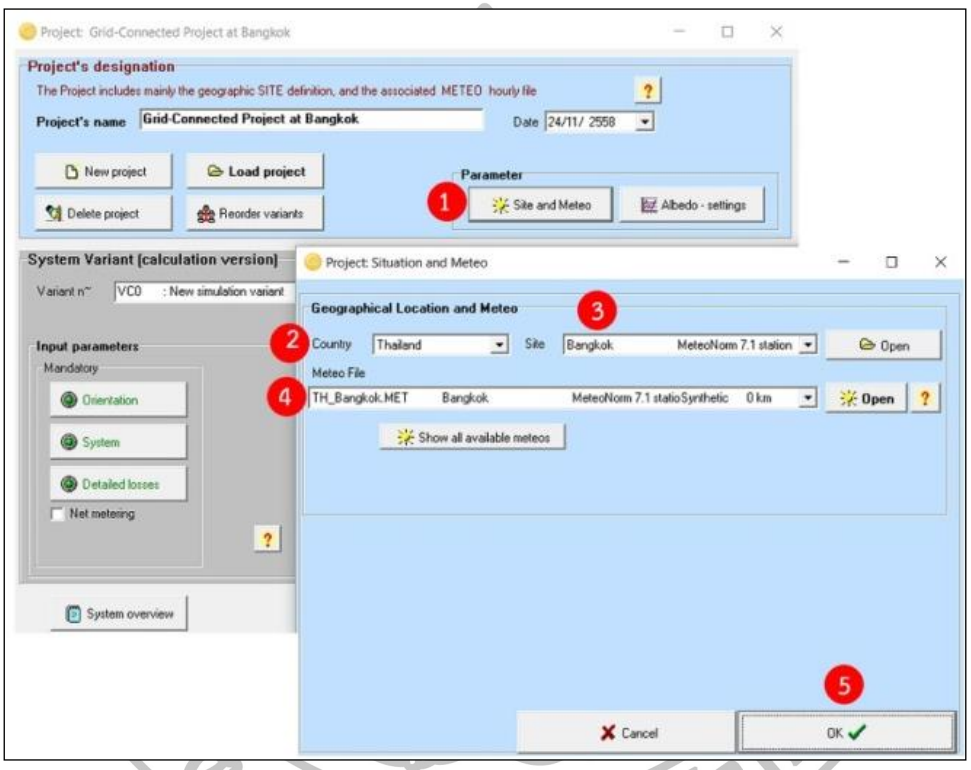
จังหวัดในประเทศไทย 2 จังหวัด คือเชียงใหม่และกรุงเทพมหานคร การศึกษานี้เลือกกรุงเทพมหานคร

2.1 ในแถบคำสั่ง “Country” เลือก “Thailand”

2.2 ในแถบคำสั่ง “Site” เลือก “Bangkok MeteoNorm 7.1 station”

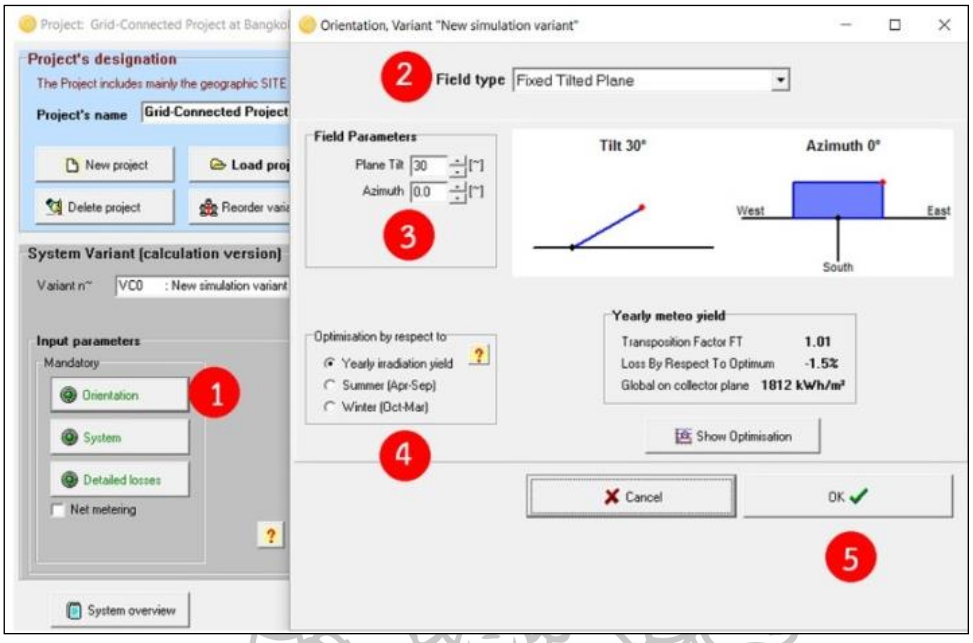
2.3 ในแถบคำสั่ง “Meteo File” เลือก “TH_Bangkok.Met”

2.4 จากนั้นจึงกด OK



ภาพที่ 109 ลำดับการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งโครงการ ในโปรแกรม PVsyst

3. เลือกคำสั่ง Orientation เพื่อกำหนดทิศทางและมุมเอียงของหลังคาและการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยกำหนดในแถบ “Field type” ให้เป็นการติดตั้งบนหลังคาแบบ “Fixed Tilted Plane” จากนั้นจึงกำหนดมุมเอียงของการติดตั้ง (plane tilt) ทิศทางการติดตั้ง (azimuth) และกำหนดช่วงเวลา (optimisation by respect to) เป็นรายปี (yearly irradiation yield) จากนั้นจึงกด OK



ภาพที่ 110 ลำดับการกำหนดทิศทางและมุมเอียงหลังคาอาคารที่ทำการประเมิน ในโปรแกรม PVsyst

4. เลือกคำสั่ง System เพื่อกำหนดส่วนประกอบของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะทำการคำนวณ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

4.1 ในแถบ “Presizing Help” สามารถกำหนดขนาดเบื้องต้นในการคำนวณขนาดของระบบและปริมาณพลังงานที่ผลิตได้ทั้งจากความต้องการพลังงานของระบบ (enter planned power; kWp) หรือจากพื้นที่ที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (or available area; m^2) ในการศึกษานี้เลือกกำหนดจากขนาดพื้นที่ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคาร

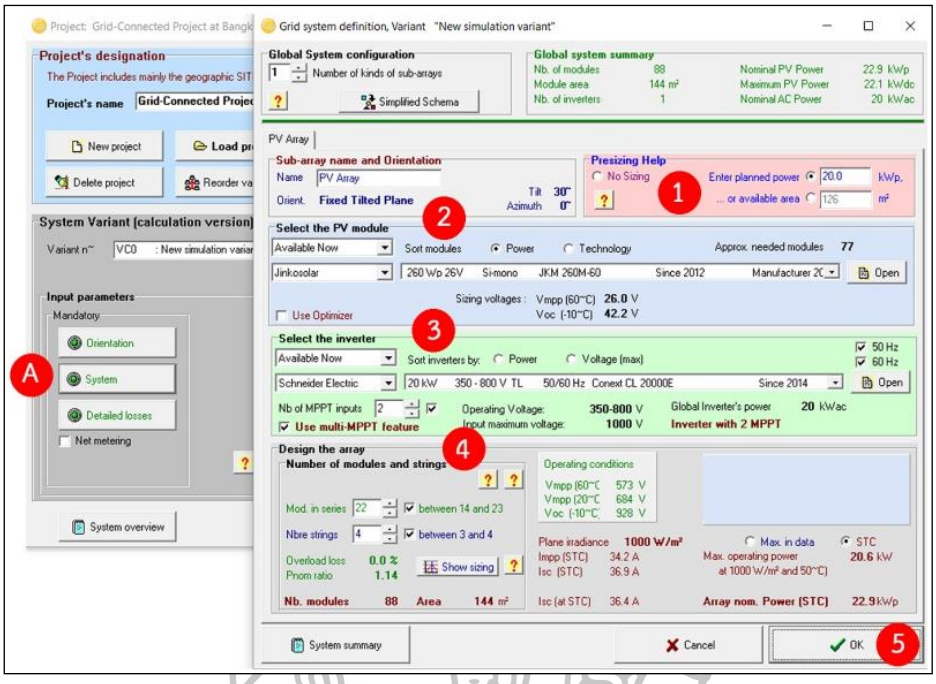
4.2 ในแถบ “Select the PV module” กำหนดประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้ง ซึ่งในโปรแกรมจะรวบรวมฐานข้อมูลจากผู้ผลิตไว้ให้แล้ว ในการศึกษานี้เลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว (monocrystalline silicon) ขนาด 250 Wp

4.3 ในแถบ “Select the inverter” กำหนดขนาดอินเวอร์เตอร์ให้เพียงพอต่อความต้องการของระบบ และความเหมาะสมของจำนวนอินเวอร์เตอร์ ซึ่งต้องคำนึงถึงพื้นที่ ที่จะติดตั้งในอาคารด้วย

4.4 ในแถบ “Design the array” เป็นส่วนที่แสดงจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งได้ และขนาดพื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งโดยจะแสดงจำนวนแผงที่ใช้ต่อแบบอนุกรม (Mod.in series) จัดแบ่งเป็นกลุ่ม (Nbre string)

แถบด้านขวาของ “Number of Modules and Strings” แสดงส่วนข้อมูลของอินเวอร์เตอร์ หากขนาดของอินเวอร์เตอร์ไม่เหมาะสมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ จะปรากฏตัวหนังสือสีแดง และหากมีความเหมาะสมแล้วจะไม่มีคำเตือนใดๆ

4.5 กดปุ่ม OK

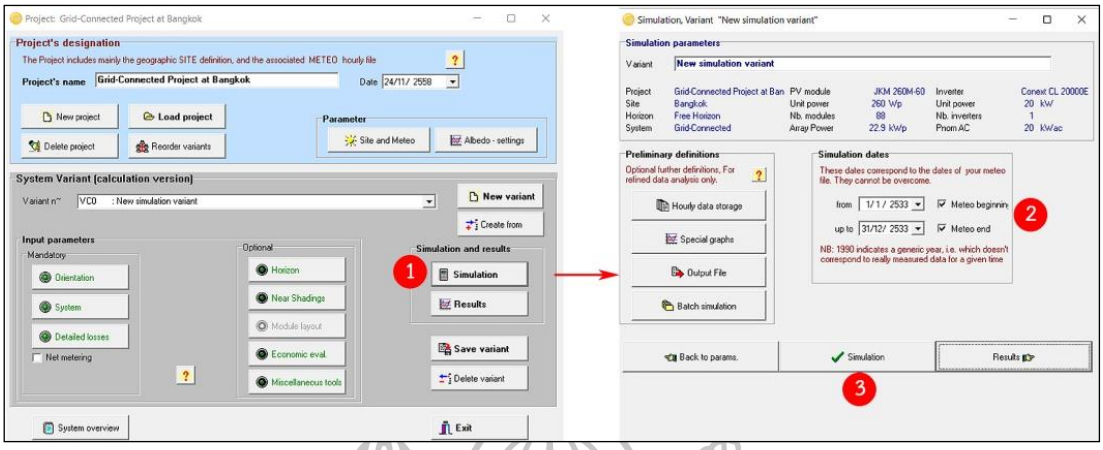


ภาพที่ 111 ลำดับการกำหนดส่วนประกอบของระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อประเมินผล ในโปรแกรม PVsyst

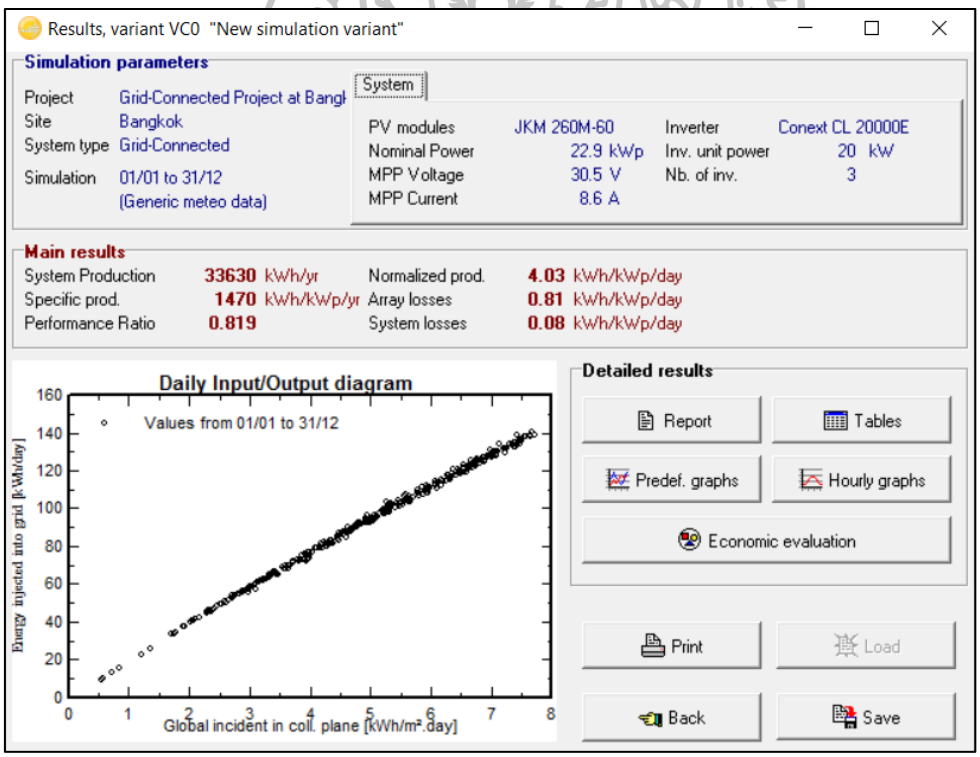
5. คำสั่ง Detailed losses, Horizon, Near Shading, Miscellaneous tools ในการศึกษานี้ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงจากที่ระบบของโปรแกรมกำหนดมา

หากคำสั่งในแถบ “Input Parameters” ขึ้นเป็นตัวหนังสือสีเขียวทั้งหมด แสดงว่าการกรอกข้อมูลมีความสมบูรณ์ สามารถคำนวณต่อได้ แต่หากขึ้นเป็นสีแดง แสดงว่ามีบางส่วนที่ไม่สมบูรณ์ควรแก้ไขใหม่

6. เลือกคำสั่ง Simulation ในแถบ Simulation จะปรากฏหน้าต่างให้กำหนดวันที่เริ่มต้นและวันสุดท้ายที่จะคำนวณปริมาณพลังงานที่ผลิตได้ (simulation dates) จากนั้นเลือกคำสั่ง “/Simulation” จะแสดงหน้าต่างระยะเวลาที่คำนวณ และเมื่อคำนวณเสร็จสิ้นแล้วให้กด “OK” จะประกฏหน้าต่าง “Results” ซึ่งสามารถเลือกดูผลพลังงานที่ผลิตได้ในรูปแบบต่างๆทั้งแบบรายงานทั้งหมด (report) แบบตาราง (tables) และแบบแผนภูมิต่าง ๆ (predef.graphs, hourly graphs) จากนั้นจึงกดบันทึกข้อมูล (save) ดูภาพที่ 111



ภาพที่ 112 ลำดับการสั่งประเมินผลการผลิตพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม PVsyst



ภาพที่ 113 หน้าต่างแสดงผลการประเมินการผลิตพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม PVsyst

ภาคผนวก ข

รายละเอียดผลการวิเคราะห์ความสามารถการผลิตพลังงานไฟฟ้า จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ด้วยโปรแกรม PVsyst Photovoltaic Software Version 6.43

ผลการวิเคราะห์ความสามารถการผลิตพลังงานไฟฟ้า จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ด้วย PVsyst Photovoltaic Software Version 6.43[1]

อาคารรูปแบบที่ 1 อาคารขนาดมากกว่า 10,000 ตร.ม. กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัด
เลขที่แบบ สถ.37107 จากกรมโยธาธิการและผังเมือง

ตารางที่ 80 สรุปผลพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา แยกตามทิศ ของอาคารรูปแบบที่ 1 ประเมินด้วยโปรแกรม PVsyst

อาคาร	ทิศ	องศาหลังคา	พื้นที่ติดตั้งบนหลังคา	พลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/year)		
				kWp	Monocrystalline Silicon	จำนวนแผง
รูปแบบที่ 1 ศาลากลางจังหวัด	เหนือ	50	715.00	108.00	97,686.00	432.00
	ใต้	50	715.00	108.00	136,974.00	432.00
	ตะวันออก	50	1,133.00	171.00	205,376.00	684.00
	ตะวันตก	50	1,133.00	171.00	195,167.00	684.00
รวม			3,696.00	558.00	635,203.00	2,232.00

[1] โปรแกรมคอมพิวเตอร์ PVsyst Photovoltaic Software จาก http://www.pvsyst.com/en/

ผลการประเมินพลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ด้วยโปรแกรม PVsyst

หลังคาอาคารรูปแบบที่ 1 ทิศเหนือ

PVSYST V6.43 | Page 1/3

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**Grid-Connected Project at Bangkok**			
Geographical Site	**Bangkok**		Country	**Thailand**
Situation	Latitude	13.7°N	Longitude	100.6°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+7	Altitude	3 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:	**Bangkok**	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic		

Simulation variant :	**New simulation variant**			
	Simulation date	12/05/16 21h49		

Simulation parameters

Collector Plane Orientation	Tilt	50°	Azimuth	180°
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	No Shadings			

PV Array Characteristics

PV module	Si-mono	Model	**MLU-250HC**	
Original PVsyst database		Manufacturer	Mitsubishi	
Number of PV modules		In series	18 modules	In parallel 24 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	432	Unit Nom. Power 250 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**108 kWp**	At operating cond. 98.0 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	495 V	I mpp 198 A
Total area		Module area	**715 m²**	Cell area 600 m²
Inverter		Model	**IF-50**	
Original PVsyst database		Manufacturer	Jema	
Characteristics		Operating Voltage	410-750 V	Unit Nom. Power 50 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	2 units	Total Power 100 kWac

PV Array loss factors

Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	42 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05

User's needs : Unlimited load (grid)

ภาพที่ 114 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศเหนือ (1)

PVSYST V6.43 | Page 2/3

Grid-Connected System: Main results

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

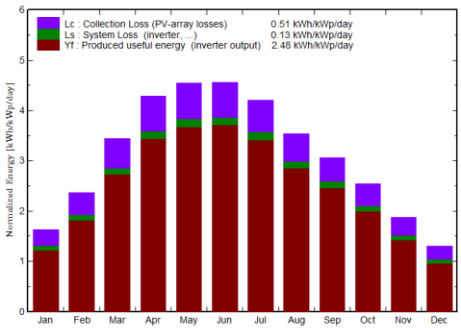
Main system parameters				
System type		**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	50°	azimuth	180°
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	432	Pnom total	**108 kWp**
Inverter	Model	IF-50	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	2.0	Pnom total	**100 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Main simulation results

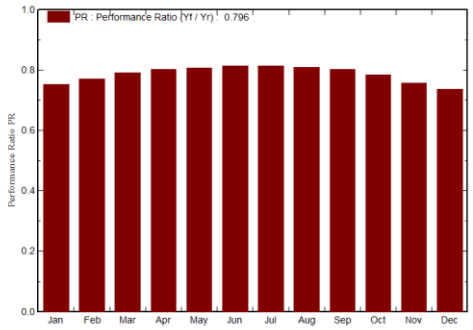
System Production — **Produced Energy** **97686 kWh/year** Specific prod. 904 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 79.6 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 108 kWp



Performance Ratio PR



New simulation variant

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	145.0	27.53	50.3	45.7	4399	4087	12.22	11.36
February	143.7	28.69	66.2	60.5	5834	5511	12.31	11.63
March	174.4	29.82	106.8	99.9	9572	9144	12.52	11.96
April	174.6	30.46	128.6	122.6	11629	11143	12.64	12.12
May	163.4	29.92	141.0	135.9	12833	12302	12.72	12.20
June	152.0	29.16	136.6	132.0	12536	12018	12.83	12.30
July	148.9	29.35	130.3	125.7	11961	11447	12.84	12.28
August	138.7	29.18	109.6	105.0	10028	9573	12.79	12.21
September	130.0	28.35	92.0	87.3	8392	7978	12.75	12.12
October	137.7	28.77	78.7	73.1	7051	6667	12.53	11.85
November	139.8	28.03	56.4	51.1	4928	4617	12.22	11.45
December	141.9	27.63	40.2	36.5	3485	3200	12.11	11.12
Year	1790.1	28.91	1136.7	1075.4	102647	97686	12.62	12.01

Legends:
GlobHor Horizontal global irradiation
T Amb Ambient Temperature
GlobInc Global incident in coll. plane
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
EArray Effective energy at the output of the array
E_Grid Energy injected into grid
EffArrR Effic. Eout array / rough area
EffSysR Effic. Eout system / rough area

ภาพที่ 115 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศเหนือ (2)

PVSYST V6.43 | Page 3/3

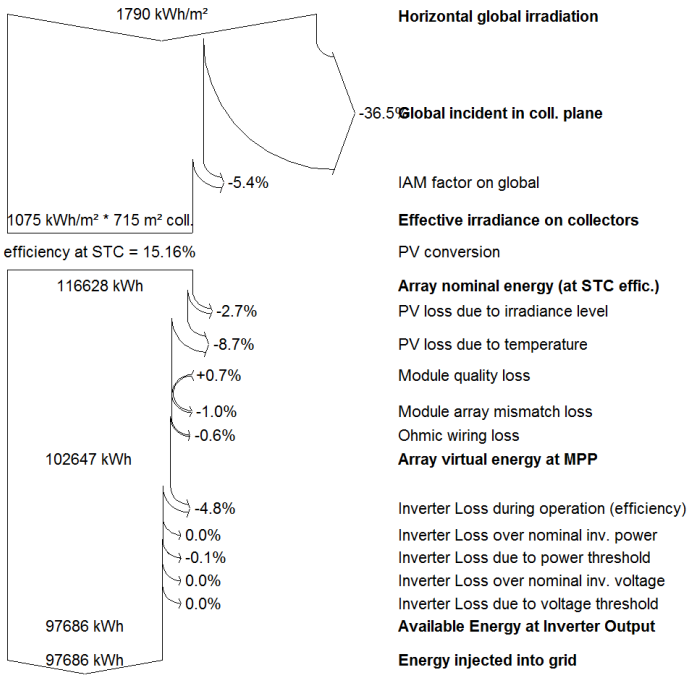
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	50°	azimuth	180°
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	432	Pnom total	**108 kWp**
Inverter	Model	IF-50	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	2.0	Pnom total	**100 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



ภาพที่ 116 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศเหนือ (3)

หลังคาอาคารรูปแบบที่ 1 ทิศใต้

PVSYST V6.43 | Page 1/3

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**Grid-Connected Project at Bangkok**			
Geographical Site	**Bangkok**		Country	**Thailand**
Situation	Latitude	13.7°N	Longitude	100.6°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+7	Altitude	3 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:	**Bangkok**	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic		

Simulation variant :	**New simulation variant**			
	Simulation date	12/05/16 21h47		

Simulation parameters				
Collector Plane Orientation	Tilt	50°	Azimuth	0°
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	No Shadings			
PV Array Characteristics				
PV module Si-mono	Model	**MLU-250HC**		
Original PVsyst database	Manufacturer	Mitsubishi		
Number of PV modules	In series	18 modules	In parallel	24 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	432	Unit Nom. Power	250 Wp
Array global power	Nominal (STC)	**108 kWp**	At operating cond.	98.0 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	495 V	I mpp	198 A
Total area	Module area	**715 m²**	Cell area	600 m²
Inverter	Model	**IF-50**		
Original PVsyst database	Manufacturer	Jema		
Characteristics	Operating Voltage	410-750 V	Unit Nom. Power	50 kWac
Inverter pack	Nb. of inverters	2 units	Total Power	100 kWac
PV Array loss factors				
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	42 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05

User's needs : Unlimited load (grid)

ภาพที่ 117 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศใต้ (1)

PVSYST V6.43 | Page 2/3

Grid-Connected System: Main results

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

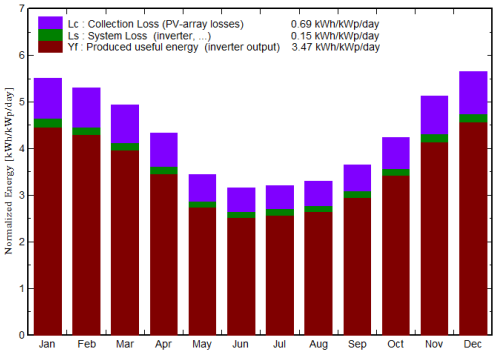
Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	50°	azimuth	0°
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	432	Pnom total	**108 kWp**
Inverter	Model	IF-50	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	2.0	Pnom total	**100 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Main simulation results

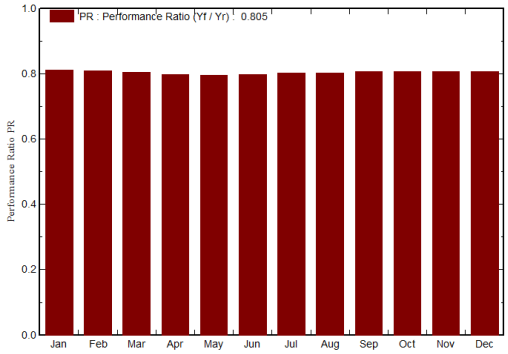
System Production — **Produced Energy** **136974 kWh/year** Specific prod. 1268 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 80.5 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 108 kWp



Performance Ratio PR



New simulation variant

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	145.0	27.53	170.7	166.7	15551	14955	12.73	12.24
February	143.7	28.69	148.6	144.5	13504	12989	12.71	12.22
March	174.4	29.82	153.0	147.5	13823	13289	12.63	12.14
April	174.6	30.46	130.2	124.4	11712	11223	12.58	12.05
May	163.4	29.92	106.7	100.9	9618	9162	12.61	12.01
June	152.0	29.16	94.5	89.4	8576	8151	12.69	12.06
July	148.9	29.35	99.5	94.5	9062	8616	12.73	12.11
August	138.7	29.18	102.3	97.5	9298	8862	12.71	12.11
September	130.0	28.35	109.4	105.2	9999	9545	12.77	12.19
October	137.7	28.77	131.4	127.4	11968	11462	12.73	12.19
November	139.8	28.03	153.9	150.2	13995	13440	12.71	12.20
December	141.9	27.63	175.2	171.6	15897	15280	12.68	12.19
Year	1790.1	28.91	1575.4	1519.8	143003	136974	12.69	12.15

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation — EArray Effective energy at the output of the array
T Amb Ambient Temperature — E_Grid Energy injected into grid
GlobInc Global incident in coll. plane — EffArrR Effic. Eout array / rough area
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings — EffSysR Effic. Eout system / rough area

ภาพที่ 118 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศใต้ (2)

PVSYST V6.43		Page 3/3

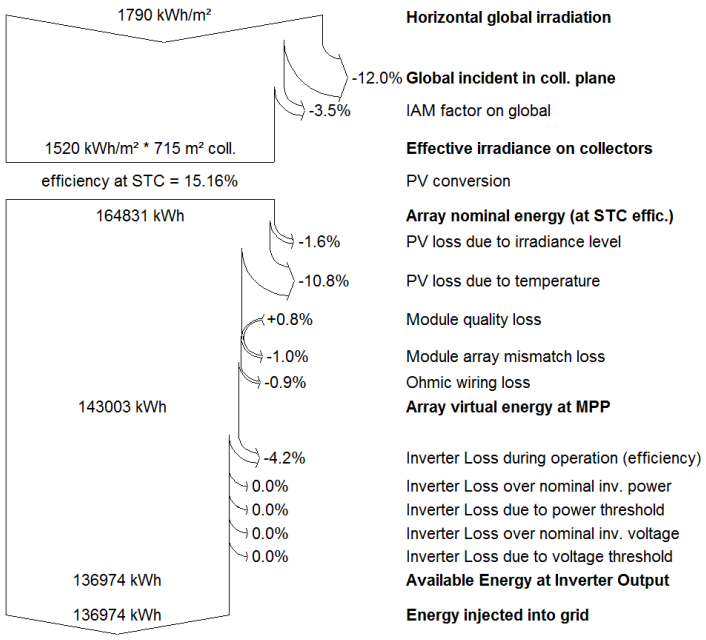
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	50°	azimuth	0°
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	432	Pnom total	**108 kWp**
Inverter	Model	IF-50	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	2.0	Pnom total	**100 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



ภาพที่ 119 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศใต้ (3)

หลังคาอาคารรูปแบบที่ 1 ทิศตะวันออก

PVSYST V6.43 | Page 1/3

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**Grid-Connected Project at Bangkok**			
Geographical Site	**Bangkok**		Country	**Thailand**
Situation	Latitude	13.7°N	Longitude	100.6°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+7	Altitude	3 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:	**Bangkok**	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic		

Simulation variant :	**New simulation variant**			
	Simulation date	12/05/16 21h52		

Simulation parameters

Collector Plane Orientation	Tilt	50°	Azimuth	-90°
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	No Shadings			

PV Array Characteristics

PV module	Si-mono	Model	**MLU-250HC**	
Original PVsyst database		Manufacturer	Mitsubishi	
Number of PV modules		In series	19 modules	In parallel 36 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	684	Unit Nom. Power 250 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**171 kWp**	At operating cond. 155 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	523 V	I mpp 297 A
Total area		Module area	**1133 m²**	Cell area 950 m²

Inverter		Model	**IF-50**	
Original PVsyst database		Manufacturer	Jema	
Characteristics		Operating Voltage	410-750 V	Unit Nom. Power 50 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	3 units	Total Power 150 kWac

PV Array loss factors

Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	29 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05

User's needs : Unlimited load (grid)

ภาพที่ 120 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศตะวันออก (1)

PVSYST V6.43 | Page 2/3

Grid-Connected System: Main results

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

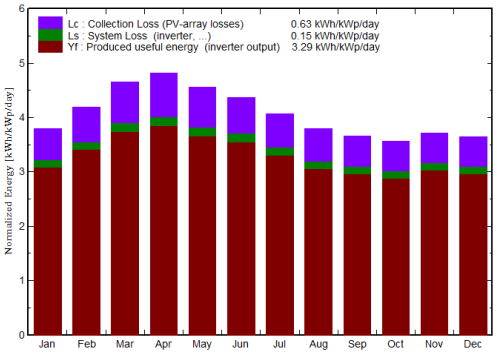
Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	50°	azimuth	-90°
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	684	Pnom total	**171 kWp**
Inverter	Model	IF-50	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	3.0	Pnom total	**150 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Main simulation results

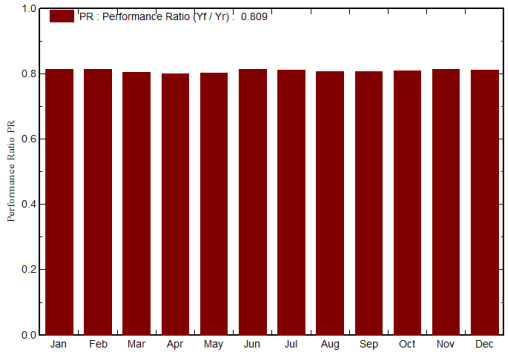
System Production — **Produced Energy** **205376 kWh/year** Specific prod. 1201 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 80.9 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 171 kWp



Performance Ratio PR



New simulation variant

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	145.0	27.53	117.5	113.3	17085	16359	12.84	12.29
February	143.7	28.69	117.4	113.6	17031	16339	12.81	12.29
March	174.4	29.82	144.4	140.1	20702	19867	12.65	12.14
April	174.6	30.46	144.4	140.3	20604	19749	12.60	12.08
May	163.4	29.92	141.2	137.3	20269	19401	12.67	12.13
June	152.0	29.16	131.2	127.3	19050	18246	12.82	12.28
July	148.9	29.35	126.2	122.4	18320	17519	12.81	12.25
August	138.7	29.18	117.5	114.0	16976	16211	12.75	12.18
September	130.0	28.35	109.9	106.5	15924	15199	12.79	12.21
October	137.7	28.77	110.3	106.7	15976	15256	12.79	12.21
November	139.8	28.03	111.6	107.9	16229	15531	12.84	12.29
December	141.9	27.63	112.9	108.9	16409	15698	12.83	12.27
Year	1790.1	28.91	1484.6	1438.4	214576	205376	12.76	12.21

Legends:
GlobHor Horizontal global irradiation
T Amb Ambient Temperature
GlobInc Global incident in coll. plane
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
EArray Effective energy at the output of the array
E_Grid Energy injected into grid
EffArrR Effic. Eout array / rough area
EffSysR Effic. Eout system / rough area

ภาพที่ 121 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศตะวันออก (2)

PVSYST V6.43		Page 3/3

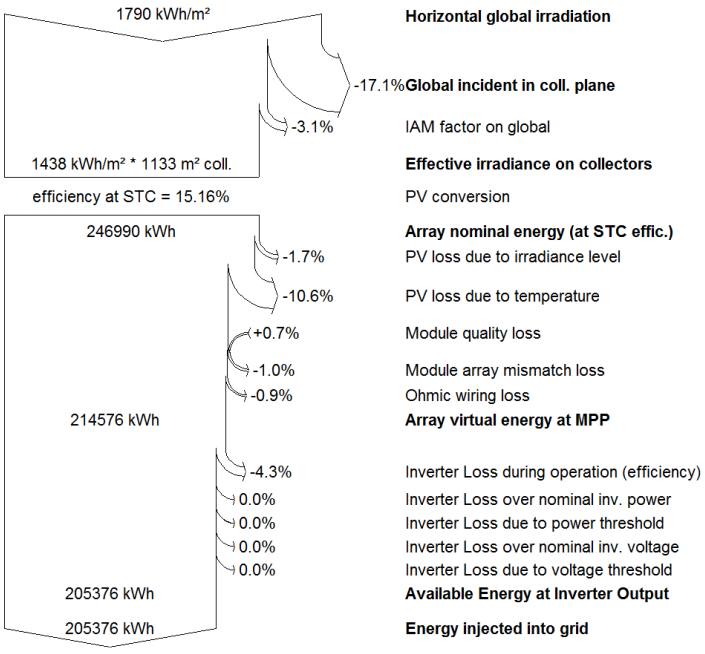
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	50°	azimuth	-90°
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	684	Pnom total	**171 kWp**
Inverter	Model	IF-50	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	3.0	Pnom total	**150 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



ภาพที่ 122 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศตะวันออก (3)

หลังคาอาคารรูปแบบที่ 1 ทิศตะวันตก

PVSYST V6.43 | Page 1/3

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**Grid-Connected Project at Bangkok**			
Geographical Site	**Bangkok**		Country	**Thailand**
Situation	Latitude	13.7°N	Longitude	100.6°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+7	Altitude	3 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:	**Bangkok**	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic		

Simulation variant :	**New simulation variant**			
	Simulation date	12/05/16 21h51		

Simulation parameters				
Collector Plane Orientation	Tilt	50°	Azimuth	90°
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	No Shadings			
PV Array Characteristics				
PV module Si-mono	Model	**MLU-250HC**		
Original PVsyst database	Manufacturer	Mitsubishi		
Number of PV modules	In series	19 modules	In parallel	36 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	684	Unit Nom. Power	250 Wp
Array global power	Nominal (STC)	**171 kWp**	At operating cond.	155 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	523 V	I mpp	297 A
Total area	Module area	**1133 m²**	Cell area	950 m²
Inverter	Model	**IF-50**		
Original PVsyst database	Manufacturer	Jema		
Characteristics	Operating Voltage	410-750 V	Unit Nom. Power	50 kWac
Inverter pack	Nb. of inverters	3 units	Total Power	150 kWac
PV Array loss factors				
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	29 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05

User's needs : Unlimited load (grid)

ภาพที่ 123 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศตะวันตก (1)

PVSYST V6.43 | Page 2/3

Grid-Connected System: Main results

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

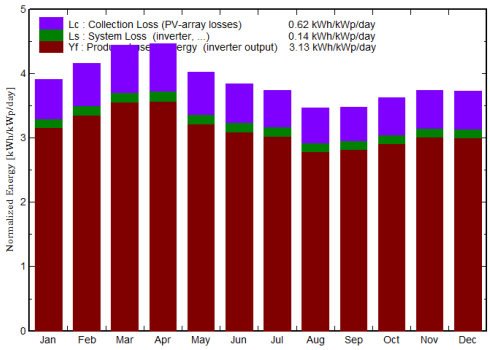
Main system parameters	System type	**Grid-Connected**			
PV Field Orientation	tilt	50°	azimuth	90°	
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp	
PV Array	Nb. of modules	684	Pnom total	**171 kWp**	
Inverter	Model	IF-50	Pnom	50.0 kW ac	
Inverter pack	Nb. of units	3.0	Pnom total	**150 kW ac**	
User's needs	Unlimited load (grid)				

Main simulation results

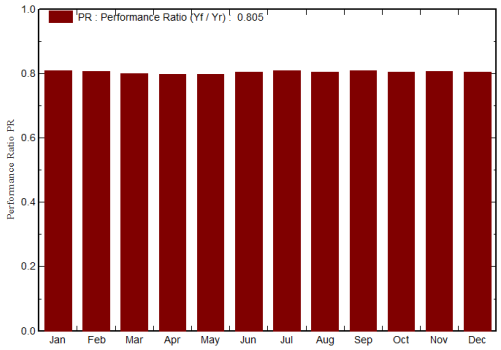
System Production — **Produced Energy** **195167 kWh/year** Specific prod. 1141 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 80.5 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 171 kWp



Performance Ratio PR



New simulation variant

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	145.0	27.53	121.2	117.0	17500	16771	12.75	12.22
February	143.7	28.69	116.5	112.7	16766	16085	12.71	12.19
March	174.4	29.82	137.7	133.4	19650	18858	12.60	12.09
April	174.6	30.46	134.1	130.1	19128	18326	12.59	12.06
May	163.4	29.92	124.9	120.8	17843	17048	12.62	12.05
June	152.0	29.16	115.3	111.6	16632	15880	12.74	12.16
July	148.9	29.35	116.2	112.4	16821	16063	12.79	12.21
August	138.7	29.18	107.4	104.0	15516	14801	12.75	12.16
September	130.0	28.35	104.5	101.2	15166	14471	12.81	12.22
October	137.7	28.77	112.5	109.0	16190	15465	12.71	12.14
November	139.8	28.03	112.2	108.4	16170	15475	12.73	12.18
December	141.9	27.63	115.5	111.5	16631	15924	12.71	12.17
Year	1790.1	28.91	1418.0	1372.1	204014	195167	12.70	12.15

Legends:
GlobHor Horizontal global irradiation
T Amb Ambient Temperature
GlobInc Global incident in coll. plane
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
EArray Effective energy at the output of the array
E_Grid Energy injected into grid
EffArrR Effic. Eout array / rough area
EffSysR Effic. Eout system / rough area

ภาพที่ 124 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศตะวันตก (2)

PVSYST V6.43		Page 3/3

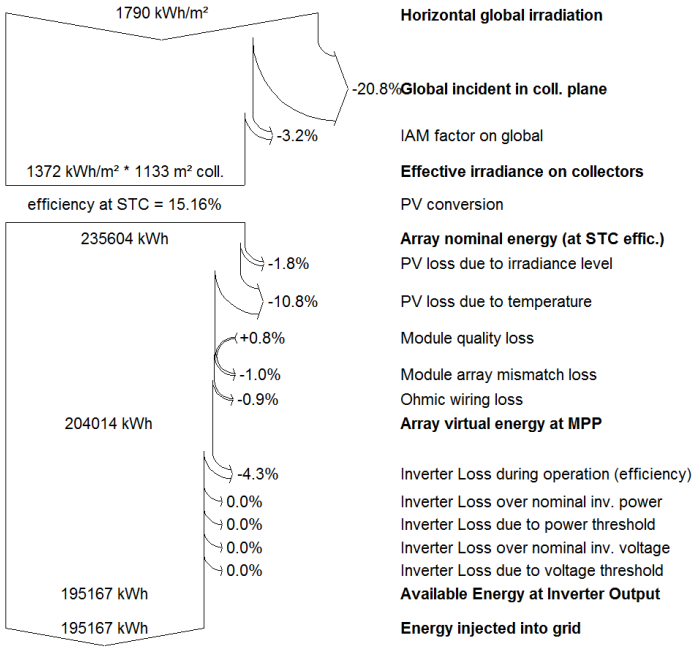
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	50°	azimuth	90°
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	684	Pnom total	**171 kWp**
Inverter	Model	IF-50	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	3.0	Pnom total	**150 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



ภาพที่ 125 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 1 ทิศตะวันตก (3)

อาคารรูปแบบที่ 2 อาคารขนาด 2,000 – 10,000 ตร.ม. กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป
สำนักงานที่ดินขนาดใหญ่ แบบเลขที่ 8-58/1 กรมที่ดิน กระทรวงมหาดไทย

ตารางที่ 81 สรุปผลพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแยกตามทิศ ของอาคารรูปแบบที่ 2 ประเมินด้วยโปรแกรม PVsyst

อาคาร	ทิศ	องศาหลังคา	พื้นที่ติดตั้งบนหลังคา	พลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/year)		
				kWp	Monocrystalline Silicon	จำนวนแผง
รูปแบบที่ 2 สำนักงานทั่วไป	เหนือ	30	330.00	49.50	59,347.00	198.00
	ใต้	30	359.00	49.50	72,188.00	198.00
	ตะวันออก	30	144.00	21.25	29,220.00	85.00
	ตะวันตก	30	144.00	21.25	28,297.00	85.00
รวม			977.00	141.50	189,052.00	566.00

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผลการประเมินพลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ด้วยโปรแกรม PVsyst

หลังคาอาคารรูปแบบที่ 2 ทิศเหนือ

PVSYST V6.43					29/04/16	Page 1/3

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**Grid-Connected Project at Bangkok**				
Geographical Site	**Bangkok**			Country	**Thailand**
Situation		Latitude	13.7°N	Longitude	100.6°E
Time defined as		Legal Time	Time zone UT+7	Altitude	3 m
		Albedo	0.20		
Meteo data:	**Bangkok**	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic			

Simulation variant :	**New simulation variant**				
		Simulation date	29/04/16 00h10		

Simulation parameters					
Collector Plane Orientation		Tilt	30°	Azimuth	180°
Models used		Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon		Free Horizon			
Near Shadings		No Shadings			
PV Array Characteristics					
PV module	Si-mono	Model	**MLU-250HC**		
Original PVsyst database		Manufacturer	Mitsubishi		
Number of PV modules		In series	22 modules	In parallel	9 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	198	Unit Nom. Power	250 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**49.5 kWp**	At operating cond.	44.9 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	605 V	I mpp	74 A
Total area		Module area	**328 m²**	Cell area	275 m²
Inverter		Model	**BSG15KTL-E**		
Original PVsyst database		Manufacturer	BYD		
Characteristics		Operating Voltage	360-800 V	Unit Nom. Power	15.0 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	3 units	Total Power	45 kWac
PV Array loss factors					
Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	136 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss				Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05

User's needs :	Unlimited load (grid)

ภาพที่ 126 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศเหนือ (1)

PVSYST V6.43		29/04/16	Page 2/3

Grid-Connected System: Main results

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

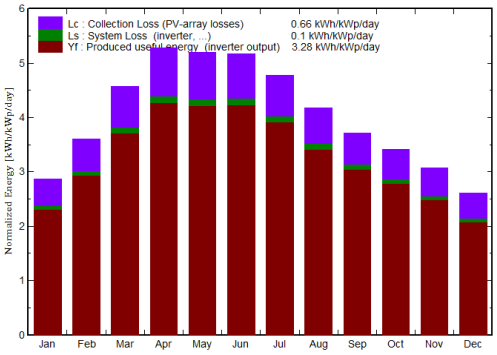
Main system parameters					
	System type	**Grid-Connected**			
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	180°	
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp	
PV Array	Nb. of modules	198	Pnom total	**49.5 kWp**	
Inverter	Model	BSG15KTL-E	Pnom	15.00 kW ac	
Inverter pack	Nb. of units	3.0	Pnom total	**45.0 kW ac**	
User's needs	Unlimited load (grid)				

Main simulation results

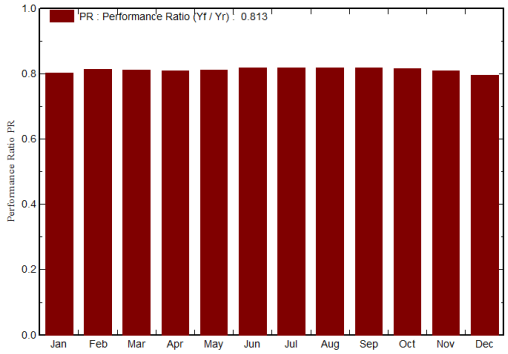
System Production — **Produced Energy** **59347 kWh/year** Specific prod. 1199 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 81.3 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 49.5 kWp



Performance Ratio PR



New simulation variant

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	145.0	27.53	89.0	82.5	3656	3542	12.53	12.14
February	143.7	28.69	101.1	95.4	4190	4069	12.64	12.28
March	174.4	29.82	141.7	135.5	5862	5702	12.62	12.27
April	174.6	30.46	158.4	152.9	6533	6351	12.58	12.23
May	163.4	29.92	161.3	156.3	6662	6474	12.60	12.24
June	152.0	29.16	155.1	150.4	6461	6279	12.71	12.35
July	148.9	29.35	148.1	143.4	6185	6008	12.74	12.37
August	138.7	29.18	129.4	124.9	5401	5244	12.73	12.36
September	130.0	28.35	111.6	107.1	4669	4528	12.76	12.38
October	137.7	28.77	105.7	100.6	4408	4274	12.72	12.33
November	139.8	28.03	92.1	86.1	3805	3686	12.60	12.21
December	141.9	27.63	80.9	74.4	3296	3189	12.42	12.01
Year	1790.1	28.91	1474.3	1409.6	61128	59347	12.65	12.28

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation — EArray Effective energy at the output of the array
T Amb Ambient Temperature — E_Grid Energy injected into grid
GlobInc Global incident in coll. plane — EffArrR Effic. Eout array / rough area
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings — EffSysR Effic. Eout system / rough area

ภาพที่ 127 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศเหนือ (2)

PVSYST V6.43		29/04/16	Page 3/3

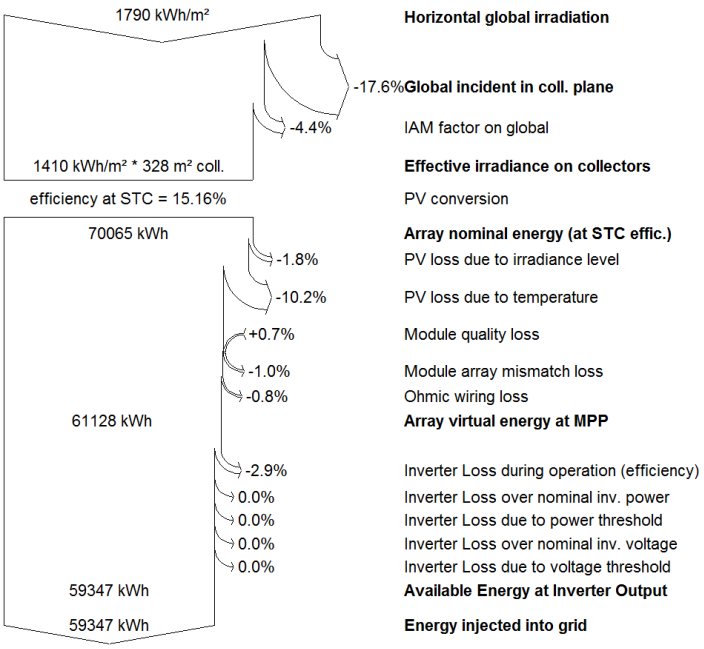
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	180°
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inverter	Model	BSG15KTL-E	Pnom	15.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	3.0	Pnom total	**45.0 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



ภาพที่ 128 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศเหนือ (3)

หลังคาอาคารรูปแบบที่ 2 ทิศใต้

PVSYST V6.43			29/04/16	Page 1/3

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**Grid-Connected Project at Bangkok**			
Geographical Site	**Bangkok**		Country	**Thailand**
Situation	Latitude	13.7°N	Longitude	100.6°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+7	Altitude	3 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:	**Bangkok**	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic		

Simulation variant :	**New simulation variant**			
	Simulation date	29/04/16 00h11		

Simulation parameters				
Collector Plane Orientation	Tilt	30°	Azimuth	0°
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	No Shadings			

PV Array Characteristics					
PV module	Si-mono	Model	**MLU-250HC**		
Original PVsyst database		Manufacturer	Mitsubishi		
Number of PV modules		In series	22 modules	In parallel	9 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	198	Unit Nom. Power	250 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**49.5 kWp**	At operating cond.	44.9 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	605 V	I mpp	74 A
Total area		Module area	**328 m²**	Cell area	275 m²

Inverter		Model	**BSG15KTL-E**		
Original PVsyst database		Manufacturer	BYD		
Characteristics		Operating Voltage	360-800 V	Unit Nom. Power	15.0 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	3 units	Total Power	45 kWac

PV Array loss factors				
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	136 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05

User's needs :	Unlimited load (grid)

ภาพที่ 129 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศใต้ (1)

PVSYST V6.43		29/04/16	Page 2/3

Grid-Connected System: Main results

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

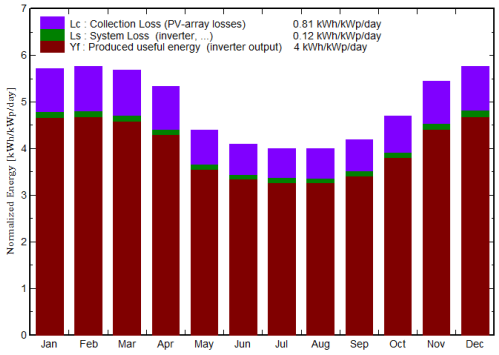
Main system parameters				
System type		**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	0°
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inverter	Model	BSG15KTL-E	Pnom	15.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	3.0	Pnom total	**45.0 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Main simulation results

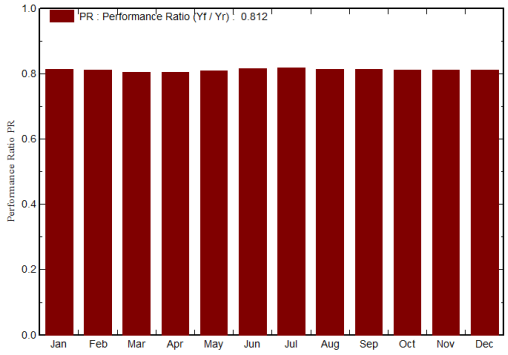
System Production — **Produced Energy** **72188 kWh/year** Specific prod. 1458 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 81.2 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 49.5 kWp



Performance Ratio PR



New simulation variant

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	145.0	27.53	177.3	172.8	7351	7149	12.65	12.30
February	143.7	28.69	161.6	157.3	6670	6488	12.59	12.25
March	174.4	29.82	176.3	170.9	7233	7036	12.52	12.17
April	174.6	30.46	160.0	154.6	6564	6379	12.51	12.16
May	163.4	29.92	136.2	130.7	5627	5463	12.60	12.23
June	152.0	29.16	123.0	117.8	5124	4973	12.70	12.33
July	148.9	29.35	124.1	119.0	5178	5025	12.73	12.35
August	138.7	29.18	124.0	119.3	5156	5004	12.69	12.31
September	130.0	28.35	125.7	121.4	5227	5071	12.69	12.31
October	137.7	28.77	145.5	141.3	6022	5848	12.62	12.26
November	139.8	28.03	163.2	159.1	6750	6560	12.62	12.26
December	141.9	27.63	178.7	174.6	7398	7193	12.63	12.28
Year	1790.1	28.91	1795.5	1738.8	74301	72188	12.62	12.26

Legends:

GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

ภาพที่ 130 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศใต้ (2)

PVSYST V6.43		29/04/16	Page 3/3

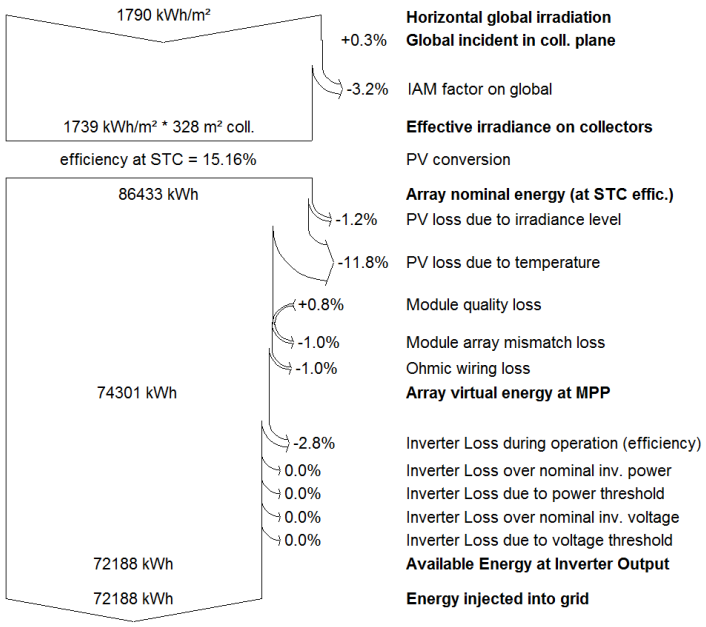
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**			
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	0°	
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp	
PV Array	Nb. of modules	198	Pnom total	**49.5 kWp**	
Inverter	Model	BSG15KTL-E	Pnom	15.00 kW ac	
Inverter pack	Nb. of units	3.0	Pnom total	**45.0 kW ac**	
User's needs	Unlimited load (grid)				

Loss diagram over the whole year



ภาพที่ 131 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศใต้ (3)

หลังคาอาคารรูปแบบที่ 2 ทิศตะวันออก

PVSYST V6.43				29/04/16	Page 1/3

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**Grid-Connected Project at Bangkok**				
Geographical Site		**Bangkok**		Country	**Thailand**
Situation		Latitude	13.7°N	Longitude	100.6°E
Time defined as		Legal Time	Time zone UT+7	Altitude	3 m
		Albedo	0.20		
Meteo data:		**Bangkok**	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic		
Simulation variant :	**New simulation variant**				
		Simulation date	29/04/16 00h15		
Simulation parameters					
Collector Plane Orientation		Tilt	30°	Azimuth	-90°
Models used		Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon		Free Horizon			
Near Shadings		No Shadings			
PV Array Characteristics					
PV module	Si-mono	Model	**MLU-250HC**		
Original PVsyst database		Manufacturer	Mitsubishi		
Number of PV modules		In series	17 modules	In parallel	5 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	85	Unit Nom. Power	250 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**21.25 kWp**	At operating cond.	19.28 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	468 V	I mpp	41 A
Total area		Module area	**141 m²**	Cell area	118 m²
Inverter		Model	**Sunzet 20KVA TL**		
Original PVsyst database		Manufacturer	Zigor		
Characteristics		Operating Voltage	350-700 V	Unit Nom. Power	20.0 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	1 units	Total Power	20 kWac
PV Array loss factors					
Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	189 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss				Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)				

ภาพที่ 132 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศตะวันออก (1)

PVSYST V6.43		29/04/16	Page 2/3

Grid-Connected System: Main results

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

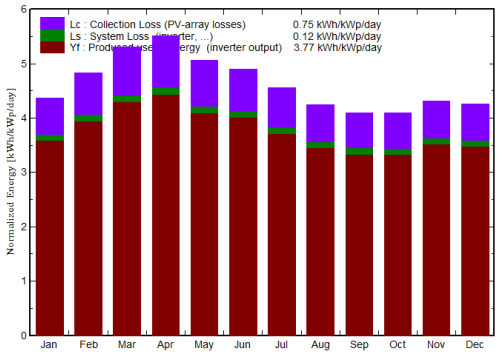
Main system parameters					
PV Field Orientation	System type	**Grid-Connected**			
	tilt	30°		azimuth	-90°
PV modules	Model	MLU-250HC		Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	85		Pnom total	**21.25 kWp**
Inverter	Model	Sunzet 20KVA TL		Pnom	20.00 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)				

Main simulation results

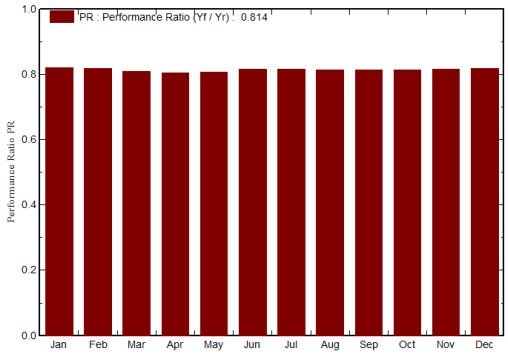
System Production — **Produced Energy** **29220 kWh/year** Specific prod. 1375 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 81.4 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 21.25 kWp



Performance Ratio PR



New simulation variant

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	145.0	27.53	135.6	130.8	2438	2367	12.78	12.40
February	143.7	28.69	135.2	130.9	2420	2351	12.72	12.36
March	174.4	29.82	164.6	159.8	2910	2829	12.57	12.21
April	174.6	30.46	165.4	160.9	2911	2827	12.51	12.14
May	163.4	29.92	157.0	152.6	2781	2698	12.58	12.21
June	152.0	29.16	147.1	142.7	2633	2555	12.71	12.34
July	148.9	29.35	141.3	136.8	2527	2450	12.71	12.32
August	138.7	29.18	131.7	127.8	2350	2276	12.68	12.28
September	130.0	28.35	122.9	119.1	2199	2128	12.71	12.30
October	137.7	28.77	126.9	122.5	2265	2195	12.69	12.30
November	139.8	28.03	129.6	124.8	2317	2250	12.71	12.34
December	141.9	27.63	131.9	126.8	2363	2294	12.73	12.35
Year	1790.1	28.91	1689.1	1635.4	30114	29220	12.67	12.29

Legends:

GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

ภาพที่ 133 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศตะวันออก (2)

PVSYST V6.43		29/04/16	Page 3/3

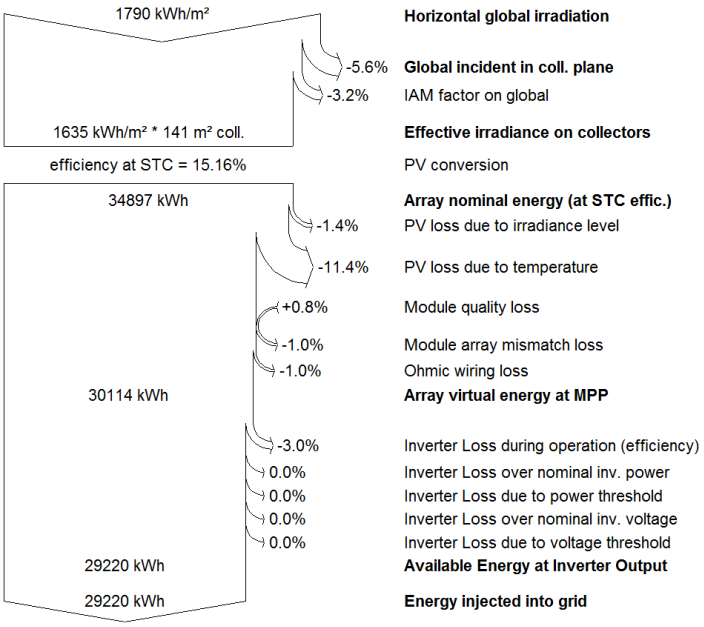
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**			
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	-90°	
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp	
PV Array	Nb. of modules	85	Pnom total	**21.25 kWp**	
Inverter	Model	Sunzet 20KVA TL	Pnom	20.00 kW ac	
User's needs	Unlimited load (grid)				

Loss diagram over the whole year



ภาพที่ 134 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศตะวันออก (3)

หลังคาอาคารรูปแบบที่ 2 ทิศตะวันตก

PVSYST V6.43				29/04/16	Page 1/3

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**Grid-Connected Project at Bangkok**				
Geographical Site		**Bangkok**		Country	**Thailand**
Situation		Latitude	13.7°N	Longitude	100.6°E
Time defined as		Legal Time	Time zone UT+7	Altitude	3 m
		Albedo	0.20		
Meteo data:		**Bangkok**	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic		
Simulation variant :	**New simulation variant**				
		Simulation date	29/04/16 00h16		
Simulation parameters					
Collector Plane Orientation		Tilt	30°	Azimuth	90°
Models used		Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon		Free Horizon			
Near Shadings		No Shadings			
PV Array Characteristics					
PV module	Si-mono	Model	**MLU-250HC**		
Original PVsyst database		Manufacturer	Mitsubishi		
Number of PV modules		In series	17 modules	In parallel	5 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	85	Unit Nom. Power	250 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**21.25 kWp**	At operating cond.	19.28 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	468 V	I mpp	41 A
Total area		Module area	**141 m²**	Cell area	118 m²
Inverter		Model	**Sunzet 20KVA TL**		
Original PVsyst database		Manufacturer	Zigor		
Characteristics		Operating Voltage	350-700 V	Unit Nom. Power	20.0 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	1 units	Total Power	20 kWac
PV Array loss factors					
Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	189 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss				Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)				

ภาพที่ 135 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศตะวันตก (1)

PVSYST V6.43		29/04/16	Page 2/3

Grid-Connected System: Main results

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

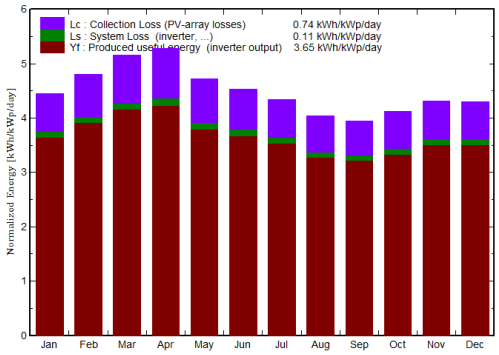
Main system parameters	System type	**Grid-Connected**			
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	90°	
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp	
PV Array	Nb. of modules	85	Pnom total	**21.25 kWp**	
Inverter	Model	Sunzet 20KVA TL	Pnom	20.00 kW ac	
User's needs	Unlimited load (grid)				

Main simulation results

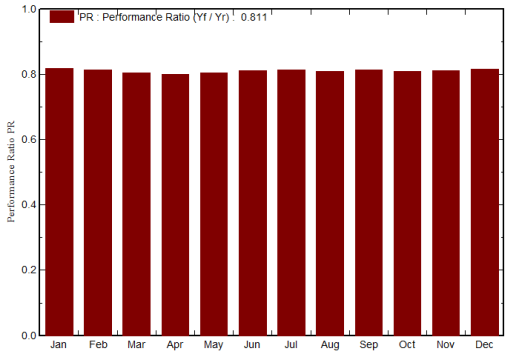
System Production — **Produced Energy** **28297 kWh/year** Specific prod. 1332 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 81.1 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 21.25 kWp



Performance Ratio PR



New simulation variant

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	145.0	27.53	138.1	133.3	2471	2400	12.71	12.35
February	143.7	28.69	134.6	130.3	2396	2328	12.65	12.29
March	174.4	29.82	159.9	154.9	2819	2740	12.52	12.17
April	174.6	30.46	158.6	153.5	2782	2702	12.46	12.10
May	163.4	29.92	146.3	141.6	2582	2504	12.53	12.15
June	152.0	29.16	135.8	131.3	2419	2344	12.65	12.26
July	148.9	29.35	134.4	129.8	2399	2326	12.69	12.30
August	138.7	29.18	125.1	120.7	2226	2156	12.64	12.24
September	130.0	28.35	118.6	114.4	2118	2051	12.69	12.29
October	137.7	28.77	127.7	123.4	2269	2199	12.62	12.23
November	139.8	28.03	129.5	124.9	2305	2237	12.65	12.28
December	141.9	27.63	133.3	128.7	2381	2311	12.69	12.32
Year	1790.1	28.91	1642.1	1586.8	29166	28297	12.62	12.24

Legends:

GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

ภาพที่ 136 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศตะวันตก (3)

PVSYST V6.43		29/04/16	Page 3/3

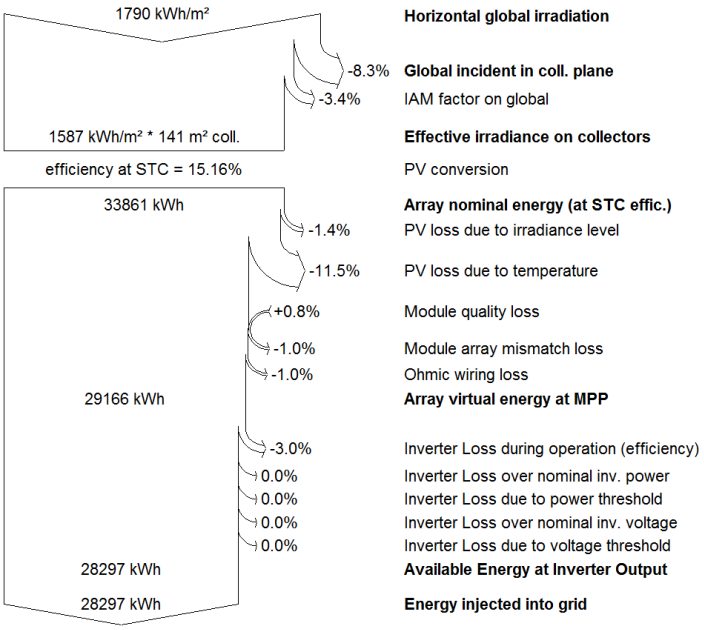
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**			
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	90°	
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp	
PV Array	Nb. of modules	85	Pnom total	**21.25 kWp**	
Inverter	Model	Sunzet 20KVA TL	Pnom	20.00 kW ac	
User's needs	Unlimited load (grid)				

Loss diagram over the whole year



ภาพที่ 137 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 2 ทิศตะวันตก (3)

อาคารรูปแบบที่ 3 อาคารขนาดน้อยกว่า 2,000 ตารางเมตร กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่ เลขที่แบบ ม.18155 จากกรมโยธาธิการและผังเมือง

ตารางที่ 82 สรุปผลพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแยกตามทิศ ของอาคารรูปแบบที่ 3 ประเมินด้วยโปรแกรม PVsyst

อาคาร	ทิศ	องศาหลังคา	พื้นที่ติดตั้งบนหลังคา	พลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/year)		
				kWp	Monocrystalline Silicon	จำนวนแผง
รูปแบบที่ 3 ที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่	เหนือ	30	242.00	36.00	43,180.00	144.00
	ใต้	30	242.00	36.00	52,507.00	144.00
	ตะวันออก	30	30.00	4.50	6,038.00	18.00
	ตะวันตก	30	30.00	4.50	5,850.00	18.00
รวม			544.00	81.00	107,575.00	324.00

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผลการประเมินพลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ด้วยโปรแกรม PVsyst

หลังคาอาคารรูปแบบที่ 3 ทิศเหนือ

PVSYST V6.43				29/04/16	Page 1/3

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**Grid-Connected Project at Bangkok**			
Geographical Site	**Bangkok**		Country	**Thailand**
Situation	Latitude	13.7°N	Longitude	100.6°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+7	Altitude	3 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:	**Bangkok**	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic		

Simulation variant :	**New simulation variant**			
	Simulation date	29/04/16 00h36		

Simulation parameters				
Collector Plane Orientation	Tilt	30°	Azimuth	180°
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	No Shadings			
PV Array Characteristics				
PV module Si-mono	Model	**MLU-250HC**		
Original PVsyst database	Manufacturer	Mitsubishi		
Number of PV modules	In series	24 modules	In parallel	6 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	144	Unit Nom. Power	250 Wp
Array global power	Nominal (STC)	**36.0 kWp**	At operating cond.	32.7 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	660 V	I mpp	49 A
Total area	Module area	**238 m²**	Cell area	200 m²
Inverter	Model	**BSG15KTL-E**		
Original PVsyst database	Manufacturer	BYD		
Characteristics	Operating Voltage	360-800 V	Unit Nom. Power	15.0 kWac
Inverter pack	Nb. of inverters	2 units	Total Power	30 kWac
PV Array loss factors				
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	222 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)			

ภาพที่ 138 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศเหนือ (1)

PVSYST V6.43		29/04/16	Page 2/3

Grid-Connected System: Main results

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

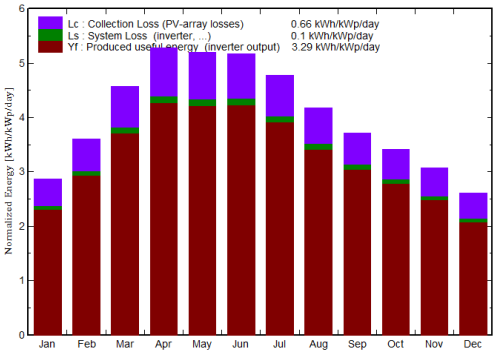
Simulation variant : **New simulation variant**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**			
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	180°	
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp	
PV Array	Nb. of modules	144	Pnom total	**36.0 kWp**	
Inverter	Model	BSG15KTL-E	Pnom	15.00 kW ac	
Inverter pack	Nb. of units	2.0	Pnom total	**30.0 kW ac**	
User's needs	Unlimited load (grid)				

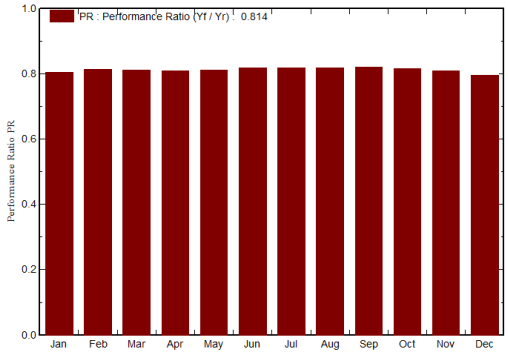
Main simulation results

System Production	**Produced Energy**	**43180 kWh/year**	Specific prod.	1199 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	81.4 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 36.0 kWp



Performance Ratio PR



New simulation variant

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	145.0	27.53	89.0	82.5	2659	2578	12.53	12.15
February	143.7	28.69	101.1	95.4	3047	2961	12.64	12.29
March	174.4	29.82	141.7	135.5	4264	4148	12.62	12.27
April	174.6	30.46	158.4	152.9	4751	4619	12.58	12.23
May	163.4	29.92	161.3	156.3	4845	4709	12.60	12.25
June	152.0	29.16	155.1	150.4	4699	4567	12.71	12.35
July	148.9	29.35	148.1	143.4	4498	4371	12.74	12.38
August	138.7	29.18	129.4	124.9	3928	3815	12.73	12.37
September	130.0	28.35	111.6	107.1	3395	3295	12.76	12.38
October	137.7	28.77	105.7	100.6	3206	3111	12.72	12.34
November	139.8	28.03	92.1	86.1	2767	2684	12.60	12.22
December	141.9	27.63	80.9	74.4	2397	2322	12.42	12.03
Year	1790.1	28.91	1474.3	1409.6	44456	43180	12.65	12.28

Legends:

GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

ภาพที่ 139 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศเหนือ (2)

PVSYST V6.43		29/04/16	Page 3/3

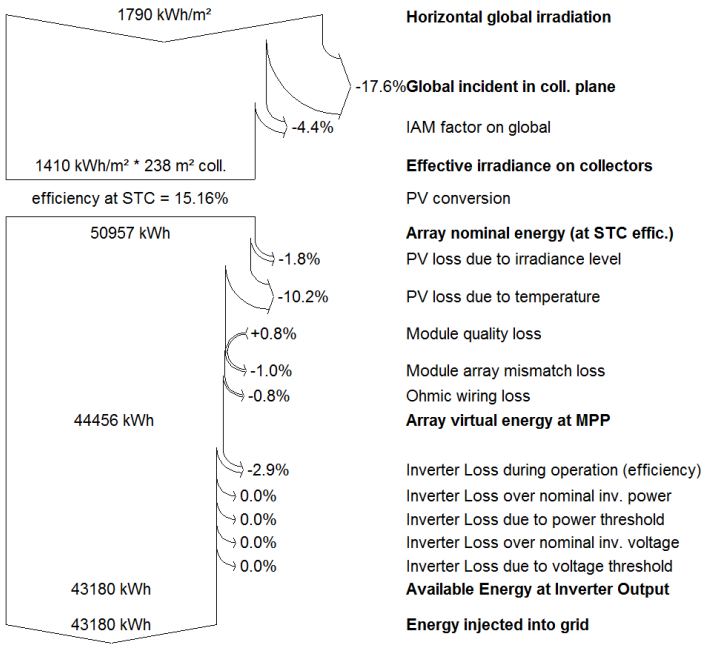
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	180°
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	144	Pnom total	**36.0 kWp**
Inverter	Model	BSG15KTL-E	Pnom	15.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	2.0	Pnom total	**30.0 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



ภาพที่ 140 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศเหนือ (3)

หลังคาอาคารรูปแบบที่ 3 ทิศใต้

PVSYST V6.43				29/04/16	Page 1/3

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**Grid-Connected Project at Bangkok**				
Geographical Site	**Bangkok**		Country	**Thailand**	
Situation	Latitude	13.7°N	Longitude	100.6°E	
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+7	Altitude	3 m	
	Albedo	0.20			
Meteo data:	**Bangkok**	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic			
Simulation variant :	**New simulation variant**				
	Simulation date	29/04/16 00h37			
Simulation parameters					
Collector Plane Orientation	Tilt	30°	Azimuth	0°	
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm	
Horizon	Free Horizon				
Near Shadings	No Shadings				
PV Array Characteristics					
PV module	Si-mono	Model	**MLU-250HC**		
Original PVsyst database		Manufacturer	Mitsubishi		
Number of PV modules		In series	24 modules	In parallel	6 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	144	Unit Nom. Power	250 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**36.0 kWp**	At operating cond.	32.7 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	660 V	I mpp	49 A
Total area		Module area	**238 m²**	Cell area	200 m²
Inverter		Model	**BSG15KTL-E**		
Original PVsyst database		Manufacturer	BYD		
Characteristics		Operating Voltage	360-800 V	Unit Nom. Power	15.0 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	2 units	Total Power	30 kWac
PV Array loss factors					
Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	222 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss				Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)				

ภาพที่ 141 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศใต้ (1)

PVSYST V6.43		29/04/16	Page 2/3

Grid-Connected System: Main results

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

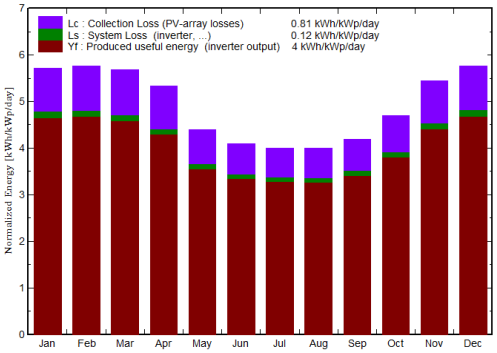
Main system parameters	System type	**Grid-Connected**			
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	0°	
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp	
PV Array	Nb. of modules	144	Pnom total	**36.0 kWp**	
Inverter	Model	BSG15KTL-E	Pnom	15.00 kW ac	
Inverter pack	Nb. of units	2.0	Pnom total	**30.0 kW ac**	
User's needs	Unlimited load (grid)				

Main simulation results

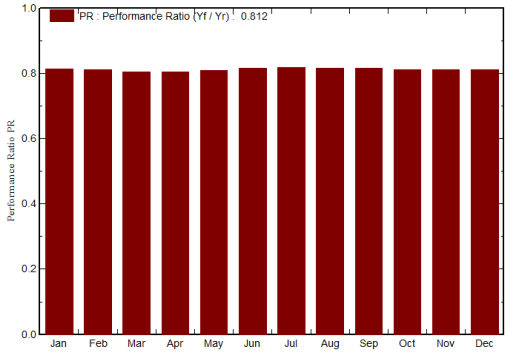
System Production — **Produced Energy** **52507 kWh/year** Specific prod. 1459 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 81.2 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 36.0 kWp



Performance Ratio PR



New simulation variant

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	145.0	27.53	177.3	172.8	5346	5199	12.65	12.30
February	143.7	28.69	161.6	157.3	4851	4718	12.59	12.24
March	174.4	29.82	176.3	170.9	5261	5117	12.52	12.17
April	174.6	30.46	160.0	154.6	4774	4640	12.51	12.16
May	163.4	29.92	136.2	130.7	4092	3975	12.60	12.24
June	152.0	29.16	123.0	117.8	3726	3618	12.70	12.33
July	148.9	29.35	124.1	119.0	3766	3656	12.73	12.35
August	138.7	29.18	124.0	119.3	3750	3641	12.69	12.32
September	130.0	28.35	125.7	121.4	3802	3689	12.69	12.31
October	137.7	28.77	145.5	141.3	4380	4254	12.62	12.26
November	139.8	28.03	163.2	159.1	4909	4770	12.62	12.26
December	141.9	27.63	178.7	174.6	5380	5231	12.63	12.27
Year	1790.1	28.91	1795.5	1738.8	54037	52507	12.62	12.26

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation — EArray Effective energy at the output of the array
T Amb Ambient Temperature — E_Grid Energy injected into grid
GlobInc Global incident in coll. plane — EffArrR Effic. Eout array / rough area
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings — EffSysR Effic. Eout system / rough area

ภาพที่ 142 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศใต้ (2)

PVSYST V6.43		29/04/16	Page 3/3

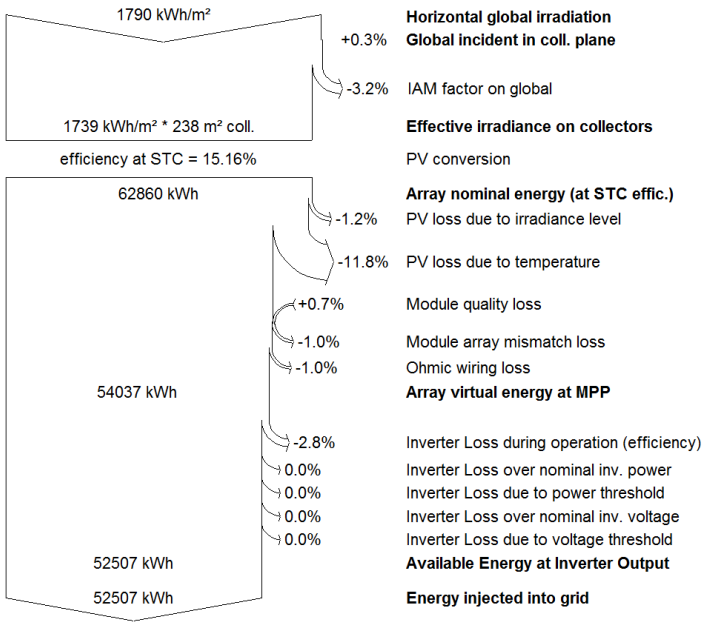
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**			
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	0°	
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp	
PV Array	Nb. of modules	144	Pnom total	**36.0 kWp**	
Inverter	Model	BSG15KTL-E	Pnom	15.00 kW ac	
Inverter pack	Nb. of units	2.0	Pnom total	**30.0 kW ac**	
User's needs	Unlimited load (grid)				

Loss diagram over the whole year



ภาพที่ 143 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศใต้ (3)

หลังคาอาคารรูปแบบที่ 3 ทิศตะวันออก

PVSYST V6.43				29/04/16	Page 1/3

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**Grid-Connected Project at Bangkok**				
Geographical Site	**Bangkok**		Country	**Thailand**	
Situation	Latitude	13.7°N	Longitude	100.6°E	
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+7	Altitude	3 m	
	Albedo	0.20			
Meteo data:	**Bangkok**	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic			
Simulation variant :	**New simulation variant**				
	Simulation date	29/04/16 00h40			
Simulation parameters					
Collector Plane Orientation	Tilt	30°	Azimuth	-90°	
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm	
Horizon	Free Horizon				
Near Shadings	No Shadings				
PV Array Characteristics					
PV module	Si-mono	Model	**MLU-250HC**		
Original PVsyst database		Manufacturer	Mitsubishi		
Number of PV modules		In series	18 modules	In parallel	1 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	18	Unit Nom. Power	250 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**4500 Wp**	At operating cond.	4083 Wp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	495 V	I mpp	8.2 A
Total area		Module area	**29.8 m²**	Cell area	25.0 m²
Inverter		Model	**Theia 4300 S**		
Original PVsyst database		Manufacturer	Eltek Valere		
Characteristics		Operating Voltage	320-630 V	Unit Nom. Power	3.68 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	1 units	Total Power	3.7 kWac
PV Array loss factors					
Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	1000 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss				Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)				

ภาพที่ 144 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศตะวันออก (1)

PVSYST V6.43		29/04/16	Page 2/3

Grid-Connected System: Main results

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

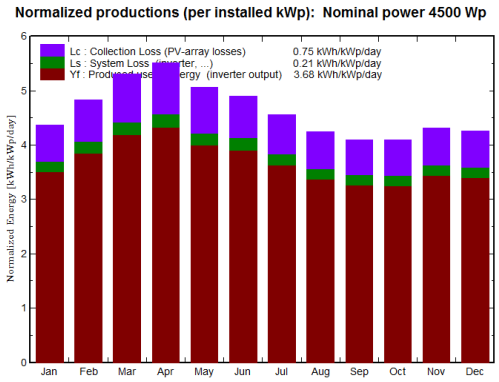
Simulation variant : **New simulation variant**

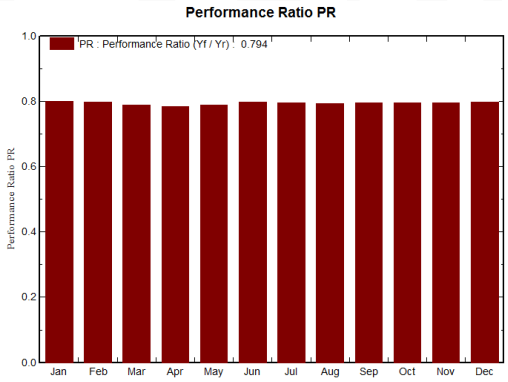
Main system parameters	System type	**Grid-Connected**			
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	-90°	
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp	
PV Array	Nb. of modules	18	Pnom total	**4500 Wp**	
Inverter	Model	Theia 4300 S	Pnom	3680 W ac	
User's needs	Unlimited load (grid)				

Main simulation results

System Production — **Produced Energy** **6038 kWh/year** Specific prod. 1342 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 79.4 %





New simulation variant

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	145.0	27.53	135.6	130.8	516.3	489.2	12.78	12.11
February	143.7	28.69	135.2	130.9	512.4	485.5	12.72	12.05
March	174.4	29.82	164.6	159.8	616.3	583.7	12.57	11.90
April	174.6	30.46	165.4	160.9	616.4	583.3	12.51	11.83
May	163.4	29.92	157.0	152.6	588.9	557.4	12.58	11.91
June	152.0	29.16	147.1	142.7	557.5	528.0	12.71	12.04
July	148.9	29.35	141.3	136.8	535.1	506.9	12.71	12.04
August	138.7	29.18	131.7	127.8	497.6	471.0	12.68	12.00
September	130.0	28.35	122.9	119.1	465.6	440.3	12.71	12.02
October	137.7	28.77	126.9	122.5	479.7	454.1	12.69	12.01
November	139.8	28.03	129.6	124.8	490.7	464.8	12.71	12.04
December	141.9	27.63	131.9	126.8	500.5	474.1	12.73	12.06
Year	1790.1	28.91	1689.1	1635.4	6377.1	6038.3	12.67	11.99

Legends:

GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

ภาพที่ 145 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศตะวันออก (2)

PVSYST V6.43		29/04/16	Page 3/3

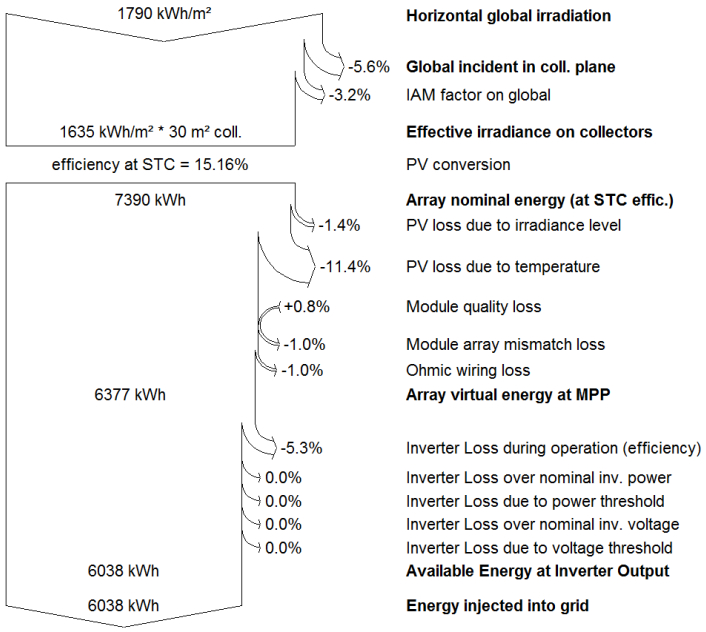
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**			
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	-90°	
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp	
PV Array	Nb. of modules	18	Pnom total	**4500 Wp**	
Inverter	Model	Theia 4300 S	Pnom	3680 W ac	
User's needs	Unlimited load (grid)				

Loss diagram over the whole year



ภาพที่ 146 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศตะวันออก (3)

หลังคาอาคารรูปแบบที่ 3 ทิศตะวันตก

PVSYST V6.43			29/04/16	Page 1/3

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**Grid-Connected Project at Bangkok**			
Geographical Site	**Bangkok**		Country	**Thailand**
Situation	Latitude	13.7°N	Longitude	100.6°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+7	Altitude	3 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:	**Bangkok**	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic		

Simulation variant :	**New simulation variant**			
	Simulation date	29/04/16 00h41		

Simulation parameters				
Collector Plane Orientation	Tilt	30°	Azimuth	90°
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	No Shadings			

PV Array Characteristics					
PV module	Si-mono	Model	**MLU-250HC**		
Original PVsyst database		Manufacturer	Mitsubishi		
Number of PV modules		In series	18 modules	In parallel	1 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	18	Unit Nom. Power	250 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**4500 Wp**	At operating cond.	4083 Wp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	495 V	I mpp	8.2 A
Total area		Module area	**29.8 m²**	Cell area	25.0 m²
Inverter		Model	**Theia 4300 S**		
Original PVsyst database		Manufacturer	Eltek Valere		
Characteristics		Operating Voltage	320-630 V	Unit Nom. Power	3.68 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	1 units	Total Power	3.7 kWac

PV Array loss factors				
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	1000 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05

User's needs : Unlimited load (grid)

ภาพที่ 147 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศตะวันตก (1)

PVSYST V6.43		29/04/16	Page 2/3

Grid-Connected System: Main results

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

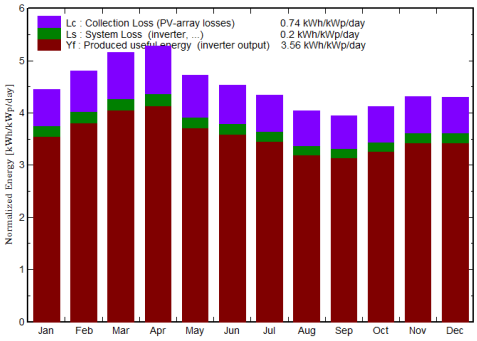
Simulation variant : **New simulation variant**

Main system parameters					
	System type	**Grid-Connected**			
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	90°	
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp	
PV Array	Nb. of modules	18	Pnom total	**4500 Wp**	
Inverter	Model	Theia 4300 S	Pnom	3680 W ac	
User's needs	Unlimited load (grid)				

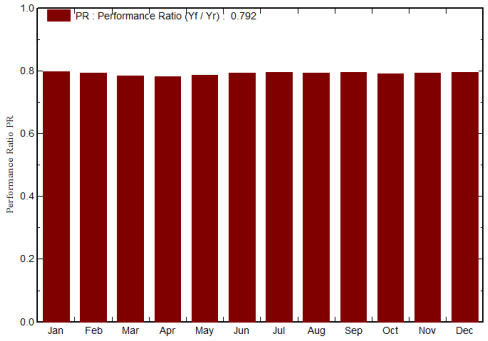
Main simulation results

System Production	**Produced Energy**	**5850 kWh/year**	Specific prod.	1300 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	79.2 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 4500 Wp



Performance Ratio PR



New simulation variant

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	145.0	27.53	138.1	133.3	523.2	495.8	12.71	12.05
February	143.7	28.69	134.6	130.3	507.4	480.8	12.65	11.98
March	174.4	29.82	159.9	154.9	596.9	565.6	12.52	11.86
April	174.6	30.46	158.6	153.5	589.1	557.8	12.46	11.80
May	163.4	29.92	146.3	141.6	546.8	517.7	12.53	11.87
June	152.0	29.16	135.8	131.3	512.2	485.0	12.65	11.98
July	148.9	29.35	134.4	129.8	508.1	481.4	12.69	12.02
August	138.7	29.18	125.1	120.7	471.3	446.4	12.64	11.97
September	130.0	28.35	118.6	114.4	448.6	424.7	12.69	12.02
October	137.7	28.77	127.7	123.4	480.4	454.8	12.62	11.95
November	139.8	28.03	129.5	124.9	488.1	462.2	12.65	11.98
December	141.9	27.63	133.3	128.7	504.3	477.6	12.69	12.02
Year	1790.1	28.91	1642.1	1586.8	6176.4	5849.9	12.62	11.95

Legends:				
	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

ภาพที่ 148 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศตะวันตก (2)

PVSYST V6.43		29/04/16	Page 3/3

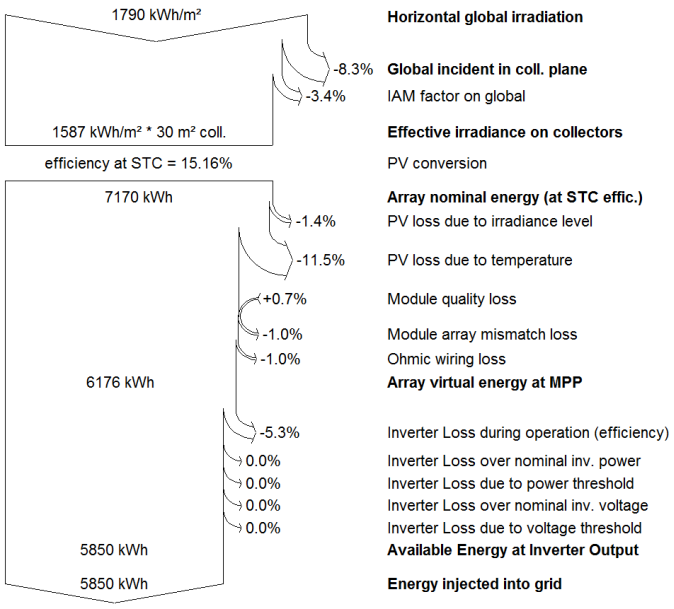
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

Simulation variant : **New simulation variant**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	90°
PV modules	Model	MLU-250HC	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	18	Pnom total	**4500 Wp**
Inverter	Model	Theia 4300 S	Pnom	3680 W ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



ภาพที่ 149 รายงานการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม Pvsyst
อาคารรูปแบบที่ 3 ทิศตะวันตก (3)

ภาคผนวก ค
รายละเอียดผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนและหลังปรับปรุงอาคาร

ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนและหลังปรับปรุงอาคาร

1. อาคารรูปแบบที่ 1 อาคารขนาดมากกว่า 10,000 ตารางเมตร กรณีศึกษาอาคารศาลากลางจังหวัด เลขที่แบบ สถ.37107 จากกรมโยธาธิการและผังเมือง

ตารางที่ 83 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนและหลังปรับปรุงอาคารรูปแบบที่ 1

รายการ	อาคารก่อนปรับปรุง	ปรับปรุงแนวทางที่ 1 OTTV, RTTV	ปรับปรุงแนวทางที่ 2 ไฟฟ้าแสงสว่าง/ปรับอากาศ/อุปกรณ์	ปรับปรุงแนวทาง 1 และ 2 ร่วมกัน
พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	16,718.87	16,718.87	16,718.87	16,718.87
พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	10,048.00	10,048.00	10,049.00	10,049.00
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	6,670.87	6,670.87	6,669.87	6,669.87
พื้นที่ผนัง (ตร.ม.)	7,330.34	7,330.34	7,330.34	7,330.34
พื้นที่หน้าต่าง (ตร.ม.)	3,086.54	3,086.54	3,086.54	3,086.54
พื้นที่หลังคา (ตร.ม.)	5,065.44	5,065.44	5,065.44	5,065.44
จำนวนผู้ใช้อาคาร (คน)	300	300	300	300
OTTV (W/m^2)	57.96	45.57	57.96	45.57
RTTV (W/m^2)	16.72	7.49	16.72	7.49
Coefficient of Performance ,COP	2.91	2.91	3.34	3.34
Lighting Power Density, LPD (W/m^2)	6.82	6.82	2.51	2.51
Equipment Power Density, EQD (W/m^2)	10.45	10.45	3.37	3.37
Occupancy, OCCU (person/m^2)	0.03	0.03	0.03	0.03
Ventilation Rete, VENT (l/s)	0.25	0.25	0.25	0.25
Lighting cooling load, C_l	0.84	0.84	0.84	0.84
Equipment cooling load, C_e	0.85	0.85	0.85	0.85

ตารางที่ 83 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนและหลังปรับปรุงอาคารรูปแบบที่ 1 (ต่อ)

รายการ	อาคารก่อนปรับปรุง	ปรับปรุงแนวทางที่ 1 OTTV, RTTV	ปรับปรุงแนวทางที่ 2 ไฟฟ้าแสงสว่าง/ปรับอากาศ/อุปกรณ์	ปรับปรุงแนวทาง 1 และ 2 ร่วมกัน
Occupant cooling load, C_o	0.90	0.90	0.90	0.90
Ventilation cooling load, C_v	0.90	0.90	0.90	0.90
จำนวนชั่วโมงใช้งาน (n_h)	1,827.00	1,827.00	1,827.00	1,827.00
Lighting Load (kWh/year)	208,319	208,319.46	76,668.89	76,668.89
Equipment Load (kWh/year)	319,199	319,199.17	102,937.92	102,937.92
Cooling Load (kWh/year)	468,304	381,928.24	355,045.14	279,789.73
การใช้พลังงานรวมของอาคาร (E_{pa}) ต่อปี (kWh/year)	995,822	909,446.87	534,651.94	459,396.54
พลังงานรวมของอาคารต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m^2/year)	59.56	54.40	31.98	27.48
ผลการประหยัดพลังงานต่อปี (kWh/year)	-	86,375.62	374,794.93	536,425.94
ผลการประหยัดพลังงานต่อปี (%)	-	8.67	37.64	53.87
พลังงานที่ผลิตที่จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	635,203.00	635,203.00	635,203.00	635,203.00
สมดุลพลังงาน	**- 360,619.49**	**- 274,243.87**	**100,551.06**	**175,806.46**
	ติดลบ	**ติดลบ**	**เหลือใช้**	**เหลือใช้**

2. อาคารรูปแบบที่ 2 อาคารขนาด 2,000–10,000 ตารางเมตร กรณีศึกษาอาคารสำนักงานทั่วไป
สำนักงานที่ดินขนาดใหญ่ แบบเลขที่ 8-58/1 กรมที่ดิน กระทรวงมหาดไทย

ตารางที่ 84 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนและหลังปรับปรุง อาคารรูปแบบที่ 2

รายการ	อาคาร ก่อน ปรับปรุง	ปรับปรุง แนวทางที่ 1 OTTV, RTTV	ปรับปรุงแนวทางที่ 2 ไฟฟ้าแสงสว่าง/ ปรับอากาศ/ อุปกรณ์	ปรับปรุง แนวทาง 1 และ 2 ร่วมกัน
พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	2,433.64	2,433.64	2,433.64	2,433.64
พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	1,632.16	1,632.16	1,632.16	1,632.16
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	801.48	801.48	801.48	801.48
พื้นที่ผนัง (ตร.ม.)	690.64	690.64	690.64	690.64
พื้นที่หน้าต่าง (ตร.ม.)	250.33	250.33	250.33	250.33
พื้นที่หลังคา (ตร.ม.)	1,493.72	1,493.72	1,493.72	1,493.72
จำนวนผู้ใช้อาคาร (คน)	66	66	66	66
OTTV (W/m^2)	79.54	48.69	79.54	48.69
RTTV (W/m^2)	30.96	8.50	30.96	8.50
Coefficient of Performance ,COP	3.37	3.37	3.37	3.37
Lighting Power Density, LPD (W/m^2)	5.41	5.41	2.14	2.14
Equipment Power Density, EQD (W/m^2)	24.91	24.91	10.57	10.57
Occupancy, OCCU (person/m^2)	0.16	0.16	0.16	0.16
Ventilation Rete, VENT (l/s)	0.25	0.25	0.25	0.25
Lighting cooling load, C_l	0.84	0.84	0.84	0.84
Equipment cooling load, C_e	0.85	0.85	0.85	0.85
Occupant cooling load, C_o	0.90	0.90	0.90	0.90

ตารางที่ 84 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนและหลังปรับปรุงอาคารรูปแบบที่ 2 (ต่อ)

รายการ	อาคารก่อนปรับปรุง	ปรับปรุงแนวทางที่ 1 OTTV, RTTV	ปรับปรุงแนวทางที่ 2 ไฟฟ้าแสงสว่าง/ปรับอากาศ/อุปกรณ์	ปรับปรุงแนวทาง 1 และ 2 ร่วมกัน
Ventilation cooling load, C_v	0.90	0.90	0.90	0.90
จำนวนชั่วโมงใช้งาน (n_h)	1,827.00	1,827.00	1,827.00	1,827.00
Lighting Load (kWh/year)	24,054.27	24,054	9,515.00	9,515.00
Equipment Load (kWh/year)	110,756.34	110,756	46,996.97	46,996.97
Cooling Load (kWh/year)	98,953.23	69,211	85,736.12	55,997.11
การใช้พลังงานรวมของอาคาร (E_{pa}) ต่อปี (kWh/year)	233,764	204,022	142,248.08	112,509.08
พลังงานรวมของอาคารต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m^2/year)	96.06	83.83	58.45	46.23
ผลการประหยัดพลังงานต่อปี (kWh/year)	-	29,742	91,515.76	121,254.77
ผลการประหยัดพลังงานต่อปี (%)	-	12.7229881	39.15	51.87
พลังงานที่ผลิตที่จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	189,052.00	189,052.00	189,052.00	189,052.00
สมดุลพลังงาน	-44,711.85	-14,970.10	46,803.92	76,542.92
	ติดลบ	ติดลบ	เหลือใช้	เหลือใช้

3. อาคารรูปแบบที่ 3 อาคารขนาดน้อยกว่า 2,000 ตารางเมตร กรณีศึกษาอาคารที่ว่าการอำเภอขนาดใหญ่ เลขที่แบบ ม.18155 จากกรมโยธาธิการและผังเมือง

ตารางที่ 85 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนและหลังปรับปรุง อาคารรูปแบบที่ 3

รายการ	อาคารก่อนปรับปรุง	ปรับปรุงแนวทางที่ 1 OTTV,RTTV	ปรับปรุงแนวทางที่ 2 ไฟฟ้าแสงสว่าง/ปรับอากาศ/อุปกรณ์	ปรับปรุงแนวทาง 1 และ 2 ร่วมกัน
พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	1,448.00	1,448.00	1,448.00	1,448.00
พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	826.20	826.20	826.20	826.20
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	621.80	621.80	621.80	621.80
พื้นที่ผนัง (ตร.ม.)	805.26	805.26	805.26	805.26
พื้นที่หน้าต่าง (ตร.ม.)	274.38	274.38	274.38	274.38
พื้นที่หลังคา (ตร.ม.)	1,029.69	1,029.69	1,029.69	1,029.69
จำนวนผู้ใช้อาคาร (คน)	31	31	31	31
OTTV (W/m^2)	63.88	48.01	63.88	47.75
RTTV (W/m^2)	33.25	8.78	33.25	8.86
Coefficient of Performance ,COP	3.10	3.10	3.45	3.45
Lighting Power Density, LPD (W/m^2)	8.89	8.89	3.46	3.46
Equipment Power Density, EQD (W/m^2)	18.59	18.59	5.67	5.22
Occupancy, OCCU ($person/m^2$)	0.04	0.04	0.04	0.04
Ventilation Rete, VENT (*l*/s)	0.25	0.25	0.25	0.25
Lighting cooling load, C_l	0.84	0.84	0.84	0.84
Equipment cooling load, C_e	0.85	0.85	0.85	0.85
Occupant cooling load, C_o	0.90	0.90	0.90	0.90

ตารางที่ 85 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานก่อนและหลังปรับปรุงอาคารรูปแบบที่ 3 (ต่อ)

รายการ	อาคารก่อนปรับปรุง	ปรับปรุงแนวทางที่ 1 OTTV,RTTV	ปรับปรุงแนวทางที่ 2 ไฟฟ้าแสงสว่าง/ปรับอากาศ/อุปกรณ์	ปรับปรุงแนวทาง 1 และ 2 ร่วมกัน
Ventilation cooling load, C_v	0.90	0.90	0.90	0.90
จำนวนชั่วโมงใช้งาน (n_h)	1,827.00	1,827.00	1,827.00	1,827.00
Lighting Load (kWh/year)	23,518	23,518	9,153	9,153
Equipment Load (kWh/year)	49,180	49,180	15,000	13,809
Cooling Load (kWh/year)	66,733	44,351	53,162	32,817
การใช้พลังงานรวมของอาคาร (E_{pa}) ต่อปี (kWh/year)	139,431	117,050	77,316	55,780
พลังงานรวมของอาคารต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m^2/year)	96.29	80.84	53.39	38.52
ผลการประหยัดพลังงานต่อปี (kWh/year)	-	22,381	62,115	83,651
ผลการประหยัดพลังงานต่อปี (%)	-	16.05	44.5492069	59.99
พลังงานที่ผลิตที่จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	107,575.00	107,575.00	107,575.00	107,575.00
สมดุลพลังงาน	-31,856.01	-9,474.68	30,259.40	51,795.24
	ติดลบ	ติดลบ	เหลือใช้	เหลือใช้

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล นางสาว วงศิยา อนุศักดากุล
ที่อยู่ 3/947 ถนนกลางเมือง อำเภอเมือง ตำบลในเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2557 สำเร็จการศึกษาปริญญาสถาปัตกรรมศาสตรบัณฑิต
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2557 ศึกษาต่อหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร