# การปรับปรุงอาคารที่ทำการสถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ประพัทธ์ ชื่นชุมศรี

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและ
วิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
พ.ศ. 2561

# Improvement of EGAT's Building Office Ubon Ratchathani High Voltage Station to be Net Zero Energy Building

**Praphath Chunchomsri**

**A Thematic paper Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements**

**for the Degree of Master of Engineering**

**College of Innovative Technology and Engineering**

**Faculty of Engineering, Dhurakij Pundit University**

**2018**

หัวข้อสารนิพนธ์ การปรับปรุงอาคารที่ทำการสถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์
ชื่อผู้เขียน ประพัทธ์ ชื่นชุมศรี
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์
สาขาวิชา การจัดการทางวิศวกรรม
ปีการศึกษา 2560

## บทคัดย่อ

การศึกษาการปรับปรุงอาคารที่ทำการสถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยอาคารนี้เป็นอาคารก่อสร้างใหม่ สูง 4 ชั้น ประกอบด้วยพื้นที่สำนักงาน ห้องประชุม ห้องน้ำ พื้นที่ใช้สอยทั้งหมด 2,273.81 ตารางเมตร มีพื้นที่ปรับอากาศ 1,027.17 ตารางเมตร โดยผลการจำลองค่าพลังงานสำหรับอาคารต้นแบบผ่านโปรแกรม Building Energy Code (BEC) มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (Overall Thermal Transfer Value : OTTV) เท่ากับ 49.663 $W/m^2$, ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร (Roof Thermal Transfer Value : RTTV) เท่ากับ 6.018 $W/m^2$, Lighting Power Density เท่ากับ 6.697 $W/m^2$ และค่าพลังงานรวมที่ใช้ตลอดปีเท่ากับ 93,709.72 kWh/Year การศึกษานี้มีเป้าหมายหลักคือ กำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคารเพื่อลดการใช้พลังงาน รวมกับพลังงานที่จัดหาได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องมีค่ามากกว่าค่าพลังงานรวมที่ใช้ตลอดปีของอาคารต้นแบบ โดยมีมาตรการปรับปรุงอาคาร 6 มาตรการ คือ 1.ปรับปรุงผนังทึบ 2.เปลี่ยนวัสดุกระจก 3.ลดขนาดกระจก 4.เพิ่มแผงบังแดด 5.การใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร และ 6.การจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการศึกษาพบว่าทางเลือกที่เหมาะสมสุดที่ใช้ในการปรับปรุงอาคาร คือ ใช้มาตรการเปลี่ยนวัสดุกระจกเป็นชนิด Clear Color Single Silver Low-E coat on Ocean Green 6 mm (6-6-6), มาตรการปรับปรุงอาคารโดยการลดขนาดหน้าต่างชนิด น1 ประมาณร้อยละ 25, มาตรการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร และมาตรการจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจากมาตรการทั้งหมดทำให้มีค่า OTTV ลดลงเป็น 30.168 $W/m^2$, RTTV เท่ากับ 6.018 $W/m^2$, Lighting Power Density เท่ากับ 6.697 $W/m^2$ และค่าพลังงานรวมที่ใช้ตลอดปี 82,195.43 kWh/Year ค่าพลังงานรวมที่จัดหาได้ 82,555.55 kWh/Year ซึ่งทำให้การใช้พลังงานเป็นบวก คือสามารถจัดหาพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าที่ใช้เท่ากับ 360.12 kWh/Year งบประมาณลงทุน 7,701,066.15 บาท และมีค่าระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลดที่ 28 ปี

| | |
|---|---|
| Thematic Paper Title | Improvement of EGAT's Building Office Ubon Ratchathani High Voltage Station to be Net Zero Energy Building |
| Author | Praphath Chunchomsri |
| Thematic Paper Advisor | Asst. Prof. Aumnad Phdungsilp, Ph.D., Tekn. Dr. |
| Department | Engineering Management |
| Academic Year | 2017 |

## ABSTRACT

Improvement of EGAT Building Office Ubon Ratchathani High Voltage Station to be Net Zero Energy Building. The new 4-storey office building. The building includes office, meeting room, corridor and restroom. Utility Space is 2,273.81 $m^2$ and Air-conditioned area is 1,027.17 $m^2$. The results of the simulation of energy values for the original buildings through the Building Energy Code (BEC) program are Overall Thermal Transfer Value (OTTV) = 49.663 $W/m^2$, Roof Thermal Transfer Value (RTTV) = 6.018 $W/m^2$, Lighting Power Density = 6.697 $W/m^2$ and whole building energy = 93,709.72 kWh/Year. It will set guidelines for building improvements to reduce energy consumption. Combined with the energy produced by solar cells. Must be greater than the total annual energy consumption of the original building at 93,709.72 kWh/Year. There are six ways to improve the building: 1. Improve the wall 2. Change the windows material 3. Reduce the size of windows 4. Add shading 5. Use day lighting 6. Solar Power Generation.

The results show that the option 4 is: 2. Change the windows material to clear color single silver low-e coat on ocean green 6 mm (6-6-6) 3. Reduce the size of windows type n1 25% 5. Use day lighting 6. Solar Power Generation. The results of the simulation of energy values OTTV = 30.168 $W/m^2$, RTTV = 6.018 $W/m^2$, Lighting power Density = 6.697 $W/m^2$, whole building energy 82,195.43 kWh/Year, Solar Power Generation 82,555.55 kWh/Year Investment budget 7,701,066.15 baht And it has a discounted payback period of 28 years.

# กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ในหัวข้อ การปรับปรุงอาคารที่ทำการ สถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ โดยได้รับความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ ตลอดจนชี้แนะแนวทางในการวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และฝ่ายออกแบบและบริหารงานก่อสร้าง ที่ให้ความเอื้อเฟื้อช่วยเหลือในด้านข้อมูล ที่ใช้ในการทำวิจัยจนสำเร็จไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา เพื่อนๆ และเจ้าหน้าที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ทุกท่านที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจ ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ที่มีส่วนในการวางรากฐานการศึกษาให้แก่ผู้วิจัย

ประพัทธ์ ชื่นชุมศรี

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ฆ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ง

กิตติกรรมประกาศ..... จ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ญ

รายการสัญลักษณ์..... ฏ

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 4

1.3 ขอบเขตการศึกษา..... 4

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 5

2. แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6

2.1 แนวคิด และนิยามของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์..... 6

2.2 วิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ..... 15

2.3 วัสดุสำหรับกรอบอาคาร..... 25

2.4 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์..... 36

2.5 การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า..... 39

2.6 การวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อใช้ในการประเมินโครงการลงทุน..... 41

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 42

3. ระเบียบวิธีวิจัย..... 45

3.1 ประเภทของการวิจัย..... 45

3.2 วิธีการวิจัย..... 46

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 47

3.4 ปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย..... 47

# สารบัญ (ต่อ)


| บทที่ | หน้า |
|---|---|
| 3.5 วิธีวิเคราะห์ผลการวิจัย…….…….. | 51 |
| 4. ผลการศึกษา.....…… | 52 |
| 4.1 วิเคราะห์ข้อมูลอาคารต้นแบบ…….. | 52 |
| 4.2 เป้าหมายการใช้พลังงาน…….…….. | 55 |
| 4.3 มาตรการปรับปรุงอาคาร…….……...……..…….. | 55 |
| 4.4 ทางลือกการพัฒนาอาคาร…….……..…….. | 62 |
| 5. สรุปผลการทดลอง...……... | 77 |
| 5.1 สรุปผลการศึกษา…….. | 77 |
| 5.2 ข้อจำกัด…….…….. | 77 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ…….…….…….. | 78 |
| บรรณานุกรม…….. | 79 |
| ภาคผนวก…… | 82 |
| ก. รูปแบบอาคาร และตำแหน่งของระบบไฟฟ้าแสงสว่างอาคารที่ทำการสถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี กฟผ…… | 83 |
| ข. ข้อมูลการสร้างแบบจำลองของอาคารโดยใช้โปรแกรม BEC…… | 91 |
| ประวัติผู้เขียน…….. | 97 |

# สารบัญตาราง


**ตารางที่** **หน้า**

2.1 ลำดับการใช้พลังงานหมุนเวียน……..... 10

2.2 ทางเลือกในการใช้พลังงานหมุนเวียนกับอาคาร..……..... 11

2.3 หลักเกณฑ์พลังงานที่กำหนดสำหรับ nZEB ในแต่ละประเทศสำหรับอาคารใหม่..... 13

2.4 ค่าการใช้พลังงานสุทธิ (Net Consumption) จากแบบจำลองของอาคารแต่ละประเภทในแต่ละระดับความสามารถในการประหยัดพลังงาน..... 15

2.5 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร..... 22

2.6 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร..... 23

2.7 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดต่อพื้นที่ใช้งาน..……..…… 23

2.8 สัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก..……..…… 24

2.9 สัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่..……..…… 25

2.10 ชนิดของกลุ่มวัสดุผนังทึบ…… 26

2.11 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามประเภท 3.2…… 40

3.1 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทสถานศึกษาหรือสำนักงาน..... 48

3.2 ค่ามาตรฐานความส่องสว่างที่กฎหมายกำหนด..... 49

4.1 วัสดุที่ใช้ในอาคารต้นแบบ..... 54

4.2 มาตรการที่ 1 วัสดุแบบที่ 2 ใช้วัสดุผนังเป็นคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น มีช่องอากาศตรงกลาง..... 56

4.3 มาตรการที่ 1 วัสดุแบบที่ 3 ใช้วัสดุผนังเป็นคอนกรีตมวลเบา บุฉนวนใยแก้ว 2" และแผ่นยิปซั่ม..... 56

4.4 มาตรการที่ 1 วัสดุแบบที่ 4 ใช้วัสดุผนังเป็นคอนกรีตมวลเบา เว้นช่องอากาศ บุฉนวนใยแก้ว 2" และแผ่นยิปซั่ม..... 57

# สารบัญตาราง (ต่อ)

**ตารางที่** **หน้า**

4.5 มาตรการที่ 2 เปลี่ยนวัสดุกระจกเป็นชนิด Clear Color Single Silver Low-E coat on Ocean Green 6 mm (6-6-6)..... 58

4.6 มาตรการที่ 3 ลดขนาดหน้าต่างชนิด น1.....……...……..……..…… 59

4.7 มาตรการที่ 4 เพิ่มแผงบังแดดแนวนอน ความลึก 1.2 เมตร……...…… 60

4.8 มาตรการที่ 5 การใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร……...……..…… 60

4.9 มาตรการที่ 6 การจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์.....…… 62

4.10 การคำนวณค่า NPV, IRR, DPB สำหรับทางเลือกที่ 1…...…… 63

4.11 การคำนวณค่า NPV, IRR, DPB สำหรับทางเลือกที่ 2…… 66

4.12 การคำนวณค่า NPV, IRR, DPB สำหรับทางเลือกที่ 3 ..... 70

4.13 การคำนวณค่า NPV, IRR, DPB สำหรับทางเลือกที่ 4..... 74

# สารบัญภาพ

**ภาพที่** **หน้า**


1.1 ปริมาณการใช้พลังงานทั่วโลกตั้งแต่ปี ค.ศ.1965-2014..... 2

1.2 สัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าทั่วโลก ปี พ.ศ.2557..... 2

1.3 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดค่าได้ตั้งแต่ปี ค.ศ.2005 จนถึงปัจจุบัน..... 3

1.4 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยปี พ.ศ. 2558..... 4

2.1 แผนระยะเวลาสำหรับอาคารเข้าใกล้ศูนย์ในสหภาพยุโรป..... 7

2.2 ภาพแสดงตำแหน่งอาคาร NZEB ทั่วโลก..... 7

2.3 ทางเลือกการใช้พลังงานหมุนเวียนกับอาคาร..... 12

2.4 แสดงการก่ออิฐมอญ..... 28

2.5 แสดงการก่อคอนกรีตบล็อก..... 29

2.6 *แสดงการก่อคอนกรีตมวลเบา*..... 30

2.7 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้กระจกใสในสำนักงาน..... 31

2.8 แสดงตัวอย่างกระจกสี..... 32

2.9 แสดงตัวอย่างของกระจกสีตัดแสง..... 32

2.10 แสดงตัวอย่างของกระจกเคลือบผิวสะท้อนแสง..... 33

2.11 แสดงกระจกกันความร้อนชนิดใช้อากาศแห้งเป็นฉนวนตรงกลาง..... 34

2.12 แสดงกระจกกันความร้อนชนิดใช้ก๊าซเป็นฉนวนตรงกลาง..... 35

2.13 แสดงตัวอย่างการติดตั้งกันสาดบังแดด..... 36

2.14 ทิศทางการติดตั้งแผงพลังงาแสงอาทิตย์..... 39

3.1 ตัวอย่างโปรแกรม BEC..... 47

4.1 ตำแหน่งที่ตั้งของอาคารที่ทำการ สถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี กฟผ..... 53

4.2 เปรียบเทียบขนาดหน้าต่างก่อนและหลังการปรับปรุง..... 59

4.3 ตำแหน่งที่ตั้งของที่จอดรถใหม่สำหรับอาคารที่ทำการ สฟ.อุบลราชธานี กฟผ.... 61

## รายการสัญลักษณ์

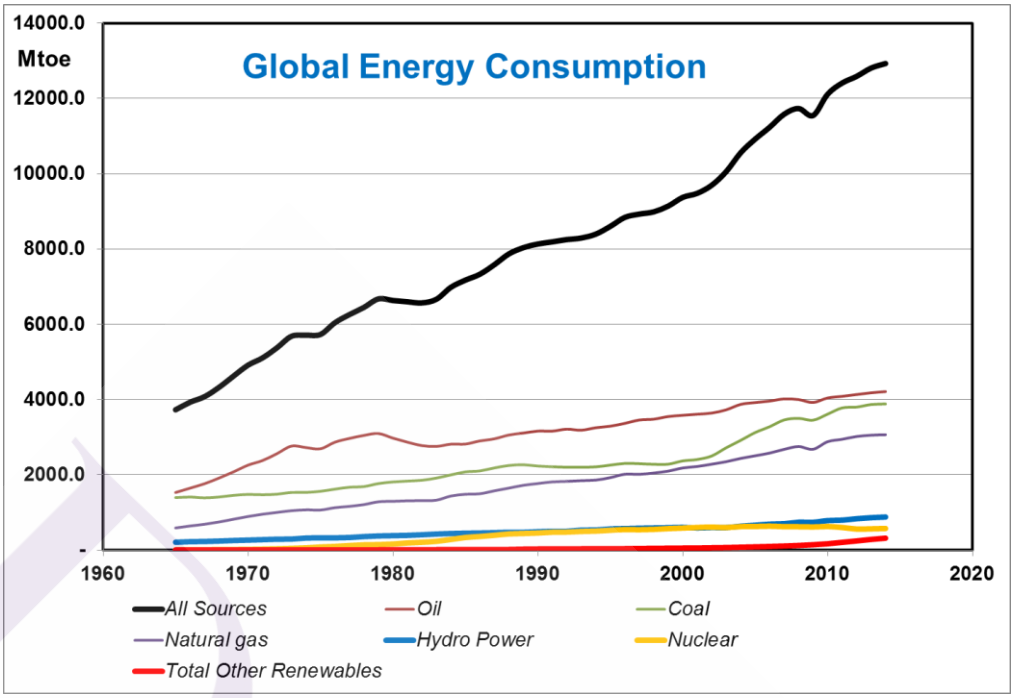
| | | |
|---|---|---|
| NZEB | อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์ | |
| OTTV | ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก | $W/m^2$ |
| RTTV | ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา | $W/m^2$ |
| LPD | กำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ | $W/m^2$ |
| kWh | หน่วยของพลังงานไฟฟ้า เท่ากับ 1,000 วัตต์-ชั่วโมง | kWh |
| PB | ระยะเวลาคืนทุน | ปี |
| DPB | ระยะเวลาคืนทุนคิดลด | ปี |
| NPV | มูลค่าปัจจุบันสุทธิ | บาท |
| IRR | อัตราผลตอบแทนภายใน | % |

# บทที่ 1
# บทนำ

**1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา**

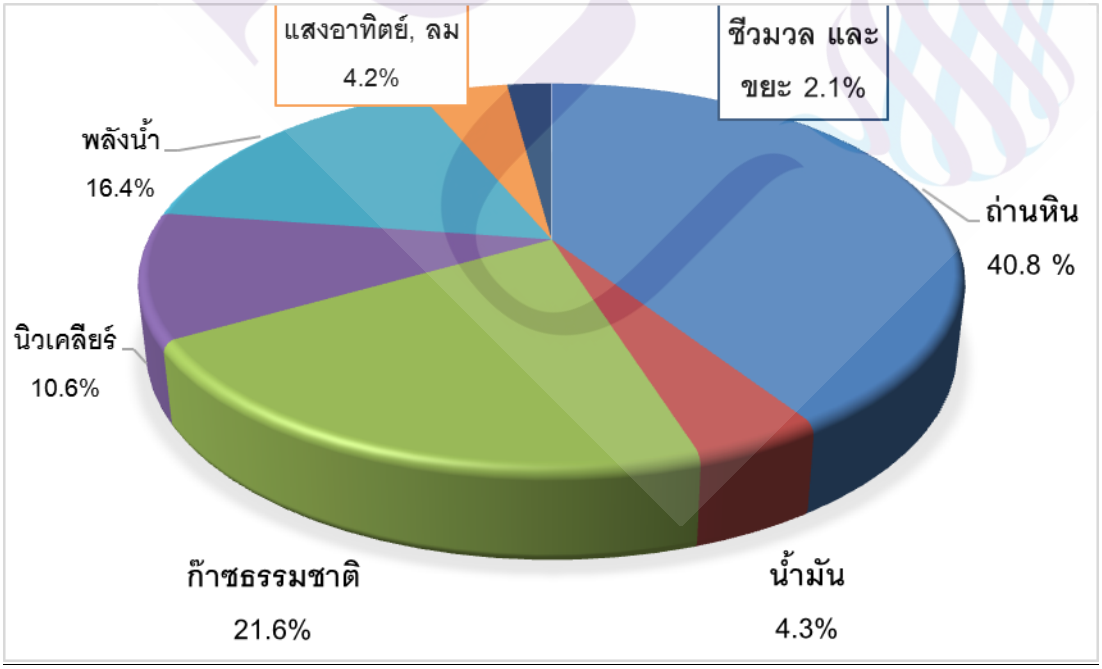
ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการใช้พลังงานที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ดังภาพที่ 1.1 สาเหตุเกิดจากการเพิ่มจำนวนของประชากร, ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี และการขยายตัวทางเศรษฐกิจและสังคมเพื่อการพัฒนาในด้านต่างๆ ซึ่งแหล่งพลังงานส่วนใหญ่มาจากเชื้อเพลิงที่นำมาจากทรัพยากรธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นถ่านหิน น้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติ ดังภาพที่ 1.2 โดยในอนาคตทรัพยากรพลังงานที่มีอยู่ก็จะค่อยๆลดลงจนหมดไปในที่สุด ซึ่งการใช้แหล่งพลังงานอย่างสิ้นเปลืองและไม่มีประสิทธิภาพแล้ว จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมาอย่างเช่น มลพิษทางอากาศ, ดิน และน้ำ โดยองค์การนาซ่าได้ทำการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศตั้งแต่ปี ค.ศ.2005 จนถึงปัจจุบัน พบว่ามีปริมาณก๊าซที่เพิ่มสูงขึ้นทุกปี ดังรูปภาพที่ 1.3 โดยผลกระทบที่เกิดตามมาก็คือการเกิดภาวะเรือนกระจก ซึ่งเป็นผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยทั่วโลกมีแนวโน้มที่อุณหภูมิจะสูงขึ้นเรื่อยๆ

โดยในปี พ.ศ.2559 ประเทศไทย นำเข้าพลังงานปฐมภูมิ (Primary Energy) (สุทธิ) อยู่ที่ระดับ 1,275 พันบาร์เรลเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อวัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 8 จากสองปีก่อน การนำเข้า (สุทธิ) พลังงานเกือบทุกประเภทเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งไฟฟ้านำเข้าเพิ่มขึ้นจากโรงไฟฟ้าหงสาของ สปป.ลาว ซึ่งเริ่มส่งไฟฟ้าเข้าระบบของไทยตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2558 ส่วนการนำเข้าก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้นจากแหล่งซอติก้า ประเทศเมียนมา เริ่มขายก๊าซธรรมชาติให้ประเทศไทยตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2557 ประกอบกับมีการนำเข้า LNG เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ การนำเข้าพลังงานขั้นต้น (สุทธิ) คิดเป็นร้อยละ 60 ของการใช้พลังงานขั้นต้น (ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน)



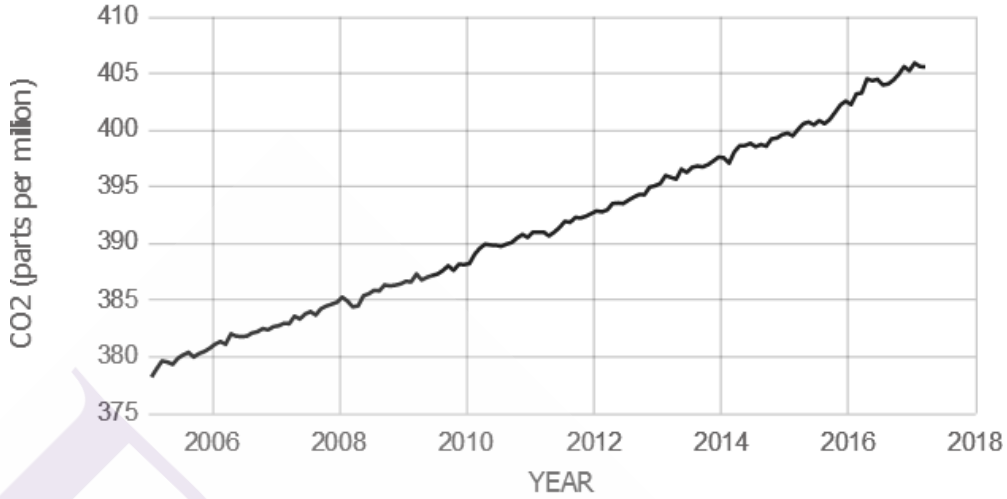

**ภาพที่ 1.1** ปริมาณการใช้พลังงานทั่วโลกตั้งแต่ปี ค.ศ.1965-2014

**ที่มา:** https://ktwop.com/tag/global-energy-consumption/




**ภาพที่ 1.2** สัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าทั่วโลก ปี พ.ศ.2557

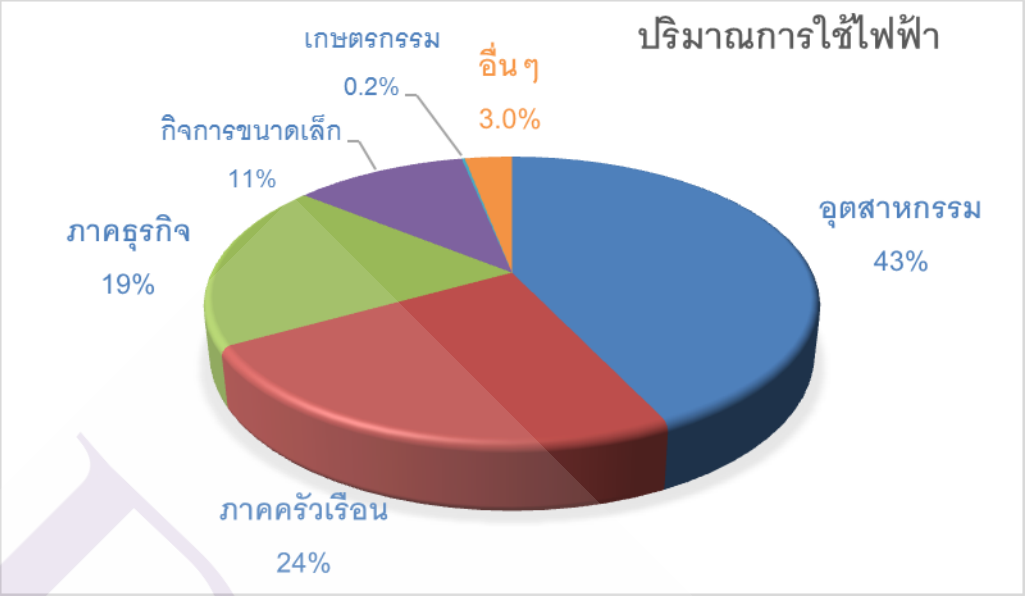
**ที่มา:** https://www.egat.co.th/




**ภาพที่ 1.3** ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของโลกที่วัดค่าได้ตั้งแต่ปี ค.ศ.2005 จนถึงปัจจุบัน

**ที่มา:** http://climate.nasa.gov

ในประเทศไทยการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารภาคธุรกิจและกิจการขนาดเล็ก พบว่ามีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมกันสูงถึงกว่า 30% ดังแสดงในภาพที่ 1.4 โดยการใช้ไฟฟ้า ในปี พ.ศ. 2558 อยู่ที่ 174,833 ล้านหน่วย เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.6 จากปีก่อน เนื่องจากสภาพอากาศที่ร้อนจัดเป็นช่วงเวลานานโดยเฉพาะในช่วงครึ่งแรกของปี ประกอบกับการขยายตัวของภาคธุรกิจโดยเฉพาะธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวและการก่อสร้าง ขณะที่การใช้ไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นไม่มากนักตามการหดตัวของการส่งออกซึ่งเป็นผลกระทบจากเศรษฐกิจโลกที่ยังชะลอตัว โดยที่การใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเกือบทุกสาขาเศรษฐกิจ ยกเว้นการใช้ในภาคเกษตรกรรมที่ลดลงเนื่องจากปัญหาภัยแล้งซึ่งส่งผลให้ปริมาณน้ำไม่เพียงพอสำหรับทำการเกษตรในบางพื้นที่ (ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน) และในอนาคตประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆทุกปี ดังนั้นภาคอาคารไม่ว่าจะเป็นอาคารที่อยู่อาศัยและอาคารพาณิชย์ จึงมีส่วนสำคัญในการกำหนดอัตราการจัดหาพลังงานไฟฟ้า เพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งานภายในประเทศ และต้องคำนึงถึงการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศอีกด้วย




**ภาพที่ 1.4** สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยปี พ.ศ. 2558

**ที่มา:** สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

ขณะนี้ทั่วโลกจึงมีแนวความคิดที่ว่าจะพัฒนาการใช้พลังงานภายในอาคารอย่างไรให้คุ้มค่าและคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมและต่อสังคมในภาพรวมมากที่สุด (Sustainable Development) โดยจะต้องเป็นการพึ่งพาการใช้พลังงานที่จัดหาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลให้ได้น้อยที่สุด และแนวคิดการประหยัดพลังงานเกี่ยวกับการใช้พลังงานให้ได้ต่ำที่สุด โดยมีพลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ (Nearly Zero Energy Building หรือ NZEB) จึงได้ถูกนำมาใช้ ซึ่งก็จะมีหลักการว่า พลังงานไฟฟ้าที่รับจากระบบที่นำมาใช้หักกับพลังงานที่อาคารจัดหาได้จะมีค่าสุทธิที่เข้าใกล้ศูนย์ โดยที่ผู้ใช้งานภายในอาคารนั้นยังต้องมีคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารที่ดี (Indoor Environmental Quality)

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการปรับปรุงอาคารที่ทำการ สถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. วิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงอาคารที่ทำการ สถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี กฟผ. สู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยกำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคาร เพื่อลดการใช้พลังงาน โดยให้

พลังงานเฉลี่ยใน 1 ปี ต้องมีค่าการใช้พลังงานน้อยกว่าหรือเท่ากับ กับพลังงานที่จัดหาได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

2. วิเคราะห์ความคุ้มทุนในการปรับปรุงอาคารที่ทำการ สถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี กฟผ. สู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

3. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พิจารณาตามอายุการใช้งานของอาคารเฉลี่ย 50 ปี

**1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารที่ทำการ สถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี กฟผ. สู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

2. เป็นอาคารต้นแบบเพื่อใช้ในการศึกษา สำหรับอาคารที่จะสร้างใหม่หรือปรับปรุงอาคารทั้งภายในองค์กร กฟผ. และองค์กรอื่นๆ

3. ใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด เนื่องจากอาคารที่วิจัยจะต้องมีมาตรการในการลดการใช้พลังงานที่เหมาะสมที่สุด

4. เนื่องจากงานวิจัยนี้มีการจัดหาพลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ลดการใช้พลังงานที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลลงได้ ซึ่งจะช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ

5. สร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับองค์กร

# บทที่ 2
# แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการรวบรวมแนวคิด ทฤษฎี ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และกฎหมายในประเทศไทยซึ่งใช้เป็นปัจจัยในการวิจัยโดยมีหัวข้อต่างๆดังนี้

2.1 แนวคิด และนิยามของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

2.2 หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ

2.3 วัสดุสำหรับกรอบอาคาร

2.4 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์

2.5 การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า

2.6 การวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อใช้ในการประเมินโครงการลงทุน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

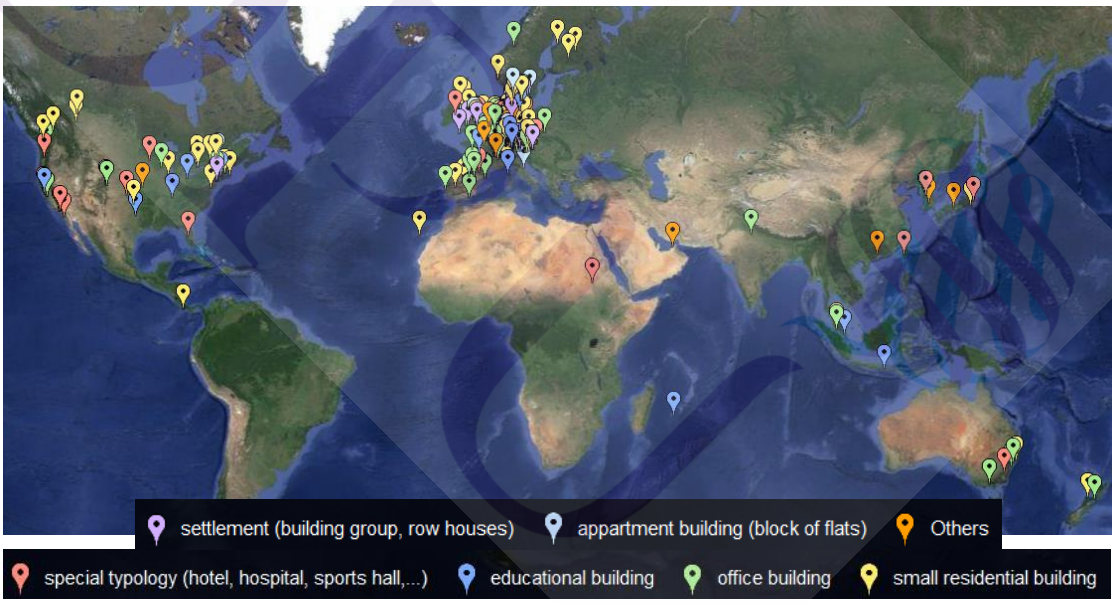
## 2.1 แนวคิด และนิยามของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ทั้งนี้ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา แนวคิดของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเท่ากับหรือเข้าใกล้ศูนย์ (Net/Nearly Zero Energy Building: NZEB) เริ่มเป็นที่สนใจและศึกษาในระดับนานาชาติ ซึ่งในขณะนี้ทั่วโลกต่างให้ความสนใจในการก่อสร้างอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเท่ากับหรือเข้าใกล้ศูนย์ โดยสหภาพยุโรป (EU) ได้มีแผนกำหนดเป้าหมายว่า หลังจากปี ค.ศ.2020 เป็นต้นไป อาคารที่จะสร้างใหม่ทุกหลังจะต้องเป็น Nearly Zero Energy Building โดยมีแผนระยะเวลาดังภาพที่ 2.1

**ภาพที่ 2.1** แผนระยะเวลาสำหรับอาคารเข้าใกล้ศูนย์ในสหภาพยุโรป

**ที่มา:** BPIE Factsheet nZEB definitions across Europe (2015)

โดยอาคารที่เป็น NZEB ก่อสร้างแล้วเสร็จแสดงดังภาพที่ 2.3




**ภาพที่ 2.2** ภาพแสดงตำแหน่งอาคาร NZEB ทั่วโลก

**หมายเหตุ.*** ข้อมูล ณ เดือนกันยายน ค.ศ.2013

**ที่มา:** http://www.enob.info/en/net-zero-energy-buildings/map/

โดยแม้อาคารที่มีการใช้พลังงานรวมสุทธิเท่ากับหรือเข้าใกล้ศูนย์ (NZEB) จะเป็นที่สนใจ แต่ในปัจจุบันในแต่ละประเทศยังไม่มีกรอบนิยามร่วมกันที่แน่นอน โดยจะขึ้นอยู่กับเป้าหมายของโครงการ เป้าหมายของผู้ออกแบบอาคาร หรือเป้าหมายของเจ้าของอาคาร (Deng, Wang, และ Dai, 2014) แต่โดยทั่วไปสามารถให้ความหมาย NZEB ได้โดยหมายถึง อาคารที่สามารถจัดหาพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนได้อย่างน้อยเท่ากับพลังงานที่ถูกใช้ในอาคาร และมีการเชื่อมระบบด้านพลังงานเข้ากับระบบสาธารณูปโภค โดยใช้พลังงานรวมทั้งหมดเป็นศูนย์ต่อหนึ่งช่วงเวลา หรือสามารถจ่ายพลังงานกลับคืนสู่ระบบได้ ซึ่งอาคารประเภทนี้เป็นเป้าหมายที่องค์กรด้านพัฒนาอาคารเขียวพยายามมุ่งพัฒนาให้เกิดขึ้นทั้ง *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) ซึ่งเป็นมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา และ BRE Environmental Assessment Method (BREEAM) ซึ่งเป็นมาตรฐานของประเทศอังกฤษ เป็นต้น (Marszal, และคนอื่นๆ, 2011; Sartori, Napolitano, และ Voss, 2012; Sun, Huang, และ Huang, 2015) โดยอาคารที่มีการใช้พลังงานเป็นลบ หรืออาคารที่มีผลลัพธ์ด้านพลังงานเป็นบวก (Plus-energy Building) คืออาคารที่สามารถจัดหาพลังงานได้มากกว่าการใช้งานรวมภายใน แต่อาคารอาคารเขียว (Green Building) คือ อาคารที่มีการก่อสร้างโดยมีกระบวนการออกแบบและก่อสร้างที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมในภาพรวมทั้งหมด โดยมิได้มุ่งคำนึงแต่เรื่องประสิทธิภาพด้านพลังงานและการสร้างพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนเท่านั้น แต่ยังคำนึงระบบนิเวศในสถานที่ตั้ง แหล่งน้ำ แสง เสียง การปลดปล่อยสารพิษสู่ภายนอกและสู่ภายในอาคาร ตลอดช่วงอายุขัยของอาคาร ตั้งแต่การออกแบบ ก่อสร้าง ใช้งานอาคาร บำรุงรักษาอาคาร การปรับปรุงอาคาร จนถึงการปลดระวาง-ทุบทำลายอาคาร และยังมีความหมายที่กว้างไกลไปถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ การใช้งานความคงทนถาวร และการสร้างความสบายแก่ผู้ใช้อาคารอีกด้วย เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่า NZEB ซึ่งคำนึงด้านการใช้และการจัดหาพลังงานนั้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งของ Green Building เท่านั้น (Paul และ Taylor, 2008; U.S. Environmental Protection Agency, 2014) (รายงานการศึกษาโครงการการศึกษาเพื่อกำหนดแนวทางการสร้างอาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐต้นแบบที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์ กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข, กันยายน 2558)

โดยโครงการถ่ายทอดความรู้อาคารต้นแบบพลังงานสุทธิเป็นศูนย์มหาวิทยาลัยขอนแก่นได้ให้คำนิยามอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) ไว้ว่า อาคารที่มีระบบจัดหาพลังงานของตนเองจากแหล่งพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ โดยคิดจากพลังงานที่จัดหาได้และพลังงานที่ใช้ในระยะเวลา 1 รอบปี โดยอาคารดังกล่าวอาจจัดหาพลังงานทดแทนเกินกว่าที่ใช้ก็ได้ ซึ่งจะต้องส่งไปทดแทนการใช้พลังงานสิ้นเปลืองของอาคารอื่น ในขณะเดียวกันอาคารดังกล่าวอาจจะใช้พลังงาน สิ้นเปลืองในบางช่วงเวลาที่ไม่สามารถ

จัดหาพลังงานเองจากแหล่งพลังงานทดแทนได้ ทั้งนี้เมื่อรวมกันแล้วพลังงานสุทธิใน 1 รอบปีต้องเป็นศูนย์ (โครงการถ่ายทอดความรู้อาคารต้นแบบพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2557)

Tom Hootman ได้มีการแบ่งประเภทของ NZEB หลักๆออกเป็น 4 ประเภทคือ

1. Net Zero Site Energy Building คือพลังงานที่จัดหาได้มากกว่าพลังงานที่ซื้อจากภายนอก โดยไม่คิดปัจจัยจากพลังงานจากระบบส่งไฟฟ้าภายนอก

2. Net Zero Source Energy Building คือพลังงานที่จัดหาได้มากกว่าพลังงานที่ซื้อจากภายนอก โดยคิดปัจจัยการส่งและจัดหาพลังงานจากระบบส่งไฟฟ้าภายนอก

3. Net Zero Energy Emission คือการจัดหาพลังงานจากพลังงานทดแทน ที่ไม่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้มากกว่าส่วนที่ใช้พลังงานจากการจัดหาที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

4. Net Zero Energy Cost คือการขายหน่วยพลังงานออกสู่ระบบ ได้มากกว่าหรือเท่ากับราคาของพลังงานที่รับเข้ามาใช้

(ที่มา: Tom Hootman, 2012)

อาคารพลังงานสุทธิเท่ากับหรือเข้าใกล้ศูนย์ (NZEB) คืออาคารที่มีการปรับปรุงหรือออกแบบการใช้พลังงานในอาคารให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด และสามารถจัดหาพลังงานเพียงพอต่อความต้องการใช้งานได้ด้วยตนเองจนกระทั่งการใช้พลังงานสุทธิเท่ากับหรือเข้าใกล้ศูนย์ในรอบหนึ่งปี นอกจากนี้ยังรวมถึงการปลดปล่อยคาร์บอนเป็นศูนย์ด้วย โดยอาคารที่เป็น NZEB ยังคงใช้พลังงานทั่วไปได้แก่ ไฟฟ้า และแก๊สธรรมชาติ และเมื่อพลังงานที่อาคารสร้างมาได้เกินความต้องการก็ส่งออกให้แหล่งพลังงาน วิธีการจัดหาพลังงานหมุนเวียนมีหลากหลายวิธีดังตารางที่ 2.1 (ปารวี ตั้งจิตวิทยา, 2556)

**ตารางที่ 2.1** ลำดับการใช้พลังงานหมุนเวียน

| ทางเลือก | ZEB supply-side option | ตัวอย่าง |
|---|---|---|
| 0 | ลดการใช้พลังงาน โดยการทำให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานต่ำ (low-energy building) | การใช้แสงธรรมชาติ การถ่ายเทอากาศ การทำความเย็นตามธรรมชาติ |
| On-site | | |
| 1 | พลังงานหมุนเวียนภายในอาคาร | โซล่าเซลล์, น้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ ทิศทางลมในอาคาร |
| 2 | ใช้พลังงานหมุนเวียน บริเวณที่ตั้ง | โซล่าเซลล์, น้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ ทิศทางลม บริเวณที่ตั้ง นอกอาคาร |
| Off-site | | |
| 3 | ใช้แหล่งพลังงานนอกที่ตั้ง ในการสร้างพลังงาน | ชีวมวล, เอทานอล, ไบโอดีเซล |
| 4 | ซื้อแหล่งพลังงานจากนอกที่ตั้ง | |

**ที่มา:** ปารวี ตั้งจิตวิทยา, 2556

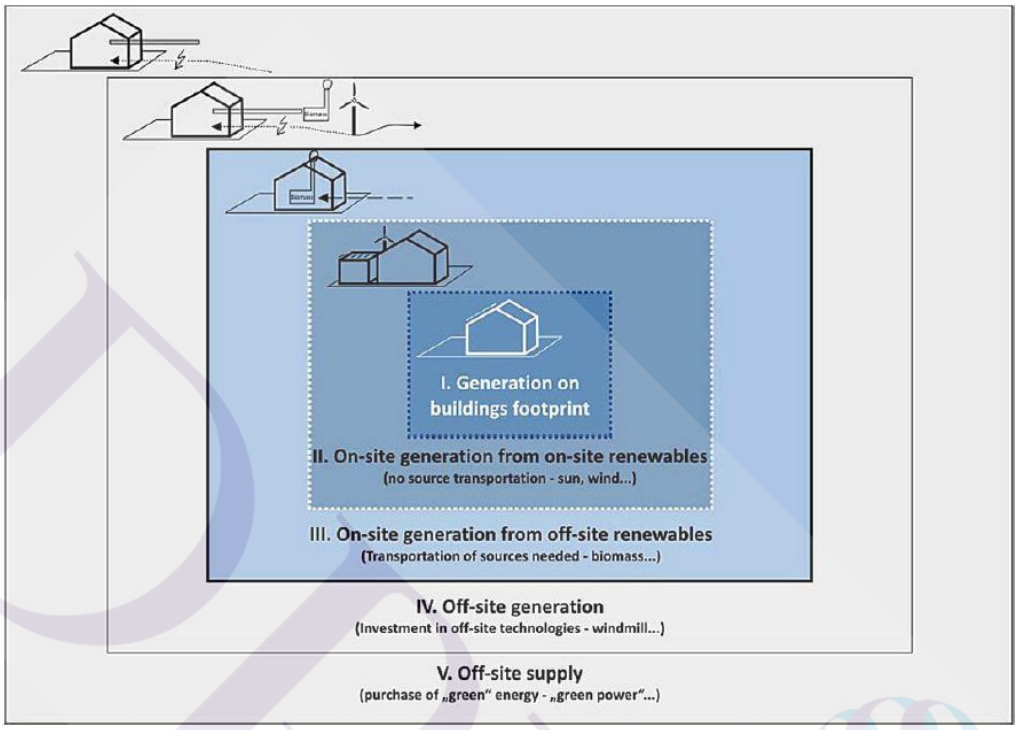
ซึ่งจะคล้ายกับที่ Marszal และคณะ ได้กล่าวถึงทางเลือกในการใช้พลังงานหมุนเวียนกับอาคารนั้นมี 5 แบบดังตารางที่ 2.2 ดังนี้

**ตารางที่ 2.2** ทางเลือกในการใช้พลังงานหมุนเวียนกับอาคาร

| ทางเลือก | ที่มาของพลังงานหมุนเวียน |
|---|---|
| 1. Generation on buildings footprint | แหล่งพลังงานนั้นอยู่ภายในพื้นที่ฐานอาคาร (Building Footprint) เช่นการใช้ Solar Rooftop เป็นต้น |
| 2. On-site generation from on-site renewable | แหล่งพลังงานอยู่ภายในโครงการ ไม่จำเป็นที่จะต้องอยู่ภายในพื้นที่ฐานอาคารเหมือนแบบแรก ถ้าหากมีพลังงานจากชีวมวล เช่น แกลบหรือเศษไม้ เหล่านี้ก็จะมาจากภายใน Site ของโครงการเช่นกัน |
| 3. On-site generation from off-site renewable | คล้ายกับแบบที่สอง แต่มีข้อแตกต่างตรงที่ตัวเชื้อเพลิงจะถูกขนส่งมาจากภายนอกโครงการ เช่น ในกรณีที่จัดหากระแสไฟฟ้าจากชีวมวลแต่มีการขนส่งเชื้อเพลิง เช่น แกลบ เศษไม้ มาจากที่อื่น |
| 4. Off-site generation | เจ้าของอาคารได้ลงทุนกับพลังงานหมุนเวียนภายนอกโครงการ |
| 5. Off-site supply | ซื้อพลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนจากภายนอก Site ของโครงการ ซึ่งเรียกอีกอย่างว่าพลังงานสีเขียว หรือ Green Power |

**ที่มา:** https://maipatana.me/blogs/tldr_อาคารคาร์บอนต่ำ_ศูนย์_คืออะไร_ตอน_2/

โดยจากตารางที่ 2.2 Marszal และคณะสามารถอธิบายขอบเขตการจัดหาพลังงานหมุนเวียนแต่ละทางเลือกได้ดังภาพที่ 2.3




**ภาพที่ 2.3** ทางเลือกการใช้พลังงานหมุนเวียนกับอาคาร

**ที่มา:** Marszal, et al., 2010

ซึ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ แต่ละประเทศยังไม่มีกำหนดหลักเกณฑ์ที่แน่นอน แม้สหภาพยุโรปจะกำหนดระยะเวลาดังที่แสดงไปข้างต้นแล้ว แต่หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินก็จะขึ้นอยู่กับหลักเกณฑ์ของแต่ละประเทศตัวอย่างเช่นตารางที่ 2.3

**ตารางที่ 2.3** หลักเกณฑ์พลังงานที่กำหนดสำหรับ nZEB ในแต่ละประเทศสำหรับอาคารใหม่

| ประเทศ | พลังงานหลักสูงสุดที่สามารถใช้ได้ [kWh/m$^2$y] | |
|---|---|---|
| | อาคารที่อยู่อาศัย | อาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย |
| Austria | 160 | 170 |
| Belgium | 45 | 90 |
| Bulgaria | 30-50 | 40-60 |
| Cyprus | 100 | 125 |
| Czech Republic | 75-80 | 90 |
| Denmark | 20 | 25 |
| Estonia | 50-100 | 90-270 |
| France | 40-65 | 70-110 |
| Hungary | 50-72 | 60-115 |
| Ireland | 45 | 60 |
| Poland | 60-75 | 45-70 |
| Sweden | 30-75 | 30-105 |

**ที่มา:** Nearly Zero Energy Buildings Definitions Across Europe : BPIE, 2015

สำหรับประเทศไทยแผนปฏิบัติการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี จากกระทรวงพลังงาน กำหนดเกณฑ์การประเมิน และนิยามระดับของอาคารระดับต่างๆกันดังนี้ การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า อาศัยหลักการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ต่อปีของอาคารประเภทต่างๆในปัจจุบัน ที่เรียกว่ากรณีอ้างอิง (Reference) กับค่าดังกล่าวในกรณีที่มีการบังคับใช้เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำในอาคาร (Building Energy Code: BEC) และเกณฑ์ที่สูงกว่านี้ในอนาคต โดยที่ค่าเฉลี่ยในกรณีอ้างอิงนั้น ได้มาจากแบบจำลองการใช้

พลังงานที่เป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่มอาคารที่อาศัยข้อมูลการตรวจการใช้พลังงานของทางราชการ ส่วนเกณฑ์การใช้พลังงานในระดับที่สูงกว่า BEC มี 3 ระดับ ดังนี้

1. HEPS (High Energy Performance Standard) คือ ระดับเกณฑ์มาตรฐานขั้นสูงของระบบต่างๆ ซึ่งเป็นเป้าหมายที่บรรลุด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน

2. Econ (Economic Building) คือ เป้าหมายในอนาคตอันใกล้เมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยีของอุปกรณ์และระบบต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นไปอีกแต่ยังมีความคุ้มค่าในการลงทุน

3. ZEB (Zero Energy Building) คือ เป้าหมายในระยะยาวที่อาคารใช้พลังงานที่จ่ายเข้าจากภายนอกในระดับใกล้ศูนย์ เนื่องจากความต้องการพลังงานของอาคารที่ต่ำมากและยังมีการจัดหาพลังงานที่ใช้ในอาคารจากพลังงานหมุนเวียนด้วย

ทั้งนี้พารามิเตอร์ที่ปรับเปลี่ยนเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน ได้แก่ ความร้อนผ่านกรอบอาคาร (Envelope) ประสิทธิภาพการปรับอากาศ ประสิทธิภาพส่องสว่างและอุปกรณ์/เครื่องใช้ไฟฟ้า และการระบายอากาศ ผลการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ดังกล่าวภายใต้แต่ละระดับความสามารถในการอนุรักษ์พลังงานตามแบบจำลองจะทำให้การใช้พลังงานสุทธิสำหรับอาคารแต่ละประเภทเป็นไปตามตารางที่ 2.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับการใช้พลังงานในกรณีที่มีประสิทธิภาพมาก (ZEB) มีค่าเพียง 1/4 ถึง 1/3 ของการใช้พลังงานในกรณีอ้างอิงในปัจจุบัน ซึ่งชี้ให้เห็นถึงโอกาสการอนุรักษ์พลังงานในกลุ่มอาคารแต่ละประเภท (แผนปฏิบัติการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ.2554 – 2573), กระทรวงพลังงาน)

**ตารางที่ 2.4** ค่าการใช้พลังงานสุทธิ (Net Consumption) จากแบบจำลองของอาคารแต่ละประเภทในแต่ละระดับความสามารถในการประหยัดพลังงาน

| ประเภทอาคาร | การใช้พลังงานภายใต้แต่ละระดับความสามารถในการอนุรักษ์พลังงาน ($kWh/m^2$-y) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Reference | BEC | HEPS | Econ | ZEB |
| 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:** แผนปฏิบัติการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ.2554 – 2573), กระทรวงพลังงาน

**2.2 หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ**

ตามประกาศของกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร ให้คำนวณตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดดังต่อไปนี้

2.2.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (Overall Thermal Transfer Value: OTTV) การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร ให้คำนวณตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดดังต่อไปนี้

2.2.1.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้าน ($OTTV_i$) ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$OTTV = (U_w)(1 - WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR)$$

เมื่อ $OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ($W/m^2$)

$U_w$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร - องศาเซลเซียส ($W/(m^2.\ ^\circ C)$)

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และ/หรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

$TD_{eq}$ คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temperature Difference) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^\circ C$)

$U_f$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจกมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร - องศาเซลเซียส ($W/(m^2.\ ^\circ C)$)

$\Delta T$ คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^\circ C$)

SHGC คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือผนังทึบ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ($W/m^2$)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ($OTTV_i$) รวมกัน ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$OTTV = \frac{(A_{W1})(OTTV_1) + (A_{W2})(OTTV_2) + \cdots + (A_{Wi})(OTTV_i)}{A_{W1} + A_{W2} + \cdots + A_{Wi}}$$

เมื่อ $A_{Wi}$ คือ พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณาซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร ($m^2$)

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ($W/m^2$)

2.2.2 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร ให้คำนวณตามหลักเกณฑ์และวิธีการ ที่กำหนด ดังนี้

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (roof thermal transfer value, RTTV) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน ($RTTV_i$) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$RTTV_i = (U_r)\,(1 - SRR)\,(TD_{eq}) + (U_s)\,(SRR)\,(\Delta T) + (SRR)\,(SHGC)\,(SC)\,(ESR)$$

เมื่อ $RTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารส่วนที่พิจารณามีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ($W/m^2$)

$U_r$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาทึบมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร - องศาเซลเซียส ($W/(m^2.^\circ C)$)

SRR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา

$TD_{eq}$ คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temperature Difference) ระหว่างภายนอกและภายในของหลังคาซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคา มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^\circ C$)

$U_s$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร - องศาเซลเซียส ($W/(m^2.^\circ C)$)

$\Delta T$ คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกหลังคา มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^\circ C$)

SHGC คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสง

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาโปร่งแสงและ/หรือหลังคาทึบแสง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ($W/m^2$)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแต่ละส่วน ($RTTV_i$) ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$RTTV = \frac{(A_{w1})(RTTV_1) + (A_{w2})(RTTV_2) + \cdots + (A_{wi})(RTTV_i)}{A_{w1} + A_{w2} + \cdots + A_{wi}}$$

เมื่อ $A_{wi}$ คือ พื้นที่ของหลังคาส่วนที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่หลังคาทึบและพื้นที่หลังคาโปร่งแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร ($m^2$)

$RTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วนมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ($W/m^2$)

2.2.3 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดในอาคาร ให้คำนวณตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดดังต่อไปนี้

ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดที่ติดตั้งในพื้นที่ i คือ ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ใช้สอยทั้งหมดของบริเวณพื้นที่ i ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$LPD_i = \frac{(LW_i + BW_i - NW_i)}{A_i}$$

เมื่อ $LPD_i$ คือ กำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ i มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ($W/m^2$)

$LW_i$ คือ ผลรวมของค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งในพื้นที่ i มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

$BW_i$ คือ ผลรวมของกำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ทั้งหมดที่ติดตั้งในพื้นที่ i มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

$NW_i$ คือ ผลรวมของค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่ i ที่ถูกทดแทนด้วยแสงธรรมชาติภายใต้เงื่อนไขการใช้พลังงานหมุนเวียนในอาคาร มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

A คือ พื้นที่ใช้สอยทั้งหมดของบริเวณพื้นที่ i มีหน่วยเป็นตารางเมตร ($m^2$)

ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดที่ติดตั้งในอาคาร คือ ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่อาคารโดยไม่รวมพื้นที่ที่จอดรถ ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$LPD = \frac{\sum(A_i(LPD_i))}{\sum A_i}$$

เมื่อ LPD คือ กำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่อาคาร มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ($W/m^2$)

2.2.4 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ของการทำความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศ

ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของการให้ความเย็น และค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร ให้คำนวณตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดดังต่อไปนี้

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance: COP) คืออัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของระบบปรับอากาศ หน่วยเป็นวัตต์ กับพิกัดกำลังไฟฟ้า หน่วยเป็นวัตต์ ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$COP = \frac{Q}{W}$$

เมื่อ Q คือ ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของระบบปรับอากาศมีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

W คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น คือ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นของระบบปรับอากาศโดยกำหนดในรูปของค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน

อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio: EER) คือ อัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของระบบปรับอากาศ หน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมง กับพิกัดกำลังไฟฟ้า หน่วยเป็นวัตต์ ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$EER = 3.412(COP)$$

เมื่อ EER คือ อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน มีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมงต่อวัตต์ ((Btu/h) /W)

ค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น คือ อัตราส่วนระหว่างพิกัดกำลังไฟฟ้า หน่วยเป็นกิโลวัตต์กับขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องทำน้ำเย็น หน่วยเป็นตันความเย็น ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$CHP = \frac{kW}{TON}$$

เมื่อ CHP คือ ค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ต่อตันความเย็น

kW คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ของส่วนทำน้ำเย็นที่ภาระเต็มพิกัด มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW) ให้ใช้ค่าจากผลการทดสอบหรือรับรองโดยผู้ผลิตอุปกรณ์หรือสถาบันการทดสอบที่เชื่อถือได้

TON คือ ขีดความสามารถการทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องทำน้ำเย็นที่ภาระเต็มพิกัด มีหน่วยเป็นตันความเย็น (refrigeration ton, RFT) ให้ใช้ค่าจากผลการทดสอบหรือรับรอง โดยผู้ผลิตอุปกรณ์หรือสถาบันการทดสอบที่เชื่อถือได้

2.2.5 การคำนวณค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

กรณีที่ประสิทธิภาพของอุปกรณ์หรือระบบใดระบบหนึ่งหรือมากกว่าของอาคารที่พิจารณาไม่ผ่านเกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานของระบบที่กำหนดในเรื่องของ OTTV, RTTV, LPD หรือระบบปรับอากาศ อาคารดังกล่าวสามารถนำเข้าสู่การพิจารณาประเมินตามเกณฑ์การพิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของทั้งอาคารได้ โดยคำนวณค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารดังกล่าวในรอบ 1 ปี นำมาเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานโดยรวมในรอบ 1 ปี ของอาคารอ้างอิง อาคารจะผ่านเกณฑ์การใช้พลังงานโดยรวมได้ก็ต่อเมื่อค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารนั้นทั้งปีต่ำกว่า

ค่าการใช้พลังงานโดยรวมทั้งปีของอาคารอ้างอิง ซึ่งมีพื้นที่การใช้งาน ทิศทาง และพื้นที่ของกรอบอาคารแต่ละด้านเป็นเช่นเดียวกับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง และอาคารที่ใช้อ้างอิงต้องมีค่าระบบกรอบอาคารระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศเป็นไปตามข้อกำหนดของแต่ละระบบ

การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารทั้งสองกรณี ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$E_{pa} = \sum \left[ \frac{A_{wi}(OTTV_i)}{COP_i} + \frac{A_{ri}(RTTV_i)}{COP_i} + A_i \left\{ \frac{C_l(LPD_i) + C_e(EQD_i) + 130C_o(OCCU_i) + 24C_v(VENT_i)}{COP_i} \right\} \right] n_h + \sum A_i(LPD_i + EQD_i) n_h - PVE$$

เมื่อ $E_{pa}$ คือ ปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร (W)

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ($W/m^2$)

$RTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วนมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ($W/m^2$)

$LPD_i$ คือ กำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ i มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ($W/m^2$)

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

$OCCU_i$ คือ ความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารในพื้นที่ i มีหน่วยเป็นคนต่อตารางเมตร ($person/m^2$)

$VENT_i$ คือ อัตราการระบายอากาศต่อพื้นที่ สำหรับพื้นที่ i มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที (l/s)

$COP_i$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำของระบบปรับอากาศขนาดเล็กหรือระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ที่ใช้งานสำหรับพื้นที่ i

$A_i$ คือ พื้นที่ส่วนปรับอากาศ i (พื้นที่ i) มีหน่วยเป็นตารางเมตร ($m^2$)

PVE คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีที่จัดหาโดยเซลล์แสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) สำหรับการคำนวณการใช้พลังงาน โดยรวมในอาคารอ้างอิง จะไม่มีค่า PVE ในสมการ

2.2.6 การคำนวณค่าการจัดหาพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

กรณีที่อาคารมีการจัดหาไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในอาคาร ให้อาคารดังกล่าวสามารถนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่จัดหาได้ไปหักออกจากค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารก่อนเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ค่าพลังงานที่จัดหาได้จากแสงอาทิตย์ให้คิดจากค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีที่จัดหาโดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณตามสมการดังนี้

$$PVE = \frac{(9)(365)(A_{mod})(N_{sys})(ESR_{pv})}{1{,}000}$$

เมื่อ PVE คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีที่จัดหาโดยเซลล์แสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh)

(9)(365) คือ จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจัดหากระแสไฟฟ้าได้ใน 1 ปี โดย (9) คือ จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่มีแสงอาทิตย์ใน 1 วัน และ (365) คือ จำนวนวันใน 1 ปี

$A_{mod}$ คือ พื้นที่รวมทั้งหมดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง มีหน่วยเป็นตารางเมตร ($m^2$)

$N_{sys}$ คือ ประสิทธิภาพรวมของระบบ

$ESR_{PV}$ คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงและทิศทางที่ตรงกับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ($W/m^2$) ให้ใช้ค่าที่กำหนดตามตารางสำหรับผนังทึบ สำหรับอาคารทุกประเภท (กรณีที่ มุมเอียงและทิศทางไม่ตรงกับค่าในตาราง ให้ใช้วิธีประมาณค่าในช่วง)

2.2.7 โดยกฎกระทรวงเรื่อง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 กำหนดมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานไว้ดังนี้

2.2.7.1 การก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคารดังต่อไปนี้ หากมีขนาดพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎกระทรวงนี้

(1) สถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล

(2) สถานศึกษา

(3) สำนักงาน

(4) อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด

(5) อาคารชุมนุมคนตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

(6) อาคารโรงมหรสพตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

(7) อาคารโรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม

(8) อาคารสถานบริการตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ

(9) อาคารห้างสรรพสินค้าหรือศูนย์การค้า

2.2.7.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศในแต่ละประเภทของอาคารต้องมีค่าไม่เกินดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 2.5** ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร

| ประเภทอาคาร | ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (วัตต์ต่อตารางเมตร) |
|---|---|
| (ก) สถานศึกษา สำนักงาน | $\leq 50$ |
| (ข) โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน | $\leq 40$ |
| (ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด | $\leq 30$ |

**ที่มา:** กฎกระทรวงเรื่อง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน และวิธีการ พ.ศ. 2552

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศ ให้คำนวณจากค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้านรวมกัน

2.2.7.3 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร ในส่วนที่มีการปรับอากาศในแต่ละประเภทของอาคารต้องมีค่าไม่เกินดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 2.7** ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร

| ประเภทอาคาร | ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (วัตต์ต่อตารางเมตร) |
|---|---|
| (ก) สถานศึกษา สำนักงาน | $\leq 15$ |
| (ข) โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน | $\leq 12$ |
| (ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด | $\leq 10$ |

**ที่มา:** กฎกระทรวงเรื่อง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน และวิธีการ พ.ศ. 2552

สำหรับอาคารที่มีการใช้งานพื้นที่หลายลักษณะ เช่น มีอาคารสำนักงานและศูนย์การค้าอยู่ในอาคารเดียวกัน ให้พื้นที่แต่ละส่วนต้องใช้ข้อกำหนดของระบบกรอบอาคารตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่แต่ละส่วนนั้น

2.2.7.5 การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคาร

การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคาร ต้องให้ได้ระดับความส่องสว่างสำหรับงานแต่ละประเภทอย่างเพียงพอ และเป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารหรือกฎหมายเฉพาะว่าด้วยการนั้นกำหนด โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับใช้ส่องสว่างภายในอาคารต้องใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละประเภทของอาคารมีค่าไม่เกินดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 2.7** ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดต่อพื้นที่ใช้งาน

| ประเภทอาคาร | ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (วัตต์ต่อตารางเมตรของพื้นที่ใช้งาน) |
|---|---|
| (ก) สถานศึกษา สำนักงาน | $\leq 14$ |
| (ข) โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน | $\leq 18$ |
| (ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด | $\leq 12$ |

**ที่มา:** กฎกระทรวงเรื่อง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน และวิธีการ พ.ศ. 2552

อาคารที่มีการใช้งานพื้นที่หลายลักษณะ พื้นที่แต่ละส่วนต้องใช้ค่าในตารางตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่ส่วนนั้น

2.2.7.5 ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศภายในอาคาร ให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552 ดังนี้

เครื่องปรับอากาศขนาดเล็กต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะหรืออัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 2.8** สัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก

| ขนาดของเครื่องปรับอากาศ (วัตต์) | ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (วัตต์ต่อวัตต์) | อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (บีทียูต่อชั่วโมงต่อวัตต์) |
|---|---|---|
| ไม่เกิน 12,000 | 3.22 | 11 |

**ที่มา:** ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552

ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ต้องมีค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นและส่วนประกอบอื่นของระบบปรับอากาศดังต่อไปนี้

เครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศต้องมีค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นไม่เกินกว่าที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 2.9** สัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่

| ประเภทของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศ | | ขนาดความสามารถในการทำความเย็นที่ภาระพิกัดของเครื่องทำน้ำเย็น(ตันความเย็น) | ค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น(กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น) |
|---|---|---|---|
| ชนิดการระบายความร้อน | แบบของเครื่องอัด | | |
| ระบายความร้อนด้วยอากาศ | ทุกชนิด | น้อยกว่า 300 | 1.33 |
| | | มากกว่า 300 | 1.31 |
| ระบายความร้อนด้วยน้ำ | แบบลูกสูบ | ทุกขนาด | 1.24 |
| | แบบโรตารี่ แบบสกรู หรือแบบสครอลล์ | น้อยกว่า 150 | 0.89 |
| | | มากกว่า 150 | 0.78 |
| | แบบแรงเหวี่ยง | น้อยกว่า 500 | 0.76 |
| | | มากกว่า 500 | 0.62 |

**ที่มา:** ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552

ส่วนประกอบอื่นของระบบปรับอากาศที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยระบบระบายความร้อน ระบบจ่ายน้ำเย็น และระบบส่งลมเย็น ต้องมีค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นรวมกันไม่เกิน 0.5 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น

2.2.7.6 การใช้แสงธรรมชาติ

ภายในอาคารในพื้นที่ตามแนวกรอบอาคาร ให้ถือเสมือนว่าไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่ตามแนวกรอบอาคารนั้น โดยการออกแบบดังกล่าวต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. ต้องแสดงอย่างชัดเจนว่า มีการออกแบบสวิตช์ที่สามารถเปิดและปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้กับพื้นที่ตามแนวกรอบอาคาร โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างต้องมีระยะห่างจากกรอบอาคารไม่เกิน 1.5 เท่าของความสูงของหน้าต่างในพื้นที่นั้น และ

2. กระจกหน้าต่างตามแนวกรอบอาคารตาม ต้องมีค่าประสิทธิผลของสัมประสิทธิ์การบังแดด (Effective Shading Coefficient) ไม่น้อยกว่า 0.3 และอัตราส่วนการส่งผ่านแสงต่อความร้อน (Light to Solar Gain) มากกว่า 1.0 และพื้นที่กระจกหน้าต่างตามแนวกรอบอาคารต้องไม่น้อย

การใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร ให้ยกเว้นการนับรวมการใช้ไฟฟ้าบางส่วนในอาคารในกรณีที่ระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารที่มีการออกแบบเพื่อใช้แสงธรรมชาติเพื่อการส่องสว่างกว่าพื้นที่ผนังทึบ

**2.3 วัสดุสำหรับกรอบอาคาร**

2.3.1 ผนังทึบ

สาเหตุของความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารมาจากภายนอกมากกว่าที่เกิดขึ้นภายในอาคาร การที่จะลดความร้อนรวมลงได้ก็จะต้องมาจากการป้องกันความร้อนที่ดีจากกรอบอาคาร ซึ่งส่วนหนึ่งสามารถทำได้โดยการเลือกใช้วัสดุที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานของแต่ละพื้นที่ ก็จะสามารถช่วยลดความร้อนได้ แต่เนื่องจากวัสดุที่มีการผลิตและจำหน่ายในประเทศขณะนี้มีความหลากหลายมาก จึงนำเสนอเฉพาะวัสดุที่มีการใช้งานแพร่หลายในประเทศ โดยจะแยกเป็น 2 กลุ่มหลักตามคุณสมบัติของวัสดุ ดังนี้

**ตารางที่ 2.10** ชนิดของกลุ่มวัสดุผนังทึบ

| กลุ่มวัสดุ | ชนิดวัสดุ |
|---|---|
| 1. กลุ่มวัสดุประกอบโครงสร้าง | - อิฐมอญ<br>- คอนกรีตบล็อก<br>- คอนกรีตมวลเบา |

**ตารางที่ 2.10** (ต่อ)

| กลุ่มวัสดุ | ชนิดวัสดุ |
|---|---|
| | - กระจกตัดแสง<br>- ยิปซั่มบอร์ด |
| 2. กลุ่มวัสดุประกอบฉนวน | - ไฟเบอร์บอร์ด<br>- เซรามิคโค้ทติ้ง<br>- ใยแก้ว<br>- ฉนวนโฟม<br>- อลูมินั่มฟอยล์ |

2.3.1.1 อิฐมอญ

(1) ลักษณะโดยทั่วไป

อิฐมอญ เป็นวัสดุที่ผลิตมาจากการนำดินเหนียวมาเผาเพื่อให้ได้วัสดุที่คงรูปและมีความแข็งแรง คุณสมบัติของอิฐมอญเป็นวัสดุที่ยอมให้ความร้อนถ่ายเทเข้า-ออกได้ง่าย และยังดูดเก็บความร้อนไว้ในตัวเองเป็นเวลานานกว่าจะเย็นตัวลง จึงเหมาะกับการใช้กับบริเวณที่ใช้งานเฉพาะช่วงกลางวัน ความสามารถในการต้านทานความร้อนของอิฐมอญมีไม่มากนัก แต่คุณสมบัติเด่นของวัสดุชนิดนี้คือ วัสดุมีความหนาแน่นสูง ซึ่งคุณสมบัตินี้ทำให้สามารถเก็บความร้อนไว้ในตัวเองได้มากฉะนั้นการที่จะช่วยให้อิฐมอญมีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนได้มากขึ้น อาจมีความจำเป็นจะต้องประยุกต์การใช้งานจากรูปแบบปกติเล็กน้อย ซึ่งสามารถทำได้โดย ก่อเป็นผนัง 2 ชั้น ให้มีความหนาเพิ่มขึ้นกว่าปกติ หรือใช้วัสดุประกอบอื่นๆเข้าช่วย เช่น อาจใส่ฉนวนโฟมหรือฉนวนใยแก้วไว้ระหว่างกลาง

**ภาพที่ 2.4** แสดงการก่ออิฐมอญ
**ที่มา:** http://ienergyguru.com

2.3.1.2 คอนกรีตบล็อก (Concrete masonry unit)

คอนกรีตบล็อก (Concrete masonry unit) จากลักษณะที่มีรูกลวงตรงกลางทำให้ช่องอากาศภายในนั้นเป็นฉนวนในการกันความร้อนที่ดี แต่ข้อเสียคือจะเปราะและแตกง่าย การตอกตะปูยึดพุกต้องทำที่ปูนก่อเสาเอ็นหรือคานเอ็น และบล็อกที่ขายกันทั่วไปคุณภาพต่ำ บางกว่าที่กำหนด การประยุกต์การใช้งานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุเช่น การเพิ่มฉนวนภายในหรือใช้วัสดุมวลสารน้อยปิดทับภายนอก เป็นต้น แต่ทั้งนี้การที่จะติดตั้งหรือประกอบวัสดุใดๆเข้ากับคอนกรีตบล็อก จะต้องไม่ลืมถึงข้อเสียของวัสดุชนิดนี้ คือ เป็นวัสดุที่น้ำสามารถซึมผ่านและกระจายตัวได้ง่าย ฉะนั้นจะต้องมีการฉาบทับหรือปิดด้วยวัสดุที่สามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำก่อนที่จะติดตั้งฉนวนภายใน เพราะฉนวนเกือบทุกชนิดจะเสื่อมสภาพเมื่อมีน้ำหรือความชื้นเข้ามาสะสมภายในฉนวน

**ภาพที่ 2.5** แสดงการก่อคอนกรีตบล็อก

**ที่มา:** http://ienergyguru.com

2.3.1.3 คอนกรีตมวลเบา (Autoclaved Aerated Concrete - AAC)

**คอนกรีตมวลเบา** (Autoclaved Aerated Concrete) เป็นวัสดุก่อที่มีการนำมาใช้ และเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนได้มากกว่าวัสดุก่อชนิดอื่นที่มีมา โดยตัววัสดุเองมีส่วนผสมมาจาก ทราย ซีเมนต์ ปูนขาว น้ำ ยิปซั่ม และผงอลูมิเนียมผสมรวมกัน แต่ส่วนที่สำคัญที่สุดก็คือฟองอากาศเล็กๆ เป็นรูพรุนไม่ต่อเนื่อง (Disconnecting Voids) ที่อยู่ในเนื้อวัสดุมากประมาณ 75% ทำให้น้ำหนักเบา ซึ่งผลของความเบาจะช่วยให้ประหยัดโครงสร้าง อีกทั้งฟองอากาศเหล่านั้น ยังเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี คุณสมบัติเฉพาะของคอนกรีตมวลเบา

(http://ienergyguru.com)

**ภาพที่ 2.6** *แสดงการก่อคอนกรีตมวลเบา*

**ที่มา:** http://ienergyguru.com

2.3.2 ผนังโปรงแสง

ปัจจุบันอาคารส่วนใหญ่นิยมใช้กระจกเป็นส่วนประกอบของผนังอาคารเนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษมากมาย อีกทั้งยังมีความสวยงามและช่วยให้สามารถมองออกไปเห็นทัศนียภาพภายนอกได้มากยิ่งขึ้น และยังช่วยให้อาคารดูโล่งไม่ทึบอึดอัด โดยกระจกที่มีการนำมาใช้มีด้วยกันหลายชนิดแตกต่างกันออกไป แต่การเลือกใช้ควรคำนึงถึงความร้อนที่จะเข้ามาภายในด้วย เนื่องจากกระจกทั่วไปจะยอมให้ทั้งแสงและความร้อนผ่านเข้ามาเป็นจำนวนมาก จึงควรเลือกใช้กระจกที่มีคุณสมบัติที่ช่วยลดแสงจ้าและปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาให้มีความเหมาะสม และกระจกบางรุ่นยังสามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้อีกด้วย

ชนิดของกระจกที่ใช้เพื่อป้องกันแสงจ้าและความร้อนเข้ามาภายในบ้านหรืออาคารนั้นสามารถแบ่ง ออกได้เป็น 5 ประเภท ใหญ่ๆ คือ

2.3.2.1 กระจกใส (Clear Glass)

2.3.2.2 กระจกสี (Color Glass)

2.3.2.3 กระจกสีตัดแสง (Heat Absorbing Glass)

2.3.2.4 กระจกเคลือบผิวสะท้อนแสง (Reflective Metallic Coating Glass)

2.3.2.5 กระจกฉนวนกันความร้อน (Insulating Glass)

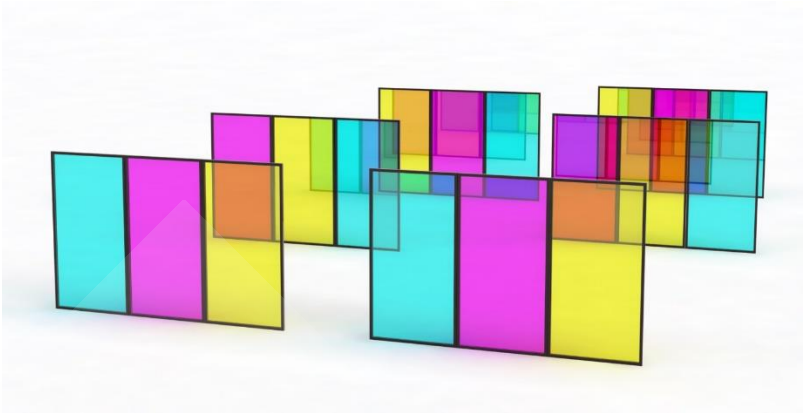
2.3.2.1 กระจกใส (Clear Glass)

เป็นกระจกโปร่งใสที่มีผิวทั้งสองด้านเรียบสนิท ให้ภาพในการมองเห็นชัดเจน และมีราคาถูกที่สุด โดยที่กระจกชนิดนี้ยอมให้แสงผ่านเข้ามาสูง (ร้อยละ 88) จึงมีแสงสว่างกระจายเข้ามาภายในห้องเป็นจำนวนมาก และในขณะเดียวกันก็จะมีปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามามากด้วยเช่นกัน (ร้อยละ 83) ดังนั้นส่วนมากในการใช้งานจะใช้ประกอบกับวัสดุอื่น เช่น การติดฟิล์มกรองแสง การใช้อุปกรณ์บังแดดช่วย เป็นต้น หรือใช้งานในลักษณะของการกั้นพื้นที่ หรือกั้นห้องก็ได้

**ภาพที่ 2.7** แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้กระจกใสในสำนักงาน
**ที่มา:** http://ienergyguru.com

2.3.2.2 กระจกสี (Colour Glass)

เป็นกระจกโปร่งแสงที่ยอมให้แสงผ่านเข้ามาเพื่อช่วยกระจายแสงภายในห้องอย่างเหมาะสม ดังรูปที่ 4 โดยความเข้มของสีจะเพิ่มมากขึ้นตามความหนาของกระจก ซึ่งจะส่งผลทำให้การดูดกลืนความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่สะสมอยู่ในเนื้อกระจกมีมากขึ้นด้วย ฉะนั้นการนำไปใช้งานจึงควรให้ความสนใจและระมัดระวังคุณสมบัติเหล่านี้ด้วย อีกทั้งกระจกชนิดนี้เมื่อมองภายนอกจะมีความคล้ายกับกระจกตัดแสงที่มีสี แต่คุณสมบัติในการป้องกันความร้อนจะต่างกัน จึงควรสอบถามให้แน่ชัดก่อนว่าเป็นชนิดใดก่อนการเลือกซื้อ



**ภาพที่ 2.8** แสดงตัวอย่างกระจกสี

**ที่มา:** http://ienergyguru.com

2.3.2.3 กระจกสีตัดแสง (Heat Absorbing Glass)

กระจกสีตัดแสง เป็นกระจกโปร่งใส โดยสีต่างๆที่เห็นนั้นเกิดจากการเติมออกไซด์ของโลหะ เช่น เหล็ก โคบอลต์ หรือซีลีเนียมลงในส่วนผสมของเนื้อกระจก จึงช่วยลดพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่จะผ่านเข้ามา ด้วยคุณสมบัติที่สามารถดูดกลืนพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์(รังสีคลื่นสั้น) ที่ส่องมากระทบชั้นผิวกระจกได้ประมาณร้อยละ 40-50 จึงมีส่วนช่วยในการลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลงได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดความจ้าของแสงที่ส่องผ่านเข้ามา ทำให้ได้แสงที่นุ่มนวลสบายตาขึ้น โดยมีสีให้เลือกใช้หลายสี เช่น สีบรอนซ์ สีเขียว สีฟ้า ฯลฯ แต่สีที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดในประเทศไทยจะเป็นสีเขียว

**ภาพที่ 2.9** แสดงตัวอย่างของกระจกสีตัดแสง

**ที่มา:** http://ienergyguru.com

2.3.2.4 กระจกเคลือบผิวสะท้อนแสง (Reflective Metallic Coating Glass)

กระจกเคลือบผิวสะท้อนแสงมีคุณสมบัติคล้ายกระจกเงา ทำหน้าที่สะท้อนความร้อนของแสงอาทิตย์ได้ประมาณร้อยละ 60 โดยคุณสมบัติในการสะท้อนจะมีมากกว่าการดูดกลืน ซึ่งเมื่อแสงส่องมากระทบกระจกแล้ว ชั้นผิวกระจกที่เคลือบสารสะท้อนแสงไว้จะสะท้อนแสงจ้าและความร้อนออกไป แต่ปริมาณความร้อนที่ยังเหลือบางส่วนก็จะเข้าสู่ภายในอาคาร การเลือกใช้กระจกชนิดนี้ควรศึกษาด้วยว่า ปริมาณแสงธรรมชาติที่ส่องเข้ามาจะถูกลดทอนลงไปด้วย จึงอาจต้องมีการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างให้เพียงพอกับการใช้งานในแต่ละจุดด้วย

**ภาพที่ 2.10** แสดงตัวอย่างของกระจกเคลือบผิวสะท้อนแสง
**ที่มา:** http://ienergyguru.com

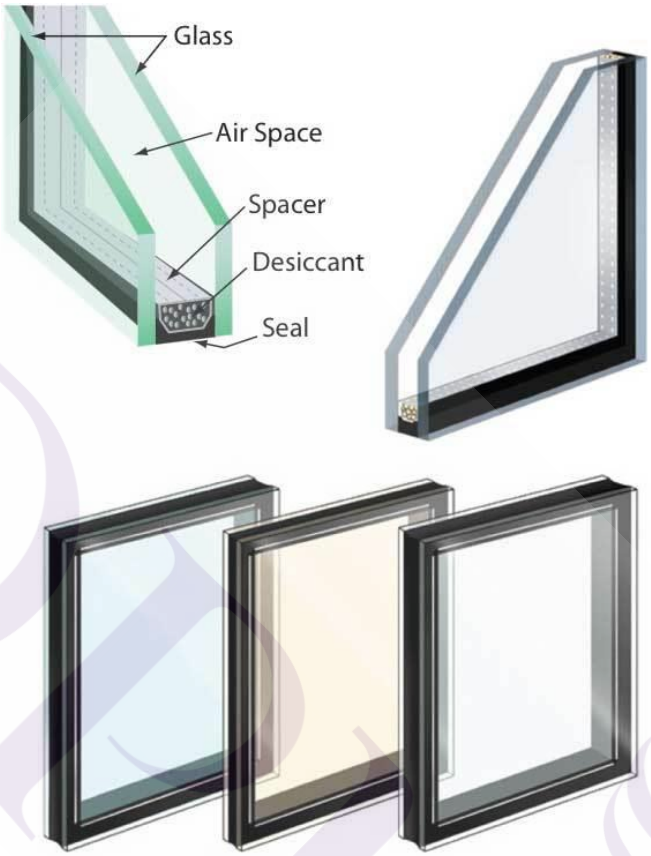
2.3.2.5 กระจกฉนวนกันความร้อน (Insulating Glass)

กระจกฉนวนกันความร้อน (Insulating Glass) มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กระจก 2 ชั้น (Doubled Glazing) มีคุณสมบัติในการแผ่รังสีความร้อนต่ำ สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในและภายนอกอาคารได้ดี สามารถแบ่งตามชนิดของฉนวนกันความร้อนได้ ดังนี้

(1) กระจกกันความร้อนชนิดใช้อากาศแห้งเป็นฉนวน

ได้จากการนำกระจกแผ่นเรียบธรรมดา 2 แผ่น มาประกอบกันโดยมีเฟรมอลูมิเนียมที่บรรจุสารดูดความชื้นคั่นกลาง จากนั้นปิดขอบกระจกให้สนิท ผลที่ได้ก็คือ อากาศภายในช่องว่าง

ระหว่างกระจกทั้ง 2 แผ่นจะเป็นอากาศแห้ง ซึ่งอากาศแห้งมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี นอกจากนี้ยังช่วยลดเสียงรบกวนจากภายนอกได้มากกว่ากระจกธรรมดาอีกด้วย




**ภาพที่ 2.11** แสดงกระจกกันความร้อนชนิดใช้อากาศแห้งเป็นฉนวนตรงกลาง
**ที่มา:** http://ienergyguru.com

(2) กระจกกันความร้อนชนิดใช้ก๊าซเป็นฉนวน

คล้ายกับแบบใช้อากาศแห้งคือ การใช้กระจกแผ่นเรียบ 2 แผ่นประกอบกับเฟรมอลูมิเนียมแต่ชนิดนี้จะบรรจุก๊าซเฉื่อยลงไปแทน ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบใช้อากาศแห้ง และในกรณีที่นำกระจกนิรภัยมาประกอบเป็นกระจกฉนวนกันความร้อน (Airless Laminated Insulating Glass) ก็จะให้ความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น แต่จะมีราคาสูงขึ้นไปจากเดิมที่มีราคาสูงอยู่แล้ว การใช้กระจก 2 ชั้นโดยที่มีช่องว่างอากาศและก๊าซป้องกันความร้อนคั่นอยู่ตรงกลางนี้ สามารถช่วยลดความร้อนได้ประมาณ 70-80% ในขณะที่ยอมให้แสงธรรมชาติผ่านได้ในปริมาณสูง จึงให้ความสว่างที่ปลอดภัย และในกรณีที่ติดฟิล์มด้านในของ

กระจกทั้ง 2 แผ่น ก็จะช่วยป้องกันรังสีอุลตร้าไวโอเลต (UV) เข้ามาทำลายวัสดุต่างๆ ภายในอาคารได้อีกด้วย

**ภาพที่ 2.12** แสดงกระจกกันความร้อนชนิดใช้ก๊าซเป็นฉนวนตรงกลาง
**ที่มา:** http://ienergyguru.com

การประยุกต์การใช้งานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุ

แม้ว่ากระจกตัดแสงจะสามารถลดความร้อนให้ผ่านเข้ามาในอาคารได้น้อยลงกว่ากระจกใส แต่จากคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าความร้อนที่ลดลงนั้นส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับไป ซึ่งเป็นสัดส่วนเพียงร้อยละ 5 – 10 เท่านั้น ที่เหลือประมาณร้อยละ 50 จะถูกดูดกลืนและเก็บไว้ในเนื้อกระจก ทำให้เมื่ออยู่ใกล้กับผิวกระจกจะรู้สึกร้อน แต่ผู้ที่อยู่ภายในอาคารนิยมให้มีพื้นที่ที่เป็นช่องกระจกค่อนข้างมาก เนื่องจากต้องการให้เกิดความรู้สึกโล่งสบาย ไม่มืดทึบ ฉะนั้นการที่จะช่วยลดความร้อนที่จะมากระทบกับผิวกระจกโดยตรง คือการทำอุปกรณ์บังแดดไว้ภายนอกบริเวณที่เป็นกระจก ส่วนเรื่องของรูปแบบและขนาดนั้นสามารถคำนวณได้จากทิศทางของอาคารว่ามีการวางผังในทิศทางใด

**ภาพที่ 2.13** แสดงตัวอย่างการติดตั้งกันสาดบังแดด
**ที่มา:** http://ienergyguru.com

**2.4 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์**

2.4.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

2.4.1.1 กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นคือ แบบที่เป็นรูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึก จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และ ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก คือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

2.4.1.2 กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน ซึ่งประเภทนี้ จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมาก ไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก จึงใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่

จะทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต (ปัจจุบันนำมาใช้เพียง 7 % ของปริมาณที่มีใช้ทั้งหมด)

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดหาพลังงานไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ในการเลือกแผงพลังงานแสงอาทิตย์นั้นผู้ผลิตแผง**พลังงานแสงอาทิตย์**จะแสดงค่าการจัดหากำลังไฟฟ้าของแผงพลังงานแสงอาทิตย์โดยแสดงเป็นค่ามาตรฐานค่าหนึ่ง ค่าดังกล่าวเป็นค่ากำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบ 1,000 $W/m^2$ และที่อุณหภูมิ 25 $^{o}$ C ในสภาพอากาศโปร่งและนิ่ง (Clear Sky) โดยปกติจะแสดงค่าในรูปแบบดังตัวอย่างนี้ 100 Watts solar module (100 Watts of power output under STC)

แต่การติดตั้งเพื่อใช้งานจริงนั้นมีปัจจัยหลาย ๆ อย่างที่ทำให้ความสารถในการจัดหาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จริงน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดให้มา **ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดหาพลังงานฟ้าของระบบโซล่าเซลล์**มีดังนี้

2.4.2.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญกับประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้า อุณหภูมิของแผงยิ่งสูงจะทำให้ประสิทธิภาพในการจัดหากำลังไฟฟ้าลดลง โดยทั่วไปผลกระทบด้านความร้อนของแผงพลังงานแสงอาทิตย์นี้ส่งผลให้ประสิทธิภาพการจัดหาไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณ 89 %

2.4.2.2 ฝุ่นและความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อใช้ไประยะหนึ่งจะมีฝุ่นละอองหรือคราบสกปรกมาเปื้อนบนหน้าแผงซึ่งปัจจัยนี้ส่งผลให้ความสามารถในการรับแสงอาทิตย์ลดลงทำให้ศักยภาพในการจัดหาไฟฟ้าลดลงตามไปด้วย โดยทั่วไปผลกระทบที่เกิดจากสิ่งสกปรกและฝุ่นละอองนี้ทำให้ความสามารถในการจัดหาไฟฟ้าลดลง

2.4.2.3 การต่อของแผงที่ไม่สม่ำเสมอและการสูญเสียในสายไฟ

จากการทดสอบประสิทธิภาพของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประกอบกันเป็นแถวเทียบกับแผงพลังงานแสงอาทิตย์เดี่ยว ๆ พบว่าที่จำนวนแผงที่เท่ากันประสิทธิภาพในการจัดหาพลังงานไฟฟ้าของแผงที่ต่อกันเป็นแถวมีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพของแผงเดี่ยวๆรวมกัน นอกจากนี้ความต้านทานในสายไฟทำให้เกิดการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้าขึ้นได้

2.4.2.4 การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าจาก DC เป็น AC

พลังงานไฟฟ้าที่จัดหาได้จากแผงพลังงานแสงอาทิตย์นั้นเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แต่อุปกรณ์ที่ใช้ตามบ้านเรือนนั้นส่วนใหญ่พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ฉะนั้นไฟฟ้าที่จัดหาได้จากแผงนั้นต้องผ่านตัวแปลงกระแสไฟหรือเรียกว่า Inverter เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง

เป็นไฟฟ้ากระแสสลับก่อนเสมอ การแปลงกระแสไฟฟ้านี้ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานขึ้นส่วนหนึ่ง

2.4.3 การประเมินพื้นที่ในการติดตั้งระบบ**เซลล์แสงอาทิตย์**

การประเมินพื้นที่เบื้องต้นที่จะติดตั้งระบบ**เซลล์แสงอาทิตย์** ในบริเวณโครงการ ซึ่งควรศึกษาด้านต่างๆ ดังนี้

2.4.3.1 ตำแหน่งการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์

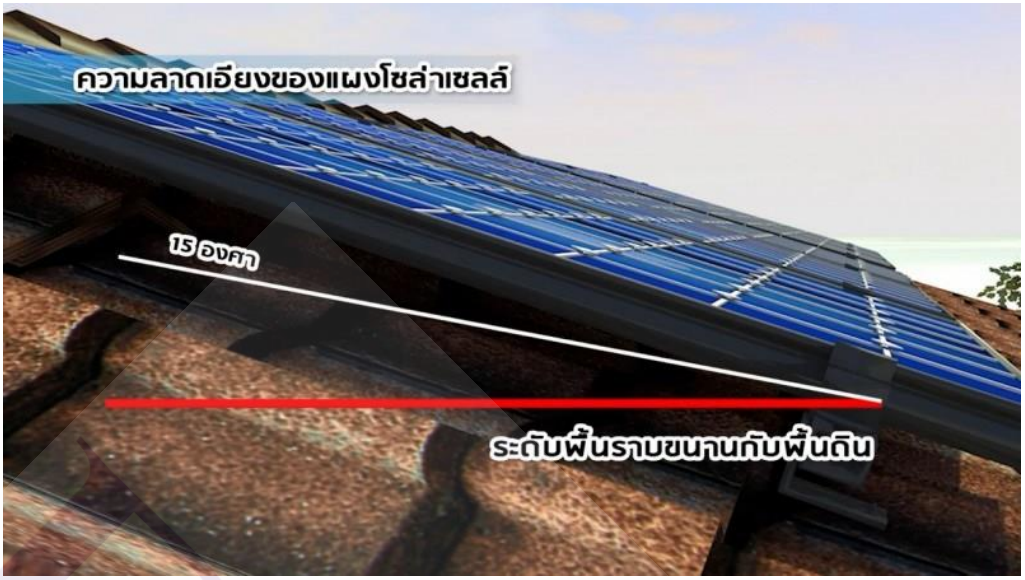
โดยทั่วไปตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์นี้คือบริเวณหลังคา แต่บางพื้นที่อาจจะมีการติดตั้งบริเวณพื้นที่ว่าง บริเวณผนังหรือแม้แต่บริเวณที่เป็นแผงกั้นแดด เป็นต้น

2.4.3.2 การอับแสงอาทิตย์

พื้นที่ที่เหมาะสำหรับการติดตั้งควรเป็นบริเวณที่โล่ง ปราศจากเงาของต้นไม้หรือเงาของวัตถุใด ๆ ก็ตามที่สามารถบังแสงอาทิตย์ได้ ซึ่งการบังแสงแดดจะส่งผลกระทบให้ประสิทธิภาพในการจัดหาไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง โดยคำแนะนำทั่วไปสำหรับพื้นที่ที่จะติดตั้งแผงนี้ควรเป็นบริเวณที่โล่งแจ้งสามารถรับแสงอาทิตย์ได้โดยไม่มีการบดบังแสงในช่วงเวลา 9 โมงเช้าถึงบ่าย 3 โมงในแต่ละวัน

2.4.3.3 ทิศทางในการตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์

ประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ซีกโลกเหนือนั้น ควรหันหน้าของแผงไปทางทิศใต้ โดยดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตกโดยเคลื่อนที่อ้อมทิศใต้ นอกจากนี้ความลาดเอียงของแผงควรมีความลาดชันประมาณ 15- 20 องศากับพื้นดินเพื่อทำให้แสงอาทิตย์กระทบตั้งฉากกับแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเที่ยงให้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ดังภาพที่ 2.14




**ภาพที่ 2.14** ทิศทางการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์

**ที่มา:** iEnergyGuru.com

**2.5 การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า**

โดยอาคารที่ทำการ สถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี กฟผ. เข้าข่ายการคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามเกณฑ์ประเกณฑ์เป็นอาคารประเภทที่ 3.2 กิจการขนาดกลาง อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of User Tariff : TOU Tariff) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ลักษณะการใช้สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 30 ถึง 999 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

**ตารางที่ 2.11** การคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามประเภท 3.2

| | ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์) | | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | | ค่าบริการ (บาท/เดือน) |
|---|---|---|---|---|---|
| | On Peak | Off Peak | On Peak | Off Peak | |
| 3.2.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป | 74.14 | 0 | 4.1283 | 2.6107 | 312.24 |
| 3.2.2 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์ | 132.93 | 0 | 4.2097 | 2.6295 | 312.24 |
| 3.2.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์ | 210.00 | 0 | 4.3555 | 2.6627 | 312.24 |

**ที่มา:** การไฟฟ้านครหลวง

โดยจะแบ่งราคาการใช้ไฟฟ้าเป็นช่วงเวลาดังนี้

On Peak คือวันจันทร์ - วันศุกร์ เวลา 09.00 - 22.00 น.

Off Peak วันจันทร์ – วันศุกร์เวลา 22.00 - 09.00 น. และ วันเสาร์ – วันอาทิตย์ เวลา 00.00 - 24.00 น.

ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า คือ ความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในช่วงเวลา On Peakในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไป คิดเป็น 1 กิโลวัตต์

ค่าพลังงานไฟฟ้า คือปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดใน 1 เดือน มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ชั่วโมง (Kilowatt.hour)

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้คำนวณโดยใช้อัตราค่าไฟฟ้า ดังนี้

$$\text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้} = (\text{พลังงานที่ลดได้} \times \text{ค่าพลังงานไฟฟ้า } (\text{บาท}/\text{หน่วย})) + \text{ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า}(\text{พีค})\text{ที่ลดได้ใน } 1 \text{ ปี } (\text{บาท})$$

$$\text{ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า(พีค)ที่ลดได้ใน 1 ปี (บาท)} = \frac{\text{พลังงานที่ลดได้ } (\frac{kWh}{year})}{\text{จำนวนชั่วโมงใช้งาน}} \times \text{ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า}(\frac{\text{บาท}}{kW})$$

**2.6 การวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อใช้ในการประเมินโครงการลงทุน**

2.6.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period หรือ PB)

หมายถึง ระยะเวลาที่การลงทุนนั้นใช้ไปในการลงทุน เพื่อให้กระแสเงินสดรับสุทธิที่ได้จากการลงทุน คุ้มค่ากับต้นทุนที่ต้องลงทุนไประยะเวลาคืนทุนเป็นการคำนวณหาจุดคุ้มทุนของโครงการที่ทำ โดยมีหน่วยวัดเป็นระยะเวลา ว่าเมื่อมีการลงทุนในโครงการนั้นแล้วจะใช้ระยะเวลากี่งวดในการคืนทุน

จะสามารถคำนวณหาได้โดยการคำนวณหากระแสเงินสดสะสมสุทธิในแต่ละงวดเวลาจนกระทั้งกระแสเงินสดสะสมสุทธิเป็นบวก หากกระแสเงินสดสะสมสุทธิเปลี่ยนจากการติดลบ มาเป็นบวกในงวดเวลาใด ก็จะหมายถึงว่าระยะเวลาคืนทุนเกิดขึ้นภายในงวดเวลานั้นนั่นเอง จึงสามารถแสดงการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{PB} = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + \frac{\text{เงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน}}{\text{กระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}}$$

2.6.2 ระยะเวลาคืนทุนคิดลด (Discounted Payback Period หรือ DPB)

เป็นการคำนวณหาจุดคุ้มทุนของโครงการที่ทำ โดยมีหน่วยวัดเป็นระยะเวลาว่า เมื่อมีการลงทุนในโครงการนั้นแล้ว จะใช้ระยะเวลากี่งวดในการคืนทุน โดยใช้วิธีคิดจากกระแสเงินสดสะสมที่จะได้รับในอนาคต ให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน (Present Value of Cash Flows) เสียก่อน การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนคิดลด แสดงได้ดังสมการดังนี้

$$\text{DPB} = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของเงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}}$$

2.6.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value หรือ NPV)

เป็นการหามูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิของโครงการลงทุนในแต่ละปี ซึ่งเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดเข้า (Cash Inflows) หักด้วยมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสด

ออก (Cash Outflows) โดยใช้ต้นทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของเงินทุนของโครงการเป็นอัตราคิดลด (WACC) เมื่อรวมกระแสเงินสดที่คิดมูลค่าปัจจุบันแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มูลค่าปัจจุบันสุทธิสามารถคำนวณหาได้จากสมการดังนี้

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \left( \frac{CFt}{(1+r)^2} \right)$$

โดยที่

NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

CFt = กระแสเงินสดที่คาดหวัง ณ ช่วงเวลา t

n = ช่วงอายุของโครงการลงทุน

r = อัตราคิดลด หรือ ต้นทุนถัวเฉลี่ยของเงินทุน

เกณฑ์ในการประเมิน สรุปได้ว่าหากโครงการลงทุนใดที่มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ NPV > 0 ผู้วิเคราะห์สามารถ ยอมรับโครงการลงทุนนั้นได้ ในทางตรงกันข้าม หากโครงการลงทุนใด มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ NPV < 0 ผู้วิเคราะห์สามารถปฏิเสธ โครงการนั้นได้ และหากโครงการลงทุนใด ที่มูลค่าปัจจุบันสุทธิ NPV = 0 ผู้วิเคราะห์อาจยอมรับหรือปฏิเสธโครงการก็ได้ เนื่องจากมูลค่าขององค์กร จะไม่มีความแตกต่างไม่ว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธโครงการ

2.6.4 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return หรือ IRR)

หมายถึง อัตราผลตอบแทนที่ทำให้ค่า NPV ของโครงการลงทุนนั้นมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ IRR ของการลงทุนคืออัตราผลตอบแทน (Time Value of Money) ซึ่งอัตราผลตอบแทนภายในนี้จัดว่าเป็นอัตราคิดลด (Discount Rate) ที่ใช้คำนวณมูลค่าของเงินตราเวลา เช่นเดียวกับ อัตราดอกเบี้ย และต้นทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของเงินทุน (WACC) ดังนั้น ในบางครั้งอาจเรียก IRR ว่า ผลตอบแทนจากการคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow Return)

(สุขสันต์ เขื่อนแก้ว, 2552)

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการถ่ายทอดความรู้อาคารต้นแบบพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2557) โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นอาคารต้นแบบสำหรับประเทศไทย ในการพัฒนาอาคารประหยัดพลังงานที่ใช้แนวคิดเกี่ยวกับการใช้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์ (Net Zero Energy Building ; NZEB) โดยมีหลักการว่าการนำพลังงานจากภายนอกเข้าอาคารลบกับพลังงานที่จัดหาได้เองในอาคารมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญสองส่วน ส่วนแรกคือเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานที่นำมาใช้ในอาคาร และส่วนที่สองคือเทคโนโลยีการจัดหาพลังงานที่ใช้ในอาคาร โดยได้มี

การศึกษารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องและนำมาใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อทำการคัดเลือกอาคารตามเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อทำให้อาคารที่คัดเลือกมีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์และมีความเหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย โดยคณะทำงานได้มีผลการพิจารณาในการคัดเลือกอาคารสำนักงานกองสื่อสารองค์กรของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งเป็นอาคารสำนักงานของฝ่ายประชาสัมพันธ์ของมหาวิทยาลัยเป็นอาคารที่จะใช้ในการศึกษาวิจัย หลังจากนั้นคณะทำงานได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้และออกแบบปรับปรุงอาคารเดิมให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยมีระบบต่างๆดังนี้ 1.กรอบอาคาร 2.ระบบแสงสว่าง 3.การใช้แสงธรรมชาติ 4.ระบบทำความเย็น 5.อุปกรณ์สำนักงาน 6.การจัดหากระแสไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยจากเดิมอาคารหลังนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 98.60 หน่วยต่อวัน หรือ 35,987.70 หน่วยต่อปี และได้ประเมินไว้ว่าหลังจากปรับปรุงอาคารจะต้องมีการใช้พลังงานเฉลี่ยลดลงเหลือ 60.06 หน่วยต่อวัน หรือ 21,920.71 หน่วยต่อปี ซึ่งวัดผลการใช้พลังงานจริงหลังการปรับปรุง พบว่าอาคารดังกล่าวมีการใช้พลังงานเฉลี่ยลดลงเหลือ 39.53 หน่วยต่อวัน หรือ 14,428.45 หน่วยต่อปี ผลการออกแบบและปรับปรุงอาคารโดยใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูงนั้น สามารถลดการใช้พลังงานได้สอดคล้องตามที่ประเมินไว้ และผลการใช้พลังงานทดแทน ซึ่งได้ออกแบบระบบจัดหาพลังงานใช้เองจากแสงอาทิตย์ ให้มีปริมาณการจัดหา 78.65 หน่วยต่อวัน หรือ 28,707.00 หน่วยต่อปี เมื่อทำการเก็บข้อมูลระบบจัดหาพลังงานจากแสงอาทิตย์ พบว่ามีปริมาณการจัดหาพลังงานเฉลี่ย 84.67 หน่วยต่อวัน หรือ 30,904.55 หน่วยต่อปี ผลการจัดหาพลังงานใช้เองจากแสงอาทิตย์มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการใช้พลังงานของอาคาร และยังมีพลังงานส่วนที่เหลือ ส่งไปให้อาคารในบริเวณใกล้เคียงได้ใช้ด้วย สรุปผลการปรับปรุงอาคารสำนักงานกองสื่อสารองค์กร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทำให้อาคารหลังนี้ใช้พลังงานลดลงตามเป้าหมายและสามารถจัดหาพลังงานจากแสงอาทิตย์ใช้เองเพียงพอต่อความต้องการ โดยเป็นไปตามนิยามการเป็นอาคารใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ปารวี ตั้งจิตวิทยา (2556) ได้ศึกษาการออกแบบกรอบอาคารบ้านเดี่ยว เพื่อนำไปสู่อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยได้หาแนวทางการออกแบบเปลือกอาคารสำหรับบ้านเดี่ยวสองชั้นที่มีพื้นที่ใช้สอยไม่เกิน 200 ตร.ม. เพื่อให้เป็นอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์ การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยการวัดผลจริงด้านการจัดหาพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยได้ศึกษาความเป็นไปได้และรูปแบบของกรอบอาคารในแต่ละทิศ ภายใต้สภาพอากาศของประเทศไทย ระยะยื่นของแผงบังแดดในแต่ละทิศทาง รวมถึงองศาและพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้การจัดหาพลังงานรวมเพียงพอต่อการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน โดยการจำลองพลังงานผ่านโปรแกรมพบว่า หากกำหนดให้ด้านหน้าของอาคารหันไปทางทิศตะวันออก จะทำให้การใช้พลังงานภายในบ้านน้อยที่สุด ทั้งในบ้านเดี่ยวกรณีพื้นฐาน

และกรณีเปลี่ยนหลังคา และกรณีของแผงบังแดดตัวอาคารพบว่า อาคารที่มีแผงบังแดดที่มีระยะมากจะช่วยลดพลังงานการปรับอากาศมากกว่าแผงบังแดดที่ยื่นน้อย และทิศทางของแผงบังแดดทิศตะวันออกและใต้ มีการเปลี่ยนแปลงด้านพลังงานมากที่สุด ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อหันทางทิศใต้ และทำมุม 30 องศา

พรรัตน์ เรืองเสรี และชำนาญ บุญญาพุทธิพงศ์ (2560) ได้ศึกษาเรื่องการปรับปรุงอาคารจอดรถ 1 ศูนย์อาหารและบริการ 4 มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อเป็นอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยอาคารมีการใช้งานแบ่งเป็น ชั้น 1 ศูนย์อาหาร ร้านกาแฟและร้านค้าสะดวกซื้อ, ชั้น 2-5 เป็นอาคารจอดรถ และชั้น 6 เป็นดาดฟ้าที่ใช้เป็นที่จอดรถ เสียค่าไฟฟ้าแต่ละเดือนประมาณ 40,000 - 60,000 บาท โดยการใช้งานพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่มาจากร้านสะดวกซื้อ เนื่องจากมีการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าหลายชนิดและเปิดใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง โดยได้ทำการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของอาคาร และการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร แล้วนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ร่วมกับความสามารถในการจัดหาพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการศึกษาพบว่า พลังงานที่สามารถจัดหาได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอต่อพลังงานไฟฟ้าที่อาคารต้องการใช้ทั้งหมด โดยหากลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉพาะพื้นที่ส่วนกลางลงอย่างน้อย 10% จะทำให้เพียงพอต่อการจัดหาพลังงานให้กับพื้นที่ส่วนกลาง

# บทที่ 3

# ระเบียบวิธีวิจัย

โดยบทนี้จะกล่าวถึงเรื่องระเบียบวิธีวิจัยและขั้นตอนที่ใช้ในการทำการวิจัย โดยมีหัวข้อต่างๆดังนี้

3.1 ประเภทของการวิจัย

3.2 วิธีการวิจัย

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.4 ปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย

3.5 วิธีวิเคราะห์ผลการวิจัย

**3.1 ประเภทของการวิจัย**

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ โดยอาศัยการวิเคราะห์ผลการจำลองพลังงานของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โปแกรม BEC ซึ่งประกอบด้วยการคำนวณ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร, ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา, ระบบแสงสว่าง, ระบบปรับอากาศ, ระบบการจัดหาพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ และค่าพลังงานรวมเฉลี่ยทั้งปีของอาคาร เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง

**3.2 วิธีการวิจัยมีขั้นตอนดังนี้**

### 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

โปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร Building Energy Code Software: BEC Software เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ผลการจำลองพลังงานของอาคาร โดยใช้สมการการวิเคราะห์ตาม ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552

**ภาพที่ 3.1** ตัวอย่างโปรแกรม BEC

### 3.4 ปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยนี้จำเป็นต้องวิเคราะห์ผลการจำลองพลังงานของอาคาร โดยมีปัจจัยประกอบหลายๆส่วนเข้าด้วยกัน ซึ่งส่งผลต่อการวิเคราะห์ผลการจำลองพลังงานของอาคารทั้งสิ้น ประกอบด้วย

3.4.1 ทิศทาง

ทิศทางที่แตกต่างกัน มีค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (effective solar radiation, ESR) ที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการหันทิศทางของอาคาร การเลือกใช้วัสดุของแต่ละทิศของอาคาร และผังภายในอาคาร ทำให้ความร้อนที่เข้ามาภายในอาคาร มีค่าที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 3.1 จะเห็นว่า ทิศใต้เป็นทิศที่มีค่า ESR สูงที่สุด แต่จากทิศทางการหันของอาคารที่ทำการทางด้านทิศใต้เป็นทิศที่มีห้องสำนักงานมากที่สุด ซึ่งงานวิจัยนี้ไม่สามารถหันทิศทางของอาคารได้ จึงต้องศึกษาถึงวัสดุของผนังทึบและกระจกที่มีประสิทธิภาพสูง

**ตารางที่ 3.1** ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทสถานศึกษาหรือสำนักงาน

| มุมเอียง (องศา) | ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนตามทิศทางของผนัง ($W/m^2$) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | เหนือ | ตะวันออกเฉียงเหนือ | ตะวันออก | ตะวันออกเฉียงใต้ | ใต้ | ตะวันตกเฉียงใต้ | ตะวันตก | ตะวันตกเฉียงเหนือ |
| 0 | 437.38 | 437.38 | 437.38 | 437.38 | 437.38 | 437.38 | 437.38 | 437.38 |
| 15 | 405.00 | 421.74 | 433.61 | 440.00 | 441.62 | 438.90 | 431.51 | 419.53 |
| 30 | 358.99 | 390.20 | 412.96 | 425.48 | 428.59 | 422.98 | 408.39 | 358.65 |
| 45 | 309.68 | 348.31 | 379.58 | 397.17 | 401.47 | 393.20 | 372.57 | 341.61 |
| 60 | 255.37 | 301.60 | 337.61 | 358.44 | 363.45 | 353.18 | 328.62 | 293.33 |
| 75 | 212.39 | 255.60 | 291.21 | 312.65 | 317.70 | 306.52 | 281.11 | 246.70 |
| 90 | 185.06 | 215.84 | 244.53 | 263.14 | 267.41 | 256.82 | 234.58 | 207.62 |

**ที่มา:** ประกาศกระทรวงพลังงานเรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ พ.ศ. 2552

3.4.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร

จากบทที่ 2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และแผงบังแดด ซึ่งการเลือกวัสดุ และสัดส่วนผนัง

โปร่งแสงต่อผนังทึบ มีผลทำให้ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารมีผลที่แตกต่างกัน โดยอาคารที่ทำการมีสัดส่วนหน้าต่างต่อผนังในพื้นที่ปรับอากาศประมาณร้อยละ 27 ซึ่งมีผลต่อความร้อนที่เข้าสู่อาคารและจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในพื้นที่ปรับอากาศเพิ่มขึ้น

3.4.3 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร

จากบทที่ 2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) ซึ่งการเลือกใช้วัสดุและช่องว่างอากาศ มีผลต่อความร้อนที่เข้าสู่อาคาร และจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในพื้นที่ปรับอากาศเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยอาคารที่ทำการมีฉนวนกันความร้อนที่ดีอยู่แล้ว จึงไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยนเพิ่มเติม

3.4.4 ระบบแสงสว่าง

โดยค่าความสว่างภายในอาคารที่ทำการทุกห้องจะต้องเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด โดยมีค่าความส่องสว่างตามกำหนดของ*กฎกระทรวงฉบับที่39* (พ.ศ. 2537) และกฎกระทรวงอาชีวอนามัยเรื่องสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 ดังตารางที่ 3.2 รวมทั้งจะต้องออกแบบให้มีค่าการใช้พลังงานต่ำที่สุดด้วย ซึ่งโคมไฟที่ใช้ทั้งหมดเป็นโคมไฟ LED ที่ช่วยประหยัดพลังงาน และระบบแสงสว่างจะสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาช่วยในส่วนของชั้น 3 และ 4 ที่เป็นห้องสำนักงาน ตามประกาศของกระทรวงพลังงานในบทที่ 2

**ตารางที่ 3.2** ค่ามาตรฐานความส่องสว่างที่กฎหมายกำหนด

| **ประเภทห้อง** | **ค่ามาตรฐานความส่องสว่าง (LUX)** | |
|---|---|---|
| | **กฎกระทรวง ฉบับที่ 39** | **Safety 2549** |
| ห้องโถง/ห้องพักรอ | - | 200 |
| สำนักงาน | 300 | 400 |
| ห้องควบคุมและห้องสวิตซ์ | - | 200 |
| ห้องน้ำ | 100 | 100 |
| ห้องเก็บของ | - | 100 |
| ห้องเครื่องปั๊ม | - | 100 |
| ห้องครัว | - | 200 |
| ห้องประชุม | 300 | 300 |

**ตารางที่ 3.2** (ต่อ)

| ประเภทห้อง | ค่ามาตรฐานความส่องสว่าง (LUX) | |
|---|---|---|
| | กฎกระทรวง ฉบับที่ 39 | Safety 2549 |
| ห้องถ่ายเอกสาร | - | 300 |

***ที่มา:*** *กฎกระทรวงฉบับที่39* (พ.ศ. 2537) และกฎกระทรวงอาชีวอนามัยเรื่องสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549

3.4.5 ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศเป็นระบบที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานสูงที่สุดถึงร้อยละ 50-70% ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ภายในอาคาร จึงต้องมีการออกแบบระบบปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง และเป็นไปตามมาตรฐานเพื่อให้เกิดความสบายเชิงอุณหภาพ (Thermal comfort) แก่ผู้ใช้งานอาคาร โดยการวิจัยนี้ศึกษาอาคารที่กำลังดำเนินการก่อสร้าง และเลือกใช้ระบบปรับอากาศคุณภาพสูงอยู่แล้ว จึงเลือกใช้ระบบปรับอากาศแบบเดิมโดยไม่มีการปรับปรุง

3.4.6 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์

อาคารที่มีการจัดหาพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในอาคาร สามารถนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่จัดหาได้ ไปหักออกจากค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร เพื่อนำมาคิดเป็นพลังงานรวมสุทธิ โดยอาคารที่ทำการมีส่วนที่สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 2 ส่วนคือ ส่วนหลังคาของอาคารและส่วนหลังคาที่จอดรถภายในโครงการ

3.4.7 ค่าพลังงานรวมสุทธิทั้งอาคาร

คือค่าการใช้พลังงานโดยรวมของทั้งอาคาร โดยคำนวณค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารดังกล่าวในรอบ 1 ปี มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี ($kWh/m^2$-y) ซึ่งกระทรวงพลังงานได้กำหนดว่า อาคารที่มีค่าพลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ ต้องมีค่าไม่เกิน 57 $kWh/m^2y$ และอาคารที่มีค่าพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ต้องมีค่าไม่เกิน 0 $kWh/m^2y$

3.4.8 การวิเคราะห์ทางการเงิน

การวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อใช้ในการประเมินโครงการความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการนี้ โดยใช้เครื่องมือดังนี้ 1.ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period หรือ PB) 2.ระยะเวลาคืนทุนคิดลด (Discounted Payback Period หรือ DPB) 3.มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value หรือ NPV) 4.อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return หรือ IRR)

**3.5 วิธีวิเคราะห์ผลการวิจัย**

หลังจากรวบรวมข้อมูล และทดลองผลการวิจัยทั้งหมดแล้ว นำผลการวิจัยที่ได้มาวิเคราะห์ผลดังนี้

1. วิเคราะห์มาตรการการพัฒนาอาคารอาคารที่ทำการ สถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี กฟผ. สู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยมีการเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานสำหรับแต่ละมาตรการ

2. วิเคราะห์ความคุ้มทุนในการพัฒนาอาคารอาคารที่ทำการ สถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี กฟผ. สู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยมีการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่สามารถลดได้โดยคิดเป็นค่าไฟฟ้าต่อหน่วย มูลค่าวัสดุและค่าแรง โดยนำผลที่ได้มาวิเคราะห์

3. วิเคราะห์เลือกมาตรการการพัฒนาอาคาร ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงการนี้

# บทที่ 4

# ผลการศึกษา

**4.1 วิเคราะห์ข้อมูลอาคารต้นแบบ**

โดยอาคารที่ทำการ สถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี กฟผ. มีข้อมูลดังนี้

วัตถุประสงค์และข้อมูลโดยทั่วไปของอาคาร

เพื่อเป็นอาคารที่ทำการ อาคารสำนักงาน ประจำสถานีไฟฟ้าแรงสูง จังหวัดอุบลราชธานี โดยเป็นอาคารก่อสร้างใหม่ สูง 4 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด 2,273.81 ตารางเมตร แบ่งเป็น

| | | |
|---|---|---|
| พื้นที่ปรับอากาศ | 1,027.17 | ตารางเมตร |
| พื้นที่ไม่ปรับอากาศ | 810.45 | ตารางเมตร |
| พื้นที่ใช้สอยภายนอกอาคาร | 436.19 | ตารางเมตร |

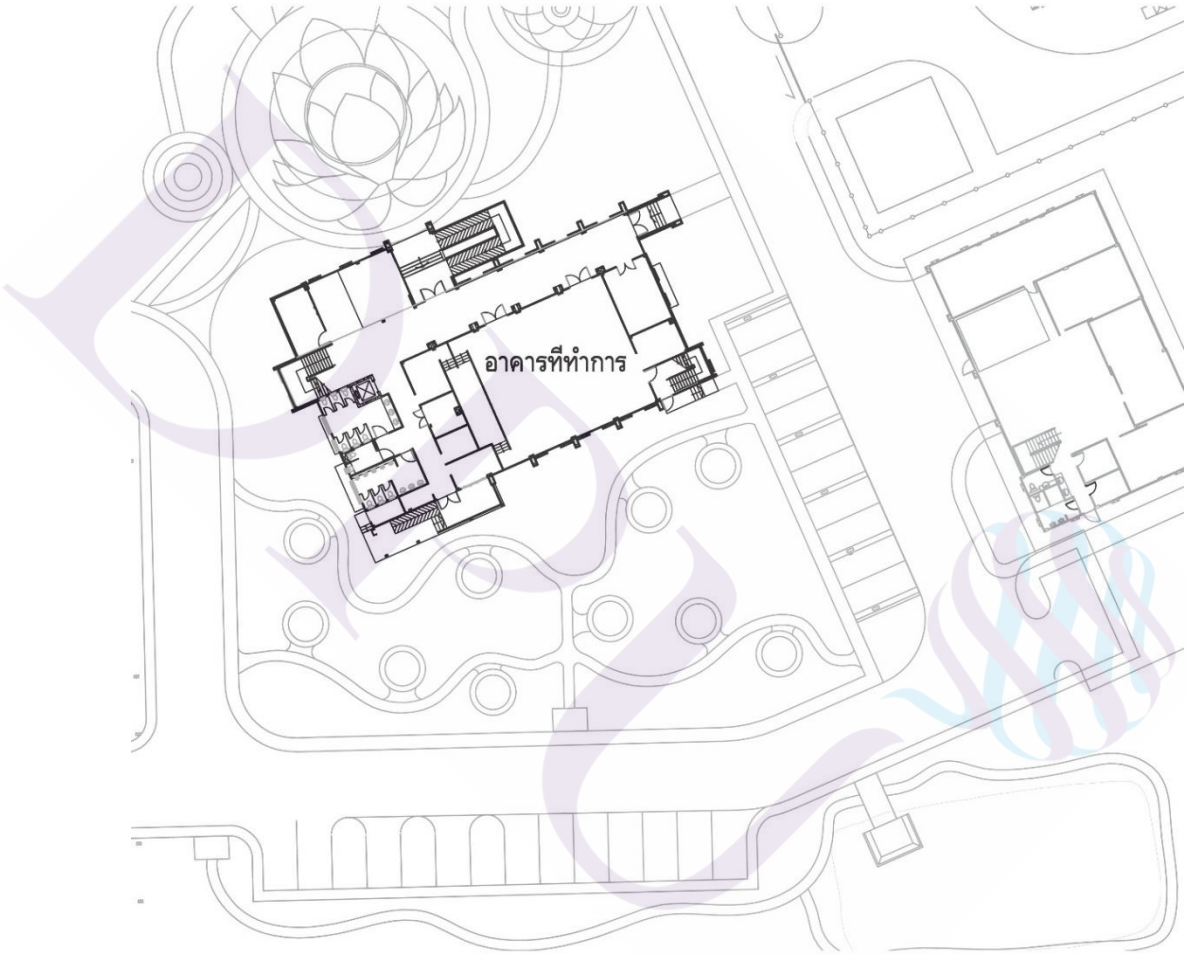
โดยประกอบด้วยห้องสำนักงาน ห้องประชุม โถงทางเดิน ห้องน้ำ ห้องพักวิทยากร ห้องไฟฟ้า และห้องถ่ายเอกสาร

แนวคิดการออกแบบอาคารที่ทำการ สถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี กฟผ.

1. เป็นอาคาร “Green Building” ที่ได้มาตรฐาน Green building rating system โดยตั้งเป้าหมายในการขอมาตรฐาน Thai’s Rating of Energy and Environmental Sustainability (TREES) ระดับ Gold
2. กรอบอาคารใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาและกระจกใช้เป็นกระจกลามิเนต
3. หลังคาเป็น Metal Sheet และคอนกรีต โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อน P.E. Form และแผ่นใยแก้วติดอลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร
4. จัดวางส่วนที่ไม่ปรับอากาศเช่น ห้องน้ำ บันไดไว้ทางด้านทิศตะวันตก เพื่อใช้เป็น Buffer Zone กันความร้อนจากแสงอาทิตย์ด้านทิศตะวันตก
5. ระบบไฟฟ้าแสงสว่างใช้หลอด LED ทั้งอาคาร โดยมีค่าความส่องสว่างตามกำหนดของ*กฎกระทรวงฉบับที่39* (พ.ศ. 2537) และกฎกระทรวงอาชีวอนามัยเรื่องสภาพแวดล้อม

ในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 โดยในส่วนพื้นที่สำนักงานใช้หลอด LED Tube T8 และทางเดินทั่วไปภายในอาคารใช้โคมไฟ LED Downlight

6. ระบบปรับอากาศระบบ VRF (Variable Refrigerant Flow System) ใช้ในพื้นที่ห้องสำนักงานและห้องประชุม และระบบระบายอากาศ เป็นไปตามกำหนดของมาตรฐาน ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)




**ภาพที่ 4.1** ตำแหน่งที่ตั้งของอาคารที่ทำการ สถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี กฟผ.

**ตารางที่ 4.1** วัสดุที่ใช้ในอาคารต้นแบบ

| | วัสดุ | หนา (เมตร) |
|---|---|---|
| ผนังทึบ | ปูนฉาบสำหรับคอนกรีตมวลเบา | 0.015 |
| | คอนกรีตมวลเบา | 0.07 |
| | ปูนฉาบสำหรับคอนกรีตมวลเบา | 0.015 |
| หลังคา แบบที่ 1 | Metal Sheet | 0.00048 |
| | P.E. Form | 0.005 |
| | ช่องอากาศ | 1.32 |
| | ใยแก้วอลูมิเนียมฟอยล์ 1 ด้าน | 0.076 |
| | แผ่นยิบซัม | 0.009 |
| หลังคา แบบที่ 2 | คอนกรีตสแลบ | 0.1 |
| | P.E. Form | 0.005 |
| | ช่องอากาศ | 1.32 |
| | ใยแก้วอลูมิเนียมฟอยล์ 1 ด้าน | 0.076 |
| | แผ่นยิบซัม | 0.009 |
| กระจก | กระจกเขียว | 0.004 |
| | ฟิล์ม PVB | 0.0038 |
| | กระจกใส | 0.003 |

การจำลองค่าพลังงานสำหรับอาคารต้นแบบ

ผลการจำลองค่าพลังงานสำหรับอาคารต้นแบบผ่านโปรแกรม BEC มีผลดังนี้

OTTV : 49.663 $W/m^2$

RTTV : 6.018 $W/m^2$

Lighting power Density : 6.697 $W/m^2$

ค่าพลังงานรวมที่ใช้ตลอดปี : 93,709.72 kWh/Year

ค่าพลังงานที่ใช้ในพื้นที่ปรับอากาศ : 68,249.88 kWh/Year

ค่าพลังงานที่ใช้ต่อพื้นที่ปรับอากาศ : 66.44 kWh/ $m^2$.Year

ค่าพลังงานที่ใช้ในพื้นที่ไม่ปรับอากาศ : 7,909.84 kWh/ Year

ค่าพลังงานที่ใช้ต่อพื้นที่ไม่ปรับอากาศ : 9.76 kWh/ $m^2$.Year

ค่าพลังงานที่ลิฟท์ใช้ : 17550 kWh/ Year

**4.2 เป้าหมายการใช้พลังงาน**

เป้าหมายการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่ทำการ สถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี กฟผ. เพื่อที่จะเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (NZEB) คือ ต้องลดพลังงานที่ใช้รวมกับพลังงานที่จัดหาเองได้ ให้ได้มากกว่าการใช้พลังงานของค่าพลังงานรวมที่ใช้ของอาคารต้นแบบ ซึ่งสามารถคำนวณค่าพลังงานรวมที่ใช้ตลอดปีของอาคารต้นแบบได้คือ 93,709.72 kWh/Year

**4.3 มาตรการปรับปรุงอาคาร**

โดยมาตรการปรับปรุงอาคารที่ทำการสถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี กฟผ. มีมาตรการต่างๆ 6 มาตรการ ซึ่งแต่ละมาตรการสามารถเปรียบเทียบความคุ้มทุนระหว่างมาตรการได้โดยใช้เครื่องมือการคำนวณค่าความคุ้มทุน (Payback Period) โดยมีรายละเอียดดังนี้ดังนี้

| มาตรการที่ 1 ปรับปรุงผนังทึบ |
|---|

โดยมีมาตรการปรับปรุงผนังทึบโดยใช้วัสดุที่แตกต่างกัน 3 แบบ โดยอ้างอิงราคาวัสดุผนังตามโครงการศึกษาปรับปรุงระดับเกณฑ์มาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ดังนี้

วัสดุแบบที่ 1 ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น มีช่องอากาศตรงกลาง งบลงทุนประมาณ 800 บาทต่อตารางเมตร

**ตารางที่ 4.2** มาตรการที่ 1 วัสดุแบบที่ 1 ใช้วัสดุผนังเป็นคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น มีช่องอากาศตรงกลาง

| ด้าน | พื้นที่พนัง (ตร.ม.) | งบลงทุน (บาท) | ลดพลังงานได้ (kWh/year) | ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (บาท/ปี) | ระยะเวลาคืนทุน (ปี) |
|---|---|---|---|---|---|
| ทิศเหนือ | 170.23 | 136,184.00 | 898.23 | 4,393.60 | 31.00 |
| ทิศตะวันตก | 79.52 | 63,618.56 | 487.48 | 2,384.46 | 26.68 |
| ทิศใต้ | 193.60 | 154,882.00 | 1,295.85 | 6,338.51 | 24.44 |
| ทิศตะวันออก | 139.50 | 111,600.00 | 874.93 | 4,279.63 | 26.08 |
| รวม | 582.86 | 466,284.56 | 3,556.49 | 17,396.19 | 26.80 |

วัสดุแบบที่ 2 ผนังคอนกรีตมวลเบา บุฉนวนใยแก้ว 2" และแผ่นยิปซั่ม งบลงทุนประมาณ 910 บาทต่อตารางเมตร

**ตารางที่ 4.3** มาตรการที่ 1 วัสดุแบบที่ 2 ใช้วัสดุผนังเป็นคอนกรีตมวลเบา บุฉนวนใยแก้ว 2" และแผ่นยิปซั่ม

| ด้าน | พื้นที่พนัง (ตร.ม.) | งบลงทุน (บาท) | ลดพลังงานได้ (kWh/year) | ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (บาท/ปี) | ระยะเวลาคืนทุน (ปี) |
|---|---|---|---|---|---|
| ทิศเหนือ | 170.23 | 154,909.30 | 1,197.96 | 5,859.69 | 26.44 |
| ทิศตะวันตก | 79.52 | 72,366.11 | 646.86 | 3,164.05 | 22.87 |
| ทิศใต้ | 193.60 | 176,178.28 | 1,737.66 | 8,499.58 | 20.73 |

**ตารางที่ 4.3** (ต่อ)

| ด้าน | พื้นที่พนัง (ตร.ม.) | งบลงทุน (บาท) | ลดพลังงานได้ (kWh/year) | ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (บาท/ปี) | ระยะเวลาคืนทุน (ปี) |
|---|---|---|---|---|---|
| ทิศตะวันออก | 139.50 | 126,945.00 | 1,181.46 | 5,778.98 | 21.97 |
| รวม | 582.86 | 530,398.69 | 4,763.94 | 23,302.30 | 22.76 |

วัสดุแบบที่ 3 ผนังคอนกรีตมวลเบา เว้นช่องอากาศ บุฉนวนใยแก้ว 2" และแผ่นยิปซั่ม งบลงทุนประมาณ 910 บาทต่อตารางเมตร

**ตารางที่ 4.4** มาตรการที่ 1 วัสดุแบบที่ 3 ใช้วัสดุผนังเป็นคอนกรีตมวลเบา เว้นช่องอากาศ บุฉนวนใยแก้ว 2" และแผ่นยิปซั่ม

| ด้าน | พื้นที่พนัง (ตร.ม.) | งบลงทุน (บาท) | ลดพลังงานได้ (kWh/year) | ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (บาท/ปี) | ระยะเวลาคืนทุน (ปี) |
|---|---|---|---|---|---|
| ทิศเหนือ | 170.23 | 154,909.30 | 1,221.61 | 5,975.37 | 25.92 |
| ทิศตะวันตก | 79.52 | 72,366.11 | 659.73 | 3,227.00 | 22.43 |
| ทิศใต้ | 193.60 | 176,178.28 | 1,771.87 | 8,666.91 | 20.33 |
| ทิศตะวันออก | 139.50 | 126,945.00 | 1,204.71 | 5,892.71 | 21.54 |
| รวม | 582.86 | 530,398.69 | 4,857.92 | 23,761.99 | 22.32 |

ซึ่งสรุปได้ว่าในมาตรการที่ 1 การปรับปรุงผนังทึบโดยใช้วัสดุแบบที่ 3 ผนังคอนกรีตมวลเบา เว้นช่องอากาศ บุฉนวนใยแก้ว 2" และแผ่นยิปซั่ม มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด

มาตรการที่ 2 เปลี่ยนวัสดุกระจก

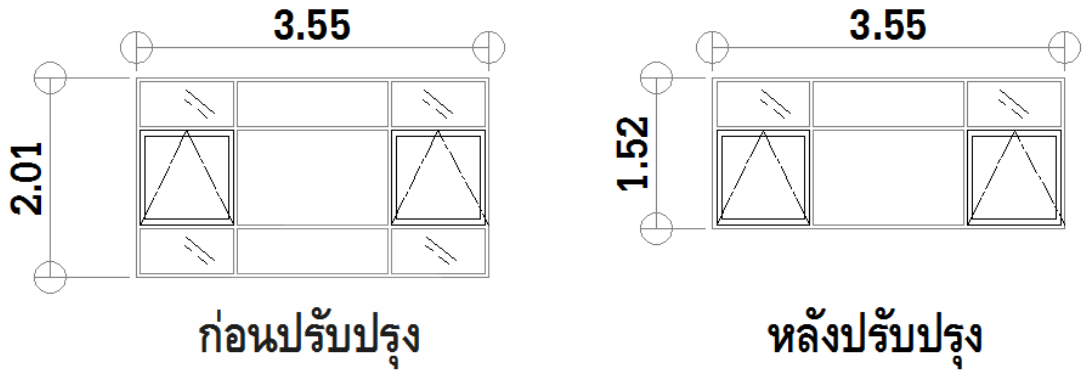
โดยมีมาตรการการปรับปรุงส่วนพื้นที่ปรับอากาศ โดยใช้วัสดุกระจกเป็นชนิด Clear Color Single Silver Low-E coat on Ocean Green 6 mm (6-6-6) งบลงทุนประมาณ 2,150 บาทต่อตารางเมตร

**ตารางที่ 4.5** มาตรการที่ 2 เปลี่ยนวัสดุกระจกเป็นชนิด Clear Color Single Silver Low-E coat on Ocean Green 6 mm (6-6-6)

| ด้าน | พื้นที่กระจก (ตร.ม.) | งบลงทุน (บาท) | ลดพลังงานได้ (kWh/year) | ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (บาท/ปี) | ระยะเวลาคืนทุน (ปี) |
|---|---|---|---|---|---|
| ทิศเหนือ | 33.20 | 71,380.00 | 1,338.28 | 6,546.05 | 10.90 |
| ทิศตะวันตก | 2.42 | 5,196.55 | 110.65 | 541.23 | 9.60 |
| ทิศใต้ | 86.21 | 185,351.50 | 4,308.98 | 21,076.91 | 8.79 |
| ทิศตะวันออก | 35.70 | 76,755.00 | 1,524.62 | 7,457.51 | 10.29 |
| รวม | 157.53 | 338,683.05 | 7,282.53 | 35,621.71 | 9.51 |

มาตรการที่ 3 ลดขนาดกระจก

ปรับปรุงอาคารโดยการลดขนาดหน้าต่างชนิด น1 ลงประมาณร้อยละ 25 โดยพื้นที่ปรับอากาศจะมีสัดส่วนหน้าต่างต่อผนังทึบจาก 27% เป็น 20% ดังภาพที่ 4.2 งบลงทุนประมาณ 1,707 บาทต่อตารางเมตร




**ภาพที่ 4.2** เปรียบเทียบขนาดหน้าต่างก่อนและหลังการปรับปรุง

**ตารางที่ 4.6** มาตรการที่ 3 ลดขนาดหน้าต่างชนิด น1

| ด้าน | พื้นที่กระจกที่ลดลง (ตร.ม.) | งบลงทุน (บาท) | ลดพลังงานได้ (kWh/year) | ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (บาท/ปี) | ระยะเวลาคืนทุน (ปี) |
|---|---|---|---|---|---|
| ทิศเหนือ | 6.82 | 11,634.91 | 668.36 | 3,269.21 | 3.56 |
| ทิศตะวันตก | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ทิศใต้ | 18.74 | 31,996.01 | 2,361.92 | 11,553.08 | 2.77 |
| ทิศตะวันออก | 8.57 | 14,625.58 | 897.39 | 4,389.49 | 3.33 |
| รวม | 34.13 | 58,256.50 | 3,927.67 | 19,211.77 | 3.03 |

มาตรการที่ 4 เพิ่มแผงบังแดด

มาตรการที่ 4 เพิ่มแผงบังแดดแนวนอน ความลึก 1.2 เมตร เหนือหน้าต่างส่วนที่ปรับอากาศภายในอาคาร งบลงทุนประมาณ 1,500 บาทต่อเมตร

**ตารางที่ 4.7** มาตรการที่ 4 เพิ่มแผงบังแดดแนวนอน ความลึก 1.2 เมตร

| ด้าน | ความยาวแผงบังแดด (เมตร) | งบลงทุน (บาท) | ลดพลังงานได้ (kWh/year) | ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (บาท/ปี) | ระยะเวลาคืนทุน (ปี) |
|---|---|---|---|---|---|
| ทิศเหนือ | 14.20 | 21,300.00 | 156.86 | 767.26 | 27.76 |
| ทิศตะวันตก | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ทิศใต้ | 39.05 | 58,575.00 | 582.69 | 2,850.17 | 20.55 |
| ทิศตะวันออก | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| รวม | 53.25 | 79,875.00 | 739.55 | 3,617.43 | 22.08 |

มาตรการที่ 5 การใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร

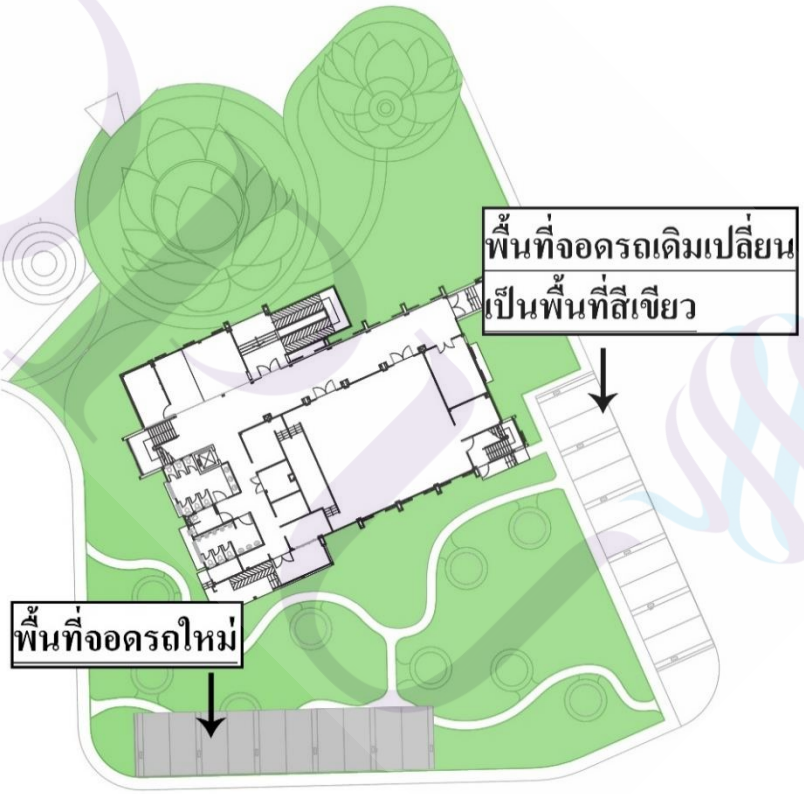
มาตรการที่ 5 ตามประกาศของกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร สามารถลดการใช้พลังงานโดยใช้แสงธรรมชาติจากทางหน้าต่างได้ โดยต้องมีการปรับปรุงวงจรไฟฟ้าในส่วนที่โคมไฟที่ติดหน้าต่างชั้น 3 และ 4 และเพิ่มอุปกรณ์สำหรับหรี่ไฟอัตโนมัติเมื่อมีแสงเข้ามา

**ตารางที่ 4.8** มาตรการที่ 5 การใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร

| ชั้น | งบลงทุน (บาท) | ลดพลังงานได้ (kWh/year) | ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (บาท/ปี) | ระยะเวลาคืนทุน (ปี) |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 6,620.20 | 841.42 | 4,115.72 | 1.61 |
| 4 | 8,666.40 | 1,495.85 | 7,316.79 | 1.18 |
| รวม | 15,286.60 | 2,337.27 | 11,432.50 | 1.34 |

มาตรการที่ 6 การจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

มาตรการที่ 6 ตามประกาศของกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร สามารถลดการใช้พลังงานรวมภายในอาคาร โดยการนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่จัดหาได้ไปหักออกจากค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร โดยจะเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์คุณภาพสูง 330 Wp ติดตั้งตำแหน่งหลังคาอาคารและหลังคาของที่จอดรถสำหรับอาคาร โดยต้องมีการย้ายตำแหน่งที่จอดรถเดิม เนื่องจากเงาของอาคารในบางช่วงเวลามีการบังแสงอาทิตย์ที่ตกลงสู่เซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้การจัดหาพลังงานไฟฟ้าได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ




**ภาพที่ 4.3** ตำแหน่งที่ตั้งของที่จอดรถใหม่สำหรับอาคารที่ทำการ สฟ.อุบลราชธานี กฟผ.

**ตารางที่ 4.9** มาตรการที่ 6 การจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

| | พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ตร.ม.) | กำลังผลิตติดตั้ง (kWp) | งบลงทุน (บาท) | จัดหาพลังงานได้ (kWh/year) | ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (บาท/ปี) | ระยะเวลาคืนทุน (ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| หลังคาอาคาร | 187.2 | 38.61 | 3,966,485.02 | 45,175.62 | 220,971.67 | 17.95 |
| หลังคาที่จอดรถ | 156.8 | 32.35 | 3,322,354.98 | 37,379.93 | 182,839.90 | 18.17 |
| รวม | 344 | 70.95 | 7,288,840 | 82,555.55 | 403,811.57 | 18.05 |

**4.4 ทางเลือกการพัฒนาอาคาร**

โดยการวิจัยนี้จะเสนอทางเลือกการอนุรักษ์พลังงานตามมาตรการต่างๆตามที่เสนอข้างต้น เพื่อเปรียบเทียบการใช้มาตรการต่างๆ หาความคุ้มทุนในการลงทุนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

โดยคิดระยะเวลาของโครงการคือ 30 ปี ตามอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีค่า Discount Rate ที่ 6.25% จาก MRL ข้อมูลจากธนาคารแห่งประเทศไทย, ค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นปีละ 3.5% (ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ และ โสภิตสุดา ทองโสภิต, 2558) ค่าการบำรุงรักษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ปีละ 30,000 บาท โดยค่าซากของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลังจากผ่านไป 30 ปีคิดที่ 20% ของมูลค่าแผงที่ลงทุน (Tom Hootman, 2012)

ทางเลือกที่ 1 รวมมาตรการทั้งหมดโดยยกเว้นมาตรการที่ 6 การจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะมีมาตรการดังนี้

มาตรการที่ 1 เปลี่ยนผนังทึบทั้งหมดเป็น ผนังคอนกรีตมวลเบา เว้นช่องอากาศ บุฉนวนใยแก้ว 2" และแผ่นยิปซั่ม

มาตรการที่ 2 เปลี่ยนวัสดุกระจกเป็นชนิด Clear Color Single Silver Low-E coat on Ocean Green 6 mm (6-6-6)

มาตรการที่ 3 ปรับปรุงอาคารโดยการลดขนาดหน้าต่างชนิด น1 ลงประมาณร้อยละ 25

มาตรการที่ 4 เพิ่มแผงบังแดดแนวนอน ความลึก 1.2 เมตร

มาตรการที่ 5 การใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร

ผลการจำลองค่าพลังงานสำหรับอาคารต้นแบบผ่านโปรแกรม BEC ได้ผลดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| OTTV | : | 19.797 $W/m^2$ |
| RTTV | : | 6.018 $W/m^2$ |
| Lighting power Density | : | 6.697 $W/m^2$ |
| งบประมาณ | : | 1,390,682.68 บาท |
| ค่าพลังงานรวมที่ใช้ตลอดปี | : | 76,617.72 kWh/Year |
| ค่าพลังงานที่ลดได้เมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบ | | 17,092.00 kWh/Year |
| ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ปีละ | : | 83,603.68 บาท |

คำนวณค่า NPV, IRR, Discounted Payback Period ได้ดังตารางที่ 4.10

**ตารางที่ 4.10** การคำนวณค่า NPV, IRR, DPB สำหรับทางเลือกที่ 1

| ปีที่ | Present Value Factor | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) | งบลงทุน (บาท) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | Cumulative Free Cash Flow |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.00 | 0 | -1,390,682.68 | 0 | 0 |
| 1 | 0.94 | 83,603.68 | 0 | 78,685.82 | -1,311,996.86 |
| 2 | 0.89 | 86,529.81 | 0 | 76,649.24 | -1,235,347.62 |
| 3 | 0.83 | 89,558.35 | 0 | 74,665.38 | -1,160,682.24 |
| 4 | 0.78 | 92,692.89 | 0 | 72,732.86 | -1,087,949.38 |
| 5 | 0.74 | 95,937.15 | 0 | 70,850.37 | -1,017,099.01 |
| 6 | 0.70 | 99,294.95 | 0 | 69,016.59 | -948,082.42 |
| 7 | 0.65 | 102,770.27 | 0 | 67,230.28 | -880,852.14 |
| 8 | 0.62 | 106,367.23 | 0 | 65,490.20 | -815,361.94 |
| 9 | 0.58 | 110,090.08 | 0 | 63,795.16 | -751,566.77 |

**ตารางที่ 4.10** (ต่อ)

| ปีที่ | Present Value Factor | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) | งบลงทุน (บาท) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | Cumulative Free Cash Flow |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 0.55 | 113,943.23 | 0 | 62,143.99 | -689,422.78 |
| 11 | 0.51 | 117,931.25 | 0 | 60,535.56 | -628,887.22 |
| 12 | 0.48 | 122,058.84 | 0 | 58,968.76 | -569,918.46 |
| 13 | 0.45 | 126,330.90 | 0 | 57,442.51 | -512,475.96 |
| 14 | 0.43 | 130,752.48 | 0 | 55,955.76 | -456,520.20 |
| 15 | 0.40 | 135,328.82 | 0 | 54,507.49 | -402,012.70 |
| 16 | 0.38 | 140,065.33 | 0 | 53,096.71 | -348,915.99 |
| 17 | 0.36 | 144,967.61 | 0 | 51,722.44 | -297,193.55 |
| 18 | 0.34 | 150,041.48 | 0 | 50,383.74 | -246,809.80 |
| 19 | 0.32 | 155,292.93 | 0 | 49,079.69 | -197,730.11 |
| 20 | 0.30 | 160,728.18 | 0 | 47,809.40 | -149,920.71 |
| 21 | 0.28 | 166,353.67 | 0 | 46,571.98 | -103,348.73 |
| 22 | 0.26 | 172,176.05 | 0 | 45,366.58 | -57,982.15 |
| 23 | 0.25 | 178,202.21 | 0 | 44,192.39 | -13,789.76 |
| 24 | 0.23 | 184,439.29 | 0 | 43,048.59 | 29,258.83 |
| 25 | 0.22 | 190,894.66 | 0 | 41,934.39 | 71,193.22 |
| 26 | 0.21 | 197,575.98 | 0 | 40,849.03 | 112,042.25 |
| 27 | 0.19 | 204,491.14 | 0 | 39,791.76 | 151,834.01 |
| 28 | 0.18 | 211,648.33 | 0 | 38,761.86 | 190,595.86 |
| 29 | 0.17 | 219,056.02 | 0 | 37,758.61 | 228,354.47 |
| 30 | 0.16 | 226,722.98 | 0 | 36,781.33 | 265,135.79 |

NPV : 265,135.79 บาท

IRR : 7.677 %

Discounted Payback Period : 24 ปี

โดยทางเลือกที่ 1 มีข้อดีข้อเสียดังนี้

ข้อดี – การลงทุนต่ำเหมาะกับการใช้งบประมาณไม่สูง

ข้อเสีย – ลดการใช้พลังงานได้น้อย เมื่อเทียบกับระยะเวลาคืนทุน, ไม่สามารถเป็นอาคารที่มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้, การเปลี่ยนวัสดุผนังภายในอาคารหลังก่อสร้างเสร็จแล้วเป็นไปได้ยาก

ทางเลือกที่ 2 รวมมาตรการทั้งหมดเหมือนกับทางเลือกที่ 1 โดยเพิ่มมาตรการที่ 6 การจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยขายไฟฟ้าส่วนเกินให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ผลการจำลองค่าพลังงานสำหรับอาคารต้นแบบผ่านโปรแกรม BEC ได้ผลดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| OTTV | : | 19.797 $W/m^2$ |
| RTTV | : | 6.018 $W/m^2$ |
| Lighting power Density | : | 6.697 $W/m^2$ |
| ค่าพลังงานรวมที่ใช้ตลอดปี | : | 76,617.72 kWh/Year |
| ค่าพลังงานรวมที่จัดหาได้ | : | 82,555.55 kWh/Year |
| งบประมาณ | : | 8,679,522.68 บาท |

ค่าพลังงานเฉลี่ยตลอดทั้งปี สามารถจัดหาพลังงานไฟฟ้าได้ 5,937.83 kWh/Year

โดยลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบลงได้ 93,709.72 kWh/Year คิดเป็นค่าไฟฟ้าได้ 458,371.00 บาท/ปี

กรณีขายไฟฟ้าส่วนเกินคิดอัตราการขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าภูมิภาคที่ 6.55 บาท/หน่วย จะได้ว่าสามารถขายไฟฟ้าได้ปีละ 5,937.83 x 6.55 = 38,892.79 บาท ได้ว่าทางเลือกที่ 2 สามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าใน 1 ปีได้ 497,263.77 บาท โดยคำนวณค่า NPV, IRR, DPP ได้ดังตารางที่ 4.11

**ตารางที่ 4.11** การคำนวณค่า NPV, IRR, DPB สำหรับทางเลือกที่ 2

| ปีที่ | Present Value Factor | ค่าพลังงานที่จัดหาได้ของแผง PV (kWh/Year) | พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ (kWh/Year) | พลังงานไฟฟ้าที่ขายให้กับ กฟภ. (kWh/Year) | งบลงทุน (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าซาก (บาท) | ค่าซาก (บาท)(มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | Cumulative Free Cash Flow (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.00 | 0 | 0 | 0 | -8,679,522.68 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -8,679,522.68 |
| 1 | 0.94 | 82,555.55 | 93,709.72 | 5,937.83 | 0 | -30,000.00 | -28,235.29 | 0 | 0 | 497,263.79 | 468,012.98 | -8,239,745.00 |
| 2 | 0.89 | 81,729.99 | 93,709.72 | 5,112.27 | 0 | -30,000.00 | -26,574.39 | 0 | 0 | 507,899.38 | 449,903.95 | -7,816,415.44 |
| 3 | 0.83 | 80,912.69 | 93,709.72 | 4,294.97 | 0 | -30,000.00 | -25,011.19 | 0 | 0 | 519,150.56 | 432,819.19 | -7,408,607.45 |
| 4 | 0.78 | 80,103.57 | 93,709.72 | 3,485.85 | 0 | -30,000.00 | -23,539.95 | 0 | 0 | 531,036.42 | 416,685.66 | -7,015,461.73 |
| 5 | 0.74 | 79,302.53 | 93,709.72 | 2,684.81 | 0 | -30,000.00 | -22,155.25 | 0 | 0 | 543,576.78 | 401,435.90 | -6,636,181.08 |
| 6 | 0.70 | 78,509.51 | 93,709.72 | 1,891.79 | 0 | -30,000.00 | -20,852.00 | 0 | 0 | 556,792.16 | 387,007.59 | -6,270,025.49 |
| 7 | 0.65 | 77,724.41 | 93,709.72 | 1,106.69 | 0 | -30,000.00 | -19,625.41 | 0 | 0 | 570,703.82 | 373,343.17 | -5,916,307.73 |
| 8 | 0.62 | 76,947.17 | 94,039.17 | 0 | 0 | -30,000.00 | -18,470.97 | 0 | 0 | 605,709.06 | 372,934.50 | -5,561,844.20 |
| 9 | 0.58 | 76,177.70 | 93,269.70 | 0 | 0 | -30,000.00 | -17,384.44 | 0 | 0 | 621,779.22 | 360,309.54 | -5,218,919.11 |
| 10 | 0.55 | 75,415.92 | 92,507.92 | 0 | 0 | -30,000.00 | -16,361.83 | 0 | 0 | 638,285.39 | 348,117.23 | -4,887,163.71 |
| 11 | 0.51 | 74,661.76 | 91,753.76 | 0 | 0 | -30,000.00 | -15,399.37 | 0 | 0 | 655,239.71 | 336,342.61 | -4,566,220.47 |
| 12 | 0.48 | 73,915.14 | 91,007.14 | 0 | 0 | -30,000.00 | -14,493.52 | 0 | 0 | 672,654.68 | 324,971.22 | -4,255,742.77 |

**ตารางที่ 4.11** (ต่อ)

| ปีที่ | Present Value Factor | ค่าพลังงานที่จัดหาได้ของแผง PV (kWh/Year) | พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ (kWh/Year) | พลังงานไฟฟ้าที่ขายให้กับ กฟภ. (kWh/Year) | งบลงทุน (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าซาก (บาท) | ค่าซาก (บาท)(มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | Cumulative Free Cash Flow (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 0.45 | 73,175.99 | 90,267.99 | 0 | 0 | -30,000.00 | -13,640.96 | 0 | 0 | 690,543.15 | 313,989.13 | -3,955,394.60 |
| 14 | 0.43 | 72,444.23 | 89,536.23 | 0 | 0 | -30,000.00 | -12,838.55 | 0 | 0 | 708,918.32 | 303,382.87 | -3,664,850.28 |
| 15 | 0.40 | 71,719.79 | 88,811.79 | 0 | 0 | -30,000.00 | -12,083.34 | 0 | 0 | 727,793.81 | 293,139.46 | -3,383,794.17 |
| 16 | 0.38 | 71,002.59 | 88,094.59 | 0 | 0 | -30,000.00 | -11,372.56 | 0 | 0 | 747,183.61 | 283,246.35 | -3,111,920.39 |
| 17 | 0.36 | 70,292.56 | 87,384.56 | 0 | 0 | -30,000.00 | -10,703.59 | 0 | 0 | 767,102.10 | 273,691.44 | -2,848,932.54 |
| 18 | 0.34 | 69,589.64 | 86,681.64 | 0 | 0 | -30,000.00 | -10,073.96 | 0 | 0 | 787,564.09 | 264,463.05 | -2,594,543.44 |
| 19 | 0.32 | 68,893.74 | 85,985.74 | 0 | 0 | -30,000.00 | -9,481.38 | 0 | 0 | 808,584.83 | 255,549.92 | -2,348,474.90 |
| 20 | 0.30 | 68,204.81 | 85,296.81 | 0 | 0 | -30,000.00 | -8,923.65 | 0 | 0 | 830,179.98 | 246,941.16 | -2,110,457.39 |
| 21 | 0.28 | 67,522.76 | 84,614.76 | 0 | 0 | -30,000.00 | -8,398.73 | 0 | 0 | 852,365.68 | 238,626.26 | -1,880,229.86 |
| 22 | 0.26 | 66,847.53 | 83,939.53 | 0 | 0 | -30,000.00 | -7,904.69 | 0 | 0 | 875,158.51 | 230,595.10 | -1,657,539.44 |
| 23 | 0.25 | 66,179.05 | 83,271.05 | 0 | 0 | -30,000.00 | -7,439.70 | 0 | 0 | 898,575.56 | 222,837.88 | -1,442,141.27 |
| 24 | 0.23 | 65,517.26 | 82,609.26 | 0 | 0 | -30,000.00 | -7,002.07 | 0 | 0 | 922,634.40 | 215,345.16 | -1,233,798.18 |
| 25 | 0.22 | 64,862.09 | 81,954.09 | 0 | 0 | -30,000.00 | -6,590.19 | 0 | 0 | 947,353.10 | 208,107.83 | -1,032,280.55 |
| 26 | 0.21 | 64,213.47 | 81,305.47 | 0 | 0 | -30,000.00 | -6,202.53 | 0 | 0 | 972,750.26 | 201,117.08 | -837,366.00 |
| 27 | 0.19 | 63,571.34 | 80,663.34 | 0 | 0 | -30,000.00 | -5,837.67 | 0 | 0 | 998,845.04 | 194,364.42 | -648,839.25 |

**ตารางที่ 4.11** (ต่อ)

| ปีที่ | Present Value Factor | ค่าพลังงานที่จัดหาได้ของแผง PV (kWh/Year) | พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ (kWh/Year) | พลังงานไฟฟ้าที่ขายให้กับ กฟภ. (kWh/Year) | งบลงทุน (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าซาก (บาท) | ค่าซาก (บาท)(มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | Cumulative Free Cash Flow (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 28 | 0.18 | 62,935.62 | 80,027.62 | 0 | 0 | -30,000.00 | -5,494.28 | 0 | 0 | 1,025,657.13 | 187,841.66 | -466,491.87 |
| 29 | 0.17 | 62,306.27 | 79,398.27 | 0 | 0 | -30,000.00 | -5,171.09 | 0 | 0 | 1,053,206.81 | 181,540.88 | -290,122.08 |
| 30 | 0.16 | 61,683.20 | 78,775.20 | 0 | 0 | -30,000.00 | -4,866.91 | 1,457,768.00 | 236,494.07 | 1,081,514.94 | 175,454.44 | 116,959.51 |

| | | |
|---|---|---|
| NPV | : | 116,959.51 บาท |
| IRR | : | 6.355 % |
| Discounted Payback Period | : | 30 ปี |

โดยทางเลือกที่ 2 มีข้อดีข้อเสียดังนี้

ข้อดี – สามารถประหยัดพลังงานได้มาก, เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์ (NZEB)

ข้อเสีย – การลงทุนสูง, การขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าภูมิภาคในปัจจุบันกำหนดให้ใช้สำหรับพื้นที่หลังคาอาคารเท่านั้น, ต้องมีการทำเรื่องร้องขอการขายไฟให้กับทาง กฟภ., หากราคาที่รับซื้อไฟฟ้าของ กฟภ. เปลี่ยนแปลง จะทำให้ค่า NPV, IRR, DPB เปลี่ยนตามไปด้วย, ระยะเวลาการคืนทุนนาน, การเปลี่ยนวัสดุผนังภายในอาคารหลังก่อสร้างเสร็จแล้วเป็นไปได้ยาก

ทางเลือกที่ 3 วิธีการเหมือนกับทางเลือกที่ 2 แต่ไม่มีการขายไฟฟ้าส่วนเกินให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ผลการจำลองค่าพลังงานสำหรับอาคารต้นแบบผ่านโปรแกรม BEC ได้ผลดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| OTTV | : | 19.797 $W/m^2$ |
| RTTV | : | 6.018 $W/m^2$ |
| Lighting power Density | : | 6.697 $W/m^2$ |
| ค่าพลังงานรวมที่ใช้ตลอดปี | : | 76,617.72 kWh/Year |
| ค่าพลังงานรวมที่จัดหาได้ | : | 82,555.55 kWh/Year |
| งบประมาณ | : | 8,679,522.68 บาท |

ค่าพลังงานเฉลี่ยตลอดทั้งปี สามารถจัดหาพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าค่าที่ใช้ 5,937.83 kWh/Year กรณีไม่มีการขายไฟฟ้าส่วนเกินที่จัดหาได้ให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยจะจ่ายไฟฟ้าให้กับอาคารข้างเคียงในเขตสถานีไฟฟ้า โดยลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบลงได้ 93,709.72 kWh/Year คิดเป็นค่าไฟฟ้าได้ 458,371.00 บาท/ปี

**ตารางที่ 4.12** การคำนวณค่า NPV, IRR, DPB สำหรับทางเลือกที่ 3

| ปีที่ | Present Value Factor | ค่าพลังงานที่จัดหาได้ของแผง PV (kWh/Year) | พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ (kWh/Year) | งบลงทุน (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าซาก(บาท) | ค่าซาก (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | Cumulative Free Cash Flow (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.00 | 0 | 0 | -8,679,522.68 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -8,679,522.68 |
| 1 | 0.94 | 82,555.55 | 93,709.72 | 0 | - 30,000.00 | -28,235.29 | 0 | 0 | 458,371.00 | 431,408.00 | -8,276,349.97 |
| 2 | 0.89 | 81,729.99 | 93,709.72 | 0 | - 30,000.00 | -26,574.39 | 0 | 0 | 474,413.99 | 420,242.15 | -7,882,682.22 |
| 3 | 0.83 | 80,912.69 | 93,709.72 | 0 | - 30,000.00 | -25,011.19 | 0 | 0 | 491,018.47 | 409,365.29 | -7,498,328.13 |
| 4 | 0.78 | 80,103.57 | 93,709.72 | 0 | - 30,000.00 | -23,539.95 | 0 | 0 | 508,204.12 | 398,769.95 | -7,123,098.12 |
| 5 | 0.74 | 79,302.53 | 93,709.72 | 0 | - 30,000.00 | -22,155.25 | 0 | 0 | 525,991.27 | 388,448.85 | -6,756,804.52 |
| 6 | 0.70 | 78,509.51 | 93,709.72 | 0 | - 30,000.00 | -20,852.00 | 0 | 0 | 544,400.96 | 378,394.88 | -6,399,261.64 |
| 7 | 0.65 | 77,724.41 | 93,709.72 | 0 | - 30,000.00 | -19,625.41 | 0 | 0 | 563,454.99 | 368,601.13 | -6,050,285.91 |
| 8 | 0.62 | 76,947.17 | 94,039.17 | 0 | - 30,000.00 | -18,470.97 | 0 | 0 | 605,709.06 | 372,934.50 | -5,695,822.39 |
| 9 | 0.58 | 76,177.70 | 93,269.70 | 0 | - 30,000.00 | -17,384.44 | 0 | 0 | 621,779.22 | 360,309.54 | -5,352,897.30 |
| 10 | 0.55 | 75,415.92 | 92,507.92 | 0 | - 30,000.00 | -16,361.83 | 0 | 0 | 638,285.39 | 348,117.23 | -5,021,141.90 |
| 11 | 0.51 | 74,661.76 | 91,753.76 | 0 | - 30,000.00 | -15,399.37 | 0 | 0 | 655,239.71 | 336,342.61 | -4,700,198.66 |
| 12 | 0.48 | 73,915.14 | 91,007.14 | 0 | - 30,000.00 | -14,493.52 | 0 | 0 | 672,654.68 | 324,971.22 | -4,389,720.96 |

**ตารางที่ 4.12** (ต่อ)

| ปีที่ | Present Value Factor | ค่าพลังงานที่จัดหาได้ของแผง PV (kWh/Year) | พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ (kWh/Year) | งบลงทุน (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าซาก(บาท) | ค่าซาก (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | Cumulative Free Cash Flow (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 0.45 | 73,175.99 | 90,267.99 | 0 | - 30,000.00 | -13,640.96 | 0 | 0 | 690,543.15 | 313,989.13 | -4,089,372.79 |
| 14 | 0.43 | 72,444.23 | 89,536.23 | 0 | - 30,000.00 | -12,838.55 | 0 | 0 | 708,918.32 | 303,382.87 | -3,798,828.47 |
| 15 | 0.40 | 71,719.79 | 88,811.79 | 0 | - 30,000.00 | -12,083.34 | 0 | 0 | 727,793.81 | 293,139.46 | -3,517,772.36 |
| 16 | 0.38 | 71,002.59 | 88,094.59 | 0 | - 30,000.00 | -11,372.56 | 0 | 0 | 747,183.61 | 283,246.35 | -3,245,898.58 |
| 17 | 0.36 | 70,292.56 | 87,384.56 | 0 | - 30,000.00 | -10,703.59 | 0 | 0 | 767,102.10 | 273,691.44 | -2,982,910.72 |
| 18 | 0.34 | 69,589.64 | 86,681.64 | 0 | - 30,000.00 | -10,073.96 | 0 | 0 | 787,564.09 | 264,463.05 | -2,728,521.63 |
| 19 | 0.32 | 68,893.74 | 85,985.74 | 0 | - 30,000.00 | -9,481.38 | 0 | 0 | 808,584.83 | 255,549.92 | -2,482,453.09 |
| 20 | 0.30 | 68,204.81 | 85,296.81 | 0 | - 30,000.00 | -8,923.65 | 0 | 0 | 830,179.98 | 246,941.16 | -2,244,435.58 |
| 21 | 0.28 | 67,522.76 | 84,614.76 | 0 | - 30,000.00 | -8,398.73 | 0 | 0 | 852,365.68 | 238,626.26 | -2,014,208.04 |
| 22 | 0.26 | 66,847.53 | 83,939.53 | 0 | - 30,000.00 | -7,904.69 | 0 | 0 | 875,158.51 | 230,595.10 | -1,791,517.63 |
| 23 | 0.25 | 66,179.05 | 83,271.05 | 0 | - 30,000.00 | -7,439.70 | 0 | 0 | 898,575.56 | 222,837.88 | -1,576,119.46 |
| 24 | 0.23 | 65,517.26 | 82,609.26 | 0 | - 30,000.00 | -7,002.07 | 0 | 0 | 922,634.40 | 215,345.16 | -1,367,776.37 |
| 25 | 0.22 | 64,862.09 | 81,954.09 | 0 | - 30,000.00 | -6,590.19 | 0 | 0 | 947,353.10 | 208,107.83 | -1,166,258.74 |
| 26 | 0.21 | 64,213.47 | 81,305.47 | 0 | - 30,000.00 | -6,202.53 | 0 | 0 | 972,750.26 | 201,117.08 | -971,344.19 |
| 27 | 0.19 | 63,571.34 | 80,663.34 | 0 | - 30,000.00 | -5,837.67 | 0 | 0 | 998,845.04 | 194,364.42 | -782,817.44 |

**ตารางที่ 4.11** (ต่อ)

| ปีที่ | Present Value Factor | ค่าพลังงานที่จัดหาได้ของแผง PV (kWh/Year) | พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ (kWh/Year) | งบลงทุน (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าซาก(บาท) | ค่าซาก (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | Cumulative Free Cash Flow (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 28 | 0.18 | 62,935.62 | 80,027.62 | 0 | - 30,000.00 | -5,494.28 | 0 | 0 | 1,025,657.13 | 187,841.66 | -600,470.06 |
| 29 | 0.17 | 62,306.27 | 79,398.27 | 0 | - 30,000.00 | -5,171.09 | 0 | 0 | 1,053,206.81 | 181,540.88 | -424,100.27 |
| 30 | 0.16 | 61,683.20 | 78,775.20 | 0 | - 30,000.00 | -4,866.91 | 1,457,768.00 | 236,494.07 | 1,081,514.94 | 175,454.44 | -17,018.67 |

NPV : - 17,018.67 บาท

IRR : 6.235 %

Discounted Payback Period : ระยะเวลาเกินกว่าอายุโครงการ

โดยทางเลือกที่ 3 กรณีไม่ขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าภูมิภาคมีข้อดีข้อเสียดังนี้

ข้อดี – สามารถประหยัดพลังงานได้มาก, เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์ (NZEB), สามารถจ่ายไฟฟ้าไปยังอาคารอื่นภายในพื้นที่ได้

ข้อเสีย – การลงทุนสูง, ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน, การเปลี่ยนวัสดุผนังภายในอาคารหลังก่อสร้างเสร็จแล้วเป็นไปได้ยาก

ทางเลือกที่ 4 เลือกมาตรการที่มีค่า Payback Period ไม่เกิน 20 ปี โดยมีมาตรการดังนี้

มาตรการที่ 2 เปลี่ยนวัสดุกระจกเป็นชนิด Clear Color Single Silver Low-E coat on Ocean Green 6 mm (6-6-6)

มาตรการที่ 3 ปรับปรุงอาคารโดยการลดขนาดหน้าต่างชนิด น1 ลงประมาณร้อยละ 25

มาตรการที่ 5 การใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร

มาตรการที่ 6 การจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการจำลองค่าพลังงานสำหรับอาคารต้นแบบผ่านโปรแกรม BEC ได้ผลดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| OTTV | : | 30.168 $W/m^2$ |
| RTTV | : | 6.018 $W/m^2$ |
| Lighting power Density | : | 6.697 $W/m^2$ |
| ค่าพลังงานรวมที่ใช้ตลอดปี | : | 82,195.43 kWh/Year |
| ค่าพลังงานรวมที่จัดหาได้ | : | 82,555.55 kWh/Year |
| งบประมาณ | : | 7,701,066.15 บาท |

ค่าพลังงานอาคารเฉลี่ยตลอดทั้งปี สามารถจัดหาพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าค่าที่ใช้ 360.12 kWh/Year

โดยสามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบลงได้ 93,709.72 kWh/Year คิดเป็นค่าไฟฟ้าได้ 458,371.00 บาท/ปี

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าส่วนเกินจัดหาได้น้อย จึงคิดแค่กณีเดียวคือ ไม่มีการขายไฟฟ้าส่วนเกินที่จัดหาได้ให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยจะสามารถจ่ายไฟฟ้าส่วนเกินที่จัดหาได้ ให้กับอาคารข้างเคียงในเขตสถานีไฟฟ้าแทน

**ตารางที่ 4.13** การคำนวณค่า NPV, IRR, DPB สำหรับทางเลือกที่ 4

| ปีที่ | Present Value Factor | ค่าพลังงานที่จัดหาได้ของแผง PV (kWh/Year) | พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ (kWh/Year) | งบลงทุน (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าซาก(บาท) | ค่าซาก (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | Cumulative Free Cash Flow (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.00 | 0 | 0 | -7,701,066.15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -7,701,066.15 |
| 1 | 0.94 | 82,555.55 | 94,069.84 | 0 | -30,000.00 | -28,235.29 | 0 | 0 | 476,237.13 | 448,223.18 | -7,281,078.26 |
| 2 | 0.89 | 81,729.99 | 93,244.28 | 0 | -30,000.00 | -26,574.39 | 0 | 0 | 488,579.70 | 432,790.32 | -6,874,862.34 |
| 3 | 0.83 | 80,912.69 | 92,426.98 | 0 | -30,000.00 | -25,011.19 | 0 | 0 | 501,247.63 | 417,893.40 | -6,481,980.13 |
| 4 | 0.78 | 80,103.57 | 91,617.86 | 0 | -30,000.00 | -23,539.95 | 0 | 0 | 514,249.68 | 403,513.69 | -6,102,006.39 |
| 5 | 0.74 | 79,302.53 | 90,816.82 | 0 | -30,000.00 | -22,155.25 | 0 | 0 | 527,594.85 | 389,633.11 | -5,734,528.53 |
| 6 | 0.70 | 78,509.51 | 90,023.80 | 0 | -30,000.00 | -20,852.00 | 0 | 0 | 541,292.39 | 376,234.21 | -5,379,146.31 |
| 7 | 0.65 | 77,724.41 | 89,238.70 | 0 | -30,000.00 | -19,625.41 | 0 | 0 | 555,351.80 | 363,300.18 | -5,035,471.53 |
| 8 | 0.62 | 76,947.17 | 88,461.46 | 0 | -30,000.00 | -18,470.97 | 0 | 0 | 569,782.87 | 350,814.77 | -4,703,127.73 |
| 9 | 0.58 | 76,177.70 | 87,691.99 | 0 | -30,000.00 | -17,384.44 | 0 | 0 | 584,595.61 | 338,762.32 | -4,381,749.85 |
| 10 | 0.55 | 75,415.92 | 86,930.21 | 0 | -30,000.00 | -16,361.83 | 0 | 0 | 599,800.35 | 327,127.71 | -4,070,983.98 |
| 11 | 0.51 | 74,661.76 | 86,176.05 | 0 | -30,000.00 | -15,399.37 | 0 | 0 | 615,407.70 | 315,896.34 | -3,770,487.00 |
| 12 | 0.48 | 73,915.14 | 85,429.43 | 0 | -30,000.00 | -14,493.52 | 0 | 0 | 631,428.55 | 305,054.16 | -3,479,926.37 |

**ตารางที่ 4.13** (ต่อ)

| ปีที่ | Present Value Factor | ค่าพลังงานที่จัดหาได้ของแผง PV (kWh/Year) | พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ (kWh/Year) | งบลงทุน (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าซาก(บาท) | ค่าซาก (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | Cumulative Free Cash Flow (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 0.45 | 73,175.99 | 84,690.28 | 0 | -30,000.00 | -13,640.96 | 0 | 0 | 647,874.10 | 294,587.57 | -3,198,979.77 |
| 14 | 0.43 | 72,444.23 | 83,958.52 | 0 | -30,000.00 | -12,838.55 | 0 | 0 | 664,755.86 | 284,483.47 | -2,927,334.85 |
| 15 | 0.40 | 71,719.79 | 83,234.08 | 0 | -30,000.00 | -12,083.34 | 0 | 0 | 682,085.66 | 274,729.21 | -2,664,688.99 |
| 16 | 0.38 | 71,002.59 | 82,516.88 | 0 | -30,000.00 | -11,372.56 | 0 | 0 | 699,875.67 | 265,312.60 | -2,410,748.95 |
| 17 | 0.36 | 70,292.56 | 81,806.85 | 0 | -30,000.00 | -10,703.59 | 0 | 0 | 718,138.38 | 256,221.86 | -2,165,230.68 |
| 18 | 0.34 | 69,589.64 | 81,103.93 | 0 | -30,000.00 | -10,073.96 | 0 | 0 | 736,886.65 | 247,445.63 | -1,927,859.01 |
| 19 | 0.32 | 68,893.74 | 80,408.03 | 0 | -30,000.00 | -9,481.38 | 0 | 0 | 756,133.67 | 238,972.95 | -1,698,367.44 |
| 20 | 0.30 | 68,204.81 | 79,719.10 | 0 | -30,000.00 | -8,923.65 | 0 | 0 | 775,893.03 | 230,793.24 | -1,476,497.85 |
| 21 | 0.28 | 67,522.76 | 79,037.05 | 0 | -30,000.00 | -8,398.73 | 0 | 0 | 796,178.69 | 222,896.29 | -1,262,000.29 |
| 22 | 0.26 | 66,847.53 | 78,361.82 | 0 | -30,000.00 | -7,904.69 | 0 | 0 | 817,004.98 | 215,272.25 | -1,054,632.73 |
| 23 | 0.25 | 66,179.05 | 77,693.34 | 0 | -30,000.00 | -7,439.70 | 0 | 0 | 838,386.66 | 207,911.62 | -854,160.81 |
| 24 | 0.23 | 65,517.26 | 77,031.55 | 0 | -30,000.00 | -7,002.07 | 0 | 0 | 860,338.88 | 200,805.23 | -660,357.65 |
| 25 | 0.22 | 64,862.09 | 76,376.38 | 0 | -30,000.00 | -6,590.19 | 0 | 0 | 882,877.23 | 193,944.22 | -473,003.62 |
| 26 | 0.21 | 64,213.47 | 75,727.76 | 0 | -30,000.00 | -6,202.53 | 0 | 0 | 906,017.74 | 187,320.06 | -291,886.08 |
| 27 | 0.19 | 63,571.34 | 75,085.63 | 0 | -30,000.00 | -5,837.67 | 0 | 0 | 929,776.88 | 180,924.51 | -116,799.25 |

**ตารางที่ 4.13** (ต่อ)

| ปีที่ | Present Value Factor | ค่าพลังงานที่จัดหาได้ของแผง PV (kWh/Year) | พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ (kWh/Year) | งบลงทุน (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) | PV Maintenance cost (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าซาก(บาท) | ค่าซาก (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) | ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท) (มูลค่าปัจจุบัน) | Cumulative Free Cash Flow (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 28 | 0.18 | 62,935.62 | 74,449.91 | 0 | -30,000.00 | -5,494.28 | 0 | 0 | 954,171.59 | 174,749.60 | 52,456.07 |
| 29 | 0.17 | 62,306.27 | 73,820.56 | 0 | -30,000.00 | -5,171.09 | 0 | 0 | 979,219.27 | 168,787.67 | 216,072.65 |
| 30 | 0.16 | 61,683.20 | 73,197.49 | 0 | -30,000.00 | -4,866.91 | 1,457,768.00 | 236,494.07 | 1,004,937.84 | 163,031.32 | 610,731.13 |

NPV : 610,731.13 บาท

IRR : 6.862 %

Discounted Payback Period : 28 ปี

โดยทางเลือกที่ 4 มีข้อดีข้อเสียดังนี้

ข้อดี – สามารถประหยัดพลังงานได้มาก, เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์ (NZEB), สามารถคืนทุนได้ก่อนที่โครงการจะสิ้นสุด

ข้อเสีย – การลงทุนสูง, ระยะเวลาคืนทุนช้า

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลอง

## 5.1 สรุปผลการศึกษา

อาคารที่ทำการ สถานีไฟฟ้าแรงสูง อุบลราชธานี กฟผ. สามารถทำให้เป็นอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ โดยทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด โดยตรงตามวัตถุประสงค์และมีค่าความคุ้มทุนดีที่สุดคือ ทางเลือกที่ 4 ประกอบด้วย 4 มาตรการดังนี้

1. มาตรการที่ 2 เปลี่ยนวัสดุกระจกเป็นชนิด Clear Color Single Silver Low-E coat on Ocean Green 6 mm (6-6-6)

2. มาตรการที่ 3 ปรับปรุงอาคารโดยการลดขนาดหน้าต่างชนิด น1 ประมาณร้อยละ 25

3. มาตรการที่ 5 การใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร

4. มาตรการที่ 6 การจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ซึ่งทำให้มีค่า มีค่า OTTV = 30.168 $W/m^2$, RTTV = 6.018 $W/m^2$, Lighting Power Density = 6.697 $W/m^2$ ค่าพลังงานรวมที่ใช้ตลอดปี 82,195.43 kWh/Year ค่าพลังงานรวมที่จัดหาได้ 82,555.55 kWh/Year ซึ่งทำให้การใช้พลังงานเป็นบวก คือสามารถจัดหาพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าค่าที่ใช้เท่ากับ 360.12 kWh/Year งบประมาณลงทุน 7,701,066.15 บาท และมีค่าระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลดที่ 28 ปี

## 5.2 ข้อจำกัด

ข้อจำกัดคือระบบจัดหาไฟฟ้าด้วย*พลังงานแสงอาทิตย์*คือ มีการเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งานทุกๆปี ซึ่งทำให้สามารถจัดหาพลังงานไฟฟ้าได้น้อยลงตามไปด้วย หากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จัดหาพลังงานได้ลดลงจนมีค่าการจัดหาพลังงานได้น้อยกว่าค่าการใช้พลังงานของอาคาร โครงการนี้ก็จะมีค่าพลังงานสุทธิไม่เป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) แต่ยังเป็นอาคารที่มีพลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ (Nearly Zero Energy Building) จนจบอายุของโครงการ (ตามกระทรวงพลังงานได้กำหนดว่า อาคารที่มีค่าพลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ ต้องมีค่าไม่เกิน 57 $kWh/m^2y$)

**5.3 ข้อเสนอแนะ**

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีผลการทดลองระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลดที่ 28 ปี ทางผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะ มาตรการหรือแนวทางเพื่อช่วยปรับลดระยะเวลาคืนทุนลงดังนี้

5.3.1 โดยในปัจจุบันแผงเซลล์แสงอาทิตย์คุณภาพสูง ที่มีประสิทธิภาพของแผงไม่น้อยกว่า 19.7 % มีราคาสูง ทำให้การลงทุนของโครงการสูง ซึ่งจะมีค่าระยะเวลาคืนทุนที่สูงตามไปด้วย หากในอนาคตทางภาครัฐช่วยสนับสนุนการผลิตและวิจัยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือลดภาษีในการนำเข้า คาดว่าราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีราคาที่ถูกลง พร้อมทั้งมีประสิทธิภาพของแผงที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้อาคารมีค่าการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ง่ายยิ่งขึ้น พร้อมทั้งงบลงทุนของโครงการก็จะน้อยลง

5.3.2 ภาครัฐควรสนับสนุนการผลิตวัสดุสำหรับอาคารประหยัดพลังงาน เช่น ผนังหรือกระจกที่มีประสิทธิภาพสูง หรือฉนวนกันความร้อนต่างๆ เพื่อให้การก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงานมีราคาที่ถูกลง

5.3.3 นอกจากการออกแบบและก่อสร้างอาคารที่ประหยัดพลังงานแล้ว สิ่งสำคัญที่ช่วยในการประหยัดพลังงานก็คือ การใช้พลังงานอย่างมีคุณค่า โดยควรจะกำหนดมาตรการต่างๆสำหรับการใช้งานอาคาร เพื่อช่วยในการประหยัดพลังงาน เช่น การปรับเครื่องปรับอากาศอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 25 องศา, ปิด-เปิด เครื่องใช้ไฟฟ้าเท่าที่จำเป็น และการอบรมให้ผู้ใช้อาคารรับรู้และเข้าใจการใช้ทรัพยากรอย่างรู้คุณค่า

# บรรณานุกรม

# บรรณานุกรม

## ภาษาไทย


กระทรวงพลังงาน. (2554). *แผนปฏิบัติการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ.2554 – 2573).* สืบค้น จาก http://www.enconfund.go.th/pdf/index/EEDP_Thai.pdf

กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข. (2558). *รายงานการศึกษาโครงการการศึกษาเพื่อกำหนดแนวทางการสร้างอาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐต้นแบบที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์.* สืบค้น จาก http://hssnew.hss.moph.go.th/fileupload_doc_slider/2016-11-16-28-16-196444.pdf

การไฟฟ้านครหลวง. *การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทต่างๆ* สืบค้น จาก http://www.mea.or.th/profile/109/113

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2560). *รายงานประจำปี 2559*. นนทบุรี. สืบค้น จาก https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=165&Itemid=146

ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. (2559). อาคารใช้พลังงานเป็นศูนย์. *Journal of Architectural Research and Studies 2559 (2),* 1-30.

ประกาศกระทรวงพลังงาน. (2552). *หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆของอาคาร พ.ศ.2552*. สืบค้น จาก http://download.asa.or.th/03media/04law/eca/ma52-02.pdf

ปารวี ตั้งจิตวิทยา. (2556). *การออกแบบกรอบอาคารบ้านเดี่ยวเพื่อนำไปสู่อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์.* กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

พรรัตน์ เรืองเสรี และ ชำนาญ บุญญาพุทธิพงศ์ (2560) *การปรับปรุงอาคารจอดรถ 1 ศูนย์อาหารและบริการ 4 มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อเป็นอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์.* ขอนแก่น:มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุขสันต์ เขื่อนแก้ว. (2552). *ศึกษาความเป็นไปได้ของการทำธุรกิจสื่อสารผ่านระบบสายใยแก้วนำแสงในระบบสายส่งไฟฟ้า: กรณีศึกษา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.* กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

อังคณา สิริวรรณศิลป์. (2551). *แนวทางการสร้างแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในช่วงออกแบบร่างอาคาร*. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร.

iEnergy Guru. (2015). *วัสดุเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน*. สืบค้น จาก https://ienergyguru.com/category/energy-conservation-ieg/วัสดุเพื่อการอนุรักษ์/

Maipatana. (2015). *อาคารคาร์บอนต่ำ/ศูนย์*. สืบค้น จาก https://maipatana.me/blogs/tldr_อาคารคาร์บอนต่ำ_ศูนย์_คืออะไร_ตอน_2/

**ภาษาต่างประเทศ**

Buildings Performance Institute Europe (BPIE). (2015). *Nearly zero energy buildings across europe.* Retrieved from http://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/09/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_across_Europe.pdf

Hootman, T. (2013). *Net zero energy design : a guide for commercial architecture.* Hoboken, NJ: John Wiley & Sons

Marszal, A.J., Heiselberg, P. (2011). *Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. Energy and Buildings 2011(43),* 971-979

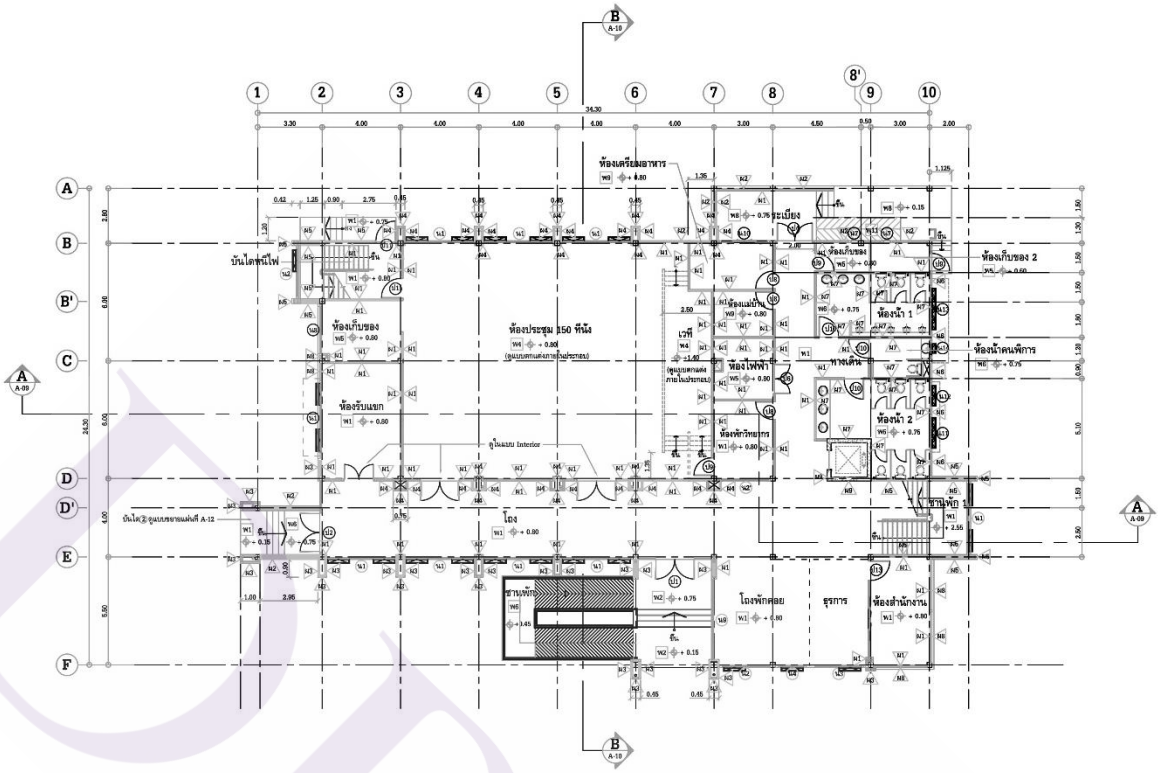
# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก

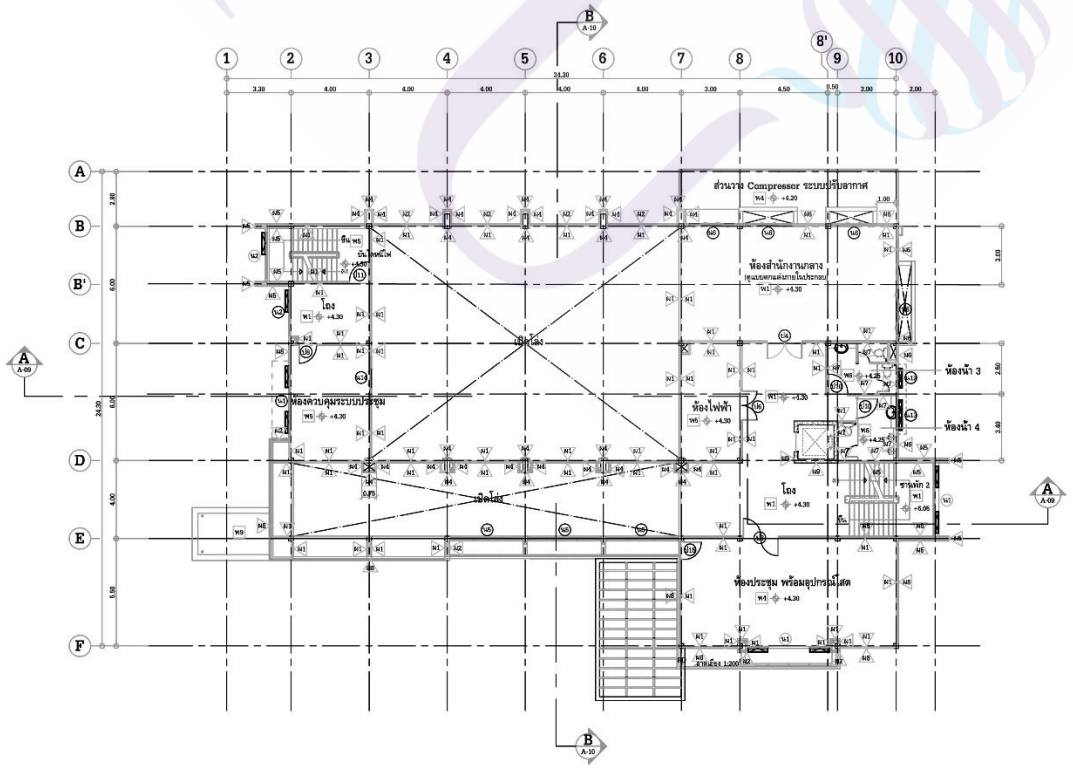
# รูปแบบอาคาร และตำแหน่งของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

# อาคารที่ทำการสถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี กฟผ.

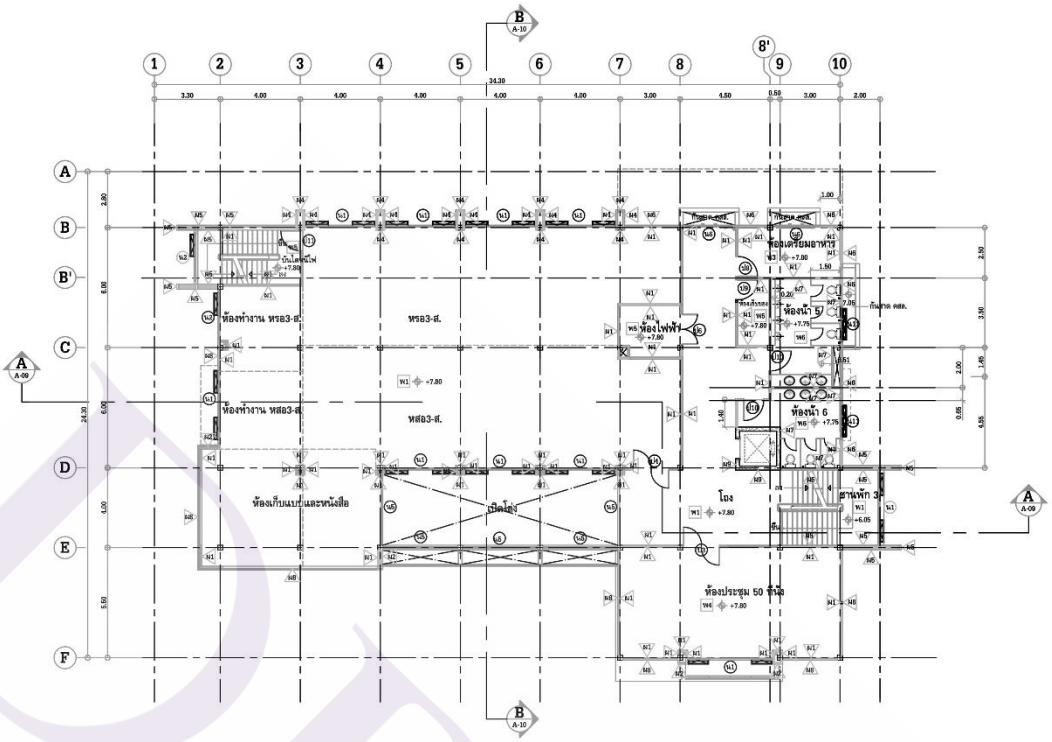
**ภาพที่ ก.1** แปลนพื้นชั้น 1



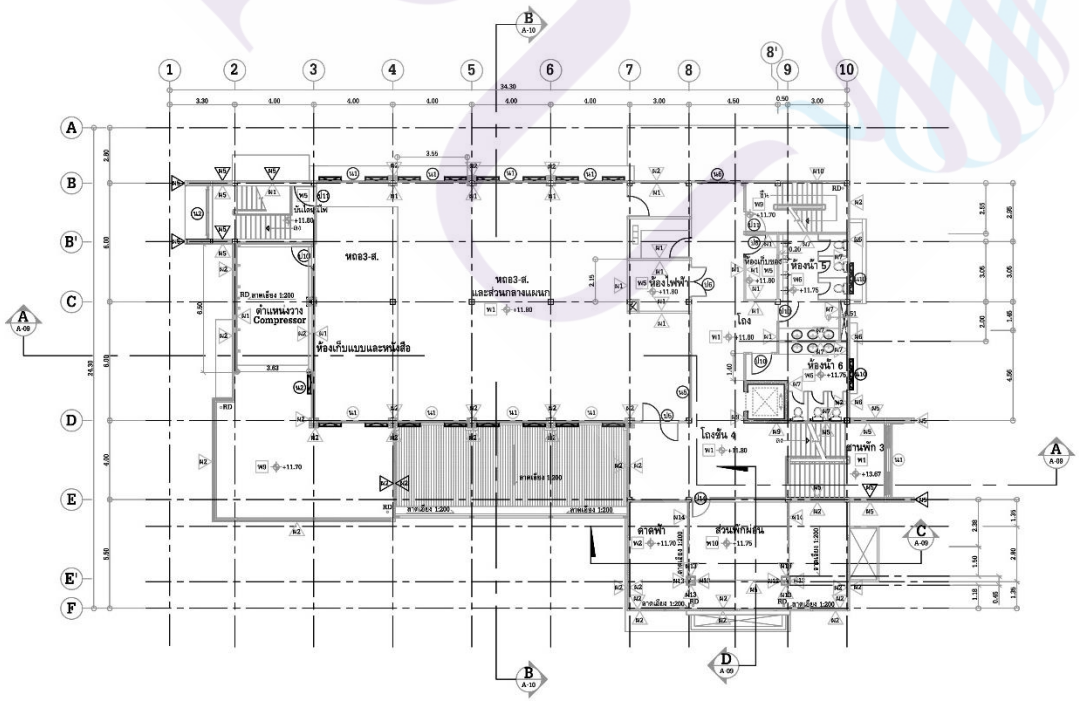

**ภาพที่ ก.2** แปลนพื้นชั้น 2



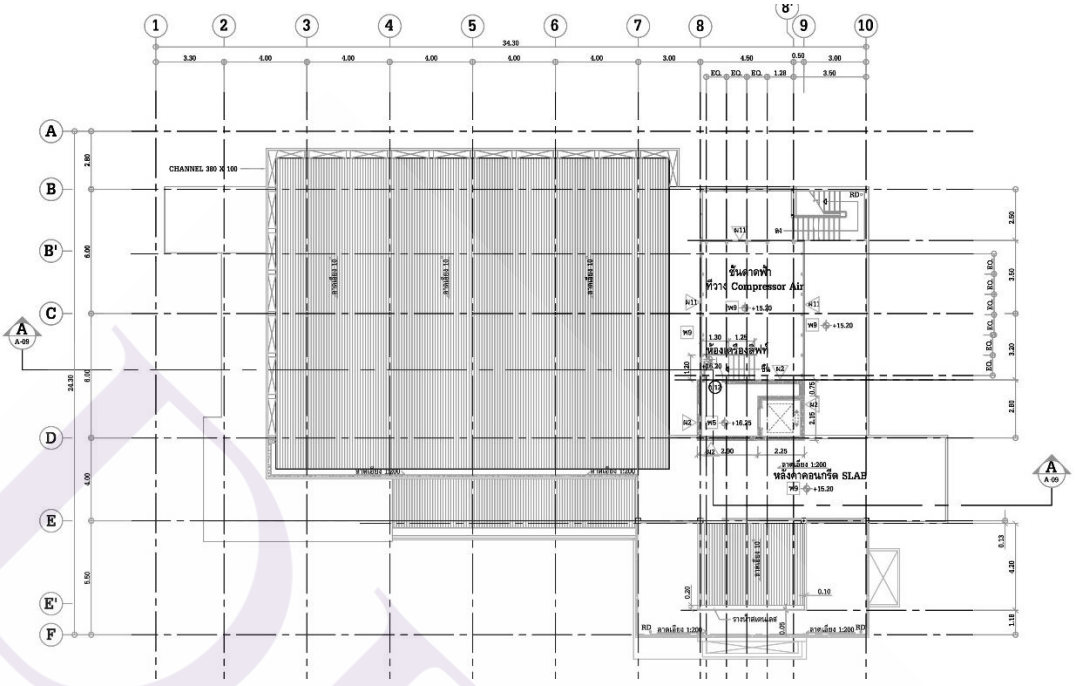
**ภาพที่ ก.3** แปลนพื้นชั้น 3



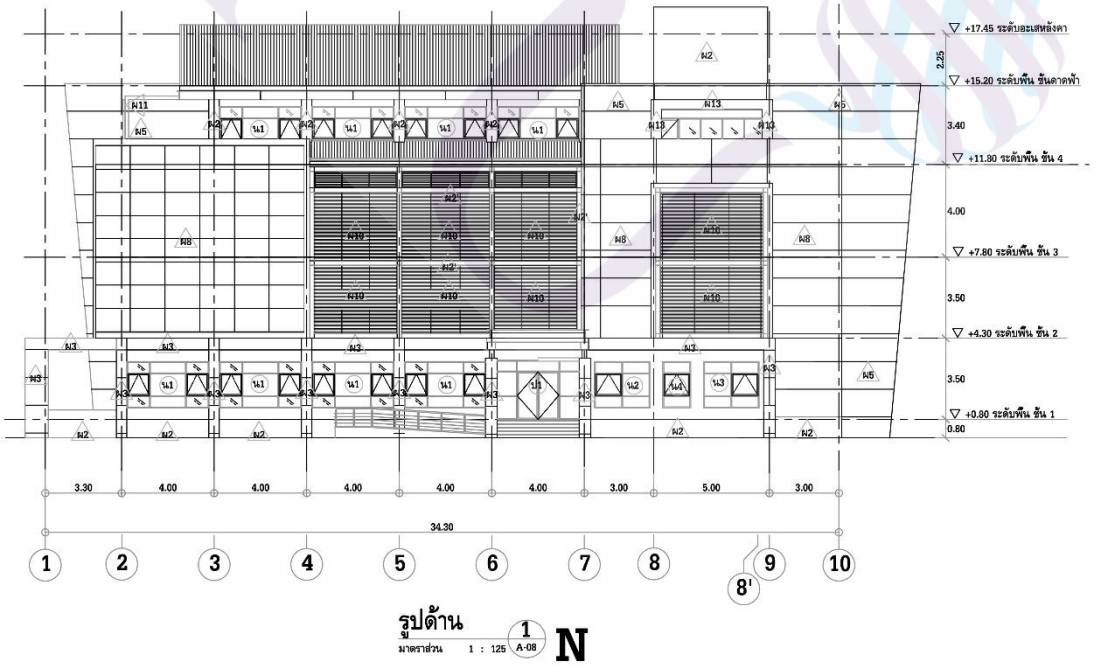

**ภาพที่ ก.4** แปลนพื้นชั้น 4



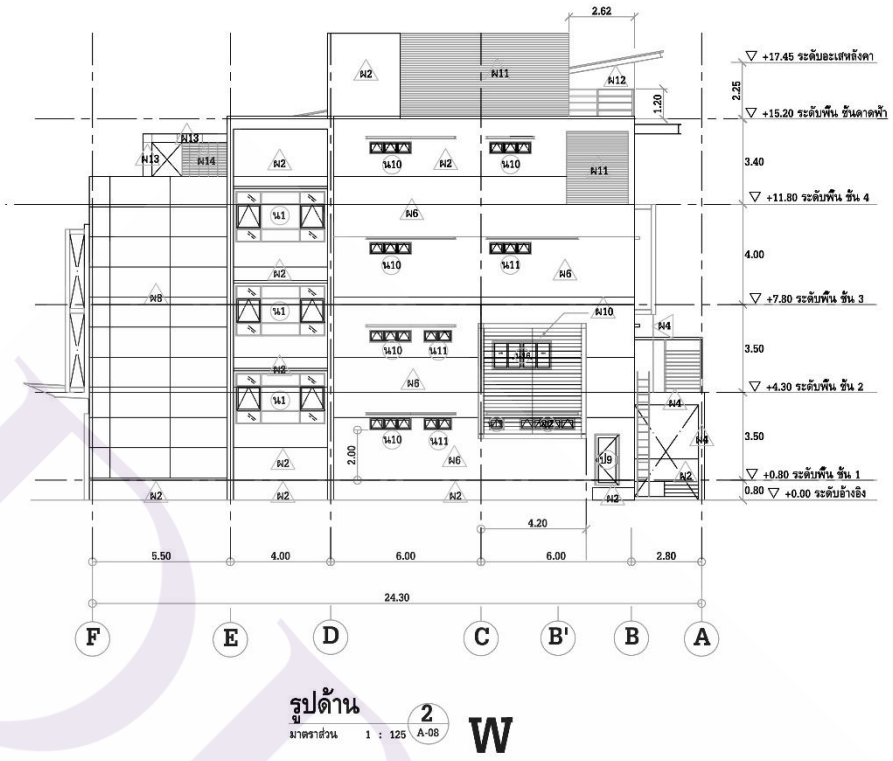
**ภาพที่ ก.5** แปลนหลังคา



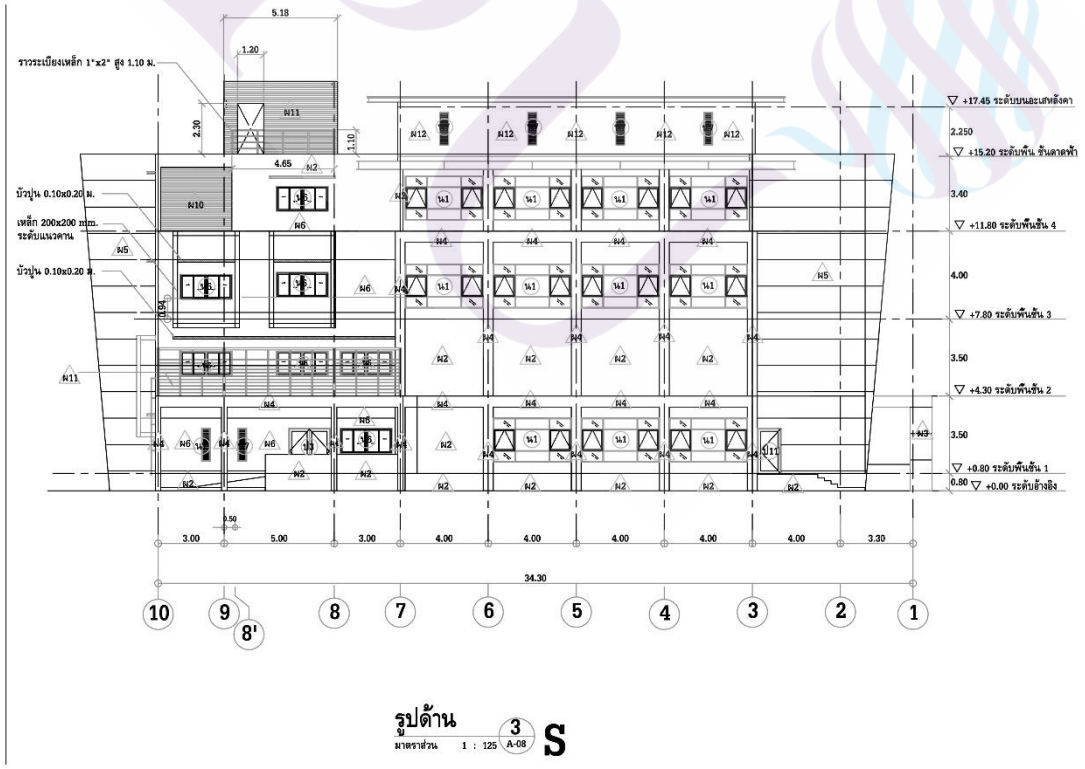

**ภาพที่ ก.6** รูปด้าน 1



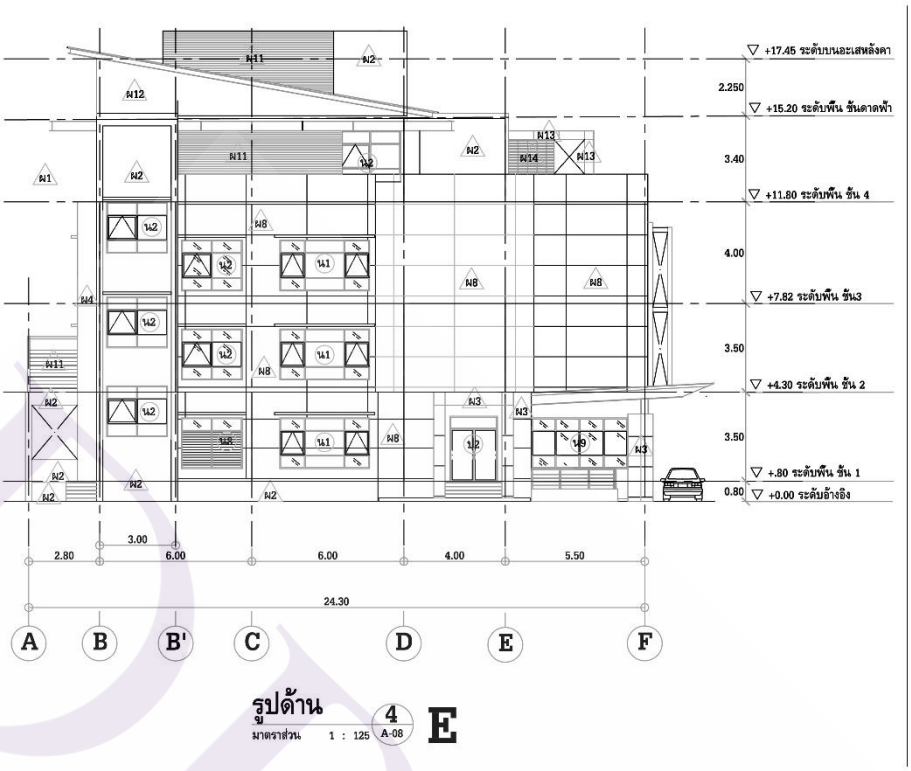
**ภาพที่ ก.7** รูปด้าน 2



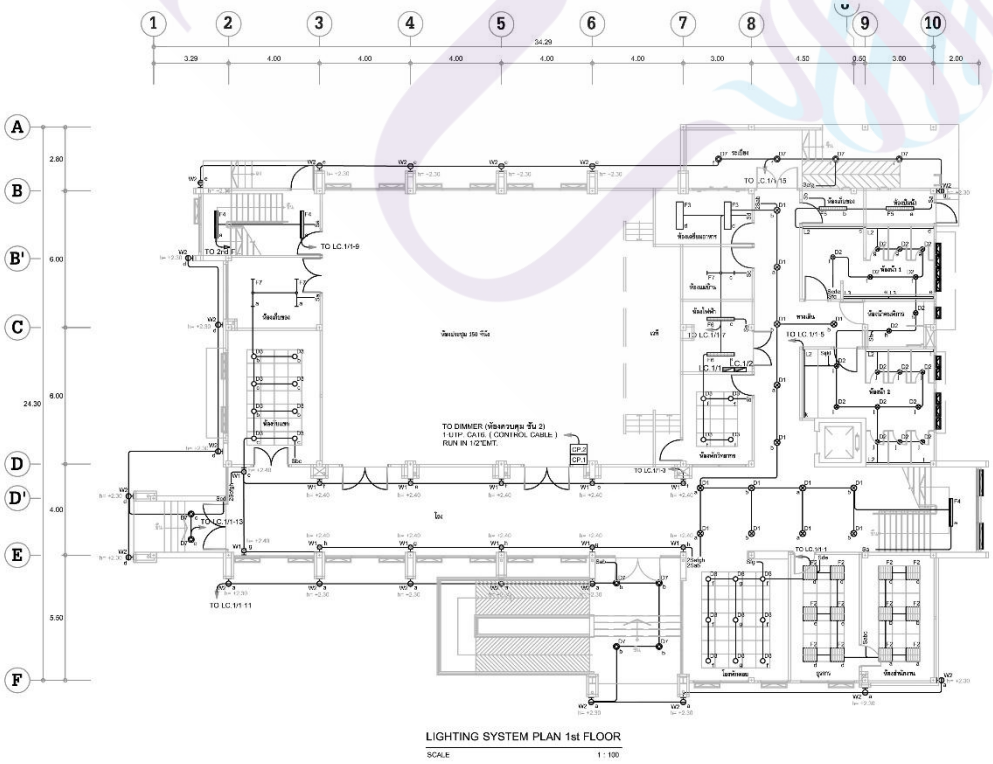

**ภาพที่ ก.8** รูปด้าน 3



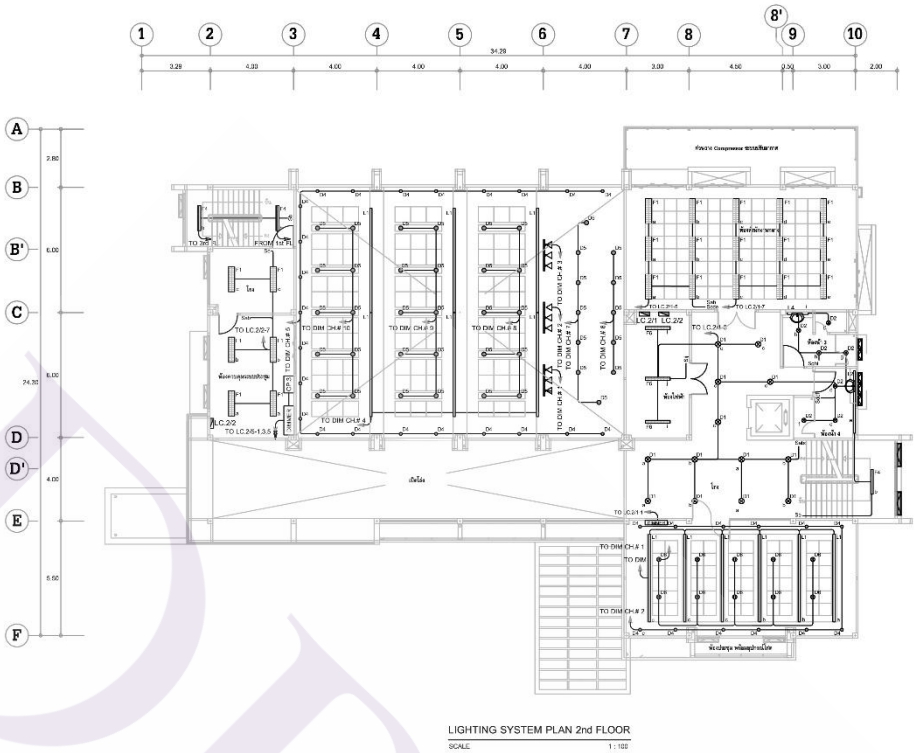
**ภาพที่ ก.9** รูปด้าน 4



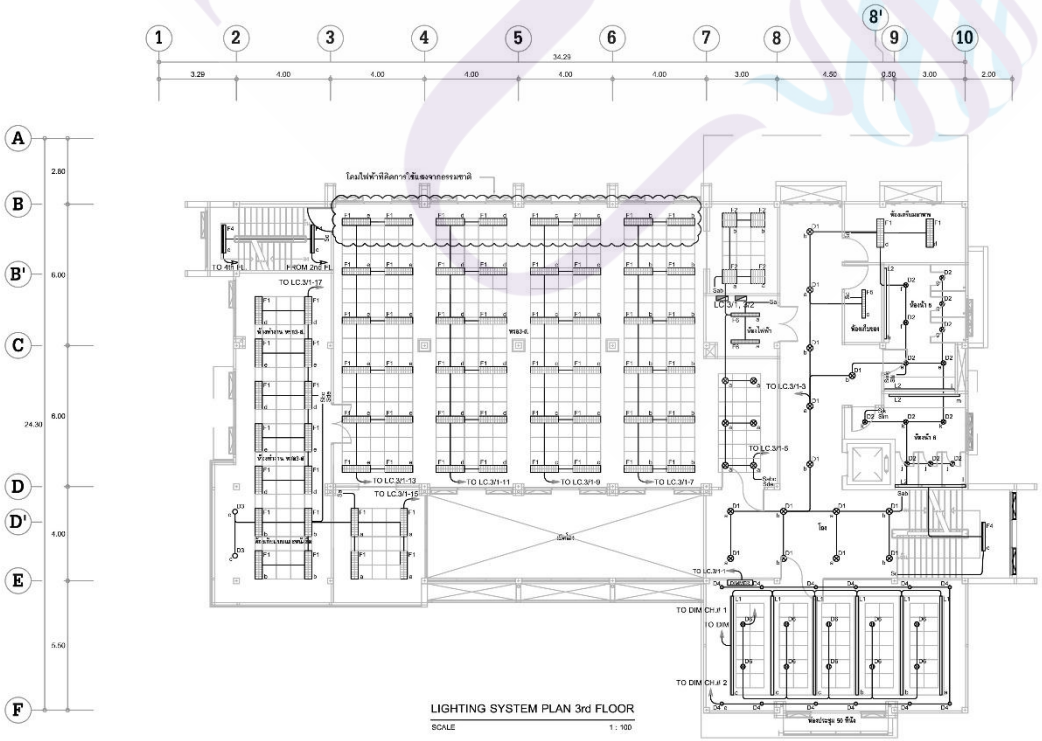

**ภาพที่ ก.10** แปลนไฟฟ้าแสงสว่าง ชั้น 1



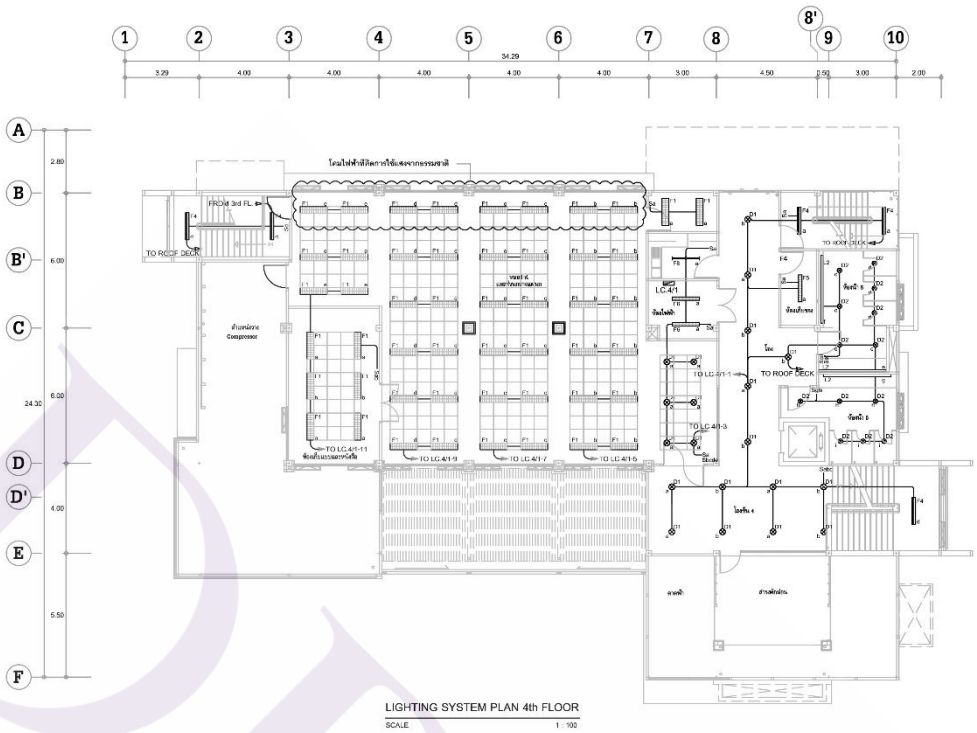
**ภาพที่ ก.11** แปลนไฟฟ้าแสงสว่าง ชั้น 2




**ภาพที่ ก.12** แปลนไฟฟ้าแสงสว่าง ชั้น 3



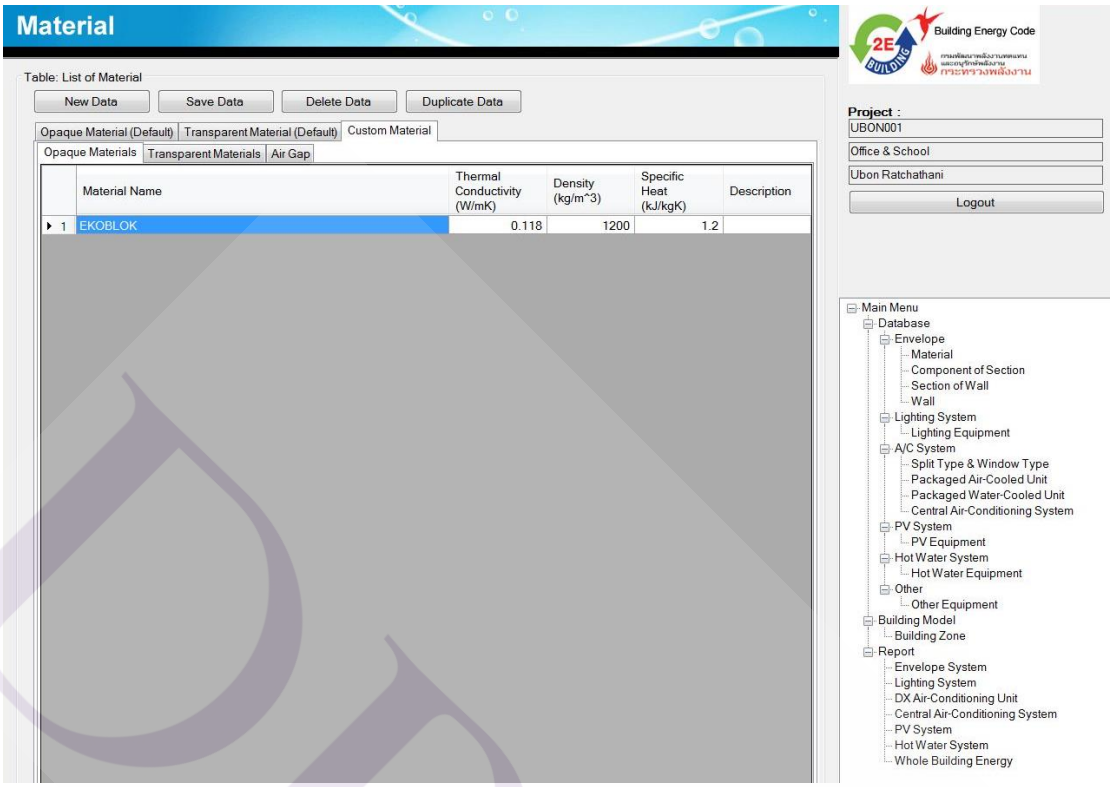
**ภาพที่ ก.13** แปลนไฟฟ้าแสงสว่าง ชั้น 4



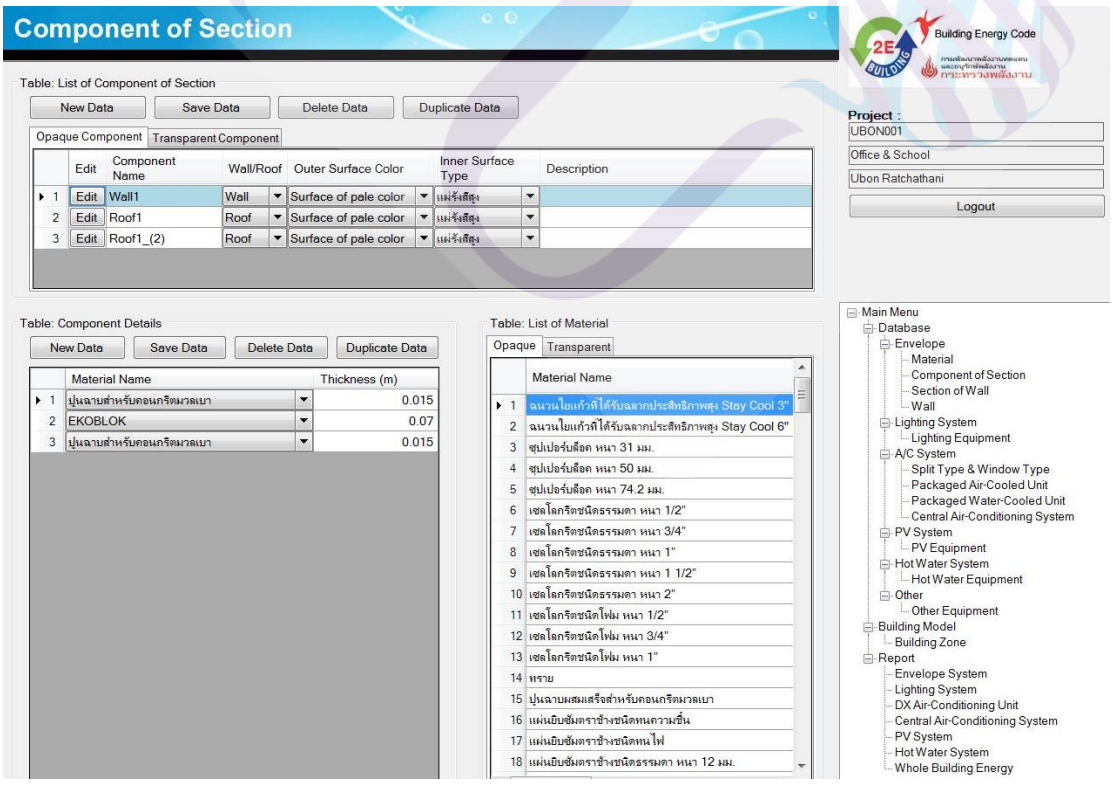
# ภาคผนวก ข

# ข้อมูลการสร้างแบบจำลองของอาคารโดยใช้โปรแกรม BEC

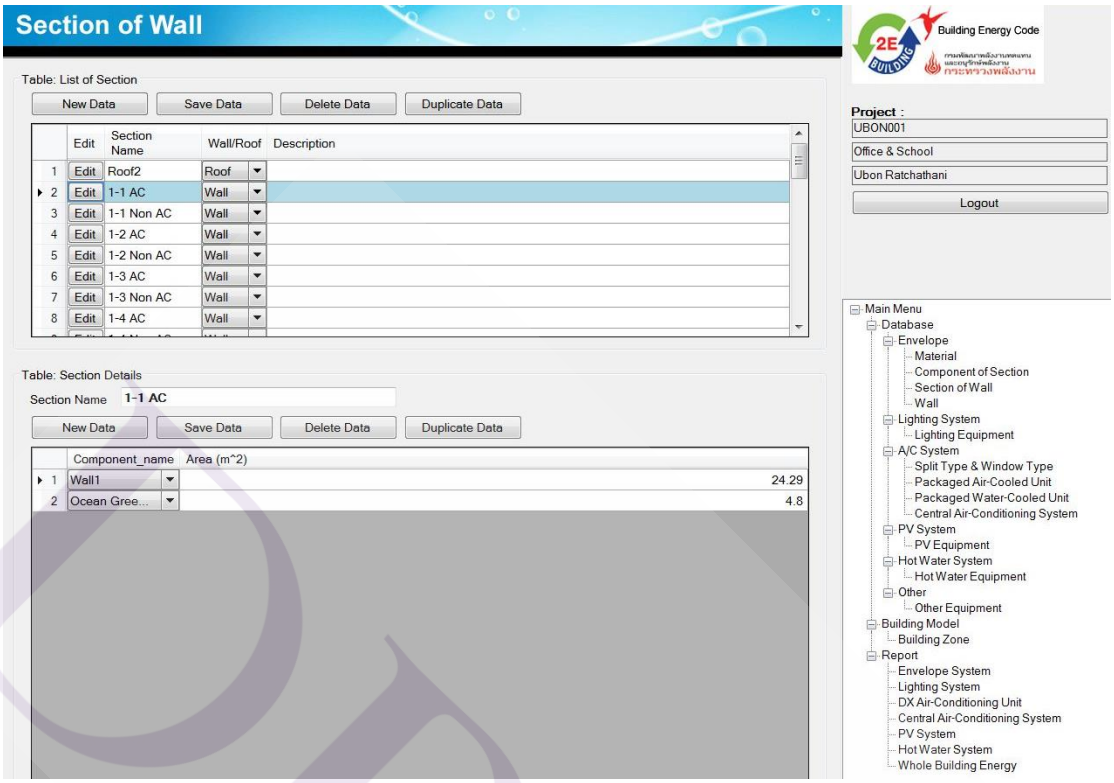
**ภาพที่ ข.1** รายละเอียดของวัสดุ



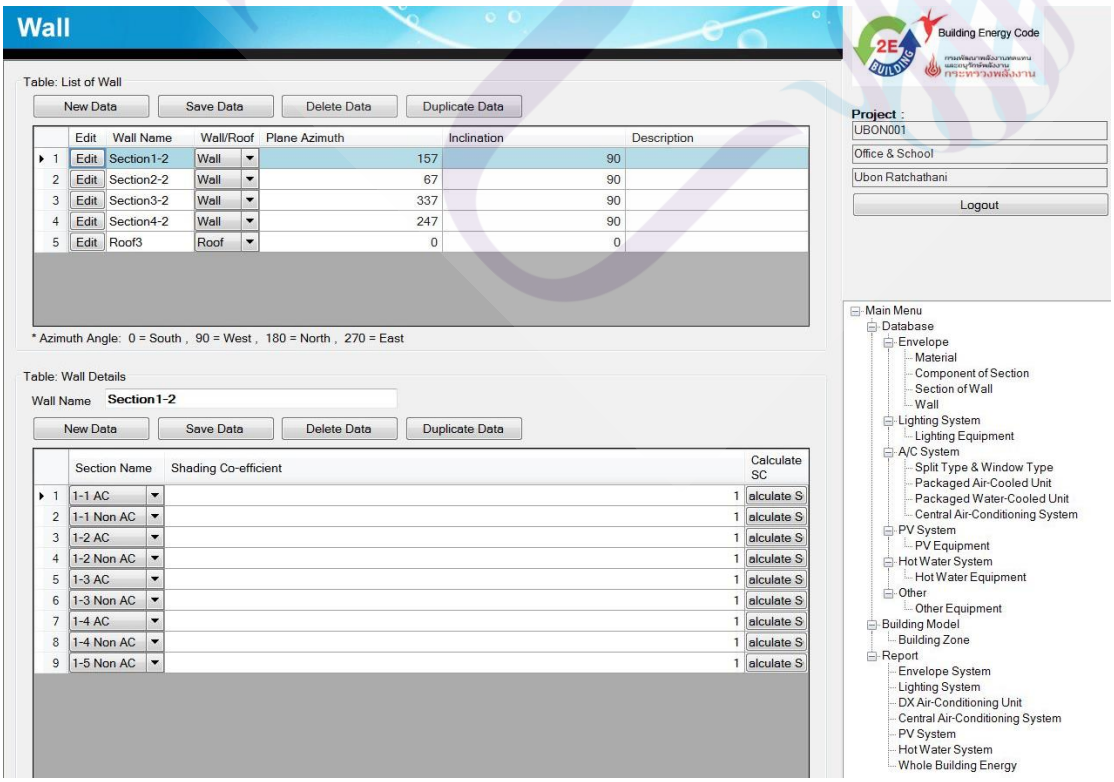

**ภาพที่ ข.2** รายละเอียดส่วนประกอบผนัง



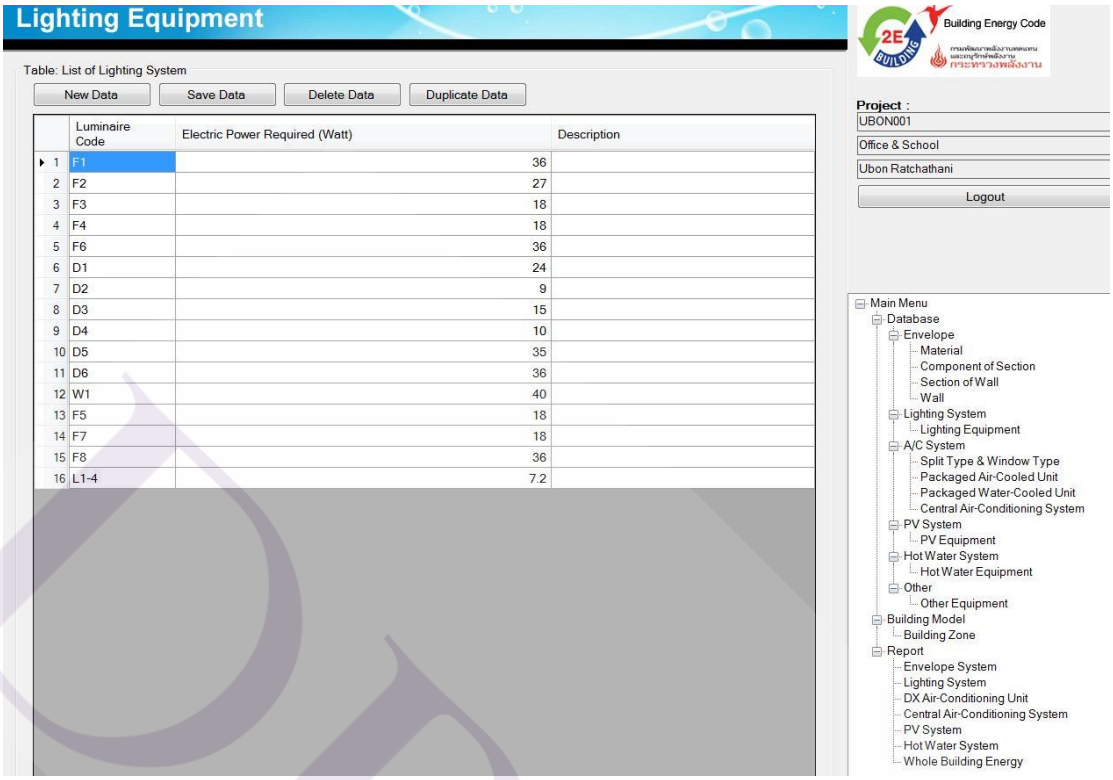
**ภาพที่ ข.3** รายละเอียดด้านของผนัง



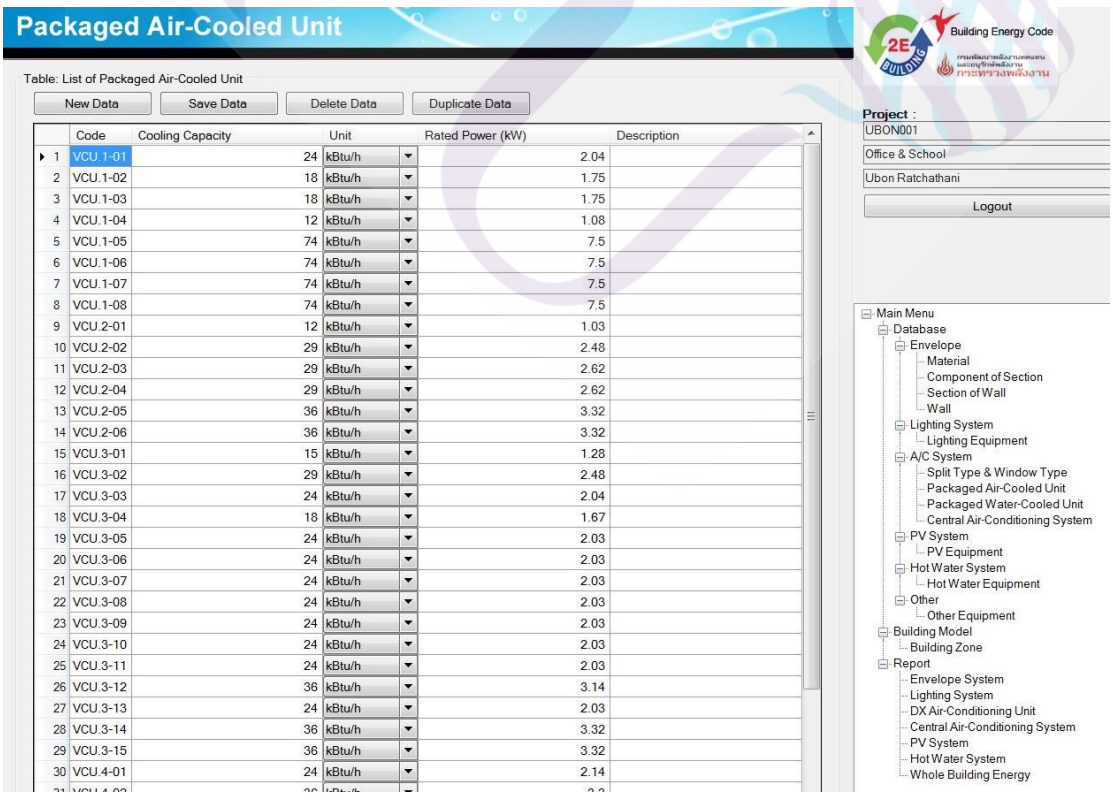

**ภาพที่ ข.4** รายละเอียดผนังแต่ละด้าน



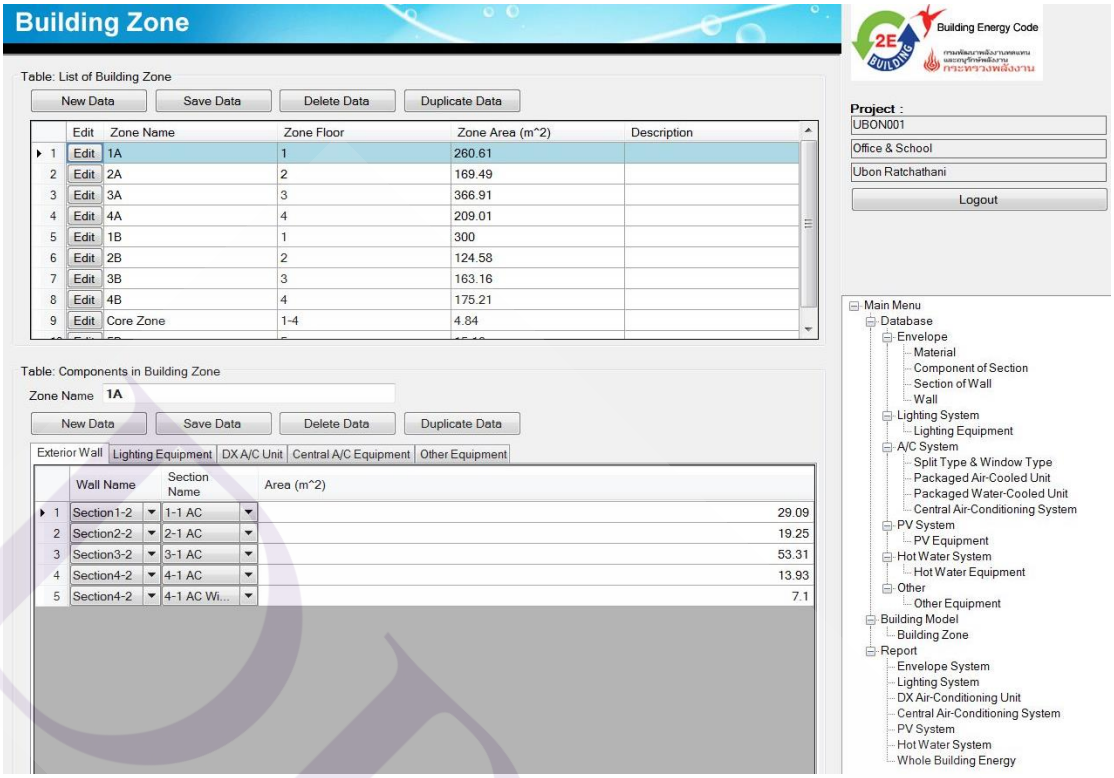
**ภาพที่ ข.5** ข้อมูลรายละเอียดของชุดโคมไฟ



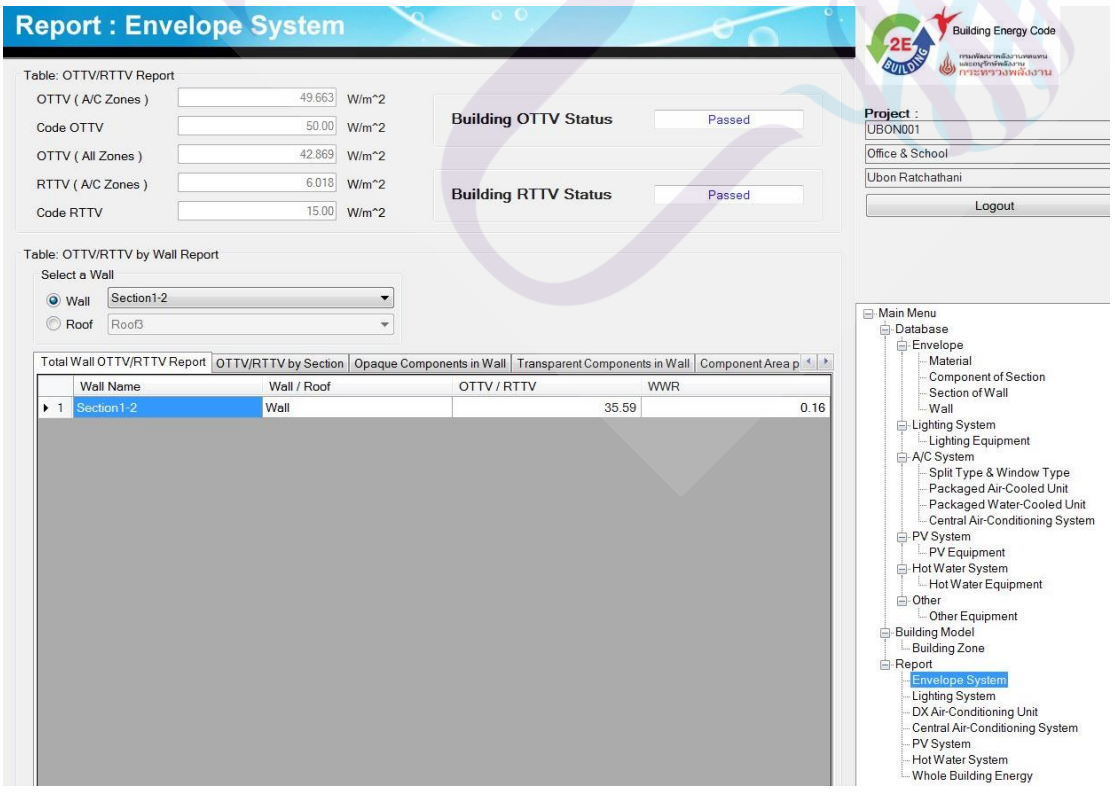

**ภาพที่ ข.6** ข้อมูลรายละเอียดของเครื่องปรับอากาศ



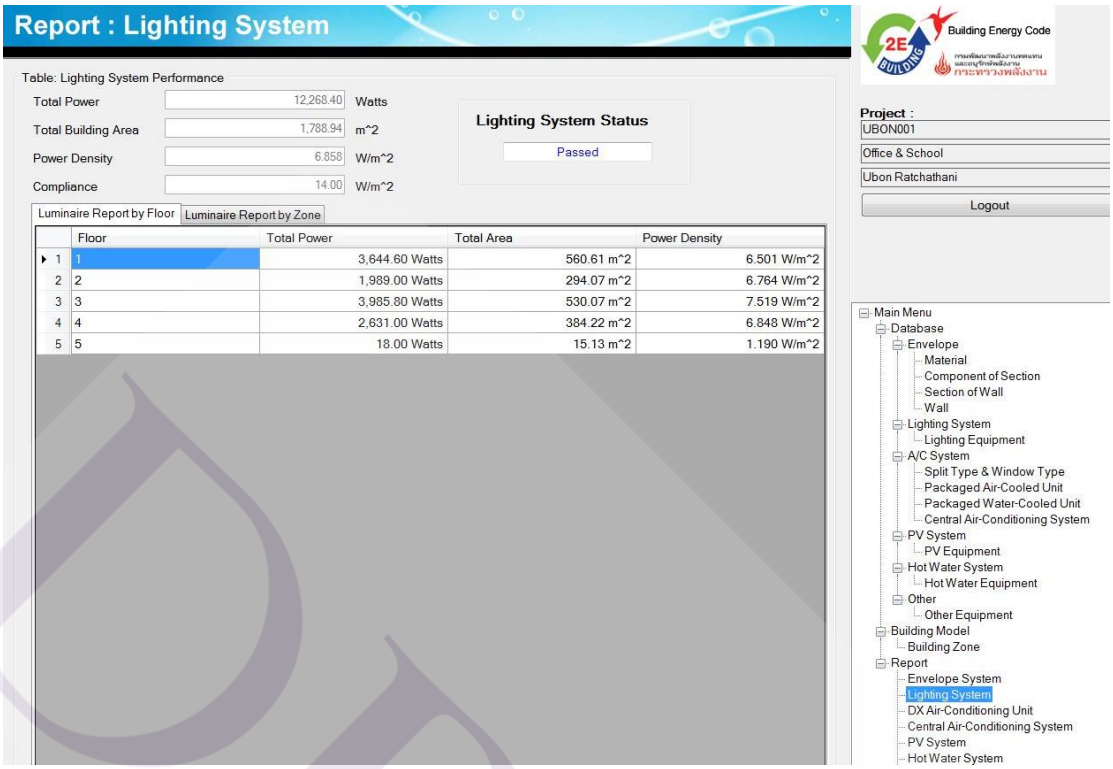
**ภาพที่ ข.7** ข้อมูลของโซนแยกแต่ละชั้น



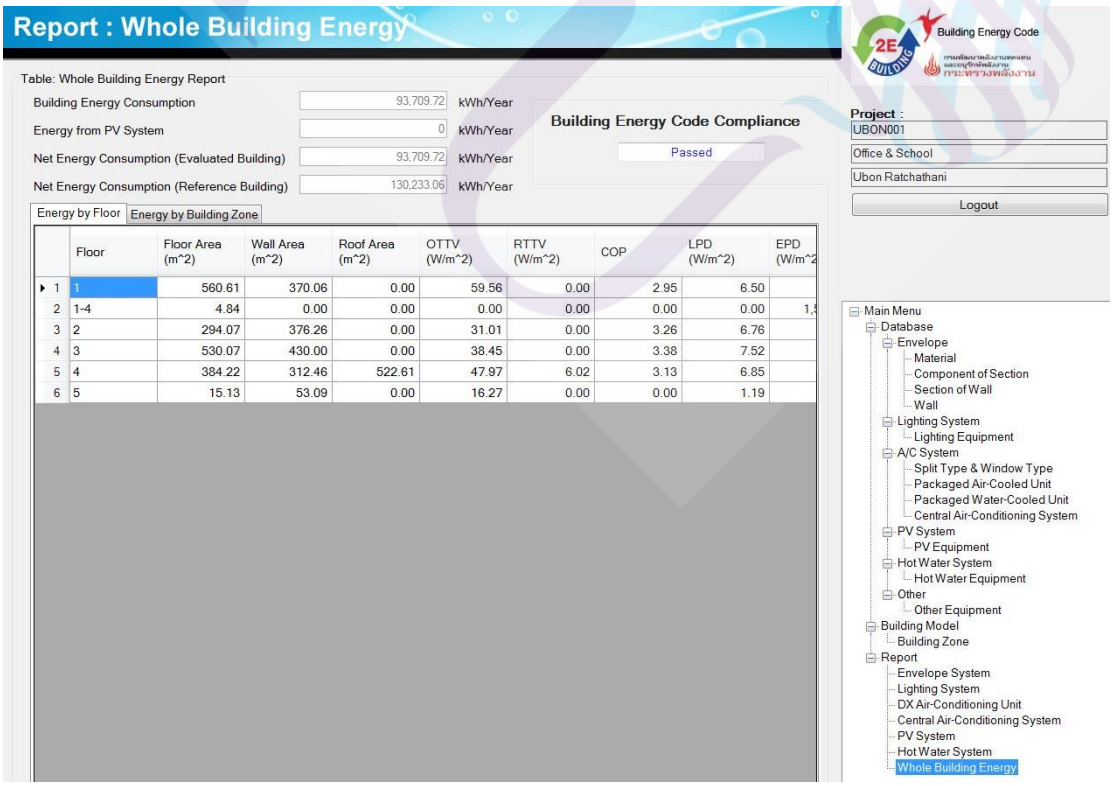

**ภาพที่ ข.8** รายงานสมรรถนะด้านการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา



**ภาพที่ ข.9** รายงานสมรรถนะด้านพลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง




**ภาพที่ ข.10** รายงานสมรรถนะด้านผลการประเมินการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร



## ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| ชื่อ-นามสกุล | นายประพัทธ์ ชื่นชุมศรี |
| ประวัติการศึกษา | ปีการศึกษา 2552 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน | วิศวกรระดับ 5 ฝ่ายออกแบบและบริหารงานก่อสร้าง กองวิศวกรรม การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย |

DPU