

# ความคุ้มค่าของการออกแบบอาคารประหยัดพลังงานผสมระบบพลังงานทดแทน กรณีศึกษา อาคารสำนักงานโครงการศูนย์การเรียนรู้พลังงานทดแทน

## Cost Efficiency of Energy Conservation Building Integrated with Renewable Energy System: A Case Study of Office Area, Renewable Energy Learning Center

ยุทธนา ทองท่วม วรางคณา จวงจันดี และ เศรษฐพงศ์ เศรษฐบุปผา

Yuttana Tongtuam, Warangkana Juangjandee and Sethapong Sethabouppha

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Faculty of Architecture, Chiangmai University

E-mail: yuttana@arc.cmu.ac.th

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีพลังงานทดแทนเป็นที่รู้จักมากขึ้นในรูปแบบของพลังงานฟรีและพลังงานสะอาดจากธรรมชาติ แต่ยังไม่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ส่วนหนึ่งเนื่องมาจากต้นทุนการติดตั้งที่ค่อนข้างสูงและคืนทุนช้า สำหรับกรณีศึกษา อาคารสำนักงานโครงการศูนย์การเรียนรู้พลังงานทดแทน ซึ่งเป็นวิทยานิพนธ์สาขาสถาปัตยกรรมบัณฑิต ได้พยายามนำเอาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนมาใช้เพื่อสาธิตการใช้งานและทดแทนการใช้พลังงานจากระบบสายส่ง การศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐศาสตร์กรณีที่มีการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน อาคารประหยัดพลังงานที่ผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และอาคารประหยัดพลังงานที่ผสมระบบปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการใช้โปรแกรม OTTVEE คำนวณค่าภาระปรับอากาศ และทำการเก็บข้อมูลภาคสนามเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์ และแสงสว่างภายในอาคาร ผลการศึกษา พบว่า การออกแบบติดตั้งแผงกันแดดที่ผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด

### Abstract

Recently, renewable energy technology is more recognizable in the form of free and clean energy produced naturally but it has not been widely deployed due to its expensive cost and payback period, which is a major problem. A design case of the Office Area of the Renewable Energy Learning Center was thesis in Bachelor of Architecture, which was integrated with renewable energy technologies for demonstration and produce energy. This article presents the energy balance and cost analysis of a conservation building, a conservation building integrated with a Photovoltaic system and a conservation building integrated with a solar cooling system. For the analysis, the OTTVEE program was used to estimate the energy of the cooling load and measurement device was collected data to predict energy from Photovoltaic module and illumination on working plane. The results found that the conservation building integrated with a Photovoltaic system was the most cost effective.

### คำสำคัญ (Keywords)

อาคารประหยัดพลังงาน (Energy Conservation Building), พลังงานทดแทน (Renewable Energy),

อาคารประหยัดพลังงานผสมระบบพลังงานทดแทน (Energy Conservation Building Integrated with Renewable Energy)

## 1. ความเป็นมาของโครงการ

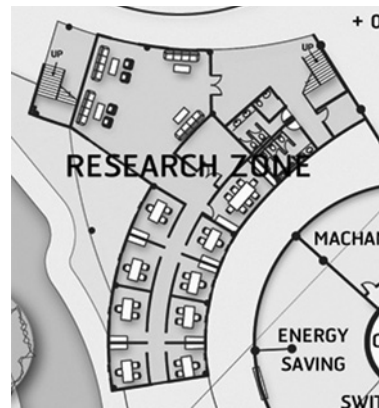
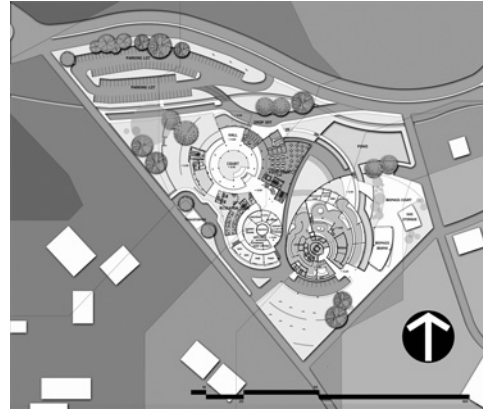
ปัจจุบันพลังงานทดแทนได้เข้ามามีบทบาทต่อการแก้ปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีพลังงานทดแทนยังคงเป็นเทคโนโลยีใหม่สำหรับประเทศไทย โครงการศูนย์การเรียนรู้พลังงานทดแทน เป็นโครงการออกแบบของนักศึกษาสาขาสถาปัตยกรรมที่พยายามแก้ปัญหาค่าการเรียนรู้เทคโนโลยีพลังงานทดแทน โดยการให้ความรู้และสาธิตเทคโนโลยีแก่นักเรียน นักศึกษา รวมถึงบุคคลทั่วไป แม้ว่าจะไม่ได้เป็นโครงการก่อสร้างจริง แต่ก็ เป็นแนวคิดที่พยายามสร้างแนวทางการออกแบบที่มีความเป็นรูปธรรมในแง่ของการออกแบบอุปกรณ์ที่ผสมผสานกับอาคาร



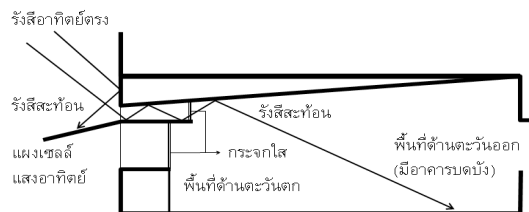
รูปที่ 1 ทศนิยมภาพศูนย์การเรียนรู้พลังงานทดแทน

### 1. โครงการศูนย์การเรียนรู้พลังงานทดแทน

อาคารดังกล่าวมีพื้นที่ 3 ส่วนหลัก ได้แก่ พื้นที่สำนักงาน พื้นที่อบรม และส่วนสาธิตการติดตั้งอุปกรณ์ ซึ่งได้แก่ เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล พลังงานน้ำ และพลังงานรูปแบบใหม่ เช่น ไฮโดรเจน สำหรับบทความนี้พยายามนำเสนอการออกแบบอุปกรณ์เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการนำมาใช้เป็นองค์ประกอบของอาคารแทนที่การใช้วัสดุก่อสร้างปกติ หรือที่เรียกว่าการผสมระบบ ซึ่งได้แก่ การออกแบบแผงกันแดดผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และหลังคาผสมระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับระบบปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีพื้นฐานการออกแบบอาคารประหยัดพลังงานเนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวยังคงมีราคาสูงมาก การลดปริมาณความต้องการในการใช้พลังงานจึงมีผลต่อปริมาณการใช้อุปกรณ์ราคาสูงลดน้อยลงไปด้วย



รูปที่ 2 แผนผังอาคารชั้นล่างส่วนสำนักงาน (Research zone)



รูปที่ 3 รูปตัดอาคารส่วนสำนักงาน

## 2. ต้นทุนพลังงานและสิ่งแวดล้อม

2.1 พลังงานสาธารณะจากระบบสายส่ง ปัจจุบันมีแหล่งกำเนิดหลัก ๆ ได้แก่ การเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติ (ส่วนใหญ่กว่า 70%) ถ่านหิน น้ำมัน การปั่นกระแสไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ และจากการนำเข้า ซึ่งมีต้นทุนค่าพลังงานที่ไม่สูงมากนัก แต่ก็จะมีปริมาณที่จำกัด รวมถึงการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

2.2 พลังงานธรรมชาติ เป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ไม่จำกัด แต่ก็มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถควบคุมได้อย่างสมบูรณ์ ประกอบกับราคาเทคโนโลยีที่ยังคงสูงอยู่จึงมีผลทำให้การนำเทคโนโลยีไปใช้ยังไม่แพร่หลาย

### 3. อาคารประหยัดพลังงาน

ตามมาตรฐาน พรบ.ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ฉบับที่ 2 (2550) สำหรับอาคารประเภทสถานศึกษา ที่มีการใช้งานเป็นสำนักงาน ได้กำหนดค่าขั้นต่ำของอาคารประหยัดพลังงาน ดังนี้

3.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอกอาคาร (OTTV) ไม่เกินกว่า 50 W/m<sup>2</sup>

3.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) ไม่เกินกว่า 15 W/m<sup>2</sup>

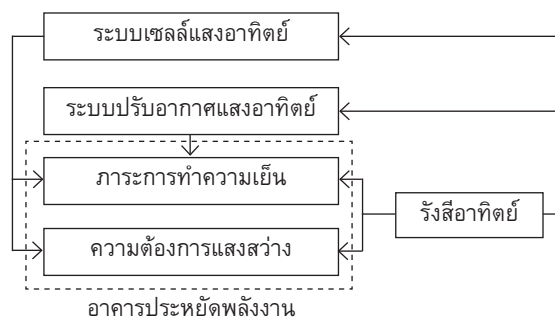
3.3 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดมีค่าไม่เกินกว่า 12 W/m<sup>2</sup> ใช้งาน

### 2. ระเบียบวิธีและขั้นตอนในการศึกษา

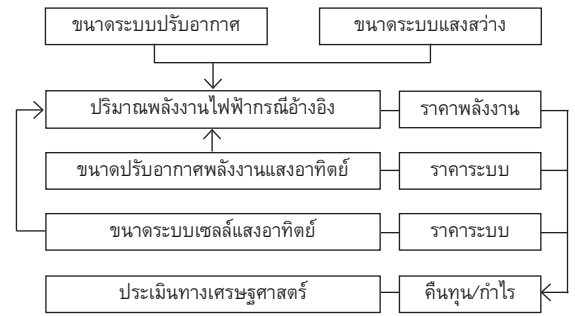
บทความนี้มีวัตถุประสงค์การศึกษาเพื่อประเมินการเลือกใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับอาคารประหยัดพลังงานปัจจุบัน รูปที่ 4 แสดงถึงการไหลของพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้คุ่มค่า นอกเหนือไปจากการพยายามป้องกันความร้อนจากการออกแบบตามหลักการของอาคารประหยัดพลังงาน โดยรังสีอาทิตย์จะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์ เปลี่ยนเป็นพลังงานความเย็นโดยระบบปรับอากาศ พลังงานแสงอาทิตย์ และการใช้ในรูปแบบของแสงสว่างผ่านช่องแสงด้านข้างและแผงกันแดด ดังนั้น ในการออกแบบอาคารจึงต้องการทราบถึงปริมาณภาระการทำความเย็นและความแสงสว่างบนพื้นที่ใช้งาน

ขั้นตอนในการศึกษามีดังนี้

1. ประเมินขนาดระบบปรับอากาศจากรูปแบบอาคารโดยใช้โปรแกรม OTTVEE และระบบแสงสว่างจากเงื่อนไขขั้นต่ำตาม พรบ.ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ฉบับที่ 2 (2550) โดยเก็บข้อมูลความสว่างบนระดับใช้งานจากหุ่นจำลอง



รูปที่ 4 การใช้รังสีอาทิตย์กับระบบปรับอากาศและแสงสว่าง



รูปที่ 5 การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์

2. ประเมินขนาดระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีค่าประสิทธิภาพเบอร์ 5 (EER เป็น 10.6) สำหรับอาคารประหยัดพลังงานแต่ละกรณี

3. ประเมินขนาดระบบปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีค่าประสิทธิภาพตามเกณฑ์ พรบ.ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับที่ 2 (2550) เช่นกัน ซึ่งกำหนดให้มีค่า COP เป็น 0.6 สำหรับระบบแบบ Single effect

4. ประเมินการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตามเงื่อนไขพื้นที่ของแผงกันแดดอาคาร โดยการสร้างความสัมพันธ์เป็นสมการเพื่อทำนายค่าพลังงานที่ผลิตได้

5. ทำการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้และการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เมื่อใช้ระบบปรับอากาศและแสงสว่างในกรณีต่าง ๆ 5 รูปแบบ ดังนี้

- กรณี A อาคารกรณีที่ไม่มีการใช้แผงกันแดด
- กรณี B อาคารประหยัดพลังงานที่ไม่มีการใช้พลังงานทดแทนร่วม
- กรณี C อาคารประหยัดพลังงานใ้วัสดุฉนวนผนังอาคารและไม่มีการใช้พลังงานทดแทนร่วม
- กรณี D อาคารประหยัดพลังงานใ้วัสดุฉนวนผนังอาคารและใช้ระบบปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์
- กรณี E อาคารประหยัดพลังงานใ้วัสดุฉนวนผนังอาคารและใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์

โดยใช้ฐานข้อมูลอากาศจังหวัดเชียงใหม่เฉลี่ย 10 ปี สำหรับการประเมินด้วยค่าการใช้พลังงานรวมตลอดปี ระยะเวลาคืนทุนและกำไรหรือผลประโยชน์ที่ได้ในช่วงอายุโครงการ 25 ปี ทั้งนี้มีเงื่อนไขที่ใช้ในการคำนวณค่าสำหรับอาคารกรณีศึกษา สรุปได้ดังนี้

### วัสดุผนังอาคาร (ไม่มีส่วนของหลังคา)

1. ผนังทึบ เป็นผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 cm. มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเป็น  $3.1 \text{ W/m}^2\text{°C}$  และผนัง EIFS มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเป็น  $0.3 \text{ W/m}^2\text{°C}$

2. ช่องแสง หน้า 6 mm. เป็นกระจกใสธรรมดา มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของรังสีอาทิตย์เป็น 0.73 และค่าการส่องผ่านของแสงสว่างเป็น 0.88

### การใช้งานอาคารและระบบอุปกรณ์

1. อาคารมีการใช้งานในช่วง 8:00 น.-16:00 น. หยุดทำการในวันเสาร์ อาทิตย์และวันหยุดราชการ หรือจำนวน 250 วันทำการของทั้งปี

2. มีจำนวนผู้ใช้งาน 10 คนเฉลี่ยในกิจกรรมสำนักงานราชการ ใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์จำนวน 8 เครื่อง เครื่องละ 100 วัตต์

3. ตั้งค่าอุณหภูมิใช้งานที่  $25\text{°C}$  50%RH ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน 5 (EER 10.6) และไม่จัดการรั่วซึมของอากาศจากภายนอก

4. ใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดมีค่าเป็น  $12 \text{ W/m}^2$  ใช้งาน

### 3. การประเมินขนาดระบบปรับอากาศอาคารอ้างอิง

จากอาคารกรณีศึกษาได้มีการออกแบบพื้นที่สำนักงาน ดังรูปที่ 2

1. กรณี A ไม่มีแผงกันแดดและฉนวนผนัง ค่า OTTV เป็น  $62.87 \text{ W/m}^2$  ค่าภาระสูงสุดในช่วงเดือนมีนาคม เป็น 31.76 kW หรือ 9.04 ton เป็นค่าไฟฟ้า 71,103 Baht/Year

2. กรณี B ใช้เทคนิคการป้องกันแดด ค่า OTTV ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนดคือ  $44.81 \text{ W/m}^2$  โดยมีค่าภาระสูงสุดในช่วงเดือนพฤษภาคม เป็น 17.11 kW หรือ 4.87 ton เป็นค่าไฟฟ้า 59,233 Baht/Year

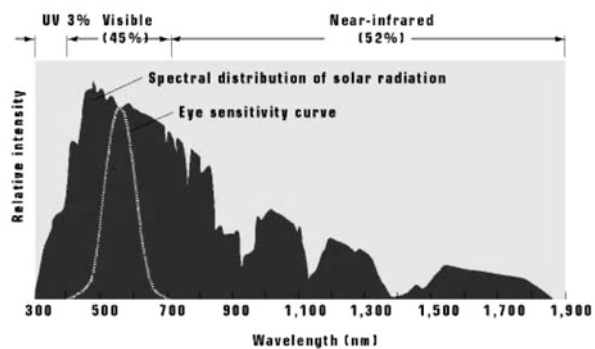
3. กรณี C ใช้เทคนิคการป้องกันแดด และติดตั้งฉนวนผนัง ค่า OTTV เป็น  $27.29 \text{ W/m}^2$  ค่าภาระสูงสุดในช่วงเดือนพฤษภาคม เป็น 13.07 kW หรือ 3.72 ton เป็นค่าไฟฟ้า 47,406 Baht/Year

โดยใช้ระบบอากาศที่มีค่า EER เป็น 10.6 และค่าไฟฟ้าของหน่วยงานราชการไม่แสวงหากำไรเป็น  $3.75 \text{ Baht/kWhr}$  และในส่วนของการออกแบบระบบแสงสว่างที่  $12 \text{ W/m}^2$  สำหรับกรณี A ใช้พลังงานสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 9,116 kWhr/Year หรือเป็น 34,185 Baht/Year

### 4. เทคโนโลยีพลังงานทดแทน

การใช้พลังงานทดแทนสำหรับอาคารกรณีศึกษา นี้มุ่งเน้นไปที่พลังงานจากรังสีอาทิตย์ ซึ่งองค์ประกอบของรังสีอาทิตย์สามารถแยกออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1. รังสี UV (3%) มีผลทำให้วัตถุเสื่อมสภาพ
2. รังสี VIS (45%) มีผลต่อการมองเห็น
3. รังสี IR (52%) มีผลต่อความร้อนสัมผัส



รูปที่ 6 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์

ในการออกแบบอาคารประหยัดพลังงานสามารถป้องกันความร้อนและรังสี UV ด้วยการใช้แผงกันแดดและกระจก ในส่วนของการนำรังสีอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ ได้แก่

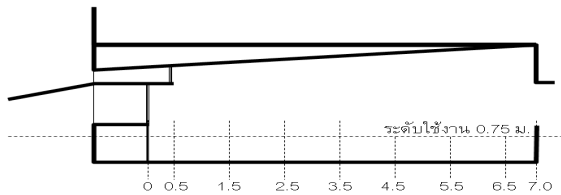
1. การใช้รังสีอาทิตย์ในช่วง VIS ในรูปแบบของแสงธรรมชาติเพื่อทดแทนพลังงานที่ใช้ในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ด้วยเทคนิคการเปิด-ปิดหลอดไฟฟ้าในพื้นที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอ
2. การใช้รังสีอาทิตย์เพื่อผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์
3. การใช้รังสีอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนเป็นรูปพลังงานความร้อนด้วยการใช้หลอดสูญญากาศแบบฮีตไปต์ เนื่องจากสามารถทำให้น้ำในหลอดแก้วมีอุณหภูมิสูงเพียงพอกับการใช้ในระบบทำความเย็นแบบดูดซับ (Absorption chiller)

### 5. การประเมินค่าพลังงานทดแทน

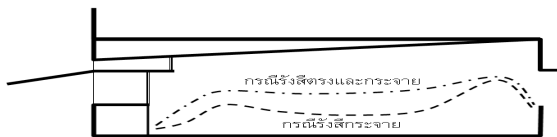
#### 1. การใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสง

เนื่องจากพื้นที่ใช้งานมีระยะห่างจากหน้าต่าง 8 เมตร ซึ่งเกินระยะที่จะสามารถใช้แสงธรรมชาติได้ จึงมี

การออกแบบหิ้งสะท้อนแสงดังรูปที่ 3 ซึ่งผลจากการทดสอบด้วยหุ่นจำลองตามหลักการ Daylight Factor ดังรูปที่ 7 และเนื่องจากไม่มีการเก็บฐานข้อมูลรายชั่วโมงของค่ารังสีอาทิตย์บริเวณจังหวัดเชียงใหม่ จึงพิจารณาเทียบเคียงโดยใช้ฐานข้อมูลบริเวณกรุงเทพมหานคร เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณค่าความสว่างภายในอาคาร ในกรณีของรังสีกระจาย พบว่า ระยะที่แสงธรรมชาติมีผลลึกเพียง 2 เมตรทางด้านซ้าย 3 เมตรทางด้านขวา และกรณีรังสีรวมที่สะท้อนบนหิ้งสะท้อนแสง พบว่า ระยะที่มีผลเพิ่มขึ้นเป็น 6 เมตรจากหน้าต่างด้านซ้าย เมื่อใช้เทคนิคการเปิดปิดหลอดไฟฟ้า จะสามารถประหยัดไปได้กว่า 60% สำหรับช่วงเวลามีค่าความสว่างเกินกว่า 300 Lux ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งาน



รูปที่ 7 แสดงการตัดขวางการใช้แสงธรรมชาติและตำแหน่งการวัดค่าความสว่างในหุ่นจำลอง



รูปที่ 8 ค่าระดับความสว่างที่วัดได้บริเวณพื้นที่ใช้งาน (DF)

ค่า DF หาจากการวัดค่าความสว่าง ณ แต่ละจุดทดสอบในหุ่นจำลองหารด้วยค่าความสว่างกรณีไม่มีสิ่งบดบัง โดยพิจารณากรณีรังสีกระจายสำหรับช่องแสง ร่วมกับการพิจารณาเฉพาะรังสีตรง เมื่อแสงเข้าทางหิ้งสะท้อนแสงแล้วนำมารวมกับกรณีรังสีกระจาย

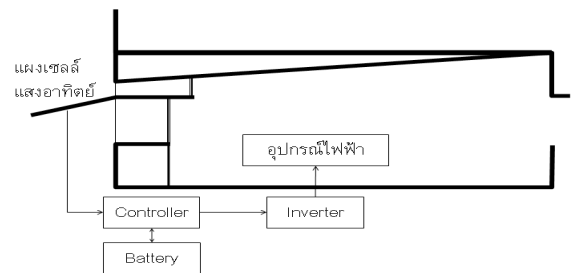
$$DF = E_i / E_o \quad [1]$$

$$DF = DF_1 + DF_2 + \dots + DF_n \quad [2]$$

ดังนั้น จึงสามารถประหยัดการใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้ 60% หรือ 5,470 kWhr/Year ซึ่งกรณีใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างตลอดช่วงเวลาการใช้งานจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้า 9,116 kWhr/Year

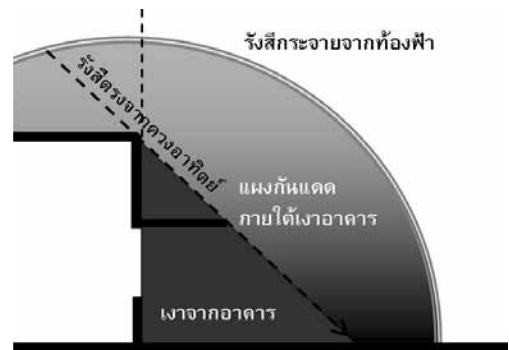
## 2. เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานในรูปของไฟฟ้ากระแสตรง ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมในท้องตลาด ได้แก่ เซลล์ประเภทผลึกเดี่ยว (Mono crystalline silicon; m-Si) ผลึกผสม (Poly crystalline silicon; p-Si) และอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphus silicon; a-Si) ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพจากมากไปน้อยตามลำดับ เช่นเดียวกับกับต้นทุนของแผงเซลล์



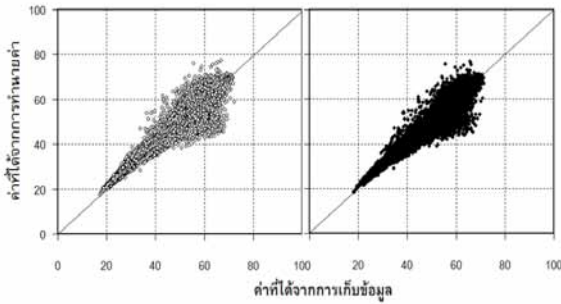
รูปที่ 9 แผงกันแดดผานระบบเซลล์แสงอาทิตย์

แผงกันแดดที่ผานระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอีกหนึ่งรูปแบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อประโยชน์ในการใช้เป็นอุปกรณ์กันแดดที่สามารถผลิตพลังงานได้ หากแต่รูปแบบการติดตั้งบริเวณดังกล่าวมีผลให้การได้รับรังสีอาทิตย์ตรงและกระจายลดลง เนื่องจากการบดบังของตัวอาคาร ดังรูปที่ 10

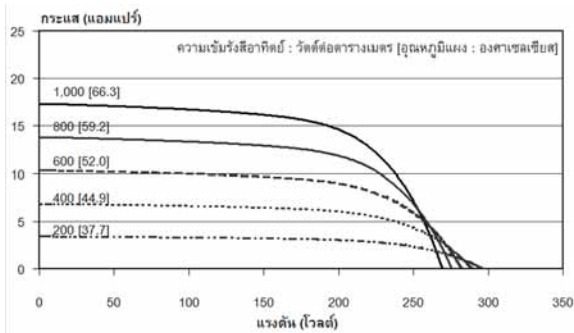


รูปที่ 10 การติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนผนังอาคาร

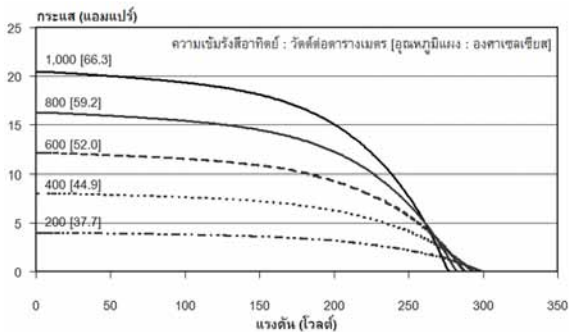
เพื่อประเมินค่าพลังงานที่ผลิตได้จากระบบจึงได้ทำการสร้างสมการสำหรับการทำนายค่าพลังงานที่ได้จากการเปลี่ยนรูปรังสีอาทิตย์ โดยการเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ทดสอบที่มีการติดตั้งใช้งานจริง ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ได้ ดังรูปที่ 11



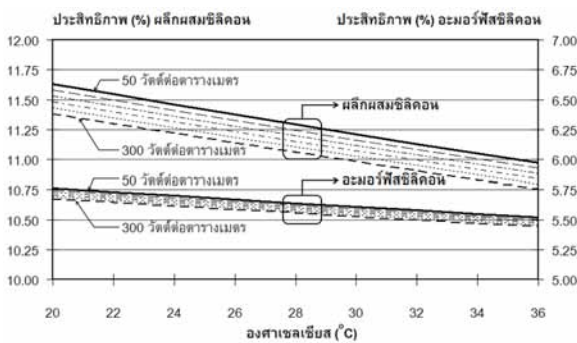
รูปที่ 11 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าแสงอาทิตย์และอุณหภูมิแผงเซลล์ที่ได้จากการเก็บข้อมูลกับค่าที่ได้จากการทำนายค่า



รูปที่ 12 ลักษณะกระแสและแรงดันของเทคโนโลยีผลึกผสมซิลิคอน



รูปที่ 13 ลักษณะกระแสและแรงดันของเทคโนโลยีอะมอร์ฟิซิลิคอน



รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องด้วยการเปลี่ยนแปลงของรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อม

$$\eta \text{ (p-Si)} = 11.27 - 0.0010 \text{ GTt} ; R^2 = 0.9993 \quad [3]$$

$$\eta \text{ (a-Si)} = 5.63 - 0.0004 \text{ GTt} ; R^2 = 0.9995 \quad [4]$$

$$\eta \text{ (p-Si)} = 12.47 - 0.0009 \text{ GTt} - 0.04 \text{ Tamb} ; R^2 = 0.9993 \quad [5]$$

$$\eta \text{ (a-Si)} = 6.07 - 0.0003 \text{ GTt} - 0.01 \text{ Tamb} ; R^2 = 0.9995 \quad [6]$$

เนื่องด้วยสภาพการใช้งานในร่มเงาอาคารแผงเซลล์จะได้รับรังสีอาทิตย์ปริมาณต่ำ แต่ค่าของอุณหภูมิแวดล้อมเท่ากับด้านที่ได้รับรังสีรวมมีผลให้อุณหภูมิแผงเซลล์ยังคงใกล้เคียงกับอุณหภูมิแวดล้อมอยู่ ดังนั้นจึงแบ่งการประเมินค่าประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้เป็น 2 กรณี คือ

1. กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านที่รับรังสีรวม
2. กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านที่อยู่ในร่มเงาอาคาร

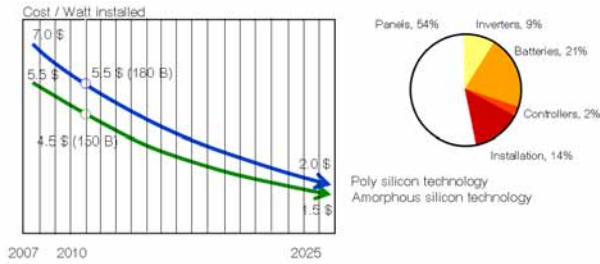
สำหรับกรณีปกติในด้านที่รับรังสีอาทิตย์รวมสรุปได้เป็นสมการที่ [3] และ [4] ส่วนในกรณีที่ 2 ดังรูปที่ 11 พบว่า ในช่วงรังสีอาทิตย์ 50-300 วัตต์ต่อตารางเมตร และอุณหภูมิแวดล้อมในช่วง 20-36 องศาเซลเซียส ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แบบผลึกผสมซิลิคอนมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงที่กว้างกว่าเซลล์แบบอะมอร์ฟิซิลิคอน และมีผลให้ประสิทธิภาพบางช่วงสูงกว่าสภาวะมาตรฐานเล็กน้อยเนื่องจากอุณหภูมิแผงเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงจากสภาวะมาตรฐาน สามารถสรุปเป็นสมการที่ [5] และ [6] สำหรับเทคโนโลยีผลึกผสมและเทคโนโลยีอะมอร์ฟิซิลิคอน ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สัดส่วนการลดลงของการผลิตพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการติดตั้งในลักษณะเป็นแผงกันแดดที่ผลานระบบเซลล์แสงอาทิตย์รายปี (kWhr/m<sup>2</sup>-Year) กรณีเอียง 15 องศากับระนาบระดับ

ทิศ	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
ชนิด p-Si	83	99	117	142	148	140	115	98
ชนิด a-Si	41	50	59	71	74	70	58	49

#### ราคาของระบบ

สำหรับราคาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในห้องตลาดปัจจุบันเมื่อพิจารณาในกรณีที่ติดตั้งในจำนวนไม่มากนักจะมีราคาอยู่ที่ 105 Baht/Wp สำหรับเทคโนโลยีผลึกเดี่ยว 92 Baht/Wp สำหรับเทคโนโลยีผลึกผสม และ 70 Baht/Wp สำหรับเทคโนโลยีอะมอร์ฟิซิลิคอน

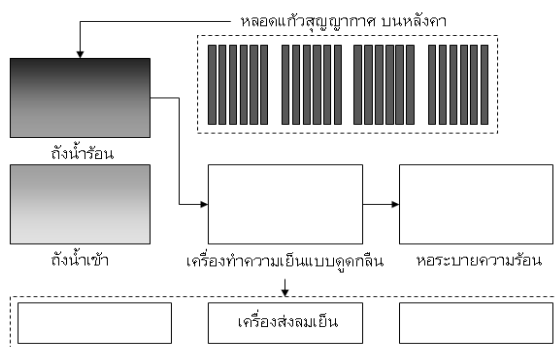


รูปที่ 15 สัดส่วนราคาอุปกรณ์ระบบเซลล์แสงอาทิตย์

จากกรณีศึกษาสามารถติดตั้งแผงเซลล์ เป็นแผงกันแดดได้ 24 m<sup>2</sup> ดังนั้น ระบบดังกล่าวจึงสามารถผลิตพลังงานได้ 4,464 kWh/Year และ 2,232 kWh/Year ประเมินราคาต้นทุนระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีสัดส่วนแผงเซลล์ 54% ของราคาทั้งหมด คิดเป็น 220,800 บาท และ 84,000 บาท สำหรับกรณีเทคโนโลยีผลึกเดี่ยว และเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอน ตามลำดับ

### 3. เทคโนโลยีระบบปรับอากาศแสงอาทิตย์

ด้วยระบบปรับอากาศแสงอาทิตย์ยังอยู่ในระหว่างการพัฒนา ซึ่งใช้อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (แบบ heat-pipe evacuated tube solar collector) ถังเก็บน้ำร้อน ถังเก็บน้ำเย็น อุปกรณ์ส่งลมเย็น (fan coil units) อุปกรณ์ระบายความร้อน (cooling tower) และเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม (absorption chiller) สำหรับบทความนี้จะพิจารณาใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกันกับโครงการการศึกษาศักยภาพการผลิตและการใช้ระบบทำความเย็นด้วยพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ โดยจะทำการประมาณค่าขนาดของอุปกรณ์บางส่วนให้สอดคล้องกับการออกแบบสำหรับพื้นที่ส่วนสำนักงานของโครงการศูนย์การเรียนรู้พลังงานทดแทน



รูปที่ 16 ส่วนประกอบของระบบปรับอากาศแสงอาทิตย์

ซึ่งประเมินได้ว่าพื้นที่ใช้งานมีภาระทำความเย็นขนาดประมาณ 5 ตัน หรือ 17.56 kW สำหรับอาคารกรณี C ที่เป็นอาคารอาคารประหยัดพลังงานไว้สูงสุด ฉนวนผนังอาคารและไม่มีการใช้พลังงานทดแทนร่วม และประเมินจากสมการที่ 7-13

$$ACC = Q_{CL} / COP_{Chiller} ; COP_{Chiller} = 0.6 \quad [7]$$

$$A_{coil} = Q_g / \eta_{coil} \times G_T \times PQ_{thloss} \quad [8]$$

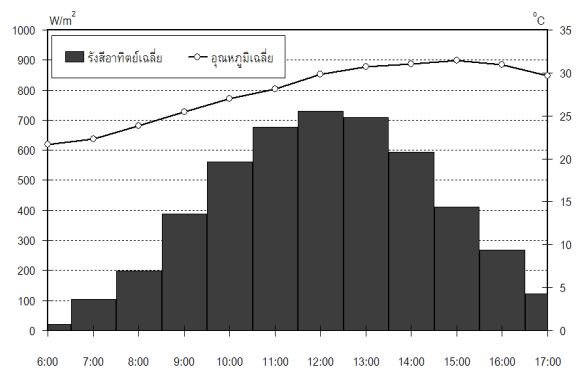
$$Q_{fancoil} = Q_e / PQ_{CLP} \quad [9]$$

$$Q_{CT} = Q_g + Q_e \quad [10]$$

$$CTC = Q_{CT} / \eta_{cool} \quad [11]$$

$$V_{water} = E_g / (C_p \times \Delta T) \quad [12]$$

$$E_g = Q_g \times t \quad [13]$$



รูปที่ 17 ค่าเฉลี่ยรังสีแสงอาทิตย์ของจังหวัดเชียงใหม่

จากสมการจะเห็นได้ว่าเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนควรมีขนาดไม่น้อยกว่า 8.33 ตัน ความเย็นหรือ 29.28 kW เนื่องจากเครื่องทำความเย็นแบบดูดซับขนาดเล็กยังอยู่ในการพัฒนา จึงพิจารณาใช้ขนาดที่ใหญ่ขึ้นเป็น 10 ton หรือ 35 kW โดยเครื่องทำความเย็นที่เลือกใช้ต้องการความร้อนป้อนเข้า 171,400 Btu/hr (14.28 ton) หรือ 50.18 kW และสำหรับการศึกษานี้กำหนดให้ตัวเก็บรังสีมีประสิทธิภาพเป็น 60% จากค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปีของจังหวัดเชียงใหม่ 503.54 W/m<sup>2</sup> โดยเลือกใช้ถึงน้ำร้อนที่มีการสูญเสียความร้อนของท่อนำความร้อนและถังเก็บความร้อนที่ 3.76% จึงต้องการตัวรับรังสีขนาด 175.44 m<sup>2</sup> จำนวน 43 ชุด (1 ชุด มีขนาด 4.08 m<sup>2</sup>) คิดเป็นพื้นที่ 45% ของพื้นที่หลังคา

ขนาดของเครื่องส่งลมเย็นจากขนาดของเครื่องทำความเย็นที่มีกำลังผลิตได้ 120,000 Btu/hr และมีค่าการสูญเสียความร้อนในท่อเทียบกับความร้อนที่เครื่องทำความเย็นต้องการ 3.97% ส่งผลให้ขนาดเครื่องส่งลมเย็นมีขนาด 125,000 Btu/hr ใช้ทั้งหมด 3 ชุด (ใช้เครื่องส่งลมเย็นขนาด 37,100 Btu/hr)

ขนาดของหอบระบายความร้อน เมื่อความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกเป็น 291,400 Btu/hr และประสิทธิภาพของหอบระบายความร้อนเป็น 85% จะต้องใช้ขนาด 342,823.5 Btu/hr (28.5 ton) จึงเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีขนาด 30 ton ปริมาณน้ำที่จะใช้ในระบบเป็น 9 ชั่วโมงต่อวัน จะเป็นปริมาณน้ำ 6,913 liter/day ดังนั้น จึงใช้น้ำร้อนขนาด 3.6 m<sup>2</sup> จำนวน 2 ถัง

ทั้งนี้ หากมีปริมาณรังสีอาทิตย์ไม่พอเพียงจะใช้พลังงานเสริมเป็นก๊าซ LPG ทดแทน

## 5. การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์

### 1. เงื่อนไขการเปรียบเทียบ

เพื่อทำการเปรียบเทียบผลจากการลงทุนใช้อุปกรณ์พลังงานทดแทนจึงแบ่งกรณีเปรียบเทียบ ดังนี้

- กรณี A อาคารอ้างอิงไม่มีแผงกันแดด
- กรณี B อาคารอนุรักษ์พลังงาน
- กรณี C อาคารอนุรักษ์พลังงานที่ใส่ฉนวนผนัง
- กรณี D ใช้แสงธรรมชาติและเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้การออกแบบอาคารกรณี C
- กรณี E ใช้แสงธรรมชาติและเลือกใช้ระบบปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้การออกแบบอาคารกรณี C

อากาศพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้การออกแบบอาคารกรณี C

### 2. การประเมินการลงทุน

จากการประเมินราคาในท้องตลาด สามารถสรุปได้คือ

- ระบบปรับอากาศกรณีเงื่อนไข A ราคา 213,797 บาท
- ระบบปรับอากาศกรณีเงื่อนไข B ราคา 118,998 บาท
- ใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเทคโนโลยีผลึกผสม เนื่องจากใช้พื้นที่น้อยกว่าเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอน ราคา 220,800 บาท และระบบปรับอากาศ 118,998 บาท รวมเป็น 339,798 บาท
- ระบบปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ 4,664,640 บาท และระบบปรับอากาศ 118,998 บาท รวมเป็น 4,783,638 บาท
- ระบบกรอบอาคารกรณี A เป็น 144,875 บาท และระบบกรอบอาคารกรณี C (ใส่ฉนวนผนัง) เป็น 161,420 บาท

### 3. ผลประโยชน์จากการใช้พลังงานทดแทน

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กรณีติดตั้งเป็นแผงกันแดดสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศได้ทั้งหมด ส่วนระบบปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์นั้น อาจจะต้องใช้พลังงานเสริม เช่น ก๊าซ LPG ในช่วงที่น้ำร้อนอุณหภูมิต่ำเกินไป ดังนั้น จึงคิดเป็นรายจ่ายที่ประหยัดได้ในระบบปรับอากาศ และยังสามารถลดการใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่างได้อีกด้วย

### 4. สรุปเงื่อนไขการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

โดยพิจารณา Discount rate เป็น 8% และมีอายุโครงการที่ 25 ปี

ตารางที่ 2 สรุปการลงทุนและผลประโยชน์รายปี

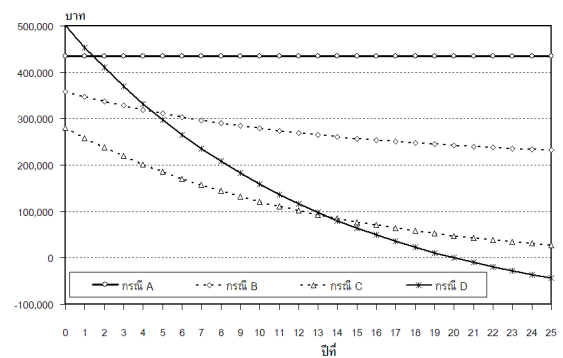
กรณี	ลงทุนระบบ	ประโยชน์จากการประหยัด
A	434,280	0
B	358,672	11,870
C	280,418	23,697.00
D	501,218	51,045.00
E	4,945,058	51,045.00

$$Pa = F / (1+d)^y \quad [7]$$

$$NPV = \sum (PVB-PVC) \quad [8]$$

### 5. ผลการประเมิน

จากการประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ ด้วยการประเมินค่าระยะเวลาการคืนทุน (Payback period) และผลกำไรหลังการคืนทุน พบว่า



รูปที่ 18 ส่วนประกอบของระบบปรับอากาศแสงอาทิตย์

หมายเหตุ เงื่อนไขกรณี E มีต้นทุนที่สูงมากจึงไม่ถูกนำมาเปรียบเทียบในรูปที่ 18



- มีเพียงกรณีเดียวที่มีการคืนทุน คือกรณี D ในปี 16 และมีผลกำไร 18,753 บาท
- การใช้ระบบปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์มีต้นทุนสูงมากจนเกินไปจึงไม่สามารถคืนทุนได้
- การออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานเพียงอย่างเดียวสามารถประหยัดพลังงานได้กว่า 30% แต่การใช้พลังงานทดแทนสามารถชดเชยและอาจมากพอใช้ทดแทนสำหรับกิจกรรมอื่น ๆ ด้วย

## 6. สรุปผลและเสนอแนะ

จากกรณีศึกษาดังกล่าวเป็นพื้นที่อาคารสำนักงานของโครงการศูนย์การเรียนรู้พลังงานทดแทน เมื่อมีการออกแบบผ้านระบบอุปกรณ์พลังงานทดแทนบนพื้นฐานของการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานแล้ว การเลือกติดตั้งแผงกันแดดที่ผ้านระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นการใช้พลังงานจากรังสีอาทิตย์สำหรับแสงสว่างภายในอาคาร การป้องกันความร้อน และผลิตกระแสไฟฟ้า จะมีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การติดตั้งฉนวนผนังเพียงอย่างเดียว หรือการเลือกใช้ระบบปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

แต่เนื่องจากระบบดังกล่าวยังอยู่ในระหว่างการพัฒนาความน่าจะเป็นเป็นเพียงแค่การคำนวณจากแบบจำลองคณิตศาสตร์เบื้องต้นเท่านั้น

## สัญลักษณ์

DF	คือ สัมประสิทธิ์แสงสว่างภายใน	
$E_i$	คือ ความสว่างภายในอาคารบนระนาบใช้งาน	; lux
$E_o$	คือ ความสว่างภายนอกอาคารกรณีไม่มีสิ่งบดบัง	; lux
$\eta_{(p-Si)}$	คือ ประสิทธิภาพแผงเซลล์ประเภทผลึกผสม	
$\eta_{(a-Si)}$	คือ ประสิทธิภาพแผงเซลล์ประเภทอมอร์ฟัสซิลิคอน	
$G_{Tt}$	คือ ค่ารังสีอาทิตย์รวมบนระนาบ	; $W/m^2$
$T_{amb}$	คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	; $^{\circ}C$
ACC	คือ ขนาดเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน	
$Q_{CL}$	คือ ภาระการทำความเย็นของห้องปรับอากาศ	; Btu/hr
$COP_{Chiller}$	คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน	
$A_{coll}$	คือ ขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์	; $m^2$
$Q_g$	คือ ความร้อนที่เครื่องทำความเย็นต้องการ	; Btu/hr
$\eta_{coll}$	คือ ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์	
$G_T$	คือ ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี	; $W/m^2$
$PQ_{thloss}$	คือ ความร้อนสูญเสียในท่อนำความร้อนและถังเก็บ	; %
$Q_{fancoil}$	คือ ขนาดของเครื่องส่งลมเย็น	; Btu/hr
$PQ_{CLP}$	คือ ความเย็นสูญเสียในท่อนำความร้อนและถังเก็บ	; %
$Q_e$	คือ กำลังความเย็นที่เครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนทำได้	; Btu/hr
$Q_{CT}$	คือ ความร้อนที่ต้องการถ่ายเท	; Btu/hr
CTC	คือ ขนาดเครื่องระบายความร้อน	; Btu/hr
$\eta_{cool}$	คือ ประสิทธิภาพของเครื่องระบายความร้อน	
$V_{water}$	คือ ปริมาณน้ำ	; kg
$C_p$	คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำ	4.28 kJ/kg-K
$\Delta T$	คือ อุณหภูมิ	; K
$E_g$	คือ พลังงานความร้อนที่เครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนใช้ตลอดวัน	; Btu/hr
t	คือ ช่วงเวลาปรับอากาศต่อวัน	; hr
$P_a$	คือ ค่าเงินในปัจจุบัน	; Baht
F	คือ ค่าเงินในอนาคต	; Baht
d	คือ อัตราส่วนลด	
y	คือ ปีที่	
NPV	คือ มูลค่าผลประโยชน์สุทธิ	; Baht
BPV	คือ มูลค่าผลประโยชน์	; Baht
CPV	คือ มูลค่าใช้จ่าย	; Baht

## References

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน และวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนครสวรรค์. (2552). *โครงการศึกษาศักยภาพการผลิตและการใช้ระบบทำความเย็นด้วยพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์*.  
 นภัทร วัจนเทพินท์. (2553). *การติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยตนเอง*. ปทุมธานี: สกายบุ๊กส์.  
 Egan, M. D., & Olgay, V. W. (2002). *Architectural lighting*. Boston: McGraw-Hill.  
 Stein, B., & Reynolds, J. S., Grondzik, W. T., & Kwok, A. G. (1992). *Mechanical and electrical equipment for buildings* (7<sup>th</sup> ed.). New York: John Wiley & Sons.