

# การเพิ่มสมรรถนะช่องแสงด้านข้างด้วยแผงกันแดดที่ผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์

## Increased Performance of Side Windows from an Integrated Photovoltaic Shading Device System

ยุทธนา ทองท้วม

Yuttana Tongtuam

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Faculty of Architecture, Chiangmai University

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

### บทคัดย่อ

บทความนี้ต้องการนำเสนอการเพิ่มสมรรถนะของช่องแสงด้านข้างเพื่อประหยัดพลังงานรวมของอาคาร โดยทำการประเมินด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดสอบตามหลักการหาค่าสัมประสิทธิ์แสงสว่าง ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด และค่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงกลางแจ้ง จากการศึกษา พบว่า เมื่อติดตั้งแผงกันแดดที่ผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับช่องแสงด้านข้างในทิศตะวันออกเฉียงใต้ หรือทิศใต้ หรือทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยทำมุม 120 องศาับระนาบผนังด้านบน สามารถลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้กว่าร้อยละ 85 ประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากระบบแสงสว่างได้กว่าร้อยละ 70 และสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าสะอาดเพื่อทดแทนพลังงานที่เหลืออยู่ได้

### Abstract

This paper was about increasing the performance of side windows in order to decrease energy consumption in Thai buildings. To evaluate, mathematical models from experimental methods were used to assess the daylight factor, shading coefficient of diffuse radiation, and efficiency of PV system under outdoor conditions. The study showed that when the Integrated Photovoltaic Shading Device system was installed on the Southeast, South, or Southwest of the building with a 120 degrees slope down from the vertical plane, the solar heat gain and the energy usage of the lighting system could be reduced by 85% and 70% respectively, and clean electrical energy created to substitute the remaining energy.

### คำสำคัญ (Keywords)

สมรรถนะ (Performance)

ช่องแสงด้านข้าง (Side Window)

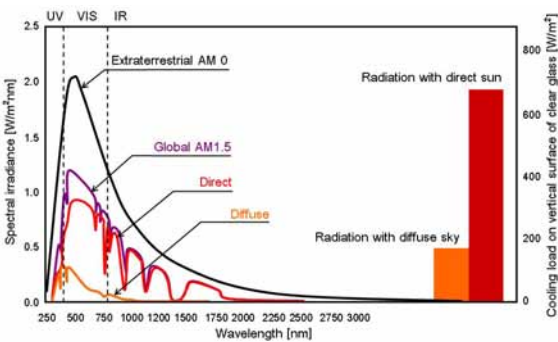
แผงกันแดดที่ผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Shading Device Integrated with Photovoltaic System)

# 1. ความเป็นมาและปัญหา

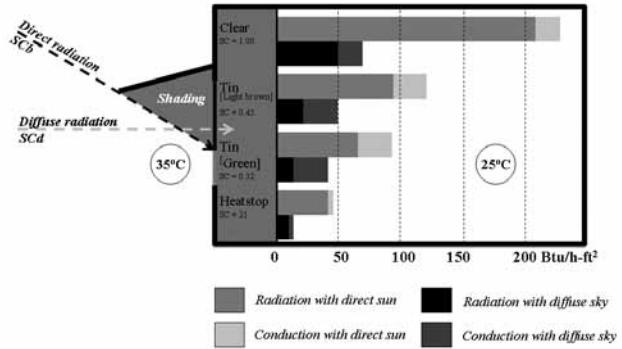
## 1.1 การใช้แสงธรรมชาติจากช่องแสงด้านข้าง

แสงธรรมชาติเป็นอีกหนึ่งแหล่งพลังงานที่มีอยู่มากมาย สะอาด และไม่มีวันหมด การใช้แสงธรรมชาติในอาคารยังมีส่วนช่วยให้การใช้แสงประดิษฐ์ เช่น หลอดไฟฟาลดน้อยลงอีกด้วย หรือก็คือการลดการใช้พลังงานนั่นเอง ซึ่งโดยปกติแล้วแสงกระจายจากท้องฟ้ามีความส่องสว่างถึง 10,000–30,000 lux และกว่า 100,000 lux สำหรับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ในขณะที่ความต้องการแสงสว่างภายในอาคารสำหรับพื้นที่ที่เป็นกิจกรรมทั่วไปต้องการอยู่ที่ 300–500 lux (Stein, Grondzik & Kwok, 1992) หรือประมาณ 2–3% ของความส่องสว่างนอกอาคารเท่านั้น จากสัดส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ทำให้เกิดการมองเห็น (VIS) นั้น มีสัดส่วนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับรังสีอาทิตย์ในช่วงอินฟราเรด (IR) ที่มีผลต่อความร้อน ซึ่งการเลือกใช้กระจกก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดการส่งผ่านของรังสีอาทิตย์ในช่วงที่ไม่ต้องการได้ สำหรับข้อจำกัดการใช้แสงธรรมชาติในอาคารอาจสรุปได้เป็น 3 ประเด็น คือ

- 1) มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงที่กว้างตลอดทั้งวัน และใช้ได้เฉพาะในช่วงกลางวันเท่านั้น
- 2) ระดับแสงสว่างจะมากบริเวณใกล้ช่องแสง และจะลดระดับลงอย่างรวดเร็วเมื่อห่างออกไป
- 3) เกิดความร้อนและการเสื่อมสลายทำลายผิววัสดุต่าง ๆ เนื่องจากรังสีในช่วงอินฟราเรด (IR) และรังสีในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ตามลำดับ



รูปที่ 1 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์ ข้อมูลโดย ASTM G173-03 จากการใช้ SMARTS v.2.9.2. (RReDc, 2012) และสัดส่วนของค่าการทำความเย็นเปรียบเทียบระหว่างรังสีอาทิตย์ตรงกับรังสีกระจายจากท้องฟ้า



รูปที่ 2 ความร้อนเนื่องจากแสงธรรมชาติที่ส่งผ่านทางช่องแสงด้านข้าง (สุนทร บุญญาริกการ, 2547)

## 1.2 ความร้อนจากการใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงด้านข้างและแสงประดิษฐ์จากหลอดไฟ

ความร้อนที่เกิดขึ้น เนื่องมาจากแสงสว่างเมื่อมีการใช้งานจาก 2 แหล่งหลัก ได้แก่ แหล่งความร้อนจากแสงธรรมชาติที่ผ่านเข้ามาทางช่องแสงด้วยวิธีนำความร้อนและแผ่รังสีความร้อน อีกแหล่งมาจากแสงประดิษฐ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปพลังงานที่ไม่สมบูรณ์ของหลอดไฟฟ้า

จากรูปที่ 2 ในกรณีกระจกใส (SC = 1.00) พบว่าสัดส่วนของพลังงานเนื่องจากรังสีกระจายที่ส่งผ่านช่องแสงเข้ามาถึงหนึ่งโหล่งของรังสีอาทิตย์ตรง และมีสัดส่วนลดลง เนื่องจากคุณสมบัติของกระจกที่เปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้ รังสีอาทิตย์ตรงสามารถป้องกันได้โดยใช้แผงกันแดด แต่ก็ไม่สามารถป้องกันรังสีกระจายได้อย่างสมบูรณ์

ในกรณีของหลอดไฟฟ้านั้นอาจพิจารณาที่ประสิทธิภาพความส่องสว่างโดยคำนวณจากค่าลูเมนต่อวัตต์ ดังตัวอย่างตามตารางที่ 1 ทั้งนี้ ค่าลูเมน คือ ปริมาณแสงที่ปล่อยออกมาจากหลอดไฟฟ้า ส่วนวัตต์คือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการกำเนิดแสง ถ้าสัดส่วนดังกล่าวมากก็ยิ่งดีต่อการประหยัดพลังงาน หรือก็คือการเปลี่ยนรูปพลังงานเป็นแสงสว่างได้มาก ในขณะที่เปลี่ยนรูปเป็นความร้อนน้อยลง

ดังนั้น เมื่อมีการใช้แสงสว่างเกิดขึ้นภายในพื้นที่ปรับอากาศก็จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นด้วย การออกแบบช่องแสงเพื่อการประหยัดพลังงานจึงเป็นการหาความเหมาะสมของการสร้างสมดุลระหว่างปริมาณแสงสว่างธรรมชาติกับภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศและภาระจากการใช้ระบบแสงสว่าง โดยการออกแบบแผงกันแดดที่เหมาะสม

## 2. กระบวนการศึกษาและประเมินผล

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประโยชน์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบของแผงกันแดด ด้วยการประเมินค่าสมรรถนะหรือประโยชน์จากการประหยัดพลังงาน ซึ่งคำนวณจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสุทธิเฉลี่ยรายเดือนของระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

**ขั้นที่ 1** ดำเนินการกำหนดตัวแปรเพื่อทำนายค่า

**ขั้นที่ 2** ตั้งอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลสำหรับการทดสอบหาค่า DF เพื่อทำนายระดับแสงสว่างภายในอาคาร ค่า SC ของแผงกันแดดเพื่อทำนายภาระการทำความเย็น และค่าประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อทำนายการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

**ขั้นที่ 3** สร้างสมการความสัมพันธ์เพื่อทำนายค่า

**ขั้นที่ 4** ป้อนค่าสำหรับการคำนวณด้วยฐานข้อมูลและเงื่อนไขการติดตั้งแผงกันแดดและช่องแสงด้านข้าง

**ขั้นที่ 5** คำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศเฉพาะส่วนกระจก และระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

**ขั้นที่ 6** ประเมินค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าสุทธิเฉลี่ย

รายเดือนตลอดปี เพื่อแสดงถึงสมรรถนะของแผงกันแดดที่ต้องการศึกษา เนื่องจากความแตกต่างของรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือน มีผลต่อการใช้พลังงานที่ต่างกัน ทั้งนี้จะเปรียบเทียบกับการใช้แผงกันแดดที่ไม่ได้ประสานระบบเซลล์แสงอาทิตย์ จากเงื่อนไขการออกแบบที่มีขนาดห้องที่แตกต่างกัน ทิศทางของช่องแสง และมุมเอียงของแผงกันแดด

## 3. การวิเคราะห์ข้อมูลและทำนายการใช้ไฟฟ้า

### 3.1 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้แสงธรรมชาติร่วม

#### 1) แสงสว่างจากท้องฟ้า (sky luminous)

แสงสว่างเป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สายตามนุษย์สามารถตอบสนองได้ ซึ่งในกรณีของแสงธรรมชาติจะเรียกอัตราส่วนของปริมาณแสงสว่างที่สายตามนุษย์สามารถตอบสนองได้ต่อปริมาณพลังงานของรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (ประมาณ 300-3,000 nm) ว่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง ซึ่งมีหน่วยเป็นลูเมนต่อวัตต์ (lm/W) หรือค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างจากท้องฟ้า (luminous efficacy) โดยที่ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างนั้นจะขึ้น



รูปที่ 3 กระบวนการศึกษา

กับลักษณะของสเปกตรัมของรังสีอาทิตย์ในขณะนั้น ซึ่งเป็นผลมาจากสภาวะทางอุตุนิยมวิทยาของบรรยากาศ ประสิทธิภาพการส่องสว่างจะมีประโยชน์ในการคำนวณหาปริมาณแสงสว่างที่อยู่ในรูปของความส่องสว่าง หรือ ค่าอิลูมิแนนซ์ (Illuminance) โดยอาจสรุปค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างในแต่ละเงื่อนไขของแหล่งกำเนิดแสงได้ดังนี้

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการส่องสว่างในแต่ละเงื่อนไข (Ecotect Community WIKI, 2012)

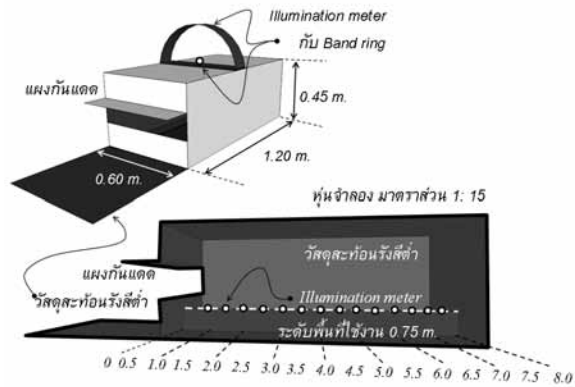
แหล่งกำเนิดแสง	Efficacy (lumens/Watt)
Direct Sun (low altitude)	90
Direct Sun (high altitude)	117
Direct Sun (mean altitude)	100
Diffuse Sky (clear)	150
Diffuse Sky (average)	125
Global (average of sky and sun)	115
Fluorescent (40 w, CWX)	50-80

### 2) สัมประสิทธิ์แสงสว่าง (Daylight Factor)

การศึกษาค่าตัวแปรสัมประสิทธิ์แสงสว่างสำหรับช่องแสงที่มีการใช้แผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ อาศัยวิธีการทดสอบด้วยหุ่นจำลอง แสดงตามรูปที่ 4 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์แสงสว่างจากท้องฟ้า (Sky Component: SC) ที่ระยะต่าง ๆ รวมกับค่าสัมประสิทธิ์แสงสว่างภายในห้อง (Internally Reflected Component: IRC) ที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ [3] และ [4] (Egan & Olgyay, 2002) ทั้งนี้ไม่รวมค่าสัมประสิทธิ์แสงสว่างจากสภาพแวดล้อมภายนอกห้อง (Externally Reflected Component: ERC)

### 3) การทดสอบค่า Daylight Factor (DF)

ทำการทดสอบด้วยเงื่อนไขห้องฟ้าแบบแจ่มใส (Clear sky) เฉพาะในส่วนของรังสีกระจาย เนื่องจากรังสีตรงถูกป้องกันด้วยแผงกันแดด โดยทำการเก็บข้อมูลภายนอกและภายในหุ่นจำลอง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4 ทั้งนี้ สำหรับแผงกันแดดที่มีระยะยื่น (W/H) เป็น 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 m.



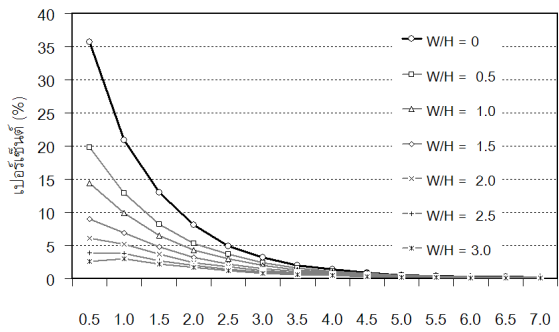
รูปที่ 4 อาคารจำลองที่ทำการศึกษาระเบียงแสงสว่างขนาดอัตราส่วน 1:15

$$DF = E_{in} / E_{out} \quad [1]$$

$$DF = SC + IRC + ERC \quad [2]$$

$$IRC = 0.85A_w(C\rho_{FW} + 5\rho_{CW})MF/A_{tot}(1 - \rho_{av}) \quad [3]$$

โดย  $C = 40 - (\theta_w/2) \quad [4]$



รูปที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์แสงสว่าง (DF) จากการทดสอบ

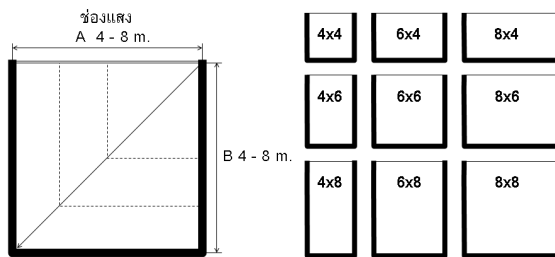
จากการทดสอบ พบว่า เมื่อมีการปรับระยะยื่นของแผงกันแดด จะมีผลให้ความสว่างบนพื้นที่ใช้งานลดลง และลดลงมากขึ้นเมื่อมีระยะห่างจากช่องแสงมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5 และจะสังเกตได้ว่าการใช้แผงกันแดดป้องกันรังสีอาทิตย์ตรง ที่มีระยะยื่นไม่เกิน 3.00 เมตร จะสามารถใช้แสงธรรมชาติโดยมีระยะห่างจากช่องแสงประมาณ 1.5 เมตร (DF > 2%) และมีระยะมากขึ้นเมื่อแผงกันแดดสั้นลง

### 4) การออกแบบระบบแสงประดิษฐ์

เพื่อเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานจากการใช้หลอดไฟฟ้าจึงพิจารณาออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างของห้องที่มีขนาดกว้าง 4-8 m. ลึก 4-8 m. และสูง 3 m. ทั้งหมด 9 รูปแบบ ดังแสดงในภาพที่ 6 คำนวณโดยใช้วิธีลูเมน (Lumen Method) ด้วยสมการที่ (5) และ

(6) (Egan & Olgyay, 2002) ในการกำหนดจำนวนหลอดไฟฟ้าที่จะใช้ในแต่ละห้อง ดังแสดงในตารางที่ 2

โดยดวงโคม 1 ชุด ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 จำนวน 1 หลอด บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ติดตั้งกับโคมชนิดปีกค้างคาว (bilateral batwing distribution louvered fluorescent unit) รวมมีกำลังไฟฟ้า 32 W มีปริมาณแสง 2,580 lumen ใช้ค่าการสูญเสียรวม LLF เป็น 0.86 ออกแบบที่ระดับความสว่างขั้นต่ำ 300 lux



รูปที่ 6 ผังพื้นระบบการจัดหลอดไฟฟ้า

$$F = E \times A / (CU \times LLD \times LDD) \quad [5]$$

$$CR = 5 \times h_c [(L + W) / (L \times W)] \quad [6]$$

ค่า CU อ่านค่าจากตารางจากค่า CR  
(Stein et al., 1992)

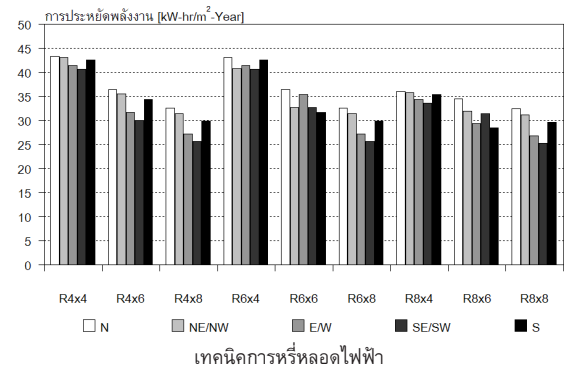
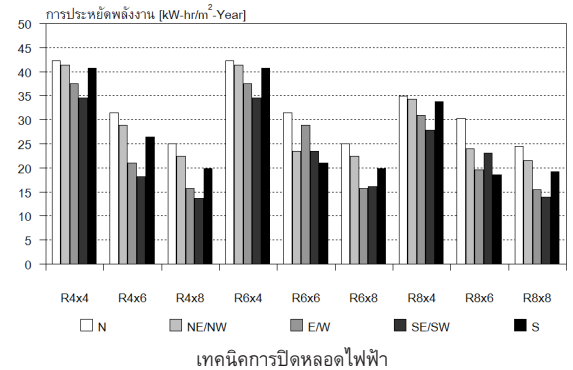
ตารางที่ 2 แสดงจำนวนหลอดไฟฟ้าของแต่ละแบบห้อง

ขนาดห้อง A x B	ตามระยะ A	ตามระยะ B	รวม
R 4x4	2 โคม	3 โคม	6
R 4x6	2 โคม	4 โคม	8
R 4x8	2 โคม	5 โคม	10
R 6x4	3 โคม	3 โคม	9
R 6x6	3 โคม	4 โคม	12
R 6x8	3 โคม	5 โคม	15
R 8x4	5 โคม	2 โคม	10
R 8x6	5 โคม	3 โคม	15
R 8x8	5 โคม	4 โคม	20

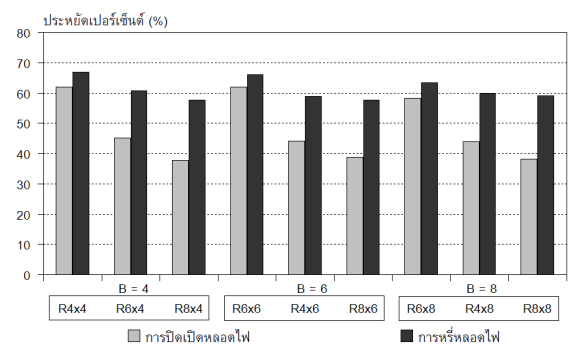
### 5) การใช้เทคนิคควบคุมแสงสว่าง

จากผลการประเมินเมื่อมีการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคารที่ระดับความต้องการความส่องสว่างบนพื้นที่ใช้งานไม่น้อยกว่า 300 lux มีผลให้ไม่จำเป็นต้องเปิดหลอดไฟฟ้าบางส่วน จึงเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากการใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง พบว่า เทคนิคการปิดเปิดหลอดไฟสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 28-69%

ส่วนเทคนิคการหรี่แสงสว่างสามารถประหยัดพลังงานได้ 52-73% ทั้งนี้ ใช้ได้ผลดีกับกรณีในห้องมีความลึก ซึ่งเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนเมื่อเทียบกับกรณีที่ควบคุมโดยการปิดเปิดหลอดไฟ แสดงให้เห็นในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การประหยัดไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง



รูปที่ 8 เปอร์เซนต์ประหยัดไฟฟ้าโดยเทคนิคการควบคุมแสง

### 3.2 ระบบปรับอากาศ

ภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นภายในห้อง ได้แก่ ภาระความร้อนผ่านเปลือกอาคาร ได้แก่ ผนัง หลังคา พื้น และช่องแสง ภาระเนื่องจากแหล่งความร้อนความชื้นภายในห้อง และภาระจากอากาศร้อนชื้นที่รั่วไหลเข้าสู่ภายในห้อง การใช้อุปกรณ์บังแดดเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ลดความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านเปลือกอาคาร ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลให้ระบบปรับอากาศทำงานหนัก โดยที่การศึกษานี้ได้พิจารณาใช้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ (Coefficient of Performance: COP) เป็น 3.22 ซึ่งถูกกำหนดไว้โดยพระราชบัญญัติตามมาตรฐานขั้นต่ำของเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กสำหรับอาคารประหยัดพลังงาน (ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน, 2555)

#### 1) การหาค่าภาระการทำความเย็นผ่านช่องแสงด้านข้าง

สำหรับการประเมินภาระการทำความเย็นจะพิจารณาเฉพาะในส่วนของค่าความร้อนที่ผ่านช่องแสง และจากหลอดไฟฟ้าด้วยวิธี CLTD/CLF นำเสนอโดย ASHREA (1989) ดังสมการที่ [7]–[9] ตามลำดับดังนี้

$$q_{Con} = U \times A \times CLTD \quad [7]$$

$$q_{Rad} = SHGC \times SC \times A \times SHGF \quad [8]$$

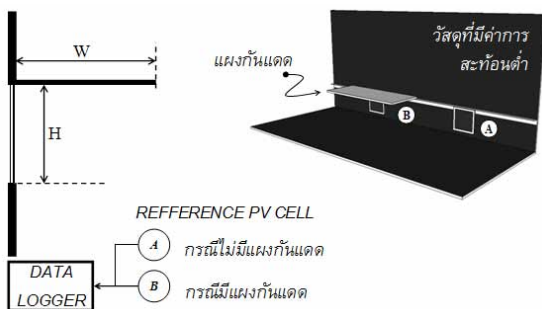
$$q_{Rad} = P_L \times CLF \quad [9]$$

$$E_e = (q_{Con} + q_{Rad}) / COP \quad [10]$$

#### 2) การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด

(Shading coefficient: SC) เฉพาะรังสีกระจาย

โดยการเปรียบเทียบค่ารังสีอาทิตย์กระจายที่ตกกระทบบนระนาบที่มีแผงกันแดดขนาดต่าง ๆ ต่อระนาบที่ไม่มีแผงกันแดด ทั้งนี้ พิจารณาเฉพาะกรณีรังสีกระจายจากท้องฟ้าเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 9 สำหรับแผงกันแดดที่มีขนาด 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 m.



รูปที่ 9 อาคารจำลองที่ทำการศึกษาเชิงความร้อนมาตราส่วน 1:15

ผลจากการศึกษาด้วยการทดสอบ (ยูทมนา ทองท่วม และนิพนธ์ เกตุจ้อย, 2554) โดยพิจารณาเฉพาะในส่วนของความร้อนที่ผ่านกระจกใสธรรมดา 6 mm. สรุปเป็นค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดรังสีกระจาย ( $SC_D$ ) ดังแสดงค่าในตารางที่ 3 ซึ่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดมีค่าลดลงสัมพันธ์กันตามระยะความยาวของแผงกันแดด

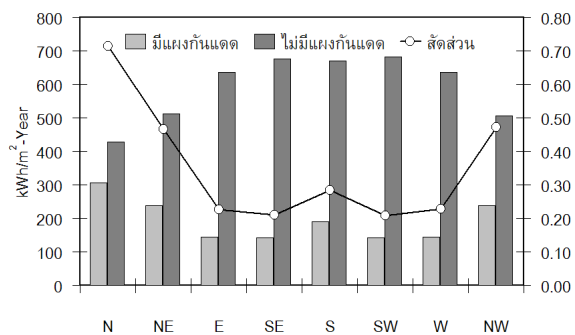
ตารางที่ 3 แสดงค่า W/H ของแผงกันแดดในแต่ละทิศ

ทิศ	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S
W/H	0.5	1.0	2.5	3.0	1.5
SCD	0.8	0.6	0.4	0.4	0.5

#### 3) ค่าภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

จากการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของช่องแสง โดยที่ออกแบบแผงกันแดดให้ยื่นยาวมีระยะ (W/H) แตกต่างกันไปในแต่ละทิศทางเพื่อให้สามารถป้องกันรังสีอาทิตย์ตรงได้อย่างสมบูรณ์ ดังแสดงค่าในตารางที่ 3

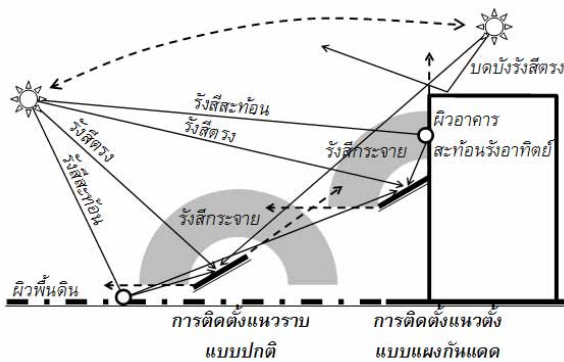
จากตารางที่ 3 พบว่า กรณีทิศตะวันออก/ตก ทิศตะวันออก/ตกเฉียงใต้ จะมีระยะแผงกันแดดยื่นมากที่สุด และจากรูปที่ 10 เมื่อทำการประเมินค่าภาระการทำความเย็น พบว่า ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตก สามารถลดภาระการทำความเย็นลงไปได้มากที่สุด เป็นสัดส่วนประมาณ 85%



รูปที่ 10 ค่าภาระการทำความเย็นเนื่องจากการใช้แผงกันแดดในแต่ละทิศทาง

### 3.3 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์

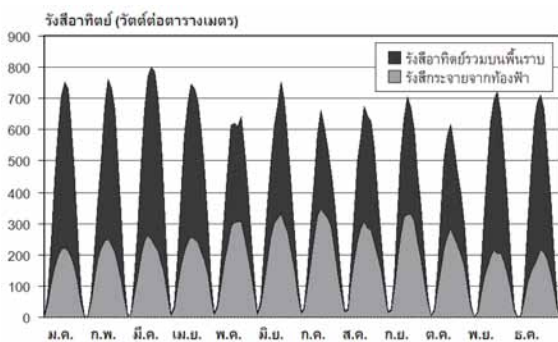
เนื่องจากการติดตั้งแผงกันแดดที่ผลานระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะที่ถูกเงาบังเนื่องจากตัวอาคารบนพื้นที่ผิวระนาบตั้ง ซึ่งจะแตกต่างจากการติดตั้งในลักษณะทั่วไปที่อยู่ในแนวราบ ดังแสดงในรูปที่ 11 การหาค่ารังสีอาทิตย์รวมบนระนาบเอียง หรือระนาบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น จะพิจารณาใช้สมการคำนวณที่มีการแยกองค์ประกอบเป็นรังสีอาทิตย์ตรง รังสีกระจาย และรังสีสะท้อนจากพื้นดินและผนังอาคาร



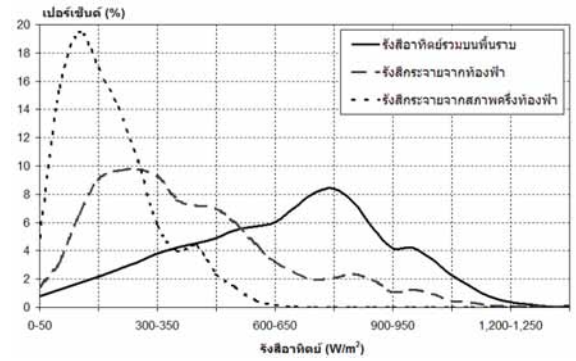
รูปที่ 11 ลักษณะการติดตั้งแผงเซลล์ทั้ง 2 กรณี

#### 1) ฐานข้อมูลรังสีอาทิตย์บนระนาบราบ

จากข้อมูลรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบ และรังสีกระจายวัดจากสถานีกรุงเทพมหานคร ปี 2552 โดยกรมอุตุนิยมวิทยา ดังรูปที่ 12 และรูปที่ 13 แยกพิจารณารูปแบบรังสีอาทิตย์เป็น 3 รูปแบบ คือ ค่ารังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบ ค่ารังสีกระจายจากท้องฟ้า (57%) และค่ารังสีกระจายจากสภาพครึ่งท้องฟ้า



รูปที่ 12 ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงพื้นที่กรุงเทพมหานคร ช่วงปี 2552 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2552)



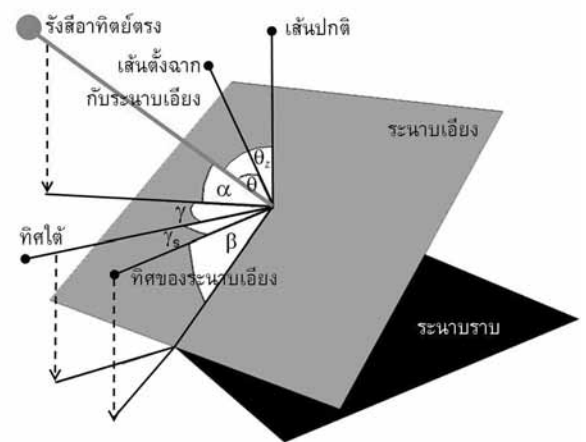
รูปที่ 13 ความถึงรังสีอาทิตย์ในแต่ละช่วงความเข้มรังสีอาทิตย์ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2552)

จากรูปที่ 13 พบว่า ค่ารังสีรวมบนพื้นราบกว่า 70% สูงกว่า 500 W/m<sup>2</sup> ในขณะที่ค่ารังสีกระจายส่วนใหญ่กว่า 70% ต่ำกว่า 500 W/m<sup>2</sup> และค่ารังสีกระจายจากสภาพครึ่งท้องฟ้าส่วนใหญ่ต่ำกว่า 300 W/m<sup>2</sup>

#### 2) องค์ประกอบของรังสีอาทิตย์

จากสมมติฐานอย่างง่ายที่ถูกนำเสนอโดย ฮอทเทิลและเวอร์ท (Duffie & Beckman, 1991) ในลักษณะท้องฟ้าแบบสมมาตร (isotropic sky) ซึ่งได้ถูกปรับปรุงเป็นสมการคำนวณ ดังสมการที่ (11)-(19) โดยหลุยและจอร์แดน (Duffie & Beckman, 1991) มี 3 องค์ประกอบคือ

- 2.1 รังสีตรง (Beam radiation component)
- 2.2 รังสีกระจาย (Diffuse radiation component)
- 2.3 รังสีสะท้อนจากพื้นดิน (Ground reflected radiation component)



รูปที่ 14 มุมสำคัญที่ใช้ในการคำนวณค่า (Duffie & Beckman, 1991)

$$G_{IT} = G_{bT} + G_{dT} + G_{gT} \quad (11)$$

$$G_{bT} = G_{DN} R_b \quad (12)$$

$$R_b = \cos\theta / \cos\theta_z \quad (13)$$

$$\cos\theta = \sin\delta \sin(\theta - \beta) + \cos\delta \cos\omega \cos(\phi - \beta) \quad (14)$$

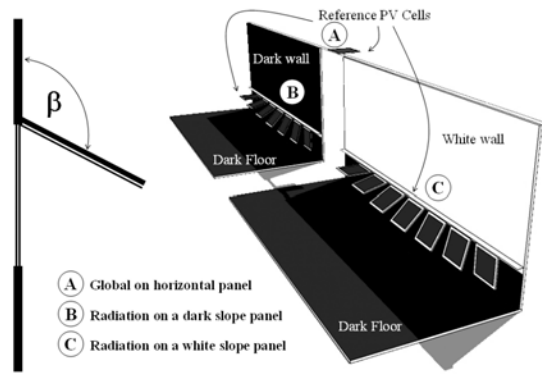
$$\cos\theta_z = \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \cos\omega \quad (15)$$

$$G_{dT} = G_d R_d \quad (16)$$

$$R_d = (1 + \cos\beta) / 2 \quad (17)$$

$$G_{gT} = \rho G_{DN} R_g \quad (18)$$

$$R_g = (1 - \cos\beta) / 2 \quad (19)$$



รูปที่ 15 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดสอบ

### 3) ค่ารังสีกระจายภายใต้สภาพครึ่งท้องฟ้า

จากลักษณะการติดตั้งแผงกันแดดผสมระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความแตกต่างจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 11 นั้นคือ ในช่วงวันสำหรับด้านทิศตะวันออกและตะวันตกนั้น แผงกันแดดจะไม่ได้รับรังสีตรงครึ่งวันอันเนื่องจากร่มเงาที่เกิดจากอาคาร และสำหรับด้านทิศเหนือและใต้ นั้น ก็ได้รับผลเนื่องจากการเปลี่ยนของมุมเดคลิเนชันที่มีการอ้อมไปทางทิศเหนือและใต้ในช่วงฤดูร้อนและหนาวของประเทศไทย ดังนั้น ไม่ว่าจะติดตั้งแผงกันแดดผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศทางใดก็จะได้รับผลของเงาอาคารเช่นกัน ในขณะที่รูปทรงของท้องฟ้าจะถูกแบ่งครึ่งโดยระนาบตั้งของอาคาร

ดังนั้น สำหรับการประมาณค่ารังสีอาทิตย์บนแผงกันแดดผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์ย่อมได้รับอิทธิพลเพียงครึ่งท้องฟ้าจากรังสีกระจายเท่านั้น

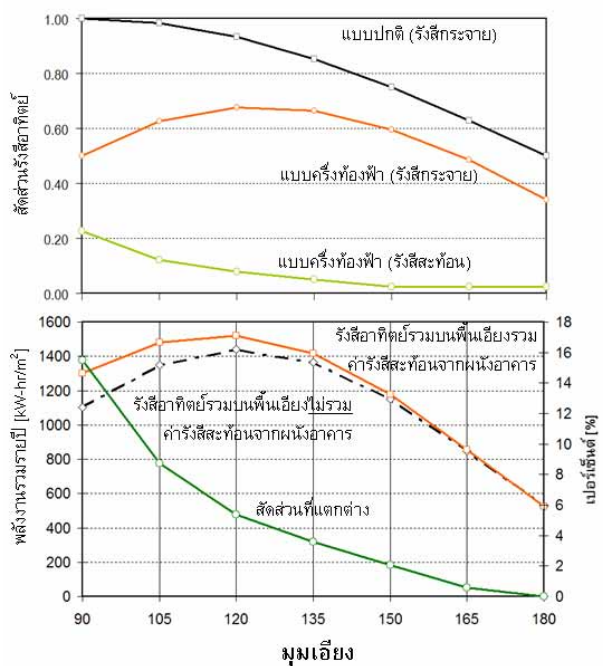
### 4) การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์รังสีกระจาย และรังสีสะท้อนจากผนังอาคารบนระนาบเอียงภายใต้สภาพครึ่งท้องฟ้า

การทดสอบได้ทำการเปรียบเทียบค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบเอียงที่แตกต่างกันในลักษณะที่มีการบังเงาแบบครึ่งท้องฟ้า ดังรูปที่ 15 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์รังสีกระจาย ( $R_D$ ) ได้ทำการเทียบค่าเป็นสัดส่วนระหว่างรังสีอาทิตย์กระจายที่ตกกระทบบนระนาบของแต่ละมุมเอียงต่อรังสีอาทิตย์กระจายที่ตกกระทบบนระนาบเอียงทำมุม 90 องศา กับผนัง โดยพิจารณากรณีที่ระนาบผนังใช้วัสดุสะท้อนรังสีต่ำ (สีดำด้าน) เพื่อลดอิทธิพลรังสีสะท้อน

และสำหรับสัมประสิทธิ์ค่ารังสีสะท้อนจากผนัง ( $R_p$ ) ได้ทำการเปรียบเทียบค่าเป็นสัดส่วนระหว่างรังสี

อาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบของแต่ละมุมเอียงบนผนังที่มีค่าการสะท้อนรังสีสูง (สีขาว) ต่อรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบเอียงทำมุมเดียวกันบนผนังที่มีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ (สีดำด้าน)

ผลจากการทดสอบและคำนวณค่ารังสีอาทิตย์รวมพบว่าระนาบเอียงทำมุม 120 องศา กับผนังด้านบนสามารถได้รับค่ารังสีอาทิตย์รวมสูงสุด ทั้งกรณีที่รวมและไม่รวมอิทธิพลของรังสีสะท้อนจากผนัง ที่แม้ว่าระนาบที่ทำมุมเอียงขนานกับพื้นราบ (90 องศา กับผนังด้านบน) จะได้รับอิทธิพลจากรังสีสะท้อนจากผนังมากที่สุดก็ตาม



รูปที่ 16 การเปรียบเทียบอิทธิพลของรังสีกระจายและรังสีสะท้อนจากผนังอาคารบนระนาบเอียง



5) การทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะใช้งานภายนอก (outdoor condition)

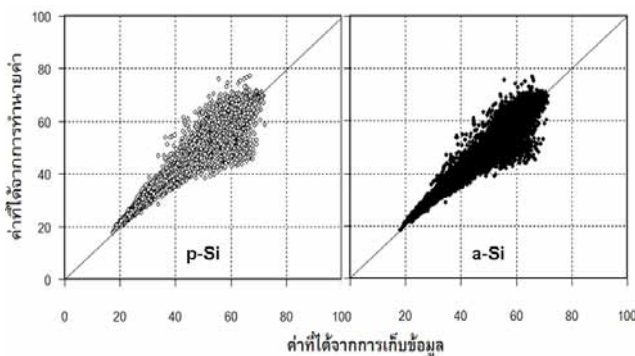
สำหรับในประเทศไทยซึ่งมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิและความชื้นที่สูง ย่อมมีผลต่อการลดลงของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพบว่าค่าอุณหภูมิแผงอาจสูงขึ้นไปกว่า 60°C หรือกว่า 35°C จากอุณหภูมิมาตรฐาน (Standard Test Conditions: STC) กำหนดที่ 25°C ซึ่งมีผลให้การผลิตกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพลดลง

จากการวิเคราะห์ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้า (I-V curve) ที่ได้จากการเก็บข้อมูลในแต่ละเดือนตลอดช่วงปี 2551 ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ นำมาหาค่าเฉลี่ยและประเมินค่าแบ่งตามช่วงของความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยกำหนดค่าอุณหภูมิแผงจากการใช้สมการ [20] และ [21] ที่ได้จากการเก็บข้อมูลตลอดช่วงปี 2551 ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทนเช่นกัน ทั้งนี้ พิจารณาที่ค่าอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยที่ 30°C

รูปที่ 17 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเปรียบเทียบระหว่างค่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการเก็บข้อมูลกับค่าที่ได้จากการทำนายค่า

$$T_{m_{p-Si}} = -3.16 + 0.0276 G_{Tt} + 1.20 T_{amb}; R^2 = 0.9477 \quad [20]$$

$$T_{m_{a-Si}} = -2.46 + 0.0268 G_{Tt} + 1.20 T_{amb}; R^2 = 0.9475 \quad [21]$$



รูปที่ 17 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิแผงเซลล์จากการเก็บข้อมูลกับค่าที่ได้จากการทำนาย

เนื่องด้วยสภาพการใช้งานในร่มเงาอาคาร แผงเซลล์จะได้รับรังสีอาทิตย์ในปริมาณที่ต่ำ แต่ค่าของอุณหภูมิแวดล้อมยังคงเท่ากับด้านที่ได้รับรังสีรวม ดังนั้น จึงแบ่งการประเมินค่าประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้เป็น 2 กรณี คือ

- 1) กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านที่รับรังสีตรง
- 2) กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านที่อยู่ในร่มเงาอาคาร

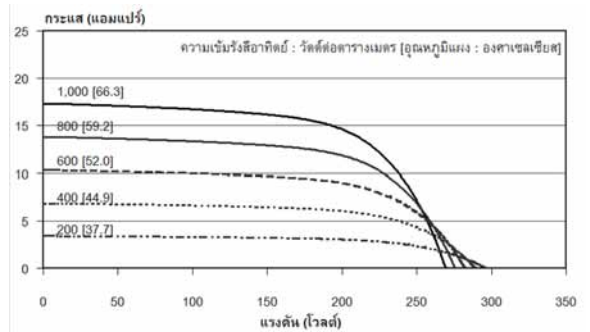
สำหรับกรณีปกตินี้ในด้านที่รับรังสีอาทิตย์ตรงสรุปได้เป็นสมการที่ [22] และ [23] ส่วนในกรณีที่ 2 สรุปได้เป็นสมการที่ [24] และ [25] จากรูปที่ 20 พบว่า ในช่วงรังสีอาทิตย์ 50-300 W/m<sup>2</sup> และอุณหภูมิแวดล้อมในช่วง 20-36°C ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แบบผลึกผสมซิลิคอน (10.75-11.65%) มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงที่กว้างกว่าเซลล์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอนที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่า (5.45-5.75%)

$$\eta_{p-Si} = 11.27 - 0.0010 G_{Tt}; R^2 = 0.9993 \quad [22]$$

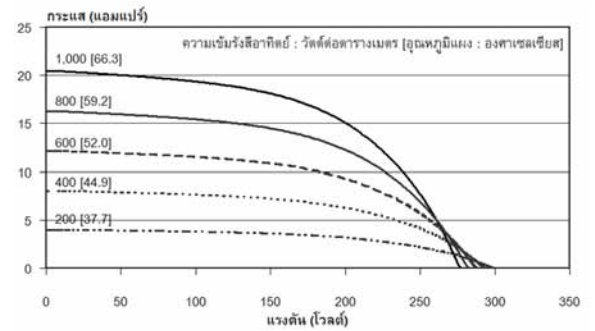
$$\eta_{a-Si} = 5.63 - 0.0004 G_{Tt}; R^2 = 0.9995 \quad [23]$$

$$\eta_{p-Si} = 12.47 - 0.0009 G_{Tt} - 0.04 T_{amb}; R^2 = 0.9993 \quad [24]$$

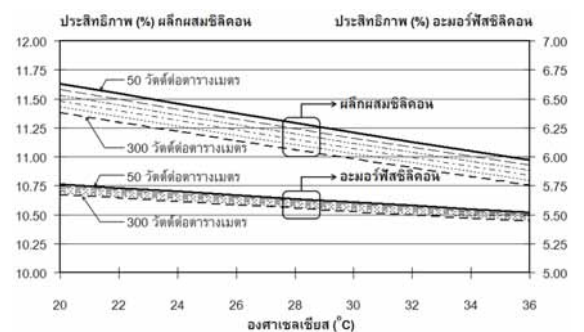
$$\eta_{a-Si} = 6.07 - 0.0003 G_{Tt} - 0.01 T_{amb}; R^2 = 0.9995 \quad [25]$$



รูปที่ 18 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์เทคโนโลยีผลึกผสมซิลิคอน



รูปที่ 19 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์เทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอน



รูปที่ 20 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องด้วยการเปลี่ยนแปลงของรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อม

6) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

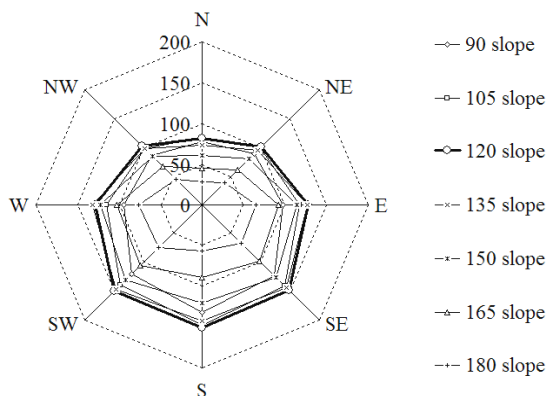
จากผลการศึกษาการเปลี่ยนรูปพลังงานจากรังสีแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยการใช้ฐานข้อมูลรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร ปี 2552 สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 ผลรวมการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี ของเทคโนโลยีผลึกผสมซิลิคอน (kWh/m<sup>2</sup>-Year)

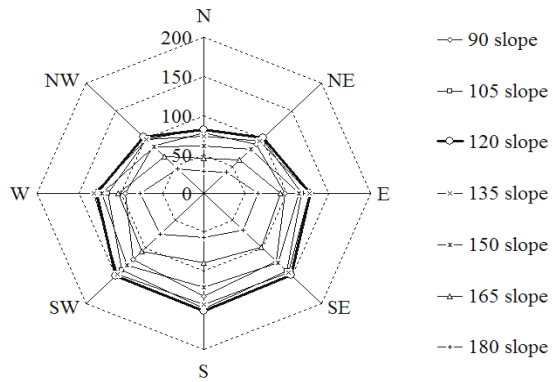
Direction	Slope ทำมุมกับผนังด้านบน						
	90	105	120	135	150	165	180
N	77.0	82.8	81.5	73.7	60.7	44.7	28.7
NE	88.7	99.1	101	94.4	79.9	60.3	39.1
E	97.5	117.1	127	126	114	91.9	64.5
SE	123	141.5	<b>149</b>	144	126	98.4	67.1
S	131	147.5	<b>151</b>	142	120	89.3	56.3
SW	120	139.6	<b>149</b>	147	131	105	74.1
W	93.7	115.2	129	132	123	103	76.4
NW	85.9	97.7	102	97.2	84.6	66.0	45.1

ตารางที่ 5 ผลรวมการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี ของเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอน (kWh/m<sup>2</sup>-Year)

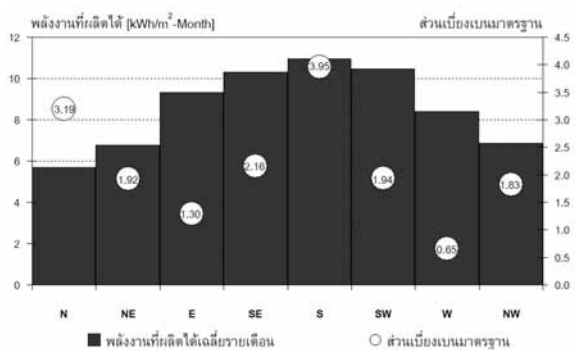
Direction	Slope ทำมุมกับผนังด้านบน						
	90	105	120	135	150	165	180
N	41.8	45.0	44.1	39.6	32.3	23.6	15.1
NE	48.5	54.3	55.3	51.5	43.2	32.2	20.7
E	53.5	64.9	71.1	70.8	63.6	50.7	35.1
SE	68.0	79.3	<b>84.2</b>	81.4	70.9	54.8	36.8
S	73.1	82.7	<b>85.0</b>	79.3	66.2	48.4	30.0
SW	66.4	78.1	<b>84.0</b>	82.5	73.3	58.3	40.7
W	51.4	63.7	71.7	73.7	68.6	57.2	42.1
NW	46.9	53.4	55.5	52.9	45.7	35.4	23.9



รูปที่ 21 การผลิตไฟฟ้ารายปีของเทคโนโลยีผลึกผสมซิลิคอน



รูปที่ 22 การผลิตไฟฟ้ารายปี ของเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอน



รูปที่ 23 ความสม่ำเสมอในการผลิตพลังงานรายเดือน

จากผลรวมการผลิตพลังงานรายปีต่อตารางเมตรพบว่า กรณีระนาบเอียง 120 องศา กับพื้นราบมีผลให้การผลิตพลังงานสูงที่สุด โดยติดตั้งหันไปในทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ เช่นกันทั้ง 2 เทคโนโลยี และจากรูปที่ 23 พบว่า ทิศเหนือและทิศใต้มีการผลิตพลังงานไม่ค่อยสม่ำเสมอ (ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) บางเดือนผลิตได้มาก บางเดือนน้อย ซึ่งสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่มีการอ้อมไปทางเหนือและใต้ตามฤดูกาล ในขณะที่การผลิตพลังงานเมื่อติดตั้งด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้และตะวันออกเฉียงใต้นั้นมีความสม่ำเสมอมากกว่า และผลิตพลังงานได้น้อยกว่าเล็กน้อยเพียง 5% เท่านั้น

4. การประเมินการใช้พลังงานสุทธิเฉลี่ยรายเดือน

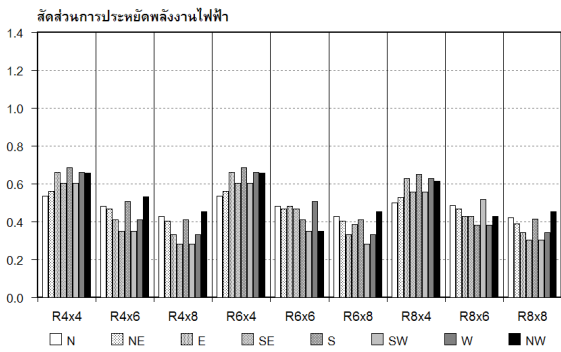
เนื่องด้วยเป็นการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของแผงกันแดดโดยการผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งประเมินจากค่าพลังงานสุทธิเฉลี่ยรายเดือน จากการเทียบประโยชน์ระหว่างแผงกันแดดที่ผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกรณีที่ไม่ผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์

**4.1 การประหยัดพลังงานของช่องแสงประกอบ  
แผงกันแดดที่ไม่ได้มาตรฐานระบบเซลล์แสงอาทิตย์**

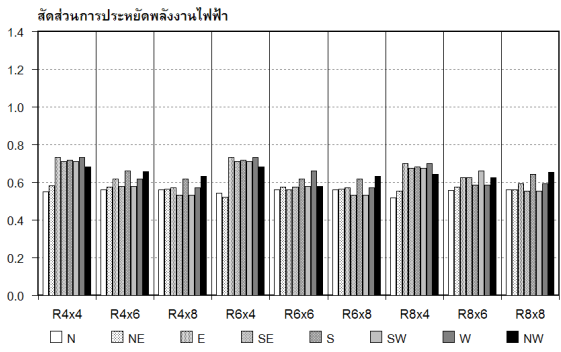
เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่  
ประหยัดได้ต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีแผง  
กันแดดและเปิดระบบไฟฟ้าแสงสว่างตลอดเวลาทำการ

1) กรณีที่ใช้เทคนิคการปิดเปิดหลอดไฟฟ้า พบ  
ว่า ห้องที่มีระยะลึก (B) ห่างจากช่องแสงน้อยกว่าจะ  
ประหยัดพลังงานได้มากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 24 ห้อง  
ที่ลึก 4 m. (R 4x4, R 6x4, R 8x4) โดยการหันไปทาง  
ด้านทิศใต้ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียง  
ใต้มีแนวโน้มประหยัดพลังงานได้ดีที่สุด

2) กรณีใช้เทคนิคการหรี่หลอดไฟฟ้า พบว่า มี  
ลักษณะการประหยัดพลังงานเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 25  
แต่จะประหยัดได้มากขึ้นสำหรับห้องที่มีความลึกเพิ่มขึ้น



รูปที่ 24 กรณีใช้เทคนิคการปิดเปิดหลอดไฟฟ้า

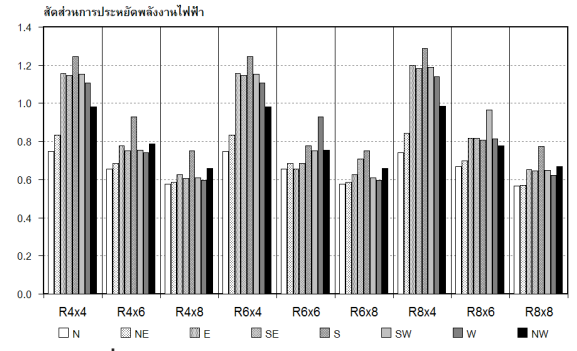


รูปที่ 25 กรณีใช้เทคนิคการหรี่หลอดไฟฟ้า

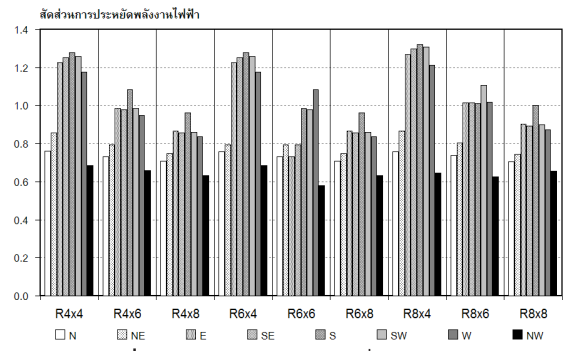
**4.2 การประหยัดพลังงานของช่องแสงประกอบ  
แผงกันแดดที่มาตรฐานระบบเซลล์แสงอาทิตย์**

1) กรณีใช้เทคโนโลยีผลึกผสมซิลิคอน พบว่า  
ห้องที่มีระยะไม่ลึกยังคงประหยัดพลังงานได้ดีกว่า โดย  
การติดตั้งแผงไปในทิศทางที่สามารถรับรังสีอาทิตย์ได้ดี  
จะมีความสามารถในการประหยัดพลังงานได้ชัดเจนมาก  
ยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 26 แสดงกรณีการใช้เทคนิคการปิดเปิด  
หลอดไฟ และรูปที่ 27 สำหรับเทคนิคการหรี่หลอดไฟ

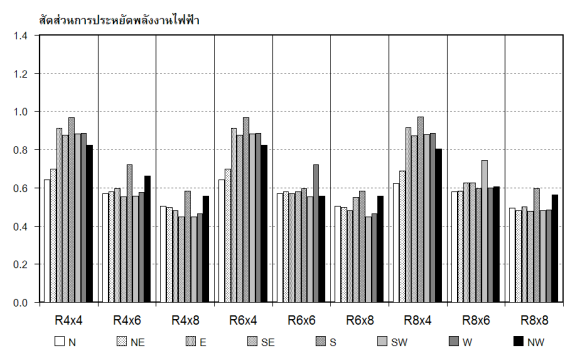
2) กรณีใช้เทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอน พบว่า  
ยังคงมีลักษณะเช่นเดิม หากแต่ประหยัดได้น้อยกว่า  
กรณีใช้เทคโนโลยีผลึกผสมซิลิคอน ดังรูปที่ 28 แสดง  
กรณีการใช้เทคนิคการปิดเปิดหลอดไฟ และรูปที่ 29  
สำหรับเทคนิคการหรี่หลอดไฟ



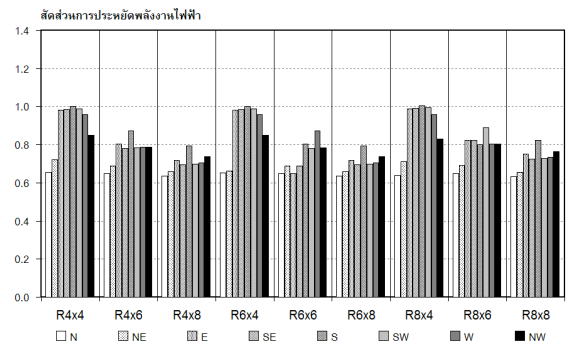
รูปที่ 26 กรณีใช้เทคนิคการปิดเปิดหลอดไฟฟ้า



รูปที่ 27 กรณีใช้เทคนิคการหรี่หลอดไฟฟ้า

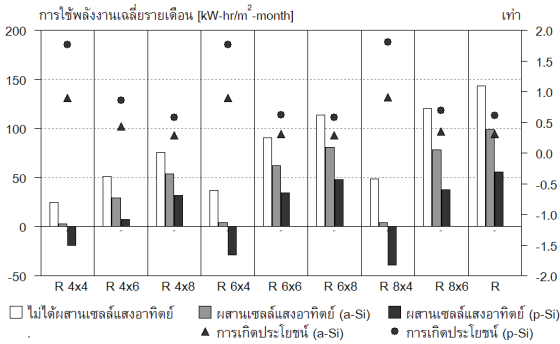


รูปที่ 28 กรณีใช้เทคนิคการปิดเปิดหลอดไฟฟ้า

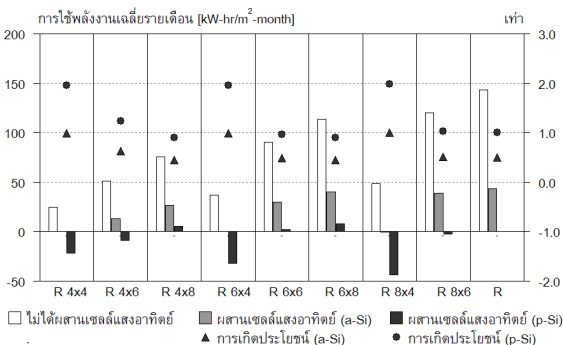


รูปที่ 29 กรณีใช้เทคนิคการหรี่หลอดไฟฟ้า

เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานเฉพาะกรณีที่ตั้งด้านทิศใต้ พบว่า เมื่อมีการผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกผสมซิลิคอน จะสามารถผลิตพลังงานได้มากกว่าที่ถูกใช้ โดยเฉพาะเมื่อติดตั้งกับห้องที่มีความลึก 4 m. มีผลให้เกิดประโยชน์เป็นสัดส่วนเกือบ 2 เท่าของพลังงานที่ใช้ สำหรับการควบคุมแบบปิดเปิดหลอดไฟ และเป็น 2 เท่า สำหรับการควบคุมแบบหรี่หลอดไฟ ดังรูปที่ 30 และ 31 ตามลำดับ



รูปที่ 30 กรณีใช้เทคนิคการปิดเปิดหลอดไฟ



รูปที่ 31 กรณีใช้เทคนิคการหรี่หลอดไฟ

## 5. สรุปผลการเพิ่มสมรรถนะช่องแสงด้านข้างด้วยแผงกันแดดที่ผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์

การผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการเพิ่มประโยชน์ของการใช้แผงกันแดดในการป้องกันความร้อน และควบคุมแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคาร การเพิ่มสมรรถนะหรือการเพิ่มการประหยัดการใช้พลังงานซึ่งก็คือผลประโยชน์ อาจสรุปได้ดังนี้

1) มุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ควรเอียงทำมุม 120 องศา กับผนังด้านบน จะทำให้มีสมรรถนะในการรับรังสีอาทิตย์สูงที่สุด

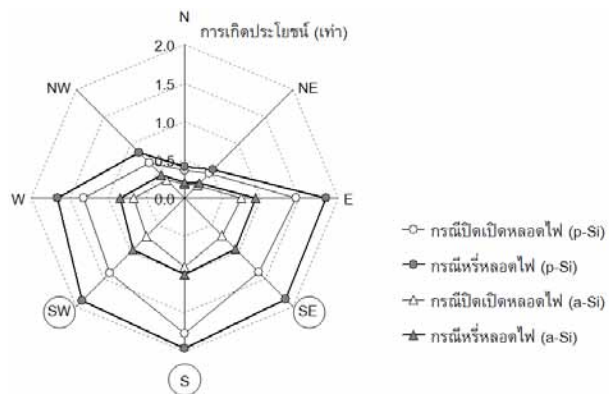
2) ทิศทางติดตั้งแผงเซลล์ ควรใช้กับช่องแสงด้านทิศใต้ หรือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ หรือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ จะทำให้มีสมรรถนะในการรับรังสีอาทิตย์สูงที่สุด

3) ขนาดพื้นที่ใช้งาน จะสามารถประหยัดการใช้พลังงานได้ดี เมื่อมีระยะห่างจากช่องแสงประมาณ 4 m.

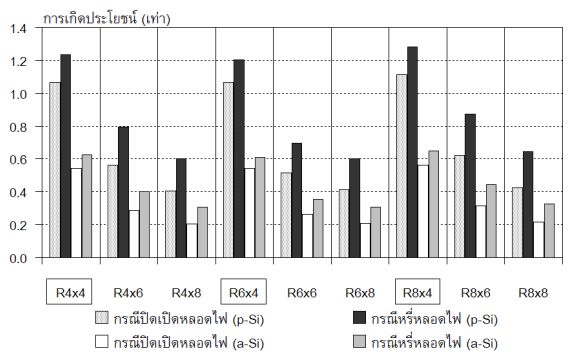
4) เซลล์แสงอาทิตย์ เทคโนโลยีผลึกผสมซิลิคอน จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า เนื่องจากมีประสิทธิภาพที่สูงกว่า เหมาะกับการใช้เมื่อมีพื้นที่จำกัด

จากรูปที่ 32 พบว่า ค่าประโยชน์ที่ได้กรณีผสมเทคโนโลยีผลึกผสมซิลิคอนและติดตั้งทางทิศตะวันออก/ตก ทิศใต้ ทิศตะวันออก/ตกเฉียงใต้ เท่านั้นที่สามารถผลิตพลังงานได้มากกว่าการใช้ (มีค่าสัดส่วนมากกว่า 1) และจากรูปที่ 33 พบว่า ค่าประโยชน์ที่ได้กรณีที่ห้องลึก 4 m. เท่านั้นที่สามารถผลิตพลังงานได้มากกว่าการใช้ (มีค่าสัดส่วนมากกว่า 1)

เมื่อค่าประโยชน์ที่ได้เป็นการเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานกรณีที่ไม่ได้ผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และใช้เทคนิคการควบคุมไฟแสงสว่างเหมือนกัน

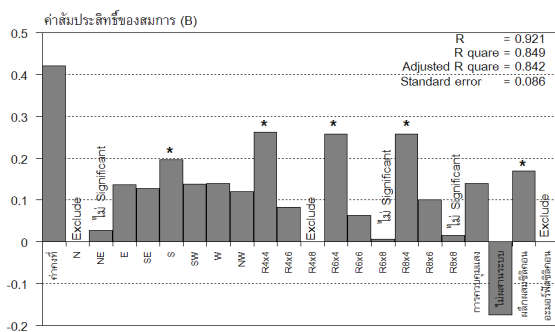


รูปที่ 32 เปรียบเทียบประโยชน์เฉลี่ยจากการติดตั้งแผงกันแดดผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศทางต่าง ๆ กับกรณีที่ไม่ผสมระบบ



รูปที่ 33 เปรียบเทียบประโยชน์เฉลี่ยเมื่อห้องมีขนาดแตกต่างกัน

รูปที่ 34 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย จากการนำค่าสัดส่วนประโยชน์ที่ได้เมื่อเทียบกับกรณีไม่ใช่แผงกันแดดและไม่ควบคุมหลอดไฟ ไปทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS 11.5 เครื่องมือ Regression analysis พบว่า สอดคล้องไปทางเดียวกันกับผลคำนวณที่แสดงในรูปที่ 31 และ 32 สำหรับค่าตัวแปรทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) ห้องแบบ R 6x8 และห้องแบบ R 8x8 ไม่มีนัยสำคัญทางการคำนวณและค่าตัวแปรทิศเหนือ (N) ห้องแบบ R 4x8 และการใช้เซลล์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน (a-Si) ได้ถูกนำออกไปจากสมการทำนายโดยโปรแกรม



รูปที่ 34 ค่าสัมประสิทธิ์จากการวิเคราะห์สมการถดถอย

ดังนั้น การเพิ่มสมรรถนะช่องแสงด้านข้างด้วยแผงกันแดดที่ผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์จึงควรพิจารณาติดตั้งแผงเอียงทำมุม 120 องศากับผนังด้านบน บนผนังด้านทิศใต้ ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เทคโนโลยีผลึกผสมซิลิคอน กับห้องที่มีความลึกไม่เกิน 4 m. และใช้เทคนิคการหรือหลอดไฟในการควบคุมแสงสว่างจึงจะได้สมรรถนะสูงที่สุด หรือเป็นการได้ประโยชน์กว่า 196% เปรียบกับการไม่ผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์

### สัญลักษณ์

$q_{Con}$	คือ ความร้อนจากการนำ	; W
$q_{Rad}$	คือ ความร้อนจากการแผ่รังสี	; W
A	คือ พื้นที่ผิว	; $m^2$
U	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	; $W/m^2-^{\circ}C$
CLTD	คือ อุณหภูมิแตกต่างเทียบเท่า	; $^{\circ}C$
SC	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด	
$P_L$	คือ กำลังไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง	; W
CLF	คือ สัมประสิทธิ์การกระจายความเย็น	
SHGF	คือ ค่ารังสีอาทิตย์บนกระจก	; $W/m^2$
SHGC	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของกระจก	
COP	คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศ	
$E_g$	คือ ค่าพลังงานไฟฟ้า	; W
K	คือ ค่าประสิทธิภาพแสงสว่าง	; Lumen/W
DF	คือ ค่าสัมประสิทธิ์แสงสว่าง	
SC	คือ ค่าสัมประสิทธิ์แสงสว่างจากท้องฟ้า	
IRC	คือ ค่าสัมประสิทธิ์แสงสว่างจากภายใน	
ERC	คือ ค่าสัมประสิทธิ์แสงสว่างจากภายนอก	
$\theta_w$	คือ มุมจากจุดสังเกตกระทำกับท้องฟ้า	; degrees
F	คือ ปริมาณแสงจากหลอดไฟ	; lumen
CU	คือ สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์	
$E_{in}$	คือ ระดับความสว่างใช้งานภายใน	; lux
$E_{out}$	คือ ระดับความสว่างใช้งานภายนอก	; lux
LLD	คือ สัมประสิทธิ์การเชื่อมสภาพ	
LDD	คือ สัมประสิทธิ์ความสกปรก	
LLF	คือ ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียแสง	
$h_c$	คือ ความสูงจากระดับใช้งานถึงดวงโคม	; m
L	คือ ความยาวห้อง	; m
W	คือ ความกว้างห้อง	; m
H	คือ ความสูงห้อง	; m
$T_m$	คือ อุณหภูมิแผงเซลล์	; $^{\circ}C$
$T_{amb}$	คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	; $^{\circ}C$
$\eta$	คือ ประสิทธิภาพแผงเซลล์	; W
a-Si	คือ เทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอน	
p-Si	คือ เทคโนโลยีผลึกผสมซิลิคอน	
$R_b$	คือ สัมประสิทธิ์รังสีตรง	
$R_d$	คือ สัมประสิทธิ์รังสีกระจาย	
$R_g$	คือ สัมประสิทธิ์รังสีจากพื้น	
$G_{DN}$	คือ รังสีอาทิตย์ตรงบนพื้นราบ	; $W/m^2$
$G_{bT}$	คือ รังสีอาทิตย์ตรงบนแผงเอียง	; $W/m^2$
$G_{dT}$	คือ รังสีอาทิตย์กระจายบนแผงเอียง	; $W/m^2$
$G_{gT}$	คือ รังสีอาทิตย์สะท้อนบนแผงเอียง	; $W/m^2$
$\theta$	คือ มุมอินซิดี้น	; degrees
$\theta_z$	คือ มุมซันไท์	; degrees
$\omega$	คือ มุมชั่วโมง	; degrees
$\phi$	คือ มุมละติจูด	; degrees
$\delta$	คือ มุมเดคลิเนชัน	; degrees
$\beta$	คือ มุมเอียงของแผงกันแดด	; degrees
W/H	คือ สัดส่วนระยะยื่นแผงกันแดดต่อความสูงช่องแสง	

## References

- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2552). *ฐานข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศ สถานีกรุงเทพฯ*. กรุงเทพฯ.
- ยุทธนา ทองท่วม และนิพนธ์ เกตุจ้อย. (2554). การประเมินค่าดัชนีทิศทางติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผืนกับแผงกันแดดแนวราบสำหรับอาคารในประเทศไทย. ใน *การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7*. จัดโดย เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย วันที่ 3-5 พฤษภาคม 2554 ณ โรงแรมภูเก็ตออริคัลรีสอร์ทแอนด์สปา.
- ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน. (2555). *ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อต้านความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. ๒๕๕๒*. สืบค้นเมื่อ 14 กุมภาพันธ์ 2555, จาก <http://www.2e-building.com>
- สุนทร บุญญาริการ. (2547). *บ้านชีวาทิตย์: บ้านพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อคุณภาพชีวิตผลิตพลังงาน*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2553). *การจัดการทรัพยากรกายภาพ*. กรุงเทพฯ: พลัสเพลส.
- American Society of Heating, Refrigerating & Air Conditioning Engineers. (1989). *ASHRAE Handbook: Fundamentals* (SI ed.). United States: ASHRAE.
- Ecotect Community WIKI. (2012). *Daylight & Sunlight*. Retrieved April 9, 2012, from <http://wiki.naturalfrequency.com>
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (c1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: Wiley.
- Egan, M. D., & Olgyay, V. (c2002). *Architectural Lighting*. Boston: McGraw-Hill.
- Tongtuam, Y., Ketjoy, N., Vaivudh, S., & Thanarak, P. (2011). Effect of the Diffuse Radiation Reflection from Exterior wall on Shading Device Integrated Photovoltaic Case of Thailand building. *Energy Procedia*, 9, 104-116. Retrieved December 15, 2011, from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211017656>
- RReDC. (2012). *Reference Solar Spectral Irradiance: ASTM G-173*. Retrieved April 9, 2012, from <http://redc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/ASTMG173/ASTMG173.html>
- Stein, B., Reynolds, J.S., Grondzik, W.T., & Kwok, A.G. (c1992). *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings* (7th ed.). New York: John Wiley & Sons.