

การลดพลังงานไฟฟ้าในอาคารโดยใช้แผงกันแดดผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์

Reducing Electrical Energy in Building by Using Shading Device Integrated Photovoltaic System

ยุทธนา ทองท้วม¹, นิพนธ์ เกตุจ้อย^{2*}

Yuttana Tongtuam¹, Nipon Ketjoy^{2*}

Received : 15 October 2012 ; Accepted : 10 December 2012

บทคัดย่อ

จากปัญหาการใช้พลังงานของอาคารปัจจุบัน พบว่าการใช้พลังงานส่วนใหญ่อยู่ที่ระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่างประมาณ 75% ของการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคาร การออกแบบติดตั้งแผงกันแดดผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแนวคิดที่จะลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ประหยัดพลังงานจากการปิดหลอดไฟฟ้า และผลิตพลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแบบการติดตั้งแผงกันแดดผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถให้ประโยชน์ได้สูงสุด ด้วยการคำนวณค่าโดยใช้สมการที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม ซึ่งจากการประเมินพบว่าสำหรับประเทศไทยการติดตั้งบนผนังด้านทิศใต้ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ และตะวันตกเฉียงใต้ เอียงทำมุม 30 องศา กับพื้นดิน เป็นเงื่อนไขที่สามารถลดภาระในระบบปรับอากาศ 60-68% ประหยัดไฟฟ้าแสงสว่าง 63-84% จากการศึกษาขนาดของห้อง 9 รูปแบบ ซึ่งอาจเทียบเป็นประโยชน์ในรูปของพลังงานได้เป็น 3.125 เท่าของค่าพลังงานที่ผลิตได้จากแผงกันแดดผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์

คำสำคัญ: แผงกันแดดผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์ การลดพลังงานไฟฟ้า การใช้พลังงานอาคาร

Abstract

The Energy crisis is a general problem. Energy consumption in most buildings involves two parts, Air condition system and Lighting system Both are around 75% of all consumption. A shading device Integrated Photovoltaic system (SIPV) was designed for reducing the cooling load of air condition system, saving energy of a lighting system and producing energy by a PV system. This paper evaluates energy consumption of an optimized SIPV, which was analyzed by experimental math models. Then the results are shown that the best direction between South East path to South side was and South West and PV panel slope around 30 degrees for Thailand latitude. This condition of SIPV could reduce air condition energy and save Lighting energy approximately 60-68% and 63-84% respectively, which is a benefit in term of energy of around 3.125 times the energy that was produced by SIPV.

Keywords: Shading Device Integrated Photovoltaics System, Reducing electrical energy, Building Energy Consumption

¹ อาจารย์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200, ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร., วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹ Lecturer, Faculty of Architecture, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand, ² Assist. Prof. Dr., School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand.

* Corresponding author: Nipon Ketjoy, School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand, niponk@nu.ac.th

บทนำ

ในยุคปัจจุบัน การใช้พลังงานถือเป็นเรื่องสำคัญทั้งในด้านของการใช้ทรัพยากร และปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งอาคารก็เป็นส่วนหนึ่งที่บริโภคพลังงาน ทั้งนี้พลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ในอาคารสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนหลัก⁶ คือ การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ประมาณ 60-70% ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ประมาณ 15-20% และอุปกรณ์อื่นๆ ประมาณ 15-20% ซึ่งภาระความเย็นที่ต้องหลีกเลี่ยงมาจากช่องแสงที่เป็นแหล่งความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ในทางกลับกันส่วนหนึ่งของรังสีแสงอาทิตย์ก็คือแสงธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ทดแทนแสงสว่างจากหลอดไฟฟ้าได้ ประกอบกับการใช้เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์สามารถที่จะเปลี่ยนรูปร่างรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในรูปของแผงกันแดดจึงเป็นกลยุทธ์ในการออกแบบที่สามารถลดความร้อน เพิ่มแสงสว่าง และผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ ซึ่งผลจากการประหยัดพลังงานย่อมหมายถึงการลดรายจ่ายลงได้ ทำให้ระยะเวลาที่จะคืนทุนสั้นลง และผลกำไรภายหลังการคืนทุนมากขึ้น

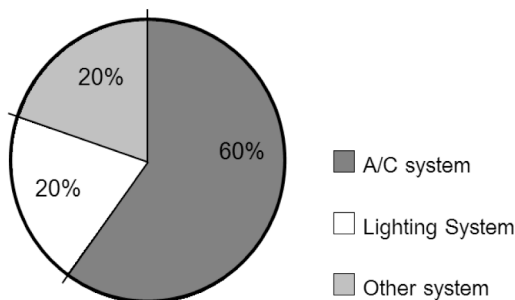


Figure 1 The ratio of energy consumption in general building⁶

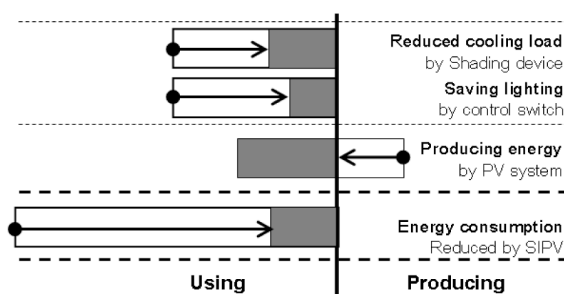


Figure 2 The concept of saving and producing energy by solar radiation

หากแต่จะต้องคำนึงถึงรูปแบบของแผงกันแดดที่เหมาะสม ได้แก่

1) มุมที่ท้องฟ้าทำกับพื้นที่ช่องแสง เปิดให้น้อยที่สุดสำหรับลดความร้อน เปิดให้มากที่สุดสำหรับแสงธรรมชาติและมุมมองจากภายในสู่ภายนอกดังแสดงใน Figure 3 และ 4 สำหรับการผ่อนคลายนางสายตา

2) องศาของระนาบเซลล์แสงอาทิตย์ที่รับรังสีอาทิตย์จากรังสีตรง รังสีกระจายจากท้องฟ้า และรังสีสะท้อน ซึ่งน้อยกว่าการติดตั้งแบบปกติในที่สูง

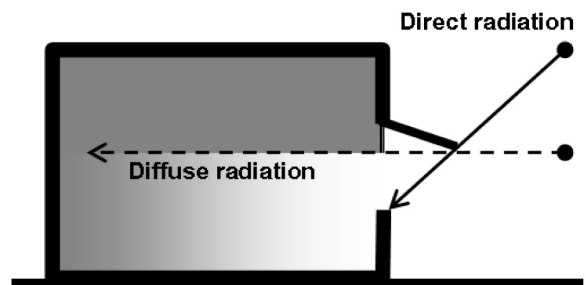


Figure 3 Designed to reduce solar radiation

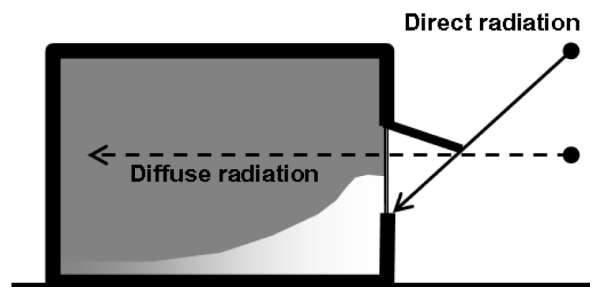


Figure 4 Designed to reduce daylight Illuminance

ศึกษาโดยทำการเก็บข้อมูลสำคัญ ได้แก่ ค่ารังสีอาทิตย์ อุณหภูมิแผงเซลล์ อุณหภูมิอากาศโดยรอบ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า จากการติดตั้งใช้งานจริงบริเวณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ช่วง กุมภาพันธ์ 2553 ความสว่างของแสงจากท้องฟ้ากรณีแจ่มใส (Clear Sky) และท้องฟ้ามีเมฆบดบัง (Overcast Sky) นำมาสู่การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังแสดงใน Figure 5 และเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพอากาศของที่ตั้งอาคารจึงใช้ข้อมูลรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศของกรุงเทพฯ ปี 2552⁴ เป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษาในประเทศไทย เนื่องจากกรุงเทพฯ มีศักยภาพของอาคารในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้เพื่อหาข้อสรุปเป็นพลังงานที่สามารถลดลงได้จากการออกแบบใช้งานแผงกันแดดผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์

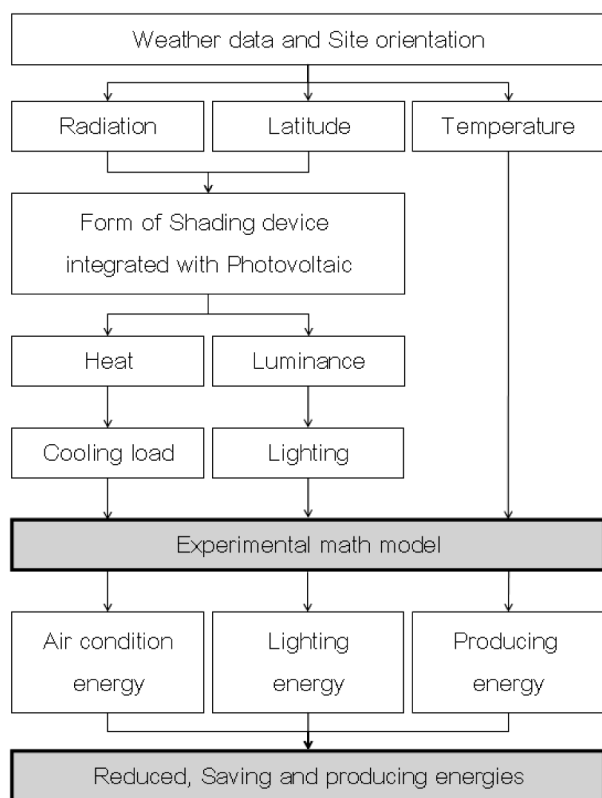


Figure 5 The process of calculation

การทำความเย็นจากระบบปรับอากาศ

การทำความเย็นที่เกิดขึ้นภายในห้องได้แก่ การผ่านเปลือกอาคาร ได้แก่ ผนัง หลังคา พื้น และช่องแสง การเนื่องจากแหล่งความร้อน ความชื้นภายในห้อง และอากาศร้อนชื้นที่รั่วไหลเข้าสู่ภายในห้อง การใช้อุปกรณ์บังแดด จึงเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ลดความร้อนเข้าสู่อาคาร ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลให้ระบบปรับอากาศทำงานหนัก และสำหรับการศึกษานี้พิจารณาใช้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องปรับอากาศ (Coefficient of Performance: COP) เป็น 3.22 วัตต์ต่อวัตต์ ตามมาตรฐานอาคารประหยัดพลังงานขั้นต่ำของเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก⁵

การหาค่าการทำความเย็นผ่านช่องแสง

สำหรับการประเมินการทำความเย็นจะพิจารณาเฉพาะในส่วนของการทำความร้อนที่ผ่านช่องแสง

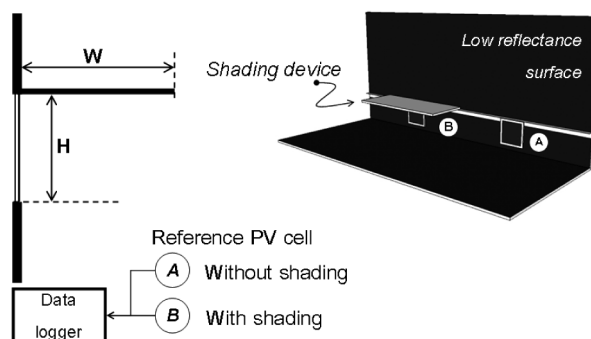


Figure 6 The thermal testing device

ด้วยวิธี CLTD/CLF นำเสนอโดย ASHREA 1989¹

จากการนำความร้อน และแผ่รังสีความร้อนผ่านช่องแสงเข้าสู่ภายในห้อง ดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ ดังนี้

$$q_{\text{Con}} = U \times A \times \text{CLTD} \quad (1)$$

$$q_{\text{Rad}} = \text{SHGC} \times \text{SC} \times A \times \text{SHGF} \quad (2)$$

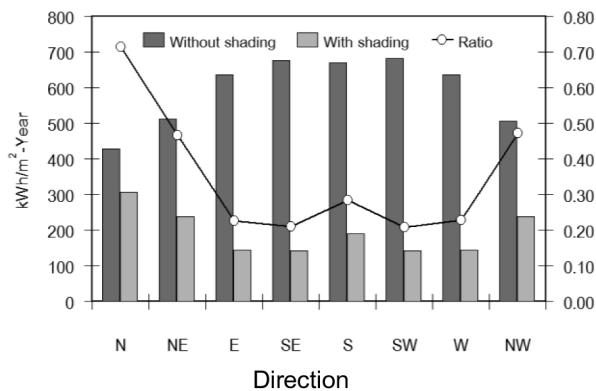
$$E_e = (q_{\text{Con}} + q_{\text{Rad}}) / \text{COP} \quad (3)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ในการบังแดด

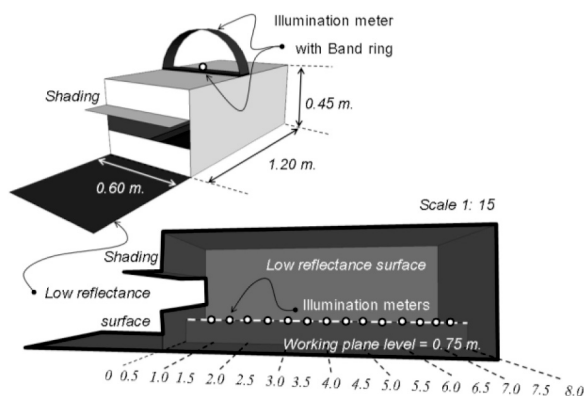
จากการศึกษาโดยการทดลอง³ ซึ่งพิจารณาเฉพาะในส่วนของการทำความร้อนที่ผ่านกระจกใส 6 mm. ธรรมดา ซึ่งได้ทำการแยกอิทธิพลเนื่องจากรังสีอาทิตย์ตรงและรังสีกระจายสรุปเป็นค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดรังสีกระจาย ดัง Table 1 และสำหรับการศึกษานี้พิจารณาการป้องกันรังสีอาทิตย์ตรงได้อย่างสมบูรณ์

ค่าการทำความเย็นของอาคารที่ศึกษา

จากการคำนวณค่าการทำความเย็นของช่องแสง โดยที่ออกแบบแผงกันแดดให้ยื่นยาว (W/H) แตกต่างกันไปในแต่ละทิศทางเพื่อให้สามารถป้องกันรังสีอาทิตย์ตรงได้อย่างสมบูรณ์ ดังแสดงใน Table 1

Table 1 The W/H and SC_D values for every direction**Figure 7** The cooling load due to shading in each direction

จาก Figure 7 พบว่าทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตก สามารถลดภาระการทำความเย็นลงไปได้มากที่สุด

**Figure 8** The illuminance testing device

การใช้แสงธรรมชาติจากช่องแสงด้านข้าง

ตาม Figure 8 เมื่อมีการเปิดช่องแสงด้านข้างมีผลให้ความสว่างบนพื้นที่ใช้งานมีมากขึ้น และเพื่อลดการใช้แสงประดิษฐ์ในบริเวณที่มีความสว่างพอเพียง ซึ่งสำหรับการศึกษานี้พิจารณาใช้ค่าความสว่างในการออกแบบที่ 300 lux ตามมาตรฐานขั้นต่ำสำหรับพื้นที่ใช้งานทั่วไป

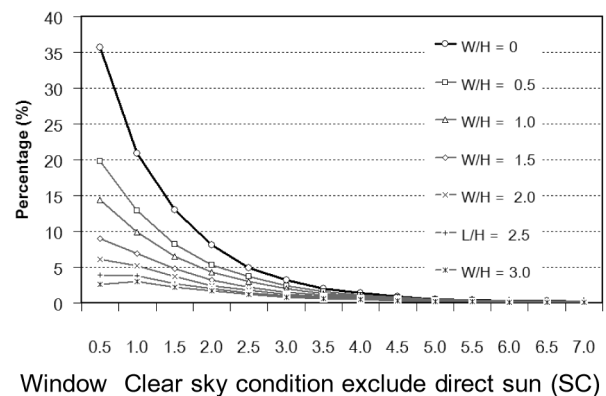
ค่าประสิทธิภาพแสงสว่าง (Daylight Efficacy)

เพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริงตามฐานข้อมูลรังสีอาทิตย์ของกรุงเทพฯ ปี 2552 โดยพิจารณาเฉพาะค่ารังสีกระจายจากท้องฟ้า (ไม่รวมค่ารังสีอาทิตย์ตรง) และทำการปรับค่าให้เป็นค่าความสว่างบนระนาบราบ (Diffuse Global Illuminance) จากกรณีประสิทธิภาพแสงกระจายเฉลี่ย² มีค่าประมาณ 125 lumen/W เพื่อนำไปใช้ประมาณค่าความสว่าง

ภายในอาคารด้วยสมการที่ (4) ที่ใช้ระเบียบวิธีสัมประสิทธิ์แสงสว่าง (Daylight Factor Method)

สัมประสิทธิ์แสงสว่าง (Daylight Factor)

การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์แสงสว่างสำหรับช่องแสงที่มีการใช้แผงกันแดดรูปแบบต่างๆ ช่วงมิถุนายน 2553 โดยวิธีการทดสอบจากหุ่นจำลองแสดงตาม Figure 9 ในเงื่อนไขสภาพท้องฟ้ากรณีท้องฟ้าแจ่มใส (Clear sky) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์แสงสว่าง (SC) ที่ระยะต่างๆ นำไปรวมกับค่าสัมประสิทธิ์แสงสว่างภายใน (IRC) จากการคำนวณ ซึ่งไม่นับรวมส่วนของค่าสัมประสิทธิ์แสงสว่างจากสภาพแวดล้อม (ERC)

**Figure 9** The result of Daylight Factors

จากการทดสอบพบว่าเมื่อมีการปรับระยะยื่นของแผงกันแดด มีผลให้ความสว่างบนพื้นที่ใช้งานลดลง และลดลงมากขึ้นเมื่อพื้นที่ใช้งานมีระยะห่างจากช่องแสงมากขึ้น

$$DF = \frac{E_{in}}{E_{out}} \quad (4)$$

$$DF = SC + IRC + ERC \quad (5)$$

$$IRC = 0.85A_w(Cr_{FW} + 5r_{CW})MF/A_{tot}(1-r_{av}) \quad (6)$$

$$C = 40 - (q_w/2) \quad (7)$$

การออกแบบระบบแสงสว่าง

เพื่อเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานจากการใช้หลอดไฟฟ้าจึงพิจารณาออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างของห้องที่มีขนาดกว้าง 4 ถึง 8 เมตร ลึก 4 ถึง 8 เมตร และห้องสูง 3 เมตร ทั้งหมด 9 รูปแบบ โดยใช้วิธีลูเมน (Lumen Method) ด้วยสมการที่ (8)-(9) ในการกำหนดจำนวนหลอดไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละห้อง ดังแสดงตาม Table 2

$$F = \frac{E \times A}{(CU \times LLD \times LDD)} \quad (8)$$

$$CR = 5 \times h_c [(L + W) / (L \times W)] \quad (9)$$

ค่า CU อ่านค่าจากตารางจากค่า CR

Table 2 Number of lighting fixtures

Room; A x B	A	B
R 4x4	2	3
R 4x6	2	4
R 4x8	2	5
R 6x4	3	3
R 6x6	3	4
R 6x8	3	5
R 8x4	5	2
R 8x6	5	3
R 8x8	5	4

โดยดวงโคม 1 ชุดประกอบด้วย หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T5 จำนวน 1 หลอด บัลลาสอิเล็กทรอนิกส์ และโคมแบบปีกค้างคาว รวมมีกำลังไฟฟ้า 32 W ปริมาณแสง 2,580 lumen มีค่า LLF 0.86 ออกแบบที่ระดับความสว่าง 300 lux

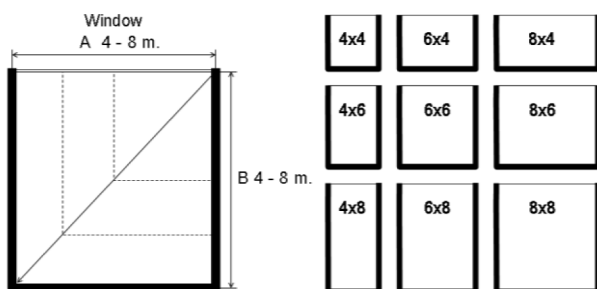


Figure 10 planning of the lighting fixtures

การใช้เทคนิคการเปิดปิดและหรี่แสงสว่าง

จากผลการประเมินเมื่อมีการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคารที่ระดับความต้องการความสว่างพื้นที่ใช้งานไม่น้อยกว่า 300 lux มีผลให้ไม่จำเป็นต้องเปิดหลอดไฟฟ้า จึงเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากการใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้เช่นกัน และเมื่อพิจารณาจาก Figure 11-12 พบว่าเทคนิคการเปิด-ปิดหลอดไฟสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 37-96% เทคนิคการหรี่แสงสว่างสามารถประหยัดพลังงานได้ 70-99% ขึ้นอยู่กับความลึกของห้อง

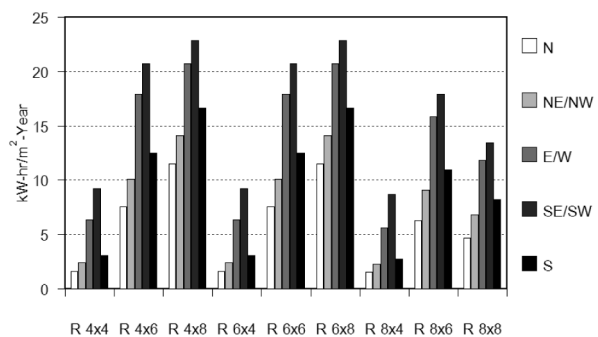


Figure 11 Switch on/off technique to saving lighting energy

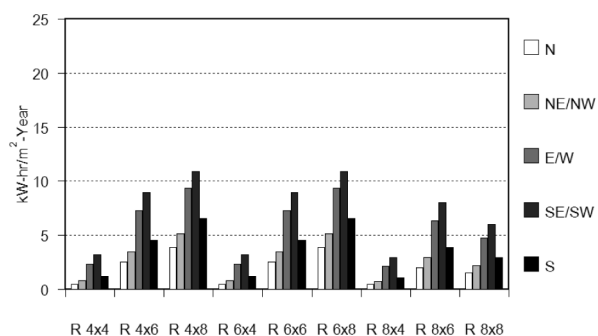


Figure 12 Dimming technique to saving lighting energy

การผลิตพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะที่ถูกเงาบังเนื่องจากตัวอาคาร จากติดตั้งบนพื้นที่ผิวด้านข้างของอาคาร ซึ่งแตกต่างจากการติดตั้งในลักษณะทั่วไป แสดงใน Figure 13 ดังนั้นสมการที่ใช้ในการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกบนแผงเซลล์จึงพิจารณาแยกเป็นรังสีอาทิตย์ตรง รังสีกระจาย และรังสีสะท้อนจากพื้นดินและผนังอาคาร จากการศึกษาโดยการทดลอง³ สามารถสรุปเป็นสมการดังนี้

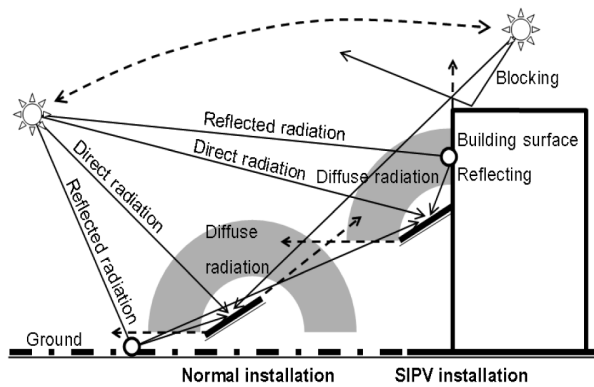


Figure 13 The comparison of PV installations

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการออกแบบ

จากการคำนวณค่าเพื่อประเมินผลการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยอาศัยสมการ¹(16)–(24) ดังนี้

$$G_T = G_{bT} + G_{dT} + G_{gT} \quad (16)$$

$$G_{bT} = G_{DN} R_b \quad (17)$$

$$G_{dT} = G_{dh} R_d \quad (18)$$

$$G_{gT} = r_g G_g R_g \quad (19)$$

$$R_b = \cos \theta / \cos \theta_z \quad (20)$$

$$R_d = (1 + \cos \theta_b) / 2 \quad (21)$$

$$R_g = (1 - \cos \theta_b) / 2 \quad (22)$$

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \phi \cos (q - b) + \cos \delta \cos \phi \cos (f - b) \quad (23)$$

$$\cos \theta_b = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \theta_z \quad (24)$$

และค่า R_{dh} ของมุมเอียง 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 เป็น 0.5 0.57 0.59 0.57 0.52 0.45 และ 0.37 ตามลำดับ และ R_b เป็น 1.23 1.12 1.06 1.03 1.01 1.00 และ 1.00 ตามลำดับ กรณีผนังสะท้อนรังสีอาทิตย์ 30% พบว่าการเอียงทำมุม 30 องศา กับแนวราบ และหันไปทิศใต้ ตะวันตกเฉียงใต้ และตะวันออกเฉียงใต้ สามารถผลิตพลังงานได้มากที่สุด³ หากแต่การหันไปทิศตะวันตกเฉียงใต้ และตะวันออกเฉียงใต้ จะสามารถผลิตพลังงานได้ใกล้เคียงกันทุกเดือนตามศักยภาพของค่ารังสีอาทิตย์ ซึ่งต่างจากทิศใต้ ที่จะมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดในช่วงฤดูร้อน ซึ่งเป็นช่วงที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์อ้อมไปทางทิศเหนือ มีผลให้แผงเซลล์ไม่ได้รับรังสีอาทิตย์ตรงในช่วงเวลาดังกล่าว ดังนั้นการสูญเสียเนื่องจากการออกแบบจึงแบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ การบังรังสีอาทิตย์ตรงและรังสีกระจายอันเนื่องจากระนาบตั้งของอาคาร มีสัดส่วนเป็น 10-27% และ 10% ตามลำดับ ในเงื่อนไขของการติดตั้งด้วยมุมเอียง และทิศทางดังกล่าว โดยทำการเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการบังของอาคารบัง

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากอินเวอร์เตอร์

เมื่อมีการติดตั้งโดยอาคารมีผลให้บางช่วงเวลาแผงเซลล์ได้รับเฉพาะรังสีกระจายในลักษณะครึ่งท้องฟ้า จึงทำให้ค่ารังสีที่ตกกระทบมีค่าค่อนข้างต่ำ เป็นผลให้การทำงานของอินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพต่ำลงไปด้วย จากการประเมินพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้อินเวอร์เตอร์ในกรณีที่มีอาคารบังเทียบกับกรณีที่ไม่มีอาคารบัง มีสัดส่วน 1-2% ทั้งนี้การสูญเสียจากการใช้อินเวอร์เตอร์ อยู่ที่ 12% สำหรับกรณีที่ไม่มีอาคารบัง และ 13-15% สำหรับกรณีที่มีอาคารบัง

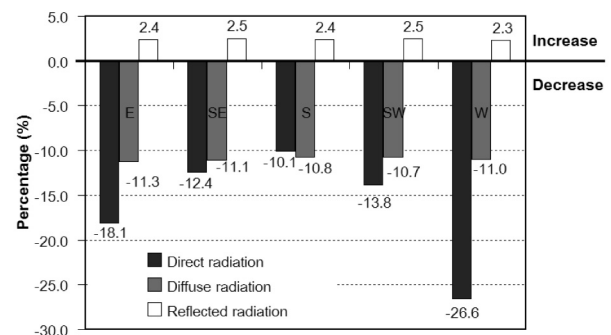
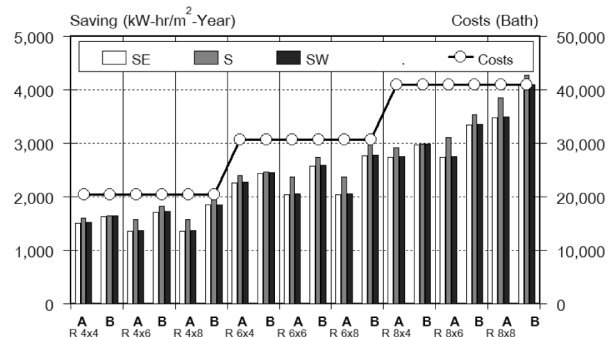


Figure 14 The ratio of solar receive on PV surface



A Switch on/off technique / B Dimming technique

Figure 15 The ratio of benefits

การลดลงของพลังงานเมื่อมีการใช้แผงกันแดดผสมระบบเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อทำการประเมินค่าพลังงานที่ลดลงของระบบปรับอากาศเนื่องจากการใช้แผงกันแดด การประหยัดพลังงานเนื่องจากการปิดหลอดไฟฟ้า และการผลิตพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าสามารถแบ่งเป็นสัดส่วนพลังงานได้ดังนี้

1) ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงของระบบปรับอากาศเฉลี่ย 60-68% เนื่องจากการป้องกันรังสีอาทิตย์ตรง คิดเป็น 29% ของประโยชน์ที่ได้

2) ค่าพลังงานไฟฟ้าประหยัดได้เฉลี่ย 63-84% เนื่องจากการปิดหลอดไฟฟ้าคิดเป็น 40% ของประโยชน์ที่ได้

3) ค่าพลังงานที่ผลิตได้เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์คิดเป็น 32% ของประโยชน์ที่ได้ และเมื่อประเมินการได้ประโยชน์เพิ่มขึ้นจากการผลิตพลังงานจากแผงเซลล์เพียงอย่างเดียวประมาณ 3.125 เท่า

สรุปผลและเสนอแนะ

ดังนั้นรูปแบบที่มีความเหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงกันแดดผาบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับอาคารในประเทศไทย จึงควรพิจารณาติดตั้งในทิศใต้ หรือตะวันตกเฉียงใต้ หรือตะวันออกเฉียงใต้ โดยทำมุมเอียง 30 องศา กับแนวราบ จะสามารถลดความร้อน ได้แสงธรรมชาติ และผลิตพลังงานได้อย่างคุ้มค่า

ในการศึกษาดังกล่าวยังขาดการพิจารณาการเกิดแสงจ้าจากช่องแสง ซึ่งจะมีผลต่อการใช้กระจก จนอาจไม่สามารถใช้แสงธรรมชาติได้อย่างเต็มประสิทธิภาพตามการประเมินในเบื้องต้นได้ และยังไม่ได้ประเมินการคืนทุนและกำไรจากการใช้ประโยชน์ดังกล่าว

สัญลักษณ์

q_{Con}	คือ	ความร้อนจากการนำ	; W
q_{Rad}	คือ	ความร้อนจากการแผ่รังสี	; W
A	คือ	พื้นที่ผิว	; m ²
U	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	; W/m ² -°C
CLTD	คือ	อุณหภูมิแตกต่างเทียบเท่า	; °C
SC	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด	
SHGF	คือ	ค่ารังสีอาทิตย์บนกระจก	; W/m ²
SHGC	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของกระจก	
COP	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศ	; W _C /W _E
E_o	คือ	ค่าพลังงานไฟฟ้า	; W
K	คือ	ค่าประสิทธิภาพแสงสว่าง	; Lumen/W
DF	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์แสงสว่าง	
SC	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์แสงสว่างจากท้องฟ้า	
IRC	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์แสงสว่างจากภายใน	
ERC	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์แสงสว่างจากภายนอก	
q_w	คือ	มุมจากจุดสังเกตกระทำกับท้องฟ้า	
F	คือ	ปริมาณแสงจากหลอดไฟ	; lumen

CU	คือ	สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์	
E	คือ	ระดับความสว่างใช้งาน	; lux
LLD	คือ	สัมประสิทธิ์การเสื่อมสภาพ	
LDD	คือ	สัมประสิทธิ์ความสกปรก	
h_c	คือ	ความสูงจากระดับใช้งานถึงดวงโคม	; m
L	คือ	ความยาวห้อง	; m
W	คือ	ความกว้างห้อง	; m
H	คือ	ความสูงห้อง	; m
T_m	คือ	อุณหภูมิแผงเซลล์	; °C
h_m	คือ	ประสิทธิภาพแผงเซลล์	; W
R_B	คือ	สัมประสิทธิ์รังสีตรง	
R_D	คือ	สัมประสิทธิ์รังสีกระจาย	
R_{Dh}	คือ	สัมประสิทธิ์รังสีกระจายครึ่งท้องฟ้า	
R_b	คือ	สัมประสิทธิ์รังสีจากอาคาร	
R_g	คือ	สัมประสิทธิ์รังสีจากพื้น	
h_{IN}	คือ	ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์	; %
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
q	คือ	มุมอินซิดีน	องศา
q_z	คือ	มุมซีนิท	องศา
w	คือ	มุมซัวโมง	องศา
f	คือ	มุมละติจูด	องศา
d	คือ	มุมเดคลิเนชัน	องศา
b	คือ	มุมเอียงของแผงกันแดด	องศา

เอกสารอ้างอิง

1. American society of heating refrigerating and air conditioning engineers. ASHRAE Fundamentals Handbook 1989. Atlanta: The Society, c1989.
2. Ecotect Community WIKI!. Luminous Efficacy. [Online]:[1 screens]. Available from: http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Daylight_Sunlight. Accessed February 14, 2012.
3. T. Yuttana et al. Effect of the Diffuse Radiation Reflection from Exterior Wall on Shading Device Integrated Photovoltaic Case of Thailand building. Energy Procedia [serial online] 2011;9:[1 screen]. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211017656>. Accessed November 18, 2012.

4. ฐานข้อมูลค่ารังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศ สถานี
กรุงเทพฯ จัดเก็บโดยกรมอุตุนิยมวิทยา ปี 2552.
5. ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์
พลังงาน. ประกาศกระทรวงพลังงาน-ค่าสัมประสิทธิ์
สมรรถนะขั้นต่ำ-เครื่องปรับอากาศ. [ระบบออนไลน์]:[1
หน้าจอ]. แหล่งที่มา: <http://www.2e-building.com>. เข้า
ถึงเมื่อ 14 กุมภาพันธ์, 2555.
6. สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์. การ
จัดการทรัพยากรกายภาพ. กรุงเทพฯ: พลัสเพลส; 2553.