การพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบกึ่งโปร่งใส เพื่อใช้ร่วมกับอาคาร

ปิยะวัชร์ แข่งขัน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2560

การพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบกึ่งโปร่งใส
เพื่อใช้ร่วมกับอาคาร

ปิยะวัชร์ แข่งขัน

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครินทร์ อินทนิเวศน์)
วันที่ 26 เดือน ก.ค. พ.ศ. 2560

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สราวุธ พลวงษ์ศรี)
วันที่ 26 เดือน ก.ค. พ.ศ. 2560

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(อาจารย์ ดร.สุลักษณา มงคล)
วันที่ 26 เดือน ก.ค. พ.ศ. 2560

ประธานอาจารย์ประจำหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สราวุธ พลวงษ์ศรี)
วันที่ 26 เดือน ก.ค. พ.ศ. 2560

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่ 31 เดือน ก.ค. พ.ศ. 2560

ชื่อเรื่อง การพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบกึ่งโปร่งใสเพื่อใช้ร่วมกับอาคาร

ชื่อผู้เขียน นางสาวปิยะวัชร์ แข่งขัน

ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครินทร์ อินทนิเวศน์

บทคัดย่อ

แนวทางหนึ่งในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารเพื่อนำไปสู่การใช้พลังงานเป็นศูนย์คือการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอาคาร แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่สามารถใช้ติดตั้งแทนวัสดุประกอบอาคาร โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จะสมารถผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกับการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านพื้นที่ส่วนโปร่งใสได้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้มีเพื่อพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบกึ่งโปร่งใสในการใช้ประโยชน์ทั้งจากพลังงานไฟฟ้าและแสงธรรมชาติภายในอาคาร โดยมีรูปแบบของการเว้นระยะห่างระหว่างเซลล์มีค่าเท่ากับ 1 2.5 และ 4 cm (แผงที่ 1-3) ตามลำดับ เซลล์แสงอาทิตย์เหล่านี้ถูกต่อแบบอนุกรมบนกระจกใสขนาด 78 × 88 cm^2 โดยคิดเป็นอัตราส่วนพื้นที่ต่อผนังอาคารเท่ากับ 28.6% ทำการติดตั้งแผงดังกล่าวบนผนังของอาคารแบบจำลอง ในแนวตั้งฉากและหันส่วนของผนังด้านที่ทำการติดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังทิศใต้ จากการทดสอบการใช้งานภายใต้สภาวะแวดล้อม ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1-3 มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 7.27 7.00 และ 6.78% ตามลำดับ และสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 64.6 50.8 และ 43.8 Wh/day ส่วนผลการทดสอบทางด้านแสงสว่างจากธรรมชาติในอาคารแบบจำลอง โดยใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1-3 ร่วมกับอาคาร พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 3 ที่มีพื้นที่ส่วนโปร่งใสสูงที่สุดมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยสูงสุด 2,964 Lux ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 และ 2 ที่มีพื้นที่ส่วนโปร่งใสน้อยลง มีค่าความส่องสว่างภายในอาคารเพียง 1,049 และ 1,330 Lux ตามลำดับ สำหรับการประเมินการใช้พลังงานสุทธิของอาคารที่ทำการทดสอบจะพิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้สำหรับแสงสว่างในช่วงเวลาที่มีค่าความส่องสว่างภายในอาคารมีค่าน้อยกว่า 500 Lux ผลการทดสอบพบว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 มีพลังงานไฟฟ้าสุทธิเท่ากับ 25.6 Wh/day ในขณะที่กรณีของแผงหมายเลข 2 และ 3 มีพลังงานไฟฟ้าสุทธิใกล้เคียงกัน 43.1 และ 41.6 Wh/day ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 2 มีพลังงานไฟฟ้าสุทธิสูงที่สุด จึงถือได้ว่าการติดตั้งแผง

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบผลึกรวมจำนวน ที่มีการเว้นระยะห่างระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 2.5 cm เหมาะสมกับการติดตั้งร่วมกับอาคารในสำหรับกรณีที่พิจารณาปริมาณไฟฟ้าสุทธิจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และปริมาณการใช้พลังงานด้านแสงสว่างร่วมกัน

Title	DEVELOPMENT OF SEMI-TRANSPARENT SILICON SOLAR PANELS FOR BUILDING INTEGRATION
Author	Miss Piyawat Khangkhan
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisor Committee Chairperson	Assistant Professor Dr.Akarin Intaniwet

ABSTRACT

One possible building energy saving strategy, which leads to net-zero energy building, is to integrate the semitransparent PV panels to buildings. This type of panel generates electricity and, at the same time, allows the natural light entering the building. The purpose of this research is to develop a semi-transparent silicon solar panel for building integration by varying the spacing between solar cells from 1, 2.5 and 4 cm, respectively (3 panels). These solar cells were then connected in series using floated glass (88 × 78 cm^2) as a substrate. The ratio between the area of the panel and the area of the building wall on the south direction is 28.6%. The testing results of all solar panels under real conditions at School of renewable energy, Maejo University showed that module 1, 2 and 3 has energy conversion efficiency of 7.27, 7.00 and 6.87% and the energy generation was estimated to be 64.6, 50.9 and 43.8 Wh/day, respectively. For daylight testing aspect, it was found that module 3 provided the maximum internal illuminance level of 2,946 Lux, while module 1 and 2, with less transparent area, also provided less internal illuminance of 1,049 and 1,330 Lux, respectively. Evaluation of the net energy of the testing room, where the consideration of electricity generation and lighting energy consumption when the internal illuminace lower than 500 Lux is taken into account, the result revealed that the net energy of 25.6 Wh/day, 43.2 Wh/d and 41.5 Wh/day was approximated when the wall was installed with panel 1, 2 and 3, respectively. It was shown that panel 2 offers the highest net energy and it is therefore suitable to be used with the building in order to maximize the benefit from electricity generation and natural light.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ของผู้เขียนได้เนื่องมาจากได้รับความกรุณารับเป็นที่ปรึกษาและให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ ความรู้ทางด้านวิชาการ ตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ จากท่านอาจารย์หลายๆ ท่าน ประกอบไปด้วยท่านแรก ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครินทร์ อินทนิเวศน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้แนวคิดในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนคำแนะทางด้านวิชาการรวมถึงการตรวจสอบแก้ไขความเรียบร้อยจนเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณคณะอาจารย์กรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.สราวุธ พลวงษ์ศรี และอาจารย์ ดร.สุลักษณา มงคล ที่กรุณาร่วมเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. อรรถกร อาสนคำ ที่ให้เกียรติและสละเวลามาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) สำหรับทุนอุดหนุนงานวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษาประจำปีงบประมาณ 2559 และขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่กรุณาให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัยรวมไปถึงการอำนวยความสะดวกในหลายๆ ด้านที่ดีตลอดมา

ปิยะวัชร์ แข่งขัน

กรกฎาคม 2560

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

ภาพที่ หน้า

ภาพที่ หน้า

สารบัญตารางผนวก

สารบัญภาพผนวก

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มา

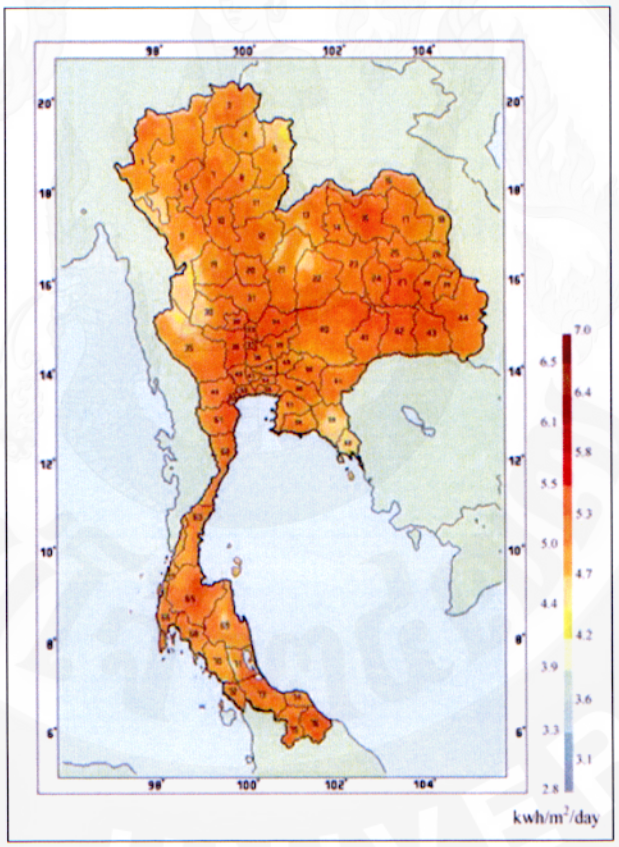
ความต้องการใช้พลังงานที่สูงขึ้นอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรส่งผลทำให้พลังงานทดแทนเข้ามามีบทบาทสำคัญแทนที่การใช้พลังงานจากฟอสซิล แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกปี 2558-2579 จึงมีเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนจาก 4,494 MW ในปี 2557 เป็น 19,687 MW ภายในปี 2579 โดยพลังงานแสงอาทิตย์มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าสูงสุดเป็นอันดับสองเท่ากับ 1,298.5 MW ในปี 2557 และมีเป้าหมายในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มากถึง 6,000 MW ในปี 2579 ดังแสดงในดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สถานภาพและเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภท

ประเภทเชื้อเพลิง	สถานภาพปี 2557 (MW)	เป้าหมายปี 2579 (MW)
1. ขยะชุมชน	65.72	500
2. ขยะอุตสาหกรรม	-	50
3. ชีวมวล	2,451.82	5,570
4. ก๊าซชีวมวล (น้ำเสีย/ของเสีย)	311.5	600
5. พลังน้ำขนาดเล็ก	142.01	376
6. ก๊าซชีวภาพ	-	680
7. พลังงานลม	224.47	3,002
8. พลังงานแสงอาทิตย์	1,298.51	6,000
9. พลังน้ำขนาดใหญ่	-	2,906.40
รวมเมกะวัตต์ติดตั้ง (MW)	4,494.03	19,684.40
รวมพลังงานไฟฟ้า (ล้านหน่วย)	17,217	65,588.07
ความต้องการพลังงานไฟฟ้าทั้งประเทศ (ล้านหน่วย)	174,467	326,119
สัดส่วนผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน (%)	9.87	20.11

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

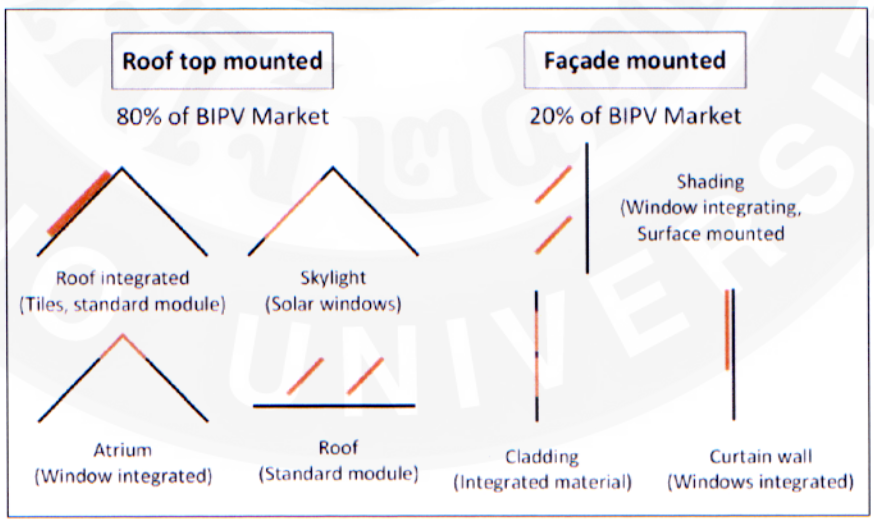
พลังงานแสงอาทิตย์มีอยู่โดยทั่วไป โดยเฉพาะในประเทศไทยที่อยู่ในบริเวณเขตเส้นศูนย์สูตร ซึ่งถือได้ว่าเป็นบริเวณที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ในบริเวณตอนล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และตอนบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่จังหวัดอุดรธานีรวมทั้งบางส่วนของภาคกลาง โดย 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี 19-20 MJ/m^2-day และ 50% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์ในช่วง 18-19 MJ/m^2-day (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554) ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งเป็นแผนภาพแสดงพื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน รวมถึงแสดงการเปรียบเทียบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับต่อพื้นที่ต่อวัน จะเห็นได้ว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูง สามารถใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตพลังงาน



ภาพที่ 1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2554)

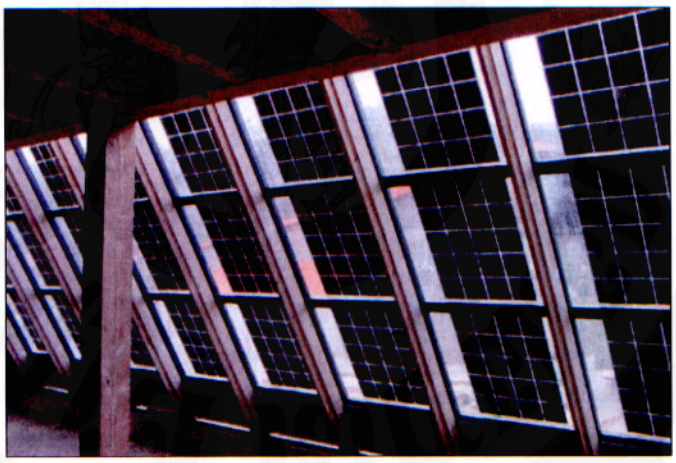
แสงอาทิตย์มีประโยชน์ทั้งด้านการให้แสงสว่าง หรือนำมาใช้เพื่อผลิตพลังงานเชิงความร้อนและพลังงานเชิงไฟฟ้า โดยผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นตัวกลางในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายทั้งในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar power plant) ระบบสูบน้ำด้วยไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar water pumping) และการประยุกต์ใช้ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอาคาร ไม่ว่าจะเป็นส่วนของหลังคา ผนังอาคาร และส่วนอื่นๆ ดังตัวอย่างอาคารต้นแบบอนุรักษ์พลังงานจากแสงอาทิตย์ "อาคารสำนักงานใหญ่ กฟผ. ท.102" ที่มีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Amorphous ขนาด 1×1.5 m จำนวน 428 แผง กำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด 27 kW มาติดตั้งในแนวตั้งของอาคารความสูง 20 ชั้น เป็นแห่งแรกของประเทศไทย เปิดทำการในปี 2550 โดยการติดตั้งแผงด้านหน้าของอาคารซึ่งหันไปทางทิศตะวันตก (สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน, 2553) ซึ่งมีข้อดีทั้งในด้านการใช้พื้นที่ว่างของอาคารในส่วนที่โดนแสงอาทิตย์ให้เกิดประโยชน์ เพิ่มความสวยงามแปลกตาให้กับอาคาร และข้อสำคัญคือสามารถผลิตไฟฟ้าใช้เองได้ ทำให้ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าลดลง ปัจจุบันการประยุกต์ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์กับอาคารมีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้นรวมถึงในประเทศไทย โดยรูปแบบของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับอาคารแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบหลัก คือการติดตั้งบนส่วนประกอบของอาคารหรือที่เรียกว่า BAPV (Building attached photovoltaic) และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แทนวัสดุประกอบอาคารในเชิงสถาปัตยกรรมหรือที่เรียกว่า BIPV (Building integrated photovoltaic: BIPV) เช่น การติดตั้งแทนบานหน้าต่าง กระเบื้องหลังคา และกันสาดดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะการประยุกต์ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์กับอาคาร

ที่มา: Shukla et al. (2017)

เนื่องมาจากพื้นที่ผนังส่วนใหญ่ของอาคารด้านนอก มีหน้าที่เป็นเพียงแค่โครงสร้างหนึ่งของอาคารไม่ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ บางอาคารจึงได้มีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาติดตั้งกับบริเวณผนังอาคารด้านนอกเพื่อใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาประยุกต์ใช้กับอาคารมีหลายประเภท เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไร้กรอบ (Frameless solar panel) กระเบื้องหลังคาพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar roof tile) และแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใส (Semi-transparent solar panel) ซึ่งล้วนแล้วแต่มีคุณสมบัติคือ สามารถติดตั้งแทนวัสดุประกอบอาคารได้ ปัญหาหนึ่งของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบทั่วไปร่วมกับอาคารคือ การที่แสงอาทิตย์ไม่สามารถทะลุผ่านเข้าไปในอาคารได้ จึงได้มีผู้ทำการคิดค้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสมีคุณสมบัติเด่นที่มีความสำคัญข้อหนึ่งคือ แสงสว่างจากธรรมชาติสามารถทะลุผ่านเข้ามาในส่วนที่เป็นกระจกโปร่งแสงได้ ถือว่าเป็นการประหยัดพลังงานในรูปแบบหนึ่ง ลักษณะของแผงชนิดนี้เป็นการจัดเรียงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เว้นระยะห่างระหว่างกัน แล้วประกบเซลล์แสงอาทิตย์เหล่านั้นด้วยกระจกทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งแสงอาทิตย์เป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยเพิ่มแสงสว่างให้กับอาคารและช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการส่องสว่าง



ภาพที่ 3 ลักษณะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบกึ่งโปร่งใส

ที่มา: Aperam (2012)

เนื่องมาจากพื้นที่ในอาคารมีความต้องการใช้พลังงานและแสงสว่างให้กับผู้ใช้งาน หากเพียงติดตั้งแต่กระจกใสได้รับเพียงแสงสว่าง ในขณะที่การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบทั่วไปที่มีลักษณะทึบแสงมีประโยชน์เพียงเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า แต่ถ้าหากสามารถนำคุณสมบัติเด่นของทั้งสองอุปกรณ์ดังกล่าวมาใช้งานร่วมกัน จะได้ประโยชน์ทั้งสองร่วมกัน ซึ่งการได้รับแสงสว่างจากภายนอกล้วนขึ้นอยู่กับพื้นที่ทึบแสงที่เป็นส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์และขนาดของแผงนั้นๆ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ

พื้นที่เซลล์ย่อมส่งผลทำให้ได้รับพลังงานเพิ่มขึ้น แต่ส่งผลทำให้ได้ปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามาน้อยลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงอัตราส่วนพื้นที่เซลล์กับพื้นที่กระจกให้เหมาะสมกับอาคาร ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสยังไม่มีแพร่หลายมากนักในท้องตลาดสำหรับประเทศไทย ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงได้พิจารณาถึง การพัฒนาและติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของอาคาร โดยวิธีการปรับระยะห่างระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าและแสงสว่างที่เหมาะสมสำหรับอาคาร โดยพิจารณาพลังงานไฟฟ้าสุทธิของอาคาร

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบกึ่งโปร่งใสให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานร่วมกับอาคาร
2. เพื่อศึกษาลักษณะการจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสที่มีผลต่อปริมาณแสงสว่างและพลังงานไฟฟ้าสุทธิ

ขอบเขตการศึกษา

1. ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนในการพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส
2. ใช้กระจกเป็นฐานรองสำหรับการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส
3. กำหนดลักษณะของการจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 2 รูปแบบ
4. ใช้แบบจำลองห้องสี่เหลี่ยมขนาดไม่น้อยกว่า $1 \times 1 \times 1\ m^3$ ในการทดสอบจริง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องของการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส
2. สามารถใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอาคารแทนการใช้วัสดุประกอบอาคารแบบทั่วไป
3. ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสที่มีลักษณะการจัดวางระยะห่างระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้ร่วมกับอาคาร

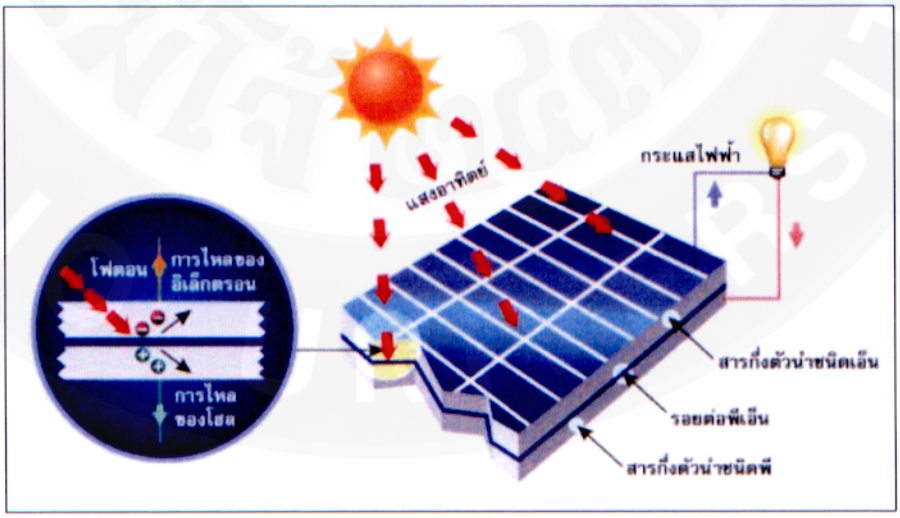
บทที่ 2
ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

ในงานวิจัยและศึกษาการพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงเพื่อนำมาใช้ร่วมกับอาคาร ได้ทำการศึกษาหลักการ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อให้งานวิจัยเป็นไปอย่างถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อดังนี้

ทฤษฎีเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

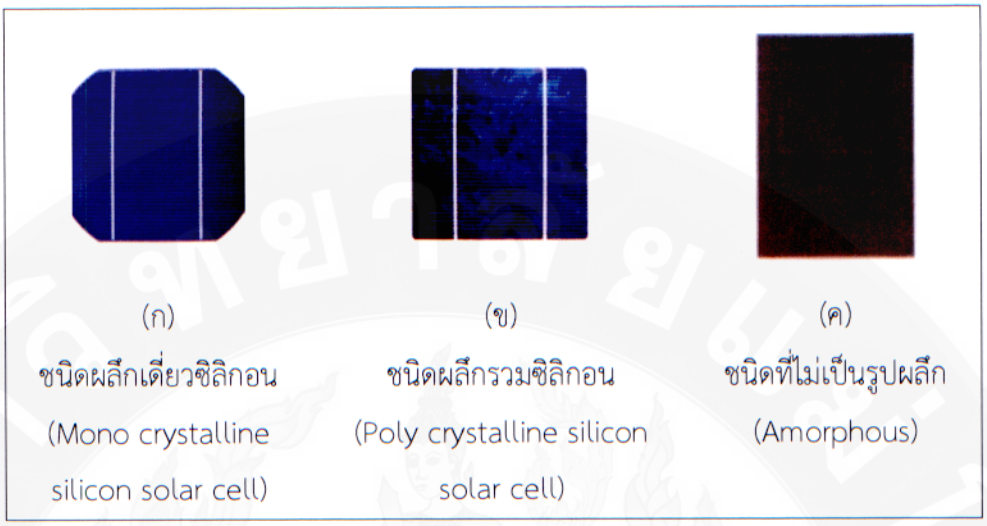
1. เซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก กล่าวคือเมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบสารกึ่งตัวนำในเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบ หรืออิเล็กตรอน (Electron) และประจุบวกหรือโฮล (Hole) ขึ้น โดยโครงสร้างรอยต่อพีเอ็น (p-n Junction) จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้แยกพาหะนำไฟฟ้าทั้งสองชนิดให้เป็นอิสระจากกัน จากนั้นอิเล็กตรอน และโฮลที่เป็นประจุอิสระก็จะเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวกและขั้วลบ ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ([ม.ป.ป.])



ภาพที่ 5 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนแบบต่างๆ

ที่มา: Huntsville Solar Works (n.d.)

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้โดยทั่วไปเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิกอน แบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นเป็น 2 แบบได้แก่แบบที่อยู่ในรูปของผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึกยังสามารถแบ่งออกได้อีกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Mono crystalline silicon solar cell) และชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly crystalline silicon solar cell) มีลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอน (Crystalline Silicon) ผลิตจากแท่งผลึกซิลิคอนที่เกิดจากการหลอมละลายซิลิกอนบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิสูงถึง 1,500 °C ผ่านกระบวนการตกผลึกอย่างช้าๆ และนำมาตัดเป็นแผ่นบางๆ เรียกว่า เวเฟอร์ (Wafer) (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2550) ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานประมาณ 14-19%

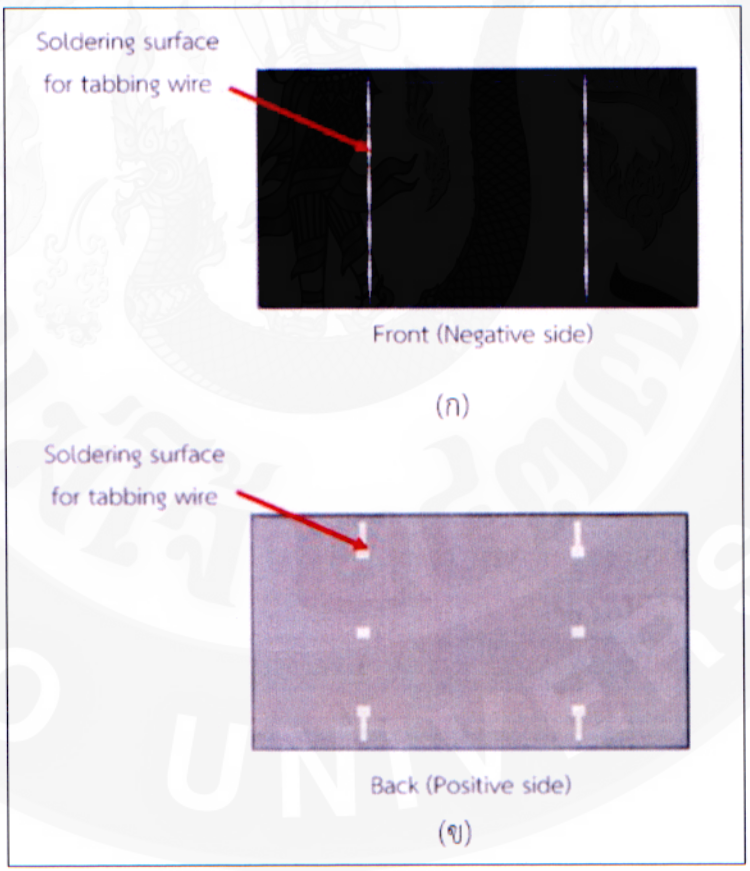
2. ส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในอุตสาหกรรม

แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปประกอบด้วยวัสดุด้านหน้าสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแผ่นกระจกนิรภัยเพื่อป้องกันการกระแทก วัสดุห่อหุ้มเซลล์ (Encapsulate) ชุดเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell strings) และวัสดุประกบแผ่นหลัง (Back sheet) โดยจะวางซ้อนกันและเพิ่มความแข็งแรงด้วยกรอบโลหะอลูมิเนียม โดยแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 วัสดุผิวหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่กันน้ำ ไอน้ำ ฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกรวมถึงแรงกระแทก สมบัติของวัสดุประกบผิวหน้า คือแสงสามารถส่องผ่านได้ดี ทนต่ออุณหภูมิสูงและต่ำได้ดี ทนต่อแรงกระแทก โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้เป็นผิวหน้าจะเป็นกระจกนิรภัยที่มีคุณสมบัติป้องกันความร้อน (Low emission glass) มีความหนา 3.2 mm เกิดจากขบวนการแปรรูป กระจกธรรมดา (Float Glass) เพื่อให้มีความแข็งแกร่ง และทนทาน ไม่แตกหักง่าย ทนต่ออุณหภูมิสูง-ต่ำ และแรงกระแทกได้ดี เหมาะกับการนำไปใช้ภายนอกอาคาร

2.2 วัสดุห่อหุ้มเซลล์ (Encapsulate) ช่วยในการจับยึดกันระหว่างวัสดุผิวหน้า ตัวเซลล์และวัสดุประกบแผ่นหลังของแผงเซลล์ ซึ่งต้องทนทานต่ออุณหภูมิสูงและรังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet: UV) รวมทั้งให้แสงส่องผ่านได้ดี ระบายความร้อนและยืดหยุ่นได้ดี โดยส่วนใหญ่ใช้วัสดุจำพวกโพลิเมอร์ที่เรียกว่า EVA (Ethyl vinyl acetate)

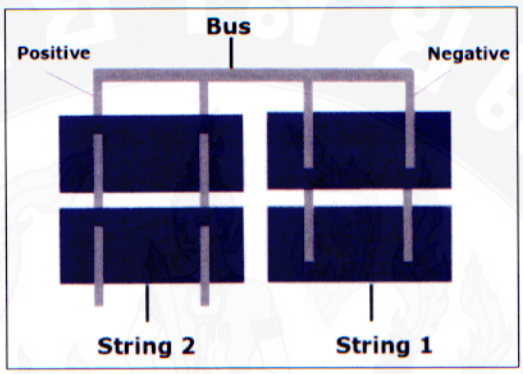
2.3 ชุดเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell strings)



ภาพที่ 6 ขั้วไฟฟ้าบวกและลบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน

ที่มา: MIT Media Lab (2012)

โดยทั่วไปแล้วด้านหน้าที่เป็นส่วนรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีสมบัติทางไฟฟ้าเป็นลบ (Negative side) ดังแสดงในภาพที่ 6 (ก) และด้านหลังเซลล์มีสมบัติทางไฟฟ้าเป็นบวก (Positive side) ดังแสดงภาพที่ 6 (ข) ซึ่งทั้งสองด้านมีส่วนที่เป็นโลหะเพื่อเชื่อมต่อเซลล์แต่ละเซลล์เข้าด้วยกันโดยใช้ลวดโลหะ (Tabbing wire) และการบัดกรี (Soldering) เป็นการเชื่อมขั้วไฟฟ้าเข้าด้วยกันเพื่อต่อสายไฟฟ้านำไปใช้งานต่อไปดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการบัดกรี (Soldering)

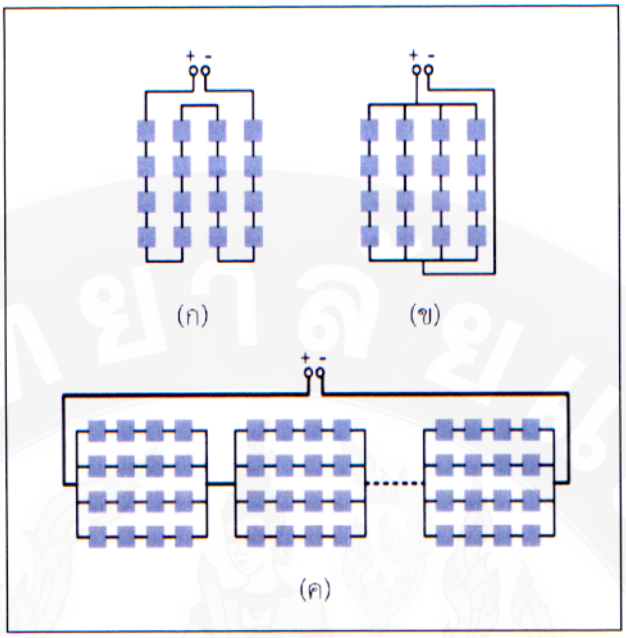
ที่มา: DH Gate (n.d.)

ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์นำไปใช้ในรูปแบบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Module) ต้องมีการเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นโดยนำเซลล์มาเชื่อมต่อกันในรูปแบบของแถวหรือเป็นชุด (Array) โดยรูปแบบการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้ามีอยู่ 3 รูปแบบคือ

2.3.1 แบบอนุกรม คือนำแต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมเป็น 1 แถวใน 1 แผงเพื่อเป็นการเพิ่มแรงดันไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 8 (ก)

2.3.2 แบบอนุกรม-ขนาน คือนำแต่ละแถวเซลล์ที่ต่อแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า แล้วมาต่อขนานเพื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าดังแสดงในภาพที่ 8 (ข)

2.3.3 แบบอนุกรม-ขนาน-อนุกรม คือนำแต่ละกลุ่มเซลล์ดังแสดงในภาพที่ 8 (ค) มาเชื่อมต่อกันแบบขนานเพื่อเป็นการเพิ่มทั้งแรงดันและกระแสไฟฟ้า



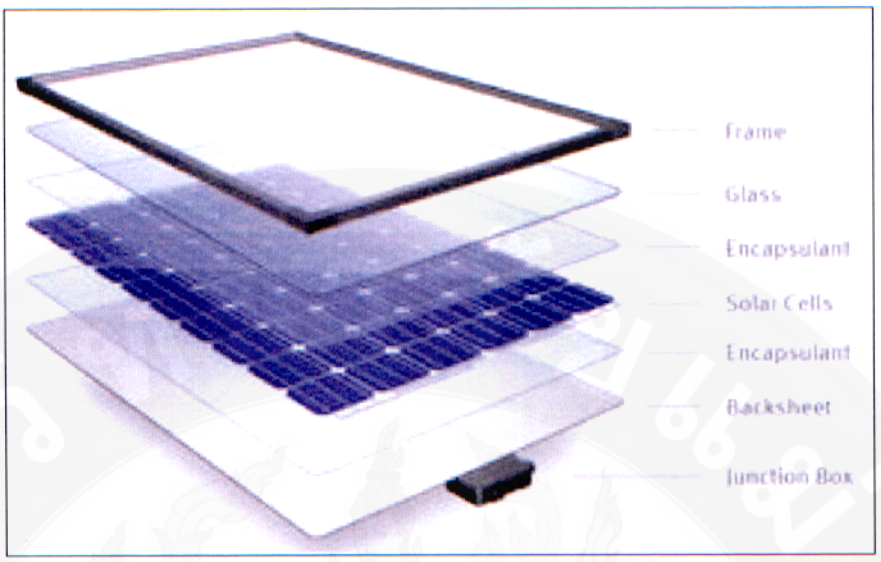
ภาพที่ 8 รูปแบบการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ([ม.ป.ป.])

2.4 วัสดุประกบแผ่นหลัง (Back sheet) เป็นส่วนที่อยู่ด้านหลังสุดของแผง ออกแบบมาเพื่อป้องกันวัสดุภายในแผงโดยเฉพาะเซลล์แสงอาทิตย์จากสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นและความร้อนจากแสงแดด ทำมาจากวัสดุจำพวกพอลิไวนิลฟลูออไรด์ หรือ พีวีเอฟ (Polyvinyl Fluoride: PVF) และ พอลิเอธีลีนเรพทาเลตฟิล์ม (Poly Ethylene Terephthalate: PET) สมบัติที่ดีของวัสดุประกอบแผ่นหลังคือ ค่าการซึมผ่านของความชื้นต่ำ และมีค่าทางฉนวนไฟฟ้าสูง

2.5 กล่องพักสาย (Junction box) เป็นที่รวบรวมสายไฟที่ออกมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีการติดตั้งบายพาสไดโอด (Bypass diode) เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการบังเงาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และมีสายไฟเฉพาะสำหรับต่อออกมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

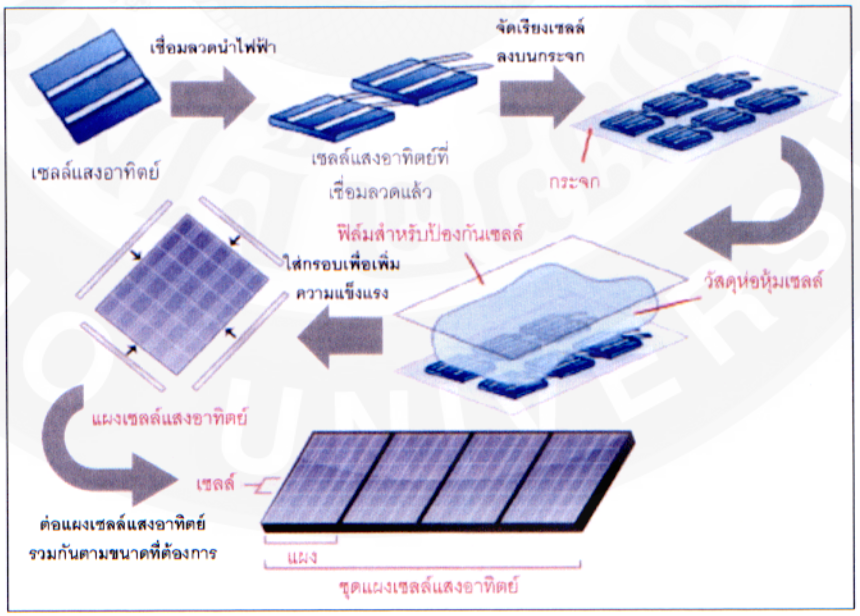
2.6 กรอบ (Frame) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างภายนอกของแผง เพิ่มความแข็งแรงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเป็นส่วนป้องกันแรงกระแทกต่างๆ โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้เป็นโลหะอลูมิเนียมชุบแข็ง (Anodized Aluminum)



ภาพที่ 9 ส่วนประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบทั่วไป

3. กระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติด้านการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ามีอายุการใช้งานเฉลี่ย 25 ปี เนื่องจากการเสื่อมสภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และอายุการใช้งานของวัสดุประกอบแผง ดังนั้นการเลือกวัสดุและกระบวนการผลิตแผงจึงมีความสำคัญ โดยทั่วไปแล้วการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำได้โดยกระบวนการดังต่อไปนี้

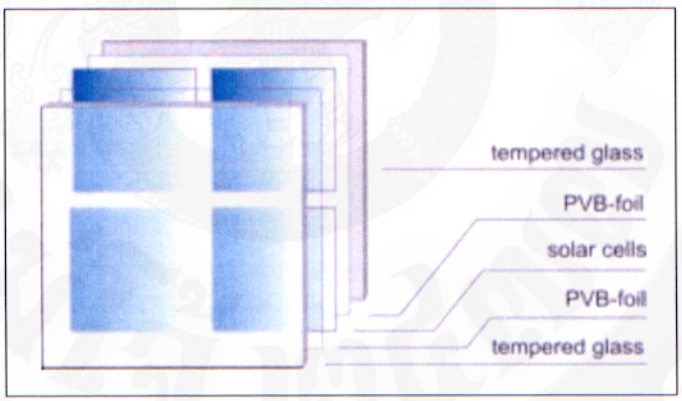


ภาพที่ 10 กระบวนการประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 10 แสดงให้เห็นถึงการประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เริ่มจากการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาเรียงต่อกันตามขนาดความต้องการไฟฟ้า จากนั้นทำการเชื่อมลวดนำไฟฟ้าของแต่ละเซลล์ด้วยวิธีการบัดกรี วางเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อวงจรแล้วบนวัสดุประกอบที่เป็นผิวหน้า มีการใช้วัสดุห่อหุ้มเซลล์เพื่อป้องกันความเสียหายของเซลล์แสงอาทิตย์อันเนื่องมาจากความชื้น เพิ่มความแข็งแรงของแผงด้วยการใส่กรอบอะลูมิเนียม จากนั้นนำแผงที่ประกอบเรียบร้อยแล้วมาต่อรวมกันตามขนาดกำลังไฟฟ้าที่ต้องการเรียกแผงที่ต่อกันนี้ว่าอาร์เรย์ (Array)

4. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใส

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสมีหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมองทะลุผ่านที่มีลักษณะเป็นกระจกแบบโปร่งใส (See through solar panel) และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประยุกต์จากแผงแบบทั่วไป โดยการจัดเรียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีระยะห่างระหว่างกัน และเปลี่ยนวัสดุประกบหลังแผงจากวัสดุทึบแสงเป็นกระจกใส โดยส่วนใหญ่เรียกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใส (Semi-transparent solar panel) หรือแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกระจกสองชั้น (Double glass solar panel) มีส่วนประกอบดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส

ที่มา: Lenardic (2015)

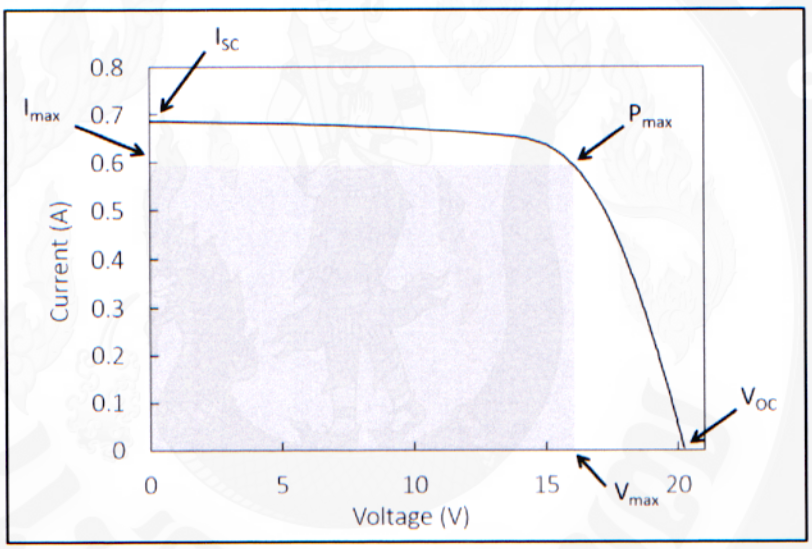
จากภาพที่ 11 จะเห็นได้โครงสร้างของแผงที่มีลักษณะเหมือนกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบทั่วไป แต่มีความแตกต่างอยู่ด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นกระจก โดยส่วนใหญ่จะใช้กระจกชนิด (Tempered glass) ที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการทั้งพลังงานและแสงสว่างของอาคาร จึงได้มีผู้พัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสโดยยอมให้แสงผ่านแผงเข้าสู่ตัวอาคาร แต่มีข้อเสีย

คือเมื่อระยะห่างของเซลล์มากขึ้นจะส่งผลทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าน้อยลง แต่มีข้อดีคือสามารถลดการใช้พลังงานจากหลอดไฟลงได้

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

1. การคำนวณหาพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

หลังจากการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องมีกระบวนการทดสอบทั้งกระบวนการทางด้านการรับแสงและกระบวนการทางด้านไฟฟ้าโดยวิธีการทดสอบวิเคราะห์คุณลักษณะกระแสและแรงดัน (I-V Characteristic) ดังแสดงในภาพที่ 12 ซึ่งจากการทดสอบนี้จะทำให้สามารถหาพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 12 เส้นโค้งสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

1.1. ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{max}) คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ต่ออยู่กับภาระทางไฟฟ้า

1.2. ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_{max}) คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ต่ออยู่กับภาระทางไฟฟ้า

1.3. ค่ากระแสไฟฟ้าลดวงจร (I_{SC}) คือ ค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่เกิดการลัดวงจร

1.4. ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{OC}) คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ไฟฟ้ามีภาระทางไฟฟ้า

1.5. ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_m) คือ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์ที่จ่ายออกมาในขณะที่มีภาระทางไฟฟ้า

1.6. ค่าฟิลแฟกเตอร์ (FF) คือ ค่าอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อผลคูณระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 1

$$FF = \frac{I_{max} \times V_{max}}{I_{SC} \times V_{OC}} \qquad \text{สมการที่ 1}$$

$$P_m = I_{max} \times V_{max} \qquad \text{สมการที่ 2}$$

เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องทราบค่ากำลังงานของแสงอาทิตย์ (P_{sun}) ที่เซลล์ได้รับ โดยต้องทราบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (Irradiance, G) ในหน่วย W/m^2 ที่ตกกระทบลงบนพื้นที่รับแสง (Active area, A) ของเซลล์แสงอาทิตย์มีหน่วยเป็น m^2 จากสมการที่ 3

$$P_{sun} = G \times A \qquad \text{สมการที่ 3}$$

เมื่อทราบค่าพลังงานแสงอาทิตย์แล้วจะสามารถหาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ได้จากอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ได้รับจากแสงอาทิตย์ (P_{sun}) และพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (P_{max}) ดังสมการที่ 4

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{sun}} \times 100 \qquad \text{สมการที่ 4}$$

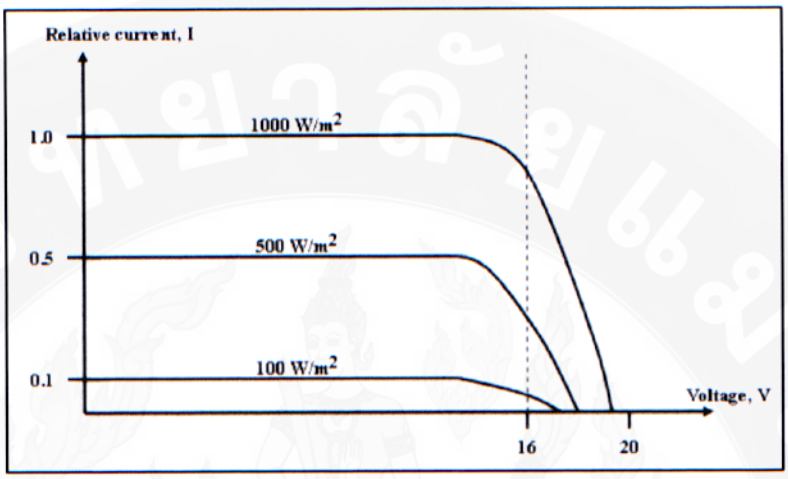
2. ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์คือค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบ รวมไปถึงอุณหภูมิขณะทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนั้นยังมีตัวแปรอื่นๆ คือความต้านทานภายในของเซลล์แสงอาทิตย์ รวมไปถึงการบังเงา โดยผลกระทบทางด้านไฟฟ้าที่เกิดจากปัจจัยต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ผลกระทบจากความเข้มรังสีอาทิตย์

ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการใช้งานทั่วไป จะอยู่ในระนาบคงที่ ในขณะที่มุมของดวงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

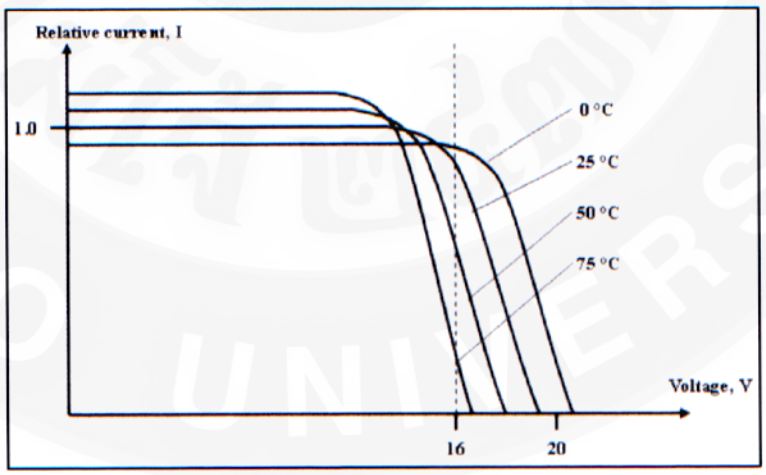
ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้าได้รับผลกระทบโดยตรงจากการเปลี่ยนแปลงของค่ารังสีอาทิตย์ กล่าวคือเมื่อค่ารังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2. อุณหภูมิขณะทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

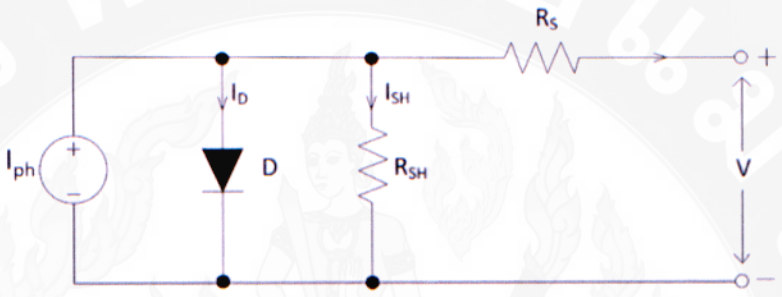
กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลงโดยได้ผลดังแสดงในภาพที่ 14 โดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 °C ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% รวมไปถึงกระแสไฟฟ้าที่ลดลงเช่นกัน



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

3. วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าเมื่อได้รับแสงที่มีระดับความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อช่วงการทำงาน ในการใช้งานต้องทราบสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสแรงดันไฟฟ้าที่เริ่มต้นจากด้วยวงจรสมมูล (Equivalent circuit) ดังแสดงในภาพที่ 15 ประกอบด้วยแหล่งจากกระแสเป็นแบบกระแสคงที่ ซึ่งแปรผันตามความเข้มแสงที่ตกกระทบบนเซลล์สามารถเขียนแทนด้วยสมการที่ 5 และสมการที่ 6



ภาพที่ 15 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

$$I = I_{ph} - I_D - I_{SH}$$ สมการที่ 5

เมื่อ I คือ กระแสไฟฟ้าร่วมของวงจร (A)

I_{ph} คือ กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งพลังงานแสง (A)

I_D คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด (A)

R_{sh} คือ ค่าความต้านทานชันต์ (Ohm)

R_s คือ ค่าความต้านทานอนุกรม (Ohm)

V คือ แรงดันไฟฟ้าขาออก (V)

$$I = I_{ph} - I_0\left[e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT}} - 1\right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}}$$ สมการที่ 6

เมื่อ I_0 คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (A)

q คือ ประจุของอิเล็กตรอน (V)

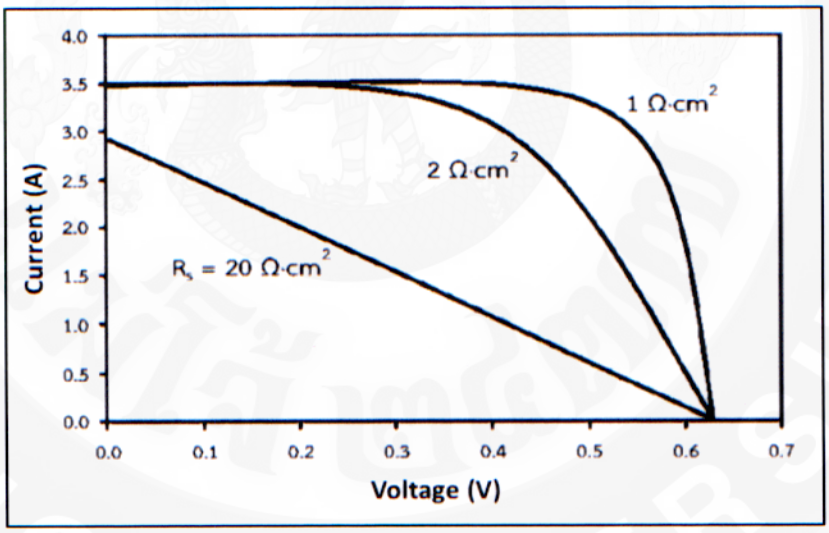
V คือ แรงดันที่ตกคร่อมภาระทางไฟฟ้า, (V)

n คือ แฟกเตอร์ทางอุดมคติ

K คือ ค่าคงที่ Boltzmann (J/K)

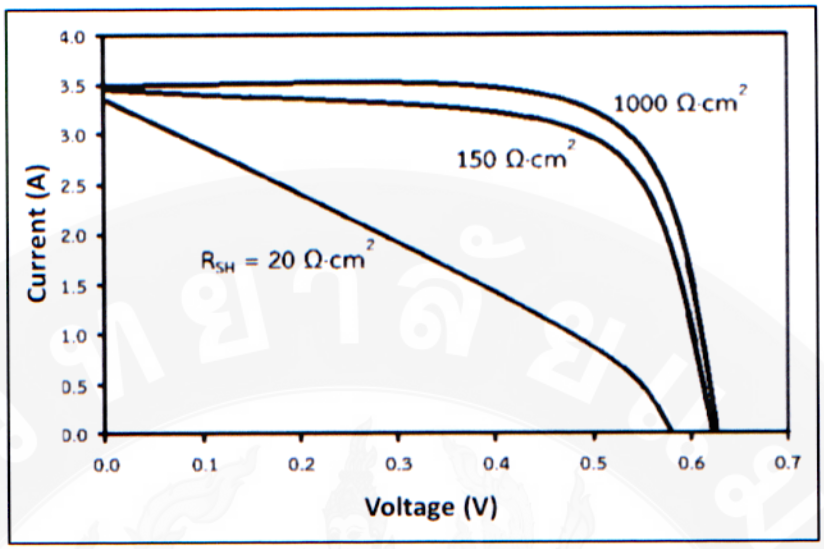
T คือ อุณหภูมิที่รอยต่อของเซลล์ขณะทำงาน (K)

ความต้านทานอนุกรม (Series resistance; R_s) เป็นค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นจากจุดเชื่อมต่อระหว่างตัวนำไฟฟ้ากับเซลล์ ส่วนความต้านทานชันต์ (Shunt resistance; R_{sh}) เกิดขึ้นเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าในลักษณะไบอัสย้อนกลับให้กับไดโอดซึ่งทางอุดมคติจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับ แต่ในความเป็นจริงนั้นมีกระแสไหลย้อนกลับในระดับต่ำ แสดงให้เห็นว่ามีเส้นทางที่กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้ ดังนั้นจึงแทนด้วยความต้านทานขนานซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับความต้านทานอนุกรมซึ่งมีค่าต่ำมาก โดยเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติความต้านทานขนานควรมีค่าอนันต์ ไม่มีการไหลของกระแสภายใน และกระแสทั้งหมดที่เซลล์ผลิตขึ้นภายในควรไหลออกไปจ่ายโหลดภายนอก ขณะที่ความต้านทานอนุกรม (R_s) ควรมีค่าเป็นศูนย์ และไม่มีแรงดันตกคร่อมส่วนใดของเซลล์ก่อนไปถึงโหลด ซึ่งจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด มีค่าเท่ากับแรงดันที่ขั้วของเซลล์แสงอาทิตย์ แต่อย่างไรก็ตามเซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังมีความต้านทานอนุกรมอยู่เสมอ โดยตัวแปรที่สำคัญของการเกิดความต้านทานอนุกรมคือ การยึดหน้าสัมผัสระหว่างลวดเชื่อมไฟฟ้าและเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งด้านหน้าและด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะบัดกรี โดยผลของการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสดงในภาพที่ 16 และภาพที่ 17



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสลัดและแรงดันต่อความต้านทานอนุกรม

ที่มา: ชนกนันท์ (2557)



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสลัดและแรงดันต่อความต้านทานชันต์

ที่มา: ชนกนันท์ (2557)

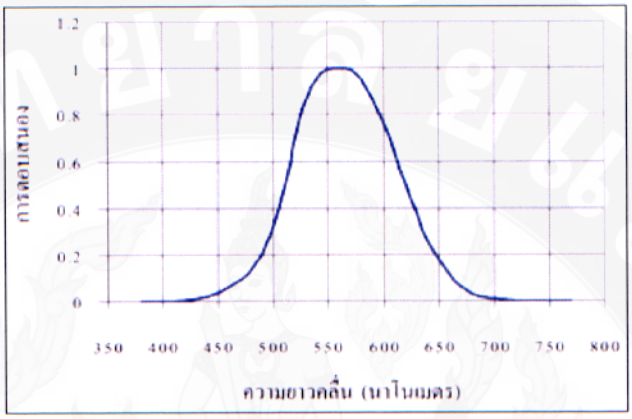
ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

1. สมบัติของแสง

รังสีอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศมาถึงพื้นผิวโลก ประกอบด้วยความยาวคลื่นต่างๆ โดยพลังงานส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 300-3,000 nm แต่ตามนุษย์สามารถรับรู้ได้ในช่วงความยาวคลื่น 380-770 nm เท่านั้น รังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นนี้เรียกกันทั่วไปว่า แสงสว่างธรรมชาติ (Daylight) ความรู้เกี่ยวกับแสงสว่างธรรมชาติมีความสำคัญต่องานด้านออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานที่ใช้แสงสว่างธรรมชาติเพื่อลดการใช้ไฟฟ้าสำหรับให้แสงสว่างในอาคาร

แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ผ่านเข้าผ่านชั้นบรรยากาศมาสู่พื้นโลก ประกอบด้วยพลังงานจากรังสีของแสงที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศเข้ามาโดยตรง และแสงที่เกิดจากการกระจายและการสะท้อนภายในชั้นบรรยากาศ แบ่งองค์ประกอบของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผ่านชั้นบรรยากาศสู่โลกได้เป็น 2 ประเภทคือ รังสีตรง (Direct radiation) เป็นรังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงสู่พื้นโลก โดยไม่เกิดอันตรกิริยาการอะตอมของธาตุใดๆ ในชั้นบรรยากาศทำให้มีค่าความเข้มของแสงสูงเมื่อมาถึงพื้นโลก และรังสีกระจาย (Diffuse radiation) เป็นรังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่เกิดการชนกับอะตอมของธาตุต่างๆ ในชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดการกระจายของแสงและบางส่วนสะท้อนลงสู่พื้นโลก ค่าความเข้มของแสงจากรังสีประเภทนี้จะน้อยกว่ารังสีตรงมาก

เมื่อแสงมีการเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงผ่านออกสู่ตัวกลางชนิดต่างๆ แต่ละชนิดย่อมมีผลแตกต่างกันไป รวมถึงสายตาของมนุษย์ตอบสนองต่อแสงสว่างที่ความยาวคลื่นต่างๆ ได้ไม่เท่ากัน โดยคณะกรรมการความสว่างนานาชาติ (Commission Internationale d'Eclairage, CIE) ได้กำหนดมาตรฐานการตอบสนองต่อแสงสว่างของตามนุษย์ดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 การตอบสนองต่อแสงสว่างของสายตามนุษย์

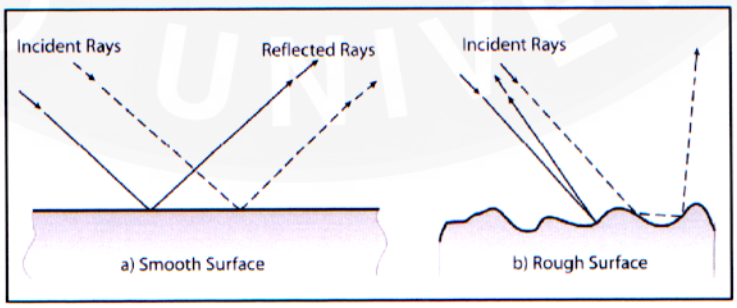
ที่มา: เสริม (2557)

2. พฤติกรรมของแสง

เมื่อแสงตกกระทบลงบนวัตถุชนิดใดชนิดหนึ่งจะมีพฤติกรรมการแสดงออกต่างกันซึ่งสามารถแบ่งพฤติกรรมของแสงได้ดังนี้

2.1 การสะท้อน (Reflection)

เป็นพฤติกรรมของแสงที่ส่องไปกระทบผิวตัวกลางที่มีลักษณะต่างกันและสะท้อนตัวออกไปโดยที่ความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นแสงไม่มีการเปลี่ยนแปลง การสะท้อนของแสงมีหลายลักษณะดังแสดงในภาพที่ 19



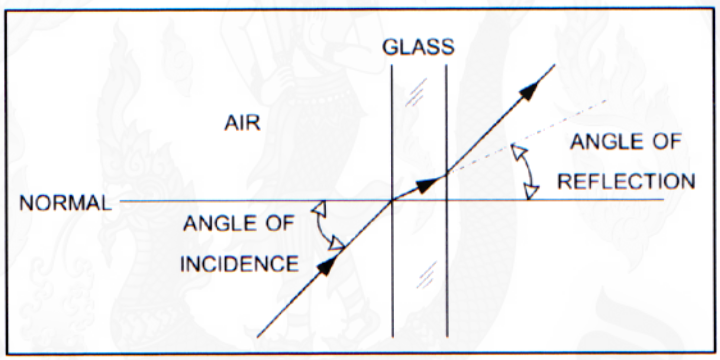
ภาพที่ 19 การสะท้อนของแสง (Reflection) บนผิวเรียบมัน และผิวขรุขระ

ที่มา: Beeson and Mayer (2008)

การสะท้อนแบบกระจกเงา (Specular reflection) เป็นลักษณะการสะท้อนของแสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุทึบแสง (Opaque material) ที่มีผิวเรียบมัน เช่น กระจกเงาหรือโลหะขัดมัน มุมตกกระทบของแสง (Angle of incidence) เท่ากับมุมสะท้อนของแสง (Angle of reflection) ส่วนการสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffuse reflection) เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบบนวัตถุผิวไม่เรียบหรือผิวด้าน แสงที่สะท้อนออกจะกระจายไปในทุกทิศทาง

2.2 การหักเหของแสง (Refraction)

เป็นการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของแสง เมื่อแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางชนิดหนึ่งไปยังอีกตัวกลางชนิดหนึ่งที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน สาเหตุที่ทำให้แสงหักเหเนื่องจากอัตราเร็วของแสงในตัวกลางทั้งสองไม่เท่ากัน การหักเหของแสงเกิดขึ้นตรงผิวรอยต่อของตัวกลาง



ภาพที่ 20 การหักเหของแสง (Refraction)

ที่มา: Beeson and Mayer (2008)

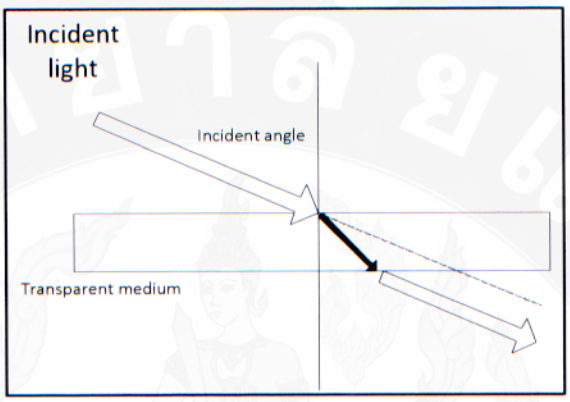
2.3 การส่องผ่านของแสง (Transmission)

การส่องผ่านของแสงจะเกิดขึ้นเมื่อแสงส่องผ่านตัวกลางแล้วสามารถทะลุผ่านไปยังอีกด้านหนึ่ง ในกรณีเมื่อแสงตกกระทบบนวัตถุโปร่งแสง แสงส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับ อีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน และอีกส่วนหนึ่งจะทะลุผ่านออกไป จะสามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ 7

ปริมาณแสงทั้งหมด = ปริมาณแสงที่ถูกสะท้อนกลับ (Reflection) + ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืน (Absorption) + ปริมาณแสงที่ทะลุผ่าน (Transmission) สมการที่ 7

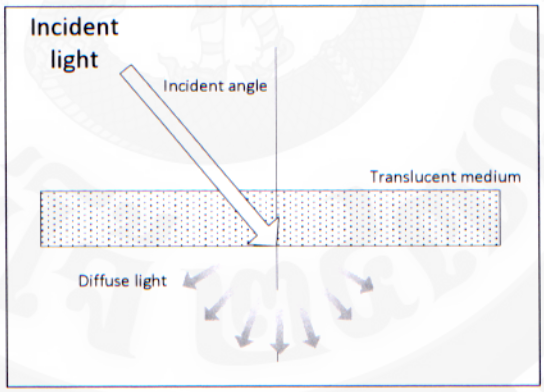
ชนิดของตัวกลางที่แสงส่องผ่านได้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

ตัวกลางชนิดโปร่งใส (Transparent medium) การส่องผ่านในลักษณะนี้มีการหักเหของแสงเกิดขึ้น หรือมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางของแสงซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลางโดยสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงอีกด้านหนึ่งได้



ภาพที่ 21 การส่องผ่านของแสงผ่านตัวนำโปร่งใส (Transparent medium)

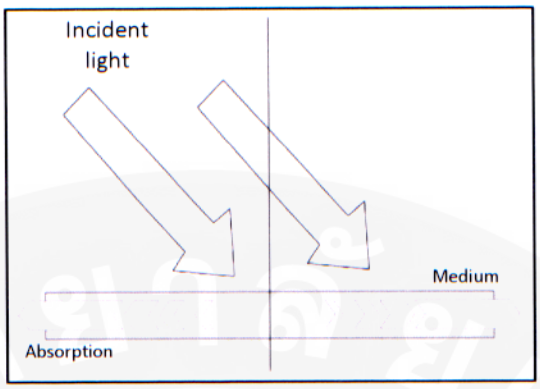
ตัวกลางชนิดโปร่งแสง (Translucent medium) การส่องผ่านของแสงในลักษณะนี้จะเป็นลักษณะแสงแบบกระจายและไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนินแสงในอีกด้านหนึ่งได้



ภาพที่ 22 การส่องผ่านของแสงผ่านตัวนำโปร่งแสง (Translucent medium)

2.4 การดูดกลืน (Absorption)

เป็นปรากฏการณ์ที่แสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางจะถูกดูดกลืนเข้าไป ซึ่งปริมาณการดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับค่าการดูดกลืนของแสงที่แตกต่างกันไปตามลักษณะของวัตถุนั้นๆ โดยทั่วไปเมื่อแสงดูดกลืนเข้าสู่ตัวกลางจะเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงานจากในรูปของพลังงานแสงไปเป็นพลังงานความร้อนดังแสดงในภาพที่ 23



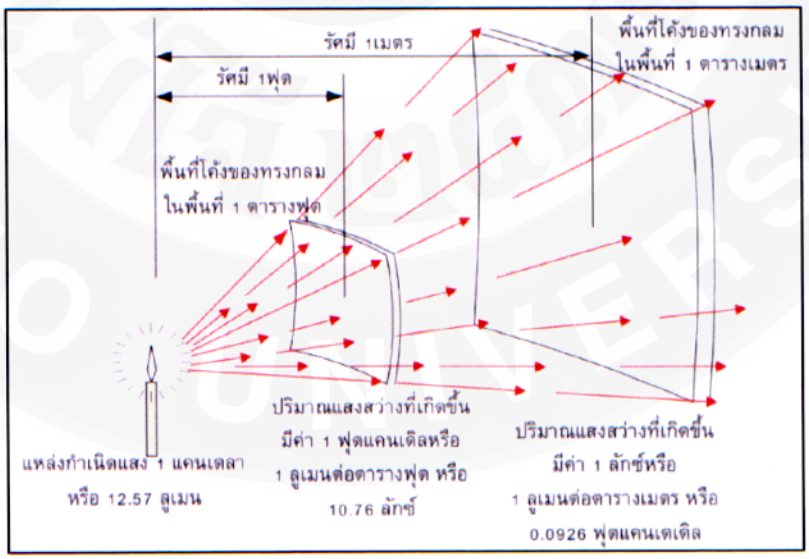
ภาพที่ 23 การดูดกลืนของแสง (Absorption)

ศัพท์แสงสว่าง

1. ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่างพื้นฐาน

1.1 ปริมาณแสง (Luminous Flux)

รังสีหรือกำลังของแสงที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงใน 1 หน่วยเวลา เป็นการบอกค่าพลังงานหรือกำลังของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงในรูปแบบของเส้นแรงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดมีหน่วยเป็นลูเมน (Lumen, lm) โดยปริมาณแสง 680 lm ที่เกิดจากลำของรังสีหนึ่งๆ ที่ความยาวคลื่น 555 นาโนเมตร จะมีพลังงาน 1 วัตต์ เป็นค่ามากที่สุดสำหรับสายตาของมนุษย์ในการมองเห็น เช่น เทียนไขทั่วไปจะให้แสงประมาณ 12.57 lumen ดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 อธิบายหน่วยของความสว่าง

ที่มา: มนตรี (2558)

1.2. ความส่องสว่าง (Illuminance)

ความส่องสว่าง คือ ปริมาณแสงที่ตกกระทบพื้นที่หน่วยใดๆ มีหน่วยเป็นลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ปริมาณแสง 1 ลูเมนที่ตกกระทบบนพื้นที่ 1 ตารางเมตรของพื้นผิวทรงกลมที่มีรัศมี 1 เมตร ความส่องสว่างจะมีค่าเท่ากับ 1 ลักซ์ (Lux)

1.3. ความสว่าง (Luminance)

ความสว่าง หมายถึง ความส่องสว่างที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ มีหน่วยเป็น cd/m^2 หากวัตถุมีผิวที่มีลักษณะแตกต่างกันหรือมีสีที่ต่างกันก็จะทำให้ค่าความสะท้อนที่ต่างกัน นั่นคือ ค่าความสว่าง (Luminance) ก็จะต่างกันไปด้วย เช่น หากเราส่องแสงเข้ากระทบกับวัตถุสีขาวก็จะมีความสว่างมากกว่าวัตถุสีดำดังแสดงความสัมพันธ์ได้ในสมการที่ 8

$$L = \frac{\rho E}{\pi}$$ สมการที่ 8

เมื่อ L คือ ความสว่าง (cd/m^2)

ρ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุ

E คือ ความส่องสว่าง (lux)

1.4 อุณหภูมิสีของแสง (Color temperature)

เกิดจากการเผาไหม้วัสดุสีดำอุดมคติ (Black body) ซึ่งมีการดูดซับความร้อนได้สมบูรณ์ด้วยอุณหภูมิที่กำหนด ซึ่งอุณหภูมิสีจะเป็นสิ่งที่บ่งบอกว่าแสงมีความขาวแค่ไหน ถ้าอุณหภูมิสีของแสงต่ำจะให้สีเหลืองหรือแดงคือโทนสีอุ่น ในขณะที่อุณหภูมิของสีสูงขึ้นคือโทนสีเย็น ในการเลือกใช้หลอดไฟจึงทำให้ได้บรรยากาศต่างกัน โดยโทนสีอุ่นจะเหมาะกับที่พักอาศัย ซึ่งให้ความรู้สึกอุ่นสบาย เช่น Warm white ส่วนโทนสีเย็นหรือ Daylight จะให้ความรู้สึกกระฉับกระเฉงเหมาะกับการทำงาน โดยมีผู้ทำการทดลองผลของอุณหภูมิสีของแสงในระบบแสงสว่างในอาคารในด้านความรู้สึก อารมณ์ ความคิด และความตื่นตัวของมนุษย์ พบว่าอุณหภูมิสีที่สูงขึ้น (เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 7,500 K และ 3,000 K) ส่งผลให้ระบบประสาทด้านการรับรู้เพิ่มขึ้น และในทางตรงกันข้าม อุณหภูมิสีของแสงที่ต่ำลง ส่งผลต่ออาการเซื่องซึม ไม่ตื่นตัวของมนุษย์ (Mills et al., 2007) ดังตัวอย่างของอุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดแสงประเภทต่างๆ ในตารางที่ 2

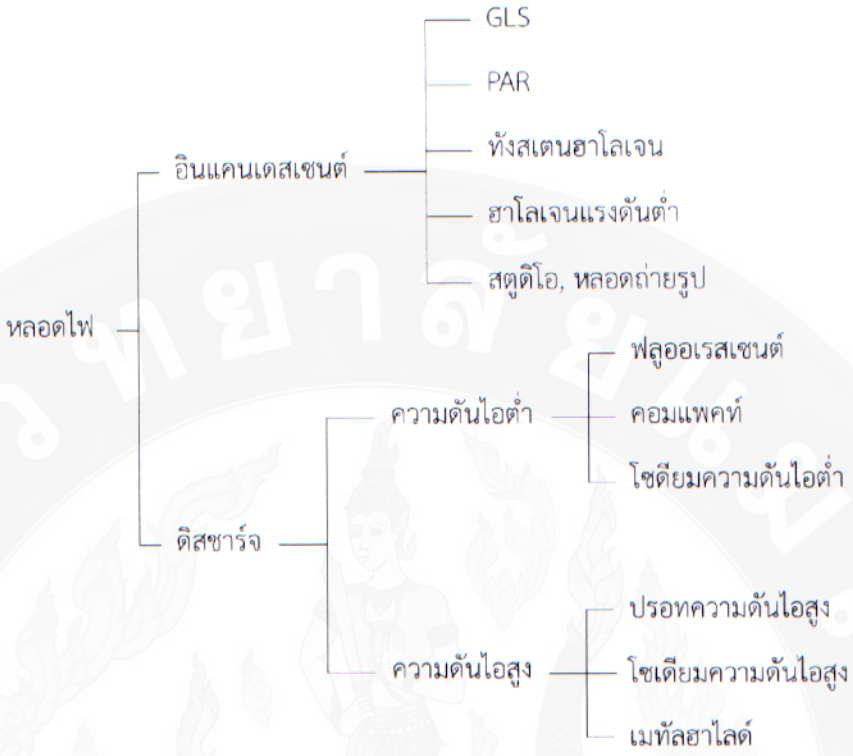
ตารางที่ 2 ค่าอุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ

อุณหภูมิสีของแสง (K)	โทนสีของแสง (Color group)	ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสง
1,900	สีขาวส้ม (Incandescent)	เทียนไข
2,700	สีขาวส้ม	หลอดอินแคนเดสเซนต์
3,000	สีขาวเหลือง (Warm white, WW)	หลอดฮาโลเจน
3,500	สีขาวเหลือง	หลอดไอปรอทความดังสูง
3,500	สีขาวเหลือง	หลอดฟลูออเรสเซนต์ สีวอร์มไวท์
4,000	สีขาวเย็น (Cool white, CW)	หลอดเมทัลฮาไลด์
4,500	สีขาวเย็น	หลอดฟลูออเรสเซนต์ สีคูลไวท์
5,000-6,000	สีขาว (Daylight, D)	แสงอาทิตย์กลางวัน
6,500	สีขาวฟ้าเย็น (Cool daylight, CD)	หลอดฟลูออเรสเซนต์สีเดย์ไลท์

ที่มา: ศิริชัย (2559)

2. แสงประดิษฐ์

ในอดีตผู้คนนิยมใช้แสงสว่างจากธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ แต่ต่อมาได้มีผู้พัฒนาและประดิษฐ์หลอดไฟมาใช้ และได้รับความนิยมอย่างมากเนื่องจากสามารถควบคุมปริมาณแสงได้ แตกต่างจากแสงธรรมชาติที่ยากต่อการควบคุม โดยประเภทของแสงประดิษฐ์ ได้จากหลอดไฟประเภทต่างๆ ดังนี้ หลอดปล่อยประจุ เป็นหลอดที่ไม่มีไส้หลอด ซึ่งหมายถึงหลอดฟลูออเรสเซนต์ (หลอดปรอทความดันไอต่ำ) หลอดคอมแพคท์ หลอดปรอดความดันไอสูง หลอดโซเดียมความดันไอต่ำและสูง หลอดเมทัลฮาไลด์ โดยการแบ่งชนิดของหลอดข้างต้นสามารถเขียนได้เป็นไดอะแกรมดังแสดงในภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ประเภทของหลอดไฟ

ที่มา: ชำนาญ (2542)

หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp) เป็นหลอดไฟฟ้าที่จัดได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดแสงสว่างที่ได้รับความนิยมแพร่หลายมากที่สุด เพราะหลอดฟลูออเรสเซนต์มีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างสูงพอสมควร และคุณภาพของแสงเป็นแสงสีขาวนวลซึ่งเหมาะสำหรับการให้แสงสว่างทั่วๆ ไป ได้ถูกนำมาใช้ทดแทนแหล่งกำเนิดแสงสว่างเดิมคือหลอดมีไส้ (Incandescent) เป็นหลอดคายประจุแรงดันไอต่ำที่ใช้ไอปรอท มีลักษณะหลอดแก้วยาวที่ฉาบภายในไว้ด้วยสารเรืองแสงและมีขั้วไฟฟ้าที่ปลายทั้งสองด้าน ก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในเป็นก๊าซเฉื่อยที่กระตุ้นได้ง่ายและทำหน้าที่ควบคุมการคายประจุด้วย ก๊าซมีส่วนผสมของปรอทปริมาณเล็กน้อย ไอของปรอททำให้เกิดรังสีอัลตร้าไวโอเลตเมื่อได้รับการกระตุ้นผิวด้านในของหลอดเคลือบด้วยสารเรืองแสงซึ่งเปลี่ยนรังสีอัลตร้าไวโอเลตที่เกิดขึ้นให้เป็นแสงที่มองเห็นโดยวิธีการเรืองแสง เพื่อให้การจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์สะดวกขึ้น ขั้วไฟฟ้าที่ปลายหลอดทั้งสองด้านมีลักษณะเห็นขดลวดเคลือบด้วยออกไซด์ของโลหะซึ่งกระตุ้นให้เกิดกระแสอิเล็กตรอน โดยขั้วไฟฟ้าจะถูกทำให้ร้อนในช่วงต้นของการจุดหลอดในเวลาเดียวกันบัลลาสต์จะเพิ่มแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วหลอดเพื่อให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากขั้วหลดหนึ่งไปยังอีกขั้วหลอดหนึ่ง ทำให้

ฟลูออเรสเซนต์ทำงาน จากนั้นบัลลาสต์จะทำหน้าที่จำกัดปริมาณกระแสไฟฟ้าไม่ให้มากเกินไปเพื่อป้องกันความเสียหายของหลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์มีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง มีอายุการใช้งานนาน แต่จะลดลงเป็นสัดส่วนตามความถี่ของการเปิดปิดหลอดไฟ หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบทั่วไปต้องมีอุปกรณ์จุดหลอดและบัลลาสต์ในการทำงาน โดยจะจุดติดอย่างรวดเร็วและทำงานเต็มกำลังในช่วงระเวลาสั้นๆ เมื่อปิดหลอดแล้วสามารถเปิดใหม่ได้ทันที การที่สีของแสงสว่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์แตกต่างกันเกิดจากการใช้ส่วนผสมของสารเรืองแสงที่แตกต่างกัน เมื่อใช้ส่วนของสารเรืองแสงที่เหมาะสมแล้วจะทำให้ได้แสงสีขาว สัดส่วนที่ต่างกันของสารเหล่านี้ สามารถทำให้ได้แสงขาวโทนอุ่น (Warm white) แสงขาวธรรมดา (Neutral white) และแสงขาวแบบแสงกลางวัน (Daylight)

2.1 ค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Color rendering index, CRI)

เป็นค่าที่บอกถึงแสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุทำให้เห็นสีของวัตถุได้ถูกต้องมากน้อยเพียงใด ซึ่งค่า CRI นี้ไม่มีหน่วย โดยมีค่าตั้งแต่ 0-100 โดยกำหนดให้แสงอาทิตย์ในเวลากลางวันเป็นดัชนีอ้างอิงเปรียบเทียบที่มีค่า CRI=100 เพราะแสงอาทิตย์กลางวันประกอบไปด้วยสเปกตรัมครบทุกสี เมื่อใช้แสงนี้ส่องวัตถุแล้วสีของวัตถุที่เห็นจะไม่มีความเพี้ยน

2.2 ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอด (Lamp Luminous Efficacy)

คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงที่หลอดเปล่งออกมาได้ (ปริมาณฟลักซ์การส่องสว่างที่ออกจากหลอด โดยทั่วไปวัดที่ค่าฟลักซ์การส่องสว่างเริ่มต้น คือ หลังหลอดทำงานแล้ว 100 ชั่วโมง) ต่อกำลังไฟฟ้าที่หลอด มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อวัตต์ (lumen/W) เรียกว่า ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอด แต่ถ้าหากค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ ไม่ใช่ค่ากำลังไฟฟ้าที่หลอด แต่เป็นค่ากำลังไฟฟ้าของวงจรหรือค่ากำลังที่หลอดรวมบัลลาสต์ จะเรียกว่า ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างของวงจร หรือ ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอดรวมบัลลาสต์ (Circuit luminous efficacy or System luminous efficacy)

2.3 ค่าประสิทธิภาพของโคมไฟ (Luminaire Efficiency)

เป็นค่าที่ใช้บอกประสิทธิภาพการให้แสงของโคมไฟ ซึ่งมาจากค่าอัตราส่วนของแสงโดยรวมที่ออกจากโคม เมื่อเทียบกับแสงที่ออกจากหลอดที่ติดตั้ง เช่น โคมฟลูออเรสเซนต์ตะแกรงโดยทั่วไปอาจมีค่าประสิทธิภาพของโคมไฟ ประมาณ 60% แต่โคมฟลูออเรสเซนต์ตะแกรงแบบประสิทธิภาพสูงจะมีค่าประสิทธิภาพโคมไฟมาถึง 80% ซึ่งหมายความว่า หากหลอดเปล่งแสงออกจากหลอดคิดเป็น 100% เมื่อนำหลอดประเภทนี้ไปติดตั้งในโคมไฟประสิทธิภาพสูงจะให้ออกจากดวงโคมมากถึง 80%

การออกแบบระบบแสงสว่างภายใน

1. ระดับการส่องสว่างที่เหมาะสม

ในการออกแบบระบบแสงสว่างภายในนั้น มีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ระดับความเข้มแสง ความพอใจของความส่องสว่าง แสงจ้า ดังที่กล่าวมานั้นล้วนมีข้อบังคับที่กำหนดขึ้นมาจากหลายมาตรฐาน เช่น CIE (Commission Internationale de L'eclairage) และ IES (Illuminating Engineering Society) พื้นฐานที่จำเป็นและมีความสำคัญในการพิจารณาถึงความพอเพียงของแสงในระบบแสงสว่างภายในนั้นจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และเรื่องระคายตา จำนวนของแสงหรือระดับแสงสว่างจะถูกกำหนดโดยความส่องสว่าง (Illuminance) ที่ปรากฏบนพื้นผิวใช้งาน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าระดับแสงสว่างและคุณภาพของระบบแสงสว่างจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขดังต่อไปนี้

ระดับการส่องสว่างที่เหมาะสมสำหรับงานต่างๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะของงาน เช่นสำหรับงานที่ไม่ใช้สายตาซับซ้อนต้องการการส่องสว่างในระดับต่ำ ในทางกลับการสำหรับงานที่ใช้สายตาซับซ้อนต้องการการส่องสว่างในระดับสูง เช่น ระดับการส่องสว่าง 20 lux เป็นค่าเริ่มต้นที่สายตาสามารถจำแนกลักษณะใบหน้าของบุคคลได้ สำหรับการทำงานต่อเนื่องต้องการระดับการส่องสว่างอย่างน้อย 200 lux ความแตกต่างของระดับแสงสว่างภายในจะขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นที่ภายใน และการใช้พื้นที่ซึ่งแยกออกได้เป็น

- ระดับต่ำสุดสำหรับพื้นที่ทางเดิน (The minimum for circulation area) เป็นระดับของแสงสว่างที่สามารถมองเห็นลักษณะใบหน้าของบุคคลออก โดยมีค่าความส่องสว่างประมาณ 20 lux ซึ่งจะเป็นค่าความเข้มแสงที่ต่ำสุดสำหรับพื้นที่ทางเดินหรือพื้นที่ที่ไม่ได้มีเพื่อทำงาน
- ระดับต่ำสุดสำหรับการทำงาน (The minimum for working interiors) เป็นระดับแสงสว่างที่สามารถมองเห็นลักษณะใบหน้าของบุคคลออก โดยการมองเห็นไม่จำเป็นต้องเพ่งสายตามาก จะมีค่าความส่องสว่างที่ 200 lux ซึ่งจะเป็นค่าต่ำสุดสำหรับพื้นที่ทำงานทั้งหมด
- ระดับดีที่สุดสำหรับการทำงาน (The optimum for working interiors) เป็นระดับของแสงสว่างที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำงาน โดยมีค่าความส่องสว่างประมาณ 2,000 lux ทั้งนี้เพราะได้มีการค้นคว้าของประเทศต่างๆ ในยุโรป โดยศึกษาภายใต้ข้อกำหนดที่ว่า ความพอใจในการทองเห็นของการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และไม่มีแสงจ้า โดยผลการศึกษาสรุปว่าตำแหน่งของความส่องสว่างที่ทำให้เกิดความพอใจสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 1,500-3,000 lux แต่ 75% ของกลุ่มผู้สังเกตมีความพึงพอใจที่ค่าความส่องสว่าง 2,000 lux

มนุษย์ต้องการแสงเพื่อการมองทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณเพื่อตอบสนองด้านจิตในและทำให้เกิดการเรียนรู้ การใช้แสงอย่างมีประสิทธิภาพจะต้องสามารถตอบสนองความต้องการแสงได้ ความต้องการขั้นพื้นฐานของมนุษย์นั่นคือการดำรงชีวิต โดยมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการเดินทาง

การเคลื่อนไหว การดำรงอยู่ การป้องกันตัว และการเอาชีวิตรอด ความต้องการแสงในการทำกิจกรรมของมนุษย์มีไม่เท่ากันในแต่ละบุคคลขึ้นอยู่กับรายละเอียดในการมอง โดยแบ่งความส่องสว่างออกเป็น 3 ระดับ คือ 20-200 lux สำหรับการมองเห็นทั่วไป ส่วนย่าน 200-2,000 lux สำหรับการทำงานที่ต่อเนื่อง และย่าน 2,000-20,000 lux สำหรับงานที่ละเอียดมาก ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความส่องสว่างตามข้อกำหนด CIE

ย่านความส่องสว่าง	ความส่องสว่าง (lux)	ชนิดของกิจกรรม
แสงสว่างโดยทั่วไปสำหรับพื้นที่ที่ใช้ไม่บ่อยหรือเพียงแต่ให้มีการมองเห็นเท่านั้น	20, 30, 50	พื้นที่สาธารณะโดยสภาพรอบด้านมืด
	75	กรณีใช้งานชั่วคราว
	100, 150, 200	ห้องที่ไม่ได้ใช้ตลอดเวลา เช่น ห้องเก็บของ ทางเดิน
แสงสว่างโดยทั่วไปสำหรับการส่องสว่างภายในอาคาร	300, 500	งานที่มีขีดจำกัดในการมองเห็น เช่น เครื่องจักรใหญ่
	750, 1,000	งานที่ต้องการมองเห็นปกติ เช่น สำนักงาน
	1,500, 2,000	งานที่ต้องการมองเห็นเป็นพิเศษ เช่น โรงงานทำเสื้อผ้า
แสงสว่างเพื่อการมองเห็นเนื้องานที่ละเอียด	3,000, 5,000	งานที่ต้องการมองเห็นที่ละเอียด เช่น ประกอบนาฬิกา ประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
	7,500, 10,000	งานที่ต้องการมองเห็นที่ละเอียดมาก เช่น การประกอบไมโครอิเล็กทรอนิกส์
	15,000, 20,000	งานที่ต้องการมองเห็นที่ละเอียดเป็นพิเศษ เช่น การผ่าตัด

ที่มา: ศุลี (2538)

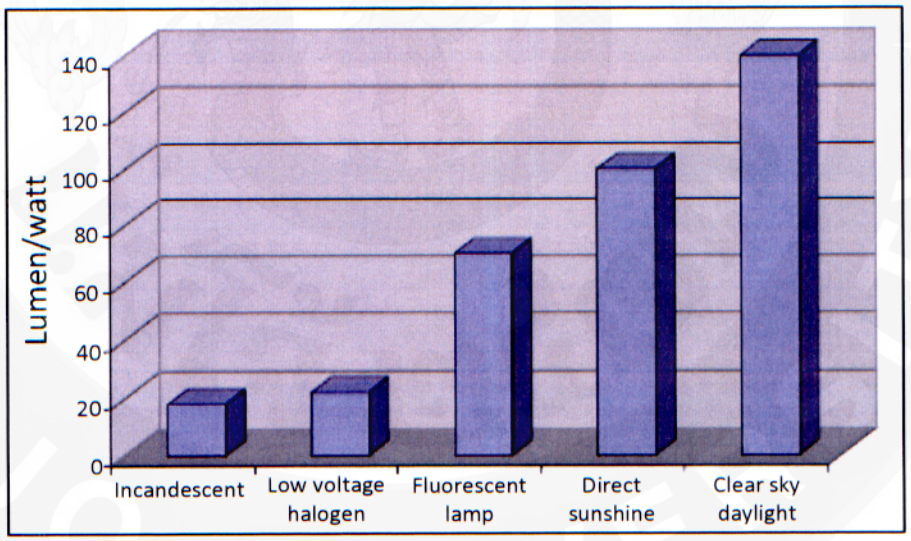
2. ระบบการให้แสงสว่าง

การทำงานในพื้นที่ที่มีระบบแสงสว่างที่เหมาะสม ส่งผลอย่างมากต่อผู้ปฏิบัติงานให้สามารถทำกิจกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการให้แสงสว่างที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แนวทาง คือ

1.1 การให้แสงสว่างทั่วพื้นที่ (General lighting) เป็นวิธีการให้แสงสว่างที่นิยมใช้โดยทั่วไป เป็นการให้แสงสว่างจากโคมไฟที่ติดตั้งกระจายอย่างสม่ำเสมอบนเพดาน ซึ่งทำให้มีแสงสว่างเกือบเท่ากันตลอดพื้นที่ จึงทำให้มีข้อดีในแง่ที่สามารถออกแบบได้ง่าย ไม่จำเป็นต้องทราบตำแหน่งใช้งานที่แน่นอน

1.2 การให้แสงสว่างเฉพาะที่ (Local lighting) เป็นวิธีการให้แสงสว่างเสริมให้ได้แสงสว่างสูงในจุดที่ใช้งานโดยเฉพาะ เช่น บริเวณที่อยู่ใกล้ชิ้นงาน เพื่อให้แสงสว่างเฉพาะตำแหน่งและทิศทางที่ต้องการในปริมาณแสงระดับสูง

1.3 การให้แสงสว่างทั่วพื้นที่และเฉพาะที่ (General and localized lighting) เป็นวิธีการให้แสงสว่างโดยผสานการออกแบบให้สอดคล้องกับการทำงานในแต่ละพื้นที่ และมีแสงสว่างทั่วพื้นที่ประกอบกับแสงสว่างเฉพาะตำแหน่ง



ภาพที่ 26 ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous efficacy) ของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ

ที่มา: บริษัท ไทยเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (2558)

จากภาพที่ 26 แสดงอัตราส่วนระหว่างฟลักซ์การส่องสว่าง (ปริมาณแสง) กับกำลังงานที่ทำให้เกิดปริมาณแสง มีหน่วยเป็น lm/W เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแสงสว่างของรังสีอาทิตย์โดยตรง ซึ่งทำให้ง่ายในการออกแบบอาคารและระบบช่องเปิดอาคารเพื่อการนำแสงสว่างมาใช้ หากเปรียบเทียบ

แสงสว่างจากรังสีกระจายกับหลอดฟลูออเรสเซนต์จะพบว่า ปริมาณแสงสว่างที่ได้จากรังสีกระจายจะมีค่าสูงกว่าปริมาณแสงสว่างที่จำเป็นต้องใช้ในห้องถึงประมาณ 2 เท่า ขณะที่ปริมาณความร้อนที่มาพร้อมกับรังสีกระจายนี้มีค่าไม่แตกต่างไปจากความร้อนที่ได้จากหลอดฟลูออเรสเซนต์ และที่สำคัญคือแสงสว่างที่ได้เป็นแสงสว่างที่ได้เปล่าจากธรรมชาติ ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญของงานวิจัยในครั้งนี้ ในการพิจารณาค่าความส่องสว่างภายในอาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติจะทำได้โดยการกำหนดปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารจะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงธรรมชาติภายนอกอาคารที่มีต่อปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคาร

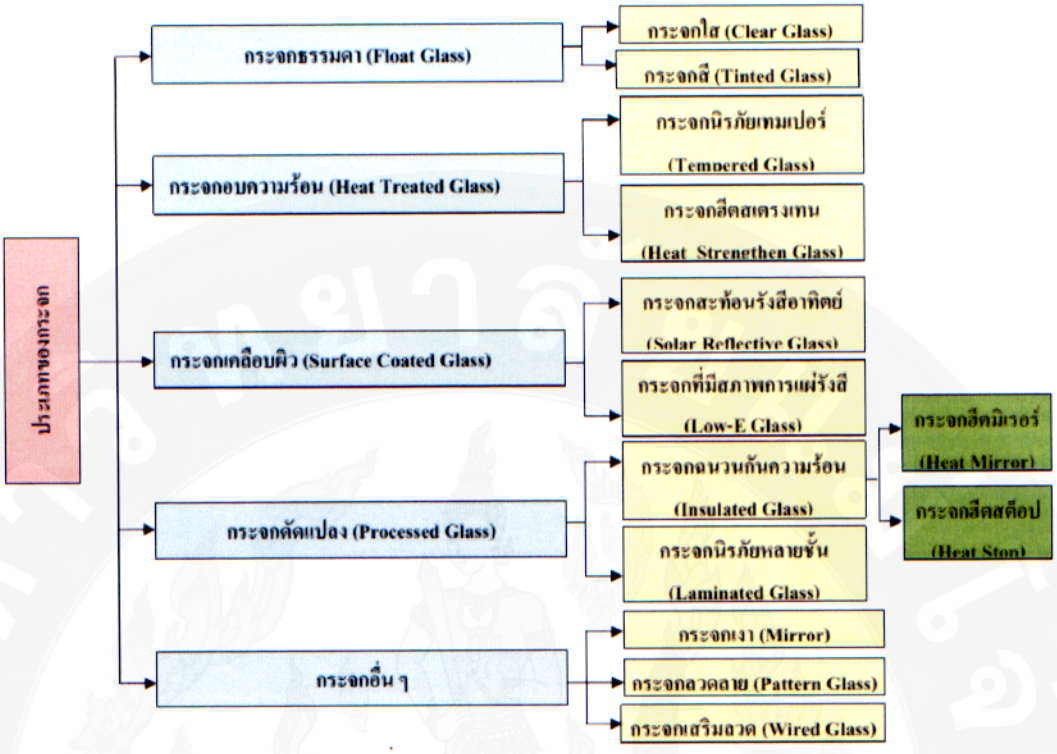
3.ข้อพิจารณาในการนำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้ในอาคาร

แสงธรรมชาติสามารถนำเข้ามาภายในอาคารได้ด้วย 2 วิธีหลักๆ คือ แสงที่เข้ามาจากทางด้านข้าง (Side lighting) และแสงที่เข้ามาจากทางด้านบน (Top lighting) หากมีความเข้มของการส่องสว่างสูง ส่งผลทำให้ความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงไม่ควรนำแสงอาทิตย์เข้ามาใช้โดยตรงแต่ให้นำแสงอาทิตย์เข้ามาในทางอ้อมหรือที่เรียกว่า Indirect sunlight กล่าวคือ ให้แสงอาทิตย์ผ่านการสะท้อนหรือการหักเหก่อนเข้าสู่อาคาร

เมื่อพิจารณาถึงความต้องการพลังงานจากแสงอาทิตย์ สิ่งที่สำคัญของการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติคือการควบคุมให้แสงอาทิตย์ที่เข้ามาให้มีมากพอต่อความต้องการ ระบบแสงสว่างธรรมชาติที่ดีต้องเหมาะสมกับลักษณะของอาคาร ซึ่งมีข้อพิจารณาดังนี้

- ความสอดคล้องของผนังอาคารและระยะของแสง
- ตำแหน่ง รูปทรง และขนาดของช่องเปิดที่มีไว้สำหรับแสงธรรมชาติ
- ตำแหน่งและคุณสมบัติของผิววัสดุผนังภายในอาคาร
- ตำแหน่ง รูปทรง และขนาดของอุปกรณ์บังแดด
- คุณลักษณะทางแสงของกระจก
- กระจกสำหรับอาคาร

กระจกมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อภาระความร้อนของอาคาร ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังกระจกอาจมีค่าสูง 5-10 เท่า เมื่อเทียบกับผนังทึบ การเลือกใช้กระจกที่มีความสามารถในการป้องกันความร้อนจะสามารถลดภาระความร้อนของอาคารลงได้อย่างมาก ยังต้องพิจารณาถึงการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติของแสงธรรมชาติ ด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถผลิตกระจกที่มีความเหมาะสมมากขึ้น กล่าวคือมีความสามารถในการป้องกันความร้อนได้ดี และในขณะเดียวกันก็สามารถนำเอาแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานภายในอาคารได้อย่างเหมาะสมด้วย ซึ่งกระจกที่ใช้กับอาคาร แบ่งออกเป็นประเภทการผลิตดังแสดงในภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ประเภทของกระจกที่ใช้กับอาคาร

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2550)

การส่งเสริมการประหยัดพลังงานโดยการออกแบบจำกัดพื้นที่หน้าต่างเพื่อลดความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่เข้ามาในอาคาร และการนำความร้อนผ่านกระจก ขนาดของช่องเปิด โดยพิจารณาช่องเปิดหน้าต่าง ซึ่งเป็นปัจจัยหลักหนึ่งที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน หากช่องเปิดมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น หรือไม่มีการป้องกันรังสีอาทิตย์ตรงและรังสีอาทิตย์กระจายอย่างเหมาะสมจำให้มีความร้อนถ่ายเทและสะสมในพื้นที่ที่อยู่ใกล้ช่องเปิดนั้นได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาวะความสบายและเพิ่มภาระในการทำความเย็นในกรณีที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศจึงต้องมีการกำหนดขนาดของช่องเปิดโดยคำนวณจากอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (Window to wall ratio: WWR)

แนวทางในการออกแบบควรพิจารณาให้มีอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ประมาณ 20-30% หรือน้อยกว่าโดย WWR สามารถคำนวณจากสมการที่ 9

$$\text{อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง} = \frac{\text{พื้นที่รวมของช่องเปิดที่เป็นกระจก}}{\text{พื้นที่รวมของผนังอาคาร}} \times 100 \qquad \text{สมการที่ 9}$$

หลักการใช้แสงธรรมชาติ

1. ข้อจำกัดของการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ

หลักการในการใช้แสงธรรมชาติมีข้อจำกัดหลายประการ ในบางครั้งช่วงเวลาที่มีปริมาณแสงรวมถึงปริมาณความร้อนที่มากเกินความจำเป็น จึงต้องมีหลักการในการปรับใช้แสงสว่างจากธรรมชาติให้เหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้แสงธรรมชาติมีดังนี้

1.1 ความร้อน สภาพอากาศของประเทศไทยที่เป็นเขตร้อนชื้นมีความจำเป็นที่จะต้องป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร เมื่อมีปริมาณแสงที่มากความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารก็มีมากเช่นกัน

1.2 ความแปรปรวนของสภาพท้องฟ้า ความแปรปรวนนี้ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์และปริมาณเมฆบนท้องฟ้าซึ่งอาจจะสามารถลดปัญหาในส่วนนี้โดยการแยกตามพื้นที่ของกิจกรรมว่าสามารถรับความแปรปรวนของแสงได้มากน้อยเพียงใด

1.3 การควบคุมไม่ให้เกิดแสงบาดตา เป็นสิ่งที่จำเป็นทั้งในด้ายความสามารถในการมองเห็นและมีผลต่อด้านจิตวิทยาการรบกวนสมาธิของผู้ใช้งาน โดยสามารถปรับใช้ลักษณะของช่องแสงของอาคารให้เหมาะสมในการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติควรจะเป็นพื้นที่ส่วนที่ยอมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ค่อนข้างมากถึงระดับปานกลางโดยสามารถแบ่งตามหมวดหมู่ของกิจกรรมดังนี้ (สุนทร, 2538)

2. หมวดหมู่ของพื้นที่การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ

2.1 พื้นที่ส่วนแพสซีพ (Passive zone) คือบริเวณที่ยอมให้แสงภายในอาคารมีการเปลี่ยนแปลงได้ค่อนข้างมากจึงเป็นพื้นที่ที่สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ได้มากที่สุดแต่จะต้องอยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม ทำให้ผู้ใช้อาคารสามารถรับรู้ถึงความเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศภายนอกอาคารได้ เช่น บริเวณโถงทางเข้า ทางเดิน พื้นที่เก็บของ เป็นต้น

2.2 พื้นที่ส่วนกึ่งแพสซีพ (Semi passive zone) คือ บริเวณที่ยอมให้พื้นที่ในอาคารมีการเปลี่ยนแปลงของแสงจากสภาพแวดล้อมได้ในระดับปานกลาง โดยการควบคุมสภาวะในอาคารให้อยู่ในระดับปกติ และเป็นพื้นที่ที่ไม่ต้องการความละเอียดในการมองมากนักเช่น สำนักงาน และพื้นที่อ่านหนังสือ เป็นต้น

2.3 พื้นที่ส่วนควบคุม (Controlled zone) คือ บริเวณที่ยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงของแสงได้น้อยที่สุด และไม่ต้องการอิทธิพลจากแสงภายนอก เช่นห้องประชุม และห้องสัมมนา เป็นต้น

การคำนวณความส่องสว่างภายในอาคาร

1. การคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธีลูเมน (Lumen method)

เป็นการพิจารณาค่าความส่องสว่างรวมที่ตกกระทบ ณ จุดใดจุดหนึ่ง ในระดับที่กำหนดภายในอาคารอันเนื่องมาจากปริมาณแสงจากภายนอกที่ส่องผ่านช่องเปิดหรือช่องแสงเข้ามาในขณะนั้น ซึ่งวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องทราบค่าความส่องสว่างทุกตำแหน่งภายในอาคาร จากการให้แสงสว่างด้านข้างโดยใช้ห้องมาตรฐานโดยใช้ห้องมาตรฐานและอ้างอิงตำแหน่งจากระยะหน้าต่างไปยังจุดวัดโดยแบ่งออกเป็นจุดตามระยะห่างจากช่องเปิดซึ่งเป็นพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณ

วิธีลูเมนใช้คำนวณการให้แสงสว่างในแนวตั้ง โดยถึงว่าหน้าต่างในแนวตั้งเป็นแหล่งกำเนิดแสงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ซึ่งใช้ได้กับรูปแบบช่องเปิดบางชนิดโดยมีเงื่อนไขคือการติดตั้งช่องเปิดจะต้องอยู่ในระดับเดียวกับความสูงของพื้นที่ทำงานเท่านั้นดังแสดงในสมการที่ 10

$$E = \frac{L \times MF \times CU}{A} \qquad \text{สมการที่ 10}$$

เมื่อ E คือ ความส่องสว่าง (Lux)

L คือ ปริมาณแสง (lm)

MF คือ ปัจจัยในการบำรุงรักษา

CU คือ สัมประสิทธิ์การใช้งาน

A คือ พื้นที่ที่ทำการพิจารณา (m^2)

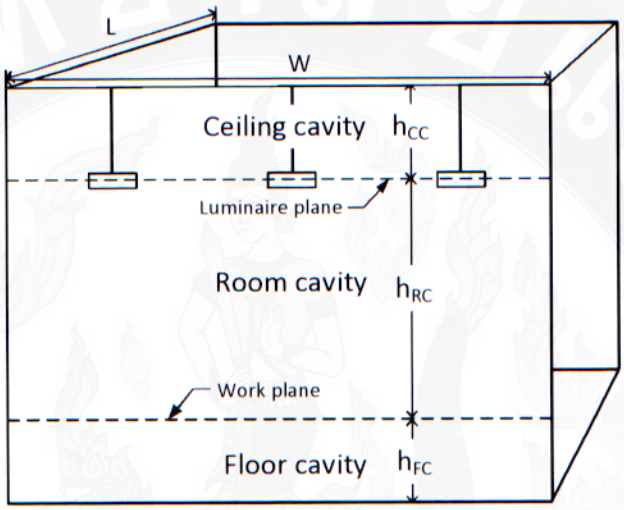
ปัจจัยในการบำรุงรักษา (MF) ขึ้นอยู่กับการบำรุงรักษาของดวงโคมตามระดับความสะอาด ในกรณีที่มีการทำความสะอาดบ่อยครั้ง ค่าปัจจัยในการบำรุงรักษาก็จะมีค่ามากตาม อีกทั้งตำแหน่งของการติดตั้งดวงโคมดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าการสูญเสียของแสงสำหรับการออกแบบในการใช้แสงประดิษฐ์

ระดับความสะอาด	ค่าการสูญเสียของแสง (MF)
สะอาด	0.8
ปานกลาง	0.7
สกปรก	0.6

ที่มา: ประสิทธิ์ (2543)

สัมประสิทธิ์การใช้งาน (CU) คืออัตราส่วนปริมาณแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงและการสะท้อนจากพื้น ผนัง และเพดาน สู่พื้นที่ทำงาน โดยค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนโพรงห้อง (Room cavity ratio, RCR) รวมถึงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นพื้น ผนัง และเพดานดังแสดงในภาพที่ 28 ซึ่งการสะท้อนแสงของวัสดุที่มีค่ามากจะส่งผลให้สัมประสิทธิ์การใช้งานมีค่ามาก



ภาพที่ 28 ส่วนต่างๆของห้องเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (CU)

ในการหาค่าอัตราส่วนโพรงห้อง (Room cavity ratio: RCR) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11 (Harrold and Mennie, 2003)

$$RCR = \frac{2.5 \times h_{RC} \times (W + L)}{W \times L} \qquad \text{สมการที่ 11}$$

เมื่อ RCR คือ อัตราส่วนโพรงห้อง

h_{RC} คือ คือความสูงของพื้นที่ทำงานถึงดวงโคม (m)

W คือ ความลึกของห้อง (m)

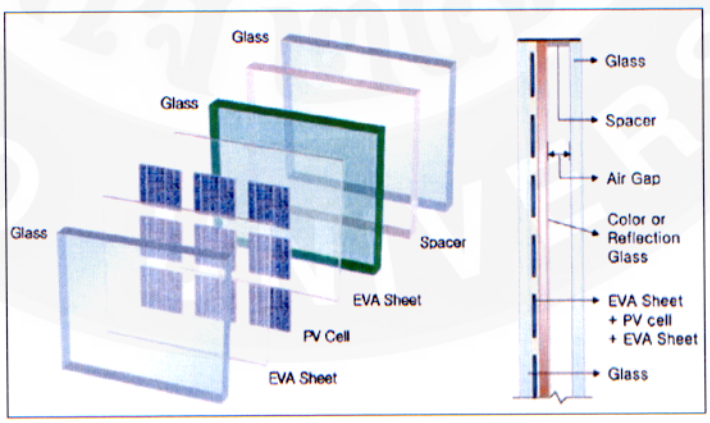
L คือ ความกว้างของห้อง (m)

การตรวจเอกสาร

ในการทำวิจัยครั้งนี้จะทำการออกแบบและสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสเพื่อการประยุกต์ใช้กับอาคาร กล่าวคือใช้ติดตั้งแทนกระจกหน้าต่างของอาคาร ที่ผ่านมาได้มีผู้ทำการศึกษาการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ ร่วมกับอาคาร โดยมีจุดประสงค์เพื่อส่งเสริมการประหยัดพลังงานไฟฟ้า สนับสนุนการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และการใช้พื้นที่อาคารภายนอกให้เป็นประโยชน์ โดยคำนึงถึงการนำไปใช้งานจริง เพื่อศึกษาหาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับอาคาร ทั้งในเรื่องของการผลิตพลังงานไฟฟ้าและการลดใช้แสงสว่างจากหลอดไฟประดิษฐ์ โดยแบ่งแนวทางในการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ การพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการประยุกต์ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอาคาร

1. การพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์

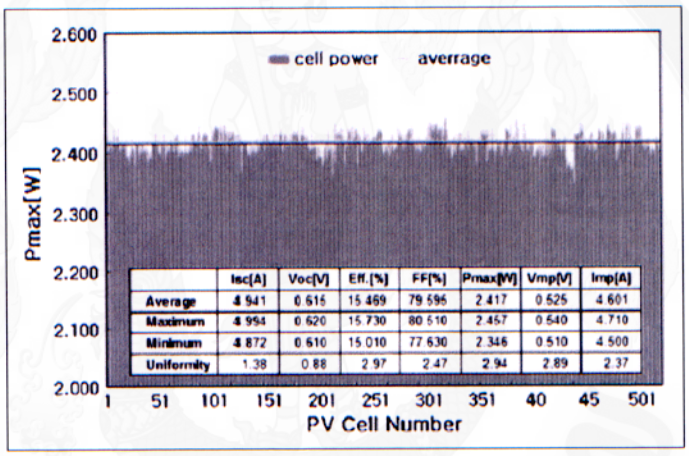
Park et al (2010) ได้ทำการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมแบบกึ่งโปร่งใส (Polycrystalline: p-si) โดยเว้นพื้นที่บางส่วนไว้สำหรับให้แสงส่องผ่านบริเวณที่เป็นกระจก แผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้ประกอบไปด้วยชั้นของวัสดุต่างๆ 7 ชั้น ดังนี้ กระจก วัสดุเคลือบผิว (Ethylene Vinul Acetate: EVA) เซลล์แสงอาทิตย์ Polycrystalline วัสดุเคลือบผิว EVA กระจก ช่องว่างอากาศ และกระจกอาคาร จะเห็นได้ว่ามีกระจกด้านหลังสองชั้น ในกรณีการนำไปติดตั้งกับอาคาร จะมีการเพิ่มกระจกอีก 1 ชั้นเพื่อสร้างช่องว่างอากาศ (Air gap) เพื่อลดอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารดังแสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใส

ที่มา: Park et al (2010)

ประเภทของกระจกด้านหน้าและด้านหลังของแผงเป็นกระจกชนิด Low-iron tempered glass และด้านหลังแผงเป็นกระจกทั่วไป โดยมีการเว้นช่องว่างอากาศ (Air gap) ระหว่างกระจกด้านหลังสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับกระจกอาคาร โดยชั้นที่เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบผลึกรวม (Polycrystalline silicon solar cells) ขนาด 12.7 × 12.7 cm^2 จำนวน 32 เซลล์ เชื่อมต่อกันแบบอนุกรมทั้งหมด โดยเว้นระยะห่างระหว่างกันเพื่อให้แสงธรรมชาติสามารถทะลุผ่านได้ ก่อนทำการเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าด้วยกัน ได้มีการทดสอบและบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 500 เซลล์ พบว่ามีค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{SC}) เฉลี่ย 4.941 A ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{OC}) เฉลี่ย 0.615 V กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) เฉลี่ย 2.417 W ดังแสดงในภาพที่ 30

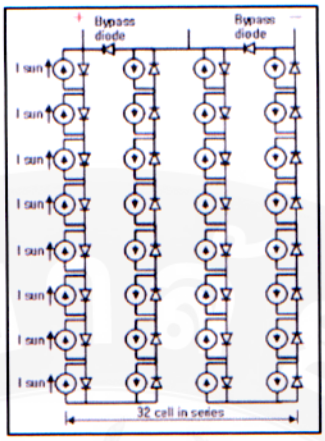


	Isc[A]	Voc[V]	Eff.[%]	FF[%]	Pmax[W]	Vmp[V]	Imp[A]
Average	4.941	0.615	15.469	79.595	2.417	0.525	4.601
Maximum	4.994	0.620	15.730	80.510	2.457	0.540	4.710
Minimum	4.872	0.610	15.010	77.630	2.346	0.510	4.500
Uniformity	1.38	0.88	2.97	2.47	2.94	2.89	2.37

ภาพที่ 30 ผลการทดสอบด้านไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: Park et al (2010)

รูปแบบการจัดเรียงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 4 แถว (String) ใน 1 แถวประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 8 เซลล์ รวมถึงการติดตั้งบายพาสไดโอดแบบขนานกับแถวจำนวน 2 ตัว เพื่อลดปัญหาการเกิดจุดร้อนบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์อันเนื่องมาจากการบังเงาบางส่วน โดยมีวงจรไฟฟ้าของแผงดังแสดงในภาพที่ 31



ภาพที่ 31 วงจรแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: Park et al (2010)

สันติ (2555) ได้นำเสนอการศึกษาการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อปรับปรุงกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน โดยใช้เทคนิคการควบคุมอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการบัดกรีเชื่อมลวดนำไฟฟ้า และขนาดของลวดนำไฟฟ้า โดยการกำหนดค่าความคุมของแต่ละตัวแปรในการเพื่อศึกษาและทดลองการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะต่างกัน เพื่อจะหาค่าอุณหภูมิ เวลาและขนาดลวดนำไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าและลดต้นทุนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การกำหนดค่าควบคุมพารามิเตอร์ในแต่ละตัวอย่างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

อุณหภูมิ (°C)	เวลาต่อหนึ่งบัสบาร์ (Sec)	ขนาดลวดเชื่อมไฟฟ้า (mm)
380-400	4-7	0.2-0.24 × 2.0

ที่มา: สันติ (2555)

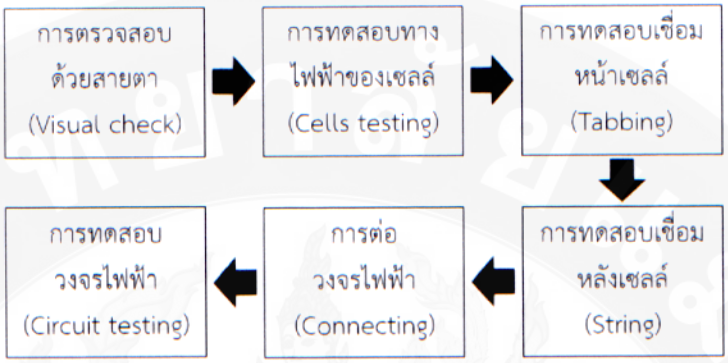
ในการกำหนดตัวแปรจะแบ่งออกเป็นการควบคุม 3 ตัวแปรหลักคือ

1) อุณหภูมิของการบัดกรีเชื่อมเซลล์โดยเริ่มต้นที่ 380, 390 และ 400 °C

2) ระยะเวลาที่ใช้เชื่อมต่อ 1 บัสบาร์ คือ 4, 5, 6 และ 7 Sec

3) ขนาดลวดเชื่อมไฟฟ้าประกอบด้วย 2 ขนาดความหนาคือ 0.2 และ 0.24 mm และขนาดความกว้างที่เท่ากันคือ 2.0 mm รวมเป็น 24 กรณีศึกษา

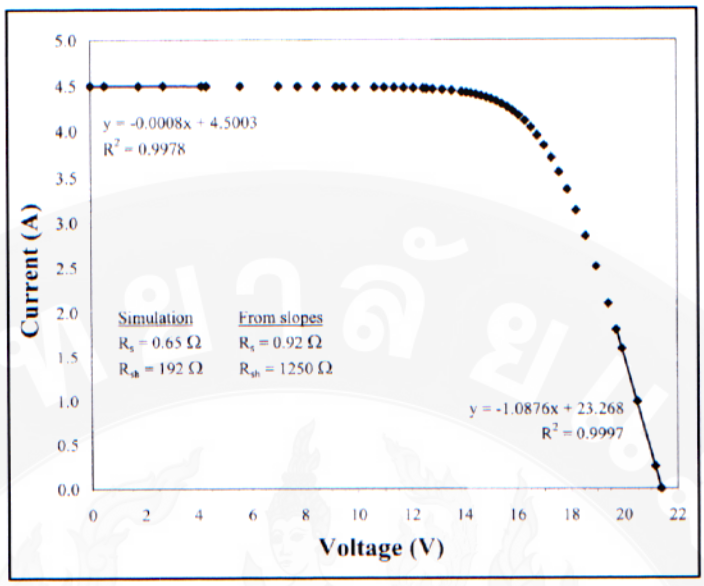
โดยการศึกษาครั้งนี้จะทำตามขั้นตอนกระบวนการผลิตตามโรงงานทุกประการ และจะมุ่งเน้นในเรื่องของการเชื่อมต่อเซลล์ รวมถึงการตรวจสอบเซลล์ก่อนและหลังการเชื่อมต่อทางไฟฟ้า โดยมีกระบวนการดังแสดงในภาพที่ 32



ภาพที่ 32 ขั้นตอนการตรวจสอบเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการทดลองพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในกระบวนการผลิตคือการบัดกรีลวดนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 390 °C และเวลาที่ใช้ในการเชื่อมต่อคือ 5 Sec ต่อบัสบาร์ และขนาดของลวดนำไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.2×2.0 mm ทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มขึ้นใต้การทดสอบในสภาวะมาตรฐาน 2.33% ผลการตรวจสอบหลังจากเชื่อมพบว่าไม่มีแผ่นเซลล์แตกร้าวเนื่องจากการบัดกรีและการเคลือบแผงส่งผลให้ค่าต้นทุนการผลิตลดลง 4.93% เมื่อเทียบกับกระบวนการผลิตวิธีเดิม

Van Dyk and Meyer (2004) ได้ทำการศึกษาการคำนวณหาค่าความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบไปด้วยความต้านทานขนาน (Shunt resistance; Rsh) และความต้านทานอนุกรม (Series resistance; Rs) โดยใช้วิธีการหาส่วนกลับของค่าความชันเส้นโค้งกระแส-แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบผลึกรวมจำนวน 36 เซลล์ต่อแบบอนุกรม ภายใต้การทดสอบในห้องปฏิบัติการที่มีพลังงานจากแสงอาทิตย์เท่ากับ 130 kWh/m^2 ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 33 จากจุดที่ใกล้กับกระแสลัดวงจรสามารถหาค่า R_{sh} ได้จากส่วนกลับของความชันซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,250 Ohm ในขณะที่จุดที่ใกล้กับแรงดันวงจรเปิดสามารถหาค่า R_s ได้จากส่วนกลับของความชันซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.92 Ohm

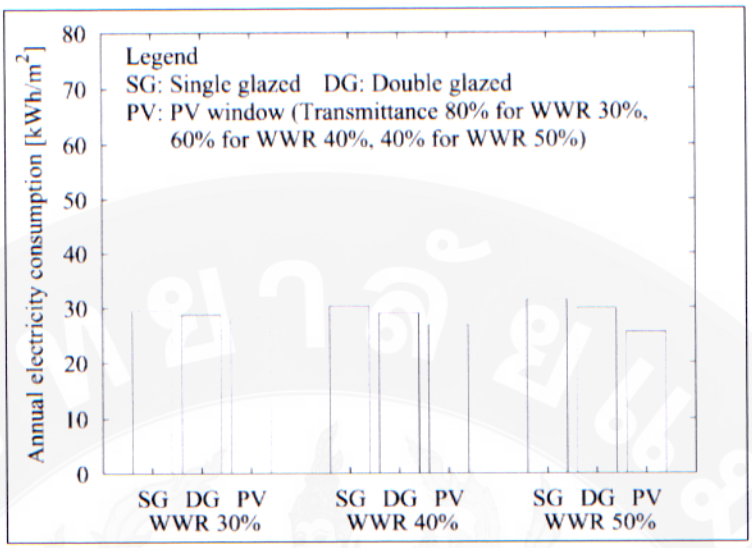


ภาพที่ 33 ผลการบันทึกค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการทดสอบ

ที่มา: Van Dyk and Meyer (2004)

2) การประยุกต์ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอาคาร

Miyazaki et al (2005) ได้ทำการศึกษาค่าการส่องผ่าน (Transmittance) และอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างและผนัง (Window to wall ratio: WWR) ที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสชนิดฟิล์มบาง โดยเปรียบเทียบปริมาณความต้องการใช้พลังงานรวมต่อปีของประเภทกระจกหน้าต่างที่แตกต่างกันออกไปคือ กระจกแบบชั้นเดียว (Single glaze: SG) (กระจกใสหนา 6 mm) กระจกแบบสองชั้น (Double glaze: DG) (ประกอบด้วยกระจกใสหนา 6 mm ช่องว่างอากาศ 6 mm และกระจกใสหนา 10 mm) และกระจกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV window) ที่มีค่าการส่องผ่าน 10% โดยมีการควบคุมการหรี่แสงของหลอดไฟ (Dimming light) เมื่อมีแสงอาทิตย์เข้าสู่อาคาร



ภาพที่ 34 แผนภูมิแสดงค่าพลังงานที่ใช้รวมรายปีของการติดตั้งกระจกต่างชนิดกัน

ที่มา: Miyazaki et al (2005)

ตารางที่ 6 ค่าพลังงานที่ใช้รวมรายปีของอาคารโดยมีการควบคุมแสงสว่าง (Dimming light)

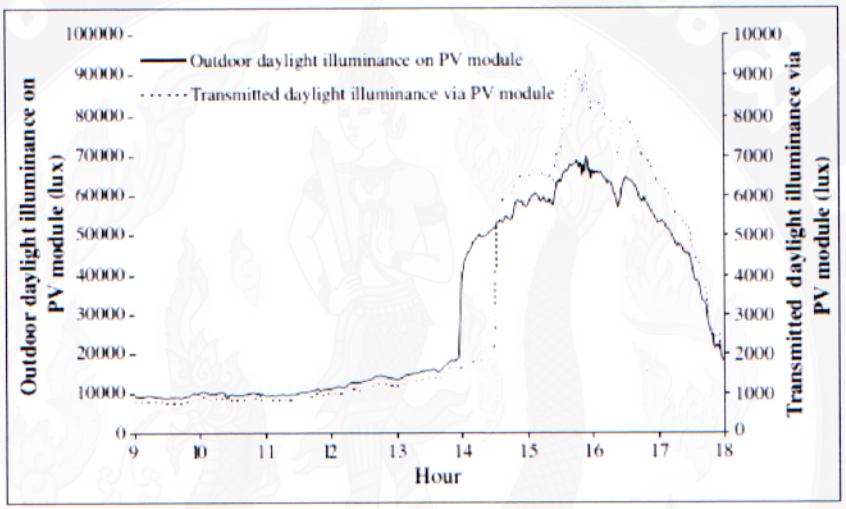
	Units	WWR 30%			WWR 40%			WWR 50%		
		SG	DG	PV	SG	DG	PV	SG	DG	PV
Heating	kWh/m^2	7.1	5.0	5.1	7.6	4.9	5.3	8.5	5.1	5.8
Cooling	kWh/m^2	8.5	9.2	8.6	9.4	10.4	10.4	9.9	11.3	9.0
Lighting	kWh/m^2	13.9	14.5	15.6	13.3	13.6	13.6	13.1	13.4	16.6
PV output	kWh/m^2	0	0	1.2	0	0	3.1	0	0	5.8
total	kWh/m^2	29.5	28.7	28.1	30.3	28.9	26.2	31.5	29.8	25.6

ที่มา: Miyazaki et al (2005)

จากภาพที่ 34 จะเห็นได้ว่ากระจกแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าความต้องการใช้พลังงานรวมต่อปีน้อยที่สุดเนื่องจากสามารถลดภาระการทำความเย็นให้กับอาคารได้ อีกทั้งยังสามารถผลิตไฟฟ้าได้เช่นกัน เช่นเดียวกับการใช้กระจกสองชั้นสามารถลดความต้องการพลังงานรวมต่อปีได้เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กระจกชั้นเดียวโดยมีข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างของผนังโดยประเมินปริมาณความต้องการไฟฟ้ารวมของอาคารเป็นตัวประกอบเมื่อใช้

หน้าต่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใส จะมีค่าความต้องการพลังงานน้อยที่สุด และพบว่าค่าการส่องผ่านที่เหมาะสมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ 40% โดยอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังเท่ากับ 50%

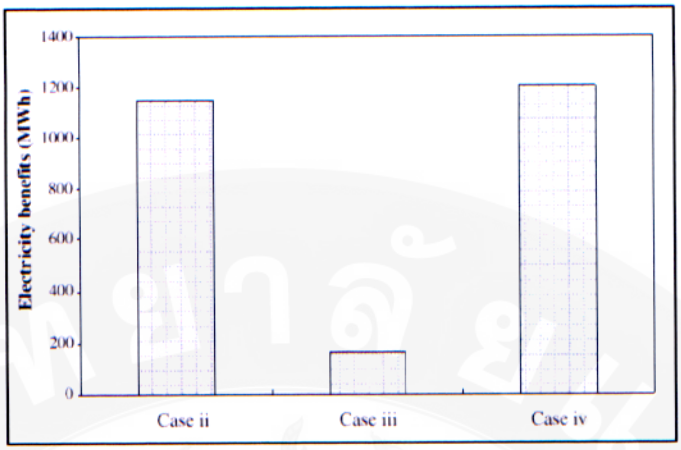
Li et al. (2009) ได้ทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสชนิดฟิล์มบางขนาด 0.84 m^2 และสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 44 W ติดตั้งบริเวณทิศตะวันตกเฉียงใต้ ของห้องขนาดยาว 2.95 เมตร กว้าง 2.14 เมตร และสูง 2.46 เมตร หลังจากการทดสอบจริงพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีค่าการส่องผ่านของแสงเฉลี่ย 10.6%



ภาพที่ 35 ค่าความส่องสว่างของแสงบริเวณด้านหน้าและหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: Li et al. (2009)

จากภาพที่ 35พบว่ากราฟสองเส้นมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ความส่องสว่างที่สูงที่สุดที่วัดด้านหน้าแผงมีค่าเท่ากับ 70,000 lux และความส่องสว่างที่ผ่านแผงมีค่าเท่ากับ 9,050 lux คิดเป็นปริมาณแสงที่ส่องผ่านได้เท่ากับ 12.9% หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาศึกษาในครั้งได้ทำการวิเคราะห์การส่องสว่างภายในอาคาร รวมถึงผลประโยชน์ทางด้านพลังงานไฟฟ้าเมื่อนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับอาคารโดยวิธีการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยอ้างอิงจากการใช้พลังงานของอาคารเฉลี่ยในประเทศเท่ากับ 1000 MWh/year แบ่งออกเป็น 4 กรณีคือ กรณีที่ 1 อาคารที่ไม่มีการควบคุมแสงสว่างและไม่มีการติดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีที่ 2 อาคารที่มีการควบคุมแสงสว่าง แต่ไม่ได้ติดแผงเซลล์แสงอาทิตย์บริเวณหน้าต่าง กรณีที่ 3 อาคารที่ไม่มีการควบคุมแสงสว่างแต่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีที่ 4 อาคารที่มีทั้งการควบคุมแสงสว่างและติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ผลดังต่อไปนี้



ภาพที่ 36 ผลกำไรทางด้านพลังงานไฟฟ้าของอาคารแบบจำลอง

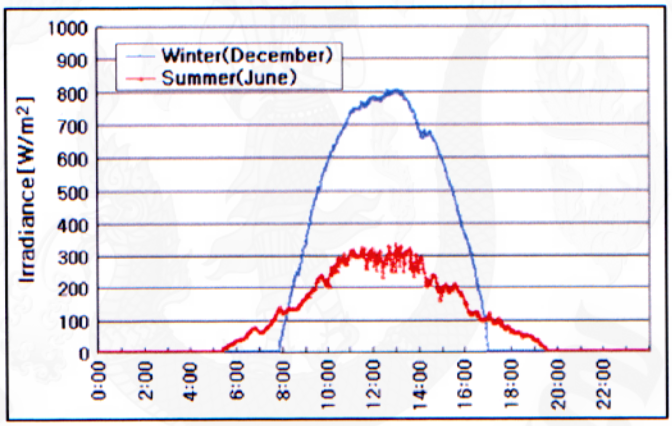
ที่มา: Li et al. (2009)

จากภาพที่ 36พบว่ากรณีศึกษาที่ 3 เป็นการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสร่วมกับอาคาร แต่ไม่ได้มีการควบคุมการส่องสว่างของหลอดไฟฟ้า พบว่ามีผลกำไรทางด้านพลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาที่ 4 มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เช่นเดียวกันแต่เพิ่มการควบคุมแสงสว่างของหลอดไฟฟ้าเมื่อมีแสงจากธรรมชาติเข้าสู่อาคาร ส่งผลให้ผลกำไรทางด้านพลังงานไฟฟ้ารายปี (พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รวมกับพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้) มีค่าเท่ากับ 1,203 MWh กล่าวคือ อาคารที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอาคารรวมถึงการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติสามารถประหยัดพลังงานได้มากถึง 12%

Park et al. (2010) ได้ทำการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมแบบกึ่งโปร่งใส (Polycrystalline: p-si) โดยเว้นพื้นที่บางส่วนของแผงไว้สำหรับให้แสงส่องผ่าน ในกรณีการนำไปติดตั้งกับอาคาร จะมีการเพิ่มกระจกอีก 1 ชั้นเพื่อสร้างช่องว่างอากาศในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร โดยทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระนาบเดียวกับผนังอาคารในแนวตั้งฉาก ดังแสดงในภาพที่ 37

ภาพที่ 37 ลักษณะการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนอาคารที่ทำการทดสอบ

ที่มา: Park et al. (2010)



ภาพที่ 38 ค่าเฉลี่ยความเข้มแสง

ที่มา: Park et al. (2010)

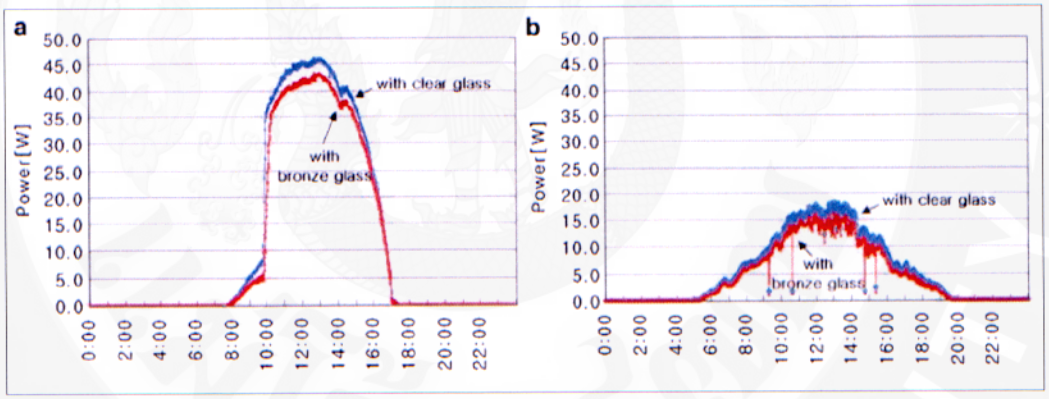
จากภาพที่ 38 เป็นผลจากการวัดค่าความเข้มแสงในฤดูหนาวและฤดูร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในแนวตั้งฉากกับแนวระนาบ เห็นได้ว่าปริมาณความเข้มแสงขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของปี และแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะได้รับปริมาณแสงอาทิตย์น้อยในช่วงฤดูร้อน เนื่องจากเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์ขึ้นสูงที่สุด จากนั้นได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบสีของกระจกสองชนิดคือ กระจกใสและกระจกสีชาในทั้งสองฤดู โดยมีสมบัติของกระจกดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สมบัติของกระจกที่ใช้ในการทดสอบ

สมบัติของกระจก		กระจกใส (Clear glass)	กระจกสีชา (Bronze glass)
Visible spectrum	ค่าการส่องผ่าน (%)	92	43
	ค่าการสะท้อน (%)	8	5
Solar radiation	ค่าการส่องผ่าน (%)	90	46
	ค่าการสะท้อน (%)	8	5
	ค่าการดูดกลืน (%)	2	49

ที่มา: Park et al. (2010)

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยการติดตั้งกระจกที่มีคุณสมบัติทางแสงและสีที่แตกต่างกันตามฤดูกาล ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 39



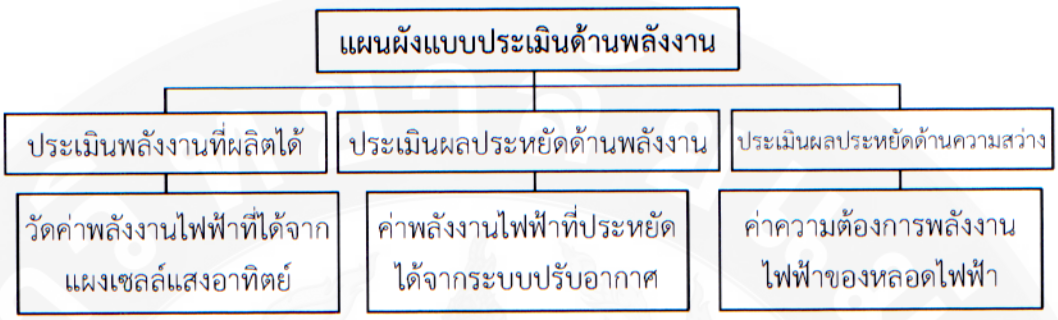
ภาพที่ 39 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ได้ระหว่างการใช้กระจกใสและกระจกสีชา (a) ฤดูหนาว (b) ฤดูร้อน

ที่มา: Park et al. (2010)

จากกราฟทั้งสองจะเห็นได้ว่าการใช้กระจกสีชาซึ่งมีสมบัติการดูกลืนแสงและส่งผลทำให้อุณหภูมิของแผงเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้แผงชนิดนี้มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าน้อยลง ดังนั้นการเลือกใช้กระจกที่มีสมบัติแตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ จากการทดสอบพบว่า เมื่ออุณหภูมิแผงเพิ่มขึ้น 1 °C ส่งผลให้การผลิตไฟฟ้าลดลง 0.52%

Lu and Law (2013) ได้ทำการศึกษาโดยการเก็บข้อมูลทางด้านพฤติกรรมทางด้านความร้อนด้านการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสแบบกระจกชั้นเดียว (Single-

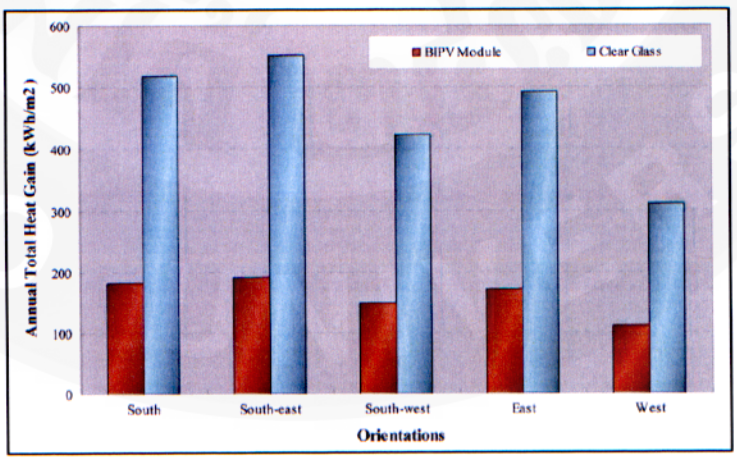
glazed photovoltaic) โดยการจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อติดตั้งร่วมกับอาคาร สำหรับการประเมินศักยภาพทางด้านพลังงาน โดยพิจารณาถึงปริมาณความร้อนที่ได้รับ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ และแสงสว่างจากธรรมชาติ โดยใช้แบบจำลอง 3 รูปแบบดังแสดงในภาพที่ 40



ภาพที่ 40 แผนผังแบบประเมินด้านพลังงาน

ที่มา: Lu and Law (2013)

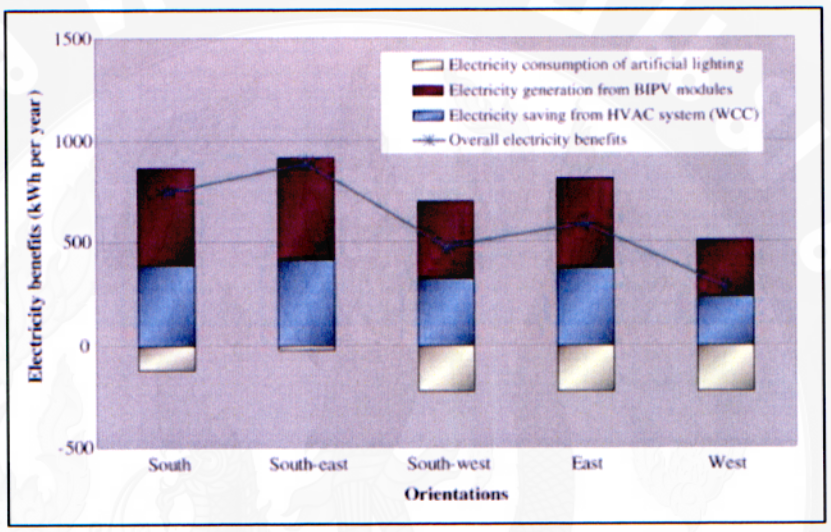
ห้องที่ทำการศึกษาตั้งอยู่บนชั้นที่ 25 ของอาคารหันไปทางทิศใต้ ขนาด 4.5 x 3.5 เมตร และมีความสูง 3 เมตร และมีกระจกขนาด 3 x 2 เมตร ที่มีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสติดตั้งอยู่จำนวน 3 แผง (กำลังการผลิต 270 W) แต่ละแผงมีขนาด 0.71 x 1.52 m แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ สวนทึบแสงและส่วนที่โปร่งใส บริเวณทึบแสงประกอบด้วยวัสดุ 3 ชั้นคือ กระจกด้านหน้าซึ่งสัมผัสกับบริเวณอากาศภายนอก ชั้นเซลล์แสงอาทิตย์ และกระจกด้านหลังที่ติดกับบริเวณหน้าต่างของอาคาร



ภาพที่ 41 ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารรายปีจำแนกตามทิศของการติดตั้งแผง

ที่มา: Lu and Law (2013)

หลังจากการประเมินจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการเปรียบเทียบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในทิศแตกต่างกัน 5 ทิศ คือ ทิศใต้ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก จากภาพที่ 41 ได้นำค่าความร้อนที่ได้รับเปรียบเทียบกันพบว่า การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสสามารถลดความร้อนเข้าสู่อาคารได้มากถึง 65% สัดส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกระจกใสของแผงที่กำหนดคือ 80% และจะเห็นได้ว่าแผงที่หันไปทิศตะวันออกเฉียงใต้ได้รับความร้อนสูงสุด



ภาพที่ 42 ผลประหยัดด้านพลังงานไฟฟ้ารายปีจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศต่างกัน

ที่มา: Lu and Law (2013)

จากภาพที่ 42 เป็นการแสดงผลประหยัดทางด้านพลังงาน โดยกราฟสีเหลือง คือปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าสำหรับการส่องสว่าง สีฟ้า คือพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากการลดใช้การทำความเย็น และสีม่วง คือพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เปรียบเทียบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 5 ทิศ เห็นได้ว่าทิศตะวันออกเฉียงได้ที่ได้รับแสงสูงสุด จะมีสัดส่วนความต้องการพลังงานเพื่อแสงสว่างน้อยที่สุด เนื่องจากได้รับแสงสว่างจากธรรมชาติเข้ามาในอาคาร แต่ในส่วนของความต้องการใช้พลังงานในการทำความเย็นมีสัดส่วนสูงที่สุดเนื่องจากโหลดภาระทางความร้อนเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ผลประหยัดรวมทางด้านพลังงานที่ทิศตะวันออกเฉียงใต้มีค่าสูงที่สุด ซึ่งสรุปได้ว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หันไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้มีศักยภาพสูงสุดในการนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับอาคาร

Ng et al. (2013) ได้ทำการศึกษาประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับประยุกต์ใช้กับอาคารที่มีลักษณะแตกต่างกัน 6 ประเภทดังแสดงในตารางที่ 8

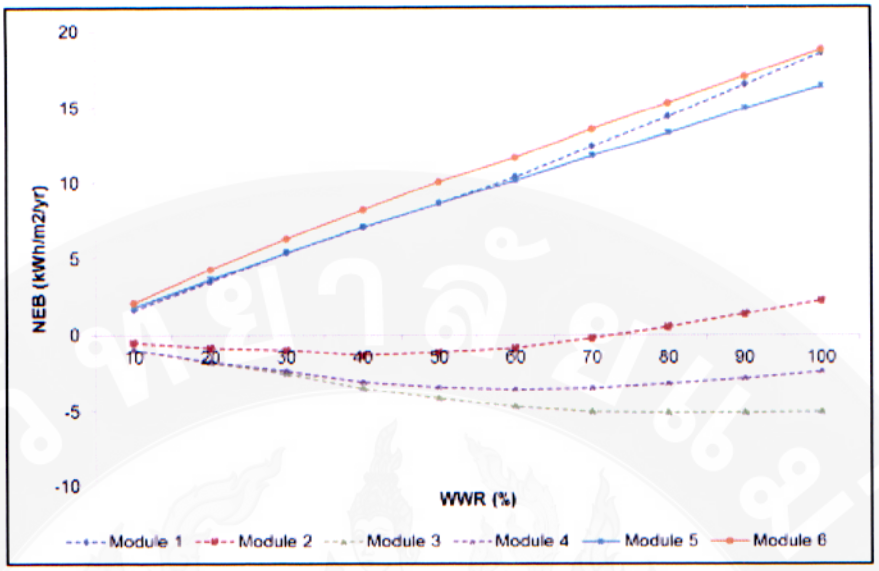
ตารางที่ 8 ลักษณะทางกายภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดที่ทำการศึกษา

	Module 1	Module 2	Module 3	Module 4	Module 5	Module 6
Module area (m^2)	0.9x0.9	1.3x1.1	1.3x1.1	1.3x1.1	0.9x0.93	0.98x0.95
Efficiency	8.02	5.9	3.32	4.43	5.01	4.75
SHGC	0.289	0.413	0.298	0.387	0.154	0.123
U-value (W/m2.K)	5.08	4.8	5.08	5.1	1.67	2.14
Light transmittance (%)	9.17	5.19	1.84	4.17	6.91	7.34
Photovoltaic technology	a-Si	μc-Si	μc-Si	μc-Si	a-Si	a-Si

ที่มา: Ng et al. (2013)

จากนั้นเปรียบเทียบและประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพื่อแสงสว่าง พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ และพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผง ด้วยการใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์เพื่อประเมินค่าผลประหยัดด้านพลังงานสุทธิ (Net electrical benefit: NEB) ซึ่งเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อพื้นที่ของอาคาร

ในการทดสอบครั้งนี้ได้ทำการพิจารณาถึงอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อผนังอาคาร (Window to wall ratio: WWR) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของอาคารที่จำเป็นต้องมีพื้นที่หน้าต่างเพื่อการใช้ประโยชน์จากแสงสว่างธรรมชาติและการปรับอากาศ และพิจารณาการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทางทิศใต้ของอาคาร ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 43

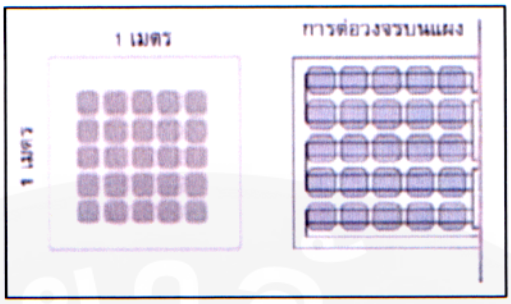


ภาพที่ 43 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้สุทธิของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ

ที่มา: Ng et al. (2013)

จากกราฟดังกล่าวจะเห็นได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1, 5 และ 6 มีผลประหยัดทางด้านไฟฟ้าสุทธิรวมเป็นบวก และมีค่าบวกเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อผนังมีค่าเพิ่มขึ้น โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 6 มีค่าบวกสูงที่สุดประมาณ 18 kWh/m^2-year หากพิจารณาตารางสมบัติของแผงแล้วพบว่าค่า SGHC ของแผงหมายเลข 6 มีค่าน้อยที่สุดจึงทำให้ได้รับความร้อนน้อยที่สุด ส่งผลทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศลดลง ส่งผลทำให้มีผลประหยัดทางด้านพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

กฤษณะพันธ์ (2557) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของกระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งใสในด้านการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคารที่เหมาะสมต่อการใช้งาน โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดที่นำมาวิจัย มีขนาด 1 x 1 m ระยะห่างระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ 4 mm ประกอบไปด้วยเซลล์ทั้งหมด 25 เซลล์ ดังแสดงในภาพที่ 44 สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดรวม 55 W ติดตั้งบริเวณโถงอาคาร

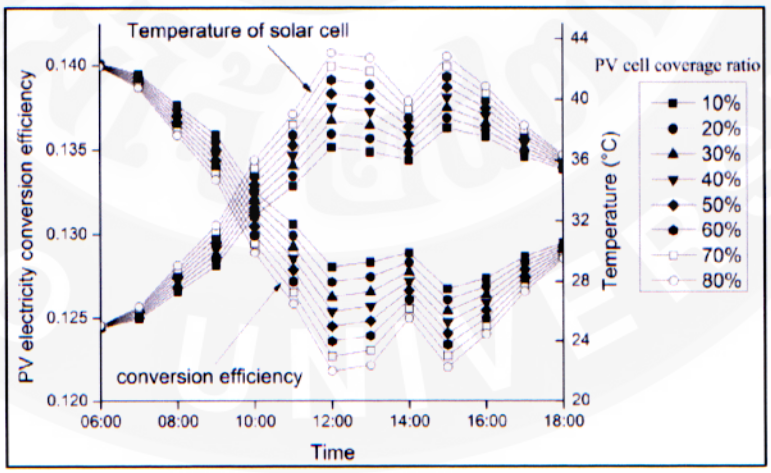


ภาพที่ 44 ลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส

ที่มา: กฤษณะพันธ์ (2557)

ห้องโถงที่ทำการทดสอบมี 5 ระดับความสูง ได้แก่ 18, 36, 42, 48 และ 60 m จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อพิจารณาเฉพาะค่าความส่องสว่าง โถงอาคารที่ติดตั้งกระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งใสสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศได้ลง 34% เมื่อเทียบกับกระจกใสลามิเนต สามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาภายใน 7 ปี

Xu et al. (2014) ได้นำเสนอผลการหาอัตราส่วนพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส โดยแบ่งวิธีการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนการทดสอบในสภาวะจริง และโดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ ซึ่งการทดสอบจริงทำการสร้างห้องขนาด 4.65 x 3.4 m ความสูง 3.6 m แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับการคำนวณพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 9% ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้



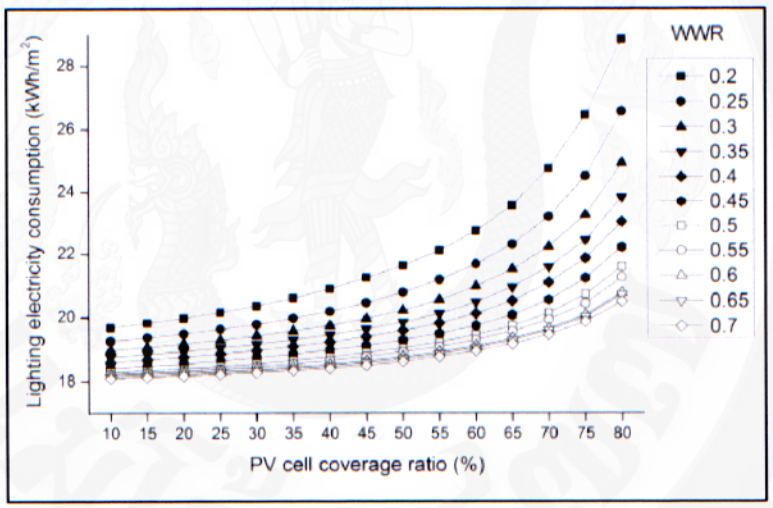
ภาพที่ 45 อุณหภูมิและประสิทธิภาพของแผงที่มีอัตราส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่างกัน

ที่มา: Xu et al. (2014)

จากนั้นออกแบบห้องทดสอบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยมีขนาดความลึกของห้องที่ต่างกันตั้งแต่ 4-13 m อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อผนัง (WWR) ตั้งแต่ 25-70% และอัตราส่วนพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ 10-80% จากนั้นทำการวิเคราะห์ผล โดยแบ่งออกเป็น 2 แนวทางคือวิเคราะห์ด้านพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสโดยปรับอัตราส่วนพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 46 ผลการทดสอบทางด้านการผลิตไฟฟ้าเปรียบเทียบอัตราส่วนพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอัตราส่วนพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ 80% มีประสิทธิภาพลดลง 5.5% เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนพื้นที่เซลล์ 10% ทั้งนี้เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์มีความสามารถในการดูดกลืนแสงอาทิตย์จึงทำให้อุณหภูมิแผงเพิ่มขึ้น

การวิเคราะห์ด้านพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากการลดใช้หลอดไฟประดิษฐ์เนื่องจากการใช้ประโยชน์จากแสงสว่างธรรมชาติ



ภาพที่ 46 ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อแสงสว่างเมื่อ WWR ที่ต่างกัน

ที่มา: Xu et al. (2014)

เมื่ออัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อผนังที่มีค่าเพิ่มขึ้น แสงธรรมชาติก็สามารถส่องทะลุเข้ามาได้มากขึ้น และมีพื้นที่สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเช่นกัน จะเห็นได้ว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพื่อแสงสว่างมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเนื่องจากแสงสว่างไม่สามารถทะลุเข้ามาได้มากพอ

จากการศึกษาบทความ และงานวิจัยจากแหล่งต่างๆ สามารถสรุปสาระ และใจความสำคัญของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สรุปสาระสำคัญของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แหล่งที่มา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	ผลการศึกษา
Park et al. (2010)	วิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสที่พิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผง ผลของค่ารังสีอาทิตย์ รวมถึงประเภทของกระจกที่ใช้เป็นฐานรองชุดเซลล์แสงอาทิตย์	- ในการผลิตใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly-crystalline ขนาด 12.7×12.7 cm2 จำนวน 32 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรมทั้งหมด ประกอบด้วยกระจกจำนวน 3 ชั้นคือ ด้านหน้าสุดเป็นกระจกใส ด้านหลังเซลล์จะเปลี่ยนแปลงตามประเภทกระจกที่กำหนดคือ กระจกใส และกระจกสีชา ส่วนชั้นที่ 3 จะถูกกั้นด้วยช่องว่างอากาศ - ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวในแนวตั้งฉากกับพื้นโดยหันไปในทางทิศใต้แล้วเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้านไฟฟ้าในฤดูร้อนและฤดูหนาวรวมถึงผลของการเปลี่ยนประเภทของกระจกฐานรองชุดเซลล์แสงอาทิตย์	- การทดสอบและบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 500 เซลล์ พบว่ามีค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{SC}) เฉลี่ย 4.941 A ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{OC}) เฉลี่ย 0.615 V กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) เฉลี่ย 2.417 W โดยมีจำนวนบายพาสไดโอด 2 ชุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 4 แถว - ผลการวัดกำลังไฟฟ้าในฤดูหนาวของการใช้ชนิดกระจกที่แตกต่างกันพบว่าการใช้กระจกสีชาทำให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดน้อยกว่าเพียงเล็กน้อยประมาร 6% เช่นเดียวกันอุณหภูมิใต้แผง โดยค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบแผงที่วัดได้ในฤดูหนาวเดือนธันวาคมมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดถึง 800 W/m^2 ในขณะที่ฤดูร้อนมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดเพียง 400 W/m^2

ตารางที่ 9 (ต่อ)

แหล่งที่มา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	ผลการศึกษา
สันติ (2555)	ศึกษาวิธีการเชื่อมเซลล์แสงอาทิตย์ทางไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคควบคุมพารามิเตอร์ที่มีผลต่อสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ อุณหภูมิและระยะเวลาในการบัดกรี ขนาดของลวดนำไฟฟ้า เพื่อปรับปรุงกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และลดต้นทุนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในอุตสาหกรรม	ใช้เทคนิคการควบคุมอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการบัดกรีเชื่อมลวดนำไฟฟ้า และขนาดของลวดนำไฟฟ้า แบ่งการควบคุม 3 ตัวแปรหลักคือ (1) อุณหภูมิของการบัดกรีเชื่อมเซลล์โดยเริ่มต้นที่ 380, 390 และ 400 °C (2) ระยะเวลาที่ใช้เชื่อมต่อ 1 บัสบาร์ คือ 4, 5, 6 และ 7 Sec และ (3) ขนาดลวดเชื่อมไฟฟ้าประกอบด้วย 2 ขนาดความหนาคือ 0.2 และ 0.24 mm รวมเป็น 24 กรณีศึกษา	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในกระบวนการผลิตคือการบัดกรีลวดนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 390 °C และเวลาที่ใช้ในการเชื่อมต่อคือ 5 Sec และความหนาของลวดนำไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.2 mm ทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มขึ้นภายใต้การทดสอบในสภาวะมาตรฐาน 2.33% ผลการตรวจสอบหลังจากเชื่อมพบว่าไม่มีแผ่นเซลล์แตกร้าวเนื่องจากการบัดกรีและการเคลือบแผงส่งผลให้ค่าต้นทุนการผลิตลดลง 4.93% เมื่อเทียบกับกระบวนการผลิตวิธีเดิม
Van Dyk and Meyer (2004)	ศึกษาการคำนวณหาค่าความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบไปด้วยความต้านทานขนาน (Shunt resistance; Rsh) และความต้านทานอนุกรม	ใช้วิธีการหาส่วนกลับของค่าความชันเส้นโค้งกระแส-แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 36 เซลล์ต่อแบบอนุกรม โดยเส้นโค้งที่เข้าใกล้กระแสลัดวงจรนำไปสู่ค่าความ	จากจุดที่ใกล้กับกระแสลัดวงจรสามารถหาค่า R_{sh} ได้จากส่วนกลับของความชันซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,250 Ohm ในขณะที่จุดที่ใกล้กับแรงดันวงจรเปิดสามารถหาค่า R_s ได้จากส่วนกลับของความชันซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.92 Ohm

ตารางที่ 9 (ต่อ)

แหล่งที่มา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	ผลการศึกษา
	(Series resistance; Rs) โดยใช้วิธีการหาส่วนกลับของค่าความชันเส้นโค้งกระแส-แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	ต้านทานชันต์ ในขณะที่เส้นโค้งที่เข้าใกล้แรงดันวงจรเปิดนำไปสู่ค่าความต้านทานอนุกรม	
Miyazaki et al. (2005)	เพื่อหาค่าการส่องผ่านของแสงและอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อผนังอาคารในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางร่วมกับอาคาร รวมถึงการประเมินผลการประหยัดพลังงานของอาคารที่พิจารณาโดยมีการติดตั้งระบบหรี่ไฟแบบอัตโนมัติ	เปรียบเทียบปริมาณความต้องการใช้พลังงานรวมต่อปีของประเภทกระจกหน้าต่างที่แตกต่างกันออกไปคือ กระจกแบบชั้นเดียว (Single glaze: SG) กระจกแบบสองชั้น (Double glaze: DG) และกระจกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV window) ที่มีค่าการส่องผ่านตั้งแต่ 10-80% โดยมีการควบคุมการหรี่แสงของหลอดไฟ (Dimming light) เมื่อมีแสงอาทิตย์เข้าสู่อาคาร	กระจกแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าความต้องการใช้พลังงานรวมต่อปีน้อยที่สุด เนื่องจากสามารถลดภาระการทำความเย็นให้กับอาคารได้ เช่นเดียวกับการใช้กระจกสองชั้นสามารถลดความต้องการพลังงานรวมต่อปี เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างของผนังโดยประเมินปริมาณความต้องการไฟฟ้ารวมของอาคารเมื่อใช้หน้าต่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใส จะมีค่าความต้องการพลังงานน้อยที่สุด และพบว่าค่าการส่องผ่านที่เหมาะสมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ 40% โดยมี WWR เท่ากับ 50%

ตารางที่ 9 (ต่อ)

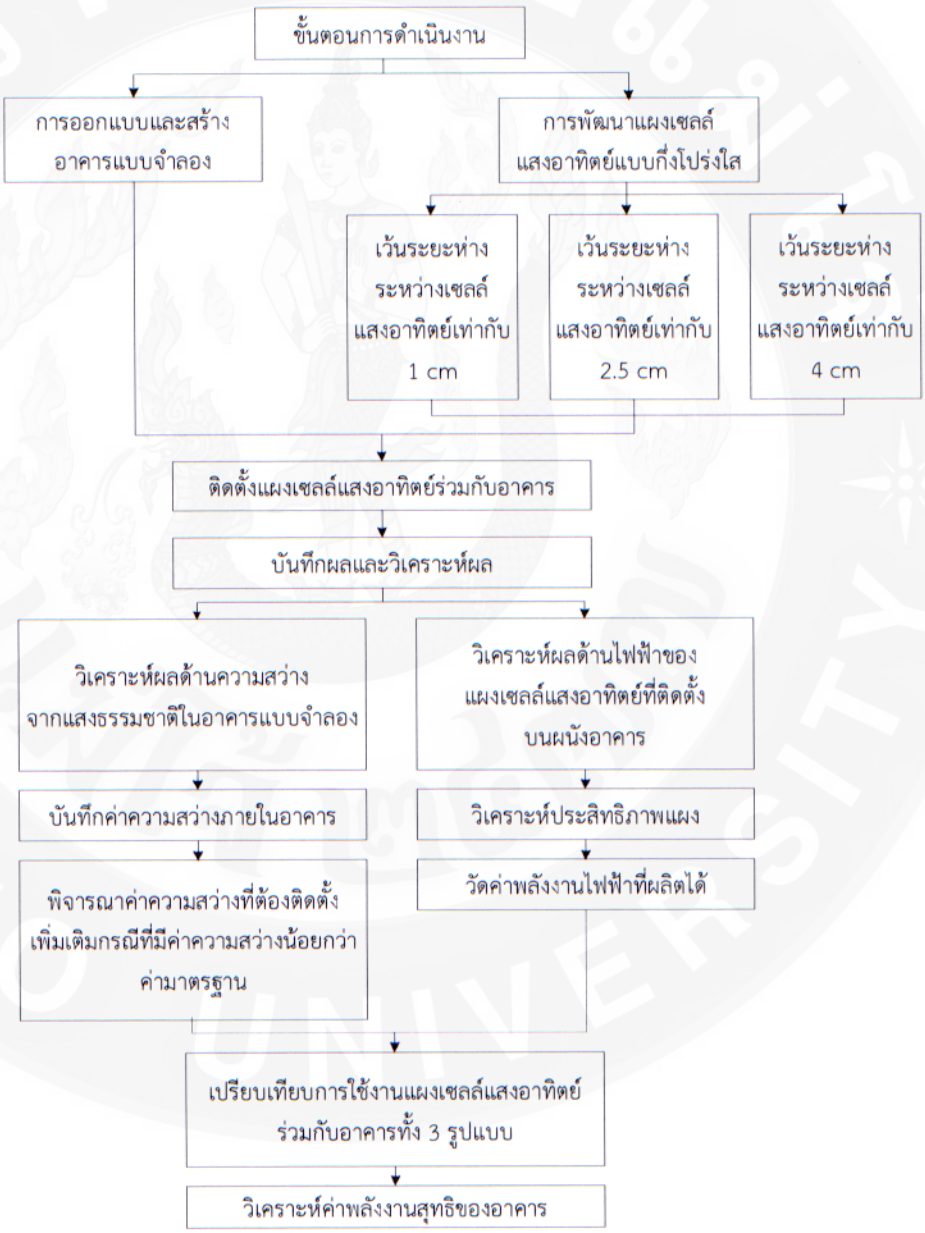
แหล่งที่มา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	ผลการศึกษา
Li et al. (2009)	เพื่อศึกษาการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสร่วมกับอาคารที่ติดตั้งระบบปรับอากาศร่วมกับการควบคุมปริมาณแสงแบบอัตโนมัติโดยพิจารณาค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติ ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบและกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าว	ทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งใสชนิดฟิล์มบางขนาด 0.84 กำลังไฟฟ้าสูงสุด 44 W ติดตั้งบริเวณทิศตะวันตกเฉียงใต้ ของห้องขนาดยาว 2.95 เมตร กว้าง 2.14 เมตร และสูง 2.46 เมตร	หลังจากการทดสอบจริงพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีค่าการส่องผ่านของแสงเฉลี่ย 10.6% การใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสร่วมกับอาคาร ที่มีการควบคุมแสงสว่างของหลอดไฟฟ้าเมื่อมีแสงจากธรรมชาติเข้าสู่อาคาร ส่งผลทำให้สามารถประหยัดพลังงานในอาคารได้มากถึง 12%
Lu and Law (2013)	เพื่อพัฒนาวิธีการสำหรับการประเมินพฤติกรรมทางด้านความร้อนและพลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสชนิดกระจกชั้นเดียวบนอาคารสำนักงานในประเทศฮ่องกง เพื่อประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าของแผง และค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติในอาคาร	ประเมินจากแบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในทิศแตกต่างกัน 5 ทิศ คือ ทิศใต้ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก	เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่า การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสสามารถลดความร้อนเข้าสู่อาคารได้มากถึง 65% ผลที่ได้คือแผงที่หันไปทิศตะวันออกเฉียงใต้ได้รับความร้อนสูงสุดแต่เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานสุทธิสรุปได้ว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หันไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้มีศักยภาพสูงสุดในการนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับอาคาร

ตารางที่ 9 (ต่อ)

แหล่งที่มา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	ผลการศึกษา
Ng et al. (2013)	เพื่อนำเสนอผลการพิจารณาค่าพลังงานสุทธิของอาคารของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสแบบต่างๆ ร่วมกับอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานโดยใช้แบบจำลอง	ทำการศึกษาประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับประยุกต์ใช้กับอาคารที่มีลักษณะแตกต่างกัน 6 ประเภท โดยทุกๆ ประเภทเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งใสจากนั้นเปรียบเทียบและประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพื่อแสงสว่าง พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ และพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผง เพื่อประเมินค่าผลประหยัดด้านพลังงานสุทธิ (Net electrical benefit: NEB)	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางจำนวน 3 แผง มีผลประหยัดทางด้านไฟฟ้าสุทธิรวมเป็นบวก และมีค่าบวกเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อผนังมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางที่มีค่าการส่องผ่านของแสงเท่ากับ 7.34% และ SGHC เท่ากับ 0.123 ส่งผลให้มีค่าพลังงานสุทธิสูงที่สุดประมาณ 18 kWh/m^2-year
กฤษณะพันธ์ (2557)	เพื่อพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสเพื่อใช้กับอาคารโดยติดตั้งบริเวณกระจกห้องโถงด้านบนเพื่อลดความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารและประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์	ทำการศึกษาประสิทธิภาพของกระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งใสในด้านการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคารที่เหมาะสมต่อการใช้งาน โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดที่ศึกษามีขนาด 1 x 1 m^2 ระยะห่างระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ 4 mm ประกอบไปด้วยเซลล์ทั้งหมด 25 เซลล์ ดังแสดงใน สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดรวม 55 W ติดตั้งบริเวณโถงอาคาร	ผลการวิจัยพบว่าเมื่อพิจารณาเฉพาะค่าความส่องสว่าง โถงอาคารที่ติดตั้งกระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งใสสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศได้ลง 34% เมื่อเทียบกับกระจกใสลามิเนต สามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาภายใน 7 ปี

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

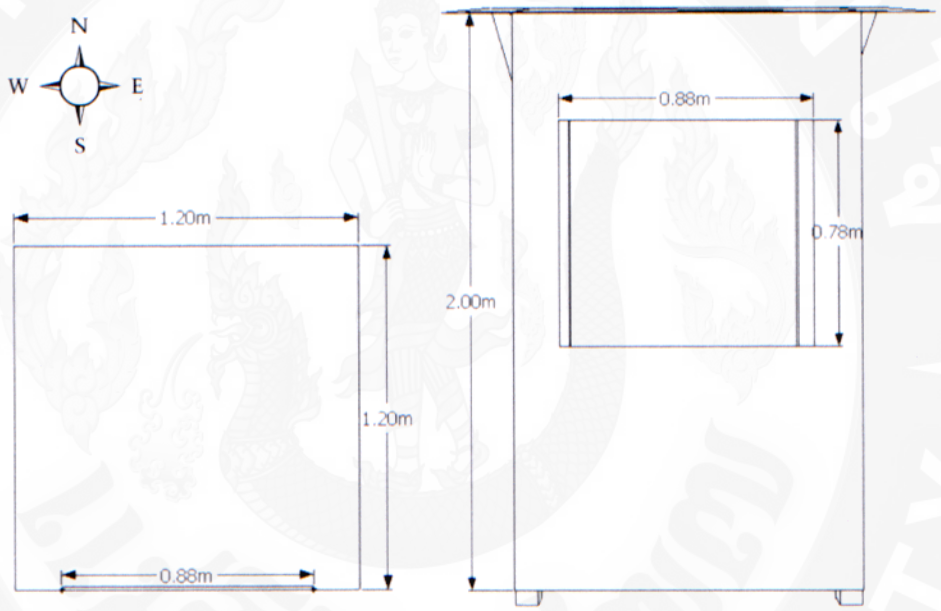
ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการสร้างและทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ร่วมกับอาคาร โดยเป็นการใช้ประโยชน์จากแสงสว่างธรรมชาติที่ส่องทะลุผ่านส่วนที่เป็นกระจกใสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังแสดงในภาพที่ 47



ภาพที่ 47 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

อาคารแบบจำลอง

ในการสร้างอาคารแบบจำลองจะทำการออกแบบโดยให้มีพื้นที่ช่องเปิดผนังด้านข้าง 1 ด้าน ซึ่งเป็นพื้นที่สำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการทดสอบ โดยมีขนาดความสูงของอาคารเท่ากับ 2.0 m กว้าง 1.2 m ลึก 1.2 m วัสดุประกอบผนังอาคารเป็นแผ่นไม้อัดซีเมนต์อเนกประสงค์ (Wood cement board) สีเทาอ่อน ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของผนังเท่ากับ 0.31 (Dupont, 2016) โดยกำหนดให้ช่องเปิดมีอัตราส่วนพื้นที่ต่อผนังอาคารเท่ากับ 28.6% และลักษณะของหลังคาเป็นทรงหน้าจั่วที่มีชายหลังคายาว 20 cm รอบอาคารดังแสดงในภาพที่ 48



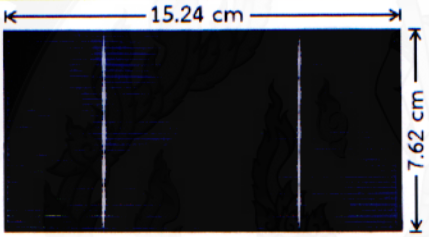
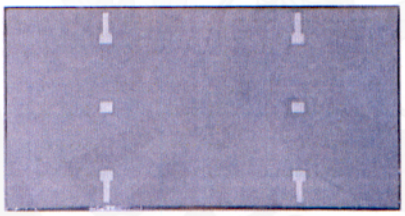
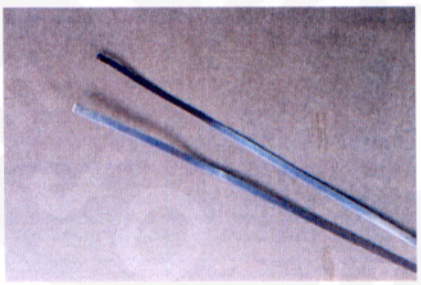
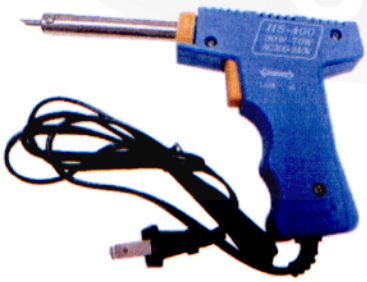
ภาพที่ 48 แผนผังอาคารแบบจำลอง

ประเภทของวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นผนังอาคารคือแผ่นไม้อัดซีเมนต์อเนกประสงค์ (Wood Cement Board) ความหนา 0.8 cm ที่มีคุณสมบัติแข็งแรงทนทานต่อสิ่งต่างๆ คือมีความยืดหยุ่นและและแข็งแรง ทนต่อสภาพอากาศ ทนแดด ทนฝน ทนน้ำ ก็คือสามารถใช้เป็นงานภายนอกได้ ไม่บวมน้ำไม่ บิดตัว ผุกร่อนหรือเกิดเชื้อรา มีหลังคาเป็นประเภทหน้าจั่วมุมเอียง 18° ที่มีชายคายื่นรอบตัวอาคารยาวเท่ากับ 20 cm

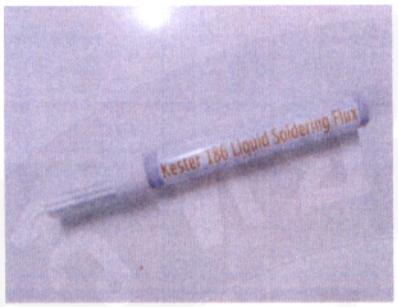
แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสที่กล่าวถึงในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้กระจกใสเป็นวัสดุประกบหน้า-หลัง พร้อมกับการผนึกไม่ให้มีความชื้นเข้าสู่เซลล์แสงอาทิตย์ที่อยู่ภายใน รวมถึงการจัดเรียงแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีระยะห่างระหว่างกัน ส่งผลให้มีพื้นที่ว่างเพื่อให้แสงอาทิตย์ลอดผ่าน ในการประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยวัสดุอุปกรณ์ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ภาพอุปกรณ์	อุปกรณ์ในการประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์
 (ก) ด้านหน้าเซลล์  (ข) ด้านหลังเซลล์	เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบผลึกรวม (Poly-crystalline silicon solar cell) ที่นำมาใช้ประกอบขึ้นเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแบบผลึกรวม ยี่ห้อ ML Solar มีขนาดความกว้าง 7.62 cm ยาว 15.24 cm กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละเซลล์มีค่าเท่ากับ 1.8 W
	ลวดนำไฟฟ้า (Tabbing wire) ลวดนำไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์เข้าด้วยกันโดยใช้วิธีการบัดกรีตะกั่ว มีส่วนประกอบของโลหะคือ 96.5/3.5 tin-silver ขนาดกว้าง 2 mm หนา 200 μm
	หัวแร้งไฟฟ้า (Soldering gun) ที่ใช้ในการเชื่อมลวดไฟฟ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะปลายตัดเพื่อให้เหมาะสมกับการบัดกรีบนพื้นผิวที่มีหน้ากว้าง 2 mm ของลวดนำไฟฟ้า

ตารางที่ 10 (ต่อ)

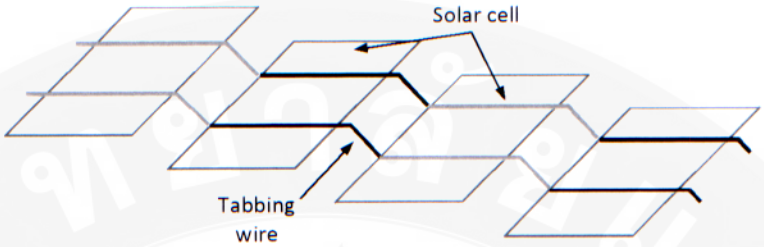
ภาพอุปกรณ์	อุปกรณ์ในการประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์
	น้ำยาประสาน (Flux) หรือ น้ำยาช่วยบัดกรี ใช้ขณะบัดกรีโดยใช้ปลายปากกาทาลงบนบริเวณเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวการละลายของตะกั่ว จะทำให้ตะกั่วเกาะที่ลวดเชื่อมไฟฟ้าได้ดีขึ้น
	โลหะประสาน (Solder) วัสดุที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานรอยต่อของสายไฟหรือขาของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้าด้วยกันส่วนประกอบของตะกั่วบัดกรีประกอบด้วยดีบุก (Tin) และตะกั่ว (Lead) ในอัตราส่วน 60/40
	กาวซิลิโคนชนิดใส (Silicon) สำหรับยึดระหว่างกระจก 2 ชิ้นเข้าด้วยกันโดยเลือกใช้ซิลิโคนชนิดใสยี่ห้อ Sista S 19 ซึ่งมีคุณสมบัติยึดพื้นผิวมัน ทนทานต่อแสง UV และปราศจากกรด

1. การประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์เข้าด้วยกัน เนื่องจากการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์เพียง 1 เซลล์ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้เพียงพอ ดังนั้นจุดประสงค์ของการสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้น เพื่อให้มีกระแสและแรงดันไฟฟ้าให้ได้ตามจุดประสงค์ของการใช้งาน จากนั้นจะต้องทำการห่อหุ้มเซลล์แสงอาทิตย์เหล่านั้นเพื่อเป็นโครงสร้างและเสริมความแข็งแรงให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ งานวิจัยครั้งนี้จะใช้วัสดุผิวหน้าเป็นกระจกใสความหนา 3 mm โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

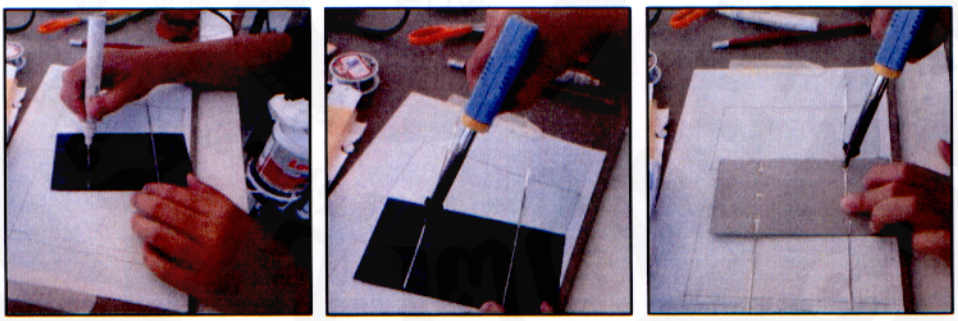
1.1 การเชื่อมเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นการเชื่อมด้วยลวดนำไฟฟ้าที่มีขนาดกว้าง 2 mm โดยวิธีการบัดกรี โดยมีรูปแบบการวางลวดนำไฟฟ้าแบบสลับบน-ล่าง ซึ่งลวดนำไฟฟ้า 1 เส้นจะใช้ในการ

เชื่อมด้านหน้าของเซลล์หนึ่ง ไปยังอีกเซลล์หนึ่งดังแสดงในภาพที่ 49 ก่อนการบัดกรีจะต้องใช้น้ำยาประสานในการบัดกรีเพื่อเป็นตัวช่วยในการเชื่อมระหว่างลวดนำไฟฟ้ากับพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 49 รูปแบบการเชื่อมเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยลวดนำไฟฟ้า

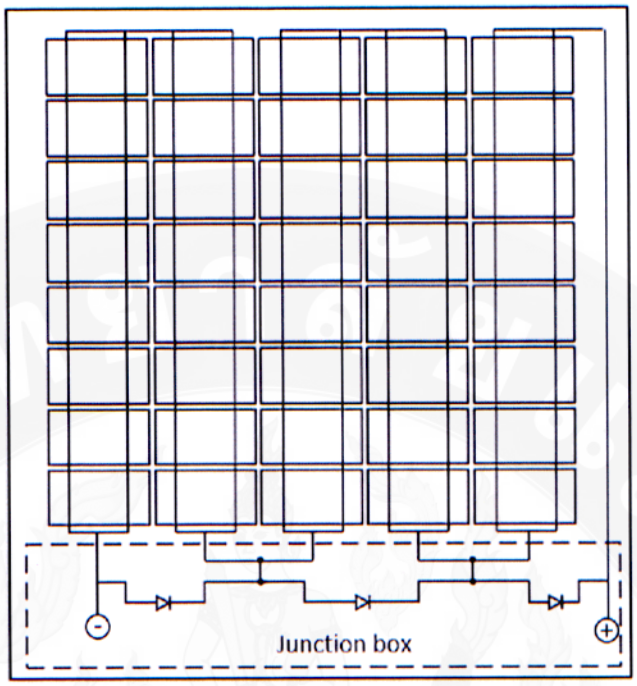
จากภาพที่ 50 (ก) เป็นขั้นตอนการป้ายน้ำยาประสานที่อยู่ในรูปของปากกา โดยมีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองใส โดยป้ายบริเวณส่วนที่เป็นสีขาวที่อยู่ด้านหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นส่วนของขั้วไฟฟ้า จากนั้นทำการบัดกรีโดยใช้หัวแร้งลากผ่านบริเวณดังกล่าวโดยวางลวดนำไฟฟ้าในแนวเดียวกับขั้วไฟฟ้าและลากผ่านอย่างช้าๆ เพื่อให้ลวดนำไฟฟ้าเชื่อมติดกับเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสงในภาพที่ 50 (ข) ส่วนด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้วิธีเดียวกันแต่ต่างตรงที่ขั้วไฟฟ้ามี 6 จุดไม่ได้อยู่ในแนวขวางเป็นเส้นเดียวดังแสดงในภาพที่ 50 (ค)



(ก) (ข) (ค)

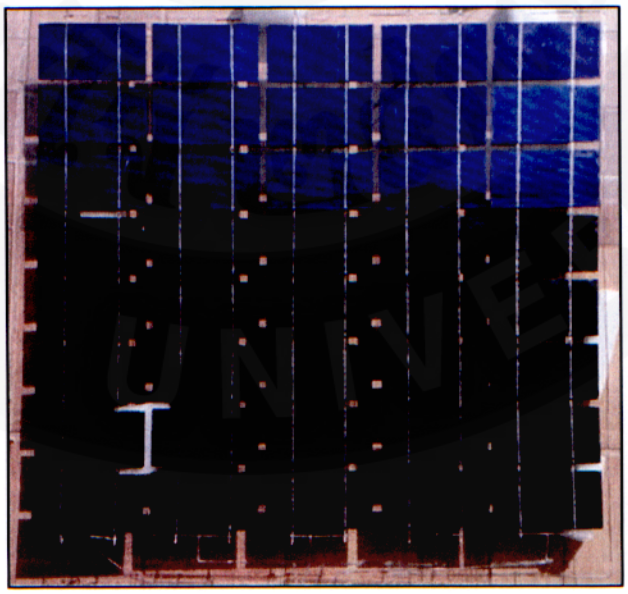
ภาพที่ 50 การบัดกรีลวดนำไฟฟ้าลงบนเซลล์แสงอาทิตย์

1.2 เมื่อได้ชุดเซลล์แสงอาทิตย์จากการเชื่อมเซลล์ด้วยวิธีการบัดกรีแล้วนำเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแถวมาเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมทั้งหมด และต่อบายพาสไดโอดขนาด 10 A จำนวน 3 ตัว เพื่อป้องกันการเกิดการเกิดจุดร้อนบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการบังเงาบางส่วนดังแสดงใน**ภาพที่ 51**



ภาพที่ 51 วงจรแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ

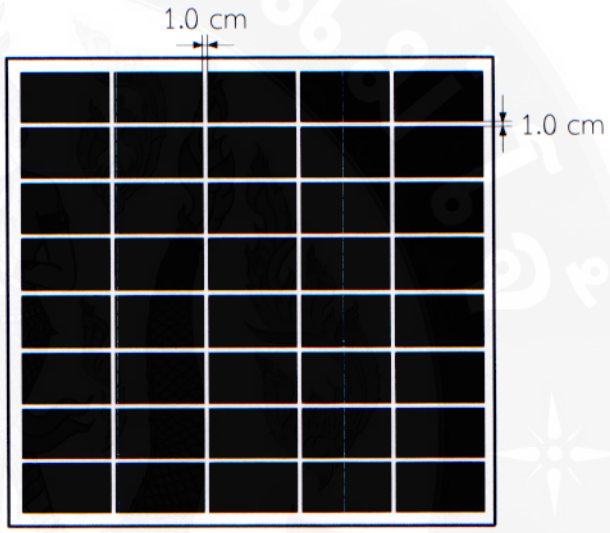
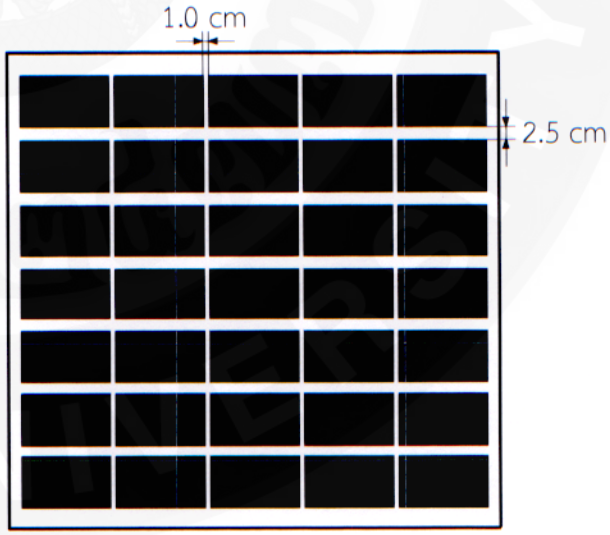
ในภาพที่ 52 เป็นภาพถ่ายของชุดเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 40 เซลล์ต่อแบบอนุกรมกันทั้งหมดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 ที่มีการเว้นระยะห่างเท่ากับ 1 cm ที่ถูกวางบนฐานรองที่เป็นกระจกใส เพื่อทำการวัดค่าทางไฟฟ้าเบื้องต้นโดยใช้มัลติมิเตอร์ โดยวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า เนื่องจากการต่อเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 40 เซลล์ควรมีแรงดันไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 20 V



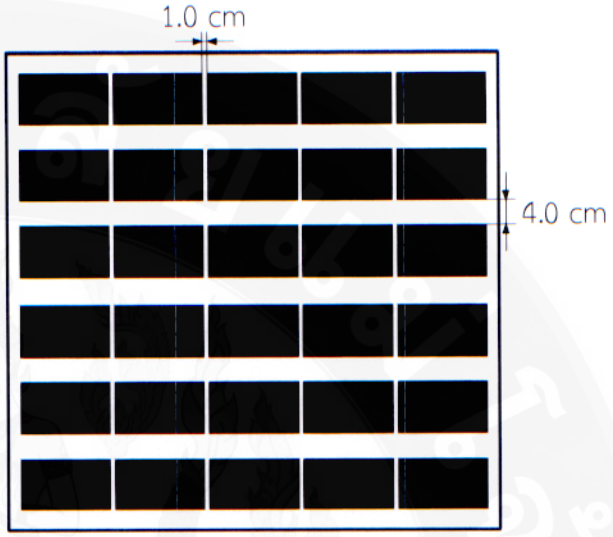
ภาพที่ 52 ชุดเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกจัดเรียงบนกระจก

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ออกแบบให้มีการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 3 แผงที่มีรูปแบบการจัดเรียงเซลล์แสงอาทิตย์ต่างกันคือการเว้นระยะห่างระหว่างเซลล์ที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 11 ทำให้แต่ละแผงมีจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ต่างกัน ส่งผลทำให้มีพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์แตกต่างกันและพื้นที่โปร่งใสที่แตกต่างกัน

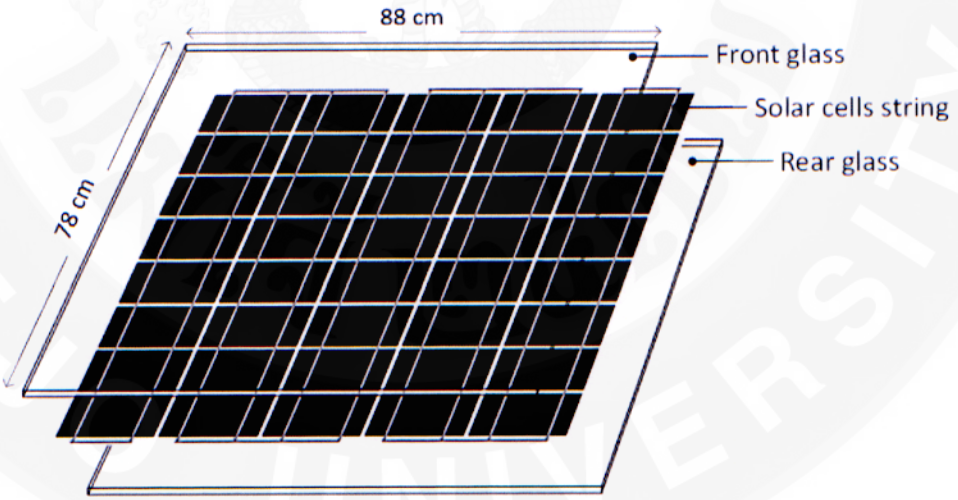
ตารางที่ 11 รูปแบบการจัดเรียงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ

รูปแบบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	แผนภาพการจัดเรียงเซลล์แสงอาทิตย์
แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ 40 เซลล์ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 20 V กำลังไฟฟ้าสูงสุด 3.6 A พื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ 0.46 m^2	
ผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 2 จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ 35 เซลล์ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 17.5 V กำลังไฟฟ้าสูงสุด 3.6 A พื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ 0.40 m^2	

ตารางที่ 11 (ต่อ)

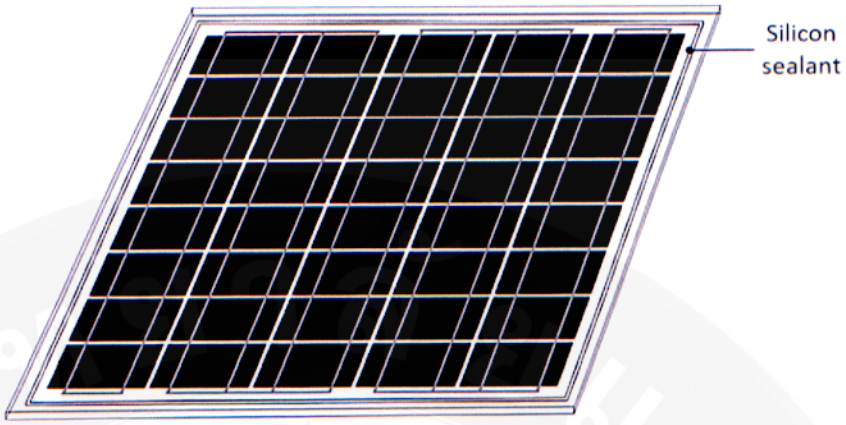
รูปแบบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	แผนภาพการจัดเรียงเซลล์แสงอาทิตย์
แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 3 จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ 30 เซลล์ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 15 V กำลังไฟฟ้าสูงสุด 3.6 A พื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ 0.34 m^2	

1.3 นำชุดเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อด้วยกันทั้งหมดแล้วมาจัดวางลงบนแผ่นกระจกใสขนาด 78 × 88 cm หนา 0.3 cm



ภาพที่ 53 โครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์

1.4 ยึดแผ่นกระจกเข้าด้วยกันโดยใช้ซิลิโคนชนิดใสที่สามารถทนความร้อนได้ที่อุณหภูมิสูง โดยซิลิโคนนี้มีหน้าที่ในการยึดแผ่นกระจกเข้าด้วยกัน รวมถึงทำหน้าที่ป้องกันความชื้นที่จะเข้าสู่เซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อใช้แทนการเคลือบเซลล์แสงอาทิตย์แทนการใช้แผ่น EVA ดังแสดงในภาพที่ 54



ภาพที่ 54 การยึดแผ่นกระจกร่วมกับชุดเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยซิลิโคนชนิดใส

1.5 ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนอาคารแบบจำลองเพื่อทำการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 55 โดยต่อขั้วไฟฟ้าออกจากแผงโดยใช้สายไฟ VCT ขนาด 2 × 2.5 mm เพื่อต่อเข้ากับอุปกรณ์วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ภาพที่ 55 อาคารแบบจำลองที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการทดสอบ

วิธีการดำเนินการและการบันทึกข้อมูล

การดำเนินการทดสอบและบันทึกข้อมูลในครั้งนี้ใช้สถานที่ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยมีพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ละติจูด 18° 53' 49.74" N ลองจิจูด 99° 00' 40.02" E โดยมีเครื่องมือการวัดและตำแหน่งต่างๆ ในการวัดดังที่กล่าวไว้ในข้างต้น ขั้นตอนการทดสอบและบันทึกข้อมูล มีดังต่อไปนี้

1. การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เป็นการทดสอบภายใต้สภาวะจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนอาคารแบบจำลองโดยหันด้านที่ติดตั้งแผงไปในทางทิศใต้ โดยเป็นการวัดค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{SC}) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{OC}) กระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{max}) และ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_{max}) โดยพิจารณาหัวข้อดังต่อไปนี้

1.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ

1.2 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในฤดูร้อนและฤดูหนาว

1.3 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบภายใต้เงื่อนไขการทดสอบเดียวกัน

2. การทดสอบด้านแสงสว่าง

โดยพิจารณาความส่องสว่างของแสงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านแผงเข้ามาในแบบอาคารจำลองโดยวัดค่าความส่องสว่างของแสงอาทิตย์แบบกระจายทั้งภายนอกและภายในอาคาร โดยพิจารณาหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 เปรียบเทียบผลของค่าความส่องสว่างภายในอาคารจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบ

2.2 การประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติ เมื่อมีการกำหนดให้มีค่าความส่องสว่างมาตรฐานในอาคารเท่ากับ 500 lux โดยใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ประเภท T5 ที่มีค่าประสิทธิผลการส่องสว่างเท่ากับ 75 lumen/W ในการพิจารณาให้มีค่าความส่องสว่างภายในอาคารไม่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด

หลังจากนั้นนำข้อมูลข้างต้นมาวิเคราะห์หาค่าพลังงานสุทธิของอาคารที่เป็นผลมากจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีรูปแบบการจัดเรียงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน โดยกำหนดให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็นบวก และพลังงานที่ถูกใช้สำหรับความส่องสว่างมีค่าเป็นลบ หากผลสุทธิที่ได้มีค่าเป็นบวกหมายถึงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้มีมากกว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปสำหรับหลอดไฟ ในทางกลับกันหากค่าพลังงานสุทธิมีผลเป็นลบหมายถึงความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างเพิ่มเติมมีค่ามากกว่าพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้

เครื่องมือตรวจวัดที่ใช้ในงานวิจัย

การตรวจวัดและบันทึกข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือการตรวจวัดด้านพลังงานไฟฟ้าและการตรวจวัดด้านความส่องสว่าง ช่วงเวลาในการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลกระทำทุกๆ 5 นาทีเริ่มต้นในช่วงเวลา 9.00-17.00 น. ซึ่งเป็นเวลาเปิดทำการของอาคารทั่วไป โดยจะแบ่งออกเป็นเครื่องมือตรวจวัดที่อยู่ภายในอาคารแบบจำลอง และภายนอกอาคารแบบจำลองดังต่อไปนี้

1. เครื่องวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Module analyzer)

ที่มีความสามารถวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าสูงสุดได้เท่ากับ 60 V และ 12 A ตามลำดับ เพื่อใช้ในการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่ กระแสลัดวงจร (I_{SC}) แรงดันวงจรเปิด (V_{OC}) กระแสสูงสุด (I_{max}) แรงดันสูงสุด (V_{max}) และกำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) โดยมีจอแสดงผลและการบันทึกข้อมูลผ่านสาย USB ในเครื่องคอมพิวเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 56 โดยผลที่ได้จะอยู่ในรูปแบบของตัวเลขที่สามารถนำมาสร้างกราฟสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงที่ทำการทดสอบโดยกำหนดให้มีการเก็บบันทึกข้อมูลทุกๆ 5 นาที

ภาพที่ 56 เครื่องวัดสมบัติทางไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

2. เครื่องวัดรังสีอาทิตย์รวม (Pyranometer)

ใช้ในการตรวจวัดรังสีอาทิตย์ที่กระจายผ่านลงบนเซนเซอร์โดยติดตั้งให้รับรังสีอาทิตย์รวมในแนวเดียวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อยู่บนอาคารแบบจำลองในแนวตั้งฉาก โดยสามารถวัดค่ารังสี

อาทิตย์ได้สูงสุดถึง 1,250 W/m^2 โดยการบันทึกข้อมูลจะต้องต่อผ่านอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติทุกๆ 5 นาที ดังแสดงในภาพที่ 57

ภาพที่ 57 Pyranometer

3. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เป็นสายเทอร์โมคัปเปิลไวนิล 4/0.32 mm × 2, Type K ทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิแวดล้อมขณะทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยสามารถวัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20-100 °C

4. อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger)

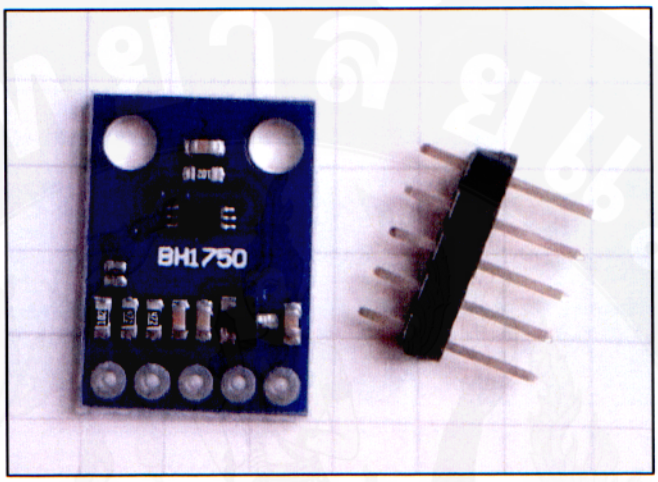
สามารถบันทึกค่าจาก Thermocouple และสัญญาณไฟฟ้าจาก Pyranometer ที่ใช้ระบบสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ผ่านสายแลน (LAN Cable) สำหรับการทดสอบครั้งนี้ใช้อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติ รุ่น VR18 Paperless Recorder Brainchild

ภาพที่ 58 เครื่องวัดความส่องสว่างภายนอก

5. เครื่องมือวัดความส่องสว่างภายนอก (Outdoor lux meter)

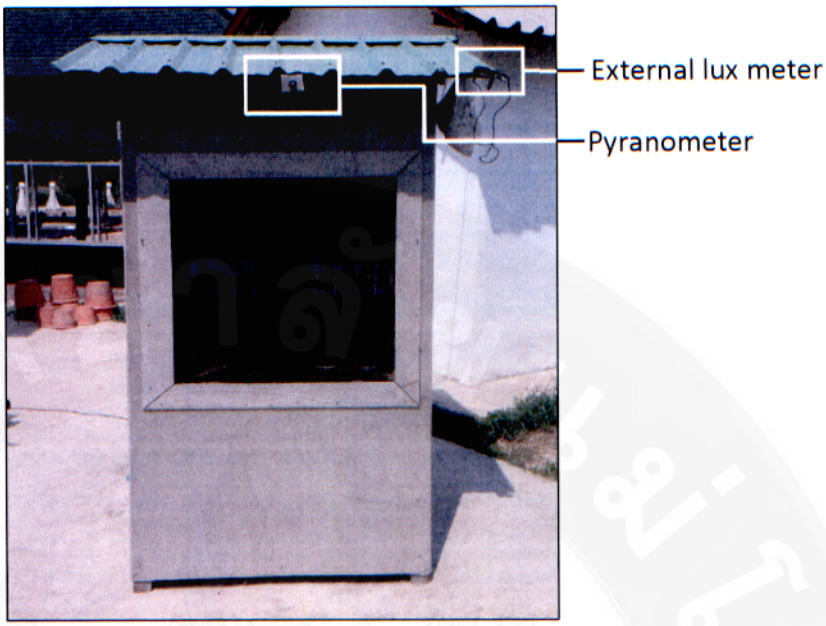
ที่สามารถวัดความส่องสว่างได้ในช่วง 0-100,000 lux ยี่ห้อ Lutron lx 1128sd ดังแสดงในภาพที่ 58

6. เครื่องมือวัดความส่องสว่างในอาคาร



ภาพที่ 59 เซนเซอร์สำหรับตรวจวัดความส่องสว่างภายในอาคารแบบจำลอง

จากภาพที่ 59เป็นอุปกรณ์การวัดความส่องสว่างเป็นโมดูลอิเล็กทรอนิกส์ขนาด 16 บิตที่สามารถวัดความส่องสว่างได้ในช่วงตั้งแต่ 1-65,535 lux โดยการสื่อสารผ่านระบบ I2C ที่ถูกเชื่อมต่อกับ Arduino UNO ซึ่งการทดสอบใครครั้งนี้มีการติดตั้งโมดูลวัดความส่องสว่างจำนวน 5 จุด โดยติดตั้งบริเวณด้านหน้าซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้กับช่องเปิดมากที่สุด บริเวณจุดกึ่งกลางห้อง และบริเวณด้านหลังสุด ตำแหน่งของโมดูลวัดความส่องสว่างถูกติดตั้งที่ความสูง 65 cm คิดเป็น 30% ของความสูงจากพื้นห้อง

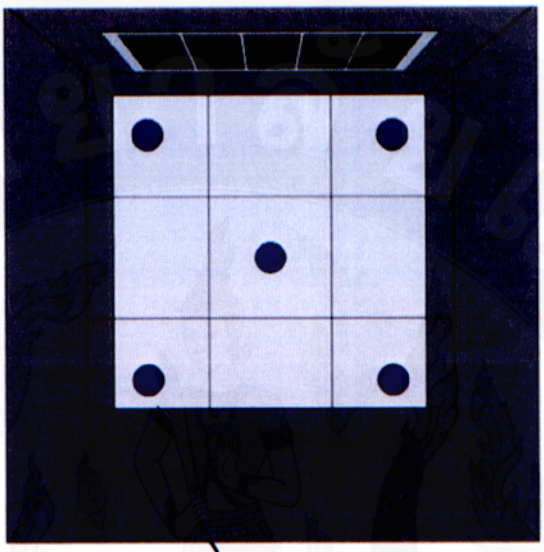


ภาพที่ 60 ตำแหน่งจุดวัดค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบแผงและค่าความส่องสว่างภายนอกอาคาร

สำหรับการตรวจวัดข้อมูลความส่องสว่างภายในอาคารที่ใช้โมดูลวัดแสง BH1750fvi จำนวน 5 โมดูลเพื่อตรวจวัดค่าความส่องสว่างซึ่งได้ผลการวัดในหน่วย lux ที่แบ่งจุดการวัดเป็นตารางเพื่อหาค่าเฉลี่ยตามระยะห่างจากพื้นที่ช่องเปิดเป็น 3 ระยะ โดยมีการจัดวางจุดวัดความส่องสว่างดังแสดงในภาพที่ 61 ซึ่งเป็นภาพถ่ายจริง

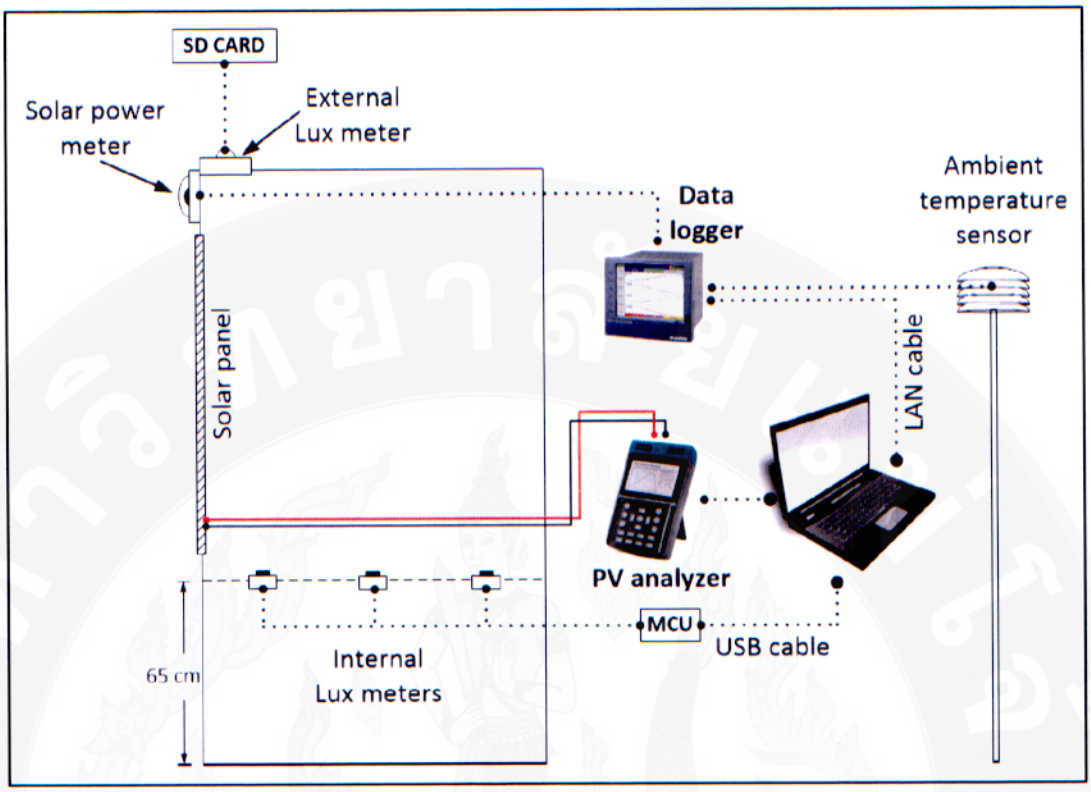
ภาพที่ 61 จุดวัดความส่องสว่างภายในอาคารแบบจำลอง

จากภาพที่ 62 ซึ่งเป็นแผนผังของการวางจุดวัดความส่องสว่างโดยเป็นภาพจากมุมมองด้านบน ภายในอาคารแบบจำลอง โดยจุดวัดทั้ง 5 จุดจะอยู่ในแนวระนาบกับพื้นห้องซึ่งมีระดับความสูงจากพื้นห้องถึงบริเวณจุดวัดเท่ากับ 65 cm



ภาพที่ 62 จุดวัดความส่องสว่างภายในอาคารแบบจำลอง

แผนผังของจุดตรวจวัดประกอบไปด้วยอุปกรณ์การวัดที่แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การตรวจวัดข้อมูลแวดล้อม และการตรวจวัดข้อมูลภายในอาคารแบบจำลอง โดยข้อมูลแวดล้อมประกอบไปด้วยการวัดค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบที่วัดบริเวณด้านบนสุดของอาคารโดยติดตั้งบริเวณเครื่องมือวัด (Pyranometer) บนส่วนที่ยื่นออกมาของชายคาอาคารโดยอยู่ในระนาบเดียวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือในแนวตั้งฉากกับพื้นโดยหันไปในทางทิศใต้ ในการวัดค่าความส่องสว่างภายนอกอาคารใช้เครื่องมือวัดความส่องสว่าง (Lux meter) ติดตั้งด้านบนสุดของอาคารในแนวระนาบเพื่อวัดความส่องสว่างของแสงอาทิตย์ภายนอกอาคาร และการวัดอุณหภูมิแวดล้อม ส่วนการตรวจวัดข้อมูลภายในอาคารแบบจำลองประกอบไปด้วยการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve) โดยใช้อุปกรณ์การวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉพาะ (PV analyzer) และการวัดค่าความส่องสว่างภายในโดยใช้โมดูลวัดแสงจำนวน 5 จุดที่ถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ซึ่งทุกๆ จุดการตรวจวัดมีการบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติผ่านคอมพิวเตอร์ทุกๆ 5 นาทีเริ่มต้นในช่วงเวลา 9.00-17.00 น.



ภาพที่ 63 ผังการตรวจวัดและบันทึกข้อมูล

บทที่ 4
ผลการวิจัย

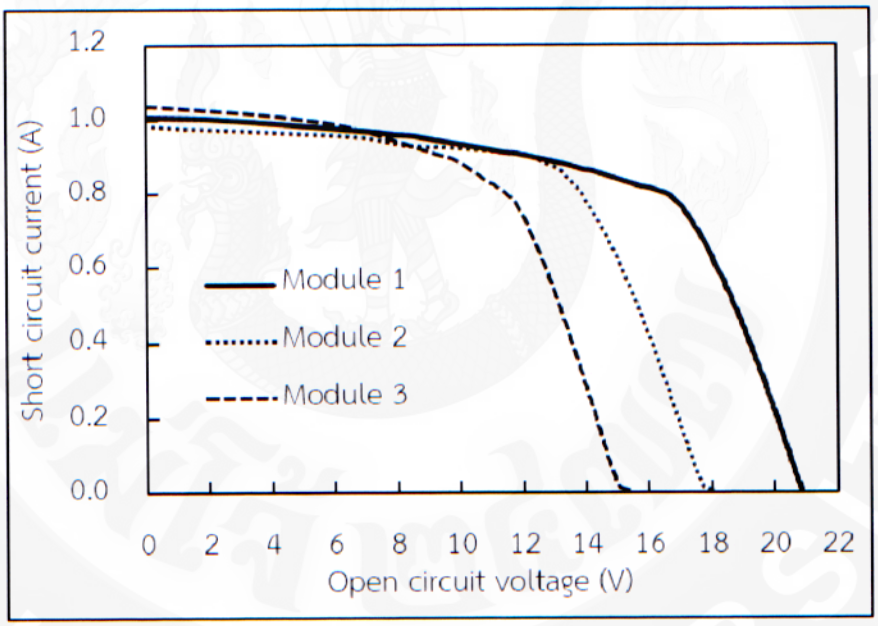
ในบทนี้ได้นำเสนอผลการวิจัยจากการพัฒนาและการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงร่วมกับห้องจำลองโดยติดตั้งแทนกระจกหน้าต่างในแนวตั้งฉาก แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงจะมีลักษณะการจัดเรียงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 รูปแบบโดยมีระยะห่างระหว่างเซลล์ตั้งแต่ 1-4 cm และมีจำนวนเซลล์ตั้งแต่ 30-45 แผ่น ดังแสดงในตารางที่ 12การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงที่สร้างขึ้นจะแบ่งออกเป็นการทดสอบด้านไฟฟ้า โดยจะพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า (I-V curve) ค่าความต้านทานแบบชันต์ (R_{sh}) ค่าความต้านทานแบบอนุกรม (R_s) ค่าประสิทธิภาพของแผง และค่าฟิลแฟกเตอร์ (FF) จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงในแต่ละรูปแบบ จากนั้นจะทำการทดสอบปริมาณแสงภายในอาคารโดยจะพิจารณาจากค่าความส่องสว่างภายในห้องจำลองเมื่อทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงทั้ง 3 แผง ค่าความส่องสว่างจากธรรมชาติที่ได้จะถูกนำมาเทียบกับค่าความส่องสว่างมาตรฐานเพื่อพิจารณาการติดตั้งระบบไฟแสงสว่าง จากนั้นจะทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างเพื่อให้ได้ค่าความส่องสว่างตามมาตรฐาน และสุดท้ายจะทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานสุทธิของอาคารแบบจำลองเมื่อติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงทั้ง 3 รูปแบบ

ตารางที่ 12 การจัดเรียงเซลล์แสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบ

	Module 1	Module 2	Module 3
ระยะห่างระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ (cm)	1.0	2.5	4.0
จำนวนแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ (แผ่น)	40	35	30
พื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)	0.46	0.40	0.34
พื้นที่โปร่งแสง (m^2)	0.23	0.29	0.35

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบกึ่งโปร่งใส

ในการวิเคราะห์ผลทางด้านไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า (IV-Curve) โดยการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันไฟฟ้านี้เป็นผลมาจากค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำงาน จากภาพที่ 64 เป็นกราฟแสดงสมบัติทางไฟฟ้าของแผงทั้ง 3 รูปแบบ ที่บันทึกในช่วงค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เท่ากับ 400 W/m2 จะสังเกตเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกๆ แผงที่ทำการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.98-1.03 A ส่วนแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของแผงที่ 1, 2 และ 3 มีค่าแตกต่างกันตามจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกต่อกันแบบอนุกรม คือ 20.84, 17.97 และ 15.31 V ตามลำดับ เนื่องจากการต่อแบบอนุกรมส่งผลให้มีค่าแรงดันเพิ่มขึ้นตามจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (ISC) ของแต่ละแผงมีค่าใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 64 สมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบ

นอกเหนือจากพารามิเตอร์ดังที่กล่าวข้างต้นแล้ว ลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังประกอบไปด้วยค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นภายในวงจรแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ค่าความต้านทานชันต์ (R_{sh}) และความต้านทานอนุกรม (R_s) โดยค่าความต้านทานเหล่านี้ล้วนส่งผลทางตรงต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยถือเป็นการสูญเสียที่เซลล์แสงอาทิตย์ ในการหาค่าความต้านทานทั้งสองชนิดดังกล่าว จะใช้วิธีการหาส่วนกลับของความชันจากเส้นโค้งกระแสและแรงดันไฟฟ้ารวมของแผง โดย R_{sh} หาได้จากส่วนกลับของความชันจากจุดที่ใกล้กับกระแสลัดวงจรคือจุดที่แรงดันมีค่า

เท่ากับศูนย์ ในทางตรงกันข้าม R_s สามารถหาได้จากส่วนกลับของความชันจากจุดแรงดันวงจรเปิดคือจุดที่กระแสเท่ากับศูนย์ จึงได้ค่าความต้านทานทั้งสองดังแสดงในตารางที่ 13

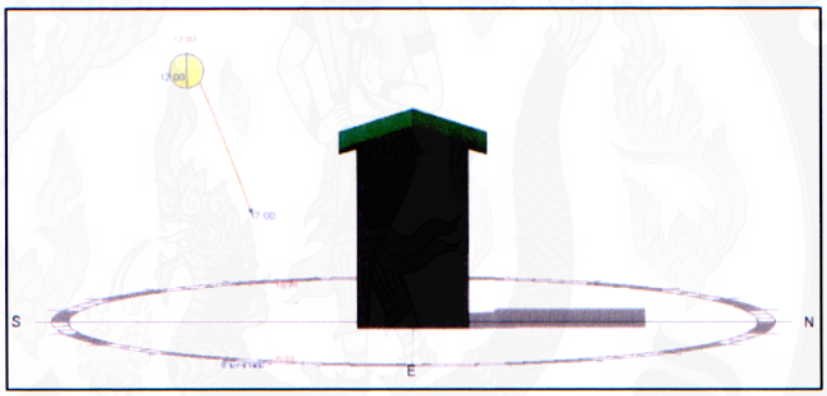
ตารางที่ 13 ตารางสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 รูปแบบ

	I_{SC} (A)	V_{OC} (V)	I_{max} (A)	V_{max} (V)	Fill factor	Shunt resistance (Ohm)	Series resistance (Ohm)	Efficiency (%)
Module 1	1.01	20.85	0.88	16.29	0.68	181.8	4.49	7.27
Module 2	0.98	17.97	0.85	13.16	0.64	232.5	4.38	7.00
Module 3	1.04	15.29	0.84	11.19	0.61	144.9	4.04	6.78

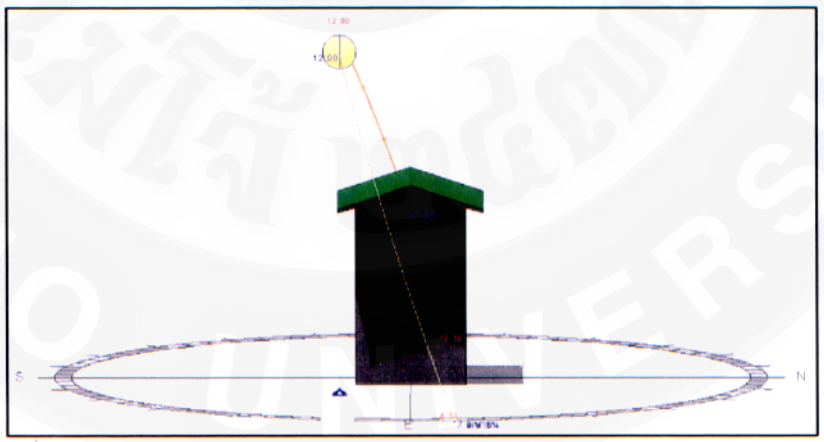
จากภาพที่ 64 ซึ่งเป็นกราฟเส้นโค้งสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อสังเกตค่าความชันของเส้นกราฟที่อยู่ใกล้กับค่าแรงดันวงจรเปิด จะเห็นได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยจึงทำให้ได้ R_{sh} แตกต่างกันโดยแผงหมายเลข 1-3 สามารถคำนวณหา R_{sh} จากเส้นโค้งแรงดันและกระแสรวมของแผงได้ค่าความต้านทานเท่ากับ 181.8, 238.1 และ 144.9 Ohm ตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของ R_{sh} ที่เกิดขึ้นมีลักษณะไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า R_{sh} ที่ไม่เท่ากันของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์ ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแต่ละเซลล์จะมีค่า R_{sh} อยู่ในช่วง 0.42-120 Ohm/cell โดยค่าค่า R_{sh} ที่ลดลงจะส่งผลให้กำลังฟ้าสูงสุดลดลงเช่นเดียวกับฟิลแฟกเตอร์ เมื่อสังเกตค่าความต้านทานอนุกรม พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1-3 ให้ผลของค่า R_s ที่ใกล้เคียงกันคือ 4.49, 4.38 และ 4.04 Ohm ตามลำดับ โดยปัจจัยที่ทำให้ R_s มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดรอยต่อของขั้วโลหะทั้งด้านหน้าและด้านหลังตามจำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบขึ้นระหว่างการจัดเรียงเซลล์แสงอาทิตย์ การที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 มี R_s มากที่สุดส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ในการเชื่อมต่อทางไฟฟ้ามีมาก ทำให้เกิดรอยต่อที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกต่อกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานชันต์และอนุกรมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบผลึกรวมที่มีอยู่ทั่วไปพบว่ามีค่าเท่ากับ 1,000±50 และ 0.07±0.009 Ohm ตามลำดับ (Pysch et al., 2007)

การใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แสงอาทิตย์ในแต่ละฤดูกาล

ฤดูกาลเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งดวงอาทิตย์ จึงได้ทำการแบ่งช่วงระยะเวลาในการจัดเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ช่วงคือ ฤดูหนาวในและฤดูร้อน โดยมีการกำหนดให้ฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม-กลางเดือนกุมภาพันธ์ และฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์-กลางเดือนพฤษภาคม (วิรัช, 2538) ฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลงไปส่งผลให้มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนผนังอาคารแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 66 ซึ่งเป็นค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน โดยเลือกข้อมูลของวันที่มีลักษณะท้องฟ้าโปร่งของทั้ง 2 ฤดูกาล ในเดือนมกราคม ปี 2560 และในเดือนเมษายน ปี 2560 โดยที่เวลา 12.00 น. เป็นช่วงเวลาที่มีมุมของดวงอาทิตย์สูงที่สุดในแต่ละวัน



(ก)



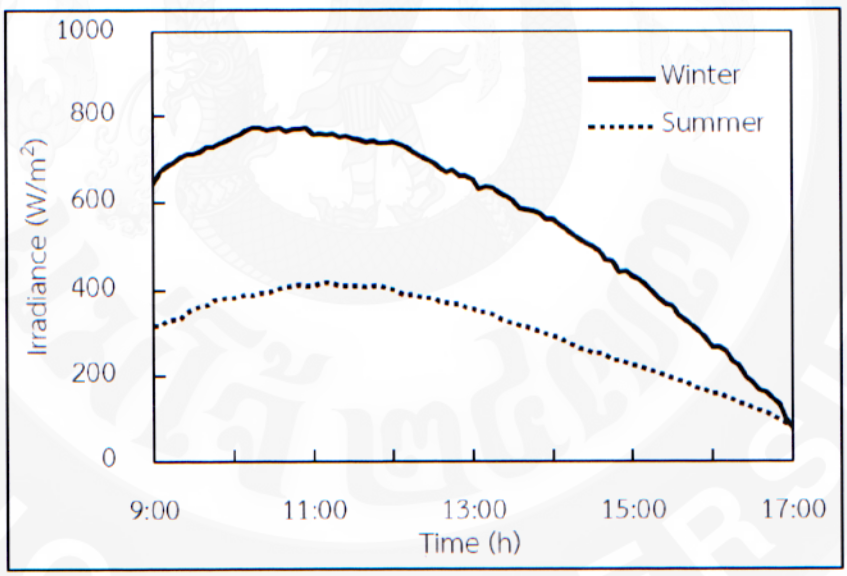
(ข)

ภาพที่ 65 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์

*หมายเหตุ ก หมายถึง ตำแหน่งดวงอาทิตย์ในฤดูหนาว

ข หมายถึง ตำแหน่งดวงอาทิตย์ในฤดูร้อน

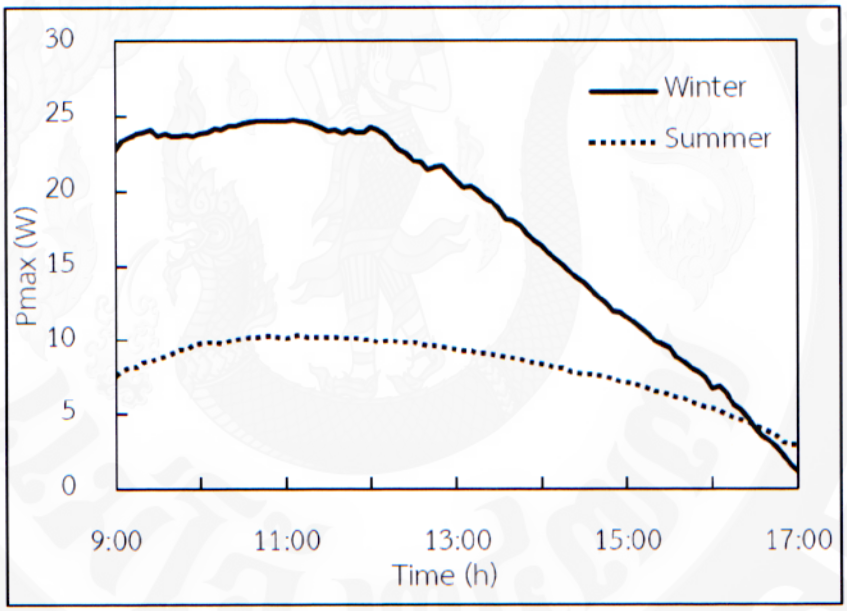
จากภาพที่ 65 ผลของมุมดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละฤดูกาล ส่งผลต่อค่ารังสีอาทิตย์ตรงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนผนังอาคารโดยทำมุม 90° กับพื้นราบ โดยเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ในมุมต่ำ รังสีอาทิตย์ตรงจะตกกระทบกับผนังอาคารมากกว่าเมื่อเทียบกับในฤดูหนาวที่มีมุมของดวงอาทิตย์สูงกว่า จากการคำนวณหาตำแหน่งมุมของดวงอาทิตย์ (Elevation angle) ในวันที่ทำการทดสอบทั้ง 2 ฤดูกาล พบว่าในฤดูหนาว (เดือนมกราคม) ตำแหน่งปรากฏของดวงอาทิตย์ทำมุม 50.37° กับพื้นราบ และเมื่อเทียบกับฤดูร้อน (เดือนเมษายน) มุมของดวงอาทิตย์อยู่ในระดับที่สูงขึ้นไปคือ 77.48° จึงเป็นสาเหตุทำให้ในฤดูหนาวมีค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบสูงกว่าอย่างชัดเจน โดยค่ารังสีอาทิตย์สูงที่สุดที่บันทึกได้มีค่าเท่ากับ 773 W/m^2 ที่เวลา 10.20 น. ส่วนในฤดูร้อนที่มีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 417 W/m^2 ที่เวลา 11.10 น. หลังจากช่วงเวลาดังกล่าว ความแตกต่างของค่ารังสีอาทิตย์ของทั้ง 2 ฤดูมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์หลังจากเวลา 12:00 น. มีมุมกวาดไปทางทิศตะวันตกซึ่งเป็นตำแหน่งด้านข้างของอาคาร ลักษณะของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวตั้งฉากจึงเกิดผลของการบังเงาจากตัวอาคารเอง จนกระทั่งมีค่ารังสีอาทิตย์ใกล้เคียงกันที่เวลา 17.00 น. ดังแสดงภาพที่ 66



ภาพที่ 66 ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในฤดูหนาวและฤดูร้อน

เมื่อพิจารณาการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งร่วมกับอาคารโดยนำเสนอกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 ในการวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลที่มีต่อการผลิตไฟฟ้า ซึ่งกำลังไฟฟ้าจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามระดับของรังสีอาทิตย์ รวมถึงปัจจัยของการเกิดเงาบังบริเวณแผงเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากชายคาของอาคาร จะเห็นได้ชัดเจนในฤดูหนาวที่ช่วงเวลาตั้งแต่ 9.30 น. เป็นต้นไปที่มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าลดลง ซึ่งในวันที่ทำการทดสอบมีรูปแบบของการ

เกิดเงาเริ่มจากส่วนบนสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 13.25 น. มีการลดลงของกำลังไฟฟ้าอย่างรวดเร็วโดยประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าเพียง 5.58% โดยเป็นผลมากจากการเกิดเงาบังบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์รวมถึงมีค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบที่ต่ำหลังจากช่วงเวลาดังกล่าว ส่วนผลการทดสอบในช่วงเดือนเมษายนมีค่าน้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับในฤดูหนาวโดยแนวโน้มของกำลังฟ้าที่ผลิตได้มีทิศทางเดียวกับค่ารังสีอาทิตย์ การเกิดเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงฤดูนี้จะเกิดขึ้นตั้งแต่เวลา 9:00 น. ทำให้มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเพียง 10.28 W เป็นผลของเงาที่เพิ่มขึ้นรวมถึงค่ารังสีอาทิตย์ที่ลดลงโดยมีการเกิดเงาสูงสุด 100% ตั้งแต่เวลา 16.30 น. แต่ยังคงได้รับแสงกระจายจากรังสีอาทิตย์ จะสังเกตได้ว่าที่ค่ารังสีอาทิตย์ต่ำๆ ในช่วงฤดูร้อนจะได้รับผลกระทบจากการบังเงาบนแผงน้อยกว่าในช่วงฤดูหนาวที่มีค่ารังสีอาทิตย์สูง เนื่องจากความเข้มของเงาส่งผลทำให้กำลังไฟฟ้าแตกต่างกัน



ภาพที่ 67 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในฤดูหนาวและฤดูร้อน

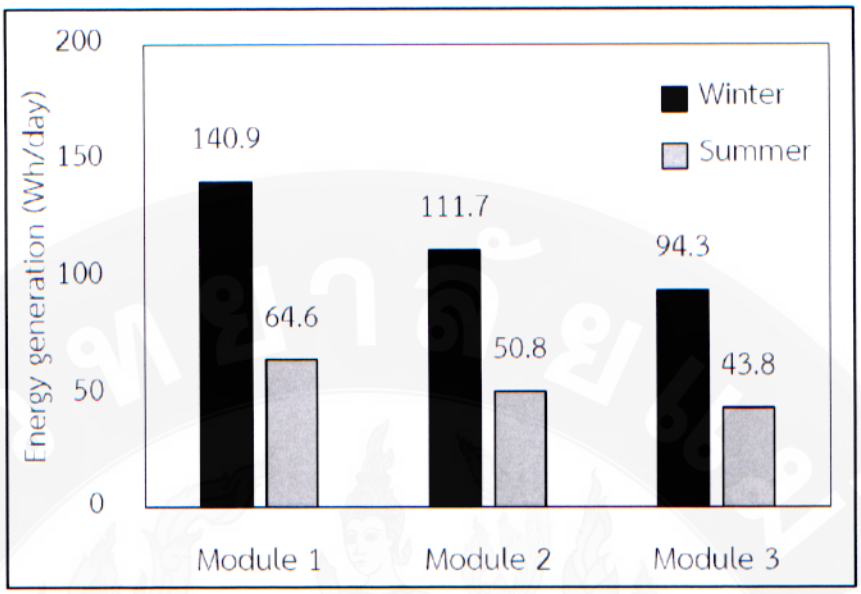
ในการเปรียบเทียบผลของฤดูกาลที่มีต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสทั้ง 3 รูปแบบ แสดงให้เห็นได้ว่าสัดส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กับปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีแนวโน้มไปทางเดียวกันกล่าวคือ เมื่อมีค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบมากย่อมส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น ในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 ค่ารังสีอาทิตย์ในฤดูหนาวเฉลี่ยใน 1 วันเท่ากับ 567.5 W/m^2 สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 140.9 Wh/day ในขณะที่ค่ารังสีตกกระทบในฤดูร้อนเฉลี่ย 1 วัน มีค่าเท่ากับ 271.0 W/m^2 สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 65.9 Wh/day

โดยสัดส่วนของการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงหมายเลข 1-3 ในฤดูหนาวมีค่ามากกว่าในฤดูร้อนประมาณ 53.2%, 54.8% และ 53.8% ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในฤดูหนาวและฤดูร้อน

	ฤดูหนาว		ฤดูร้อน	
	ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ย (W/m^2)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Wh/day)	ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ย (W/m^2)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Wh/day)
Module 1	567.5	140.9	271.0	64.6
Module 2	550.1	111.7	270.2	50.8
Module 3	574.8	94.3	270.9	43.8

จากภาพที่ 68 เป็นแผนภูมิแสดงปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในฤดูร้อนและฤดูหนาว โดยแผนภูมิดังกล่าวแสดงให้เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน โดยผลกระทบของการเปลี่ยนฤดูกาลส่งผลให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงเดียวกัน กล่าวคือในฤดูหนาวมีการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็น 2 เท่าของการผลิตไฟฟ้าในฤดูร้อน ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบมีแนวโน้มของการผลิตไฟฟ้าไปในทางเดียวกันคือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังไฟฟ้าติดตั้งมากที่สุด (แผงหมายเลข 1) สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดทั้งในฤดูหนาวและฤดูร้อน ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังการติดตั้งน้อยที่สุดในการทำการทดสอบ (แผงหมายเลข 3) สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยที่สุดในทั้ง 2 ฤดูกาล ซึ่งเป็นไปตามค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์



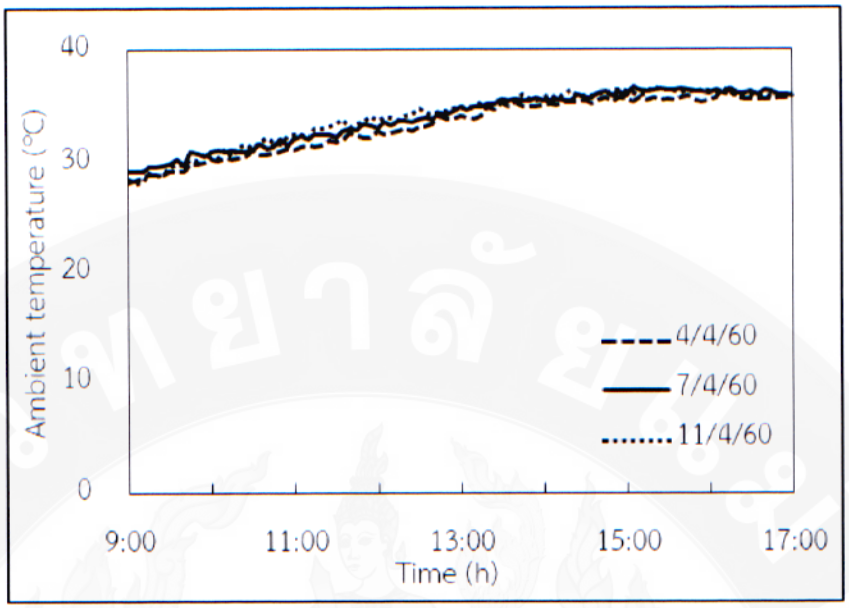
ภาพที่ 68 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบในฤดูกาลที่แตกต่างกัน

เปรียบเทียบผลของการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสเพื่อติดตั้งร่วมกับอาคาร

ในการบันทึกข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงเพื่อติดตั้งร่วมกับอาคาร จะพิจารณาทั้งทางด้านไฟฟ้าและแสงสว่างจากธรรมชาติในวันที่ 4, 7 และ 11 เมษายน พ.ศ. 2560 ซึ่งเป็นวันที่มีอุณหภูมิแวดล้อม ค่าความส่องสว่างของแสงอาทิตย์ และค่ารังสีอาทิตย์ที่ใกล้เคียงกัน เพื่อเป็นเงื่อนไขสำหรับการเปรียบเทียบการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบ โดยมีผลของการบันทึกข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมดังนี้

1. อุณหภูมิแวดล้อม

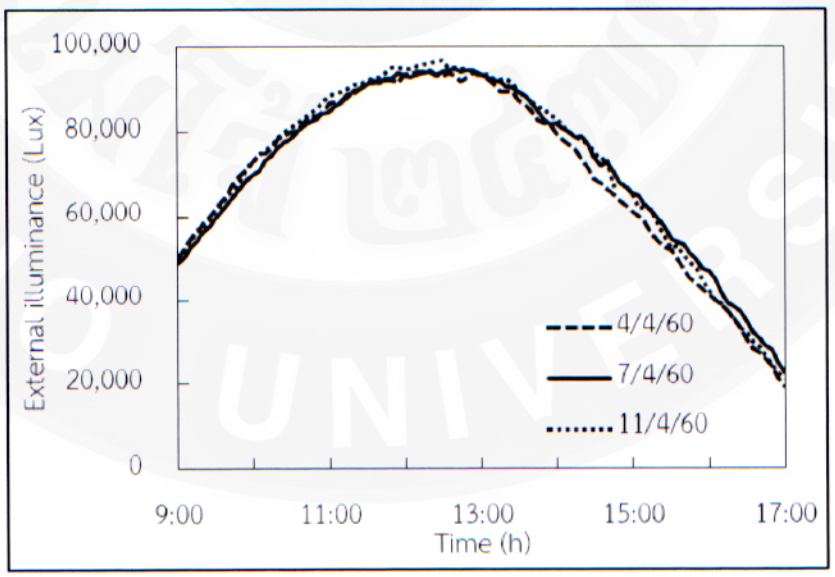
ช่วงเวลาที่ทำการทดสอบและบันทึกข้อมูลได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิแวดล้อมตั้งแต่เวลา 9.00- 17.00 น. โดยอุณหภูมิแวดล้อมสูงสุดที่บันทึกได้ในวันที่ทำการทดสอบดังกล่าว มีค่าเท่ากับ 36.6 °C และอุณหภูมิแวดล้อมตลอดทั้งวันของแต่ในวันที่ทำการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าประมาณ 33.3- 34.0 °C จากข้อมูลที่ทำการเปรียบเทียบมีค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลไม่เกิน 2.2% ดังแสดงในภาพที่ 69



ภาพที่ 69 อุณหภูมิแวดล้อมในวันที่ทำการทดสอบ

2. ค่าความส่องสว่างของแสงอาทิตย์ภายนอกอาคาร

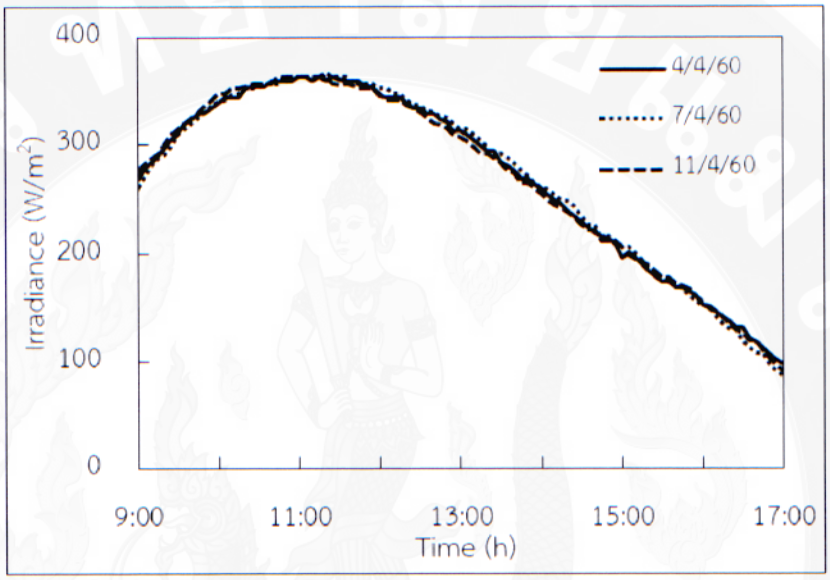
ค่าความส่องสว่างของแสงอาทิตย์ภายนอกอาคารที่ได้จากการวัดในแนวระนาบกับพื้นทั้ง 3 วัน พบว่ามีใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความส่องสว่างสูงสุดเฉลี่ย 94,800 Lux และมีค่าความส่องสว่างของแสงอาทิตย์ภายนอกเฉลี่ยประมาณ 70,000 – 72,000 Lux โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลไม่เกิน 4.6% ดังแสดงในภาพที่ 70



ภาพที่ 70 ค่าความส่องสว่างของแสงอาทิตย์ภายนอกอาคารในแนวราบของวันที่ทำการทดสอบ

3. ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ค่ารังสีอาทิตย์ดังกล่าวเป็นข้อมูลที่บันทึกได้ จากการติดตั้งเครื่องมือวัดรังสีอาทิตย์ตกกระทบ (Pyranometer) ในแนวตั้งฉากกับพื้นและหันไปในทางทิศใต้ ซึ่งเป็นแนวเดียวกับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนผนังอาคารของทั้ง 3 วัน มีค่าใกล้เคียงกัน โดยเฉลี่ยมีค่ารังสีอาทิตย์เท่ากับ 270.8 W/m^2 และมีค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลไม่เกิน 2.3% ดังแสดงในภาพที่ 71

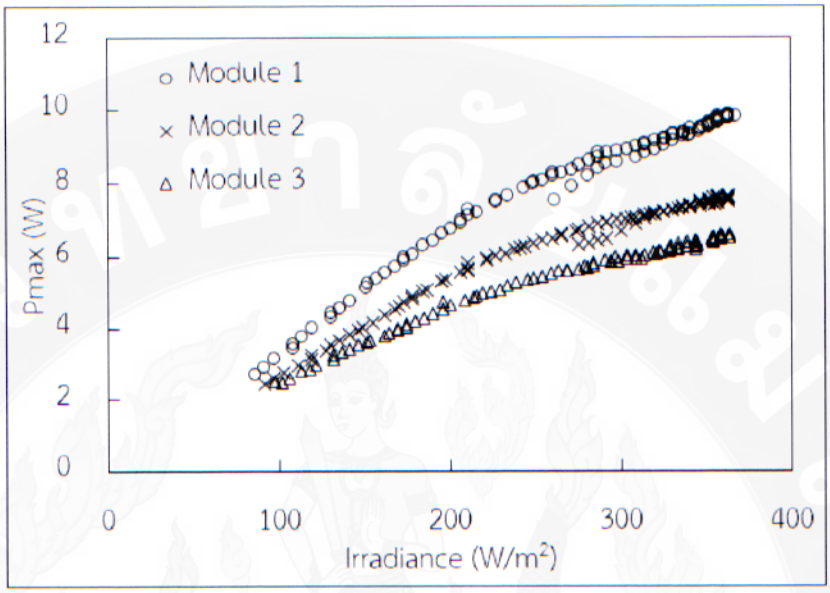


ภาพที่ 71 ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบในระนาบเดียวกับผนังอาคารของวันที่ทำการทดสอบ

หลังจากการนำข้อมูลแวดล้อมที่มีผลต่อการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาเปรียบเทียบกันดังแสดงในภาพที่ 69-71 ข้างต้นแล้ว ทำให้สามารถนำผลการบันทึกข้อมูลทั้งทางด้านไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติภายในอาคารมาใช้ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบ ถึงแม้ว่าค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบบนแผงมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ผลของค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงมีค่าต่างกันตามกำลังไฟฟ้าติดตั้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นๆ

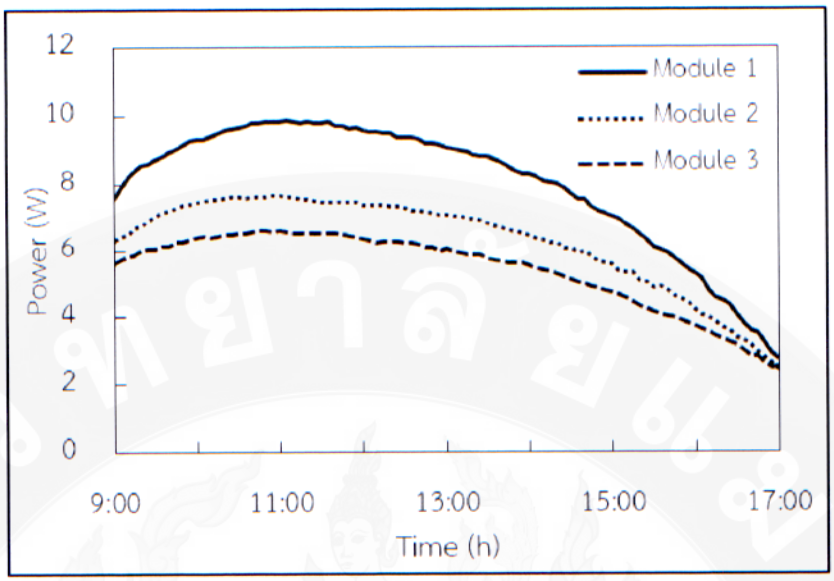
เมื่อพิจารณาภาพที่ 71 และภาพที่ 72 ประกอบกันจะเห็นได้ว่ารูปแบบของเส้นกราฟในภาพที่ 71 ตั้งแต่เวลา 9.00 – 14.00 น. มีลักษณะเป็นระฆังคว่ำแบบสมมาตร ซึ่งหมายถึงมี 2 ช่วงเวลาที่ได้รับค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบที่ใกล้เคียงกันคือช่วงเช้าและบ่าย และเมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และค่ากำลังไฟฟ้าจะทำให้ได้กราฟที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้นโดยมีค่ากำลังไฟฟ้าจะแปรผันตามค่ารังสีอาทิตย์ กล่าวคือเมื่อค่ารังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นทำให้กำลังไฟฟ้าที่ได้เพิ่มขึ้นตาม จากภาพที่ 72 จะสังเกตเห็นได้ว่าค่ารังสีอาทิตย์ที่มากกว่า 260-380 W/m^2 จะมีผลของข้อมูลที่ซ้อนทับ

กัน เป็นผลมาจากการที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับค่ารังสีอาทิตย์เท่าๆ กัน 2 ช่วงเวลาเป็นผลทำให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 72 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และกำลังไฟฟ้าของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบ

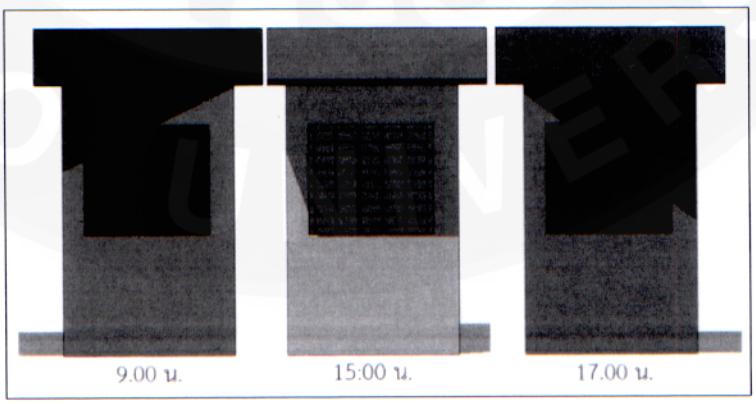
จากภาพที่ 73 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงในแต่ละช่วงเวลาตลอด 1 วัน ตั้งแต่ 9.00-17.00 น. จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบในช่วงเวลา 9.00-11.00 น. มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และหลังจากนั้นจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเวลา 17.00 น. โดยแผงหมายเลข 1-3 มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นเท่ากับ 9.87, 7.66 และ 6.59 W ตามลำดับ



ภาพที่ 73 กำลังไฟฟ้าได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบใน 1 วัน

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนผนังอาคารที่มีชายคายื่นออกจากหลังคาอาคาร จะได้รับผลกระทบจากการเกิดเงาบังบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการเกิดเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงที่ทำการทดสอบ ในวันที่ 4, 7 และ 11 มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก จึงสามารถพิจารณาได้ว่ามีพื้นที่การเกิดเงาเท่ากัน โดยการบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มขึ้นตั้งแต่เวลา 9.00 น. ซึ่งถือเป็นเวลาเริ่มต้นทำการทดสอบ เมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนที่จากทิศตะวันออกทำให้รังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีค่าต่ำเพียง 270 W/m^2 รวมถึงการเกิดเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำให้ช่วงเวลานี้แผงหมายเลข 1-3 ได้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 7.6, 6.31 และ 5.63 W ตามลำดับ

รูปแบบของการเกิดเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 74 ซึ่งเป็นตัวอย่างของภาพจำลองของอาคารในเวลา 9.00, 15.00 และ 17.00 น.



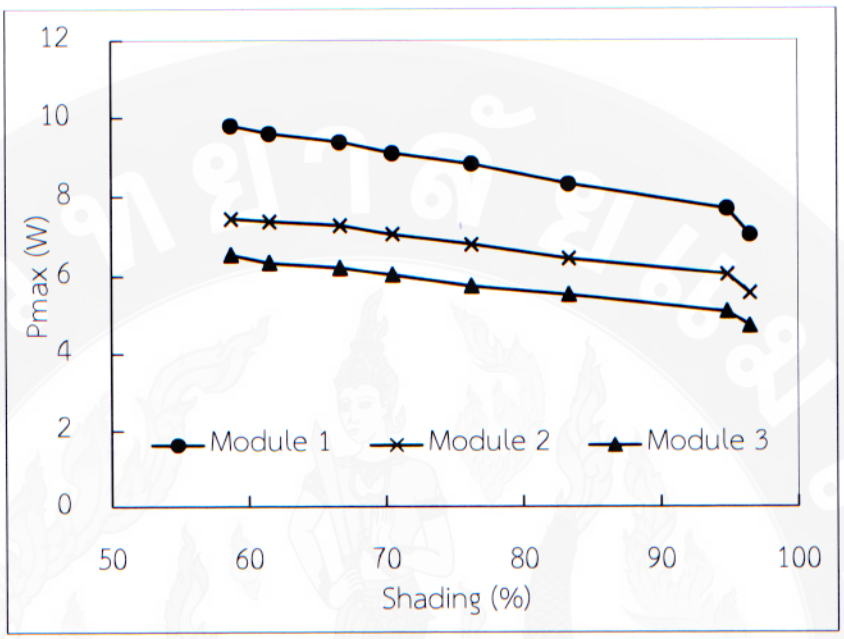
ภาพที่ 74 การเกิดเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในวันที่ทำการทดสอบ

ตารางที่ 15 ข้อมูลการเกิดเงาบังบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ

เวลา	พื้นที่เงาบังบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)	สัดส่วนการเกิดเงา (%)
9:00	0.07	9.85
9:30	0.22	25.70
10:00	0.25	36.40
10:30	0.36	51.76
11:00	0.37	53.73
11:30	0.40	58.74
12:00	0.42	61.54
12:30	0.46	66.67
13:00	0.48	70.51
13:30	0.52	76.28
14:00	0.57	83.33
14:30	0.65	94.87
15:00	0.66	96.53
15:30	0.60	87.41
16:00	0.50	73.25
16:30	0.33	47.44
17:00	0.16	23.56

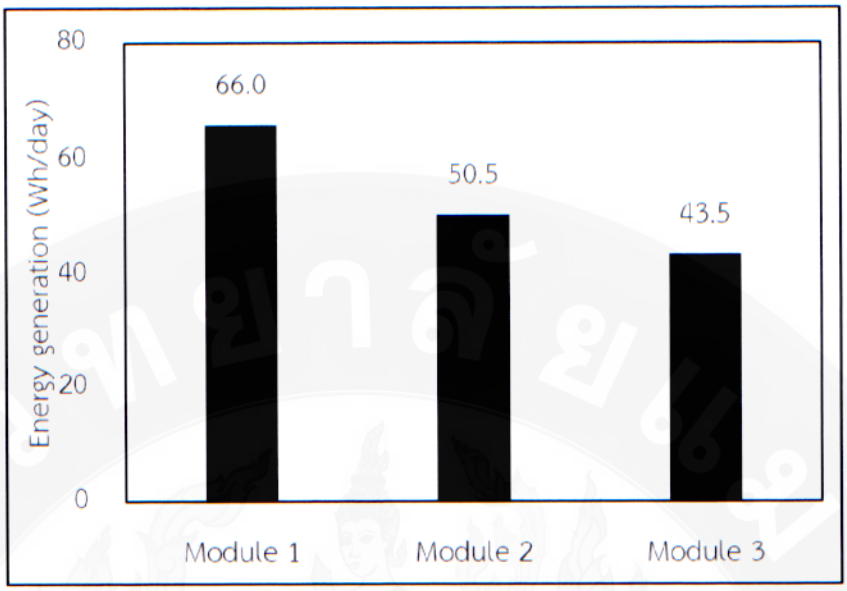
จากตารางที่ 15 เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดพื้นที่การเกิดเงาทุกๆ 30 นาที การเกิดเงาบังเริ่มขึ้นตั้งแต่เวลา 9.00 น. นับเป็นเวลาที่มีพื้นที่เงาบังต่ำที่สุดตลอดวันเท่ากับ 0.07 m^2 หรือคิดเป็น 9.8% หลังจากนั้นในเวลา 9.30 น. มีพื้นที่ของเงาเพิ่มขึ้นมากถึง 25.7% และมีเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องตามเวลาจนกระทั่งเวลา 15:00 น. พบว่ามีพื้นที่การบังเงาสูงสุด โดยมีพื้นที่การบังเงาครอบคลุมบริเวณแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากถึง 96.5% เนื่องจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่อยู่ในมุมสูงขึ้น จึงส่งผลกระทบอย่างมากต่อการติดตั้งแผงในแนวตั้งฉากกับแนวราบ ประกอบกับการที่หลังคาอาคารมีลักษณะเป็นชายคายื่นออกมาบดบังแสงอาทิตย์ แต่หลังจากเวลา 15.00 น. มีสัดส่วนของการ

บังเงาลดลงจนกระทั่งเวลา 17.00 น. มีพื้นที่ของการบังเงาเพียง 0.16 m^2 หรือคิดเป็นสัดส่วน 23.56% ของพื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 75 ผลของการเกิดเงาบังที่มีต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ผลของการเกิดเงาบังบางส่วนบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าลดลง จากภาพที่ 75 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงของการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในเดือนเมษายน การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนการบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของค่ารังสีอาทิตย์ มีผลต่อการลดลงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกๆ กรณี โดยเมื่อสัดส่วนของการบังเงาเพิ่มขึ้นค่ากำลังไฟฟ้าก็มีค่าลดลงตามลำดับ เมื่อพิจารณาการสัดส่วนการลดลงของค่ากำลังไฟฟ้าของทุกๆ แผง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่เมื่อมีสัดส่วนการบังเงาสูงถึง 96.5% มีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ได้อย่างเห็นได้ชัด จากการคำนวณโดยใช้สมการเชิงเส้นจากกราฟดังกล่าวพบว่า การเพิ่มขึ้นของพื้นที่การบังเงาทุกๆ 10% จาก 50-90% จะมีสัดส่วนของค่ากำลังไฟฟ้าของแผงหมายเลข 1, 2 และ 3 ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 7.0, 6.8 และ 6.9% ตามลำดับ



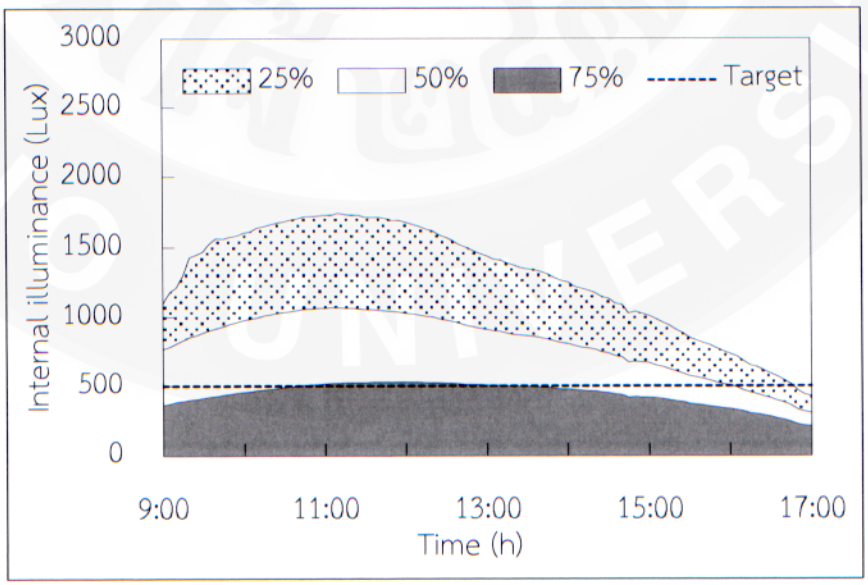
ภาพที่ 76 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบ

จากการหาพื้นที่ใต้กราฟของจากภาพที่ 73 ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างค่ากำลังไฟฟ้ากับเวลา โดยจะแบ่งช่วงการคำนวณออกเป็นช่วงละ 5 นาที ได้ผลการคำนวณดังแสดงในภาพที่ 76 ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 ที่ประกอบไปด้วยพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 67.7% สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 64.51 Wh/day แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 2 ที่ประกอบไปด้วยพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 59.2% สามารถผลิตไฟฟ้าได้เท่ากับ 50.81 Wh/day และแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 3 ประกอบไปด้วยพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 50.8% สามารถผลิตไฟฟ้าได้เท่ากับ 43.8 Wh/day เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 2 และ 3 ได้พลังงานน้อยกว่าแผงหมายเลข 1 เท่ากับ 21.2% และ 32.1% ตามลำดับ เมื่อได้ผลด้านการผลิตไฟฟ้าแล้วจะนำผลการคำนวณเหล่านี้ไปเปรียบเทียบกับค่าพลังงานจากแสงประดิษฐ์ที่จะต้องใช้เพิ่มเติมในกรณีที่แสงสว่างจากธรรมชาติที่ทะลุผ่านแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายในอาคารไม่เพียงพอ

เปรียบเทียบผลของค่าความส่องสว่างภายในอาคารจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

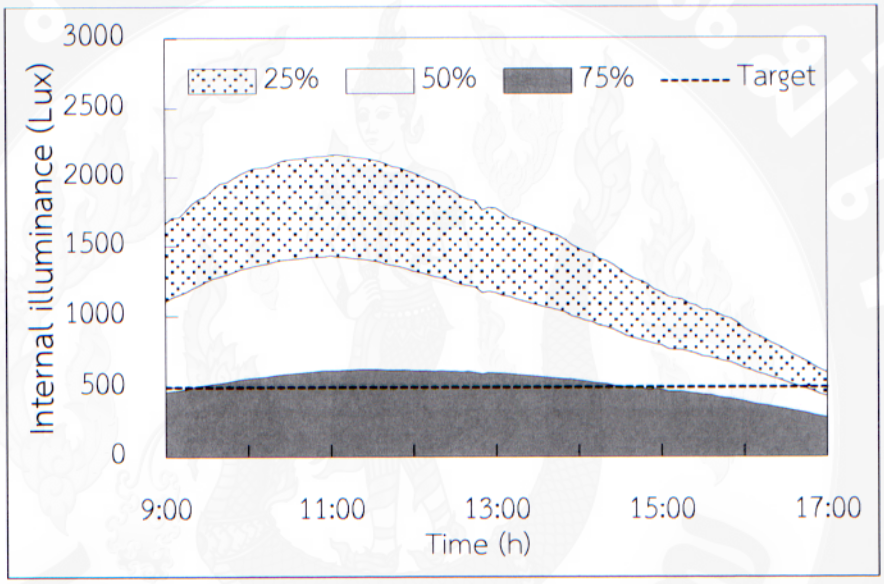
ค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติภายในอาคารจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติภายนอกอาคาร ซึ่งค่าความส่องสว่างภายนอกอาคารก็ขึ้นอยู่กับค่ารังสีอาทิตย์ นอกจากนั้นพื้นที่โปร่งใสของช่องเปิดก็เป็นตัวแปรสำคัญที่จะกำหนดปริมาณของความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติที่จะเข้ามายังตัวอาคาร เมื่อมีพื้นที่โปร่งใสมากขึ้นแสงอาทิตย์จากภายนอกก็สามรถทะลุผ่านเข้าในตัวอาคารได้มากขึ้นโดยแนวโน้มของค่าความส่องสว่างภายในก็มีลักษณะเดียวกับความส่องสว่างของแสงธรรมชาติภายนอกคือจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเมื่อถึงเวลาหนึ่งจะมีค่าสูงสุดหลังจากนั้นจะมีค่าลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ช่วงเวลาในแต่ละวันเป็นผลทำให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์เปลี่ยนไปอย่างชัดเจน การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บริเวณช่องเปิดด้านข้างอาคาร จึงทำให้ในช่วงเวลาเช้าดวงอาทิตย์มีมุมต่ำทำให้ความส่องสว่างเข้าสู่อาคารได้มาก แต่ในช่วงเวลาเย็นถึงแม้ดวงอาทิตย์จะอยู่ในมุมต่ำเช่นเดียวกันแต่กลับมีค่าความส่องสว่างภายในต่ำกว่าในช่วงเช้าอันเนื่องมาจากมุมกวาดของตำแหน่งดวงอาทิตย์อยู่บริเวณด้านข้างอาคารจึงมีแต่เพียงแสงกระจายของรังสีอาทิตย์ที่เข้าสู่ภายในอาคาร ในการทดสอบครั้งนี้มีการกำหนดมาตรฐานของค่าความส่องสว่างภายในอาคารเท่ากับ 500 Lux ในแต่ละกรณีของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบจะพิจารณาค่าความส่องสว่างภายในทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่ระยะเวลาที่เริ่มทำการทดสอบคือ 9.00-17.00 น.

การเปลี่ยนแปลงของค่าความส่องสว่างภายในอาคารมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของค่าความส่องสว่างของแสงอาทิตย์ภายนอกอาคาร โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างที่เกิดขึ้นที่จุดต่างๆ ภายในอาคารแบบจำลอง ทำให้ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 77-78



ภาพที่ 77 ค่าความส่องสว่างภายในอาคารแบบจำลองที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1

จากภาพที่ 77 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความส่องสว่างภายในอาคารแบบจำลองในกรณีที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 ที่มีพื้นที่ของส่วนโปร่งใสเท่ากับ 0.23 m^2 ถือเป็นกรณีที่มีพื้นที่ส่วนโปร่งใสน้อยที่สุด จากกราฟเป็นการอธิบายค่าความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในอาคารแบบจำลองที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา โดยแบ่งตามระยะห่างเมื่อวัดจากตำแหน่งของแผงถึงจุดที่กำหนดตามแนวระนาบ โดยที่ตำแหน่ง 25% จะเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุด และตำแหน่ง 50% คือตำแหน่งที่อยู่บริเวณจุดกึ่งกลางของห้อง และตำแหน่ง 75% คือตำแหน่งที่อยู่บริเวณท้ายสุดของห้อง

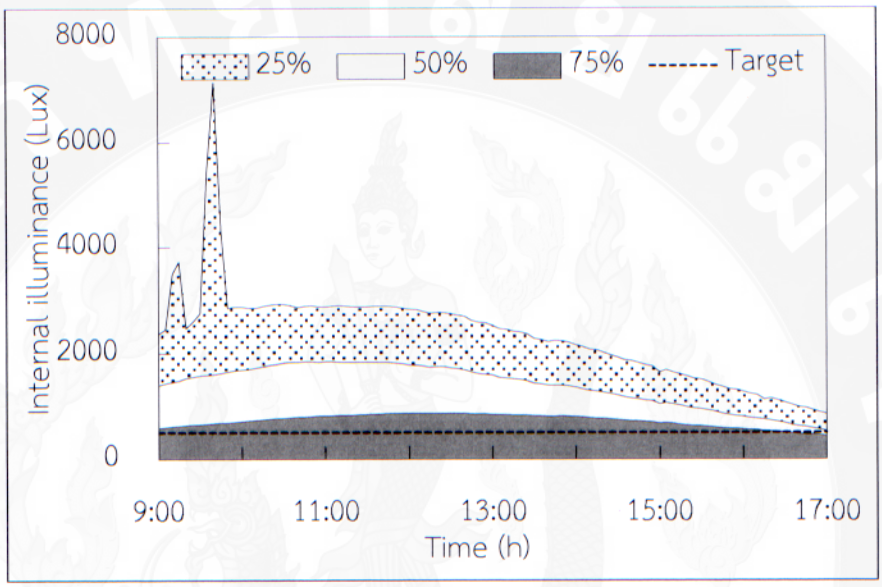


ภาพที่ 78 ค่าความส่องสว่างภายในอาคารแบบจำลองที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 2

เช่นเดียวกับกรณีของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 2 ที่ตำแหน่ง 25% ยังคงเป็นบริเวณที่มีค่าความส่องสว่างภายในสูงที่สุด แต่เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 2 มีพื้นที่ของส่วนโปร่งใสมากกว่ากรณีของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 โดยแผงหมายเลข 2 มีพื้นที่ของส่วนโปร่งใสเท่ากับ 0.29 m^2 ความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในอาคารมีค่าอยู่ในช่วง 283-2,162 Lux ดังแสดงในภาพที่ 78 ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณที่เพิ่มขึ้นของพื้นที่โปร่งใส แสงอาทิตย์จึงสามารถลอดผ่านเข้ามายังตัวอาคารแบบจำลองได้เพิ่มขึ้น โดยแสงที่เข้าสู่อาคารแบบจำลองทั้งกรณีที่ 1 และ 2 เป็นแสงอาทิตย์แบบกระจายเนื่องจากในการทดสอบเป็นช่วงฤดูร้อนที่มุมของดวงอาทิตย์อยู่ในระดับที่สูงขึ้นไปบนท้องฟ้า

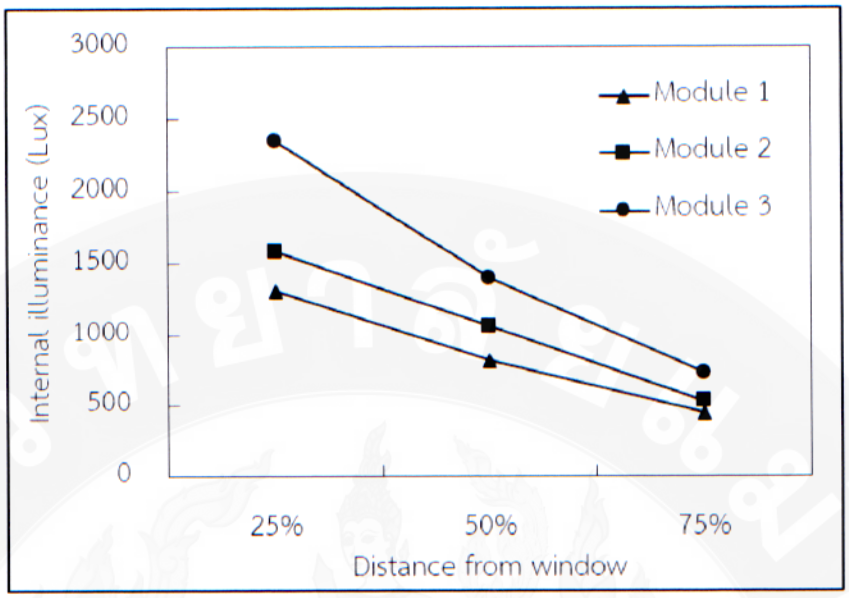
หากพิจารณากรณีของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 3 ที่มีพื้นที่ส่วนโปร่งใสมากที่สุดในการทำการทดสอบโดยคิดเป็นพื้นที่เท่ากับ 0.35 m2 ผลจากการวัดความส่องสว่างภายในอาคารจากภาพที่ 79 พบว่ามีค่าความส่องสว่างอยู่ในช่วง 431-7,131 Lux ซึ่งถือว่าเป็นค่าความส่อง

สว่างภายในอาคารที่สูงมากเกินความจำเป็น โดยมี 2 ช่วงเวลาที่มีค่าความส่องสว่างสูงขึ้นอย่างชัดเจน คือ ณ เวลา 9.15 น. และ เวลา 9.40 น. โดยช่วงเวลาดังกล่าวมีการบันทึกค่าความส่องสว่างได้มากถึง 3,727 และ 7,131 Lux การเพิ่มขึ้นของค่าความส่องสว่างอย่างดันทีทันใดเป็นผลมาจากการที่มีแสงอาทิตย์ทะลุผ่านส่วนที่เป็นพื้นที่โปร่งใสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีระยะห่างระหว่างเซลล์มากถึง 4 cm ทั้งนี้ตำแหน่งการจัดวางจุดวัดค่าความส่องสว่างมีส่วนที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวขึ้น



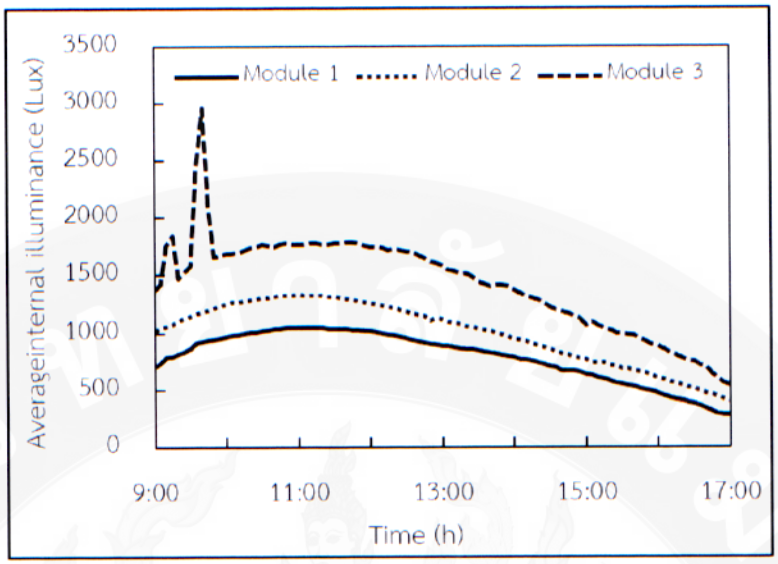
ภาพที่ 79 ค่าความส่องสว่างภายในอาคารแบบจำลองที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 3

จากภาพที่ 77-79 มีการกำหนดค่าความส่องสว่างมาตรฐานที่เท่ากับ 500 Lux ซึ่งส่วนของค่าความส่องสว่างที่อยู่ใต้เส้นกราฟค่าความส่องสว่างมาตรฐานเป็นส่วนที่ต้องพิจารณาการติดตั้งแสงสว่างเพิ่มเติมจากหลอดไฟ กรณีของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 มีช่วงเวลาที่ค่าความส่องสว่างภายในอาคารน้อยกว่ามาตรฐานนานที่สุดอีกทั้งยังเป็นกรณีที่ต้องการแสงสว่างเพิ่มเติมสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 2 และ 3 โดยความต้องการแสงสว่างเพิ่มเติมจากแสงประดิษฐ์จะมีค่าลดลงเมื่อมีพื้นที่ส่วนโปร่งใสเพิ่มขึ้นซึ่งจะมีการพิจารณาในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 80 ค่าความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในอาคารเฉลี่ยใน 1 วัน

จากภาพที่ 80 พบว่าค่าความส่องสว่างภายในอาคารแบบจำลองเฉลี่ยทั้งวันมีค่าลดลงเมื่อมีระยะห่างจากช่องเปิดเพิ่มขึ้น จากการพิจารณาค่าความส่องสว่างที่ระยะห่าง 25% พบว่าอาคารแบบจำลองที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 3 ให้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งวันสูงที่สุดเท่ากับ 2,350 Lux รองลงมาคือแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 2 และ 1 ซึ่งมีค่าความส่องสว่างที่จุดเดียวกันเท่ากับ 1,588 และ 1,312 Lux และเมื่อพิจารณาที่ระยะห่าง 75% แผงหมายเลข 1, 2 และ 3 ให้ค่าความส่องสว่างเท่ากับ 442, 523 และ 724 Lux ตามลำดับ โดยแผงหมายเลข 1 และ 2 ให้ค่าความส่องสว่างใกล้เคียงกัน แต่แผงหมายเลข 3 มีค่าความส่องสว่างภายในอาคารที่สูงกว่ามาก จากการบันทึกข้อมูลค่าความส่องสว่างภายในอาคารแบบจำลองที่ระยะ 25% และ 75% ของอาคารแบบจำลองที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบ มีสัดส่วนค่าความส่องสว่างในอาคารลดลงเฉลี่ยประมาณ 0.67 เท่า ในทุกๆ ระยะห่างที่เพิ่มขึ้น 25%

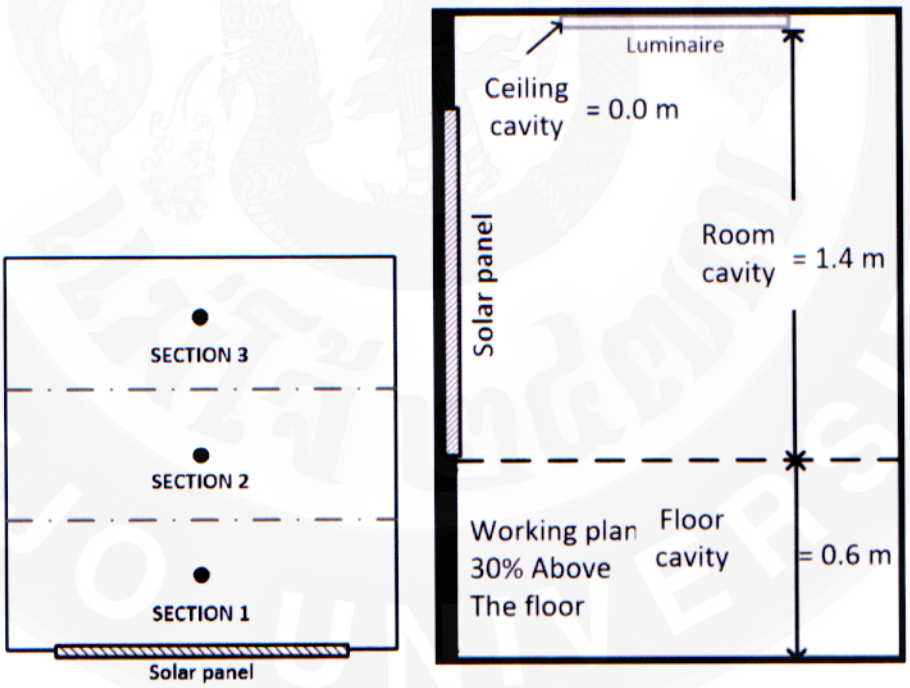


ภาพที่ 81 ค่าความส่องสว่างภายในอาคารเฉลี่ยของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอาคาร

จากภาพที่ 81 เป็นการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1-3 ร่วมกับอาคารโดยมีสัดส่วนของพื้นที่โปร่งใสเท่ากับ 32.3%, 40.8% และ 49.2% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 ที่มีสัดส่วนพื้นที่โปร่งแสงน้อยที่สุด พบว่าความสว่างเฉลี่ยในอาคารแบบจำลองมีน้อยที่สุดและมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงเวลา 9:00 น. จนถึงจุดที่มีค่าความสว่างสูงที่สุดเท่ากับ 1,049 Lux ที่เวลา 11:00 น. เช่นเดียวค่าความสว่างภายในอาคารที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 2 มีค่าความสว่างสูงสุดที่จุดเดียวกัน จากนั้นมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเวลา 17:00 น. แต่ในส่วนของแผงหมายเลข 3 ที่มีส่วนกระจกที่เป็นพื้นที่โปร่งใสมากที่สุด ดังนั้นในช่วงเวลาระหว่าง 9:00-10.00 น. จึงมีให้ความสว่างมากถึง 3,000 Lux เนื่องจากมีแสงอาทิตย์ที่เข้าสู่อาคารโดยตรงทะลุผ่านเข้ามายังตัวอาคาร หลังจากนั้นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างภายในอาคารก็เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการติดตั้งทั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 และ 2

การประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติ

การนำแสงธรรมชาติมาใช้ร่วมกับอาคารเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้พื้นที่ใช้งานมีความส่องสว่างเพียงพอ แต่เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของปริมาณความส่องสว่าง รวมไปถึงการที่ค่ารังสีอาทิตย์มีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไปใน 1 วัน จึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความส่องสว่างในอาคารโดยตรง การวิเคราะห์การติดตั้งหลอดไฟจะใช้วิธีวัตต์ต่อตารางเมตร (Watt per square meter) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้มาจากการประยุกต์จากสมการในการหาฟลักซ์การส่องสว่างหรือวิธีลูเมน (Lumen method) ในการหากำลังไฟฟ้าที่เป็นแหล่งจ่ายสำหรับหลอดไฟส่องสว่างต่อหน่วยพื้นที่ โดยมีตัวแปรที่ต้องพิจารณาคืออัตราส่วนโพรงห้อง (Room cavity ratio) และระยะห่างระหว่างดวงโคมและเพดานดังแสดงในภาพที่ 82 และกำหนดให้ใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่มีใช้ค่าประสิทธิผลการส่องสว่างเท่ากับ 75 Lumen/W และมีค่าการสะท้อนแสงของผนังอาคารเท่ากับ 31% ในการคำนวณหาความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงประดิษฐ์ในอาคารที่แบ่งพื้นที่การพิจารณาออกเป็น 3 ส่วนเพื่อให้ในพื้นที่อาคารมีแสงสว่างอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งวัน



(ก) (ข)

ภาพที่ 82 การแบ่งสัดส่วนของพื้นที่อาคารสำหรับการพิจารณาการติดตั้งแสงประดิษฐ์

ปริมาณการส่องสว่างของแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคารแบบจำลองมีการเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยของเวลาและตำแหน่งของพื้นที่อาคารรวมถึงระยะห่างของพื้นที่ทำงานจากช่องเปิด ในการ

ประเมินค่าความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติในอาคารแบบจำลองจะแบ่งออกเป็นช่วงที่มีค่าความส่องสว่างเกินมาตรฐาน และช่วงที่มีค่าความส่องสว่างต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งในกรณีที่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานจะต้องพิจารณาติดตั้งหลอดไฟเพิ่มเติม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณความส่องสว่างและระยะเวลาที่มีความส่องสว่างไม่เพียงพอ จากตารางที่ 16 อาคารที่ติดตั้งแผงหมายเลข 1 ที่มีพื้นที่โปร่งใสน้อยที่สุดมีช่วงของความต้องการแสงสว่างเพิ่มเติมออกเป็นสองช่วงคือ ช่วงเช้าตั้งแต่เวลา 9.00-10.00 น. และช่วงบ่ายตั้งแต่เวลา 14.00-17.00 น. ผลการประเมินความต้องการค่าความส่องสว่างแสดงให้เห็นว่าช่วงเย็นมีค่าความต้องการแสงสว่างเพิ่มเติมจากแสงธรรมชาติมากที่สุดเท่ากับ 184.5 Lux ณ เวลา 17.00 น. สำหรับอาคารแบบจำลองที่ติดตั้งแผงหมายเลข 2 แบ่งค่าความต้องการความส่องสว่างออกเป็น 2 ช่วงเวลาเช่นกันแต่มีระยะเวลาที่ต้องการแสงสว่างเพิ่มเติมที่สั้นกว่าเมื่อเทียบกับแผงหมายเลข 1 โดยที่เวลา 17.00 น. ยังคงเป็นช่วงเวลาที่ต้องการความส่องสว่างเพิ่มเติมจากแสงธรรมชาติสูงสุดเท่ากับ 140.2 Lux และกรณีของแผงหมายเลข 3 ที่มีพื้นที่โปร่งแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดในจะเห็นได้ว่าผลการทดสอบมีช่วงเวลาที่ต้องการแสงสว่างเพิ่มเติมที่น้อยที่สุด และมีช่วงเวลาที่ต้องการแสงสว่างเพิ่มเติมแค่ช่วงเวลา 17.00 น. คือต้องการแสงสว่างเพิ่มเติมจากแสงธรรมชาติเพียง 68.7 lux

ตารางที่ 16 ค่าความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ค่าตามมาตรฐาน

Time (h)	ค่าความส่องสว่างที่ต้องการติดตั้งเพิ่มเติมเฉลี่ย (Lux)		
	Module 1	Module 2	Module 3
9:00	134.9	36.6	-
10:00	43.0	-	-
11:00	-	-	-
12:00	-	-	-
13:00	-	-	-
14:00	20.6	-	-
15:00	80.4	4.1	-
16:00	165.8	20.8	-
17:00	184.5	140.2	68.7

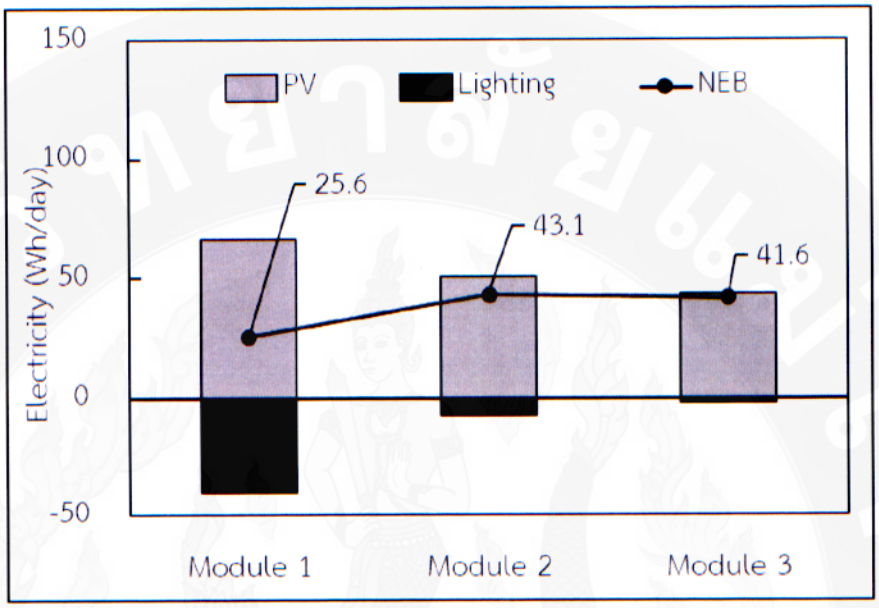
จากผลการคำนวณจากวิธีวัตต์ต่อตารางเมตรเพื่อหากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อหน่วยพื้นที่ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 17 โดยใช้ข้อมูลจากการประเมินค่าความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่มเติม มีความสอดคล้องกับพลังงานไฟฟ้าที่จะต้องใช้ในการติดตั้งเพิ่มเติม จากผลการคำนวณพบว่าอาคารที่ติดตั้งแผงหมายเลข 1 ต้องใช้พลังงานเพื่อแสงสว่างเพิ่มเติมรวมต่อวันสูงที่สุดมากถึง 40.33 Wh/day เนื่องจากมีช่วงระยะเวลาและความต้องการแสงสว่างเพิ่มเติมสูง แต่เมื่อเทียบกับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 2 และ 3 ที่มีระยะเวลาและปริมาณความต้องการแสงสว่างน้อยลงมาก จะมีค่าความต้องการใช้พลังงานรวมน้อยกว่ากรณีการติดตั้งแผงหมายเลข 1 มาก โดยมีค่าแผงหมายเลข 2 และ 3 มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสำหรับการส่องสว่างใกล้เคียงกันเท่ากับ 7.42 และ 1.88 Wh/day ตามลำดับ

ตารางที่ 17 ค่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างเพิ่มเติม

ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการส่องสว่าง (Wh/day)		
Module 1	Module 2	Module 3
40.33	7.42	1.88

จากภาพที่ 83 เป็นแผนภูมิแสดงการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของอาคารแบบจำลอง โดยพิจารณาเพียงค่าของการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่าง โดยกำหนดให้การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างในระบบมีค่าเป็นลบ และการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็นบวก ซึ่งเป็นการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสที่มีการเว้นระยะห่างระหว่างการจัดเรียงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้มีพื้นที่สำหรับส่วนที่โปร่งแสงที่ยอมให้แสงลอดผ่านได้ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงที่สุด รองลงมาคือแผงหมายเลข 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนค่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างของแผงหมายเลข 1 ก็มีค่าสูงที่สุดเช่นกัน ในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายเป็นการหาส่วนต่างของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กับพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการใช้สำหรับแสงสว่าง โดยค่าพลังงานสุทธิจะสามารถบ่งบอกได้ถึงความเหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสร่วมกับอาคาร สัดส่วนของการใช้พลังงานสำหรับแสงสว่างต่อการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของแผงหมายเลข 1-3 คือ 61.1, 14.7 และ 4.3% ตามลำดับ จากภาพที่ 83 พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 ถึงแม้ว่าจะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงแต่สุดแต่ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างมากเช่นกัน ส่วนแผงหมายเลข 2 สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยลงเช่นเดียวกับความต้องการใช้พลังงานเพื่อแสงสว่าง และแผงหมายเลข 3 สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยที่สุดและความต้องการใช้พลังงานน้อยที่สุดเช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานสุทธิของอาคารพบว่ากรณีการ

ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 2 ร่วมกับอาคารมีค่าพลังงานขั้นสุดท้ายสูงสุดเท่ากับ 43.1 Wh/day ใกล้เคียงกับแผงหมายเลข 3 ที่ค่าพลังงานขั้นสุดท้ายสูงสุดเท่ากับ 43.1 Wh/day ในขณะที่หมายเลข 1 มีค่าการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายน้อยที่สุดเท่ากับ 25.6 Wh/day



ภาพที่ 83 ปริมาณการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสร่วมกับอาคาร

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผล

จากการศึกษาการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบกึ่งโปร่งใสร่วมกับอาคารบริเวณผนังอาคารในแนวตั้งฉากที่หันไปทางทิศใต้ โดยทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการจัดเรียงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีระยะห่างระหว่างเซลล์ที่แตกต่างกันเพื่อให้มีส่วนของพื้นที่โปร่งใสที่ยอมให้แสงลอดผ่านเข้ามายังตัวอาคาร โดยแบ่งออกเป็น 1, 2.5 และ 4 cm เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากแสงสว่างธรรมชาติในอาคาร และประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้สำหรับหลอดไฟในกรณีที่ค่าความส่องสว่างภายในอาคารที่พิจารณามีไม่เพียงพอตามค่ามาตรฐาน โดยเป็นการพิจารณาการติดตั้งในเดือนเมษายน เวลา 9.00-17.00 น. สามารถสรุปผลโดยแบ่งออกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกพัฒนาขึ้นในการทดสอบครั้งนี้จะแบ่งออกตามรูปแบบของการจัดเรียงเซลล์แสงอาทิตย์โดยให้มีช่องว่างระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีลักษณะเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใส ซึ่งแผงหมายเลข 1 ระยะห่าง 1 cm มีประสิทธิภาพเท่ากับ 7.27% แผงหมายเลข 2 ระยะห่าง 2.5 cm มีประสิทธิภาพเท่ากับ 7.00% และแผงหมายเลข 3 ระยะห่าง 4 cm มีประสิทธิภาพเท่ากับ 6.78% ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากความแตกต่างกันของค่าความต้านทานภายใน โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แผงจะทำการทดสอบโดยการติดตั้งแผงดังกล่าวบนผนังอาคารที่มีชายคายื่นออก ส่งผลให้การรับรังสีอาทิตย์ลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากเวลา 12.00 น. ไม่ว่าจะเป็นฤดูหนาวหรือฤดูร้อน ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยในฤดูหนาวใน 1 วันทำการทดสอบมีค่าเท่ากับ 567.5 W/m^2 ส่วนฤดูร้อนมีค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ย 271.99 W/m^2 ทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่ต่างกันประมาณ 53.2% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบที่เป็นผลต่อเนื่องมาจากตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ซึ่งในช่วงฤดูหนาวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จะอยู่ในมุมต่ำจึงมีค่ารังสีตกกระทบมากกว่า ในกรณีการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในฤดูร้อนขณะที่ดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งสูงสุดบนท้องทำให้มีพื้นที่การเกิดเงาสูงสุดมากกว่า 95% แผงจึงไม่ได้รับรังสีอาทิตย์โดยตรงทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าน้อย สำหรับการเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบในช่วงการทดสอบที่มีปัจจัยสิ่งแวดล้อมเดียวกัน พบว่าในเดือนเมษายน แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1-3 สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 64.6, 50.8 และ 43.8 Wh/day ตามลำดับ

การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในอาคารมีปัจจัยที่กำหนดปริมาณของแสงตามพื้นที่ส่วนโปร่งใสของช่องเปิดที่แสงอาทิตย์สามารถทะลุผ่านเข้ามาในพื้นที่อาคารได้ ค่าความส่องสว่างที่บันทึกได้จากแต่ละจุดของพื้นที่อาคารมีค่าต่างกันตามระยะห่างจากบริเวณช่องเปิดของอาคาร คือเมื่อมีระยะห่างเพิ่มขึ้นปริมาณแสงสว่างที่สามารถเข้าถึงในอาคารก็ลดลง พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 3 ที่มีพื้นที่โปร่งใสสูงสุดทำให้ค่าความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในอาคารสูงสุด 2,964 Lux ที่เวลา 9.40 น. ในขณะที่เวลาเดียวกันนี้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 และ 2 มีค่าความส่องสว่างเพียง 1,049 และ 1,330 Lux ตามลำดับ เมื่อคำนวณหากำลังไฟฟ้าสำหรับส่องสว่างที่เลือกใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่มีค่าประสิทธิผลการส่องสว่างเท่ากับ 75 Lumen/W โดยแบ่งพื้นที่พิจารณาของอาคารแบบจำลองออกเป็น 3 ส่วน เพื่อหาค่าความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่มเติมให้ได้ตามค่ามาตรฐาน พบว่ากรณีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1-3 มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงประดิษฐ์เท่ากับ 40.33,7.42 และ 1.88 Wh/day ลดลงตามลำดับ แต่ผลการประเมินค่าพลังงานสุทธิที่พิจารณาจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้สำหรับแสงประดิษฐ์ พบว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 มีพลังงานไฟฟ้าสุทธิเท่ากับ 25.6 Wh/day ในขณะที่กรณีของแผงหมายเลข 2 และ 3 มีพลังงานไฟฟ้าสุทธิใกล้เคียงกัน 43.1 และ 41.6 Wh/day ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 3 มีพลังงานไฟฟ้าสุทธิสูงที่สุดดังนั้นจึงถือได้ว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบผลึกรวมจำนวน 35 เซลล์ที่มีการเว้นระยะห่างระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 2.5 cm เหมาะสมกับการติดตั้งร่วมกับอาคารในกรณีที่พิจารณาการใช้พลังงานด้านแสงสว่างเพียงอย่างเดียว

ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบกึ่งโปร่งใสที่สำหรับการทดสอบครั้งนี้ใช้วิธีการอย่างง่ายในขั้นตอนการประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าด้วยกันทำให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอยู่ทั่วไป จนถึงการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช่ร่วมกับอาคารในบางช่วงเวลาที่มีความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติมากเกินไปจึงมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. ในการพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรมีการทดสอบเซลล์ทางด้านไฟฟ้า โดยมีพารามิเตอร์ดังนี้ คือ แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสลัดวงจร ค่าความต้านทานขนาน และค่าความต้านทานอนุกรมของแต่ละเซลล์ที่จะนำมาใช้ในการประกอบรวมเป็นแผงเพื่อตรวจสอบความบกพร่องของเซลล์แสงอาทิตย์

2. เลือกใช้อุณหภูมิที่คงที่และเวลาที่เหมาะสมในการบัดกรีเชื่อมต่อโลหะนำไฟฟ้าระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตามงานวิจัยที่ผ่านมา

3. ขั้นตอนการผนึกเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อป้องกันความชื้นเข้าสู่เซลล์แสงอาทิตย์ควรใช้แผ่นฟิล์ม EVA เหมือนกับการประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในอุตสาหกรรมแทนการใช้ซิลิโคนชนิดใส

4. ส่วนของค่าความส่องสว่างในอาคารที่ทะลุผ่านแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่อาคารบางช่วงเวลามีค่ามาเกิน 2,000 Lux ซึ่งก่อให้เกิดภาวะความไม่สบายแก่ผู้ใช้งาน ในช่วงเวลาดังกล่าวควรติดตั้งม่านเพื่อช่วยลดแสงสว่าง

5. อิทธิพลของการเกิดเงาบังจากการติดตั้งหลังคาที่มีชายคาของอาคารแบบจำลอง มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงควรมีการพิจารณาผลของเงาที่เกิดขึ้นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างละเอียดเพื่อทำการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของเงาที่เกิดขึ้นกับค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป

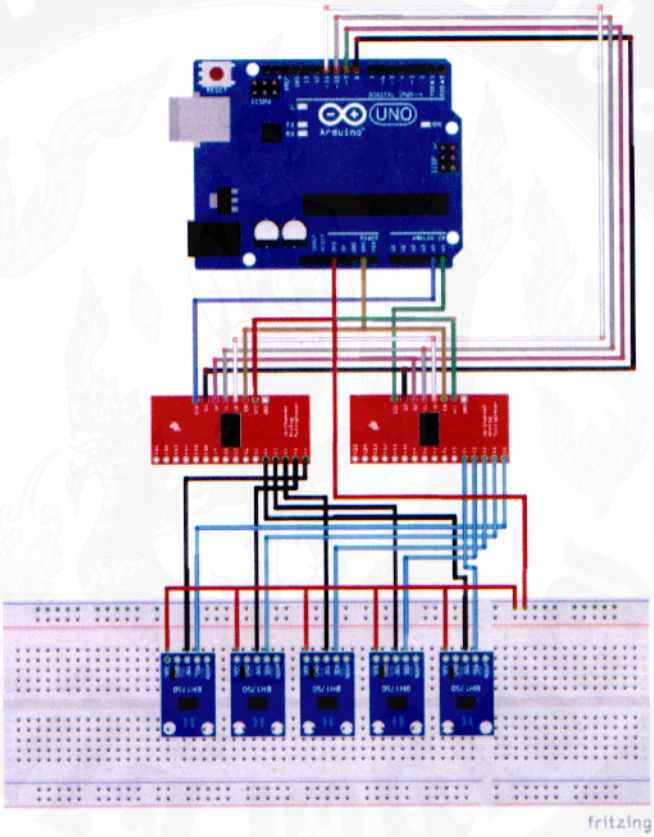
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ชุดคำสั่งการบันทึกความส่องสว่างในอาคารโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

การใช้โมดูลวัดความส่องสว่างร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์

เครื่องมือวัดความส่องสว่างในอาคาร ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) Arduino UNO R3 ร่วมกับโมดูลวัดความส่องสว่างในหน่วย lux รุ่น BH1750fvi เพื่อการตรวจวัดโดยอาศัยการพัฒนาคำสั่งในรูปแบบของภาษา C++ ซึ่งได้ทำการเขียนโปรแกรมลงบนซอฟต์แวร์ Arduino IDE ผ่านพอร์ท USB กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำการบันทึกข้อมูล โดยมีผังวงจรดังแสดงในภาพผนวกที่ 1



ภาพผนวกที่ 1 ผังวงจรโมดูลตรวจวัดความส่องสว่างในห้องจำลอง

อุปกรณ์การวัดความส่องสว่างเป็นโมดูลอิเล็กทรอนิกส์ขนาด 16 บิตที่สามารถวัดความส่องสว่างได้ในช่วงตั้งแต่ 1-65,535 lux โดยการสื่อสารผ่านระบบ I2C ที่ถูกเชื่อมต่อกับ Arduino UNO ซึ่งการทดสอบใครครั้งนี้มีการติดตั้งโมดูลวัดความส่องสว่างจำนวน 5 จุด โดยติดตั้งบริเวณด้านหน้าซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้กับช่องเปิดมากที่สุด บริเวณจุดกึ่งกลางห้อง และบริเวณด้านหลังสุด การวัดความส่องสว่างโดยใช้โมดูลเหล่านี้จะเป็นการเขียนชุดคำสั่งที่มีการกำหนดให้บันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที ร่วมกับ Microsoft excel

ชุดคำสั่งสำหรับโมดูลวัดความส่องสว่าง

ในการเขียนชุดคำสั่งจะใช้โปรแกรมสำหรับการเขียนเพื่อชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino IDE โดยเฉพาะ ซึ่งเป็นการใช้งานร่วมกับ Microsoft excel เพื่อแสดงผลข้อมูลโดยมีการตั้งค่า Delay เพื่อกำหนดความถี่ในการตรวจวัดข้อมูลในที่นี้มีการตั้งค่าเท่ากับ 60,000 ms

```
#include <Wire.h>
#include <BH1750FVI.h>
BH1750FVI LightSensor;
//Mux control pins
int s0 = 8;
int s1 = 9;
int s2 = 10;
int s3 = 11;

void setup() {
  pinMode(s0, OUTPUT);
  pinMode(s1, OUTPUT);
  pinMode(s2, OUTPUT);
  pinMode(s3, OUTPUT);

  digitalWrite(s0, LOW);
  digitalWrite(s1, LOW);
  digitalWrite(s2, LOW);
  digitalWrite(s3, LOW);
  Serial.begin(56000);
  LightSensor.begin();
  LightSensor.SetAddress(Device_Address_L);
  /*
   set the Working Mode for this sensor
   Select the following Mode:
```

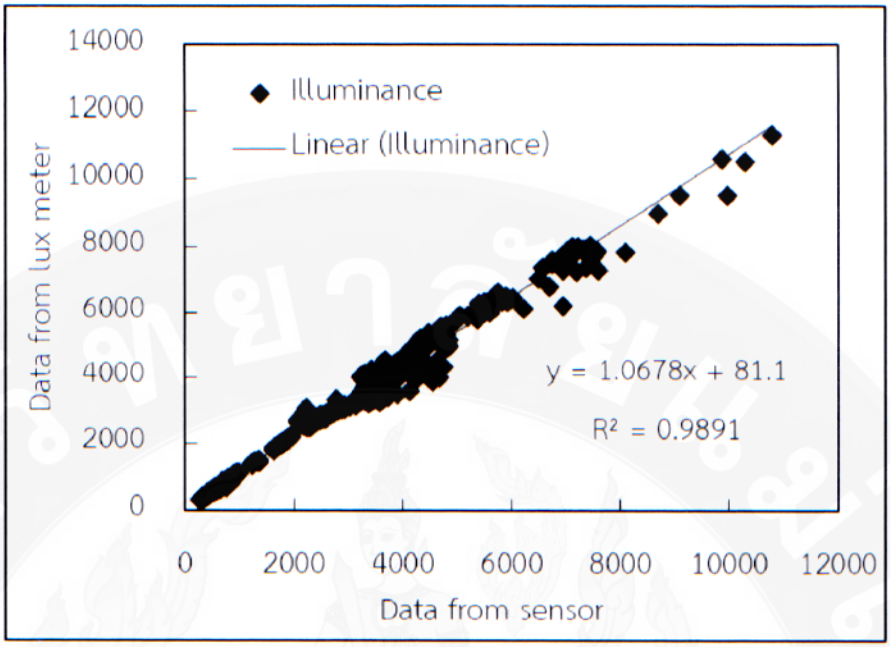
```
  Continuous_H_resolution_Mode
  Continuous_H_resolution_Mode2
  Continuous_L_resolution_Mode
  OneTime_H_resolution_Mode
  OneTime_H_resolution_Mode2
  OneTime_L_resolution_Mode

  The data sheet recommanded To use Continuous_H_resolution_Mode
  */

  LightSensor.SetMode(Continuous_H_resolution_Mode);

  Serial.println("Running...");
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,Time,L1,L2,L3,L4,L5");
}

void loop() {
  Serial.print("DATA,TIME,");

  // lux meter no1
  digitalWrite (s0, 0);
  digitalWrite (s1, 0);
  digitalWrite (s2, 0);
  digitalWrite (s3, 0);
    LightSensor.begin();
    LightSensor.SetAddress(Device_Address_L);
    LightSensor.SetMode(Continuous_H_resolution_Mode);
    uint16_t lux = LightSensor.GetLightIntensity();// Get Lux value

    Serial.print(lux);
```

```
  Serial.print(",");

  // lux meter no2
  digitalWrite (s0, 1);
digitalWrite (s1, 0);
digitalWrite (s2, 0);
digitalWrite (s3, 0);
  LightSensor.begin();
  LightSensor.SetAddress(Device_Address_L);
  LightSensor.SetMode(Continuous_H_resolution_Mode);
  uint16_t lux2 = LightSensor.GetLightIntensity();// Get Lux value
 Serial.print(lux2);
  Serial.print(",");

  // lux meter no3
  digitalWrite (s0, 0);
digitalWrite (s1, 1);
digitalWrite (s2, 0);
digitalWrite (s3, 0);
  LightSensor.begin();
  LightSensor.SetAddress(Device_Address_L);
  LightSensor.SetMode(Continuous_H_resolution_Mode);
  uint16_t lux3 = LightSensor.GetLightIntensity();// Get Lux value
Serial.print(lux3);
  Serial.print(",");
  // lux meter no4
  digitalWrite (s0, 1);
digitalWrite (s1, 1);
digitalWrite (s2, 0);
digitalWrite (s3, 0);
  LightSensor.begin();
```

```
LightSensor.SetAddress(Device_Address_L);
LightSensor.SetMode(Continuous_H_resolution_Mode);
uint16_t lux4 = LightSensor.GetLightIntensity();// Get Lux value
Serial.print(lux4);
Serial.print(",");

 // lux meter no5
 digitalWrite (s0, 0);
digitalWrite (s1, 0);
digitalWrite (s2, 1);
digitalWrite (s3, 0);
 LightSensor.begin();
 LightSensor.SetAddress(Device_Address_L);
 LightSensor.SetMode(Continuous_H_resolution_Mode);
 uint16_t lux5 = LightSensor.GetLightIntensity();// Get Lux value
Serial.println(lux5);

 delay(60000);

}
```

ก่อนการใช้โมดูลเหล่านี้จะมีการเทียบข้อมูลที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ดังกล่าวจะนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดความส่องสว่างที่ได้มาตรฐานดังแสดงในภาพผนวกที่ 2 สามารถเขียนสมการเปรียบเทียบได้ดังนี้

$$Y = 1.0678x + 81.1 \qquad \text{สมการที่ 14}$$



ภาพผนวกที่ 2 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลความส่องสว่างที่ได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐานและเซนเซอร์

ภาคผนวก ข

การคำนวณค่าพลังงานสำหรับแสงสว่างในกรณีที่ต้องการความส่องสว่างเพิ่มเติม

ตารางสำหรับการคำนวณความส่องสว่าง

ตารางผนวกที่ 1 ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุประเภทต่างๆ

Material	Light reflectance value
Canvas	49
Concrete	31
Earth	5
Pine	18
Snow	74

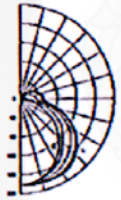
ที่มา: Dupont (2016)

ตารางผนวกที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์จากดวงโคม (CU)

Typical Luminaire

2-lamps bare strip

Typical intensity distribution



ρcc	80			70			50			30			10			0
ρw	70	50	30	70	50	30	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
RCR																
0	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8
1	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6
2	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5
3	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
4	0.7	0.6	0.5	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
5	0.6	0.5	0.4	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3
6	0.6	0.5	0.4	0.6	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3
7	0.5	0.4	0.3	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
8	0.5	0.4	0.3	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2
9	0.5	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
10	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2

ที่มา: Harrold and Mennie (2003)

การคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างเพิ่มเติม

ตัวอย่างการคำนวณพลังงานไฟฟ้าเพิ่มเติมในกรณีที่ความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติไม่เพียงพอตามมาตรฐานของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 ณ เวลา 17.00 น. โดยมีข้อมูลด้านค่าความส่องสว่างดังนี้

ที่ระยะห่างจากช่องเปิด 25% มีค่าความส่องสว่างเท่ากับ 430 Lux

ที่ระยะห่างจากช่องเปิด 50% มีค่าความส่องสว่างเท่ากับ 306 Lux

ที่ระยะห่างจากช่องเปิด 75% มีค่าความส่องสว่างเท่ากับ 210 Lux

ในงานวิจัยครั้งนี้กำหนดค่าความส่องสว่างตามค่ามาตรฐานเท่ากับ 500 Lux จึงต้องหาค่าความส่องสว่างที่ต้องการติดตั้งเพิ่มเติมเพื่อนำไปคำนวณหากำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่สำหรับแสงสว่างจากแสงประดิษฐ์ ซึ่งระยะห่างของพื้นที่ที่ทำการบันทึกข้อมูลมี 3 ระยะดังนั้นจึงต้องหาค่าความส่องสว่างที่ต้องการเฉลี่ยเพื่อให้ได้ค่าความส่องสว่างตามต้องการจากสมการ

ค่าความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่มเติม (Lux) = (ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่มที่จุด A × ความส่องสว่างที่ต้องการที่จุด A) + ... + (ความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่มที่จุด n × ความส่องสว่างที่ต้องการที่จุด n) / (ความส่องสว่างที่ต้องการที่จุด A + ... + ความส่องสว่างที่ต้องการที่จุด n)

โดยค่าความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่มเติมแต่ของแต่ละจุดมีดังนี้

ที่ระยะห่างจากช่องเปิด 25% มีค่าความส่องสว่างเท่ากับ 70 Lux

ที่ระยะห่างจากช่องเปิด 50% มีค่าความส่องสว่างเท่ากับ 194 Lux

ที่ระยะห่างจากช่องเปิด 75% มีค่าความส่องสว่างเท่ากับ 290 Lux

จะได้

$$\text{ค่าความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่มเติม (Lux)} = \frac{(70 \times 500) + (194 \times 500) + (290 \times 500)}{500 + 500 + 500}$$

$$= 184.67 \text{ Lux}$$

ดังนั้น ที่เวลา 17.00 น. มีความต้องการใช้แสงสว่างเฉลี่ยเพิ่มเติม 184.67 Lux

ในการคำนวณค่าความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่มเติมสำหรับอาคารแบบจำลองที่มีการแบ่งระยะห่างจากช่องเปิดที่ 25, 50 และ 75% ในเดือนเมษายน เวลา 17.00 น. โดยมีตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณดังแสดงในตารางผนวกที่ 3

ตารางผนวกที่ 3 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง

ตัวแปร	ค่า
ค่าความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่มเติมเฉลี่ย (E, lux)	184.67
ค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง (LPW, lumen/W)	75
ค่าการใช้ประโยชน์จากดวงโคม (CU)	0.3402
ค่าการสูญเสียของแสง (MF)	0.7

ในการหาค่าการใช้ประโยชน์จากดวงโคม (CU) จะต้องทราบตัวแปรหลายตัวอันได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวของวัสดุประกอบอาคาร รวมถึงเพดาน ขนาดความกว้างและความลึกของห้องที่พิจารณา รวมถึงทราบค่าอัตราส่วนโพรงห้องที่หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$RCR = \frac{2.5 \times h_{RC} \times (W + L)}{W \times L}$$

แทนค่าลงในสมการเพื่อหาอัตราส่วนโพรงห้องได้ดังนี้

$$RCR = \frac{2.5 \times 1.35 \times (1.2 + 1.2)}{1.2 \times 1.2}$$

$$RCR = 5.63$$

Typical Luminaire

2-lamps bare strip

Typical intensity distribution

ρcc (31%)	80			70			50			30			10			0
ρw (31%)	70	50	30	70	50	30	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
RCR																
0	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8
1	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6
2	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5
3	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
4	0.7	0.6	0.5	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
5	0.6	0.5	0.4	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3
6	0.6	0.5	0.4	0.6	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3
7	0.5	0.4	0.3	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
8	0.5	0.4	0.3	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2
9	0.5	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
10	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2

ภาพผนวกที่ 3 ค่า CU ที่หาได้จากการ Interpolate

จากผลการ interpolate ดังแสดงในภาพผนวกที่ 3 เพื่อหาค่าการใช้ประโยชน์ (CU) จากดวงโคมสำหรับใช้ในห้องที่มีค่าการสะท้อนแสงของผนัง พื้น และเพดานที่เท่ากับ 31% และที่อัตราส่วนโพรงห้องเท่ากับ 5.63 ทำให้ได้ค่า CU จากตารางเท่ากับ 0.3402

แทนค่าลงในสมการเพื่อหากำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้สำหรับแสงสว่างต่อตารางเมตร ได้ดังนี้

$$\text{กำลังการส่องสว่างของหลอดไฟ } (W/m^2) = \frac{187.67}{75 \times 0.3402 \times 0.7}$$

$$= 11.78\ W/m^2$$

ค่าที่ได้จากการคำนวณข้างต้นเป็นค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง จะต้องเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าในหน่วย Wh เพื่อคำนวณหาพลังงานที่จะต้องใช้กับการหลอดไฟในช่วงเวลาที่ทำการพิจารณา

พลังงานไฟฟ้าสำหรับการส่องสว่าง (Wh) = กำลังการส่องสว่างของหลอดไฟ (W/m^2) × จำนวนชั่วโมง (h) × พื้นที่ที่พิจารณา (m^2)

พลังงานไฟฟ้าสำหรับการส่องสว่าง (Wh) = 11.78 (W/m^2) × 0.083 (h) × 1.44 (m^2)

= 1.40 Wh

ผลการคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างในการทดสอบ

จากการคำนวณหากำลังไฟฟ้าที่ต้องติดตั้งเพิ่มเติมต่อหน่วยพื้นที่ทำให้ได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางผนวกที่ 5 ซึ่งเป็นผลการคำนวณทุกๆ 5 นาที ของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอาคารแบบจำลองทั้ง 3 รูปแบบ

ตารางผนวกที่ 4 ผลการคำนวณพลังงานสำหรับแสงสว่างเพิ่มเติม

Time (h)	Module 1			Module 2			Module 3		
	Lux	W/m^2	Wh	Lux	W/m^2	Wh	Lux	W/m^2	Wh
9:00	134.87	8.54	1.02	36.63	2.32	0.28	-	-	-
9:05	125.26	7.93	0.95	28.09	1.78	0.21	-	-	-
9:10	115.64	7.32	0.88	21.68	1.37	0.16	-	-	-
9:15	107.10	6.78	0.81	13.14	0.83	0.10	-	-	-
9:20	98.56	6.24	0.75	1.39	0.09	0.01	-	-	-
9:25	93.22	5.90	0.71	-	-	-	-	-	-
9:30	83.61	5.29	0.64	-	-	-	-	-	-
9:35	77.20	4.89	0.59	-	-	-	-	-	-
9:40	69.73	4.42	0.53	-	-	-	-	-	-
9:45	62.25	3.94	0.47	-	-	-	-	-	-
9:50	55.85	3.54	0.42	-	-	-	-	-	-
9:55	48.37	3.06	0.37	-	-	-	-	-	-
10:00	43.03	2.73	0.33	-	-	-	-	-	-
10:05	37.70	2.39	0.29	-	-	-	-	-	-
10:10	31.29	1.98	0.24	-	-	-	-	-	-
10:15	25.95	1.64	0.20	-	-	-	-	-	-
10:20	19.54	1.24	0.15	-	-	-	-	-	-
10:25	15.27	0.97	0.12	-	-	-	-	-	-
10:30	8.86	0.56	0.07	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Time (h)	Module 1			Module 2			Module 3		
	Lux	W/m^2	Wh	Lux	W/m^2	Wh	Lux	W/m^2	Wh
10:45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:55	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:55	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:35	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Time (h)	Module 1			Module 2			Module 3		
	Lux	W/m^2	Wh	Lux	W/m^2	Wh	Lux	W/m^2	Wh
12:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:55	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:25	1.39	0.09	0.01	-	-	-	-	-	-
13:30	0.32	0.02	0.00	-	-	-	-	-	-
13:35	2.46	0.16	0.02	-	-	-	-	-	-
13:40	5.66	0.36	0.04	-	-	-	-	-	-
13:45	8.86	0.56	0.07	-	-	-	-	-	-
13:50	15.27	0.97	0.12	-	-	-	-	-	-
13:55	19.54	1.24	0.15	-	-	-	-	-	-
14:00	20.61	1.31	0.16	-	-	-	-	-	-
14:05	24.88	1.58	0.19	-	-	-	-	-	-
14:10	30.22	1.91	0.23	-	-	-	-	-	-
14:15	33.42	2.12	0.25	-	-	-	-	-	-
14:20	36.63	2.32	0.28	-	-	-	-	-	-
14:25	44.10	2.79	0.34	-	-	-	-	-	-
14:30	50.51	3.20	0.38	-	-	-	-	-	-
14:35	57.98	3.67	0.44	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Time (h)	Module 1			Module 2			Module 3		
	Lux	W/m^2	Wh	Lux	W/m^2	Wh	Lux	W/m^2	Wh
14:40	61.19	3.87	0.46	0.92	0.06	0.01	-	-	-
14:45	79.34	5.02	0.60	1.35	0.09	0.01	-	-	-
14:50	76.14	4.82	0.58	3.91	0.25	0.03	-	-	-
14:55	79.34	5.02	0.60	3.27	0.21	0.02	-	-	-
15:00	80.41	5.09	0.61	4.12	0.26	0.03	-	-	-
15:05	86.81	5.50	0.66	6.26	0.40	0.05	-	-	-
15:10	92.15	5.84	0.70	6.90	0.44	0.05	-	-	-
15:15	100.70	6.38	0.77	6.68	0.42	0.05	-	-	-
15:20	108.17	6.85	0.82	8.82	0.56	0.07	-	-	-
15:25	115.64	7.32	0.88	9.46	0.60	0.07	-	-	-
15:30	125.26	7.93	0.95	11.60	0.73	0.09	-	-	-
15:35	130.59	8.27	0.99	11.60	0.73	0.09	-	-	-
15:40	137.00	8.68	1.04	13.52	0.86	0.10	-	-	-
15:45	145.54	9.22	1.11	15.44	0.98	0.12	-	-	-
15:50	151.95	9.62	1.15	16.51	1.05	0.13	-	-	-
15:55	160.49	10.16	1.22	18.43	1.17	0.14	-	-	-
16:00	165.83	10.50	1.26	20.78	1.32	0.16	-	-	-
16:05	90.02	5.70	0.68	22.92	1.45	0.17	-	-	-
16:10	107.10	6.78	0.81	24.62	1.56	0.19	-	-	-
16:15	120.45	7.63	0.92	26.12	1.65	0.20	-	-	-
16:20	130.06	8.24	0.99	28.25	1.79	0.21	-	-	-
16:25	141.27	8.95	1.07	29.75	1.88	0.23	-	-	-
16:30	154.09	9.76	1.17	31.88	2.02	0.24	5.66	0.36	0.04
16:35	167.43	10.60	1.27	33.81	2.14	0.26	14.20	0.90	0.11

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Time (h)	Module 1			Module 2			Module 3		
	Lux	W/m^2	Wh	Lux	W/m^2	Wh	Lux	W/m^2	Wh
16:40	179.18	11.35	1.36	35.52	2.25	0.27	27.02	1.71	0.21
16:45	195.73	12.39	1.49	99.09	6.27	0.75	33.42	2.12	0.25
16:50	156.40	9.90	1.19	114.58	7.26	0.87	43.03	2.73	0.33
16:55	175.44	11.11	1.33	129.53	8.20	0.98	55.85	3.54	0.42
17:00	184.52	11.68	1.40	140.20	8.88	1.07	68.66	4.35	0.52
Total lighting (Wh/day)		40.33			7.42			1.88	

ภาคผนวก ค

การเผยแพร่ผลงานวิจัย

บทความทางวิชาการที่ 1

ชื่อผู้แต่ง:	ปิยะวัชร์ แข่งขัน อัครินทร์ อินทนิเวศน์
ชื่อบทความ:	การพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงเพื่อใช้ร่วมกับอาคาร Development of semi-transparent silicon solar panel for building integration
ชื่อวารสาร:	การประชุมวิชาการ เรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 16)
เล่มที่:	หน้า 286-293 ระหว่างวันที่ 23-24 กุมภาพันธ์ 2560 ณ ศูนย์ฝึกอบรมธนาคารไทยพาณิชย์ ตำบลบ้านปง อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่

การถ่ายเท
พลังงานความร้อนและมวล
ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ
(ครั้งที่ 16)

ระหว่างวันที่ 23-24 กุมภาพันธ์ 2560
ณ ศูนย์ฝึกอบรม ธนาคารไทยพาณิชย์
ตำบลบ้านปง อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่

คณะกรรมการการจัดการประชุมวิชาการ
เรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวล
ในอุปกรณ์ด้านความร้อน และกระบวนการ (ครั้งที่ 16)

ระหว่างวันที่ 23-24 กุมภาพันธ์ 2560
ณ ศูนย์ฝึกอบรมธนาคารไทยพาณิชย์ จังหวัดเชียงใหม่

ที่ปรึกษาคณะกรรมการจัดการประชุม

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการจัดการประชุม

1. ศาสตราจารย์ ดร.ทนงเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	ประธานคณะกรรมการ
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐนี	วรยศ	อนุกรรมการ
3. อาจารย์ ดร.อรรถกร	อาสนคำ	อนุกรรมการ
4. อาจารย์ ดร.ธรณิศวร์	ดีทายาท	อนุกรรมการ

คณะอนุกรรมการฝ่ายพิจารณาบทความ

1. ศาสตราจารย์ ดร.ทนงเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	ประธานคณะอนุกรรมการ
2. อาจารย์ ดร.อรรถกร	อาสนคำ	อนุกรรมการ
3. อาจารย์ ดร.ธรณิศวร์	ดีทายาท	อนุกรรมการ

คณะอนุกรรมการฝ่ายติดต่อประสานงาน/ต้อนรับ

1. อาจารย์ ดร.ธรณิศวร์	ดีทายาท	ประธานคณะอนุกรรมการ
2. นายวันรบ	กิติน่าน	อนุกรรมการ
3. นางสาววาสนา	คำโอภาส	อนุกรรมการ

คณะอนุกรรมการฝ่ายลงทะเบียน/การเงิน

1. อาจารย์ ดร.อรรถกร	อาสนคำ	ประธานคณะอนุกรรมการ
2. นายวันรบ	กิติน่าน	อนุกรรมการ
3. นางสาววาสนา	คำโอภาส	อนุกรรมการ

คณะอนุกรรมการฝ่ายเอกสาร

1. ศาสตราจารย์ ดร.ทนงเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	ประธานคณะอนุกรรมการ
2. อาจารย์ ดร.อรรถกร	อาสนคำ	อนุกรรมการ
3. นายวันรบ	กิติน่าน	อนุกรรมการ
4. นางสาววาสนา	คำโอภาส	อนุกรรมการ

การประชุมวิชาการ เรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวล ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 16)
ระหว่างวันที่ 23-24 กุมภาพันธ์ 2560
ณ ศูนย์ฝึกอบรมธนาคารไทยพาณิชย์ จังหวัดเชียงใหม่

การพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบกึ่งโปร่งแสงเพื่อใช้ร่วมกับอาคาร

DEVELOPMENT OF SEMI-TRANSPARENT SILICON SOLAR PANELS FOR BUILDING INTEGRATION

ปิยะวัชร์ แข่งขัน
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
จังหวัดเชียงใหม่ 50290

อัครินทร์ อินทนิเวศน์*
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
จังหวัดเชียงใหม่ 50290
โทรศัพท์ 0-533-3194
โทรสาร 0-533-3194
*Email:a.intaniwet@hotmail.co.th

บทคัดย่อ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงสามารถที่จะนำมาติดตั้งร่วมเป็นส่วนหนึ่งของอาคารได้โดยจะสามารถใช้ประโยชน์ทั้งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ และแสงสว่างที่ทะลุผ่านเข้าสู่อาคาร ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิกอนแบบกึ่งโปร่งแสง จากนั้นทำการทดสอบสมรรถนะทางไฟฟ้าของแผง และศึกษาค่าความสว่างภายในห้องเมื่อทำการติดตั้งแผงที่ผลิตได้แทนหน้าต่างที่หันหน้าไปในทางทิศใต้ในสภาพการใช้งานจริง จากการศึกษาพบว่าในวันที่ท้องฟ้าโปร่งมีค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 765 W/m^2 และแผงสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 25.7 W ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 8.5-10.5% แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแทนหน้าต่างจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดรวม 156.17 Wh/day เมื่อพิจารณาด้านแสงสว่างในอาคารพบว่ามีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 200-20,000 Lux ในบางช่วงเวลาของวันที่มีค่าความส่องสว่างไม่เพียงพอส่งผลให้ต้องมีการเพิ่มหลอดไฟเพื่อให้ปริมาณความสว่างเป็นไปตามมาตรฐานของการใช้งาน จากการคำนวณพบว่าถ้าต้องการความสว่างภายในห้องไม่เกิน 1,000 Lux ห้องจำลองจะมีพลังงานสุทธิเป็นบวกซึ่งหมายความว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงยังคงมีค่ามากกว่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้สำหรับระบบแสงสว่าง แต่ถ้าความต้องการความสว่างภายในห้องที่สูงกว่านี้จะทำให้พลังงานสุทธิเป็นลบซึ่งจะต้องมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งอื่นร่วมสำหรับการป้อนให้กับระบบแสงสว่าง

คำสำคัญ : แผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอาคาร แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสง ความส่องสว่างในอาคาร พลังงานไฟฟ้าสุทธิ

Abstract

Semitransparent solar panels can be integrated into the building where electrical energy is generated and, at the same time, the panel allows natural light entering to the building. In this work, a polycrystalline Si semitransparent solar panel was manufactured and was installed as a window of a room facing south. The measurement of electrical parameters as well as the illumination inside the room was conducted under the actual operating condition. It was found that the maximum incident sunlight is 765 W/m^2 on the sunny day and the panel was capable to generate the maximum power of 25.7 W. From the testing, the average efficiency of the panel was estimated to be about 8.5-10.5%. Under the maximum daily sunlight, the semitransparent solar panel can produce up to 156.17 Wh/day of electrical energy. The average illuminance inside the room varied between 200-20,000 Lux. Sometimes, the illumination level inside the room is bellowed the standard value and the additional light source is required to maintain the illumination level. From the calculation, if the illumination inside the room is lower than 1,000 Lux the room will have the positive net energy in which the energy produced from the panel is greater than that consumed by the light source. On the other hand, higher level of illumination requires higher energy consumption and the net energy will be negative.

Keyword: BIPV, Semitransparent solar panel, Interior illumination and Net energy

1. บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์มีอยู่โดยทั่วไป โดยเฉพาะในประเทศไทยที่อยู่ในบริเวณเขตเส้นศูนย์สูตร ซึ่งถือได้ว่าเป็นบริเวณที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง โดย 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี 19-20 MJ/m^2-day และ 50% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์ในช่วง 18-19 MJ/m^2-day พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาด เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และง่ายต่อการเข้าถึงแหล่งพลังงาน แสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ ซึ่งการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าจะต้องใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ในการแปลงพลังงาน แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายจะเป็นชนิดที่ผลิตมาจากซิลิกอน โดยอาจจะเป็นแบบฟิล์มบาง หรือเป็นแบบผลึกเดี่ยวหรือผลึกรวมซึ่งแบบฟิล์มบางจะมีต้นทุนแผงที่ถูกกว่า แต่ว่ามีประสิทธิภาพต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแบบผลึก [1] โดยการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานจะต้องมีการติดตั้งซึ่งอาจจะติดตั้งกับโครงสร้างบนพื้นราบ หรือติดตั้งกับโครงสร้างบนหลังคาของอาคาร ดังนั้นจึงมีแนวคิดของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้พื้นที่ว่างเปล่าของอาคาร เช่น ผนัง หน้าต่าง หรือกันสาดซึ่งเป็นวิธีการสำหรับใช้พื้นที่ของอาคารที่ว่างเปล่าให้เป็นประโยชน์ ประเทศไทยได้เริ่มมีการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้งาน เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้มีการจัดทำโครงการสาธิตระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาบ้าน(Solar rooftop) จำนวน 10 หลัง ซึ่งมีกำลังการผลิตรวม 23.76 kW ต่อมาในปี พ.ศ. 2550 ได้มีอาคารแห่งแรกในประเทศไทยที่ใช้เทคโนโลยีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอาคาร ชื่ออาคารสำนักงานใหญ่ กฟผ. ท. 102 ซึ่งมีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางขนาดกำลังการผลิตรวม 27 kW บนผนังอาคารสูง 20 ชั้น [2]

เทคโนโลยีการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอาคารสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ โดยรูปแบบแรกจะเป็นการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาติดร่วมกับอาคารที่มีอยู่แล้ว เช่นการติดตั้งบนหลังคา หรือการติดตั้งบนผนังอาคาร ส่วนรูปแบบที่สองจะเป็นการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ประกอบเป็นส่วนหนึ่งของอาคารทดแทนวัสดุทั่วไป เช่น หลังคา ผนังอาคาร หรืออุปกรณ์ประกอบอาคารอื่นๆ [3] นอกจากใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าแล้ว การออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีลักษณะคล้ายกระจกใสเพื่อใช้ร่วมกับอาคาร โดยยอมให้แสงสว่างจากธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคารยังสามารถลดความต้องการการใช้พลังงานสำหรับระบบแสงสว่างในอาคารได้ โดยZhang W. และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งแสงชนิดฟิล์มบางกับอาคาร โดยพิจารณาถึงความต้องการพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นและแสงสว่าง พบว่าสามารถลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคารได้รวม 16-18% ต่อปีการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่างประเภทบนอาคาร ส่งผลให้การใช้พลังงานในอาคารสุทธิมีค่าต่างกัน ดังที่ Pho K.N. และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับประยุกต์ใช้กับอาคาร พบว่าสมบัติทางการถ่ายเทความร้อน ประสิทธิภาพ รวมถึงความสามารถในการส่องผ่านของแสงอาทิตย์ ส่งผลให้พฤติกรรมการใช้พลังงานต่างกัน โดยพบว่าทำให้การใช้พลังงานสุทธิในอาคารลดลง 16.7-41.3%

พื้นที่ผนังส่วนใหญ่ของอาคารด้านนอก มีหน้าที่เป็นเพียงแค่โครงสร้างหนึ่งของอาคารที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ บางอาคารจึงได้มีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาติดตั้งกับบริเวณผนังอาคารด้านนอกเพื่อใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาประยุกต์ใช้กับอาคารมีหลายประเภท เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไร้กรอบ (Frameless solar panel) กระเบื้องหลังคาพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar roof tile) และแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งแสง (Semi-transparent solar panel) [6] ซึ่งล้วนแล้วแต่มีคุณสมบัติคือสามารถติดตั้งแทนวัสดุประกอบอาคารได้แต่เนื่องจากในอาคารหรือบ้านพักอาศัยมีความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าและแสงสว่างให้กับผู้ใช้งานโดยพบว่าถ้าติดตั้งเพียงแต่กระจกใส จะทำให้แสงสว่างจากภายนอกอาคารเข้าสู่อาคารได้อย่างเต็มที่ ทำให้ได้ใช้ประโยชน์ด้านความสว่างเท่านั้น ขณะที่การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบทั่วไปที่มีลักษณะทึบแสงจะสามารถใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพียงอย่างเดียว ดังนั้นแนวคิดของการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งแสงที่สามารถทำให้ได้แสงสว่างเข้าสู่อาคาร และในขณะเดียวกันสามารถใช้พื้นที่ของอาคารในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจึงได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในการก่อสร้างอาคารสมัยใหม่โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเทคนิคการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวมซิลิกอน และใช้ฐานรองรับตัวเซลล์เป็นกระจกโปรงแสงที่ติดตามอาคารทั่วไป จากนั้นทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงที่ผลิตได้โดยการนำไปติดตั้งแทนหน้าต่างของอาคารจำลองที่หันหน้าไปทางทิศใต้เพื่อศึกษาค่าประสิทธิภาพ และประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น จากนั้นจะทำการศึกษาความสว่างภายในอาคารเมื่อทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงโดยจะเปรียบเทียบค่าความสว่างที่ได้กับค่ามาตรฐานความสว่างภายในอาคารสำนักงานเพื่อพิจารณาความเหมาะสมของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงร่วมกับอาคาร งานวิจัยนี้จะเป็นฐานข้อมูลประกอบการตัดสินใจให้กับผู้ที่สนใจในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงร่วมกับอาคารและเป็นการต่อยอดส่งเสริมนโยบายของภาครัฐในการใช้พลังงานทดแทนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากซิลิกอน 1 เซลล์ เมื่อมีแสงอาทิตย์มาตกกระทบจะสามารถสร้างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าได้น้อย ดังนั้นเพื่อให้มีความเหมาะสมในการใช้งาน จึงต้องมีการต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประมาณกระแส และแรงดันไฟฟ้า โดยการต่อเซลล์แบบขนาน และอนุกรมตามลำดับ เมื่อนำเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเดียวกันมาต่อกันแบบขนานจะส่งผลทำให้ได้ค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่มีค่าแรงดันไฟฟ้าคงเดิม โดยสามารถคำนวณกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ารวมจากการต่อแบบขนานได้จากสมการที่ 1 และ 2

$$I_{total} = I_1 + I_2 + ... + I_n \quad (1)$$

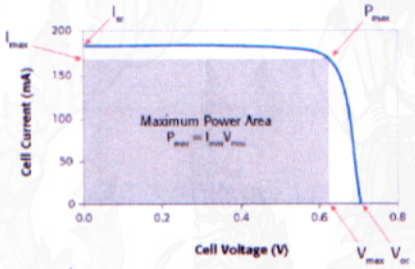
$$V_{total} = V_1 = V_2 = ... = V_n \quad (2)$$

ส่วนการต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมจะส่งผลทำให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่มีค่ากระแสไฟฟ้าคงเดิมสามารถคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้ารวมและกระแสไฟฟ้ารวมจากการต่อแบบอนุกรมได้จากสมการที่ 3 และ 4

$$I_{total} = I_1 = I_2 = \ldots = I_n \quad (3)$$

$$V_{total} = V_1 + V_2 + \ldots + V_n \quad (4)$$

การทดสอบสมรรถนะการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้สามารถทำได้โดยวิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะของกระแสและแรงดัน (I-V Characteristic) ดังแสดงได้ใน**ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง**จากรูปจะสามารถหาค่าของกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{SC}) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{OC}) กระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_m) และแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_m) ได้ จากนั้นจะสามารถคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_m) ค่าประสิทธิภาพการแปลงแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้า (η) และค่าฟิลแฟกเตอร์ (FF) ได้จากสมการที่ 5 – 7 โดยที่ H คือค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2) และ A คือพื้นที่รวมของเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ [7]

$$P_m = I_m \times V_m \quad (5)$$

$$\eta = \frac{P_m}{H \times A} \times 100\% \quad (6)$$

$$FF = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}} \quad (7)$$

อาคารทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นอาคารสำนักงานหรือบ้านพักอาศัยมีความต้องการใช้แสงสว่าง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการทำกิจกรรมที่ต้องอาศัยการมองเห็นเป็นหลัก ในการออกแบบแสงสว่างในอาคาร สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือความสว่างที่เหมาะสมตามจุดประสงค์การใช้งานนั้นๆ ตามมาตรฐานการส่องสว่าง CIE (Commission Internationale de L'eclairage) ซึ่งมีใช้กันอย่างแพร่หลายใน 40 ประเทศทั่วโลกรวมถึงประเทศไทย โดยมีรายละเอียดค่าความสว่างสำหรับแต่ละพื้นที่ใช้งานดังแสดงในตารางที่ 1 โดยจะบอกเป็น 3 ค่า โดยใช้ค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย และอีก 2 ค่าใช้ในกรณีสภาพแวดล้อมอื่นๆ ตามความเหมาะสม โดยให้คำนึงถึงอายุ ความปลอดภัย และลักษณะของกิจกรรมที่ต้องการใช้แสงสว่างเพื่อการมองเห็น เช่น ถ้าการสะท้อนแสงของพื้นผิวต่ำกว่าปรกติ ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น หรือถ้าความผิดพลาดเนื่องจากการมองเห็นอาจทำให้เกิดปัญหาร้ายแรงหรือเสียหายมาก ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น เป็นต้น

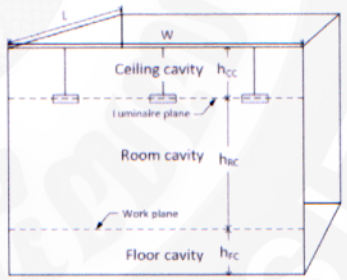
ตารางที่ 1 ความส่องสว่างสำหรับพื้นที่ทำงานตามมาตรฐาน CIE [8]

พื้นที่ใช้งาน	ความส่องสว่าง (Lux)
ทางเดินและพื้นที่ทำงานภายนอก	20-30-50
ทางเดินภายในและการนะผ่านระยะสั้น	50-100-150
ห้องที่ไม่ได้ใช้ทำงานแบบต่อเนื่อง	100-150-200
งานที่ใช้สายตาไม่มาก (งานชิ้นใหญ่)	200-300-500
งานที่ใช้สายตามาก (งานเขียนแบบ)	500-750-1000
งานที่ใช้สายตามากๆ (งานประกอบชิ้นส่วน)	750-1000-1500
งานที่ใช้สายตามากเป็นพิเศษ	1000-1500-2000
งานที่ใช้สายตาเพื่อการทำงานที่พิถีพิถันพัน	มากกว่า 2000

การคำนวณหาความส่องสว่างที่เหมาะสมกับอาคารนั้นๆ จะต้องคำนึงถึงพื้นที่ที่จะทำการติดตั้งหลอดไฟ ลักษณะของดวงโคม และการบำรุงรักษา รวมถึงค่ากำลังไฟฟ้าของหลอดไฟที่ใช้ต่อหน่วยพื้นที่ โดยค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างหรือเรียกว่าวิธีวัดต่อตารางเมตร (Watt per square meter method) [9] สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 8

$$\frac{W}{m^2} = \frac{E}{LPW \times CU \times MF} \quad (8)$$

เมื่อ E คือ ค่าความส่องสว่างที่ต้องการออกแบบตามมาตรฐาน (Lux) A คือ พื้นที่ของอาคารที่ต้องการติดตั้งหลอดไฟ (m^2) CU (Coefficient of utilization) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคม MF (Maintenance factor) ตัวประกอบการบำรุงรักษา และ LPW คือ ประสิทธิภาพแสงของหลอดไฟ (lumen/W) ที่ต้องการนำมาติดตั้ง โดยค่า CU ขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายของแสงสว่างของดวงโคม ไฟฟ้า การสะท้อนแสงสว่างของผนังและเพดานห้อง สัดส่วนของห้อง และความสูงของห้องดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ส่วนต่างๆของห้องเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์จากดวงโคม (CU)

ตัวแปรที่สำคัญในการพิจารณาหาค่า CU ได้แก่ ค่าการสะท้อนของผนัง ค่าการสะท้อนของเพดาน และอัตราส่วนโพรงห้อง ในการหาค่าอัตราส่วนโพรงห้อง (Room cavity ratio: RCR) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 9 โดยค่า h_{RC} คือความสูงของพื้นที่ทำงานถึงดวงโคม (m) W คือความกว้างของห้อง (m) และ L คือความยาวของห้อง (m)

$$RCR = \frac{2.5h_{RC}(W + L)}{W \times L} \quad (9)$$

ตัวประกอบการบำรุงรักษา (MF) ประเมินได้จากการจัดประเภทห้องออกตามระดับของความสะอาดเป็น 3 กลุ่ม คือ สกปรก ปานกลาง และ สะอาด ตัวอย่าง เช่น ห้องประชุมหรืออาคารสำนักงานที่มีระบบปรับอากาศและปิดมิดชิดจัดอยู่ในกลุ่มสะอาด ส่วนโรงงานที่เปิดโล่งและมีฝุ่นควันอยู่ในกลุ่มสกปรก ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวประกอบการบำรุงรักษาของดวงโคม **[10]**

ระดับความสะอาด	MF
สะอาด	0.8
ปานกลาง	0.7
สกปรก	0.6

3. วิธีการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้แบ่งออกเป็นสองส่วนดังรูปที่ 2 คือ ส่วนที่เป็นการประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และส่วนของการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ โดยมีรายละเอียดของการศึกษาดังต่อไปนี้

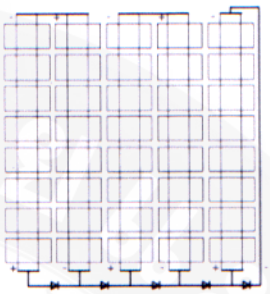
3.1 การประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้โดยทั่วไปเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิกอนซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม (Poly-crystalline) จากบริษัท ML solar ที่ให้แรงดันประมาณ 0.5V ต่อเซลล์ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำเซลล์มาต่อกันหลายๆ เซลล์เพื่อเพิ่มขนาดแรงดัน โดยด้านหน้าที่เป็นส่วนรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีสมบัติทางไฟฟ้าเป็นลบ (Negative side) และด้านหลังเซลล์มีสมบัติทางไฟฟ้าเป็นบวก (Positive side) โดยใช้แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมขนาด 0.07 × 0.15 m^2 ซึ่งมีคุณสมบัติเบื้องต้นดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

รายละเอียด	ค่า
ขนาดเซลล์(m^2)	0.07×0.15
กระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_m, A)	3.6
แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_m, V)	0.5
Maximum power (W)	1.8

โดยงานวิจัยครั้งนี้จะทำการจัดวางเซลล์โดยเว้นระยะห่างระหว่างเซลล์เท่ากับ 1cm ทุกๆ ด้าน จำนวน 5 แถวๆ ละ 8 เซลล์ รวม 40 เซลล์ คิดเป็นพื้นที่รับแสงเท่ากับ 60.8% ของพื้นที่ทั้งหมด และอีก 39.2% คือส่วนที่เป็นกระจกใส เพื่อให้แสงลอดผ่าน และเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์จะถูกเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมทั้งหมดเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า และใช้ไดโอด (Bypass diode) ขนาด 10 A ต่อคร่อมทุกๆ 1 แถว ดังแสดงในรูปที่ 4เพื่อป้องกันการไหลย้อนของกระแสไฟฟ้าในกรณีที่เกิดเงาบนเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นประกบด้านหน้าและด้านหลังด้วยกระจกใสขนาด 0.88 × 0.78 m^2 หนา 3 mm ยึดกระจกทั้งสองแผ่นเข้าด้วยกันโดยใช้ซิลิโคนชนิดใส เพื่อป้องกันความชื้นเข้าสู่แผงซึ่งอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ตัวเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้จะมีกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 72 W



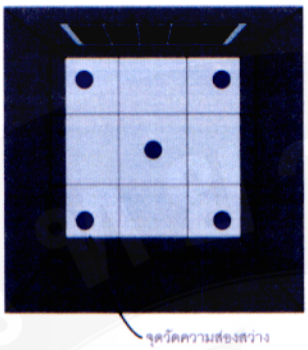
รูปที่ 3 วงจรการต่อเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสง

3.2 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสง

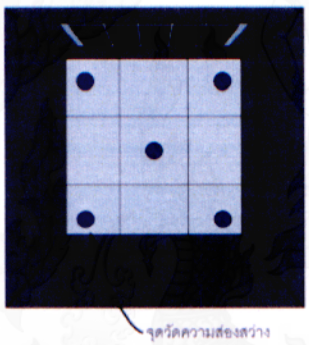
แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงจะถูกนำมาติดตั้งแทนกระจกหน้าต่างบนผนังอาคารแบบจำลองในแนวตั้งฉากกับพื้นโดยอาคารแบบจำลองมีขนาดความกว้าง 1.2 m ยาว 1.2 m สูง 2.2 m หลังคาของอาคารเป็นแบบหน้าจั่วเอียง 18° และหันอาคารด้านที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้บริเวณทดสอบตั้งอยู่ ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 4 อาคารแบบจำลองที่ติดตั้งด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปรงใสตรงตำแหน่งหน้าต่าง

การทดสอบสมรรถนะด้านไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงจะใช้เครื่องวิเคราะห์ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้า **(PV module analyzer** ยี่ห้อ **PROVA 210** การวัดความเข้มแสงอาทิตย์ทำได้โดยใช้โพรานอมิเตอร์แบบ **Silicon-cell(Apogee instruments, USA)** วัดความเข้มแสง ณ ตำแหน่งที่แสงตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ความสว่างภายนอกอาคารวัดโดยใช้ **Lux me** ยี่ห้อ **Lutron** รุ่น **11128SD** และภายในอาคารจะทำการวัดความสว่าง 5 จุดดังแสดงใน



รูปที่ 5 เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความส่องสว่าง BH1750fvi ทำงานร่วมกับ ArduinoUNO micro-controller เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยได้ทำการสอบเทียบค่าความส่องสว่างของเซ็นเซอร์ทั้ง 5 ตัวนี้กับ Lux meter ยี่ห้อ Lutron รุ่น 11128SD การบันทึกข้อมูลจะบันทึกทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น.

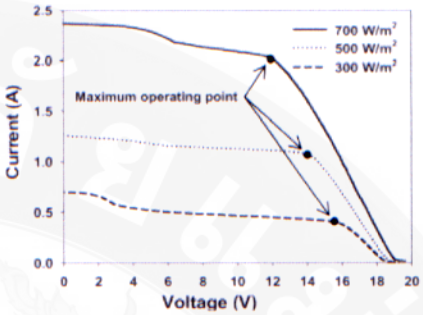


รูปที่ 5 แสดงจุดวัดความส่องสว่างภายในอาคาร

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลทางด้านไฟฟ้าของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงตรงตำแหน่งหน้าต่าง

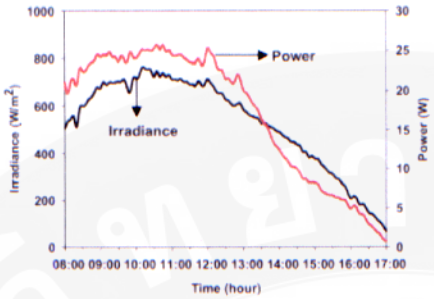
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ จากกราฟพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดลดลงจาก 16 V เหลือประมาณ 12 V และค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 4 เท่า เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจาก 300 W/m^2 เป็น 700 W/m^2 โดยที่ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดไม่ได้รับผลกระทบจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลง โดยทั้ง 3 กรณีมีค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 18 V จากผลการทดสอบจะสังเกตเห็นว่าค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์ ในขณะที่ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดจะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อมีปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบเพิ่มมากขึ้น และจากรูปจะพบว่าการเพิ่มขึ้นของค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดจะมากกว่าการลดลงของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด เมื่อคิดเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงผลิตได้พบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบ



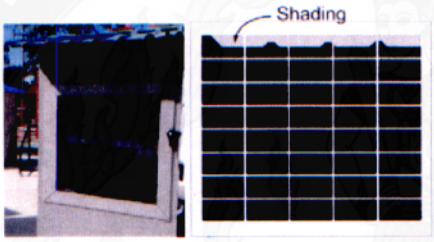
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กึ่งโปร่งแสง

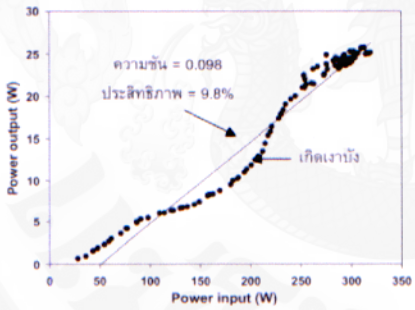
รูปที่ 8 แสดงค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสง โดยทำการวัดในวันที่ 14 พฤศจิกายน 2559 ซึ่งเป็นวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง จากกราฟพบว่าค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบมีค่าสูงสุดเท่ากับ 765 W/m^2 ณ เวลาประมาณ 10.00 น. และจากนั้นก็มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วตามเวลา ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวตั้งฉากทำให้มีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์น้อยเมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนที่สูงขึ้นไปบนท้องฟ้าอีกทั้งการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้านข้างตัวอาคารยังส่งผลให้เกิดการบดบังแสงแดดจากตัวอาคารเพิ่มขึ้นซึ่งค่ารังสีอาทิตย์ต่ำสุดที่วัดได้เท่ากับ 68.1 W/m^2 ณ เวลา 17.00 น.

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติด้านไฟฟ้า จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วง 8.00 - 13.30 น. มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามค่ารังสีอาทิตย์ โดยแผงที่ผลิตขึ้นมาสามารถให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 25.7 W พื้นที่ใต้เส้นกราฟใน จะมีค่าเท่ากับพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงสามารถผลิตได้ใน 1 วัน ซึ่งสำหรับวันที่ทำการทดลองสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้รวม 156.17 Wh/day เมื่อพิจารณา ณ เวลา 13.30 น. เป็นต้นไปค่ากำลังไฟฟ้าจะลดลงในอัตราที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการลดลงของค่ารังสีอาทิตย์ ทั้งนี้อันเนื่องมาจากเมื่อดวงอาทิตย์เปลี่ยนตำแหน่งหลังคาทรงจั่วที่ยื่นออกมาบริเวณนอกอาคารจะบังแสงอาทิตย์จึงส่งผลทำให้เกิดเงาขึ้นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ บริเวณด้านบนสุดทั้ง 5 แถว โดยเกิดเงาที่มีพื้นที่สูงสุดขึ้นเมื่อเวลา 14.15 น. คิดเป็นพื้นที่เงา 5.3% ของพื้นที่เซลล์ทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 8 ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการต่ออนุกรม ค่ากระแสไฟฟ้ารวมที่ได้จะเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าที่ต่ำสุดของเซลล์ที่ถูกการบังเงา



รูปที่ 7 ค่ารังสีอาทิตย์และกำลังไฟฟ้าที่วัดได้ ณ ช่วงเวลาต่างๆภายใน 1 วัน





รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงและกำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบใน 1 วัน

รูปที่ 9 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงและกำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบ จากกราฟพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และกำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบแปรผันตรงอยู่ 2 ช่วง คือช่วงที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำ ซึ่งตรงกับช่วงเวลาประมาณ 16.00 - 17.00 น. และช่วงที่มีความเข้มแสงอาทิตย์สูงที่ตรงกับช่วงเวลาประมาณ 8.00 - 13.00 น.แต่ ณ ช่วงเวลา 13.30 - 16.00 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรนี้เบี่ยงเบนไปจากแนวเส้นตรง ซึ่งเมื่อพิจารณาเทียบกับรูปที่ 7 และ 8 พบว่า ณ ช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาการเกิดเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากส่วนยื่นของหลังคา โดยค่าความชันของรูปที่ 9 จะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และกำลังแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ ซึ่งค่านี้ก็คือประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งวัน สำหรับแผงที่ทำการทดสอบนี้จะมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 9.8% ซึ่งค่าประสิทธิภาพนี้พบว่ายังมีค่าน้อยกว่าค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิกอนแบบสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปอยู่ประมาณ 3-5% เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตแผงไม่ได้เป็นไปตามมาตรฐานของโรงงานผลิตขนาดใหญ่ เช่น ไม่มีส่วนที่ป้องกันความชื้นเข้าสู่แผง ไม่มีการตรวจสอบสมบัติด้านไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์อย่างถูกต้องทำให้เกิดการสูญเสียกระแสไฟฟ้าเนื่องจากการต่ออนุกรม (Mismatch) การบัดกรีเชื่อมเซลล์ รวมถึงลักษณะของกระจกที่ไม่สามารถป้องกันความร้อน ปัจจัยเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นผลทำให้มีประสิทธิภาพต่ำกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกรวมแบบทั่วไป

ตารางที่ 4 ค่ารังสีอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน

สภาพอากาศ	ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ย (W/m^2)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (Wh/day)	ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)
เมฆเต็มท้องฟ้า	186.3	60.0	10.5
เมฆบางส่วน	265.0	83.98	8.5
ท้องฟ้าโปร่ง	583.6	153.7	9.8

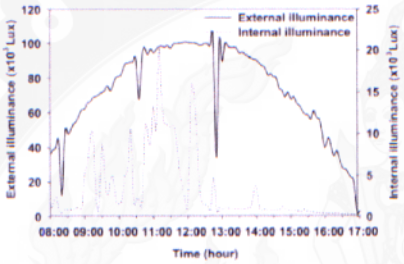
จากการวิเคราะห์เพิ่มเติมพบว่าสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงที่สร้างขึ้นยังขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ เมื่อพิจารณาผลทางด้านไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยในแต่ละวันจำแนกตามลักษณะสภาพอากาศคือ วันที่มีเมฆเต็มท้องฟ้า วันที่มีเมฆบางส่วน และวันที่ท้องฟ้าโปร่งสามารถแสดงได้ในตารางที่ 4 จากตารางพบว่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงจะมีค่าประมาณ 8.5-10.5% โดยสภาพอากาศไม่ได้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพมากนัก แต่เมื่อพิจารณาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 วันพบว่าในวันที่ท้องฟ้าโปร่งจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด 153.7 Wh ซึ่งมีค่าสูงกว่าในวันที่มีเมฆบางส่วนและวันที่เมฆเต็มท้องฟ้าประมาณ 2 และ 2.5 เท่าตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ต่อพื้นที่ติดตั้งพบว่ามีค่าเท่ากับ 366 Wh/m^2 ดังนั้นทุกๆ 1 หน่วยไฟฟ้า (kWh) ที่ผลิตได้จะต้องมีพื้นที่ผนังอาคารสำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงนี้เท่ากับ 2.73 m^2 ซึ่งเมื่อเทียบกับการติดตั้งแผงชนิดเดียวกันบนหลังคาด้านทิศใต้พบว่าจะใช้พื้นที่หลังคาเพียง 1.29 m^2 ซึ่งความแตกต่างของพื้นที่สำหรับติดตั้งนี้มาจากปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบหลังคามีค่ามากกว่าปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผนังในแนวตั้งฉาก

4.2 ผลทางด้านความสว่างของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงตรงตำแหน่งหน้าต่าง

ลักษณะสำคัญของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งโปร่งแสงคือยอมให้แสงสว่างจากธรรมชาติทะลุผ่านเข้าไปยังตัวอาคารได้ ซึ่งความส่องสว่างภายในจะขึ้นอยู่กับความส่องสว่างภายนอกที่เป็นผลโดยตรงมาจากค่ารังสีอาทิตย์

รูปที่ 10 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบความส่องสว่างภายนอก (External) และภายใน (Internal) อาคารแบบจำลอง ซึ่ง

ความส่องสว่างภายนอกอาคารในวันที่ทำการทดสอบมีค่าอยู่ระหว่าง 3,000-100,000 Lux และความส่องสว่างภายในอาคารมีผลมาจากทั้งความส่องสว่างภายนอกรวมถึงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากการวางตำแหน่งหน่วยวัดความสว่าง 5 จุด คือบริเวณด้านหน้า 2 จุด จุดกึ่งกลาง 1 จุด และด้านหลัง 2 จุด เพื่อหาค่าเฉลี่ยของความสว่างภายในห้องพบว่าความส่องสว่างภายในอาคารเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 200-20,000 Lux ซึ่งในการทดสอบบางช่วงเวลามีแสงอาทิตย์ทะลุผ่านช่องว่างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตกกระทบตรงกระทบกับเซ็นเซอร์วัดความสว่างโดยตรง จึงส่งผลทำให้ความส่องสว่างภายในห้องตามช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าสูงถึง 20,000 Lux



รูปที่ 10 ความส่องสว่างภายนอกและภายในอาคารในช่วงเวลาต่างๆ

จากกราฟความส่องสว่างภายในอาคาร (รูปที่ 10) พบว่าในช่วงเวลา 9.00-12.00 น. จะมีแสงอาทิตย์ส่องเข้ามามากทั้งบริเวณด้านหน้าและบริเวณจุดกึ่งกลางห้อง โดยรวมแล้วค่าความส่องสว่างภายในห้องเฉลี่ยต่ำสุดของวันมีค่าเท่ากับ 188 Lux ณ เวลา 17.00 น.

ในบางช่วงเวลาการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอจึงมีความจำเป็นต้องติดตั้งหลอดไฟฟ้าเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ค่าความส่องสว่างตามมาตรฐาน CIE แบ่งตามประเภทพื้นที่การใช้งานที่มีความต้องการความส่องสว่างแตกต่างกันไปเท่ากับ 300, 750, 1000, 1500 และ 2000 Lux จากการบันทึกข้อมูลใน 1 วัน เป็นเวลา 9 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลาที่มีความส่องสว่างน้อยกว่ามาตรฐานดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 30, 110, 255, 310 และ 355 นาที ตามลำดับ

การติดตั้งหลอดไฟฟ้าเพิ่มเติมเพื่อให้มีความส่องสว่างเพียงพอตามมาตรฐานจึงต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นตามไป ในการติดตั้งหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาดกำลังไฟฟ้า 36 W ที่มีประสิทธิภาพการส่องสว่างเท่ากับ 72.2 Lumen/W เพื่อเพิ่มความส่องสว่างของห้องที่มีความสูงของดวงโคมจากพื้นที่ทำงานเท่ากับ 1.4 m ค่าการสะท้อนแสงของผนังและเพดานเท่ากับ 10% ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์จากดวงโคม (CU) เท่ากับ 0.3 สามารถที่จะคำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าสุทธิต่อวันของอาคารจำลองที่ทำการทดสอบได้ เมื่อค่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิเป็นบวกจะหมายถึงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่ามากกว่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการใช้ แต่เมื่อค่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิเป็นลบจะหมายถึงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยกว่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการใช้ จึงต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากระบบภายนอก ตารางที่ 5 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิใน 1 วัน สำหรับกิจกรรมที่ต้องใช้ค่าความสว่างภายในห้องที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 5 การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างในพื้นที่ทำงานแตกต่างกัน

พื้นที่ใช้งาน	พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่าง (Wh/day)	พลังงานไฟฟ้าสุทธิ (Wh/day)
งานที่ใช้สายตาไม่มาก (300 Lux)	1.7	154.47
งานที่ใช้สายตามาก (750 Lux)	40.7	115.47
งานที่ใช้สายตามากๆ (1000 Lux)	91.8	64.37
งานที่ใช้สายตามากเป็นพิเศษ (1500 Lux)	241.2	-85.03
งานที่ใช้สายตาเพื่อการทำงานที่พิถีพิถัน (>2000 Lux)	408.5	-252.33

จากตารางจะพบว่ากรณีที่ต้องการความส่องสว่างน้อยกว่า 1,000 Lux ได้แก่ งานที่ใช้สายตาไม่มากเช่น งานที่เกี่ยวกับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ รายละเอียดน้อย และมองเห็นได้ชัดเจน มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างเท่ากับ 1.7 Wh/day งานที่ใช้สายตามาก เช่นงานที่เกี่ยวกับชิ้นงานที่มีขนาดปานกลาง รวมถึงการจำแนกสีของชิ้นงาน มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 40.7 Wh/day งานที่ใช้สายตามากๆ เช่น งานที่เกี่ยวกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและให้ความสำคัญกับการจำแนกรายละเอียดและสีของชิ้นงาน มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 91.8 Wh/day ในกรณีที่ห้องทดสอบต้องการความส่องสว่างมากกว่า 1,000 Lux ได้แก่ งานที่ใช้สายตามากเป็นพิเศษ และงานที่ใช้สายตาเพื่อการทำงานอย่างพิถีพิถัน เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กมากๆ และต้องการความแม่นยำสูง จะมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพื่อแสงสว่างเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ

เมื่อพิจารณาพลังงานไฟฟ้าสุทธิของอาคารซึ่งก็คือผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับแสงสว่างกับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งร่วมกับอาคาร พบว่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิมีค่าเป็นบวกต่อเมื่อต้องการความส่องสว่างน้อยกว่า 1,000 Lux เนื่องจากค่าความส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นเป็นเหตุให้ต้องติดตั้งหลอดไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 5 พบว่าแม้ว่าค่าความสว่างจะเพิ่มขึ้นเพียง 2.5 เท่า จาก 300 เป็น 750 Lux แต่ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นสูงถึง 20 เท่าจาก 1.7 เป็น 40.7 Wh/day ทั้งนี้เนื่องมาจากระยะเวลาต้องการค่าความส่องสว่างให้ได้ตามมาตรฐานมีระยะเวลานานกว่ามากแต่ยังคงมีพลังงานไฟฟ้าสุทธิเป็นบวก และเมื่อพิจารณาค่าความสว่างที่ 1,500 Lux พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างที่ต้องการย่อมเพิ่มขึ้นอีกทั้งระยะเวลาที่ต้องการไฟฟ้าส่องสว่างเพิ่มขึ้นทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าสุทธิมีค่าเป็นลบและต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากระบบภายนอก

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการประกอบและทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงสำหรับใช้ร่วมกับอาคารแบบจำลองที่หันไปทางทิศใต้เพื่อใช้ประโยชน์ทั้งด้านแสงสว่างและพลังงานไฟฟ้าพบว่าในวันที่ท้องฟ้าโปร่งมีค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบสูงสุด 765 W/m^2 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 25.7 W และคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าได้รวม 153.7 Wh/day ซึ่งมีค่าสูงกว่าในวันที่มีเมฆบางส่วนและวันที่เมฆเต็มท้องฟ้าประมาณ 2 และ 2.5 เท่าตามลำดับ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบขึ้น

จะมีประสิทธิภาพประมาณ 8.5-10.5% แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแทนหน้าต่างจะมีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าลดลงเนื่องจากการบังเงาของหลังคาอาคารหน้าจั่ว ในช่วงเวลา 13.30-16.00 น. โดยพื้นที่ของเงาสูงสุดมีค่าเท่ากับ 5.3% ของพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงนี้จะให้ค่าเฉลี่ยของความสว่างภายในห้องมีค่าเท่ากับ 200-20,000 Lux โดยในกรณีที่ความส่องสว่างของพื้นที่การใช้งานต่างๆ ไม่เพียงพอตามมาตรฐาน สามารถทำการติดตั้งหลอดไฟฟ้าเพิ่มเติม ในกรณีที่ต้องการค่าความส่องสว่างน้อยกว่า 1,000 Lux ไม่มีความจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบภายนอกเพิ่มเติม ทำให้มีค่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิของอาคารเป็นบวก เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเพียงพอต่อความต้องการอีกทั้งยังเหลือพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำส่งขายให้กับโครงข่ายระบบไฟฟ้า ซึ่งความส่องสว่างดังกล่าวเหมาะสมกับการใช้งานในอาคารสำนักงาน ส่วนในช่วงเวลาที่มีค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติมากเกินความจำเป็นสามารถใช้อุปกรณ์บังแดดร่วมติดตั้งบริเวณหน้าต่างของอาคารเพื่อลดค่าความสว่างได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนทุนวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ) ประจำปีงบประมาณ 2559 โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา และขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

อ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,[ม.ป.ป.]. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตทดแทน. [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก :www.dede.go.th [5 ธันวาคม 2559].

[2] สุนันทา อักขระกิจ. อาคารต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์. [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก : techno.oas.psu.ac.th/ /default/files/file_attach/solar-cell.pdf [4 พฤศจิกายน 2558].

[3] Heinstein P., Ballif C. and Perret-Aebi L., 2013, "Building integrated photovoltaics (BIPV): review, potential, Barriers and myths]", Green [Electronic], Vol. 3, pp. 125-156, Available: De gruyter [2016, November 24].

[4] Zhang W., Lu L., Peng J. and Song A., 2016, "Comparison of the overall energy performance of semi-transparent photovoltaic windows and common energy-efficient windows in Hong Kong", Energy and buildings [Electronic], Vol. 128 pp. 511-518, Available: Science Direct [2016, November 26].

[5] Poh K.N., Mithraratne N. and Harn W.K., 2013. "Energy analysis of semi-transparent BIPV in Singapore buildings", Energy and Buildings [Electronic], Vol. 66 pp. 274-281, Available: Science Direct [2016, November 27].

[6] Global Sources.(n.d.). BIPV crystalline solar panel transparent. [online],Available;www.globalsources.com/ BIPV-crystalline-solar-panel-Transparent/ (2 January 2015).

[7] Keithley trektonics company. (n.d.). Electrical Characterization and Measurement. [online], Available; http://www.keithley.nl/solar_cell (8 February 2016).

[8] ชำนาญ ห่อเกียรติ. (2540),เทคนิคการส่องสว่าง. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 4

[9] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2553). คู่มือผู้รับผิดชอบพลังงาน (อาคาร).[ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก :www.dede.go.thhttp://www2.dede.go.th/bhrd/old/file_handbook.html [13 ธันวาคม 2559].

[10] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. (2545). การออกแบบระบบแสงสว่าง. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์บริษัทแสงมิตรกรุ๊ป, หน้า 210

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2550. **คู่มือมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www2.dede.go.th/km_berc/menu4.html (3 กุมภาพันธ์ 2559).

_____. 2554. **หลักสูตรเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์**.

_____. 2558. **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579**.

_____. [ม.ป.ป.]. **ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์**. กระทรวงพลังงาน.

กฤษณะพันธ์ ตันเจริญรัตน์. 2557. **การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานกระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งใสร่วมกับการออกแบบช่องแสงด้านบนสำหรับโถงอาคาร**. ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2550. **เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm (18 เมษายน 2560).

ชนกนันท์ เสนาธรรม. 2557. **เครื่องวัด I-V Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์**. ปริญญานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพายัพ.

บริษัท ไทยเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด. 2558. **การใช้แสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.thaiengineering.com/2015/index.php/download/item/524-daylight-use-buildings (3 กุมภาพันธ์ 2559).

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. 2543. **การออกแบบระบบแสงสว่าง**. กรุงเทพฯ: แสงมิตรกรุ๊ป.

มนตรี เงาเดช. 2558. **เอกสารประกอบการสอน รายวิชาออกแบบระบบไฟและแสงสว่าง บทที่ 2: หน่วยและศัพท์การวัดแสง**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่.

วิรัช มณีสาร. 2538. **ลักษณะภูมิประเทศและลักษณะอากาศตามฤดูกาลของภาคต่างๆ ในประเทศไทย**. เอกสารวิชาการเลขที่ 551.582-02-2538.

ศิริชัย ธนทิตย์. 2559. **การออกแบบแสงสว่าง**. เชียงใหม่: โชตนาพริ้นท์.

ศุลี บรรจงจิตร. 2538. **วิศวกรรมการส่องสว่าง**. ซีเอ็ดยูเคชั่น กรุงเทพฯ.

สันติ มั่นคง. 2555. **การศึกษาการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อปรับปรุงกำลังไฟฟ้าสูงสุดในอุตสาหกรรมประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน. 2553. **อาคารต้นแบบอนุรักษ์พลังงานจากแสงอาทิตย์**.

สุนทร บุญญาธิการ. 2538. **เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย.

เสริม จันทร์ฉาย. 2557. **รังสีอาทิตย์ (Solar radiation)**. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

Aperam. 2012. **Sustainability Award for its SolarStyl solution**. [online]. Available http://www.aperam.com/news/37/635/Aperam-receives-ISSF-Sustainability-Award-for-its-SolarStyl-solution (2 May 2017). [Online].

Beeson, S. & Mayer, J. W. 2008. **Pattern of Light Chasing the Spectrum from Aristotle to LEDs**. [online]. Available http://www.springer.com/gp/book/9780387751061 (2 February 2016).

DH Gate. (n.d.). **Solar cell for DIY solar panel**. [online]. Available http://www.dhgate.com/product/solar-cell-for-diy-solar-panel/197365463.html (2 January 2016).

Dupont. 2016. **Light Reflective Values of Corian® solid surface. In Technical Information for Fabricators, Designers & Architects**. USA.

Harrold, R. & Mennie, D. 2003. **A compendium of materials from the IESNA lighting handbook**. Newyork: lluminating Engineering Society of North America.

Huntsville Solar Works. (n.d.) **Difference between monocrystalline polycrystalline and Amorphous thin film solar cell?**. [online]. Available http://www.solarproductsstore.com/understanding-solar-equipment/ (2 January 2016).

Lenardic, D. 2015. **Transparent Solar Modules**. [online]. Available http://www.pvresources.com/en/bipv/transparent.php (4 Febuary 2016).

Li, D. H. W., Lam, T. N. T., Chan, W. W. H. & Mak, A. H. L. 2009. Energy and cost analysis of semi-transparent photovoltaic in office buildings. **Applied Energy**, 86(5), 722-729.

Lu, L. & Law, K. M. 2013. Overall energy performance of semi-transparent single-glazed photovoltaic (PV) window for a typical office in Hong Kong. **Renewable Energy**, 49, 250-254.

Mills, P. R., Tomkins, S. C. & JMSchlangen, L. 2007. The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance. **Circadian Rhythms**, 5(2).

MIT Media Lab. 2012. **Solar masonry unit**. [online]. Available http://diymanu

facturing.mit.edu (2 January 2016).

Miyazaki, T., Akisawa, A. & Kashiwagi, T. 2005. Energy savings of office buildings by the use of semi-transparent solar cells for windows. **Renewable Energy**, 30(3), 281-304.

Ng, P. K., Mithraratne, N. & Kua, H. W. 2013. Energy analysis of semi-transparent BIPV in Singapore buildings. **Energy and Buildings**, 66, 274-281.

Park, K. E., Kang, G. H., Kim, H. I., Yu, G. J. & Kim, J. T. 2010. Analysis of thermal and electrical performance of semi-transparent photovoltaic (PV) module. **Energy**, 35(6), 2681-2687.

Pysch, D., Mette, A. & Glunz, S. W. 2007. A review and comparison of different methods to determine the series resistance of solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 91(18), 1698-1706.

Shukla, A. K., Sudhakar, K. & Baredar, P. 2017. Recent advancement in BIPV product technologies: A review. **Energy and Buildings**, 140, 188-195.

Van Dyk, E. E. & Meyer, E. L. 2004. Analysis of the effect of parasitic resistances on the performance of photovoltaic modules. **Renewable Energy**, 29(3), 333-344.

Xu, S., Liao, W., Huang, J. & Kang, J. 2014. Optimal PV cell coverage ratio for semi-transparent photovoltaics on office building façades in central China. **Energy and Buildings**, 77, 130-138.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	ปิยะวัชร์ แข่งขัน	
เกิดเมื่อ	17/04/2536	
ประวัติการศึกษา	2554	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสรรพวิทยาคม จังหวัดตาก
	2558	ปริญญาตรีสาขาพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่