

การประเมินสมรรถนะเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้อุปกรณ์สะท้อน และติดตามรังสีอาทิตย์แกนเดียว

Performance Evaluation of Solar Module Using Single Axis Tracking and Solar Reflector

ยุทธนา ทองท้วม นิพนธ์ เกตุจ้อย *

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000
โทร 055 96 3188 โทรสาร 055 96 3188 E-mail: niponk@nu.ac.th

Yuttana Tongtuam Nipon Ketjoy *

School of Renewable Energy Technology, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand

Tel: 055 96 3188 Fax: 055 96 3188 E-mail: niponk@nu.ac.th.

* Corresponding author: niponk@nu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินเบื้องต้นสำหรับการเลือกใช้เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์สะท้อนรังสีเคลื่อนตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียวในแนวตะวันออกไปตะวันตกเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งประเมินด้วยสมการทางคณิตศาสตร์จากความสัมพันธ์ที่ได้จากการเก็บข้อมูลในช่วงปี 2550 ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อทำนายค่าพลังงานที่ได้เนื่องจากค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิแผงเซลล์ ผลการวิเคราะห์พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอนสามารถผลิตพลังงานตลอดปีได้มากกว่าชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนประมาณ 84.2 เปอร์เซ็นต์ ที่ขนาดพื้นที่เท่ากัน แต่น้อยกว่าประมาณ 6.6 เปอร์เซ็นต์ ที่กำลังติดตั้งสูงสุด และเมื่อเลือกใช้แผ่นสะท้อนรังสีที่มีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ 90 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับอุปกรณ์เคลื่อนตามดวงอาทิตย์แกนเดียว สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าตลอดปีได้มากกว่าการที่ไม่ใช้แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : สมรรถนะ / แผงเซลล์แสงอาทิตย์ / แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ / ระบบติดตามรังสีอาทิตย์แกนเดียว

Abstract

This study has been conducted with the objective to select a solar cell technology that installation with a reflector and a single axis tracking from east to west direction for produce the electrical energy. The method of simulations used math model from data collection at SERT, Naresuan University in 2007. The results of

this study revealed that Poly crystalline silicon technology had the yield all year higher by 84.2% than Amorphous silicon technology for the same sizing area but lower by 6.6% than the peak power installation. After that the same technologies used 90% of reflectance value of reflector, the solar module tracking system with the reflector had the yield all year higher by 25% than solar module tracking system with out reflector.

Key words : Performance / Solar module / Solar reflector / Single axis tracking system

1. ที่มาและปัญหา

ปัจจุบันการลงทุนในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานทดแทนด้วยเซลล์แสงอาทิตย์นั้น มีต้นทุนที่ยังคงสูงมาก การเพิ่มประสิทธิภาพจะสามารถทำให้การคืนทุนได้เร็วขึ้น มีผลกำไรที่มากขึ้น และจุดจบการลงทุน ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการลดการใช้พลังงานจากถ่านหิน

เนื่องด้วยเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้งานได้ดีกับสภาพอากาศในเขตอุณหภูมิต่ำและท้องฟ้ากระจ่าง ซึ่งต่างจากประเทศไทยที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง จึงมีผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจึงลดลงตามไปด้วย การใช้เทคนิครวมรังสีอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้วยแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์เป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ แต่ก็เน้นย้ำถึงปัญหาการเพิ่มความร้อนให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์สะท้อนรังสี

เคลื่อนตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียวในแนวตะวันออกไปตะวันตก ทำการทดสอบในประเด็นของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเนื่องด้วยรังสีอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นจากการกำหนดค่าการสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ และประเมินสมรรถนะของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอนเทียบกับเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอนที่มีผลกระทบเนื่องจากอุณหภูมิแผงเซลล์น้อยกว่า ด้วยวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่อาศัยฐานข้อมูลและการทดสอบจริง

2. การประเมินสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.1 การประมาณค่ารังสีแสงอาทิตย์บนระนาบเอียง

สำหรับการประเมินสมรรถนะจำเป็นต้องใช้ข้อมูลรังสีอาทิตย์ตรง และรังสีอาทิตย์รวมบนระนาบเอียงในการคำนวณ ทั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบและรังสีกระจายในพื้นที่เขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีตำแหน่งลัทติจูดที่ 14 องศาเหนือ จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [4] ประกอบการคำนวณซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณค่าดังนี้

องค์ประกอบรังสีตรง (Beam radiation component)

ประมาณได้จากสมการ [2] ดังนี้

$$R_b = \cos \theta / \cos \theta_z \quad (1)$$

$$\cos \theta = \sin \delta \sin(\theta - \beta) + \cos \delta \cos \omega \cos(\phi - \beta) \quad (2)$$

$$\cos \theta_z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \quad (3)$$

องค์ประกอบรังสีกระจาย (Diffuse radiation components)

ประมาณได้จากสมการ [2] ดังนี้

$$R_d = (1 + \cos \beta) / 2 \quad (4)$$

องค์ประกอบรังสีสะท้อนจากพื้นดิน (Reflected radiation falling on the tilted surface)

ประมาณได้จากสมการ [2] ดังนี้

$$R_r = \rho(1 - \cos \beta) / 2 \quad (5)$$

กำหนด $\rho = 0.2$ เป็นกรณีปกติในบริเวณพื้นคอนกรีตหรือพื้นหญ้า

ค่ารังสีอาทิตย์รวมบนระนาบเอียง (Total radiation on tilted surface)

ประมาณได้จากสมการ [2] ดังนี้

$$I_{to} = I_b R_b + I_d R_d + (I_b + I_d) R_r \quad (6)$$

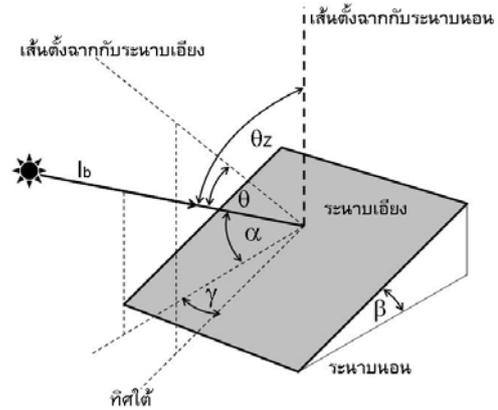
$$= I_g [(1 - (I_d / I_g)) R_b + (I_d / I_g) R_d + R_r] \quad (7)$$

2.2 การกำหนดทิศทางรังสีแสงอาทิตย์

ในกรณีที่ใช้ระบบติดตามรังสีอาทิตย์แบบแกนเดียวแนวตะวันออกไปตะวันตก จะอาศัยสมการ [2] ดังนี้

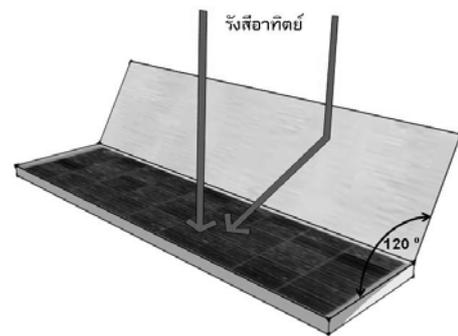
$$\cos \theta = (1 - \cos^2 \alpha \sin^2 \gamma)^{1/2} \quad (8)$$

ซึ่งมีผลให้ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นเอียงมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับระบบติดตามแบบสองแกน หรือ $\cos \theta = 1$ เสมอ



รูปที่ 1 แสดงมุมสำคัญที่ใช้ในการคำนวณค่า

และพิจารณาการตกกระทบของรังสีแสงอาทิตย์บนแผงสะท้อนรังสีอาทิตย์ ซึ่งทำมุมระหว่างกันเป็น 120 องศา ทั้งนี้เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รับรังสีสะท้อนได้มากที่สุด



รูปที่ 2 แสดงลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะ

2.3 ขั้นตอนและวิธีการศึกษา

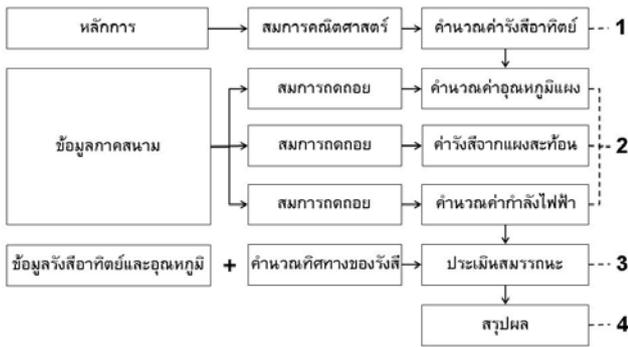
สำหรับกระบวนการศึกษาเพื่อประเมินสมรรถนะมี 4 ขั้นตอนดังนี้คือ

ขั้นแรก ดำเนินการประมาณค่ารังสีตรง และรังสีสะท้อนจากพื้นดินด้วยสมการที่ (6) และ (7) ด้วยฐานข้อมูลรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบและรังสีอาทิตย์กระจาย แล้วนำไปประเมินค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีที่ใช้แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 และกรณีไม่มีแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์

ขั้นที่สอง ทำการสร้างสมการถดถอยจากการเก็บภาคสนามตลอดปี 2550 เพื่อทำนายค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอนและเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอน และทดสอบค่าการสะท้อนรังสีของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ตัวอย่าง

ขั้นที่สาม ทำการประมวลผลเพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดปี

ขั้นสุดท้าย ทำการเปรียบเทียบและประเมินผล

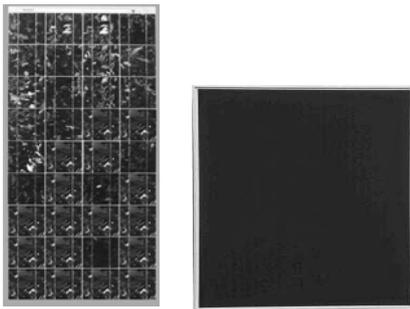


รูปที่ 3 แสดงกระบวนการศึกษาเพื่อประเมินค่าสมรรถนะ

2.4 รายละเอียดเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์

ในการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะได้ทำการเก็บข้อมูลจากการติดตั้งใช้งานจริงบริเวณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ในช่วงปี 2550 มีรายละเอียดดังนี้

เทคโนโลยี	ผลึกรวมซิลิคอน	อะมอร์ฟิซิลิคอน
ขนาดแผง	0.64 m ²	0.85 m ²
กำลังติดตั้ง	80 W	54 W
ประสิทธิภาพ	13-16 %	5-8 %



รูปที่ 3 แสดงแผงเซลล์แบบผลึกรวมซิลิคอนและอะมอร์ฟิซิลิคอน

2.5 อุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลภาคสนาม

ในการสร้างสมการเพื่อประเมินค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ แบ่งการเก็บข้อมูลเป็น 2 ส่วน คือ

ตารางที่ 1 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

Pyranometer	Spectroradiometer	Data logger
		
เก็บค่ารังสีอาทิตย์	เก็บค่าสเปกตรัมรังสีอาทิตย์	เก็บข้อมูลอัตโนมัติจากสายสัญญาณ

ส่วนแรก ทำการเก็บข้อมูลรังสีอาทิตย์ด้วยอุปกรณ์ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิแผง กระแสไฟฟ้า และ

แรงดันไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิแผงเซลล์และประสิทธิภาพของแผงเซลล์

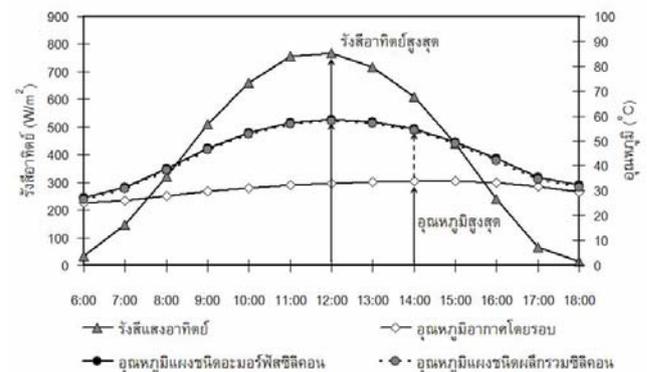
ส่วนที่ 2 ทำการเก็บข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ ด้วยอุปกรณ์สเปกโตรเรดิโอมิเตอร์ (Spectroradiometer) ในการสะท้อนรังสีแสงสู่แผงเซลล์แสงอาทิตย์

3. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทำนายพลังงานไฟฟ้า

การวิเคราะห์แยกออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของการทำนายค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ เพื่อหาค่าอุณหภูมิแผงที่สูงขึ้นเมื่อได้รับรังสีแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น ส่วนของการสะท้อนรังสีอาทิตย์จากแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ลงสู่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และส่วนของการทำนายค่ากำลังไฟฟ้าเมื่อแผงเซลล์มีอุณหภูมิสูงขึ้น

3.1 การทำนายค่าอุณหภูมิแผงเซลล์

ในการทำนายค่าอุณหภูมิแผงเซลล์พบความสัมพันธ์เนื่องจากค่ารังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศโดยรอบตั้งรูปที่ 4 สังเกตได้ว่าอุณหภูมิแผงสอดคล้องไปในทางเดียวกันกับค่ารังสีอาทิตย์ แต่จะลดลงในอัตราที่ช้ากว่าอันเนื่องมาจากการเก็บสะสมความร้อนในวัสดุ และอัตราการถ่ายเทความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมที่ช้ากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับในช่วงเช้า อันเนื่องจากอุณหภูมิอากาศโดยรอบที่สูงในช่วงบ่าย ซึ่งสูงขึ้นสูงสุดในช่วงประมาณ 14.00 น. และพบว่าค่าอุณหภูมิแผงอาจสูงขึ้นไปถึง 60 องศาเซลเซียส หรือกว่า 35 หน่วยจากอุณหภูมิมาตรฐาน (Standard Test Conditions) 25 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าลดลง



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของค่ารังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศโดยรอบ

ในการหาค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least squares) สร้างเป็นสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) สรุปเป็นสมการ คือ

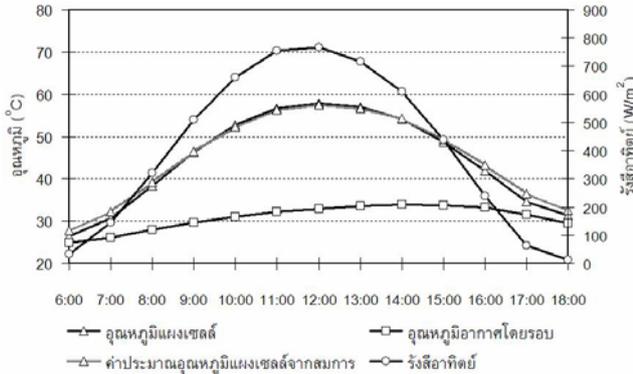
กรณีเทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอน

$$T_m = -2.8909 + 0.0277 I_{to} + 1.1880 T_{amb}, R^2 = 0.9445 \quad (8)$$

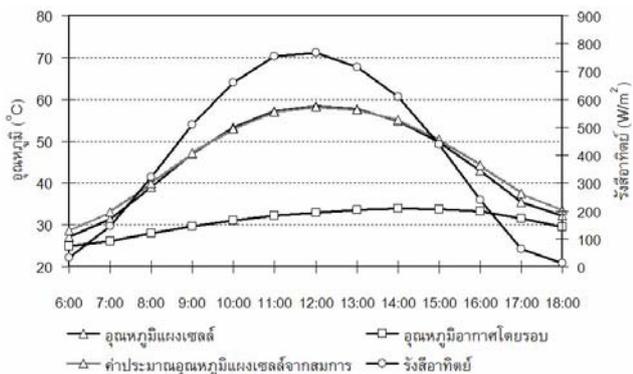
กรณีเทคโนโลยีอะมอร์ฟิซิลิคอน

$$T_m = -2.9564 + 0.0271 I_{to} + 1.2249 T_{amb}, R^2 = 0.9456 \quad (9)$$

จากรูปที่ 5 และ 6 เมื่อนำผลจากการทำนายเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการใช้งานจริงพบว่าสมการถดถอย (8) และ (9) ดังกล่าว สามารถทำนายค่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองเทคโนโลยีนั้นใช้ได้ดีในช่วง 8:00 – 16:00 น. และผิดพลาดเล็กน้อยที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำในช่วงเวลาเช้าและเย็น



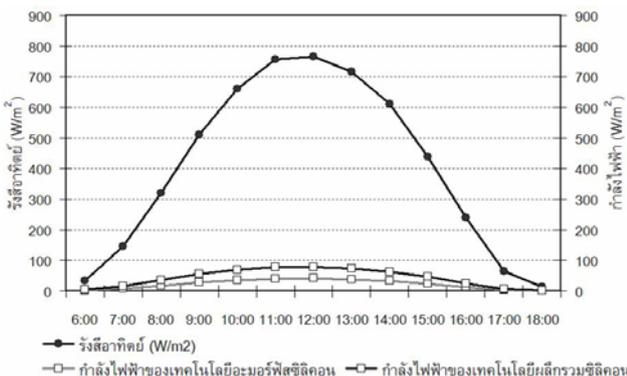
รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงเซลล์จริงและจากการทำนายกรณีเทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอน



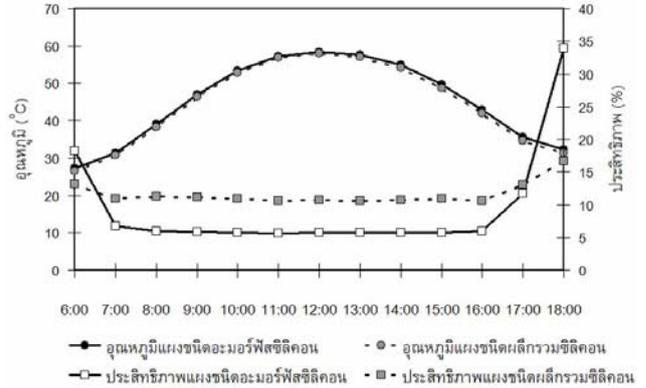
รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงเซลล์จริงและจากการทำนายกรณีเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอน

3.2 การทำนายค่ากำลังไฟฟ้า

ในส่วนของการทำนายค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ จะพิจารณาปัจจัยของอุณหภูมิแผงเซลล์ร่วมด้วย ทั้งนี้เมื่อแผงเซลล์ได้รับค่ารังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นก็ย่อมส่งผลต่อประสิทธิภาพที่ลดลงด้วย



รูปที่ 7 แสดงค่ารังสีอาทิตย์และกำลังที่ผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการพิจารณาการเพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิแผงเซลล์กับค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์ดังรูปที่ 7 และ 8 ในแต่ละช่วงเวลา พบว่ากรณีที่ค่ารังสีอาทิตย์ต่ำ ซึ่งเป็นช่วงเวลาเช้าและเวลาเย็นของวัน แผงเซลล์จะมีประสิทธิภาพสูง และลดลงเมื่อค่ารังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งจะมีประสิทธิภาพคงตัวทั้งสองเทคโนโลยี



รูปที่ 8 แสดงค่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์และประสิทธิภาพ

ในการหาค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด จึงแยกพิจารณาเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงก่อน 8.00 น. ช่วง 8.00 – 16.00 น. และช่วงหลัง 16.00 น. สร้างเป็นสมการถดถอยเชิงเส้น คือกรณีเทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอน

$$Pa = -2.2928 + 0.1052 I_{to} + 0.0917 T_m, R^2 = 0.9729 \quad (10)$$

$$Pb = 5.3740 + 0.1020 I_{to} + -0.0525 T_m, R^2 = 0.9420 \quad (11)$$

$$Pc = 14.3674 + 0.0727 I_{to} + 0.4846 T_m, R^2 = 0.8359 \quad (12)$$

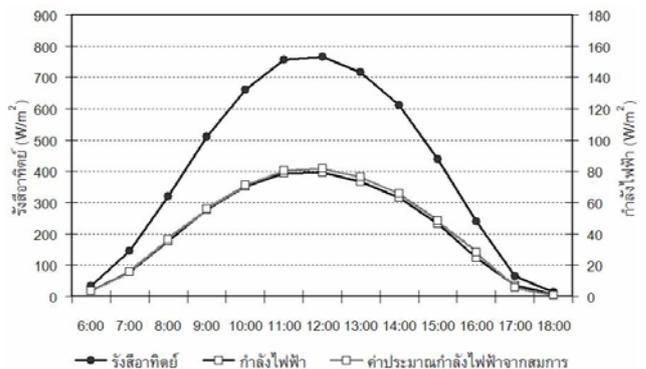
กรณีเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอน

$$Pa = -3.3900 + 0.0482 I_{to} + 0.1791 T_m, R^2 = 0.9619 \quad (13)$$

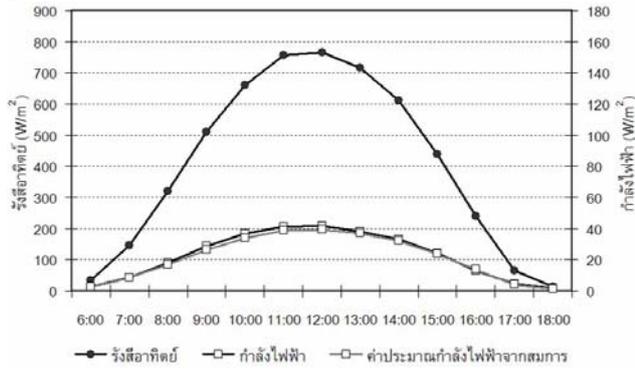
$$Pb = -3.7924 + 0.0486 I_{to} + 0.1866 T_m, R^2 = 0.9244 \quad (14)$$

$$Pc = -5.5009 + 0.0367 I_{to} + 0.2217 T_m, R^2 = 0.8615 \quad (15)$$

เมื่อนำมาทดสอบการทำนายค่าพบว่าสำหรับกรณีเทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอนคำนวณได้มากกว่าประมาณ 2.66 เปอร์เซ็นต์ และกรณีเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอนคำนวณได้น้อยกว่าประมาณ 4.09 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 9 แสดงค่าจากการทำนาย กรณีเทคโนโลยีผลิกรวมซิลิคอน



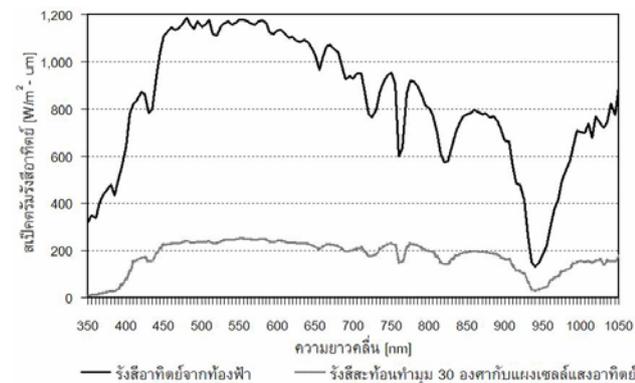
รูปที่ 10 แสดงค่าจากการทำนาย กรณีเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอน

จากรูปที่ 9 และ 10 เมื่อนำผลจากการทำนายเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการใช้งานจริงพบว่าสมการถดถอย (10) ถึง (15) ดังกล่าวสามารถทำนายกำลังไฟฟ้าเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองเทคโนโลยีนั้นใช้ได้

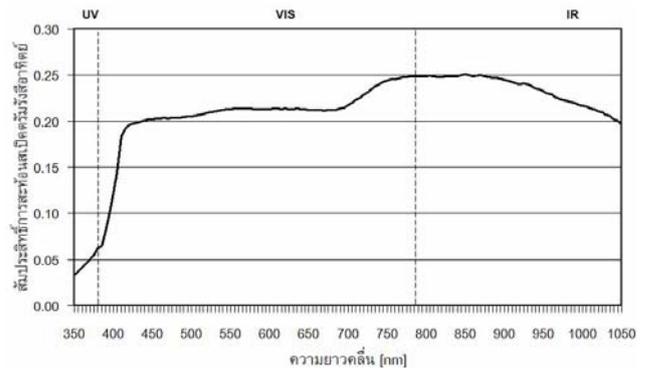
3.3 การประมาณค่าการสะท้อนจากแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์

จากการเก็บตัวอย่างข้อมูลสเปกตรัมของรังสีอาทิตย์จากท้องฟ้ากับรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนจากแผ่นโลหะเคลือบสีน้ำมันที่ทำมุม 120 องศา กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือ 60 องศา กับแนวตั้งฉากกับรังสีอาทิตย์ตรง วัดค่ารังสีอาทิตย์จากท้องฟ้าเฉลี่ยได้ 583.9 วัตต์ต่อตารางเมตร และค่ารังสีอาทิตย์ที่สะท้อนจากแผ่นโลหะเฉลี่ยได้ 137.6 วัตต์ต่อตารางเมตร พบว่ามีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ 23.6 เปอร์เซ็นต์ ค่ารังสีอาทิตย์ที่สะท้อนจากแผ่นโลหะเอียงทำมุม 30 องศา กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยได้ 124.5 วัตต์ต่อตารางเมตร พบว่ามีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ในมุมเอียงเป็น 21.3 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เปรียบเทียบในช่วงความยาวคลื่น 350 - 1,050 นาโนเมตร หรือมีความสามารถสะท้อนได้ประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อตกลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวตั้งฉากแล้วอาจลดลงอยู่ที่ 10.7 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นในการประมาณการค่ารังสีตกกระทบบนแผ่นสะท้อนรังสีต้องลดทอนด้วยค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์และการทำมุมของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์



รูปที่ 11 แสดงค่าสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่เก็บวัดได้



รูปที่ 12 แสดงสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของตัวอย่างทดสอบ

จากรูปที่ 11 และ 12 แสดงให้เห็นว่าแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์จะสะท้อนได้ดีในช่วงรังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) และไม่ดีนักในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet radiation) มีผลต่อการเพิ่มความร้อนให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพลดลง

3.4 การประมาณค่าสมรรถนะระบบตามมาตรฐาน IEC 61724

การประเมินสมรรถนะทางเทคนิคของระบบดังกล่าวจะอ้างอิงจากมาตรฐาน International Energy Agency Implement on Photovoltaic Power Systems operational Performance of PV Systems and Subsystems (IEA PVPS Task 2) ซึ่งมีสมการ [1] คือ

$$PR = Yf / Yr \tag{16}$$

$$Yr = Hi / G-STC \tag{17}$$

$$Yf = E-PV / Po \tag{18}$$

$$Ya = Ea / Po \tag{19}$$

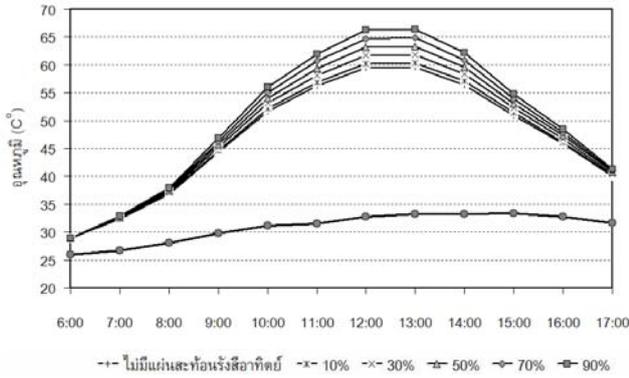
สำหรับการศึกษานี้พิจารณาในเดือนมิถุนายนที่พลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด ไม่สูญเสียพลังงานในระบบ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับรังสีจากแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

4. ผลการศึกษา

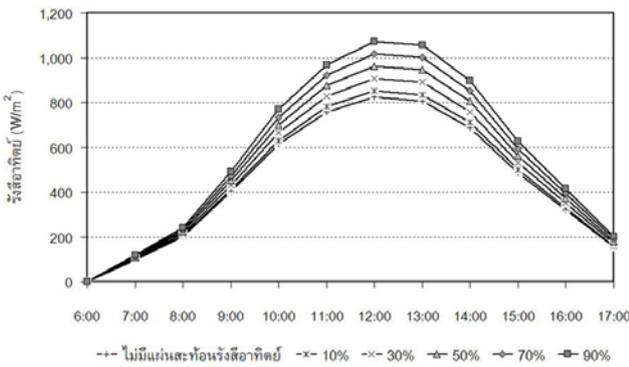
เมื่อทำการประเมินด้วยสมการที่ได้กับฐานข้อมูลรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [4] ในพื้นที่เขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีตำแหน่งลัดติจูดที่ 14 องศาเหนือ ได้ผลดังนี้

4.1 อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์

พบว่าเมื่อการใช้แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์และเพิ่มค่าการสะท้อนรังสีของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ เป็น 10% 30% 50% 70% และ 90% มีผลให้อุณหภูมิแผงเพิ่มขึ้นอีกกว่า 7 องศา และรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นอีกกว่า 300 วัตต์ต่อตารางเมตร ในช่วงเดือนมีนาคมที่ให้ค่าสูงสุด ดังรูปที่ 13 และ 14



รูปที่ 13 แสดงค่าอุณหภูมิแผงเซลล์จากการทำนายเทียบกับอุณหภูมิอากาศโดยรอบในช่วงเดือนมีนาคม กรณีเทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอน

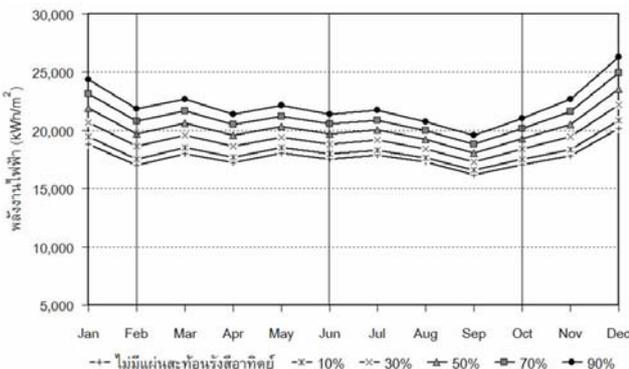


รูปที่ 14 แสดงค่ารังสีอาทิตย์บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการทำนายเทียบในช่วงเดือนมีนาคม

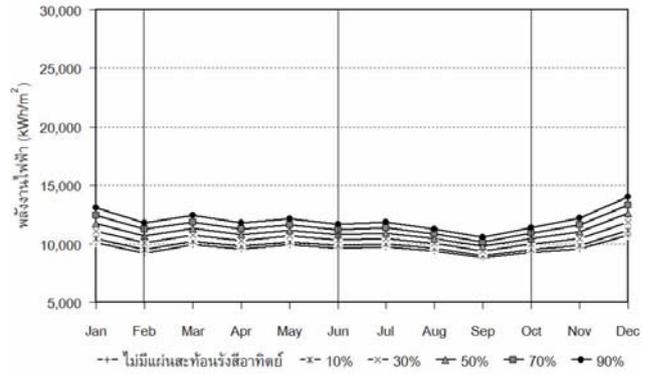
จากผลดังกล่าวอาจสรุปได้ว่าการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์มีผลให้สามารถเก็บรังสีอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นและเช่นกันกับอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นได้อย่างชัดเจน

4.2 พลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

พบว่าเมื่อทำการใช้แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีค่าการสะท้อนรังสีเป็น 10% 30% 50% 70% และ 90% มีผลให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 4,400 และ 2,300 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อเดือน สำหรับเทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอนและ เทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอนตามลำดับ ดังรูปที่ 15 และ 16



รูปที่ 15 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้า กรณีเทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอน

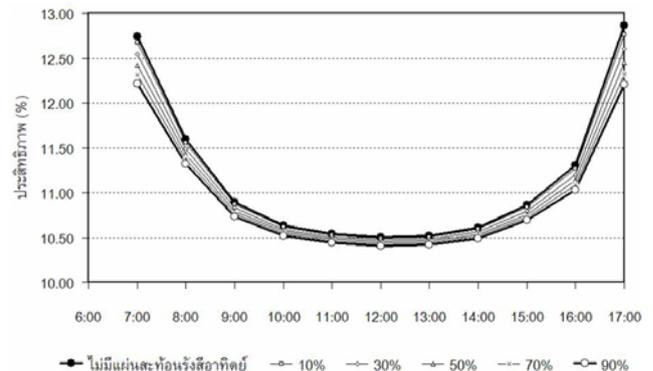


รูปที่ 16 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้า กรณีเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอน

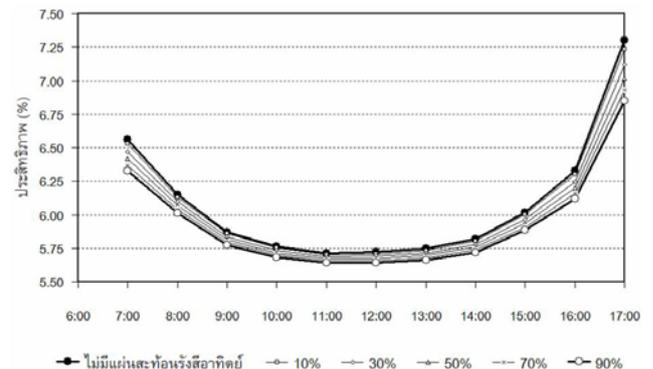
จากผลดังกล่าวอาจสรุปได้ว่ากรณีเทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอนจะเห็นความแตกต่างที่ชัดเจนเมื่อปรับการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ และสามารถผลิตพลังงานได้มากกว่ากรณีเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอนที่พื้นที่แผงเท่ากัน

4.3 ประสิทธิภาพของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์

พบว่าเมื่อทำการใช้แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีค่าการสะท้อนรังสีเป็น 10% 30% 50% 70% และ 90% มีผลให้มีการลดลงของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยประมาณ 0.23 และ 0.15 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอนและ เทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอนตามลำดับ ดังรูปที่ 17 และ 18



รูปที่ 17 แสดงค่าประสิทธิภาพ กรณีเทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอน

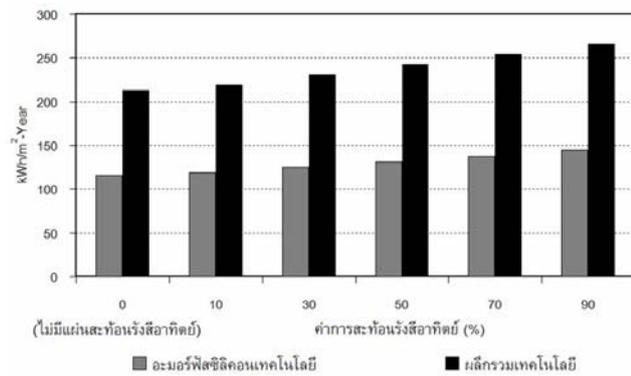


รูปที่ 18 แสดงค่าประสิทธิภาพ กรณีเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอน

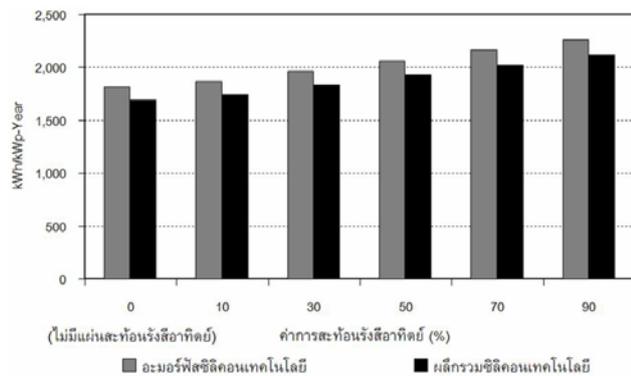
จากผลดังกล่าวอาจสรุปได้ว่ากรณีที่อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นก็มีผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมลดลงตามสัดส่วนเช่นกัน โดยที่เทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอนจะมีการลดลงของประสิทธิภาพน้อยกว่า

4.4 สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์

พบว่าการประเมินสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีที่ใช้พื้นที่แผงเท่ากันในการผลิตกระแสไฟฟ้า เทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอนสามารถผลิตได้มากกว่าเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอนประมาณ 84.2 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 19 และเมื่อเปรียบเทียบกันที่กำลังติดตั้งเท่ากันแล้ว เทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอนสามารถผลิตได้น้อยกว่าเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอนประมาณ 6.6 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 20



รูปที่ 19 แสดงการผลิตพลังงานต่อพื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์



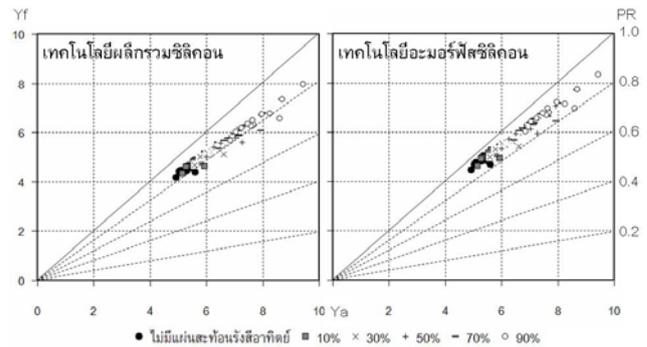
รูปที่ 20 แสดงการผลิตพลังงานต่อกำลังติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากผลดังกล่าวอาจสรุปได้ว่าเทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอนจะมีการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอนเมื่อใช้พื้นที่ติดตั้งเท่ากัน

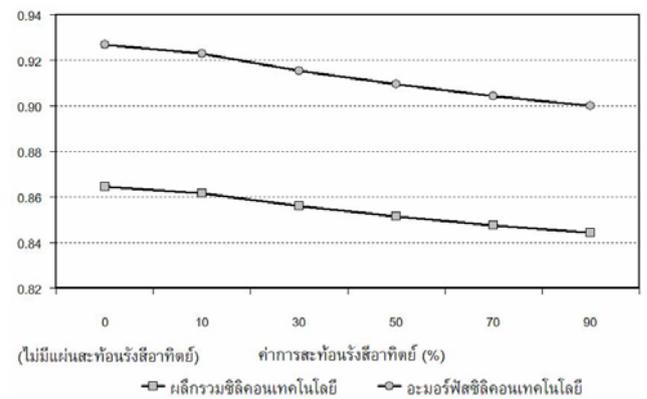
จากรูปที่ 21 พบว่าสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์รายวันของทั้งสองเทคโนโลยีอยู่ในช่วง 0.8 – 0.9 โดยที่เทคโนโลยีแบบอะมอร์ฟัสซิลิคอนจะสูงกว่าเล็กน้อยประมาณ 0.06 หรือประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงศักยภาพในการทำนายของสมการข้างต้นแล้ว ความแตกต่างจึงอาจจะไม่ชัดเจน หรืออาจประมาณได้ว่าทั้ง 2 เทคโนโลยีมีสมรรถนะที่ใกล้เคียงกันเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิแผงเซลล์ที่สูงขึ้น และจากรูปที่ 22 พบว่าสมรรถนะของทั้งสองเทคโนโลยีจะลดลงเมื่อมีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ในอัตราที่ใกล้เคียงกัน และลดลงมากขึ้นเมื่อค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์สูงขึ้น

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์สะท้อนรังสีอาทิตย์

ไม่มีอุปกรณ์สะท้อนรังสีอาทิตย์	มีอุปกรณ์สะท้อนรังสีอาทิตย์					
	10%	30%	50%	70%	90%	
เทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอน						
kWh/m ²	213	219	231	243	254	266
%	100	103	108	114	119	125
kWh/kWp	1694	1741	1835	1929	2022	2116
%	100	103	108	114	119	125
PR	0.86	0.86	0.86	0.846	0.85	0.85
เทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอน						
kWh/m ²	116	119	125	132	138	144
%	100	103	108	114	119	124
kWh/kWp	1816	1866	1964	2063	2162	2261
%	100	103	108	114	119	124
PR	0.93	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91



รูปที่ 21 แสดงสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กรณีเทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอนและเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอนรายวัน



รูปที่ 22 แสดงสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กรณีเทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอนและเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอนรายปี

จากผลดังกล่าวอาจสรุปได้ว่ากรณีที่ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ทำให้สามารถผลิตพลังงานได้มากขึ้น แต่ก็มีผลให้สมรรถนะลดลง

5. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์เคลื่อนตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียวในแนวตะวันออกไปตะวันตก สรุปได้ดังนี้

1) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตได้กับขนาดพื้นที่ติดตั้งแล้ว เทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอนใช้พื้นที่น้อยกว่า ซึ่งมีผลต่อการลงทุนด้านที่ดิน โครงสร้างพื้นฐานและการดูแลบำรุงรักษาที่น้อยกว่า เทคโนโลยีแบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน

2) พบว่าเทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอนและเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสซิลิคอนมีสมรรถนะในการผลิตพลังงานไฟฟ้าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น

3) พบว่าการใช้แผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ร่วมด้วย มีผลทำให้สามารถผลิตพลังงานได้มากขึ้นอีกประมาณ 24-25% แต่สมรรถนะลดลงเนื่องจากผลของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพลดลง

ดังนั้นจึงอาจพิจารณาได้ว่าเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์เคลื่อนตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียวในแนวตะวันออกไปตะวันตกพร้อมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ การเลือกใช้เทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอนอาจเหมาะสมกว่าในแง่ของขนาดพื้นที่ติดตั้งและการดูแลรักษา ส่วนในแง่ของกำลังติดตั้งซึ่งสะท้อนถึงราคาขายนั้นไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งในการศึกษาระดับปริญญาเอก โดยทุนสนับสนุนจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2551

7. สัญลักษณ์ที่ใช้

I_{to}	คือ	รังสีอาทิตย์รวมบนระนาบเอียง (W/m^2)
I_g	คือ	รังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบ (W/m^2)
I_b	คือ	รังสีอาทิตย์ตรง (W/m^2)
I_d	คือ	รังสีอาทิตย์กระจาย (W/m^2)
I_r	คือ	รังสีอาทิตย์สะท้อนจากพื้นดิน (W/m^2)
ρ	คือ	สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Albedo)
β	คือ	มุมเอียงของแผงเซลล์กับพื้นราบ (Slop : rad)
θ_z	คือ	มุมซันิท (Zenith angle : rad)
θ	คือ	มุมอินซิเดนต์ (Incident angle : rad)
ϕ	คือ	มุมลัทิจูด (Latitude angle : rad)
δ	คือ	มุมเดคลิเนชัน (Declination angle : rad)
ω	คือ	มุมชั่วโมง (Hour angle : rad)
α	คือ	มุมอัลติจูด (Altitude angle : rad)
γ	คือ	มุมอซิมุท (Azimuth angle : rad)
T_m	คือ	อุณหภูมิแผงเซลล์ ($^{\circ}C$)
T_{amb}	คือ	อุณหภูมิอากาศโดยรอบ ($^{\circ}C$)
P_a	คือ	กำลังไฟฟ้าช่วงก่อน 8.00 น. (W)
P_b	คือ	กำลังไฟฟ้าช่วง 8.00 – 16.00 น. (W)
P_c	คือ	กำลังไฟฟ้าช่วงหลัง 16.00 น. (W)
P_o	คือ	กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)
H_i	คือ	พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิว

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m^2)

G-STC	คือ	ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐาน การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ STC ($1 kW/m^2$)
PR	คือ	สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio)
Yr	คือ	พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้งในทางทฤษฎี (kWh/kWp)
Yf	คือ	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานได้จริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)
Ya	คือ	พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้ง (kWh/kWp)
Ea	คือ	พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (kWh)
E-PV	คือ	พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้โดยภาระทางไฟฟ้า (kWh)

เอกสารอ้างอิง

- [2] International Energy Agency Implement on Photovoltaic Power Systems operational Performance of PV Systems and Subsystems (IEA PVPS Task 2)
- [2] Magal, B.S. **Solar power engineering**. New Delhi : McGraw-Hill, c1990.
- [3] Sterling, VA. **Planning and installing photovoltaic systems : a guide for installers, architects and engineers**. London: Earthscan, c2008.
- [4] พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. **คู่มือข้อมูลมาตรฐานด้านภูมิอากาศและแสงอาทิตย์ สำหรับใช้งานด้านพลังงานทดแทน**. กรุงเทพฯ: บริษัท จิรัลริชด์ จำกัด, 2548.