



## รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การทดสอบประสิทธิภาพเพื่อหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมของแผงโซลาร์เซลล์ชนิด  
ใหม่แบบพับงอได้  
Efficiency test on a new type of flexible photovoltaic cells

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2554  
จำนวน 70,000 บาท

หัวหน้าโครงการ ดร.อักรินทร์ อินทนิเวศน์

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

20/09/2555

## คำนิยม

โครงการวิจัยเรื่องการทดสอบประสิทธิภาพเพื่อหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดใหม่แบบพับงอได้ (Efficiency test on a new type of flexible photovoltaic cells) ได้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2554 ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อนุเคราะห์เรื่องสถานที่ และอุปกรณ์บางอย่างที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

ผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยแม่โจ้  
๒๕๕๔  
ก ห อ ส ม จ

สารบัญเรื่อง

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	1
คำนำ	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	8
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
การตรวจเอกสาร	9
อุปกรณ์และวิธีการ	17
ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย	20
สรุปผลการวิจัย	30
เอกสารอ้างอิง	31

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	เปรียบเทียบคุณสมบัติของโซลาร์เซลล์ทั้งสามรุ่น	10
ตารางที่ 2	ค่าประสิทธิภาพสูงสุดของโซลาร์เซลล์แต่ละชนิด	12
ตารางที่ 3	คุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แบบ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	18
ตารางที่ 4	ความเข้มแสงเฉลี่ยของสภาพอากาศทั้งสามลักษณะ	21
ตารางที่ 5	กระแสและแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 4 แผง	23
ตารางที่ 6	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ ทั้ง 4 แผง	26
ตารางที่ 7	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ผลิตได้ใน 1 วัน สำหรับแผง โซลาร์เซลล์ทั้ง 4 แผง เมื่อทำงานที่สภาวะอากาศที่แตกต่างกัน	28
ตารางที่ 8	ประมาณการผลทางเศรษฐศาสตร์ (คิดผลของ 1 ปี)	29

## สารบัญญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละปี	2
ภาพที่ 2	สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต	2
รูปที่ 3	การทำนายปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานทางเลือก จากแหล่งต่างๆภายในปี ซึ่งมีค่ารวมเท่ากับ 204029 TWh จากค่าที่ความต้องการใช้จริงทั่วโลกเท่ากับ 36.346TWh	4 4
รูปที่ 4	แผนที่แสดงความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบประเทศไทย	4
รูปที่ 5	ซิลิกอน โซลาร์เซลล์ (a) แบบ โมดูล และ (b) แบบอาร์เรย์	5
รูปที่ 6	(a) ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากแผงซิลิกอน โซลาร์เซลล์ และ (b) แผงซิลิกอน โซลาร์เซลล์ที่แตกหักจากการใช้งาน	6
รูปที่ 7	(a) โซลาร์เซลล์แบบฟิล์มบาง CIGS [14] และ (b) โซลาร์เซลล์ แบบพอลิเมอร์	6
รูปที่ 8	ราคาเฉลี่ย (\$) ต่อวัตต์สำหรับแผงซิลิกอน โซลาร์เซลล์ที่กำหนด ตามห้องตลาด	7
รูปที่ 9	วิวัฒนาการของประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ชนิดต่างๆ ในระดับห้องทดลองจนถึงในปัจจุบัน ค่าที่ได้จากห้องทดลอง จะวัดที่ระดับความเข้มแสง $1000 \text{ W/m}^2$ (AM1.5) ที่อุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C}$	11
รูปที่ 10	การเกิดกระแสไฟฟ้าในโซลาร์เซลล์	13
รูปที่ 11	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าในโซลาร์เซลล์ (I-V characteristic) โดยที่ $I_{sc}$ คือกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short circuit current) $V_{oc}$ คือแรงดันวงจรเปิด (Open circuit voltage) $P_M$ คือจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด $I_{MP}$ คือ กระแสไฟฟ้า ณ จุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด และ $V_{MP}$ คือแรงดัน ไฟฟ้า ณ จุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด	13
รูปที่ 12	กราฟระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า (I – V curve) ที่ความเข้มแสงลดลง	16

		หน้า
รูปที่ 13	มุมที่รังสีจากดวงอาทิตย์กระทำกับเส้นแนวฉาก โดยที่ (a) $\theta = 0$ และ (b) $\theta \neq 0$	17
รูปที่ 14	(a) ลักษณะการติดตั้งแผง โซลาร์เซลล์แบบพิงอได้โดยมีการติดตั้ง เป็นลักษณะทรงจั่ว ทรงโค้ง และทรงลาดเอียงตรง และ (b) โซลาร์ เซลล์แบบเดิมติดตั้งแบบเฉียงตรง	17
รูปที่ 15	การวัดปริมาณแสงอาทิตย์ตกกระทบ	18
รูปที่ 16	การวัดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์	19
รูปที่ 17	การวัดกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	19
รูปที่ 18	การวัดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	20
รูปที่ 19	ความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบที่เวลาต่างๆ วัดที่บริเวณศูนย์ วิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เมื่อมีสภาพอากาศแตกต่างกัน 3 ลักษณะ คือ ไม่มีเมฆมีเมฆบางส่วน และมีเมฆมาก	20
รูปที่ 20	กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ ณ สภาวะการทำงานต่างๆ โดย ■ ติดตั้งแบบจั่ว ■ ติดตั้งแบบโค้ง ■ ติดตั้งแบบลาดเอียง และ ■ ติดตั้งแบบเดิม	22
รูปที่ 21	แรงดันไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ ณ สภาวะการทำงานต่างๆ โดย ■ ติดตั้งแบบจั่ว ■ ติดตั้งแบบโค้ง ■ ติดตั้งแบบลาดเอียง และ ■ ติดตั้ง แบบเดิม	22
รูปที่ 22	การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้ในวันไม่มีเมฆ เมื่อกำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบมีค่าเพิ่มขึ้นๆ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ แบบพิงอได้โดยติดตั้งแบบ (a) จั่วตามหลังคา, (b) โค้งตามหลังคา, (c) ลาดเอียงตามหลังคา และ (d) โซลาร์เซลล์แบบเดิมติดตั้งตามแนว ลาดเอียง	24
รูปที่ 23	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และกำลังแสงอาทิตย์ตก กระทบเปรียบเทียบระหว่างแผงโซลาร์เซลล์แบบพิงอได้ที่ติดตั้ง แบบจั่วตามหลังคา และแผงโซลาร์เซลล์แบบเดิมที่ติดตั้งตามแนว ลาดเอียงของหลังคา	25
รูปที่ 24	ประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 4 แผง	26

		หน้า
รูปที่ 25	ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ขณะทำงานที่อุณหภูมิต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างแผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้ที่ติดตั้งตาม แนวลาดเอียงกับแผงโซลาร์เซลล์แบบเดิมติดตั้งตามแนวลาดเอียง	27
รูปที่ 26	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ขณะทำงานที่สภาพอากาศ ต่างๆ โดย ■ ติดตั้งแบบจั่ว ■ ติดตั้งแบบโค้ง ■ ติดตั้งแบบลาดเอียง และ ■ ติดตั้งแบบเดิม	27

การทดสอบประสิทธิภาพเพื่อหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมของแผงโซลาร์เซลล์ชนิด  
ใหม่แบบพับงอได้

Efficiency test on a new type of flexible photovoltaic cells

อักรินทร์ อินทนิเวศน์

Akarin Intaniwet

ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

โซลาร์เซลล์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันประสบปัญหาคือประสิทธิภาพต่ำ ราคาสูง แดกหักง่าย น้ำหนักแฉงมาก ต้องใช้พื้นที่และโครงสร้างในการติดตั้ง ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาศักยภาพของแผงโซลาร์เซลล์แบบใหม่ชนิดพับงอได้ในการนำมาทดแทนโซลาร์เซลล์แบบเดิมที่ใช้อยู่ โดยทำการศึกษาผลของรูปแบบในการติดตั้ง อุณหภูมิ และ สภาพอากาศ ต่อประสิทธิภาพของแผง พบว่าแผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอมีประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10% ซึ่งมีค่าสูงกว่าแผงแบบเดิมที่มีค่า 5% โดยแผงแบบพับงอได้ไม่ได้รับผลกระทบจากลักษณะการติดตั้ง เมื่อวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์พบว่าระยะเวลาคืนทุนของแผงทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกันคือ 9 ปี แต่แผงแบบพับงอได้จะใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่า 66% และให้น้ำหนักรวมแผงที่เบากว่า 7 เท่า เมื่อเทียบกับแผงโซลาร์เซลล์แบบเดิม  
คำสำคัญ: โซลาร์เซลล์ โซลาร์เซลล์แบบพับงอได้ ประสิทธิภาพ

Abstract

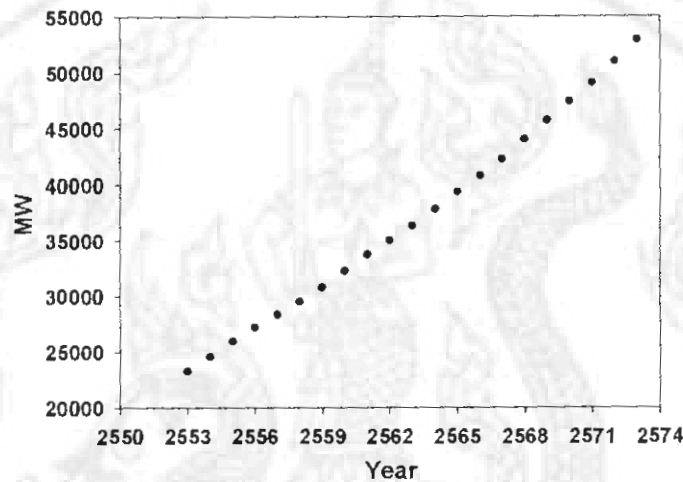
Solar cells are the main component used to convert the energy from the sun into electricity. Major problems with the solar cells typically include low efficiency, high cost, ease of breaking, high weight and a requirement of a large area with support structure. This research evaluates the potential of a flexible solar cell as a replacement of the original one. The efficiency of the solar cell has been measured with various installation shapes, working temperatures and weather conditions. It is shown that the flexible solar cell has an average efficiency of 10% regardless of the installation shape while the original solar cell produces the efficiency of only 5%. From the calculation, the payback period for both types of solar cells is about 9 years but the flexible solar cell requires the installation area about 66% less than that of the original one and provides the total weight of about 7 times lighter than that of the original one.

Key words: Solar cells, flexible solar cells, efficiency

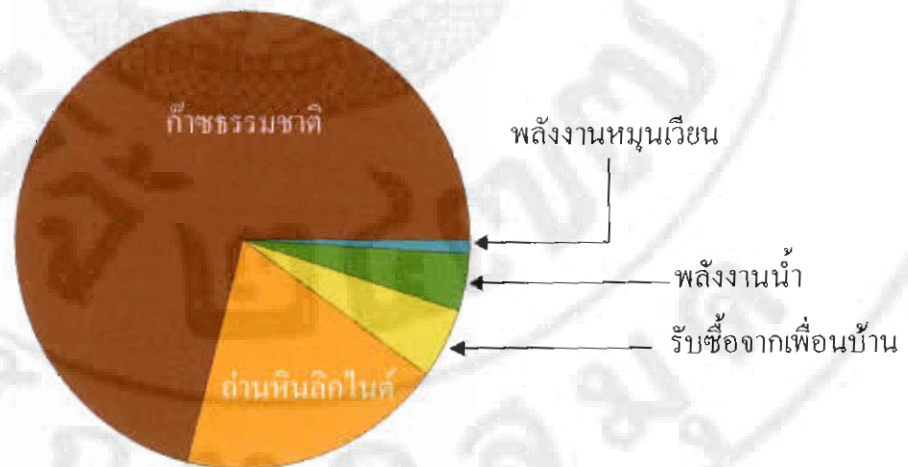


## คำนำ

ในปัจจุบันพบว่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยมีปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นทุกปี จาก 14,900 MW ในปี 2543 เพิ่มขึ้นเป็น 24,630 ในปี 2553 ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นถึง 65% ภายในระยะเวลาสิบปีและมีการทำนายไว้ว่าจะมีการใช้ไฟฟ้ามากกว่าปัจจุบันถึงสองเท่าภายในปี 2572 ดังกราฟรูปที่ 1 (Vharkarn)



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละปี



รูปที่ 2 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

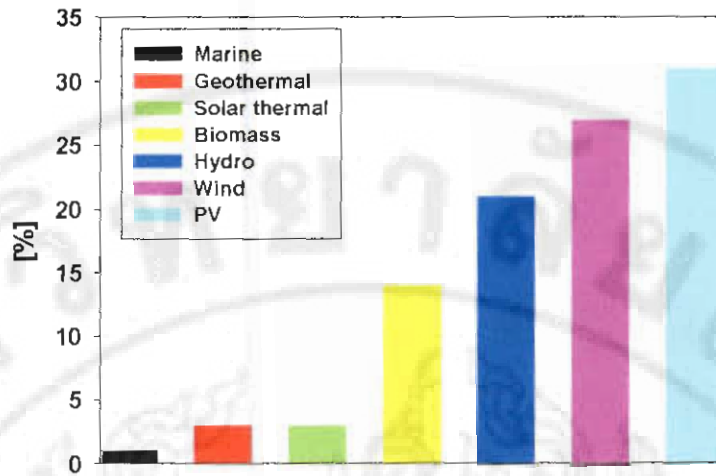
สัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยตามสถิติปี 2553 (รูปที่ 2) (Vharkarn) พบว่า 71% ผลิตมาจากก๊าซธรรมชาติ 19% ผลิตมาจากถ่านหินลิกไนต์ 5% ได้มาจากการรับซื้อไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน และ 4% ผลิตมาจากพลังงานน้ำ โดยมีสัดส่วนพลังงาน

หมุนเวียนเพียงแค่ 1% จากข้อมูลนี้จะพบว่าโครงสร้างทางพลังงานภายในประเทศมีลักษณะพึ่งพาพลังงานจากก๊าซธรรมชาติในสัดส่วนที่มากขึ้นไปซึ่งถือว่าเป็นความเสี่ยงด้านพลังงานเป็นอย่างยิ่ง

ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นในปัจจุบันคือแหล่งพลังงานฟอสซิล (น้ำมัน, ก๊าซธรรมชาติ และ ถ่านหิน) มีปริมาณที่ลดลงสวนทางกับปริมาณความต้องการใช้ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ราคาของพลังงานเหล่านี้มีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมไปถึงปัญหาด้านมลภาวะที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานฟอสซิลเนื่องจากว่ากระบวนการเผาไหม้จะมีการปล่อยก๊าซ CO และ CO<sub>2</sub> (ก๊าซเรือนกระจก) ออกไปสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งก๊าซทั้งสองชนิดนี้เป็นสาเหตุของสภาวะโลกร้อนที่หลายๆประเทศกำลังเผชิญ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการแสวงหาแหล่งพลังงานชนิดใหม่เพื่อมาผลิตกระแสไฟฟ้าทดแทนพลังงานจากฟอสซิล โดยที่พลังงานทดแทนนี้จะต้องเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก พลังงานทดแทนที่มีการใช้ในปัจจุบันประกอบด้วย พลังงานน้ำ (Yüksel, 2008 และ Kun, 2012) พลังงานแสงอาทิตย์ (Schultz *et al*, 2004 และ Luque, 2011) พลังงานลม (Sesto and Casale, 1998) พลังงานนิวเคลียร์ (Ahearn, 2011 และ Michael, 2012) พลังงานชีวมวล (Pöschl *et al*, 2010) และพลังงานชีวมวล (Bhattacharya *et al*, 2003) ซึ่งจะพบว่าพลังงานทางเลือกที่สะอาดเหล่านี้มีสัดส่วนการใช้งานในประเทศที่ยังน้อยมากในปัจจุบันเมื่อเทียบกับพลังงานจากฟอสซิล

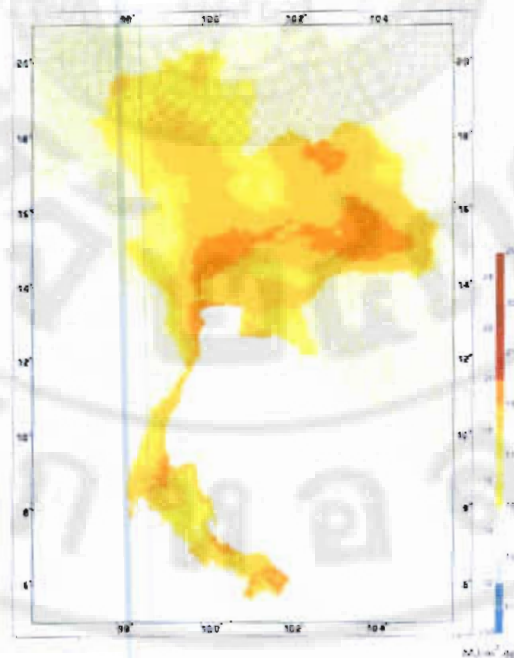
ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพด้านพลังงานทางเลือกสูง โดยเฉพาะในด้านของพลังงานชีวมวล พลังงานชีวมวล และพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานทดแทนสองชนิดแรกเริ่มมีการใช้ที่แพร่หลายมากขึ้นอันเนื่องมาจากวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นพลังงานสามารถหาได้อย่างง่ายและมีอยู่ทั่วทุกพื้นที่ จากภาคการเกษตร และภาคอุตสาหกรรม รวมทั้งต้นทุนการผลิตที่ค่อนข้างถูก ไม่มีความยุ่งยากในการผลิต ก๊าซที่ผลิตสามารถนำไปใช้ให้ความร้อน โดยกระบวนการเผาไหม้โดยตรง เป็นเทคโนโลยีที่สามารถนำไปใช้ในครัวเรือนได้ (Nansaior *et al*, 2011) ส่วนการใช้งานจากพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเริ่มมีความแพร่หลายมากขึ้นในปัจจุบันเนื่องจากต้นทุนการผลิตต่อหน่วยไฟฟ้าที่ลดลงและประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ที่สูงขึ้น

จากการทำนายการใช้ไฟฟ้าในโลกนี้พบว่าภายในปี 2040 จะมีความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งสิ้น 36.346 TWh ในปริมาณนี้มีการทำนายไว้ว่าจะมีการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานทางเลือกเท่ากับ 29 TWh (รูปที่ 3) หรืออาจจะกล่าวได้ว่าภายใน 30 ปีข้างหน้า 82% ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ต้องการใช้จะถูกผลิตมาจากแหล่งพลังงานที่ไม่ใช่ฟอสซิล ซึ่งในจำนวนนี้ได้มีการทำนายไว้ว่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าที่ผลิตมาจากแสงอาทิตย์จะมีปริมาณมากที่สุดคือ 31% (9 TWh) ของปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแหล่งพลังงานทางเลือกทั้งหมด จากแนวโน้มนี้พบว่าพลังงานแสงอาทิตย์จะถูกใช้เป็นแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าหลักของโลกเราในอนาคตข้างหน้า



รูปที่ 3 การทำนายปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานทางเลือกจากแหล่งต่างๆ ภายในปี 2040 ซึ่งมีค่ารวมเท่ากับ 29 TWh จากค่าที่ต้องการใช้จริงทั่วโลกเท่ากับ 36.346 TWh (EREC)

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่สูง เนื่องจากเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตร มีปริมาณแสงอาทิตย์ต่อวันมาก (8-10 ชั่วโมงต่อวัน) โดยคิดเป็นปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยของการแผ่รังสีเท่ากับ  $5 \text{ kWh/m}^2$  หรือ คิดเป็น peak sun hour (psh) \* ได้เท่ากับ 5 ชั่วโมง ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า

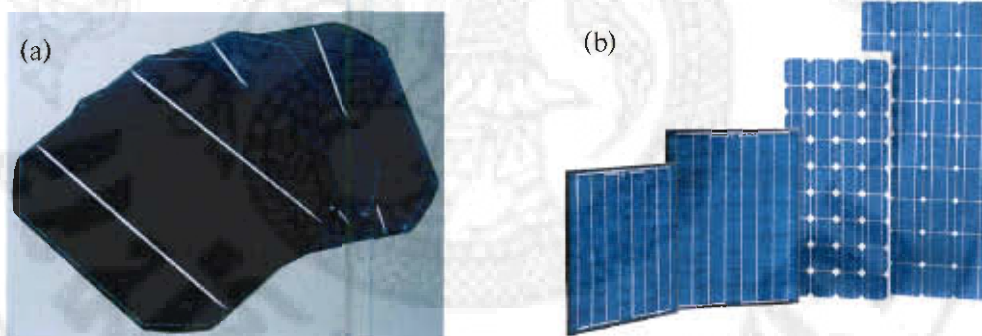


รูปที่ 4 แผนที่แสดงความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบประเทศไทย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

\* Peak sun hour (psh) คือจำนวนชั่วโมงที่มีรังสีดวงอาทิตย์ความเข้มเท่ากับ  $1,000 \text{ W/m}^2$  มาตรฐาน (Hankins, 2010)

รูปที่ 4 แสดงแผนที่ทางแสงอาทิตย์ของประเทศไทย จากการศึกษาพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับรังสีสูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และ พฤษภาคม โดยมีค่าความเข้มรังสีเฉลี่ยอยู่ในช่วง  $5.5 - 6.67 \text{ kWh/m}^2$  โดยบริเวณที่ได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีจะอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยรับรังสีเฉลี่ยทั้งปี  $5.27 - 5.55 \text{ kWh/m}^2$  ส่วนทางภาคเหนือและภาคกลางจะรับรังสีเฉลี่ยอยู่ที่  $5 - 5.27 \text{ kWh/m}^2$  โดยความเข้มของรังสีอาทิตย์จะลดลงเป็นอย่างมากเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูฝนเนื่องจากท้องฟ้าจะมีเมฆมาก ส่งผลให้แสงอาทิตย์ไม่สามารถเคลื่อนที่ลงมาสู่พื้นโลกได้

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาด (Clean energy) ที่ไม่มีวันหมด (Sustainable) ไม่ต้องมีค่าใช้จ่ายในการผลิตแสงอาทิตย์ และที่สำคัญที่สุดคือสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ทุกบริเวณที่มีแสงอาทิตย์ส่องถึง ไม่ว่าจะเป็นบนเกาะหรือบริเวณที่ห่างไกลที่สายไฟเข้าไปไม่ถึง เป็นการใช้ประโยชน์จากพลังงานที่มีอยู่แล้วอย่างยั่งยืน หัวใจหลักในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์คืออุปกรณ์ที่เรียกว่า โซลาร์เซลล์ (Photovoltaic or solar cells) (Goswami *et al*, 1999) ที่นิยมใช้กันในปัจจุบันผลิตมาจากซิลิกอนซึ่งอาจจะเป็นแบบ polycrystalline หรือ amorphous silicon (รูปที่ 5)

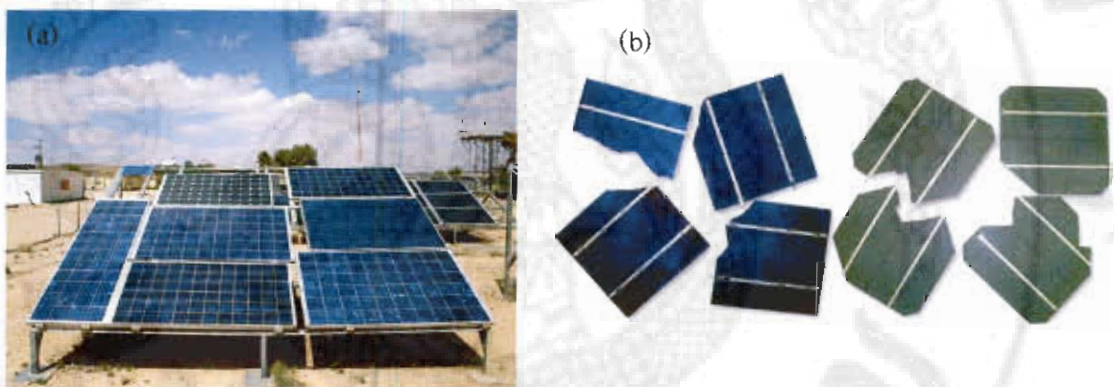


รูปที่ 5 ซิลิกอน โซลาร์เซลล์ (a) แบบ โมดูล และ (b) แบบอาร์เรย์

สาเหตุที่ซิลิกอนถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการผลิต โซลาร์เซลล์ก็เนื่องมาจากว่าซิลิกอนเป็นสารที่มีมากที่สุดเป็นอันดับสองในเปลือกโลกรองจากออกซิเจน และที่สำคัญคือมีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำที่สามารถให้กำเนิดกระแสไฟฟ้าได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบ ซิลิกอนโซลาร์เซลล์มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับแผงแบบอาร์เรย์ (Array conversion efficiency) อยู่ที่ประมาณ  $7 - 15\%$  (ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์และชนิดผลึกของซิลิกอน) รวมทั้งเทคโนโลยีการผลิตซิลิกอนให้บริสุทธิ์มีความก้าวหน้าเป็นอย่างมากเนื่องจากว่ามันยังเป็นองค์ประกอบหลักของหน่วยประมวลผลคอมพิวเตอร์ ทำให้แผงโซลาร์เซลล์ที่ผลิตมาจากซิลิกอนมีการพัฒนาไปอย่างมาก ทำให้ราคาการผลิตจึงถูกลง ทำให้ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน



แม้ว่าซิลิกอน โพลีซิลิโคนยังมีข้อเสียอยู่มากในการใช้งานจริงสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในการชุมชนหรือเพื่อการค้า กล่าวคือ สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าในระดับกำลังสูงๆ (High power) เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน แผงโซลาร์เซลล์จะต้องมีขนาดใหญ่ทำให้มีน้ำหนักมาก ในการติดตั้งต้องมีการทำโครงสร้างรองรับ (รูปที่ 6 a) และต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งมาก ตัวแผงไม่มีความยืดหยุ่น ทำให้แตกหักได้ง่าย (รูปที่ 6 b) ทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องของการติดตั้ง ส่งผลให้มีต้นทุนส่วนนี้ค่อนข้างสูง รวมทั้งสารตั้งต้นที่เป็นซิลิกอนบริสุทธิ์มีกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างยุ่งยากและต้องลงทุนในตอนเริ่มแรกสูง และที่สำคัญประสิทธิภาพของซิลิกอน โพลีซิลิโคนในทางปฏิบัติอาจจะไม่สูงมากไปกว่านี้แล้ว หรืออาจจะกล่าวได้ว่าเทคโนโลยีของซิลิกอน โพลีซิลิโคนได้ก้าวมาถึงจุดสูงสุดแล้วนั่นเอง ในอนาคตข้างหน้ามีความจำเป็นต้องหาเทคโนโลยีแผงโซลาร์เซลล์ชนิดใหม่เพื่อมาแทนซิลิกอน โดยจะต้องมีคุณสมบัติที่ซิลิกอนไม่มี แต่ว่าประสิทธิภาพการใช้งานต้องไม่ด้อยไปกว่าแผงโซลาร์เซลล์ชนิดเดิม

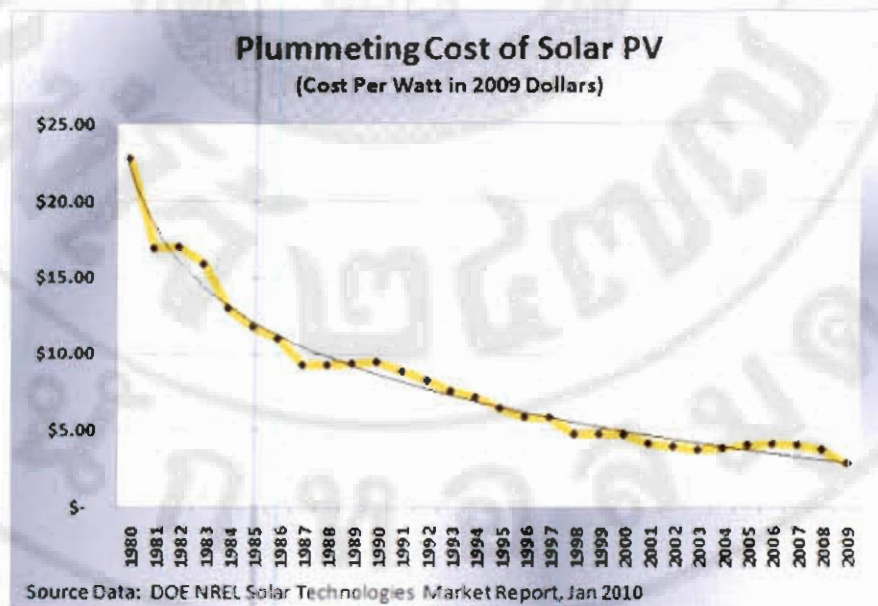


รูปที่ 6 (a) ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากแผงซิลิกอน โพลีซิลิโคน และ (b) แผงซิลิกอน โพลีซิลิโคน ที่แตกหักจากการใช้งาน



รูปที่ 7 (a) โพลีซิลิโคนแบบฟิล์มบาง CIGS (Nanosolar) และ (b) โพลีซิลิโคนแบบพอลิเมอร์ (Konarka)

โซลาร์เซลล์ในอนาคตจะต้องมีความยืดหยุ่น (Flexible solar cells) ไม่แตกหักง่าย น้ำหนักเบา ต้องไม่มีข้อจำกัดเรื่องขนาดและมีราคาถูก เป็นเทคโนโลยีที่ทุกคนสามารถเข้าถึงได้ เช่น โซลาร์เซลล์ฟิล์มบางของคอปเปอร์ อินเดียม แกลเลียม เซเรไนต์ (CIGS) (Thin film CIGS photovoltaic cells) (รูปที่ 7 a) และ พอลิเมอร์ โซลาร์เซลล์ (organic photovoltaic cells, OPVs) (รูปที่ 7 b) โซลาร์เซลล์แบบพับงอได้มีข้อดีที่ซิลิกอนโซลาร์เซลล์ไม่มี กล่าวคือ มีความยืดหยุ่น น้ำหนักเบา สามารถติดตั้งได้ง่ายโดยไม่ต้องอาศัยโครงสร้าง โดยแนวทางการนำไปใช้นั้นจะติดตั้งเข้าไปกับผนังหรือหลังคาของอาคารที่มีรูปทรงต่างๆ หรือแม้แต่กระทั่งนำไปประยุกต์ใช้เป็นแหล่งชาร์จพลังงานเคลื่อนที่สำหรับผู้ที่ต้องเดินทางเป็นครั้งคราวเพื่อไปทำงานหรืออาศัยในบริเวณที่ไม่มีไฟฟ้า แสงโซลาร์เซลล์สามารถผลิตได้ง่ายเนื่องจากว่าวัสดุตั้งต้นเป็นของเหลว ทำให้สามารถใช้เทคโนโลยีการพิมพ์ลงบนแผ่นซับสเตรท (Roll-to-roll printing) ได้เหมือนกับการพิมพ์งานบนกระดาษทั่วไป ซึ่งการผลิตนี้จะไม่มีการจำกัดเรื่องขนาดที่สามารถผลิตได้ สามารถผลิตได้จำนวนมากในเวลาอันรวดเร็ว ต้นทุนของแสงโซลาร์เซลล์จะถูกลงเป็นอย่างมาก และจะทำให้การใช้งานเป็นไปได้อย่างแพร่หลาย ที่สำคัญวัสดุที่นำมาผลิตโซลาร์เซลล์ชนิดนี้สามารถที่จะสังเคราะห์หรือออกแบบให้มีคุณสมบัติในการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงที่ปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์ ทำให้มีความเป็นไปได้ว่าประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้จะสูงกว่าซิลิกอนโซลาร์เซลล์ในอนาคตข้างหน้า



รูปที่ 8 ราคาเฉลี่ย (\$) ต่อวัตต์สำหรับแผงซิลิกอนโซลาร์เซลล์ที่จำหน่ายตามท้องตลาด (NREL)

รูปที่ 8 แสดงราคาค่าใช้จ่ายสำหรับผลิตซิลิกอน โซลาร์เซลล์ในตอนเริ่มต้น (คศ 1980) ซึ่งอยู่ที่ \$23/วัตต์ ซึ่งราคานี้ได้ลดลงเรื่อยมาจนในปี 2009 เหลือต้นทุนการผลิตเท่ากับ \$4/วัตต์ และลดลงมาเหลือ \$1/วัตต์ ในปี 2010 แต่สำหรับเทคโนโลยีใหม่ที่เป็นฟิล์มบางแบบพับงอได้พบว่าต้นทุนการผลิตเริ่มต้นอยู่ที่ 0.99\$/วัตต์ และมีแนวโน้มจะถูกกลงไปกว่านี้เป็นอย่างมากถ้ามีการผลิตแผงโซลาร์เซลล์ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น

จะเห็นได้ว่าโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้มีศักยภาพสูงที่จะมาทดแทนเทคโนโลยีของซิลิกอนโซลาร์เซลล์ในอนาคต แต่ว่าโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้เป็นเทคโนโลยีที่เพิ่งเกิดขึ้นมาใหม่ และยังอยู่ในขั้นตอนของการวิจัย มีการนำไปใช้จริงน้อยมาก ผลงานวิจัยที่รายงานออกมาจะเป็นผลที่ได้จากห้องทดลอง ไม่ใช่ผลที่ได้จากการทำงานจากสภาพจริงภายใต้สภาพแวดล้อมจริง รวมทั้งยังมีคำถามในเรื่องของอายุการใช้งาน และเสถียรภาพของแผงโซลาร์เซลล์ที่ยังไม่มีการศึกษาและยืนยันอย่างแน่ชัดจากผู้ผลิต ทำให้ผู้ใช้งานยังไม่ค่อยมั่นใจในประสิทธิภาพของเทคโนโลยีนี้ว่าจะมีความยั่งยืนเหมือนกับเทคโนโลยีของซิลิกอนโซลาร์เซลล์ และที่สำคัญยังไม่มีการทดสอบการใช้จริงสำหรับงานแผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้ในประเทศไทย งานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นที่จะทำให้มหาวิทยาลัยแม่โจ้ นำโดยศูนย์วิจัยพลังงานเป็นผู้นำในการสาธิตและเป็นศูนย์เรียนรู้การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์มาผลิตกระแสไฟฟ้าในบริเวณภาคเหนือตอนบน และยังเป็นผู้นำในการสนับสนุนและเตรียมความพร้อมให้กับชุมชนและประเทศไทยในการรองรับเทคโนโลยีใหม่ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้

#### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของตัวแปรต่างๆ เช่น อุณหภูมิ รูปแบบการติดตั้ง และสภาพอากาศ ที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้ เพื่อหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับการใช้งานจริง
2. ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า ข้อดี และข้อเสียจากแผงโซลาร์เซลล์รูปแบบใหม่เทียบกับแผงโซลาร์เซลล์ในรูปแบบเดิมที่เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน
3. เพื่อเป็นการแนะนำเทคโนโลยีโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ให้กับผู้ที่สนใจ
4. เป็นการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดอย่างยั่งยืน

#### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการสนับสนุนมหาวิทยาลัยแม่โจ้ นำโดยศูนย์วิจัยพลังงานให้เป็นศูนย์กลางการเรียนรู้และสาธิตการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้และแผงซิลิกอนโซลาร์เซลล์เป็นหลัก



2. เป็นการริเริ่มและส่งเสริมให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์อย่างเป็นรูปธรรมภายในมหาวิทยาลัยและชุมชนภายนอก
3. เป็นการแนะนำเทคโนโลยีแผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้ชนิดใหม่สู่บุคคลทั่วไป
4. เข้าร่วมนำเสนอผลงานทางวิชาการ 1 ครั้ง
5. ตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติหรือนานาชาติ 1 ครั้ง
6. ผลที่ได้จากการทดลองจะเป็นจุดเริ่มต้นที่จะทำให้เกิดการพัฒนาและเผยแพร่ความรู้ให้กับผู้สนใจ กล่าวคือทางผู้วิจัยจะได้ถือโอกาสจัดตั้งหน่วยวิจัยและเรียนรู้เรื่องการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์แบบต่างๆ เพื่อเป็นการสาธิตการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จากนั้นจะได้ขยายขนาดของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากระดับวัตต์ (W) เป็นกิโลวัตต์ (kW) โดยศึกษาเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ที่มีอยู่และจัดหาแผงโซลาร์เซลล์มาคิดเพิ่มในโอกาสต่อไป

#### การตรวจเอกสาร

ในงานวิจัยนี้จะได้ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้ชนิดใหม่ (Flexible solar cells) ที่สภาวะการใช้งานต่างๆ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานของโซลาร์เซลล์ ในส่วนนี้จะได้อธิบายถึงหลักการการทำงานของโซลาร์เซลล์ การวัดหาค่าประสิทธิภาพ และ ผลของสิ่งแวดล้อมที่มีต่อค่าประสิทธิภาพ

โซลาร์เซลล์ได้ถูกคิดค้นเมื่อปี 1954 โดยนักวิทยาศาสตร์จากเบลล์แล็บ (Perlin, 2004) แต่ประสิทธิภาพยังมีค่าต่ำมากไม่อาจจะนำมาใช้งานได้ เนื่องจากแนวคิดที่จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้จากแสงอาทิตย์ทำให้มีความพยายามในการพัฒนาประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์เรื่อยมา (รูปที่ 9) จากอดีตถึงปัจจุบันสามารถจำแนกชนิดของโซลาร์เซลล์ได้ทั้งหมด 3 รุ่น ด้วยกันดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

รุ่นที่ 1 (First generation) โซลาร์เซลล์รุ่นแรกพัฒนาเมื่อสามสิบปีก่อนทำมาจากแผ่นกึ่งตัวนำซิลิกอน และเนื่องจากซิลิกอนมีความสามารถในการดูดกลืนแสงอาทิตย์ค่อนข้างต่ำ ทำให้แผ่นต้องมีความหนาค่อนข้างมากเพื่อที่จะทำให้ประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์อยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้งานได้ ปัญหาของโซลาร์เซลล์ในรุ่นที่หนึ่งอยู่ที่เรื่องของน้ำหนักและขนาดของแผงโซลาร์เซลล์ ในการคิด ตั้งต้องใช้โครงสร้างเพื่อที่จะรองรับแผงโซลาร์เซลล์ แผงมีการแตกหักง่าย รวมทั้งระยะเวลาคุ้มทุนที่นาน (Pagliaro *et al*, 2008)

รุ่นที่ 2 (Second generation) โซลาร์เซลล์รุ่นที่สองนี้เริ่มมีการพัฒนาเมื่อสิบกว่าปีที่แล้ว เป็นโซลาร์เซลล์ที่ใช้เทคโนโลยีฟิล์มบางของสารกึ่งตัว เช่น ซิลิกอน นำมาช่วยในการพัฒนา ทำให้ความหนาของชั้นวัสดุกึ่งตัวนำลดลงจากโซลาร์เซลล์รุ่นแรกเป็นอย่างมาก (มากกว่า 100 เท่า)



โดยที่ประสิทธิภาพการทำงานยังคงเท่าเดิม ทำให้ปัญหาเรื่องของคุณภาพและน้ำหนักหมดไป แต่โซลาร์เซลล์รุ่นที่สองมีกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างนานและช้าเนื่องจากต้องผลิตภายใต้ระบบสุญญากาศ รวมทั้งฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำจะต้องถูกเคลือบลงไปบนแผ่นรองรับ (Substrate) ที่เป็นแก้วเคลือบด้วยสารที่เป็นตัวนำ ทำให้โซลาร์เซลล์ชนิดนี้ยังคงมีข้อเสียในเรื่องของราคาและความทนทาน แต่ในปัจจุบันได้มีการผลิตโซลาร์เซลล์ชนิดนี้บนแผ่นรองรับที่เป็นพลาสติกแล้ว โดยใช้ซิลิกอนเป็นสารกึ่งตัวนำ ทำให้ปัญหาในเรื่องของความทนทานจากการแตกหักหมดไป น้ำหนักของโซลาร์เซลล์ชนิดนี้จะเบาและมีความยืดหยุ่นสูง สามารถติดตั้งรวมเข้าไปกับผนังหรือหลังคาของอาคารได้โดยที่ไม่ต้องมีโครงสร้างมารองรับเพิ่มเติม ซึ่งโซลาร์เซลล์รุ่นที่สองเป็นรุ่นที่จะใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ โดยจะทำการเปรียบเทียบกับโซลาร์เซลล์รุ่นที่ 1

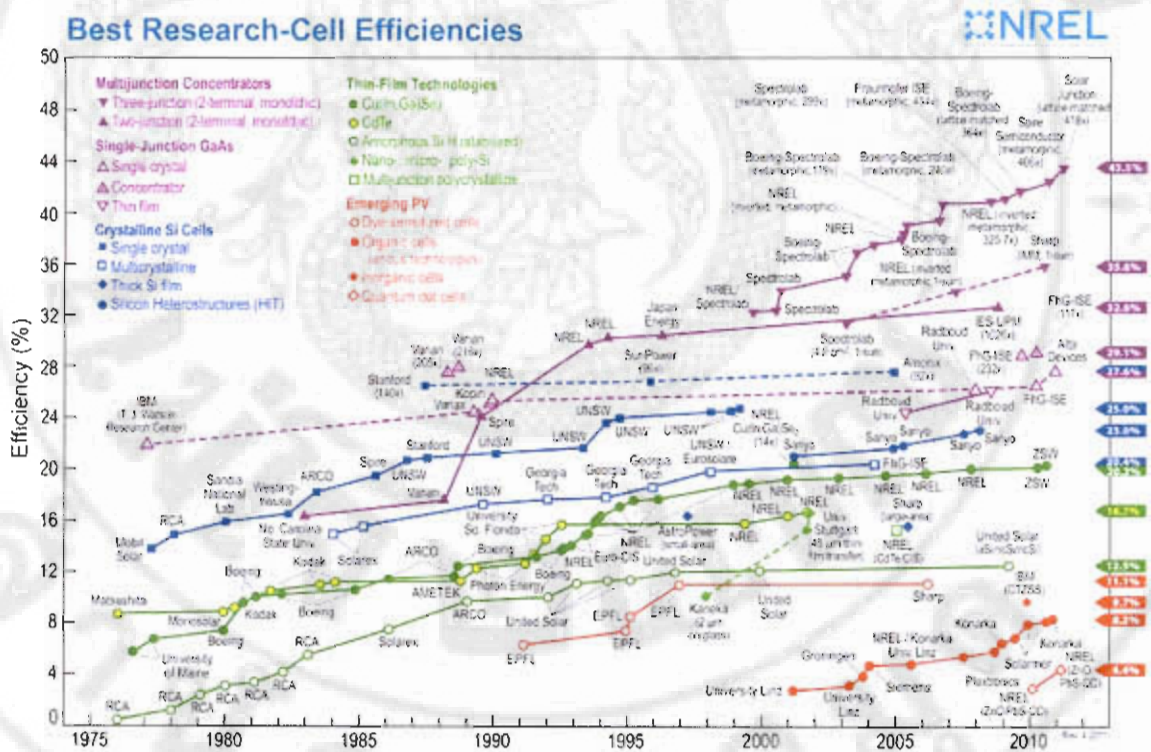
รุ่นที่ 3 (Third generation) โซลาร์เซลล์รุ่นที่สามจะเป็นเทคโนโลยีสำหรับอนาคตอันใกล้ โดยจะเป็นการรวมเอาเทคโนโลยีฟิล์มบางจากรุ่นที่สองเข้ากับกระบวนการผลิตแบบใหม่ที่ใช้เทคโนโลยีการพิมพ์ (Roll-to-roll inkjet printing) (Krebs, 2009 และ Arias *et al*, 2010) โดยจะเป็นการพิมพ์สารกึ่งตัวนำที่เป็นของเหลวผสม เช่น สาร CIGS หรือพอลิเมอร์กึ่งตัวนำลงบนแผ่นรองรับที่เป็นพอลิเมอร์หรือพลาสติกที่เคลือบด้วยฟิล์มบางของตัวนำ ทำให้กระบวนการผลิตสามารถทำได้รวดเร็วขึ้น และผลิตได้ในปริมาณมากๆ โดยไม่มีข้อจำกัดเรื่องขนาด เหมือนกับการพิมพ์ใส่แผ่นกระดาษสำหรับเครื่องปริ้นท์โดยทั่วไป ซึ่งจากการทดสอบการผลิตพบว่าโซลาร์เซลล์รุ่นที่ 3 นี้ เป็นโซลาร์เซลล์ที่ให้ความคุ้มค่าต่อวัตต์มากที่สุดในโลก (Pagliaro *et al*, 2008) น้ำหนักของโซลาร์เซลล์ชนิดนี้จะเบาและมีความยืดหยุ่นสูง ทำให้สามารถพกพาเพื่อเป็นแบตเตอรี่ส่วนตัว หรือติดตั้งรวมเข้าไปกับผนังหรือหลังคาของอาคารได้โดยที่ไม่ต้องมีโครงสร้างมารองรับเพิ่มเติม ทำให้เทคโนโลยีของโซลาร์เซลล์รุ่นที่ 3 กำลังได้รับความสนใจจากนักวิจัยในต่างประเทศเป็นอย่างมาก แม้ว่าเทคโนโลยียังคงอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของโซลาร์เซลล์ทั้งสามรุ่น

	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2	รุ่นที่ 3
กระบวนการผลิต	ใช้กระบวนการผลิตแผ่นซิลิกอน	ใช้กระบวนการเคลือบสารกึ่งตัวนำ (Sputtering หรือ Evaporation) ที่สถานะสุญญากาศ	ใช้วิธีการพิมพ์ที่สถานะบรรยากาศ
แผ่นซับสเตรท	ซิลิกอน	กระจกเคลือบตัวนำ	พอลิเมอร์หรือพลาสติกเคลือบตัวนำ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของโซลาร์เซลล์ทั้งสามรุ่น (ต่อ)

	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2	รุ่นที่ 3
การแตกหัก	ง่าย	ง่าย	ไม่แตกหัก
น้ำหนัก	มาก	ปานกลาง	น้อย
ความต่อเนื่องและขนาดในการผลิต	ไม่มี เนื่องจากถูกจำกัดโดยขนาดของแผ่นซิลิกอน	ไม่มี เนื่องจากถูกจำกัดโดยขนาดของแผ่นกระจก และระบบสุญญากาศ	มี สามารถที่จะผลิตขนาดไหนก็ได้
ปริมาณกระแสที่ผลิตได้จากแผง	สูง	ต่ำ	สูง
ระยะเวลาคุ้มทุน	3 ปี	1.7 ปี	1 เดือน



รูปที่ 9 วิวัฒนาการของประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ชนิดต่างๆ ในระดับห้องทดลองจนถึงในปัจจุบัน ค่าที่ได้จากห้องทดลองจะวัดที่ระดับความเข้มแสง 1000 W/m<sup>2</sup> (AM1.5) ที่อุณหภูมิ 25 °C

ในปัจจุบันยังคงมีการค้นคว้าวิจัย และพัฒนาโซลาร์เซลล์ทั้งสามรุ่นอย่างต่อเนื่อง ทั้งในระดับห้องทดลองและการใช้งานจริง แต่ละรุ่นก็ยังมีการใช้วัสดุกึ่งตัวนำและ โครงสร้างของเซลล์ที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่สูงสุด รูปที่ 9 เป็นกราฟแสดงประสิทธิภาพสูงสุดของโซลาร์เซลล์แต่ละชนิดในปัจจุบัน (Kazmerski, 2011) จากกราฟจะพบว่าประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสำหรับแต่ละเทคโนโลยีการผลิต แต่ในการใช้งานจริง ประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ที่เป็นแผงโมดูลจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบในห้องทดลองตามกราฟรูปที่ 9 จะพบว่าโซลาร์เซลล์แบบหลายรอยต่อ (Multi-junction solar cells) มีประสิทธิภาพที่สูงที่สุดประมาณ 43% แต่ข้อเสียของโซลาร์เซลล์ชนิดนี้คือราคาที่สูงมาก ทำให้มีการใช้งานที่จำกัด ปัจจุบันโซลาร์เซลล์ชนิดนี้ใช้อยู่ในยานที่สำรวจดาวอังคาร ค่าประสิทธิภาพสำหรับโซลาร์เซลล์แต่ละชนิดสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2

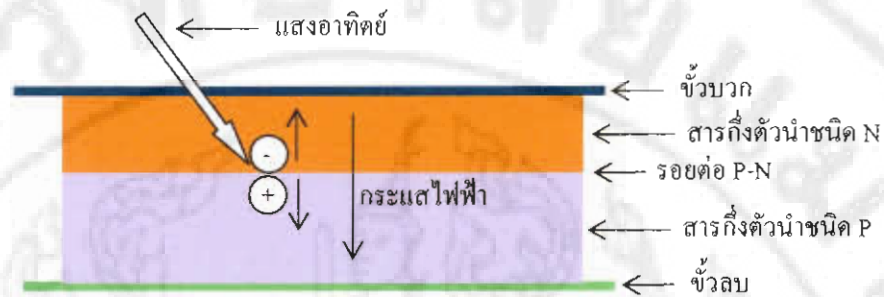
ตารางที่ 2 ค่าประสิทธิภาพสูงสุดของโซลาร์เซลล์แต่ละชนิด

ชนิดของโซลาร์เซลล์	ประสิทธิภาพสูงสุด
สารกึ่งตัวนำสามรอยต่อ (Three-junction)	43%
สารกึ่งตัวนำสองรอยต่อ (Two-junction)	32-35%
สารกึ่งตัวนำรอยต่อเดียว (Single-junction)	27-29%
ซิลิกอนผลึกเดี่ยว (Single crystal)	25-27%
ซิลิกอนแบบ multicrystalline	20%
ฟิล์มบางแบบ CIGS	20%
ฟิล์มบางแบบ amorphous ซิลิกอน	12.5%
Dye-sensitized	11%
ฟิล์มบางพอลิเมอร์	8%

โซลาร์เซลล์ในปัจจุบันสามารถจำแนกได้หลายกลุ่ม ซึ่งโซลาร์เซลล์ในแต่ละกลุ่มนี้แตกต่างกันที่วัสดุเริ่มต้นที่ใช้ในการผลิตและลักษณะ โครงสร้างของชั้นวัสดุทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิดไม่เหมือนกัน แต่ว่าวัสดุที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติหลักเหมือนกันคือต้องเป็นสารกึ่งตัวนำ กล่าวคือวัสดุจะมีคุณสมบัติเป็นตัวนำก็ต่อเมื่อมีแสงมาตกกระทบ แต่จะเป็นฉนวนเมื่ออยู่ในที่อับแสง หลักพื้นฐานในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ทุกชนิดจะอาศัยกระบวนการโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect) กล่าวคือเมื่อมีแสงอาทิตย์มาตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ แสงที่มีพลังงานมากกว่าช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ (Energy band gap) จะถูกดูดกลืนโดยแผงโซลาร์เซลล์ พลังงานที่ถูกดูดกลืนไป



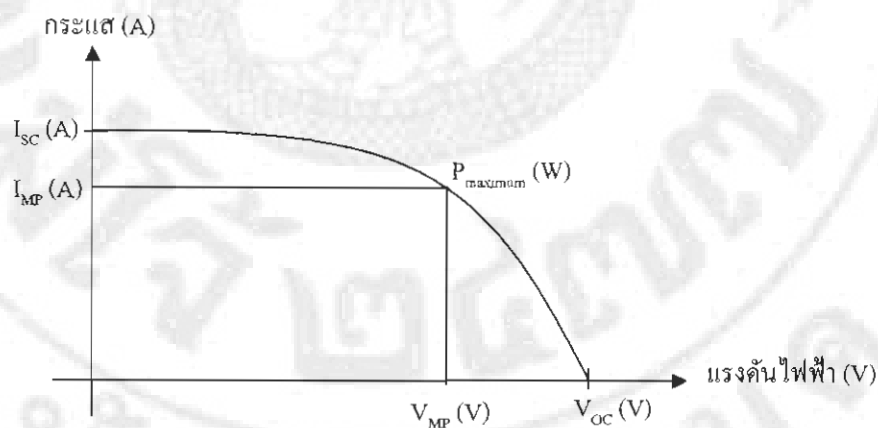
นั้นจะถูกนำไปใช้ในการสร้างคู่อิเล็กตรอนและโฮล (Electron-hole pair) ซึ่งมันจะถูกทำให้แยกเป็นอิสระออกจากกันโดยสนามไฟฟ้าภายในรอยต่อพีเอ็น (P-N junction) ของสารกึ่งตัวนำ จากนั้นอิเล็กตรอนและโฮลที่เป็นอิสระก็จะสามารถเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวกและลบตามลำดับ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในโซลาร์เซลล์ ตามรูปที่ 10



รูปที่ 10 การเกิดกระแสไฟฟ้าในโซลาร์เซลล์

รูปที่ 11 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (I) และแรงดัน (V) ของโซลาร์ เซลล์ทั่วไปซึ่งช่วงการใช้งานของแผงโซลาร์เซลล์จะอยู่ระหว่าง  $V = 0$  ถึง  $V = V_{oc}$  ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่เซลล์สามารถผลิตได้ (P) สามารถหาได้จากสมการที่ 1

$$P = IV \quad (1)$$



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าในโซลาร์เซลล์ (I-V characteristic) โดยที่  $I_{sc}$  คือกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short circuit current)  $V_{oc}$  คือแรงดันวงจรเปิด (Open circuit voltage)  $P_M$  คือจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด  $I_{MP}$  คือกระแสไฟฟ้า ณ จุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด และ  $V_{MP}$  คือแรงดันไฟฟ้า ณ จุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Pagliaro *et al.*, 2008)

โดยที่ค่า  $P$  จะมีค่าสูงสุดเมื่อผลคูณระหว่าง  $I$  กับ  $V$  มีค่าสูงสุด (จุดที่พื้นที่ใต้กราฟมีค่าสูงสุด) ซึ่งจุดนี้จะได้ค่ากระแสและแรงดันสูงสุดที่โซลาร์เซลล์สามารถผลิตออกมาได้ (ตามรูปที่ 11) ณ จุดนี้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่โซลาร์เซลล์สามารถผลิตได้จะมีค่าเท่ากับ

$$P_M = I_{MP}V_{MP} \quad (2)$$

อีกตัวแปรหนึ่งซึ่งมีความสำคัญในการใช้อธิบายประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์คือค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (Fill factor, FF) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 3

$$FF = \frac{I_{MP}V_{MP}}{I_{SC}V_{OC}} \quad (3)$$

ค่าฟิลล์แฟกเตอร์จะเป็นการบอกถึงความเป็นสี่เหลี่ยมของกราฟระหว่างกระแสกับแรงดัน ถ้า FF มีค่าเท่ากับ 1 หมายความว่ากราฟกระแสกับแรงดันจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งจะเป็นกรณีของโซลาร์เซลล์ในอุดมคติ ในทางปฏิบัติค่าของฟิลล์แฟกเตอร์จะน้อยกว่า 1 เสมอ

เมื่อรู้ค่าของกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากสมการที่ 2 ก็จะสามารถหาค่าประสิทธิภาพสูงสุด ( $\eta$ ) ของโซลาร์เซลล์ได้จากสมการที่ 4

$$\eta = \frac{P_M}{P_S} \times 100 = \frac{I_{MP}V_{MP}}{P_S} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่  $P_S$  คือกำลังของแสงอาทิตย์ที่มาตกกระทบโซลาร์เซลล์

ในการศึกษาเรื่องโซลาร์เซลล์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการทำงานของโซลาร์เซลล์ที่จะต้องวัดและหาค่าประกอบไปด้วย  $I_{SC}$ ,  $V_{OC}$ , FF,  $I_m$ ,  $V_m$  และ  $\eta$  ซึ่งค่าพวกนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณกระแสไฟฟ้าและแรงดันที่โซลาร์เซลล์สามารถผลิตได้ จากการศึกษาทางทฤษฎีและการทดลองพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่โซลาร์เซลล์ผลิตได้และประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับ (Pagliaro *et al*, 2008)

1. ประสิทธิภาพในการแยกคู่อิเล็กตรอน-โฮล ณ รอยต่อพีเอ็น (Charge separation efficiency)
2. ความสามารถในการดูดกลืนแสงอาทิตย์ของวัสดุที่ใช้ทำโซลาร์เซลล์ (Absorption)
3. ประสิทธิภาพของการเก็บรวบรวมประจุอิสระ (Charge collection efficiency)

ในทางปฏิบัติ ค่าพวกนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะแวดล้อมในขณะที่โซลาร์เซลล์กำลังทำงาน ดังนั้นเมื่อ ความชื้น อุณหภูมิ ความเค้น ลักษณะการติดตั้ง หรือ สภาพอากาศมีการ

เปลี่ยนแปลงไป ประสิทธิภาพการทำงานรวมไปถึงอายุการใช้งานของแผงโซลาร์เซลล์ก็ต้องเปลี่ยนไปด้วย การศึกษาที่ผ่านมาสำหรับแผงซิลิกอนโซลาร์เซลล์จะเน้นไปในเรื่องของประสิทธิภาพการทำงาน ณ อุณหภูมิต่างๆ ส่วนในเรื่องผลของลักษณะการติดตั้งที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานยังไม่สามารถศึกษาได้เนื่องมาจากข้อจำกัดของแผงโซลาร์เซลล์ที่ไม่สามารถทนความเค้นได้สูง และการติดตั้งสามารถทำได้เพียงรูปแบบเดียว (รูปที่ 6 a) ส่วนโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้ชนิดใหม่ยังไม่แพร่หลายและผลการทดสอบยังเป็นในระดับห้องทดลองที่มีการควบคุมความชื้น อุณหภูมิ ความเข้มของแสง ปริมาณแสงที่มาตกกระทบ และลักษณะการติดตั้ง ยังไม่ค่อยมีผลการทดสอบสำหรับการใช้จริง ซึ่งตัวแปรต่างๆ ไม่สามารถควบคุมให้มีค่าคงที่ได้ ดังนั้นการวิจัยนี้จะเน้นไปที่การใช้งานจริงของแผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้เพื่อหาเงื่อนไขและประเมินความเหมาะสมสำหรับการใช้เทคโนโลยีใหม่นี้ในอนาคต

ที่ความเข้มแสงในระดับเดียวกันคืออุณหภูมิของเซลล์ขณะการทำงาน จากทฤษฎีกระแสไฟฟ้าที่ออกมาจากโซลาร์เซลล์ ( $I$ ) มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ( $T$ ) ดังต่อไปนี้ (Dincer and Meral, 2010)

$$I = I_L - I_s \left\{ \exp \left[ \frac{qV}{kT} \right] - 1 \right\} - \frac{V_{oc}}{R_{SH}} \quad (5)$$

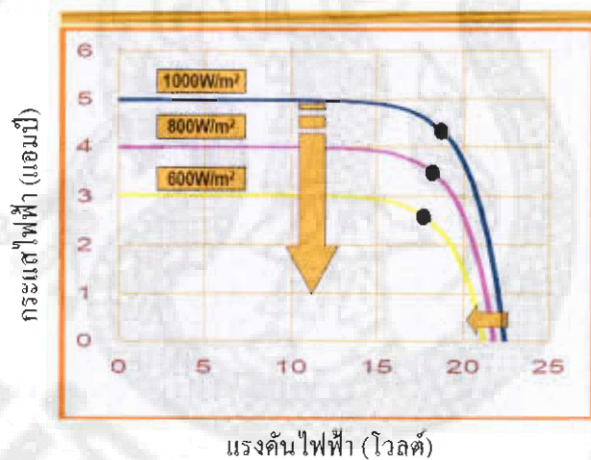
โดยที่  $I_L$  คือ photogenerated current (A),  $I_s$  คือ reverse saturation current (A),  $V$  คือ แรงดันไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์,  $R_s$  คือ series resistance (โอห์ม),  $T$  คือ อุณหภูมิ และ  $R_{SH}$  คือ shunt resistance (โอห์ม) ซึ่งจากสมการที่ 5 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เทอมที่เป็นเอ็กซ์โปเนนเชียลจะมีค่าลดลง ทำให้ค่าของ  $I_0$  จะมีค่าเพิ่มขึ้น และทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น และแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าลดลงโดยกระแสและแรงดันไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปตามสมการที่ 6 (Goswami *et al*, 1999)

$$\begin{aligned} I &= I_0(1 + \alpha\Delta T) \\ V &= V_0(1 - \beta\Delta T) \end{aligned} \quad (6)$$

เมื่อ  $I_0$  และ  $V_0$  คือค่าของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สภาพทดสอบมาตรฐาน (Standard test condition)  $\Delta T$  คืออุณหภูมิที่เปลี่ยนไป คือ  $\alpha$  สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแส และ  $\beta$  คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งการเพิ่มขึ้นของกระแสและการลดลงของแรงดันไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ต่างชนิดกันก็จะแตกต่างกันไปด้วยขึ้นอยู่กับวัสดุกึ่งตัวนำที่ใช้ และวิธีการผลิตโซลาร์เซลล์ โดยทั่วไป เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าลดลงมากกว่าการเพิ่มขึ้นของ

กระแสไฟฟ้า ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าที่แผงโซลาร์ผลิตออกมาได้ก็จะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น

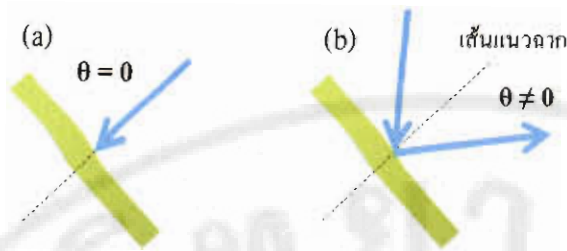
ความเข้มของแสงอาทิตย์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อกำลังไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์จะสามารถผลิตได้ การทดสอบการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ในระดับห้องทดลองจะจำลองใช้ความเข้มของแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ  $1000 \text{ W/m}^2$  (AM 1.5) โดยให้แสงตกกระทบบนแผงโซลาร์เซลล์ตลอดการทดสอบเนื่องจากเป็นเงื่อนไขที่แผงจะได้รับแสงมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่จากการสำรวจพบว่าแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนโลกโดยเฉลี่ย 1 ปี มีค่าประมาณ  $170 \text{ W/m}^2$  และลำแสงอาทิตย์ก็ไม่ได้ตกตั้งฉากโลกอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าลดลง ก็จะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงโซลาร์เซลล์มีค่าลดลงไปด้วย รูปที่ 12 แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงลดลง กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงก็จะมีค่าลดลงด้วยเช่นกัน



รูปที่ 12 กราฟระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า (I - V curve) ที่ความเข้มแสงลดลง

การทดลองในสภาวะอากาศจริงนั้นความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ลดลงอาจจะมาจากการโดนบังโดยก้อนเมฆ หรืออาจจะมาจากการที่รังสีจากดวงอาทิตย์ไม่ได้ตกกระทบบนแนวตั้งฉากกับแผงโซลาร์เซลล์ (รูปที่ 13) โดยเฉพาะในกรณีหลังที่เป็นปัญหาอย่างมาก เนื่องจากว่าดวงอาทิตย์โคจรรอบโลกอยู่ตลอดเวลา จึงเป็นไปได้ในทางปฏิบัติที่จะทำให้อ่างติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์อยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นจะมีการติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ (Tracking system) โดยจากการศึกษาพบว่ากระแสไฟฟ้า (I) จะมีค่าลดลงเมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์ทำมุมเทียบกับเส้นแนวฉากเพิ่มมากขึ้นตามสมการที่ 7 [Patel, 1999]

$$I = I_0 \cos \theta \quad (7)$$



รูปที่ 13 มุมที่รังสีจากดวงอาทิตย์กระทำกับเส้นแนวฉาก โดยที่ (a)  $\theta = 0$  และ (b)  $\theta \neq 0$

### อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้จะได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดใหม่แบบพับงอได้เมื่อติดตั้งในรูปแบบต่างๆ เทียบกับแผงโซลาร์เซลล์ชนิดเดิม โดยในการทดลองจะทำการวัดค่าของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิของแผง และความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ โดยวิธีการวิจัยสามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้

#### 1. การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์

ความที่ได้กล่าวมาในขั้นต้น งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาโซลาร์เซลล์แบบใหม่ชนิดพับงอได้ โดยจะทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของแผงเมื่อติดตั้งในรูปแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับแผงโซลาร์เซลล์ชนิดเดิม ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดใหม่แบบพับงอได้และแบบเดิมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้จะมีอยู่ 3 รูปแบบที่แตกต่างกันคือ แบบงอจั่ว แบบงอโค้ง และแบบเฉียงตรง (รูปที่ 14 a) ส่วนโซลาร์เซลล์แบบเดิมจะทำการติดตั้งแบบเฉียงตรง (รูปที่ 14 b) ซึ่งลักษณะการติดตั้งจะเป็นรูปทรงของหลังคาที่พบได้โดยทั่วไป



รูปที่ 14 (a) ลักษณะการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้ โดยมีการติดตั้งเป็นลักษณะทรงจั่ว ทรงโค้ง และทรงลาดเฉียงตรง และ (b) โซลาร์เซลล์แบบเดิมติดตั้งแบบเฉียงตรง



ตารางที่ 3 คุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แบบ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

คุณสมบัติ	แผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้	แผงโซลาร์เซลล์แบบเดิม
ชนิดของโซลาร์เซลล์	ฟิล์มบางชนิดอะมอร์ฟิส ซิลิคอนแบบสามรอยต่อ	ฟิล์มบางชนิดอะมอร์ฟิส ซิลิคอน ( a - Si PV Module )
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (วัตต์)	72	40
พื้นที่รับแสง (ตารางเมตร)	0.886	0.738
แผ่นรองรับ	แผ่นยาง	แผ่นแก้ว
ความยืดหยุ่น	มี	ไม่มี
น้ำหนัก (kg)	4	14

## 2. การทดสอบประสิทธิภาพ

หลังจากติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็จะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแผงที่เงื่อนไขการทำงานต่างๆ โดยจะทำการวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่มาตกกระทบ ( $P_s$ ) แรงดันไฟฟ้า ( $V_m$ ) กระแสไฟฟ้า ( $I_m$ ) พื้นที่รับแสง (A) และอุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละแผง (T) ในทุกๆ ครั้งชั่วโมง โดยข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพและกำลังการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ได้

การวัดความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบทำโดยการใช้มิเตอร์วัดแสง (Light meter) ทำการวัดทั้งหมด 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งปลายทั้งสองด้าน และตำแหน่งกึ่งกลาง โดยให้หัววัดวางอยู่ในแนวเดียวกับแผงโซลาร์เซลล์ จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ย รูปที่ 15 แสดงการวัดความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์



รูปที่ 15 การวัดปริมาณแสงอาทิตย์ตกกระทบ

การวัดอุณหภูมิ จะทำการวัดทั้งหมด 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งปลายทั้งสองด้าน และตำแหน่งกึ่งกลาง โดยใช้เครื่องอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ โดยวัดให้มีระยะห่างจากเซลล์แสงอาทิตย์ ประมาณ 20 ซม แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย



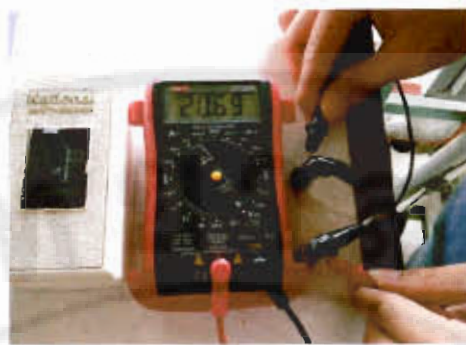
รูปที่ 16 การวัดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

การวัดค่ากระแสไฟฟ้า สามารถวัดด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์แบบเข็ม โดยทำการต่อมัลติมิเตอร์แบบอนุกรมกับระบบ และวงจรจะต้องต่อเข้ากับภาระงานทางไฟฟ้าเพื่อให้ได้ค่าของกระแสไฟฟ้า ขณะที่แผงแสงอาทิตย์กำลังทำงาน ( $I_m$ ) โดยการวัดจะทำทุกๆ ครึ่งชั่วโมง และวัดพร้อมกับความเข้มแสงอาทิตย์



รูปที่ 17 การวัดกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า จะทำโดยใช้เครื่องมัลติมิเตอร์แบบเข็ม โดยทำการต่อมัลติมิเตอร์แบบขนานกับระบบ และวงจรจะต้องต่อเข้ากับภาระงานทางไฟฟ้าเพื่อให้ได้ค่าของแรงดันไฟฟ้า ขณะที่แผงแสงอาทิตย์กำลังทำงาน ( $V_m$ ) โดยการวัดจะทำทุกๆ ครึ่งชั่วโมง และวัดพร้อมกับความเข้มแสงอาทิตย์

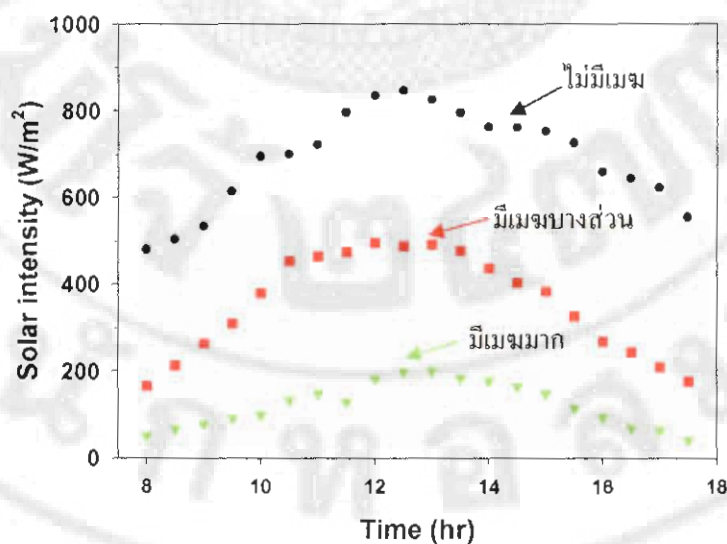


รูปที่ 18 การวัดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

### ผล และ วิจารณ์ผลการวิจัย

#### 1. ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์

เบื้องต้นจะทำการวัดความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้น โดยจะทำการวัดบริเวณ ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยจะทำการวัดทุกความเข้มแสงทุกๆ ครึ่งชั่วโมง โดยเริ่มวัด ตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.30 น ทำการวัดความเข้มแสงอาทิตย์ระหว่างเดือนเมษายน – สิงหาคม 2555 โดยทำการเลือกลักษณะของสภาพอากาศทั้งหมด 3 แบบคือ วันที่ไม่มีเมฆ, วันที่มีเมฆบางส่วน และ วันที่มีเมฆทึบหรือฝนตก



รูปที่ 19 ความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบที่เวลาต่างๆ วัดที่บริเวณศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เมื่อมีสภาพอากาศแตกต่างกัน 3 ลักษณะ คือ ไม่มีเมฆ มีเมฆบางส่วน และมีเมฆมาก

ตารางที่ 4 ความเข้มแสงเฉลี่ยของสภาพอากาศทั้งสามลักษณะ

	ไม่มีเมฆ	มีเมฆบางส่วน	มีเมฆมาก
ความเข้มแสงสูงสุด ( $W/m^2$ )	845	495	198
ความเข้มแสงต่ำสุด ( $W/m^2$ )	480	164	39
ความเข้มแสงเฉลี่ย ( $W/m^2$ )	690.3±111.7	354.9±116.9	119.5±51.82
จำนวนชั่วโมงที่ทำการวัด (ชั่วโมง)	9.5	9.5	9.5
Peak sun hour (psh) ( $kWh/m^2$ )	6.56±1.1	3.37±1.1	1.13±0.5

รูปที่ 19 แสดงความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้น ณ เวลาต่างๆ ที่สภาวะอากาศที่แตกต่างกัน โดยความเข้มของแสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากช่วงเช้าไปถึงค่าสูงสุด ณ ช่วงเวลาตอนเที่ยงถึงบ่ายโมง จากนั้นก็จะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จากการวัดพบว่าค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ  $845 W/m^2$  และน้อยที่สุดเท่ากับ  $39 W/m^2$  โดยพบว่าความเข้มแสงเฉลี่ยของวันที่มีเมฆบางส่วนจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของวันที่ไม่มีเมฆ และวันที่มีเมฆมากความเข้มแสงเฉลี่ยจะน้อยกว่าวันที่ไม่มีเมฆอยู่ประมาณ 6 เท่า ตารางที่ 4 สรุปศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าค่า peak sun hour (psh) สูงสุดอยู่ที่ 6.56 และต่ำสุดมีค่าประมาณ 1.13 โดยค่า psh จะสามารถนำไปคำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่แผงโซลาร์เซลล์สามารถผลิตได้ในแต่ละช่วงสภาวะอากาศต่อไป

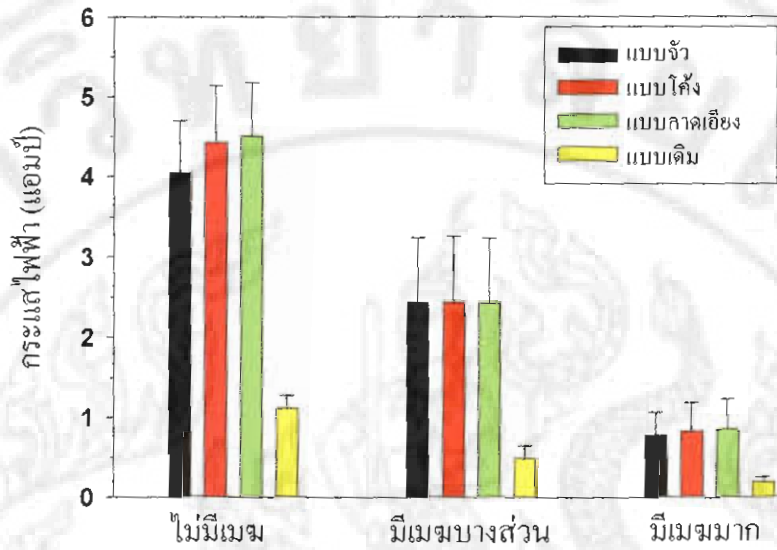
## 2. ประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์

ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้ที่ติดตั้งแตกต่างกัน 3 รูปแบบ และโซลาร์เซลล์แบบเดิม ทำการเปรียบเทียบขณะการทำงานที่สภาวะอากาศแตกต่างกัน 3 รูปแบบคือ ไม่มีเมฆ มีเมฆบางส่วน และมีเมฆมาก โดยจะวัดกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงแสงอาทิตย์ขณะเชื่อมต่อกับภาระงานทางไฟฟ้า

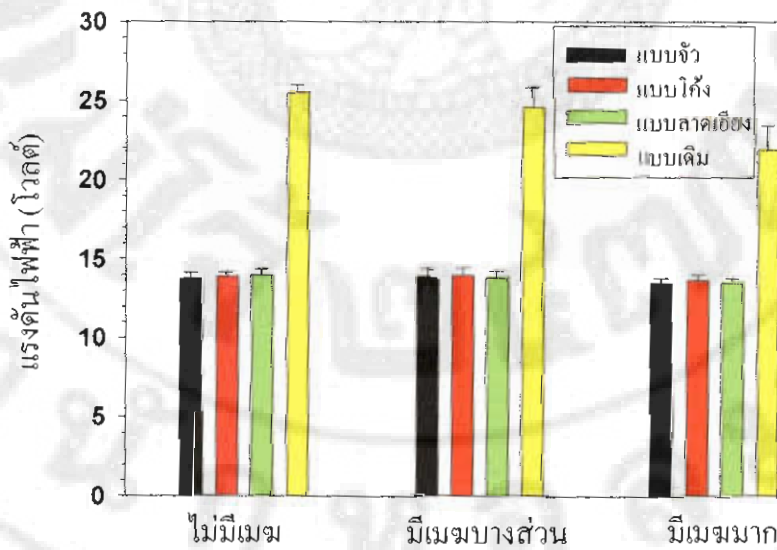
รูปที่ 20 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในหนึ่งวันที่แผงโซลาร์เซลล์แต่ละแบบสามารถผลิตได้ภายใต้ปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน จากรูปพบว่าวันที่ไม่มีเมฆแผงโซลาร์เซลล์จะให้กระแสในปริมาณสูงสุดประมาณ 4.5 แอมป์ แต่กระแสจะลดลงไปเป็นอย่างมากเมื่อปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ลดลงในวันที่มีเมฆมาก โดยการลดลownั้นมีค่าประมาณ 77% และเมื่อดูผลกระทบจากรูปแบบการติดตั้งพบว่าในการทดลองทั้งสามสภาวะรูปแบบของการติดตั้งมีผลต่อปริมาณกระแสน้อยมากอาจจะถือว่าอยู่ในช่วงของความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้ โดยกระแสเฉลี่ยที่ได้จากการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ตามแนวจั่ว แนวโค้ง และแนวลาดเอียงมีค่าใกล้เคียงกันใน



แต่ละสภาวะการทำงาน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับโซลาร์เซลล์แบบเดิมพบว่าโซลาร์เซลล์แบบพียงอ  
ได้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากกว่าประมาณ 4 เท่า



รูปที่ 20 กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ ณ สภาวะการทำงานต่างๆ โดย ■ ติดตั้งแบบจั่ว ■ ติดตั้งแบบโค้ง ■ ติดตั้งแบบลาดเอียง และ ■ ติดตั้งแบบเดิม



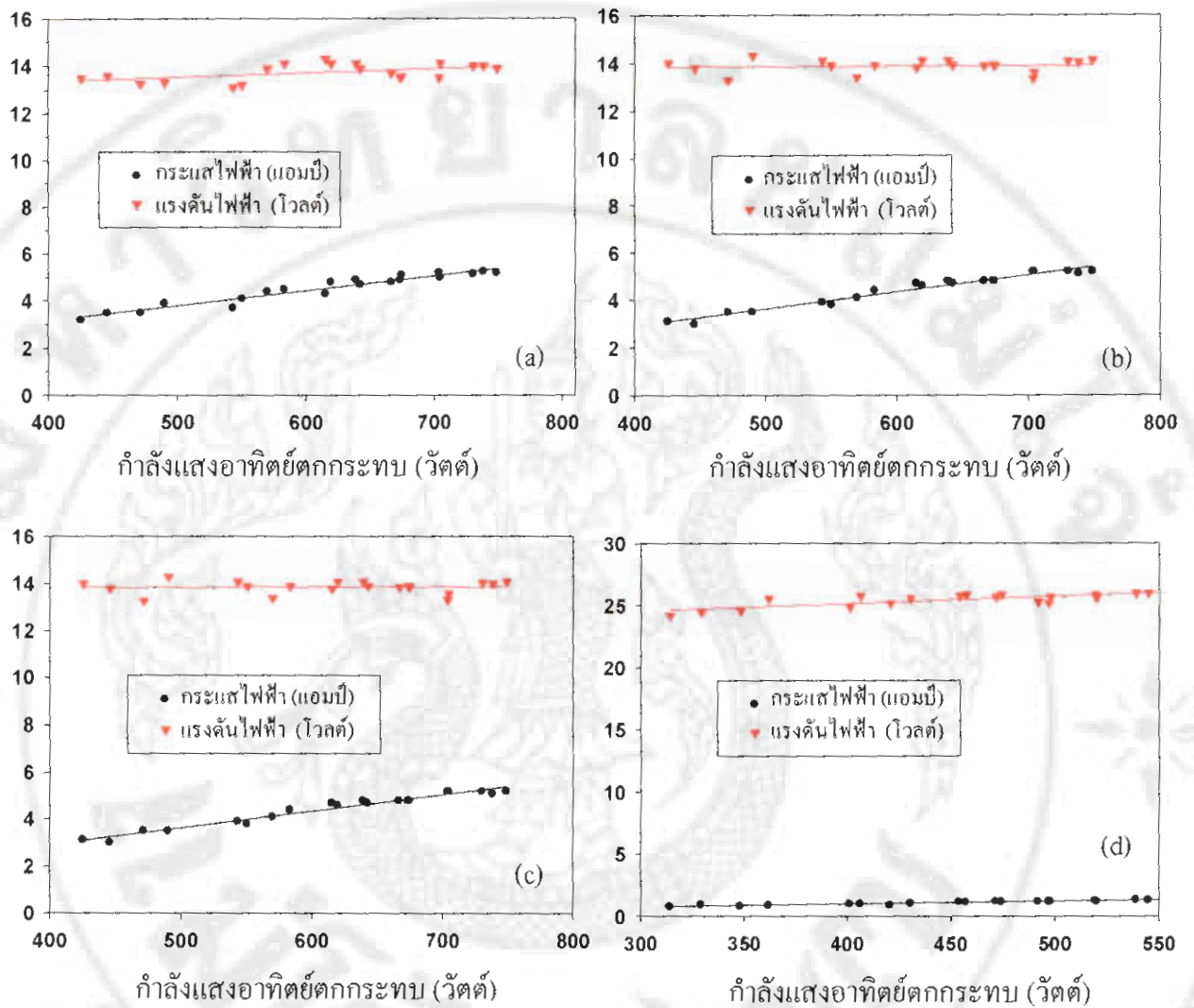
รูปที่ 21 แรงดันไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ ณ สภาวะการทำงานต่างๆ โดย ■ ติดตั้งแบบจั่ว ■ ติดตั้งแบบโค้ง ■ ติดตั้งแบบลาดเอียง และ ■ ติดตั้งแบบเดิม

ตารางที่ 5 กระแสและแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 4 แผง

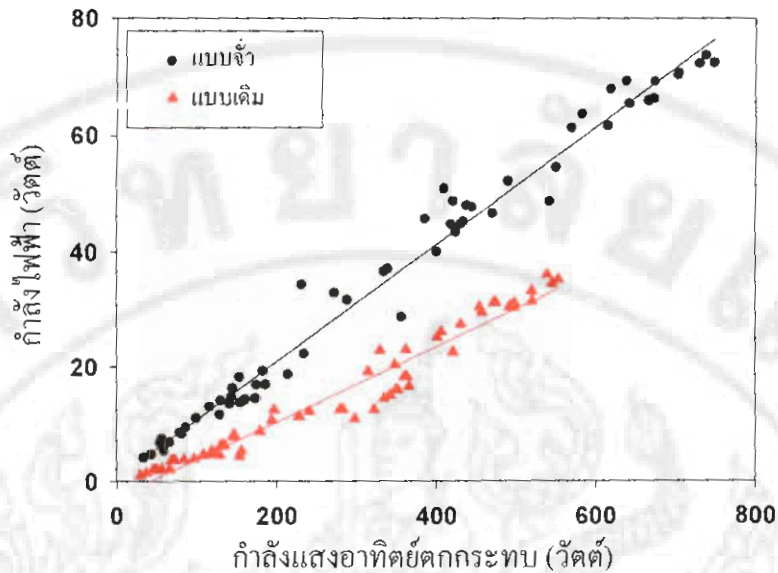
สถานะการทำงาน	กระแสไฟฟ้า (แอมป์)				แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)			
	จั่ว	โค้ง	เอียง	แบบเดิม	จั่ว	โค้ง	เอียง	แบบเดิม
ไม่มีเมฆ	4.5	4.4	4.5	1.1	13.7	13.9	13.9	25.5
มีเมฆบางส่วน	2.4	2.4	2.4	0.48	13.8	13.8	13.8	24.5
มีเมฆมาก	0.78	0.82	0.85	0.18	13.5	13.5	13.5	21.8

รูปที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าในสถานะการทำงานที่แตกต่างกัน 3 สถานะคือสถานะที่ไม่มีเมฆ (รังสีแสงอาทิตย์สูงสุด) สถานะที่มีเมฆบางส่วน และสถานะที่มีเมฆมาก โดยลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ได้ในแต่ละแผงยังคงเหมือนกับลักษณะของกระแสไฟฟ้ากล่าวคือไม่ได้รับผลกระทบจากรูปแบบการติดตั้ง โดยพบว่า การติดตั้งแบบจั่ว แบบโค้ง และแบบลาดเอียง จะให้แรงดันเฉลี่ยที่เท่ากัน จากรูปยังแสดงอีกว่าแรงดันไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ไม่ได้รับผลกระทบจากปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ สังเกตได้จากค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของแต่ละแผงที่มีค่าเท่ากันหมดไม่ว่าจะทำงานที่สถานะใดก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าระหว่างแผงแบบพิงงอได้และแผงแบบเดิม พบว่าแผงแบบเดิมให้แรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าประมาณ 2 เท่า ตารางที่ 5 สรุปค่าของกระแสและแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 4 แผง ที่สถานะทำงานต่างๆ ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันที่ไม่เท่ากันระหว่างแผงแบบพิงงอได้และแผงแบบเดิมมีผลมาจากกระบวนการผลิตที่ไม่เหมือนกัน ใช้วัสดุที่มีขนาดและลักษณะที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 3)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า (แกนตั้ง) กับกำลังแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์แต่ละแผง (แกนนอน) (รูปที่ 22) สำหรับวันที่ไม่มีเมฆ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ากระแสไฟฟ้ามืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแบบเป็นเส้นตรงตามปริมาณกำลังแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ โดยลักษณะการเพิ่มขึ้นนี้เป็นจริงในวันที่มีเมฆบางส่วนและวันที่มีเมฆมากด้วย ส่วนแรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่โดยประมาณและมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อปริมาณกำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 22 การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้ในวันไม่มีเมฆเมื่อกำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบมีค่าเพิ่มขึ้นๆ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์แบบพันงอได้โดยติดตั้งแบบ (a) จั้วตามหลังคา, (b) โคงังตามหลังคา, (c) ลาดเอียงตามหลังคา และ (d) โซลาร์เซลล์แบบเดิมติดตั้งตามแนวลาดเอียง



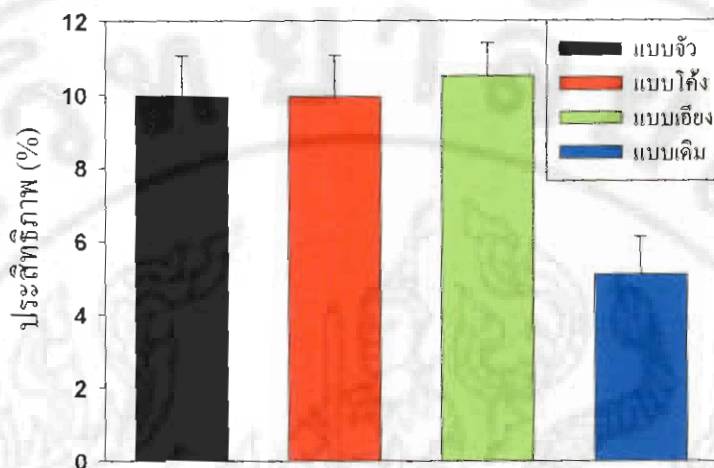
รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และกำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบเปรียบเทียบระหว่างแผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้ที่ติดตั้งแบบจั่วตามหลังคา และแผงโซลาร์เซลล์แบบเค็มที่ติดตั้งตามแนวลาดเอียงของหลังคา

รูปที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (แกน y) และกำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบ (แกน x) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างแผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้ที่ติดตั้งตามแนวจั่วของหลังคา กับแผงโซลาร์เซลล์แบบเค็ม จากกราฟพบว่าความสัมพันธ์ที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยแผงติดตั้งแบบจั่วให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 73.5 วัตต์ ที่กำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบเท่ากับ  $740 \text{ W/m}^2$  ส่วนแผงโซลาร์เซลล์แบบเค็มให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 35.8 วัตต์ ที่กำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบเท่ากับ  $540 \text{ W/m}^2$  สาเหตุที่กำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบไม่เท่ากันเนื่องจากพื้นที่รับแสงของทั้งสองแผงมีค่าไม่เท่ากัน (ตารางที่ 3) ส่วนแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งแบบโค้งงอ และแบบลาดเอียงให้ผลเหมือนกับแผงแบบจั่ว

รูปที่ 24 แสดงค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ที่ทำการติดตั้งในแต่ละรูปแบบซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 4 หรืออาจจะหาได้จากความชันของกราฟในรูปที่ 23 โดยพบว่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของแผงแบบพับงอได้จะอยู่ที่ประมาณ 10% ส่วนแผงแบบเค็มจะมีค่าเท่ากับ 5% ซึ่งประสิทธิภาพของแผงที่ได้มีค่าค่อนข้างคงที่ไม่ขึ้นกับความเข้มของแสงอาทิตย์ที่มาตกกระทบ ดังเหตุได้จากกราฟรูปที่ 23 ที่ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และกำลังแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบมีลักษณะเป็นเส้นตรง นั่นก็หมายความว่าปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบมีผลต่อปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่านั้น แต่ไม่ได้มีผลต่อประสิทธิภาพของแผง



แสดงอาทิตย์ ตารางที่ 6 สรุปค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของโซลาร์เซลล์แต่ละแผง โดยทำการเฉลี่ยจากข้อมูลทุกค่าของรังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบ

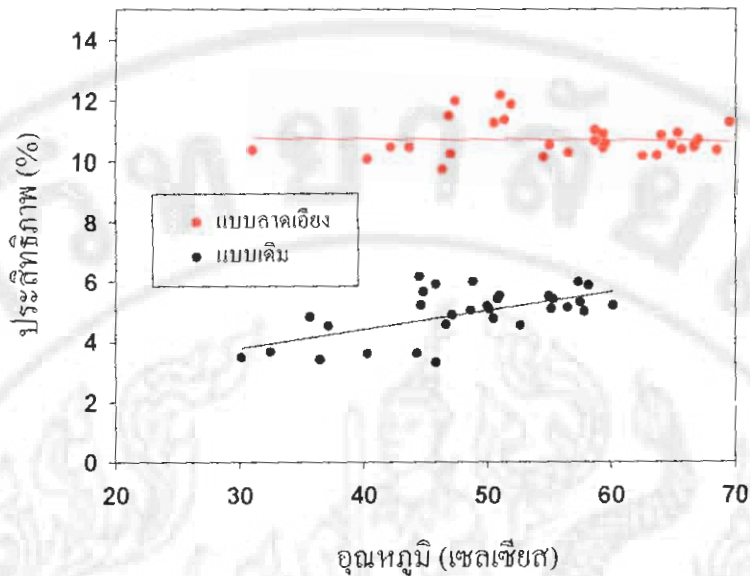


รูปที่ 24 ประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 4 แผง

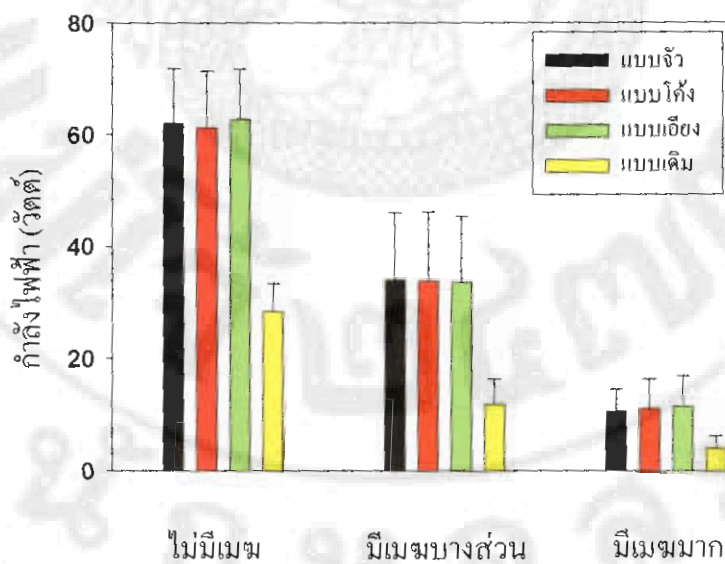
ตารางที่ 6 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 4 แผง

ชนิดของแผงโซลาร์	ประสิทธิภาพ (%)
แบบจั่ว	9.96±1.11
แบบโค้ง	9.94±1.14
แบบลาดเอียง	10.51±0.89
แบบเดิม	5.08±1.04

จากสมการที่ 6 สามารถแปลความหมายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์เพิ่มสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าจะลดลง กำลังไฟฟ้าลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์จะลดลงตามไปด้วย รูปที่ 25 แสดงผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้ที่ติดตั้งตามแนวลาดเอียง และ โซลาร์เซลล์แบบเดิมที่ติดตั้งตามแนวลาดเอียง จากรูปจะพบว่าประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้แทบจะไม่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิ สังเกตได้จากค่าประสิทธิภาพมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 10 – 12% เมื่ออุณหภูมิของแผงมีค่าระหว่าง 30 – 70 องศาเซลเซียส โดยที่โซลาร์เซลล์แบบพับงอได้อีกสองแผงก็ให้ผลในลักษณะเดียวกัน แต่สำหรับโซลาร์เซลล์แบบเดิมที่ติดตั้งตามแนวลาดเอียงพบว่าประสิทธิภาพกลับมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเพิ่มจาก 3.5% ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ไปเป็น 5.2% ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากผลการศึกษาที่ได้ทำให้ทราบว่าในทางปฏิบัติแล้วอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นขณะใช้งานมีผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์น้อยมาก



รูปที่ 25 ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ขณะทำงานที่อุณหภูมิต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างแผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้ที่ติดตั้งตามแนวลาดเอียงกับแผงโซลาร์เซลล์แบบเดิมติดตั้งตามแนวลาดเอียง



รูปที่ 26 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์ขณะทำงานที่สภาพอากาศต่างๆ โดย ■ ติดตั้งแบบจั่ว ■ ติดตั้งแบบโค้ง ■ ติดตั้งแบบลาดเอียง และ ■ ติดตั้งแบบเดิม

เมื่อทราบถึงประสิทธิภาพการทำงาน ปริมาณกระแสไฟฟ้า และ แรงดันไฟฟ้าที่สภาวะการทำงานต่างๆ แล้ว ก็จะได้ทำการประเมินกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและประมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงแต่ละรูปแบบที่สภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน รูปที่ 26 แสดงถึงกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผง

โซลาร์เซลล์ขณะทำงานในวันที่ไม่มีเมฆ มีเมฆบางส่วน และวันที่มีเมฆมาก โดยพบว่าในวันที่ไม่มีเมฆปริมาณกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหนึ่งวันที่ผลิตได้จากแผงแบบพิงอได้มีค่าเท่ากับ 62 วัตต์ ส่วนแผงโซลาร์เซลล์แบบเดิมมีค่าเท่ากับ 28.5 วัตต์ ส่วนในวันที่มีเมฆบางส่วนและวันที่มีเมฆมากค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหนึ่งวันก็จะมีค่าลดลงไปตามรูปที่ 26 เมื่ออาศัยจำนวนชั่วโมงที่ทำการเก็บข้อมูลซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.5 ชั่วโมง (รูปที่ 19) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 วัน (วัตต์ชั่วโมง) สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{พลังงานไฟฟ้า} = \text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย} \times 9.5 \text{ ชั่วโมง} \quad (8)$$

ตารางที่ 7 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ผลิตได้ใน 1 วัน สำหรับแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 4 แผง เมื่อทำงานที่สภาวะอากาศที่แตกต่างกัน

ชนิดแผง	ไม่มีเมฆ		มีเมฆบางส่วน		มีเมฆมาก	
	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	พลังงาน ไฟฟ้า (วัตต์ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	พลังงาน ไฟฟ้า (วัตต์ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	พลังงาน ไฟฟ้า (วัตต์ชั่วโมง)
แบบจั่ว	62	589	34	323	10.6	101
แบบโค้ง	61.3	582	33.8	321	11.1	105
แบบลาด	62.7	595	33.5	318	11.5	109
แบบเดิม	28.4	270	11.8	112	4.1	39

จากตารางที่ 7 จะพบว่าโซลาร์เซลล์แบบพิงอได้ที่ติดตั้งตามลักษณะของหลังคาทั้ง 3 รูปแบบจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยพบว่าในวันที่ท้องฟ้าไม่มีเมฆ (แผงได้รับปริมาณแสงอาทิตย์สูงสุด) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีค่ามากกว่าวันที่มีเมฆมากประมาณ 6 เท่า และมีค่ามากกว่าโซลาร์เซลล์แบบเดิมประมาณ 3 เท่าในแต่ละสภาพอากาศ ปริมาณไฟฟ้าที่ได้จากแผงแต่ละแผงเหมาะสมสำหรับนำไปใช้กับระบบที่ใช้ไฟไม่มากเช่น ระบบส่องสว่างตามทางเดิน โดยส่วนมากระบบจะมีแบตเตอรี่สำหรับเก็บสำรองไฟไว้ใช้โดยระบบจะทำการชาร์จเมื่อมีปริมาณแสงอาทิตย์มาก และเมื่อมีปริมาณแสงอาทิตย์น้อยหรือเวลากลางคืนระบบก็จะดึงไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียกับแผงโซลาร์เซลล์แบบเดิมจะพบว่าแผงโซลาร์เซลล์แบบพิงอได้จะมีน้ำหนักที่เบา (4 กิโลกรัม/แผง) ส่วนแผงแบบเดิมจะมีน้ำหนักที่มากกว่า (14 กิโลกรัม/แผง) แต่ทำให้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่าถึง 3 เท่า แผงแบบใหม่สามารถที่จะติดตั้งไว้บน

หลังคาในทุกรูปทรงโดยไม่ต้องคำนึงถึงเรื่องของการแตกหรือหักของแผง ยิ่งไปกว่านั้นแผงแบบพับงอได้ยังสามารถที่จะนำไปติดกับผนังหรือกำแพงของอาคารได้อีกด้วย และด้วยน้ำหนักที่เบากว่าทำให้ไม่ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในเรื่องโครงสร้างสำหรับการติดตั้ง แต่เนื่องจากว่าแผงแบบพับงอได้ยังคงเป็นเทคโนโลยีใหม่ ตัวแผงไม่สามารถผลิตได้ในประเทศไทย ยังคงต้องนำเข้า ทำให้ราคาแผงโซลาร์เซลล์ยังมีราคาสูง ตารางที่ 8 แสดงการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยประมาณใน 1 ปีมีจำนวนวันที่ไม่มีเมฆบดบังเท่ากับ 150 วัน วันที่มีเมฆบางส่วนเท่ากับ 150 วัน และวันที่มีเมฆมากเท่ากับ 65 วัน

ตารางที่ 8 ประมาณการผลทางเศรษฐศาสตร์ (คิดผลของ 1 ปี)

ตัวแปร	แผงโซลาร์เซลล์	
	แบบพับงอได้	แบบเดิม
ราคาต่อแผง (บาท)	11,500	5,000
จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยต่อวันที่มีแดด (ชั่วโมง)	9	9
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (วัตต์ชั่วโมง)*	136,035	56,340
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	136.035	56.34
ค่าไฟฟ้ารวมแอดเดออร์ (9.5 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง)	1,292	535
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)**	9	9.35
ระยะเวลารับประกันแผงโซลาร์เซลล์ (ปี)	25	25
พื้นที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ขนาดกำลังสูงสุด 1 กิโลวัตต์ (ตารางเมตร)	15	26
น้ำหนักแผงต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุด 1 กิโลวัตต์ (กิโลกรัม)	68	500
โครงสร้าง	ไม่มี	มี

\* พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้คิดจากสมการที่ 8 โดยใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงแบบพับงอได้เท่ากับ 62 วัตต์, 34 วัตต์ และ 11 วัตต์ ในวันที่ไม่มีเมฆ, มีเมฆบางส่วน และมีเมฆมากตามลำดับ ส่วนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงแบบเดิมใช้เท่ากับ 28 วัตต์, 12 วัตต์ และ 4 วัตต์ ในวันที่ไม่มีเมฆ, มีเมฆบางส่วน และมีเมฆมากตามลำดับ

\*\* ระยะเวลาคืนทุนนี้คิดจากการหารราคาต่อแผงด้วยค่าไฟฟ้ารวมแอดเดออร์แล้ว ซึ่งในที่นี้คิดค่าไฟฟ้าปรกติเท่ากับ 3.5 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง และแอดเดออร์เท่ากับ 6 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยระยะเวลาคืนทุนนี้คิดแต่ต้นทุนของแผงอย่างเดียว ยังไม่นับรวมอุปกรณ์อื่นๆ ที่ต้องเพิ่มในระบบ



จากตารางที่ 8 พบว่าต้นทุนแผงสำหรับแบบพับงอได้มีค่าสูงกว่าแบบเดิมประมาณ 2 เท่า แต่เนื่องจากว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงแบบพับงอได้มีค่าสูงกว่าทำให้ระยะเวลาการคืนทุนของแผงทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกันคือ 9 ปี เมื่อคิดแอดเดอร์เท่ากับ 6 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งระยะเวลาคืนทุนนี้น้อยกว่าระยะเวลาที่บริษัทผลิตแผง โซลาร์เซลล์รับประกันคุณภาพของแผง (25 ปี) ทำให้การใช้แผงแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจะมีความคุ้มค่าเมื่อคิดผลระยะยาว (เกินกว่า 10 ปี) เมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งพบว่าแผงแสงอาทิตย์แบบพับงอได้จะใช้พื้นที่ในการติดตั้งประมาณ 15 ตารางเมตร ส่วนแผงโซลาร์เซลล์แบบเดิมจะใช้ 25 ตารางเมตร หรือใช้พื้นที่มากกว่าแผงแบบพับงอได้ประมาณ 66 % ต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุด 1 กิโลวัตต์ และด้วยน้ำหนักแผงรวม 500 กิโลกรัมสำหรับการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 1 กิโลวัตต์สำหรับแผง โซลาร์เซลล์แบบเดิมทำให้ต้องมีการออกแบบ โครงสร้างเพื่อมารองรับน้ำหนักเพิ่มเติม ซึ่งแตกต่างจากแผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้ที่ไม่ต้องออกแบบโครงสร้างเพิ่มเติมเพื่อรับน้ำหนักเนื่องจากน้ำหนักรวมที่เบากว่ากันถึง 7 เท่า (68 กิโลกรัม/กิโลวัตต์) เมื่อเปรียบเทียบที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด 1 กิโลวัตต์เหมือนกัน

#### สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยพบว่าอุณหภูมิ และ รูปแบบการติดตั้งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้และแบบเดิมน้อยมาก สังเกตได้จากค่าของประสิทธิภาพของแผงโซลาร์จะมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงของอุณหภูมิที่ใช้งาน และยังมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับการติดตั้งในแต่ละรูปแบบ แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผงทั้งสองชนิดพบว่าแผงแบบพับงอจะให้ค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพที่สูงกว่าแบบเดิมเป็นอย่างมาก โดยแผงแบบพับงอได้จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 10% ส่วนแผงแบบเดิมจะมีประสิทธิภาพที่ประมาณ 5% ส่วนสภาพอากาศจะส่งผลโดยตรงต่อการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ โดยวันที่ไม่มีเมฆแผงจะให้กำลังไฟฟ้าที่สูงกว่าวันที่มีเมฆประมาณ 6 เท่า แต่เมื่อคิดประสิทธิภาพพบว่าจะมีค่าโดยประมาณใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบผลทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าแผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้และแผงโซลาร์เซลล์แบบเดิมจะมีระยะเวลาคืนทุนที่ใกล้เคียงกันคือ 9 ปี แต่โซลาร์เซลล์แบบพับงอได้จะมีข้อได้เปรียบในเรื่องของการใช้พื้นที่ในการติดตั้งและน้ำหนักรวมของแผงน้อยกว่า ทำให้ไม่ต้องเพิ่มโครงสร้างสำหรับการติดตั้ง ข้อดีของแผงโซลาร์แบบพับงอได้คือความยืดหยุ่น คุณสมบัตินี้ทำให้สามารถติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาในบริเวณที่โค้งหรือเป็นजूได้ ทำให้สามารถใช้พื้นที่ในการติดตั้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ การติดตั้งและดูแลรักษาทำได้ง่ายกว่าเนื่องจากว่าแผงมีความยืดหยุ่น ทำให้ไม่แตกหักระหว่างการติดตั้งและ โอกาสที่จะเสียหายเนื่องจากการใช้งานจะมีน้อยกว่า ซึ่งจากการศึกษาวิจัยพบว่าแผงโซลาร์เซลล์แบบพับงอได้มีศักยภาพสูงในการนำมาใช้งานเพื่อผลิต

กระแสไฟฟ้าแทนแผงโซลาร์เซลล์แบบเดิมที่เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน โดยลักษณะการใช้งานจะเป็นแบบนำมาติดเข้าไปกับส่วนต่างๆ ของอาคาร เช่น ผนัง กำแพง และหลังคา เป็นต้น

#### เอกสารอ้างอิง

- Ahearne, J.F. 2011. Prospects for nuclear energy. **Energ. Econ.** 33(4):572 – 580.
- Arias, A.C., J.D. MacKenzie, I. McCulloch, J. Rivnay and A. Salleo. 2010. Materials and applications for large area electronics: Solution-based approaches. **Chem. Rev.** 110: 3-24.
- Bhattacharya, S.C., P. Abdul Salam, H.L. Pham and N.H. Ravindranath. 2003. Sustainable biomass production for energy in selected Asian countries. **Biomass. Bioenerg.** 25(5): 471 – 482.
- Dincer, F. and M.E. Meral. 2010. Critical factors that affecting efficiency of solar cells. **Smart Grid and Renewable Energy.** 1: 47-50.
- Goswami, D.G., F. Kreith and J.F. Kreider. 1999. **Principles of solar engineering.** George H. Buchanan Co: Philadelphia. 412p.
- Hankins, M. 2010. **Stand-alone solar electric systems.** Earthscan: London. (Chapter 2).
- Kazmerski, L. National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- Krebs, F.C. 2009. Fabrication and processing of polymer solar cells: A review of printing and coating techniques. **Sol. Energ. Mater. Sol. Cell.** 93: 394-412.
- Kun, L.I. 2012. Research on prospect and problem for hydropower development of China. **Proc. Eng.** 28:677 – 682.
- Luque, A. 2011. Will we exceed 50% efficiency photovoltaics?. **J. Appl. Phys.** 110: 031301.
- Schultz, O., S.W. Glunz and G.P. Willeke. 2004. Multicrystalline silicon solar cells exceeding 20% efficiency. **Prog. Photovolt. Res. Appl.** 12:553 – 558.
- Michael, D. 2012. Nuclear energy: Status and future limitations. **Energy.** 37(1):35 – 40.
- Nansaio, A., A. Patanotai, A. Terry Rambo and S. Simaraks. 2011. Climbing the energy ladder or diversifying energy sources? The continuing importance of household use of biomass energy in urbanizing communities in Northeast Thailand. **Biomass. Bioenerg.** 35(10): 4180 – 4188.
- Pagliaro, M., G. Palmisano and R. Ciriminna. 2008 **Flexible Solar Cells.** Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA: Weinheim. 12p.

Patel, M.R. 1999. **Wind and solar power systems**. CRC press LLC: Florida. 130p.

Perlin, J. 2004. **"The Silicon Solar Cell Turns 50"**. National Renewable Energy Laboratory.

<http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/33947.pdf>

Pöschl, M., S. Ward and P. Oweden. 2010. Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways. **Appl. Energ.** 87(11):3305 – 3321.

Sesto, E. and C. Casale. 1998. Exploitation of wind as an energy source to meet the world's electricity demand. **J. Wind. Eng. Ind. Aerod.** 74:375 – 387.

Yüksel, I. 2008. Hydropower in Turkey for a clean and sustainable energy future. **Renew. Sust. Energ. Rev.** 12(6):1622 – 1640.

<http://www.vcharkarn.com/electric/article/view.php?id=42700>

<http://www.erec.org/>

[http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com\\_content&view=article&id=80:2010-05-03-10-23-13&catid=52&Itemid=68&lang=th](http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=80:2010-05-03-10-23-13&catid=52&Itemid=68&lang=th)

<http://www.nanosolar.com/technology>

<http://www.konarka.com/index.php>

<http://www.nrel.gov/>