

การศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในเขตจังหวัดลำปาง สำหรับการประยุกต์ใช้งานในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

The Potential Evaluation of Solar Irradiation at Lampang Province for

Electric Energy Application

รวิภา ขงประยูร^{1*} และวศินวีโรจน์ เนติศักดิ์²

บทคัดย่อ

ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีในจังหวัดลำปางเท่ากับ 18.61 เมกกะจูล ต่อ ตารางเมตร หรือ 2,326.25 กิโลวัตต์.ชั่วโมง ต่อ ตารางเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์สูงกว่าค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายปีของทั้งประเทศและทั่วโลก สามารถพัฒนาและสนับสนุนส่งเสริมเทคโนโลยีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการผลิตพลังงานเป็นแหล่งพลังงานทางเลือก ซึ่งการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์อาจจำแนกเป็นสองรูปแบบ ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ ได้แก่ เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน (Thermal Energy) และ เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้า (Electric Energy) การใช้พลังงานในจังหวัดลำปางเป็นการใช้พลังงานของผู้บริโภคซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากพลังงานขั้นสุดท้ายมีสัดส่วนการใช้พลังงานชนิดต่างๆแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ น้ำมัน สำเร็จรูป, ไฟฟ้า และพลังงานหมุนเวียนหรือพลังงานทดแทน จากผลการประเมินศักยภาพของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการผนวกข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของจังหวัดลำปางเข้ากับข้อมูลสมรรถนะของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการพัฒนาในเชิงพาณิชย์ พบว่า ปริมาณไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้เท่ากับ 45,596 เมกกะวัตต์.ชั่วโมง สามารถทดแทนปริมาณการใช้ไฟฟ้าในส่วนของการสูบน้ำ ไฟฟ้า ชั่วคราว ตลอดจนหน่วยงานราชการและ รัฐวิสาหกิจ อย่างใดอย่างหนึ่ง

คำสำคัญ พลังงานแสงอาทิตย์, เซลล์แสงอาทิตย์, การใช้พลังงานในจังหวัดลำปาง

ABSTRACT

The average daily solar energy per year in Lampang province is 18.61 MJ/m² or 2,326.25 kWh/m². This is suitable for the development and promotion of solar energy as an alternative energy source. The application of solar technology could be divided into two forms. The first is to produce heat (thermal energy) and the other is to produce electricity (electrical energy).

All energy consumption in Lampang Province can be divided into three different categories namely, petroleum, electricity and renewable energy. Electricity consumption can be further classified into eight groups, residential, small business, medium-sized businesses, large businesses, specific operations, government/state enterprise, electric pumps, and temporary. It was found that in the maximum amount of electricity consumption in 2008 was for residential purposes followed by large and small business.

The research found that the solar energy potential in Lampang province is at a maximum value of 45,596 MWh . This could replace the electricity consumption in government/state enterprises or electric pumps.

Keyword Solar Energy, Solar Cell, Energy Consumption of Lampang Province

*1 อาจารย์สาขาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

2 อาจารย์สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

บทนำ

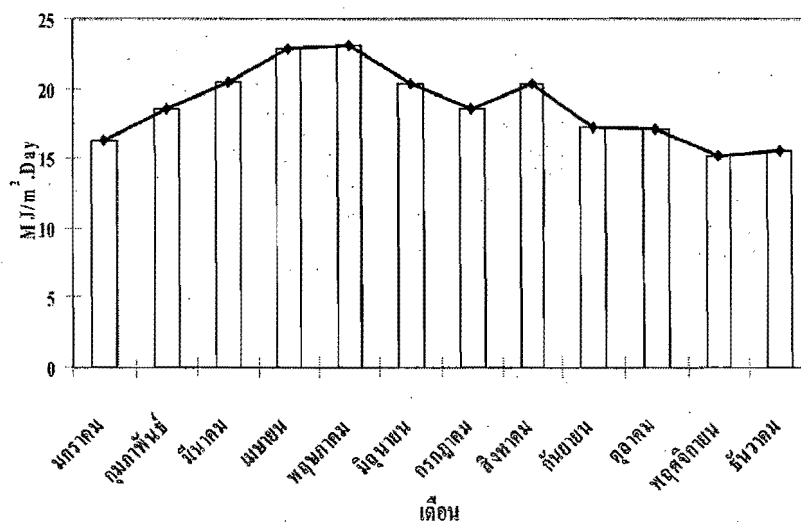
พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) สามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่สิ้นสุด และมีลักษณะกระจายไปสู่ผู้ใช้โดยตรงอีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและตามปกติมนุษย์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติในชีวิตประจำวันอยู่แล้ว ตลอดหลายปีมานี้เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการพัฒนาจนถึงขั้นนำมาใช้งานได้จริง อย่างไรก็ตามการนำอุปกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์เหล่านี้มาใช้ต้องมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของบริเวณที่จะใช้งานด้วย โดยการศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในเขตจังหวัดลำปางเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในการผลิตความร้อนและไฟฟ้า จะกลายเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการสร้างและพัฒนาองค์ความรู้ ตลอดจนการเลือกและประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีทางด้านพลังงาน ทดแทนให้เหมาะสม ซึ่งการตรวจวัดรังสีดวงอาทิตย์สามารถกระทำได้ 2 ลักษณะ ได้แก่

- 1) การคำนวณพลังงานที่ปลดปล่อยจากดวงอาทิตย์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์
- 2) การใช้เครื่องมือวัดความรังสีดวงอาทิตย์หรือรังสีแสงอาทิตย์จากสถานีภาคพื้นดินปริมาณ

พลังงานแสงอาทิตย์

ศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ในเขตจังหวัดลำปาง

ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีในจังหวัดลำปางเท่ากับ 18.61 เมกกะจูล ต่อ ตารางเมตร หรือ 2,326.25 กิโลวัตต์.ชั่วโมง ต่อ ตารางเมตร ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายปีของทั้งประเทศที่มีค่าเท่ากับ 18.2 เมกกะจูล ต่อ ตารางเมตร หรือ 2,275 กิโลวัตต์.ชั่วโมง ต่อ ตารางเมตร [1] จึงสามารถกล่าวได้ว่าศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ของจังหวัดลำปางนั้นอยู่ในเกณฑ์สูง สามารถพัฒนาและสนับสนุนส่งเสริมเทคโนโลยีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการผลิตพลังงานเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกในอนาคต และในช่วงเดือนที่มีปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์รายวันสูงสุดคือ เดือนมีนาคม ถึง เดือนพฤษภาคม



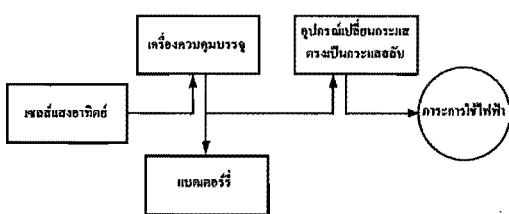
รูปที่ 1 ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของจังหวัดลำปางแบบรายเดือน

เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการผลิตไฟฟ้า

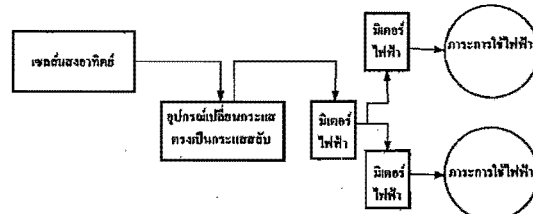
เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จำแนกออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนแสงอาทิตย์โดยระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ

1) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand Alone System) ประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cells) อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Charge Controller) แบตเตอรี่ (Battery) และอุปกรณ์เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าตรงให้เป็นไฟฟ้าสลับ (Inverter) ดังรูปที่ 2

2) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid Connected System) ประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cells) อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Inverter) ดังรูปที่ 3

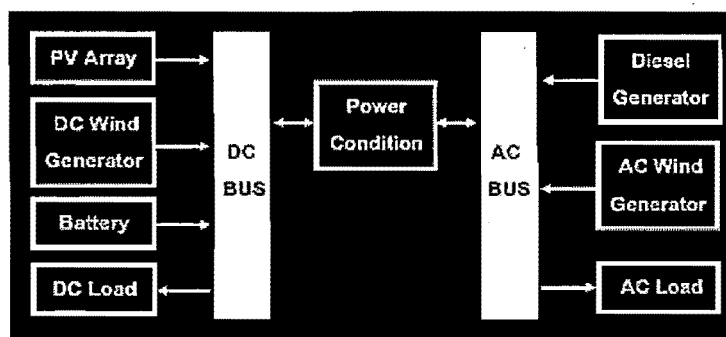


รูปที่ 2 ส่วนประกอบของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ



รูปที่ 3 ส่วนประกอบของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย

3) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid System) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกรวมเข้าทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ อาทิ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานไฟฟ้าจากลม/พลังงานไฟฟ้าจากน้ำ/ เครื่องยนต์ดีเซลเพื่อการเกษตร เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของโครงการแต่ละกรณี ดังรูปที่ 4

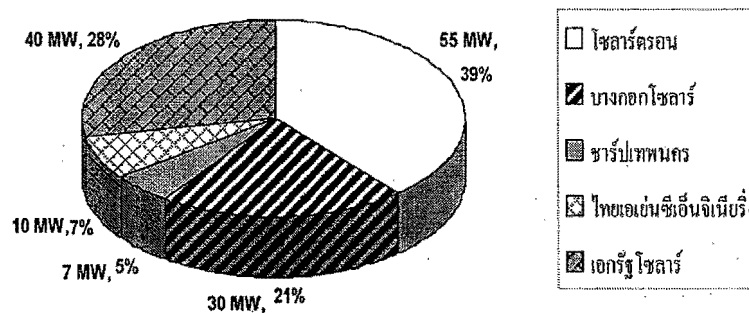


รูปที่ 4 ส่วนประกอบของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
(ที่มา: นิพนธ์ เกตุจ้อย และคณะ, 2549)

สำหรับระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ แบบ Parabolic Troughs, แบบ Central Receivers และ แบบ Parabolic Dishes โดยเทคโนโลยีทั้ง 3 นี้จะอาศัยหลักการรวมแสงโดยใช้กระจกหรือวัสดุสะท้อนแสงหรือวัสดุหมุนตามดวงอาทิตย์ เพื่อสะท้อนแสงและส่งไปยังตัวรับแสงซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานที่อุณหภูมิสูง โดยรูปแบบการนำไปประยุกต์ใช้งานในส่วนนี้ยังเป็นการวิจัยและสาธิตมากกว่างานเชิงพาณิชย์

ศักยภาพของผู้ประกอบการด้านเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ประเทศไทยได้เริ่มมีอุตสาหกรรมผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ปี 2547 อุตสาหกรรมการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย จนถึงปัจจุบันมีโรงงานประกอบแผงเซลล์ (ปลายน้ำ) จำนวน 5 ราย บริษัทที่มีโรงงานผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่ บริษัทโซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน), บริษัทเอกรัฐ โซลาร์ จำกัด และ บริษัท บางกอก โซลาร์ จำกัด รวมกำลังการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบดัดน้ำนี้ประมาณ 65 เมกกะวัตต์ ต่อ ปี ในขณะที่มีกำลังการประกอบแผงรวมประมาณ 77 เมกกะวัตต์ ต่อ ปี จากโรงงานของบริษัททั้ง 5 แห่ง [2] โรงงานของบริษัทโซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) มีกำลังการผลิตสูงสุดเท่ากับ 55 เมกกะวัตต์ ต่อ ปี คิดเป็น 39 % ของส่วนแบ่งการตลาดของกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย โดยบริษัทดังกล่าวเน้นการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอน

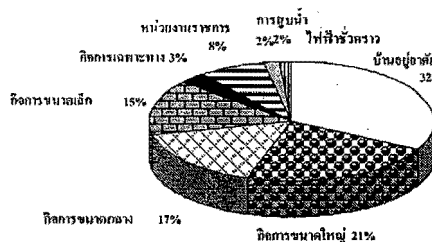


รูปที่ 5 กำลังการผลิตต่อปีของโรงงานผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

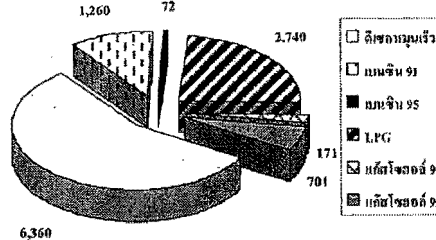
การใช้พลังงานในจังหวัดลำปาง

การใช้พลังงานในจังหวัดลำปางเป็นการใช้พลังงานของผู้บริโภคซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากพลังงานขั้นสุดท้ายมีสัดส่วนการใช้พลังงานชนิดต่างๆแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ น้ำมัน สำเร็จรูป, ไฟฟ้า และ พลังงานหมุนเวียนหรือพลังงานทดแทน ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละปีเมื่อนำมาจำแนกประเภทผู้ใช้ สามารถแบ่งออกเป็น 8 กลุ่มได้แก่ บ้านที่อยู่อาศัย กิจกรรมขนาดเล็ก กิจกรรมขนาดกลาง กิจกรรมขนาดใหญ่ กิจกรรมเฉพาะอย่าง หน่วยงานราชการ/รัฐวิสาหกิจ การสูบน้ำ และไฟฟ้าชั่วคราว พบว่ากลุ่มที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้า สูงสุดในปี 2551 คือ กลุ่มของบ้านอยู่อาศัย รองลงมาคือ กิจกรรมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และขนาดกลาง

ในปี 2551 มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมในจังหวัดลำปางสูงสุด ได้แก่ เชื้อเพลิงประเภทดีเซลหมุนเร็ว เท่ากับ 6,360 เทสลาจุล (10 12 จุล) รองลงมาเป็น แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) เท่ากับ 2,740 เทสลาจุล (10 12 จุล) และ เบนซิน 91 เท่ากับ 1,260 เทสลาจุล (10 12 จุล) ตามลำดับ โดยภาคการขนส่งของจังหวัดเป็นภาคเศรษฐกิจที่มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมสูงสุด รองลงมาคือภาคอุตสาหกรรม [3]

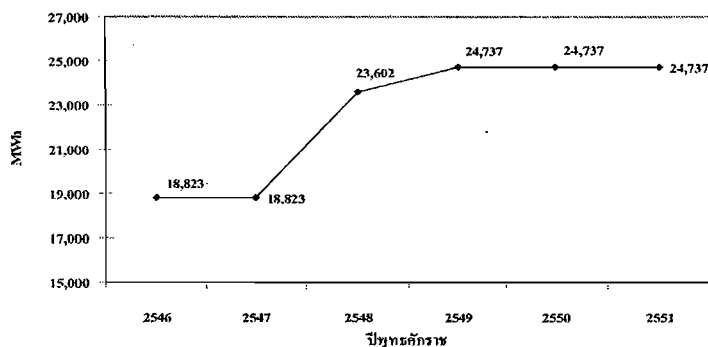


รูปที่ 6 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจำแนกตามผู้ใช้ของจังหวัดลำปางในปี 2551
(ที่มา: ฐานข้อมูลพลังงานจังหวัดลำปาง, 2551)



รูปที่ 7 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมจำแนกตามประเภทเชื้อเพลิงของจังหวัดลำปางในปี 2551
(ที่มา: ฐานข้อมูลพลังงานจังหวัดลำปาง, 2551)

เมื่อพิจารณาฐานข้อมูลการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานหมุนเวียนในจังหวัดลำปางด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อื่นประกอบด้วย ข้อมูลศักยภาพของพลังงานชีวมวล พลังงานจากมูลสัตว์ พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อน ใต้พิภพ ไบโอดีเซล พลังงานจากขยะ และ พลังงานจากลม พบว่า พลังงานแสงอาทิตย์มีศักยภาพสูงสุดและมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ว่างหรือพื้นที่ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งคาดการณ์ว่าในปี 2551 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในจังหวัดลำปาง เท่ากับ 24,737 เมกกะวัตต์ . ชั่วโมง



รูปที่ 8 การประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของจังหวัดลำปาง ระหว่างปี 2546 - 2551

กระบวนการประเมินศักยภาพเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ในจังหวัดลำปาง

กระบวนการประเมินศักยภาพเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบไปด้วยการดำเนินงานสองส่วน ดังนี้

- 1) การรวบรวมข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (ระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ – กรกฎาคม 2552) เมื่อได้ข้อมูลครบถ้วนจึงทำการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของจังหวัดลำปาง
- 2) ข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของจังหวัดลำปางจะผนวกเข้ากับข้อมูลสมรรถนะของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการพัฒนาในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) จำนวน 2 ชนิด ระหว่างเดือน สิงหาคม – ธันวาคม 2552 ด้วยสมการ [4]

$$\eta_A = \frac{E_A}{H_i A_A} = \frac{I_m V_m}{E_0}$$

เมื่อ

η = ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

E^A = พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ หน่วย กิโลวัตต์.ชั่วโมง

H_i^A = พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หน่วย กิโลวัตต์.ชั่วโมง ต่อ ตารางเมตร

A = พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ หน่วย ตารางเมตร

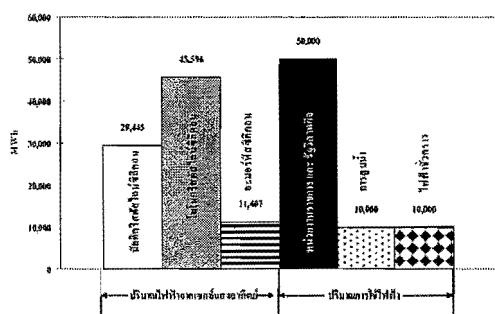
I^A = กระแสไฟฟ้าสูงสุด หน่วย แอมแปร์

V^m = แรงดันไฟฟ้าสูงสุด หน่วย โวลต์

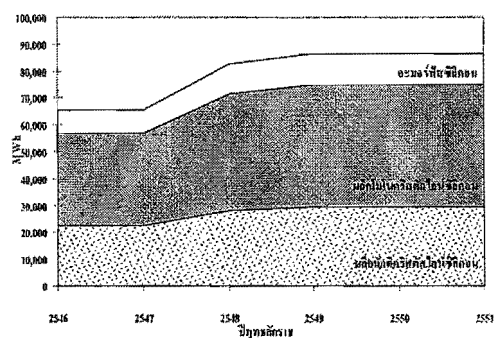
E_0^m = พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ หน่วย กิโลวัตต์.ชั่วโมง ต่อ ตารางเมตร

ศักยภาพเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในจังหวัดลำปาง

เมื่อนำข้อมูลเชิงเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์จากโรงงานผู้ผลิตอันได้แก่ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Array Efficiency, η_A) มาผนวกกับฐานข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดลำปาง (Solar Irradiation, MJ/m².day) เพื่อใช้ในการประเมินศักยภาพของเทคโนโลยีดังกล่าวในจังหวัดลำปางสำหรับการผลิตไฟฟ้า พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตจากโมโนคริสตัลไลน์ซิลิคอนมีสมรรถนะสูงสุดในการผลิตกระแสไฟฟ้าในจังหวัดลำปาง ปริมาณไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้จากเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 45,596 เมกกะวัตต์.ชั่วโมง และค่าต่ำสุด เท่ากับ 11,407 เมกกะวัตต์.ชั่วโมง ซึ่งสามารถทดแทนปริมาณการใช้ไฟฟ้าในส่วนของ การสูบน้ำ ไฟฟ้าชั่วคราว ตลอดจนหน่วยงานราชการและ รัฐวิสาหกิจ อย่างไรก็ดี อย่าง หนึ่ง



รูปที่ 9 แนวโน้มของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ



รูปที่ 10 ปริมาณไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าจังหวัดลำปางปี 2551

สรุปผล

ผลจากการประเมินศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน มุ่งเน้นด้านพลังงานแสงอาทิตย์สามารถนำมาเขียนสรุปลงในตารางที่ 1 เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการสร้างและพัฒนาองค์ความรู้ ตลอดจนการเลือกและประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีทางด้านพลังงาน ทดแทน ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของจังหวัดลำปาง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพนธ์ เกตุจ้อย รองผู้อำนวยการ และนักวิจัยของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ในการให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลรายงานการวิจัย ตลอดจนขอขอบคุณ ทุนอุดหนุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ประจำปีงบประมาณ 2552

ตารางที่ 1 สรุปศักยภาพการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ในจังหวัดลำปาง

ชนิด	รายการ	พลังงาน (MWh)	ความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในภาคเศรษฐกิจ ของจังหวัดลำปาง (อย่างใดอย่างหนึ่ง)							
			บ้านที่อยู่อาศัย	กิจการขนาดใหญ่	กิจการขนาดกลาง	กิจการขนาดเล็ก	กิจการขนาดเฉพาะทาง	หน่วยงานราชการ	ระบบสูบน้ำ	ระบบไฟฟ้าชั่วคราว
พลังงานไฟฟ้า	เซลล์แสงอาทิตย์									
	1. โมโนคริสตัลไลน์ซิลิคอน	45596	-	-	-	-	-	✓	✓	✓
	2. มัลติคริสตัลไลน์ซิลิคอน	29445	-	-	-	-	-	✓	✓	✓
	3. อะมอฟัสซิลิคอน	11407	-	-	-	-	-	✓	✓	✓
	Parabolic Trough	-	-	-	-	-	-	-	-	-

เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Energy Development and Promotion (DEDP) and Silpakorn University. (1999). Solar Energy Potential Mapping in Thailand from Satellite and Ground Based Stations. Thailand
- [2] นิพนธ์ เกตุจ้อย และคณะ. (2550). โครงการศึกษาแนวทางการลงทุนจัดตั้งอุตสาหกรรมผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย. กรมส่งเสริมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
- [3] รวิภา ยงประยูร และ คณะ. (2552). การศึกษาความเหมาะสมในการใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมภายในจังหวัดลำปาง. รายงานการวิจัยของสาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
- [4] นิพนธ์ เกตุจ้อย และคณะ. (2549). โครงการติดตามประเมินผล โครงการสาธิตการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า เรือนจำกลางบางขวาง. ศูนย์วิทยบริการ-กรุงเทพมหานคร. มหาวิทยาลัยนเรศวร