

## การพัฒนาวิธีประมาณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทิศและมุมต่างกันด้วยวิธีสหสัมพันธ์และใช้เทคนิคการจำแนกลักษณะท้องฟ้าแบบมิติสัทิสรูป : กรณีท้องฟ้าแจ่มใส

### Development of Solar Energy Evaluation at Various Direction and Tilt with Correlation Method with Fractal Dimension Technique : Clear Sky Condition

สาคร จำปาอิม<sup>1</sup> จัตตุฤทธิ์ ทองปรอน<sup>1</sup> จีรวรรณ แซ่เล่า<sup>2</sup> รุ่งโรจน์ สงค์ประกอบ<sup>3</sup> และ ชีระศักดิ์ สมศักดิ์<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

<sup>2</sup> ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

<sup>3</sup> คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>4</sup> หน่วยวิจัยระบบพลังงานสะอาด วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

98 หมู่ 8 ตำบลป่าป้อ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ 50220

Sakorn Jampa-Im<sup>1</sup>, Jutturit Thongporn<sup>1</sup>, Jerawan Saerour<sup>2</sup>, Roongrojana Songprakorp<sup>3</sup> and Teerasak Somsak<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

<sup>2</sup> Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Maejo University

<sup>3</sup> School of Energy Environmental and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi

<sup>4</sup> Clean Energy System Research Unit, College of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna

98 M.8 Papong, Doisaket, Chiangmai, 50220

\*ผู้รับผิดชอบบทความ: dhirasak@gmail.com เบอร์โทรศัพท์ 053-921-444

#### บทคัดย่อ

จากนโยบายของรัฐบาลภายใต้โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาสำหรับกลุ่มบ้านอยู่อาศัยกลุ่มอาคารธุรกิจและกลุ่มโรงงานนั้น โดยส่วนใหญ่การออกแบบตำแหน่งและทิศของอาคารไม่ได้ออกแบบให้ทิศและมุมรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้สูงสุดเนื่องจากหลักการสร้างบ้านอยู่อาศัยและอาคารธุรกิจโรงงานขึ้นอยู่กับผู้อาศัยเป็นหลักโดยใช้ฐานความพึงพอใจพื้นที่ประโยชน์ใช้สอยและความสวยงาม ดังนั้นก่อนการติดตั้งระบบฯ ต้องมีการประมาณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเนื่องจากมีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาการประมาณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทิศและมุมต่างกันด้วยวิธีการวิเคราะห์ถดถอยและใช้เทคนิคการจำแนกลักษณะท้องฟ้าด้วยวิธีมิติสัทิสรูปโดยพัฒนาท้าวัดรังสีแสงอาทิตย์ด้วยโฟโตไดโอดชนิดซิลิกอนครอบคลุมความยาวคลื่น 400 – 1100 นาโนเมตร จำนวน 24 ตัวครอบคลุมทิศทั้งแปดและในแต่ละทิศประกอบด้วยมุม 20 30 และ 40 องศา ตามลำดับ ติดตั้งเก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งที่ตั้งละติจูดที่ 18.43 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 98.78 องศาตะวันออก เหนือระดับน้ำทะเลประมาณ 600 เมตร เก็บข้อมูลรายนาฬิกาของวันจากนั้นใช้เทคนิคมิติสัทิสรูปจัดกลุ่มข้อมูลตามสภาพท้องฟ้า โดยในบทความนี้ได้เลือกลักษณะท้องฟ้าแจ่มใสเป็นตัวแทนวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้วยวิธีสหสัมพันธ์พบว่ากรณีท้องฟ้าแจ่มใสสามารถใช้สมการถดถอยประมาณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ได้โดยมีค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยประมาณ 0.92 ทิศที่ได้พลังงานสูงสุดคือทิศใต้ที่มุมเอียง 40 องศาในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม

**คำสำคัญ** พลังงานแสงอาทิตย์ สหสัมพันธ์ มิติสัทิสรูป

#### Abstract

Thailand government has been a policy for solar photovoltaic rooftop (PVRT) such as household and factory building. Normally, the household and factory have had mention designed for living, functioning and comforting respectively by consumer. For this reason, the direction and title of almost building is hard to receive the maximum solar energy through the year. The design of PVRT for generate the electrical energy had related with solar energy directly. This article proposes the development of solar energy evaluation at



various direction and tilt with regression analysis method with fractal dimension technique. The 24 silicon pyrometers have been development in range 400-1100 nm and have been installed at 8 directions and 3 angles such as 20, 30 and 40 degree respectively on latitude 18.43 N, longitude 98.78 E and 600 meters above mean sea levels. The data acquisition had applied to collect the data at one minute interval. The fractal dimension technique was functional in clear sky condition and correlation factor technique was applied in this article. We found that the clear sky condition can be applied the least square equation for estimate the solar energy at various direction and title and had 0.92 correlation factor. The south direction at 40 degree had the highest solar energy in duration the February to March.

**Keywords;** solar energy, correlation, fractal dimension.

## 1. บทนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรได้รับพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปีต่อพื้นที่ประมาณ 18.2 เมกกะจูลต่อตารางเมตร มีศักยภาพสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ หลายปีที่ผ่านมาประเทศไทยได้เจออุปสรรคปัญหาด้านพลังงานอย่างต่อเนื่องเป็นต้นว่า ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มราคาสูงขึ้นและมีโอกาสหมดไป ปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้ามีไม่เพียงพอเป็นบางพื้นที่ทำให้จ่ายกระแสไฟฟ้าไม่ต่อเนื่อง ซึ่งปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบโดยตรงในการพัฒนาประเทศ เพื่อให้การพัฒนาประเทศด้านพลังงานเป็นไปอย่างมั่นคง มีเสถียรภาพ จึงมีความจำเป็นต้องหาพลังงานทางเลือกเพื่อมาทดแทนพลังงานที่กำลังจะหมดไปตามมติของที่ประชุมคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ครั้งที่ 1/2557(ครั้งที่ 1) วันศุกร์ที่ 15 สิงหาคม 2557 เวลา 09.00 น. เรื่องที่ 3 แนวทางการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบ Feed-in Tariff ในหัวข้อดังนี้

1. เห็นชอบอัตราซื้อไฟฟ้าจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบ Feed-in Tariff สำหรับใช้ในการรับซื้อไฟฟ้าในปี 2557-2558 โดยมีระยะเวลาสนับสนุน 25 ปี ดังนี้ (1.1) โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดิน ขนาดกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 90 เมกกะวัตต์สูงสุด อัตรา Feed-in Tariff 5.66 บาทต่อหน่วย (1.2) โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา
  - 1.2.1 กลุ่มบ้านอยู่อาศัย ขนาดกำลังติดตั้ง 0 – 10 กิโลวัตต์สูงสุดอัตรา 6.85 บาทต่อหน่วย
  - 1.2.2 กลุ่มอาคารธุรกิจ/โรงงาน
    - 1.2.2.1 ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง มากกว่า 10 – 250 กิโลวัตต์สูงสุด อัตรา 6.40 บาทต่อหน่วย
    - 1.2.2.2 ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง มากกว่า 250 – 1,000 กิโลวัตต์สูงสุด อัตรา 6.01 บาทต่อหน่วย
- (1.3) โครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แบบติดตั้งบนพื้นดิน สำหรับหน่วยงานราชการและสหกรณ์การเกษตร อัตรา 5.66 บาทต่อหน่วย โดยให้คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ไปดำเนินการออกแบบระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบ Feed-in Tariff ต่อไป [1]

จากนโยบายด้านพลังงานของรัฐบาลตั้งที่ได้กล่าวมาข้างต้น เห็นว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคามีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้การติดตั้งระบบดังกล่าวบนหลังคาที่อยู่อาศัยไม่ได้ ออกแบบให้ทิศและมุมรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้สูงสุด เนื่องจากหลักการสร้างบ้านพักอาศัยขึ้นอยู่กับผู้อยู่อาศัยเป็นหลักโดยใช้ฐานความพึงพอใจ พื้นที่ประโยชน์ใช้สอยและความสวยงาม ดังนั้นก่อนการติดตั้งระบบฯ ต้องมีการประมาณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเนื่องจากมีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยทั่วไปการประมาณค่ารังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่ใช้วิธีการประมาณค่ารังสีจากสถานีวัดเป็นค่าในแนวราบ แต่การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ต้องใช้ข้อมูลพลังงานที่ตกกระทบกับแผงเซลล์ซึ่งวางเป็นมุมเอียง ดังนั้นจึงใช้แฟกเตอร์มุมเอียงเปลี่ยนค่าพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นราบเป็นค่าพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นเอียง แฟกเตอร์มุมเอียงขึ้นอยู่กับความหนาของไอน้ำในอากาศตำแหน่งละติจูด ที่เดือนต่างๆ กันหรือถ้าต้องการประเมินค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบที่ทิศและมุมอื่นๆ ให้ได้ค่าที่แม่นยำจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ ณ ตำแหน่งที่สนใจ [2-4] โดยวิธีทั้งสองดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นเป็นข้อจำกัดสำหรับประชาชนผู้สนใจโดยทั่วไป เนื่องจากราคาของเครื่องมือวัดราคาแพงและการวิเคราะห์ข้อมูลซับซ้อน ดังนั้นในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้พัฒนาวิธีการประเมินค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในทิศและมุมต่างๆ เมื่อทราบข้อมูลรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบโดยประยุกต์การจำแนกลักษณะท้องฟ้าด้วยเทคนิคมิติสามารูปเป็น 3 ลักษณะคือ 1. ลักษณะท้องฟ้าแจ่มใส 2. ลักษณะท้องฟ้าบดบัง 3. ลักษณะท้องฟ้าขุ่นมัวเพื่อจัดกลุ่มข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันโดยนำข้อมูลลักษณะท้องฟ้าแจ่มใสเป็นกรณีนำเสนอ จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์แนวราบกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทิศและมุมต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินค่าพลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา



## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า [5]

2.1.1 มุมเดคลิเนชัน (declination angle,  $\delta$ ) เป็นมุมระหว่างแนวเส้นแวงอาทิตย์เมื่อเที่ยงสุริยะกับระนาบศูนย์สูตร มีค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางเหนือ มีค่าเปลี่ยนไปทุกวันระหว่าง 23.45 องศา (summer solstice) และ -23.45 องศา (winter solstice)

2.1.2 มุมเอียงพื้นที่รับแสง (Slop,  $\beta$ ) เป็นมุมที่เกิดการเอียงพื้นที่รับแสงแนวราบอยู่ระหว่าง 0 ถึง 180 องศา มุมเกิน 90 องศาลักษณะพื้นที่รับแสงแบบคว่ำหน้า

2.1.3 มุมละติจูด (latitude,  $\phi$ ) เป็นตำแหน่งละติจูดที่ทำการวัดเหนือเส้นศูนย์สูตรเป็นบวก ได้เส้นศูนย์สูตรเป็นลบ

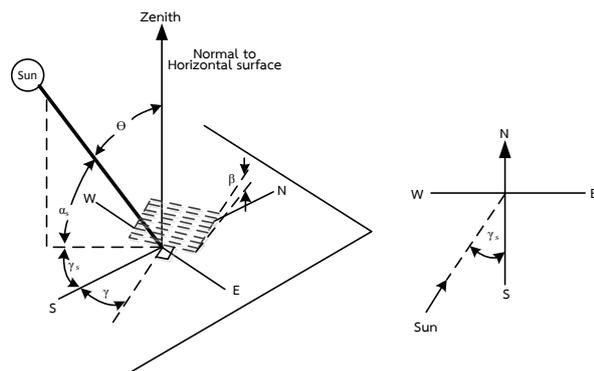
2.1.4 มุมหันหน้าพื้นที่รับแสง (surface azimuth angle,  $\gamma$ ) เป็นมุมพื้นที่รับแสงหันหน้าทิศใต้เป็นศูนย์ หมุนไปทางทิศตะวันออกเป็นลบ หมุนไปทางทิศตะวันตกเป็นบวก

2.1.5 มุมชั่วโมง (hour angle,  $\omega$ ) เป็นมุมที่เกิดขึ้นระหว่างวันมีค่าเปลี่ยนไป 15 องศาต่อ 1 ชั่วโมง เที่ยงวันให้เป็นศูนย์ ก่อนเที่ยงมีค่าเป็นลบหลังเที่ยงมีค่าเป็นบวก

2.1.6 มุมลำแสงอาทิตย์ (angle of incidence,  $\theta$ ) เป็นมุมที่เกิดขึ้นจากแนวเส้นแวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นที่ผิวรับแสงเกิดมุมระหว่างแนวตั้งฉากพื้นที่รับแสงกับแนวเส้นแวง

2.1.7 ทิศได้จำแนกทิศไว้ 8 ทิศดังนี้ ทิศเหนือ(N) ทิศตะวันออก(NE) ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) ทิศใต้ (S) ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ทิศตะวันตก (W) และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW)

การกำหนดตำแหน่งทิศและมุมของดวงอาทิตย์กับพื้นที่ตกกระทบแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตำแหน่งทิศและมุมสำหรับการอ้างอิง[5]

### 2.2 การวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)[6]

#### 2.2.1 การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะหรือปัจจัยที่แทนด้วยตัวแปรตั้งแต่สองตัวแปรขึ้นไปเพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ ทิศทางความสัมพันธ์ และลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือเป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยค่าที่ทราบจากตัวแปรหนึ่งแล้วนำไป

พยากรณ์ค่าอีกตัวแปรหนึ่งว่ามีความแปรผันในสัดส่วนใดหรือในระดับใดสมการถดถอยอย่างง่ายแสดงดังสมการที่ 1

$$y = ax + b \tag{1}$$

เมื่อ

$y$  = เป็นตัวแปรตาม (ค่า  $y$  ขึ้นกับค่า  $x$ )

$x$  = ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น

$a$  = ค่าคงที่ (constant) หรือค่าที่ตัดกัน แกน  $y$

$b$  = ความชัน (slop) ของเส้นกราฟ

2.2.2 การถดถอยพหุคูณ (multiple linear regression) เป็นการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่มีมากกว่าหนึ่งตัวแปรกับตัวแปรตามหนึ่งตัวแปร

#### 2.3 การจำแนกลักษณะท้องฟ้า [7]

ลักษณะท้องฟ้าจำแนกไว้ 3 แบบ คือ 1. ท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky) 2. ท้องฟ้าบดบังบางส่วน (partially clouded sky) 3. ท้องฟ้ามีดมัว (clouded sky) [2] ในการจำแนกลักษณะท้องฟ้าโดยวิธีการมิติสาคูรูปได้ลักษณะท้องฟ้าหลายแบบดังที่กล่าวไว้แล้วเบื้องต้น จำแนกลักษณะท้องฟ้าโดยวิธีมิติสาคูรูป เป็นวิธีการจำแนกลักษณะท้องฟ้ารายวัน โดยอาศัยค่ามิติ (dimension)เป็นค่าในการจำแนก ถ้าเป็นจุดค่ามิติเป็นศูนย์ เป็นเส้นค่ามิติเป็นหนึ่ง เป็นพื้นที่ที่กว้างคุณยาวมีการระบายที่บดบังพื้นที่มิติเป็นสอง เป็นปริมาตรกว้างคุณยาวคุณสูงระบายที่บดบังพื้นที่มิติเป็นสาม ฉะนั้นสิ่งที่เกิดขึ้นกับมิติลักษณะท้องฟ้าได้มากจากการวัดรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวันขณะพระอาทิตย์ขึ้นจนกระทั่งตก ในการเก็บข้อมูลจะต้องเก็บอย่างสม่ำเสมอและใช้สมการที่สองหาค่าความสัมพันธ์ของลักษณะท้องฟ้าโดยจะได้ค่ามิติเป็นตัวกำหนดและจำแนกเป็นลักษณะของท้องฟ้าแบบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1

$$\ln\left(\frac{S(\Delta\tau)}{\Delta\tau^2}\right) \cong DAB \ln\left(\frac{1}{\Delta\tau}\right) + C, \text{ with } \Delta\tau \rightarrow 0 \tag{2}$$

เมื่อ

$S(\Delta\tau)$  = ผลรวมที่เวลาต่างกัน

$\Delta\tau^2$  = ผลต่างเวลากำลึงสอง

$D$  = มิติสาคูรูป

$C$  = ค่าคงที่

ตารางที่ 1 ค่า Dimension ใช้จำแนกลักษณะท้องฟ้า

ลักษณะท้องฟ้า	ค่ามิติ(Dimension)
แจ่มใส	1.00 – 1.119
บดบังบางส่วน	1.12 - 1.529
มีดมัว	1.53 ขึ้นไป

### 3. วิธีการดำเนินการ

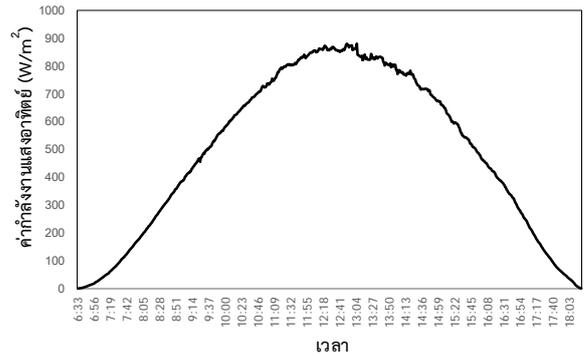
คณะทำงานได้ติดตั้งห้ววัดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับเก็บข้อมูลรังสีอาทิตย์รวมจำนวนแปดทิศในแต่ละทิศประกอบด้วยมุม 0 20 30 40 องศา ตามลำดับ ณ ละติจูด 18.43 องศาเหนือ ลองจิจูด 98.78 องศาตะวันออก โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 ทั้งนี้ห้ววัดรังสีอาทิตย์ไม่ได้ปรับแก้ผลของอุณหภูมิของห้ววัดรังสีอาทิตย์แต่ใช้เทคนิคการปรับค่าอย่างง่ายด้วยการเทียบกับค่าที่วัดได้จากห้ววัดพารานอมิเตอร์ CMPO3 แสดงดังรูปที่ 2



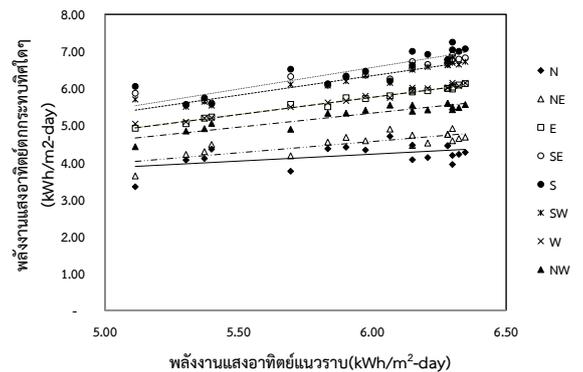
รูปที่ 2 การวัดพลังงานแสงอาทิตย์ การจำแนกลักษณะท้องฟ้าโดยวิธีมิติสาคิสรูป(fractal dimension) คัดกรองเฉพาะวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสมาทำการวิเคราะห์ เหตุที่ต้องเลือกแบบนี้เพราะไม่สามารถควบคุมสภาพอากาศ เมฆ ฝุ่นละอองในอากาศได้เป็นเหตุสุวิสัยสภาพอากาศแต่ละวันไม่เหมือนกัน นำข้อมูลวันท้องฟ้าแจ่มใสมาวิเคราะห์ทั้งแปดทิศมุม

### 4. ผลการทดลอง

ผลการจำแนกวันท้องฟ้าแจ่มใสโดยวิธีมิติสาคิสรูป(fractal dimension method) จากนั้นนำข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ที่มุม 40 30 20 องศาทั้งแปดทิศหาค่าเฉลี่ยและนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างทิศและมุมต่างๆ ดังแสดงดังรูปที่ 4-6 ตามลำดับ



รูปที่ 3 ลักษณะท้องฟ้าแจ่มใส

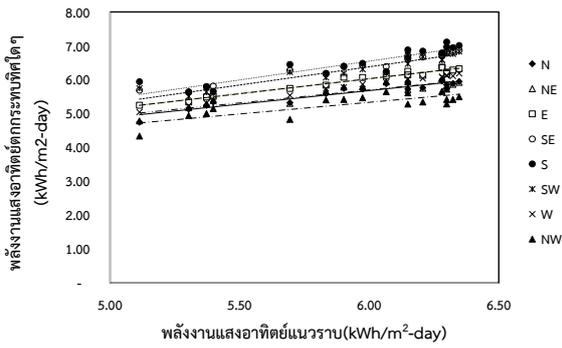


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์แนวราบ ( $E_T$ ) กับพลังแสงอาทิตย์ที่ทิศต่างๆที่มุม 40 องศา( $E_{xx40}$ )

ตารางที่ 2 สมการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์แนวราบกับทิศต่างๆมุม 40 องศา

ทิศ	สมการ	$R^2$	$E_{xx40}$ ค่ารวม
N	$E_{N40} = 0.3746E_T + 1.97$	0.24	4.19
NE	$E_{NE40} = 0.6081E_T + 0.912$	0.64	4.52
E	$E_{E40} = 0.933E_T + 0.156$	0.98	5.69
SE	$E_{SE40} = 1.0348E_T + 0.211$	0.88	6.35
S	$E_{S40} = 1.1650E_T - 0.428$	0.78	6.49
SW	$E_{SW40} = 1.0519E_T + 0.029$	0.92	6.27
W	$E_{W40} = 0.9386E_T + 0.156$	0.98	5.73
NW	$E_{NW40} = 0.7592E_T + 0.775$	0.86	5.28

จากข้อมูลค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ตกกระทบในแนวราบ ( $E_T$ ) ลักษณะท้องฟ้าแจ่มใส  $E_T = 5.94$  กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร-วัน แทนค่าลงในสมการตารางที่ 2 ได้ จากข้อมูลลักษณะท้องฟ้าแบบแจ่มใสมุม 40 องศา พบว่าทิศที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดรองมาทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์น้อยสุดคือทิศเหนือ

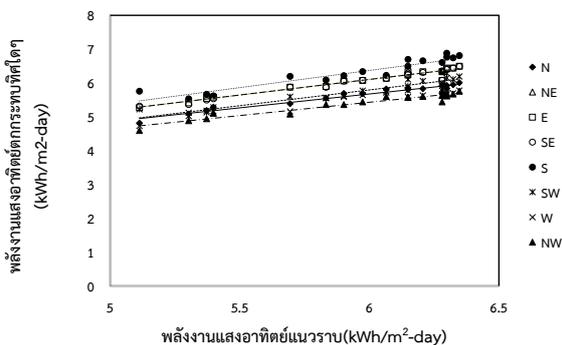


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์แนวราบ ( $E_T$ ) กับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทิศต่างๆ ที่มีมุม 30 องศา ( $E_{xx30}$ )

ตารางที่ 3 สมการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์แนวราบกับทิศต่างๆ มุม 30 องศา

ทิศ	สมการ	$R^2$	$E_{xx30}$ ค่ารวม
N	$E_{N30} = 0.8024E_T + 0.862$	0.89	5.62
NE	$E_{NE30} = 0.7683E_T + 1.087$	0.84	5.65
E	$E_{E30} = 0.8853E_T + 0.716$	0.96	5.97
SE	$E_{SE30} = 1.0289E_T + 0.288$	0.97	6.39
S	$E_{S30} = 1.1075E_T - 0.100$	0.86	6.47
SW	$E_{SW30} = 1.0743E_T - 0.672$	0.89	5.70
W	$E_{W30} = 0.8777E_T + 0.590$	0.99	5.80
NW	$E_{NW30} = 0.689E_T + 1.197$	0.66	5.28

จากข้อมูลค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ตกกระทบในแนวราบ ( $E_T$ ) ลักษณะท้องฟ้าแจ่มใส  $E_T = 5.94$  กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร-วัน แทนค่าลงสมการตารางที่ 3 พบว่าทิศใต้ได้รับพลังงานสูงสุดรองมาทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศตะวันออกเฉียงเหนือได้รับพลังงานแสงอาทิตย์น้อยสุด



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์แนวราบ ( $E_T$ ) กับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทิศต่างๆ ที่มีมุม 20 องศา ( $E_{xx20}$ )

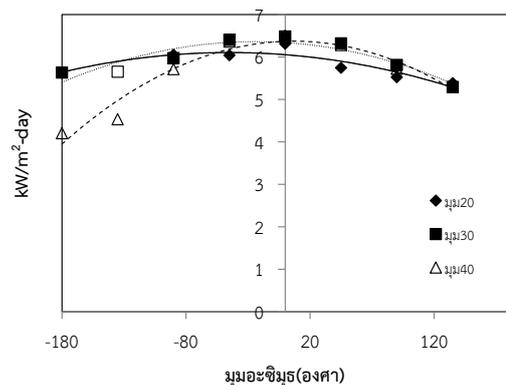
จากข้อมูลค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ตกกระทบในแนวราบ ( $E_T$ ) ลักษณะท้องฟ้าแจ่มใส  $E_T = 5.94$  กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร-วัน แทนค่าลงสมการตารางที่ 4 พบว่าทิศใต้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดรองมาทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศ

ตะวันออกเฉียงเหนือได้รับพลังงานแสงอาทิตย์น้อยสุด

ตารางที่ 4 สมการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์แนวราบกับทิศต่างๆ มุม 20 องศา

ทิศ	สมการ	$R^2$	$E_{xx20}$ ค่ารวม
N	$E_{N20} = 0.8215E_T + 0.746$	0.94	5.62
NE	ไม่มีข้อมูล	-	-
E	$E_{E20} = 0.9228E_T + 0.567$	0.95	6.04
SE	$E_{SE20} = 0.9335E_T + 0.492$	0.96	6.03
S	$E_{S20} = 1.0152E_T + 0.277$	0.88	6.30
SW	$E_{SW20} = 0.9314E_T + 0.205$	0.89	5.73
W	$E_{W20} = 0.6827E_T + 1.458$	0.85	5.51
NW	$E_{NW20} = 0.7882E_T + 0.699$	0.93	5.38

โดยรูปที่ 7 แสดงถึงผลของมุมเอียงที่มีต่อค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบมุมต่างๆ ในกรณีท้องฟ้าแจ่มใส



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับมุมเอียงกรณีท้องฟ้าแจ่มใส

ตารางที่ 5 สมการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับมุมเอียง

มุมเอียง	สมการ	$R^2$	$E_{\text{มุมเอียง}}$ เท่ากับศูนย์
20 องศา	$E_{20} = -3 \times 10^{-5} E_T^2 - 0.0023E_T + 6.0523$	0.82	6.04
30 องศา	$E_{30} = -4 \times 10^{-5} E_T^2 - 0.0019E_T + 6.339$	0.84	6.32
40 องศา	$E_{40} = -7 \times 10^{-5} E_T^2 + 0.001E_T + 6.3677$	0.93	6.37

จากข้อมูลค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ตกกระทบในแนวราบ ( $E_T$ ) ลักษณะท้องฟ้าแจ่มใส  $E_T = 5.94$  กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร-วันแทนค่าลงสมการตารางที่ 5 พบว่ามุมเอียง 40 มีค่าพลังงานอาทิตย์สูงสุด



## 5.สรุป

การพัฒนาวิธีการประมาณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทิศและมุมต่างกันด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยและใช้เทคนิคการจำแนกมิติสสารที่สรุปโดยพัฒนาห้วัดรังสีแสงอาทิตย์ด้วยโฟโตไดโอดชนิดซิลิกอนครอบคลุมความยาวคลื่น 400 – 1100 นาโนเมตร จำนวน 24 ตัวครอบคลุมทิศทั้งแปดและในแต่ละทิศประกอบด้วยมุม 20 30 และ 40 องศา ตามลำดับติดตั้งเก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งที่ตั้งละติจูดที่ 18.43 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 98.78 องศาตะวันออก เหนือระดับน้ำทะเลประมาณ 600 เมตร เก็บข้อมูลรายนาทิจองวันจากนั้นใช้เทคนิคมิติสสารที่สรุปจัดกลุ่มข้อมูลตามสภาพท้องฟ้าโดยในงานบทความนี้ได้เลือกลักษณะท้องฟ้าแจ่มใสเป็นตัวแทนวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพบว่า กรณีท้องฟ้าแจ่มใสสามารถใช้สมการถดถอยประมาณค่าพลังงานได้โดยมีค่าสหพันธ์เฉลี่ยประมาณ 0.92 ทิศที่ได้พลังงานสูงสุดคือทิศใต้ที่มุมเอียง 40 องศาหันทางทิศใต้ได้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดวันสูงสุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยวิจัยระบบพลังงานสะอาด วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีเชียงใหม่ที่ให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือในการทำงานวิจัยและวิทยาลัยการอาชีพป่าซางลำพูนที่ให้สถานที่ในการวัด

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Energy Regulatory Commission. *Announce Energy Regulatory Commission: Request for Proposal Solar PV Rooftop*. Available from: <http://www.erc.or.th/ERCWeb2>, [Accessed 15<sup>th</sup> February 2015].
- [2] Chang Y-P. *Optimal the tilt angles for photovoltaic modules in Taiwan*. JEPE.2010;32(9):956-64
- [3] Beringer S, Schilke H, Lohse I, Seckmeyer G. *Case study showing that the tilt angle of photovoltaic plants is nearly irrelevant*. SOL ENERGY.2011;85(3):470-6
- [4] Hussein H.M.S, Ahmad G.E, Ghetany H.H.E.L. *Performance evaluation of photovoltaic modules at different tilt angle and orientations*. ENERG CONVERS MANAGE. 2004; 45(15-16):2441-51
- [5] John A.D. and William A.B. (1980). *Solar Radiation, Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley and Sons Inc., New York

- [6] John O.R, Sastry G.P, David A.D. *Applied Regression Analysis; A Research Tool*. Springer;1998.
- [7] Samia H. *Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface*. In: *Fractal Classification of typical meteorological days from global solar irradiance: Application to five sites of different climate*. Springer;2008. p29-53