

การประมาณรังสีดวงอาทิตย์ในระนาบเอียงและมุมเอียงที่เหมาะสมของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ ในประเทศไทย

Estimation of Solar Radiation and Optimum Tilt Angles of Solar Collector in Thailand

ศิษฐ์พัริษฐ์ พลดี^{1*} และ ชาณณรงค์ อัสวเตสานุภาพ²

Sidparid Poltue^{1*} and Charnnarong Asavatesanupap²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำหนดมุมเอียงแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ให้พลังงานสะสมตลอดทั้งปีสูงสุด และนำเสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพจากการปรับเปลี่ยนมุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ 2 รูปแบบ ได้แก่ การปรับมุมแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ประจำฤดูกาล และการปรับมุมแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์รายเดือน เปรียบเทียบกับการติดตั้งแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ในแนวระนาบ และหาปริมาณพลังงานที่เพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้ใช้การจำลองทางคณิตศาสตร์และข้อมูลการวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รวมในแนวระนาบและรังสีกระจายระนาบ 6 ปี ในจังหวัดนครปฐม ละติจูดที่ตั้งที่ 13.62 องศา เพื่อหาปริมาณรังสีตกกระทบในระนาบเอียง จากผลการศึกษาพบว่ามุมแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ 14 องศา ส่งผลให้พลังงานสะสมทั้งปีสูงสุด และคิดเป็นพลังงานสะสมที่เพิ่มขึ้น 2.28% เมื่อเปรียบเทียบกับติดตั้งในแนวระนาบ จากการเสนอแนวทางการปรับเปลี่ยนมุมของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ทั้ง 2 รูปแบบ พบว่าการปรับมุมประจำฤดูกาลสามารถผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นคิดเป็น 6.60% และการปรับมุมประจำเดือนสามารถผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 8.20% เมื่อเปรียบเทียบกับติดตั้งในแนวระนาบ

ABSTRACT

The purpose of this research seeks to determine optimum tilt angles for solar collectors in Thailand to produce maximum energy. The author used two models to calculate output energy to ascertain the optimal tilt angle for solar collectors: seasonally and monthly compared with the horizontal surface case. Data were gathered between 2012 through 2017 related to the average global and diffuse solar radiation of Nakhon Pathom (latitude 13.62° N) for this study throughout. The results show that the annual optimum tilt angle of Thailand was 14° and the output energy increased by 2.28%. Moreover, the two models of the optimal tilt angle for solar collectors changing seasonally and monthly increased the output energy 6.60% and 8.20%, respectively.

Key words: solar radiation, optimum tilt angle, solar energy, Thailand

* Corresponding author; e-mail address: Sidparid.p@gmail.com

¹ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121

¹Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat university, Pathum Thani 12121

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat university, Pathum Thani 12121

คำนำ

จากความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นในทุกๆ ปีของประเทศไทย (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2561) สถานการณ์ดังกล่าวหลายภาคส่วนได้หาแนวทางการใช้พลังงานอย่างยั่งยืน โดยกระทรวงพลังงานได้กำหนดแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกปีพ.ศ.2558 ถึง พ.ศ.2579 (Alternative Energy Development Plan [AEDP], 2015) โดยมีเป้าหมายเพิ่มการใช้พลังงานทดแทนในทุกภาคส่วนของสังคม และลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เพื่อเป็นการลดการนำเข้าพลังงานและเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ การใช้พลังงานทดแทน จะมุ่งเน้นการใช้พลังงานทดแทนที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศซึ่งประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังน้ำขนาดเล็ก พลังน้ำขนาดใหญ่ พลังงานชีวมวล พลังงานก๊าซชีวภาพ พลังงานขยะ และพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวภาพ (พลังงานจากเอทานอลและไบโอดีเซล) ประเทศไทยได้กำหนดเป้าหมายกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนต่าง ๆ ในปี พ.ศ. 2579 รวมทั้งหมด 19,684.40 เมกะวัตต์ โดยเป้าหมายกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2575 อยู่ที่ 6,000 เมกะวัตต์หรือคิดเป็น 30.48 % จากพลังงานทดแทนทั้งหมด นับเป็นพลังงานทดแทนที่ถูกนำมาใช้มากที่สุดหากเปรียบเทียบกับพลังงานทางเลือกทั้งหมดที่กล่าวมา (Table 1) จะเห็นได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์ มีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกของประเทศไทย

การผลิตพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นสามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือการผลิตพลังงานในรูปแบบความร้อนและการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ โดยหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานทั้ง 2 แบบ คือการกำหนดมุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ โดยมุมเอียงที่ส่งผลให้การผลิตพลังงานมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดนั้น จะแตกต่างกันไปตามแต่ละจุดที่ตั้งของพื้นที่ ปัจจุบันมีการศึกษาค้นคว้าการกำหนดมุมเอียงที่เหมาะสมในหลายพื้นที่ เช่น บรูไน (Mohd and Malik, 2001) ซีเรีย (Kamal, 2009) แคนาดา (Rowlands *et al.*, 2010) ซาอุดีอาระเบีย (Tarek, 2016) ไต้หวัน (Chang, 2010) สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ (Jafarkazemi, Saadabadi and Hadi, 2012) อินเดีย (Jamil *et al.*, 2016) และอิหร่าน (Ibrahim, 2013) เป็นต้น

Table 1 Percentage of alternative energy consumption (Department of alternative energy development and efficiency, 2019).

Alternative Energy	2017 (MW)	2018 (MW)	Target in 2032 (MW)
Solar Energy	2,697.26	2,962.44	6,000.00
Wild Energy	627.82	1,102.82	3,002.00
Small Hydro Power	182.28	187.72	376.00
Biomass	3,157.28	3,372.94	5,570.00
Biogas	475.42	505.24	1,280.00
MSW	191.47	317.82	550.00
Large Hydro Power	2,906.40	2,919.66	2,906.40
Total	10,237.93	11,368.64	19,684.40

งานวิจัยนี้ศึกษามุมเอียงที่เหมาะสมในประเทศไทย โดยใช้การจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาปริมาณรังสีตกกระทบในระนาบเอียง โดยใช้ข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รวม และรังสีกระจายในแนวระนาบซึ่งเก็บรวบรวมในปี พ.ศ.2555 ถึงปี พ.ศ. 2560 โดยห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (Figure 1, 2) ละติจูดที่ตั้งที่ 13.62 องศา คำนวณปริมาณรังสีตกกระทบในระนาบเอียงอื่นๆ ในการจำลองการปรับเปลี่ยนมุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ มุมเอียงที่เหมาะสมจะพิจารณาจากมุมที่ส่งผลให้พลังงานสะสมตลอดทั้งปีสูงสุด และนำเสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ 2 รูปแบบ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในรูปแบบพลังงานที่เพิ่มขึ้น



Figure 1 Diffuse solar radiation meter.



Figure 2 Direct solar radiation meter.

Table 2 Nomenclature (Jamil *et al.*, 2016).

H_B	Daily beam radiation incident on an inclined surface, (MJ/m ² -day).	R_d	Ratio of average daily diffuse radiation incident on an inclined surface to that on a horizontal surface
H_D	Daily sky-diffuse radiation incident on an inclined surface, (MJ/m ² -day).	R_b	Ratio of average daily beam radiation incident on an inclined surface to that on a horizontal surface
H_R	Daily ground reflected radiation incident on an inclined Surface, (MJ/m ² -day).	n	Days of year
H_T	Daily global radiation on a tilted surface, (MJ/m ² -day).	δ	Sunrise hour angle, sunset hour angle
H_b	Daily beam radiation incident on a horizontal surface, (MJ/m ² -day).	ω_s	Surface slope from the horizontal
H_d	Daily diffuse radiation incident on a horizontal surface, (MJ/m ² -day).	β	Latitude
		θ_z	Zenith angle

$$\delta = 23.4 \sin \left(360 \times \frac{(284 + n)}{365} \right) \quad (1)$$

$$\omega_s = \cos^{-1} (-\tan \phi \tan \delta) \quad (2)$$

$$H_T = H_B + H_D + H_R \quad (3)$$

$$H_D = H_d \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) \quad (4)$$

$$H_B = (H_g - H_d) R_b \quad (5)$$

$$R_b = \frac{\omega_s \sin \delta \sin(\phi - \beta) + \cos \delta \sin \omega_s \cos(\phi - \beta)}{\omega_s \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin \omega_s} \quad (6)$$

$$H_R = H_g \rho \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \quad (7)$$

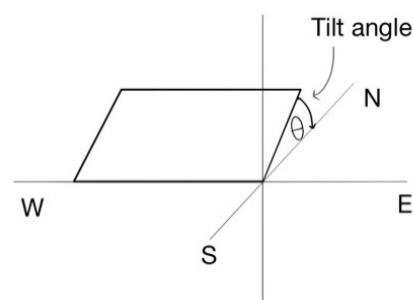
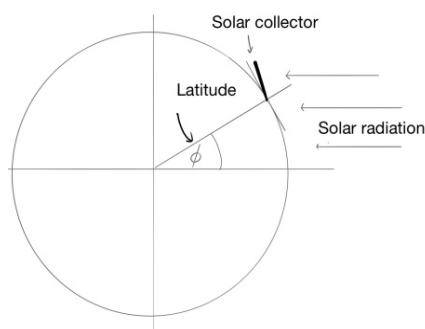


Figure 3 Latitude, Tilt angles of solar collector detail. Figure 4 Tilt angles of solar collector detail.

วิธีการวิจัย

การคำนวณค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์บนระนาบเอียง

การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ 1 รอบจะใช้เวลา 365.26 วัน หรือเราเรียกกันว่า 1 ปี โดยแกนหมุนของโลกเอียงทำมุม 23.45° กับเส้นแนวรังสีดวงอาทิตย์ เราเรียกแทนมุมระหว่างเส้นศูนย์สูตรกับแนวรังสีดวงอาทิตย์ว่ามุมเดคลิเนชัน มุมดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ เราสามารถคำนวณหามุมเดคลิเนชันในแต่ละช่วงเวลาได้จากสมการที่ 1 (Cooper, 1996) และการหมุนรอบตัวเองของโลกจะส่งผลให้ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านเส้นขอบฟ้าซึ่งเราเรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่าพระอาทิตย์ขึ้นและพระอาทิตย์ตก จากการกำหนดให้แผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์หันหน้าไปทางทิศใต้ในการศึกษานี้ จะส่งผลให้มุมพระอาทิตย์ขึ้น (ω_{sr}) และมุมพระอาทิตย์ตก (ω_{ss}) มีลักษณะสมมาตรกัน ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จะแทนค่ามุมพระอาทิตย์ขึ้น และมุมพระอาทิตย์ตกด้วยตัวแปร (ω_s) (Table 2) โดยคำนวณหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างมุมเดคลิเนชันกับละติจูดที่ตั้งของพื้นที่ ดังที่แสดงในสมการที่ 2 (Jamil *et al.*, 2016)

จากลักษณะภูมิศาสตร์ของประเทศไทย ตั้งอยู่บนพื้นที่เขตร้อนขึ้นเหนือเส้นศูนย์สูตร ตั้งแต่ละติจูด 5 องศา 37 ลิปดาเหนือ ถึง 20 องศา 28 ลิปดาเหนือ ซึ่งจะส่งผลให้ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคมบางพื้นที่ของประเทศไทยนั้น ดวงอาทิตย์จะมีแนวโคจรผ่านเส้นขอบฟ้าไปในทางทิศเหนือ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงกำหนดช่วงการปรับมุมเอียงตั้งแต่ -20 องศา ไปจนถึง 90 องศา โดยทำมุมกับแนวระนาบ (Figure 3, 4) การคำนวณหาปริมาณรังสีรวมตกกระทบบนระนาบเอียง จะสามารถคำนวณหาได้จากผลรวมรังสีแต่ละชนิดดังสมการที่ 3 (Jamil *et al.*, 2016) โดยสามารถแบ่งรังสีดวงอาทิตย์แยกย่อยได้เป็น 3 ชนิด คือรังสีกระจายบนระนาบเอียง

สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 4 รังสีตรงในระนาบเอียงสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 5 โดยคำนวณจากความสัมพันธ์กับรังสีตรงในแนวระนาบดังที่แสดงสมการที่ 6 (Liu and Jordan, 1990) และรังสีสะท้อนสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 7 (Jamil *et al.*, 2016) โดย คือดัชนีการสะท้อนของโลกในพื้นที่เขตร้อนชื้นมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.2 (Muneer and Saluja, 1985)

วิธีคำนวณหามุมเอียงแผ่นแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ที่เหมาะสม

การคำนวณหาค่ามุมเอียงแผ่นแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ที่เหมาะสมในการศึกษานี้จะกำหนดให้ 1 ปีมีจำนวน 365 วัน โดยเริ่มต้นการคำนวณปริมาณรังสีตกกระทบในระนาบเอียงจากวันที่ 1 ของปี และกำหนดให้แผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์หันหน้าไปทางทิศใต้ มุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ตั้งแต่ -20 องศา ดังแสดงในแผนผังแสดงการคำนวณ (Figure 5) จากนั้นคำนวณหาปริมาณรังสีตกกระทบในระนาบเอียงดังแสดงในสมการที่ 3 จากผลรวมของรังสีกระจาย รังสีตรง และรังสีสะท้อนในระนาบเอียงดังสมการการที่ 4 สมการที่ 5 และสมการที่ 7 จากนั้นทำการปรับเพิ่มมุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ขึ้น 1 องศา และคำนวณหาค่าปริมาณรังสีตกกระทบในแต่ละมุม ไปจนถึง 90 องศา เมื่อคำนวณหาปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ในระนาบเอียงครบตั้งแต่ -20 องศา จนถึง 90 องศา แล้วนั้นจะทำการคำนวณปริมาณรังสีตกกระทบในระนาบเอียงและมุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ในวันถัดไปโดยเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 วัน ไปจนครบ 365 วัน ซึ่งจะเห็นได้จากแผนผังแสดงการคำนวณ (Figure 5) เมื่อทราบปริมาณรังสีตกกระทบในระนาบเอียงตลอดทั้งปี และประมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยในการศึกษานี้กำหนดประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 18 เปอร์เซ็นต์

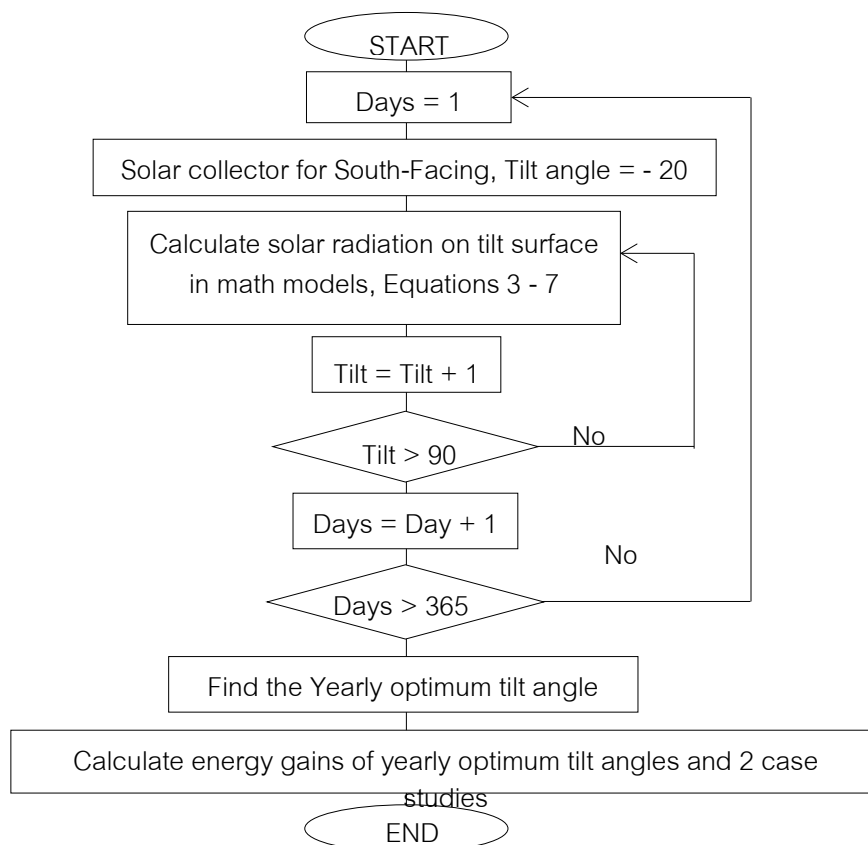


Figure 5 Simulation flowchart.

ในการวิจัยนี้จะหามุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากมุมที่ส่งผลให้ปริมาณรังสีตกกระทบทั้งปีสูงสุด และเสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตพลังงานจากแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ 2 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 การปรับมุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ตามฤดูกาลโดยมีปรับมุม 3 ครั้งต่อปี โดยปรับมุมประจำฤดูร้อนจะเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคมไปจนถึง 30 มิถุนายน การปรับมุมประจำฤดูฝนจะเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคมไปจนถึงวันที่ 31 ตุลาคม และการปรับมุมประจำฤดูหนาวจะเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 พฤศจิกายนไปจนถึง 28 กุมภาพันธ์ในปีถัดไป รูปแบบที่ 2 การปรับมุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์รายเดือนจะปรับ 12 ครั้งต่อปี โดยจะทำการปรับมุมแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ในทุกวันที่ 1 ของแต่ละเดือน หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบพลังงานตกกระทบที่เพิ่มขึ้นจากการปรับปรุงการปรับมุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ทั้ง 2 รูปแบบ กับการติดตั้งมุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ในแนวระนาบ

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทยจะมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนเมษายน โดยมีค่าเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 22.95 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวันและต่ำสุดในช่วงตุลาคมโดยมีค่าปริมาณรังสีเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ประมาณ 16.00 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน จากข้อมูลเฉลี่ยพบว่าช่วงเดือนสิงหาคมมีการกระจายตัวของข้อมูลสูงสุดโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 2.01 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวันและมีค่าการกระจายตัวต่ำสุดในเดือนธันวาคม โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.47 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน

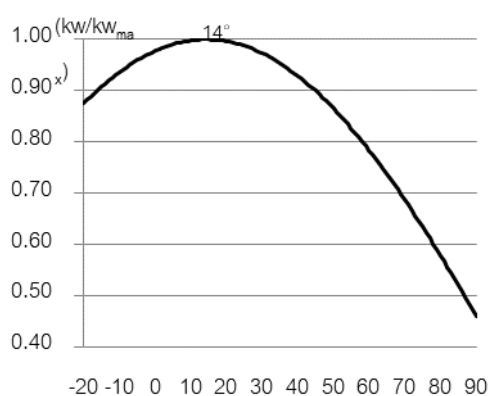


Figure 6 Solar radiations on tilt angles.

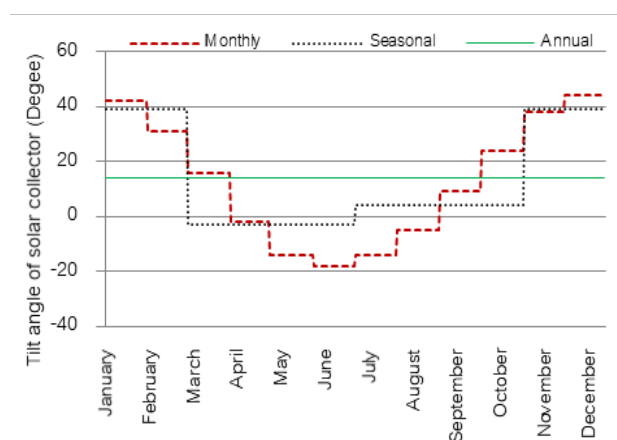


Figure 7 The Optimum tilt angles.

จากการศึกษาพบว่ามุมที่ส่งผลให้ค่าพลังงานสะสมสูงสุดประจำวันมีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดทั้งปี โดยมุมเอียงที่ให้ค่าพลังงานสะสมสูงสุดประจำวันจะมีค่าอยู่ในช่วง 47 องศา ถึง -20 องศา มุมของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ที่มีค่าเป็นบวกจะอยู่ในช่วงกลางเดือนสิงหาคมไปจนถึงกลางเดือนเมษายนของปีหน้าและมุมของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ให้พลังงานสูงสุดประจำวันมีค่าเป็นลบหรือมุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์หันหน้าไปทางทิศเหนือ จะอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม จากการศึกษพบว่ามุมของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ 14 องศา จะส่งผลให้พลังงานสะสมตลอดทั้งปีสูงสุด (Figure 6) โดยพลังงานที่ได้รับตลอดทั้งปีอยู่ที่ 2,402.46 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อปี โดยคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ประมาณ 432.44 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อปี เพิ่มขึ้น 2.28 % (Table 4) เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการติดตั้งที่ในแนวระนาบ หากพิจารณาการติดตั้งมุมของแผ่นรับ

รังสีดวงอาทิตย์มุมอื่นๆ พบว่าในกรณีการติดตั้งมุมของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์อื่นๆ จะส่งผลพลังงานสะสมลดลงตามลำดับโดยมุม -20 องศา จะสามารถรับพลังงานสะสมทั้งปีคิดเป็น 88 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานสะสมสูงสุดและการติดตั้งแผ่นรับรังสีที่ 90 องศาจะสามารถรับพลังงานสะสมทั้งปีคิดเป็น 46 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานสะสมสูงสุด (Figure 6) ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จากการปรับเปลี่ยนมุมของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ 2 รูปแบบ ได้แก่ การปรับมุมของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ประจำเดือนและการปรับมุมแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ประจำฤดูกาล โดยในตารางที่ 3 (Table 3) ได้แสดงรายละเอียดของมุมที่ใช้ในการจำลองการปรับมุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ มุมที่ให้พลังงานสูงสุดประจำปี มุมที่ใช้จำลองในแต่ละฤดูกาล และมุมเอียงที่ใช้ปรับในทุกวันที่ 1 ของแต่ละเดือน โดยรูปแบบช่วงเวลาการจำลองการปรับมุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งในกรณีการปรับมุมเอียงตามฤดูกาลหรือ 3 ครั้งต่อปี (Figure 7) และการปรับมุมของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์รายเดือนหรือ 12 ครั้งต่อปี (Figure 7)

จากการจำลองดังกล่าวพบว่า การปรับมุมเอียงตามฤดูกาลสามารถรับพลังงานสะสมตลอดทั้งปีที่ 2,504.05 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อปี หากคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้พบว่าสามารถจะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 450.72 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อปี ซึ่งคิดเป็นพลังงานที่เพิ่มขึ้น 6.60 % (Table 4) เมื่อเปรียบเทียบกับ การติดตั้งแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ในแนวระนาบ (Table 4) และการปรับมุมของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์รายเดือน พบว่าสามารถรับพลังงานสะสมตลอดทั้งปีที่ 2,541.57 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อปี หากคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้พบว่าสามารถจะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 457.48 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อปี ซึ่งคิดเป็นพลังงานที่เพิ่มขึ้น 8.20% (Table 4) เมื่อเปรียบเทียบกับ การติดตั้งแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ในแนวระนาบ

Table 3 Monthly, Seasonal and Annual optimum tilt angles.

Month	Annual (Degree)	Seasonal (Degree)		Months (Degree)
March	14	Summer	-3	16
April				-2
May				-14
June				-18
July				-14
August		Rainy	4	-5
September				9
October				25
November				38
December		Winter	39	44
January				42
February				31

Table 4 The Estimated gains in Annual, Seasonal, Month solar radiation in comparison to a horizontal surface.

Case	Energy on Surface (kW/m ² -Year)	Electrical energy (kW/m ² -Year)	Percent Gain %
Horizontal surface	2,348.98	422.82	-
Annual	2,402.46	432.44	2.28%
seasonal (3 time)	2,504.05	450.73	6.60%
Month (9 time)	2,541.57	457.48	8.20%

สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำหนดมุมแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ให้พลังงานสะสมตลอดทั้งปีสูงสุดและนำเสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตพลังงานจากแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ จากการปรับเปลี่ยนมุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ 2 รูปแบบ จากการศึกษาสรุปได้ว่า

1. มุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ให้ค่าพลังงานสะสมสูงสุดอยู่ที่ 14 องศา ซึ่งสามารถรับพลังงานสะสมตลอดทั้งปีที่ 2,402.46 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อปีหรือคิดเป็น 2.28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งในแนวระนาบ (Table 4)

2. กรณีการติดตั้งมุมของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ในมุมอื่นๆ จะส่งผลให้พลังงานที่ผลิตได้ลดลงตามลำดับโดยมุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ 90 องศา ให้ค่าพลังงานสะสมตลอดทั้งปีต่ำสุดคิดเป็น 46 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับมุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ให้ค่าพลังงานสะสมสูงสุด (Figure 6)

3. การปรับมุมเอียงแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์รายฤดูกาล (3 ครั้งต่อปี) จะส่งผลให้พลังงานสะสมตลอดปีที่ 2,504.05 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อปี หรือคิดเป็น 6.06 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งในแนวระนาบ

4. การปรับมุมเอียงแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์รายเดือน (12 ครั้งต่อปี) จะส่งผลให้พลังงานสะสมตลอดปีที่ 2,541.57 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อปี หรือคิดเป็น 8.20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งในแนวระนาบ

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าการติดตั้งแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ที่มุม 14 องศา จะส่งผลให้พลังงานสะสมทั้งปีสูงสุดและจะลดลงตามลำดับเมื่อติดตั้งในมุมอื่นๆ ที่ต่างออกไป จากแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพจากการปรับมุมเอียงของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ตามฤดูกาลหรือ 3 ครั้งต่อปี และการปรับมุมเอียงในทุกเดือนหรือ 12 ครั้งต่อปี สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมเคมีและภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์ และขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2562. **กระทรวงพลังงาน** (Online).

https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=48247, 24 ตุลาคม 2562

สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. 2561. รายงานสถิติพลังงานประจำปี. **กระทรวงพลังงาน** (Online).

<http://www.eppo.go.th/index.php/th/>, 15 พฤศจิกายน 2562

Benjamin Y.H., R. Liu and C. Jordan. 1990. The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. **Solar Energy** 4: 1-19

Chang, Y.-P. 2010. Optimal the tilt angles for photovoltaic modules in Taiwan. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems** 32 (9): 956-964.

Cooper P.I. 1996. The absorption of radiation in solar stills. **Solar Energy**, 12: 333-346

Ibrahim, A. 2013. Estimation of solar irradiance on tilted surfaces facing south for Tanta, Egypt. **International Journal of Sustainable Energy** 32: 111-120

Jafarkazemi, F., S.A. Saadabadi and P. Hadi. 2012. Optimum tilt angle and orientation of solar surfaces in Abu Dhabi. **UAE, Renewable Energy** 56: 44-49.

Jamil, B., A.T. Siddiqui and N. Akhtar. 2016. Estimation of solar radiation and optimum tilt angles for south-facing surfaces in Humid Subtropical Climatic Region of India. **Engineering Science and Technology, an International Journal** 19 (4): 1826-1835

Kamal, S. 2009. Optimum tilt angle and orientation for solar collectors in Syria. **Energy Conversion and Management**, 50: 2439-2448.

Mohd A.B. and A.Q. Malik. 2001. Optimum tilt angle and orientation for solar collector in Brunei Darussalam. **Renewable Energy** 24 (2): 233-234.

Muneer, T. and G.S. Saluja. 1985. A brief review of models for computing solar radiation on inclined surfaces. **Energy Conversion and Management** 25: 433-458

Rowlands, I.H., B.P. Kemery, and I. Beausoleil-Morrison. 2010. Optimal solar-PV tilt angle and azimuth: An Ontario (Canada) case-study. **Energy Policy**, 49: 1397-1409.

Tarek O.K. 2016. On the estimation of the optimum tilt angle of PV panel in Saudi Arabia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 65: 626-634.