

แบบจำลองสำหรับคำนวณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์ จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับจังหวัดเพชรบูรณ์

Models for Calculation of Global Solar Radiation from Meteorological Data for Phetchabun Province

ตรีณัฐ เอลลิส¹, อาทิตย์ หูเต็ม¹, อัคกะบทคัน ปาทาน¹
Treenuch Ellis¹, Artit Hutem¹, Akgabutkhan Pathan¹

(Received: May 10, 2018; Revised: May 21, 2018; Accepted: May 28, 2018)

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{H}$) จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาซึ่งได้แก่ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุด และความยาวนานแสงแดดจากสถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ ซึ่งข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองดังกล่าวเป็นข้อมูลปี พ.ศ. 2550 ถึง 2558 รวมทั้งหมด 9 ปี เมื่อได้แบบจำลองแล้วผู้วิจัยจะนำแบบจำลองดังกล่าวไปทำการทดสอบโดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาปี พ.ศ. 2559 ผลที่ได้พบว่าค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน และมีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัด โดยแบบจำลองที่ได้จากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุดมีความแตกต่างระหว่างค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดในรูปของ RMSD และ MBD เท่ากับ 5.58% และ -1.44% ตามลำดับ ส่วนแบบจำลองที่ได้จากค่าความยาวนานแสงแดดมีความแตกต่างระหว่างค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดในรูปของ RMSD และ MBD เท่ากับ 5.31% และ -1.99% ตามลำดับ

คำสำคัญ: รังสีรวมของดวงอาทิตย์ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา จังหวัดเพชรบูรณ์

Abstract

This study aimed to develop a model for computing monthly average for global solar radiation values ($\bar{H}$), from the monthly average of the difference between the daily maximum, and daily minimum ambient air temperature values and sunshine duration at Phetchabun meteorological station. Data from the 9-year period, from 2007 to 2015, was used. Analysis of the difference between the daily maximum, and daily minimum ambient air temperature values and sunshine duration was performed. The model results were compared to the measured data from the year 2016 at Phetchabun station. It was found that the values of calculated from two models, and those obtained from the measurements, were in good agreement and very close in value to each other. When looking at the RMSD and MBD values for the model based on the difference between daily maximum, and daily minimum ambient air temperature, the accuracy obtained was 5.58% and -1.44%, respectively. For the sunshine duration based model, the RMSD and MBD accuracy values were 5.31% and -1.99%, respectively.

Keywords: Global Solar Radiation, Meteorological Data, Phetchabun Province

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

¹ Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University



บทนำ

จังหวัดเพชรบูรณ์มีลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ลาดเท ซึ่งเหมาะแก่การทำเกษตรกรรม โดยมีเนื้อที่ถือครองทำการเกษตรคิดเป็นร้อยละ 35.27 ของพื้นที่ทั้งจังหวัด ประชาชนร้อยละ 30.4 ประกอบอาชีพทางด้านเกษตร สร้างรายได้ให้แก่จังหวัดคิดเป็นมูลค่าประมาณ 19,720 ล้านบาทต่อปี โดยพืชที่สำคัญและเป็นพืชหลัก ได้แก่ ข้าว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อ้อย ยาสูบ มะขามหวาน มันสำปะหลัง เป็นต้น (Phetchabun Statistical Office, 2013) ซึ่งการเจริญเติบโตของพืชเหล่านี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมภูมิอากาศ อันประกอบด้วย พลังงาน แสงหรือรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และความชื้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีบทบาทสำคัญต่อพืช โดยเฉพาะรังสีอาทิตย์ (solar radiation) ที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งเป็นกระบวนการที่พืชสีเขียวเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี นอกจากนั้นสัดส่วนของแสงที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่วัดได้ทั้งพื้นผิวโลก หรือระดับยอดพืชจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และสภาพบรรยากาศ (Sampet, 1992) ซึ่งแสงที่พื้นผิวโลกจะประกอบไปด้วยแสงส่วนที่ส่องตรงมาจากดวงอาทิตย์เรียกว่า รังสีตรง (direct radiation) กับแสงส่วนที่เกิดจากการกระเจิงโดยองค์ประกอบต่างๆ ของบรรยากาศเรียกว่า รังสีกระจาย (diffuse radiation) และเรียกรวมผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายว่า รังสีรวม (global radiation) (Janjai, 2014) ซึ่งค่ารังสีรวมดังกล่าว นอกจากจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในเรื่องของเกษตรกรรมแล้ว ยังเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับงานทางด้านการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ต่างๆ ด้วย อาทิ การประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางความร้อน และการประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางไฟฟ้า

โดยทั่วไปข้อมูลรังสีรวมจะได้จากการติดตั้งเครื่องมือวัดซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง การดูแลซ่อมแซมและบำรุงรักษาเครื่องมือต้องเสียค่าใช้จ่ายมากทำให้จำนวนสถานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดรังสีรวมในประเทศต่างๆ มีจำนวนจำกัดรวมทั้งประเทศไทยด้วย โดยในส่วนหนึ่งของจังหวัดเพชรบูรณ์ได้มีการติดตั้งเครื่องมือวัดรังสีรวมเพียงที่เดียวเท่านั้น คือที่สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเพชรบูรณ์ ตั้งอยู่ที่อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นเครื่องมือที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานร่วมกับทางมหาวิทยาลัยศิลปากรได้ทำการติดตั้งไว้ ซึ่งไม่เพียงพอที่จะใช้เป็นตัวแทนข้อมูลรังสีรวมของทั้งจังหวัดเพชรบูรณ์ แต่ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาอื่นๆ ที่มีความสัมพันธ์กับรังสีอาทิตย์ ซึ่งมีการวัดตามสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วไป ดังนั้นนักวิจัยจากประเทศต่างๆ จึงได้พยายามใช้ประโยชน์จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเหล่านี้มาคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกเพื่อใช้งานในด้านต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านการเกษตร เช่น การจำลองแบบการเติบโตของพืช (Sirotenko, 2001) เป็นต้น

เนื่องจาก รังสีอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศลงมายังพื้นผิวโลกบางส่วนจะถูกองค์ประกอบต่างๆ ของบรรยากาศดูดกลืน ส่วนที่เหลือจะเดินทางมาถึงพื้นผิวโลกและถูกพื้นผิวโลกดูดกลืน จากนั้นจะกระเจิงผ่านบรรยากาศและถูกองค์ประกอบของบรรยากาศดูดกลืนอีกครั้งหนึ่ง ก่อนเดินทางออกสู่อวกาศภายนอก รังสีอาทิตย์ที่ถูกพื้นผิวโลกดูดกลืนจะทำให้พื้นผิวโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น และแผ่รังสีอินฟราเรดออกไปสู่อวกาศ และบางส่วนถูกบรรยากาศดูดกลืนอีก การดูดกลืนรังสีของบรรยากาศจะทำให้อุณหภูมิของบรรยากาศเพิ่มขึ้น จากการถ่ายเทพลังงานดังกล่าวจะเห็นว่า ปริมาณของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม สำหรับกรณีของประเทศไทย Janjai & Nimnuan (2013) ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองสำหรับประมาณค่ารังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนจากค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุดรายวันเฉลี่ยต่อเดือน โดยวิเคราะห์จากข้อมูลที่ได้จากสถานีวัด 27 แห่ง

นอกจากนั้นในแต่ละวันรังสีอาทิตย์จะแปรค่าจากเช้าจนถึงเย็น ถ้าเป็นวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสและปราศจากเมฆ รังสีอาทิตย์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนถึงค่าสูงสุดที่เวลาประมาณเที่ยงวัน แล้วค่อยๆ ลดลงจนถึงค่าต่ำสุดเมื่อดวงอาทิตย์ตก ซึ่งถ้ารังสีอาทิตย์ที่ได้รับมีความเข้มสูงโดยทั่วไปจะเรียกว่า มีแดด สำหรับในทางวิทยาศาสตร์ องค์การอุตุนิยมวิทยาโลกได้กำหนดว่าการมีแดดเกิดขึ้นเมื่อความเข้มรังสีตรงบนระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของรังสีมีค่ามากกว่า 102 วัตต์ต่อตารางเมตร

(Gueymard, 1993) ต่อมา Kimball (1919) เป็นนักวิจัยคนแรกที่แสดงให้เห็นว่าความยาวนานแสงแดดมีความสัมพันธ์อย่างเป็นระบบกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ซึ่งในประเทศไทย Janjai & Tohsing (2004) ได้นำข้อมูลรังสีอาทิตย์จากเครือข่ายสถานีวัดรังสีอาทิตย์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร 3 แห่ง ได้แก่ สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และสงขลา และข้อมูลรังสีอาทิตย์ซึ่งวัดที่กรมอุตุนิยมวิทยากรุงเทพฯ มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับความยาวนานแสงแดด

ถึงแม้ว่าจากความสัมพันธ์ระหว่างรังสีอาทิตย์กับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่กล่าวมา จะทำให้มีผู้ทำการสร้างแบบจำลองสำหรับหาค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาแล้วก็ตาม แต่แบบจำลองเหล่านั้นเป็นแบบจำลองที่ใช้หาค่ารังสีรวมในภาพรวมของทั้งประเทศ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับจังหวัดเพชรบูรณ์จากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุด และความยาวนานแสงแดด เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญของจังหวัดเพชรบูรณ์ และสามารถนำมาใช้ในงานด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ของจังหวัดเพชรบูรณ์ต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับจังหวัดเพชรบูรณ์

ระเบียบวิธีวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยทำการสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{H}$) จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาซึ่งมีสองแบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองที่คำนวณจากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุด และจากค่าความยาวนานแสงแดด ซึ่งในการสร้างแบบจำลองทั้งสองต้องใช้ค่ารังสีดวงอาทิตย์ด้วย โดยข้อมูลทั้งหมดที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ ซึ่งตั้งอยู่ที่ละติจูด 16 องศา 26 ลิปดาเหนือ และลองจิจูด 101 องศา 09 ลิปดาตะวันออก และอยู่สูงจากระดับน้ำทะเล 114 เมตร (Meteorological Department, 2013) เป็นข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 ถึง พ.ศ. 2558 รวมทั้งหมด 9 ปี และหลังจากที่ได้แบบจำลองสำหรับคำนวณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์แล้ว ผู้วิจัยทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยนำค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดโดยใช้ข้อมูลของปี พ.ศ. 2559 ซึ่งเป็นข้อมูลอิสระไม่ได้นำมาสร้างแบบจำลองโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

แบบจำลองสำหรับคำนวณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนจากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุด ผู้วิจัยใช้แบบจำลองของ Bristow & Campbell (1984) ดังสมการ

$$H = a_1 H_o [1 - \exp(-b_1 (\Delta T)^{c_1})] \quad (1)$$

เมื่อ $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$ และ a_1, b_1, c_1 เป็นสัมประสิทธิ์เอมไพริคัล

และ H คือ ค่ารังสีรวมรายวัน (จุลต่อตารางเมตรต่อวัน)

H_o คือ ค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวัน (จุลต่อตารางเมตรต่อวัน)

$T_{\max}$ คือ ค่าสูงสุดของอุณหภูมิอากาศแวดล้อมรายวัน (องศาเซลเซียส)

$T_{\min}$ คือ ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิอากาศแวดล้อมรายวัน (องศาเซลเซียส)

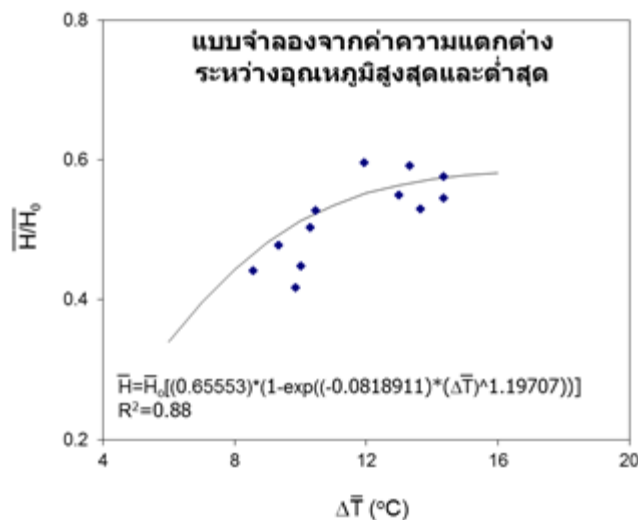
โดยค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (H_o) จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ และสามารถคำนวณได้จากสมการ (Janjai, 2014)



$$H_o = \frac{24}{\pi} I_{sc} E_o \left[\frac{\pi}{180} \omega_{ss} (\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \sin \omega_{ss}) \right] \quad (2)$$

เมื่อ	H_o	คือ ค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวัน (จุลต่อตารางเมตรต่อวัน)
	I_{sc}	คือ ค่าคงตัวรังสีอาทิตย์กรณีรายชั่วโมง ($4,917.96 \times 10^3$ จุลต่อตารางเมตร)
	E_o	คือ แฟกเตอร์สำหรับแก้ผลการแปรค่าของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (-)
	ω_{ss}	คือ มุมชั่วโมงที่ดวงอาทิตย์ตก (องศา)
	δ	คือ เดคลิเนชัน (องศา)
	ϕ	คือ ละติจูด (องศา)

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{H}$) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลรังสีอาทิตย์ของเดือนเดียวกันตลอดทั้ง 9 ปี มาทำการเฉลี่ย เช่น นำข้อมูลรังสีอาทิตย์ของเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2550 ถึง พ.ศ. 2558 มาหาค่าเฉลี่ย จะได้ข้อมูลรังสีอาทิตย์เฉลี่ยระยะยาวของเดือนมกราคม และดำเนินการในลักษณะเดียวกันกับข้อมูลเดือนกุมภาพันธ์จนถึงเดือนธันวาคม ซึ่งค่ารังสีอาทิตย์ดังกล่าวได้จากสถานีวัดรังสีอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ที่ได้ดำเนินโครงการพัฒนาเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์สำหรับประเทศไทย เมื่อ ปี พ.ศ. 2543 และสถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ก็เป็นหนึ่งในเครือข่ายสถานีวัดของ พพ. จากนั้นจะนำค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวัน (H_o) ที่ได้จากการคำนวณมาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{H}_o$) และนำค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดระยะยาว (ΔT) มาหาค่าเฉลี่ย ได้เป็นค่าเฉลี่ยระยะยาวของผลต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ($\Delta \bar{T}$) แล้วจึงนำค่า $\bar{H}$, H_o และ $\Delta \bar{T}$ ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (1) และเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง ($\bar{H}/\bar{H}_o$) กับ ($\Delta \bar{T}$) เพื่อหาค่า a_1, b_1, c_1 ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์เอมไพริคัลด้วยโปรแกรม Mathematica ผลที่ได้แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนต่อรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{H}/\bar{H}_o$) กับค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\Delta \bar{T}$)

จากกราฟในภาพที่ 1 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนต่อรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{H}/\bar{H}_0$) กับค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (ΔT) สามารถสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{H}$) ดังสมการที่ 3 คือ

$$\bar{H} = \bar{H}_0 [(0.65553) * (1 - \exp((-0.0818911) * (\Delta T)^{1.19707}))] \quad (3)$$

จากนั้น ผู้วิจัยสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนจากค่าความยาวนานแสงแดดโดยใช้แบบจำลองอังสตรอม-พรีสคอตต์ (Angstrom-Prescott model) (Angstrom, 1924 ; Prescott, 1940) ดังสมการที่ (4)

$$\bar{H}/\bar{H}_0 = a_2 + b_2 \bar{S}/\bar{S}_0 \quad (4)$$

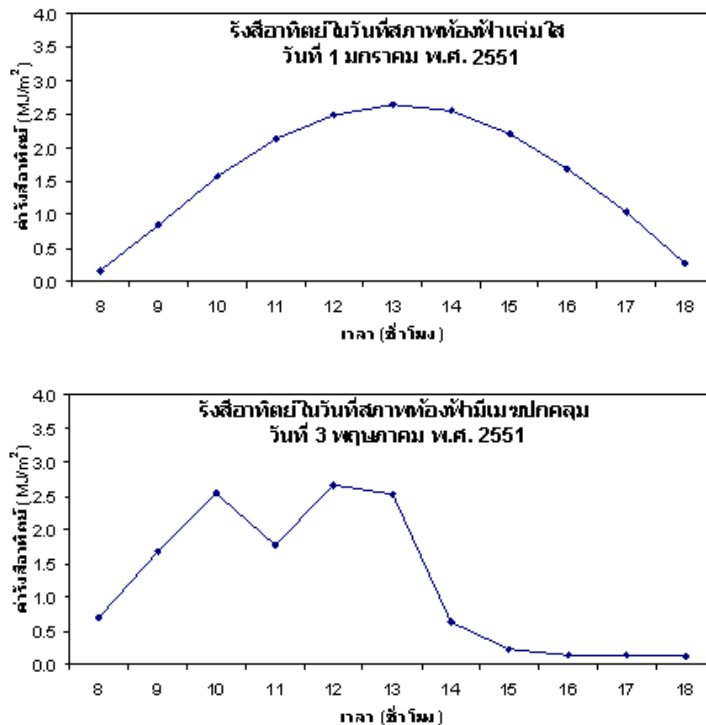
เมื่อ	$\bar{H}$	คือ รังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (จุลต่อตารางเมตรต่อวัน)
	$\bar{H}_0$	คือ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (จุลต่อตารางเมตรต่อวัน)
	$\bar{S}$	คือ ความยาวนานแสงแดดรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (ชั่วโมง)
	$\bar{S}_0$	คือ ความยาวนานของวันเฉลี่ยต่อเดือน (ชั่วโมง)
	a_2, b_2	คือ สัมประสิทธิ์เอมไพริคัลของแบบจำลอง (-)

ในขั้นตอนแรก ผู้วิจัยทำการเตรียมข้อมูลรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{H}$) และค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{H}_0$) เช่นเดียวกับในหัวข้อที่ผ่านมา จากนั้นจึงคำนวณค่าความยาวนานของวัน (S_0) ได้จากสมการ (Janjai, 2014)

$$S_0 = \frac{2}{15} \left| \cos^{-1}(-\tan \delta \tan \phi) \right| \quad (5)$$

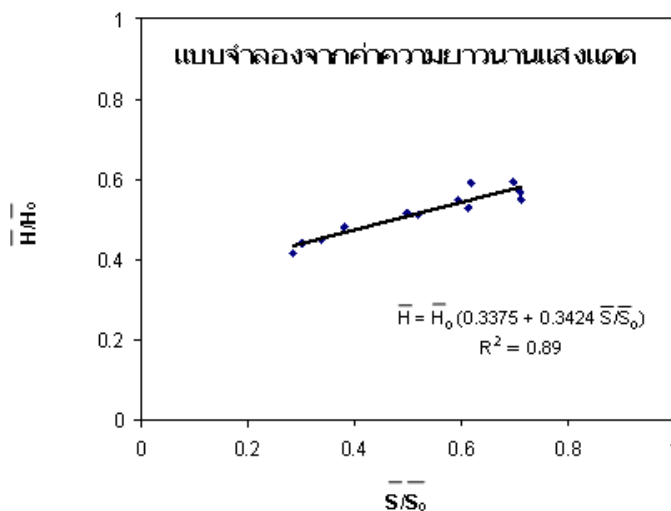
เมื่อ	S_0	คือ ความยาวนานของวัน (ชั่วโมง)
	δ	คือ เดคลิเนชัน (องศา)
	ϕ	คือ ละติจูด (องศา)

ขั้นตอนที่สองนำค่าความยาวนานของวันที่ได้จากการคำนวณมาหาค่าเฉลี่ย ได้เป็นค่าความยาวนานของวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{S}_0$) จากนั้นจึงหาค่าความยาวนานแสงแดดรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{S}$) โดยข้อมูลความยาวนานแสงแดดที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองเป็นข้อมูลที่ทำกรวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์เช่นกัน เนื่องจากในแต่ละวันรังสีอาทิตย์จะแปรค่าจากเช้าจนถึงเย็น ถ้าเป็นวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสและปราศจากเมฆ รังสีอาทิตย์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนถึงค่าสูงสุดที่เวลาประมาณเที่ยงวัน แล้วค่อยๆ ลดลงจนถึงค่าต่ำสุดเมื่อดวงอาทิตย์ตก แต่สำหรับวันทั่วไป อาจมีเมฆมาบังดวงอาทิตย์เป็นครั้งคราว หรือบางครั้งอาจมีเมฆปกคลุมทั่วทั้งท้องฟ้าทำให้รังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกมีค่าต่ำ ดังนั้นความยาวนานแสงแดดจึงมีความสัมพันธ์อย่างเป็นระบบกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์และสามารถนำมาใช้หาค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์ได้ ดังแสดงตัวอย่างรังสีอาทิตย์ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ในวันที่สภาพท้องฟ้าแจ่มใส และวันที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม ในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟแสดงรังสีอาทิตย์ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ในวันที่
(ก) สภาพท้องฟ้าแจ่มใส (ข) สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม

จากนั้นจึงนำค่า $\bar{H}$, H_0 , $\bar{S}$ และ $\bar{S}_0$ ที่คำนวณได้ไปแทนในสมการที่ (4) และเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง $\bar{H}/H_0$ กับ $\bar{S}/\bar{S}_0$ เพื่อหาค่า a_2, b_2 ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์เอมไพริคัล ผลที่ได้แสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนต่อรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{H}/H_0$) กับอัตราส่วนของความยาวนานแสงแดดรายวันเฉลี่ยต่อเดือนต่อความยาวนานของวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{S}/\bar{S}_0$)

จากภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนต่อรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{H}/\bar{H}_0$) กับอัตราส่วนของความยาวนานแสงแดดรายวันเฉลี่ยต่อเดือนต่อความยาวนานของวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{S}/\bar{S}_0$) ทำให้ได้แบบจำลองสำหรับคำนวณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{H}$) ดังสมการที่ 6 คือ

$$\bar{H} = \bar{H}_0 (0.3375 + 0.3424 \bar{S}/\bar{S}_0) \quad (6)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เมื่อได้แบบจำลองสำหรับคำนวณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{H}$) แล้ว จะต้องทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองก่อนนำไปใช้ โดยผู้วิจัยนำค่ารังสีอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับค่ารังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดโดยใช้ข้อมูลของปี พ.ศ. 2559 ซึ่งเป็นข้อมูลอิสระไม่ได้นำมาสร้างแบบจำลอง โดยบอกความแตกต่างค่ารังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดและจากแบบจำลองในรูปของรากที่สองของค่าเฉลี่ยความแตกต่างยกกำลังสอง (root mean square difference, RMSD) ดังสมการที่ (7) ซึ่งในกรณีที่ค่าจากการคำนวณเท่ากับค่าจากการวัด RMSD จะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นแบบจำลองที่ดีจะต้องได้ค่า RMSD เข้าใกล้ศูนย์ นอกจากนั้นยังบอกความแตกต่างในรูปความเอนเอียงเฉลี่ย (mean bias difference, MBD) ดังสมการที่ (8) ซึ่งค่า MBD อาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ ถ้าค่าเป็นบวกแสดงว่าข้อมูลมีความเอนเอียงไปในด้านที่ค่าได้จากการคำนวณมากกว่าค่าจากการวัด แต่ในทางกลับกันถ้ามีค่าเป็นลบแสดงว่าข้อมูลมีความเอนเอียงไปในด้านที่ค่าได้จากการวัดมากกว่าค่าจากการคำนวณ ซึ่งแบบจำลองที่ดี MBD ต้องมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ นั่นคือผลจากการคำนวณไม่มีความเอนเอียงไปทางใดด้านหนึ่งมากนัก

$$RMSD = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{model,i} - X_{meas,i})^2}{N}}}{\frac{\sum_{i=1}^N X_{meas,i}}{N}} \times 100\% \quad (7)$$

$$MBD = \frac{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{model,i} - X_{meas,i})}{N}}{\frac{\sum_{i=1}^N X_{meas,i}}{N}} \times 100\% \quad (8)$$

เมื่อ	RMSD	คือ รากที่สองของค่าเฉลี่ยความแตกต่างยกกำลังสอง (ค่าสัมพัทธ์) (%)
	MBD	คือ ความแตกต่างในรูปความเอนเอียง (ค่าสัมพัทธ์) (%)
	$X_{model,i}$	คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองของข้อมูลที่ i
	$X_{meas,i}$	คือ ค่าที่ได้จากการวัดของข้อมูลที่ i
	N	คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของแบบจำลองจากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุด และแบบจำลองจากค่าความยาวนานแสงแดด ในรูปของ RMSD และ MBD แสดงดังตารางที่ 1

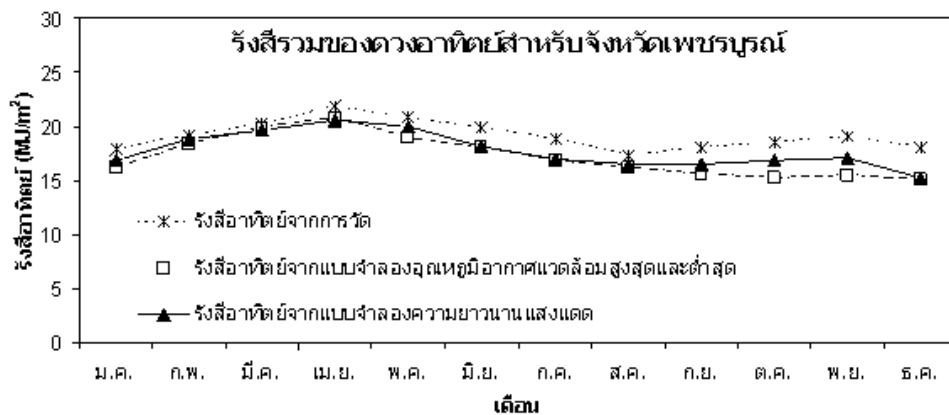


ตารางที่ 1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของแบบจำลองสำหรับคำนวณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{H}$)

แบบจำลอง	RMSD (%)	MBD (%)
ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุด	5.58	-1.44
ความยาวนานแสงแดด	5.31	-1.99

จากผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของแบบจำลองในตารางที่ 1 พบว่า ผลจากการคำนวณความแตกต่างในรูปของ RMSD ของแบบจำลองจากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุด และแบบจำลองจากค่าความยาวนานแสงแดดมีค่าเท่ากับ 5.58% และ 5.31% ตามลำดับ ส่วนความแตกต่างในรูปของ MBD เท่ากับ -1.44% และ -1.99% ตามลำดับ จะเห็นว่าแบบจำลองทั้งสองให้ค่าความถูกต้องที่ใกล้เคียงกันมาก และการที่ค่า MBD ติดลบนั้นหมายความว่า ค่ารังสีรวมที่ได้จากการวัดมากกว่าค่ารังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองนั่นเอง นอกจากนั้นค่า RMSD และ MBD ของแบบจำลองทั้งสองมีค่าน้อยมาก (เข้าใกล้ศูนย์) แสดงว่าค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองมีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัด ดังนั้นแบบจำลองทั้งสองสามารถนำไปใช้คำนวณหาค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์สำหรับจังหวัดเพชรบูรณ์ได้

เมื่อทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองแล้ว ผู้วิจัยนำแบบจำลองทั้งสองไปคำนวณหาค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของปี พ.ศ. 2559 โดยข้อมูลอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุด และความยาวนานแสงแดดที่นำมาใช้ในแบบจำลองจะเป็นข้อมูลของปี พ.ศ. 2559 เช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นข้อมูลอิสระไม่ได้นำมาใช้สร้างแบบจำลอง และจะนำมาเปรียบเทียบกับค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์ปี พ.ศ. 2559 ที่ได้จากการวัด ซึ่งผลที่ได้แสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการแปรค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและที่ได้จากการวัด

จากภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่าค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทั้งสอง นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาการแปรค่ารังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือน พบว่า ความเข้มรังสีอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบปีในลักษณะเดียวกัน นั่นคือจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมจนถึงค่าสูงสุดในเดือนเมษายน จากนั้นจึงค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งมีค่าต่ำสุดช่วงสิงหาคมถึงเดือนกันยายน จากนั้นจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้นอีกครั้งไปจนถึงเดือนธันวาคม เนื่องจากว่าในช่วงต้นปีเป็นช่วงฤดูหนาว สภาพท้องฟ้าโดยทั่วไปจะมีเมฆน้อยจึงทำให้ความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าค่อนข้างสูง จนกระทั่งมีค่าสูงสุดในเดือนเมษายน เนื่องจากว่าในเดือนนี้มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์ตอนเที่ยงวันจะตั้งฉาก หรือเกือบตั้งฉากกับพื้นผิวโลก และช่วงเวลาดังกล่าวอยู่ในช่วงฤดูแล้ง ท้องฟ้าค่อนข้างแจ่มใส จึงทำให้ความเข้มรังสีอาทิตย์สูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ซึ่งได้รวมกับมหาวิทยาลัยศิลปากร ศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์และ

จัดทำข้อมูลแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมขึ้นพบว่า เดือนเมษายนเป็นช่วงเวลาที่พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุด (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2015) หลังจากนั้นจะเริ่มเข้าสู่ฤดูฝนตั้งแต่ประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นระยะที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดเข้าสู่ประเทศไทย และเดือนที่มีฝนตกหนักมากที่สุดคือเดือนกันยายน (Meteorological Department, 2013) ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม จึงส่งผลให้ความเข้มรังสีอาทิตย์ลดลง จากนั้นในช่วงปลายปีเริ่มเข้าสู่ฤดูหนาว ท้องฟ้าค่อนข้างแจ่มใส ความเข้มรังสีอาทิตย์จึงเพิ่มขึ้นอีกครั้ง

สรุป

การวิจัยในครั้งนี้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ นั่นคือสามารถสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับจังหวัดเพชรบูรณ์ได้ ซึ่งจากการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้จากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุด และจากแบบจำลองค่าความยาวนานแสงแดด พบว่า แบบจำลองทั้งสองให้ค่าความถูกต้องที่ใกล้เคียงกันมาก และค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองมีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัด ซึ่งจากการคำนวณความแตกต่างในรูปของ RMSE พบว่ามีค่าเท่ากับ 5.58% และ 5.31% ตามลำดับ ส่วนความแตกต่างในรูปของ MBD เท่ากับ -1.44% และ -1.99% ตามลำดับ แสดงว่าแบบจำลองทั้งสองสามารถนำไปใช้คำนวณหาค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์สำหรับจังหวัดเพชรบูรณ์ได้ดี และสามารถนำค่ารังสีอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานงานทางด้านการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และงานทางด้านเกษตรของจังหวัดเพชรบูรณ์ต่อไปได้

ข้อเสนอแนะ

ในการสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์สำหรับจังหวัดเพชรบูรณ์นั้น ควรจะทำการทดสอบสร้างแบบจำลองจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาอื่นที่มีการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ด้วย เพื่อหาแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับคำนวณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์สำหรับจังหวัดเพชรบูรณ์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ และมหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

รายการอ้างอิง (References)

- Angstrom, A. (1924). Solar and terrestrial radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 50, 121-126.
- Bristow, K.L., & Campbell, L.C. (1984). On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agricultural and Forestry Meteorology*, 31, 159-166.
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2015). Solar energy 2009. Retrieved from http://www.dede.go.th/ewt_w3c/ewt_news.php?nid=42135&filename=.
- Gueymard, C.A. (1993). Analysis of monthly average solar radiation and bright sunshine for different thresholds at Cape Canaveral, Florida. *Solar Energy*, 51, 139-145.



- Janjai, S., & Tohsing, K. (2004). A model for the estimation of global solar radiation from sunshine duration for Thailand. *Proceedings of the Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE)* 1-3 December 2004, Hua Hin, Thailand. (in Thai)
- Janjai, S., Nimnuan, P. (2013). Models for The estimation of Global Solar Radiation from Ambient Air Temperature for Thailand. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 32(5), 671-678.
- Janjai, S. (2014). *Solar radiation*. Nakhon Pathom: Phetkasem Printing. (in Thai).
- Kimball, H.H. (1919). Variations in the total and luminous solar radiation with geographical position in the United States. *Monthly Weather Review*, 47, 769-793.
- Meteorological Department. (2013). *Northern meteorological center information and Meteorological station*. Retrieved from <http://www.cmdata.tmd.go.th/metadata/>.
- Phetchabun Statistical Office. (2013). *Phetchabun situation analysis report*. Retrieved from <http://osthailand.nic.go.th/>.
- Prescott, J.A. (1940). Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 64, 114-118.
- Sampet, C. (1992). *Physiology of crop production*. Bangkok : O.S. Printing House. (in Thai).
- Sirotenko, O.D. (2001). Crop modelling: Advances and problem. *Agronomy Journal*, 93, 650-670.