แบบจำลองการหาปริมาณรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากค่าความยาวนานของแสงแดดในจังหวัดเลย

A Model for Determining the Global Solar Radiation Using Sunshine Duration in Loei Province

ผศ.ดร.สุรจิตร์ พระเมือง
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย อ.เมือง จ. เลย 42000
โทร. 042835223-8 ต่อ 4103 โทรสาร 042835238, 042811143 Email address: surajitr@lru.ac.th

Asst.Prof. Dr. Surajitr Pramuang
Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University, Muang Loei, 42000
Tel: 042835223-8 ext 41103 Fax: 042835238, 042811143 Email address: surajitr@lru.ac.th

บทคัดย่อ

วิธีการประมาณปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ด้วยพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยาเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการบอกปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สำหรับพื้นที่ใดๆได้ และการวิจัยนี้ได้ใช้สมการของอังสตรอมในรูปฟังก์ชั่นเชิงเส้น กำลังสอง กำลังสาม ล็อกการิธึมและเอ็กโพเนนเชียล สำหรับสร้างแบบจำลองเพื่อประมาณปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดเลย โดยสร้างแบบจำลองจากข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ ที่เก็บบันทึกด้วยเครื่องตรวจอากาศอัตโนมัติและข้อมูลค่าความยาวนานของแสงแดดระหว่างปี 2545 – 2548 ได้แบบจำลองที่เหมาะสมเป็นสมการเชิงเส้น ที่มีค่าคงที่สำหรับพื้นที่ a และ b เป็น 0.192 และ 0.548 ตามลำดับ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เป็น 0.766 เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้ จะได้ค่าคลาดเคลื่อนรากที่สองเฉลี่ย (RMSE) ค่าเบี่ยงเบนรากที่สองเฉลี่ย (RMSD) ค่าคลาดเคลื่อนจากการเอนเอียงเฉลี่ย (MBE) ค่าเบี่ยงเบนจากการเอนเอียงเฉลี่ย (MBD) เป็น 0.103, 0.002, -0.007 และ -0.002 ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลองได้สามารถนำไปหาปริมาณรังสีรวมของดวงอาทิตย์สำหรับจังหวัดเลย

Abstract

An estimation of solar radiation with the meteorological parameters is one of the solar radiation determinations for some locations. This study used the Angstrom's equation on the functions of linear, binomial, third-order polynomial, logarithm and exponential relations for modeling the solar radiation in Loei Province. The solar radiation model constructing was calculated using the global radiation data collected by a weather station and the sunshine duration data during 2002 and 2005. The linear relation was the optimum model which was obtained the empirical constants a and b to be 0.192 and 0.548 respectively. The coefficients correlation value (R^2) was to be 0.766. The comparison of the model and the measurements to determine the values of the root mean square error (RMSE), the root mean square deviation (RMSD), the mean bias error (MBE) and the mean bias deviation (MBD) to be 0.103, 0.002, -0.007 and -0.002 respectively. The model can be used for determining the solar radiation falling onto the ground in Loei.

บทนำ

วิกฤตการณ์ทางด้านพลังงาน ส่งผลให้เกิดการตื่นตัวให้มีการใช้พลังงานทดแทนมากขึ้นเรื่อยๆ โดยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่มีการกล่าวถึงมาอย่างต่อเนื่อง ที่จะนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าและความร้อน ซึ่งประเทศไทย ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นใกล้เส้นศูนย์สูตร ได้รับรังสีดวงอาทิตย์โดยเฉลี่ย 18 MJ/m^2 ต่อปี [1] จึงมีศักยภาพที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้มาก โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ร่วมกับภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร [2] ได้จัดทำแผนที่พลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในรูปความเข้มแสงสว่างธรรมชาติ โดยความสว่างของแสงธรรมชาติของจังหวัดเลย มีค่าอยู่ระหว่าง 70 – 75 $kLux/m^2$ ซึ่งค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ที่ตกกระทบพื้นที่มีความสำคัญในการออกแบบระบบความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ตลอดจนการปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ แต่เนื่องจากเครื่องมือวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาสูง และจำเป็นต้องใช้ความรู้เฉพาะด้านในการวัดและการเก็บข้อมูล ส่วนวิธีการประมาณปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา จากข้อมูลค่าความยาวนานของแสงแดด ที่อาศัยสมการของอังสตรอม จึงเป็นวิธีการที่สะดวกและนิยมใช้กันทั่วโลก ในการสร้างแบบจำลอง ให้เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ ทดแทนการใช้เครื่องมือวัดที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณและความชำนาญของการวัด

ในการวิจัยนี้ อาศัยสมการของอังสตรอม ในรูปแบบฟังก์ชั่นต่างๆ สร้างเป็นแบบจำลองสำหรับประมาณปริมาณรังสีรวมของดวงอาทิตย์ของจังหวัดเลย จากข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ตั้งแต่ปี 2545 – 2548 และข้อมูลค่าความยาวนานของแสงแดด ในช่วงเวลาเดียวกัน แล้วคัดเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการหาปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ของจังหวัดเลย หรือการศึกษาวิจัยต่อไป

การแผ่รังสีดวงอาทิตย์

รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลก มีค่าประมาณ 60% โดย 40 % ถูกสะท้อนและดูดกลืนโดยบรรยากาศของโลก ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่สามารถนำไปใช้งานได้ จึงเป็นปริมาณที่เหลือจากการสะท้อนและการดูดกลืนดังกล่าว ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ฤดูกาล และตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่นั้นๆ

ปริมาณรังสีที่ตกกระทบนอกบรรยากาศของโลก (extraterrestrial radiation, H_o) จะขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งละติจูดของพื้นที่ และวันของปี ตามสมการ [3]

$$H_0 = \frac{24\times 3600 G_{sc}}{\pi}\left(1+0.033\cos\left(\frac{360n}{365}\right)\right)\left(\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + \frac{\pi\omega_s}{180}\sin\omega_s\sin\delta\right) \quad (1)$$

เมื่อ G_{sc} เป็นค่าคงที่ของดวงอาทิตย์ (1370 W/m^2)

n เป็นจำนวนวันของปี (1 มกราคม n = 1 และ 31 ธันวาคม n = 365)

ϕ เป็นตำแหน่งละติจูดของพื้นที่ ที่ต้องการทราบ (มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ตั้งอยู่ที่ละติจูด 17.40° N)

δ เป็นตำแหน่งเดคลิเนชั่น (declination) ของดวงอาทิตย์

$$\delta = 23.45\sin\left[\frac{360}{365}(284+n)\right] \quad (2)$$

(มีค่าอยู่ระหว่าง -23.45° ถึง + 23.45°)

ω_s เป็นมุมชั่วโมงที่ดวงอาทิตย์ตก

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta) \quad (3)$$

ค่าความยาวนานของวันหรือความยาวนานของแสงแดด (day length, S_o) จะเป็นจำนวนชั่วโมงที่แสงอาทิตย์ส่องลงมายังพื้นที่ใดๆ โดยจะแปรผันกันค่าเดคลิเนชั่นของดวงอาทิตย์ และมุมชั่วโมง ตามสมการ [3]

$$S_0 = \frac{2}{15}\cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta) \quad (4)$$

ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลก จะประกอบด้วย รังสีตรง (direct radiation, I_b) และรังสีกระจาย (diffuse radiation, I_d) สำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนชื้น ทำให้มีปริมาณรังสีกระจายโดยเฉลี่ย 60% ขึ้นไป [1] ดังนั้น ปริมาณรังสีรวม (global radiation, I_g) เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย โดย

$$I_g = I_b + I_d \quad (5)$$

การวัดรังสีดวงอาทิตย์ สามารถใช้เครื่องมือแยกวัดรังสีตรงได้ด้วยเครื่องไพฮีลิโอมิเตอร์ (pyrheliometer) ที่ต้องมีระบบติดตามดวงอาทิตย์ และรังสีกระจายวัดด้วยเครื่องไพรานอมิเตอร์แบบใช้แถบบังแสง (shade-ring pyranometer) สำหรับการวัดรังสีรวม จะใช้เครื่องไพรานอมิเตอร์ (pyranometer)

วิธีการประมาณปริมาณรังสี เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการหาปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นที่ใดๆ โดยอาศัยข้อมูลปริมาณรังสีรายชั่วโมงเฉลี่ยรายวัน (daily average hourly radiation) หรือรังสีรายวันเฉลี่ยรายเดือน (monthly average daily radiation) สัมพันธ์กับค่าความยาวนานของแสงแดด หรือค่าดัชนีเมฆ (cloudiness index) อาศัยสมการเชิงเส้นของอังสตรอม (Angstrom's equation) ดังสมการ [3,4]

$$\frac{H}{H_0} = a + b\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (6)$$

$$\frac{H}{H_0} = a' + b'\overline{C} \quad (7)$$

เมื่อ H เป็นค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ที่ได้จากการวัด (W/m^2)

H_o เป็นค่าปริมาณรังสีนอกบรรยากาศของโลก (W/m^2)

a, b, a' และ b' เป็นค่าคงที่เฉพาะพื้นที่ใดๆ (empirical constants)

S เป็นค่าความยาวนานของแสงแดด (hr)

S_o เป็นค่าความยาวนานของวัน (hr)

$\overline{C}$ เป็นค่าดัชนีเมฆ (จำนวนใน10 ส่วนของท้องฟ้า)

ในการวิจัยนี้ ได้ใช้สมการดั้งเดิมของอังสตรอม ที่เป็นสมการเชิงเส้น และประยุกต์สมการของอังสตรอม ในรูปแบบฟังก์ชั่นต่างๆ ดังนี้ [5]

สมการเชิงเส้น (linear regression)

$$\frac{H}{H_0} = a + b\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (8)$$

สมการกำลังสอง (binomial equation)

$$\frac{H}{H_0} = a + b\left(\frac{S}{S_0}\right) + c\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (9)$$

สมการกำลังสาม (third-order polynomial equation)

$$\frac{H}{H_0} = a + b\left(\frac{S}{S_0}\right) + c\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + d\left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (10)$$

สมการล็อกการิทึม (logarithm equation)

$$\frac{H}{H_0} = a + b\log\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (11)$$

สมการเอ็กโพเนนเชียล (exponential equation)

$$\frac{H}{H_0} = a + be^{(\frac{S}{S_0})} \qquad (12)$$

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลปริมาณรังสีรวมรายชั่วโมง จะเก็บด้วยหัววัดรังสีดวงอาทิตย์ ที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องตรวจอากาศอัตโนมัติ (weather station) ยี่ห้อ ELE International รุ่น EMS ที่ใช้ระบบบันทึกข้อมูล MM600 โดยสามารถบันทึกข้อมูลอุณหภูมิของอากาศ ความเร็วลม ทิศทางลม ความกดอากาศ ปริมาณน้ำฝน และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งติดตั้งเครื่องนี้ไว้บริเวณดาดฟ้าของศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ทำการตรวจวัด (time interval) ทุกๆ 1 นาที และให้เครื่องเก็บบันทึกเป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง ตลอดวันเป็นระยะเวลา 4 ปี ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2545 – 31 ธันวาคม 2548 โดยผู้วิจัยจะทำการดึงข้อมูลออกจากเครื่องทุกๆ 1- 2 เดือน แล้วโอนถ่ายข้อมูลให้เป็นไฟล์ MS-Excel เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ส่วนข้อมูลค่าความยาวนานของแสงแดด จะอาศัยข้อมูลของสถานีอุตุนิยมวิทยาเลย ที่เก็บบันทึกและรายงานเป็นประจำทุกวัน ในช่วงวันเวลาเดียวกันกับที่เก็บข้อมูลปริมาณแสงอาทิตย์

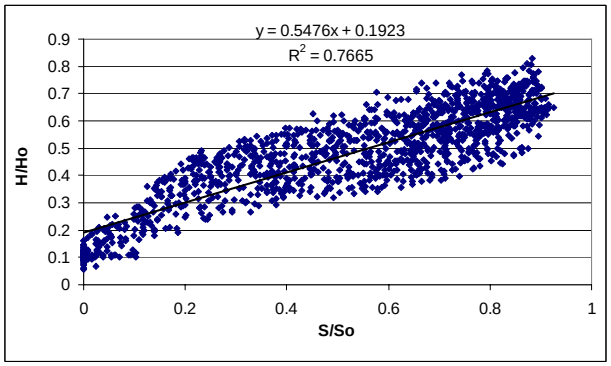
การวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รายชั่วโมง จะนำมาหาค่ารังสีเฉลี่ยรายวัน (daily average radiation) และกำหนดให้เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัด (H) นำมาหารด้วยค่ารังสีนอกบรรยากาศของโลก (H_o) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (1) ค่าความยาวนานของแสงแดดรายวันจากการวัด (S) และจากการคำนวณ (S_o) ตามสมการที่ (4) ข้อมูลในวันเดียวกัน จะนำมาเขียนกราฟ เพื่อหาความสัมพันธ์ ตามสมการของอังสตรอมในรูปแบบความสัมพันธ์เชิงเส้น สมการที่ (8) กำลังสอง สมการที่ (9) กำลังสาม สมการที่ (10) ล็อกการิทึม สมการที่ (11) และเอ็กโพเนนเชียล สมการที่ (12) ตามลำดับ ทำให้ได้ค่าคงที่ a, b, c หรือ d ตามกรณี และได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of correlation, R^2) ในแต่ละฟังก์ชั่นจะใช้เป็นแบบจำลองในการประมาณปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และนำไปคำนวณค่าคลาดเคลื่อนรากที่สองเฉลี่ย (root mean square error, RMSE) ค่าเบี่ยงเบนรากที่สองเฉลี่ย (root mean square deviation, RMSD) ค่าคลาดเคลื่อนจากการเอนเอียงเฉลี่ย (mean bias error, MBE) และค่าเบี่ยงเบนจากการเอนเอียงเฉลี่ย (mean bias deviation, MBD) แสดงในตารางที่ 1

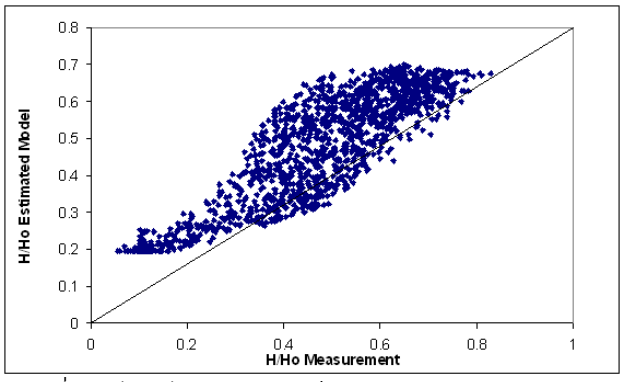
ตารางที่ 1 ค่าคงที่ จากสมการของอังสตรอมในฟังก์ชั่นต่างๆ สำหรับประมาณรังสีรวมของดวงอาทิตย์จังหวัดเลย

Function	a	b	c	d	RMSE	RMSD	MBE	MBD	R^2
Linear	0.192	0.548			0.103	0.002	-0.007	-0.002	0.766
Binomial	0.137	0.891	-0.398		0.119	0.003	0.032	0.007	0.753
Polynomial	0.120	1.347	-1.917	1.158	0.132	0.003	0.048	0.001	0.764
Logarithm	0.563	0.281			0.146	0.003	0.040	0.001	0.577
Exponential	-0.062	0.297			0.127	0.003	0.049	0.001	0.669

แบบจำลองเชิงเส้น เป็นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เมื่อนำข้อมูลจากการวัดทั้งหมดมาเขียนกราฟระหว่าง H/H_o กับ S/S_o จะได้กราฟแสดงดังภาพที่ 1 และเปรียบเทียบผลการคำนวณตามแบบจำลองกับผลการวัด ดังแสดงในภาพที่ 2 จะเห็นว่าผลการคำนวณ ให้ค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จริงเล็กน้อย



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง H/H_o กับค่า S/S_o



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างผลการคำนวณจากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัด

สรุปผลการวิจัย

การประมาณปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ โดยอาศัยสมการของอังสตรอม จากข้อมูลค่าความยาวนานของแสงแดดในจังหวัดเลย พบว่าแบบจำลองที่เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด ดังสมการ H/H_o = 0.192 + 0.548 S/S_o ซึ่งได้ค่าความเชื่อมั่นของการวัดที่ระดับ 76.65% ค่าที่คำนวณจากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้ โดยค่าคลาดเคลื่อน

RMSE ประมาณ 10.30% อย่างไรก็ตามผลการคำนวณตามแบบจำลองมีค่าความแม่นยำ MBE ประมาณ -0.7%

เอกสารอ้างอิง

1. Robert Exell (1976). The Solar Radiation Climate of Thailand. *Solar Energy*, **Vol. 8**, pp. 349 – 354.
2. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร (2547). **แผนที่และฐานข้อมูล ศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติ จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย**, บริษัท จิรังรัชต์ จำกัด. หน้า 151 – 170.
3. John Duffie and William Beckman (1991). **Solar Engineering of Thermal Process**, 2nd Edition, John Wiley & Sons. Inc. :New York
4. วีรุวธ เลพล และสิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ (2551) แบบจำลองอังสตรอมสำหรับประมาณค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่จังหวัดมหาสารคาม ประเทศไทย รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4, หน้า 47-52.
5. J. Almorox and C. Hontoria (2004). Global Solar Radiation Estimation using Sunshine Duration in Spain. *Energy Conversion & Management*. **Vol.45**, pp. 1529 – 1535.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย และขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่อำนวยความสะดวก และขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาและสถานีอุตุนิยมวิทยา ที่อนุเคราะห์ข้อมูลค่าความยาวนานของแสงแดดของจังหวัดเลย