



KKU SCIENCE JOURNAL

Journal Home Page : <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/KKUSciJ>

Published by the Faculty of Science, Khon Kaen University, Thailand



แบบจำลองเอมไพริคัลสำหรับคำนวณรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับประเทศไทย

Empirical Models for Calculating Monthly Average Daily of Global Solar Radiation from Meteorological Data for Thailand

รุ่งรัตน์ วัตตาล^{1*}, สมเจตน์ ภัทรพานิชชัย¹ และ ณรงค์ พูลแก้ว²

Rungrat Wattan^{1*}, Somjet Pattarapanitchai¹ and Narong Poonkaew²

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000

²กองบริหารงานวิชาการ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000

¹Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

²Division of Academic Administration, Silpakorn University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองเอมไพริคัลสำหรับคำนวณรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ในการทดสอบแบบจำลองดังกล่าว ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลรังสีรวมรายวัน ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ (รายวันสูงสุด รายวันต่ำสุด เฉลี่ยรายวัน) ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวัน และเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าเฉลี่ยรายวัน จากสถานีวัด 32 แห่งในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูล 7 ปี (ค.ศ. 2009 - 2015) จากนั้นทำการคำนวณข้อมูลดังกล่าวให้อยู่ในรูปรายวันเฉลี่ยต่อเดือน พร้อมทั้งคำนวณค่ารังสีนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน หลังจากนั้นทำการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองจำนวน 10 แบบจำลองโดยใช้ข้อมูลจากสถานีวัด 32 แห่ง โดยแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มรังสีรวมต่อความเข้มรังสีนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือนกับค่ารายวันเฉลี่ยต่อเดือนของอุณหภูมิอากาศรายวันต่ำสุด อุณหภูมิอากาศรายวันสูงสุด อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย และเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าเฉลี่ย และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิรายวันสูงสุดและต่ำสุด จากนั้นผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัดในปี ค.ศ. 2016 - 2018 มาทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ปรับปรุงสัมประสิทธิ์แล้ว โดยนำแบบจำลองดังกล่าวมาคำนวณค่าความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัด ผลที่ได้พบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองทั้ง 10 แบบจำลองที่ปรับปรุงสัมประสิทธิ์แล้ว ส่วนใหญ่มีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัด โดยมีความแตกต่างในรูปของรากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง และความคลาดเคลื่อนเอนเอียงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.3 - 19.2% และ -6.3 - 7.0% ตามลำดับ และแบบจำลองที่ 5 ให้ผลที่ดีที่สุด

ABSTRACT

In this work, empirical models for estimating monthly average daily of global radiation from meteorological data were performed. The performance of the models was started with the collection of

*Corresponding Author, E-mail: rungrat.wattan@gmail.com

Received: date: 29 May 2023 | Revised date: 17 July 2023 | Accepted date: 18 July 2023

daily global solar radiation data, air temperature data (daily maximum, daily minimum, and daily mean), daily mean relative humidity data, and daily mean cloud cover data from 32 meteorological stations in Thailand for the seven-year period (2009 - 2015). The values of monthly average daily of global radiation, daily maximum air temperature, daily minimum air temperature, mean air temperature, mean relative humidity, and mean cloud cover and the values of monthly average of the difference between the daily maximum and daily minimum air temperatures were calculated. The values of monthly average daily extraterrestrial radiation were also computed. The adjusted coefficient of the ten models expressed the ratio of monthly average daily of global solar radiation and monthly average daily extraterrestrial radiation as functions of the monthly average daily of air temperature, relative humidity and cloud cover, and the difference between the daily maximum and daily minimum air temperatures. Then the models were tested against independent data set (2016 - 2018). The monthly average daily of global solar radiation calculated from these models was compared with that obtained from the measurement, with a root mean square error (RMSE) and mean bias error (MBE) between 4.3 - 19.2% and -6.3 - 7.0, respectively. However, the model 5 is the best.

คำสำคัญ: รังสีรวม ปรับปรุงสัมประสิทธิ์ แบบจำลอง ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

Keywords: Global Solar Radiation, Adjusted Coefficient, Models, Meteorological Data

บทนำ

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตบนโลก ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ยังเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นเกี่ยวกับงานด้านพลังงานแสงอาทิตย์ต่างๆ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทั่วไปแหล่งข้อมูลรังสีอาทิตย์ได้มาจากการตรวจวัดภาคพื้นดินด้วยไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) สำหรับประเทศไทยถึงแม้จะมีการวัดข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์มาหลายสิบปีแล้ว แต่จำนวนสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ก็ยังมีจำนวนไม่ครอบคลุมทั่วประเทศ รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายสูงในด้านอุปกรณ์ตรวจวัด การบำรุงรักษา และอุปกรณ์เก็บบันทึกข้อมูล เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายดังกล่าวและช่วยส่งเสริมงานด้านการพัฒนาและประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และมีข้อมูลที่น่าเชื่อถือทางสถิติสำหรับเป็นข้อมูลประกอบในอนาคต จึงจำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งสามารถคำนวณได้ในพื้นที่ที่ไม่มีเครื่องมือตรวจวัด โดยข้อมูลที่สามารถนำมาเป็นตัวแปรสำหรับการหาค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณเมฆ ทั้งนี้เพราะข้อมูลเหล่านี้มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับความเข้มรังสีอาทิตย์ และข้อมูลดังกล่าวสามารถหาได้จากสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วไป ซึ่งมีจำนวนของสถานีที่มากและครอบคลุมทั่วประเทศ และเพื่อให้ผลมีความสมบูรณ์และทันสมัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานวิจัยพัฒนาและประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงแบบจำลองเอมไพริคัลสำหรับคำนวณรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองดังกล่าว

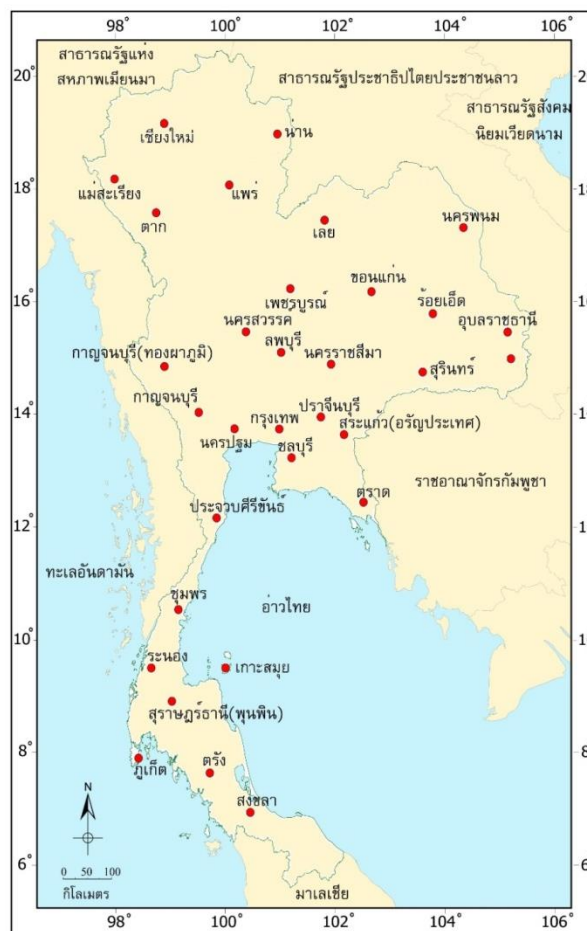
วิธีการดำเนินการวิจัย

ข้อมูลความเข้มรังสีรวมจากดวงอาทิตย์เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการคำนวณออกแบบและประเมินสมรรถนะของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ต่างๆ แต่เนื่องจากข้อมูลความเข้มรังสีรวมจากดวงอาทิตย์ที่ได้จากสถานีวัดมีไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่ และข้อมูลความเข้มรังสีรวมยังขึ้นอยู่กับตำแหน่งและสภาพพื้นที่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุง

สัมประสิทธิ์ใหม่ของแบบจำลองจำนวน 10 แบบจำลอง รวม 32 สถานีทั่วประเทศไทย และทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองดังกล่าวสำหรับคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จากข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา เพื่อนำมาใช้คำนวณความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลความเข้มรังสีรวมจากดวงอาทิตย์จากสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานและอนุรักษ์พลังงานและมหาวิทยาลัยศิลปากร 32 แห่ง (รูปที่ 1) ตั้งแต่เดือนมกราคมปี ค.ศ. 2009 จนถึงเดือนธันวาคมปี ค.ศ. 2018 โดยแต่ละสถานีทำการวัดความเข้มรังสีรวมด้วยไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) รุ่น CM11 ของ Kipp&Zonen และบันทึกสัญญาณข้อมูลในรูปศักย์ไฟฟ้าด้วยเครื่อง Data logger รุ่น DC100 ของบริษัท Yokogawa โดยรับสัญญาณทุกๆ 1 วินาที และนำมาเฉลี่ยในช่วงเวลา 10 นาที แล้วบันทึกค่าเฉลี่ยลงในหน่วยความจำของเครื่องบันทึกข้อมูล จากนั้นจะทำการแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าโดยหารด้วยค่า sensitivity ของไพราโนมิเตอร์ จะได้ค่าความเข้มรังสีรวมในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) แล้วแปลงให้อยู่ในหน่วยเมกะจูลต่อตารางเมตร (MJ/m^2) จากนั้นอินทิเกรตค่าดังกล่าวตลอดทั้งวัน จะได้ค่าความเข้มรังสีรวมในหน่วยเมกะจูลต่อตารางเมตร เพื่อนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองและทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง สำหรับข้อมูลอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลดังกล่าวจากสถานีอุตุนิยมวิทยา 32 แห่ง ซึ่งเป็นสถานีเดียวกันกับสถานีที่ทำการวัดรังสีรวม



รูปที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์

2. การปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองเอมไพริคัลสำหรับคำนวณรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง (Adjusted Coefficients) สำหรับคำนวณรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของนักวิจัยอื่นๆ จำนวน 10 แบบจำลอง (ตารางที่ 1) โดยใช้ข้อมูลจากสถานีวัด 32 แห่ง โดยแบบจำลองดังกล่าวจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{H}$) ต่อความเข้มรังสีนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\bar{H}_0$) กับค่ารายวันเฉลี่ยต่อเดือนของอุณหภูมิอากาศรายวันต่ำสุด ($T_{\min}$) อุณหภูมิอากาศรายวันสูงสุด ($T_{\max}$) อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (T_{mean}) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (RH_{mean}) เมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าเฉลี่ย (C_{mean}) และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิรายวันสูงสุดและต่ำสุด (ΔT) ในรูปแบบต่างๆ และมีสัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง (a_0 , a_1 , a_2 และ a_3) ดังแสดงในตารางที่ 1 สำหรับค่าความเข้มรังสีนอกบรรยากาศโลก ผู้วิจัยได้คำนวณจากสมการจาก Iqbal (1983)

ตารางที่ 1 แบบจำลองเอมไพริคัลสำหรับใช้ประมาณค่ารังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ทำการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ใหม่

ลำดับ	ชื่อแบบจำลอง	ข้อมูลนำเข้าของ แบบจำลอง	แบบจำลอง (model equation)
1	แบบจำลองที่ 1 (Zhang <i>et al.</i> , 2017)	$T_{\min}$, $T_{\max}$, RH_{mean}	$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a_0 + a_1 (T_{\min} / T_{\max}) \left(\frac{RH_{\text{mean}}}{100} \right)$
2	แบบจำลองที่ 2 (Garba <i>et al.</i> , 2018)	$T_{\max}$, $T_{\min}$	$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a_0 + a_1 \left(\frac{T_{\min}}{T_{\max}} \right)$
3	แบบจำลองที่ 3 (Falayi <i>et al.</i> , 2008)	T_{mean}	$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a_0 + a_1 (T_{\text{mean}})$
4	แบบจำลองที่ 4 Angstrom-Prescott model (Prescott, 1924; Angstrom, 1940)	RH_{mean}	$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a_0 + a_1 \frac{RH_{\text{mean}}}{100}$
5	แบบจำลองที่ 5 (Okundamiya <i>et al.</i> , 2016)	C_{mean}	$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a_0 + a_1 C_{\text{mean}}$
6	แบบจำลองที่ 6 (Garba <i>et al.</i> , 2018)	$T_{\max}$, $T_{\min}$	$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a_0 + a_1 \left(\frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max}} \right)^{0.5}$
7	แบบจำลองที่ 7 (Hargreaves and Samani, 1982)	ΔT	$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a_0 (\Delta T)^{0.5} + a_1$
8	แบบจำลองที่ 8 (Ituen <i>et al.</i> , 2012)	T_{mean} , RH_{mean}	$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a_0 + a_1 \frac{RH_{\text{mean}}}{100} + a_2 T_{\text{mean}}$
9	แบบจำลองที่ 9 (Nage, 2018)	ΔT	$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a_0 + a_1 (\Delta T)^{0.5} + a_2 (\Delta T)$
10	แบบจำลองที่ 10 (Nage, 2018)	ΔT	$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a_0 + a_1 (\Delta T)^{0.5} + a_2 (\Delta T) + a_3 (\Delta T)^{1.5}$

หลังจากจัดเตรียมข้อมูลต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากสถานีวัดทั้ง 32 แห่ง ในปี ค.ศ. 2009 - 2015 มาทำการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองทั้ง 10 แบบจำลอง ตามตารางที่ 1 หลังจากนั้นผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากทั้ง 32 สถานี ในปี ค.ศ. 2016 - 2018 ซึ่งเป็นข้อมูลอิสระ (Independent data) มิได้นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง มาทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนจากการคำนวณจากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัด โดยการเปรียบเทียบจะอาศัยพารามิเตอร์ทางสถิติ 2 ตัว คือรากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) และความคลาดเคลื่อนเอนเอียงเฉลี่ย (Mean Bias Error: MBE) โดยค่า RMSE เป็นค่าที่แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองจากค่าวัดจริง ส่วนค่า MBE เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงว่าแบบจำลองนั้นให้ผลการคำนวณที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าจากการวัด (Iqbal, 1983) ดังสมการที่ 1 และ 2

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\bar{H}_{i,model} - \bar{H}_{i,meas})^2}}{\frac{\sum_{i=1}^N \bar{H}_{i,meas}}{N}} \times 100\% \quad (1)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{H}_{i,model} - \bar{H}_{i,meas})}{\frac{\sum_{i=1}^N \bar{H}_{i,meas}}{N}} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ $\bar{H}_{i,model}$ คือความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่คำนวณได้จากแบบจำลอง (MJ/m^2)
 $\bar{H}_{i,meas}$ คือความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากการวัด (MJ/m^2)
 N คือจำนวนข้อมูล

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนจากข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา โดยใช้โปรแกรม Statistica 8.0 (StatSoft) เพื่อหาสัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนต่อความเข้มรังสีนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือนกับค่ารายวันเฉลี่ยต่อเดือนของอุณหภูมิอากาศรายวันต่ำสุด อุณหภูมิอากาศรายวันสูงสุด อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย เมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าเฉลี่ย และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิรายวันสูงสุดและต่ำสุดในรูปแบบต่างๆ จำนวน 10 แบบจำลอง (แบบจำลองที่ 1 - 10) โดยสัมประสิทธิ์ของแต่ละแบบจำลองในแต่ละสถานีรวม 32 แห่ง แสดงดังตารางที่ 2 - 5

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ปรับปรุงของแบบจำลองที่ 1 2 และ 3 ที่ได้จากสถานีวัดต่างๆ

ลำดับ	สถานี	แบบจำลองที่ 1		แบบจำลองที่ 2		แบบจำลองที่ 3	
		a_0	a_1	a_0	a_1	a_0	a_1
1	กรุงเทพ	0.9902	-0.8590	1.7032	-1.5380	0.4044	0.0029
2	นครสวรรค์	0.7196	-0.3799	0.8812	-0.5075	0.4509	0.0022
3	ลพบุรี	0.4299	0.0916	1.0559	-0.7471	0.8966	-0.0133
4	กาญจนบุรี (ทองผาภูมิ)	0.8671	-0.6387	1.1032	-0.8464	0.4341	0.0030
5	ปราจีนบุรี	0.7872	-0.5028	1.1891	-0.9025	0.7428	-0.0083
6	ประจวบคีรีขันธ์	1.2059	-1.1434	1.8402	-1.6980	0.6481	-0.0044
7	น่าน	0.6767	-0.3301	0.7878	-0.4193	0.8416	-0.0126
8	ตาก	0.9693	-0.7941	1.2038	-1.0025	0.9393	-0.0205
9	เพชรบูรณ์	0.7785	-0.5001	1.0037	-0.6973	0.7478	-0.0084
10	ขอนแก่น	0.7797	-0.4805	1.0834	-0.7592	0.8633	-0.0121
11	นครพนม	0.8405	-0.6337	1.1450	-0.8958	0.9528	-0.0172
12	สุรินทร์	0.6658	-0.3014	0.7623	-0.3637	0.5823	-0.0028
13	อุบลราชธานี	0.8231	-0.5627	1.0647	-0.7690	0.9720	-0.0166
14	นครราชสีมา	0.7684	-0.4857	1.0425	-0.7266	0.7385	-0.0082
15	ระนอง	0.9748	-0.8437	1.5533	-1.4167	-0.7898	0.0456
16	เกาะสมุย	0.5156	0.0013	-0.0522	0.6659	-0.1046	0.0220
17	ภูเก็ต	1.2799	-1.1680	1.8850	-1.6719	0.0428	0.0173
18	กาญจนบุรี	0.8023	-0.5270	1.0964	-0.7695	0.3863	0.0049
19	แพร่	0.6998	-0.3506	0.8022	-0.4169	0.6765	-0.0060
20	ชลบุรี	0.8490	-0.5947	1.1723	-0.8406	0.6780	-0.0060
21	ชุมพร	1.4193	-1.4937	2.3130	-2.3623	0.4900	-0.0003
22	ตรัง	1.1495	-1.0719	1.8548	-1.8118	-0.6153	0.0403
23	สุราษฎร์ธานี (พุนพิน)	1.0643	-0.9655	1.5287	-1.4322	-0.0823	0.0204
24	แม่สะเรียง	0.7515	-0.5066	0.8599	-0.5679	0.8480	-0.0142
25	เลย	0.6959	-0.4037	0.8528	-0.5277	0.8470	-0.0135
26	ร้อยเอ็ด	0.7717	-0.4274	0.9574	-0.5839	0.8749	-0.0126
27	ตราด	1.0842	-0.9141	1.4081	-1.1696	0.7178	-0.0076
28	สระแก้ว (อรัญประเทศ)	0.7407	-0.4386	1.0594	-0.7598	0.5116	-0.0004
29	เชียงใหม่ (ศูนย์)	0.7634	-0.4970	0.9724	-0.6552	0.9264	-0.0151
30	นครปฐม	1.1125	-1.0007	1.4339	-1.2226	0.7812	-0.0087
31	อุบลราชธานี (ศูนย์)	0.8701	-0.6463	1.1708	-0.8814	0.8505	-0.0116
32	สงขลา (ศูนย์)	0.8876	-0.5408	0.5183	0.0252	-0.5678	0.0394

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ปรับปรุงของแบบจำลองที่ 4 5 และ 6 ที่ได้จากสถานีวิัดต่างๆ

ลำดับ	สถานี	แบบจำลองที่ 4		แบบจำลองที่ 5		แบบจำลองที่ 6	
		a_0	a_1	a_0	a_1	a_0	a_1
1	กรุงเทพ	1.1696	-0.9232	0.7753	0.2684	-0.1913	1.4856
2	นครสวรรค์	0.8344	-0.4311	0.5973	-0.1595	0.2147	0.5721
3	ลพบุรี	0.9032	-0.5075	0.6525	-0.2257	0.0757	0.8391
4	กาญจนบุรี (ทองผาภูมิ)	1.1921	-0.8626	0.6840	-0.2980	-0.0119	0.9637
5	ปราจีนบุรี	0.9180	-0.5605	0.6631	-0.2681	0.0566	0.9150
6	ประจวบคีรีขันธ์	1.0678	-0.7053	0.8396	-0.4532	-0.2603	1.6587
7	น่าน	0.7124	-0.2700	0.5972	-0.1874	0.2229	0.4998
8	ตาก	1.4699	-1.1687	0.7313	-0.4158	-0.1072	1.1334
9	เพชรบูรณ์	0.9690	-0.6089	0.6366	-0.2430	0.0829	0.7956
10	ขอนแก่น	0.9090	-0.5357	0.6851	-0.2709	0.1007	0.8299
11	นครพนม	1.0989	-0.8124	0.7108	-0.4060	-0.0064	0.9674
12	สุรินทร์	0.8154	-0.4139	0.5814	-0.1516	0.2809	0.4170
13	อุบลราชธานี	1.0790	-0.7416	0.8428	-0.4460	0.0576	0.8635
14	นครราชสีมา	0.8991	-0.5386	0.6662	-0.2462	0.1027	0.7918
15	ระนอง	1.3215	-1.0948	0.7617	-0.4630	-0.1857	1.3582
16	เกาะสมุย	0.9996	-0.5983	1.0134	-0.7454	0.7110	-0.5121
17	ภูเก็ต	1.6630	-1.4336	1.0557	-0.7667	-0.0999	1.4540
18	กาญจนบุรี	0.9231	-0.5632	0.6114	-0.1758	0.1024	0.8359
19	แพร่	0.7928	-0.3656	0.7646	-0.3389	0.2478	0.4840
20	ชลบุรี	1.0130	-0.6989	0.5983	-0.1824	0.1455	0.7945
21	ชุมพร	1.7944	-1.6227	0.7800	-0.4704	-0.6039	2.2943
22	ตรัง	1.5251	-1.2704	0.7859	-0.4437	-0.4377	1.8718
23	สุราษฎร์ธานี (พุนพิน)	1.5221	-1.2649	0.7732	-0.4677	-0.2807	1.4735
24	แม่สะเรียง	0.9419	-0.5821	0.6200	-0.2497	0.0922	0.6856
25	เลย	0.7936	-0.4112	0.6011	-0.2342	0.1505	0.6130
26	ร้อยเอ็ด	0.9417	-0.5354	0.6885	-0.2800	0.2025	0.6386
27	ตราด	1.4954	-1.2104	0.8110	-0.4919	-0.0722	1.2158
28	สระแก้ว (อรัญประเทศ)	0.8738	-0.5040	0.6237	-0.2165	0.0821	0.8164
29	เชียงใหม่ (ศูนย์)	0.8427	-0.4591	0.6311	-0.2438	0.0986	0.7646
30	นครปฐม	1.5083	-1.2410	0.6562	-0.2244	-0.1490	1.3334
31	อุบลราชธานี (ศูนย์)	1.1114	-0.8096	0.9451	-0.5615	0.0348	0.9555
32	สงขลา (ศูนย์)	1.3488	-1.0469	0.9232	-0.6083	0.5465	-0.0176

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ปรับปรุงของแบบจำลองที่ 7 และ 8 ที่ได้จากสถานีวัดต่างๆ

ลำดับ	สถานี	แบบจำลองที่ 7		แบบจำลองที่ 8		
		a_0	a_1	a_0	a_1	a_2
1	กรุงเทพ	0.3139	-0.3346	0.8568	-0.9854	0.0124
2	นครสวรรค์	0.1110	0.1778	0.8829	-0.4417	-0.0014
3	ลพบุรี	0.1361	0.1046	1.1146	-0.4419	-0.0093
4	กาญจนบุรี (ทองผาภูมิ)	0.1511	0.0395	1.4551	-0.9128	-0.0083
5	ปราจีนบุรี	0.1396	0.1103	0.8457	-0.5776	0.0030
6	ประจวบคีรีขันธ์	0.2859	-0.2391	1.0937	-0.6999	-0.0011
7	น่าน	0.0785	0.2513	1.0656	-0.2855	-0.0128
8	ตาก	0.1992	-0.0451	1.9673	-1.1890	-0.0223
9	เพชรบูรณ์	0.1325	0.0997	1.1606	-0.5998	-0.0072
10	ขอนแก่น	0.1538	0.0808	1.0763	-0.4860	-0.0074
11	นครพนม	0.1868	-0.0461	1.2366	-0.7365	-0.0073
12	สุรินทร์	0.0793	0.2614	0.8449	-0.4086	-0.0012
13	อุบลราชธานี	0.1458	0.0756	1.3084	-0.6748	-0.0104
14	นครราชสีมา	0.1393	0.1007	1.0681	-0.5185	-0.0066
15	ระนอง	0.2083	-0.0960	0.6843	-0.9973	0.0205
16	เกาะสมุย	-0.0627	0.6486	0.3087	-0.3095	0.0162
17	ภูเก็ต	0.2368	-0.0438	1.7745	-1.4469	-0.0036
18	กาญจนบุรี	0.1473	0.0916	0.9253	-0.5636	-0.0001
19	แพร่	0.0850	0.2468	1.0675	-0.4230	-0.0086
20	ชลบุรี	0.1650	0.0779	0.9607	-0.7167	0.0022
21	ชุมพร	0.3680	-0.4923	2.3246	-1.7693	-0.0150
22	ตรัง	0.2535	-0.2220	1.2451	-1.2284	0.0090
23	สุราษฎร์ธานี (พุนพิน)	0.1942	-0.0907	1.8559	-1.3925	-0.0084
24	แม่สะเรียง	0.1106	0.1232	1.4499	-0.6649	-0.0172
25	เลย	0.1014	0.1736	1.1065	-0.3830	-0.0128
26	ร้อยเอ็ด	0.1120	0.2057	1.1573	-0.4737	-0.0097
27	ตราด	0.2068	-0.0478	1.0118	-1.3388	0.0213
28	สระแก้ว (อรัญประเทศ)	0.1367	0.0950	0.8423	-0.5056	0.0012
29	เชียงใหม่ (ศูนย์)	0.1231	0.1334	1.3235	-0.5021	-0.0168
30	นครปฐม	0.2410	-0.1731	1.9017	-1.3121	-0.0121
31	อุบลราชธานี (ศูนย์)	0.1720	0.0243	1.3227	-0.7828	-0.0084
32	สงขลา (ศูนย์)	0.0126	0.5106	0.9332	-0.8734	0.0100

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ปรับปรุงของแบบจำลองที่ 9 และ 10 ที่ได้จากสถานีต่างๆ

ลำดับ	สถานี	แบบจำลองที่ 9			แบบจำลองที่ 10			
		a_0	a_1	a_2	a_0	a_1	a_2	a_3
1	กรุงเทพ	-1.8517	1.4607	-0.2160	21.8881	-25.2109	9.7336	-1.2323
2	นครสวรรค์	-1.1723	1.0072	-0.1473	0.8844	-1.0235	0.5167	-0.0719
3	ลพบุรี	-0.3333	0.4197	-0.0455	0.3563	-0.2440	0.1660	-0.0223
4	กาญจนบุรี (ทองผาภูมิ)	-1.0732	0.8792	-0.1159	-2.7175	2.4886	-0.6329	0.0546
5	ปราจีนบุรี	-0.8039	0.7892	-0.1144	-3.1849	3.3102	-0.9994	0.1030
6	ประจวบคีรีขันธ์	0.6555	-0.0466	0.0069	17.0428	-19.3142	7.3787	-0.9220
7	น่าน	-1.2024	0.9801	-0.1367	-3.8504	3.4295	-0.8819	0.0746
8	ตาก	-1.1314	1.0162	-0.1470	-0.5251	0.3296	0.1052	-0.0301
9	เพชรบูรณ์	-1.3139	1.0444	-0.1447	-1.6947	1.4108	-0.2612	0.0122
10	ขอนแก่น	-1.0921	0.9599	-0.1369	-5.9942	5.9700	-1.8317	0.1898
11	นครพนม	-1.0115	0.8734	-0.1197	-4.0591	4.1091	-1.2518	0.1306
12	สุรินทร์	-1.1867	1.0282	-0.1534	-3.8676	3.6775	-1.0193	0.0936
13	อุบลราชธานี	-1.0021	0.8591	-0.1159	-4.5699	4.4069	-1.2793	0.1259
14	นครราชสีมา	-1.0838	0.9453	-0.1359	0.0293	-0.2007	0.2549	-0.0441
15	ระนอง	0.1794	0.0025	0.0379	-0.0843	0.2974	-0.0710	0.0133
16	เกาะสมุย	1.6648	-1.0790	0.2493	-0.0439	1.5357	-1.0664	0.2179
17	ภูเก็ต	0.4694	-0.1851	0.0856	8.3392	-9.8347	3.9955	-0.5236
18	กาญจนบุรี	-2.4034	1.8208	-0.2781	-6.5840	6.0196	-1.6766	0.1545
19	แพร่	-0.9668	0.8671	-0.1233	-2.1863	2.0391	-0.4943	0.0387
20	ชลบุรี	0.4767	-0.1365	0.0566	6.1066	-6.5009	2.4420	-0.2964
21	ชุมพร	-1.2463	0.9334	-0.1055	16.1901	-18.7848	7.3037	-0.9250
22	ตรัง	-0.4284	0.3957	-0.0243	3.5415	-3.7321	1.3971	-0.1620
23	สุราษฎร์ธานี (พุนพิน)	0.0655	0.0854	0.0188	-3.5243	3.9183	-1.3331	0.1576
24	แม่สะเรียง	-0.5204	0.5123	-0.0602	-2.9820	2.7940	-0.7480	0.0676
25	เลย	-0.9350	0.8109	-0.1114	-1.5945	1.4436	-0.3114	0.0208
26	ร้อยเอ็ด	-0.5040	0.6041	-0.0836	-4.9156	5.1655	-1.6374	0.1745
27	ตราด	-1.7158	1.4259	-0.2198	-1.2576	0.9286	-0.0422	-0.0208
28	สระแก้ว (อรัญประเทศ)	-1.1794	0.9985	-0.1445	-4.8693	4.7251	-1.3927	0.1387
29	เชียงใหม่ (ศูนย์)	-1.5313	1.1702	-0.1613	-6.1222	5.4574	-1.4791	0.1334
30	นครปฐม	-1.7380	1.2963	-0.1768	2.5929	-3.0597	1.2777	-0.1612
31	อุบลราชธานี (ศูนย์)	-0.9079	0.8169	-0.1097	-3.8361	3.8520	-1.1480	0.1173
32	สงขลา (ศูนย์)	-0.1591	0.6182	-0.1353	8.1184	-10.6637	4.9563	-0.7610

หลังจากผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองทั้ง 10 แบบจำลอง 32 สถานีเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองดังกล่าว โดยใช้ข้อมูลในปี ค.ศ. 2016 - 2018 จากสถานีวัด 32 แห่ง มาทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ในการทดสอบดังกล่าวผู้วิจัยได้นำค่ารายวันเฉลี่ยต่อเดือนของอุณหภูมิอากาศต่ำสุด อุณหภูมิอากาศสูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย เมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าเฉลี่ย และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิรายวันสูงสุดและต่ำสุด แทนค่าลงในสมการตามตารางที่ 1 ทำให้ได้ค่าอัตราส่วนความเข้มรังสีรวมต่อความเข้มรังสีนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน จากนั้นนำค่าดังกล่าวไปคูณกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ทำให้ได้ค่ารังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือน หลังจากนั้นนำค่าที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัด ซึ่งจะแสดงค่าความแตกต่างในรูปของ RMSE และ MBE ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่า RMSE และ MBE ของแบบจำลองที่ปรับปรุงสัมประสิทธิ์ใหม่ทั้ง 10 แบบจำลอง (แบบจำลองที่ 1 - 5)

ลำดับ	สถานี	แบบจำลองที่ 1		แบบจำลองที่ 2		แบบจำลองที่ 3		แบบจำลองที่ 4		แบบจำลองที่ 5	
		MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	กรุงเทพ	-2.1	8.6	1.2	9.9	1.8	11.1	1.6	8.6	2.9	9.1
2	นครสวรรค์	-1.3	8.1	-1.8	8.0	1.2	8.5	-0.8	8.3	-3.1	7.7
3	ลพบุรี	-6.3	13.1	1.6	6.9	-1.8	11.0	2.3	8.1	1.6	5.3
4	กาญจนบุรี (ทองผาภูมิ)	1.5	9.4	0.1	9.2	-2.6	17.9	3.5	12.5	-1.6	8.5
5	ปราจีนบุรี	-0.3	7.2	0.5	7.9	-0.5	10.9	-0.8	7.5	-1.3	6.4
6	ประจวบคีรีขันธ์	-1.5	9.7	-2.2	8.2	-1.3	14.7	0.6	13.6	0.2	5.7
7	น่าน	0.7	8.6	0.9	8.1	-1.5	10.7	1.5	10.6	-0.5	5.8
8	ตาก	1.4	10.0	0.0	11.4	4.7	19.2	4.3	14.7	2.5	7.6
9	เพชรบูรณ์	-0.4	6.7	-1.2	7.1	-0.1	12.3	0.7	7.5	-0.6	5.5
10	ขอนแก่น	-4.1	9.0	-3.6	8.6	2.5	10.5	-4.1	9.6	-5.5	9.4
11	นครพนม	-1.0	10.3	-4.2	11.7	4.1	15.1	1.8	11.7	-2.1	8.1
12	สุรินทร์	-5.1	8.5	-5.0	8.4	4.6	9.9	-5.1	9.0	-4.8	7.4
13	อุบลราชธานี	-2.7	8.9	-2.9	8.2	2.0	11.9	-2.3	10.1	0.3	6.3
14	นครราชสีมา	-2.2	6.5	-1.0	5.7	0.6	7.9	-2.6	7.3	-1.5	5.0
15	ระนอง	-0.1	5.7	0.9	5.7	-3.6	13.7	-0.5	7.2	2.3	6.0
16	เกาะสมุย	3.9	13.5	4.2	12.8	-4.1	11.9	1.6	11.5	-1.5	8.3
17	ภูเก็ต	7.0	9.8	4.6	11.1	-3.7	14.5	7.2	10.7	0.8	6.8
18	กาญจนบุรี	1.5	7.6	0.8	7.0	-1.9	10.6	2.1	8.6	0.7	5.7
19	แพร่	-0.2	6.9	-0.4	6.9	-0.02	11.1	0.5	8.9	0.4	6.2
20	ชลบุรี	1.8	7.1	2.0	7.5	-2.0	9.3	1.8	7.6	2.5	6.6
21	ชุมพร	0.4	9.0	0.6	8.2	-3.6	17.1	1.3	12.4	2.8	5.5
22	ตรัง	-2.6	7.3	-4.7	10.2	-0.3	11.7	-0.8	6.3	-5.3	7.9
23	สุราษฎร์ธานี (พุนพิน)	2.2	10.7	3.0	9.8	-5.3	13.7	2.2	11.7	1.9	11.7
24	แม่สะเรียง	-1.0	10.8	-1.9	11.1	1.1	18.8	1.9	15.5	-2.2	10.9

ตารางที่ 6 ค่า RMSE และ MBE ของแบบจำลองที่ปรับปรุงสัมประสิทธิ์ใหม่ทั้ง 10 แบบจำลอง (แบบจำลองที่ 1 – 5) (ต่อ)

ลำดับ	สถานี	แบบจำลองที่ 1		แบบจำลองที่ 2		แบบจำลองที่ 3		แบบจำลองที่ 4		แบบจำลองที่ 5	
		MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMS	MBE	RMSE	MBE	RMSE
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	E (%)	(%)	(%)	(%)	(%)
25	เลย	-0.6	7.3	0.2	6.2	-1.3	9.2	-0.2	9.2	-0.3	4.3
26	ร้อยเอ็ด	-1.0	7.7	-1.6	7.6	1.1	10.3	-0.3	8.8	-3.6	6.6
27	ตราด	-2.5	11.8	-3.4	16.0	5.4	18.6	-0.2	12.7	1.4	9.1
28	สระแก้ว (อรัญประเทศ)	-0.6	5.9	-1.0	6.1	-0.4	9.0	-0.3	6.1	-1.4	4.5
29	เชียงใหม่ (ศูนย์)	-0.7	8.6	-1.5	8.2	-0.2	15.3	0.8	11.3	-2.2	6.7
30	นครปฐม	-2.7	6.8	-3.6	7.0	-1.7	11.1	-1.1	8.5	-2.2	5.1
31	อุบลราชธานี (ศูนย์)	0.9	6.4	0.2	6.2	0.4	11.0	1.5	7.6	5.0	8.0
32	สงขลา (ศูนย์)	-2.7	12.0	-1.7	13.1	1.0	11.0	-4.9	11.3	-4.1	7.2

ตารางที่ 6 ค่า RMSE และ MBE ของแบบจำลองที่ปรับปรุงสัมประสิทธิ์ใหม่ทั้ง 10 แบบจำลอง (แบบจำลองที่ 6 – 10)

ลำดับ	สถานี	แบบจำลองที่ 6		แบบจำลองที่ 7		แบบจำลองที่ 8		แบบจำลองที่ 9		แบบจำลองที่ 10	
		MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	กรุงเทพ	-1.9	9.9	-2.4	8.4	-1.1	7.2	-2.5	8.6	-2.6	8.6
2	นครสวรรค์	-1.8	8.0	-1.4	7.8	-0.9	8.3	-1.6	7.3	-1.7	7.4
3	ลพบุรี	1.6	6.7	2.1	7.2	1.7	7.3	2.1	7.0	2.1	7.0
4	กาญจนบุรี (ทองผาภูมิ)	0.1	8.4	0.4	8.0	3.1	12.2	0.5	5.0	0.4	5.0
5	ปราจีนบุรี	0.6	7.8	1.1	8.0	-0.6	7.4	1.2	7.4	1.4	7.3
6	ประจวบคีรีขันธ์	-2.2	7.9	-2.4	7.1	0.6	13.6	-2.4	6.8	-1.6	8.2
7	น่าน	0.9	7.8	1.0	8.3	0.7	8.9	1.2	6.1	1.2	5.6
8	ตาก	-0.3	9.4	0.9	9.3	2.0	13.3	-0.1	6.9	0.1	6.8
9	เพชรบูรณ์	-1.2	6.8	-0.9	6.4	0.2	7.6	-1.1	4.9	-1.1	4.9
10	ขอนแก่น	-3.6	8.5	-3.5	9.1	-4.3	9.0	-3.7	8.8	-3.7	9.2
11	นครพนม	-4.2	11.0	-4.2	10.5	1.1	11.3	-3.8	8.9	-4.0	8.6
12	สุรินทร์	-5.0	8.3	-4.9	8.3	-5.1	8.9	-4.8	7.9	-4.6	7.7
13	อุบลราชธานี	-2.8	8.0	-2.3	8.2	-3.0	9.5	-2.0	7.4	-1.9	7.0
14	นครราชสีมา	-1.0	5.6	-0.8	6.0	-2.7	7.1	-0.9	5.4	-1.0	5.5
15	ระนอง	0.9	5.7	1.0	5.1	0.0	6.4	1.1	5.2	1.0	5.1
16	เกาะสมุย	4.2	12.7	4.1	13.0	2.8	11.2	4.0	12.4	4.1	12.4
17	ภูเก็ต	5.1	11.4	6.7	11.4	6.9	10.5	5.9	10.6	6.3	10.0
18	กาญจนบุรี	0.7	6.8	1.0	6.1	2.1	8.6	0.3	4.9	0.4	4.9
19	แพร่	-0.4	6.5	-0.1	6.1	-0.4	7.6	-0.4	5.1	-0.3	4.7
20	ชลบุรี	2.1	7.5	2.4	6.7	1.9	7.6	2.2	6.7	2.2	6.5

ตารางที่ 6 ค่า RMSE และ MBE ของแบบจำลองที่ปรับปรุงสัมประสิทธิ์ใหม่ทั้ง 10 แบบจำลอง (แบบจำลองที่ 6 – 10) (ต่อ)

ลำดับ	สถานี	แบบจำลองที่ 6		แบบจำลองที่ 7		แบบจำลองที่ 8		แบบจำลองที่ 9		แบบจำลองที่ 10	
		MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
21	ชุมพร	0.6	8.2	1.3	8.3	0.6	12.4	1.3	8.5	1.7	8.5
22	ตรัง	-4.8	10.4	-3.7	10.6	-0.3	7.0	-3.8	10.7	-3.9	10.5
23	สุราษฎร์ธานี (พุนพิน)	2.9	9.8	3.6	10.6	1.8	11.5	3.6	10.7	3.6	10.8
24	แม่สะเรียง	-2.1	10.1	-1.7	9.7	-0.4	13.0	-2.1	6.8	-2.8	6.4
25	เลย	0.2	5.9	0.5	6.7	-0.8	7.5	0.8	5.4	0.8	5.4
26	ร้อยเอ็ด	-1.6	7.4	-1.5	7.4	-0.8	8.2	-1.6	6.7	-1.7	6.2
27	ตราด	-3.7	14.9	-3.5	13.6	0.8	10.9	-4.3	10.6	-4.2	10.5
28	สระแก้ว (อรัญประเทศ)	-1.0	5.9	-0.7	5.6	-0.2	6.0	-0.7	5.0	-0.5	4.8
29	เชียงใหม่ (ศูนย์)	-1.6	7.6	-1.3	7.7	-0.9	9.6	-2.0	5.9	-2.9	6.4
30	นครปฐม	-3.6	6.8	-3.2	6.3	-1.9	8.4	-2.9	6.2	-2.9	6.3
31	อุบลราชธานี (ศูนย์)	0.3	6.0	1.4	6.1	0.6	7.1	1.3	5.4	1.7	5.1
32	สงขลา (ศูนย์)	-1.7	13.1	-1.6	13.0	-4.2	10.9	-1.8	12.7	-2.6	13.0

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็นตัวหนาในตารางเป็นค่า RMSE สูงที่สุดและต่ำที่สุดของแต่ละแบบจำลอง

จากผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่าค่าความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองทั้งหมดมีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัดค่อนข้างดี โดยค่าความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองที่ปรับปรุงสัมประสิทธิ์ใหม่จะแตกต่างจากค่าที่ได้จากการวัดของทั้ง 32 สถานีในรูป RMSE อยู่ในช่วง 4.3 - 19.2% สำหรับ MBE จะมีค่าอยู่ระหว่าง -6.3 - 7.0% เมื่อพิจารณาในแต่ละแบบจำลองพบว่าแบบจำลองที่ 5 ให้ผลที่ดีที่สุด โดยมีค่า RMSE และ MBE อยู่ในช่วง 4.3 - 11.7% และ -5.5 - 5.0% ตามลำดับ รองลงมาได้แก่แบบจำลองที่ 9 และแบบจำลองที่ 10 โดยแบบจำลองที่ 9 มีค่า RMSE และ MBE อยู่ในช่วง 4.9 - 12.7% และ -4.8 - 5.9% ตามลำดับ สำหรับแบบจำลองที่ 10 มีค่า RMSE และ MBE อยู่ในช่วง 4.7 - 13.0% และ -4.6 - 6.3% ตามลำดับ ในด้านแบบจำลองที่ 3 ให้ผลความคลาดเคลื่อนมากที่สุด โดยมีค่า RMSE อยู่ในช่วง 7.9 - 19.2% และ MBE อยู่ในช่วง -5.3 - 5.4% จากการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองที่ปรับปรุงสัมประสิทธิ์แล้วในงานวิจัยนี้ พบว่าแบบจำลองดังกล่าวสามารถนำไปคำนวณความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนได้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลความเข้มรังสีรวมจากดวงอาทิตย์จากสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ 32 แห่งทั่วประเทศไทย ในปี ค.ศ. 2009-2015 มาวิเคราะห์เพื่อหาสัมประสิทธิ์ใหม่ของแบบจำลอง จำนวน 10 แบบจำลอง เพื่อคำนวณความเข้มรังสีรวมจากข้อมูลอุณหภูมิตามวิทยานั่นได้ทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ทำการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ใหม่ โดยใช้ข้อมูลทั้ง 32 สถานี ที่ทำการวัดในปี ค.ศ. 2016 - 2018 ผลการทดสอบพบว่า ค่าความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่คำนวณจากแบบจำลองมีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัดค่อนข้างดี โดยมีความแตกต่างจากค่าที่ได้จากการวัดในรูปของ RMSE อยู่ในช่วง 4.3 - 19.2% และ MBE อยู่ในช่วง -6.3 - 7.0% โดยแบบจำลองที่ 5 9 และ 10 ให้ผลความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยมีค่า RMSE อยู่ในช่วง 4.3 - 13.0%

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนสนับสนุนการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์ คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ (Grant number: SRIF-JRG-2562-07) และขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์วัด

เอกสารอ้างอิง

- Angstrom, A. (1924). Solar and terrestrial radiation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 50: 121 - 126.
- Falayi, E. O., Adepitan, J. O. and Rabi, A. B. (2008). Empirical models for the correlation of global solar radiation with meteorological data for Iseyin, Nigeria. The Pacific Journal of Science and Technology 9(2): 583 - 591.
- Garba, M. B., Muhammad, A., Musa, M. and Mohammed, A. G. (2018). Assessing the performance of global solar radiation empirical equations in Sokoto, Nigeria using meteorological parameters. Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH) 37(2): 358 - 364.
- Hargreaves, G. H. and Samani, Z. A. (1982). Estimating potential evapo-transpiration. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 108: 223 - 230.
- Iqbal, M. (1983). An Introduction of Solar Radiation. New York: Academic Press.
- Ituen, E. E., Esen, N. U., Nwokolo, S. C. and Udo, E. G. (2012). Prediction of global solar radiation using relative humidity, maximum temperature and sunshine hours in Uyo, in the Niger Delta Region, Nigeria. Advances in Applied Science Research 3 (4): 1923 - 1937.
- Nage, G. D. (2018). Estimation of monthly average daily solar radiation from meteorological parameters: Sunshine hours and measured temperature in Tepi, Ethiopia. International Journal of Energy and Environmental Science 3: 19 - 26.
- Okundamiya M. S., Emagbethe, J. O. and Ogujor, E. A. (2016). Evaluation of various global solar radiation models for Nigeria. International Journal of Green Energy 13(5): 505 - 512.
- 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.
- Zhang, J., Zhao, L., Deng, S., Xu, W. and Zhang, Y. (2017). A critical review of the models used to estimate solar radiation. Renewable and Sustainable Energy Reviews 70: 314 - 329.

