วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 25 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2563
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 25 (No.3) September – December 2020

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ภายใต้ท้องฟ้าไม่มีเมฆในบรรยากาศของประเทศไทย

Estimation of Extinction Coefficient of Solar Radiation under Cloudless Sky in the Atmosphere of Thailand

สายันต์ โพธิ์เกตุ*

Sayan Phokate*

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Department of Applied Physics, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Isan,Khon Kaen Campus

Received : 18 August 2019

Revised : 13 February 2020

Accepted : 19 March 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ในบรรยากาศของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์จากการวัดและจากการคำนวณทางทฤษฎีในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่ อุบลราชธานี กรุงเทพมหานครและสงขลา ในช่วงปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2560 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับข้อมูลปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้และข้อมูลทัศนวิสัยโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.86 ค่าที่คำนวณจากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณโดยใช้ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ แสดงให้เห็นว่าข้อมูลทั้งสองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อใช้แบบจำลองคำนวณสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์จากสถานีอุตุนิยมวิทยา 85 สถานีทั่วประเทศ พบว่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์มีค่ามากที่ละติจูดต่ำ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนจะมีค่ามาก

คำสำคัญ : สัมประสิทธิ์การลดลง ; ปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ ; ข้อมูลทัศนวิสัย ; ท้องฟ้าไม่มีเมฆ ; รังสีแสงอาทิตย์

*Corresponding author. E-mail : syphokate@hotmail.com

Abstract

This research objective is an estimation of the extinction coefficient of solar radiation in the atmosphere of Thailand. Solar radiation data from measurements and calculations using a theoretical model on cloudless days were used. The data was collected from four meteorological stations which located on Chiang Mai, Ubon Ratchathani, Bangkok, and Songkhla during 2013-2017. It was found that, the extinction coefficient of solar radiation was correlated in the mathematical model with the precipitable water vapor and visibility data. The correlation coefficient was 0.86. The extinction coefficients were calculated from the model are closed to those obtained from solar radiation data. The result indicating that both data are not significantly different at the confidence level 95%. The model was used to calculate the extinction coefficient of solar radiation from 85 meteorological stations throughout the country. The results showed that, the extinction coefficient of solar radiation were high at lower latitudes and also high in February to April.

Keywords : extinction coefficient ; precipitable water vapor ; visibility data ; cloudless sky ; solar radiation

บทนำ

รังสีแสงอาทิตย์ที่แผ่มาถึงพื้นโลกเป็นแหล่งพลังงานทั้งทางตรงและทางอ้อมของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลก อีกทั้งยังมีอิทธิพลต่อดินฟ้าอากาศและสภาวะแวดล้อมของโลกด้วย (Nunez, 1993; Belcher & DeGaetano, 2007) เมื่อรังสีแสงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศมายังพื้นผิวโลกจะถูกดูดกลืนและกระเจิงโดยองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศ (Iqbal, 1983; Boland *et al*., 2001; Wan Nik *et al*., 2012) ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศเข้าสู่พื้นโลกจะลดลงเนื่องจากองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศ ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลของอากาศ โอโซน ไอน้ำ และฝุ่นละออง โดยทั่วไปคุณสมบัติ ปริมาณและการกระจายตัวขององค์ประกอบบรรยากาศขึ้นอยู่กับพื้นที่และเวลาในรอบปี (Esposito *et al*., 2004) ซึ่งองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศมีบทบาทสำคัญทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ที่มายังพื้นผิวโลก (Nunez, 1993; Iziomon & Mayer, 2002; Belcher & DeGaetano, 2007) สำหรับท้องฟ้าที่ไม่มีเมฆการลดลงของรังสีแสงอาทิตย์นั้นส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับมวลอากาศที่รังสีแสงอาทิตย์ส่องผ่านในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวโลกมีผลทำให้ลักษณะของลมฟ้าอากาศบริเวณนั้น ๆ เปลี่ยนแปลงไป (Brine & Iqbal, 1983; Ineichen, 2006) ข้อมูลการลดลงของรังสีแสงอาทิตย์เนื่องจากการดูดกลืนและการกระเจิงในชั้นบรรยากาศจำเป็นต้องใช้ในงานด้านการสำรวจข้อมูลระยะไกลโดยใช้ดาวเทียม (satellite remote sensing) เช่น การหาการกระจายของความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกจากภาพถ่ายดาวเทียม (Janjai *et al*., 2005) ทั้งนี้เพราะดาวเทียมจะรับรังสีแสงอาทิตย์ที่สะท้อนจากพื้นผิวโลกและองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศจึงจำเป็นต้องทราบปริมาณของรังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนและถูกกระเจิงโดยองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศเพื่อนำข้อมูลมาคำนวณความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลก (Brine & Iqbal, 1983; Martinez-Lozano *et al*., 1988; Iziomon & Mayer, 2002) อีกทั้ง

การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ยังแสดงให้ทราบถึงความขุ่นมัวของบรรยากาศอันเนื่องมาจากฝุ่นละอองในบรรยากาศซึ่งมีความสำคัญสำหรับงานทางด้านอุตุนิยมวิทยาและส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Polo *et al*., 2009; Rahoma & Hassan, 2012) ข้อมูลความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เป็นข้อมูลพื้นฐานของงานทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้เพราะจำเป็นต้องใช้ในการออกแบบและประเมินสมรรถนะของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (Hontoria *et al*., 2005) เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาเซลล์ ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Janjai & Keawprasert, 2006) เป็นต้น นอกจากนี้ข้อมูลดังกล่าวยังมีความสำคัญต่องานด้านการอนุรักษ์พลังงาน (Wiginton *et al*., 2010) เช่น การคำนวณการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารและการคำนวณโหลด (Load) ของเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น ในสังคมเมืองขนาดใหญ่มีการขยายตัวในทุกด้านจึงทำให้มีการใช้พลังงานต่าง ๆ เป็นจำนวนมากจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาข้อมูลและหาแหล่งพลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ มาใช้ การประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนโดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือทางสถิติจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคการคำนวณความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จากข้อมูลพื้นฐานโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลการลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ในบรรยากาศเพื่อให้ผลที่ได้มีความสมบูรณ์และทันสมัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานวิจัยพัฒนาและประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

รังสีแสงอาทิตย์ที่ลดลงเป็นผลมาจากองค์ประกอบของบรรยากาศซึ่งสามารถเขียนในรูปของสัมประสิทธิ์การลดลง (extinction coefficient) ของรังสีแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นการลดลงของแสงทุกความยาวคลื่นเนื่องจากการดูดกลืนและการกระเจิงจากทุกองค์ประกอบในบรรยากาศจริงทำได้เฉพาะจุดที่มีการวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (Iqbal, 1983; Gueymard, 2005) สำหรับในประเทศไทยสถานีวัดมีจำนวนจำกัด ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ในบรรยากาศ โดยนำค่าสัมประสิทธ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีที่สถานีเดียวกันมาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลทัศนวิสัย (visibility) ซึ่งส่งผลต่อความขุ่นมัวของบรรยากาศ (Phokate, 2009) และปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ (precipitable water vapor) โดยปริมาณไอน้ำมีความสัมพันธ์กับข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศ (Phokate, 2011) จะได้ความสัมพันธ์ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ของสถานีที่ไม่มีการตรวจวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์

วิธีดำเนินการวิจัย

การคำนวณสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์จะใช้ข้อมูลรายวันจากสถานีอุตุนิยมวิทยา 4 สถานี คือ สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่ (18.78 °N, 98.98 °E) สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดอุบลราชธานี (15.25 °N, 104.86 °E) สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดสงขลา (7.2 °N, 100.6 °E) และกรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร (13.73 °N, 100.56 °E) ระหว่างปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2560 ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลด้วยวิธี double mass curve โดยการเปรียบเทียบข้อมูลเฉลี่ยสะสมของสถานีที่ต้องการตรวจสอบกับค่าเฉลี่ยสะสมที่ได้จากค่าเฉลี่ยของสถานีในภูมิภาคนั้น ๆ ถ้าข้อมูลสอดคล้องกันความลาดชันของเส้นกราฟจะต้องไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นคัดเลือกวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆโดยพิจารณาจากข้อมูลปริมาณเมฆในวันเดียวกัน โดยเมฆในวันดังกล่าวจะต้องมีปริมาณน้อยกว่า 1 ส่วนจากท้องฟ้าทั้งหมด 10 ส่วน (Ineichen, 2006) ใช้ข้อมูลความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่วัดได้ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆกับข้อมูลความเข้มรังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศที่ คำนวณได้

ทางทฤษฎีในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ (Boland *et al*., 2001) นำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ (Iqbal, 1983; Nunez, 1993; Gueymard, 2001; Ineichen, 2006) ซึ่งคุณสมบัติของบรรยากาศที่ยอมให้แสงอาทิตย์ผ่านมายังพื้นโลกสามารถเขียนในรูปสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Iqbal, 1983 ; Pinazo *et al*., 1995) ดังสมการ

$$\tau = \frac{H}{H_0} = \exp(-\chi m_r) \quad (1)$$

โดยที่ $$H_0 = \frac{24}{\pi} I_{SC} E_0 \cos\phi \cos\delta [\sin\omega_s - \frac{\pi}{180}\omega_s \cos\omega_s] \quad (2)$$

เมื่อ τ เป็นสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของรังสีแสงอาทิตย์ (decimal)

H เป็นความเข้มรังสีแสงอาทิตย์รายวันที่วัดได้ (W/m^2)

H_0 เป็นความเข้มรังสีแสงอาทิตย์รายวันนอกบรรยากาศ (W/m^2)

χ เป็นสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ (decimal)

I_{SC} เป็นค่าคงที่สุริยะ (1,367 W/m^2)

E_0 เป็นตัวแก้ค่าผิดพลาดของวงโคจรโลก (decimal)

δ เป็นมุมเดคลิเนชัน (declination) ของดวงอาทิตย์ (degree)

ϕ เป็นละติจูด (degree)

ω_s เป็นมุมพระอาทิตย์ตก (degree)

m_r เป็นมวลอากาศ (decimal)

มวลอากาศเป็นสัดส่วนกับความหนาของบรรยากาศที่รังสีแสงอาทิตย์ส่องผ่านต่อความหนาของบรรยากาศเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งเหนือศีรษะ ซึ่งในการศึกษาผลของชั้นบรรยากาศที่มีต่อการแผ่รังสีแสงอาทิตย์นั้นจะต้องพิจารณาถึงความหนาของบรรยากาศที่ขวางกั้นทางเดินของรังสีแสงอาทิตย์ตามสมการ (Iqbal, 1983)

$$m_r = [\cos\theta_z + 0.15(93.88 - \theta_z)^{-1.253}]^{-1} \quad (3)$$

โดยที่ θ_z เป็นมุมซีนิท (zenith angle) (degree)

ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศจะแสดงในรูปของปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ (precipitable water vapor) โดยสมมติว่าไอน้ำที่แทรกตัวอยู่ในคอลัมน์ของบรรยากาศนั้นกลั่นตัวกลายเป็นน้ำหมด (Iqbal, 1983; Garrison, 1992; Gueymard & Garrision, 1998) โดยปริมาณไอน้ำมีความสัมพันธ์กับข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศจากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนซึ่งในประเทศไทยมีสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ทำการตรวจวัด 4 สถานี คือ สถานีเชียงใหม่ สถานีอุบลราชธานี สถานีสงขลา และกรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร จากนั้นนำปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับข้อมูลอุณหภูมิและ

ความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นผิวที่สถานีเดียวกันได้ความสัมพันธ์เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ ดังสมการ (Phokate, 2011)

$$w = 0.90176 \quad \exp\left[0.1738 \times \frac{Rh \times P_S}{T}\right] \tag{4}$$

เมื่อ w เป็นปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ (cm)

Rh เป็นความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (decimal)

T เป็นอุณหภูมิของอากาศ (K)

P_S เป็นความดันไออิ่มตัวของไอน้ำในอากาศ (mbar) (Iqbal, 1983)

โดยที่

$$P_s = \exp\left(26.23 - \frac{5416}{T}\right) \tag{5}$$

รังสีแสงอาทิตย์ที่ลดลงเป็นผลมาจากองค์ประกอบของบรรยากาศซึ่งสามารถเขียนในรูปของสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ที่คำนวณได้จากสมการที่ (1) นำค่าที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลทัศนวิสัยและปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ในวัน เวลาและสถานที่เดียวกันในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ในบริเวณต่าง ๆ ที่ไม่มีการตรวจวัดรังสีแสงอาทิตย์ โดยทัศนวิสัยเป็นระยะไกลที่สุดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยสายตาซึ่งจะต้องเห็นชัดเจนในช่วงอากาศแจ่มใสถ้าที่หมายนั้น ๆ มัวลงหรือจางไปจากที่เคยสังเกตเห็นในอากาศที่แจ่มใสแล้วถือว่าเห็นไม่ชัด โดยจะมีที่หมายรอบ ๆ สถานีวัดในระยะต่าง ๆ กัน เป็นข้อมูลที่มีการตรวจวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ วัดระยะทางในหน่วยกิโลเมตร จากนั้นทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองในรูปของความคลาดเคลื่อนรากที่สองกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error; RMSE) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดจริงหรือทฤษฎี ค่าที่เข้าใกล้ศูนย์เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ตามแบบจำลองมีความละเอียดถูกต้อง และความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (mean bias error; MBE) เป็นค่าที่แสดงความเบี่ยงเบนเฉลี่ยระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงหรือทฤษฎี โดยค่าที่เข้าใกล้ศูนย์หรือเท่ากับศูนย์จะเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความถูกต้องสามารถนำไปใช้ได้

ผลการวิจัย

คัดเลือกข้อมูลความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ข้อมูลทัศนวิสัย ข้อมูลปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ ของ 4 สถานี (เชียงใหม่ อุบลราชธานี กรุงเทพฯ และสงขลา) ระหว่างปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2560 ซึ่งเป็นข้อมูลวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ มีจำนวน 149 ชุดข้อมูล นำข้อมูลมาคำนวณสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์โดยใช้สมการที่ (1) ซึ่งเป็นการคำนวณตามทฤษฎี จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์กับข้อมูลทัศนวิสัยและปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ในวันเดียวกันและสถานีเดียวกัน โดยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (multiple regression analysis) เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่ทำหน้าที่พยากรณ์คือปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้และข้อมูลทัศนวิสัย กับตัวแปรตามคือ

สัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ พบว่ามีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงโดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.861 มีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error) เท่ากับ 0.000968 เขียนเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการ

$$\chi = 0.38974 + 0.019892(w) - 0.010463(Vis) \quad (6)$$

เมื่อ χ เป็นสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ (decimal)
w เป็นปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ (cm)
Vis เป็นข้อมูลทัศนวิสัย (km)

เมื่อนำแบบจำลองที่ได้มาคำนวณสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยระหว่างปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2560 ของ 4 สถานีดังกล่าว พบว่าการเปลี่ยนแปลงในรอบปีของแต่ละสถานีมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากสถานีจังหวัดเชียงใหม่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.360 ± 0.0072 สถานีกรุงเทพมหานครมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.388 ± 0.0127 เฉลี่ยทั้ง 4 สถานี เท่ากับ 0.379 ± 0.0152 แสดงได้ดังตารางที่ 1

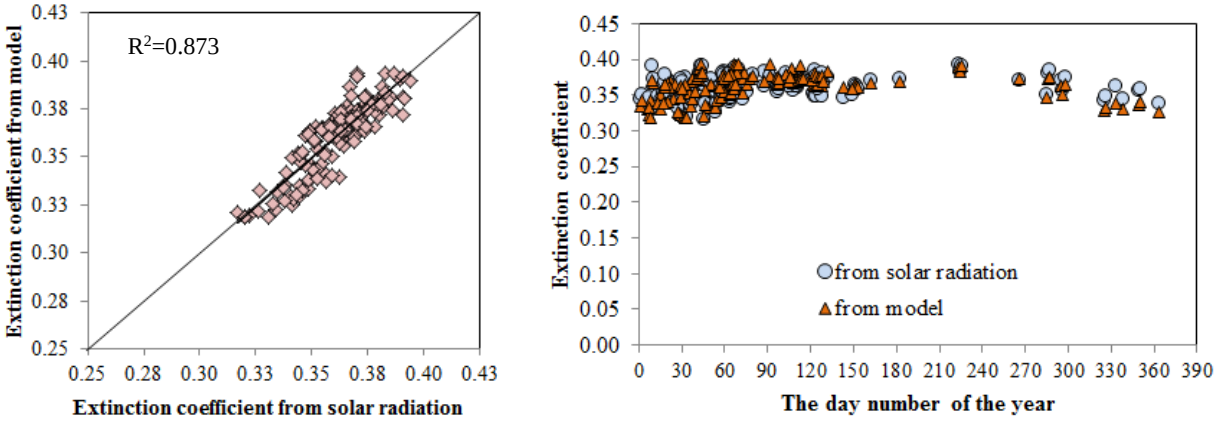
ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ ปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ และทัศนวิสัย เฉลี่ยระหว่างปี พ.ศ.2556 ถึง พ.ศ. 2560

สถานีวัด	สัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์			ปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ (cm)		ทัศนวิสัย (km)	
	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย		ต่ำสุด			
เชียงใหม่	0.371	0.360	± 0.0072	0.350	3.773	±0.946	10.001	± 1.883
อุบลราชธานี	0.397	0.383	± 0.0147	0.357	4.425	±0.856	9.099	± 0.431
กรุงเทพมหานคร	0.404	0.388	± 0.0127	0.346	5.056	±0.643	9.804	± 1.109
สงขลา	0.396	0.385	± 0.0066	0.375	5.017	±0.227	10.004	± 0.470
รวม 4 สถานี	0.404	0.379	± 0.0152	0.346	4.568	±0.877	9.727	± 1.164

วิจารณ์ผลการวิจัย

เมื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองสมการที่ (6) กับค่าที่คำนวณจากรังสีแสงอาทิตย์ตามทฤษฎีในสมการที่ (1) โดยใช้ข้อมูลในวันเวลาและสถานที่เดียวกันของสถานีวัดที่ไม่ได้ใช้ในการสร้างแบบจำลองคือสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงราย สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดขอนแก่น สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดลพบุรี และสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดปัตตานี ซึ่งเป็นข้อมูลในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ระหว่างปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2560 พบว่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์มีค่าใกล้เคียงและสอดคล้องกันโดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นทางบวกต่อกัน มีการกระจายตัวในรอบปีสอดคล้องกันดังภาพที่ 1 เมื่อทดสอบ t-test แบบ Dependent พบว่าข้อมูลทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันที่

ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.873 ซึ่งมีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างสูง ความแตกต่างในรูปความคลาดเคลื่อนรากที่สองกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.00932 และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (MBE) เท่ากับ 0.00016 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ตามแบบจำลองมีความละเอียดถูกต้องในเกณฑ์ที่ยอมรับได้



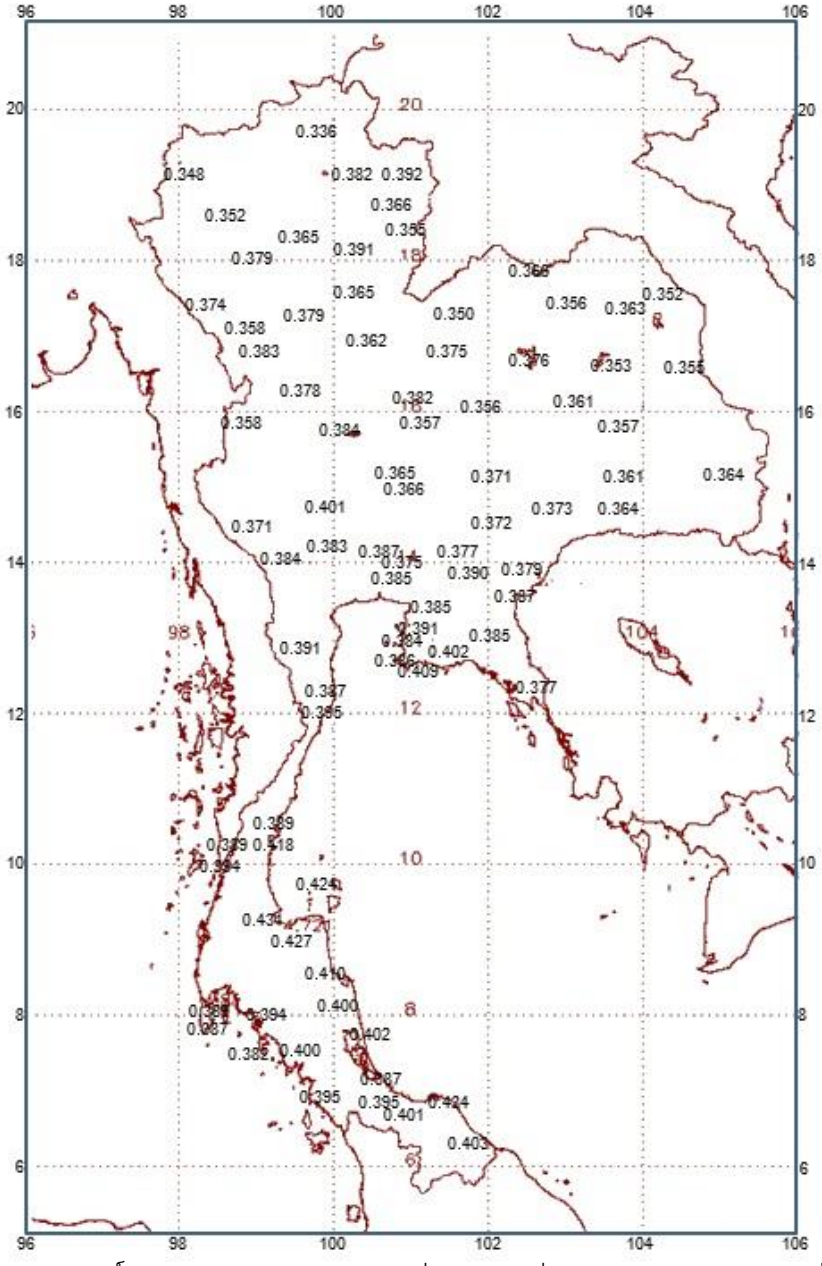
ก. สัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับทฤษฎี

ข. สัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์จากแบบจำลองและจากทฤษฎีกับจำนวนวันในรอบปี

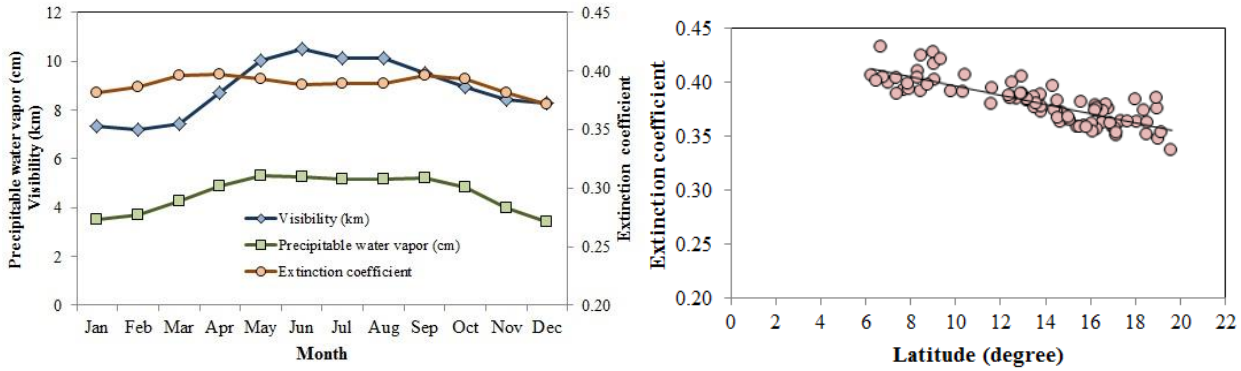
ภาพที่ 1 สัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองและที่คำนวณได้จากรังสีแสงอาทิตย์ตามทฤษฎีในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงราย สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดขอนแก่น สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดลพบุรี และสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดปัตตานี ระหว่างปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2560

เมื่อใช้แบบจำลอง (สมการที่ 6) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ของ 85 สถานีทั่วประเทศ จากข้อมูลเฉลี่ยระหว่างปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2560 พบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.445 ในเดือนมีนาคม ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนธันวาคมเท่ากับ 0.327 โดยมีค่าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 0.388 ± 0.0076 ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์มีค่ามากแสดงถึงความขุ่นมัวของบรรยากาศมีค่ามากและการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์ที่เข้ามายังพื้นโลกจะมีค่าน้อย (Janjai *et al*., 2003) ซึ่งสอดคล้องกับ Chantraket *et al*., (2013) ที่พบว่าในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนมีการเผาไหม้ของเศษวัสดุทางการเกษตรเพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูกรวมทั้งหมอกและไฟป่าทำให้เกิดความขุ่นมัวของบรรยากาศ การส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์มีค่าน้อยแสดงให้เห็นว่าสัมประสิทธิ์การลดลงมีค่ามาก ส่วนในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคมค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากเป็นช่วงฤดูฝน น้ำฝนจะชะล้างฝุ่นละอองในบรรยากาศทำให้ความขุ่นมัวลดลง สอดคล้องกับ Esposito *et al*., (2004) และ Utrillas *et al*., (2000) ที่พบว่าความขุ่นมัวของบรรยากาศจะลดลงในช่วงฤดูฝนสัมประสิทธิ์การลดลงจะมีค่าน้อยโดยจะมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและภูมิประเทศ (ดังภาพที่ 3) นอกจากนี้ยังพบว่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามละติจูดที่ตั้งของสถานี นั่นคือที่ละติจูดสูงค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์จะมีค่าน้อยโดยจะมีค่ามากที่ละติจูดต่ำ แสดงได้ดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3(ข) เป็นค่า

สัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปีตามตำแหน่งที่ตั้งของสถานีอุตุนิยมวิทยา 85 สถานีทั่วประเทศ ซึ่งจะมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากภาคเหนือไปสู่ภาคใต้



ภาพที่ 2 สัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยต่อปีของข้อมูล 85 สถานีทั่วประเทศ ใช้ข้อมูลเฉลี่ยระหว่างปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2560



ก. การเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบปี ข. การเปลี่ยนแปลงตามละติจูด

ภาพที่ 3 สัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ ปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้และข้อมูลทัศนวิสัย ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยต่อปีของข้อมูล 85 สถานีทั่วประเทศ ใช้ข้อมูลเฉลี่ยระหว่างปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2560

สรุปผลการวิจัย

ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ตามทฤษฎีจากข้อมูลความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลทัศนวิสัยและปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ในวันเวลาและสถานที่เดียวกันพบว่ามีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.861 เมื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่คำนวณจากทฤษฎีโดยใช้ข้อมูลในวัน เวลาและสถานที่เดียวกัน พบว่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นทางบวกต่อกัน มีการกระจายตัวในรอบปีสอดคล้องกันข้อมูลทั้งสองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.873 และมีความคลาดเคลื่อนรากที่สองกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.00932 และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (MBE) เท่ากับ 0.00016 ซึ่งแสดถึงความสัมพันธ์ตามแบบจำลองมีความละเอียดถูกต้องในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลเฉลี่ย 4 สถานี ระหว่างปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2560 ของแต่ละสถานีมีการเปลี่ยนแปลงในรอบปีไม่มาก สถานีจังหวัดเชียงใหม่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.360 ± 0.0072 สถานีกรุงเทพมหานครมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.388 ± 0.0127 สัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์ของ 85 สถานีทั่วประเทศมีค่ามากในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน มีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคมเท่ากับ 0.445 ค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคมเท่ากับ 0.327 โดยมีค่าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 0.388 ± 0.00766 นอกจากนี้ยังพบว่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามละติจูดที่ตั้งของสถานีนั่นคือที่ละติจูดสูงจะมีค่าน้อยและจะมีค่ามากที่ละติจูดต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการทำวิจัย ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลผิวพื้น ข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนและข้อมูลความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สำหรับการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Belcher, B.N. and DeGaetano, A.T. (2007). A revised empirical model to estimate solar radiation using automated surface weather observations. *Solar Energy*, *81*(3), 329-345.

Boland, J., McArthur, L.C. and Luther, M. (2001). Modelling the diffuse fraction of global solar radiation on a horizontal surface. *Environmetrics, 12*(2), 103-116.

Brine, D.T. and Iqbal, M. (1983). Diffuse and Global solar spectral irradiance under cloudless skies. *Solar Energy*, *30*(5), 447-456.

Chantraket, P., Tantiplubthong, N. and Chanyatham, T. (2013). Aersol and cloud condensation nuclei distribution during summer season over Northern region of Thailand. *Applied Environmental Research*, *35*(1), 87-102.

Esposito, F., Leone, L., Pavese, G., Resteiri, R. and Serio, C. (2004). Seasonal variation of aerosols properties in South Italy: a study on aerosol optical depths, Angstrom turbidity parameters and aerosol size distributions. *Atmospheric Environment*, *38*(11), 1605-1614.

Garrison, J.D. (1992). Estimation of precipitable water over Australia for application to the division of solar radiation into its direct and diffuse components . *Solar Energy, 48*(2), 89-96.

Gueymard, C.A. and Garrision, J.D. (1998). Critical evaluation of precipitable water and atmospheric turbidity in Canada using measured hourly solar irradiance. *Solar Energy*, *62*(4), 291-307.

Gueymard, C.A. (2001). Parametrized transmittance model for direct beam and circumsolar spectral irradiance. *Solar Energy*, *71*(5), 325-346.

Gueymard, C.A. (2005). Importance of atmospheric turbidity and associated uncertainties in solar radiation and luminous efficacy modeling. *Energy*, *30*(9), 1603-1621.

Hontoria, L., Aguilera, J. and Zufiria, P. (2005). An application of the multilayer perceptron: Solar radiation maps in Spain. *Solar Energy, 79*(5), 523-530.

Ineichen, P. (2006). Comparison of eight clear sky broadband models against 16 independent data banks. *Solar Energy*, *80*(4), 468-478.

Iqbal, M. (1983). *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press, New York.

Iziomon, M.G. and Mayer, H. (2002). Assessment of some global solar radiation parameterizations. *Solar Energy, 64*(2), 1631–1643.

Janjai, S., Kumharn,W. and Laksanaboonsong, J. (2003). Determination of Angstrom's turbidity coefficient over Thailand. *Renewable Energy*, *28*(11), 1685–1700.

Janjai, S., Laksanaboonsong, J. and Thongsathiya, A. (2005). Development of a method for generating operational solar radiation maps from satellite data for a tropical environment. *Solar Energy, 78*(6), 739-751.

Janjai, S. and Keawprasert, T. (2006). Design and performance of a solar tunnel dryer with a polycarbonate cover. *International Energy Journal*, *7*(3), 187-194.

Martinez-Lozano, J.A., Utrillas, M.P., Tena, F. and Cachorro, V.E. (1998). The parameterization of the atmospheric aerosol optical depth using the angstrom power law. *Solar Energy*, *63*(5), 303-311.

Nunez, M. (1993). The development of a satellite-based insulation model for the Tropical Pacific Ocean. *Journal of Climatology* ,*13*(6), 607-627.

Phokate, S. 2009. A determination of atmospheric turbidity coefficient from visibility data. *KKU Engineering Journal*, *36*(4), 333-338. (in Thai).

Phokate, S. (2011). Calculation of solar radiation absorption from precipitable water vapor in the atmosphere of Thailand. *Burapha Science Journa,l 16*(1), 77-83. (in Thai).

Pinazo, J.M., Canada, J. and Bosca, V. (1995). A new method to determine Angstrom's turbidity coefficient: Its application for Valencia. *Solar Energy* , *54*(4), 219-226.

Polo, J., Zarzalejo, F. L., Salvador, P., and Ramirez, L. (2009). Ångström Turbidity and ozone column estimations from spectral solar irradiance in a semi-desertic environment in Spain. *Solar Energy, 83(2),* 257-263.

Rahoma, U.A. and Hassan, A.H. (2012). Determination of atmospheric turbidity and its correlation with cimatologically parameters. *American Journal of Environmental Science*, *8*(6), 597-604.

Utrillas, M.P., Martinaz-Lozano, J..A., Cachorro, V.E. and Tena, F. (2000). Comparison of aerosol optical thickness retrieval from spectroradiometer measurement and from two radiative transfer model. *Solar Energy, 68*(2), 197-205.

Wan Nik, W.B., Ibrahim, M.Z., Samo, K.B. and Muzathik, A M. (2012). Monthly mean hourly global solar radiation estimation. *Solar Energy*, *86*(1), 379-387.

Wiginton, L.K., Nguyen, H.T. and Pearce, J. M. (2010). Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy. *Computers, Environment and Urban Systems*, *34*, 345-357.