

# การประมาณค่าเชิงประจักษ์ของความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตในบรรยากาศ Empirical estimation of ultraviolet radiation intensity in the atmosphere

สายันต์ โพธิ์เกตุ<sup>1\*</sup> อภิวัฒน์ บุญเชื้อ<sup>1</sup> และ วุฒิไกร บุชยาพร<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน  
วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000

<sup>2</sup>สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) อาคารสิรินธรวิโรทัย 111 ถ.มหาวิทยาลัย  
ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

\*Corresponding Author: syphokate@hotmail.com, Telephone Number 082-8571112

Received 5 May 2024; Received in revised form 11 June 2024; Accepted 17 June 2024

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัดในช่วงความยาวคลื่น 290-390 นาโนเมตร ร่วมกับข้อมูล ความเข้มรังสีรวมและข้อมูลภูมิอากาศในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆจากสถานีอุตุนิยมวิทยา 4 สถานี ได้แก่ สถานี อุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่ สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดอุบลราชธานี สถานีอุตุนิยมวิทยากรุงเทพมหานคร และ สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดสงขลา ในช่วงปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2562 ในการสร้างแบบจำลองและใช้ข้อมูลอิสระ ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆของปี พ.ศ. 2563 ในการทดสอบแบบจำลอง ผลการวิจัยพบว่าความเข้มรังสี อัลตราไวโอเล็ตมีความสัมพันธ์กับโคไซน์ของมุมเซนิตและอัตราส่วนของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกกับ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก และพบว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีความสัมพันธ์กับปริมาณ ไอน้ำในอากาศ ปริมาณโอโซนและข้อมูลที่ค้นคว้าในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อทดสอบความถูกต้องของ แบบจำลองพบว่าค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงและ สอดคล้องกันโดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นทางบวกต่อกันมีการกระจายตัวในรอบปีสอดคล้องกันข้อมูลที่ได้ไม่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

**คำสำคัญ:** รังสีอัลตราไวโอเล็ต, รังสีดวงอาทิตย์, ปริมาณไอน้ำ, โอโซน, ข้อมูลทัศนวิสัย

## Abstract

This research aims to estimate ultraviolet intensity values using mathematical models. Ultraviolet intensity data obtained at a wavelength of 290-390 nm, along with global solar radiation and climate data on cloudless days from four Thai monitoring stations, were analyzed. Among them are Chiang Mai, Ubon Ratchathani, Bangkok, and Songkhla. The models were created using data from 2017 to 2019. According to the collected data, the model was validated using 2020 data on a cloudless day. It was found that the intensity of ultraviolet radiation was related to the ratio of solar radiation intensity at the Earth's surface to extraterrestrial solar radiation intensity and the cosine of the zenith angle. In addition, the intensity of ultraviolet radiation is related to water vapor, ozone content, and visibility data. All

of which can show mathematical relationships. The validation results of the model mentioned above revealed reasonable agreement between the models with a positive correlation with one another. According to the results, all data are not significantly different at the 0.05 level.

**Keywords:** ultraviolet radiation, solar radiation, water vapor, ozone, visibility data

## บทนำ

รังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet radiation, UV) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้น และมีพลังงานโฟตอนสูง ความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงความยาวคลื่น ได้แก่ รังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ (UVA) มีความยาวคลื่น 315-400 nm รังสีอัลตราไวโอเล็ตบี (UVB) มีความยาวคลื่น 280-315 nm และรังสีอัลตราไวโอเล็ตซี (UVC) มีความยาวคลื่น 280-100 nm [1-2] โดยทั่วไปรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ที่เข้ามาถึงพื้นโลกประกอบด้วยรังสี UVA 96% และ UVB 4% ส่วน UVC จะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลอากาศในชั้นบรรยากาศระดับสูงจนไม่สามารถผ่านมายังพื้นโลกได้ [3] รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มาจากดวงอาทิตย์ส่วนมากจะถูกดูดกลืนจากบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ซึ่งมีก๊าซโอโซนเป็นองค์ประกอบ ปัจจุบันโอโซนในบรรยากาศมีจำนวนลดลงเนื่องจากการใช้สารเคมีประเภทคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (chlorofluorocarbon) และกิจกรรมทางอุตสาหกรรมของมนุษย์ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่แผ่ลงมายังพื้นผิวโลก แม้จะมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงของแสงสว่างแต่ก็ส่งผลสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมบนโลก กล่าวคือรังสี UV จากแสงอาทิตย์เป็นปัจจัยที่สำคัญในการทำให้เกิดความเครียดต่อระบบนิเวศของมนุษย์ ระบบนิเวศบนบกและในน้ำ รังสี UVB ความยาวคลื่นสั้นมีผลต่อการสังเคราะห์แสงและลดความสามารถในการเจริญเติบโตของพืชและระยะตัวอ่อนของสัตว์บกและสัตว์น้ำ [4] เป็นอันตรายต่อผิวหนัง สามารถทำให้เกิดรอยไหม้ (sunburn) การอักเสบเฉียบพลัน และความผิดปกติของสาร

พันธุกรรมที่ส่งเสริมการชราภาพของเซลล์และการก่อมะเร็งผิวหนัง (melanoma) [5-6] ซึ่งมะเร็งผิวหนังของบุคคลทั่วไปจะเพิ่มขึ้นในอัตรา 4-6% ต่อปี [7] การที่ได้รับรังสียูวีมากและเป็นเวลานานเป็นสาเหตุหลักทำให้คนตาบอดมากที่สุดในโลก โดย WHO (world health organization) ได้ประมาณการไว้ว่ามี 20% ของคนตาบอดที่เกิดจากโรคต่อกระจกอันเป็นผลมาจากได้รับรังสียูวี นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่ออันเกิดจากการเกิดอนุมูลอิสระเนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต [8] ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่งที่ต้องติดตามการเปลี่ยนแปลงและตรวจสอบอย่างเป็นระบบในช่วงความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับสุขภาพอนามัยของมนุษย์รวมถึงระบบนิเวศ

รังสีอัลตราไวโอเล็ตมีความสัมพันธ์กับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั้งนี้เพราะรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นส่วนหนึ่งของรังสีดวงอาทิตย์ [9-10] เมื่อผ่านบรรยากาศลงมายังพื้นโลกบางส่วนถูกดูดกลืนโดยองค์ประกอบของบรรยากาศเช่นโอโซน โมเลกุลอากาศ ไอน้ำ และที่เหลืจะถูกดูดกลืนและกระเจิงโดยฝุ่นละอองในอากาศ โดย Phokate [11] พบว่าการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์มีความสัมพันธ์ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับข้อมูลปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้และข้อมูลทัศนวิสัย ดังนั้นความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มาถึงพื้นโลกจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามองค์ประกอบของบรรยากาศและการเปลี่ยนแปลงทางอุตุนิยมวิทยาของบรรยากาศ ในการศึกษาความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เข้ามาถึงพื้นโลกจำเป็นต้องใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลระยะยาวมาวิเคราะห์ให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงเพื่อสามารถประมาณค่าได้ รวมทั้งศึกษา

ความสัมพันธ์กับข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาต่าง ๆ มาประกอบในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณค่าให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องแม่นยำสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ เทคโนโลยีชีวภาพ งานด้านสุขภาพอนามัยและงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

### วิธีดำเนินงาน

การประมาณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตใช้ข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดในช่วงความยาวคลื่น 290 nm ถึง 390 nm ความละเอียดในการวัด 0.01 mW/cm<sup>2</sup> ในช่วง 1 μW/cm<sup>2</sup> – 40 mW/cm<sup>2</sup> มีความไวแสงสัมพัทธ์ที่ความยาวคลื่น 365 nm คัดเลือกข้อมูลในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ (Cloudless sky) โดยพิจารณาจากข้อมูลปริมาณเมฆปกคลุม (Cloud cover) ในวันเดียวกันซึ่งเมฆในวันดังกล่าวจะต้องมีปริมาณน้อยกว่า 1 ส่วนจากท้องฟ้าทั้งหมด 10 ส่วน [12-13] ร่วมกับข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ และข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยา 4 สถานี คือ สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่ (18.78 °N, 98.98 °E) สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดอุบลราชธานี (15.25 °N, 104.86 °E) สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดสงขลา (7.2 °N, 100.6 °E) และสถานีอุตุนิยมวิทยากรุงเทพมหานคร (13.73 °N, 100.56 °E) ระหว่างปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2562 ในการสร้างแบบจำลองและใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2563 สำหรับทดสอบแบบจำลอง โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีความสัมพันธ์กับความเข้มรังสีรวมดวงอาทิตย์และมุมเซนิท (zenith angle) ของดวงอาทิตย์ ดังสมการ [14-15]

$$UV = a + b(\cos Z) + c(G/G_0) \quad (1)$$

เมื่อ UV เป็นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต (mW/m<sup>2</sup>)

G เป็นความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (W/m<sup>2</sup>)

G<sub>0</sub> เป็นความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (W/m<sup>2</sup>)

Z เป็นมุมเซนิทของดวงอาทิตย์  
a, b และ c เป็นค่าคงที่

ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (G<sub>0</sub>) และโคไซน์ของมุมเซนิท (cos Z) หาได้จากสมการ [9]

$$G_0 = \frac{24}{\pi} I_{sc} E_0 \cos \phi \cos \delta [\sin \omega_s - \frac{\pi}{180} \omega_s \cos \omega_s] \quad (2)$$

$$\cos Z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \quad (3)$$

เมื่อ I<sub>sc</sub> เป็นค่าคงที่สุริยะ (1,367 W/m<sup>2</sup>)

φ เป็นละติจูด (องศา)

δ เป็นมุมเดคลิเนชัน (องศา)

ω<sub>s</sub> เป็นมุมชั่วโมงที่พระอาทิตย์ตก (องศา)

E<sub>0</sub> เป็นค่าแก้ความผิดพลาดของวงโคจร (-)

ปริมาณโอโซนในบรรยากาศโดยปกติจะรายงานเป็นความหนาของโอโซนรวมตามแนวตั้งในบรรยากาศ โดยสมมติว่านำโอโซนตลอดทั้งคอลัมน์ของบรรยากาศมารวมกันที่พื้นผิวโลกที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานแล้ววัดความสูงของปริมาณโอโซนเป็นเซนติเมตร หรือวัดเป็นมิลลิ-บรรยากาศ-เซนติเมตร (milli atmosphere centimeter, m-atm-cm) หรือวัดในหน่วยดอบสัน (Dobson unit; DU) [16-17] ประเทศไทยใช้เครื่องดอบสันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (dobson spectrophotometer) ที่สถานีอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร ละติจูด 13.73 °N และข้อมูลจากดาวเทียม Aura/OMI ของศูนย์โอโซนและรังสี กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งผู้วิจัยได้นำข้อมูลเปรียบเทียบกับปริมาณโอโซนที่ได้จากข้อมูลภูมิอากาศของ Robinson [18] ที่ละติจูด 10 °N และ 20 °N พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบปีสอดคล้องกัน และปริมาณโอโซนมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและละติจูดค่อนข้างน้อย

ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศแสดงได้ในรูปของปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ (precipitable water

vapor) โดยสมมติว่าไอน้ำที่แทรกตัวอยู่ในคอลัมน์ของบรรยากาศกลั่นตัวกลายเป็นน้ำหมด [9,19] ปริมาณไอน้ำมีความสัมพันธ์กับข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศจากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนสำหรับประเทศไทยมีสถานีที่ทำการตรวจวัด 4 สถานี คือ สถานีเชียงใหม่ สถานีอุบลราชธานี สถานีสงขลา และสถานีอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร สามารถคำนวณปริมาณไอน้ำในอากาศได้จากสมการ

$$w = -\frac{1}{\rho g} \int_{p_0}^0 (M_p) dp \quad (4)$$

เมื่อ  $w$  เป็นปริมาณน้ำกลั่นตัวได้ (cm)

$M_p$  เป็นอัตราส่วนผสม (Mixing ratio) ที่ระดับความดัน  $P$  ใดๆ (-)

$g$  เป็นความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $986.665 \text{ cm/s}^2$ )

$P_0$  เป็นความดันบรรยากาศที่พื้นผิวโลก (mbar)

$\rho$  เป็นความหนาแน่นของน้ำ ( $\text{g/cm}^3$ )

ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ลดลงเป็นผลมาจากองค์ประกอบของบรรยากาศซึ่งถูกดูดกลืนโดยโอโซนและไอน้ำในอากาศ อีกทั้งถูกดูดกลืนและกระเจิงโดยฝุ่นละอองในอากาศซึ่งมีความสัมพันธ์กับข้อมูล ทิศนวิสัย ดังนั้นรังสีอัลตราไวโอเลตจึงมีความสัมพันธ์กับข้อมูลปริมาณโอโซน ข้อมูลทัศนวิสัยและปริมาณไอน้ำในอากาศ ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับนำไปประมาณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตในสถานที่ต่าง ๆ จากนั้นทดสอบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆของปี พ.ศ. 2563 ซึ่งไม่ได้ใช้ในการสร้างแบบจำลองมาทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองในรูปของความคลาดเคลื่อนรากที่สองกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error; RMSE) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดจริง ค่าที่เข้าใกล้ศูนย์แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ตามแบบจำลองมีความละเอียดถูกต้อง

และความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (mean bias error; MBE) เป็นค่าที่แสดงความเบี่ยงเบนเฉลี่ยระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการวัดจริง โดยค่าที่เข้าใกล้ศูนย์จะเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความถูกต้องสามารถนำไปใช้ได้

### ผลการทดลองและการอภิปรายผล

คัดเลือกข้อมูลในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆในช่วงปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2562 ได้จำนวน 177 ชุดข้อมูล วิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (multiple regression analysis) พบว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก (G) กับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศ ( $G_0$ ) และโคไซน์ของมุมเซนิต ( $\cos Z$ ) นั่นคือค่า  $G/G_0$  มาก ความเข้มรังสี UV จะมีค่าน้อย และเมื่อมุมเซนิตมาก UV ก็จะมีค่ามาก (รูปที่ 1) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.873 ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error) เท่ากับ 1.505 เขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการ

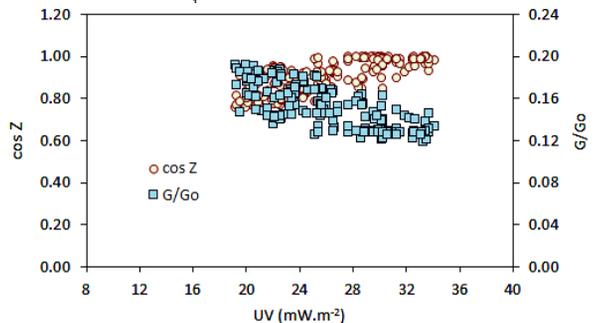
$$UV = 64.425 - 9.933(\cos Z) - 193.475(G/G_0) \quad (5)$$

เมื่อ UV เป็นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต ( $\text{mW/m}^2$ )

G เป็นความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ( $\text{W/m}^2$ )

$G_0$  เป็นความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก ( $\text{W/m}^2$ )

Z เป็นมุมเซนิตของดวงอาทิตย์



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตกับอัตราส่วนความเข้มของรังสีดวง

อาทิตย์ที่พื้นโลกต่อความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกและโคไซน์ของมุมเซนิทในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ของปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2562

เมื่อใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัดมาหาความสัมพันธ์กับปริมาณไอโซน ปริมาณไอน้ำในอากาศและข้อมูลทัศนวิสัย ซึ่งเป็นข้อมูลภูมิอากาศในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ระหว่างปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2562 แสดงดังรูปที่ 2 โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่ทำหน้าที่พยากรณ์คือปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ ปริมาณไอโซนและข้อมูลทัศนวิสัยกับตัวแปรตามคือความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต พบว่ามีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงโดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.827 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 1.732 มีความสัมพันธ์ดังสมการ

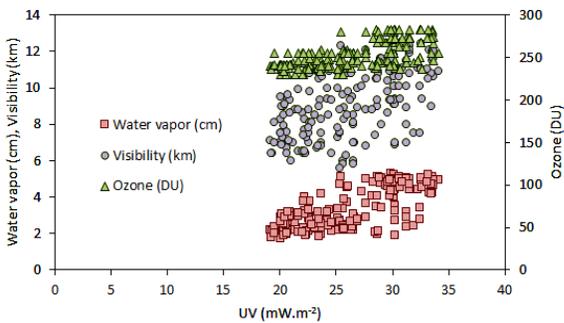
$$UV = -2.79032 + 1.511924(w) + 0.08722(Oz) + 0.208231(Vis) \quad (6)$$

เมื่อ UV เป็นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต ( $mW/m^2$ )

w เป็นปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ (cm)

Vis เป็นข้อมูลทัศนวิสัย (km)

Oz เป็นปริมาณไอโซน (DU)



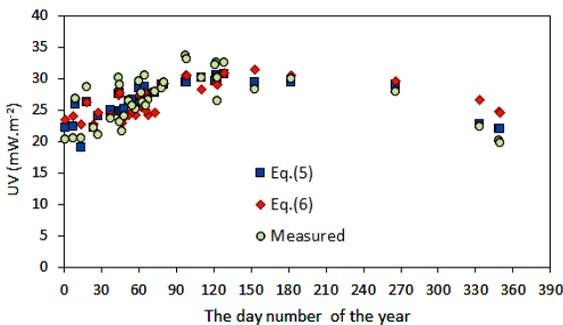
รูปที่ 2 แสดงปริมาณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับปริมาณไอน้ำในอากาศ ข้อมูลทัศนวิสัยและปริมาณไอโซน ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ของปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2562

ทดสอบแบบจำลอง (สมการที่ 5 และสมการที่ 6) โดยเปรียบเทียบความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากแบบจำลองกับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัด ใช้ข้อมูลในวันเวลาและสถานที่เดียวกันที่ไม่ได้ใช้ในการสร้างแบบจำลองซึ่งเป็นข้อมูลในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆของปี พ.ศ. 2563 ทั้ง 4 สถานี จำนวน 39 ชุดข้อมูล

แบบจำลองสมการที่ 5 ซึ่งได้จากการนำความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัดมาหาความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกกับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศและโคไซน์ของมุมเซนิท พบว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัดมีค่าใกล้เคียงและสอดคล้องกันกับค่าที่คำนวณ โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นทางบวกต่อกัน มีการกระจายตัวในรอบปีสอดคล้องกัน แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่วัดได้ 5.55 % (รูปที่ 3 และรูปที่ 4) ซึ่งได้ค่า RMSE เท่ากับ  $2.180 mW/m^2$  ค่า MBE เท่ากับ  $-0.097 mW/m^2$  และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันเท่ากับ 0.921 สอดคล้องกับ Aron Habte et al., [20] ที่หาแบบจำลองในการประมาณค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นราบร่วมกับมวลอากาศซึ่งมีความสัมพันธ์กับมุมเซนิท และเมื่อทดสอบแบบจำลองแสดงให้เห็นว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้อยู่ในข้อตกลงที่ดีกับค่าที่ได้จากการวัด และ Khogali & Al-Bar [21] ได้หาความสัมพันธ์ของรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นโลก รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศ มุมเซนิทและปริมาณไอโซนกับรังสีอัลตราไวโอเล็ตพบว่ามีค่าสัมพัทธ์ค่อนข้างสูง

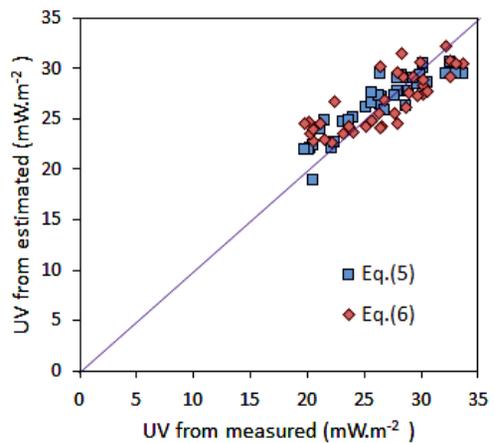
แบบจำลองสมการที่ 6 เป็นการนำความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากการวัดมาหาความสัมพันธ์กับปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ ปริมาณไอโซนและข้อมูลทัศนวิสัย พบว่ามีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่วัดได้ ร้อยละ 7.82 (รูปที่ 3 และรูปที่ 4) โดยมีค่า RMSE เท่ากับ  $2.749 mW/m^2$  ค่า MBE เท่ากับ  $0.293 mW/m^2$  มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน

เท่ากับ 0.853 สอดคล้องกับการวิจัยของ Aron Habte et al., [20] พบว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของบรรยากาศ เช่น ฝุ่นละออง ปริมาณไอน้ำ ปริมาณโอโซน และลักษณะของพื้นผิวเฉพาะที่ โดย El-Hadidy et al., [22] พบว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตจะมีความสัมพันธ์กับฝุ่นละอองซึ่งฝุ่นละอองในอากาศมีความสัมพันธ์กับข้อมูลทัศนวิสัย และสอดคล้องกับ Nunez et al., [23] ที่พบว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เข้ามาถึงพื้นโลกมีค่าลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์และยังมีค่าแตกต่างกันตามวัน เวลา ละติจูด ปริมาณเมฆและฝุ่นละออง



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงในรอบปีของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากการวัดและจากแบบจำลอง ภายใต้สภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ของปี พ.ศ. 2563

เมื่อทดสอบ t-test แบบ Dependent จากแบบจำลองทั้งสองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดพบว่าข้อมูลจากแบบจำลองทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันกับข้อมูลที่ได้จากการวัดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P > 0.05$ ) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันมากกว่า 0.85 ทั้งสองสมการซึ่งมีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างสูงมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างร้อยละ 1.39 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความละเอียดถูกต้องในเกณฑ์ที่ยอมรับได้



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากการวัดและความเข้มอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากแบบจำลอง (สมการที่ 5 และสมการที่ 6) ภายใต้สภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆของปี พ.ศ. 2563

#### สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่น 290-390 nm ที่ได้จากการวัดในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ของสถานีวัด 4 สถานี ได้แก่ สถานีจังหวัดเชียงใหม่ สถานีจังหวัดอุบลราชธานี สถานีอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร และสถานีจังหวัดสงขลา ระหว่างปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2562 จำนวน 177 ชุดข้อมูลหาความสัมพันธ์ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าเมื่อนำความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัดมาหาความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกกับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศและโคไซน์ของมุมเซนท ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.873 และเมื่อนำความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากการวัดมาหาความสัมพันธ์กับปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ ปริมาณโอโซนและข้อมูลทัศนวิสัยพบว่ามีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงโดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.827 เมื่อทดสอบแบบจำลองโดยเปรียบเทียบความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากแบบจำลองกับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัด โดยใช้ข้อมูลวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆของปี 2563 จำนวน 39

ชุดข้อมูล ในวันเวลาและสถานที่เดียวกันที่ไม่ได้ใช้ในการสร้างแบบจำลอง พบว่าความเข้มข้นรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่คำนวณได้จากแบบจำลองทั้งสองมีค่าใกล้เคียงและสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัดโดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นทางบวกต่อกัน การกระจายตัวในรอบปีสอดคล้องกัน ข้อมูลจากแบบจำลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันมากกว่า 0.85 ซึ่งมีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างสูงแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ตามแบบจำลองมีความละเอียดถูกต้องในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลผิวพื้น ข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนและข้อมูลความเข้มข้นรังสีดวงอาทิตย์สำหรับการวิจัยในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Alexandra Amaro-Ortiz, Betty Yan and John A. D’Orazio. (2014). Ultraviolet radiation, aging and the skin: prevention of damage by topical cAMP manipulation, *Molecules*, vol.19(5), pp. 6202–6219.
- [2] Hanneman, K.K., Cooper K.D., and Baron, E.D. (2006), Ultraviolet immune-suppression Consequences, *Dermatologic Clinics*, vol.24(1), pp. 19–25.
- [3] Renata Chadyšiene and Aloyzas Girgždys. (2009). Assessment of ultraviolet (UV) radiation from technical Sources, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, vol.17(3), pp. 164–170.
- [4] Häder, D.P., Helblin, E.W., Williamson C.E., and Worrest, R.C. (2011). Effects of UV

radiation on aquatic ecosystems and interactions with climate change, *Photochem Photobiol. Sci.*, vol.10, pp. 242–260.

[5] Elwood, J.M., and Jopson, J. (1997). Melanoma and sun exposure: an overview of published Studies, *Journal international du cancer*, vol.73(2), pp. 198–203.

[6] Krutmann, J., Morita, A., and Chung, J.H. (2012). Sun exposure: what molecular photo dermatology tells us about its good and bad sides, *The Journal of investigative dermatology*, vol.132(3), pp. 976– 984.

[7] Godar, D.E. (2005). UV doses worldwide, *Photochem Photobiol*, vol.81(4), pp. 736-49.

[8] Yin, B., and Jiang, X. (2013). Telomere shortening in cultured human dermal fibroblasts is associated with acute photodamage induced by UVA irradiation, *Postepy dermatologii alergologii*, vol.30(1), pp. 13–18.

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

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

[11] Phokate, S. (2020). Estimation of Extinction Coefficient of Solar Radiation under Cloudless Sky in the Atmosphere of Thailand, *Burapha Science Journal*, vol.25(3), pp. 1083-1093.

[12] Boland, J., McArthur, L.C., and Luther, M. (2001). Modelling the diffuse fraction of global solar radiation on a



horizontal surface, *Environmetrics*, vol.12, pp. 103-116.

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

[14] Khogali, A., and Al-Bar, O.F. (1992). A study of solar ultraviolet radiation at Makkah solar Station, *Solar Energy*, vol.48(2), pp. 79-87.

[15] Barbero, F.J., Lopez, G., and Battles, F.J. (2006). Determination of daily solar ultraviolet radiation using statistical models and artificial neural networks, *Ann. Geophys.*, vol.24, pp. 2105-2114.

[16] Bojkov, R.D. (2002). Global Ozone change and possible climate implication, *NATO ASI Series*, vol.152, pp. 303-322.

[17] Dobson, R. (2005). Ozone depletion will bring big rise in number of cataracts, *BMJ*, Vol.331(7528), pp. 1292-1295.

[18] Robinson, N. (1966). Solar radiation, Elsevier Publishing Company, New York.

[19] 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*, vol.48(2), pp. 89-96.

[20] Aron Habte, Manajit Sengupta, Gueymard,C.A., Ranganath Narasappa , Olivier Rosseler and David, M.B. (2019). Estimating Ultraviolet Radiation from Global Horizontal Irradiance, *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol.9(1), pp. 139-146.

[21] Khogali, A. and Al-Bar, o.F. (1992). A study of solar radiation at Makkah Solar Station, *Solar Energy*, vol.48(2), pp. 79-87.

[22] El-Hadidy, M.A., Abdel-Nabe, D.Y., and Kross, P.D. (1990). Ultraviolet solar radiation at Dhahram, Saudi Arabia. *Solar Energy*, vol.44(6), pp. 315-319.

[23] Nunez, M., Forgan, B., and Roy, C. (1994). Estimating ultraviolet radiation at the earth's Surface, *International Journal of Biometeorology*, vol.38, pp. 5-17.