

การลดลงของรังสีอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน

Depletion of solar radiation due to particulate matter with diameter of less than 2.5 micron

สุมามาลย์ บรุตเทิง^{1*}, สมเจตน์ ภัทรพานิชชัย¹, เสริม จันทร์ฉาย¹, และ Sheng-Hsiang Wang²
Sumaman Buntoung¹, Somjet Pattarapanitchai¹, Serm Janjai¹, and Sheng-Hsiang Wang²

Received: 13 September 2023 ; Revised: 20 November 2023 ; Accepted: 13 December 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 μm ที่มีต่อความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกภายใต้สภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆที่สถานีวัดรังสีอาทิตย์ จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย (13.82° N, 100.04° E) ในการศึกษา ผู้วิจัยใช้ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 μm จากเครื่องวัดมลพิษทางอากาศต้นทุนต่ำ (AEROBOX) ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์จากการวัดด้วยเครื่องไพราโนมิเตอร์ และข้อมูลปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าจากเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้าเพื่อใช้จำแนกสภาพท้องฟ้า จากผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 μm รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีนครปฐมมีค่าอยู่ในช่วง 5-160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนมีค่าสูงสุดประมาณ 850 W/m^2 ในเดือนมีนาคม นอกจากนี้พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 μm ที่เพิ่มขึ้น 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ มีแนวโน้มทำให้ความเข้มรังสีอาทิตย์ลดลงได้สูงถึง 0.58%

คำสำคัญ: ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน, รังสีอาทิตย์, มลพิษทางอากาศ, ท้องฟ้าปราศจากเมฆ

Abstract

The aim of this research was to investigate the depletion of solar radiation at the Earth's surface due to particulate matter being smaller than 2.5 μm (PM2.5) under clear sky conditions at a solar monitoring site in Nakhon Pathom province, Thailand (13.82° N, 100.04° E). In this research, PM2.5 was obtained from a low-cost air pollution sensor (AEROBOX), solar radiation was measured by a pyranometer, and cloud cover data was retrieved from a sky camera used in order to classify sky conditions. From the analysis results, monthly average hourly PM2.5 at the site varied between 5 and 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and the maximum of monthly average hourly solar radiation was 850 W/m^2 in March. Additionally, the increasing of 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5 can influence the reduction of solar radiation by up to 0.58%.

Keywords: particulate matter smaller than 2.5 micron, solar radiation, air pollution, clear sky

¹ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000 +66 34 270 761 Email buntoung_s@silpakorn.edu

¹ Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000 +66 34 270 761 Email buntoung_s@silpakorn.edu

² Department of Atmospheric Sciences, National Central University, Taoyuan, 32001, Taiwan

* Corresponding author: Sumaman Buntoung Email buntoung_s@silpakorn.edu

บทนำ

รังสีอาทิตย์ (solar radiation) ถือเป็นแหล่งพลังงานหลักของระบบบรรยากาศและโลกและเป็นตัวขับเคลื่อนการไหลเวียนของอากาศ ดังนั้นรังสีอาทิตย์จึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยจะส่งผลกระทบต่อภูมิอากาศ วัฏจักรของน้ำ การสังเคราะห์แสงของพืช และการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น (Janjai, 2010; Kambezidis, 2021) ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีอาทิตย์ที่มาถึงพื้นผิวโลกจะส่งผลกระทบต่อระบบดังกล่าวด้วยเช่นกัน ซึ่งตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก ได้แก่ เมฆ ฝุ่นละออง โอโซน ไออน้ำ ตำแหน่งที่ตั้ง และตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Janjai *et al*, 2009)

ปัจจุบันปัญหาฝุ่นละอองในบรรยากาศมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในหลายพื้นที่ (Southerland *et al*, 2022; Munyaneza *et al*, 2022) โดยมีนักวิจัยบางส่วนทำการศึกษาระดับฝุ่นละอองในบรรยากาศ รวมถึงการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองในบรรยากาศและรังสีอาทิตย์ เช่น ในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนซึ่งเป็นประเทศที่มีความหนาแน่นของฝุ่นละอองสูง นักวิจัยส่วนใหญ่ (Qian *et al*, 2007; Luo *et al*, 2019; Zhou *et al*, 2023) จึงให้ความสนใจในประเด็นดังกล่าวจากการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศมีผลต่อการลดลงของปริมาณรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพบว่าฝุ่นละอองมีผลต่อการลดลงของประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Narkwatchara *et al*, 2020; นิพนธ์ เกตุจ้อย & มรุตพงศ์ กอนอยู่, 2555)

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่เกิดวิกฤติฝุ่นละอองเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะภาคเหนือและภาคกลาง (Amnuaylojaroen *et al*, 2022; Peng-in *et al*, 2022) โดยภาคกลางจะมีปริมาณฝุ่นละอองสูงในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ส่วนภาคเหนือมีค่าสูงในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม ซึ่งปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ (Ahmad *et al*, 2022)

โดยทั่วไปการบอกความสามารถในการลดทอนรังสีอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองจะบอกในรูปของความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (aerosol optical depth) ซึ่งรวมฝุ่นละอองทั้งหมดในคอลัมน์ของบรรยากาศที่รังสีอาทิตย์เคลื่อนที่จากดวงอาทิตย์มาถึงพื้นผิวโลก อย่างไรก็ตามการศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน $2.5 \mu\text{m}$ ที่มีต่อความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกเป็นสิ่งที่น่าสนใจและมีประโยชน์เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศส่วนใหญ่จะสะสมตัวอยู่บริเวณใกล้พื้นผิวโลก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝุ่นละอองบริเวณใกล้พื้นผิว

โลกย่อมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอาทิตย์ด้วยเช่นกัน

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่าการศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน $2.5 \mu\text{m}$ ที่มีต่อรังสีอาทิตย์ในประเทศไทยยังคงมีจำกัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน $2.5 \mu\text{m}$ และความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก โดยใช้ข้อมูลจากการวัดภาคพื้นดินที่สถานีวัดรังสีอาทิตย์จังหวัดนครปฐม

วิธีการวิจัย

1. สถานที่และข้อมูลที่ใช้

งานวิจัยนี้ทำการศึกษารอบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองและความเข้มรังสีอาทิตย์ที่สถานีวัดรังสีอาทิตย์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (13.82° N , 100.04° E) (Figure 1) ซึ่งอยู่ในพื้นที่ภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย



Figure 1 The location of the solar monitoring site at Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom Province

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน $2.5 \mu\text{m}$ ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ และข้อมูลปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า โดยข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน $2.5 \mu\text{m}$ ได้จากเครื่องวัดคุณภาพ

อากาศแบบต้นทุนต่ำ รุ่น AEROBOX ของ Department of Atmospheric Sciences, National Central University ไต้หวัน (Figure 2) ซึ่งเครื่องวัดดังกล่าวจะทำการวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 μm โดยใช้เซนเซอร์ที่อาศัยหลักการกระเจิงแสง ทำการวัดปริมาณฝุ่นละอองทุก ๆ 1 s และบันทึกค่าเฉลี่ยทุก ๆ 1 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง ข้อมูลดังกล่าวสามารถดาวน์โหลดได้จาก <https://ideasky.app/> ส่วนข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดไพราโนมิเตอร์ รุ่น CM21 (Figure 3) ซึ่งวัดความเข้มข้นของก๊าซในช่วงความยาวคลื่น 0.3-3.0 μm เครื่องไพราโนมิเตอร์ดังกล่าวเชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูล รุ่น DX2000 (Yokogawa) โดยจะให้ข้อมูลออกมาเป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าทุก ๆ 1 s ระหว่างเวลา 5:00-18:00 น. ซึ่งค่าศักย์ไฟฟ้าดังกล่าวสามารถแปลงเป็นค่าความเข้มข้นของก๊าซได้โดยอาศัยค่าการตอบสนองของเครื่องวัด (sensitivity) เครื่องวัดนี้ได้รับการสอบเทียบมาตรฐานทุกปี ตามมาตรฐาน ISO9847 สำหรับข้อมูลปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าได้จากเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า รุ่น ASI-16 ของบริษัท EKO (Figure 4) ซึ่งจะทำการบันทึกภาพถ่ายท้องฟ้าทุก ๆ 5 นาที ระหว่าง 6:00-18:00 น. จากนั้นประมวลผลภาพให้เป็นข้อมูลปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า โดยข้อมูลปริมาณเมฆนี้จะใช้สำหรับคัดเลือกวันและเวลาที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 μm ข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซ และข้อมูลปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า ในระหว่างวันที่ 15 พฤศจิกายน ค.ศ. 2022-31 สิงหาคม ค.ศ. 2023

นอกจากนี้ผู้วิจัยใช้ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 μm ที่ได้จากเครื่องวัดฝุ่นละอองรุ่น ADR1500 (Thermo Scientific™) ซึ่งเป็นเครื่องวัดที่เก็บตัวอย่างอากาศเข้ามาผ่านแผ่นกรองเพื่อคัดแยกขนาดของอนุภาคและใช้หลักการกระเจิงแสงที่ความยาวคลื่น 880 nm เพื่อหาความเข้มข้นของอนุภาค เครื่องวัดดังกล่าวติดตั้งไว้ที่สถานีวัดรังสีอาทิตย์ คณะวิทยาศาสตร์ เช่นเดียวกัน (Figure 5) ในระหว่างวันที่ 1-31 มีนาคม ค.ศ. 2023 เครื่องวัด ADR1500 นี้จะนำมาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 μm ที่ได้จากเครื่อง AEROBOX



Figure 2 The air pollution sensor (AEROBOX) for measuring PM2.5



Figure 3 The pyranometer for measuring solar irradiance



Figure 4 The sky camera for measuring cloud cover



Figure 5 The Area Dust Monitor (ADR1500) for measuring PM2.5

2. วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการประมวลผลข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 μm รายนาทีให้เป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงในหน่วย $\mu\text{g}/\text{m}^3$ สำหรับข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซผู้วิจัยทำการเฉลี่ยค่าความเข้มข้นของก๊าซเฉพาะขณะราย 1 s ให้เป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงในหน่วย W/m^2 ส่วนข้อมูลปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าประมวลผลให้เป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงในรูปของเปอร์เซ็นต์ของปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า

จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 μm รายชั่วโมงที่ได้จากเครื่อง AEROBOX โดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 μm รายชั่วโมงที่ได้จากเครื่อง ADR1500 ในระหว่างวันที่ 1-31 มีนาคม ค.ศ. 2023 เวลา 7:00-18:00 น. และบอกความแตกต่างของข้อมูล

ทั้ง 2 ชุดในรูปของ root mean square difference (RMSD) และ mean bias difference (MBD) ตามสมการ

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (PM_{2.5,AEROBOX,i} - PM_{2.5,ADR1500,i})^2}{N}} \quad (1)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^N PM_{2.5,AEROBOX,i}}{N} \quad (2)$$

เมื่อ

$PM_{2.5,AEROBOX,i}$ คือ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 μm ที่ได้จากเครื่อง AEROBOX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$PM_{2.5,ADR1500,i}$ คือ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 μm ที่ได้จากเครื่อง ADR1500 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

N คือ จำนวนข้อมูล (-)

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 μm และความเข้มข้นของอนุภาคที่ผู้วิจัยทำการคัดเลือกวันและเวลาที่มีสภาพท้องฟ้าปราศเมฆ เพื่อตัดผลกระทบของเมฆออกไปซึ่งจะทำให้เห็นผลกระทบของฝุ่นละอองชัดเจนมากขึ้น โดยใช้ค่าปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าเป็นเกณฑ์ดังแสดงใน Table 1 (Bahmanbeiglou & Movahedi, 2017) ผู้วิจัยจะเลือกเฉพาะข้อมูลในวันและเวลาที่มีค่าปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าอยู่ระหว่าง 0-25% เท่านั้น นั่นคือสภาพท้องฟ้าเป็นแบบปราศจากเมฆ จากนั้นทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 μm และความเข้มข้นของอนุภาครายชั่วโมง โดยพิจารณาที่มุมเซนติเกรดของดวงอาทิตย์ค่าต่าง ๆ กัน ระหว่าง 0-80 องศา

สำหรับค่ามุมเซนติเกรดของดวงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด และเวลาที่กึ่งกลางชั่วโมง โดยพิจารณาตามสมการ (Iqbal, 1983)

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

เมื่อ

θ คือ มุมเซนติเกรดของดวงอาทิตย์ (degree)

δ คือ มุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (degree)

ϕ คือ ละติจูด (degree)

ω คือ มุมชั่วโมง (degree)

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอนุภาค (แกน y) และความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 μm (แกน x) ผู้วิจัยจะทำการหาค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าความสัมพันธ์และจุดตัดแกน y ของกราฟ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และค่า P-value และหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของอนุภาคเมื่อค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 μm เท่ากับ 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ จากค่าความเข้มข้นและจุดตัดของกราฟ แล้วหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอนุภาคเทียบกับค่าเริ่มต้น

ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 μm รายชั่วโมงที่ได้จากเครื่อง AEROBOX โดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากเครื่อง ADR1500 ผลที่ได้แสดงดัง Figure 6

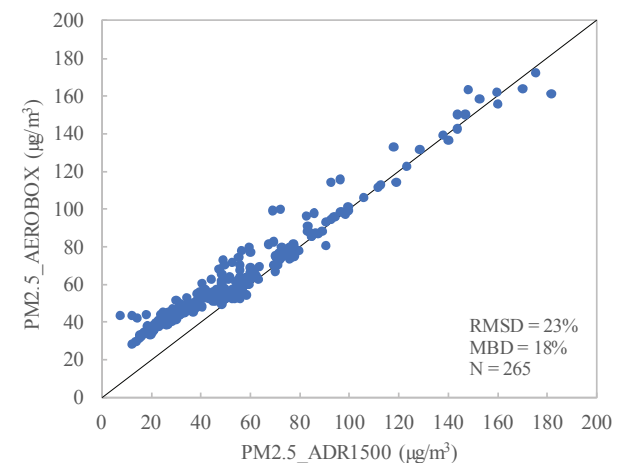


Figure 6 Comparison between PM2.5 measured from AEROBOX and ADR1500

จาก Figure 6 พบว่าค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 μm ที่ได้จากเครื่อง AEROBOX มีความสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากเครื่อง ADR1500 โดยมีค่าความแตกต่างในรูป RMSD และ MBD เท่ากับ 23% และ 18% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้

สำหรับลักษณะการแปรค่าของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 μm และความเข้มข้นของอนุภาครายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน แสดงได้ดัง Figure 7 และ Figure 8

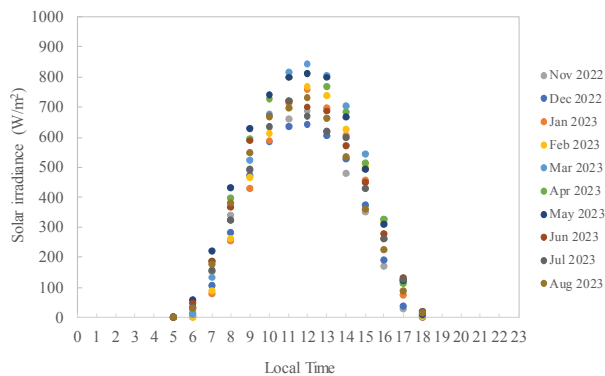


Figure 7 The variations of monthly average hourly solar irradiance

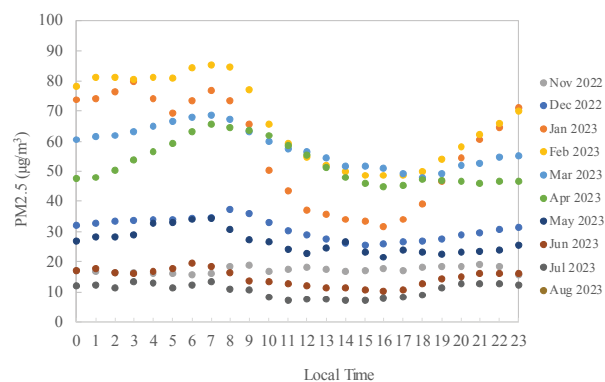


Figure 8 The variations of monthly average hourly PM2.5

จากรูปจะเห็นว่าความเข้มข้นรังสีอาทิตย์จะมีค่าต่ำในช่วงเช้า (และช่วงเย็น) และมีค่าสูงในช่วงประมาณเที่ยงวัน ทั้งนี้เป็นผลจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์นั่นคือเมื่อมุมเซนนิธของดวงอาทิตย์มีค่าน้อย รังสีอาทิตย์จะเดินทางผ่านบรรยากาศด้วยระยะทาง (optical pathlength) ที่สั้นกว่ากรณีที่มีมุมเซนนิธของดวงอาทิตย์มีค่ามากส่งผลให้เกิดกระบวนการลดทอนรังสีอาทิตย์ได้น้อยกว่า นอกจากนี้พบว่าความเข้มข้นรังสีอาทิตย์จะมีค่าสูงในช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงที่รังสีอาทิตย์ตกกระทบตั้งฉากกับพื้นผิวโลกบริเวณจังหวัดนครปฐม

สำหรับความเข้มข้นของฝุ่นละอองจะมีค่าสูงตั้งแต่ประมาณเที่ยงคืนจนถึงประมาณ 8:00 น. และมีค่าลดลงในช่วงเที่ยงวัน ซึ่งเป็นผลจากอุณหภูมิอากาศที่เพิ่มสูงขึ้นในระหว่างวันทำให้อากาศลอยตัวได้ดี ชั้นขอบเขตของบรรยากาศ (boundary layer) จึงมีค่าสูงขึ้น ฝุ่นละอองจึงกระจายตัวได้ดีทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่พื้นผิวมีค่าต่ำลง นอกจากนี้จะเห็นว่าฝุ่นละอองจะมีค่าสูง (30-160 µg/m³) ช่วงเดือนมีนาคมและเดือนเมษายนซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน และมีค่าต่ำ (5-30 µg/m³) ในเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนทำให้เกิดการชะล้างฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นรังสีอาทิตย์เนื่องจากความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5

µm ผู้วิจัยทำการคัดเลือกข้อมูลในวันและเวลาที่มีสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ โดยพิจารณาตามค่าปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าผลที่ได้แสดงดัง Table 1

Table 1 The number of data under different sky conditions between 15 November 2022-31 August 2023

Cloud cover (%)	Sky conditions	Number of data
0-25.0	Clear	564 (31.5%)
25.0-62.5	Partly cloudy	526 (29.3%)
62.5-100	Overcast	703 (39.2%)
Total	All	1,793 (100%)

จาก Table 1 จะเห็นได้ว่าที่สถานีวัดรังสีอาทิตย์จังหวัดนครปฐมส่วนใหญ่จะมีสภาพท้องฟ้าเป็นแบบมีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้าคิดเป็น 39.2% รองลงมาเป็นแบบท้องฟ้าปราศจากเมฆ (31.5%) และมีเพียง 29.3% ที่มีสภาพท้องฟ้าเป็นแบบมีเมฆบางส่วน อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้เลือกใช้เฉพาะข้อมูลในขณะที่มีสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเท่านั้น

จากการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 µm และความเข้มข้นรังสีอาทิตย์ในกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ โดยแบ่งชุดข้อมูลออกตามช่วงของมุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ระหว่าง 0-80 องศา ผลที่ได้แสดงดัง Figure 9 และ Table 2

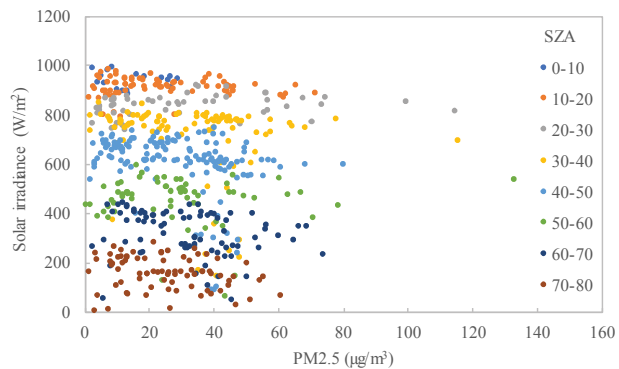


Figure 9 The relations between PM2.5 and solar irradiance at different solar zenith angles

จาก Figure 9 จะเห็นแนวโน้มการลดลงของความเข้มข้นรังสีอาทิตย์เมื่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 µm เพิ่มขึ้น และผลการวิเคราะห์ใน Table 2 แสดงให้เห็นว่าโดยส่วนใหญ่แล้วเมื่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 µm เพิ่มขึ้น ความชันของกราฟมีค่าเป็นลบหรือกล่าวได้ว่าการลดลงของความเข้มข้นรังสีอาทิตย์ ทั้งนี้เนื่องจากฝุ่นละออง

ขนาดไม่เกิน 2.5 μm มีความสามารถในการกระเจิงและดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ (Luo *et al*, 2019) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Zhou *et al*, 2023) อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์

สหสัมพันธ์มีค่าค่อนข้างต่ำและมีเพียงบางช่วงมุมเซนนิธของดวงอาทิตย์เท่านั้นที่แสดงให้เห็นการลดลงของความเข้มรังสีอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเชื่อมั่น 95%

Table 2 Results of data analysis for the relation of hourly PM2.5 (x axis) and solar irradiance (y axis)

Solar zenith angle (degree)	Y intercept (W/m^2)	Slope ($\text{W}/\text{m}^2/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$)	Correlation coefficient (-)	P-value (-)	Change of solar irradiance under the increasing of 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5 (%)
0-10	948.3587	-0.6138	0.1632	0.5313	-0.06
10-20	909.9667	-0.0251	0.0104	0.9280	0.00
20-30	827.2620	0.3028	0.1853	0.1885	+0.04
30-40	758.3931	-1.3904	0.1705	0.1005	-0.18
40-50	674.4611	-2.4152	0.3166	0.0002*	-0.36
50-60	458.1181	-0.1292	0.0298	0.8135	-0.03
60-70	362.1439	-1.3129	0.2350	0.0371*	-0.36
70-80	184.9076	-1.0714	0.2293	0.0435*	-0.58

* Significant at the 95% confidence level

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 μm และความเข้มรังสีอาทิตย์ในกรณีท้องฟ้าปรอทเมฆโดยใช้ข้อมูลจากการวัดภาคพื้นดินที่จังหวัดนครปฐม ซึ่งพบว่าเมื่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 μm เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกมีค่าลดลงเนื่องจากฝุ่นละอองสามารถดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ อย่างไรก็ตามฝุ่นละอองในแต่ละพื้นที่อาจมีชนิดที่ต่างกันและมีผลต่อรังสีอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ แตกต่างกันไป ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นดังกล่าวต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนสนับสนุนการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร (สัญญาเลขที่ SRIF-JRG-2565-13) ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง ขอขอบคุณ Professor Dr. Sheng-Hsiang Wang และทีมนักวิจัยจาก Department of Atmospheric Sciences, National Central University, Taiwan ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องวัดมลพิษทางอากาศ รุ่น AEROBOX และขอขอบคุณนักศึกษาและนักวิจัยห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ รวมถึงภาควิชาฟิสิกส์ที่ให้การสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัยด้วยดีตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

- นิพนธ์ เกตุจ้อย & มรุพงษ์ กอนออยู่. (2555). การศึกษาผลกระทบของฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้า. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*. 32(5), 554-562.
- Ahmad, M., Manjantrarat, T., Rattanawongsa, W., Muensri, P., Saenmuangchin, R., Klamchuen, A., Aueviriyavit, S., Sukrak, K., Kangwansupamonkon, W. & Panyametheekul, S. (2022). Chemical Composition, Sources, and Health Risk Assessment of PM2.5 and PM10 in Urban Sites of Bangkok, Thailand, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21), 14281. <https://doi.org/10.3390/ijerph192114281>.
- Amnuaylojaroen, T., Surapipith, V. & Macatangay, R.C. (2022). Projection of the Near-Future PM2.5 in Northern Peninsular Southeast Asia under RCP8.5. *Atmosphere*, 13(305), 1-15. <https://doi.org/10.3390/atmos13020305>
- Bahmanbeiglou, K.H. & Movahedi, S. (2017). Identifying sky conditions in Iran from MODIS Terra and Aqua cloud products. *Chinese Geographical Science*, 27, 800-809, <https://doi.org/10.1007/s11769-017-0908-4>.

- Iqbal, M. (1983). *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press, New York.
- Janjai, S. (2010). A method for estimating direct normal solar irradiation from satellite data for a tropical environment, *Solar Energy*, 84(9), 1685-1695. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.05.017>.
- Janjai, S., Pankaew, P. & Laksanaboonsong, J. (2009). A model for calculating hourly global solar radiation from satellite data in the tropics, *Applied Energy*, 86(9), 1450-1457. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.02.005>.
- Kambezidis, H.D. (2021). The Solar Radiation Climate of Greece. *Climate*, 9(183), 1-19. <https://doi.org/10.3390/cli9120183>.
- Luo, H., Han, Y., Lu, C. Yang, J. & Wu, Y. (2019). Characteristics of Surface Solar Radiation under Different Air Pollution Conditions over Nanjing, China: Observation and Simulation. *Advances in Atmospheric Sciences*, 36, 1047-1059. <https://doi.org/10.1007/s00376-019-9010-4>.
- Munyaneza, J., Qaraah, F.A., Jia, Q., Cheng, H., Zhen, H. & Xiu, G. (2022). Seasonal Trends, Profiles, and Exposure Risk of PM2.5-bound Bisphenol Analogs in Ambient Outdoor Air: A Study in Shanghai, China. *Aerosol and Air Quality Research*, 22, 210324. <https://doi.org/10.4209/aaqr.210324>.
- Narkwatchara, P., Ratanatamskul, C. & Chandrachai, A. (2020). Effects of particulate matters and climate condition on photovoltaic system efficiency in tropical climate region. *Energy Reports*, 6, 2577-2586. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.09.016>.
- Peng-in, B., Sanitluea, P., Monjatturat, P., Boonkerd, P. & Phosri, A. (2022). Estimating ground-level PM2.5 over Bangkok Metropolitan Region in Thailand using aerosol optical depth retrieved by MODIS. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 15. <https://doi.org/10.1007/s11869-022-01238-4>.
- Qian, Y., Wang, W.G., Leung, L.R. & Kaiser, D.P. (2007). Variability of solar radiation under cloud-free skies in China: The role of aerosols. *Geophysical Research Letters*, 34, L12804, <https://doi.org/10.1029/2006GL028800>.
- Southerland, V.A., Brauer, M., Mohegh, A., Hammer, M.S., van Donkelaar, A., Martin, R.V., Apte, J.S. & Anenberg, S.C. (2022). Global urban temporal trends in fine particulate matter (PM2.5) and attributable health burdens: estimates from global datasets, *The Lancet Planetary Health*, 6(2), e139-e146. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00350-8](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00350-8).
- Zhou, L., Sun, L., Luo, Y., Xia, X., Huang, L., Liao, Z. & Yan, X. (2023). Air pollutant concentration trends in China: correlations between solar radiation, PM2.5, and O3. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 16, 1721-1735. <https://doi.org/10.1007/s11869-023-01368-3>.