ICT SILPAKORN ACADEMIC JOURNAL
วารสารวิชาการไอซีทีศิลปากร

ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม-ธันวาคม), 2026
Vol. 2 no. 2 (July-December), 2026

Research Article - บทความวิจัย

https://so11.tci-thaijo.org/index.php/ictsj
ISSN: 3088-1986 (Online)

Article ID:
e262RS002

*Corresponding author:
Wittaya Tanamai
tanamai_w@su.ac.th

Received: 21 August 2026
Revised: 21 September 2026
Accepted: 2 October 2026
Published: 25 October 2026

สมบัติเชิงแสงและเส้นทางมวลอากาศของฝุ่นละอองจากการเผาชีวมวลที่มีความขุ่นมัวสูงในนครปฐม

Optical Properties and Air-Mass Trajectories of High-Turbidity Biomass-Burning Aerosols in Nakhon Pathom

วิทยา ทานะมัย
Wittaya Tanamai

อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อธุรกิจ
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยศิลปากร
Lecturer in Digital Technology for Business Program,
Faculty of Information and Communication Technology, Silpakorn University

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกลักษณะเชิงแสงของฝุ่นละออง วิเคราะห์เส้นทางการเคลื่อนที่ย้อนหลังของมวลอากาศ และประเมินพื้นที่อิทธิพลที่เป็นไปได้ของฝุ่นละอองในช่วงที่บรรยากาศมีความขุ่นมัวสูง ณ สถานีตรวจวัดจังหวัดนครปฐม โดยใช้ข้อมูลจากเครือข่าย Aerosol Robotic Network (AERONET) ระหว่างปี ค.ศ. 2007-2025 จำนวน 9,240 ข้อมูล ประกอบด้วยค่า Ångström exponent, Ångström turbidity coefficient และ Single Scattering Albedo (SSA) ผลการจำแนกพบว่าฝุ่นละอองที่มีลักษณะสอดคล้องกับการเผาชีวมวลมีสัดส่วนสูงที่สุดร้อยละ 61.90 รองลงมาคือฝุ่นจากเมืองและอุตสาหกรรมร้อยละ 26.84 และฝุ่นละอองแบบผสมร้อยละ 9.10 จากนั้นคัดเลือกกรณีฝุ่นจากการเผาชีวมวลที่มีค่า Ångström turbidity coefficient มากกว่า 0.35 จำนวน 437 ข้อมูล และรวมข้อมูลที่มีช่วงเวลาห่างกันไม่เกิน 4 ชั่วโมงเป็นเหตุการณ์เดียว ได้ 190 เหตุการณ์สำหรับวิเคราะห์เส้นทางมวลอากาศย้อนหลัง 168 ชั่วโมงด้วยแบบจำลอง HYSPLIT ที่ระดับ 100, 500 และ 1,000 เมตร ผลพบว่าสัดส่วนเวลาที่เส้นทางมวลอากาศเคลื่อนผ่านทะเลและมหาสมุทรลดลงตามระดับความสูงจากร้อยละ 59.56 เป็น 54.70 และ 43.73 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเฉพาะภาคพื้นดิน ประเทศไทยมีสัดส่วนสูงที่สุดในทุกระดับ ขณะที่กัมพูชามีสัดส่วนเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง ส่วนจีนมีค่าเฉลี่ยลดลงแต่มีค่าสูงสุดถึงร้อยละ 86.98 ที่ระดับ 1,000 เมตร สะท้อนการเคลื่อนที่ของมวลอากาศระยะไกลในบางเหตุการณ์ การวิเคราะห์ช่วงที่เส้นทางลดต่ำกว่า 200 เมตร

แสดงความแตกต่างของการเคลื่อนที่เข้าใกล้พื้นที่แหล่งกำเนิดบริเวณพื้นผิวตามประเทศและระดับความสูง นอกจากนี้ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยความขุ่นมัวรายเดือนกับ Oceanic Niño Index (ONI) ผลการศึกษาชี้ว่าเหตุการณ์ความขุ่นมัวสูงในนครปฐมสัมพันธ์กับเส้นทางมวลอากาศทั้งภายในประเทศและข้ามพรมแดน ซึ่งแตกต่างกันตามระดับความสูง

คำสำคัญ: ฝุ่นละออง, การเผาชีวมวล, Ångström turbidity coefficient, HYSPLIT, เส้นทางมวลอากาศ

Abstract

This study aimed to classify the optical characteristics of atmospheric aerosols, analyze backward air-mass trajectories, and assess potential source-influence areas during high-turbidity conditions at the Nakhon Pathom monitoring station, Thailand. A total of 9,240 observations from the Aerosol Robotic Network (AERONET) during 2007–2025 were analyzed using the Ångström exponent, Ångström turbidity coefficient, and single scattering albedo (SSA). Aerosols with optical characteristics consistent with biomass burning were dominant, accounting for 61.90% of the observations, followed by urban and industrial aerosols at 26.84% and mixed aerosols at 9.10%. Biomass-burning cases with an Ångström turbidity coefficient greater than 0.35 were then selected, yielding 437 observations. Measurements occurring within four hours were grouped as a single event, resulting in 190 events for 168-h HYSPLIT backward-trajectory analysis at initial heights of 100, 500, and 1,000 m above ground level. The mean fractions of trajectory time overseas and oceans were 59.56%, 54.70%, and 43.73%, respectively, indicating a decreasing fraction of trajectory residence time over marine areas with increasing trajectory height. When only land areas were considered, Thailand accounted for the largest proportion at all three levels. Cambodia showed an increasing contribution with height, whereas China showed a decreasing mean contribution but a maximum value of 86.98% at 1,000 m, indicating episodic long-range transport. Analysis of trajectory segments descending below 200 m demonstrated height-dependent differences in the potential for air masses to interact with near-surface source regions. No statistically significant relationship was found between monthly mean aerosol turbidity and the Oceanic Niño Index (ONI). These findings indicate that high-turbidity aerosol events in Nakhon Pathom are influenced by a combination of domestic sources, transboundary transport, and height-dependent air-mass pathways.

Keywords: Aerosol, Biomass burning, Ångström turbidity coefficient, HYSPLIT, Air-mass trajectory

บทนำ

ฝุ่นละอองในบรรยากาศหรือละอองลอย (Aerosol) ส่งผลต่อคุณภาพของอากาศ ทัศนวิสัย การก่อตัวของเมฆ ภูมิอากาศ และสุขภาพ โดยมีแหล่งกำเนิดทั้งจากธรรมชาติและมนุษย์เช่น ฝุ่นดิน ไอเกลือ การเผาชีวมวล การคมนาคม และอุตสาหกรรมต่างๆ อนุภาคเหล่านี้สามารถแขวนลอยและเคลื่อนย้ายข้ามพื้นที่ได้ และเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติระหว่างการลำเลียง ประเทศไทยและภูมีภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จึงได้รับผลกระทบร่วมกันทั้งในภูมิภาคเองและจากขนส่งมาจากระยะไกล โดยเฉพาะในฤดูแล้งที่มีการเผาชีวมวลอย่างกว้างขวาง

สมบัติเชิงแสงสามารถใช้จำแนกชนิดตามลักษณะเด่นของฝุ่นละอองแต่ละชนิดได้ด้วยปริมาณเชิงแสงคือ Angstrom exponent (α) เป็นคุณสมบัติของการตัดแสงตามขนาดของอนุภาค โดยค่าที่สูงเกิดจากการตัดแสงของอนุภาคขนาดเล็ก เช่น ควัน และค่าที่ต่ำเกิดจากการตัดแสงของอนุภาคขนาดใหญ่ เช่น ฝุ่นดิน ละอองเกลือทะเล เป็นต้น ค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว Ångström turbidity coefficient (β) เป็นค่าที่แสดงระดับการลดทอนแสงหรือความขุ่นมัวเชิงแสงของฝุ่นละอองตลอดคอลัมน์บรรยากาศ ส่วนค่า Single Scattering Albedo หรือ SSA แสดงสัดส่วนการกระเจิงแสงต่อการลดทอนแสงทั้งหมด การพิจารณาตัวแปรเหล่านี้ร่วมกันช่วยจำแนกลักษณะเด่นของฝุ่นละอองได้ดีกว่าการใช้ตัวแปรเดียว แต่ยังไม่ใช่การระบองค์ประกอบทางเคมีหรือแหล่งกำเนิดเชิงปริมาณโดยตรง

แบบจำลอง Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) ที่พัฒนาโดย NOAA สามารถคำนวณเส้นทางบนอากาศย้อนหลังจากสถานีวัด และใช้ตรวจสอบพื้นที่ที่มวลอากาศเคลื่อนที่ผ่านในระดับความสูงต่างๆ การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการบูรณาการคุณสมบัติเชิงแสงดังที่ได้กล่าวมา นำมาพิจารณาร่วมกับกับเส้นทางมวลอากาศย้อนหลัง เพื่ออธิบายชนิด แหล่งที่มาที่เป็นไปได้ และกลไกการเคลื่อนย้ายของฝุ่นละอองเข้าสู่จังหวัดนครปฐม

วัตถุประสงค์

1. จำแนกลักษณะเชิงแสงจากค่า Ångström exponent, Ångström turbidity coefficient และ SSA ในสถานีนครปฐม
2. วิเคราะห์เส้นทางมวลอากาศย้อนหลังของเหตุการณ์ฝุ่นจากการเผาชีวมวลที่มีความขุ่นมัวสูง ด้วย HYSPLIT ที่ระดับ 100, 500 และ 1,000 เมตร รวมทั้งช่วงเส้นทาง 500 และ 1,000เมตร ลดต่ำกว่า 200 เมตร
3. ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นมัวของฝุ่นละอองกับ Oceanic Niño Index (ONI) รายเดือน

ขอบเขตการวิจัย

ใช้ข้อมูล ณ สถานีตรวจวัดห้องวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม ซึ่งตั้งอยู่ที่พิกัดละติจูด 13.82 องศาเหนือ และลองจิจูด 100.04 องศาตะวันออก ในเขตเวลา UTC+7 สถานีดังกล่าวเป็นสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินในเครือข่าย Aerosol Robotic Network (AERONET) ช่วงปี ค.ศ. 2007–2025 โดยคัดเลือกเฉพาะเหตุการณ์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวมากกว่า 0.35 และรวมข้อมูลที่เวลากันไม่เกิน 4 ชั่วโมงเป็นเหตุการณ์เดียว โดยเลือกข้อมูลที่ขุ่นมัวสูงที่สุดเป็นตัวแทน

คำนวณ backward trajectory ด้วยแบบจำลอง Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) ย้อนหลัง 168 ชั่วโมง ที่ระดับความสูงที่ 100, 500 และ 1,000 เมตรเหนือสถานีวัด คำนวณสัดส่วนเวลาที่เส้นทางมวลอากาศปรากฏอยู่เหนือแต่ละประเทศและมหาสมุทร ที่ระดับความสูง 500 และ 1,000 เมตร จะวิเคราะห์เพิ่มเติมเฉพาะช่วงเวลาที่มวลอากาศลดระดับลงมาต่ำกว่า 200 เมตรเหนือระดับพื้นดิน เพื่อประเมินโอกาสที่มวลอากาศจะเคลื่อนที่เข้าใกล้และสัมผัสกับแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองบริเวณพื้นผิว

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Eck et al. (1999) แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่าง AOD กับความยาวคลื่น สามารถใช้บ่งชี้ลักษณะของอนุภาคผ่านค่า Ångström exponent ได้ ขณะที่ข้อมูลจาก AERONET ให้ตัวแปรเชิงแสงหลายชนิด ที่เหมาะสำหรับการจำแนกลักษณะฝุ่นในบรรยากาศ (Holben et al., 1998; Giles et al., 2019) การใช้ SSA ร่วมกับตัวแปรด้านขนาด ช่วยลดความคลุมเครือระหว่างฝุ่นจากการเผา ฝุ่นแร่และฝุ่นจากกิจกรรมมนุษย์ อย่างไรก็ตาม ฝุ่นจริงมักเป็นฝุ่นผสมมากกว่าชนิดบริสุทธิ์ (Shin et al., 2019)

ในประเทศไทย Janjai et al. (2012) รายงานว่า สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และ นครปฐม มี AOD สูง ในฤดูแล้ง แล้วลดลงในฤดูฝน ขณะที่ สถานีสงขลา มีอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมทางทะเลมากกว่า งานดังกล่าวสนับสนุนว่าฝุ่นในนครปฐมมีความแปรผันตามฤดูกาลและได้รับอิทธิพลจากหลายแหล่ง

HYSPLIT ใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเพื่อคำนวณเส้นทางมวลอากาศและเป็นเครื่องมือที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษาการลำเลียงมลพิษ (Stein et al., 2015) แต่ trajectory แสดงเส้นทางโดยประมาณ ไม่ได้ยืนยันว่ามวลอากาศรับฝุ่นจากทุกพื้นที่ที่ผ่าน การพิจารณาระดับความสูงของเส้นทางจึงมีความสำคัญ โดยเฉพาะช่วงเส้นทางอยู่ใกล้พื้นผิว

การเผาชีวมวลในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นแหล่งฝุ่นสำคัญในฤดูแล้ง และความไม่แน่นอนของการปลดปล่อยจากการเผาไหม้ส่งผลต่อการจำลองสมบัติเชิงแสงของฝุ่น (Jin et al., 2024) ENSO สามารถสัมพันธ์กับฝน ความแห้งแล้ง และกิจกรรมไฟในภูมิภาค (Marlier et al., 2013) จึงนำ ONI มาใช้เป็นตัวแปร ภูมิอากาศพื้นหลัง อย่างไรก็ตาม ONI ไม่ได้อธิบาย ฝุ่นรายเหตุการณ์โดยตรง เพราะยังขึ้นกับลม ฝน ตำแหน่งการเผา และเส้นทางบนอากาศ

วิธีดำเนินการวิจัย

รวบรวมข้อมูล AERONET Level 1.5 ของสถานีนครปฐมในช่วงปี ค.ศ. 2007–2025 และคัดเลือกข้อมูลที่มีตัวแปรที่จำเป็นครบถ้วน ได้จำนวน 9,240 ข้อมูล เนื่องจากข้อมูล Level 2.0 ที่มีตัวแปรครบถ้วนมีจำนวนไม่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ระยะยาวและการคัดเลือกเหตุการณ์ความขุ่นมัวสูง จึงเลือกใช้ข้อมูล Level 1.5 เพื่อรักษาความต่อเนื่องและจำนวนข้อมูลที่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตาม Level 1.5 ยังไม่ใช่ข้อมูลที่ผ่านการรับรองคุณภาพขั้นสุดท้ายเทียบเท่า Level 2.0 จึงถือเป็นข้อจำกัดประการหนึ่งของการศึกษานี้

เกณฑ์การจำแนกฝุ่นละอองในการศึกษานี้เป็นเกณฑ์เชิงปฏิบัติที่พัฒนาจากลักษณะเชิงแสงที่รายงานในงานวิจัยก่อนหน้า โดย Eck et al. (1999) สนับสนุนการใช้ค่า Ångström exponent เพื่อพิจารณาลักษณะของอนุภาคขนาดละเอียดและขนาดหยาบ ขณะที่ Dubovik et al. (2002) และ Shin et al. (2019) แสดง

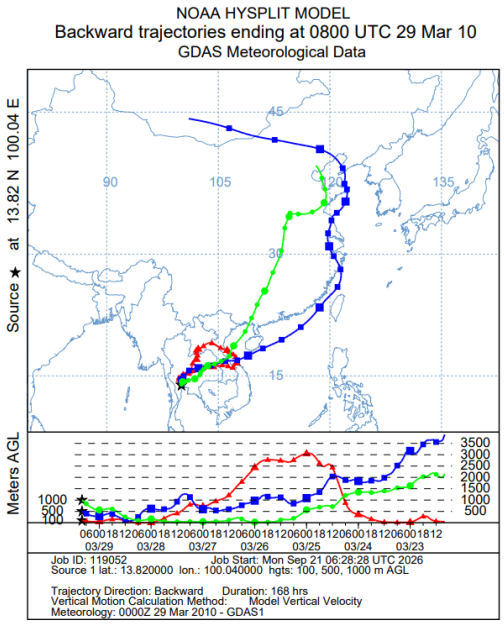
ให้เห็นว่าระดับและแนวโน้มของ Single Scattering Albedo (SSA) ตามความยาวคลื่นมีความแตกต่างกันระหว่างฝุ่นดิน ฝุ่นจากการเผาไหม้ และฝุ่นจากกิจกรรมมนุษย์ การศึกษานี้จึงประยุกต์ใช้ค่า Ångström exponent ร่วมกับค่า SSA ที่ความยาวคลื่น 440, 675, 870 และ 1,020 นาโนเมตร รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของ SSA ตามความยาวคลื่นเพื่อจำแนกลักษณะเชิงแสงของฝุ่นละออง โดยคำนวณการเปลี่ยนแปลงของ SSA จากผลต่างระหว่าง SSA ที่ 1,020 และ 440 นาโนเมตร (ΔSSA=SSA1020−SSA440) ทั้งนี้ ค่าขอบเขตที่ใช้ในการจำแนกเป็นเกณฑ์เชิงปฏิบัติสำหรับชุดข้อมูลในการศึกษานี้ มิได้ถือเป็นเกณฑ์สากลหรือเป็นการยืนยันแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองโดยตรง

ตารางที่ 1 เกณฑ์การจำแนกฝุ่นละอองแต่ละประเภท

ชนิดของฝุ่น	จำแนกค่า Ångström exponent (α)	จำแนกค่า SSA และ แนวโน้ม
ฝุ่นทะเล	< 0.80	$SSA_{1020} \geq 0.95$
ฝุ่นดินหรือแร่	< 0.80	$\Delta SSA \geq 0.02$
ฝุ่นจากชีวมวล	> 1.20	$SSA_{1020} < 0.9$ และ $\Delta SSA < 0$
ฝุ่นจากเมืองและอุตสาหกรรม	> 1.20	$SSA_{1020} \geq 0.9$ และ $\Delta SSA < 0.02$
ฝุ่นละอองแบบผสม	$0.80 < \alpha < 1.20$	SSA ไม่ตรงกับรูปแบบใดโดยเฉพาะ

เนื่องจากข้อมูลที่มีลักษณะเชิงแสงสอดคล้องกับการเผาชีวมวลมีจำนวนมาก การศึกษานี้จึงกำหนดค่า Ångström turbidity coefficient > 0.35 เป็นเกณฑ์เชิงปฏิบัติสำหรับคัดเลือกเหตุการณ์ความขุ่นมัวสูงในงานวิจัยนี้ซึ่งเป็น operational criterion สำหรับเลือกกลุ่มความขุ่นมัวสูง ได้จำนวน 437 ข้อมูล หรือร้อยละ 7.64 ของข้อมูลกลุ่มดังกล่าว จากนั้นรวมข้อมูลที่มีช่วงเวลาห่างกันไม่เกิน 4 ชั่วโมงเป็นเหตุการณ์เดียว และเลือกค่าความขุ่นมัวสูงสุดเป็นตัวแทน ได้ 190 เหตุการณ์สำหรับวิเคราะห์เส้นทางมวลอากาศย้อนหลังด้วยแบบจำลอง HYSPLIT ผ่านระบบ READY (Stein et al., 2015; Rolph et al., 2017) โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา GDAS1 ความละเอียด 1° × 1° ทุก 3 ชั่วโมง กำหนดจุดเริ่มต้นที่สถานีนครปฐม 13.82°N, 100.04°E และเวลา UTC ของเหตุการณ์ คำนวณ backward trajectory ย้อนหลัง 168 ชั่วโมง ที่ระดับ 100, 500 และ 1,000 m AGL โดยใช้ Model Vertical Velocity และบันทึกตำแหน่งทุก 1 ชั่วโมง ผลจากไฟล์ tdump ถูกนำไปจำแนกประเทศ ทะเล และมหาสมุทรที่เส้นทางมวลอากาศเคลื่อนที่ผ่าน เพื่อคำนวณค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด และสัดส่วนเวลาที่เคลื่อนที่ผ่านแต่ละพื้นที่ โดยพารามิเตอร์อื่นใช้ค่ามาตรฐานของระบบ READY

สำหรับเส้นทาง 500 และ 1000 เมตร นับจำนวนชั่วโมงที่ระดับเส้นทางลดต่ำกว่า 200 เมตรเหนือพื้นดินในแต่ละประเทศ โดยเกณฑ์ 200 m AGL ใช้เป็นค่าขอบเขตเชิงปฏิบัติสำหรับระบุช่วงที่ trajectory เคลื่อนที่ใกล้พื้นผิว มิได้ใช้แทนความสูงของ atmospheric mixing layer ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงตามเวลาและสภาพอุตุนิยมวิทยา และคำนวณร้อยละรวมทั้งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยไม่รวมเหตุการณ์ที่มีค่าเป็นศูนย์ ส่วนการวิเคราะห์ ONI ใช้ข้อมูลค่าความขุ่นมัวจากการเผาชีวมวลที่มีค่ามากกว่า 0.35 นำมาเฉลี่ยรายเดือน ช่วงปี ค.ศ. 2007 ถึง 2025 และทดสอบความสัมพันธ์ด้วย Pearson และ Spearman correlation



ภาพที่ 1 ตัวอย่างภาพ HYSPLIT Model ในรูปแบบไฟล์ trajplot ที่ได้

ผลการวิจัย

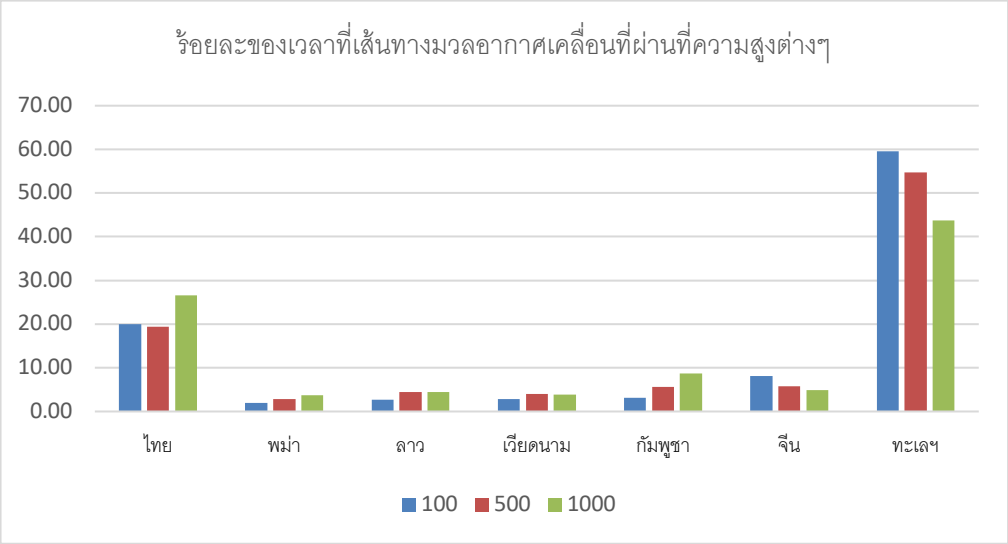
จากเกณฑ์การแยกฝุ่นละอองสามารถจำแนกได้ดังนี้

ตารางที่ 2 จำนวนฝุ่นละอองแต่ละประเภท จำแนกจากข้อมูลรวม 9,240 ข้อมูล และร้อยละ

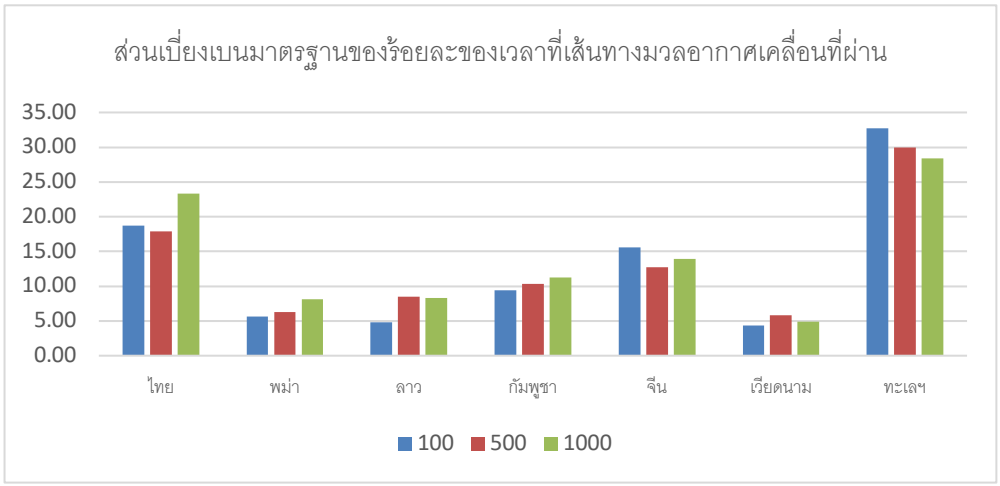
ชนิดของฝุ่น	จำนวนข้อมูล	ร้อยละของข้อมูล
ฝุ่นทะเล	99	1.07
ฝุ่นดินหรือแร่	100	1.08
ฝุ่นจากชีวมวล	5720	61.90
ฝุ่นจากเมืองและอุตสาหกรรม	2480	26.84
ฝุ่นละอองแบบผสม	841	9.10

ฝุ่นที่มีลักษณะสอดคล้องกับการเผาชีวมวลมีสัดส่วนสูงที่สุด รองลงมาคือฝุ่นจากเมืองและอุตสาหกรรม ฝุ่นละอองแบบผสม ส่วนฝุ่นทะเลและฝุ่นดินหรือแร่มีสัดส่วนน้อยมาก

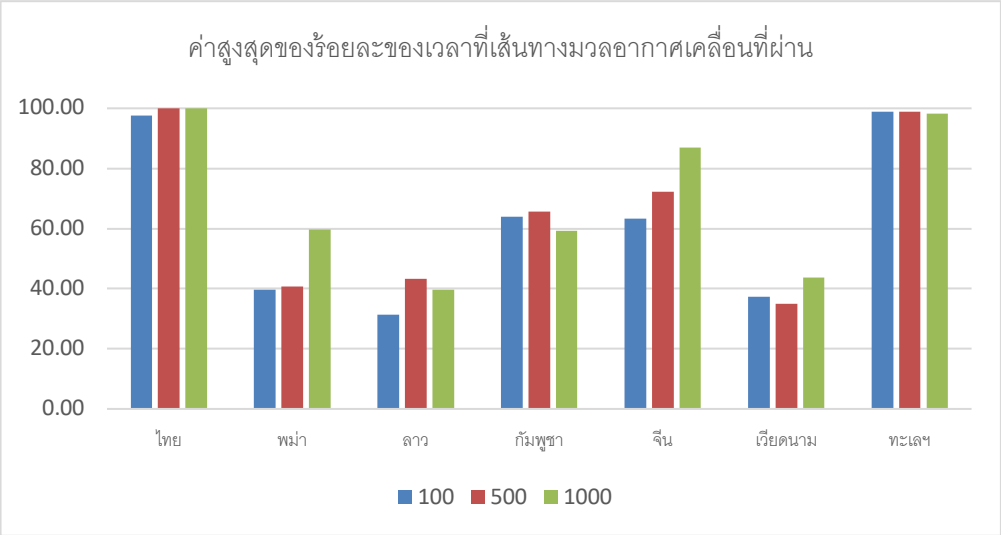
เมื่อวิเคราะห์เส้นทางมวลอากาศที่มีความขุ่นมัวค่อนข้างสูงที่มีค่ามากกว่า 0.35 โดยการรวมข้อมูลที่มีช่วงเวลาห่างกันไม่เกิน 4 ชั่วโมงมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการวิเคราะห์เส้นทางมวลอากาศซ้ำจากเหตุการณ์เดียวกันหรือเหตุการณ์ที่เกิดใกล้เคียงกัน โดยเลือกค่าความขุ่นมัวสูงสุดเป็นตัวแทนของแต่ละเหตุการณ์ จนได้มาเป็นจำนวน 190 ชุด จากนั้นจึงคำนวณเวลาที่ผ่านประเทศต่างๆและมหาสมุทรโดยผู้วิจัยได้เลือกประเทศข้างเคียงที่มีค่าร้อยละมากพออยู่ในกลุ่มเดียวกันและคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละในภาพที่ 2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของร้อยละในภาพที่ 3 และค่าสูงสุดของร้อยละในภาพที่ 4 รวมทั้งคำนวณคิดเป็นร้อยละของประเทศต่างๆ เท่านั้นโดยไม่รวมทะเลและมหาสมุทรในภาพที่ 5 ดังนี้



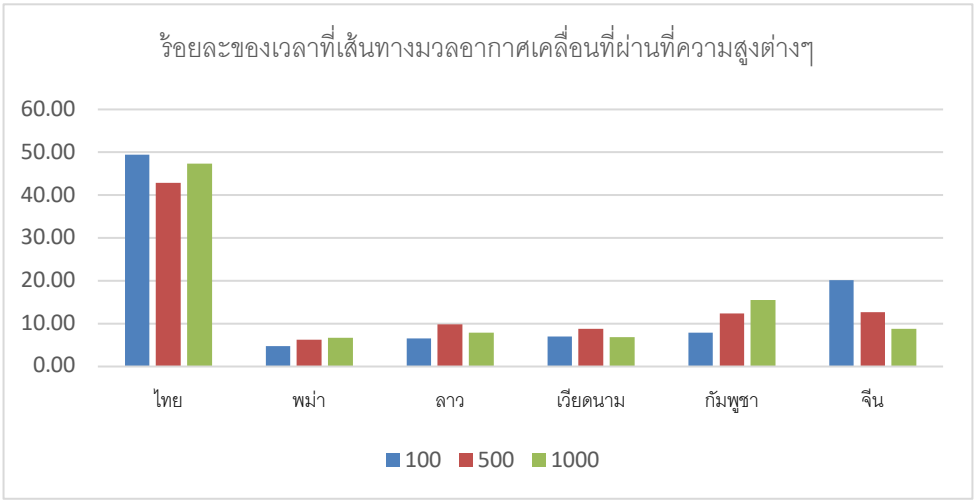
ภาพที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละของเวลาที่เส้นทางมวลอากาศเคลื่อนที่ผ่านประเทศต่างๆ และมหาสมุทร ที่ 3 ความสูง



ภาพที่ 3 แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของร้อยละของเวลาที่เส้นทางมวลอากาศเคลื่อนที่ผ่านส่วนต่างๆ ที่ 3 ความสูง



ภาพที่ 4 แสดงค่าสูงสุดของร้อยละของเวลาที่เส้นทางมวลอากาศเคลื่อนที่ผ่านประเทศต่างๆ และมหาสมุทร ที่ 3 ความสูง



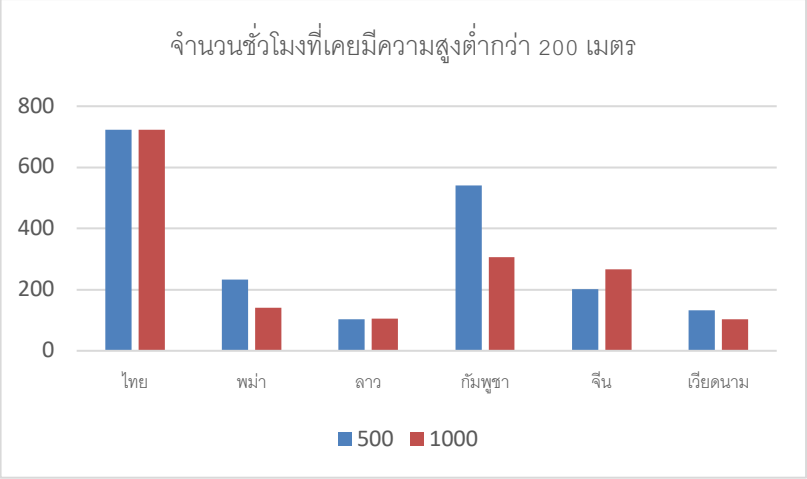
ภาพที่ 5 แสดงร้อยละของเวลาที่เส้นทางมวลอากาศเคลื่อนที่ผ่านประเทศต่างๆ โดยไม่รวมมหาสมุทร ที่ 3 ความสูง

พบว่าสัดส่วนเวลาที่เส้นทางอยู่ในทะเลและมหาสมุทรมีค่าเฉลี่ยที่ร้อยละ 59.56 54.70 และ 43.73 ที่ระดับ 100 500 และ 1000 เมตร ตามลำดับ แสดงแนวโน้มลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นขณะที่ประเทศไทยมีค่าเฉลี่ย 19.99 19.41 และ 26.61 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเฉพาะภาคพื้นดินประเทศไทยมีสัดส่วนสูงที่สุดในทุกระดับคือ 49.44 42.84 และ 47.29

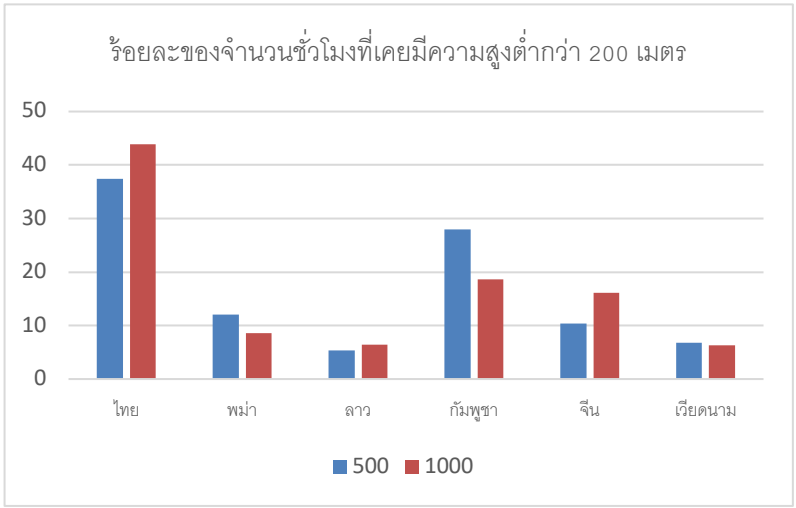
กัมพูชามีสัดส่วนเฉพาะภาคพื้นดินเพิ่มจากร้อยละ 7.89 ที่ 100 เมตร 12.33 ที่ 500 เมตร และ 15.49 ที่ 1000 เมตร ในทางตรงข้าม จีนลดลงจากร้อยละ 20.13 เป็น 12.72 และ 8.74 อย่างไรก็ตาม ค่าสูงสุดของจีน เพิ่มจาก 63.31 เป็น 72.19 และ 86.98 ชี้ว่า การเคลื่อนที่ผ่านจีนมีโอกาสเกิดค่าสูงมากเป็นบางเหตุการณ์ มากกว่าจะเกิดสม่ำเสมอ

ผู้วิจัยได้คำนวณจำนวนชั่วโมงของมวลอากาศที่ความสูง 500 เมตร และ 1000 เมตร ที่เคยมีความสูงต่ำกว่า 200 เมตรเพื่อระบุช่วงที่มวลอากาศเคลื่อนที่เข้าใกล้พื้นผิว และประเมินพื้นที่ที่มีโอกาสเชื่อมโยงกับแหล่งกำเนิดบริเวณพื้นผิวจากการเผาไหม้ชีวมวลมาถึงสถานีวัดนครปฐม ดังที่แสดงในภาพที่ 6 จากนั้นได้หา

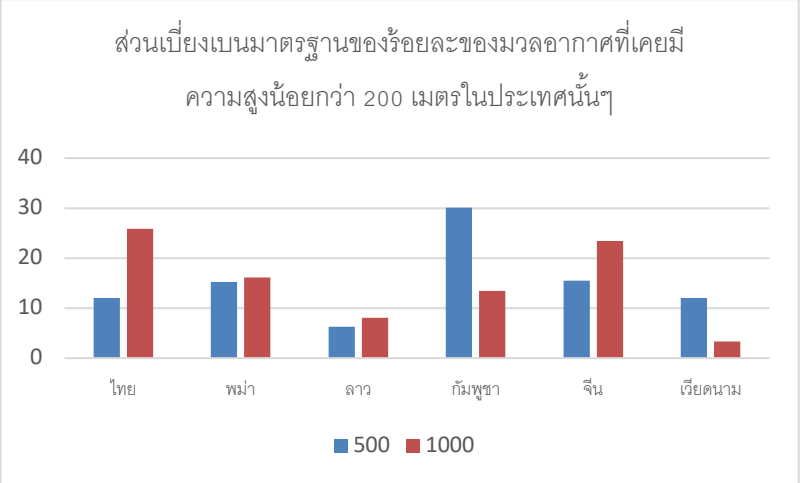
ร้อยละของจำนวนชั่วโมงของมวลอากาศที่เคยมีความสูงต่ำกว่า 200 เมตรเมื่อผ่านประเทศต่างๆ ตามภาพที่ 7 และคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนชั่วโมงของมวลอากาศที่เคยมีความสูงต่ำกว่า 200 เมตรเมื่อผ่านประเทศต่างๆ โดยไม่รวมค่าที่เป็นศูนย์ (ซึ่งหมายความว่าช่วงที่ผ่านประเทศนั้นมวลอากาศอยู่สูงกว่า 200 เมตรขึ้นไป) ทั้งนี้เมื่อตัดทะเลและมหาสมุทรออกแล้ว ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 6 แสดงจำนวนของมวลอากาศที่เคยมีความสูงต่ำกว่า 200 เมตรเมื่อเคลื่อนที่ผ่านประเทศต่างๆ



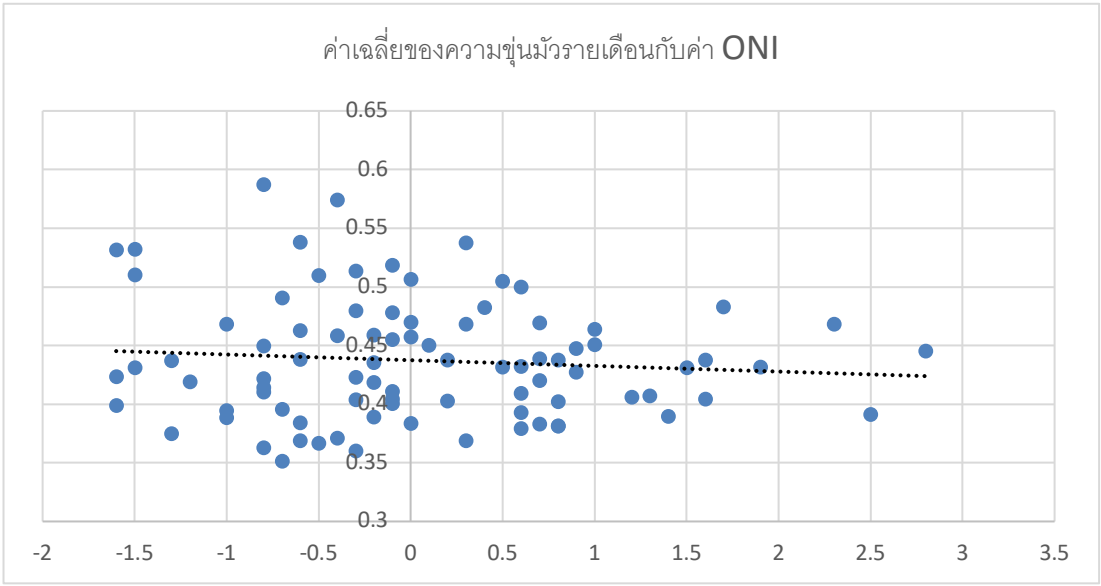
ภาพที่ 7 แสดงค่าร้อยละของมวลอากาศที่เคยมีความสูงต่ำกว่า 200 เมตรเมื่อเคลื่อนที่ผ่านประเทศต่างๆ



ภาพที่ 8 แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของมวลอากาศที่เคยมีความสูงต่ำกว่า 200 เมตรเมื่อเคลื่อนที่ผ่านประเทศต่างๆ

สำหรับช่วงที่มวลอากาศระดับ 500 และ1000 เมตร เคยลดต่ำกว่า 200 เมตร ประเทศไทยมีจำนวนชั่วโมงสูงสุด 724 ชั่วโมงในทั้ง 2 ระดับ คิดเป็นร้อยละ 37.42 และ 43.93 ตามลำดับ ที่ระดับ 500 เมตร กัมพูชามีสัดส่วนสูงเป็นอันดับรองลงมา 27.96 ขณะที่จีนร้อยละ 10.39 แต่ที่ระดับ 1000 เมตร กัมพูชาลดลงเหลือ18.63 และจีนเพิ่มเป็น 16.14

ผู้วิจัยได้นำค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวที่สถานีนครปฐมที่มีค่ามากกว่า 0.35 มาหาค่าเฉลี่ยรายเดือน จากนั้นนำมาหาความสัมพันธ์ร่วมกับค่า ONI รายเดือน เพื่อดูปัจจัยของสภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงต่อความขุ่นมัวจากฝุ่นละอองการเผาไหม้ชีวมวลได้ในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยความขุ่นมัวรายเดือนที่สถานีวัดนครปฐมที่มีค่ามากกว่า 0.35 เปรียบเทียบกับค่า ONI ประจำเดือน

การวิเคราะห์ ONI ใช้ข้อมูล $\beta > 0.35$ และสรุปค่าเป็นรายเดือนได้ 87 เดือน ในช่วงปี ค.ศ. 2007-2025 Pearson correlation เท่ากับ $r = -0.092$, $p = 0.398$ และ Spearman correlation เท่ากับ $\rho = -0.019$, $p = 0.864$ จึงไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่าง ONI กับค่าเฉลี่ยความขุ่นมัวรายเดือน ทั้งจาก Pearson และ Spearman correlation

อภิปรายผล

จากข้อมูลดังที่แสดงในผลการวิจัยในตารางที่ 2 พบว่าจังหวัดนครปฐมมีข้อมูลที่มีลักษณะเชิงแสงสอดคล้องกับการเผาชีวมวลมีสัดส่วนสูงที่สุดคือร้อยละ 61.9 และมีฝุ่นละอองจากเมืองและอุตสาหกรรมร้อยละ 26.84 ซึ่งสมเหตุสมผลกับที่ตั้งที่อยู่ในที่ราบภาคกลางที่มีความหนาแน่นและมีกิจกรรมของมนุษย์สูง

เส้นทางมวลอากาศใช้เวลาอยู่เหนือทะเลและมหาสมุทรในสัดส่วนสูง โดยสัดส่วนดังกล่าวลดลงเมื่อระดับความสูงเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ผลดังกล่าวแสดงลักษณะของเส้นทางมวลอากาศ มิได้หมายความว่าฝุ่นละอองที่ตรวจพบมีแหล่งกำเนิดจากทะเลโดยตรง จากภาพที่ 2 ถึงภาพที่ 5 โดยมีสัดส่วนร้อยละ 59.56 54.70 และ 43.73 ตามลำดับซึ่งลดลงเมื่อความสูงมากขึ้น ขณะที่ในไทยขึ้นสูงสุดเป็นร้อยละ 26.61 แต่หากคิดเฉพาะภาคพื้นดิน สัดส่วนของไทยอยู่ที่ร้อยละ 42.84–49.44 ในทุกระดับสูงกว่าประเทศอื่นอย่างชัดเจน จึงกล่าวได้ว่าในส่วนของเส้นทางเดินที่อยู่ในภาคพื้นดิน ประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่มวลอากาศเคลื่อนที่ผ่านเกือบครึ่งหนึ่ง จีนและกัมพูชาแสดงพฤติกรรมตรงข้ามตามระดับความสูงอย่างชัดเจน คือ จีนลดลงจากร้อยละ 20.13 เป็น 8.74 ตามความสูงที่เพิ่มขึ้น ขณะที่กัมพูชาเพิ่มจากร้อยละ 7.89 เป็น 15.49 ดังนั้นรูปแบบทางเดินของสองพื้นที่นี้จึงมีบทบาทสลับกันตามความสูงซึ่งเกิดรูปแบบนี้ทั้งค่าเฉลี่ยรวมและค่าเฉพาะภาคพื้นดิน

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสูงสุดสามารถบอกได้ว่าทุกประเทศสามารถมีค่ามวลอากาศที่ผ่านในสัดส่วนที่ไม่ต่างกันมาก ขณะที่สูงสุดเป็นจีนและรองมาคือกัมพูชาโดยมีอิทธิพลสลับกันตามความสูง ผลการวิเคราะห์แสดงว่าเส้นทางมวลอากาศจากทุกประเทศที่พิจารณาปรากฏในบางเหตุการณ์ โดยจีนและกัมพูชามีความแปรปรวนและค่าสูงสุดสูง แม้ค่าเฉลี่ยจะไม่เด่นเท่าประเทศไทย จึงสะท้อนว่าพื้นที่เหล่านี้อาจเป็นพื้นที่ทางผ่านหรือพื้นที่อิทธิพลที่เป็นไปได้ในบางเหตุการณ์ในเวลาและโอกาสต่างๆ กัน แม้ค่าเฉลี่ยมวลอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านประเทศจีนและกัมพูชาจะไม่สูง แต่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำกว่าประเทศไทยไม่มากและพิจารณาค่าสูงสุดที่มีค่าหลดหลั่นกันลงไปทุกประเทศอย่างเกาะกลุ่ม

เมื่อพิจารณา ช่วงที่มวลอากาศ จากระยะ 500 และ 1000 เมตร เคยลดลงต่ำกว่า 200 เมตร ในแต่ละประเทศ ในภาพที่ 6 ถึงภาพที่ 8 ประเทศไทยก็ยังคงสูงสุด แต่สิ่งที่น่าสนใจคือในระยะ 500 เมตร กัมพูชามีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 27.96 ขณะที่จีนมีสัดส่วนร้อยละ 10.39 ส่วนที่ 1000 เมตร กัมพูชาลดลงเหลือร้อยละ18.63 แต่จีนเพิ่มเป็นร้อยละ16.14 จึงตีความได้ว่าในเส้นทางระดับ 500 เมตร ใกล้พื้นผิวประเทศไทยเชื่อมโยงกับกัมพูชา มากกว่าในขณะที่ ระดับ 1000 เมตร มีสัดส่วนเวลาของช่วงเส้นทางใกล้พื้นผิวที่อยู่เหนือประเทศจีนเพิ่มขึ้น

ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่าง ONI กับค่าระดับของความขุ่นมัว (จาก $r=-0.037$ และ $p=0.718$) ในภาพที่ 9 ดังนั้นเหตุการณ์ของความขุ่นมัวสูงน่าจะขึ้นอยู่กับปัจจัยระดับเหตุการณ์ เช่น เส้นทางมวลอากาศ ตำแหน่งการเผา และสภาพอุตุนิยมวิทยา มากกว่าจะอธิบายด้วย ONI เพียงตัวแปรเดียว

การตีความผลการศึกษานี้มีข้อจำกัด เนื่องจากการจำแนกฝุ่นอาศัยสมบัติเชิงแสงและเส้นทาง HYSPLIT ซึ่งสามารถบ่งชี้ลักษณะเด่นของอนุภาคและพื้นที่ที่มวลอากาศเคลื่อนที่ผ่าน แต่ไม่สามารถยืนยัน

แหล่งกำเนิดหรือสัดส่วนมวลฝุ่นจากแต่ละพื้นที่ได้โดยตรง นอกจากนี้ การใช้ระดับ 200 m AGL เป็นเกณฑ์คงที่สำหรับระบุการเคลื่อนที่ใกล้พื้นผิวไม่ได้แทนความสูงของชั้นผสมจริงซึ่งเปลี่ยนแปลงตามสภาพอุตุนิยมวิทยา ดังนั้นผลด้านประเทศและพื้นที่ควรตีความเป็นเส้นทางและพื้นที่อิทธิพลที่เป็นไปได้

สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้ได้วิเคราะห์สมบัติเชิงแสงของฝุ่นละออง ณ สถานีตรวจวัดจังหวัดนครปฐม ในช่วงปี ค.ศ. 2007–2025 จำนวน 9,240 ข้อมูล โดยจำแนกลักษณะฝุ่นละอองจากค่า Ångström exponent, Ångström turbidity coefficient และ Single Scattering Albedo พบว่าฝุ่นละอองที่มีลักษณะสอดคล้องกับการเผาชีวมวลมีสัดส่วนสูงที่สุดร้อยละ 61.90 รองลงมาคือฝุ่นจากเมืองและอุตสาหกรรมร้อยละ 26.84 และฝุ่นละอองแบบผสมร้อยละ 9.10

เมื่อคัดเลือกเฉพาะกรณีฝุ่นจากการเผาชีวมวลที่มีค่าความขุ่นมัวมากกว่า 0.35 และจัดข้อมูลที่มีเวลาใกล้กันเป็นเหตุการณ์เดียว ได้ข้อมูลสำหรับวิเคราะห์เส้นทางมวลอากาศย้อนหลังด้วยแบบจำลอง HYSPLIT จำนวน 190 เหตุการณ์ ผลการศึกษาพบว่าเส้นทางมวลอากาศที่เข้าสู่จังหวัดนครปฐมเคลื่อนที่ผ่านทั้งภาคพื้นดินและทะเล โดยสัดส่วนเวลาที่เส้นทางมวลอากาศเคลื่อนผ่านทะเลและมหาสมุทรมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความสูงเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ขณะที่เมื่อพิจารณาเฉพาะภาคพื้นดิน ประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่เส้นทางมวลอากาศเคลื่อนผ่านในสัดส่วนสูงที่สุด

ประเทศเพื่อนบ้านแสดงรูปแบบแตกต่างกันตามระดับความสูง โดยกัมพูชามีสัดส่วนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง ขณะที่จีนมีสัดส่วนเฉลี่ยลดลงแต่มีค่าสูงสุดในบางเหตุการณ์สูงมาก แสดงให้เห็นว่าการลำเลียงมวลอากาศจากระยะไกลมีลักษณะเป็นเหตุการณ์เฉพาะมากกว่าจะเกิดอย่างสม่ำเสมอ การวิเคราะห์ช่วงที่เส้นทางมวลอากาศลดระดับต่ำกว่า 200 เมตรยังแสดงให้เห็นว่าการพิจารณาการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งมีความสำคัญต่อการประเมินโอกาสที่มวลอากาศจะสัมผัสกับแหล่งกำเนิดบริเวณพื้นผิว

ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ONI กับค่าความขุ่นมัวยังไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจน จึงยังไม่สามารถสรุปอิทธิพลโดยตรงของ ENSO ต่อระดับความขุ่นมัวในเหตุการณ์ที่ศึกษาได้

การศึกษาครั้งต่อไปควรนำข้อมูลแหล่งกำเนิดและข้อมูลสิ่งแวดล้อมอื่น เช่น จุดความร้อน ปริมาณฝน ทิศทางและความเร็วลม PM2.5 หรือองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง มาพิจารณาร่วมกับสมบัติเชิงแสงและเส้นทาง HYSPLIT เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในการประเมินแหล่งที่มา นอกจากนี้ควรประยุกต์วิธีการเดียวกันกับสถานีตรวจวัดในภูมิภาคอื่นของประเทศไทย เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการลำเลียงฝุ่นละอองและอิทธิพลของแหล่งกำเนิดในแต่ละภูมิภาค

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทร์ฉาย และบุคลากรทุกท่านในห้องวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือและข้อมูล ขอขอบพระคุณ Mr. Brent N. Holben, Mr. Thomas F. Eck และเจ้าหน้าที่ท่านอื่นๆ แห่ง NASA Goddard Space Flight Center ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำความรู้ และความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งมาตั้งแต่ระยะเริ่มต้นของการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับเครือข่าย

AERONET ตลอดจนขอขอบคุณ NOAA สำหรับการพัฒนาและสนับสนุนข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้ และขอขอบคุณบุคลากรในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารทุกท่านที่ให้คำแนะนำด้วยความรักและความปรารถนาดี ตลอดจนกำลังใจอันเต็มเปี่ยมจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้

References

Dubovik, O., Holben, B. N., Eck, T. F., Smirnov, A., Kaufman, Y. J., King, M. D., Tanré, D., & Slutsker, I. (2002). Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 59(3), 590–608. https://doi.org/10.1175/1520-0469(2002)059<0590:VOAAOP>2.0.CO;2

Eck, T. F., Holben, B. N., Reid, J. S., Dubovik, O., Smirnov, A., O'Neill, N. T., Slutsker, I., & Kinne, S. (1999). Wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban, and desert dust aerosols. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104(D24), 31,333–31,349. https://doi.org/10.1029/1999JD900923

Giles, D. M., Sinyuk, A., Sorokin, M. G., Schafer, J. S., Smirnov, A., Slutsker, I., Eck, T. F., Holben, B. N., Lewis, J. R., Campbell, J. R., Welton, E. J., Korkin, S. V., & Lyapustin, A. I. (2019). Advancements in the Aerosol Robotic Network (AERONET) Version 3 database—Automated near-real-time quality control algorithm with improved cloud screening for Sun photometer aerosol optical depth (AOD) measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 12, 169–209. https://doi.org/10.5194/amt-12-169-2019

Holben, B. N., Eck, T. F., Slutsker, I., Tanré, D., Buis, J. P., Setzer, A., Vermote, E., Reagan, J. A., Kaufman, Y. J., Nakajima, T., Lavenu, F., Jankowiak, I., & Smirnov, A. (1998). AERONET—A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. *Remote Sensing of Environment*, 66(1), 1–16. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00031-5

Janjai, S., Nunez, M., Masiri, I., Wattan, R., Buntoung, S., Jantarach, T., & Promsen, W. (2012). Aerosol optical properties at four sites in Thailand. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2(4), 441–453. https://doi.org/10.4236/acs.2012.24038

Jin, Y., Liu, Y., Lu, X., Chen, X., Shen, A., Wang, H., Cui, Y., Xu, Y., Li, S., Liu, J., Zhang, M., Ma, Y., & Fan, Q. (2024). Measurement report: Assessing the impacts of emission uncertainty on aerosol optical properties and radiative forcing from biomass burning in peninsular Southeast Asia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 24, 367–395. https://doi.org/10.5194/acp-24-367-2024

Marlier, M. E., DeFries, R. S., Voulgarakis, A., Kinney, P. L., Randerson, J. T., Shindell, D. T., Chen, Y., & Faluvegi, G. (2013). El Niño and health risks from landscape fire emissions in southeast Asia. *Nature Climate Change*, 3, 131–136. https://doi.org/10.1038/nclimate1658

National Oceanic and Atmospheric Administration, Climate Prediction Center. (n.d.). *Oceanic Niño Index (ONI): Historical El Niño/La Niña episodes (1950–present).* https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso/oni/v5/

Rolph, G., Stein, A., & Stunder, B. (2017). Real-time Environmental Applications and Display sYstem: READY. *Environmental Modelling & Software*, 95, 210–228. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.025

Shin, S.-K., Tesche, M., Noh, Y., & Müller, D. (2019). Aerosol-type classification based on AERONET version 3 inversion products. *Atmospheric Measurement Techniques,* 12, 3789–3803. https://doi.org/10.5194/amt-12-3789-2019

Stein, A. F., Draxler, R. R., Rolph, G. D., Stunder, B. J. B., Cohen, M. D., & Ngan, F. (2015). NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(12), 2059–2077. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1