การแปรผันตามช่วงเวลาระหว่างวันและสัณฐานของฝุ่น PM2.5 ช่วงวิกฤตหมอกควัน ในอำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์

Diurnal Variations and Morphology of PM2.5 During Haze Period in Mueang Nakhon Sawan District, Nakhon Sawan Province

อนุวัตน์ แสงอ่อน

Anuwat Sangon

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

Faculty of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแปรผันตามช่วงเวลาระหว่างวันและสัณฐานของฝุ่น PM2.5 ช่วงวิกฤตหมอกควัน ในอำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณฝุ่น PM2.5 และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากฐานข้อมูลกรมควบคุมมลพิษและเว็บไซต์ Meteostat ช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน 2568 และเก็บตัวอย่างฝุ่น PM2.5 ในช่วงเวลาเดียวกันมาตรวจวิเคราะห์สัณฐานและองค์ประกอบธาตุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า ปริมาณฝุ่น PM2.5 มีการแปรผันตามช่วงเวลาระหว่างวันที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการจราจรหนาแน่นในชั่วโมงเร่งด่วน การวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาบ่งชี้ว่าเสถียรภาพของบรรยากาศมีอิทธิพลต่อการสะสมและกระจายตัวของฝุ่น PM2.5 การศึกษาสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุ แสดงให้เห็นว่าที่มาของฝุ่น PM2.5 ได้แก่ การเผาไหม้ชีวมวลและเชื้อเพลิงฟอสซิล รวมถึงฝุ่นที่ถูกพัดพามาจากนอกพื้นที่ และพบโลหะหนักที่ทำให้เกิดความเสี่ยงโรคมะเร็งในฝุ่น PM2.5 สองชนิด คือ ปรอทและโครเมียม

คำสำคัญ: ฝุ่น PM2.5 การแปรผันตามช่วงเวลาระหว่างวัน สัณฐานวิทยาของฝุ่น PM2.5 การเผาไหม้ชีวมวล

Abstract

This research investigates the diurnal variations and morphology of PM2.5 during the haze period in Mueang Nakhon Sawan District, Nakhon Sawan Province. PM2.5 concentration and meteorological data were retrieved from the Pollution Control Department (PCD) database and the Meteostat website for the period of March–April 2025. Concurrently, PM2.5 samples were collected for morphological and elemental composition analysis via scanning electron microscopy. The results indicated that PM2.5 levels exhibited diurnal variations corresponding

* *Corresponding author : Anuwat.s@nsru.ac.th*

Received: 16 ก.พ. 69; Revised: 17 เม.ย. 69; Accepted: 21 เม.ย. 69

to agricultural residue burning and heavy traffic during rush hours. Correlation analysis with meteorological data suggested that atmospheric stability significantly influenced the accumulation and dispersion of PM2.5. Morphological and elemental analysis identified biomass burning, fossil fuel combustion, and long-range transport as the primary sources of PM2.5. Furthermore, two carcinogenic heavy metals—mercury (Hg) and chromium (Cr)—were detected within the PM2.5 samples.

Keywords: PM2.5, Diurnal variation, PM2.5 morphology, Biomass burning

1. บทนำ

การสัมผัสกับฝุ่น PM2.5 ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ทำให้เกิดการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิต มีผลการศึกษาที่แสดงความเชื่อมโยงระหว่างการสัมผัสกับฝุ่น PM2.5 และการเจ็บป่วย เช่น โรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ โรคหลอดเลือดหัวใจ และโรคของระบบประสาท (Sangkham et al., 2024) มีรายงานผลกระทบของฝุ่น PM2.5 ในรูปการสูญเสียปีสุขภาวะ (disability adjusted life years) ของประชาชนในเขตภาคเหนือเท่ากับ 41,372 ปีต่อประชากร 100,000 คน (Supasri et al., 2023) ด้านระบาดวิทยามีรายงานว่า หากปริมาณฝุ่น PM2.5 เพิ่มขึ้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราการเสียชีวิตจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 (Dobson et al., 2021) ทั้งนี้ฝุ่น PM2.5 มีที่มาจากมนุษย์ เช่น การเผาในที่โล่ง โรงงานอุตสาหกรรม และเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ละอองไอจากทะเล งานวิจัยของ Ponsawansong et al. (2023) พบว่าแหล่งกำเนิดสำคัญของฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดเชียงใหม่ช่วงวิกฤตหมอกควัน (มกราคม-เมษายน) ได้แก่ การเผาชีวมวล (biomass burning) ละอองลอยอนินทรีย์ทุติยภูมิ (secondary inorganic aerosol) และไอเสียจากยานพาหนะ (vehicle exhausts) การทราบแหล่งที่มาของฝุ่น PM2.5 มีประโยชน์ต่อการวางแผนจัดการปัญหาฝุ่นละอองให้มีประสิทธิภาพ (Cholianawati et al., 2024)

การศึกษาการแปรผันตามช่วงเวลาระหว่างวันของปริมาณฝุ่น PM2.5 เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ระบุแหล่งที่มาของฝุ่น PM2.5 เนื่องจากรูปแบบการแปรผันที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ เช่น พื้นที่เมือง (urban) ของกรุงปักกิ่ง การแปรผันตามช่วงเวลาระหว่างวันเป็นแบบมี 2 ยอด (bimodal) ปริมาณฝุ่นสูงสุดจะเกิดขึ้นสองครั้ง ช่วงเช้าและช่วงเย็น จากการจราจรหนาแน่นในชั่วโมงเร่งด่วน ส่วนพื้นที่ชนบท (rural) เป็นแบบมียอดเดียว (unimodal) เกิดในเวลากลางคืนจากการเผาชีวมวล (Cholianawati et al., 2024) และมีรายงานว่าปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยามีผลต่อการแปรผันตามช่วงเวลาระหว่างวันของปริมาณฝุ่น PM2.5 ด้วย โดยมีผลต่อเสถียรภาพของบรรยากาศ หากบรรยากาศมีเสถียรภาพมาก มลพิษทางอากาศจะเกิดการสะสมและมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น (Girotti et al., 2025) นอกจากนี้ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยายังมีผลต่อระดับความสูงผสมของบรรยากาศ (atmospheric mixing height) ซึ่งทำให้เกิดการสะสมของมลพิษทางอากาศด้วยเช่นกัน (Vongruang et al., 2024)

ผลกระทบต่อสุขภาพของฝุ่น PM2.5 นอกจากขึ้นกับปริมาณแล้ว มีรายงานระบุว่าสัณฐานและองค์ประกอบของฝุ่น PM2.5 มีส่วนสำคัญต่อความเป็นพิษของฝุ่นชนิดนี้ด้วย ฝุ่น PM2.5 ที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (irregularly shape) และมีขอบคม (sharped-edge) เมื่อผ่านเข้าสู่ปอดจะติดค้างอยู่ในเนื้อปอด (lung parenchyma) สูงกว่าแบบอื่น (Fatima et al., 2022) และเมื่อพิจารณาร่วมกับขนาดที่เล็กละเอียดของฝุ่น ทำให้ฝุ่นมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง จึงเกิดการสะสมสารพิษที่เป็นอันตรายได้มากตามไปด้วย (Valavanidis et al., 2008) ด้านองค์ประกอบ มีรายงานว่าฝุ่น PM2.5 ที่มีธาตุคาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) โซเดียม (Na) ฟอสฟอรัส (P) กำมะถัน (S) และโพแทสเซียม (K) เป็นองค์ประกอบ ทำให้เนื้อเยื่อปอดเสียหาย เช่นเดียวกับกรณีที่มีโครเมียม (Cr) และทองแดง (Cu) เป็นองค์ประกอบ ส่วนฝุ่น PM2.5 ที่มีตะกั่ว (Pb) สามารถทำให้เกิดโรคของระบบประสาทได้ (Fatima et al., 2022)

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่นำข้อมูลสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุของฝุ่น PM2.5 มาใช้ระบุแหล่งที่มาของฝุ่น PM2.5 ด้วยความก้าวหน้าของเครื่องมืออย่างกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งเครื่องวิเคราะห์รังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน (SEM-EDS) ทำให้งานวิจัยด้านสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุของฝุ่น PM2.5 มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น จนสามารถระบุแหล่งที่มาของฝุ่น PM2.5 จากรูปร่างและองค์ประกอบธาตุได้ (Bridhikitti et al., 2024; Fatima et al., 2022; Morantes et al., 2021)

จังหวัดนครสวรรค์เป็นจังหวัดหนึ่งที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 โดยในปี พ.ศ. 2566 และ พ.ศ. 2567 จังหวัดนครสวรรค์มีจำนวนวันที่ฝุ่น PM2.5 สูงเกินค่ามาตรฐาน 48 วัน และ 82 วัน ตามลำดับ ช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน เป็นช่วงที่ปัญหาหมอกควันวิกฤตที่สุด สถิติข้อมูลฝุ่น PM2.5 จังหวัดนครสวรรค์ช่วงปี พ.ศ. 2565-2567 เดือนที่มีปริมาณฝุ่น PM2.5 สูงสุดเรียงตามลำดับ ได้แก่ เมษายน มีนาคม กุมภาพันธ์ และมกราคม โดยมีค่าเฉลี่ยรายเดือนของฝุ่น PM2.5 เท่ากับ 43, 40, 38 และ 35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป.)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการแปรผันตามช่วงเวลาระหว่างวันและสัณฐานของฝุ่น PM2.5 ช่วงวิกฤตหมอกควันในอำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ เพื่อทราบถึงแหล่งที่มาและอันตรายของฝุ่น PM2.5 สำหรับเป็นข้อมูลในการแก้ไขปัญหาฝุ่น PM2.5 ในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ และเป็นข้อมูลสำหรับพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดนครสวรรค์และพื้นที่อื่น ๆ ต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา

(1) รูปแบบการแปรผันตามช่วงเวลาระหว่างวันของปริมาณฝุ่น PM2.5 ช่วงวิกฤตหมอกควันในอำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์และความสัมพันธ์กับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

(2) สัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุของฝุ่น PM2.5 ช่วงวิกฤตหมอกควันในอำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

1. ข้อมูลปริมาณฝุ่น PM2.5

ข้อมูลปริมาณฝุ่น PM2.5 ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งตั้งอยู่ที่โครงการชลประทานนครสวรรค์ อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ (พิกัด ละติจูด 15° 41’ 10” เหนือ ลองจิจูด 100° 6’ 38” ตะวันออก ความสูงจากพื้นดิน 3 เมตร) ข้อมูลปริมาณฝุ่น PM2.5 ของกรมควบคุมมลพิษเป็นข้อมูลรายชั่วโมง ระหว่างวันที่ 15 มีนาคม – 25 เมษายน 2568 นำข้อมูลมาคำนวณค่าเฉลี่ยแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา ในแต่ละวัน ได้แก่ ช่วงกลางวัน เริ่มเวลา 06.00–18.00 น. และช่วงกลางคืน เริ่มเวลา 18.00–06.00 น. โดยไม่นำข้อมูลปริมาณฝุ่น PM2.5 ในวันที่มีฝนตกมาคำนวณด้วย

2. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลรายชั่วโมงประกอบด้วยอุณหภูมิอากาศ และความเร็วลม จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ และความกดอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์จากเว็บไซต์ meteostat.net (Meteostat, n.d.) นำข้อมูลมาคำนวณค่าเฉลี่ยแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา ในแต่ละวัน เช่นเดียวกับปริมาณฝุ่น PM2.5

3. ข้อมูลสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุของฝุ่น PM2.5

เก็บตัวอย่างฝุ่น PM2.5 บริเวณดาดฟ้า อาคารศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ (พิกัด ละติจูด 15° 41’ 24” เหนือ ลองจิจูด 100° 6’ 21.9” ตะวันออก ความสูงจากพื้นดิน 12 เมตร) เก็บตัวอย่างจำนวน 14 วัน ระหว่างวันที่ 15 มีนาคม – 25 เมษายน 2568 โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแบบติดตัวบุคคล รุ่น GilAir plus ของบริษัท Sensidyne และหัวคัดขนาดฝุ่นชนิดไซโคลนผลิตจากอลูมิเนียมของบริษัท Zefon เก็บตัวอย่างฝุ่นผ่านกระดาษกรองใยแก้ว ขนาดรูพรุน 1.6 ไมครอน เส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร ที่อัตราการสูบอากาศ 2.5 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เริ่มเก็บตัวอย่างเวลา 06.00 น. ถึงเวลา 06.00 น. ของวันถัดไป จากนั้นนำตัวอย่างฝุ่นเก็บรักษาไว้ในตู้ดูดความชื้นที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ในขั้นตอนของการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุ เริ่มจากการนำกระดาษกรองที่ผ่านการเก็บตัวอย่างฝุ่นมาตัดให้ได้ขนาด 3x3 ตารางมิลลิเมตร แล้วนำไปเคลือบผิวด้วยทองคำ ก่อนนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุของอนุภาคฝุ่น PM2.5 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งเครื่องวิเคราะห์รังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน (Bridhikitti et al., 2024)

4. ข้อมูลการเคลื่อนที่ของมวลอากาศแบบประมวลผลย้อนกลับและจุดความร้อน

ตรวจสอบผลกระทบของการเคลื่อนย้ายฝุ่น PM2.5 จากพื้นที่อื่นที่อาจมีผลต่อปริมาณฝุ่น PM2.5 ในอำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ โดยคำนวณการเคลื่อนที่ของมวลอากาศแบบประมวลผลย้อนกลับ (backward trajectory) ด้วยแบบจำลอง Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model (HYSPLIT) ที่พัฒนาโดยห้องปฏิบัติการทรัพยากรอากาศขององค์การบริหารมหาสมุทรและบรรยากาศแห่งชาติ (NOAA) ประเทศสหรัฐอเมริกา (Stein et al., 2015) การประมวลผลใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจาก Global Data

Assimilation System (GDAS) ที่ความละเอียดของพื้นที่ตาราง (grid cell) 1x1 องศา ส่วนจุดความร้อนใช้ข้อมูลจากสารสนเทศไฟเพื่อการจัดการทรัพยากร (Fire Information for Resource Management System: FIRMS) ขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) ประเทศสหรัฐอเมริกา

4. ผลการวิจัย

1. ปริมาณฝุ่น PM2.5 และการแปรผันตามช่วงเวลาระหว่างวัน

ผลการศึกษาปริมาณและการแปรผันตามช่วงเวลาระหว่างวันของฝุ่น PM2.5 ช่วงวิกฤตหมอกควันในอำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่น PM2.5 ในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน เท่ากับ 36.7±16.4 และ 43.8±18.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่น PM2.5 ในช่วงวิกฤตหมอกควันจังหวัดนครสวรรค์เดือนมีนาคม - เมษายน ของปี พ.ศ. 2565-2567 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 40 และ 43 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป.) เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างช่วงเวลากลางวันและกลางคืนด้วยสถิติทดสอบ พบว่าปริมาณฝุ่น PM2.5 ในช่วงเวลากลางคืนสูงกว่ากลางวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) สอดคล้องกับรายงานของ Dobson et al. (2021) ที่ศึกษาปริมาณฝุ่น PM2.5 ของเมืองต่าง ๆ จำนวน 23 เมืองใน 14 ประเทศที่มีรายได้ต่ำถึงปานกลาง พบมี 19 เมืองที่ปริมาณฝุ่น PM2.5 ในช่วงเวลากลางคืนสูงกว่ากลางวัน และงานวิจัยของ Phairuang et al. (2024) ที่ศึกษาการแปรผันของฝุ่น PM0.1 ช่วงเวลากลางวันและกลางคืนระหว่างเดือนมีนาคม-เมษายน 2563 ในจังหวัดเชียงใหม่ พบปริมาณฝุ่น PM0.1 ในช่วงเวลากลางคืนสูงกว่ากลางวัน สอดคล้องกับพฤติกรรมการเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของเกษตรกรที่นิยมเผาในช่วงเวลาเย็น

ตารางที่ 1 ข้อมูลปริมาณฝุ่น PM2.5 ในแต่ละช่วงเวลา

รายการ	**ปริมาณฝุ่น PM2.5 (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)**	
	ช่วงกลางวัน (n=31)	ช่วงกลางคืน (n=31)
ค่าต่ำสุด	13.6	16.3
ค่าสูงสุด	74.3	83.5
ค่าเฉลี่ย	36.7±16.4	43.8±18.8

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่น PM2.5 กับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา พบว่า ในช่วงเวลากลางวัน ปริมาณฝุ่น PM2.5 มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ -0.361 และ -0.496 ตามลำดับ ส่วนในช่วงเวลากลางคืน ปริมาณฝุ่น PM2.5 มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับอุณหภูมิและความเร็วลม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ -0.366 และ

-0.477 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 และ 3 ความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างปริมาณฝุ่น PM2.5 กับอุณหภูมิอากาศสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Vongruang et al. (2024) และ Sillberg et al. (2021) เพราะเมื่ออุณหภูมิลดลงส่งผลให้เสถียรภาพของบรรยากาศเพิ่มขึ้น ปริมาณฝุ่น PM2.5 จึงเกิดการสะสมมากขึ้น ขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่น PM2.5 กับความชื้นสัมพัทธ์ที่พบในช่วงเวลากลางวัน สอดคล้องกับผลการศึกษาปัจจัยด้านภูมิอากาศที่ส่งผลต่อปริมาณฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดลำปางของประเสริฐ สุเมธวาวานิชย์ (2567) โดย Zender-świercz et al. (2024) อธิบายว่าเป็นผลมาจากกระบวนการเพิ่มขนาดของฝุ่น PM2.5 เนื่องจากความชื้นในอากาศ (hygroscopic growth) เมื่อฝุ่นมีขนาดหรือน้ำหนักเพิ่มขึ้นจะเกิดการตก (sedimentation) ปริมาณฝุ่นจึงแปรผกผันกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ แต่ที่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่น PM2.5 กับความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลากลางคืน Zender-świercz et al. (2024) และ ชื่นกมล สุทธา และคณะ (2564) อธิบายว่าผลของความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อการเพิ่มขนาดของฝุ่น มีปัจจัยด้านองค์ประกอบของฝุ่นเกี่ยวข้องด้วย ฝุ่นจากแหล่งกำเนิดบางแหล่งดูดซับความชื้นได้ดี บางชนิดดูดซับความชื้นได้ไม่ดี มีความเป็นไปได้ว่าฝุ่น PM2.5 ในช่วงเวลากลางคืนมีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกับในเวลากลางวัน

การพบความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างปริมาณฝุ่น PM2.5 กับความเร็วลมในช่วงเวลากลางคืนสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Vongruang et al. (2024) ที่รายงานว่าปริมาณฝุ่น PM2.5 มีค่าสูงขึ้นหลังเวลาพระอาทิตย์ตก พร้อมกับการลดลงอย่างรวดเร็วของความเร็วลม ในขณะที่ Girotti et al. (2025) กล่าวถึงความเร็วลมว่ามีผลต่อเสถียรภาพของบรรยากาศเวลากลางคืนในลักษณะที่ตรงข้ามกับเวลากลางวัน ในเวลากลางคืนความเร็วลมต่ำทำให้เสถียรภาพของบรรยากาศเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการสะสมของมลพิษเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่น PM2.5 ในช่วงเวลากลางวันและข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์			
	อุณหภูมิอากาศ	**ความเร็วลม**	**ความกดอากาศ**	**ความชื้นสัมพัทธ์**
ฝุ่น PM2.5	-0.361*	-0.164	0.166	-0.496**

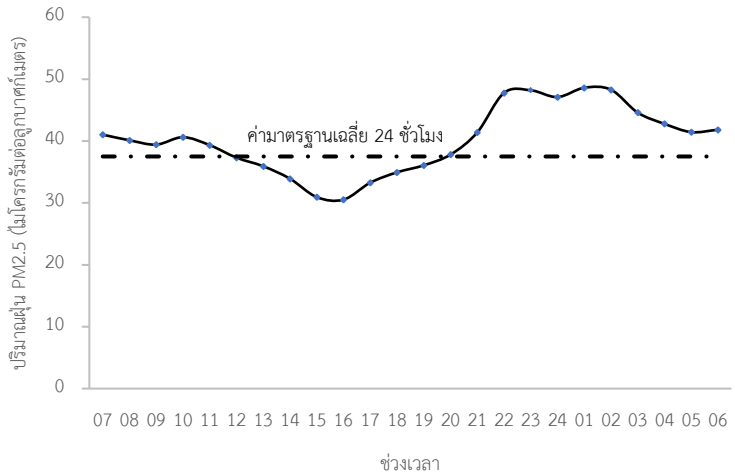
หมายเหตุ: * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p < 0.01$
** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p < 0.05$

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่น PM2.5 ในช่วงเวลากลางคืนและข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

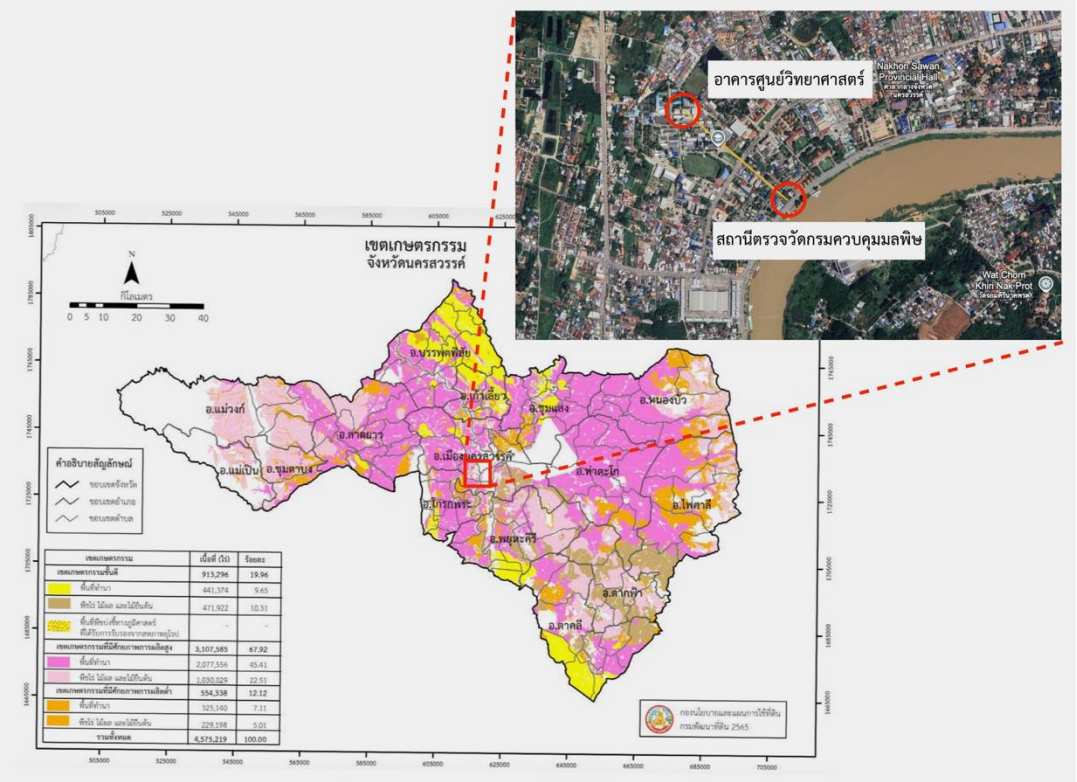
	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์			
	อุณหภูมิอากาศ	**ความเร็วลม**	**ความกดอากาศ**	**ความชื้นสัมพัทธ์**
ฝุ่น PM2.5	-0.366*	-0.477**	0.093	-0.299

หมายเหตุ: * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p < 0.01$
** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p < 0.05$

รูปแบบการแปรผันตามช่วงเวลาระหว่างวันของปริมาณฝุ่น PM2.5 มีลักษณะแบบยอดเดียว ดังภาพที่ 1 ปริมาณฝุ่นในช่วงเวลาต่าง ๆ ส่วนใหญ่สูงกว่าค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของปริมาณฝุ่น PM2.5 ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2569) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ซึ่งกำหนดว่าต้องมีค่าไม่เกิน 37.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ช่วงเวลาที่ปริมาณฝุ่นต่ำกว่าค่ามาตรฐาน คือ 12.00-20.00 น. ปริมาณฝุ่นสูงสุดเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืน โดยปริมาณฝุ่น PM2.5 เริ่มเพิ่มขึ้นหลังเวลา 16.00 น. จนมีปริมาณสูงสุดในเวลา 22.00-02.00 น. แล้วมีแนวโน้มลดลงในช่วงเวลากลางวัน การที่ปริมาณฝุ่น PM2.5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาเย็นและสูงสุดในช่วงกลางคืน Vongruang et al. (2024) ให้เหตุผลว่า เกิดจากการลดลงของระดับความสูงผสมของบรรยากาศในเวลากลางคืน ทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบพื้นที่ของอำเภอเมืองนครสวรรค์ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ทั้งพื้นที่ปลูกข้าวและพืชไร่จำนวนมาก (ภาพที่ 2) และรายงานของ Phairuang et al. (2024) ว่าเกษตรกรมีพฤติกรรมเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในช่วงเวลาเย็น จึงแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของการเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่อปริมาณฝุ่น PM2.5 และยังมีข้อสังเกต ในช่วงเวลา 06.00-10.00 น. ปริมาณฝุ่นกลับมีแนวโน้มคงที่หลังจากเริ่มลดลงหลังเวลา 02.00 น. และการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝุ่นตั้งแต่เวลา 16.00 น. ทั้งสองกรณีสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Dobson et al. (2021) ที่พบว่าฝุ่น PM2.5 ในช่วงเวลาดังกล่าวมาจากการจราจรที่หนาแน่นในชั่วโมงเร่งด่วน



ภาพที่ 1 กราฟการแปรผันตามช่วงเวลาระหว่างวันของค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่น PM2.5 รายชั่วโมง และค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น PM2.5 ตามมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป



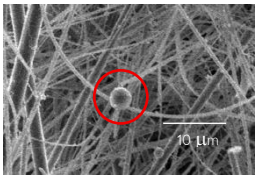
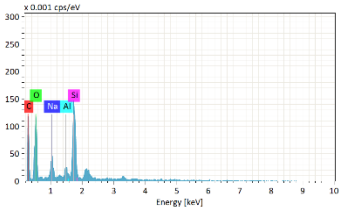
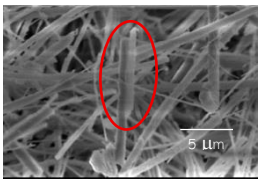
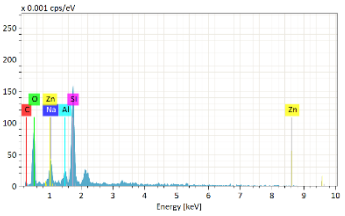
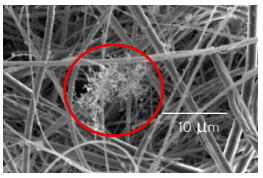
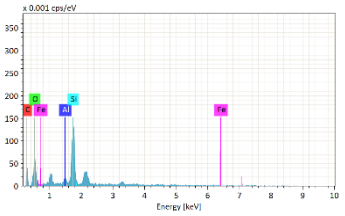
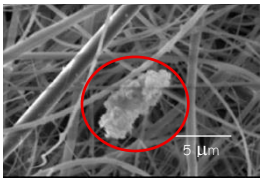
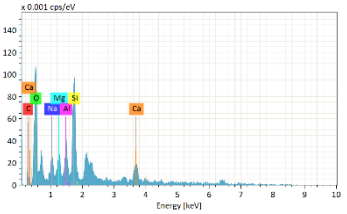
ภาพที่ 2 ที่ตั้งจุดเก็บตัวอย่างสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ จังหวัดนครสวรรค์ และอาคารศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ และแผนที่เขตเกษตรกรรมจังหวัดนครสวรรค์ (ภาพแผนที่เขตเกษตรกรรมจังหวัดนครสวรรค์จาก กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน, ม.ป.ป.)

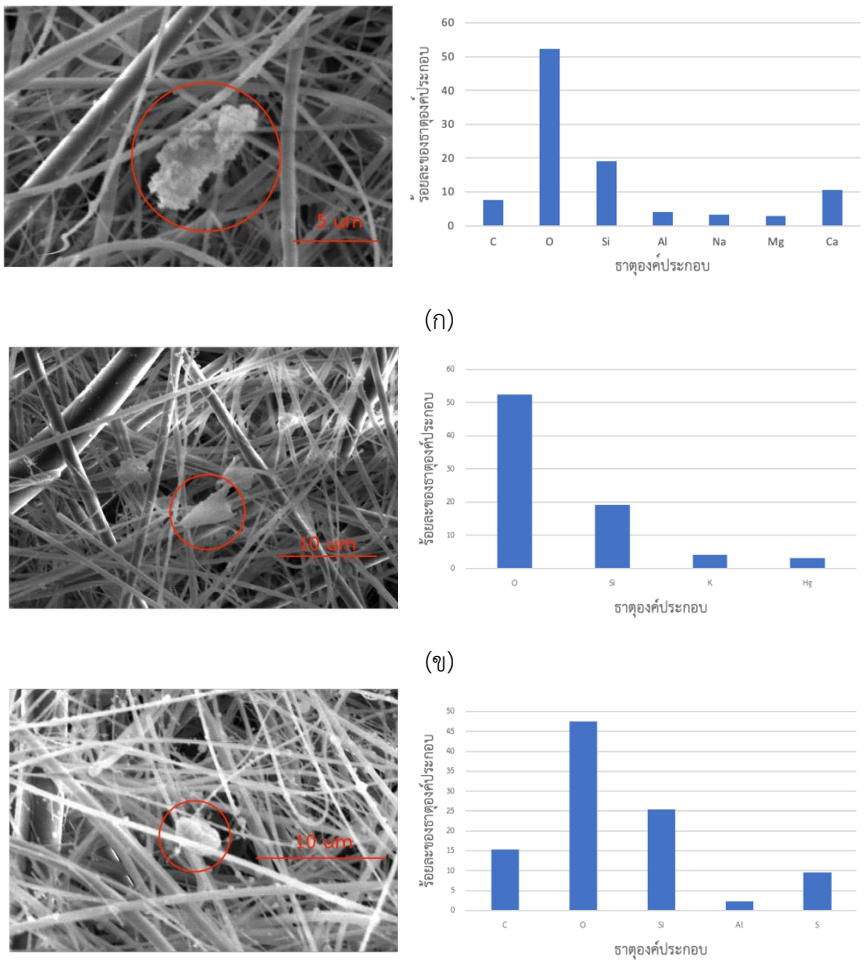
2. สัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุของฝุ่น PM2.5

ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุที่ติดตรึงกับฝุ่น PM2.5 ในอากาศอำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ พบสัณฐานของฝุ่น PM2.5 จำนวน 4 แบบ ได้แก่ ทรงกลม (spherical particle) ท่อนยาว (elongated particle) กลุ่มก้อน (flocculent particle) และ แบบไม่แน่นอน (irregularly shaped particle) องค์ประกอบธาตุที่พบในฝุ่น PM2.5 มากที่สุด ได้แก่ คาร์บอน (ร้อยละ 22.0) ออกซิเจน (ร้อยละ 38.0) และซิลิกา (ร้อยละ 26.0) ดังตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดสำคัญของฝุ่น PM2.5 ในเขตอำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ คือ การเผาไหม้ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Kawichai et al. (2022) ที่พบว่าฝุ่น PM2.5 ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมระยองซึ่งมีที่มาจากการเผาไหม้ มีองค์ประกอบธาตุสำคัญ คือ คาร์บอน ออกซิเจน และซิลิกา นอกจากนี้ Adachi et al. (2022) จำแนกประเภทของฝุ่น PM2.5 โดยพิจารณาจากองค์ประกอบธาตุ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้พบ 3 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นชนิด ash-bearing ที่มีแมกนีเซียม (Mg) และแคลเซียม (Ca) เป็นองค์ประกอบ ฝุ่นชนิด K-bearing ที่มีโพแทสเซียม (K) เป็นองค์ประกอบ และฝุ่นชนิด sulfate-bearing ที่มีกำมะถัน (S) เป็นองค์ประกอบ ดังภาพที่ 3 การพบฝุ่นชนิด ash-bearing และ

ฝุ่นชนิด K-bearing บ่งชี้ว่าฝุ่น PM2.5 ในอำเภอเมืองนครสวรรค์ มาจากการเผาไหม้ชีวมวล และ Adachi et al. (2022) รายงานว่าฝุ่นชนิด ash-bearing ที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน สามารถเคลื่อนที่ไปกับกระแสอากาศเป็นระยะทางมากกว่า 100 กิโลเมตรจากแหล่งกำเนิด ส่วนฝุ่น PM2.5 ชนิด S-bearing เป็นฝุ่นทุติยภูมิเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างมลพิษปฐมภูมิกับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Morantes et al., 2021)

ตารางที่ 4 สัณฐานวิทยาของฝุ่น PM2.5 และองค์ประกอบธาตุที่ตรวจพบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งเครื่องวิเคราะห์รังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน

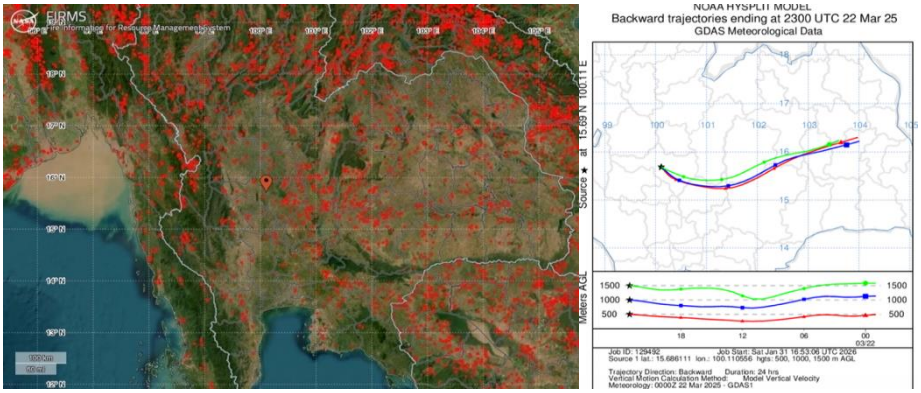
สัณฐาน	ภาพตัวอย่างฝุ่น PM2.5	ผลการตรวจองค์ประกอบ
ทรงกลม (spherical particle)		
ท่อนยาว (elongated particle)		
กลุ่มก้อน (flocculent particle)		
ไม่แน่นอน (irregularly shaped particle)		



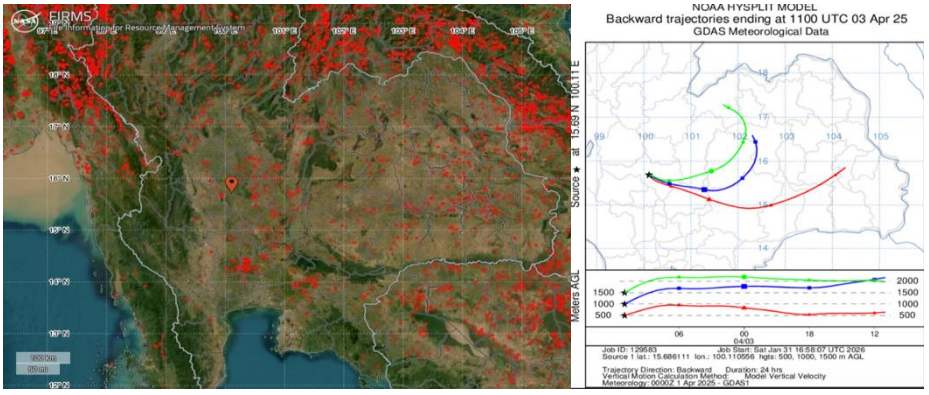
ภาพที่ 3 สัณฐานวิทยาและองค์ประกอบของตัวอย่างฝุ่น PM2.5 3 ชนิดที่พบ (ก) ฝุ่นชนิด ash-bearing (ข) ฝุ่นชนิด K-bearing และ (ค) ฝุ่นชนิด S-bearing

ในการศึกษาครั้งนี้พบองค์ประกอบธาตุบนฝุ่น PM2.5 ที่เป็นโลหะหนักอันตราย 2 ชนิด ได้แก่ ปรอท (Hg) และโครเมียม (Cr) ซึ่ง Irei et al. (2023) รายงานการเผาทุ่งหญ้าในประเทศญี่ปุ่นปล่อยมลพิษอากาศที่มีปรอทเจือปนอยู่ออกมา และงานวิจัยของ da Silva et al. (2024) พบปรอทในฝุ่น PM2.5 ซึ่งมีที่มาจากการใช้สารปรอทสกัดแยกแร่ทองคำ และงานของ Pataranawat et al. (2007) พบว่าการแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมของปรอทจากการทำเหมืองแร่ทองคำในจังหวัดพิจิตรเกิดจากกลไกการแพร่กระจายทางอากาศ ส่วนโครเมียมพบในงานวิจัยของ Sirinara et al. (2024) ที่ศึกษาโลหะหนักในฝุ่น PM2.5 ในพื้นที่ 5 จังหวัดรอบกรุงเทพมหานคร โดยมีแหล่งที่มาจากอุตสาหกรรมผลิตสี การแปรรูปโลหะ การเชื่อมเหล็กกล้าปลอดสนิม และการฟอกหนัง ทั้งปรอทและโครเมียมจัดเป็นโลหะหนักอันตรายที่ทำให้เกิดความเสี่ยงโรคมะเร็งในมนุษย์ (Sirinara et al., 2024; Skalny et al., 2022)

ผลการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของมวลอากาศแบบประมวลผลย้อนกลับและจุดความร้อนในวันที่ 23 มีนาคม 2568 ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาณฝุ่น PM2.5 ในช่วงเวลากลางวันสูงที่สุด พบว่า มีจุดความร้อนหนาแน่นอยู่บริเวณ อำเภอท่าตะโก อำเภอไพศาลี และอำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์ บริเวณตอนใต้ของจังหวัดเพชรบูรณ์ และตอนเหนือของจังหวัดลพบุรี เช่นเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของมวลอากาศที่ผ่านบริเวณดังกล่าว ดังภาพที่ 4 และในวันที่ 3 เมษายน 2568 ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาณฝุ่น PM2.5 ในช่วงเวลากลางคืนสูงที่สุด จุดความร้อนค่อนข้างหนาแน่นอยู่บริเวณอำเภอท่าตะโก อำเภอไพศาลี จังหวัดนครสวรรค์ ตอนใต้ของจังหวัดเพชรบูรณ์ และกระจายอยู่ทั่วไปในจังหวัดลพบุรี ซึ่งเป็นบริเวณที่มวลอากาศเคลื่อนผ่าน ดังภาพที่ 5 การเคลื่อนที่ของมวลอากาศผ่านบริเวณที่มีจุดความร้อนหนาแน่นคล้ายคลึงกันของทั้งสองวัน ชี้ว่าปัญหาฝุ่น PM2.5 สูงในอำเภอเมืองนครสวรรค์ส่วนหนึ่งเกิดจากฝุ่นควันนอกพื้นที่ โดยเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ทางด้านทิศตะวันออกของเมือง และเป็นผลจากอิทธิพลของลมตะวันออกและลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่ส่งผลต่อประเทศไทยในช่วงฤดูแล้ง (Bran et al., 2024)



ภาพที่ 4 แผนที่แสดงจุดความร้อนและเส้นทางการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ วันที่ 23 มีนาคม 2568



ภาพที่ 5 แผนที่แสดงจุดความร้อนและเส้นทางการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ วันที่ 3 เมษายน 2568

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การแปรผันตามช่วงเวลาระหว่างวันของปริมาณฝุ่น PM2.5 ในช่วงวิกฤตหมอกควัน ในอำเภอเมืองนครสวรรค์ สอดคล้องกับกิจกรรมที่ทำให้เกิดฝุ่น PM2.5 สองกิจกรรม ได้แก่ การเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (Phairuang et al., 2024) และการใช้ยานพาหนะเดินทางในชั่วโมงเร่งด่วน (Dobson et al., 2021) ชี้ให้เห็นว่ากิจกรรมทั้งสองเป็นที่มาของฝุ่น PM2.5 สอดคล้องกับรายงานแหล่งกำเนิดฝุ่น PM2.5 ช่วงวิกฤตหมอกควันในจังหวัดเชียงใหม่ของ Ponsawansong et al. (2023) คือ การเผาชีวมวล และไอเสียจากยานพาหนะ และด้วยปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ ส่งผลให้เกิดการสะสมของฝุ่น PM2.5 จนเกิดเป็นวิกฤตหมอกควัน โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางคืนที่อุณหภูมิอากาศและความเร็วลมลดลง เสถียรภาพของบรรยากาศที่เพิ่มขึ้น เอื้อให้ฝุ่น PM2.5 ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าวสะสมในบรรยากาศจนมีปริมาณสูงกว่าค่ามาตรฐาน การจัดการปัญหาวิกฤติฝุ่น PM2.5 ในอำเภอเมืองนครสวรรค์ จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเกษตรกร ให้หลีกเลี่ยงการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เปลี่ยนเวลาเผาหากจำเป็นต้องเผามาเป็นช่วงเวลากลางวัน ติดตามสภาพอากาศอย่างใกล้ชิดเพื่อหลีกเลี่ยงการเผาในวันที่บรรยากาศมีเสถียรภาพ และประชาชนกลุ่มเสี่ยงควรงดกิจกรรมกลางแจ้งช่วงเช้าและช่วงเย็น

ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุของฝุ่น PM2.5 บ่งชี้ว่าฝุ่น PM2.5 มาจากการเผาไหม้ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการศึกษาการแปรผันตามช่วงเวลาระหว่างวัน โดยพบทั้งฝุ่น PM2.5 ที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลและการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล และฝุ่น PM2.5 จากการเผาชีวมวลที่สามารถเคลื่อนที่ไปกับกระแสอากาศได้เป็นระยะทางไกล บ่งชี้ว่าเป็นฝุ่นจากแหล่งกำเนิดนอกพื้นที่ศึกษา

ผลการศึกษาองค์ประกอบธาตุในฝุ่น PM2.5 ยังแสดงถึงความเป็นพิษที่เป็นผลจากฝุ่นที่มีรูปร่างไม่แน่นอน ทำให้มีพื้นที่ผิวมากกว่าฝุ่นรูปร่างอื่น จึงสะสมสารพิษบนพื้นผิวได้มากตามไปด้วย (Valavanidis et al., 2008; Fatima et al., 2022) และยังพบโลหะหนักที่มีอันตราย 2 ชนิดในฝุ่น PM2.5 ได้แก่ ปรอทและโครเมียม องค์การอนามัยโลกระบุว่าปรอทเป็น 1 ใน 10 สารเคมีที่จำเป็นต้องมีการเฝ้าระวังทางสาธารณสุข เนื่องจากมีความเป็นพิษสูง โดยเฉพาะกับทารกที่อยู่ในครรภ์และเด็กเล็ก (World Health Organization [WHO], 2017) รายงานการวิจัยของ Sirinara (2024) พบว่าโลหะหนัก 7 ชนิดในฝุ่น PM2.5 ในอากาศ 5 จังหวัดโดยรอบกรุงเทพมหานคร โครเมียมมีสัดส่วนสูงที่สุดในการก่อให้เกิดความเสี่ยงโรคมะเร็ง การสัมผัสกับฝุ่น PM2.5 ในอำเภอเมืองนครสวรรค์จึงมีความเสี่ยงจะเกิดอันตรายต่อสุขภาพทั้งเฉียบพลันและเรื้อรัง โดยเฉพาะกลุ่มทารกที่อยู่ในครรภ์และเด็กเล็ก

แม้ว่าการศึกษาครั้งนี้การประมวลผลด้วยแบบจำลอง HYSPLIT จะใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา GDAS ที่มีความละเอียด 1x1 องศา หรือประมาณ 100 กิโลเมตร x 100 กิโลเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่ศึกษา แต่งานวิจัยของ Su et al. (2015) แสดงให้เห็นว่าผลการคำนวณการเคลื่อนที่ของมวลอากาศแบบประมวลผลย้อนกลับด้วยแบบจำลอง HYSPLIT จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา GDAS เมื่อใช้กับพื้นที่ที่มีขนาดเล็กกว่าความละเอียด ยังให้ผลสอดคล้องกับความเป็นจริง ซึ่งผลการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของมวลอากาศแบบประมวลผลย้อนกลับและจุดความร้อน พบว่าปริมาณฝุ่น PM2.5 ในอำเภอเมืองนครสวรรค์ ยังได้รับผลกระทบจากการเผาชีวมวลในพื้นที่อื่น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่อยู่ทางทิศตะวันออกตามแนวลมตะวันออกและลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลำพัง

การจัดการปัญหาวิกฤติหมอกควันจากแหล่งกำเนิดในอำเภอเมืองนครสวรรค์จึงไม่สามารถแก้ปัญหาได้ เพราะจะยังมีฝุ่น PM2.5 จากการเผาชีวมวลในพื้นที่อื่นอีก จำเป็นต้องบูรณาการความร่วมมือกับพื้นที่อื่นควบคู่ไปด้วย เช่น การบูรณาการการวิจัยแหล่งกำเนิดฝุ่น PM2.5 เชิงพื้นที่ในเขตภาคเหนือตอนล่างและภาคกลางตอนบน เพื่อให้ทราบแหล่งกำเนิดและสัดส่วนการปล่อยฝุ่น PM2.5 ในพื้นที่ที่แน่ชัด ซึ่งจะนำไปสู่การวางแผนจัดการในระดับพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษาวิจัยฝุ่น PM2.5 ในครั้งนี้แม้ทำให้ทราบแหล่งที่มาและอันตรายของฝุ่น PM2.5 ช่วงวิกฤตหมอกควันในอำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ แต่ยังไม่ทราบสัดส่วนของฝุ่นที่มาจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ซึ่งการศึกษาสัดส่วนของฝุ่น PM2.5 จะช่วยให้การวางแผนแก้ปัญหามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การศึกษาองค์ประกอบที่เป็นสารพิษที่นอกเหนือจากโลหะหนัก เช่น สารในกลุ่ม PAHs จะทำให้ทราบอันตรายของฝุ่น PM2.5 อย่างรอบด้าน เพื่อให้ผู้เกี่ยวข้องตระหนักถึงอันตรายของฝุ่น PM2.5 เพิ่มมากขึ้น

6. สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาการแปรผันตามช่วงเวลาระหว่างวันและสัณฐานของฝุ่น PM2.5 ช่วงวิกฤตหมอกควันในอำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ สรุปได้ว่า แหล่งกำเนิดของฝุ่น PM2.5 ช่วงวิกฤติหมอกควันมาจากกิจกรรมการเผาไหม้ชีวมวลทั้งในพื้นที่และนอกพื้นที่ และการใช้ยานพาหนะโดยเฉพาะในชั่วโมงเร่งด่วน ส่วนปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยามีอิทธิพลต่อการสะสมของฝุ่น PM2.5 เนื่องจากส่งผลต่อการเกิดเสถียรภาพของบรรยากาศ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในฝุ่น PM2.5 ทำให้ทราบว่าการสัมผัสฝุ่น PM2.5 ในช่วงวิกฤตหมอกควันอาจทำให้เกิดความเสี่ยงโรคมะเร็งจากปรอทและโครเมียมได้

7. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลเป็นอย่างดีจากกรมควบคุมมลพิษ เครื่องมือเก็บตัวอย่างและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

8. เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (ม.ป.ป.). *ข้อมูลย้อนหลังรายเดือน.* Air4Thai. http://air4thai.pcd.go.th/webV3/#/History/

กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน. (ม.ป.ป.). *พื้นที่เขตเกษตรกรรมประเทศไทย*. https://webapp.ldd.go.th/lpd/agri_zone_th.php

ชื่นกมล สุทธา, จินดารัตน์ ปริโยธร, จิตลดา ภู่พิจิตร, ฐิตินันท์ อุตทะวงศ์, สรณรัชต์ กองแก้ว, ภาคภูมิ ชูมณี, สุรัตน์ บัวเลิศ, และธัญภัสสร์ ทองเย็น. (2564). การประเมินศักยภาพการเป็นแกนกลั่นตัวของฝนของฝุ่นละอองขนาดเล็กในบริเวณพื้นที่เขตเมือง กรุงเทพมหานคร. ใน พิเชษฐ อนุรักษ์อุดม (บรรณาธิการ) *การประชุมวิชาการครั้งที่ 18 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน* (หน้า 2220-2229). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป. (2569, 21 มกราคม). *ราชกิจจานุเบกษา*, 143 (ตอนพิเศษ 20 ง), 20-24.

ประเสริฐ สุเมธวานิชย์. (2567). ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศและจุดความร้อนส่งผลต่อปริมาณฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดลำปาง. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 15*(1), 53-63.

Adachi, K., Dibb, J. E., Scheuer, E., Katich, J. M., Schwarz, J. P., Perring, A. E., Mediavilla, B., Guo, H., Campuzano-Jost, P., Jimenez, J. L., Crawford, J., Soja, A. J., Oshima, N., Kajino, M., Kinase, T., Kleinman, L., Sedlacek III, A. J., Yokelson, R. J., & Buseck, P. R. (2022). Fine ash-bearing particles as a major aerosol component in biomass burning smoke, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 127*, e2021JD035657. https://doi.org/10.1029/2021JD035657

Bran, S.H., Macatangay, R., Chotamonsak, C., Chantara, S., & Surapipith, V. (2024). Understanding the seasonal dynamics of surface PM2. 5 mass distribution and source contributions over Thailand. *Atmospheric Environment, 331*, 120613. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2024. 120613

Bridhikitti, A., Kumsawat, C., Phitakpinyo, N., Sontisaka, S., Naksaro, R., Sawangproh, W., & Veeravinantanakul, A. (2024). Analyzing morphology and composition of coarse aerosol Particles in Bangkok, Thailand: Implications to sources and impacts of aged aerosols on ecosystem health and climate dynamics. *Earth System and Environment, 8*, 1371–1386. https://doi.org/10.1007/s41748-024-00515-9

Cholianawati, N., Sinatra, T., Nugroho, G.A., Agustian Permadi, D., Indrawati, A., Halimurrahman, Kallista, M., Romadhon, M.S., Ma'ruf, I.F., Yudhatama, D., Madethen, T.A.P., & Awaludin, A. (2024). Diurnal and daily variations of PM2.5 and its multiple-wavelet coherence with meteorological variables in Indonesia. *Aerosol and Air Quality Research, 24*(3), 230158. https://doi.org/10.4209/aaqr.230158

da Silva, L. F. M., Felix, C.S.A., Nascimento, M.M., de Andrade, J. B., Canela, M.C., de Almeida, C. M. S., Silveira, C.S., da Silva Carreira, R., & Gioda A. (2024). Characterization of mercury in atmospheric particulate matter in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Science Atmospheres, 4*(8), 872-878. https://doi.org/10.1039/d4ea00044g

Dobson, R., Siddiqi, K., Ferdous, T., Huque, R., Lesosky, M., Balmes, J. & Semple, S. (2021). Diurnal variability of fine-particulate pollution concentrations: Data from 14 low- and middle-income countries. *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, *25*(3), 206-215. https://doi.org/10.5588/ijtld.20.0704

Fatima, S., Mishra, S. K., Ahlawat, A., & Dimri, A. P. (2022). Physico-chemical properties and deposition potential of PM2.5 during severe smog event in Delhi, India. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(22), 15387. https://doi.org/10.3390/ijerph192215387

Girotti, C., Fernando Kowalski, L., Silva, T., Correia, E., Shimomura, A.R.P., Akira Kurokawa, F., & Lopes, A. (2025). Air pollution dynamics: The role of meteorological factors in PM10 concentration patterns across urban areas. *City and Environment Interaction, 25*, 100184. https://doi.org/10.1016/j.cacint.2024.100184

Irei, S., Kameyama, S., Shimazaki, H., Sakuma, A., & Yonemura, S. (2023). Mercury emission from prescribed open grassland burning in the Aso region, Japan. In M. A. Iqbal (Ed.), Grasslands - Conservation and Development. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.113293

Kawichai, S., Bootdee, S., Sillapapiromsuk, S., & Janta, R. (2022). Epidemiological study on health risk assessment of exposure to PM2.5-bound toxic metals in the industrial metropolitan of Rayong, Thailand. *Sustainability, 14*(22), 15368. https://doi.org/10.3390/su142215368

Meteostat. (n.d.). *The Weather's Record Keeper.* https://meteostat.net/en/

Morantes, G., González, J.C. & Rincón, G. (2021). Characterisation of particulate matter and identification of emission sources in Greater Caracas, Venezuela. *Air Quality Atmosphere and Health, 14*, 1989–2014. https://doi.org/10.1007/s11869-021-01070-2

Pataranawat, P., Parkpian, P., Polprasert, C., Delaune, R. D., & Jugsujinda, A. (2007). Mercury emission and distribution: Potential environmental risks at a small-scale gold mining operation, Phichit Province, Thailand. *Journal of Environmental Science and Health, Part A, 42*(8), 1081–1093. https://doi.org/10.1080/10934520701418573

Phairuang, W., Chetiyanukornkul, T., Suriyawong, P., Ho, S., Paluang, P., Furuuchi, M., Amin, M., & Hata, M. (2024). Daytime-nighttime variations in the concentration of PM0.1 carbonaceous particles during a biomass fire episode in Chiang Mai, Thailand. *Particuology, 87*, 316–324. https://doi.org/10.1016/j.partic.2023.09.013

Ponsawansong, P., Prapamontol, T., Rerkasem, K., Chantara, S., Tantrakarnapa, K., Kawichai, S., Li, G., Fang, C., Pan, X., & Zhang, Y. (2023). Sources of PM2.5 oxidative potential during haze and non-haze seasons in Chiang Mai, Thailand. *Aerosol Air Quality Research, 23*(10), 230030. https://doi.org/10.4209/aaqr.230030

Sangkham, S., Phairuang, W., Sherchan, S.P., Pansakun, N., Munkong, N., Sarndhong, K., Islam, M.A., & Sakunkoo, P. (2024). An update on adverse health effects from exposure to PM2.5. Environmental Advances, *18*, 100603. https://doi.org/10.1016/j.envadv.2024.100603

Sillberg, C. V., Rungratanaubon, T., Bualert, S., Choomanee, P., & Chueytawarit, O. (2021). An approach of statistical analysis and interpretation on PM2.5 concentration with meteorological factors and temperature effects in Bangkok area. *International Journal of Science and Innovative Technology, 4*(1), 50-58. https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/IJSIT/article/view/244618/166458

Sirinara, P., Chuersuwan, N., Pongkiatkul, P., Chanpiwat, P., & Jiamjarasrangsi, W. (2024). Quantifying the noncarcinogenic and carcinogenic risks resulting from the inhalation of PM2.5-bound metals: A multicity analysis and implications for public health. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 286*, 117198. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117198

Skalny, A. V., Aschner, M., Sekacheva, M. I., Santamaria, A., Barbosa, F., Ferrer, B., Aaseth, J., Paoliello, M. M., Rocha, J. B., & Tinkov, A. A. (2022). Mercury and cancer: Where are we now after two decades of research? *Food and Chemical Toxicology, 164*, 113001. https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.113001

Stein, A. F., Draxler, R. R., Rolph, G. D., Stunder, B. J. B., Cohen, M. D., Ngan, F. & Stein, A. (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

Su, L., Yuan, Z., Fung, J. C. H., & Lau, A. K. H. (2015). A comparison of HYSPLIT backward trajectories generated from two GDAS datasets. *Science of the Total Environment, 506–507*, 527–537. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.11.072

Supasri, T., Gheewala, S.H., Macatangay, R., Chakpor, A., & Sedpho, S. (2023). Association between ambient air particulate matter and human health impacts in northern Thailand. *Scientific Report, 13*, 12753. https://doi.org/10.1038/s41598-023-39930-9

Valavanidis, A., Fiotakis, K., & Vlachogianni, T. (2008). Airborne particulate matter and human health: Toxicological assessment and importance of size and composition of particles for oxidative damage and carcinogenic mechanisms. *Journal of Environmental Science and Health, Part C, 26*(4), 339–362. https://doi.org/10.1080/10590500802494538

Vongruang, P., Suppoung, K., Kirtsaeng, S., Prueksakorn, K., Thao, P.T.B., & Pimonsree, S. (2024). Development of meteorological criteria for classifying PM2.5 risk in a coastal industrial province in Thailand. *Aerosol and Air Quality Research, 24*(10), 230321. https://doi.org/10.4209/aaqr.230321

World Health Organization. (2017). *Mercury and Health*. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health

Zender-świercz, E., Galiszewska, B., Telejko, M., & Starzomska, M. (2024). The effect of temperature and humidity of air on the concentration of particulate matter - PM2.5 and PM10. *Atmospheric Research, 312*, 107733. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107733