



การวิเคราะห์ความเข้มข้นและสัณฐานของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน
บริเวณริมถนนในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

การวิเคราะห์ความเข้มข้นและสัญญาณของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน
บริเวณริมถนนในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง “การวิเคราะห์ความเข้มข้นและสัณฐานของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน
บริเวณริมถนนในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก”

ของ เบญจพร โกญจนาท

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูลีมาศ บุญไทย อีว้าย)

.....ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.กณิดา ธนเจริญชนภาส)

.....กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษฎา ภาณุมนต์วาที)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ เกตุอ้อต)

อนุมัติ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.กรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การวิเคราะห์ความเข้มข้นและสัณฐานของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณริมถนนในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก
ผู้วิจัย	เบญจพร โกญจนาท
ประธานที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.กนิตา ชนเจริญณภาส
กรรมการที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษฎา ภาณุมนต์วาทิ
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ วท.ม. ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2567
คำสำคัญ	พื้นที่ริมถนน ความเข้มข้น สัณฐานของอนุภาค ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน เมืองพิษณุโลก

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของมวล สัณฐานวิทยา และประเภทของธาตุของอนุภาคขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในพื้นที่ริมถนน 9 พื้นที่ซึ่งเป็นแหล่งชุมชนขนาดใหญ่ และการจราจรหนาแน่นภายในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก ในการศึกษาได้ทำการเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ ในรอบ 24 ชั่วโมงโดยใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง (เครื่องเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ แบบปริมาตรต่ำ) โดยใช้วิธีการกราวิเมตริก ตลอดช่วงฤดูร้อนของเดือนมีนาคมและเมษายน 2567 จากนั้นนำกระตาขกรอง $PM_{2.5}$ วิเคราะห์ประเภทของธาตุเพิ่มเติมโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแบบปล่อยประจุไฟฟ้าสมรรถนะสูง (FESEM) ผลการศึกษาบ่งชี้ว่าระดับ $PM_{2.5}$ ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ระดับ $37.5 \mu g/m^3$ ณ ถนนพญาเสือ (R5) ถนนพระองค์ดำใกล้ตลาดราชพฤกษ์ (R6) ถนนพระองค์ดำบริเวณสี่แยกบ้านแขก (R7) และถนนบรมไตรโลกนารถ (R8) โดยถนนดังกล่าวมีสถานะดัชนีคุณภาพอากาศแตกต่างกันตั้งแต่สีเหลืองไปจนถึงสีเขียวตามลำดับ อย่างไรก็ตามบริเวณถนนวังจันทน์ (R1) ถนนไชยานุภาพ (R2) ถนนบึงพระจันทร์ (R3) ถนนพุทธบูชา (R4) และถนนศรีสุริโยทัย (R9) พบค่าระดับฝุ่น $PM_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐาน โดยพื้นที่ดังกล่าวมีค่าดัชนีคุณภาพอากาศเป็นสีส้ม ที่น่าสังเกต คือ ถนนไชยานุภาพ (R2) มีระดับดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) สูงสุดที่ระดับ 201 (สีแดง) และความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ สูงสุดที่ระดับ $78.76 \pm 12.15 \mu g/m^3$ จากนั้นจึงดำเนินการวิเคราะห์แหล่งกำเนิด โดยการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ $PM_{2.5}$ โดยใช้เครื่อง FESEM เพื่อตรวจรูปร่างและชนิดของธาตุต่าง ๆ พบว่าอนุภาคมีสัณฐานวิทยาหลัก 4 ประเภท ได้แก่ อนุภาคจับตัวเป็นก้อน อนุภาคแท่งยาว อนุภาคทรงกลม และอนุภาคไม่สม่ำเสมอ ผลการศึกษาองค์ประกอบของธาตุของอนุภาคโดย EDS พบธาตุหลักที่สำคัญ ได้แก่ คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ซิลิกอน (Si) โพแทสเซียม (K) ซัลเฟอร์ (S) โซเดียม (Na) เหล็ก (Fe) ตะกั่ว (Pb) และแคลเซียม (Ca) จากการศึกษาลักษณะสัณฐาน

และองค์ประกอบของธาตุสามารถสันนิษฐานได้ว่าแหล่งกำเนิดของฝุ่น $PM_{2.5}$ เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากยานพาหนะ การเผาไหม้ชีวภาพที่พัฒนามาในพื้นที่ รวมทั้งฝุ่นดินที่เกิดการฟุ้งกระจาย นอกจากนั้นข้อมูลภาพการกระจายเชิงพื้นที่ของอนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนพบว่าพื้นที่ถนนไฮยานุภาพ (R2) เป็นพื้นที่ที่ควรได้รับการเฝ้าระวังและบริหารจัดการคุณภาพอากาศอย่างเร่งด่วนเป็นอันดับแรก เพื่อสุขภาพอนามัยที่ดีของประชาชนในพื้นที่เมืองพิษณุโลกต่อไป



Title ANALYSIS OF CONCENTRATIONS AND MORPHOLOGY OF ROADSIDE PARTICULATE MATTER LESS THAN 2.5 MICRON IN PHITSANULOK MUNICIPALITY

Author Benjaporn Konjanat

Advisor Associate Professor Kanita Thanacharoenchanaphas, Ph.D.

Co-Advisor Assistant Professor Gitsada Panumonwatee, Ph.D.

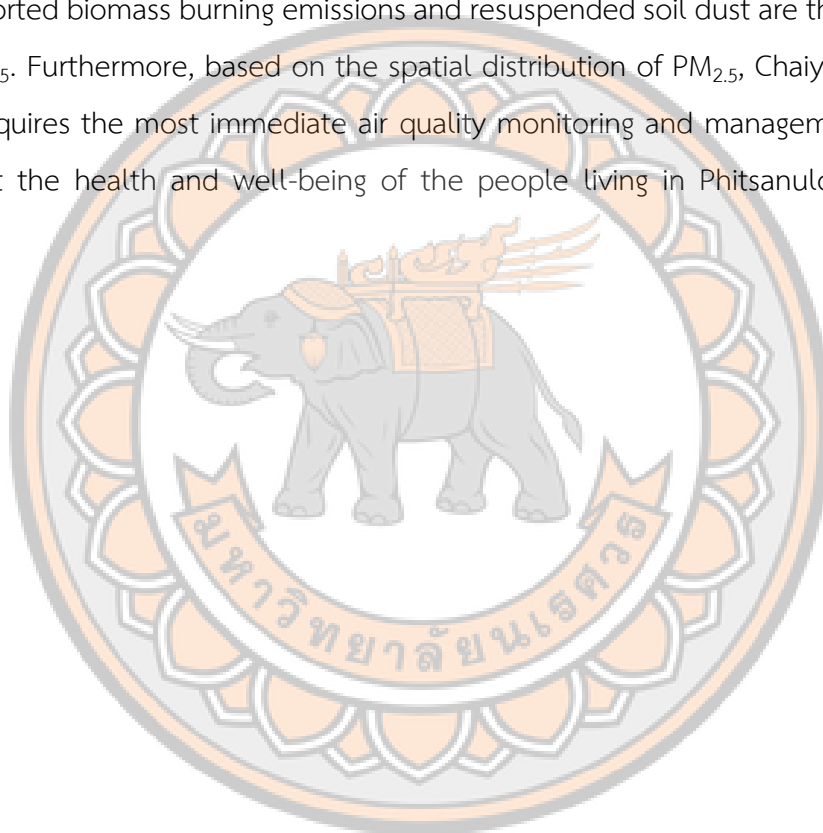
Academic Paper M.S. Thesis in Natural Resources and Environment, Naresuan University, 2024

Keywords Roadside, Concentration, Morphology, Particulate matter less than 2.5 micron (PM_{2.5}), Phitsanulok municipality

ABSTRACT

The objectives of this research aims to investigate the mass concentration, morphology and types of elements of particulate matter less than 2.5 micron (PM_{2.5}) in nine roadside locations with large community and heavy traffic within Phitsanulok Municipality. In this study, PM_{2.5} samples were collected over a 24-hour period using a continuous sampler (low volume PM_{2.5} sampler) and the gravimetric method. The samples were taken throughout the summer months of March and April of 2024. PM_{2.5} filters were also utilized for further examined of the types of elements by using a high-performance field emission scanning electron microscope (FESEM), The findings indicate that PM_{2.5} levels were below the safety threshold of 37.5 micrograms per cubic meter (µg/m³) on Phayasuea Road (R5), Phra Ong Dam Road near Ratchapruet Market (R6), Phra Ong Dam Road at Ban Khaek crossroads (R7), and Baromtrilokanart (R8) In these locations, the AQI conditions varied from yellow to green, correspondingly. However, on Wangchan Road (R1), Chaiya Nuphap Road (R2), Bueng Phrachan Road (R3), Phutthabucha Road (R4), and Si Suriyothai Road (R9), PM_{2.5} levels were higher than the same standard. In these areas, the AQI conditions were orange. Remarkably, Chaiya Nuphap Road (R2) had the highest AQI level of 201 (red) and the highest average PM_{2.5} concentration of $78.76 \pm 12.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Then, analysis of the sources of PM_{2.5} was

conducted by examining the morphology of the particle with a FESEM to identify its shape and elemental types. The particle was found to have four main morphological kinds of the particle: flocculate, long rod-shaped, spherical, and irregular. The study's findings on the particles' elemental composition were as follows: Carbon (C), oxygen (O), silicon (Si), potassium (K), sulfur (S), sodium (Na), iron (Fe), lead (Pb), and calcium (Ca) were the main elemental compositions revealed by EDS. According to this analysis of morphology and elemental content, emissions from vehicle fuel combustion, transported biomass burning emissions and resuspended soil dust are the main sources of PM_{2.5}. Furthermore, based on the spatial distribution of PM_{2.5}, Chaiya Nuphap Road (R2) requires the most immediate air quality monitoring and management in order to protect the health and well-being of the people living in Phitsanulok municipality.



ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร.กนิดา ธารเจริญชนภาส ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ท่านได้สละเวลาอันมีค่ามาเป็นທີ່ปรึกษา พร้อมทั้งให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษฎา ภาณุมนต์วาที ที่ท่านกรุณามาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมพร้อมทั้งให้คำปรึกษา แนะนำ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.สุลีมาศ บุญไทย อิวาย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ เกตุอ็อต กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า

ขอขอบคุณนิสิตปริญญาตรี สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ช่วยดำเนินการเก็บตัวอย่างเพื่อเป็นข้อมูลการศึกษาวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัยที่ทำให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านอย่างดียิ่งเสมอมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทีตา แต่บิดา มารดา ครู อาจารย์ ทุกท่านที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัย จนกระทั่งทำให้ งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

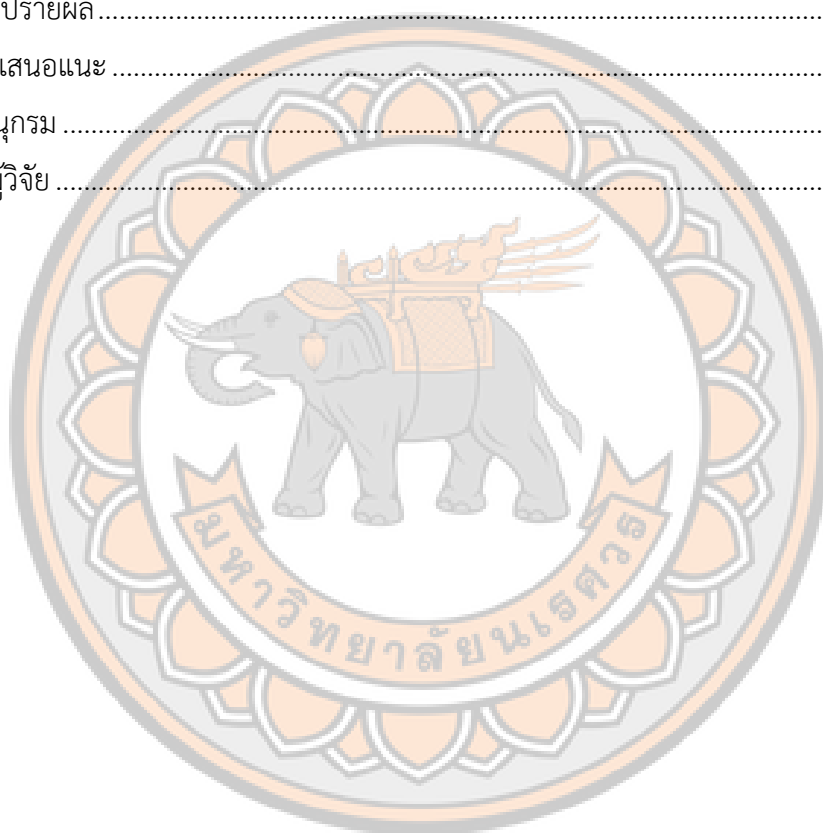
เบญจพร โกญจนาท

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ซ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาของปัญหา	1
จุดมุ่งหมายของการวิจัย	3
ความสำคัญของการวิจัย	3
ขอบเขตการวิจัย	3
นิยามศัพท์เฉพาะ	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
ฝุ่นละออง (Particular Matter, PM)	6
ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5})	7
กระบวนการกำเนิดและแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในอากาศ	8
ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5})	11
ความเป็นพิษของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5})	14
สถานการณ์และปัญหาของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5}) ระดับทั่วโลก	15
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	40
วิธีการดำเนินการวิจัย	40
พื้นที่การศึกษา และระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง	40
การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5})	42
การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5})	44
การศึกษาองค์ประกอบของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5})	45
ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา	46
การประมาณค่าเชิงพื้นที่	47

การวิเคราะห์ทางสถิติ	48
บทที่ 4 ผลการวิจัย	49
ผลการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5})	
ทั้ง 9 พื้นที่	49
ผลการศึกษาสถานการณ์วิทยา และองค์ประกอบทางเคมี	57
บทที่ 5 บทสรุป	66
สรุปผลการวิจัย	66
อภิปรายผล	67
ข้อเสนอแนะ	76
บรรณานุกรม	77
ประวัติผู้วิจัย	87



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 พื้นที่ศึกษา 9 พื้นที่บริเวณริมถนนและรูปแบบกิจกรรม.....	4
ตาราง 2 แสดงความแตกต่างระหว่างฝุ่นขนาดใหญ่และฝุ่นละอองขนาดเล็กตามแหล่งกำเนิดและ แหล่งที่มาของฝุ่นละออง	11
ตาราง 3 แสดงการเปรียบเทียบค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5}) ขององค์การอนามัยโลก (WHO) และกรมควบคุมมลพิษ	13
ตาราง 4 แสดงการเทียบค่าสีความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศสำหรับคำนวณดัชนีคุณภาพ อากาศ.....	13
ตาราง 5 แสดงแถบสีและความหมายของคุณภาพอากาศ	14
ตาราง 6 แสดงข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM ₁₀ และ PM _{2.5} ทั้ง 3 พื้นที่	21
ตาราง 7 แสดงพื้นที่และจุดพิกัดในการศึกษา.....	40
ตาราง 8 แสดงปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5}) บริเวณพื้นที่ ริมถนน 9 พื้นที่.....	50
ตาราง 9 แสดงปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5}) และค่า เปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศ บริเวณพื้นที่ริมถนน 9 พื้นที่.....	52
ตาราง 10 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5}) และองค์ประกอบของธาตุ ในพื้นที่ศึกษา 9 พื้นที่.....	61
ตาราง 11 แสดงการเปรียบเทียบกิจกรรมแต่ละพื้นที่ บริเวณพื้นที่ริมถนน 9 พื้นที่.....	70

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 แสดงขนาดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5}) และ ไม่เกิน 10 ไมครอน (PM ₁₀).....	7
ภาพ 2 แสดงวัฏจักรการเกิดฝุ่น	9
ภาพ 3 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคเขม่า (soot aggregates)	22
ภาพ 4 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคเขม่า (เปียกก่อน) (wet soot aggregates: fluffy).....	23
ภาพ 5 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคเขม่า รวมตัวกันแบบก้อนกลม (soot aggregates).....	23
ภาพ 6 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคเขม่า รวมตัวกันแบบก้อนกลม (Coal fly ash)	24
ภาพ 7 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคฝุ่นแร่ (Mineral matter) รูปร่างไม่แน่นอน (Irregular).....	24
ภาพ 8 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคฝุ่นแร่ (Mineral matter) รูปร่างแบบแท่งยาว (Elongated particle).....	25
ภาพ 9 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคชีวภาพ (Biological particle).....	25
ภาพ 10 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคชีวภาพ (Biological particle)	26
ภาพ 11 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคละเอียดมาก (Ultrafine particles; UF)	26
ภาพ 12 แสดงอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminosilicate).....	27
ภาพ 13 แสดงอนุภาคซิลิคอน (Silicon-rich particles).....	28
ภาพ 14 แสดงอนุภาคคลอรีน (Chlorine-rich particles).....	29
ภาพ 15 แสดงอนุภาคของฝุ่นดินที่แขวนลอย (Soil-resuspended dust).....	29
ภาพ 16 แสดงอนุภาคของกลุ่มก้อนคาร์บอน (Carbonaceous particle clusters).....	30
ภาพ 17 แสดงลักษณะสัณฐาน 1) อนุภาคเรียงเป็นแนว (Columnar particle) 2) อนุภาคคล้าย ทรงกลม (Similar-circular particles) 3) อนุภาคทรงกลม (Circular particles) 4) อนุภาคไม่สม่ำเสมอ (Irregular particles) 5) อนุภาคคล้ายลูกโซ่และเรียงเป็นแนว (The chain-like aggregates of columnar particle and circular particles) 6) อนุภาคกลุ่มก้อน (Flocculent aggregates) 7) อนุภาคคล้ายโฟม (Foam-like residual).....	32
ภาพ 18 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคฝุ่น PM _{2.5} ในตัวอย่างอ้อย	35
ภาพ 19 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคฝุ่น PM _{2.5} ในตัวอย่างข้าว	35
ภาพ 20 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคฝุ่น PM _{2.5} ในตัวอย่างข้าวโพด.....	36
ภาพ 21 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคฝุ่น PM _{2.5} พื้นที่ในเมือง	36

ภาพ 22 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ พื้นที่กิ่งเมือง	37
ภาพ 23 แสดงพื้นที่การศึกษาทั้ง 9 พื้นที่.....	42
ภาพ 24 แสดงเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ยี่ห้อ Tisch Environmental รุ่น TE-WILBUR Low Volume $PM_{2.5}$ and PM_{10} FRM Sampler	43
ภาพ 25 แสดงแท่นติดตัวอย่าง (Stub) ขนาด 1 เซนติเมตร.....	44
ภาพ 26 แสดงการวางตัวอย่างบนแท่นติดตัวอย่าง (Stub).....	44
ภาพ 27 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM)	45
ภาพ 28 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กโดยเทคนิค Energy Dispersive X-ray Spectrometry (EDS).....	46
ภาพ 29 แสดงข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และปริมาณน้ำฝน ในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก ช่วงระหว่างวันที่ 21 มีนาคม – 6 พฤษภาคม 2567	54
ภาพ 30 แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ณ พื้นที่ศึกษา 9 พื้นที่ ช่วงระหว่างวันที่ 21 มีนาคม ถึง 6 พฤษภาคม 2567	56
ภาพ 31 แสดงปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ช่วงระยะเวลา 24 ชั่วโมง ณ พื้นที่ศึกษา 9 พื้นที่ (ค่าที่แสดงบนแท่งกราฟ ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)	57

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

มลพิษทางอากาศนับเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมอันดับต้น ๆ ของหลายประเทศทั่วโลก โดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency: EPA) ได้กำหนดมลสารทางอากาศ 6 ชนิดให้เป็นมลพิษที่สำคัญ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตามและตรวจสอบคุณภาพอากาศ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon dioxide: CO₂) โอโซน (Ozone: O₃) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen dioxide: NO₂) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide: SO₂) และฝุ่นละออง (Particle matter: PM) (EPA, 2023)

องค์การอนามัยโลก (WHO) ประเมินว่า 9 ใน 10 คนทั่วโลก มีโอกาสได้รับการสัมผัสอากาศที่มีมลพิษระดับสูง จึงส่งผลให้มีอัตราการเจ็บป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคหอบหืดแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง โรคภูมิแพ้ โรคหัวใจและหลอดเลือด และโรคมะเร็งปอด นอกจากนี้ยังพบว่า มีอัตราการเสียชีวิตด้วยสาเหตุจากมลสารในบรรยากาศสูงถึง 7 ล้านคนต่อปี ในจำนวน 7 ล้านคนดังกล่าวนี้เป็นผู้เสียชีวิตในวัยเด็กถึง 660,000 คน (Wu et al., 2021; World Health Organization, 2021) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างมลสารในบรรยากาศทั้ง 6 ชนิด ดังกล่าวพบว่าประชาชนทั่วไป มีความเสี่ยงต่อการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) และมีผลกระทบต่อสุขภาพในระดับสูงและรุนแรงอย่างมีนัยสำคัญ หากประเมินการเสียชีวิตด้วยสาเหตุจาก PM_{2.5} แล้วพบว่า 64% เกิดจากการสัมผัส PM_{2.5} ในพื้นที่ทั่วไปภายนอกอาคาร และ 36% เกิดจากการสัมผัสกับ PM_{2.5} ภายในอาคารบ้านเรือนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบ้านเรือนที่มีการใช้เชื้อเพลิงแข็ง (solid fuels) และเมื่อประเมินเป็นค่าใช้จ่ายในการรักษาผู้ป่วยจากสาเหตุนี้พบว่า ในปี ค.ศ. 2019 มีค่าใช้จ่ายสูงถึง 6.1 % ของผลิตภัณฑ์มวลรวมระดับโลก (GDP) (World Bank Group, 2021)

เขตเมืองเป็นพื้นที่หนึ่งพบว่ามีการก่อมลพิษจากการปล่อยมลสารประเภท PM_{2.5} ในปริมาณความเข้มข้นสูงโดยมีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากยานพาหนะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อการเจริญเติบโตของประชากรและการใช้ยานพาหนะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีอัตราการปล่อย PM_{2.5} จากพาหนะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย Knibbs et al. (2011) จากการรายงานคุณภาพอากาศโลก พ.ศ.2565 ระบุว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ลดลงในเขตทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาบริบทในประเทศไทยพบว่า ยังเป็นพื้นที่ที่มีระดับมลพิษค่อนข้างสูง โดยมีเมืองที่ติดอันดับมลพิษมากที่สุดถึง 7 จังหวัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรุงเทพมหานครเป็นเมืองที่มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) เฉลี่ยรายปีสูงอันดับ 5 ในภูมิภาคเอเชีย

ตะวันออกเฉียงใต้ (IQAir, 2022) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นการยืนยันได้ชัดเจนว่า การจราจรเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษ $PM_{2.5}$ ที่สำคัญที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน (Jinsart et al., 2002)

พิจารณาปัญหามลพิษจากสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในประเทศไทย พบว่า การขยายตัวทางเศรษฐกิจมีส่วนทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะมลพิษทางอากาศ จากข้อมูลสถิติสถานการณ์สุขภาพของคนไทย 10 ปีย้อนหลัง พ.ศ. 2553-2562 พบว่า มีแนวโน้มของการเสียชีวิตจากโรคมะเร็งปอดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกภาคของประเทศไทย อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่พบว่า ภาคเหนือมีอัตราการเสียชีวิตสูงกว่าพื้นที่อื่นของประเทศ (สถาบันวิจัยประชากรและสังคม, 2566 และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ, 2564) ดังนั้น จึงมีการดำเนินงานติดตามตรวจสอบระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ อย่างต่อเนื่อง รวมทั้งการวิจัยสัณฐานและองค์ประกอบของ $PM_{2.5}$ ร่วมกันเพื่อนำไปสู่การประเมินชนิดและแหล่งกำเนิดที่แม่นยำมากขึ้น

เมื่อพิจารณาปัญหาดังกล่าวพบว่า จังหวัดพิษณุโลกมีความเสี่ยงสูงที่จะเผชิญกับปัญหานี้เนื่องจากเป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ในเขตภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย จึงเป็นศูนย์กลางทางเศรษฐกิจตามแนวขับเคลื่อนยุทธศาสตร์ระเบียงเศรษฐกิจตะวันออก-ตะวันตก (Western Economic Corridor: WEC) และระเบียงเศรษฐกิจเหนือ-ใต้ (North-South Economic Corridor: NSE) (แผนพัฒนาจังหวัดพิษณุโลก พ.ศ. 2566-2570, 2565) ทำให้มีการขยายตัวเมืองอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีการจราจรหนาแน่น โดยประชากรในจังหวัดพิษณุโลกมีประมาณ 841,377 คน มีประชากรที่อาศัยหนาแน่นอยู่บริเวณอำเภอเมือง จำนวน 280,291 คน คิดเป็นร้อยละ 33.31 (สำนักบริหารการทะเบียนกรมการปกครอง, 2565) รวมทั้งจากผลการติดตามระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในเขตจังหวัดพิษณุโลก โดยกรมควบคุมมลพิษตั้งแต่ พ.ศ. 2564 – 2566 พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี พบว่า ระดับความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ มีระดับสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศประเทศไทยในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ของทุกปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2567) อย่างไรก็ตามการติดตามข้อมูลดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัดเพียง 1 จุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่จังหวัด ยังไม่สามารถระบุแหล่งกำเนิดของพื้นที่โดยละเอียดได้ ดังนั้นการศึกษาในพื้นที่เขตเทศบาลเมืองซึ่งมีแหล่งกำเนิดหลักจากยานพาหนะ กิจกรรมของชุมชน ร้านอาหาร ร้านค้า และกิจกรรมเบ็ดเตล็ดจะสามารถระบุถึงแหล่งกำเนิดมลพิษที่ชัดเจนได้ยิ่งขึ้น อีกทั้งการศึกษาลักษณะสัณฐานของ $PM_{2.5}$ ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ทำให้ทราบถึงชนิดของฝุ่น $PM_{2.5}$ และเชื่อมโยงไปยังแหล่งกำเนิดได้อย่างแม่นยำนั้น ยังมีจำนวนงานวิจัยน้อย นอกจากนี้การศึกษาทั้งปริมาณและสัณฐานของฝุ่น $PM_{2.5}$ นอกจากจะทำให้ทราบถึงพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงแตกต่างกัน และทำให้สันนิษฐานถึงแหล่งกำเนิดได้อย่างมีศักยภาพ

ดังนั้นงานวิจัยเพื่อวิเคราะห์ทั้งระดับความเข้มข้นและสัณฐานของ $PM_{2.5}$ ในเขตจังหวัดพิษณุโลกจะเป็นประโยชน์เพื่อทราบถึงแหล่งกำเนิดที่มาของฝุ่น $PM_{2.5}$ อีกทั้งใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางอากาศได้อย่างตรงประเด็น ผลการศึกษาจะนำไปสู่เป้าหมายในการลดผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในแต่ละพื้นที่บริเวณเขตจังหวัดพิษณุโลก รวมทั้งองค์ประกอบโครงสร้างท้องถิ่น ภาครัฐด้านสิ่งแวดล้อม สามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางในการกำกับ ดูแล ติดตาม และตรวจสอบคุณภาพอากาศ เพื่อเฝ้าระวังและบริหารจัดการคุณภาพอากาศให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) บริเวณริมถนนเขตในเมืองจังหวัดพิษณุโลก
2. เพื่อศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) บริเวณริมถนนในพื้นที่เขตเมืองจังหวัดพิษณุโลก
3. เพื่อแสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) บริเวณพื้นที่ริมถนนในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก ทั้ง 9 พื้นที่

ความสำคัญของการวิจัย

เพื่อประโยชน์ในการคาดการณ์แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในพื้นที่ เพื่อนำไปสู่การป้องกันต่อไป

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีพื้นที่การศึกษาระดับความเข้มข้นและลักษณะสัณฐานวิทยาของฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ด้วยวิธีกราวิเมตริก (Gravimetric method) บริเวณบนท้องถนนในพื้นที่ในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก โดยมีขอบเขตงานวิจัยดังนี้

1. พื้นที่การวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ศึกษาบริเวณพื้นที่เขตเทศบาลนครพิษณุโลก จำนวน 9 พื้นที่ (ตาราง 1)

ตาราง 1 พื้นที่ศึกษา 9 พื้นที่บริเวณริมถนนและรูปแบบกิจกรรม

พื้นที่	รูปแบบกิจกรรม
1. ถนนวังจันทร์	(บริเวณหน้าวิทยาลัยอาชีวศึกษาพิษณุโลก) มีการจราจรหนาแน่นในช่วงเวลาเช้า-เย็น อีกทั้งบริเวณดังกล่าวมีสถานศึกษา สถานที่ราชการ และสวนสาธารณะ
2. ถนนไชนาภาพ	(บริเวณถนนเส้นทางหลักที่มีการสัญจร) มีการจราจรหนาแน่นในช่วงเวลาเช้า-เย็น และมีร้านอาหาร ร้านปิ้งย่างในพื้นที่
3. ถนนสามแยกบึงพระจันทร์	(บริเวณสามแยกบึงพระจันทร์) มีการสัญจรของยานพาหนะตลอดทั้งวัน
4. ถนนพุทธบูชา	(บริเวณหน้าวัดพระศรีรัตนมหาธาตุวรมหาวิหาร) สถานที่ท่องเที่ยวสำคัญของจังหวัดพิษณุโลก ทำให้มีนักท่องเที่ยวและผู้ใช้ยานพาหนะจำนวนมาก โดยเฉพาะในช่วงวันเสาร์-อาทิตย์
5. ถนนพญาเสือ	(บริเวณหน้าวัดอรุณฤๅณ) เป็นแหล่งชุมชน แหล่งการค้า ทำให้มีการใช้พาหนะสัญจรตลอดทั้งวัน
6. ถนนพระองค์ดำ	(บริเวณตลาดราชพฤกษ์) มีการจราจร และมีร้านค้าขายอาหารในช่วงเย็น
7. ถนนพระองค์ดำ	(บริเวณสี่แยกบ้านแขก) บริเวณเส้นทางหลักมุ่งเข้าสู่ใจกลางเมืองพิษณุโลก
8. ถนนบรมไตรโลกนาถ	(บริเวณตลาดกิตติกร) บริเวณที่มีแหล่งการค้าที่สำคัญ (ตลาดเช้า-เย็น) ทำให้มีการจราจรของยานพาหนะหนาแน่นตลอดทั้งวัน
9. ถนนศรีสุริโยทัย	(บริเวณคลังน้ำมันพิษณุโลก) บริเวณที่มีการจราจรทั้งรถยนต์และรถไฟ รวมทั้งการขนส่งน้ำมัน

2. พารามิเตอร์ที่กำหนดในการศึกษา

2.1 ระดับความเข้มข้น

การวิจัยครั้งนี้มีการศึกษาระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ด้วยวิธีกราวิเมตริก (Gravimetric method) บริเวณบนท้องถนนในพื้นที่เขตเทศบาลนครพิษณุโลก

2.2 สัณฐานวิทยาและชนิดขององค์ประกอบ

การศึกษาลักษณะพื้นฐานของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) โดยการสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) และศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบ Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS)

2.3 ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา

เลือกพารามิเตอร์ด้านเหตุการณ์ทางอุตุนิยมวิทยา โดยทำการรวบรวมข้อมูลจาก Air4Thai (กรมควบคุมมลพิษ, 2567) ดังนี้

2.3.1 ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน และรายชั่วโมง จำนวน 24 ชั่วโมง

2.3.2 ความชื้นสัมพัทธ์

2.3.3 ความกดอากาศ

2.3.4 ปริมาณน้ำฝน

3. จำนวนการเก็บตัวอย่างและระยะเวลา

ในการวิจัยทำการเก็บตัวอย่าง 9 พื้นที่ โดยเก็บตัวอย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง จำนวน 3 ซ้ำ เป็นระยะเวลา 2 เดือน ในช่วงเดือน เมษายน ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2567

4. สถิติที่ใช้ในการประเมินผล

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณฝุ่น PM_{2.5} ระหว่าง 9 พื้นที่ โดยเลือกใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี F-test เพื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยวิเคราะห์แบบ One Way ANOVA โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel Version Excel for Microsoft 365

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) หมายถึง ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอนลงมา
2. ถนนสายหลัก หมายถึง เส้นทางสายหลักในพื้นที่เขตเทศบาลนครพิษณุโลก โดยมีการเชื่อมโยงกันระหว่างถนนสายหลักกับพื้นที่ต่าง ๆ และเชื่อมต่อระหว่างแยกต่าง ๆ (สามแยก สี่แยก และห้าแยก) ในเขตพื้นที่เทศบาลนครพิษณุโลก
3. ถนนสายรอง หมายถึง เส้นทางที่เชื่อมโยงกับถนนสายหลัก ที่สามารถเชื่อมโยงออกไปสู่พื้นที่ย่อย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฝุ่นละออง (Particular Matter, PM)

ฝุ่นละออง คือ อนุภาคของแข็งและละอองของเหลวที่กระจายหรือแขวนลอยในอากาศ อนุภาคบางชนิดมีขนาดใหญ่หรือสีดำนสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น ฝุ่น ดิน เหม่า หรือควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่สามารถตรวจพบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนได้เท่านั้น (EPA, 2023)

ประเภทของฝุ่นละออง สามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. ฝุ่นขนาดใหญ่ (Grit) มีลักษณะเป็นของแข็ง ลอยอยู่ในอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 500 ไมครอน
2. ฝุ่น (Dust) มีลักษณะอนุภาคเป็นของแข็งขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.25 – 500 ไมครอน
3. ละออง (Mist) อนุภาคมีลักษณะเป็นของเหลว ที่เกิดจากการควบแน่นของไอน้ำหรือก๊าซ เมื่อมีความเข้มข้นของละอองไอน้ำสูงจนลดลงสามารถมองเห็นได้ เรียกว่า หมอก (Fog)
4. ควัน (Smoke) อนุภาคคาร์บอนรวมตัวกับอนุภาคของของเหลวที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.0 ไมครอน
5. ไอควัน (Fume) มีลักษณะเป็นของแข็งที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน มักเกิดจากการควบแน่นของไอจากปฏิกิริยาทางเคมี
6. ละอองลอย (Aerosol) อนุภาคของของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยในบรรยากาศ เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1.0 ไมครอน
7. หมอกควัน (Smog) ลักษณะของละอองของของแข็งหรือของเหลว ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง
8. ไอเสีย (Exhaust) เกิดจากอนุภาคที่เกิดการกลั่นตัวหรือปฏิกิริยาเคมี
9. ขี้เถ้าหรือขี้เถ้าลอยที่ปลิวมาจากไอเสียรถ (Fly ash) คือ เชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งฝุ่นขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน ที่มาจากไอเสียรถยนต์ทำปฏิกิริยาระหว่างก๊าซชนิดต่าง ๆ เช่น ควันไฟ พายุฝุ่น ฝุ่นจากอุตสาหกรรม เกิดการกระจายแสง ทำให้ท้องฟ้าขมุกขมัว (วินัย มีแสง, 2558)

ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5})

ถึงแม้ว่าอนุภาคแขวนลอยในบรรยากาศหรือฝุ่นละอองมีหลายขนาด อย่างไรก็ตามในปัจจุบันทั่วโลกให้ความสำคัญต่อผลกระทบจากฝุ่นละอองขนาดเล็กหรือเล็กมาก ๆ โดยมีขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน และใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพอากาศที่สำคัญในหลายประเทศ (IQair, 2023)

ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) หรือที่เรียกว่า PM_{2.5} คือ อนุภาคแขวนลอยในอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามหลักพลศาสตร์ไม่เกิน 2.5 ไมครอน (WHO, 2021)

โดย

PM ย่อมาจาก “Particulate Matter” เรียกอีกอย่างว่า “Particle Pollution”

โดย **Particulate Matter** (ฝุ่นละออง) หรือ Particle (อนุภาค) คือ ส่วนผสมของอนุภาคของแข็ง (solid particles) และหยดของเหลว/ละอองของเหลว (liquid droplets) ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ

ตัวเลข 2.5 แสดงถึง ขนาดของฝุ่นละอองหรืออนุภาค ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตามหลักพลศาสตร์ไม่เกิน 2.5 ไมครอน (μm)

PM_{2.5} มีขนาดเล็กกว่าเส้นผมของมนุษย์ 30 เท่า (ปกติเส้นผมมนุษย์มีขนาด 50 – 70 ไมครอน) แต่สามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเท่านั้น (EPA: Particulate Matter Pollution, 2023) (ภาพ 1)



ภาพ 1 แสดงขนาดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) และ ไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀)

ที่มา: EPA, 2023

ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน เกิดจากการเผาไหม้จากยานพาหนะ การเผาไหม้วัสดุจากการเกษตร ไฟป่า รวมทั้งกระบวนการจากอุตสาหกรรม โดยอนุภาคของฝุ่นละอองสามารถเข้าไปถึงถุงลมปอด ส่งผลกระทบให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ และโรคปอดได้ หากได้รับในปริมาณมากและสะสมในเนื้อเยื่อปอดเป็นระยะเวลานาน จะทำให้การทำงานของปอดเสื่อมประสิทธิภาพลง ทำให้หลอดลมอักเสบ มีอาการหอบหืดได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2566) โดยองค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ได้กำหนดเกณฑ์คุณภาพอากาศฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (Air Quality Guidelines: AQGs) ($PM_{2.5}$) ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่ระดับไม่เกิน $15 \mu g/m^3$ และค่าเฉลี่ยรายปี ไม่เกิน $5 \mu g/m^3$ (World Health Organization, 2021) สำหรับประเทศไทยกำหนดโดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ได้ปรับเกณฑ์ค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในบรรยากาศทั่วไป ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน $37.5 \mu g/m^3$ และค่าเฉลี่ยรายปี ไม่เกิน $15 \mu g/m^3$ โดยมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2566 เป็นต้นไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2566)

กระบวนการกำเนิดและแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในอากาศ

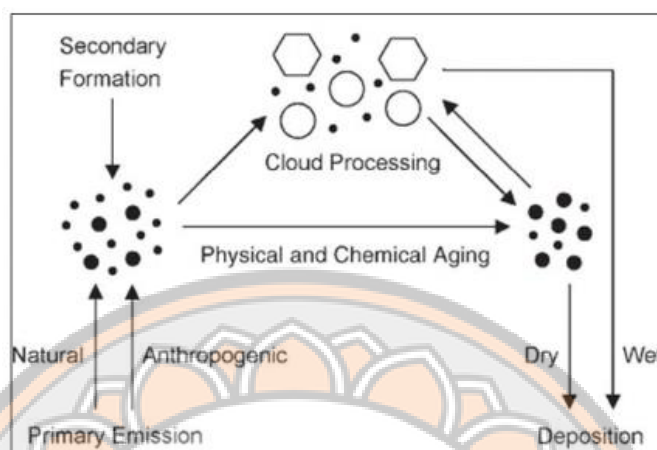
1. แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ

1.1 ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ (Man-made Particle) แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมมนุษย์มีหลายประเภท เช่น กระบวนการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ เตาเผาจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากโรงไฟฟ้า ฝุ่นดินฟุ้งกระจายจากการจราจรบนถนน ไอเสียจากรถยนต์ที่ปล่อยเขม่าควันดำ การเผาขยะมูลฝอย

1.2 ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural Particle) แหล่งกำเนิดที่เกิดตามกระบวนการธรรมชาติ ไม่มีการกระทำของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง เช่น การเกิดภูเขาไฟระเบิด ก๊าซมีพิษในธรรมชาติ ไฟป่า การเกิดได้จากกระแสลมที่พัดตามธรรมชาติ การฟุ้งกระจายทำให้เกิดฝุ่นต่าง ๆ ดิน ทราย ละอองน้ำ เขม่าควันจากไฟป่า (ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์ และคณะ, 2549) (วินัย มีแสง, 2558)

ฝุ่นละอองสามารถแบ่งตามลักษณะการเกิดเป็น 2 ลักษณะ คือ 1. ฝุ่นละอองปฐมภูมิ (Primary particle) คือ ฝุ่นละอองที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง เช่น ฝุ่นจากถนนที่เกิดจากกระแสลมที่พัดพา การเผาไหม้เชื้อเพลิง ไฟป่า ควันจากโรงงาน 2. ฝุ่นละอองทุติยภูมิ (Secondary particle) คือ ฝุ่นละอองที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีในบรรยากาศ เช่น การทำปฏิกิริยากับของเหลว หรืออนุภาคชนิดอื่น ๆ หลังจากฝุ่นที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิด ทำให้เกิดเป็นฝุ่นทุติยภูมิมีลักษณะและคุณสมบัติแตกต่างไปจากเดิม ซึ่งฝุ่นละอองปฐมภูมิและฝุ่นละอองทุติยภูมิเมื่อการเปลี่ยนรูปในบรรยากาศทำให้โครงสร้าง ขนาด และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง

เปลี่ยนไปจากเดิม และจะตกลงสู่พื้นหรือถูกชะลงมาด้วยฝน (Deposition) (ดังภาพ 2) (Poschl, 2005)



ภาพ 2 แสดงวัฏจักรการเกิดฝุ่น

ที่มา: Poschl, 2005

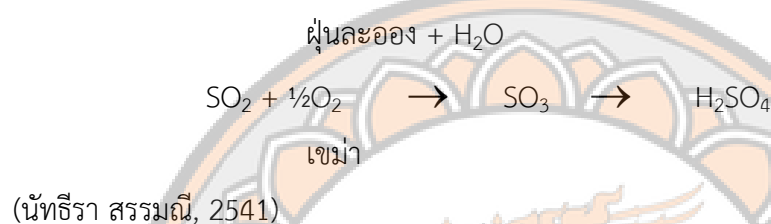
2. ขนาดและประเภทของฝุ่นละออง

อนุภาคของฝุ่นละอองมีความหลากหลายทั้งด้านกายภาพและองค์ประกอบทางเคมี โดยมีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน ไปจนถึงขนาด 0.2 ไมครอน โดยฝุ่นละอองในอากาศขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) สามารถแขวนลอยในอากาศได้นาน เป็นเวลาหลายวันหรือหลายสัปดาห์ โดยองค์ประกอบหลักประกอบด้วย ซัลเฟตไอออน (SO_4) ไนเตรตไอออน (NO_3) แอมโมเนียไอออน (NH_4) ธาตุคาร์บอน (Element carbon: EC) คาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbon: OC) และโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม นิกเกิล ทองแดง สังกะสี เป็นต้น) (กรมควบคุมมลพิษ, 2566)

3. องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง

องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองนอกจากเกิดขึ้น ณ แหล่งกำเนิดโดยตรงเป็นมลสารอนุภาคขั้นที่ 1 (Primary particles) ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศส่วนหนึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีเกิดเป็นมลสารอนุภาคขั้นที่ 2 (Secondary particles) เช่น ผ่านการทำปฏิกิริยาเคมีของ Sulfur dioxide (SO_2) Nitrogen oxides (NO_x) และอนุภาคอินทรีย์หลายชนิด ซึ่งมลสารในบรรยากาศที่ส่งผลต่อการกำเนิดฝุ่นละอองในบรรยากาศ อาทิเช่น

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ที่ปรากฏในชั้นบรรยากาศนั้นมาจากแหล่งกำเนิดทางธรรมชาติ ที่เกิดขึ้นจากการระเบิดของภูเขาไฟ ละอองเกลือจากน้ำทะเล ซึ่งการเพิ่มปริมาณซัลเฟตในชั้นบรรยากาศจากธรรมชาตินั้นมีเพียงขึ้นครึ่งหนึ่งของปริมาณ SO₂ ทั้งหมดในชั้นบรรยากาศ แต่การแพร่กระจายของ SO₂ ส่วนมากเกิดจากการกระทำของมนุษย์ จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ เมื่อเผาไหม้ SO₂ จะเกิดการปล่อยซัลเฟอร์กลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศในลักษณะฝุ่น ทำให้ซัลเฟอร์ทำปฏิกิริยากับความชื้นในชั้นบรรยากาศ เกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคซัลเฟตและตกลงมาเป็นกรดซัลฟูริก (H₂SO₄) (ฝนกรด) ดังปฏิกิริยา



ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ โดยจากธรรมชาติ เกิดจากฟ้าแลบ ไฟป่า กระบวนการภูเขาไฟระเบิด กระบวนการของจุลินทรีย์ในดิน และ NO_x ที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์จากการปล่อยควันพิษจากยานยนต์และการเผาไหม้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์จากโรงไฟฟ้า

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นสารมลพิษที่แพร่กระจายมากที่สุดในชั้นบรรยากาศ โดยคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น สามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติ โดยกระบวนการทางชีวภาพ และกระบวนการออกซิเดชัน แต่ส่วนมากเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ คือ ยานยนต์ที่ใช้ น้ำมันปิโตรเลียมเป็นเชื้อเพลิง และแหล่งกำเนิด CO ที่เกิดจากมนุษย์แหล่งอื่น ๆ เช่น การเผาป่า การเผาถ่าน การออกซิเดชันของสารไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น

ตะกั่ว (Pb) เป็นมลสารที่มีแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติมักมาจากฝุ่นที่พัดพามากับลมและภูเขาไฟระเบิด แต่ส่วนใหญ่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ คือ การจราจรบนท้องถนน การหลอมและถลุงตะกั่ว การเผาไหม้ถ่านหิน การเผาขยะ หรือการผลิตแบตเตอรี่และสายไฟ (งามจิตต์ ไชยวุฒิ และคณะ, 2544)

ตาราง 2 แสดงความแตกต่างระหว่างฝุ่นขนาดใหญ่และฝุ่นละอองขนาดเล็กตามแหล่งกำเนิดและแหล่งที่มาของฝุ่นละออง

	ฝุ่นขนาดใหญ่	ฝุ่นขนาดเล็ก
แหล่งที่มา	- การฟุ้งของฝุ่นดินบนถนน - การฟุ้งของดินที่เกิดจากการทำเหมืองแร่ การรื้อถนน การสร้างถนน - การเผาไหม้ของถ่านหินและน้ำมัน	- การเผาไหม้ถ่านหิน น้ำมัน เศษไม้ - กระบวนการใช้ความร้อนสูง จากเตาหลอม โรงบดเหล็ก - การเปลี่ยนสภาพของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ในบรรยากาศ
กระบวนการ	- การแขวนลอยของฝุ่นผง - การถูกพัด กระแทก - การระเหยของแก๊ส	- กระบวนการทางเคมี/การกลายเป็นไอ - การระเหยของหมอก และหยดน้ำ - Nucleation, Condensation และ Coagulation
องค์ประกอบหลัก	- ฝุ่นฟุ้งกระจาย - ไขมันที่หลุดจากถ่านหินและน้ำมัน - ฝุ่นที่เกิดจากยางรถยนต์ - ออกไซด์ของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกโลก	- ซัลเฟต (SO_4^{2-}) - ไนเตรต (NO_3^-) - แอมโมเนียม (NH_4^+) - ธาตุคาร์บอน - คาร์บอนอินทรีย์ (PAHs) - โลหะหนัก (Pb, Cd, Ni, V, Cu, Zn)

ที่มา: กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค, 2558

ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($\text{PM}_{2.5}$)

$\text{PM}_{2.5}$ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จากการได้รับสัมผัสทั้งระยะสั้นและระยะยาว มีหลักฐานจำนวนมากที่เชื่อมโยงถึงพิษภัยของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ และผลกระทบต่ออัตราการตายก่อนวัยอันควร และการเจ็บป่วย โดยข้อมูลการศึกษาด้านระบาดวิทยา แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการได้รับสัมผัสฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ กับการตาย (Mortality) ได้แก่ การตายเนื่องจากสาเหตุทั้งหมด (All-cause mortality) โรคหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular (CVD) mortality) และมะเร็งปอด (Lung cancer mortality) นอกจากนี้พบความสัมพันธ์ระหว่างการได้รับสัมผัส $\text{PM}_{2.5}$ ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว กับการเจ็บป่วย (Morbidity) ได้แก่ การเจ็บป่วยด้วยโรคหัวใจและหลอดเลือด (CVD morbidity) และโรคระบบทางเดินหายใจ (Respiratory Morbidity) (กรมควบคุมมลพิษ, 2566)

World Health Organization (2021) ระบุว่าความเสี่ยงต่อฝุ่น PM_{2.5} ที่มีต่อสุขภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น แหล่งกำเนิด ปริมาณที่สะสมในบรรยากาศ องค์ประกอบทางเคมี โอกาสในการเปิดรับและสัมผัส สุขภาพของร่างกาย อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยจำนวนมากระบุว่าองค์ประกอบของฝุ่นละอองที่แตกต่างกันส่งผลต่อระดับความเสี่ยงของสุขภาพที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงมีค่ามาตรฐานที่แนะนำสำหรับความปลอดภัยต่อสุขภาพดังนี้

มาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) มีการกำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ได้กำหนดเกณฑ์คุณภาพอากาศฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (Air Quality Guidelines: AQGs) (PM_{2.5}) ปี พ.ศ. 2564 โดยกำหนดค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 15 µg/m³ และค่ามาตรฐานเฉลี่ยรายปี ไม่เกิน 5 µg/m³ (WHO, 2021) สำหรับประเทศไทยได้ประกาศใช้มาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ตามประกาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ได้ปรับเกณฑ์ค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ในบรรยากาศทั่วไปให้มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับสถานการณ์ที่เปลี่ยนไปตามความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี และการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ โดยกำหนดค่ามาตรฐานเฉลี่ยในเวลา 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 37.5 µg/m³ และค่ามาตรฐานเฉลี่ยรายปี ไม่เกิน 15 µg/m³ โดยมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ.2566 เป็นต้นไป (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2565) (ตาราง 3)

1. ดัชนีคุณภาพอากาศ

ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index : AQI) เป็นการรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไป ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย แบ่งเป็น 5 ระดับ คือ ตั้งแต่ 0 ถึง 201 ขึ้นไป ซึ่งแต่ละระดับจะใช้สีเป็นสัญลักษณ์เพื่อเปรียบเทียบระดับของผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย (ตาราง 4)

การคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศรายวันของสารมลพิษทางอากาศ

คำนวณจากค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศจากข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยมีระดับของค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่ระดับต่าง ๆ การคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศภายในช่วงระดับ เป็นสมการเส้นตรง ดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2566)

$$I = \frac{I_j - I_i}{X_j - X_i} (X - X_i) + I_i \quad \text{-----1}$$

I = ค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศ

X = ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศจากการตรวจวัด

X_i, X_j = ค่าต่ำสุด, สูงสุด ของช่วงความเข้มข้นสารมลพิษที่มีค่า X

li, lj = ค่าต่ำสุด, สูงสุด ของช่วงดัชนีคุณภาพอากาศที่ตรงกับช่วงความเข้มข้น X

จากค่าดัชนีย่อย ที่คำนวณได้ สารมลพิษทางอากาศประเภทใดมีค่าดัชนีสูงสุด จะใช้เป็นดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ณ ช่วงเวลานั้น

ตาราง 3 แสดงการเปรียบเทียบค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ขององค์การอนามัยโลก (WHO) และกรมควบคุมมลพิษ

ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)	องค์การอนามัยโลก (World Health Organization)	กรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department)
ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	37.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
ค่าเฉลี่ยรายปี	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ตาราง 4 แสดงการเทียบค่าสีความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศสำหรับคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศ

ดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI)	ความเข้มข้นสารมลพิษ					
	$PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	O_3 (ppb)	NO_2 (ppb)	SO_2 (ppb)
	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง		ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมง		ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง	
0 – 25	0 – 15.0	0 – 50	0 – 4.4	0 – 35	0 – 60	0 – 100
26 – 50	15.1 – 25.0	51 – 80	4.5 – 6.4	36 – 50	61 – 106	101 – 200
51 – 100	25.1 – 37.5	81 – 120	6.5 – 9.0	51 – 70	107 – 170	201 – 300
101 – 200	37.6 – 75.0	121 – 180	9.1 – 30.0	71 – 120	171 – 340	301 – 400
201 ขึ้นไป	75.1 ขึ้นไป	181 ขึ้นไป	30.1 ขึ้นไป	121 ขึ้นไป	314 ขึ้นไป	401 ขึ้นไป

ที่มา: ประกาศกรมควบคุมมลพิษ, 2566

ตาราง 5 แสดงแถบสีและความหมายของคุณภาพอากาศ

แถบสี	ความหมายคุณภาพอากาศ	คำอธิบาย
ฟ้า	ดีมาก	คุณภาพอากาศดีมาก เหมาะสำหรับกิจกรรมกลางแจ้งและท่องเที่ยว
เขียว	ดี	คุณภาพอากาศดี สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งและการท่องเที่ยวได้ตามปกติ
เหลือง	ปานกลาง	ประชาชนทั่วไป: สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งได้ตามปกติ ผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพเป็นพิเศษ : หากมีอาการเบื้องต้น เช่น ไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองตา ควรลดระยะเวลาการทำกิจกรรมกลางแจ้ง
ส้ม	เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ	ทำกิจกรรมกลางแจ้ง หรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมีความจำเป็น ที่ต้องดูแลสุขภาพเป็นพิเศษ : ควรลดระยะเวลาการทำกิจกรรมกลางแจ้ง หรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมีความจำเป็น ถ้ามีอาการทางสุขภาพ เช่น ไอ หายใจลำบาก ตาอักเสบ ปวดศีรษะ หัวใจเต้นผิดปกติ อ่อนเพลีย ควรปรึกษาแพทย์
แดง	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	ทุกคนควรหลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้ง หลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศสูง หรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมีความจำเป็น หากมีอาการทางสุขภาพควรปรึกษาแพทย์

ที่มา: ประกาศกรมควบคุมมลพิษ, 2566

ความเป็นพิษของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5})

ปัจจุบันปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) เป็นปัญหาสำคัญทั่วโลก โดยองค์การอนามัยโลกเปิดเผยว่า ผู้คนทั่วโลก 9 ใน 10 มีโอกาสสัมผัสอากาศที่มีมลพิษสูง และทุกปีพบว่ามีประชากรประมาณ 7 ล้านคนเสียชีวิตก่อนวัยอันควร เนื่องจากได้รับมลพิษทางอากาศ (Wu et al., 2022; World Health Organization, 2022) ซึ่งส่งผลกระทบต่อให้เกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคระบบทางเดินหายใจ โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคสมองเสื่อม โรคหลอดเลือดสมองตีบ)

มลพิษทางอากาศที่เราหายใจเข้าไป ไม่เพียงส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจเท่านั้น ยังสามารถซึมผ่านเข้าสู่เส้นเลือด รวมถึงเข้าสู่เส้นประสาทการรับกลิ่นที่โพรงจมูก และผ่านเข้าไปสู่สมองโดยตรง ซึ่งส่งผลให้เกิดการอักเสบในสมอง มีการหลั่งสารอักเสบชนิดต่าง ๆ ทำให้เซลล์สมองได้รับบาดเจ็บ เกิดภาวะสมองเสื่อมเร็วกว่าปกติ Chen et al. (2015)

- โรคหอบหืด

เกิดจากฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เคลื่อนที่ไปยังหลอดลมส่วนปลาย กระตุ้นการอักเสบของหลอดลม คนที่เป็นหอบหืดจึงมีอาการกำเริบรุนแรงขึ้น จากงานวิจัยพบว่าการได้รับสัมผัสมลพิษทางอากาศ ($PM_{2.5}$) ในระยะยาวในวัยเด็ก มีความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดโรคหอบหืดในวัยเด็กจนถึงอายุ 12 ปี โดยวัยทารกและเด็ก มีความเสี่ยงมากที่สุดที่จะได้รับผลกระทบจากมลพิษทางอากาศ เนื่องจากระบบภูมิคุ้มกันและระบบทางเดินหายใจยังไม่สมบูรณ์ Bowatte et al. (2015)

- โรคหลอดเลือดในสมอง

- โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง

เป็นโรคที่เกิดจากการอุดกั้นของหลอดลม ที่ไม่มีการขยายตัวคืนของหลอดลม ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการอักเสบเรื้อรังของหลอดลม (กนก พิพัฒน์เวช และศิริพร อุปจักร, 2564) และการทำลายเนื้อเยื่อปอดเกิดจากการสัมผัสหรือสูดดมอากาศที่เป็นพิษในระยะเวลาอันยาวนาน รวมถึงการสัมผัสกับมลพิษทางอากาศในวัยเด็ก วัยทารก หรือแม้แต่ในครรภ์ จะส่งผลให้เกิดการภาวะความผิดปกติทางพยาธิสรีรวิทยาตั้งแต่อยู่ในครรภ์และส่งผลให้เกิดความผิดปกติภายหลังในวัยผู้ใหญ่อีกด้วย Wu et al. (2022)

- โรคซิลิโคสิส (Silicosis)

เกิดจากการที่ร่างกายได้รับฝุ่นหินทราย เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจและปอดทีละเล็กละน้อย เป็นระยะเวลานาน ทำให้เกิดการสะสมจนแสดงอาการหายใจติดขัด หอบ ชวนการหายใจสั้น จนมีอาการไอ และเจ็บหน้าอก ส่งผลให้หัวใจทำงานหนักจนถึงอาจเสียชีวิตภายในระยะเวลา 5 - 10 ปี (กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข, 2558)

- โรคมะเร็งปอด

- โรคหัวใจขาดเลือด

- โรคติดเชื้อเฉียบพลันระบบหายใจส่วนล่าง

สถานการณ์และปัญหาของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ระดับทั่วโลก

สถานการณ์คุณภาพอากาศทั่วโลก พบว่า ปัญหามลพิษทางอากาศเป็นภัยคุกคามด้านสุขภาพสิ่งแวดล้อม ส่งผลกระทบรุนแรงต่อประชากรทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาฝุ่นละอองขนาดไม่เกินไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) จาก 131 ประเทศและภูมิภาคทั่วโลก พบว่า 90% หรือ 118 ประเทศทั่วโลก มีคุณภาพอากาศเกินเกณฑ์มาตรฐาน ตามคำแนะนำคุณภาพอากาศล่าสุดขององค์การอนามัยโลก (WHO) ($5 \mu g/m^3$) โดยประเทศที่มีมลพิษมากที่สุด 5 อันดับแรก ปี พ.ศ. 2565 ได้แก่ ชาติ อิรัก ปากีสถาน บาร์เรน และบังคลาเทศ (IQAir, 2022)

สถานการณ์คุณภาพอากาศในทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ปี ค.ศ. 2023 พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) เพิ่มขึ้น 8 ประเทศ จากทั้งหมด 9 ประเทศ เมื่อเทียบกับปี ค.ศ. 2022 ซึ่งมีเพียงประเทศฟิลิปปินส์ เพียงประเทศเดียวที่มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ลดลง และประเทศอินโดนีเซียเป็นประเทศที่มีมลพิษมากที่สุดในทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (อันดับ 14 ของโลก) ซึ่งปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในทวีปนี้ ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม การผลิตกระแสไฟฟ้า การปล่อยมลพิษจากยานพาหนะ การเผาในที่โล่ง รวมถึงปัญหาหมอกควันไฟป่าข้ามแดน ส่วนประเทศออสเตรเลียเป็นประเทศที่มีคุณภาพอากาศดีที่สุดในทวีปนี้ (IQAir, 2023)

สำหรับประเทศไทยสถานการณ์คุณภาพอากาศ ปี พ.ศ. 2556 – พ.ศ. 2566 พบว่ามีแนวโน้มรุนแรงขึ้นโดยปี พ.ศ. 2566 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 56 จังหวัดทั่วประเทศ (87 สถานี) พบว่า ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ค่าเฉลี่ยรายปีทั้งประเทศ เท่ากับ 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2565 (ค่าเฉลี่ยรายปีทั้งประเทศ เท่ากับ 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) เพิ่มขึ้นจากจากปี พ.ศ.2565 ถึง 30% โดยจังหวัดที่มีปัญหาคุณภาพอากาศมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ พิจิตร โลก กรุงเทพฯ สุโขทัย น่าน และมุกดาหาร ซึ่งปัญหาหลักที่ส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศเกิดจากสภาพอุตุนิยมวิทยา ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากภาคการเกษตรกรรมที่มีการเผาในที่โล่งในพื้นที่การเกษตร ภาคคมนาคมมีปริมาณการใช้น้ำมันมากขึ้น รวมถึงปัญหาหมอกควันข้ามแดน (กรมควบคุมมลพิษ, 2567) สถานการณ์หมอกควันในภาคเหนือ ยังคงมีผลกระทบอย่างต่อเนื่องในช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายนของทุกปี ซึ่งปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อปัญหาสุขภาพอนามัยของประชาชนในพื้นที่ รวมถึงจังหวัดพิจิตร โลกปี พ.ศ. 2567 มีการประกาศช่วงวันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2567 ห้ามมิให้มีการเผาใด ๆ ทั้งสิ้น ในพื้นที่จังหวัดพิจิตร โลก เนื่องจากผลกระทบและความรุนแรงของไฟป่าและฝุ่นละอองจากการเผา (สำนักงานจังหวัดพิจิตร โลก, 2567) โดยเฉพาะในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน ของทุกปีคุณภาพอากาศจังหวัดพิจิตร โลกอยู่ในเกณฑ์ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนในพื้นที่

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน

หลายประเทศทั่วโลกได้ประสบปัญหาของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) จึงได้มีงานวิจัยในหลายพื้นที่ ทั้งในพื้นที่เขตเมือง และพื้นที่ริมถนน โดย

ภักวิวัฒน์ ทองแสง (2560) ศึกษาความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ในพื้นที่เมืองและพื้นที่อุตสาหกรรมของเมืองนครราชสีมา โดยเก็บตัวอย่างพื้นที่ละ 1 จุดเก็บตัวอย่างละ 41 ตัวอย่าง ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5})

ในพื้นที่เมือง เฉลี่ยเท่ากับ $29.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และพื้นที่เมือง เฉลี่ยเท่ากับ $34.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Paired t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าพื้นที่อุตสาหกรรมมีค่ามากกว่าพื้นที่เมืองนครราชสีมา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งพบว่า มีสาเหตุมาจากพื้นที่อุตสาหกรรมมีแหล่งกำเนิดมลพิษฝุ่นมาจากกระบวนการผลิตและการขนส่งสินค้าและผลิตภัณฑ์ในภาคอุตสาหกรรมเป็นหลัก ส่วนพื้นที่เมือง มีสาเหตุมาจากแหล่งกำเนิดมลพิษ จากการคมนาคมเป็นหลัก เมื่อวิเคราะห์ปริมาณ Black Carbon พบว่า พื้นที่เมืองมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงกว่าพื้นที่อุตสาหกรรม อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากพื้นที่เมืองมีกิจกรรมการเผาไหม้ที่เป็นสาเหตุของการเกิด Black Carbon เช่น การเผาเศษวัชพืชและต้นไม้ การเผาเชื้อเพลิงแข็ง การเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ และเมื่อตรวจวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของ $\text{PM}_{2.5}$ ทั้ง 2 พื้นที่ พบว่า พื้นที่เมือง แอนไอออน (SO_4^{2-} NO_3^- และ Cl^-) 17.28% แคทไอออน (Na^+ Ca^{2+} NH_4^+ และ K^+) 12.68% Black Carbon 2.17% และธาตุอื่น ๆ 1.65% พื้นที่อุตสาหกรรม แอนไอออน (SO_4^{2-} NO_3^- และ Cl^-) 16.00% แคทไอออน (Na^+ Ca^{2+} NH_4^+ และ K^+) 12.00% ธาตุอื่น ๆ 1.81% และ Black Carbon 1.51% เมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุในองค์ประกอบของ $\text{PM}_{2.5}$ พบว่า พื้นที่เมืองและพื้นที่อุตสาหกรรม มีปริมาณ Mg มากที่สุด เท่ากับ 131.80 และ $140.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ และพบว่า Ag Al Cd Fe Mn Ni Tl V และ Zn ในพื้นที่อุตสาหกรรมมากกว่าพื้นที่เมือง คาดการณ์ได้ว่ามาจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนอะไหล่รถยนต์ จักรยานยนต์ และอิเล็กทรอนิกส์ที่มีมากในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม

Makkonen et al. (2023) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและแหล่งที่มาของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($\text{PM}_{2.5}$) ในเมืองฮานอย ประเทศเวียดนาม โดยศึกษาพื้นที่เมืองทั่วไปและพื้นที่ริมถนนที่มีการจราจร โดยเก็บตัวอย่างจำนวน 220 ตัวอย่าง ในช่วงเดือนสิงหาคม ค.ศ. 2019 ถึง เดือนกรกฎาคม ค.ศ. 2020 พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($\text{PM}_{2.5}$) พื้นที่ริมถนน เท่ากับ $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และพื้นที่เมืองทั่วไป เท่ากับ $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งเกินค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($\text{PM}_{2.5}$) กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) ไม่ควรมีค่าเกิน $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ใน 24 ชั่วโมง และในปี ค.ศ. 2021 ไม่ควรเกิน $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ใน 24 ชั่วโมง ในช่วงฤดูหนาว พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($\text{PM}_{2.5}$) มีค่าเฉลี่ยสูง เนื่องจากกระแสนมิ่ง ซึ่ง 1 ใน 3 ของส่วนประกอบของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($\text{PM}_{2.5}$) เป็นฝุ่นทุติยภูมิ (secondary inorganic aerosols) โดยส่วนมากพบซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นองค์ประกอบ สามารถบ่งชี้ได้ว่าแหล่งกำเนิดมลพิษหลักมาจากการเผาไหม้ถ่านหิน พบปริมาณธาตุคาร์บอน (Elemental carbon; EC) มากที่สุดบริเวณพื้นที่ริมถนนที่มีการจราจร ยกเว้น ช่วงเดือนเมษายน ค.ศ. 2020 เนื่องจากสถานการณ์โควิด-19 เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุพบว่า Zn เป็นธาตุที่พบมากที่สุด และทั้ง 2 พื้นที่ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และพบองค์ประกอบของธาตุ Cd Cl และ Pb ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากภาคอุตสาหกรรม (Industrial sources) และการเผาไหม้

ของถ่านหิน (Coal combustion) ซึ่งแหล่งกำเนิดที่สำคัญมาจากการเผาไหม้ขยะมูลฝอย การเผาไหม้ชีวมวล โดยการเผาขยะมูลฝอย และการเผาชีวมวลในพื้นที่โล่ง ถือเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษหลักที่ทำให้ปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เมืองของกรุงเทพมหานครมีปริมาณสูงกว่าพื้นที่อุตสาหกรรม จากการศึกษาได้ใช้แบบจำลอง Positive Matrix Factorization (PMF) มาช่วยในการวิเคราะห์สัดส่วนของแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมของปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ พบว่า ฝุ่นทุติยภูมิ (secondary inorganic aerosols) จากภาคการขนส่งทางไกล 25% แหล่งกำเนิดมลพิษจากการทำกิจกรรมในพื้นที่ 18% การเผาไหม้ชีวมวล 19% ฝุ่น (dust) 17% และภาคอุตสาหกรรม 9% จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นข้อมูลสำคัญในการพัฒนาและเพิ่มมาตรการในการลดมลพิษทางอากาศ เพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศในกรุงเทพมหานครต่อไป

สุพรรณิการ์ ชาเหลา และคณะ (2563) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเพื่อระบุแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในพื้นที่เขตอำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี โดยเก็บตัวอย่างบริเวณหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีและบริเวณสวนสาธารณะทุ่งศรีเมือง ในช่วงวันที่ 18 กุมภาพันธ์ ถึง 17 เมษายน พ.ศ. 2562 พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) บริเวณหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี เท่ากับ 0.037 - 0.061 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m^3) ส่วนบริเวณสวนสาธารณะทุ่งศรีเมือง เท่ากับ 0.001 - 0.028 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m^3) ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศโดยทั่วไปตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนดไว้ 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m^3) สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบของคาร์บอน ประกอบด้วยอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon: OC) และธาตุคาร์บอน (Element carbon : EC) พบว่า บริเวณหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอน (OC) อยู่ในช่วง 27.387 - 47.519 $\mu g/m^3$ ความเข้มข้นของธาตุคาร์บอน (EC) อยู่ในช่วง 5.053 - 9.496 $\mu g/m^3$ และอัตราส่วนระหว่าง OC/EC อยู่ในช่วง 4.650 - 6.007 ส่วนบริเวณสวนสาธารณะทุ่งศรีเมือง ความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอน (OC) อยู่ในช่วง 12.874 - 36.113 $\mu g/m^3$ ความเข้มข้นของธาตุคาร์บอน (EC) อยู่ในช่วง 1.333 - 5.678 $\mu g/m^3$

จากการศึกษาทั้งสองพื้นที่พบว่า อัตราส่วนของ OC/EC สูงทั้งสองพื้นที่ แสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดของฝุ่น $PM_{2.5}$ มาจากท่อไอเสียพาหนะ และการเผาไหม้ชีวมวล รวมไปถึงการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากกิจกรรมในช่วงฤดูร้อน มีการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร และการเผาขยะในชุมชน ส่วนการวิเคราะห์ไอออน 6 ชนิด ประกอบด้วย NH_4^+ K^+ Mg^{2+} NO_3^- SO_4^{2-} และ Cl^- พบว่า SO_4^{2-} และ NO_3^- มีค่าสูง เนื่องจากพื้นที่ตรวจวัดล้อมรอบด้วยถนนทั้ง 4 ทิศ และมีสถานศึกษาอยู่บริเวณนั้นทั้ง 2 แห่ง ทำให้มีการจราจรหนาแน่น ส่งผลให้เกิดกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) ของ SO_2 เปลี่ยนรูปเป็น SO_4^{2-}

จากปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ได้มีงานวิจัยที่ศึกษาในพื้นที่เขตเมืองที่มีการจราจรอย่างหนาแน่น โดย Nuchdang (2023) ศึกษาองค์ประกอบโลหะหนักและแหล่งกำเนิดมลพิษของฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดเล็ก 10 ไมครอน (PM_{10}) ในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี โดยเก็บตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 ถึง 14 สิงหาคม พ.ศ.2564 พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) อยู่ในช่วง $0.39 - 174.26 \mu g/m^3$ ส่วนปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก 10 ไมครอน (PM_{10}) อยู่ในช่วง $12.75 - 242.02 \mu g/m^3$ ซึ่งในฤดูฝนปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ $61.96 \mu g/m^3$ พบว่า มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของประเทศ (NAAQS) เมื่อมีการศึกษาองค์ประกอบของอนุภาคโดยใช้เทคนิค (Particle-induced X-ray emission: PIXE) พบว่า Fe K Cr และ Ca เป็นองค์ประกอบที่พบในฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดเล็ก 10 ไมครอน (PM_{10}) และมีการวิเคราะห์ความเข้มข้นองค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดเล็ก 10 ไมครอน (PM_{10}) โดยใช้การวิเคราะห์ Principal component analysis (PCA) และการวิเคราะห์แบบกลุ่ม Cluster analysis (CA) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักด้วย PCA พบว่า แหล่งกำเนิดมลพิษหลักของฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) แบ่งออกเป็น 4 แหล่งกำเนิด คือ ฝุ่นดิน (Soil dust) และการเผาไหม้ชีวมวล (Biomass burning) 32% ฝุ่นกระจายจากถนน (Road dust) และการปล่อยมลพิษจากภาคอุตสาหกรรม (Industrial emission) 25% ฝุ่นจากยานพาหนะ (Vehicle) และภาคอุตสาหกรรม (Industrial) 10% และฝุ่นดิน (Soil dust) 9% สำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็ก 10 ไมครอน (PM_{10}) พบว่าแหล่งกำเนิดมลพิษหลัก แบ่งออกเป็น 3 แหล่งกำเนิด ได้แก่ ฝุ่นกระจายจากถนน (Road dust) และการปล่อยมลพิษจากภาคอุตสาหกรรม (Industrial emission) 36% ฝุ่นผลึก (Crustal) และการเผาไหม้ชีวมวล (Biomass burning) 30% และการปล่อยมลพิษจากภาคอุตสาหกรรม (Industrial emission) 10% ฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ด้วยขนาดของอนุภาคมีขนาดเล็กมาก ทำให้สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง ปอด และถุงลมปอด ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนผู้ที่ได้รับสัมผัส จึงมีงานวิจัยเพื่อศึกษาความเป็นพิษของฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) โดย Nawahda (2013) ศึกษาผลกระทบจากการลดความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร โดยเฉพาะวัยผู้สูงอายุ ในประเทศญี่ปุ่น เก็บข้อมูลช่วงปี ค.ศ. 2006 - 2009 โดยมีการเก็บข้อมูลคุณภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 1843 แห่งทั่วประเทศพบว่า ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Premature mortality-relative risk) เท่ากับ 1.04 จะเห็น

ได้ว่าปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ เท่ากับ $10 \mu g/m^3$ ที่มีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานรายปีขององค์การอนามัยโลก $10 \mu g/m^3$ จะมีคุณภาพอากาศที่ดีขึ้นในช่วงระยะเวลาที่ศึกษาจะช่วยลดจำนวนผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควร โดยเฉพาะในกลุ่มเสี่ยง (ผู้สูงอายุ) จากข้อมูลการศึกษาที่น่าเชื่อถือได้ว่า หากลดระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ลดลงเหลือ $10 \mu g/m^3$ จะช่วยลดจำนวนผู้เสียชีวิตลงได้ 3,602 ราย ในจำนวนนี้ผู้ที่มีอายุมากกว่า 75 ปี คิดเป็นจำนวนร้อยละ 77 จากการศึกษาสรุปได้ว่า คุณภาพอากาศที่ดีขึ้น สามารถช่วยลดจำนวนผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรได้โดยเฉพาะในกลุ่มเสี่ยง (ผู้สูงอายุ)

Jiménez et al. (2009) ศึกษาผลกระทบระยะสั้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ต่อการเสียชีวิตรายวันของกลุ่มผู้สูงอายุมากกว่า 75 ปี ในกรุงมาดริด ประเทศสเปน โดยพิจารณาสาเหตุการเสียชีวิต ดังต่อไปนี้ 1. ทุกสาเหตุยกเว้นอุบัติเหตุ 2. โรกระบบไหลเวียนโลหิต 3. โรกระบบทางเดินหายใจ พบว่า มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) รายวัน และการเสียชีวิตจากทุกสาเหตุ พบว่า มีค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative Risks) ของการเสียชีวิตจากทุกสาเหตุเท่ากับ 1.057 (1.025–1.088) โรกระบบโลหิต 1.088 (1.041–1.135) และโรกระบบหายใจ 1.122 (1.056–1.189) โดยสามารถเห็นผลกระทบในระยะเวลานี้ (1-2 วัน) จากผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ส่งผลกระทบต่อการเสียชีวิตรายวันของกลุ่มผู้สูงอายุมากกว่า 75 ปี กรุงมาดริด ประเทศสเปน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดและควบคุมความเข้มข้นของฝุ่น โดยเฉพาะลดการใช้ยานพาหนะที่ปล่อยมลพิษ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญที่ทำให้เกิดมลพิษในกรุงมาดริด

Martinez et al. (2018) มีการศึกษาผลกระทบด้านสุขภาพและด้านทางเศรษฐกิจจากนโยบายการควบคุมมลพิษทางอากาศในกรุงสโกเปีย เมืองหลวงของสาธารณรัฐมาซิโดเนีย พบว่า ปี ค.ศ.2012 ได้รับผลกระทบระยะยาวจากการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ($49.2 \mu g/m^3$) ส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรจำนวน 1,199 ราย (CI 95% 821–1,519) ซึ่งคิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจ 570 - 1,470 ล้านยูโร ซึ่งอาจคาดการณ์ได้ว่าผู้ป่วยเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคหลอดเลือดหัวใจจำนวน 547 ราย และโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจจำนวน 937 ราย ถ้าสามารถลดระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ลงได้เท่ากับมาตรฐานสหภาพยุโรป (ค่ามาตรฐานไม่เกิน $25 \mu g/m^3$) จะลดอัตราผู้เสียชีวิตจากการสัมผัสฝุ่น $PM_{2.5}$ ลงได้ 45% และถ้าสามารถลดระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ได้เท่ากับค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization) (ค่ามาตรฐานไม่เกิน $10 \mu g/m^3$) จะสามารถลดอัตราผู้เสียชีวิตจากฝุ่น $PM_{2.5}$ ได้ 77% นอกจากมาตรการทั้งสองจะช่วยลดจำนวนผู้ป่วยเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลสาเหตุจากโรคหลอดเลือดหัวใจและโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจได้อีกด้วย จากการศึกษาสรุปได้ว่า มลพิษทางอากาศส่งผล

กระทบอย่างมากต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและเศรษฐกิจของประเทศอย่างมหาศาล ดังนั้นจึงต้องมีมาตรการลดมลพิษทางอากาศเพื่อสุขภาพที่ดีของประชาชนและเศรษฐกิจของประเทศ

การศึกษาสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคแขวนลอยเป็นประเด็นการศึกษาที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากผลการศึกษานำไปสู่การประเมินแหล่งกำเนิดและชนิดของอนุภาคได้อย่างแม่นยำ และนำไปสู่การจัดการปัญหาได้ตรงประเด็น ดังนั้นจึงมีการวิจัยในประเด็นดังกล่าวอย่างแพร่หลาย แม้กระทั่งหลายประเทศในเอเชีย อาทิเช่น กลุ่มนักวิจัยในประเทศจีน โดย Shi et al. (2003) ได้ทำการศึกษาลักษณะสัณฐานของอนุภาคฝุ่นละอองขนาด PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ 3 ประเภท คือ เขตเมือง (ปักกิ่ง : Beijing) พื้นที่ชานเมือง (หนานโกว: Nankou) และพื้นที่นอกเมือง (อ่างเก็บน้ำสุสานราชวงศ์หมิง Ming Tombs Reservoir: MTR) ประเทศจีน ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเดือน ธันวาคม ถึง มีนาคม (ฤดูหนาว) และ เดือนกรกฎาคม ถึง เดือนสิงหาคม (ฤดูร้อน) ในปี ค.ศ. 2001) เครื่องมือ High volume รุ่น XH-1000 เก็บตัวอย่างอนุภาคทั้ง 2 ขนาด (PM_{10} และ $PM_{2.5}$) ผลการศึกษา แสดงดังตาราง 6 พบว่า ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาด PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ทั้ง 3 พื้นที่ มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน

ตาราง 6 แสดงข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาด PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ทั้ง 3 พื้นที่

	พื้นที่เมือง (Beijing)		พื้นที่ชานเมือง (Nankou)		พื้นที่นอกเมือง (MTR)	
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน
PM_{10}	313 ± 101	68 ± 33	334 ± 96	44 ± 14	119 ± 42	49 ± 23
$PM_{2.5}$	-	46 ± 28	117 ± 53	25 ± 11	-	32 ± 30

ที่มา: สังเคราะห์ข้อมูลจาก Shi et al., 2003

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างฤดูกาล พบว่าฤดูหนาวมีระดับอนุภาคสูงกว่าฤดูร้อนทั้ง 3 พื้นที่ศึกษา โดยมีระดับ PM_{10} เท่ากับ 313 ± 101 334 ± 96 และ $119 \pm 42 \mu g/m^3$ ในพื้นที่เมือง ชานเมือง และนอกเมืองตามลำดับ โดยพบสูงสุดในพื้นที่ชานเมือง สำหรับผลการศึกษา ระดับ $PM_{2.5}$ มีข้อมูลเพียง 1 พื้นที่คือ พื้นที่ชานเมือง อย่างไรก็ตามพบว่า มีระดับสูงมากเช่นกัน ($117 \pm 53 \mu g/m^3$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ผลการศึกษาระบุชัดเจนว่าพื้นที่แถบชานเมืองมีปริมาณอนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ สูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดมลสารที่แตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ รวมทั้งเกิดจากการแปรผันของอนุภาคตามฤดูกาล

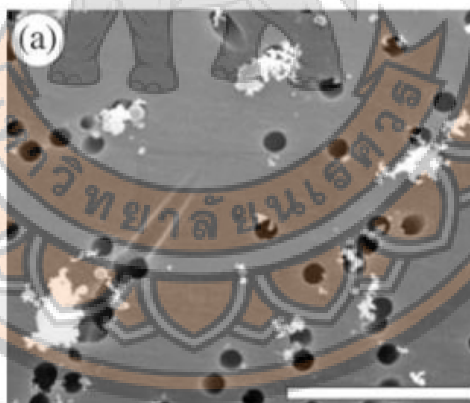
เมื่อวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานและองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคเพื่อโดย Scanning electron microscopy (SEM) เพื่อพิจารณาขนาดของอนุภาคที่มีความแตกต่างกัน พบว่า อนุภาคที่เกิดจากกลุ่มพายุฝุ่น (Asia-Dust storm) โดยส่วนมากจะเป็นอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า $1\text{ }\mu\text{m}$ อย่างไรก็ตามพบว่า 99% ของอนุภาคที่เก็บตัวอย่างจากการศึกษาทั้งหมด เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า $2.5\text{ }\mu\text{m}$ (respirable dust)

เมื่อพิจารณาประเภทของอนุภาค พบว่า อนุภาคแขวนลอยประเภทเขม่า (soot aggregates) เป็นชนิดที่พบมากที่สุดทั้ง 3 พื้นที่ ในขณะที่ อนุภาคชนิดเถ้าลอย (fly ash) เป็นอนุภาคที่พบมากที่สุดนอกเมืองซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ถ่าน หรือเชื้อเพลิงเพื่อสร้างอบอุ่นในบ้านของประชาชนในช่วงฤดูหนาว

เมื่อพิจารณาลักษณะพื้นฐานของอนุภาคที่ได้เก็บตัวอย่างจากพื้นที่ศึกษาทั้งหมดพบว่า อนุภาสดังกล่าวถูกแบ่งโดยพื้นฐานออกเป็น 4 กลุ่ม

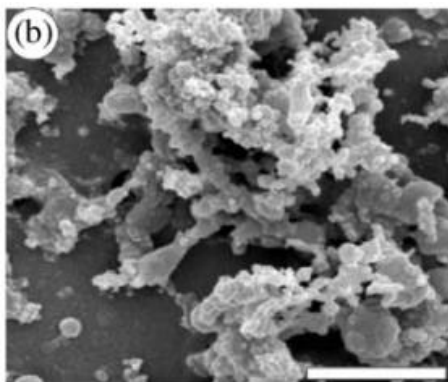
1. Soot

ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินที่อุณหภูมิสูง อนุภาคเมื่อมีการรวมตัวกัน (soot aggregates) มีลักษณะดังภาพ 3 - ภาพ 5



ภาพ 3 แสดงลักษณะพื้นฐานของอนุภาคเขม่า (soot aggregates)

ที่มา: Shi et al., 2003



ภาพ 4 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคเขม่า (เปียกก่อน) (wet soot aggregates: fluffy)

ที่มา: Shi et al., 2003

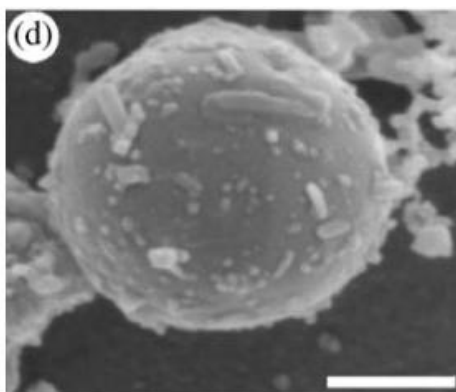


ภาพ 5 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคเขม่า รวมตัวกันแบบก้อนกลม (soot aggregates)

ที่มา: Shi et al., 2003

2. Coal fly ash

อนุภาคเถ้าลอย (fly ash) เกิดการรวมกลุ่มกันขณะลอยอยู่ในอากาศ โดยรวมตัวกันเป็นกลุ่มเล็ก ๆ จะมีลักษณะเป็นสายโซ่ (ภาพ 6) และเมื่อรวมตัวกันขนาดใหญ่ขึ้นจะมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน (เมื่ออนุภาคเถ้าลอย เกิดการรวมตัวกับ SO_2 ที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง แล้วทำปฏิกิริยาในบรรยากาศ เกิดอนุภาคที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมและมีอนุภาคเกาะติดกับพื้นผิวของอนุภาคทรงกลม (ภาพ 6)

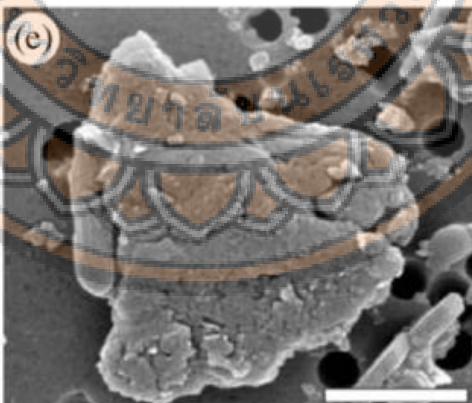


ภาพ 6 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคเขม่า รวมตัวกันแบบก้อนกลม (Coal fly ash)

ที่มา: Shi et al., 2003

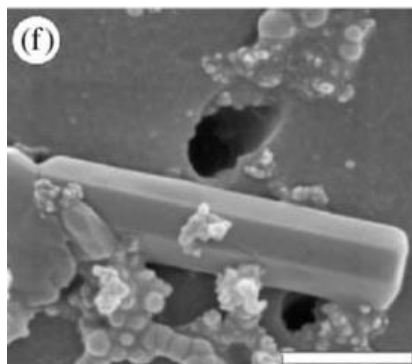
3. Mineral Matter

อนุภาคฝุ่นแร่ (Mineral matter) ที่เกิดได้จากอนุภาคทางธรณีวิทยา มีลักษณะรูปร่างไม่แน่นอน รูปทรงไม่เป็นระเบียบ แสดงดังภาพ 7 และมีลักษณะเป็นแท่งยาว (Elongated particle) แสดงดังภาพ 8



ภาพ 7 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคฝุ่นแร่ (Mineral matter) รูปร่างไม่แน่นอน (Irregular)

ที่มา: Shi et al., 2003

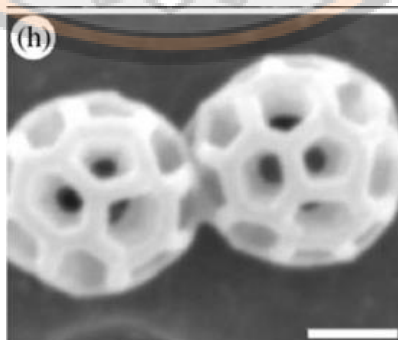


ภาพ 8 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคฝุ่นแร่ (Mineral matter) รูปร่างแบบแท่งยาว
(Elongated particle)

ที่มา: Shi et al., 2003

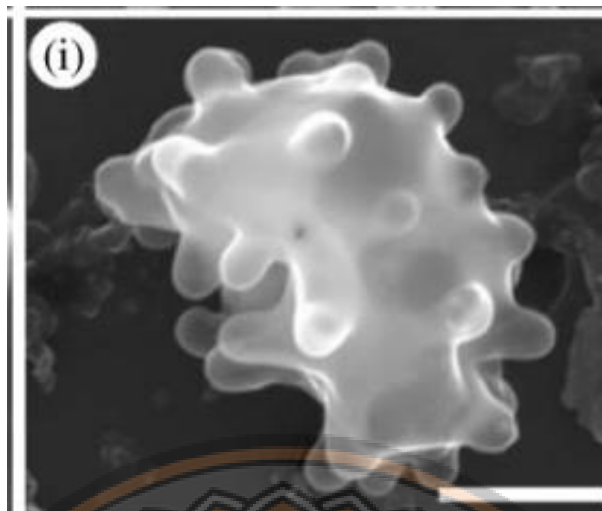
4. Other particles

อนุภาคอื่น ๆ เช่น อนุภาคทางชีวภาพ (Biological particles) เศษเชื้อเพลิงขนาดเล็ก อนุภาคละอองที่มีขนาดเล็กมาก (น้อยกว่า 100 นาโนเมตร) โดยลักษณะสัณฐานที่พบมีลักษณะที่ต่างกันไป ดังภาพ 9 และภาพ 10 และอนุภาคชีวภาพที่มีขนาดเล็กมาก (Ultrafine particles; UF) จะมีรูปร่างลักษณะคล้ายลูกบาศก์ (near-cubic) หรือลักษณะทรงแท่ง (bar-shaped) ดังภาพ 11 มากกว่าจะเป็นทรงกลม ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาของซัลเฟต (SO_4^{2-}) หรือไนเตรท (NO_3) กับมลสารในอากาศ เกิดเปลี่ยนรูปเป็นมลสารทุติยภูมิโดยอนุภาคชีวภาพ จะพบเฉพาะในพื้นที่เขตนอกเมือง (MTR) ซึ่งเห็นได้ว่าพื้นที่นอกเมือง (MTR) มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านหิน (เตาผิงไฟ) ภายในท้องถิ่นช่วงฤดูหนาว



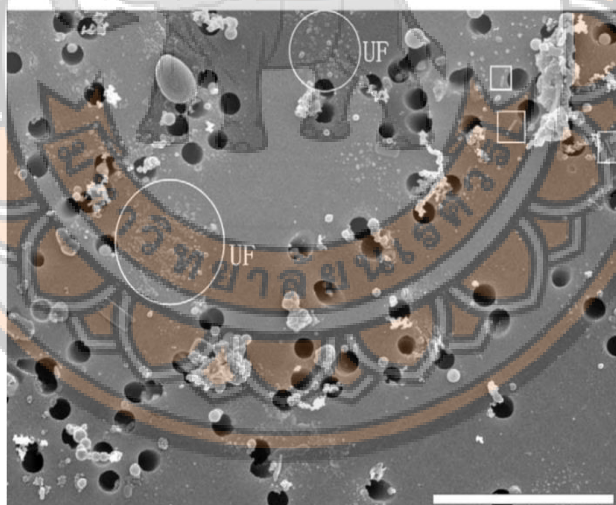
ภาพ 9 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคชีวภาพ (Biological particle)

ที่มา: Shi et al., 2003



ภาพ 10 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคชีวภาพ (Biological particle)

ที่มา: Shi et al., 2003

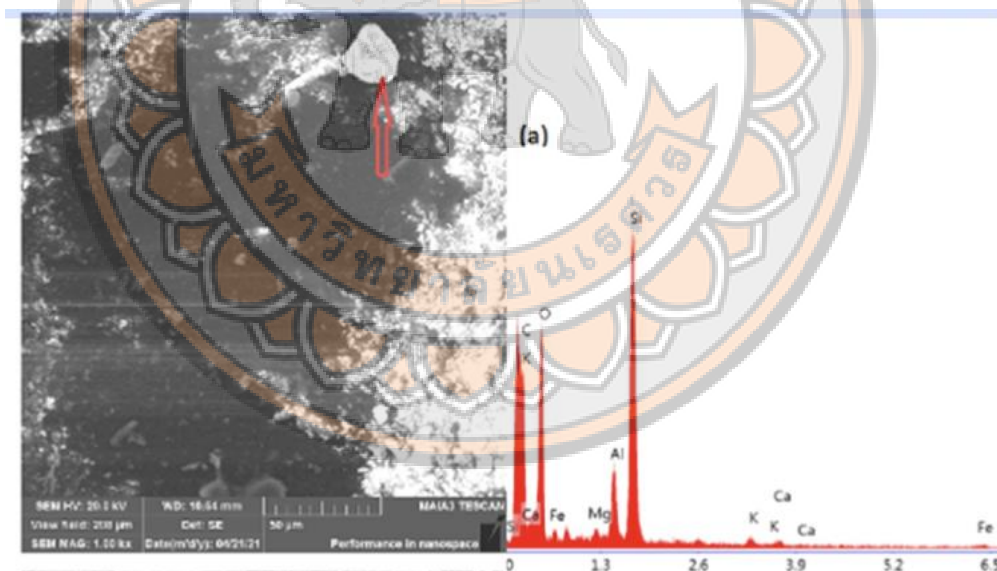


ภาพ 11 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคละเอียดมาก (Ultrafine particles; UF)

ที่มา: Shi et al., 2003

Ahmad et al.(2023) ศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กทั้ง 3 ขนาด ฝุ่นละอองขนาดเล็ก 10 ไมครอน (PM_{10}) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 1 ไมครอน (PM_1) เมืองลาฮอร์ ประเทศปากีสถาน โดยทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูหนาว

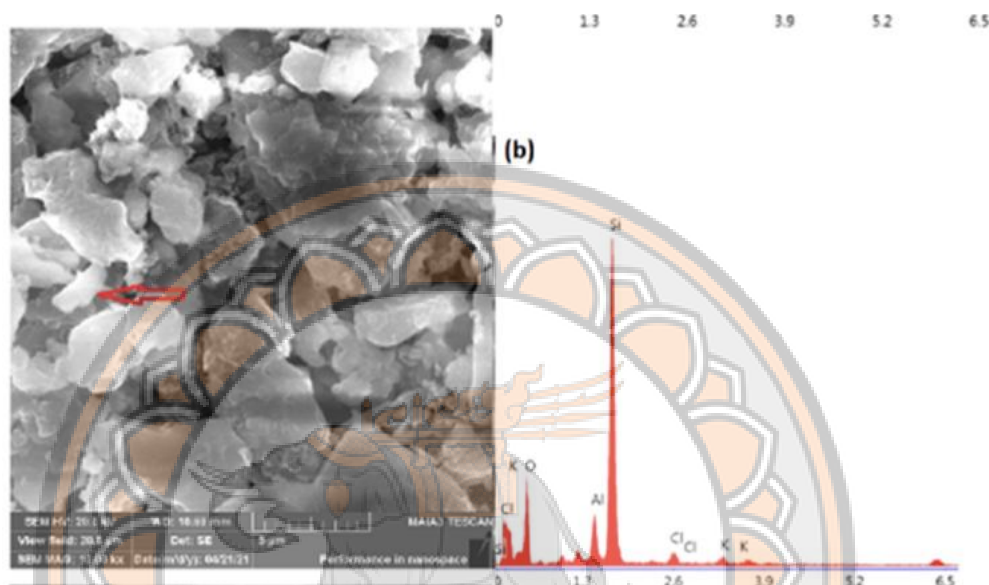
(1 ธันวาคม ค.ศ. 2018 ถึง 28 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2019) พบว่า ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) เท่ากับ $102.00 \pm 64.03 \mu g/m^3$ ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เท่ากับ $188.31 \pm 49.21 \mu g/m^3$ และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 1 ไมครอน (PM_1) เท่ากับ $279.73 \pm 75.04 \mu g/m^3$ และมีการศึกษาลักษณะสัณฐานและองค์ประกอบของธาตุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ร่วมกับ เทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) และ X-ray diffraction (XRD) จากผลการศึกษาสามารถแบ่งที่มาของแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองได้ 3 ประเภท คือ ลักษณะทางธรณีวิทยา (Geogenic) กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ (Anthropogenic) และ ลักษณะทางชีวภาพ (Biogenic) โดยแหล่งกำเนิดจากทางธรณีวิทยา (Geogenic) พบอนุภาคของฝุ่นละออง ดังต่อไปนี้ อะลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminosilicates) เกิดจากกระบวนการทางธรณีวิทยา และจากการศึกษาของ Cong et al. (2019) พบว่า 72% ของเปลือกโลกมีส่วนประกอบของอะลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminosilicate) จากการศึกษา พบว่า มีอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบของธาตุ Al C O Mg Si K Ca และ Fe รูปร่างของฝุ่นมีลักษณะคล้ายสามเหลี่ยมแสดงดังภาพ 12



ภาพ 12 แสดงอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminosilicate)

ที่มา: Ahmad et al., 2023

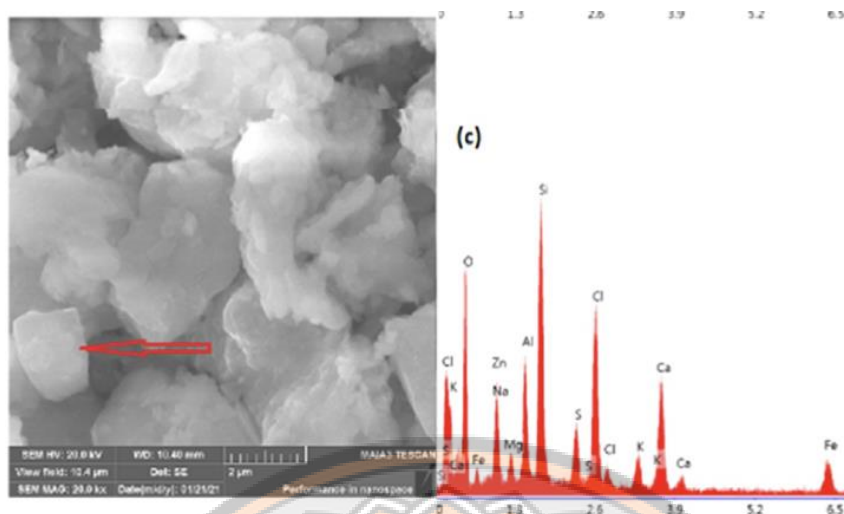
อนุภาคซิลิคอน (Silicon-rich particles) มักพบในธรรมชาติ โดยพบมากที่สุดในชั้นเปลือกโลกซึ่งพบในชั้นหินแกรนิตและหินทราย โดยซิลิกาถูกใช้เป็นส่วนประกอบในวัสดุก่อสร้าง เช่น แก้ว อิฐ ดินเหนียว ในการศึกษาพบอนุภาคของซิลิกามีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และพบองค์ประกอบอื่น ๆ ในธาตุ เช่น O Al Cl และ K แสดงดังภาพ 13



ภาพ 13 แสดงอนุภาคซิลิคอน (Silicon-rich particles)

ที่มา: Ahmad et al., 2023

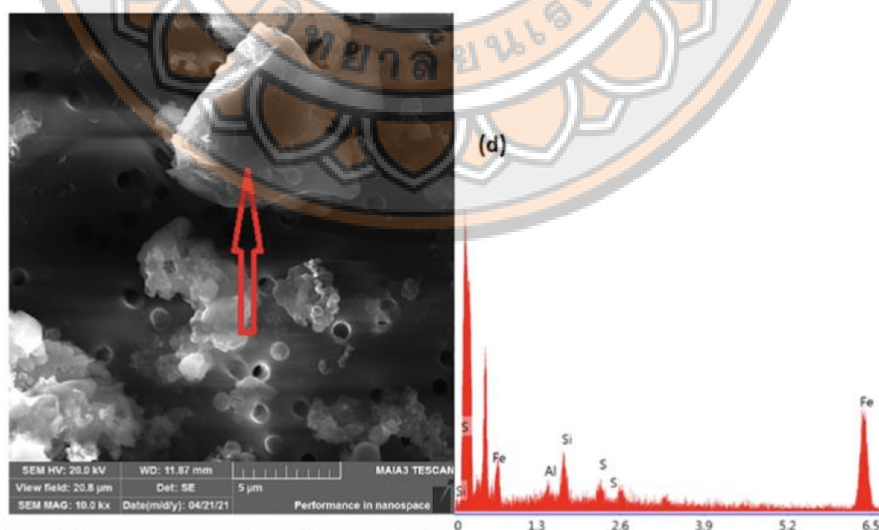
อนุภาคคลอรีน (Chlorine-rich particles) พบในรูปของ Na-Cl และ C-Cl ซึ่งมีลักษณะอนุภาคเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู และพบองค์ประกอบธาตุอื่น ๆ เช่น Na O Al K Zn Si S Fe Mg และ Ca ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากการเผาอนุภาคชีวมวล ดังแสดงภาพ 14



ภาพ 14 แสดงอนุภาคคลอรีน (Chlorine-rich particles)

ที่มา: Ahmad et al., 2023

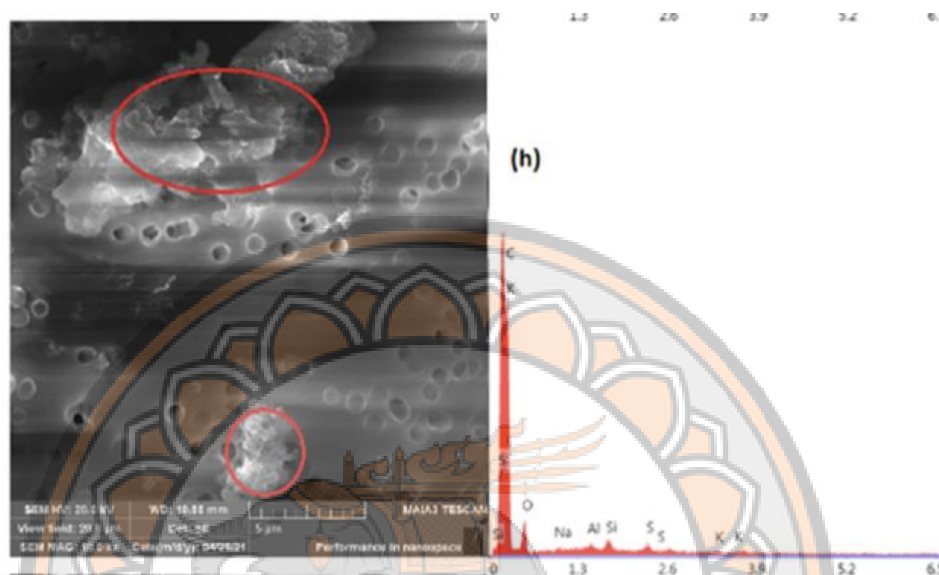
อนุภาคของฝุ่นดินที่แขวนลอย (Soil-resuspended dust) พบองค์ประกอบของ Ca Al Sr Fe Mg Mn Ti และ Zn ซึ่งพบอนุภาคโลหะของ Fe และ Si ผสมอยู่ด้วย ทำให้อนุภาคมีรูปร่างเป็นลักษณะสามเหลี่ยม แสดงดังภาพ 15



ภาพ 15 แสดงอนุภาคของฝุ่นดินที่แขวนลอย (Soil-resuspended dust)

ที่มา: Ahmad et al., 2023

อนุภาคของกลุ่มคาร์บอน (Carbonaceous particle clusters) มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ของยานพาหนะ รวมไปถึงการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลจากการเผาเศษวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตร และการเผาขยะ ทำให้เกิดการรวมกลุ่มของอนุภาคคาร์บอน แสดงดังภาพ 16

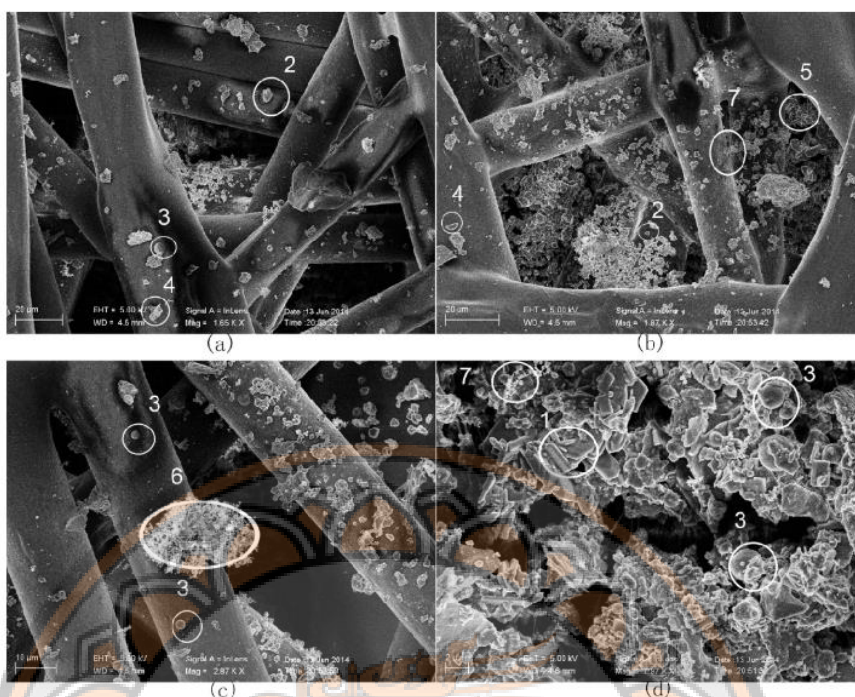


ภาพ 16 แสดงอนุภาคของกลุ่มก้อนคาร์บอน (Carbonaceous particle clusters)

ที่มา: Ahmad et al., 2023

Xue et al. (2019) ศึกษาองค์ประกอบและสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เมืองเหอเฟย์ ประเทศจีน โดยมีการสุ่มเก็บตัวอย่างทุกเดือน ในช่วงเดือนมิถุนายน ค.ศ. 2014 ถึง ธันวาคม ค.ศ. 2015 ในพื้นที่เขตตัวเมือง (พื้นที่ A) และพื้นที่เขตอุตสาหกรรม (พื้นที่ B) พบว่า คุณภาพอากาศในพื้นที่เหอเฟย์ บริเวณพื้นที่เขตตัวเมือง (พื้นที่ A) และพื้นที่เขตอุตสาหกรรม (พื้นที่ B) มีความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เฉลี่ยเท่ากับ 59 และ 54 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) สูงเกินกว่าค่ามาตรฐานของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ที่กำหนดของประเทศจีน (มาตรฐานกำหนดไว้ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 35 $\mu g/m^3$ โดยพื้นที่เขตตัวเมือง (A) สูงกว่าพื้นที่เขตอุตสาหกรรม (B) เนื่องจากพื้นที่เขตตัวเมือง (A) ตั้งอยู่บริเวณถนนวงแหวน (ถนน SanLi) ซึ่งเป็นเส้นทางที่มีการจราจรหนาแน่นแห่งหนึ่งในเมืองเหอเฟย์ และในระหว่างการเก็บตัวอย่างได้มีการก่อสร้างและซ่อมแซมบริเวณถนน QuanJiao และถนน LinQuan ซึ่งเป็นถนนที่อยู่ใกล้เคียงกับถนน SanLi อาจเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่

ส่งผลทำให้ความเข้มข้นอนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ พื้นที่เขตตัวเมือง (A) มีปริมาณสูงขึ้น อีกทั้งบริเวณพื้นที่เขตตัวเมือง (A) เป็นแหล่งที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงโรงไฟฟ้าถ่านหินด้วย ในขณะที่พื้นที่เขตอุตสาหกรรม (B) อยู่ในเขต Shushan มีสถานประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมเพียงไม่กี่แห่ง และผลการศึกษาร่องรอยประกอบของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ด้วยเทคนิค X-ray fluorescence (XRF) พบการสะสมของโลหะหนัก (Elemental concentrations) ทั้ง 13 ชนิด ได้แก่ Si Ca Al Fe Na Mg Ti P K Zr Cl S และ Zn ซึ่งพบว่า S เป็นองค์ประกอบของธาตุที่มีพิษ โดยมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง การปล่อยมลพิษจากรถยนต์ เนื่องจากเมืองเหอเฟย์ มีการใช้ยานพาหนะ(รถยนต์) มากกว่า 1 ล้านคันพร้อมกัน ส่งผลให้ปริมาณ S สูงถึง 40 – 50% เมื่ออนุภาคเกิดการรวมตัว ก่อให้เกิดเป็นอนุภาคฝุ่นทุติยภูมิ SO_2 ส่วนอนุภาค Si และ Zn มีแหล่งกำเนิดจากฝุ่นดิน จากการก่อสร้างในพื้นที่เขตตัวเมือง และจากการจราจรในพื้นที่ ส่งผลให้อนุภาคของฝุ่นแขวนลอยใหม่ (Resuspension dust) และการศึกษาลักษณะสัณฐาน โดยใช้ Scanning electronic microscopy (SEM) และ Transmission electron microscope (TEM) เพื่อระบุลักษณะของอนุภาค พบว่า ฝุ่นเถ้าลอย (Coal fly ashes) มีลักษณะอนุภาคทรงกลม (Columnar particle) (ภาพ 17 (3)) พบธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ Ca Si Al K และ Fe ฝุ่นจากการก่อสร้าง (Construction particles) ลักษณะอนุภาคเรียงเป็นแนว (Columnar) (ภาพ 17 (1)) ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ Ca, Si, Al ฝุ่นละอองเขม่า (Soot dust aggregates) ลักษณะอนุภาครวมเกาะกลุ่ม (Flocculent) (ภาพ 17 (6)) ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ C O และ S ฝุ่นละอองปลิว (Resuspension dust) พบธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ Si Al K Ca และ Fe และฝุ่นจากการเผาไหม้ (Biomass particle) มีลักษณะอนุภาครูปปร่างไม่แน่นอน (irregular) (ภาพ 17 (4)) ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ C O K และ Pb ซึ่งอนุภาคสัณฐานที่พบมากที่สุดมีลักษณะทรงกลม (Circular particle) และอนุภาคเรียงเป็นแนว (Columnar) ซึ่งสอดคล้องกับแหล่งกำเนิดมลพิษที่มาจาก การเผาไหม้ชีวมวล รวมทั้งถึงการเผาไหม้เชื้อ และการปล่อยมลพิษจากไอเสียรถยนต์



ภาพ 17 แสดงลักษณะสัณฐาน 1) อนุภาคเรียงเป็นแนว (Columnar particle) 2) อนุภาคคล้ายทรงกลม (Similar-circular particles) 3) อนุภาคทรงกลม (Circular particles) 4) อนุภาคไม่สม่ำเสมอ (Irregular particles) 5) อนุภาคคล้ายลูกโซ่และเรียงเป็นแนว (The chain-like aggregates of columnar particle and circular particles) 6) อนุภาคกลุ่มก้อน (Flocculent aggregates) 7) อนุภาคคล้ายโฟม (Foam-like residual)

ที่มา: Xue et al., 2019

สถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในบรรยากาศของจังหวัดพิษณุโลก จากข้อมูลของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ (ปี พ.ศ. 2563 - 2566) พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เพิ่มขึ้นในช่วงต้นฤดูหนาวจนถึงฤดูร้อน (เดือนพฤศจิกายน - เมษายน) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในจังหวัดพิษณุโลก พบว่า ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ปี พ.ศ. 2566 ช่วงเดือนมีนาคม มีค่าเฉลี่ยของฝุ่น $PM_{2.5}$ รายเดือนสูงสุดเท่ากับ $85 \mu g/m^3$ ซึ่งมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่ $37.5 \mu g/m^3$ และอยู่ในระดับที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

ปี พ.ศ. 2567 ตามประกาศจังหวัดพิษณุโลกกำหนดให้พื้นที่จังหวัดพิษณุโลกเป็นเขตควบคุมไฟฟ้าโดยช่วงวันที่ 1 กุมภาพันธ์ - 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 ห้ามเผาใด ๆ ทั้งสิ้น เพื่อลดผลกระทบและความรุนแรงของของไฟฟ้า รวมทั้งฝุ่นละอองจากการเผา (สำนักงานจังหวัดพิษณุโลก, 2566) ซึ่งปัจจุบันในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 ผลการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในพื้นที่ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองพิษณุโลก พบว่ามีค่าสูงถึง $188 \mu g/m^3$ อยู่ในเกณฑ์ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

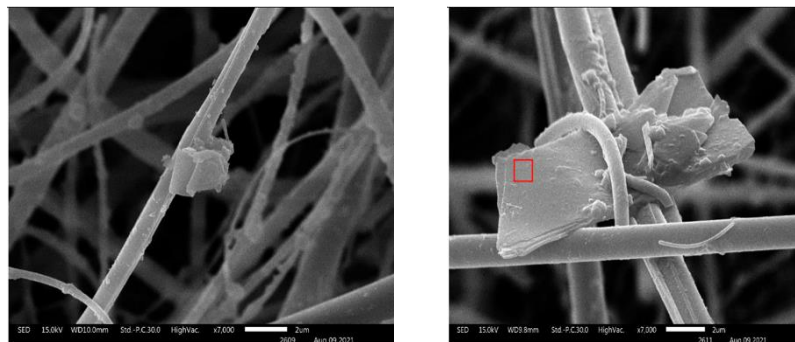
จากข้อมูลงานวิจัยการศึกษาฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ ในจังหวัดพิษณุโลก พบว่า มีงานวิจัยที่ศึกษา โดย ปาจริย์ ทองสนิท และคณะ (2548) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสัดส่วนของแหล่งกำเนิดฝุ่น PM_{10} ในเขตเมืองพิษณุโลก พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว โดยเก็บตัวอย่างจำนวน 4 จุด บริเวณ วัดราชบูรณะ วิทยาลัยเทคนิค สถานีตำรวจ และถนนบรมไตรโลกนารถ ในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2546 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในช่วงฤดูหนาวมีปริมาณสูงกว่าฤดูร้อน โดยค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง วัดราชบูรณะ, วิทยาลัยเทคนิค, สถานีตำรวจ และถนนบรมไตรโลกนารถ เท่ากับ 116.87 83.12 148.98 และ $127.45 \mu g/m^3$ ตามลำดับ เมื่อศึกษาองค์ประกอบของฝุ่นและความสัมพันธ์ของธาตุ Al Ca Si Fe และ Ti ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่า ฝุ่นละอองจากดินและถนนพบว่า Al และ Si มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ของถ่านหิน Ca แหล่งกำเนิดจากการก่อสร้าง และ Fe แหล่งกำเนิดจากโรงหลอมเหล็ก โดยพบความสัมพันธ์ระหว่าง Al-Ca เท่ากับ 0.7475 สามารถสรุปได้ว่า Al และ Ca มีแหล่งกำเนิดจากฝุ่นดินบนท้องถนน จากการศึกษาแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง มีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน โดยจุดเก็บถนนบรมไตรโลกนารถ, วิทยาลัยเทคนิค พบว่ามีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ชีวมวล จุดเก็บตัวอย่างสถานีตำรวจพิษณุโลก มีแหล่งกำเนิดมาจากการปล่อยมลพิษจากยานพาหนะ และจุดเก็บตัวอย่างวัดราชบูรณะ มีแหล่งกำเนิดมลพิษ เช่น ไอเสียจากยานพาหนะ และฝุ่นดินจากถนน

กิตติธัช หมั่นสิน (2564) มีการศึกษาการรับการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในพื้นที่เขตเทศบาลนครพิษณุโลก บริเวณป้ายรถประจำทาง ตลาดเทศบาลเมืองพิษณุโลก โรงเรียนเฉลิมขวัญสตรี และโรงพยาบาลพระพุทธชินราช ซึ่งเก็บตัวอย่างช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2564 ถึง มกราคม พ.ศ. 2565 (สัปดาห์ละ 3 วัน คือ วันจันทร์ วันศุกร์ และวันอาทิตย์) สัปดาห์ละ 1 ป้ายรถประจำทาง โดยใช้เครื่องตรวจจับคุณภาพอากาศด้วยเซ็นเซอร์ PMS5003 พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) มากที่สุด เท่ากับ $46.823 \mu g/m^3$ บริเวณตลาดสดเทศบาลนครพิษณุโลก บริเวณดังกล่าวมีการจราจรหนาแน่น รวมทั้งบริเวณตลาดสดเทศบาลนครพิษณุโลก มีการประกอบอาหาร และบริเวณโรงเรียนเฉลิมขวัญสตรีพบว่า มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาด

ไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) น้อยที่สุดเท่ากับ $30.094 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เนื่องจากช่วงระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง เป็นช่วงที่มีการเรียนการสอนแบบออนไลน์ และช่วงระยะเวลาก่อนทำงาน (07.00 - 09.00 น.) เป็นช่วงเวลาที่มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) มากที่สุดเท่ากับ $51.653 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และต่ำสุดในช่วงเวลาหลังเลิกงาน (16.00 - 18.00 น.) เท่ากับ $36.361 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งพบว่าช่วงระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการบริเวณป้ายรถประจำทาง ในเขตเทศบาลนครพิษณุโลกอาจได้รับความเสี่ยงในการสัมผัสฝุ่น $PM_{2.5}$ จะต้องมีการมาตรการและการป้องกันเพื่อลดความเสี่ยงในการสัมผัสฝุ่นละอองโดยตรง

ธนวิ ศรีธาวีรัตน์ และอรชร ฉิมจารย์ (2565) มีการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในพื้นที่เมืองและพื้นที่กึ่งเมือง โดยเก็บตัวอย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2563 ถึง มีนาคม พ.ศ. 2564 พบว่า พื้นที่เมือง มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เฉลี่ยเท่ากับ 10.9 ± 3.9 ถึง $70.7 \pm 14.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และพื้นที่กึ่งเมือง ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เฉลี่ยเท่ากับ 16.8 ± 9.6 ถึง $84.6 \pm 18.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า พื้นที่เมืองและพื้นที่กึ่งเมือง มีองค์ประกอบของคาร์บอน (C) มากที่สุด รองลงมาคือ แอนไอออน (SO_4^{2-} , NO_3^- และ Cl^-) และแคทไอออน (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} และ NH_4^+) จากการจำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) โดยใช้แบบจำลอง Positive Matrix Factorization (PMF) มาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อหาสัดส่วนของแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการสะสมของปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ พบว่า พื้นที่เมืองมีแหล่งกำเนิด 5 แหล่ง ได้แก่ ฝุ่นจากยานพาหนะ (Traffic emission) 28% ฝุ่นจากการก่อสร้าง (Construction dust) 11% ฝุ่นจากการเผาไหม้ชีวมวล (Biomass burning) 25% และ ฝุ่นจากการจราจร (Road dust) 15% ส่วนพื้นที่กึ่งเมือง มีแหล่งกำเนิด 5 แหล่ง ได้แก่ ฝุ่นจากการจราจร (Road dust) 36% ฝุ่นจากการเผาไหม้ชีวมวล (Biomass burning) 22% ฝุ่นจากการก่อสร้าง (Construction dust) 17% ฝุ่นจากยานพาหนะ (Traffic emission) 16% และฝุ่นแร่ (Mineral dust) 9% ซึ่งพื้นที่เขตเมืองและกึ่งเมือง มีสภาพแวดล้อมที่มีลักษณะคล้ายกัน คือ มีการจราจรตลอดทั้งวัน อีกทั้งพื้นที่ศึกษาในเขตเมือง อยู่ในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น ใกล้สถานที่ราชการ และย่านการท่องเที่ยว ส่วนพื้นที่กึ่งเมืองอยู่ติดกับถนนทางหลวง 12 ซึ่งเป็นเส้นทางสายหลักใช้สัญจรข้ามจังหวัด ทำให้เป็นแหล่งกำเนิดก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศได้ เมื่อศึกษาลักษณะพื้นฐานโดยจำลองการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด และอ้อย พบว่า สัดส่วนของ K^+ และ Cl^- มากที่สุดในฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ซึ่งมาจากการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ฟางข้าว อ้อย และข้าวโพด ตามลำดับ โดยลักษณะพื้นฐานที่พบมีดังต่อไปนี้

ในตัวอย่างอ้อย พบลักษณะพื้นฐานของอนุภาคเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยม แสดงดังภาพ 18 และพบองค์ประกอบของธาตุ C O Mg Si และ Cl



ภาพ 18 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ ในตัวอย่างอ้อย

ที่มา: ธันวดี ศรีธาวีรัตน์ และอรชร นิมิตรชัย, 2565

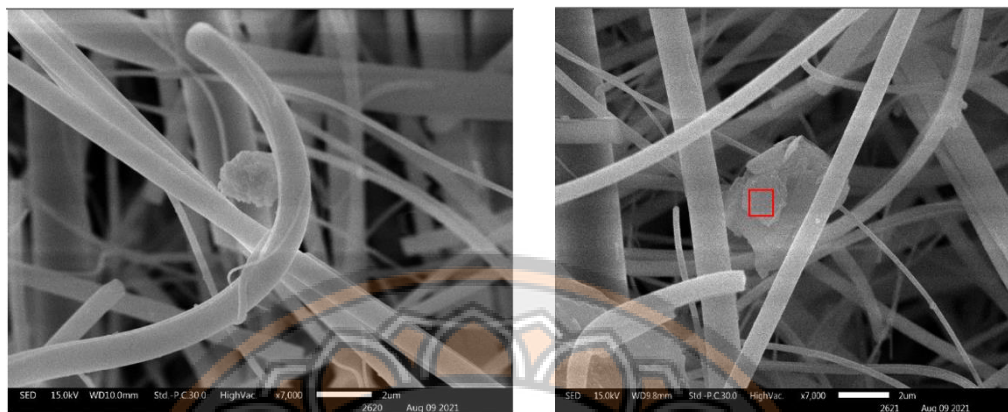
ในตัวอย่างข้าว พบลักษณะสัณฐานของอนุภาคมีรูปร่างวงกลม และรูปร่างห้าเหลี่ยม แสดงดังภาพ 19 และพบองค์ประกอบของธาตุ C O Mg และ Si



ภาพ 19 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ ในตัวอย่างข้าว

ที่มา: ธันวดี ศรีธาวีรัตน์ และอรชร นิมิตรชัย, 2565

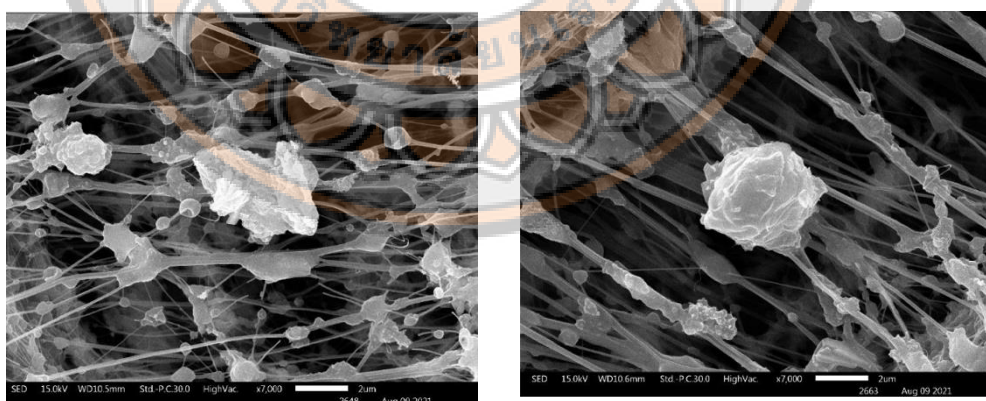
ในตัวอย่างข้าวโพด พบลักษณะสัณฐานของอนุภาคมีรูปร่างไม่แน่นอน และรูปร่างสี่เหลี่ยม แสดงดังภาพ 20 และพบองค์ประกอบของธาตุ C O Mg และ Si



ภาพ 20 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ ในตัวอย่างข้าวโพด

ที่มา: ธันวดี ศรีธาวีรัตน์ และอรชร ฉิมจารย์, 2565

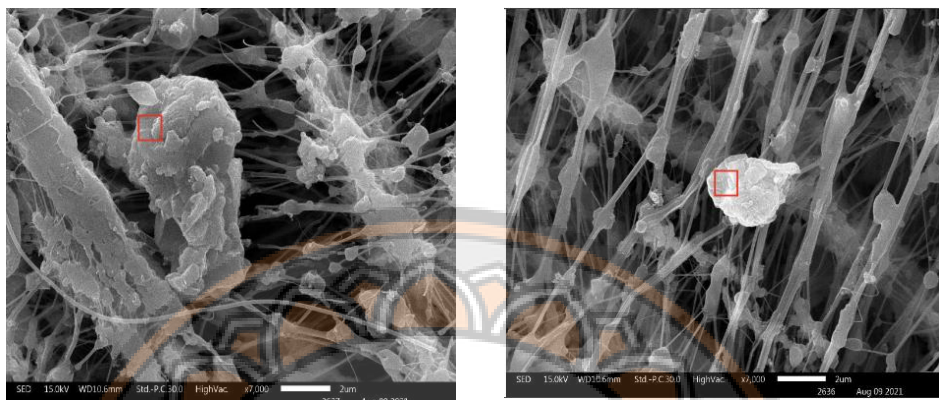
พื้นที่ในเมือง พบลักษณะสัณฐานของอนุภาคมีรูปร่างไม่แน่นอน และอนุภาครูปทรงกลม ในลักษณะรวมเกาะกลุ่ม แสดงดังภาพ 21 พบองค์ประกอบของธาตุ C O Na Al Si K และ Fe



ภาพ 21 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ พื้นที่ในเมือง

ที่มา: ธันวดี ศรีธาวีรัตน์ และอรชร ฉิมจารย์, 2565

พื้นที่กึ่งเมือง พบลักษณะสัณฐานของอนุภาคมีรูปร่างไม่แน่นอน และอนุภาครูปรางทรงกลมในลักษณะรวมเกาะกลุ่ม แสดงดังภาพ 22 พบองค์ประกอบของธาตุ C O Na Mg Al Si Cl K Ca และ Fe



ภาพ 22 แสดงลักษณะสัณฐานของอนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ พื้นที่กึ่งเมือง

ที่มา: ชันวดี ศรีธาวิรัตน์ และอรชร ฉิมจารย, 2565

โดยลักษณะของฝุ่นที่พบทั้ง 2 พื้นที่ ฝุ่นเถ้าลอย (Fly ashes) มีลักษณะอนุภาคเป็นทรงกลม (Circular) และพบองค์ประกอบของธาตุ Ca Si Al K และ Fe ฝุ่นจากการเผาไหม้ (Biomass particle) มีลักษณะอนุภาครูปรางไม่แน่นอน (Irregular) และพบองค์ประกอบของธาตุ C O K และ Pb ฝุ่นละอองเขม่า (Soot dust aggregates) มีลักษณะอนุภาครวมเกาะกลุ่ม (Flocculent) และพบองค์ประกอบของธาตุ C O และ S เมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุ Al Mg Fe Zn Cr V Pb และ Ni พบว่า มีปริมาณสูงในพื้นที่เขตเมืองและพื้นที่กึ่งเมือง แสดงให้เห็นว่า มีแหล่งกำเนิดจากการจราจร (Traffic emission) และฝุ่นละอองจากดิน (Resuspension) โดยธาตุ Al Fe และ Mg เป็นองค์ประกอบของธาตุที่พบได้ในดิน ซึ่งอาจเกิดจากการพัดพาของฝุ่นละอองจากหิน ดิน ทราย ส่วนธาตุ Zn Cr V Pb และ Ni ที่พบในฝุ่นละอองมีแหล่งกำเนิดจากการจราจร ซึ่งธาตุเหล่านี้ อาจมาจากการผ้าเบรกรถยนต์ น้ำมันหล่อลื่น รวมไปถึงการกัดกร่อนของชิ้นส่วนรถยนต์ ส่วนธาตุ Pb ถูกนำมาใช้ในด้านอุตสาหกรรม เช่น ผสมสีทาต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบจากโลหะ ชิ้นส่วนเครื่องจักร แม่พิมพ์โลหะ แบตเตอรี่รถยนต์

ปัจจัยทางด้านภูมิประเทศเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญต่อการกระจายตัวของมลสารในอากาศรวมทั้ง $PM_{2.5}$ อาทิเช่น การศึกษาเพื่อประเมินค่าเชิงพื้นที่ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) บริเวณพื้นที่ภาคเหนือ (จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่

จังหวัดแพร่ จังหวัดน่าน จังหวัดลำปาง และจังหวัดลำพูน) โดย อติยา ศรีนาราง และรังสรรค์ เกตุอื้อต (2563) ได้ทำการข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจำนวน 13 สถานีในเขตภาคเหนือ โดยเก็บข้อมูล 5 ปี ในช่วง ปี พ.ศ. 2554 - พ.ศ. 2558 พบว่าเดือนเมษายน มีระดับค่าฝุ่น PM_{10} เฉลี่ย สูงที่สุด (ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลงานวิจัยอื่น ๆ ในเขตภาคเหนือ) โดยมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $107 \mu g/m^3$ ทุกสถานี และมีปริมาณน้อยสุด ช่วงเดือนกรกฎาคมและกันยายน จากการวิเคราะห์ปริมาณฝุ่น PM_{10} ร่วมกับลักษณะทางกายภาพเชิงพื้นที่ พบว่า ลักษณะภูมิทัศน์ของพื้นที่ศึกษาวิจัยเป็นแอ่งที่ราบระหว่างภูเขาและมีพื้นที่ขนาดเล็กถูกโอบล้อมด้วยแนวภูเขา ทำให้อัตราการระบายของฝุ่น PM_{10} ค่อนข้างต่ำ ประกอบกับปริมาณที่สะสมร่วมกับแหล่งกำเนิดจากไฟฟ้าและการเผาในที่โล่งจากประเทศเพื่อนบ้านถูกพัดพาข้ามเขตแดนเข้ามาในพื้นที่ และเมื่อตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่ ด้วยวิธี IDW Natural Spline Kriging และ Trend พบว่า วิธี IDW เป็นวิธีที่เหมาะสมในการจัดทำแผนที่ประเมินปริมาณฝุ่น PM_{10} เนื่องจากมีความแตกต่างของค่าที่ได้จากการประมาณเชิงพื้นที่กับค่าที่ตรวจวัดได้จริงน้อยที่สุด

การศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นเชิงพื้นที่ในเขตอื่น ๆ นอกเหนือจากภาคเหนือได้มีดำเนินการวิจัยเช่นกัน เช่นการศึกษาในเขตจังหวัดภูเก็ต โดย อติรัตน์ (2564) ศึกษาการประมาณค่าเชิงพื้นที่สำหรับการสร้างแผนที่จำลองหาปริมาณฝุ่น 3 ขนาดคือ TSP PM_{10} และ $PM_{2.5}$ จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 5 สถานี ได้แก่ วงเวียนสุริยเดช วงเวียนนิมิต วงเวียนสุรินทร์ สวนสาธารณะเฉลิมพระเกียรติ และสวนสาธารณะสะพานหิน โดยกำหนดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนธันวาคม 2563 - เดือนมกราคม 2564 พบว่า ปริมาณฝุ่น TSP สูงสุดที่บริเวณ วงเวียนนิมิต ปริมาณฝุ่น PM_{10} และ $PM_{2.5}$ สูงสุดที่บริเวณ สุริยเดช เมื่อนำข้อมูลทดสอบการประมาณค่าเชิงพื้นที่ของฝุ่นละอองทั้ง 3 ขนาด ด้วยวิธี IDW Kriging LPI และ RBF พบว่าวิธี Inverse Distance Weighting (IDW) เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการประมาณค่าเชิงพื้นที่

สำหรับพื้นที่เมืองใหญ่เช่นกรุงเทพฯ ได้มีการศึกษาวิจัยในประเด็นนี้จำนวนมาก เช่นการศึกษาโดยมินตรา และธัญญรัตน์ (2562) ได้ทำการศึกษามลสารหลักในอากาศ 6 ชนิด เฉลี่ย 24 ชั่วโมง (รวมทั้งฝุ่น) ร่วมกับการประยุกต์เครื่องมือด้านภูมิสารสนเทศเพื่อการประเมินคุณภาพอากาศในพื้นที่กรุงเทพมหานครและเขตปริมาณพล ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 ผลการศึกษาพบมลสารชนิดละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในปริมาณสูงที่สุดรองลงมา คือ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ก๊าซโอโซน (O_3) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ตามลำดับ และวิเคราะห์ปัญหาโดยเลือกวิธีการประมาณค่าช่วงโดยใช้หลักการ IDW พบว่า ช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม และตุลาคมถึงธันวาคม เป็นช่วงที่มีการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศทั้ง 6 ชนิด ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจาย คือ ปัจจัยจากการรวมเป็นศูนย์ของโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ และการจราจร

ที่หนาแน่น เนื่องจากพื้นที่กรุงเทพฯ เป็นศูนย์กลางทางธุรกิจและเศรษฐกิจ จึงส่งผลให้มีการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศสูง

จังหวัดพิษณุโลก เป็นอีกหนึ่งจังหวัดในภาคเหนือ ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในช่วงฤดูร้อนเป็นอย่างมาก จากรายงานผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ของกรมควบคุมมลพิษ พบว่า ปริมาณค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) รายเดือนสูงสุดช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $82.3 \mu g/m^3$ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย โดยเกณฑ์มาตรฐานค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง กำหนดไว้ไม่เกิน $37.5 \mu g/m^3$ (กรมควบคุมมลพิษ, 2566) และในปัจจุบันจังหวัดพิษณุโลก มีแนวโน้มในการใช้ยานพาหนะรถยนต์เพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยพิจารณาจากข้อมูลสถิติการจดทะเบียนรถยนต์สะสม ณ วันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2566 พบว่า มีจำนวน 580,147 คัน (สำนักงานขนส่งจังหวัดพิษณุโลก, 2566) จะเห็นได้ว่าจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการสัญจร มีปริมาณเพิ่มขึ้นอาจส่งผลทำให้เกิดปัญหาฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$) ในพื้นที่

ดังนั้น งานวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นและลักษณะสัณฐานของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เพื่อคาดการณ์แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อนำไปสู่การป้องกันและเฝ้าระวังปัญหามลพิษฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในพื้นที่เขตเมืองพิษณุโลกต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยเป็นการศึกษามลพิษทางอากาศบริเวณเขตพื้นที่ในเมือง จังหวัดพิษณุโลก โดยทำการศึกษาคุณภาพอากาศพื้นที่ริมถนนในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก ซึ่งบริเวณเขตพื้นที่ในเมือง จังหวัดพิษณุโลกนั้นมีประชากรอาศัยอยู่ราว 280,291 คน โดยมีประชากรหนาแน่นบริเวณตำบลในเมืองสูงถึง 62,237 คน (สำนักบริหารการทะเบียน, 2565) จัดเป็นพื้นที่ที่ไวต่อผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Sensitive Area) หมายความว่า พื้นที่หรือองค์ประกอบในพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวหรือเปราะบาง ที่มีโอกาสเกิดความเปลี่ยนแปลงใด ๆ ในเชิงลบ หากได้รับผลกระทบไม่ว่าทางตรงหรือทางอ้อม จากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป (ประกาศ กระทรวงพลังงาน, 2556) อีกทั้งจังหวัดพิษณุโลกในปัจจุบันจัดเป็นเมืองท่องเที่ยวที่สำคัญ ทำให้มีนักท่องเที่ยวเดินทางมาท่องเที่ยวเฉลี่ยปีละ 3 ล้านคนต่อ (สำนักงานจังหวัดพิษณุโลก, 2566) ซึ่งมีแนวโน้มจะมีการจราจรหนาแน่นบริเวณพื้นที่เขตตัวเมืองพิษณุโลก อาจส่งผลกระทบต่อสภาพของประชากรที่อยู่บริเวณพื้นที่ในตัวเมืองจังหวัดพิษณุโลก

พื้นที่การศึกษา และระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง

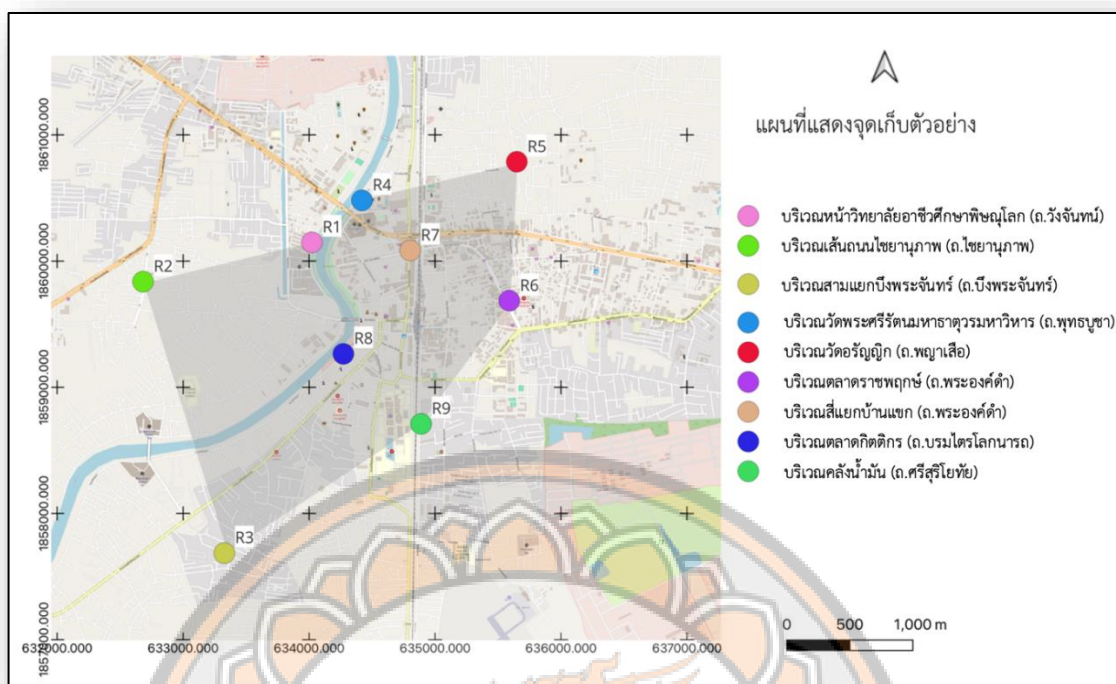
กำหนดจุดเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่ติดถนนในเขตเทศบาลนคร จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 9 พื้นที่ ในช่วงเดือน เมษายน ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2567 โดยเป็นพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น ในแหล่งชุมชนสำคัญ ดังแสดงในตาราง 7 และ ภาพ 23

กำหนดความถี่ในการเก็บตัวอย่างจำนวน 3 ชั่วโมง ต่อ 1 พื้นที่

ตาราง 7 แสดงพื้นที่และจุดพิกัดในการศึกษา

พื้นที่ศึกษา	ชื่อพื้นที่ กำหนดใน แผนที่	รายละเอียด	พิกัด X	พิกัด Y
บริเวณหน้าวิทยาลัย อาชีวศึกษาพิษณุโลก (ถนนวังจันทน์)	R1	มีการจราจรหนาแน่นในช่วงเวลาเช้า-เย็น เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นสถานศึกษา สถานที่ราชการและสวนสาธารณะ	634022	1860148

พื้นที่ศึกษา	ชื่อพื้นที่ กำหนดใน แผนที่	รายละเอียด	พิกัด X	พิกัด Y
บริเวณเส้นถนน ไชยานุภาพ (ถนนไชยานุภาพ)	R2	มีการจราจรหนาแน่นในช่วงเวลาเช้า-เย็น และมีร้านค้า ร้านอาหารในพื้นที่	632682	1859837
บริเวณสามแยก บึงพระจันทร์ (ถนนสามแยก บึงพระจันทร์)	R3	มีการสัญจรของยานพาหนะตลอดทั้งวัน	633327	1857686
บริเวณวัดพระศรี รัตนมหาธาตุวรมหาวิหาร (ถนนพุทธบูชา)	R4	เป็นสถานที่ท่องเที่ยวสำคัญของ จ.พิษณุโลก ทำให้มีนักท่องเที่ยวและ การใช้นยานพาหนะจำนวนมาก	634419	1860481
บริเวณวัดอัญญิก (ถนนพญาเสือ)	R5	บริเวณแหล่งชุมชน และเป็นแหล่งที่มี การค้าขาย ซึ่งทำให้ มีการจราจรของรถยนต์ตลอด ทั้งวัน	635649	1860787
บริเวณตลาด ราชพฤกษ์ (ถนนพระองค์ดำ)	R6	บริเวณที่มีการจราจร และ มีร้านค้า ร้านอาหารในช่วงเย็น	635589	1859686
บริเวณสี่แยกบ้านแขก (ถนนพระองค์ดำ)	R7	บริเวณเส้นทางหลักเข้าสู่ ใจกลางเมืองพิษณุโลก	634802	1860085
บริเวณตลาดกิตติกร (ถนนบรมไตรโลกนาถ)	R8	บริเวณที่ตั้งของตลาดเช้าและตลาด เย็น ทำให้มีการจราจรหนาแน่นตลอด ทั้งวัน	634272	1859265
บริเวณคลังน้ำมัน (ถนนศรีสุริโยทัย)	R9	บริเวณที่มีการจราจรทั้งรถยนต์ และ รถไฟ รวมทั้งการขนส่งน้ำมัน	634889	1858710



ภาพ 23 แสดงพื้นที่การศึกษาทั้ง 9 พื้นที่

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)

1. การเตรียมกระดาดกรอง

1.1 ใช้กระดาดกรองชนิด PTFE (Polytetrafluoroethylene membrane) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 46.2 มิลลิเมตร

1.2 ก่อนนำกระดาดกรองไปใช้เก็บตัวอย่าง ต้องนำกระดาดไปปรับสภาพในตู้ควบคุมความชื้น ที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ 35-45% ภายในห้องซึ่งอย่างน้อย 72 ชั่วโมง ก่อนนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 5 ตำแหน่ง ทำการชั่งซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง

1.3 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)

1.3.1 เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างแบบปริมาตรต่ำ (Low Volume PM_{10} and $PM_{2.5}$ Sampler) (โดยเลือกเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$) ด้วยวิธีการ Gravimetric method) ที่อัตราการไหล 16.67 ลิตร/นาที โดยเก็บตัวอย่างอย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ในช่วงเดือน เมษายน - พฤษภาคม พ.ศ. 2567 โดยทำการติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างห่างจากฝาผนังอย่างน้อย 1.50 เมตร

1.3.2 หลังจากกระดาดกรองที่ผ่านการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมงเสร็จสิ้นแล้ว จะนำไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมความชื้นอีกครั้ง ภายในห้องซึ่งอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาชั่งน้ำหนักเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 5 ตำแหน่ง โดยชั่งซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง

1.4 การศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5})

การคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5})

$$M(\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{(Mf_{(g)} - Mi_{(g)}) \times 10^6(\mu\text{g})}{V_{std}(\text{m}^3)}$$

$$\text{และ } V_{std} = Q_{std}(\text{L}/\text{min}) \times 10^{-3} \times 1,440 \text{ min}$$

โดยที่ $M(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ = ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

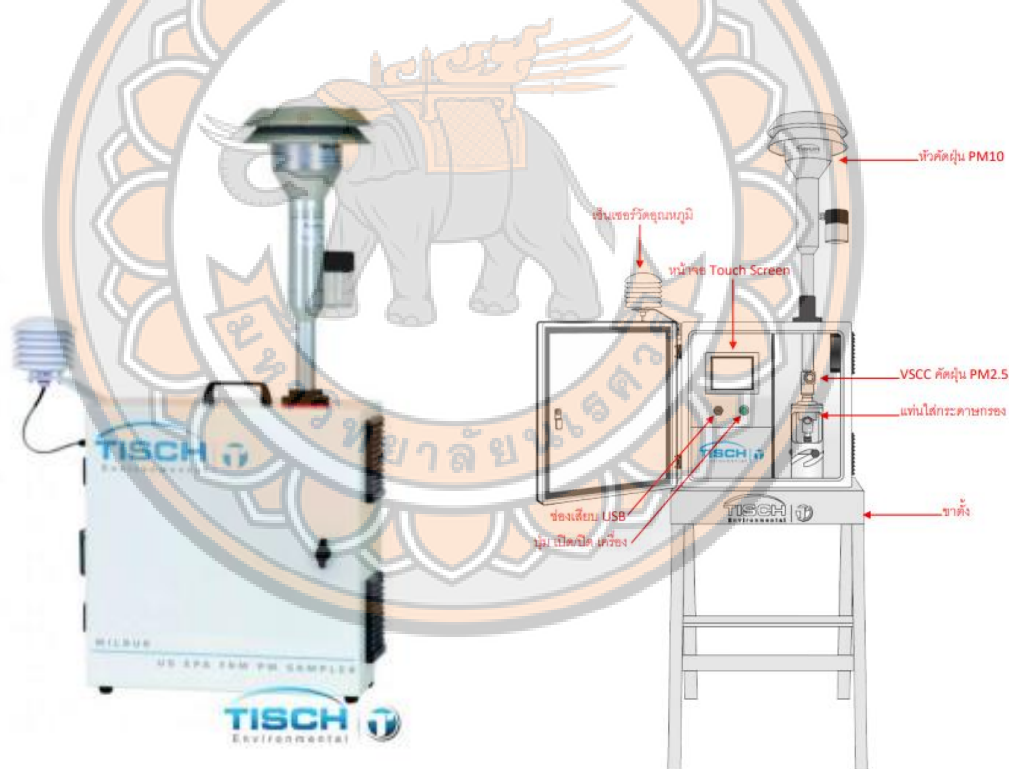
($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$Mf_{(g)}$ = น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง (กรัม)

$Mi_{(g)}$ = น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (กรัม)

$V_{(std)}$ = ปริมาตรของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน

(ที่สภาวะอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ)



ภาพ 24 แสดงเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ยี่ห้อ Tisch Environmental รุ่น TE-WILBUR Low Volume PM_{2.5} and PM₁₀ FRM Sampler

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)

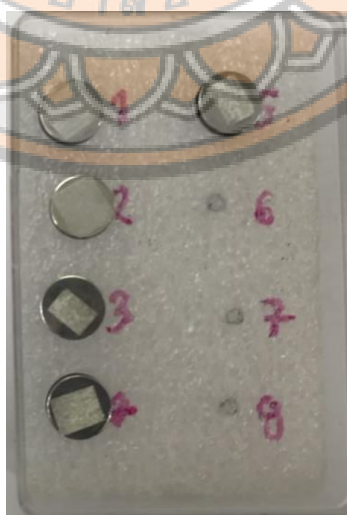
การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน (FESEM) รุ่น Aperio S ก่อนการวิเคราะห์ต้องทำการฉาบผิวตัวอย่างด้วยทองเพื่อให้ตัวอย่างนำไฟฟ้าที่สภาวะสุญญากาศสูงและลดความเสียหายจากความร้อนของลำอิเล็กตรอนที่จะกระทบผิวตัวอย่าง

1. ขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างทางวัสดุศาสตร์

1.1 การเตรียมตัวอย่างให้แห้ง โดยการเก็บตัวอย่างในตู้ดูดความชื้น (Desiccator) โดยลดความชื้นของตัวอย่างเหลืออย่างน้อยหรือลดลงอย่างน้อย 6% เพื่อลดการสะสมของประจุ

1.2 การติดตัวอย่างแบบแท่นติดตัวอย่าง (Stub) ขนาด 1 เซนติเมตร เนื่องจากตัวอย่างเป็นการศึกษาบริเวณพื้นผิวของตัวอย่าง ต้องทำการตัดกระดาษให้มีขนาดเล็กกว่าแท่นติดวางตัวอย่าง โดยใช้คาร์บอนเทปติดกับตัวอย่างบนแท่นติดตัวอย่าง

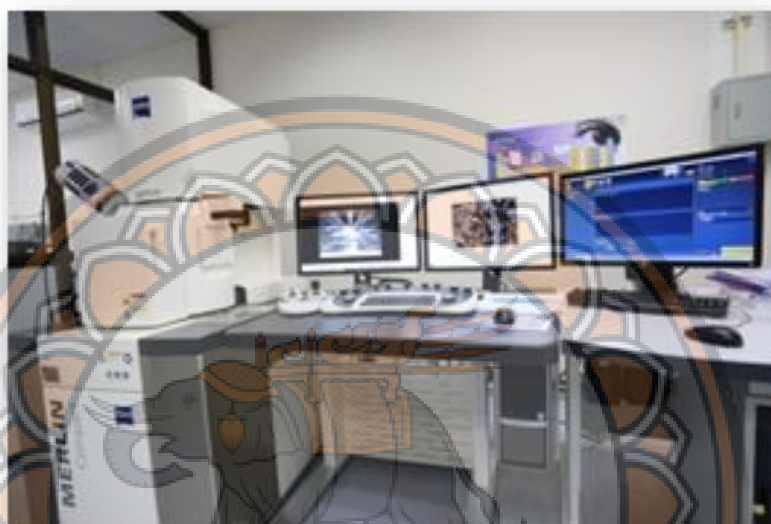
ภาพ 25 แสดงแท่นติดตัวอย่าง (Stub) ขนาด 1 เซนติเมตร



ภาพ 26 แสดงการวางตัวอย่างบนแท่นติดตัวอย่าง (Stub)

1.3 การฉาบผิวตัวอย่าง โดยใช้ Au ในการเคลือบผิวตัวอย่าง เพื่อให้ตัวอย่างสามารถนำไฟฟ้าในสภาวะสุญญากาศสูงและลดความเสียหายจากความร้อนของลำอิเล็กตรอนที่กระทบกับตัวอย่าง

1.4 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ชนิดฟิลด์อิมิสชัน Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM)



ภาพ 27 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM)

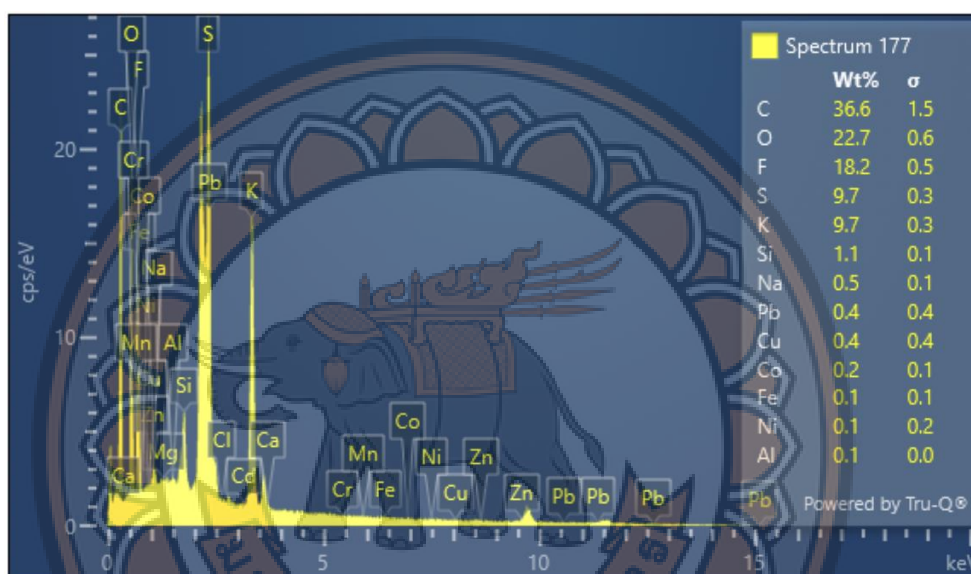
การศึกษาองค์ประกอบของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน โดยวิเคราะห์แบบ Energy Dispersive X-ray Spectrometry (EDS) เป็นการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยสเปกโตรเมตรีแบบกระจายพลังงานที่ใช้ร่วมกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยสามารถวิเคราะห์ชนิด ปริมาณ และการกระจายขององค์ประกอบธาตุด้านวัสดุศาสตร์ ภายภาพที่มีชิ้นส่วนขนาดเล็ก

1. หลักการ Energy Dispersive X-ray Spectrometry (EDS)

เมื่อตัวอย่างที่ต้องการศึกษาถูกชนด้วยลำอิเล็กตรอน ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) โดยการพลักให้อิเล็กตรอนของตัวอย่างหลุดออกจากอะตอม เพื่อเป็นการรักษาเสถียรภาพ อิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรถัดไปจะลงเข้ามาแทนที่อิเล็กตรอนที่หลุดออกไป และปลดปล่อยพลังงานของรังสีเอ็กซ์ (Characteristic X-ray) โดยธาตุแต่ละชนิดจะมีค่าพลังงานเฉพาะตามชนิด หลังจากนั้นเมื่อรังสีเอ็กซ์เข้าสู่หัววัดจะสร้างสัญญาณไฟฟ้าซึ่งมีสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานของรังสีที่ตกกระทบ และนำสัญญาณที่ได้มาวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณ ส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประเมินและ

แปลงผลรายงานค่าสเปกตรัมรังสีเอ็กซ์ต่อไป สเปกตรัมจากการวิเคราะห์ EDS นั้นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีเอ็กซ์ (X) และจำนวนสัญญาณของรังสีเอ็กซ์ที่วัดได้ (Y) โดยพีคที่เกิดขึ้นจะบ่งบอกถึงธาตุที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่างที่ต้องการศึกษา อีกทั้งสามารถวิเคราะห์ธาตุในเชิงคุณภาพ (Qualitative element analysis) โดยตัวอย่างมีองค์ประกอบของธาตุชนิดใดบ้าง และสามารถวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative element analysis) บอกเปอร์เซ็นต์ (%) ของธาตุที่วิเคราะห์ที่มีอยู่ได้เช่นกัน (ดลฤดี โตเย็น, 2563)



ภาพ 28 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กโดยเทคนิค Energy Dispersive X-ray Spectrometry (EDS)

ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา

เลือกพารามิเตอร์ด้านเหตุการณ์ทางอุตุนิยมวิทยา โดยทำการรวบรวมข้อมูลจาก Air4Thai (กรมควบคุมมลพิษ จากเว็บไซต์ <http://air4thai.pcd.go.th/webV3/#/History>) ดังนี้

1. ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน และรายชั่วโมง จำนวน 24 ชั่วโมง
2. ความชื้นสัมพัทธ์
3. ความกดอากาศ
4. ปริมาณน้ำฝน

การประมาณค่าเชิงพื้นที่

ปัจจุบันการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน ($PM_{2.5}$) ซึ่งเป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญในเขตเมือง การศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เชิงพื้นที่ จำเป็นต้องอาศัยเทคนิคการประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial interpolation) เพื่อสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) จากจุดตรวจวัด ทั้ง 9 พื้นที่

การประมาณค่าเชิงพื้นที่เป็นกระบวนการในการทำนายค่าของตัวแปรที่สนใจ ณ ตำแหน่งที่ไม่มีการเก็บข้อมูล โดยอาศัยข้อมูลจากจุดตรวจวัดที่มีอยู่ ซึ่งมีหลายวิธี เช่น Inverse Distance Weighting (IDW), Kriging, Spline และ Natural Neighbor เป็นต้น โดยในการศึกษาวิจัยเลือกใช้วิธี Inverse Distance Weighting (IDW) เนื่องจากมีความเหมาะสมในการประมาณค่าการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ตามที่มีการศึกษาโดย ธิดารัตน์ คำล้อม (2564) และธิตยา ศรีนารัง และรังสรรค์ เกตุอื้อต (2563)

Inverse Distance Weighting (IDW) เป็นวิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่ที่อาศัยหลักการความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Spatial Relationship) โดยมีสมมติฐานว่าจุดที่อยู่ใกล้กันจะมีค่าที่คล้ายคลึงกันมากกว่าจุดที่อยู่ห่างไกลกัน (Tobler's First Law of Geography) หลักการสำคัญของ IDW คือ การให้น้ำหนัก (Weight) กับจุดข้อมูลที่ทราบค่าแล้วตามระยะทางระหว่างจุดข้อมูลนั้นกับจุดที่ต้องการประมาณค่า โดยน้ำหนักจะแปรผกผันกับระยะทาง กล่าวคือ จุดข้อมูลที่อยู่ใกล้จะมีอิทธิพลต่อการประมาณค่ามากกว่าจุดข้อมูลที่อยู่ไกล โดยการดำเนินงานด้วยโปรแกรม QGIS ที่ประกอบไปด้วยขั้นตอน ดังนี้

1. การเตรียมข้อมูล (Data Preparation)

รวบรวมข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) จาก 9 จุดตรวจวัดในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก พร้อมข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์ (ละติจูด-ลองจิจูด) ของแต่ละจุดตรวจวัด และรวบรวมข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) จาก 9 จุดตรวจวัดในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก พร้อมข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์ (ละติจูด-ลองจิจูด) ของแต่ละจุดตรวจวัด

2. กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา (Area of Interest, AOI)

ใช้ข้อมูลจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 9 พื้นที่ ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาประมวลผลเป็นชั้นข้อมูลขอบเขตพื้นที่ศึกษาโดยสร้างเป็นพื้นที่รูปปิด (Polygon)

3. การประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี IDW

นำเข้าข้อมูลจากข้อที่ 1 เพื่อดำเนินการ Interpolation ด้วยวิธี IDW Interpolation โดยใช้ weight field เป็นคอลัมน์ที่เก็บข้อมูลค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) กำหนดให้ Distance coefficient มีค่าเท่ากับ 2 Extent เป็นชั้นข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 และกำหนด Output raster size ที่ขนาด 100x100 พิกเซล

4. การสร้างเส้นคอนทัวร์ (Contour Lines)

นำเข้าข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 แล้วใช้ฟังก์ชัน Extraction Contour แล้วกำหนดช่วงห่างของค่าฝุ่นที่เหมาะสม โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยกำหนดที่ $5 \mu g/m^3$

5. การสร้างแผนที่เพื่อนำเสนอ (Map Composition)

สร้างแผนที่เฉพาะเรื่อง (Thematic Map) ที่นำเสนอการกระจายตัวของปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ที่ได้จากการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี IDW ซึ่งสามารถวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวและความรุนแรงของฝุ่นในพื้นที่เขตเทศบาลนครพิษณุโลกได้ โดยพิจารณาจากสีและเส้นคอนทัวร์ที่แสดงบนแผนที่ ซึ่งบริเวณที่มีสีเข้มหรือมีเส้นคอนทัวร์ที่แสดงค่าสูง จะเป็นพื้นที่ที่มีความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ สูง อาจเป็นพื้นที่ที่มีปัญหามลพิษทางอากาศรุนแรง ในขณะที่บริเวณที่มีสีอ่อนหรือมีเส้นคอนทัวร์ที่แสดงค่าต่ำ จะเป็นพื้นที่ที่มีความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ต่ำ การวิเคราะห์เปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในแต่ละพื้นที่ สามารถใช้ประโยชน์ในการระบุแหล่งกำเนิดมลพิษ การวางแผนการจัดการคุณภาพอากาศ และการกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศในพื้นที่เขตเมืองต่อไป

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ระหว่าง 9 พื้นที่นั้น ทำการทดสอบความแตกต่างของข้อมูลระหว่างพื้นที่ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์โดย F-Test และเลือกการวิเคราะห์แบบ One Way ANOVA ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์ด้วย DMRT (Duncan's Multiple Range Test) เพื่อเปรียบเทียบระหว่าง 9 พื้นที่ (นัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95%)

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) โดยการเก็บตัวอย่าง ณ บริเวณพื้นที่ริมถนนซึ่งมีรูปแบบการจราจรค่อนข้างหนาแน่น ในพื้นที่เขตเทศบาลนครพิษณุโลก จำนวน 9 พื้นที่ ช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2567 และนำมาคำนวณความเข้มข้นเฉลี่ยในรอบ 24 ชั่วโมงหน่วยเป็น $\mu g/m^3$ เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามกฎหมายของประเทศไทย ซึ่งกำหนดโดย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและเปรียบเทียบกับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index : AQI) รวมทั้งศึกษาลักษณะสัญญาณและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เพื่อพิจารณาชนิดของธาตุที่ปรากฏในรูปแบบของฝุ่นทั้ง 9 พื้นที่ศึกษาดังกล่าว ผลการศึกษาแสดงรายละเอียดในบทที่ 4 ดังนี้

ผลการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ทั้ง 9 พื้นที่

จากการศึกษาระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ณ พื้นที่ริมถนนบริเวณเขตเทศบาลนครพิษณุโลก 9 พื้นที่ โดยเป็นการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง ผลการศึกษาโดยเฉลี่ยแสดงในตาราง 8 นำข้อมูลระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของฝุ่น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน $37.5 \mu g/m^3$ ประกาศโดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เมื่อวันที่ 23 มิถุนายน 2565 และมีผลบังคับใช้วันที่ 1 มิถุนายน 2566 เป็นต้นไป (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2565) พบว่าสามารถแบ่งออกเป็น 2 สถานการณ์ ดังนี้

1. พื้นที่ศึกษาที่มีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

มีจำนวน 4 พื้นที่ ได้แก่ ถนนพญาเสือ (R5) ถนนพระองค์ดำ (R6) ถนนสี่แยกบ้านแขก (R7) และ ถนนบรมไตรโลกนารถ (R8) มีคุณภาพอากาศอยู่ในช่วงดีถึงปานกลาง โดยถนนพญาเสือและถนนพระองค์ดำ พบว่า มีระดับค่า $PM_{2.5}$ ต่ำที่สุดที่ระดับในช่วง 24.01 ถึง $24.09 \mu g/m^3$ ส่วนถนนบรมไตรโลกนารถถึงแม้ว่ามีระดับค่า $PM_{2.5}$ (เฉลี่ย 24 ชั่วโมง) ไม่เกินมาตรฐาน อย่างไรก็ตาม พบว่า มีระดับที่ค่อนข้างสูง ถึง $34.44 \mu g/m^3$ หรือมีค่าสูงที่ระดับ 91.84% ของค่ามาตรฐาน จึงยังเป็นพื้นที่ที่ควรเฝ้าระวัง (ตาราง 8)

2. พื้นที่ที่มีคุณภาพอากาศไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

จากการติดตามตรวจวัดระดับ $PM_{2.5}$ พบว่ามีจำนวน 5 พื้นที่ ได้แก่ ถนนวังจันทร์ (R1) ถนนไชนาภาพ (R2) ถนนบึงพระจันทร์ (R3) ถนนพุทธบูชา (R4) และ ถนนศรีสุริโยทัย (R9) มีคุณภาพอากาศในระดับที่มีผลกระทบต่อสุขภาพประชาชน โดยมีระดับความเข้มข้นทั้งหมดอยู่ในช่วงตั้งแต่ 37.63 ถึง $78.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยเรียงลำดับตั้งแต่ R9, R4, R3, R1 และ R2 โดยพบว่า บริเวณที่มีระดับ $PM_{2.5}$ สูงที่สุดคือ บริเวณถนนไชนาภาพ (R2) โดยพบว่า มีระดับความเข้มข้นสูงถึงระดับ $78.76 \pm 12.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งพิจารณาแล้วเป็นระดับที่เกินค่ามาตรฐาน (ระดับ $37.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ประมาณ 2 เท่าหรือ ประมาณ 110 % ของค่ามาตรฐาน (ตาราง 8)

ตาราง 8 แสดงปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) บริเวณพื้นที่ริมถนน 9 พื้นที่

พื้นที่ศึกษา	ความเข้มข้น ฝุ่น $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) $\pm$ SD	ค่ามาตรฐาน ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ไม่เกิน 2.5 ไมครอน (24 ชั่วโมง)	หมายเหตุ
R1	68.94 ± 7.56	* E-NAAQS	ไม่มีฝน
R2	78.76 ± 12.15	* E-NAAQS	ไม่มีฝน
R3	62.07 ± 18.66	* E-NAAQS	ไม่มีฝน
R4	44.80 ± 8.91	* E-NAAQS	ไม่มีฝน
R5	27.98 ± 7.56	NE- NAAQS	ไม่มีฝน
R6	24.01 ± 1.20	NE- NAAQS	ไม่มีฝน
R7	24.09 ± 8.35	NE- NAAQS	ไม่มีฝน
R8	34.44 ± 2.95	NE- NAAQS	ไม่มีฝน
R9	37.63 ± 1.37	* E-NAAQS	ไม่มีฝน

NE-NAAQS = Not-exceed the Thailand Ambient Air Quality Standards (NAAQS) for $PM_{2.5}$ (ไม่เกินค่ามาตรฐานสำหรับคุณภาพอากาศของประเทศไทย ซึ่งกำหนดไว้ที่ระดับ $37.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

*E-NAAQS = Exceed the Thailand Ambient Air Quality Standards (NAAQS) for $PM_{2.5}$ (เกินค่ามาตรฐานสำหรับคุณภาพอากาศของประเทศไทย)

2. การคำนวณค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เพื่อเปรียบเทียบกับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI)

จากผลการศึกษาซึ่งแสดงดังตาราง 8 ได้นำค่าเฉลี่ยฝุ่น $PM_{2.5}$ ของพื้นที่ศึกษา 9 พื้นที่ วิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) ซึ่งประกาศโดยกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2566 โดยการใช้สูตรคำนวณตามประกาศดังกล่าว (แสดงรายละเอียดการคำนวณในบทที่ 3) ผลการคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศย่อย แสดงในตาราง 9 ในภาพรวมพบว่าระดับแถบสีมีตั้งแต่แถบสีเขียว แถบสีเหลือง แถบสีส้ม และแถบสีแดง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสถานการณ์คุณภาพอากาศโดยใช้ $PM_{2.5}$ เป็นตัวชี้วัด ณ บริเวณถนนทั้ง 9 พื้นที่ในเขตเทศบาลจังหวัดพิษณุโลก แสดงสถานการณ์ตั้งแต่ระดับคุณภาพอากาศดี คุณภาพอากาศปานกลาง คุณภาพอากาศที่เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ จนถึงระดับสถานการณ์คุณภาพอากาศที่มีผลกระทบต่อสุขภาพประชาชน

เมื่อพิจารณารายพื้นที่ศึกษาทั้ง 9 พื้นที่ และเรียงลำดับพื้นที่คุณภาพอากาศดีไปจนถึงระดับที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพสูงที่สุดพบว่าสถานการณ์คุณภาพอากาศมี 4 ระดับที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ดังนี้ (ตาราง 9)

บริเวณถนนพระองค์ดำ บริเวณตลาดราชพฤกษ์ (R6) และ ถนนพระองค์ดำ บริเวณสี่แยกบ้านแขก (R7) ค่า AQI เท่ากับ 47.60 และ 47.79 แสดงถึงคุณภาพอากาศดี ประชาชนทั่วไป สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งได้ตามปกติ (แถบสีเขียว)

บริเวณ ถนนพญาเสือ (R5) และถนนบรมไตรโลกนาถ (R8) มีค่า AQI เท่ากับ 62.38 และ 87.91 แสดงถึงคุณภาพอากาศปานกลาง ประชาชนทั่วไป สดระยะเวลาการทำกิจกรรมหรือการออกกำลังกายกลางแจ้งที่ใช้แรงมาก (แถบสีเหลือง)

บริเวณถนนวังจันทร์ (R1) ถนนบึงพระจันทร์ (R3) ถนนพุทธบูชา (R4) และถนนศรีสุริโยทัย (R9) ค่า AQI เท่ากับ 183.96, 161.68, 120.06, 101.08 ตามลำดับ แสดงถึงคุณภาพอากาศเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ ประชาชนทั่วไปควรใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเอง เช่น หน้ากากป้องกัน $PM_{2.5}$ ทุกครั้งที่ออกนอกอาคาร และควรจำกัดระยะเวลาในการทำกิจกรรมหรือการออกกำลังกาย กลางแจ้งที่ใช้แรงมาก และหลีกเลี่ยงการทำกิจกรรมหรือการออกกำลังกายกลางแจ้งที่ใช้แรงมาก (แถบสีส้ม)

ถนนไชนาภาพ (R2) มีค่ามากกว่า 201 แสดงถึงคุณภาพอากาศมีผลกระทบต่อสุขภาพ ประชาชนทุกคนควรงดกิจกรรมกลางแจ้ง หากมีความจำเป็นต้องทำกิจกรรมกลางแจ้งให้ใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเอง ทุกครั้ง เช่น หน้ากากป้องกัน $PM_{2.5}$ (แถบสีแดง)

ตาราง 9 แสดงปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) และค่าเปรียบเทียบกับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ บริเวณพื้นที่ริมถนน 9 พื้นที่

พื้นที่ศึกษา	ความเข้มข้น ฝุ่น PM _{2.5} (µg/m ³) ± SD	ดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI)	สี	ความหมาย
R1	68.94 ± 7.56	183.96	ส้ม	เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ
R2	78.76 ± 12.15	201.00	แดง	มีผลกระทบต่อสุขภาพ
R3	62.07 ± 18.66	161.68	ส้ม	เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ
R4	44.80 ± 8.91	120.06	ส้ม	เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ
R5	27.98 ± 7.56	62.38	เหลือง	ปานกลาง
R6	24.01 ± 1.20	47.60	เขียว	คุณภาพอากาศดี
R7	24.09 ± 8.35	47.79	เขียว	คุณภาพอากาศดี
R8	34.44 ± 2.95	87.91	เหลือง	ปานกลาง
R9	37.63 ± 1.37	101.08	ส้ม	เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ

หมายเหตุ: ค่าดัชนีคุณภาพอากาศอ้างอิงตาม ประกาศโดยกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย ณ วันที่ 16 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

3. ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

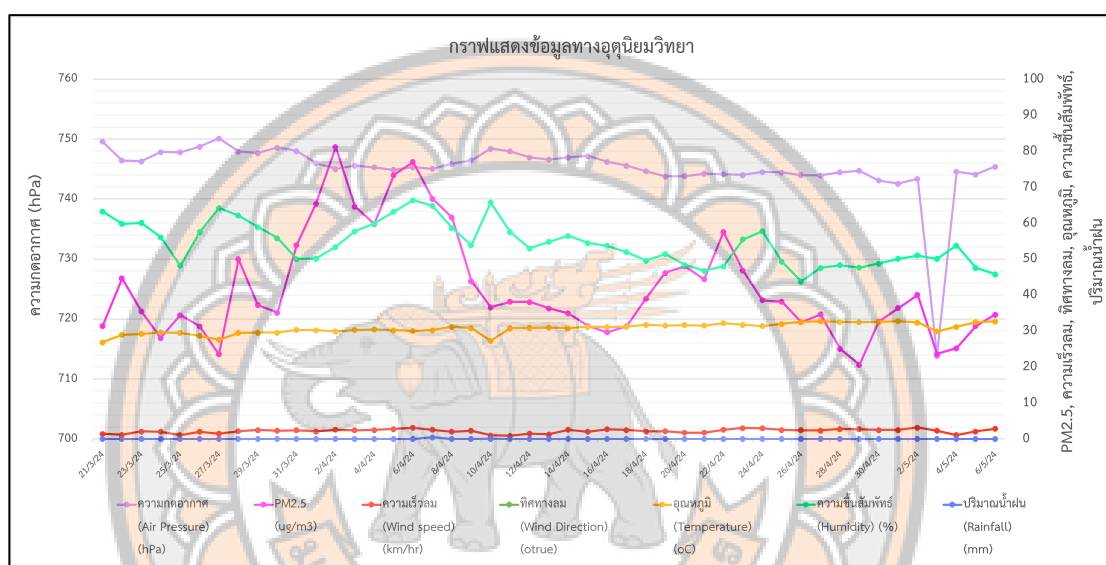
จากการรวบรวมข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาความเข้มข้นฝุ่น PM_{2.5} ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และปริมาณน้ำฝน ช่วงเดือนมีนาคม – พฤษภาคม 2567 ซึ่งตรวจวัดและแสดงผลในระบบแพลตฟอร์มออนไลน์ Air4Thai โดยกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งให้ข้อมูลคุณภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ โดยมีจุดเก็บตัวอย่าง ณ ริมแม่น้ำน่าน เขตเทศบาลเมืองจังหวัดพิษณุโลก (กรมควบคุมมลพิษ, 2567) พบว่า ความเข้มข้นฝุ่น PM_{2.5} เฉลี่ยเท่ากับ 36.5 µg/m³ ความเร็วลม เฉลี่ยเท่ากับ 2 กิโลเมตร/ชั่วโมง ทิศทางลมเฉลี่ย 134 องศา ทิศทางลมเฉลี่ย 134 องศา อุณหภูมิเฉลี่ย 31 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 54 เปอร์เซ็นต์ ความกดอากาศเฉลี่ย 745 มิลลิบาร์ และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 0 มิลลิเมตร แสดงดังภาพ 29 ใดๆ

ตามในระยะเวลาที่ศึกษาเป็นช่วงการศึกษาระยะสั้นและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเป็นข้อมูลในภาพรวมของจังหวัด (ไม่ได้เจาะจงในพื้นที่ศึกษา) จึงไม่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างระดับ $PM_{2.5}$ และปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา อย่างไรก็ตามมีการศึกษาจำนวนมากที่แสดงถึงความสอดคล้องกันดังกล่าว และแสดงให้เห็นว่าปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา มีผลต่อความเข้มข้นและการกระจายตัวของฝุ่น $PM_{2.5}$ อย่างมาก จากผลการศึกษา Das et al. (2021) เกี่ยวกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาส่งผลต่อความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เมืองนิวเดลี ประเทศอินเดีย โดยใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา อุณหภูมิ ความเร็วลม ความกดอากาศ ปริมาณน้ำฝน แสงแดดรายชั่วโมง และการปกคลุมของเมฆ ในช่วงปี ค.ศ. 2018-2020 พบว่า ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาทางสภาพอากาศ คือ อุณหภูมิ และความชื้น มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ สอดคล้องกับการศึกษา Yang et al. (2017) ศึกษาความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในประเทศจีน พบว่า อุณหภูมิกับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีความสัมพันธ์เชิงบวก โดยอุณหภูมิสูงช่วยนำพาความร้อนของอากาศได้ดี ยิ่งทำให้อุณหภูมิของฝุ่น $PM_{2.5}$ กระจายตัวได้ดี อีกทั้งจากการศึกษา พบว่า ในช่วงฤดูร้อนมีความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ มากกว่าฤดูหนาว

จากการศึกษาของ Nguyen et al. (2024) ซึ่งได้เน้นการสำรวจผลกระทบของเหตุการณ์อุตุนิยมวิทยาต่อคุณภาพอากาศ $PM_{2.5}$ ในประเทศเวียดนาม โดยทำการวิจัยในหลายพื้นที่ ผลการศึกษาพบความสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา และระดับ $PM_{2.5}$ อาทิเช่น ปัจจัยความชื้นระดับสูง ความกดอากาศสูง และความเร็วลมต่ำ ส่งผลให้ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ สูงขึ้น

นอกจากนี้ยังไม่มีการศึกษาที่แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องระหว่างปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยากับระดับความเข้มข้นของฝุ่นในบรรยากาศ เช่นการศึกษาโดย ชนิตาภา วินาลัย และคณะ (2565) ซึ่งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของอุตุนิยมวิทยากับปริมาณของฝุ่นในชั้นบรรยากาศ โดยเน้นการศึกษาเกี่ยวกับ ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในกรุงเทพฯ และเขตปริมณฑล พบว่า สภาวะอุณหภูมิผกผันกับระดับความสูง (หรือสภาวะ Thermal Inversion ตามแนวดิ่งของชั้นบรรยากาศ) มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มระดับความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ เนื่องจากเมื่อระดับอุณหภูมิบริเวณภาคพื้นดินลดลงก่อให้เกิดชั้นแนวความร้อนในชั้นบรรยากาศที่สูงกว่า) ส่งผลให้ฝุ่น $PM_{2.5}$ ไม่สามารถระบายสู่ชั้นบรรยากาศที่สูงขึ้นได้ จึงส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้นในระดับชั้นพื้นดิน ตรงข้ามกับปัจจัยปริมาณน้ำฝนซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์แบบผกผันกับความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ โดยปริมาณน้ำฝนจะช่วยชะล้างอนุภาคต่าง ๆ ในอากาศส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ลดลง ส่วนปัจจัยความชื้นสัมพัทธ์ในกรณีศึกษานี้พบว่ามีสัมพันธ์แบบผกผันกับความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ โดยปริมาณไอน้ำอากาศแปรผันตรงกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ เมื่อค่าไอน้ำในอากาศสูง จะสามารถดักจับอนุภาคบางประเภทในชั้นบรรยากาศได้ดี ทำให้อนุภาคนั้นตกลงสู่ภาคพื้นดินในระดับต่ำกว่า สำหรับปัจจัยความเร็วลมมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับความเข้มข้นของฝุ่น

PM_{2.5} เช่นเดียวกับปัจจัยของปริมาณน้ำฝน โดยพบว่า เมื่อลมมีการเคลื่อนตัวเร็ว ทำให้อนุภาคของฝุ่น PM_{2.5} ถูกพัดพาออกไปจากพื้นที่ที่สะสมฝุ่นในบริเวณแหล่งกำเนิด ส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ลดลง และความดันบรรยากาศความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} เมื่อความดันบรรยากาศต่ำ ทำให้ปริมาณอากาศมีน้อย น้ำหนักของอากาศเบาส่งผลให้อากาศลอยตัวสูงขึ้น อีกทั้งยังรวมตัวกับอนุภาคอื่น ๆ ในอากาศลอยตัวสูงขึ้นไป ส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} บริเวณภาคพื้นลดลง



ภาพ 29 แสดงข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาความเข้มข้นฝุ่น PM_{2.5} ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และปริมาณน้ำฝน ในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก ช่วงระหว่างวันที่ 21 มีนาคม - 6 พฤษภาคม 2567

ที่มา: สักราะห์ข้อมูลจากแพลตฟอร์มออนไลน์ Air4Thai ที่แสดงผลข้อมูลคุณภาพอากาศโดยกรมควบคุมมลพิษ คือ แพลตฟอร์มที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับสถานการณ์มลพิษทางอากาศในประเทศไทย

การศึกษาในพื้นที่เกาะฮ่องกง เป็นอีกหนึ่งงานวิจัยที่ยืนยันสถานการณ์ความสอดคล้องระหว่างสภาพอุตุนิยมวิทยาและปริมาณ PM_{2.5} โดยกลุ่มนักวิจัย Cheng et al. (2006) ได้ติดตามปริมาณฝุ่น PM_{1.0} PM_{2.5} และ PM₁₀ ช่วงฤดูกาลต่าง ๆ (ฤดูใบไม้ผลิ ฤดูร้อน ฤดูใบไม้ร่วง ฤดูหนาว) บริเวณพื้นที่ริมถนน Hong Chong ในเกาะฮ่องกง (Hong Kong : HK) ซึ่งเป็นถนนที่เป็นเส้นทางเชื่อมระหว่างเกาะฮ่องกงกับประเทศจีนบริเวณทำให้มียานพาหนะสัญจรหนาแน่น โดยมีจำนวนยานพาหนะบนถนนสายนี้ประมาณ 170,000 คัน/วัน พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} เฉลี่ยเท่ากับ $55.4 \pm 25.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อเทียบกับค่า

มาตรฐานคุณภาพอากาศแวดล้อมแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (NAAQS) พบว่า มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานถึง 3.7 เท่า ช่วงฤดูใบไม้ร่วง (เดือนกันยายน-ตุลาคม) เป็นช่วงที่มีความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ สูงที่สุด ($PM_{2.5}$ เฉลี่ย $71.0 \mu g/m^3$) และช่วงฤดูร้อน (เดือนพฤษภาคม-สิงหาคม) มีความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ น้อยที่สุด ($PM_{2.5}$ เฉลี่ย $40.9 \mu g/m^3$) อีกทั้งโดยเกาะฮ่องกงตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย ในช่วงฤดูร้อนมวลอากาศจากทะเลจีนใต้จะพัดเข้าสู่เกาะฮ่องกง โดยลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ส่งผลให้มีฝนตกชุกทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองลดลง แต่ในช่วงฤดูหนาวมีลมมรสุมพัดจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งมวลอากาศพัดผ่านทางตอนใต้ของประเทศจีนก่อนมาสู่เกาะฮ่องกง จึงส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ของเกาะฮ่องกงมีความเข้มข้นมากกว่าฤดูกาลอื่น

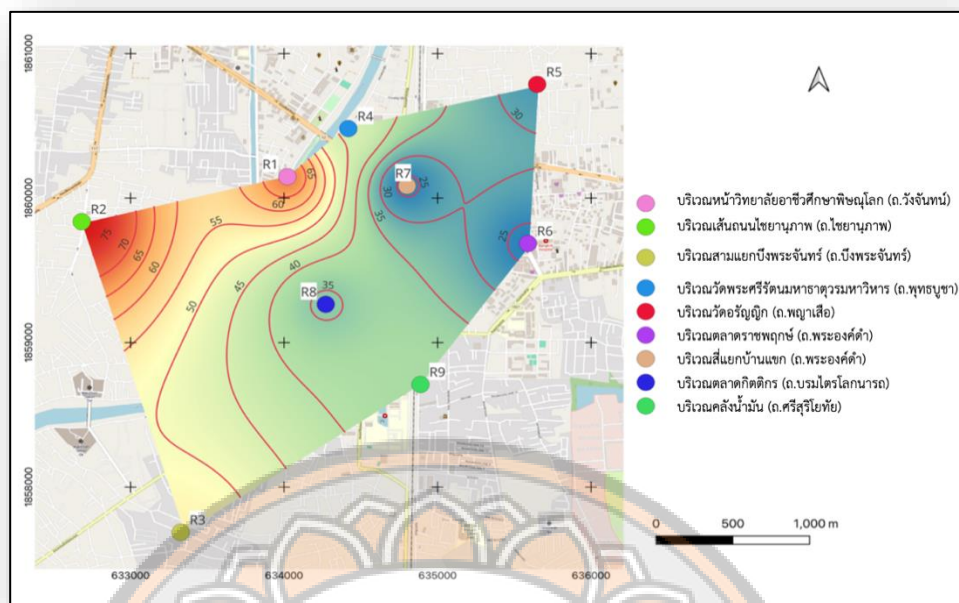
4. การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)

การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) แสดงโดยการสร้างแผนที่การกระจายตัว เพื่อเป็นประโยชน์ในการติดตามและคาดการณ์สถานการณ์ $PM_{2.5}$ โดยแสดงในภาพ 30 ผลการศึกษาดังกล่าวนี้นี้ มีผลต่อการติดตามการกระจายตัวของมลพิษ $PM_{2.5}$ และประเมินพื้นที่ที่มีความเสี่ยงในระดับที่แตกต่างกัน ช่วยคาดการณ์ถึงจุดที่มีความเสี่ยงสูงในการเกิดมลพิษ ซึ่งสามารถใช้ในการวางแผนการจัดการมลพิษในระยะยาวได้ โดยในภาพ 30 แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ $PM_{2.5}$ ออกเป็น 2 กลุ่มชัดเจน ดังนี้

พื้นที่ R2 ถึง พื้นที่ R1 (เป็นพื้นที่ที่มีการกระจายตัวของ $PM_{2.5}$ ในระดับสูง คุณภาพอากาศอยู่ในแถบสีแดง) ได้แก่ ถนนวังจันทร์ (R1) ถนนไชนานุภาพ (R2) ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็นพื้นที่ที่ควรเฝ้าระวังเป็นพิเศษเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อื่น ๆ

สำหรับพื้นที่ R3 และ R4 พบว่าเป็นพื้นที่ที่มีการกระจายตัวของ $PM_{2.5}$ ในระดับปานกลาง คุณภาพอากาศอยู่ในแถบสีส้ม ได้แก่ ถนนบึงพระจันทร์ (R3) ถนนพุทธบูชา (R4) เป็นพื้นที่ที่ควรได้รับการเฝ้าระวังในระดับรองลงมา อย่างไรก็ตามพบว่ามีบางพื้นที่ที่ยังอยู่ในระดับสถานการณ์ไม่รุนแรงสำหรับประชาชน คือ พื้นที่ R5 และ R8 (มีการกระจายตัวของ $PM_{2.5}$ ในระดับเล็กน้อย คุณภาพอากาศอยู่ในแถบสีเหลือง) ได้แก่ ถนนพญาเสือ (R5) ถนนบรมไตรโลกนาถ (R8) และพื้นที่ ถนนพระองค์ดำ บริเวณตลาดราชพฤกษ์ (R6) และ ถนนพระองค์ดำ บริเวณสี่แยกบ้านแขก (R7) (มีการกระจายตัวของ $PM_{2.5}$ น้อยมาก คุณภาพอากาศอยู่ในแถบสีเขียว) ได้แก่ ถนนพระองค์ดำ บริเวณตลาดราชพฤกษ์ (R6) ถนนพระองค์ดำ บริเวณสี่แยกบ้านแขก (R7)

ผลการจัดทำแผนที่การกระจายตัวของ $PM_{2.5}$ จะมีประโยชน์สำหรับการวางแผนการจัดการในพื้นที่เขตเทศบาลนครพิษณุโลกต่อไป



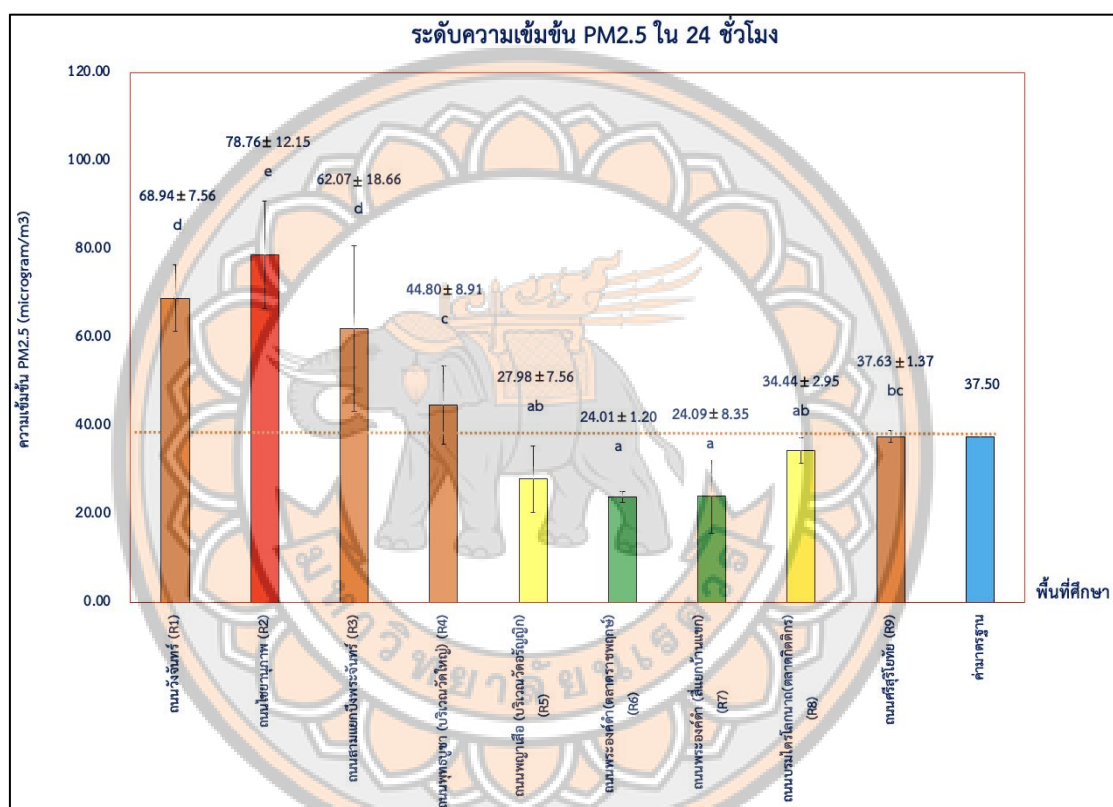
ภาพ 30 แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ณ พื้นที่ศึกษา 9 พื้นที่ ช่วงระหว่างวันที่ 21 มีนาคม ถึง 6 พฤษภาคม 2567

5. ผลการทดสอบทางสถิติระหว่างพื้นที่

ผลการศึกษาระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ทั้ง 9 พื้นที่ได้นำมาวิเคราะห์เชิงสถิติ โดยการทดสอบความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างพื้นที่ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อย่างโดดเด่น โดยเมื่อพิจารณารวมทั้ง 9 พื้นที่พบว่าระดับ $PM_{2.5}$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติถึงประมาณ 6 กลุ่ม (พิจารณาโดยอักษรที่แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในภาพ 31)

1. ระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ณ พื้นที่ถนนไชยานุภาพ (R2) มีระดับสูงสุดโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ 8 พื้นที่ศึกษา
2. พื้นที่ถนนวังจันทร์ (R1) และถนนบึงพระจันทร์ (R3) เป็นกลุ่มที่มีระดับ $PM_{2.5}$ ที่รองลงมา และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อื่น ๆ
3. พื้นที่ถนนพุทธบูชา (R4) มีระดับ $PM_{2.5}$ รองลงมาเป็นลำดับที่ 3 เมื่อพิจารณาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับพื้นที่อื่น ๆ
4. พื้นที่ถนนศรีสุริโยทัย (R9) เป็นพื้นที่ที่มีระดับ $PM_{2.5}$ รองลงมาเป็นพื้นที่ที่ 4 เมื่อพิจารณาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับพื้นที่อื่น ๆ

5. พื้นที่ถนนพญาเสือ (R5) และ บรมไตรโลกนาถ บริเวณตลาดกิตติกร (R8) เป็นพื้นที่ที่มีระดับ $PM_{2.5}$ รองลงมาเป็นลำดับที่ 5 เมื่อพิจารณาความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับพื้นที่อื่น ๆ
6. พื้นที่ถนนพระองค์ดำ บริเวณตลาดราชพฤกษ์ (R6) และ ถนนพระองค์ดำ บริเวณสี่แยกบ้านแขก (R7) เป็นกลุ่มที่มีระดับ $PM_{2.5}$ ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับอีก 7 พื้นที่ (ภาพ 31)



ภาพ 31 แสดงปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ช่วงระยะเวลา 24 ชั่วโมง ณ พื้นที่ศึกษา 9 พื้นที่ (ค่าที่แสดงบนแท่งกราฟ ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)

ผลการศึกษาสัณฐานวิทยา และองค์ประกอบทางเคมี

ข้อมูลในเบื้องต้นได้แสดงถึงผลของปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ทั้ง 9 พื้นที่ นอกจากนั้นในการศึกษายังได้วิเคราะห์ต่อเนื่องในด้านสัณฐานและองค์ประกอบธาตุของฝุ่นในแต่ละพื้นที่ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) และ Energy Dispersive X-ray Spectrometry (EDS) ตามลำดับ เพื่อการประเมินแหล่งกำเนิดและประเมินความเสี่ยงเชิงพื้นที่ ผลการศึกษาพบว่าในภาพรวม ลักษณะของสัณฐานและองค์ประกอบธาตุ

แสดงสัดส่วนที่แตกต่างกันในพื้นที่ศึกษาทั้ง 9 พื้นที่ โดยแต่ละพื้นที่แสดงถึงสัดส่วนที่โดดเด่นดังนี้ (ตาราง 10)

1. ถนนวังจันทร์ (R1)

พบว่า อนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ มีลักษณะรูปร่างอนุภาคที่ปรากฏเด่นชัดคือ ความหลากหลาย ทั้งรูปแบบแท่ง ทรงกลม ก้อนปุย ผสมผสานในก้อนเดียวกัน อย่างไรก็ตามลักษณะที่โดดเด่นคือ สัดส่วนที่มีลักษณะ ไม่แน่นอน (Irregular particle form) (ภาพที่แสดงในตาราง 10) เนื่องจากเกิดจากการเผาไหม้ด้วยระดับความร้อนที่ไม่สูงมากนัก จึงส่งผลทำให้มีลักษณะที่เป็นผลึกค่อนข้างสูงและประกอบด้วยรูปร่างที่หลากหลาย และด้วยคุณสมบัติการดูดซับน้ำที่แตกต่างกัน หรือ hygroscopic growth ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาด รูปร่าง องค์ประกอบทางเคมีที่หลากหลาย Prabhu et al. (2019)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบธาตุที่พบมีจำนวน 16 ธาตุหลัก (แสดงในตาราง 10) โดยพิจารณาจากสัดส่วนที่พบต่ำที่สุดคือตั้งแต่ 0.1% จึงไปถึง สัดส่วนที่สูงที่สุดเกิน 50% ผลการศึกษาแสดงดังนี้

กลุ่มธาตุที่พบในสัดส่วนต่ำมากที่สุดที่ระดับ 0.1% คือ Fe Al Cl Cr Mg และ Ni กลุ่มธาตุที่มีสัดส่วนในระดับที่สูงขึ้นมาเล็กน้อยคือที่ระดับ 0.2% ถึง 0.4% คือ Na Pb และ Zn กลุ่มธาตุที่มีระดับสัดส่วนตั้งแต่ 1.5% ถึง 5.6% คือ Ca Si K และ S และกลุ่มสุดท้ายที่มีสัดส่วนระดับสูงมากที่สุดที่ระดับ 14.6% 18.1% และสูงที่สุดที่ระดับ 53.9% คือ F O และ C ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแล้ว กลุ่ม C และ O เป็นชนิดที่พบมากในบริเวณนี้ ซึ่งเป็นอนุภาคชนิดที่ดูดซับน้ำได้ดี

2. ถนนไชยานุภาพ (R2)

พบว่า อนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ มีลักษณะรูปร่างอนุภาคที่ชัดเจน คือ สัดส่วนที่มีลักษณะแท่งยาว (Long rod-shaped particles) เนื่องจากการรวมตัวของอนุภาคในอากาศที่มีความชื้นหรือมีกระแสลม จึงส่งผลให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคมีลักษณะเป็นแท่งยาว Satsangi et al. (2013)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบธาตุที่พบมีจำนวน 12 ธาตุหลัก ตาราง 10 โดยพิจารณาจากสัดส่วนที่พบต่ำที่สุด คือ ตั้งแต่ 0.3% จึงไปถึง สัดส่วนที่สูงที่สุดเข้าใกล้ 50% ผลการศึกษาแสดงดังนี้

กลุ่มธาตุที่พบในสัดส่วนต่ำที่ระดับ 0.3% ถึง 0.5% คือ Zn Al Cu Pb และ Ni กลุ่มที่มีสัดส่วนในระดับ 1.3% ถึง 3.0% คือ K Si และ Fe กลุ่มที่มีสัดส่วน 8% คือ S และกลุ่มที่มีสัดส่วนระดับสูงมากที่สุด 11.4% 23.0% คือ F และ O ตามลำดับ และสูงสุดที่ 48.5% คือ C โดยกลุ่มธาตุ C และ O เป็นชนิดที่พบมากในบริเวณนี้

3. ถนนแยกบึงพระจันทร์ (R3)

ผลการศึกษาในพื้นที่นี้ พบว่า อนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ มีลักษณะรูปร่างอนุภาคที่ชัดเจน คือ สัดส่วนรูปร่างทรงกลม (Spherical particle form) แสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาของการเกิดกระบวนการเผาไหม้

อนุภาคเกิดการชนกันในอากาศ โดยระยะเวลาชนกันของอนุภาคมากกว่ากระบวนการเผาไหม้ ทำให้อนุภาคมีลักษณะสัญญาณทรงกลม

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบธาตุที่พบมีจำนวน 16 ธาตุหลัก โดยพิจารณาจากสัดส่วนที่พบต่ำที่สุด คือตั้งแต่ 0.1% จึงไปถึง สัดส่วนที่สูงที่สุดเข้าใกล้ 50% ผลการศึกษาแสดงดังนี้ (ตาราง 10)

กลุ่มธาตุที่พบในสัดส่วนต่ำมากที่สุดที่ระดับ 0.1% คือ Cl Mn Co และ Zn กลุ่มธาตุที่มีสัดส่วนในระดับที่สูงขึ้นมาเล็กน้อยคือที่ระดับ 0.2 ถึง 0.4 % คือ Mg Al Pb และ Na กลุ่มธาตุที่มีสัดส่วนตั้งแต่ 1.2% ถึง 9.0% คือ Ca Si K S และ F กลุ่มสุดท้ายที่มีสัดส่วนระดับสูงมากที่สุดที่ระดับ 26.6% และสูงที่สุดที่ระดับ 46.3% คือ O และ C ตามลำดับ โดยกลุ่มธาตุ C และ O เป็นชนิดที่พบมากในบริเวณนี้

4. ถนนพุทธบูชา (R4)

พบว่า อนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ มีลักษณะรูปร่างอนุภาคที่ชัดเจน คือ สัญญาณรูปร่างทรงกลม (Spherical particle form) เช่นเดียวกับถนนแยกบึงพระจันทร์ (R3)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบธาตุที่พบมีจำนวน 15 ธาตุหลัก โดยพิจารณาจากสัดส่วนที่พบต่ำที่สุด คือตั้งแต่ 0.1% จึงไปถึง สัดส่วนที่สูงที่สุดเข้าใกล้ 40% ผลการศึกษาแสดงดังนี้ (ตาราง 10)

กลุ่มธาตุที่พบในสัดส่วนต่ำมากที่สุดที่ระดับ 0.1% คือ Fe Mg และ Zn กลุ่มธาตุที่มีสัดส่วนในระดับที่สูงขึ้นมาเล็กน้อยคือที่ระดับ 0.2 ถึง 0.7 % คือ Co Cl Al Pb และ Na กลุ่มธาตุที่มีสัดส่วนตั้งแต่ 3.4% ถึง 6.1% คือ Ca K Si และ S กลุ่มสุดท้ายที่มีสัดส่วนระดับสูงมากที่สุดที่ระดับ 11.9% 28.4% คือ F และ O ตามลำดับ และสูงสุดที่ 37.9% คือ C โดยกลุ่มธาตุ C และ O เป็นชนิดที่พบมากในบริเวณนี้

5. ถนนพญาเสือ (R5)

พบว่า อนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ มีลักษณะรูปร่างอนุภาคที่ชัดเจน คือ สัญญาณรูปร่างปุยก้อน (Flocculent particle) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาคโดยช่วงเวลาการเกิดกระบวนการเผาไหม้ของอนุภาคมากกว่าช่วงเวลาของการชนกันของอนุภาค ทำให้สัญญาณมีรูปร่างลักษณะปุยก้อน

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบธาตุที่พบมีจำนวน 12 ธาตุหลัก โดยพิจารณาจากสัดส่วนที่พบต่ำที่สุด คือตั้งแต่ 0.1% จึงไปถึง สัดส่วนที่สูงที่สุดเข้าใกล้ 40% ผลการศึกษาแสดงดังนี้ (ตาราง 10)

กลุ่มธาตุที่พบในสัดส่วนต่ำ 0.2% ถึง 0.7% คือ Ca Mn Na และ Mg กลุ่มธาตุที่มีสัดส่วนระดับสูงขึ้นมาเล็กน้อย คือระดับ 1.4% ถึง 8.6% คือ K S Fe Al และ Si และกลุ่มที่มีสัดส่วนระดับสูงมากที่สุด 15.2% 28.2% คือ F และ O ตามลำดับ สัดส่วนสูงสุด 34.9% คือ C

6. ถนนพระองค์ดำ บริเวณตลาดราชพฤกษ์ (R6)

พบว่า อนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ มีลักษณะรูปร่างอนุภาคที่ชัดเจน คือ สัญญาณรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอน (Irregular particle form) เช่นเดียวกับถนนวังจันทร์ (R1)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบธาตุที่พบมีจำนวน 14 ธาตุหลัก โดยพิจารณาจากสัดส่วนที่พบต่ำที่สุด คือตั้งแต่ 0.1% จึงไปถึง สัดส่วนที่สูงที่สุด 30.3% ผลการศึกษาแสดงดังนี้ (ตาราง 10)

กลุ่มธาตุที่พบในสัดส่วนต่ำมาก 0.1% คือ Mg Zn และ Cd สัดส่วนของธาตุในระดับสูงขึ้นมาเล็กน้อย 0.3% ถึง 0.7% คือ Ca Pb K และ Fe กลุ่มธาตุที่มีสัดส่วน 1.2% ถึง 6.1% คือ Na S Al และ Si และกลุ่มที่มีสัดส่วนระดับสูง 24.9% 28.7% คือ O และ F ตามลำดับ และสูงสุดที่ 30.3% คือ C

7. ถนนพระองค์ดำ บริเวณสี่แยกบ้านแขก (R7)

พบว่า อนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ มีลักษณะรูปร่างอนุภาคที่ชัดเจน คือ สัณฐานรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอน (Irregular particle form) เช่นเดียวกับถนนวังจันทร์ (R1)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบธาตุที่พบมีจำนวน 12 ธาตุหลัก โดยพิจารณาจากสัดส่วนที่พบต่ำที่สุด คือตั้งแต่ 0.1% จึงไปถึง สัดส่วนที่สูงที่สุด 31.5% ผลการศึกษาแสดงดังนี้ (ตาราง 10)

กลุ่มธาตุที่พบในสัดส่วนต่ำมาก 0.1% คือ Cl Cd และ Ca สัดส่วนของธาตุในระดับสูงขึ้นมาเล็กน้อย 0.2% ถึง 0.3% คือ Al Pb และ Na กลุ่มที่มีสัดส่วนระดับสูงที่ 11.0% 14.2% 18.2% และ 22.8% คือ K S F และ O ตามลำดับ และสูงสุดที่ 31.5% คือ C

8. ถนนบรมไตรโลกนารถ (R8)

พบว่า อนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ มีลักษณะรูปร่างอนุภาคที่ชัดเจน คือ สัณฐานรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอน (Irregular particle form) เช่นเดียวกับถนนวังจันทร์ (R1)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบธาตุที่พบมีจำนวน 9 ธาตุหลัก โดยพิจารณาจากสัดส่วนที่พบต่ำที่สุดคือตั้งแต่ 0.6% จึงไปถึง สัดส่วนที่สูงที่สุด 42.1% ผลการศึกษาแสดงดังนี้ (ตาราง 10)

กลุ่มธาตุที่พบในสัดส่วนต่ำ 0.6% คือ Na สัดส่วนของธาตุในระดับสูงขึ้นมาเล็กน้อย 1.1% ถึง 9.2% คือ Al Si Ca K S และ F กลุ่มที่มีสัดส่วนระดับสูง 30.2% คือ O และสูงสุดที่ 42.1% คือ C

9. ถนนศรีสุริโยทัย (R9)

พบว่า อนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ มีลักษณะรูปร่างอนุภาคที่ชัดเจน คือ สัณฐานรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอน (Irregular particle form) เช่นเดียวกับถนนวังจันทร์ (R1) ถนนพระองค์ดำ บริเวณตลาดราชพฤกษ์ (R6) ถนนพระองค์ดำ บริเวณสี่แยกบ้านแขก (R7) และถนนบรมไตรโลกนารถ (R8)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบธาตุที่พบมีจำนวน 13 ธาตุหลัก โดยพิจารณาจากสัดส่วนที่พบต่ำที่สุด คือตั้งแต่ 0.1% จึงไปถึง สัดส่วนที่สูงที่สุด 49.1% ผลการศึกษาแสดงดังนี้ (ตาราง 10)

กลุ่มธาตุที่พบในสัดส่วนต่ำมาก 0.1% คือ Al Zn Cu และ Co กลุ่มธาตุที่พบในสัดส่วนสูงขึ้นมาเล็กน้อย 0.2% ถึง 0.4% คือ Fe Pb และ Na กลุ่มธาตุที่พบในสัดส่วน 3.9% ถึง 5.6% คือ Si K และ S และกลุ่มสุดท้ายที่พบในสัดส่วนสูงมาก 15.5% 20.2% สูงสุด 49.1% คือ F O และ C ตามลำดับ

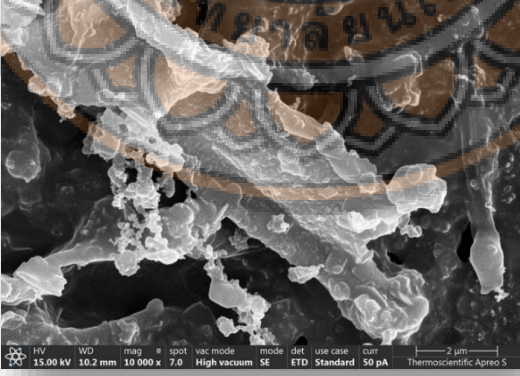
จากการศึกษาทั้ง 9 พื้นที่ พบว่า รูปร่างอนุภาคไม่แน่นอน พบอย่างโดดเด่นในพื้นที่ถนนวังจันทร์ (R1) ถนนพระองค์ดำบริเวณตลาดราชพฤกษ์ (R6) ถนนพระองค์ดำบริเวณสี่แยกบ้านแขก (R7) ถนนบรมไตรโลกนารถ (R8) และถนนศรีสุริโยทัย (R9) พบองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ซัลเฟอร์ (S) และซิลิคอน (Si) ทั้ง 4 พื้นที่ จากการศึกษานี้ของ Pipal et al. (2011) พบว่าองค์ประกอบของ

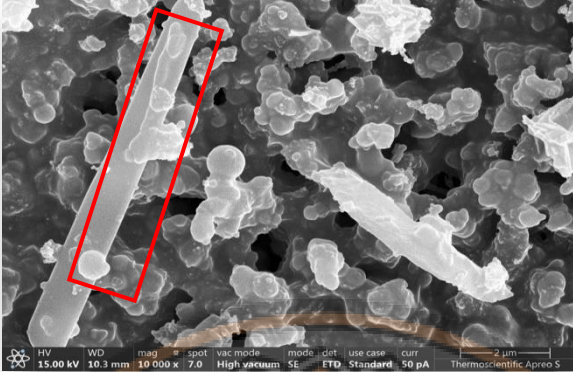
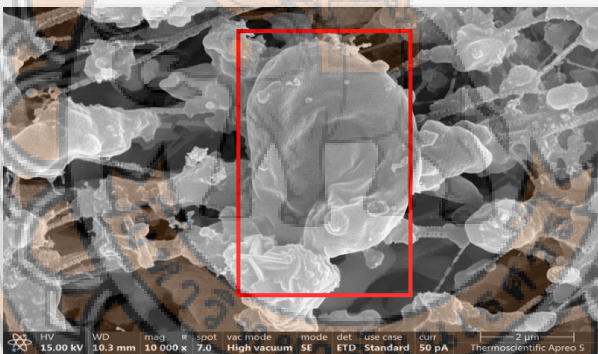
กำมะถัน (S) มีแหล่งกำเนิดจากน้ำมันเบนซิน และดีเซล ที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงจาก ยานพาหนะ

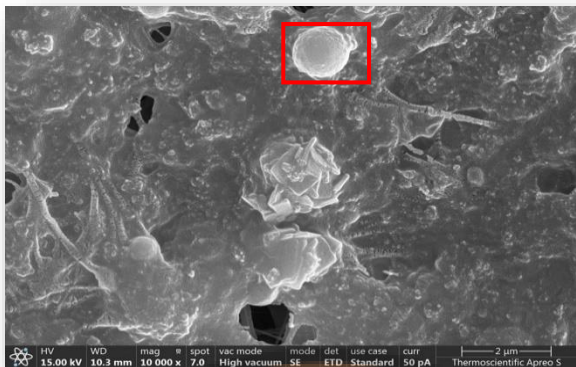
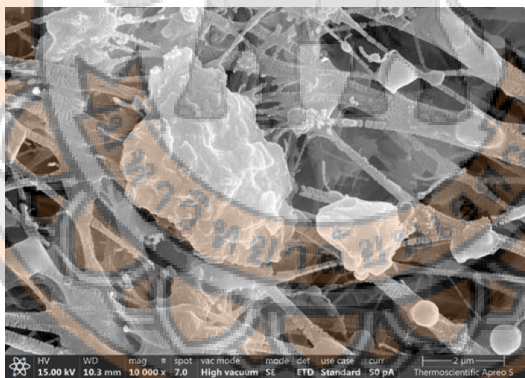
รูปร่างอนุภาคแท่งยาว พบอย่างโดดเด่น ณ พื้นที่ ถนนไฮยานูภาพ (R2) เพียงจุดเดียว พบ องค์ประกอบของธาตุคาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ซัลเฟอร์ (S) โพแทสเซียม (K) เหล็ก (Fe) และซิลิคอน (Si) ส่วนรูปร่างทรงกลม พบอย่างโดดเด่นในพื้นที่ถนนแยกบึงพระจันทร์ (R3) และถนนพุทธบูชา (R4) พบ องค์ประกอบของธาตุคาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ซัลเฟอร์ (S) และซิลิคอน (Si) และรูปร่างปุก้อน พบอย่าง โดดเด่นในพื้นที่ถนนพญาเสือ (R5) พบองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ซิลิคอน (Si) อลูมิเนียม (Al) เหล็ก (Fe) และซัลเฟอร์ (S)

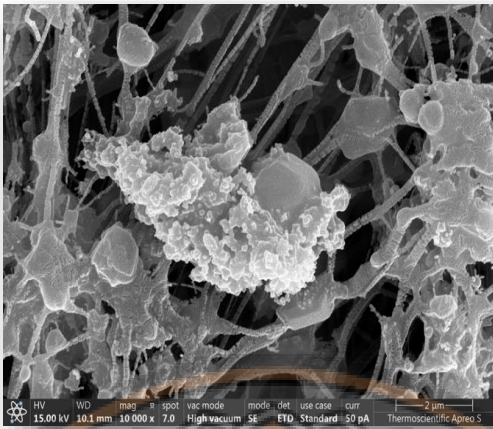
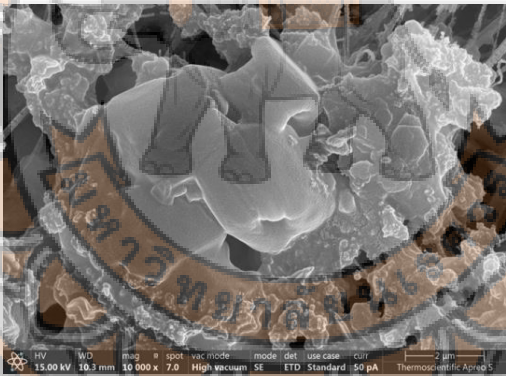
พิจารณาในภาพรวมทุกพื้นที่ที่พบองค์ประกอบของธาตุ 2 อันดับแรก คือ คาร์บอน (C) และ ออกซิเจน (O) มากกว่า 30% และ 15% ตามลำดับ (ส่วนฟลูออรีน (F) เป็นองค์ประกอบของกระดาษเก็บ ตัวอย่าง) ส่วนองค์ประกอบของธาตุ ซัลเฟอร์ (S) โพแทสเซียม (K) ซิลิคอน (Si) มีสัดส่วนองค์ประกอบ ช่วง 10.0 – 1.0 % อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ถนนพระองค์ดำบริเวณสี่แยกบ้านแขก (R7) พบองค์ประกอบของ ซัลเฟอร์ (S) 14.2% และโพแทสเซียม (K) 11.0% สูงกว่าพื้นที่อื่น อย่างชัดเจน

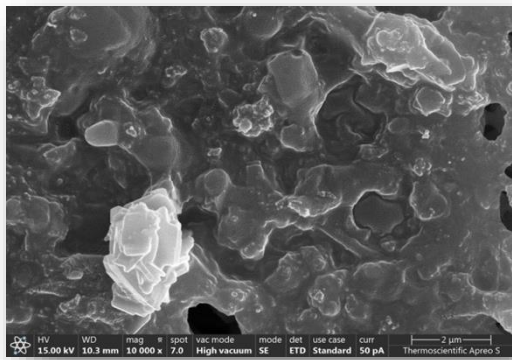
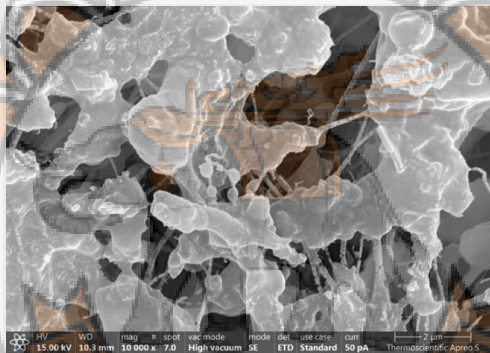
ตาราง 10 แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และ องค์ประกอบของธาตุ ในพื้นที่ศึกษา 9 พื้นที่

พื้นที่ศึกษา	รูปร่างพื้นฐาน	องค์ประกอบธาตุ	%โดยน้ำหนัก
R1	 รูปร่างไม่แน่นอน (Irregular particle form)	C	53.9
		O	18.1
		F	14.6
		S	5.6
		K	2.7
		Si	2.1
		Ca	1.5
		Na	0.4
		Pb	0.2
		Zn	0.2
		Fe	0.1
		Al	0.1
		Cl	0.1
		Cr	0.1
		Mg	0.1

พื้นที่ศึกษา	รูปร่างพื้นฐาน	องค์ประกอบธาตุ	%โดยน้ำหนัก
R2	 รูปร่างแท่งยาว (Long rod-shaped particles)	Ni	0.1
		C	48.5
		O	23.0
		F	11.4
		S	8.0
		K	2.9
		Si	2.4
		Fe	1.3
		Cu	0.5
		Pb	0.5
		Ni	0.4
		Zn	0.3
		Al	0.3
R3	 รูปร่างทรงกลม (Spherical particle form)	C	46.3
		O	26.6
		F	9.7
		S	8.0
		K	4.8
		Si	1.9
		Ca	1.2
		Na	0.4
		Pb	0.3
		Al	0.2
		Mg	0.2
		Fe	0.2
		Cl	0.1
		Mn	0.1
		Co	0.1
		Zn	0.1

พื้นที่ศึกษา	รูปร่างสัณฐาน	องค์ประกอบธาตุ	%โดยน้ำหนัก
R4	 รูปร่างทรงกลม (Spherical particle form)	C O F S Si K Ca Na Pb Al Cl Co Fe Mg Zn	39.7 28.4 11.9 6.1 4.6 3.7 3.4 0.7 0.5 0.2 0.2 0.2 0.1 0.1 0.1
R5	 รูปร่างจับเป็นก้อนปุย (Flocculent particle)	C O F Si Al Fe S K Mg Ca Mn Na	34.9 28.2 15.2 8.6 4.6 2.9 2.2 1.4 0.7 0.3 0.2 0.2

พื้นที่ศึกษา	รูปร่างสัณฐาน	องค์ประกอบธาตุ	%โดยน้ำหนัก
R6	 รูปร่างไม่แน่นอน (Irregular particle form)	C	30.3
		F	28.7
		O	24.9
		Si	6.1
		Al	4.6
		S	1.9
		Na	1.2
		Fe	0.7
		K	0.7
		Pb	0.4
		Ca	0.3
		Mg	0.1
		Zn	0.1
		Cd	0.1
R7	 รูปร่างไม่แน่นอน (Irregular particle form)	C	31.5
		O	22.8
		F	18.2
		S	14.2
		K	11.0
		Si	1.2
		Na	0.3
		Pb	0.2
		Al	0.2
		Ca	0.1
		Cd	0.1
		Cl	0.1

พื้นที่ศึกษา	รูปร่างพื้นฐาน	องค์ประกอบธาตุ	%โดยน้ำหนัก
R8	 รูปร่างไม่แน่นอน (Irregular particle form)	C O F S K Ca Si Al Na	42.1 30.2 9.2 6.0 3.3 3.1 2.5 1.1 0.6
R9	 (Irregular particle form)	C O F S K Si Na Pb Fe Co Cu Zn Al	49.1 20.2 15.5 5.6 4.2 3.9 0.4 0.2 0.2 0.1 0.1 0.1 0.1

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

ภาพรวมของการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) พร้อมทั้งการศึกษาลักษณะรูปร่างสัณฐานและองค์ประกอบธาตุของฝุ่น $PM_{2.5}$ และการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบริเวณริมถนนเขตเทศบาลนครพิษณุโลก พบผลการศึกษาโดยสรุปที่สำคัญ ดังนี้

1. พื้นที่ศึกษาที่มีปริมาณ $PM_{2.5}$ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับสุขภาพประชาชน

ผลการศึกษาพบว่า มีจำนวน 4 พื้นที่ศึกษาริมถนนที่มีระดับคุณภาพอากาศดีสำหรับประชาชนโดยใช้ระดับ $PM_{2.5}$ เป็นตัวชี้วัดคือ พื้นที่ถนนพญาเสือ (R5) ถนนพระองค์ดำ (R6) ถนนสี่แยกบ้านแขก (R7) และถนนบรมไตรโลกนาถ (R8) มีความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ อยู่ในช่วง $24-35 \mu g/m^3$ ถือว่ามีคุณภาพอากาศดีถึงปานกลาง

2. พื้นที่ศึกษาที่มีปริมาณ $PM_{2.5}$ เกินเกณฑ์มาตรฐานสำหรับสุขภาพประชาชน

ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ที่ควรเฝ้าระวังเนื่องจากมีระดับ $PM_{2.5}$ เกินระดับมาตรฐานมีจำนวน 5 พื้นที่คือ พื้นที่ถนนวังจันทร์ (R1) ถนนไชยานุภาพ (R2) ถนนบึงพระจันทร์ (R3) ถนนพุทธบูชา (R4) และถนนศรีสุริโยทัย (R9) มีความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ อยู่ในช่วง $37-78 \mu g/m^3$ ถือว่ามีคุณภาพอากาศไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยเฉพาะบริเวณถนนไชยานุภาพ (R2) คุณภาพอากาศมีผลกระทบต่อสุขภาพในระดับสูงที่สุด

3. ค่า AQI

เมื่อคำนวณค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เพื่อเปรียบเทียบกับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) พบว่าสถานการณ์คุณภาพอากาศสำหรับประชาชนค่อนข้างหลากหลายเนื่องจากพบว่า ระดับค่า AQI ระบุแถบสีตั้งแต่สีเขียว สีเหลือง สีส้ม จนกระทั่งถึงระดับสีแดง โดยพบว่า พื้นที่ ถนนพระองค์ดำ (R6) ถนนสี่แยกบ้านแขก (R7) มีค่า AQI อยู่ช่วงแถบสีเขียว พื้นที่ถนนพญาเสือ (R5) ถนนบรมไตรโลกนาถ (R8) มีค่า AQI อยู่ช่วงแถบสีเหลือง พื้นที่ถนนวังจันทร์ (R1) ถนนบึงพระจันทร์ (R3) ถนนพุทธบูชา (R4) และ ถนนศรีสุริโยทัย (R9) มีค่า AQI อยู่ช่วงแถบสีส้ม และพื้นที่ถนนไชยานุภาพ (R2) ค่า AQI อยู่ช่วงแถบสีแดง ถือว่าคุณภาพอากาศมีผลกระทบต่อสุขภาพระดับรุนแรง เป็นพื้นที่ที่ควรได้รับการบริหารจัดการและแก้ไขอย่างเร่งด่วนที่สุด เพื่อลดผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว

4. ผลการศึกษาการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ณ พื้นที่ศึกษา 9 พื้นที่

ผลการศึกษาการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) จากแผนที่การกระจายตัว (ภาพที่ 30) พบว่า การกระจายตัวของ PM_{2.5} สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มพื้นที่ ดังนี้

พื้นที่ที่มีคุณภาพอากาศผ่านเกณฑ์มาตรฐาน พบว่า พื้นที่ถนนพญาเสือ (R5) และถนนบรมไตรโลกนารถ (R8) พบการกระจายตัวของฝุ่น PM_{2.5} ระดับเล็กน้อย (คุณภาพอากาศแถบสีเหลือง) และพื้นที่ถนนพระองค์ดำบริเวณตลาดราชพฤกษ์ (R6) และถนนพระองค์ดำบริเวณสี่แยกบ้านแขก (R7) พบการกระจายตัวของฝุ่น PM_{2.5} น้อยมาก (คุณภาพอากาศแถบสีเขียว)

พื้นที่ที่มีคุณภาพอากาศเกินเกณฑ์มาตรฐาน พบว่า พื้นที่ถนนวังจันทร์ (R1) ถนนบึงพระจันทร์ (R3) ถนนพุทธบูชา (R4) และถนนศรีสุริโยทัย (R9) พบการกระจายตัวของฝุ่น PM_{2.5} ระดับปานกลาง (คุณภาพอากาศแถบสีส้ม) ส่วนพื้นที่ถนนไชยานุภาพ (R2) พบการกระจายตัวของฝุ่น PM_{2.5} ระดับสูง (คุณภาพอากาศแถบสีแดง)

5. ลักษณะพื้นฐานและองค์ประกอบธาตุ

จากการศึกษาลักษณะพื้นฐานของอนุภาคฝุ่น PM_{2.5} ทั้ง 9 พื้นที่ พบพื้นฐานรูปร่างที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่

โดยพื้นฐานรูปร่างไม่แน่นอน พบในพื้นที่ ถนนวังจันทร์ (R1) ถนนพระองค์ดำบริเวณตลาดราชพฤกษ์ (R6) ถนนพระองค์ดำบริเวณสี่แยกบ้านแขก (R7) และถนนบรมไตรโลกนารถ (R8)

พื้นฐานรูปร่างแท่งยาว พบในพื้นที่ถนนไชยานุภาพ (R2)

พื้นฐานรูปร่างปุกก้อน พบในพื้นที่ถนนพญาเสือ (R5)

เมื่อศึกษาองค์ประกอบของธาตุพบว่าทุกพื้นที่มีองค์ประกอบของธาตุ C สูงที่สุดในทุกพื้นที่ รองลงมา คือ O ส่วนธาตุ S Si และ K เป็นธาตุที่พบในทุกพื้นที่ที่มีสัดส่วนแตกต่างกันออกไป และธาตุอื่น ๆ ที่พบในหลายพื้นที่ ได้แก่ Ca Na Pb Zn Fe Cl Mg Ni Na และ Al

อภิปรายผล

ผลการศึกษาในบทที่ 4 แสดงให้เห็นถึงความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) บริเวณพื้นที่ริมถนน 9 พื้นที่ จากนั้นนำค่าระดับความเข้มข้นของ PM 2.5 คำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) เพื่อแสดงผลของสถานการณ์คุณภาพอากาศสำหรับประชาชน นอกจากนั้นยังได้ทำการสร้างแผนที่รูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของฝุ่น PM_{2.5} สุดท้ายได้นำตัวอย่างที่ศึกษาทั้งหมด มาวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐาน องค์ประกอบของธาตุ เพื่อบ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดของอนุภาคฝุ่น PM_{2.5} ได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

ข้อมูลของผลการศึกษาทุกพารามิเตอร์ดังกล่าว มีข้อสังเกตเชิงวิชาการดังนี้

1. การศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ทั้ง 9 พื้นที่

จากผลการศึกษาฝุ่น PM_{2.5} (ค่าเฉลี่ยจากการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง) แสดงให้เห็นถึงความเข้มข้นของฝุ่นทั้ง 9 พื้นที่ริมถนนในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก ที่น่าสนใจดังนี้ ถนนไชยานุภาพ (R2) มีระดับความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} เฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ $78.76 \pm 12.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ รองลงมาคือ ถนนวังจันทร์ (R1) ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} เฉลี่ยเท่ากับ $68.94 \pm 7.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ถนนสามแยกบึงพระจันทร์ (R3) ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} เฉลี่ยเท่ากับ $62.07 \pm 18.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ถนนพุทธบูชา (R4) ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} เฉลี่ยเท่ากับ $44.80 \pm 8.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ถนนบรมไตรโลกนาถ (R8) ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} เฉลี่ยเท่ากับ $34.44 \pm 2.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ถนนศรีสุริโยทัย (R9) ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} เฉลี่ยเท่ากับ $37.63 \pm 1.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ส่วนพื้นที่ที่มีความเข้มข้นของ PM 2.5 ค่อนข้างต่ำ (ไม่เกิน $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) คือ ถนนพญาเสือ (R5) ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} เฉลี่ยเท่ากับ $27.98 \pm 7.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ถนนพระองค์ดำใกล้ตลาดราชพฤกษ์ (R6) ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} เฉลี่ยเท่ากับ $24.01 \pm 1.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ถนนพระองค์ดำบริเวณสี่แยกบ้านแขก (R7) ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} เฉลี่ยเท่ากับ $24.09 \pm 8.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$

สอดคล้องจากการศึกษาปริมาณยานพาหนะและการติดขัดของการจราจรมีสอดคล้องกับระดับเสียงโดย จามจุรี ดีปินดา (2565) โดยในการศึกษาดังกล่าวระบุว่า อิทธิพลของการจราจรส่งผลต่อการปล่อยมลสารในบรรยากาศบริเวณพื้นที่ในจังหวัดพิษณุโลก พบว่า จำนวนยานพาหนะประเภทรถจักรยานยนต์ และรถยนต์ไม่เกิน 7 ที่นั่ง โดดเด่นกว่าจำนวนยานพาหนะประเภทอื่น ๆ ซึ่งบริเวณถนนไชยานุภาพ (R2) อยู่ในบริเวณกึ่งกลางของถนนสี่ทรางเตโชชัย และสี่แยกบ้านคลอง ผลการศึกษาพบว่าช่วงการจราจรหนาแน่น มียานพาหนะประเภทรถจักรยานยนต์และรถยนต์ไม่เกิน 7 ที่นั่งสูง คิดเป็นร้อยละ 42.3% และ 45.3% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าพื้นที่ถนนสี่แยกบ้านคลองเป็นพื้นที่ถนนที่ถูกใช้สัญจรในบริเวณพื้นที่เมืองพิษณุโลกอย่างชัดเจน อีกทั้งถนนวังจันทร์ (R1) อยู่บริเวณริมแม่น้ำน่าน เป็นที่ตั้งของสถานที่ราชการต่าง ๆ ศาลากลางจังหวัดพิษณุโลก ศาลจังหวัดพิษณุโลก สถานศึกษา (วิทยาลัยอาชีวศึกษาพิษณุโลก) และสวนสาธารณะ (สวนขม่นาน) ทำให้มีประชาชนมาใช้บริการตลอดทั้งวัน ส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ถนนวังจันทร์ (R1) มีคุณภาพอากาศเกินค่ามาตรฐาน

ผลการศึกษาข้างต้นที่แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ของถนนทั้ง 9 พื้นที่นั้น ส่งหนึ่งเกิดจากปัจจัยกิจกรรม และลักษณะของพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน เช่นสภาพการจราจร การชะลอตัวหรือระยะเวลาในการเคลื่อนตัวของการจราจร การปรุงอาหาร กิจกรรมของร้านค้า เป็นต้น (ตาราง 11) เช่น ถนนพุทธบูชา (R4) อยู่บริเวณหน้าวัดพระศรีรัตนมหาธาตุวรมหาวิหาร ริมแม่น้ำน่าน ฝั่งตรงข้ามกับถนนวังจันทร์ (R1) ซึ่งอยู่ในพื้นที่เขตเมืองจังหวัดพิษณุโลก อีกทั้งวัดพระศรีรัตนมหาธาตุ

วรมหาวิหารเป็นวัดพระอารามหลวง คู่บ้านคู่เมืองจังหวัดพิษณุโลก ทำให้มีประชาชนและนักท่องเที่ยวเดินทางมาสักการะพระพุทธรชินราช เป็นจำนวนมากในทุกวัน ทำให้มีการจราจรหนาแน่น ร่วมกับกิจกรรมการจุดธูปภายในวัดซึ่งเป็นแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ ที่สำคัญ โดยมีข้อมูลยืนยันจากงานวิจัย เช่น โดย Zhou et al. (2015) พบว่า การจุดธูปก่อให้เกิดควัน ซึ่งควันธูปมีส่วนประกอบของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) โดยฝุ่น $PM_{2.5}$ พบว่ามีปริมาณมากกว่า 99% ของอนุภาคที่พบทั้งหมด และบริเวณรอบวัดมีการตั้งร้านค้าประกอบอาหาร ส่งผลให้ปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ บริเวณถนนพุทธบูชา (R4) มีคุณภาพอากาศเกินค่ามาตรฐาน

ถนนสามแยกบึงพระจันทร์ (R3) อยู่บริเวณใกล้ถนนคนเดินจังหวัดพิษณุโลก อีกทั้งบริเวณดังกล่าวมีชุมชนตั้งอยู่โดยรอบ และมีร้านค้าขายของบริเวณรอบชุมชน ทำให้มีการใช้ยานพาหนะในการสัญจรตลอดทั้งวัน ส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐาน

ถนนพญาเสือ (R5) อยู่ใกล้บริเวณแหล่งชุมชน บริเวณดังกล่าวมีสถานศึกษา ทำให้ช่วงเวลาเช้าและเย็นมีการจราจรค่อนข้างหนาแน่น ส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ บริเวณถนนพญาเสือ ยังคงอยู่ในช่วงผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่เมื่อนำค่าเฉลี่ยของฝุ่น $PM_{2.5}$ คำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) พบว่าอยู่ในแถบสีเหลือง แสดงถึงคุณภาพอากาศปานกลาง

ถนนพระองค์ดำใกล้ตลาดราชพฤกษ์ (R6) และถนนพระองค์ดำบริเวณสี่แยกบ้านแขก (R7) บริเวณ 2 พื้นที่ เป็นบริเวณใจกลางเมืองพิษณุโลก มียานพาหนะสัญจรตลอดทั้งวัน เนื่องจากอยู่ในบริเวณถนน พระองค์ดำ เป็นพื้นที่เปิดโล่งและมีช่องลมพัดผ่าน ทำให้ความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ อยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) พบว่าอยู่ในแถบสีเขียว แสดงถึงคุณภาพอากาศดี

ถนนบรมไตรโลกนาถ (R8) อยู่บริเวณตลาดกิตติกร มีประชาชนใช้ยานพาหนะสัญจรในช่วงเช้า ซึ่งตั้งอยู่บริเวณเลียบริมแม่น้ำน่าน เป็นพื้นที่เปิดโล่งมีลมพัดผ่าน ทำให้ความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ อยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) พบว่า อยู่ในแถบสีเหลืองแสดงถึงคุณภาพอากาศปานกลาง

ถนนศรีสุริโยทัย (R9) อยู่บริเวณเลียบริมเส้นทางรถไฟ มีการขนส่งน้ำมัน และอยู่ใกล้โรงพยาบาลพุทธชินราช โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยนเรศวรในตัวเมืองพิษณุโลก ทำให้เป็นเส้นทางที่มีการจราจรหนาแน่นในช่วงเช้า-เย็น ทำให้ความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐาน เมื่อคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) พบว่าอยู่ในแถบสีส้มแสดงถึงคุณภาพอากาศเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ จากผลการศึกษาข้างต้นสามารถสรุปกิจกรรมแต่ละพื้นที่ได้ดังตาราง 11

ตาราง 11 แสดงการเปรียบเทียบกิจกรรมแต่ละพื้นที่ บริเวณพื้นที่ริมถนน 9 พื้นที่

พื้นที่ศึกษา	การ จราจร	การจราจร (เคลื่อนตัวได้ ช้า)	ร้าน อาหาร	ร้านอาหาร ปิ้งย่าง	แหล่ง ชุมชน	สถาน ศึกษา	อื่น ๆ
R1 ถนนวังจันทร์	✓		✓			✓	สถานที่ ราชการ
R2 ถนนไชยนาทภาพ	✓	✓		✓	✓		ร้านปิ้งย่าง
R3 ถนนสามแยกบึง พระจันทร์	✓			✓	✓		
R4 ถนนพุทธบูชา	✓		✓				ครัวเรือน
R5 ถนนพญาเสือ	✓				✓		
R6 ถนนพระองค์ดำ	✓		✓				ตลาด
R7 ถนนพระองค์ดำ	✓		✓				
R8 ถนนบรมไตรโลกนาถ	✓		✓				ตลาด
R9 ถนนศรีสุริโยทัย	✓	✓				✓	ขนถ่ายน้ำมัน , รถไฟ

งานวิจัยครั้งนี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาในพื้นที่ต่าง ๆ ในประเทศไทย ซึ่งเน้นการศึกษาในพื้นที่การจราจร รวมทั้งมีการศึกษาในหลายพื้นที่ซึ่งแสดงความสอดคล้องระหว่างการจราจรและมลสารในบรรยากาศ อาทิเช่น งานวิจัยการรับสัมผัสฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบริเวณป้ายรถประจำทาง เขตเทศบาลนครพิษณุโลก โดย กิตติธัช หมั่นสิน (2564) ทำการเก็บตัวอย่างช่วงเดือนตุลาคม 2564 ถึงมกราคม 2565 บริเวณป้ายรถเมล์ 3 พื้นที่ ได้แก่ ตลาดสดเทศบาล 6 โรงเรียนเฉลิมขวัญสตรี และโรงพยาบาลพุทธชินราช ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยในพื้นที่ตลาดสดเทศบาล 6 โรงเรียนเฉลิมขวัญสตรี และโรงพยาบาลพุทธชินราช เท่ากับ 46.823 30.094 และ 42.563 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ศึกษาเขตเทศบาลนครพิษณุโลก มีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานของดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) โดยบริเวณตลาดสดเทศบาล 6 และบริเวณโรงพยาบาลพุทธชินราช มีร้านอาหารซึ่งก่อให้เกิดควันจากการประกอบอาหาร (ปิ้ง ย่าง ทอด) อีกทั้งบริเวณดังกล่าวมีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งวัน เนื่องจากเป็นสถานพยาบาลและแหล่งการค้า ทำให้อากาศปนเปื้อนมลพิษจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง และบริเวณโรงเรียนเฉลิมขวัญสตรี มีค่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเนื่องจากเป็นช่วงการเรียนการสอนแบบออนไลน์เนื่องจากสถานการณ์โควิด 19 ทำให้สภาพการจราจรบริเวณโรงเรียนเบาบาง

Phanukarn et al. (2020) ศึกษาสัดส่วนองค์ประกอบของผงฝุ่นคาร์บอน (Black carbon : BC) ในตัวอย่าง PM_{2.5} ที่ศึกษา โดยใช้พื้นที่เขตรักษาบริเวณริมถนนพญาไท ซึ่งเป็นพื้นที่ถนนสายหลักใจกลางกรุงเทพฯ ที่มีการจราจรหนาแน่น และติดขัดในช่วงโมงเร่งด่วน เป็นพื้นที่ตัวอย่าง ผลการศึกษาระบุว่าพื้นที่ดังกล่าวมีปริมาณยานพาหนะเฉลี่ย 2671 คัน/ชั่วโมง พบว่า มีค่าความเข้มข้นของผงฝุ่นคาร์บอนเท่ากับ 1.5 – 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ อัตราส่วน BC/PM_{2.5} เท่ากับ 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งมีปริมาณสูงสุดช่วงเช้า (06.00 – 08.00 น.) จำนวนยานพาหนะเฉลี่ย 3,796 คัน/ชั่วโมง และช่วงกลางวัน (20.00 – 21.00 น.) จำนวนยานพาหนะเฉลี่ย 3871 คัน/ชั่วโมง แล้วลดลงอย่างมากในช่วงบ่าย (15.00 – 16.00 น.) ซึ่งสอดคล้องกับสภาพการจราจรในพื้นที่ถนนพญาไท โดยในพื้นที่มียานพาหนะที่ใช้มากที่สุด 3 อันดับแรก คือ รถยนต์ส่วนบุคคล รถจักรยานยนต์ และรถแท็กซี่

จากการศึกษาการจำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่น PM_{2.5} โดย ภาควิชา ทองแสง (2560) ในพื้นที่เมืองนครราชสีมา โดยใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษ Positive matrix factorization (PMF) ซึ่งใช้ข้อมูลปฐมภูมิของฝุ่น PM_{2.5} พบว่า พื้นที่เมืองนครราชสีมา มีแหล่งกำเนิด 5 แหล่ง ได้แก่ ฝุ่นจากการจราจร (Traffic emission) ฝุ่นจากการเผาไหม้ชีวมวล (Biomass burning) ฝุ่นดิน (Soil dust) ฝุ่นจากการก่อสร้าง (Construction dust) และฝุ่นจากภาคอุตสาหกรรม (Industry) เมื่อวิเคราะห์สัดส่วนการปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิดพื้นที่เมืองนครราชสีมา พบว่า แหล่งกำเนิด 3 อันดับแรก ได้แก่ แหล่งกำเนิดจากการจราจร (Traffic emission) มีสัดส่วนสูงที่สุด คิดเป็น 35% ฝุ่นจากการเผาไหม้ชีวมวล (Biomass burning) คิดเป็น 31% และฝุ่นดิน (Soil dust) คิดเป็น 15% แสดงให้เห็นว่า แหล่งกำเนิดจากการจราจรเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญอันก่อให้เกิดฝุ่น PM_{2.5} ในพื้นที่เมืองนครราชสีมา เนื่องจากพื้นที่เมืองนครราชสีมา มีการจราจรหนาแน่น เนื่องจากมีศูนย์ราชการที่มีประชาชนมาใช้บริการ รวมทั้งเป็นศูนย์กลางการค้า ตลาดและสถานที่ท่องเที่ยว

2. การศึกษาสัณฐานวิทยา และองค์ประกอบทางเคมี

ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) โดยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิชัน (FESEM) ผลการศึกษาและรายละเอียดแสดงดังตาราง 4.3 โดยภาพรวมพื้นที่ศึกษาจะพบลักษณะอนุภาคของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. รูปร่างไม่แน่นอน (Irregular particle form)
2. รูปร่างแท่งยาว (Long rod-shaped particles)
3. รูปร่างทรงกลม (Spherical particle form)
4. รูปร่างจับเป็นก้อนปุย (Flocculent particle)

ผลการศึกษาลักษณะองค์ประกอบของธาตุ มีดังนี้ C F O S K Si Na Fe Al Ca Cl Mg Ni Zn และ Pb โดยสัดส่วนองค์ประกอบของธาตุ 4 อันดับแรกในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ C (Carbon) O (Oxygen) S (Sulfur) และ Si (Silicon)

จากการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยา โดยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดชนิดฟิลด์อีมิสชัน (FESEM) และศึกษาลักษณะองค์ประกอบของธาตุ ในอนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ แสดงรายละเอียดดังตาราง 10 เมื่อพิจารณาแต่ละพื้นที่พบว่า ลักษณะรูปร่างของอนุภาค และองค์ประกอบของธาตุที่พบ (C O F S K Si Na Fe Al Ca Cl Mg Ni Zn และ Pb) แต่ละพื้นที่มีลักษณะและสัดส่วนของธาตุแตกต่างกันไป โดยธาตุฟลูออไรด์ (F) ถูกพบในทุกพื้นที่ศึกษา จะไม่นำมาวิเคราะห์เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของกระดาดพลาสติก (PTFE) ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของธาตุ ลักษณะรูปร่าง ขนาด อนุภาคของฝุ่น $PM_{2.5}$ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) ร่วมกับสเปกโตรสโคปีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (EDS) โดยลักษณะพื้นฐานและองค์ประกอบทางเคมี สามารถบ่งบอกถึงแหล่งที่มาของฝุ่น $PM_{2.5}$ Satsangi et al. (2013) จากการศึกษาพบว่าองค์ประกอบของธาตุที่พบมากที่สุด 4 อันดับแรกในทุกพื้นที่ ได้แก่ C (Carbon) O (Oxygen) S (Sulfur) และ Si (Silicon) ซึ่งพื้นที่ศึกษาทั้ง 9 พื้นที่อยู่ในพื้นที่เขตเมือง สันนิษฐานได้ว่า องค์ประกอบธาตุ C O S และ Si เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากละอองอินทรีย์ในบรรยากาศ (Organic aerosols: OA) ประกอบด้วยสารอินทรีย์ ทั้งอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon : OC) และ และกลุ่มคาร์บอน (Elemental carbon : EC) Jimenez et al. (2009) และองค์ประกอบของธาตุ 10 อันดับแรก ทั้ง 9 พื้นที่แสดงดังตาราง 10

ถนนไชยานุภาพ (R2) พบอนุภาครูปรางแท่งยาว และพบองค์ประกอบของธาตุ 4 อันดับแรก ได้แก่ C (Carbon) O (Oxygen) S (Sulfur) และ K (Potassium) ตามลำดับแสดงดังตาราง 10 สอดคล้องการศึกษาของ Feng et al. (2010) อนุภาครูปทรงแท่งยาว (Elongated minerals) เกิดจากอนุภาคทำปฏิกิริยาในชั้นบรรยากาศแบบทุติยภูมิ (Secondary atmospheric reactions) ของอนุภาคฝุ่นแร่ (Mineral) โดยอนุภาคฝุ่นแร่ส่วนใหญ่เกิดจากการถูกลมพัดพา หรือเกิดจากการแขวนลอยใหม่ของอนุภาคฝุ่น (Re-Suspended) บนถนน โดยมักพบอนุภาคประกอบด้วย สารประกอบอะลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminosilicates minerals) ซึ่งประกอบด้วย O (Oxygen) Al (Aluminum) และ Si (Silicon) หรือ K (Potassium) / Al (Aluminum) รวมตัวกับ $CaSO_4$ ทำให้อนุภาคมีลักษณะรูปร่างแท่งยาว

ถนนแยกบึงพระจันทร์ (R3) ถนนพุทธบูชา (R4) และถนนพระองค์ดำ (R7) พบอนุภาครูปทรงกลม (Spherical particle) และพบองค์ประกอบธาตุ ได้แก่ C (Carbon) O (Oxygen) S (Sulfur) และ Si (Silicon) แสดงดังตาราง 10 โดยอนุภาครูปทรงกลม ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากกระบวนการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงหรือการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งอนุภาคแบบทรงกลมสามารถดูดซับแสงได้ดี ทำให้เป็นหนึ่งในสาเหตุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) และองค์ประกอบธาตุ

ที่มักพบในอนุภาคทรงกลมได้แก่ C O S และ K (Cong et al., 2010; Prabhu et al., 2019) สอดคล้อง การศึกษาของ Xie et al. (2004) เกี่ยวกับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของอนุภาคฝุ่น PM₁₀ ในเมืองกุ้ยหยาง (Guiyang) ประเทศจีน พบว่า อนุภาคของฝุ่น PM₁₀ ที่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ของ ถ่านหิน ซึ่งอนุภาคประกอบด้วย อะลูมิเนียม (Al) ซิลิกา (Si) และแคลเซียม (Ca) ที่เกิดการรวมตัวของยิปซัม และอะลูมิเนียมซิลิเกต (SiO₂) ทำให้อนุภาคมีรูปร่างไม่แน่นอน

ถนนวังจันทน์ (R1) ถนนพระองค์ดำบริเวณสี่แยกบ้านแขก (R6) ถนนพระองค์ดำบริเวณ ตลาดราชพฤกษ์ (R7) ถนนบรมไตรโลกนารถ (R8) และถนนศรีสุริโยทัย (R9) พบอนุภาครูปร่างไม่แน่นอน (Irregular particle) องค์ประกอบของธาตุ C (Carbon) O (Oxygen) S (Sulfur) K (Potassium) และ Si (Silicon) แสดงดังตาราง 10 สอดคล้องกับงานวิจัย Pachauri et al. (2013) ได้ศึกษาลักษณะ สัณฐานอนุภาคและปริมาณของฝุ่นละอองรวม (TSP) ในเมืองอัครา (Agra) ประเทศอินเดีย ช่วงฤดู หนาวและฤดูร้อน พบว่า ค่าเฉลี่ยฝุ่นช่วงฤดูหนาวสูงกว่าฤดูร้อน เนื่องจากสภาวะความกดอากาศสูง หรือมวลอากาศเย็นทำให้สภาพอากาศปิด จึงส่งผลให้ปริมาณฝุ่นในช่วงฤดูหนาวสูงกว่าฤดูร้อน และ ศึกษาลักษณะสัณฐานอนุภาค พบว่าอนุภาคมีรูปร่างไม่แน่นอน (Irregular particle) มักพบในอนุภาค ฝุ่นแร่ (Mineral dust) ที่รวมตัวกับฝุ่นดิน (Soil dust) ทำให้เกิดรูปร่างไม่แน่นอน (Irregular particle) พบองค์ประกอบของธาตุ Al Si Ca Na Mg และ K ในการศึกษาพบว่าอนุภาคประกอบด้วย กลุ่มอะลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminosilicate) สูงถึง 55% อีกทั้งมีลักษณะที่โดดเด่น เนื่องจากพบว่าอนุภาค มีลักษณะรูปร่างที่หลากหลาย ตั้งแต่รูปร่างทรงกลม (Spherical particle) ไปจนถึงรูปร่างสามเหลี่ยม (Triangular particle) และรูปร่างไม่แน่นอน (Irregular particle) โดยกลุ่มอะลูมิเนียม-ซิลิเกต ประกอบด้วยออกไซด์ของ Si และ Al เป็นหลัก และมีองค์ประกอบของธาตุ Na K Mg Ca Fe และ Ti รวมอยู่ด้วยในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งแหล่งกำเนิดของอนุภาคพบบ่อยสุดมาจากเปลือกโลก (Crustal materials) และฝุ่นที่ถูกลมพัดพา (Windblown dust)

จากการศึกษาการประเมินแหล่งที่มาฝุ่น PM_{2.5} เชิงพื้นที่โดยบูรณาการกับข้อมูล ดาวเทียมของ เอริกา พดุมกิตติ (2565) พบว่า พื้นที่ชุมชนเมืองกรุงเทพมหานคร พบกลุ่มฝุ่น 5 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกคาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) และไนโตรเจน (N) เล็กน้อย มีอนุภาครูปร่างลักษณะกลุ่ม หมอก (Condensation floc) และรูปร่างแบบโซ่กิ่ง (Branching) โดยมีการเปลี่ยนรูปร่างจากก๊าซ ไฮโดรคาร์บอน (HCs) และกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ที่มีอนุภาคขนาดเล็กและรวมตัวกันเป็นกลุ่ม ฝุ่นขนาดใหญ่ กลุ่มที่สอง ฝุ่นคลอไรด์ (Chloride) ที่มีองค์ประกอบของคลอรีน (Cl) และออกซิเจน (O) มีลักษณะรูปร่าง แท่ง (Rod) ทรงรี (Ellipse) ทรงกลม (Sphere) และรูปร่างไม่แน่นอน (Irregular) กลุ่มที่สาม ฝุ่นดิน ฝุ่นก่อสร้าง เป็นฝุ่นซิลิกา มีองค์ประกอบ ซิลิกอน (Si) และออกซิเจน (O) มีลักษณะ หยาบ อนุภาครูปร่างไม่แน่นอน (Irregular agglomerate) และกลุ่มที่สี่ ฝุ่นแคลเซียม มีลักษณะหยาบ อนุภาครูปร่างไม่แน่นอน (Irregular agglomerate) พบองค์ประกอบหลัก คือ ออกซิเจน (O)

แคลเซียม (Ca) และพลวง (Sb) และกลุ่มสุดท้ายกลุ่มฝุ่นอลูมิเนียม พบองค์ประกอบหลัก ได้แก่ อะลูมิเนียม (Al) และออกซิเจน (O) มีลักษณะละเอียดและหยาบ มีอนุภาครูปปร่างไม่แน่นอน (Irregular agglomerate)

การศึกษาลักษณะสัณฐานและอนุภาคของอากาศบริเวณหุบเขาพรหมบุตร (Brahmaputra Valley) ของ Bora et al. (2020) พบว่า อนุภาคหลายรูปแบบ โดยพบอนุภาคที่มีลักษณะคล้ายเขม่าทรงกลม (Spherical soot) ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินและการเผาไหม้ชีวมวล อนุภาคที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (Irregular-shaped particles) มีแหล่งกำเนิดทางธรณีวิทยาหรือจากการก่อสร้าง หรือการปลดปล่อยจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากยานพาหนะ แล้วเกิดการรวมตัวทำให้อนุภาคมีรูปร่างไม่แน่นอน

ถนนพญาเสือ (R5) พบอนุภาครูปปร่างแบบปุยก้อน (Flocculent particle) มีองค์ประกอบของธาตุ C (Carbon) O (Oxygen) Si (Silicon) และ Al (Aluminum) แสดงดังตาราง 10 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Feng et al. (2010) โดยศึกษาลักษณะสัณฐานของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในเมืองกวางโจว ประเทศจีน พบว่า อนุภาคของฝุ่น $PM_{2.5}$ ปกติมีอนุภาคขนาดเล็กมาก เมื่ออนุภาครวมตัวกันกลายเป็นกลุ่มก้อน และหลังจากนั้นอนุภาคหลายกลุ่มก้อนรวมตัวกันเป็นเกิดเป็นสายโซ่ เมื่ออนุภาคถูกความชื้นจะส่งผลให้ลักษณะอนุภาคเปลี่ยนไปมีลักษณะเป็นปุยก้อน (Fluffy) จากนั้นวิเคราะห์ด้วย EDX พบว่า อนุภาคประกอบด้วยธาตุ C (Carbon) เป็นหลักและมีธาตุ S (Sulfur) Si (Silicon) และ Al (Aluminum) เป็นองค์ประกอบ โดยอนุภาคเขม่า (Soot aggregates) มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของไอเสียยานพาหนะ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงถ่านหิน รวมไปถึงการเผาไหม้ชีวมวล เมื่อวิเคราะห์แหล่งกำเนิดของฝุ่น PM ในเมืองกวางโจว พบว่า มีแหล่งกำเนิดจากปล่อยไอเสียจากยานพาหนะ คิดเป็น 38% และการเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านหิน คิดเป็น 26% ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นโดยในปี ค.ศ. 1999 มีจำนวน 430,000 คัน และปี ค.ศ. 2006 มีจำนวน 1,800,000 คัน จะเห็นได้ว่ายานพาหนะเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษหลักในเมืองกวางโจว และอีกปัจจัยหนึ่งอนุภาคเกิดการรวมตัวกัน เนื่องจากช่วงฤดูใบไม้ผลิมีความชื้นที่สูงขึ้น เมื่ออนุภาคมีความชื้น ส่งผลให้รูปร่างเปลี่ยนไปโดยมีรูปร่างลักษณะเป็นก้อนฟู Weingartner et al. (1997)

จากการศึกษาโลหะหนักที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่การปล่อยจากท่อไอเสีย พบว่าธาตุโลหะที่สำคัญเช่น Zn S Si และ Cu เกิดจากการสึกหรอของ ยางรถยนต์ประเภทต่าง ๆ ระหว่างที่รถวิ่งและเบรก ซึ่งสามารถหลุดออกมาปะปนในอากาศหรือสะสมบนพื้นถนนได้ (tire dust) ส่วน Cr Fe Zn Cu Mg Al Si S และ Ca มาจากฝุ่นผ้าเบรก (brake lining dust) ที่เกิดจากการสึกหรอของผ้าเบรกเมื่อรถชะลอหรือหยุด ซึ่งเกิดจากแรงเสียดทานระหว่างผ้าเบรกกับจานเบรก (หรือดรัมเบรก)

มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบของธาตุทางเคมีในฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่การจราจรหนาแน่น เพื่อระบุแหล่งที่มาของแหล่งกำเนิด พบว่า องค์ประกอบของธาตุ Mg Al Si และ Ca ส่วนใหญ่มักมีแหล่งกำเนิดจากเปลือกโลก ซึ่งมีลักษณะอนุภาคหยาบ (Onat et al., 2013; Slezakova et al., 2007) จากการศึกษาของ Slezakova et al. (2007) พบว่า บริเวณที่มีการจราจร พบองค์ประกอบของธาตุ S Mn Zn และ Pb ในอนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ สูงถึง 80-90% และสามารถยืนยันได้ว่า อนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่มีองค์ประกอบของ S K V Mn Ni Zn และ Pb มักมีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ

ผลการศึกษาพบองค์ประกอบของธาตุ ดังต่อไปนี้

ในทุกพื้นที่ศึกษาพบองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน (C) และออกซิเจน (O) สูงที่สุดเป็น 2 อันดับแรกทุกพื้นที่ โดยธาตุคาร์บอน (C) พบในอัตราส่วนมากกว่า 30% และธาตุออกซิเจน (O) พบอัตราส่วนมากกว่า 20% สอดคล้องกับ เอรिका พฤตภักดิ์ (2565) ธาตุคาร์บอน (C) และออกซิเจน (O) เป็นองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีหุติยภูมิในบรรยากาศ ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง จากยานพาหนะบนท้องถนน

ซิลเฟอร์ (S) อนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่มีองค์ประกอบของธาตุ S K V Mn Ni Zn และ Pb แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ Slezakova et al. (2007)

ซิลิคอน (Si) อนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่ประกอบด้วย ซิลิคอน (Si) เป็นหลัก และมีธาตุ Mg Ca Fe เป็นองค์ประกอบด้วยในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป แสดงให้เห็นว่าอนุภาคที่มี Si เป็นองค์ประกอบหลักมีแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นดิน (Soil dust) ที่เกิดจากการฟุ้งกระจายของดินบนท้องถนน Kindratenko et al. (1994) เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน (FESEM) จะพบว่าอนุภาคมีรูปร่างไม่แน่นอน (Irregular shape) (Xie et al., 2004)

อลูมิเนียม (Al) มักพบในรูปของอลูมิโนซิลิเกต (Al-silicates) หรือเรียกอีกอย่างว่า “ฝุ่นแร่” มีแหล่งที่มาจากฝุ่นดิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของชั้นเปลือกโลก บ่งชี้ได้ว่าบริเวณท้องถนนมีการฟุ้งกระจายของดิน ที่เกิดจากการสัญจรยานพาหนะบนท้องถนน จึงพบอนุภาคฝุ่นละอองลอยในชั้นบรรยากาศ Pipal et al. (2015)

ตะกั่ว (Pb) สอดคล้องการศึกษาของ Lin et al. (2015) เพื่อจำแนกองค์ประกอบทางเคมีรวมไปถึงการกระจายตัวของโลหะในฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่ปล่อยจากยานยนต์ พบว่า โลหะที่ปล่อยจากท่อไอเสีย (Tailpipe emissions) รวมไปถึงการศึกษาของ Labrada-D. et al. (2012) พบว่า อนุภาคตะกั่ว (Pb) เกี่ยวข้องกับปลดปล่อยมลพิษจากการเผาขยะ รวมไปถึงการสีกร้อนของยาง ผ้าใบเบรค และการปล่อยไอเสียจากยานพาหนะที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง รวมไปถึงการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง (re-suspend) บนท้องถนน ที่มาจากการจราจรหนาแน่น

แคลเซียม (Ca) สัดส่วนองค์ประกอบแคลเซียมที่พบในพื้นที่ถนนพุทธบูชา (R4) ถนนบรมไตรโลกนาถ (R8) ถนนวังจันทร์ (R1) และถนนแยกบึงพระจันทร์ (R3) ในสัดส่วน 3.4 3.1 1.5 และ 1.2 ตามลำดับ โดยพื้นที่ที่พบอนุภาคแคลเซียม เป็นพื้นที่ที่มีหลากหลายกิจกรรม เช่น การจราจรหนาแน่น การทำอาหาร พื้นที่ชุมชนโดยรอบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Li et al. (2019) อนุภาคของฝุ่นละอองที่เกิดจากการประกอบอาหาร แหล่งจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงจากยานพาหนะ หรือการเผาไหม้ของถ่านหิน จะพบองค์ประกอบของกำมะถัน (S) แคลเซียม (Ca) และออกซิเจน (O) โดยอนุภาคจะมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม (Rectangular particles)

สังกะสี (Zn) ที่พบในอนุภาคของฝุ่น $PM_{2.5}$ มักพบจากแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ รวมไปถึงการเผาขยะ Xie et al. (2004) ซึ่งในพื้นที่ถนนวังจันทร์ (R1) พบองค์ประกอบของอนุภาคสังกะสี (Zn) เพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากการพัดพาของอนุภาคฝุ่นเข้ามาในพื้นที่บริเวณดังกล่าว

เหล็ก (Fe) ที่พบในอนุภาคของฝุ่น $PM_{2.5}$ มีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic source) จากกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง Pant and Harrison (2013) รวมไปถึงการสึกกร่อนของผ้าเบรกและจานเบรก จากยานพาหนะหรือผลิตภัณฑ์จากการสึกกร่อนของยานพาหนะที่ปล่อยออกมาพร้อมไอเสีย Pattammattel et al. (2021)

ข้อมูลดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างกลไกเชิงฟิสิกส์-เคมีของการกำเนิดฝุ่นละอองที่ส่งผลต่อรูปร่างสัณฐานฝุ่นที่แตกต่างกัน รวมทั้งสามารถสันนิษฐานได้ถึงชนิดของธาตุและแหล่งกำเนิดที่แม่นยำมากขึ้นของแหล่งกำเนิดฝุ่นในจังหวัดพิษณุโลก หรือสามารถประยุกต์ใช้ในการสันนิษฐานถึงแหล่งกำเนิดในพื้นที่อื่น ๆ

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1.1 ควรศึกษาทุกฤดูกาลเพิ่มเติม เพื่อนำข้อมูลไปใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการคุณภาพอากาศแต่ละช่วงเวลา ได้อย่างถูกวิธี

1.2 ควรศึกษาปริมาณโลหะหนักที่พบในฝุ่น $PM_{2.5}$ เพิ่มเติม เพราะอาจมีโลหะหนักบางชนิดที่อาจส่งผลกระทบต่อร่างกายของประชาชนในพื้นที่ได้

2. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อ

2.1 ผลการศึกษาสามารถบ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เขตเมืองพิษณุโลกได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น โดยใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการคุณภาพอากาศ ในพื้นที่เทศบาลนครพิษณุโลกได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

2.2 การบริหารจัดการปัญหาคุณภาพอากาศในพื้นที่เขตเมืองจังหวัดพิษณุโลก ได้รับการแก้ปัญหาย่างเร่งด่วน ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงมากและความเสี่ยงน้อยตามลำดับ



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กนก พิพัฒน์เวช และศิริพร อุปัจกร. (2564). ความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสฝุ่นละออง PM2.5 กับอาการกำเริบของผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรงพยาบาลน่าน. วารสารวิชาการสาธารณสุข, 2564 (ฉบับที่ 4), น. 645-653. สืบค้น 25 มกราคม 2567 จาก <https://thaidj.org/index.php/JHS/article/view/10603/9341>
- กรมควบคุมมลพิษ. (2567). ข้อมูลย้อนหลังคุณภาพอากาศ. สืบค้น 6 มกราคม 2567, จาก <http://air4thai.pcd.go.th/webV3/#/History>.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2566). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2565. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2566). ร่างเอกสารประกอบการพิจารณาการปรับปรุงมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในบรรยากาศทั่วไป. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2567). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2566. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.
- กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข (2558). แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงจากมลพิษทางอากาศ กรณีฝุ่นละอองขนาดเล็ก (พิมพ์ครั้งที่ 2). สืบค้น 6 มกราคม 2567, จาก <https://www.oic.go.th>
- กิตติธัช หมั่นสิน. (2564). การรับสัมผัสฝุ่น PM 2.5 ในบริเวณป้ายรถประจำทาง เขตเทศบาลนครพิษณุโลก (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. (2565). ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนในบรรยากาศทั่วไป (เล่ม 139 ตอนพิเศษ 163 ง หน้า 21). ราชกิจจานุเบกษา. https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2565/E/163/T_0021.PDF
- งามจิตต์ ไชยวุฒิ, นัยนา ทองศรีเกตุ, เพียงใจ ผลโศก, พิชรี สฟโซค, นิธิพันธ์ ยากี, และจรัสรัตน์ หอมจันทร์. (2544). มลพิษอากาศในเมือง: Urban Air Pollution เล่มที่ 4 (ครั้งที่ 1), (น.15-18). กรุงเทพฯ: กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ.
- งามจรี ดีปินตา. (2565). การศึกษาสถานการณ์และอิทธิพลของการจราจรต่อระดับมลสารในบรรยากาศและระดับเสียงในเขตเทศบาลเมือง จังหวัดพิษณุโลก (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

- ชนิดาภา วินาลัย, ศตวรรษ นันทะเสน, และสุภารัตน์ชาติสุทธิ. (2565). ผลกระทบของสภาพอากาศต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอนในกรุงเทพฯ และปริมณฑล โดยใช้ MACHINE LEARNING. *Life Sciences and Environment Journal*, 23(2), 409-421. Naresuan.
- ชลฤดี โตเย็น. (2563). การวิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบด้วยเทคนิค Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS). สืบค้น 5 ตุลาคม 2566, จาก <https://www3.rdi.ku.ac.th/cl/webpages/knowledge.htm>
- ธันวดี ศรีธาวีรัตน์ และอรชร นิมาจารย์. (2565). การจำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในพื้นที่เขตเมืองจังหวัดพิษณุโลก. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.
- ธิตยา ศรีนาราย และรังสรรค์ เกตุอื้อด. (2563). การประเมินปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ด้วยวิธีประมาณค่าเชิงพื้นที่ ในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย. *วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนาวัฒนธรรมเชิงพื้นที่*, 1(2), 35-47.
- ธิดารัตน์ คำล้อม. (2564). การประเมินค่าเชิงพื้นที่สำหรับการวิเคราะห์การแพร่กระจายฝุ่นละอองในเขตเทศบาลเมืองนครภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, 14(1), 24-36.
- นันทิรา สรรณิ. (2541). *เคมีสิ่งแวดล้อม* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ประกาศกรมควบคุมมลพิษ (2566). ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย. วันที่ 3 กรกฎาคม 2566. *ราชกิจจานุเบกษา* เล่ม 140 ตอนพิเศษ 157 ง หน้า 3-6.
- ประกาศกระทรวงพลังงาน (2556). การกำหนดประเภทและขนาดของระบบการขนส่งก๊าซธรรมชาติทางท่อ และหลักเกณฑ์ วิธีการ ระเบียบปฏิบัติ และแนวทางในการจัดทำรายงานด้านสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2566. วันที่ 18 พฤศจิกายน 2556. *ราชกิจจานุเบกษา* เล่ม 130 ตอนพิเศษ หน้า 29-32.
- ปาจริย์ ทองสนิท และวนิดา จินาสาสตร์. (2548). *โครงการองค์ประกอบทางเคมีและลัดส่วนของแหล่งกำเนิดฝุ่น PM₁₀ ในเขตเมืองพิษณุโลก*. พิษณุโลก: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ภักดิ์วัฒน์ ทองแสง. (2560). การจำลองแหล่งกำเนิดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในพื้นที่เมืองนครราชสีมา โดยใช้แบบจำลอง PMF (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- มินตรา ฝาระสิทธิ์ และธัญญรัตน์ ไชยคราม. (2562). การประยุกต์ภูมิสารสนเทศเพื่อการประเมินคุณภาพอากาศ ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 28(5), 743-758. <https://doi.org/10.14456/tstj.2020.61>

- วินัย มีแสง. (2558). มลพิษทางอากาศ. ใน *เอกสารประกอบการสอนรายวิชามลพิษทางอากาศ (Air Pollution)*. อุตรธานี: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรธานี.
- ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, ชิดาโอ๊ะ คานาโอกะ, และจุฑามาศ เกตุทัต. (2549). *มลภาวะอากาศ* (พิมพ์ครั้งที่ 2), (น. 5-13). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล. (2566). *สุขภาพคนไทย 2566*. สืบค้น 15 ธันวาคม 2566, จาก https://www.thaihealthreport.com/file_book/ThaiHealth2566_update20230518.pdf
- สุพรรณิการ์ ชาเหลา, ณัฐพล โพธิ์ทาทอง, ปรียาพร คำมุงคุณ, และภาคภูมิ ชุมณี. (2563). การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเพื่อระบุแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง PM 2.5 ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 1, 438-453.
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ (สสส.). (2564). *รายงานจับตาทิศทางสุขภาพคนไทย ปี 2564*. สืบค้น 15 ธันวาคม 2566, จาก <https://www.hiso.or.th/thaihealthstat/report/img/thaihealthwatch/thaihealthwatch2021.pdf>
- สำนักงานขนส่งจังหวัดพิษณุโลก. (2566). *ข้อมูลสถิติสำนักงานขนส่งจังหวัดพิษณุโลก*. สืบค้น 14 มีนาคม 2567, จาก <https://plk.dlt.go.th/web-upload/81x04dcedf398669874950ad29ddc64f0ad/tinymce/25450ca512f0a7aff9a724fd2698ed57eab/statistics/STT09.pdf>
- สำนักงานจังหวัดพิษณุโลก (2566). *แผนพัฒนาจังหวัดพิษณุโลก 2566-2570*. พิษณุโลก: กลุ่มงานยุทธศาสตร์และข้อมูลเพื่อการพัฒนาจังหวัด.
- สำนักงานจังหวัดพิษณุโลก. (2567). *ประกาศเรื่องกำหนดเขตควบคุมไฟฟ้า และกำหนดช่วงเวลาห้ามเผาเด็ดขาด ในท้องที่จังหวัดพิษณุโลก*. พิษณุโลก: สำนักงานจังหวัดพิษณุโลก.
- สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง. (2565). *ประชากรกลางปี 2565 ตามทะเบียนราษฎร จังหวัดพิษณุโลก*. สืบค้น 15 ธันวาคม 2566, จาก <http://www.plkhealth.go.th/bifm/pop/pop65.htm>
- เอริกา พฤฒิกิตติ. (2565). *การประเมินแหล่งที่มาฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 เชิงพื้นที่โดยบูรณาการกับข้อมูลดาวเทียมและการตรวจวัดพื้นผิวแบบ Near Real Time*. กาญจนบุรี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี.
- Ahmad, S., Zeb, B., Ditte, A., Alam, K., Shahid, U., Shah, A.U., ... & Alqurashi, M. (2023). Morphological, Mineralogical, and Biochemical Characteristics of Particulate Matter in Three Size Fractions (PM10, PM2.5, and PM1) in the Urban Environment. *Acs Omega*. 8, 31661-31674.

- Bora, J., Deka, P., Bhuyan, P., Sarma, K.P., & Hoque, R.R. (2020). Morphology and mineralogy of ambient particulate matter over mid-Brahmaputra Valley: application of SEM–EDX, XRD, and FTIR techniques. *SN Applied Sciences*, 3, <http://doi.org/10.1007/s42452-020-04117-8>
- Bowwtte, G., Lodge, C., Lowe, A.J., Erbas, B., Perret, J., Abramson, ... & Dharmage, S.C. (2015). The influence of childhood traffic-related air pollution exposure on asthma, allergy and sensitization: a systematic review and a meta-analysis of birth cohort studies. *Allergy European journal of allergy and clinical immunology*, 245-256. <http://doi.org/10.1111/all.12561>
- Chen, J.-C., Wang, X., Wellenius, G. A., Serre, M. L., Driscoll, I., Casanova, R., ..., & Espeland, M. (2015). Ambient Air Pollution and Neurotoxicity on Brain Structure: Evidence From Women’s Health Initiative Memory Study. *Annals of Neurology*, 78(3), 466-476. <https://doi.org/10.1002/ana.24460>
- Cheng, Y., Ho, K.F., Lee, S.C., & Law, S.W. (2006). Seasonal and diurnal variations of PM_{1.0} PM_{2.5} and PM₁₀ in the roadside environment of Hong Kong. *China particuology*, 4(6), 312-315. [https://doi.org/10.1016/S1672-2515\(07\)60281-4](https://doi.org/10.1016/S1672-2515(07)60281-4)
- Cong, Z., Kang, S., Dong, S., & Zhang, Y. (2009). Individual particle analysis of atmospheric aerosols at Nam Co, Tibetan Plateau. *Aerosol and Air Quality Research*, 9(3), 323-331. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2008.12.0064>
- Cong, Z., Kang, S., Dong, S., Liu, X., & Qin, D. (2010). Elemental and individual particle analysis of atmospheric aerosols from high Himalayas. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160(1-4), 323-335. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0698-3>
- Das, M., Das, A., Sarkar, R., Mandal, P., Saha, S., & Ghosh, S. (2021). Exploring short term spatio-temporal pattern of PM_{2.5} and PM₁₀ and their relationship with meteorological parameters during COVID-19 in Delhi. *Urban Climate*, 39, 100944. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100944>
- EPA. (2023). *Criteria Air Pollutants*. Retrieved December 12, 2023, from <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants>
- EPA. (2023). *Particulate Matter Pollution*. Retrieved December 12, 2023, from <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>.

- Feng, X., Dang, Z., Huang, W., & Shao, L. (2010). Microscopic morphology and size distribution of particles in PM_{2.5} of Guangzhou City. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 64(1), 37-51. [https://doi.org/ 10.1007/s10874-010-9169-7](https://doi.org/10.1007/s10874-010-9169-7)
- IQAir. (2022). *World air quality report 2022 Region & City 2.5 Ranking*. Retrieved December 12, 2023, from https://www.greenpeace.org/static/planet4-thailand/stateless/2023/03/d1d69c24-2022_world_air_quality_report_en.pdf
- IQAir. (2023). *World air quality report 2023 Region & City 2.5 Ranking*. Retrieved December 12, 2023, from https://www.iqair.com/dl/2023_World_Air_Quality_Report.pdf
- Jimenez, E., Linares, C., Rodriguez, L.F., Bleda, M.J., & Diaz, J. (2009). Short-term impact of particulate matter (PM_{2.5}) on daily mortality among the over-75 age group in Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*, 407, 5486-5492. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.06.038>
- Jimenez, J., & Canagaratna, M. (2009). Evolution of organic aerosols in the atmosphere. *Science*, 326, 1525-1529. <https://doi.org/10.1126/science.1180353>
- Jinsart, W., Tamura, K., Loetkamonwit, S., Thepanondh, S., Karita, K., & Yano, E., (2002). Roadside Particulate Air Pollution in Bangkok. *Journal of the Air & Waste management association*, 52, 1102-1110. <https://doi.org/10.1080/10473289.2002.10470845>
- Kindratenko, V.V., Van Espen, P.J, Trelger, B.A., & Van Grieken, R.E. (1994). Fractal dimensional classification of aerosol particles by computer-controlled scanning electron microscopy. *Environmental Science, & Technology*, 28, 2197-2202. <https://doi.org/10.1021/es00061a031>
- Knibbs, L.D., Cole-Hunter, T., Morawska, L. (2011). A review of commuter exposure to ultrafine particles and its health effects. *Atmospheric Environment*, 45, 2611-2622. <https://doi.org/10.1016/j.atomsenv.2011.02.065>

- Labrada-Delgado, G., Aragon-Pina, A., Campos-Ramos, A., Castro-Romero, T., Amador-Munoz, O., & Villalobos-Pietrini, R. (2012). Chemical and morphological characterization of PM_{2.5} collected during MILAGRO campaign using scanning electron microscopy. *Atmospheric Pollution Research*, 3(3), 289-300. <https://doi.org/10.5094/APR.2012.032>
- Lin, Y.C., Tsai, C.J., Wu, Y.C., Zhang, R., Chi, K.H., Huang, Y.T., ..., & Hsu, S.C. (2015). Characteristics of trace metals in traffic-derived particles in Hsuehshan Tunnel, Taiwan: size distribution, potential source, and fingerprinting metal ratio. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 4117-4130. <https://doi.org/10.5194/acp-15-4117-2015>
- Li, Y., Wu, A., Wu, Y., Xu, J., Zhao, Z., Tong, M., & Shengji, L. (2019). Morphological characterization and chemical composition of PM_{2.5} and PM₁₀ collected from four typical Chinese restaurants. *Aerosol Science and Technology*, 53(10), 1186-1196. <https://doi.org/10.1080/02786826.2019.1645292>
- Makkonen, U., Vestenius, M., Huy, L.N., Anh, N.T.N., Linh, P.T.V., Thuy, P.T., ...& Oanh, N.T.K. (2023). Chemical composition and potential sources of PM_{2.5} in Hanoi. *Atmosphere Environment*, 299, 119650. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119650>
- Martinez, G.S., Spadaro, J.V., Chapizanis, D., Kendrovski, V., Kochubovski, M., Mudu, P. (2018). Health Impacts and Economic Costs of Air Pollution in the Metropolitan Area of Skopje. *Environmental Research and Public Health*, 15, 626. <http://doi.org/10.3390/ijerph150626>
- Nawahda, A. (2013). Reductions of PM_{2.5} Air Concentrations and Possible Effects on Premature Mortality in Japan. *Water Air Soil Pollution*, 224. <http://doi.org/10.1007/s11270-013-1508-2>
- Nguyen, G.T.H., La, L.T., Cong, H.H., & Le, A.H. (2024). An exploration of meteorological effects on PM_{2.5} air quality in several provinces and cities in Vietnam. *Journal of environmental sciences*, 145, 139-151. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.07.020>

- Nuchdang, S., Kingkam, W., Tippawan, U., Sriwiang, W., Fungklin, R., & Rattanaphra, D. (2023). Metal Composition and Source Identification of PM_{2.5} and PM₁₀ at a Suburban Site in Pathum Thani, Thailand. *Atmosphere*, 14, 1-17. <https://doi.org/10.3390/atmos14040659>
- Onat, B., Sahin, U.A., & Akyuz, T. (2013). Elemental characterization of PM_{2.5} and PM₁₀ in dese traffic area in Istanbul, Turkey. *Atmospheric pollution research*, 4, 101-105. <https://doi.org/10.5094/APR.2013.010>
- Pachauri, T., Singla, V., Satsanfi, A., Lakhani, A., & Kumari, K.M. (2013). SEM-EDX Characterization of Individual Coarse Particles in Agra, India. *Aerosol and Air Quality Research*, 13(2), 523-536. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2012.04.0095>
- Pant, P., & Harrison, R.M. (2013). Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurement. *Atmospheric Environment*, 77, 78-97. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.04.028>
- Pattammattel, A., Leppert, V.J., Aronstein, P., Robison, M., Mousavi, A., Sioutas, C., ...& O'Day, P.A. (2021). Iron speciation in particulate matter (PM_{2.5}) from urban Los Angeles using spectro-microscopy methods. *Atmospheric Environment*, 245, 117988. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117988>
- Phanukarn, P., Garivait H., & Chinwetkitvanich S. (2020). Black carbon in PM_{2.5} at roadside site in Bangkok, Thailand. *International Journal of GEOMATE*, 19, 81-87. <https://doi.org/10.21660/2020.72.9245>
- Pipal, A.S., Kulshrestha, A., & Taneja, A. (2011) Characterization and morphological analysis of airborne PM_{2.5} and PM₁₀ in Agra located in north central India. *Atmospheric Environment*, 45, 3621-3630. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.03.062>
- Pipal, A.S., & Satsangi, P.G. (2015). Study of carbonaceous species, morphology and sources of fine (PM_{2.5}) and coarse (PM₁₀) particles along with their climatic nature in India. *Atmospheric research*, 154, 103-115. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.11.007>

- Prabhu, V., Shridhar, V., & Choudhary, A. (2019). Investigation of the source, morphology, and trace elements associated with atmospheric PM₁₀ and human health risks due to inhalation of carcinogenic elements at Dehradun, an Indo-Himalayan city. *SN Applied Sciences*, 1. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0460-1>
- Poschl, U. (2005). Atmospheric aerosols composition transformation climate and health effects. *Angew. Chemie International Edition*, 44, 7520-7540. <https://doi.org/10.1002/anie.200501122>
- Satsangi, P.G., & Yadav, S. (2013). Characterization of PM_{2.5} by X-ray diffraction and scanning electron microscopy-energy dispersive spectrometer: its relation with different pollution source. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(1), 217-232. <https://doi.org/10.1007/s13762-012-0173-0>
- Schwartz, J. (2001). Is there harvesting in the association of airborne particles with daily deaths and hospital admissions?. *Epidemiology*, 12(1), 55-61. <https://doi.org/10.1097/00001648-200101000-00010>
- Shi, Z., Shao, L., Jones, T.P., Whittaker, A.G., Lu, S., Berube, ...&, Richards, R.J. (2003). Characterization of airborne individual particles collected in an urban area, a satellite city and a clean air area in Beijing, 2001. *Atmospheric Environment*, 37, 4097-4108. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00531-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00531-4)
- Slezakova, K., Pereira, M.C., Reis, M.A., & Alvim-Ferraz, M.C. (2007) Influence of traffic emissions on the composition of atmospheric particles of different sizes – Part 1: concentrations and elemental characterization. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 58, 55-68. <https://doi.org/10.1007/s10874-007-9078-6>
- Weingartner, E., Bartscher, & Baltensperger, U. (1997). Hygroscopic properties of carbon and diesel soot particles. *Atmospheric Environment*, 31(15), 2311-2327. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00023-X](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00023-X)
- World Bank Group. (2021). *The Global Health Cost of PM_{2.5} Air Pollution: A case for action beyond 2021*. U.S.A.: World Bank.

- World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. (1)*. World Health Organization. Retrieved December 12, 2023, from <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1>
- Wu, I.P., Liao, S.L., Lai, S.H., & Wong, K.S. (2021). The respiratory impacts of air pollution in children: Global and domestic (Taiwan) situation. *Biomedical journal*, 45, 88-94. <https://doi.org/10.1016/j.bj.2021.12.004>
- Xie, R.K., Seip, H.M., Leinum, J.R., Winje, T., & Xiao, J.S. (2004). Chemical characterization of individual particles (PM₁₀) from ambient air in Guiyang City, China. *Science of the Total Environment*, 343(1-3). 261-272. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.10.012>
- Xue, H., Liu, G., Zhang, H., Hu, R., & Wang, X. (2019). Elemental composition, morphology, and sources of fine particulates (PM_{2.5}) in Hefei city, China. *Aerosol and Air Quality Research*, 19(8), 1688-1696. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2018.09.0341>
- Yang, Q., Yuan, Q., Li, T., Shen, H., Zhang, L. (2017). The Relationships between PM_{2.5} and Meteorological Factors in China: Seasonal and Regional Variations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1510-1529. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121510>
- Zhou, R., An, Q., Pan, W.X., Yang, B., Hu, J., Wang, Y.H. (2015). Higher cytotoxicity and genotoxicity of burning incense than cigarette. *Environmental Chemistry Letters*, 13(4), 465-471. <https://doi.org/10.1007/s10311-015-0521-7>