

ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของฝุ่นละอองและโลหะ บริเวณอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

VERTICAL CONCENTRATION PROFILES OF PARTICULATE MATTER AND METALS
AROUND A HIGH-RISE BUILDING IN BANGKOK



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science

Inter-Department of Environmental Science

GRADUATE SCHOOL

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

ศิริภัทร์ อินทร์ตระกูล : ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของฝุ่นละอองและโลหะ บริเวณอาคารสูงใน
กรุงเทพมหานคร. (VERTICAL CONCENTRATION PROFILES OF PARTICULATE MATTER AND
METALS AROUND A HIGH-RISE BUILDING IN BANGKOK) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ทรรคนิย์
พฤกษาสีหิ

การศึกษาค้นคว้านี้มุ่งเน้นศึกษาระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ บริเวณภายในและภายนอกอาคารสูงแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร โดยศึกษาที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ในช่วงฤดูฝน (วันที่ 23 - 29 กันยายน 2562) ฤดูหนาว (วันที่ 13 - 19 มกราคม 2563) และฤดูร้อน (วันที่ 2 - 8 มีนาคม 2563) พร้อมทั้งวิเคราะห์โลหะในฝุ่นละออง ได้แก่ As, Cd, Cr, Pb, Mn, Ni, Cu, Fe, Zn, Mg, K, Ca และ Ba ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคารมีความเข้มข้นสูงสุดในช่วงฤดูหนาว รองลงมาได้แก่ ฤดูฝน และฤดูร้อน โดยมีค่าเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ เท่ากับ 43.5 ± 10.7 , 31.7 ± 12.8 และ $17.1 \pm 5.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยของ $PM_{2.5-10}$ เท่ากับ 16.5 ± 2.4 , 14.6 ± 4.3 และ $12.8 \pm 2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในแต่ละระดับความสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ทั้งในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน สำหรับความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ พบว่า ในแต่ละระดับความสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ในช่วงฤดูฝนและฤดูร้อน ในขณะที่ช่วงฤดูหนาวพบความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ที่ระดับความสูง 138.5 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับความสูง 4.5 และ 51.5 เมตร โดยมีแนวโน้มลดจากระดับความสูง 4.5 เมตรเฉลี่ยร้อยละ 37.4 สำหรับค่าเฉลี่ย $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio พบว่า มีค่าสูงสุดในช่วงฤดูหนาว รองลงมาได้แก่ ฤดูฝน และฤดูร้อน เท่ากับ 0.72 ± 0.05 , 0.68 ± 0.06 และ 0.56 ± 0.08 ตามลำดับ ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในและภายนอกอาคารระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.926$, 0.907 และ 0.976 ตามลำดับ) ในขณะที่ $PM_{2.5-10}$ พบความสัมพันธ์เชิงบวกเฉพาะที่ระดับความสูง 138.5 เมตร ($r = 0.629$) โดยค่าเฉลี่ย I/O ratio ของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ที่ระดับความสูง 51.5 เมตร มีค่าต่ำกว่าที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร ทั้งนี้ ผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะรวมใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคารในแต่ละระดับความสูงพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับค่าเฉลี่ย I/O ratio ของโลหะพบว่าค่ามากกว่า 1 นอกจากนี้ ผลวิเคราะห์สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคารพบว่ามีกลุ่มชนิดของโลหะที่สอดคล้องกันทั้งสามระดับความสูง โดย K, Ca, Mg, Fe และ Zn เป็นธาตุที่พบปริมาณมาก ส่วน Cr, As, Pb, Cu, Mn, Ba, Ni และ Cd มีเป็นธาตุที่มีสัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 1 ส่วนภายในอาคารพบ Ca เป็นธาตุที่มีปริมาณมากที่สุด สำหรับผลการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดด้วย PCA สามารถระบุได้ว่าโลหะใน $PM_{2.5}$ มีแหล่งกำเนิดมาจากปลดปล่อยจากยานยนต์ ฝุ่นดินและการก่อสร้าง การเผาไหม้ชีวมวล การสึกหรอของผ้าเบรกและยางรถยนต์ และการเผาไหม้น้ำมันและเชื้อเพลิงฟอสซิลและโลหะใน $PM_{2.5-10}$ มีแหล่งกำเนิดมาจากการปลดปล่อยจากยานยนต์ การเผาไหม้น้ำมันและอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า ละอองลอยจากเกลือทะเล การเผาไหม้ชีวมวล รวมถึงฝุ่นดิน และการก่อสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6187274820 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD: Vertical concentrations profile, Indoor and outdoor, PM_{2.5}, PM_{2.5-10}, Metals

Siriphath Intrakun : VERTICAL CONCENTRATION PROFILES OF PARTICULATE MATTER AND METALS AROUND A HIGH-RISE BUILDING IN BANGKOK. Advisor: Asst. Prof. TASSANEE CHETWITTAYACHAN, Ph.D.

This study aimed to investigate the vertical concentration profiles of PM_{2.5}, PM_{2.5-10}, and metals around a high-rise building in Bangkok. Both PM's indoor and outdoor concentrations were measured at 4.5, 51.5, and 138.5m height of the office building located in the urban area. The PM measurement was continuously performed for seven days consecutively during rainy (September 23 - 29, 2019), winter (January 13 - 19, 2020), and summer (March 2 - 8, 2020). The metals in PM, including As, Cd, Cr, Pb, Mn, Ni, Cu, Fe, Zn, Mg, K, Ca, and Ba, were analyzed by ICP-MS. The result showed that the average outdoor concentrations of PM_{2.5} and PM_{2.5-10} were highest in winter (43.5 ± 10.7 and $16.5 \pm 2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) followed by those of rainy (31.7 ± 12.8 and $14.6 \pm 4.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and summer (17.1 ± 5.8 and $12.8 \pm 2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), respectively. The outdoor concentrations of PM_{2.5} at the height of 4.5, 51.5, and 138.5m were not significantly different at each sampling height in all seasons at 95% confidence interval ($p > 0.05$). For PM_{2.5-10} observed during rainy and summer, there were no significant differences between all sampling heights at 95% confidence interval ($p > 0.05$). While the concentration at 138.5m in winter was significantly less than those of 4.5 and 51.5m, 37.4% decreased from a height of 4.5m. The averaged PM_{2.5}/PM₁₀ ratios was highest in winter (0.72 ± 0.05), followed by rainy (0.68 ± 0.06) and summer (0.56 ± 0.08), respectively. The relationship between indoor and outdoor concentrations of PM_{2.5} showed significant positive correlations at all heights ($r = 0.926, 0.907, \text{ and } 0.976$, respectively); however, for PM_{2.5-10}, the significant positive correlations was only at 138.5m ($r = 0.629$). The average I/O ratios of both PM at the height of 51.5m were lower than those of 4.5 and 138.5m. The concentrations of total metals in PM_{2.5} and PM_{2.5-10} were also not significantly different between all sampling heights in all seasons. The average I/O ratios of metals were mostly higher than 1. The composition of metals in outdoor PM at all sampling heights were similar. K, Ca, Mg, Fe, and Zn were found as the dominant metal in both PM, while other metals lower than 1%, including Cr, As, Pb, Cu, Mn, Ba, Ni, and Cd, were considered as trace metals. For the composition of metals in Indoor PM, Ca was found the highest fraction. The principal component analysis (PCA) result showed that the possible sources of metals in PM_{2.5} were vehicle emission, soil dust and construction, biomass burning, brake and tires wear, and oil burning. Likewise, the possible sources of metals in PM_{2.5-10} were vehicle emission, oil burning and iron/steel industries, sea salt, biomass burning, and soil dust and construction.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Environmental Science
Academic Year: 2020

Student's Signature
Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทรรศนีย์ พุกษาสีหิ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางอันเป็นประโยชน์ รวมถึง ตรวจสอบและปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้ง ให้ความช่วยเหลือ อบรมสั่งสอน และดูแล เอาใจใส่ตลอดการศึกษา นอกจากนี้ ต้องขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. อภิชาติ อ๋มยิ้ม และรองศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธิกุล ที่กรุณาให้คำแนะนำงานวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบพระคุณกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล ที่กรุณา ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูล

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นรุตม์ สหนาวิน ที่ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา และให้การ สนับสนุนตลอดมา อีกทั้ง ขอขอบพระคุณภาควิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการและให้ยืมเครื่องมือสำหรับเก็บตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณหน่วยงานเจ้าของพื้นที่ศึกษา ตลอดจนผู้ประสานงานทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์เข้าใช้ พื้นที่และอำนวยความสะดวกตลอดจนการเก็บตัวอย่างเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อ เฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชทรงเจริญพระชนมายุครบ 72 พรรษา และขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อีกทั้ง ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์จากหลักสูตรสหสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย

ขอขอบพระคุณกลุ่มพัฒนาความมั่นคงและการพิทักษ์ความปลอดภัย กองพัฒนาระบบและมาตรฐาน กำกับดูแลความปลอดภัย สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ให้อนุเคราะห์เข้าใช้เครื่อง Inductive Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICP-MS) สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนตลอดมา ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ หลักสูตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือเรื่องเอกสาร ขอขอบคุณนายบพุจ นาคจันทร์ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บ ตัวอย่าง และขอขอบพระคุณครอบครัวสหนาวินที่ให้การดูแลและให้ความช่วยเหลือตลอดมา สุดท้ายนี้ ต้องขอขอบคุณ ครอบครัว บิดา มารดา ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้การสนับสนุน และกำลังใจตลอดมา

ศิริภัทร์ อินทร์ตระกูล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูปภาพ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 สมมุติฐานงานวิจัย	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ความหมายของฝุ่นละออง.....	6
2.2 ประเภทของฝุ่นละออง.....	9
2.3 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง.....	10
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นและการแพร่กระจายของฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....	15
2.5 องค์ประกอบธาตุโลหะหนักในฝุ่นละออง.....	27
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อฝุ่นความเข้มข้นของละอองภายในอาคาร	30
2.7 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร (I/O ratio).....	34
2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค Principal Component Analysis (PCA).....	35

2.9 ข้อมูลพื้นฐานของกรุงเทพมหานคร	39
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	44
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	44
3.2 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง	48
3.3 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ความเข้มข้นของ PM _{2.5} และ PM _{2.5-10} ด้วยวิธีการชั่งด้วยน้ำหนัก (Gravimetric analysis).....	48
3.4 การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} และ PM ₁₀ แบบอ่านค่าทันที (Real-time).....	52
3.5 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะใน PM _{2.5} และ PM _{2.5-10}	52
3.5 การเก็บข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา.....	55
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	55
3.6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค Principal Component Analysis (PCA).....	55
3.6.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	56
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล.....	60
4.1 ข้อมูลปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา	60
4.2 การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละออง	62
4.3 ความสัมพันธ์และร้อยละความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis และ Light scattering	64
4.4 ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของ PM _{2.5} และ PM _{2.5-10} ภายนอกอาคาร.....	65
4.4.1 ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของ PM _{2.5} ภายนอกอาคาร.....	66
4.4.2 ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของ PM _{2.5-10} ภายนอกอาคาร.....	73
4.4.3 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารเทียบกับค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....	78
4.4.4 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PM _{2.5} และ PM ₁₀ ภายนอกอาคาร (PM _{2.5} /PM ₁₀ ratio).....	80
4.5 ระดับความเข้มข้นของ PM _{2.5} และ PM _{2.5-10} ภายในอาคาร.....	82

4.5.1	ระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในอาคารและความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร	82
4.5.2	สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร (I/O ratio) ...	84
4.6	การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของ PM _{2.5} และ PM ₁₀ ในรอบวัน	89
4.6.1	การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในรอบวันบริเวณภายนอกอาคารที่ระดับความสูงต่างกัน.....	90
4.6.2	การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในรอบวันบริเวณภายในอาคาร	95
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา	99
4.7.1	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาด้วยสถิติ Pearson correlation	100
4.7.2	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาด้วยสถิติ Multiple linear regression	101
4.7.3	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาด้วยสถิติ Multiple linear regression ในลักษณะชุดข้อมูลแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่.....	103
4.8	การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละออง.....	105
4.8.1	กราฟมาตรฐาน (Calibration curve).....	105
4.8.2	ค่า Limit of detection (LOD).....	106
4.8.3	การวิเคราะห์ค่าร้อยละคืนกลับ (%Recovery).....	106
4.9	ระดับความเข้มข้นของโลหะใน PM _{2.5} และ PM _{2.5-10}	107
4.9.1	ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของโลหะใน PM _{2.5} และ PM _{2.5-10} ภายนอกอาคาร	107
4.9.2	ระดับความเข้มข้นของโลหะใน PM _{2.5} และ PM _{2.5-10} ภายในอาคารและสัดส่วนความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละอองทั้งสองขนาดระหว่างภายในและภายนอกอาคาร	119
4.10	สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5} และ PM _{2.5-10}	124
4.10.1	สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5} และ PM _{2.5-10} ภายนอกอาคาร	124
4.10.2	สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5} และ PM _{2.5-10} ภายในอาคาร	131

4.11 การระบุแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน PM _{2.5} และ PM _{2.5-10}	137
4.11.1 การระบุแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน PM _{2.5} และ PM _{2.5-10} ภายนอกอาคาร.....	137
4.11.2 การระบุแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน PM _{2.5} และ PM _{2.5-10} ภายในอาคาร ..	143
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	151
5.1 สรุปผลการศึกษา	151
5.1.1 ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของ PM _{2.5} และ PM _{2.5-10} ภายนอกอาคาร.....	151
5.1.2 ระดับความเข้มข้นของของ PM _{2.5} และ PM _{2.5-10} ภายในอาคาร	152
5.1.3 การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของ PM _{2.5} และ PM ₁₀ ในรอบวัน.....	153
5.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทาง อุตุนิยมวิทยา.....	153
5.1.5 ระดับความเข้มข้นของโลหะใน PM _{2.5} และ PM _{2.5-10}	154
5.1.6 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5} และ PM _{2.5-10}	154
5.1.7 การระบุแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน PM _{2.5} และ PM _{2.5-10}	155
5.2 ข้อเสนอแนะ	156
บรรณานุกรม.....	157
ภาคผนวก.....	168
ภาคผนวก ก ผลการตรวจวัดข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาระหว่างช่วงการเก็บตัวอย่าง	169
ภาคผนวก ข ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis	183
ภาคผนวก ค ผลการตรวจวัดอุณหภูมิชั้นบนจากศูนย์ฝนหลวง สถานีสัตหีบ จังหวัดชลบุรี.....	186
ภาคผนวก ง สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PM _{2.5} และ PM ₁₀ ภายนอกอาคารที่วิเคราะห์ด้วย วิธี Gravimetric analysis (PM _{2.5} /PM ₁₀ ratio)	189
ภาคผนวก จ สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของฝุ่นละอองที่วิเคราะห์ด้วย วิธี Gravimetric analysis (I/O ratio).....	190

ภาคผนวก ฉ ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ตรวจวัดด้วยวิธี Real-time โดยใช้ หลักการ Light scattering.....	191
ภาคผนวก ช สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของฝุ่นละอองในรอบวัน ที่ วิเคราะห์ด้วยวิธี Light scattering (I/O ratio).....	203
ภาคผนวก ซ กราฟมาตรฐาน (Calibration curve)	206
ภาคผนวก ฌ ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละออง	212
ภาคผนวก ญ ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละอองภายในและ ภายนอกอาคาร	224
ภาคผนวก ฎ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS	230
ประวัติผู้เขียน	240



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างฝุ่นละอองส่วนหยาบและฝุ่นละอองส่วนละเอียด	8
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบและแหล่งกำเนิดของอนุภาคในบรรยากาศ	13
ตารางที่ 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นและการแพร่กระจายของฝุ่นละอองในบรรยากาศ	26
ตารางที่ 2.4 การจำแนกองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิด	28
ตารางที่ 2.5 ชนิดและแหล่งกำเนิดของมลพิษภายในอาคาร	33
ตารางที่ 2.6 การจำแนกแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองจากการศึกษาที่ผ่านมา	37
ตารางที่ 2.7 ผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองจากสถานีตรวจวัดบริเวณพื้นที่ทั่วไปในกรุงเทพมหานคร แยกตามรายสถานี ปี 2561	42
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทั่วไปและรายละเอียดจุดเก็บตัวอย่างภายในอาคาร	46
ตารางที่ 3.2 ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างและจำนวนตัวอย่างฝุ่นละอองทั้งหมดที่ทำการศึกษา	48
ตารางที่ 3.3 การเก็บข้อมูลทางด้านอนุกรมวิธานที่ศึกษา	55
ตารางที่ 3.4 รายละเอียดของอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง	57
ตารางที่ 3.5 ข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์และอภิปรายผลในแต่ละหัวข้อของบทที่ 4	59
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลปัจจัยทางอนุกรมวิธานในระหว่างช่วงการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง	60
ตารางที่ 4.2 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis และ Light scattering	65
ตารางที่ 4.3 ผลวิเคราะห์ร้อยละความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองที่ วิเคราะห์ด้วยวิธี Light scattering เทียบกับวิธี Gravimetric analysis	65
ตารางที่ 4.4 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PM _{2.5} และ PM ₁₀ ภายนอกอาคาร	81
ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร	84
ตารางที่ 4.6 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัย ทางอนุกรมวิธานด้วยสถิติ Pearson correlation	101

ตารางที่ 4.7 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมหาวิทยาลัยด้วยสถิติ Multiple linear regression แบบวิธีการ Stepwise	103
ตารางที่ 4.8 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยด้วยสถิติ Multiple linear regression ในลักษณะชุดข้อมูลแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 ชั่วโมง	104
ตารางที่ 4.9 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยด้วยสถิติ Multiple linear regression ในลักษณะชุดข้อมูลแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 6 ชั่วโมง	104
ตารางที่ 4.10 ผลการควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะด้วยเครื่อง ICP-MS	105
ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละคืนกลับ (%Recovery)	106
ตารางที่ 4.12 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะใน PM _{2.5} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน (ng/m ³)	108
ตารางที่ 4.13 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะใน PM _{2.5} และ PM _{2.5-10} ในบรรยากาศ บริเวณพื้นที่เขตเมืองจากการศึกษาที่ผ่านมา (ng/m ³).....	109
ตารางที่ 4.14 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะใน PM _{2.5-10} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน (ng/m ³)	114
ตารางที่ 4.15 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะใน PM _{2.5} ภายในอาคารในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน (ng/m ³)	122
ตารางที่ 4.16 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะใน PM _{2.5-10} ภายในอาคารในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน (ng/m ³)	123
ตารางที่ 4.17 ลำดับสัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5} ภายนอกอาคาร	128
ตารางที่ 4.18 ลำดับสัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5-10} ภายนอกอาคาร.....	131
ตารางที่ 4.19 ลำดับสัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5} ภายในอาคาร.....	134
ตารางที่ 4.20 ลำดับสัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5-10} ภายในอาคาร	137
ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน PM _{2.5} ภายนอกอาคารด้วยเทคนิค PCA	138

ตารางที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารด้วยเทคนิค PCA 140

ตารางที่ 4.23 การจำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะในฝุ่นละอองภายนอกอาคารโดยอ้างอิง การศึกษาที่ผ่านมา 143

ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคารด้วยเทคนิค PCA. 144

ตารางที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายในอาคารด้วยเทคนิค PCA 146

ตารางที่ 4.26 การจำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะในฝุ่นละอองภายในอาคารโดยอ้างอิง การศึกษาที่ผ่านมา 149



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การเคลื่อนตัวของกระแสลมและมลพิษทางอากาศบริเวณสันเขา	15
รูปที่ 2.2 การเคลื่อนตัวของกระแสลมบริเวณอาคาร (A) Undisturbed zone (B) Displacement zone (C) Cavity Zone (D) Wake zone.....	16
รูปที่ 2.3 อิทธิพลการเคลื่อนตัวของกระแสอากาศที่มีผลต่อการแพร่กระจายของมลพิษ.....	16
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามระดับความสูง (ก) อัตราการลดลงของอุณหภูมิตามระดับความสูงในสภาวะปกติ (ข) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบผกผัน.....	17
รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบผกผันที่มีผลต่อการเคลื่อนตัวของอากาศ	18
รูปที่ 2.6 สภาพอากาศอ้างอิงที่อุณหภูมิลดลงตามระดับความสูงและเสถียรภาพอากาศ (A) เสถียรภาพอากาศแบบไม่คงตัว (B) เสถียรภาพอากาศแบบเป็นกลาง (C) เสถียรภาพอากาศแบบคงตัว.....	19
รูปที่ 2.7 การแพร่กระจายของมลพิษด้วยกระแสที่มีความเร็วลมต่างกัน.....	21
รูปที่ 2.8 อิทธิพลของแรงเสียดทานจากพื้นผิวโลกที่มีต่อความเร็วลม	21
รูปที่ 2.9 รูปแบบของการเคลื่อนที่กระแสลมวนบริเวณพื้นที่ที่มีลักษณะเป็น Street canyon (ก) Single vortex; $H/W \sim 1.3$ (ข) Double vortex $H/W \sim 1.7$	23
รูปที่ 2.10 ช่องทางการแพร่กระจายของฝุ่นละอองภายนอกอาคารสู่ภายในอาคาร	31
รูปที่ 2.11 อิทธิพลของกระแสลมต่อความดันของอากาศบริเวณรอบอาคาร.....	32
รูปที่ 2.12 แผนที่แสดงที่ตั้งของกรุงเทพมหานคร	39
รูปที่ 2.13 ข้อมูลอุตุวิทยาระหว่างปี 2556 - 2561 จากสถานี 455201 กรุงเทพมหานคร	40
รูปที่ 2.14 ผลการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ปี 2559 - 2562	41
รูปที่ 2.15 ระดับความสูงและประเภทของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร	43
รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงที่ตั้งของพื้นที่ศึกษาในเขตดินแดง กรุงเทพมหานคร.....	44
รูปที่ 3.2 จุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองภายนอกอาคาร และจุดติดตั้งชุดตรวจวัดปัจจัยทางอุตุวิทยา (ก) Side view (ข) Top view	45

รูปที่ 3.3	แผนผังพื้นที่เก็บตัวอย่างภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร.....	47
รูปที่ 3.4	แผนผังพื้นที่เก็บตัวอย่างภายในอาคารที่ระดับความสูง 51.5 เมตร.....	47
รูปที่ 3.5	แผนผังพื้นที่เก็บตัวอย่างภายในอาคารที่ระดับความสูง 138.5 เมตร	47
รูปที่ 3.6	รายละเอียดและลำดับขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	58
รูปที่ 4.1	ผังแสดงความเร็วลมและทิศทางลมระหว่างช่วงการเก็บตัวอย่าง จากสถานี 455201 กรุงเทพมหานคร	62
รูปที่ 4.2	Control chart แสดงน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 100 มิลลิกรัมจากการชั่ง.....	63
รูปที่ 4.3	Control chart แสดงน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 200 มิลลิกรัมจากการชั่ง.....	63
รูปที่ 4.4	ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM _{2.5} ภายนอกอาคาร ในช่วงฤดูฝน	67
รูปที่ 4.5	ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM _{2.5} ภายนอกอาคาร ในช่วงฤดูหนาว	67
รูปที่ 4.6	ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM _{2.5} ภายนอกอาคาร ในช่วงฤดูร้อน	68
รูปที่ 4.7	ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างของ PM _{2.5}	69
รูปที่ 4.8	ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM _{2.5}	71
รูปที่ 4.9	ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM _{2.5-10} ภายนอกอาคาร ในช่วงฤดูฝน	74
รูปที่ 4.10	ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM _{2.5-10} ภายนอกอาคาร ในช่วงฤดูหนาว	74
รูปที่ 4.11	ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM _{2.5-10} ภายนอกอาคาร ในช่วงฤดูร้อน	75
รูปที่ 4.12	ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างของ PM _{2.5-10}	76
รูปที่ 4.13	ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM _{2.5-10}	77
รูปที่ 4.14	ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM _{2.5} ภายนอกอาคารเทียบกับค่ามาตรฐาน.....	79
รูปที่ 4.15	ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM ₁₀ ภายนอกอาคารเทียบกับค่ามาตรฐาน	80
รูปที่ 4.16	ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM _{2.5} และ PM _{2.5-10} ภายในอาคาร.....	83
รูปที่ 4.17	ค่าเฉลี่ยสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของ PM _{2.5} และ PM _{2.5-10}	86
รูปที่ 4.18	ค่าเฉลี่ยสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของ PM _{2.5} และ PM _{2.5-10} ระหว่างช่วงวันทำงานและวันหยุด	88

รูปที่ 4.19 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ตามแนวตั้งในรอบวัน ระหว่างช่วงฤดูฝน	91
รูปที่ 4.20 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ตามแนวตั้งในรอบวัน ระหว่างช่วงฤดูหนาว	91
รูปที่ 4.21 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ตามแนวตั้งในรอบวัน ระหว่างช่วงฤดูร้อน	92
รูปที่ 4.22 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในรอบวัน ระหว่างการเก็บตัวอย่าง ในช่วงฤดูฝน จากสถานีการเคหะชุมชนดินแดง	94
รูปที่ 4.23 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในรอบวัน ระหว่างการเก็บตัวอย่าง ในช่วงฤดูหนาว จากสถานีการเคหะชุมชนดินแดง	94
รูปที่ 4.24 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในรอบวัน ระหว่างการเก็บตัวอย่าง ในช่วงฤดูร้อน จากสถานีการเคหะชุมชนดินแดง	95
รูปที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในรอบวัน ระหว่างช่วงฤดูฝน	96
รูปที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในรอบวัน ระหว่างช่วงฤดูหนาว	98
รูปที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในรอบวัน ระหว่างช่วงร้อน	99
รูปที่ 4.28 ความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารในช่วงฤดูฝน	110
รูปที่ 4.29 ความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารในช่วงฤดูหนาว	110
รูปที่ 4.30 ความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารในช่วงฤดูร้อน	111
รูปที่ 4.31 ร้อยละความแตกต่างความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 51.5 และ 138.5 เมตรเทียบกับระดับความสูง 4.5 เมตรในช่วงฤดูฝน	112
รูปที่ 4.32 ร้อยละความแตกต่างความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 51.5 และ 138.5 เมตรเทียบกับระดับความสูง 4.5 เมตรในช่วงฤดูหนาว	112
รูปที่ 4.33 ร้อยละความแตกต่างความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 51.5 และ 138.5 เมตรเทียบกับระดับความสูง 4.5 เมตรในช่วงฤดูร้อน	113

รูปที่ 4.34 ความเข้มข้นของโลหะใน PM _{2.5-10} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูฝน	115
รูปที่ 4.35 ความเข้มข้นของโลหะใน PM _{2.5-10} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูหนาว	115
รูปที่ 4.36 ความเข้มข้นของโลหะใน PM _{2.5-10} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูร้อน	116
รูปที่ 4.37 ร้อยละความแตกต่างความเข้มข้นของโลหะใน PM _{2.5-10} ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 51.5 และ 138.5 เมตรเทียบกับระดับความสูง 4.5 เมตรในช่วงฤดูฝน	117
รูปที่ 4.38 ร้อยละความแตกต่างความเข้มข้นของโลหะใน PM _{2.5-10} ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 51.5 และ 138.5 เมตรเทียบกับระดับความสูง 4.5 เมตรในช่วงฤดูหนาว	118
รูปที่ 4.39 ร้อยละความแตกต่างความเข้มข้นของโลหะใน PM _{2.5-10} ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 51.5 และ 138.5 เมตรเทียบกับระดับความสูง 4.5 เมตรในช่วงฤดูร้อน	118
รูปที่ 4.40 สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะใน PM _{2.5} ระหว่างภายในและภายนอกอาคาร	120
รูปที่ 4.41 สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะใน PM _{2.5-10} ระหว่างภายในและภายนอกอาคาร	121
รูปที่ 4.42 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูฝน	125
รูปที่ 4.43 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูหนาว	125
รูปที่ 4.44 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูร้อน	126
รูปที่ 4.45 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5-10} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูฝน	129
รูปที่ 4.46 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5-10} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูหนาว	129
รูปที่ 4.47 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5-10} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูร้อน	130
รูปที่ 4.48 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5} ภายในอาคารในช่วงฤดูฝน	132
รูปที่ 4.49 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5} ภายในอาคารในช่วงฤดูหนาว	133
รูปที่ 4.50 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5} ภายในอาคารในช่วงฤดูร้อน	133
รูปที่ 4.51 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5-10} ภายในอาคารในช่วงฤดูฝน	135
รูปที่ 4.52 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5-10} ภายในอาคารในช่วงฤดูหนาว	135
รูปที่ 4.53 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5-10} ภายในอาคารในช่วงฤดูร้อน	136
รูปที่ 4.54 ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน PM _{2.5} ภายนอกอาคารด้วยเทคนิค PCA... 139	
รูปที่ 4.55 ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน PM _{2.5-10} ภายนอกอาคารด้วยเทคนิค PCA140	

รูปที่ 4.56 ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายในอาคารด้วยเทคนิค PCA..... 145

รูปที่ 4.57 ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคารด้วยเทคนิค PCA.. 146



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหามลพิษทางอากาศเป็นอีกหนึ่งปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในพื้นที่เขตเมือง โดยเฉพาะปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศ ซึ่งองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) ได้จำแนกฝุ่นละอองออกเป็น 2 ประเภท คือ ฝุ่นละอองส่วนหยาบ (Coarse Particles) และฝุ่นละอองส่วนละเอียด (Fine Particles) โดยฝุ่นละอองส่วนหยาบมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2.5 ไมครอนถึง 10 ไมครอน ($PM_{2.5-10}$) สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้ในช่วงระยะเวลานับ ชั่วโมง ตั้งแต่ระดับหลายนาที่จนถึงหลายชั่วโมง และสามารถแพร่กระจายได้ในระยะสั้นที่ระยะน้อยกว่า 1 กิโลเมตรจนถึงหลายสิบกิโลเมตร และมีแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นละอองจากผิวดิน ฝุ่นละอองที่พัดพามาจากถนน โรงงานอุตสาหกรรม พื้นที่เกษตรกรรม การก่อสร้างและการรื้อถอน ถ้าวางจากการเผาไหม้ น้ำมัน และถ่านหิน ออกไซด์ของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกโลก เช่น ซิลิกอน แอมโมเนียม และไทเทเนียม เป็นต้น ในขณะที่ฝุ่นละอองส่วนละเอียดมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นานหลายวันจนถึงหลายสัปดาห์ และสามารถแพร่กระจายได้ในระยะหลายร้อยกิโลเมตรจนถึงหลายพันกิโลเมตร และมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลจากโรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้จากยานยนต์ การเผาทางเกษตรกรรม และกระบวนการหลอมหรือแปรรูปของโลหะต่าง ๆ เป็นต้น (U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 1996) โดยมากกว่าสองในสามส่วนของ $PM_{2.5}$ ที่เกิดขึ้นมีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์ (World Health Organization [WHO], 2005) ทั้งนี้ $PM_{2.5}$ ยังสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจถึงหลอดปอด ถุงลม และเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือด ส่งผลให้เกิดผลกระทบที่สำคัญต่อสุขภาพของมนุษย์ ได้แก่ การเสียชีวิตก่อนวัยอันควรในผู้ที่เป็โรคหัวใจหรือปอด หัวใจขาดเลือด หัวใจเต้นผิดปกติ โรคหอบหืดกำเริบ ความสามารถการทำงานของปอดลดลง และอาการทางระบบทางเดินหายใจ เช่น ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ ไอ จาม และหายใจติดขัด เป็นต้น (U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 2018)

ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษและอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยโลหะหนักที่พบในพื้นที่เขตเมืองส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากอุตสาหกรรม เช่น การทำเหมือง การถลุงแร่ และการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล มลพิษจากการจราจร เช่น ไอเสียจากรถยนต์ และผลิตภัณฑ์ที่สึกหรอจากยางรถยนต์ และผ้าเบรก เป็นต้น อีกทั้ง มีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติ เช่น แร่ธาตุ ไฟป่า และมหาสมุทร เป็นต้น (Li et al., 2013) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบ

โลหะหนักหลายชนิดในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) และ $PM_{2.5}$ ได้แก่ แบริยม ตะกั่ว นิกเกิล โครเมียม สารหนู สังกะสี แมงกานีส แคดเมียม และทองแดง (Elhadi et al., 2016; Liu et al., 2017; Soleimani et al., 2018) และจากผลการศึกษาของ Chen et al. (2015a) ที่ทำการวิเคราะห์โลหะหนักใน $PM_{2.5}$ บริเวณมหาวิทยาลัย Nankai เมือง Tianjin ประเทศจีน พบว่าทองแดง สังกะสี และตะกั่ว มีปริมาณสูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับการศึกษาในประเทศไทย รพีพัฒน์ เกริกโกวัล (2543) พบโลหะใน $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เขตเมืองในกรุงเทพมหานคร โดยพบโพแทสเซียมมากที่สุด รองลงมาได้แก่ สังกะสี แมงกานีส ตะกั่ว และทองแดง ซึ่งพบว่าบริเวณพื้นที่ริมถนนจะมีปริมาณโลหะสูงกว่าพื้นบรรยากาศทั่วไป อีกทั้ง การศึกษาบริเวณพื้นที่ริมทางยกระดับในกรุงเทพมหานครยังพบโลหะใน $PM_{2.5}$ โดยพบแคลเซียมมากที่สุด รองลงมาได้แก่ โพแทสเซียม โซเดียม เหล็ก สังกะสี แมกนีเซียม ทองแดง โครเมียม ตะกั่ว แบริยม ลิเทียม แมงกานีส นิกเกิล แคดเมียม ในขณะที่ PM_{10} พบโซเดียมมากที่สุด รองลงมาได้แก่ แคลเซียม สังกะสี โพแทสเซียม แบริยม แมกนีเซียม โครเมียม เหล็ก ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม แมงกานีส นิกเกิล และลิเทียม (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2561) นอกจากนี้ อนุวัฒน์ แสงอ่อน (2547) ยังพบโลหะใน $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เขตเมืองในเชียงใหม่ โดยพบแคลเซียมมากที่สุด รองลงมาได้แก่ แมกนีเซียม โพแทสเซียม สังกะสี แมงกานีส เหล็ก โครเมียม ตะกั่ว นิกเกิล ทองแดง และแคดเมียม

กรุงเทพมหานครเป็นเมืองหลวงแห่งหนึ่งที่พบปัญหามลพิษทางด้านอากาศ โดยเฉพาะปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก จากข้อมูลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลของกรมควบคุมมลพิษพบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ สูงเกินค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมงที่กำหนดไว้ไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ประมาณ 40 - 50 วันต่อปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) และมากกว่าร้อยละ 20 ของจำนวนวันในรอบปีที่มีคุณภาพอากาศเกินค่ามาตรฐาน โดยความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐานในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลจะพบในช่วงเดือนธันวาคม - มีนาคมของทุกปี ซึ่งสถานการณ์ในปี 2561 พบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงเดือนมกราคม - กุมภาพันธ์ 2561 และช่วงเดือนธันวาคม 2561 - มกราคม 2562 โดยกรมควบคุมมลพิษได้ระบุแหล่งกำเนิดของ $PM_{2.5}$ ว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากยานพาหนะเป็นหลัก ประกอบกับสภาพทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่มีลักษณะอากาศจมตัว และลมสงบ จึงส่งผลให้ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว (กรมควบคุมมลพิษ, 2562c) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าปัญหาฝุ่นละอองเกิดขึ้นในบรรยากาศทั่วไป แต่ก็สามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากฝุ่นละอองจากภายนอกอาคารสามารถแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารผ่านทางรอยแยก หรือการเปิดประตูและหน้าต่าง รวมถึงระบบระบายอากาศได้ แม้ในขณะที่ปิดประตูและหน้าต่างฝุ่นละอองก็สามารถแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารได้เช่นเดียวกัน (Thornburg et al.,

2001) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคารมีความสัมพันธ์เชิงกันในเชิงบวก ซึ่งชี้ให้เห็นว่า เมื่อฝุ่นละอองภายนอกอาคารมีปริมาณเพิ่มขึ้น ฝุ่นละอองภายในอาคารก็จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (Massey et al., 2009; Shao et al., 2017) ประกอบกับในปัจจุบันประชาชนส่วนใหญ่ใช้เวลาเกือบร้อยละ 90 ของเวลาทั้งหมดในแต่ละวันอาศัยอยู่ภายในอาคาร (U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 2001b) ไม่ว่าจะเป็นอาคารที่พักอาศัย สำนักงาน โรงแรม หรือโรงพยาบาล ด้วยเหตุนี้ ประชาชนในกรุงเทพมหานครที่อาศัยอยู่ภายในอาคารจึงมีโอกาที่จะได้รับสัมผัสฝุ่นละอองที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบผ่านทางหายใจ

เนื่องจากพื้นที่ในกรุงเทพมหานครมีอยู่อย่างจำกัด ในปัจจุบันกรุงเทพมหานครจึงประกอบไปด้วยอาคารสูงเป็นจำนวนมาก จากข้อมูลอาคารสูงในกรุงเทพมหานครปี 2562 ของสภาตึกสูงและที่อยู่อาศัยในเมืองพบว่า มีจำนวนอาคารสูงในกรุงเทพมหานครที่ดำเนินการก่อสร้างแล้วเสร็จถึง 169 อาคาร ซึ่งเป็นอาคารที่พักอาศัยมากที่สุด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 52 รองลงมา ได้แก่ อาคารสำนักงาน คิดเป็นร้อยละ 22 อาคารอเนกประสงค์ คิดเป็นร้อยละ 12 และอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 14 นอกจากนี้ยังมีอาคารที่อยู่ระหว่างการก่อสร้าง และวางแผนสร้างต่อในอนาคต (Council on Tall Buildings and Urban Habitat [CTBUH], 2018) จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ประชาชนในกรุงเทพมหานครจำนวนมากมีแนวโน้มที่จะอาศัยอยู่ภายในอาคารสูง จากการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการศึกษาระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของฝุ่นละอองบริเวณอาคารสูง พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีแนวโน้มลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น (Chan and Kwok, 2000; Liu et al., 2018a; Quang et al., 2012) อีกทั้ง Zauli Sajani et al. (2018) ยังพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ ที่ระดับความสูง 65 เมตรเทียบกับระดับพื้นดิน มีแนวโน้มลดลงในช่วงฤดูร้อนน้อยกว่าช่วงฤดูหนาว โดยมีแนวโน้มลดลงร้อยละ 4 ในช่วงฤดูร้อน และร้อยละ 11 ในช่วงฤดูหนาว อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีแนวโน้มลดลงตามระดับความสูงไม่มากนัก ดังนั้น ประชาชนในกรุงเทพมหานครที่อาศัยอยู่ชั้นบนของอาคารสูงก็มีโอกาสรับสัมผัสฝุ่นละอองที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบผ่านทางหายใจได้เช่นเดียวกับผู้ที่อาศัยอยู่ชั้นล่างของอาคาร ด้วยเหตุนี้ การศึกษาระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของฝุ่นละอองขนาดเล็กจึงเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญและมีการศึกษาเพิ่มเติม อย่างไรก็ตาม การศึกษาระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของฝุ่นละอองขนาดเล็กและการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคารสูงยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะพื้นที่ศึกษาในกรุงเทพมหานคร รวมถึงยังไม่ได้มีการจำแนกชนิดโลหะที่เป็นองค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองในระดับความสูงที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะสามารถอธิบายความเชื่อมโยงถึงแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองได้

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ บริเวณอาคารสูงแห่งหนึ่งภายในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละอองทั้งสองขนาด บริเวณภายในและภายนอกอาคาร พร้อมทั้งวิเคราะห์องค์ประกอบโลหะในฝุ่นละอองทั้งสองขนาด เพื่อจำแนกชนิดของโลหะที่เป็นองค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองที่ระดับความสูงที่ต่างกัน นอกจากนี้ยังศึกษาร่วมกับข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา ผลการศึกษาครั้งนี้จะสามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อนำไปสู่แนวทางการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคาร รวมถึงเป็นข้อมูลในการเฝ้าระวังการรับสัมผัสฝุ่นละอองที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบผ่านทางหายใจของผู้ที่อยู่ในอาคารสูงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ รวมถึงโลหะในฝุ่นละอองทั้งสองขนาด ภายในอาคารและภายนอกอาคาร
- 2) เพื่อศึกษาความแตกต่างความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ รวมถึงโลหะในฝุ่นละอองทั้งสองขนาดภายนอกอาคารที่ระดับความสูงต่างกัน
- 3) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคารสูงของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ในแต่ละระดับความสูง

1.3 สมมุติฐานงานวิจัย

- 1) ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคารในแต่ละระดับความสูงไม่แตกต่างกันในช่วงฤดูร้อน
- 2) ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีแนวโน้มการลดลงตามระดับความสูงต่ำกว่า $PM_{2.5-10}$
- 3) สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคารของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ไม่แตกต่างกันที่ระดับความสูงต่างกัน
- 4) ชนิดโลหะที่เป็นองค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองในแต่ละระดับความสูงไม่แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 พื้นที่ศึกษา

ทำการเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ บริเวณอาคารสูง ประเภทอาคารสำนักงาน 37 ชั้น ความสูงประมาณ 150 เมตร อาคารตั้งอยู่ในเขตดินแดง กรุงเทพมหานคร และห่างจากทางยกระดับประมาณ 200 เมตร โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแบ่งออกเป็นความสูงจากระดับพื้นดิน 3 ระดับ ได้แก่ 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร โดยแต่ละชั้นได้กำหนดจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

แบ่งออกเป็นภายในอาคาร 1 จุด และภายนอกอาคาร 1 จุด รวมจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองทั้งหมด 6 จุด และติดตั้งชุดตรวจวัดสภาพอุตุนิยมวิทยาบนชั้นดาดฟ้าของอาคาร ความสูงจากระดับพื้นดิน ประมาณ 150 เมตร

1.4.2 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 7 วัน (ระหว่างวันจันทร์ - อาทิตย์) โดยแบ่งเป็น 3 ช่วงฤดูกาล ได้แก่ ช่วงฤดูฝน (ระหว่างวันที่ 23 - 29 กันยายน 2562) ฤดูหนาว (ระหว่างวันที่ 13 - 19 มกราคม 2563) และฤดูร้อน (ระหว่างวันที่ 2 - 8 มีนาคม 2563)

1.4.3 วิธีเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่าง

เก็บตัวอย่าง PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายในอาคารโดยใช้เครื่อง Personal pump ของ SKC รุ่น PCXR8 ต่อเข้ากับหัวคัดแยกขนาดฝุ่นละอองแบบ Personal Module Impactor (PMI) สำหรับการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองทั้งสองขนาดภายนอกอาคารใช้เครื่อง Air sampling pump ของ SKC รุ่น Leland legacy ต่อเข้ากับหัวคัดแยกขนาดฝุ่นละอองแบบ IMPACT Sampler PM Coarse พร้อมทั้งตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁₀ ภายในและภายนอกอาคาร ด้วยเครื่องตรวจฝุ่นละอองแบบอ่านค่าทันที (Real-time) รุ่น Aeroqual Series 500 จากนั้นวิเคราะห์โลหะในฝุ่นละอองด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS) โดยวิเคราะห์โลหะ 13 ชนิด ได้แก่ สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ตะกั่ว (Pb) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) แมกนีเซียม (Mg) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แบเรียม (Ba) นอกจากนี้ ทำการเก็บข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาด้วยชุดตรวจวัดสภาพอุตุนิยมวิทยาของ DAVIS INSTRUMENT รุ่น Vantage PRO2 โดยการตั้งสถานีเก็บข้อมูลชั่วคราวบนชั้นดาดฟ้าของอาคารพื้นที่ศึกษา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เป็นข้อมูลเพื่อนำไปสู่แนวทางการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคารสูง
- 2) เป็นข้อมูลในการเฝ้าระวังและวางแผนป้องกันการรับสัมผัสฝุ่นละอองที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบผ่านทางการหายใจของผู้ที่อยู่ในอาคารสูง
- 3) เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อนำไปประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นละอองผ่านทางการหายใจของผู้ที่อยู่ในอาคารสูง

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง หมายถึง อนุภาคที่เกิดจากการรวมกันของโมเลกุล (Molecular) หรือกลุ่มโมเลกุลของสสารหรือสารประกอบต่าง ๆ มีทั้งสถานะที่เป็นของแข็ง (Solid) หรือของเหลว (Liquid) สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เป็นเวลานาน มีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน ซึ่งเป็นกลุ่มของโมเลกุลไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ไปจนถึงขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน ซึ่งเป็นฝุ่นทรายขนาดใหญ่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยฝุ่นละอองเกิดขึ้นจากการปลดปล่อยสู่บรรยากาศโดยแหล่งกำเนิดที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง การจราจร การเผาในที่โล่ง การเผาทางการเกษตร กิจกรรมจากครัวเรือน และภาคอุตสาหกรรม เป็นต้น เนื่องจากฝุ่นละอองมีแหล่งกำเนิดมาจากหลายกิจกรรมจึงส่งผลกระทบต่อสุขภาพและทางเคมีของฝุ่นละอองมีความหลากหลาย นอกจากนี้ฝุ่นละอองยังเกิดจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ในบรรยากาศ โดยส่วนใหญ่เกิดจากการควบแน่นของก๊าซหรือไอน้ำ (Condensation) และการจับตัวกันของอนุภาค (Coagulation) เช่น การรวมตัวของฝุ่นละอองและก๊าซบางตัว เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) การรวมตัวของฝุ่นละอองด้วยกัน และการรวมตัวของฝุ่นละอองกับของเหลวหรือรวมตัวกับของแข็ง เป็นต้น โดยอัตราการจับตัวกันของอนุภาค จะขึ้นอยู่กับจำนวนของอนุภาค (Particle number) และความเร็ว (Velocity) และอัตราการควบแน่นจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวอนุภาค (Surface area) (Wilson and Suh, 1997; กรมควบคุมมลพิษ, 2554) โดยฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยทั่วไปสามารถจำแนกตามขนาดได้เป็น 3 กลุ่มดังต่อไปนี้

1) ฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulate: TSP) คือ ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 100 ไมครอน ซึ่งเกิดขึ้นจากธรรมชาติ เช่น การฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองจากผิวดิน ภูเขาไฟระเบิด และเกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดของมนุษย์ เช่น การก่อสร้างโรงงานอุตสาหกรรม คาร์บอนเสียจากไอรถยนต์ เป็นต้น

2) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (Particulate less than 10 Micrometer: PM_{10}) คือ ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอน เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดธรรมชาติ เช่น การฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองจากผิวดิน และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้ของยานยนต์ การเผากลางแจ้ง และการก่อสร้าง เป็นต้น ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพเนื่องจากเกิดการสะสมที่ระบบทางเดินหายใจ

3) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (Particulate less than 2.5 Micrometer: PM_{2.5}) คือ ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ทางอากาศ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก คิดเป็นร้อยละ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผมมนุษย์ ดังนั้น PM_{2.5} จึงสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจลึกไปสู่ปอด ถุงลม และเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือด ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ได้แก่ การเสียชีวิตก่อนวัยอันควรในผู้ที่เป็โรหคหวัใจหรือปอด หัวใจขาดเลือด หัวใจเต้นผิดปกติ ความสามารถการทำงานของปอดลดลง โรหคหวัใจกำเริบ และอาการทางระบบทางเดินหายใจ เช่น ระคยเค็องระบบทางเดินหายใจ ไอจาม หายใจติดขัด เป็นต้น (U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 2018)

องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) ได้จำแนกฝุ่นละอองตามขนาดออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) ฝุ่นละอองส่วนหยาบ (Coarse Particles) คือ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2.5 ไมครอนถึง 10 ไมครอน (PM_{2.5-10}) สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้ช่วงระยะเวลาสั้น ๆ (หลายนาทิจนถึงหลายชั่วโมง) และสามารถแพร่กระจายได้ในระยะสั้นที่ระยะน้อยกว่า 1 กิโลเมตร จนถึงหลายสิบกิโลเมตร มีแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นละอองจากผิวดิน ฝุ่นละอองที่พัดมาจากถนน โรงงานอุตสาหกรรม พื้นที่เกษตรกรรม การก่อสร้างและการรื้อถอน ฝัาลอยจากการเผาไหม้ น้ำมัน และถ่านหิน ออกไซด์ของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกโลก เช่น ซิลิกอน แอมโมเนียม และไทเทเนียม เป็นต้น (U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 1996)

2) ฝุ่นละอองส่วนละเอียด (Fine Particles) คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นานหลายวันจนถึงหลายสัปดาห์ และสามารถแพร่กระจายได้ในระยะไกลหลายร้อยกิโลเมตรจนถึงหลายพันกิโลเมตร มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลจากโรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้จากยานยนต์ การเผาทางเกษตรกรรม และกระบวนการหลอมหรือแปรรูปของโลหะต่าง ๆ เป็นต้น นอกจากนี้ฝุ่นละอองแบบละเอียดยังประกอบไปด้วยฝุ่นละอองแบบละเอียดมาก (Ultra-fine Particles) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.1 ไมครอน (U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 1996)

นอกจากนี้ ยังสามารถสรุปความแตกต่างของฝุ่นละอองส่วนหยาบ และฝุ่นละอองส่วนละเอียดได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างฝุ่นละอองส่วนหยาบและฝุ่นละอองส่วนละเอียด

	ฝุ่นละอองส่วนหยาบ (Coarse Particles)	ฝุ่นละอองส่วนละเอียด (Fine Particles)
กระบวนการเกิด	<ul style="list-style-type: none"> - การبرد และการกระแทก - การระเหยของละอองน้ำ - การแขวนลอยของฝุ่นละออง 	<ul style="list-style-type: none"> - การبرد และการกระแทก - กระบวนการทางเคมีหรือการกลายเป็นไอ - การควบแน่น (Condensation) และการจับตัวกันของอนุภาค (Coagulation) - การระเหยของหมอก และละอองเมฆ ซึ่งมีก๊าซละลายและเกิดปฏิกิริยา
องค์ประกอบ	<ul style="list-style-type: none"> - ฝุ่นละอองจากผิวดินและถนน - เล้าจากการเผาถ่านหินและน้ำมัน - ออกไซด์ของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกโลก เช่น ซิลิกอน แอมโมเนียม และไทเทเนียม - CaCO_3, NaCl, ละอองลอยจากทะเล - เกสรดอกไม้ สปอร์ของเชื้อรา - เศษซากสิ่งมีชีวิต - เศษยางรถยนต์ที่สึกหรอ 	<ul style="list-style-type: none"> - ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ไนเตรต (NO_3^-) แอมโมเนียม (NH_4^+) และไฮโดรเจนไอออน - ธาตุคาร์บอน - สารประกอบอินทรีย์ เช่น PAHs - ธาตุโลหะ เช่น Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe - ละอองน้ำที่จับตัวเป็นอนุภาค
แหล่งกำเนิด	<ul style="list-style-type: none"> - ฝุ่นละอองจากโรงงานอุตสาหกรรม - ฝุ่นละอองจากดินบนผิวดิน - การเผาไหม้ถ่านหินและน้ำมัน - ฝุ่นละอองจากผิวดินจากการทำเกษตรกรรม การทำเหมืองแร่ และถนนที่ไม่ได้ลาดยาง - เศษซากจากสิ่งมีชีวิต 	<ul style="list-style-type: none"> - การเผาไหม้ของถ่านหิน น้ำมันพืช น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล และไม้ - กระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง โรงหลอมและถลุงเหล็ก - กระบวนการเปลี่ยนสภาพในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์

ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างฝุ่นละอองส่วนหยาบและฝุ่นละอองส่วนละเอียด (ต่อ)

	ฝุ่นละอองส่วนหยาบ (Coarse Particles)	ฝุ่นละอองส่วนละเอียด (Fine Particles)
แหล่งกำเนิด	- การก่อสร้างและเรือถอน - ละอองลอยจากเกลือทะเล	
ระยะเวลาใน บรรยากาศ (Atmospheric Half-life)	- หลายนาที่จนถึงหลายชั่วโมง	- หลายวันจนถึงหลายสัปดาห์
ระยะแพร่กระจาย (Travel distance)	- น้อยกว่า 1 กิโลเมตรจนถึงหลายสิบกิโลเมตร	- หลายร้อยกิโลเมตรจนถึงหลายพันกิโลเมตร

ที่มา: ดัดแปลงจาก Wilson et al. (1997)

2.2 ประเภทของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองสามารถจำแนกตามลักษณะการเกิดได้ 2 ประเภทดังต่อไปนี้

2.2.1 ฝุ่นละอองปฐมภูมิ (Primary Particulate Matter)

ฝุ่นละอองปฐมภูมิเป็นฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นและถูกปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดสู่บรรยากาศโดยตรง โดยฝุ่นละอองส่วนหยาบปฐมภูมิ (Primary Coarse Particles) เกิดขึ้นจากกระบวนการเชิงกล (Mechanical Processes) เช่น การพัดพาและฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองดินจากผิวดินและถนน ขี้เถ้าและเขม่าควันไฟที่เกิดจากการเผาไหม้ ภูเขาไฟระเบิด ละอองลอยจากเกลือทะเล เป็นต้น และฝุ่นละอองส่วนละเอียดปฐมภูมิ (Primary Fine Particles) เกิดขึ้นจากการปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดในรูปแบบอนุภาคและไอระเหยที่ควบแน่นเป็นอนุภาคฝุ่นที่ขนาดเล็กมาก (Ultra-fine Particles) เช่น เขม่าจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล การควบแน่นของสารประกอบอินทรีย์หลายชนิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์หรือจากการประกอบอาหาร และโลหะหนัก เช่น As, Se, Zn ที่ควบแน่นจากไอระเหยที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้หรือการหลอม ทั้งนี้ ระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองปฐมภูมิก็นับขึ้นอยู่กับอัตราการปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิด (Emission Rate) การเคลื่อนย้าย (Transport) การแพร่กระจาย (Dispersion) และอัตราการถูกกำจัดจากชั้นบรรยากาศ (Removal Rate) ของฝุ่นละออง (U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 2001a)

2.2.2 ฝุ่นละอองทุติยภูมิ (Secondary Particulate Matter)

ฝุ่นละอองทุติยภูมิเป็นฝุ่นละอองที่ไม่ได้เกิดขึ้นและถูกปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดสู่บรรยากาศโดยตรง แต่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีในบรรยากาศ เช่น การรวมตัวของฝุ่นละอองและก๊าซบางตัว เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) การรวมตัวของฝุ่นละอองด้วยกัน และการรวมตัวของฝุ่นละอองกับของเหลวหรือรวมตัวกับของแข็ง เป็นต้น โดยส่วนใหญ่ฝุ่นละอองทุติยภูมิเกิดขึ้นจากไอระเหยที่สามารถควบแน่นได้จากปฏิกิริยาทางเคมีของสารตั้งต้นในบรรยากาศ ซึ่งส่งผลให้เกิดเป็นฝุ่นละอองอนุภาคใหม่หรืออนุภาคที่มีองค์ประกอบเพิ่มขึ้น สารประกอบอินทรีย์ แอมโมเนียม ซัลเฟต และไนเตรต เป็นประเภทหลักของฝุ่นละอองทุติยภูมิซึ่งเกิดจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และออกไซด์ของไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดมาทำปฏิกิริยาแอมโมเนียในบรรยากาศ โดยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน แอมโมเนียเป็นสารเริ่มต้นปฏิกิริยา (Precursors) ที่สำคัญของฝุ่นละอองทุติยภูมิ (U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 1999) นอกจากนี้ ฝุ่นละอองทุติยภูมิยังเกิดจากไอโลหะที่เกิดจากกระบวนการหลอมหรือการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง และไอระเหยอินทรีย์ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำอาหารหรือการเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจับตัวเป็นก้อนหรือควบแน่น โดยไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับฝุ่นละอองปฐมภูมิ (Wilson and Suh, 1997) ทั้งนี้ การเกิดฝุ่นละอองทุติยภูมินั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ความเข้มข้นของสารเริ่มต้นปฏิกิริยา ความเข้มข้นของก๊าซชนิดอื่น ๆ ที่เกิดปฏิกิริยาได้ เช่น Ozone, Hydroxyl radical, Peroxy radicals, Hydrogen peroxide สภาพภูมิอากาศ ได้แก่ การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ความชื้นสัมพัทธ์ และปฏิกิริยาของสารตั้งต้นกับอนุภาคฝุ่นละอองที่มีอยู่ในกลุ่มเมฆหรือละอองหมอก (U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 2001a)

2.3 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง

แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทดังต่อไปนี้

2.2.1 แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ (Natural source)

เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองจากกระบวนการทางธรรมชาติ เช่น การพัดพาและฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองดินจากผิวดินและถนน การพัดพาและฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองดินจากพื้นที่เกษตรกรรม ไฟป่าตามธรรมชาติ ภูเขาไฟระเบิด ละอองลอยจากเกลือทะเล ฝุ่นละอองจากทะเลทราย แผ่นดินไหว เป็นต้น

2.2.2 แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic source)

เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยการปลดปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิดสู่บรรยากาศ สามารถแบ่งแหล่งกำเนิดได้เป็น 3 ประเภท คือ

1) แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (Stationary source) เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า การเผาไหม้จากการทำอาหารหรือเตาผิงไฟในบ้านเรือน การไหม้จากกระบวนการในโรงงานอุตสาหกรรม จากการก่อสร้างและรื้อถอน การถลุงแร่ การแปรรูปโลหะ กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้ กิจกรรมทางการเกษตร การกัดเซาะจากไถพรวนดิน กระบวนการกำจัดแลกรีสไคลียะ และการเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาไม้เพื่อทำเชื้อเพลิง การเผาเพื่อเตรียมพื้นที่เกษตรกรรมและการก่อสร้าง การเผาเพื่อกำจัดซากพืช และการเผาขยะ เป็นต้น

2) แหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile source) เช่น มลพิษจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ประเภทต่าง ๆ จากการคมนาคมทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ เช่น รถยนต์ รถบรรทุกเครื่องบิน เรือขนส่ง เป็นต้น

3) แหล่งกำเนิดที่ไม่แน่นอน (Non-point source) เช่น มลพิษจากการเผาไหม้ในพื้นที่โล่งหรือพื้นที่ทั่วไป การเกิดไฟป่า การลักลอบเผาป่า การเผาขยะ ฝุ่นละอองที่มาจากพัดพาโดยกระแสลมจากแหล่งกำเนิด เป็นต้น

นอกจากนี้ ฝุ่นละอองยังสามารถจำแนกแหล่งกำเนิดตามประเภทของฝุ่นละอองได้เป็น 2 ประเภท คือ ฝุ่นละอองปฐมภูมิ และฝุ่นละอองทุติยภูมิ โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับลักษณะและประเภทของกิจกรรมที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่นั้น ๆ จากการศึกษาของ Cheng et al. (2015) ที่ทำการศึกษารอบนอกและจำแนกแหล่งกำเนิดของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{10-2.5}$ บริเวณริมถนนที่มีการจราจรหนาแน่นในเมือง Hong Kong ผลการศึกษาพบว่า $PM_{2.5}$ และ $PM_{10-2.5}$ มีองค์ประกอบที่ต่างกัน โดยธาตุที่มีปริมาณมากใน $PM_{2.5}$ ได้แก่ OC, EC, SO_4^{2-} , NH_4^+ , และ K^+ และมีแหล่งกำเนิด ได้แก่ ฝุ่นจากส่วนประกอบของรถ (การสึกหรอของยางและผ้าเบรกรถยนต์) การฟุ้งกระจายของละอองดินจากถนน ละอองลอยทะเล การเผาชีวมวลและละอองลอยทุติยภูมิ และจากการจราจรน้อยที่สุด สำหรับองค์ประกอบหลักใน $PM_{2.5-10}$ ได้แก่ Cl^- , Al, Si, Ca, Ti, และ Fe ซึ่งมีแหล่งกำเนิด ได้แก่ ไอเสียจากรถยนต์ ละอองลอยทุติยภูมิ เตาเผาขยะและการเผาไหม้ชีวมวล การเผาไหม้จากครัวเรือน ละอองลอยจากทะเล อุตสาหกรรม และละอองดินจากถนนน้อยที่สุด

Men et al. (2018) ศึกษาองค์ประกอบและจำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุโลหะหนักใน $PM_{2.5}$ จากเส้นทางเดินรถ 36 เส้นในเมือง Beijing ประเทศจีน โดยใช้เทคนิควิเคราะห์ข้อมูล คือ Positive Matrix Factorization (PMF) ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุโลหะหนัก โดยธาตุโลหะที่เก็บมาวิเคราะห์ ได้แก่ As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn และ Fe ผลการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์ด้วย PMF สามารถจัดกลุ่มธาตุโลหะหนักได้ 4 กลุ่มองค์ประกอบ โดยกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย Cd, Ni, Pb และ Zn ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากยานยนต์ กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย As, Cr, Mn และ Fe ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของถ่านหิน กลุ่มที่ 3 ประกอบไปด้วย Cu ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากการผลิตและการใช้ส่วนประกอบของโลหะ และกลุ่มที่ 4 ประกอบด้วย Hg ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากการสารกำจัดศัตรูพืช ปุ๋ย และอุปกรณ์ทางการแพทย์ สรุปได้ว่า แหล่งกำเนิดหลักของธาตุโลหะหนักในฝุ่นละอองมาจากยานยนต์ การเผาไหม้ของถ่านหิน การผลิต และการใช้ส่วนประกอบของโลหะ และสารกำจัดศัตรูพืช ปุ๋ย และอุปกรณ์ทางการแพทย์

Liu et al. (2017) ศึกษาองค์ประกอบและจำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุโลหะหนักใน $PM_{2.5}$ ในเมือง Taiyuan ประเทศจีน โดยใช้เทคนิควิเคราะห์ข้อมูล คือ Principle component analysis (PCA) ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุโลหะหนัก โดยธาตุโลหะที่เก็บมาวิเคราะห์ ได้แก่ Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Cd และ Pb ผลการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์ด้วย Principle component analysis (PCA) สามารถจัดกลุ่มธาตุโลหะหนักได้ 3 กลุ่มองค์ประกอบ โดยกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย Pb, Cd, Ni, As, Zn และ Cu ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของถ่านหิน กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย Mn, Cr, As และ Cd ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นจากถนนและผิวถนน และกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วย Cu, Zn และ Ni ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากยานยนต์และการเผาไหม้ของน้ำมัน สรุปได้ว่าแหล่งกำเนิดหลักของธาตุโลหะหนักในฝุ่นละอองมาจากอุตสาหกรรมและการเผาไหม้ของถ่านหิน ฝุ่นจากถนนและผิวถนน และยานยนต์และการเผาไหม้ของน้ำมัน

นอกจากนี้ Karnae and John (2019) ศึกษาองค์ประกอบและจำแนกแหล่งกำเนิดของ $PM_{2.5}$ บริเวณพื้นที่เขตเมือง Brownsville ในรัฐเท็กซัสของสหรัฐอเมริกา ตั้งอยู่บนชายฝั่งตะวันตกของอ่าวในรัฐเท็กซัสใต้ ติดกับชายแดนประเทศเม็กซิโก โดยทำการศึกษาระหว่างปี 2010 - 2013 ผลการศึกษาพบว่า $PM_{2.5}$ มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากซัลเฟตจากละอองลอยทะเล และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมมนุษย์ นอกจากนี้ $PM_{2.5}$ ยังมีแหล่งกำเนิดอื่น ๆ ได้แก่ ละอองลอยจากเกลือทะเล ฝุ่นที่เกิดจากการจราจร ไอเสียจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ดีเซล การปลดปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม ไนเตรตทุติยภูมิ การเผาไหม้ชีวมวล และฝุ่นจากรถยนต์

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบและแหล่งกำเนิดของอนุภาคในบรรยากาศ

ชนิดของอนุภาค	ฝุ่นละอองปฐมภูมิ (PM < 2.5 µm)	แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ	แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ	ฝุ่นละอองทุติยภูมิ (PM > 2.5 µm)	แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ	แหล่งกำเนิดจากทุติยภูมิ (PM < 2.5 µm)
ซัลเฟต (SO ₄ ²⁻)	- ละอองจากทะเล	- การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล	- ละอองจากทะเล	-	- การเกิดออกซิเดชันของกำมะถันที่ปล่อยออกมาจากมหาสมุทรและเขตชายเลน รวมถึง SO ₂ และ H ₂ S ที่ปลดปล่อยจากภูเขาไฟและไฟฟ้า	- การออกซิเดชันของ SO ₂ ที่ปลดปล่อยจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล
ไนเตรต (NO ₃ ⁻)	-	- ปล่อยจากยานยนต์	-	-	- การออกซิเดชันของ NO _x ที่ปลดปล่อยจากดิน ไฟป่า และฟ้าแลบ	- การออกซิเดชันของ NO _x ที่ปลดปล่อยจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล และ ปล่อยจากยานยนต์
แอมโมเนียม (NH ₄ ⁺)	-	- ฝุ่นละอองจากถนน การเกษตร การก่อสร้าง และรื้อถอน	- การกักร่อน	- ฝุ่นจากถนน การเกษตร การก่อสร้างและรื้อถอน	-	-
แอมโมเนียม (NH ₄ ⁺)	-	- ปล่อยจากยานยนต์	-	-	- NH ₃ ที่ถูกปลดปล่อยจากสัตว์ป่า และดิน	- NH ₃ ที่ถูกปลดปล่อยจากยานยนต์ การเลี้ยงสัตว์ น้ำเสีย และปุ๋ย

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบและแหล่งกำเนิดของอนุภาคในบรรยากาศ (ต่อ)

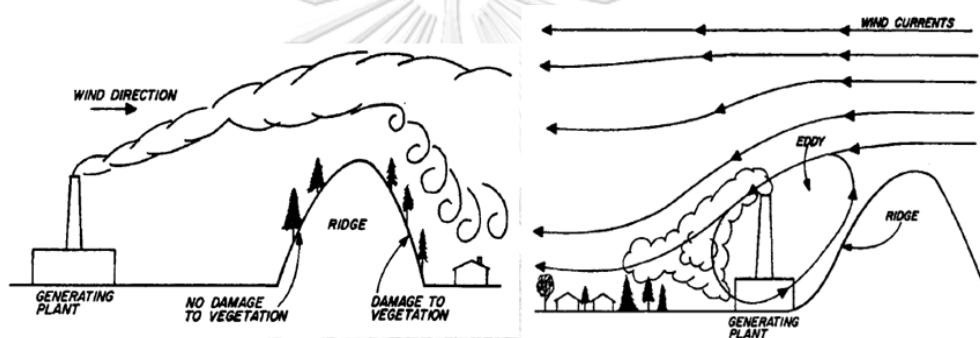
ชนิดของอนุภาค	แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ	แหล่งกำเนิดจากมนุษย์	แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ	แหล่งกำเนิดจากมนุษย์	แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ	แหล่งกำเนิดจากมนุษย์
	ฝุ่นละอองปฐมภูมิ (PM < 2.5 µm)	ฝุ่นละอองปฐมภูมิ (PM > 2.5 µm)	ฝุ่นละอองปฐมภูมิ (PM < 2.5 µm)	ฝุ่นละอองปฐมภูมิ (PM > 2.5 µm)	แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ	แหล่งกำเนิดจากมนุษย์
คาร์บอนอินทรีย์ (OC)	- ไฟป่า	- การเผาไม้ - ไอเสียจากยานยนต์ - การทำอาหาร - การสีทหรของยางรถยนต์ - กระบวนการในอุตสาหกรรม	- อินทรีย์วัตถุในดิน - อากาศที่พัดในดิน	- การสีทหรของยางรถยนต์ และถนนลาดยาง - ฝุ่นละอองจากถนน	- การออกซิเดชันของไฮโดรคาร์บอนที่ปลดปล่อยจากไฟฟ้า	- การออกซิเดชันของไฮโดรคาร์บอนที่ปลดปล่อยจากยานยนต์ การเผาไม้ การใช้สารละลายในโรงงานอุตสาหกรรม
ธาตุคาร์บอน (EC)	- ไฟป่า	- ไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล - การเผาไม้ - การทำอาหาร	- -	- การสีทหรของยางรถยนต์ และถนนลาดยาง - ฝุ่นละอองจากถนน	- -	- -
โลหะ	- การปะทุของภูเขาไฟ	- การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล - การหลอมโลหะ - การสีทหรของผ้าเบรก	- การกัดกร่อน - เศษซากอินทรีย์	- -	- -	- -
ละอองลอยชีวภาพ	- ไวรัส และแบคทีเรีย	- -	- เศษซากพืชและแมลง - ละอองเกสร - สปอร์ของเชื้อราและแบคทีเรีย	- -	- -	- -

ที่มา: U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA] (2009)

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นและการแพร่กระจายของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

2.4.1 ปัจจัยทางด้านลักษณะภูมิประเทศ

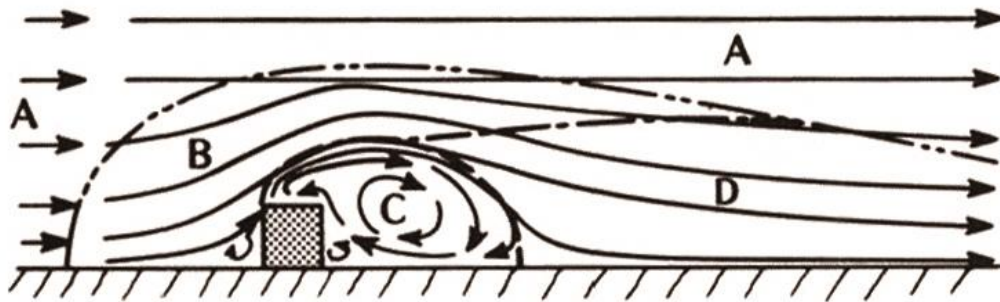
ลักษณะภูมิประเทศมีอิทธิพลต่อแพร่กระจายและการเจือจางความเข้มข้นของฝุ่นละอองและมลพิษทางอากาศ ซึ่งลักษณะของภูมิประเทศ เช่น พื้นที่ติดภูเขา พื้นที่ติดหุบเขา พื้นที่เขตเมืองที่มีตึกสูง พื้นที่ที่มีต้นไม้สูงหรือป่าหนาแน่น และพื้นที่ที่เป็นแอ่งกระทะ ล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวของกระแสลม ในกรณีที่มีบริเวณแหล่งของกำเนิดมลพิษทางอากาศอยู่ใกล้สันเขา มลพิษที่ปลดปล่อยมาจากแหล่งกำเนิดจะเคลื่อนตัวไปตามกระแสลมที่พัดผ่านบริเวณสันเขา จากนั้นเกิดการปั่นป่วนของกระแสลมและเกิดการเคลื่อนตัวแบบกระแสวน (Eddy) ที่บริเวณเนินเขา ดังรูปที่ 2.1 ส่งผลให้มลพิษเกิดการสะสมและปริมาณสูงขึ้นบริเวณสันเขา (Cheremisinoff, 2002)



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนตัวของกระแสลมและมลพิษทางอากาศบริเวณสันเขา

ที่มา: Cheremisinoff (2012)

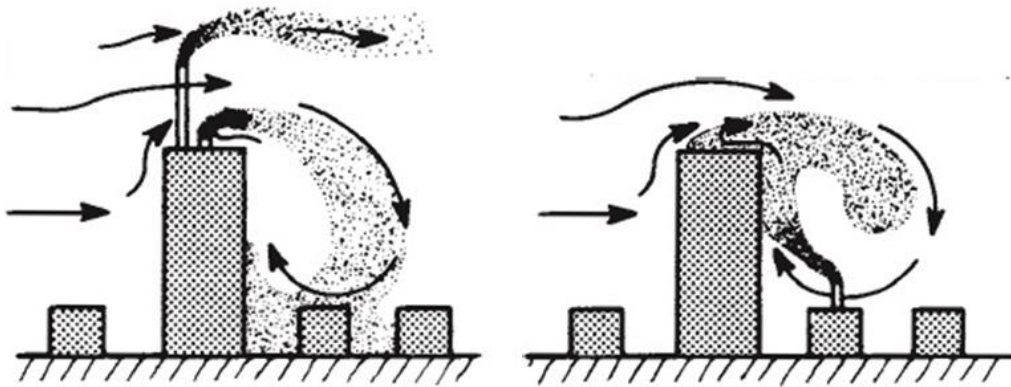
นอกจากนี้ บริเวณที่มีลักษณะภูมิประเทศที่เป็นพื้นที่เขตเมืองจะประกอบไปด้วยอาคารสิ่งปลูกสร้าง โดยอาคารประเภทต่าง ๆ จะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวของกระแสลม ซึ่งส่งผลต่อการแพร่กระจายของฝุ่นละอองและมลพิษทางอากาศ โดยลักษณะการเคลื่อนตัวของกระแสลมที่ผ่านอาคารมีลักษณะดังรูปที่ 2.2 เมื่อกระแสลมใน Undisturbed zone เคลื่อนตัวผ่านอาคาร ความเร็วของกระแสลมจะเพิ่มขึ้นใน Displacement zone และความเร็วของกระแสลมจะลดลงและเกิดความปั่นป่วนของกระแสลมบริเวณ Cavity zone ซึ่งมีผลต่อการแพร่กระจายและเกิดการสะสมบริเวณดังกล่าวได้ ทั้งนี้ ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อการแพร่กระจายของฝุ่นละอองและมลพิษขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแหล่งกำเนิดที่ปลดปล่อยมลพิษเช่นเดียวกัน ซึ่งหากแหล่งกำเนิดที่ปลดปล่อยมลพิษอยู่บนอาคารสูงหรืออยู่ติดกับตัวอาคารสูงก็สามารถได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนตัวของกระแสลมแบบกระแสวน (Eddy) ส่งผลให้มลพิษที่เกิดไม่สามารถแพร่กระจายได้ดีและเกิดการสะสมได้ (Oke, 1998) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 การเคลื่อนตัวของกระแสลมบริเวณอาคาร

(A) Undisturbed zone (B) Displacement zone (C) Cavity Zone (D) Wake zone

ที่มา: Oke (1998)



รูปที่ 2.3 อิทธิพลการเคลื่อนตัวของกระแสอากาศที่มีผลต่อการแพร่กระจายของมลพิษ

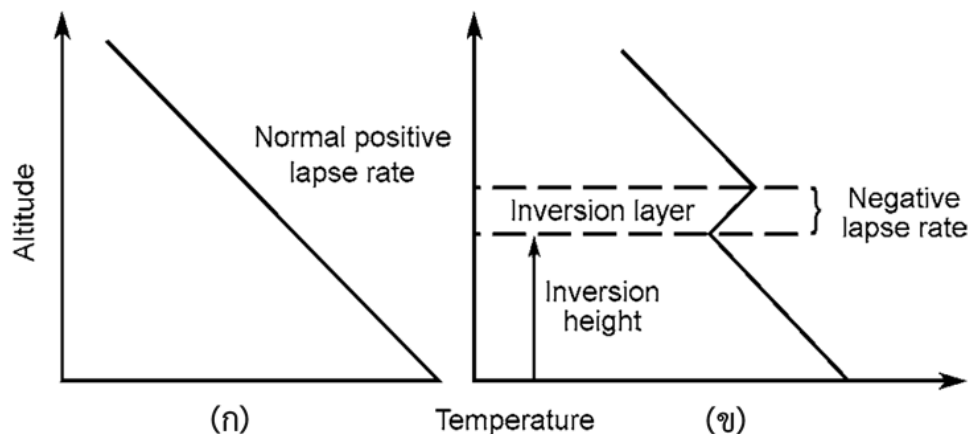
ที่มา: Oke (1998)

2.4.2 ปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยา

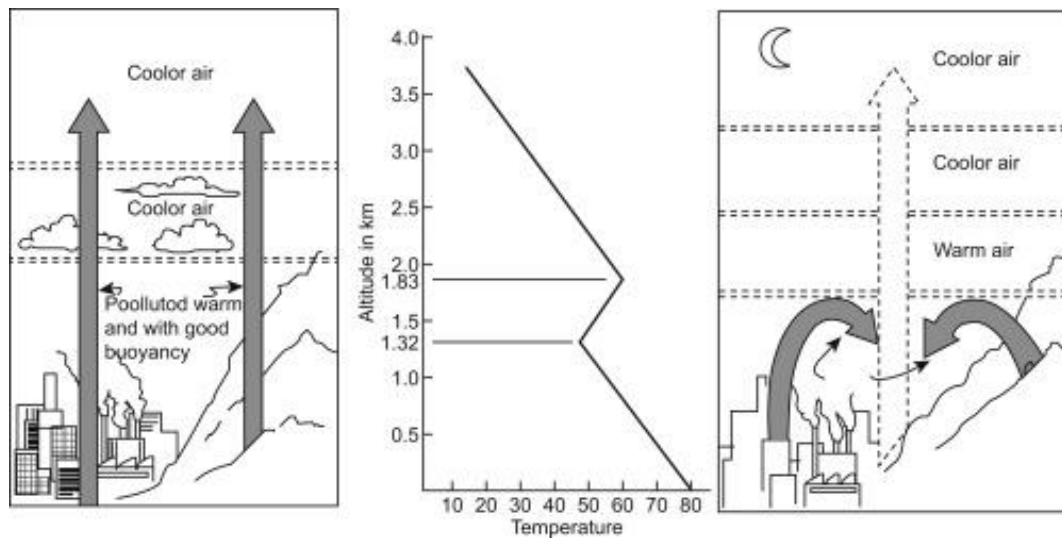
(1) อุณหภูมิและเสถียรภาพของอากาศ

ชั้นบรรยากาศที่ระดับต่ำกว่า 10 กิโลเมตรจนถึงพื้นผิวโลกจะมีอุณหภูมิในแต่ละระดับความสูงจะที่แตกต่างกัน โดยปกติอุณหภูมิจะลดลงตามระดับความสูง (Lapse Rate) ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งอัตราการลดลงตามระดับความสูงของอุณหภูมิจะมีค่าเป็นบวก (Positive Lapse Rate) โดยอัตราการลดลงของอุณหภูมิในสภาวะอากาศแห้ง (อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 100%) มีอัตราการลดลงตามระดับความสูงของอุณหภูมิอยู่ที่ 10 องศาเซลเซียสต่อ 1 กิโลเมตร ซึ่งในบรรยากาศทั่วไปนั้นจะประกอบไปด้วยไอน้ำ ดังนั้น อัตราการลดลงของอุณหภูมิตามระดับความสูงจึงเฉลี่ยอยู่ที่ 6-7 องศาเซลเซียสต่อ 1 กิโลเมตร เมื่ออุณหภูมิลดลงตามระดับความสูงจึงเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ

และความหนาแน่นของอากาศ อากาศบริเวณพื้นผิวโลกที่มีอุณหภูมิสูงและมีความหนาแน่นต่ำกว่า บริเวณโดยรอบจึงเกิดการยกตัวของกลุ่มก้อนอากาศ (Air Parcel) บริเวณนั้น อากาศโดยรอบที่มี อุณหภูมิต่ำกว่าและความหนาแน่นมากกว่าจึงไหลเข้ามาแทนที่ เกิดการเคลื่อนตัวของมวลอากาศแบบ กระแสสวน (Eddy) ซึ่งส่งผลต่อการเจือจางและแพร่กระจายของมลสารและฝุ่นละอองในบริเวณนั้น และเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบผกผันหรืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง (Temperature Inversion) ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งอัตราการลดลงตามระดับความสูงของอุณหภูมิแบบผกผัน จะมีค่าเป็นลบ (Negative Lapse Rate) จะส่งผลให้เกิดชั้นอุณหภูมิผกผัน (Inversion Layer) ซึ่งปิดกั้นมวลอากาศด้านล่างที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและมีความหนาแน่นมากกว่าไม่ให้ลอยตัวขึ้นสูง และลดการแลกเปลี่ยนพลังงานของลมระหว่างอากาศบริเวณพื้นผิวโลกและอากาศบนที่สูง ดังนั้น มลสารจึงไม่สามารถแพร่กระจายได้ทั้งแนวราบ (Horizontal Distribution) และแนวตั้ง (Vertical Distribution) (Finlayson-Pitts and Pitts Jr, 2000; Muralikrishna and Manickam, 2017) เนื่องจากมวลอากาศไม่สามารถลอยตัวได้สูงและแพร่กระจายได้ต่ำ จึงส่งผลให้บริเวณที่มีมลพิษต่าง ๆ รวมถึงฝุ่นละอองไม่สามารถแพร่กระจายไปที่อื่นได้และเกิดการสะสมทำให้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามระดับความสูง
 (ก) อัตราการลดลงของอุณหภูมิตามระดับความสูงในสภาวะปกติ
 (ข) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบผกผัน
 ที่มา: Finlayson-Pitts et al. (2000)



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบผกผันที่มีผลต่อการเคลื่อนตัวของอากาศ

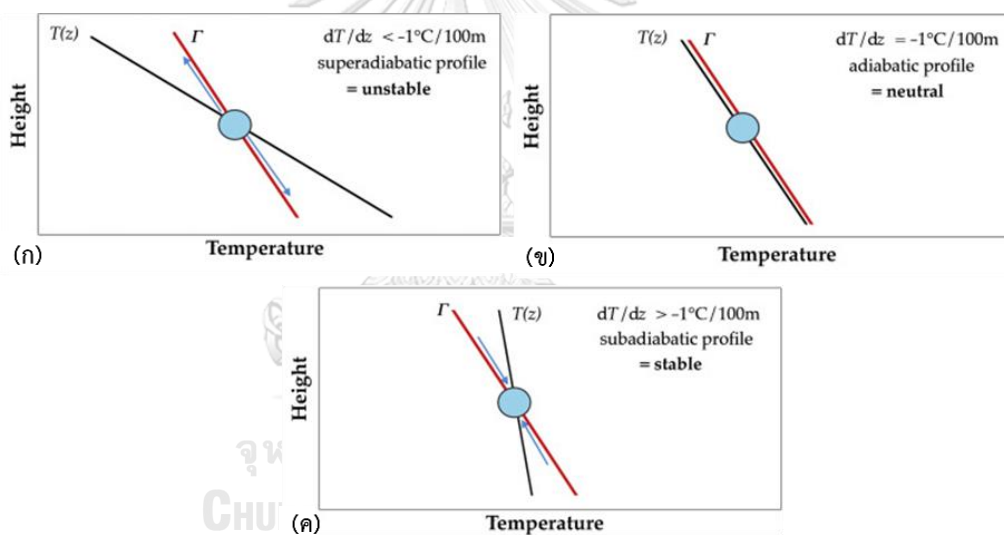
ที่มา: Muralikrishna et al. (2017)

นอกจากนี้เสถียรภาพอากาศมีความสัมพันธ์ต่อลักษณะการเคลื่อนตัวของกลุ่มก้อนอากาศ โดยเปรียบเทียบกับสภาพอากาศอ้างอิงที่อุณหภูมิลดลงตามระดับความสูง (Lapse Rate) ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งเสถียรภาพของอากาศสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท คือ

1) เสถียรภาพอากาศแบบไม่คงตัว (Unstable Condition) คือ สภาพอากาศที่กลุ่มก้อนอากาศมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิลมที่พัดโดยรอบ เสถียรภาพอากาศแบบไม่คงตัวส่งผลให้กลุ่มก้อนอากาศสามารถยกตัวและเคลื่อนตัวในแนวตั้งได้ โดยลักษณะเสถียรภาพอากาศแบบไม่คงตัวมักจะพบในช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิสูง เช่น ช่วงฤดูฝน และช่วงบ่ายของฤดูร้อน เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้โดยพื้นผิวโลกทำให้กลุ่มก้อนอากาศบริเวณพื้นผิวโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้กลุ่มก้อนอากาศสามารถยกตัวและเคลื่อนตัวในแนวตั้งได้ ดังนั้น สภาพอากาศลักษณะนี้จึงส่งผลต่อเจือจางและแพร่กระจายของมลสารและฝุ่นละอองในบรรยากาศได้ดี

2) เสถียรภาพอากาศแบบเป็นกลาง (Neutral Condition) คือ สภาพอากาศที่กลุ่มก้อนอากาศไม่สามารถยกตัวและเคลื่อนที่ในแนวตั้งได้เอง ต้องอาศัยแรงกระทำจากภายนอกทำให้เกิดยกตัวและเคลื่อนที่ในแนวตั้งขึ้น เมื่อไม่มีแรงกระทำต่อกลุ่มก้อนอากาศจะส่งผลให้กลุ่มก้อนอากาศไม่ยกตัวหรือจมต่ำลง โดยลักษณะเสถียรภาพอากาศแบบเป็นกลางมักจะพบในช่วงเวลาเช้าหรือเย็น เนื่องจากเป็นช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ต่ำที่สุด

3) เสถียรภาพอากาศแบบคงตัว (Stable Condition) คือ สภาพอากาศที่กลุ่มก้อนอากาศมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมโดยรอบ เสถียรภาพอากาศแบบคงตัวส่งผลให้กลุ่มก้อนอากาศไม่สามารถยกตัวและเคลื่อนตัวในแนวตั้ง และมีแนวโน้มจมตัวลงสู่ตำแหน่งเดิม โดยลักษณะเสถียรภาพอากาศแบบคงตัวมักจะพบในช่วงฤดูหนาวหรือช่วงเวลาที่อุณหภูมิต่ำ เช่น ช่วงเช้าและช่วงกลางคืน เนื่องจากอากาศบริเวณใกล้พื้นผิวโลกมีอุณหภูมิลดต่ำลง เมื่อกลุ่มก้อนอากาศมีอุณหภูมิลดต่ำลงจึงไม่สามารถยกตัวและเคลื่อนตัวในแนวตั้ง อากาศไม่สามารถหมุนเวียนในแนวตั้งได้ ดังนั้น บริเวณพื้นที่ที่มีมลสารหรือฝุ่นละอองปริมาณมากในบรรยากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่เป็นแอ่งกระทะ เช่น บริเวณหุบเขา บริเวณที่มีอาคารสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ล้อมรอบ มลสารหรือฝุ่นละอองในบรรยากาศถูกปิดกั้นไม่ให้ลอยสูงขึ้น ไม่สามารถแพร่กระจายไปที่อื่นได้ และตกกลับลงจนเกิดการสะสมทำให้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเรียกสภาพอากาศลักษณะเช่นนี้ว่า Temperature Inversion



รูปที่ 2.6 สภาพอากาศอ้างอิงที่อุณหภูมิลดลงตามระดับความสูงและเสถียรภาพอากาศ
 (A) เสถียรภาพอากาศแบบไม่คงตัว (B) เสถียรภาพอากาศแบบเป็นกลาง (C) เสถียรภาพอากาศแบบคงตัว
 ที่มา: Camuffo (2019)

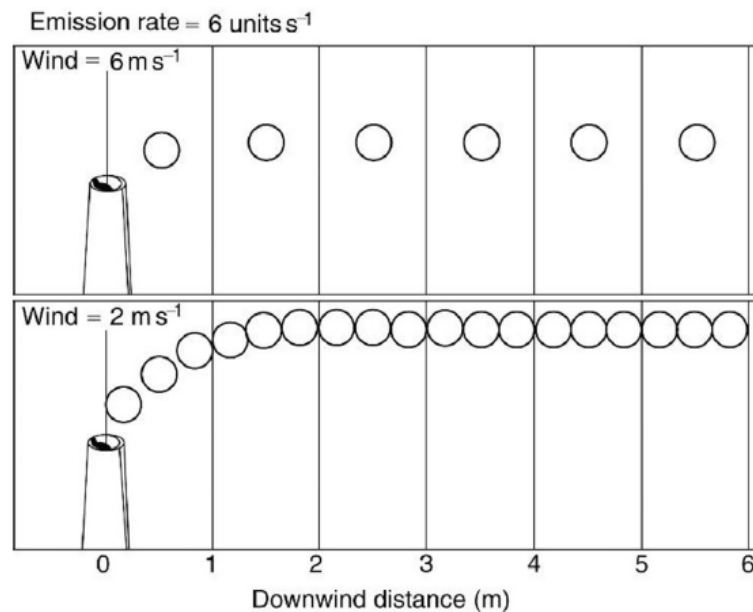
(2) ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้นต่อปริมาณไอน้ำที่จะทำให้อากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกัน โดยความชื้นสัมพัทธ์คิดเป็นร้อยละ ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศ หากบริเวณใดที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงจะส่งผลให้ความ

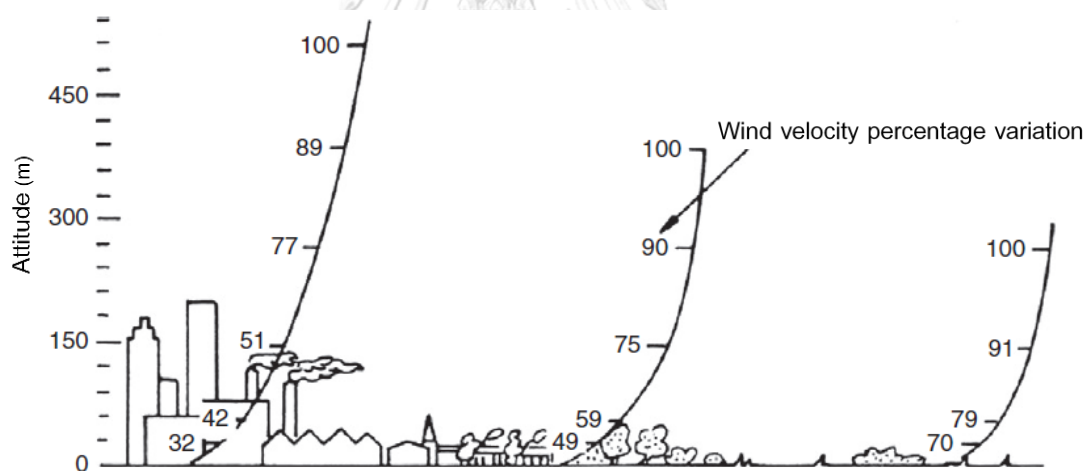
เข้มข้นของฝุ่นละอองลดลง เนื่องจากไอน้ำในบรรยากาศมีปริมาณสูงจึงทำให้ฝุ่นละอองดูดซับไอน้ำเพิ่มมากขึ้นจนอิ่มตัว ฝุ่นละอองจะมีขนาดและปริมาตรของอนุภาคเพิ่มมากขึ้นจนตกกลับลงสู่พื้นดินตามแรงโน้มถ่วงโลก ซึ่งคล้ายกับอิทธิพลจากปริมาณน้ำฝน ซึ่งหากบริเวณใดที่มีปริมาณน้ำฝนสูงจะส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองลดลง เนื่องจากฝุ่นละอองถูกชะล้างจากน้ำฝนและตกลงสู่พื้นดิน (ตระวรรณ หาญกิจรุ่ง, 2556) นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่าพื้นที่ทางตอนใต้ของประเทศจีนมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองเล็กน้อยเนื่องจากมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง ในขณะที่ภูมิภาค Beijing ภูมิภาค Tianjin และภูมิภาค Hebei ที่มีการปลดปล่อยมลพิษมากกว่า อีกทั้งมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ จึงทำให้คุณภาพอากาศแยกว่าอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสอดคล้องกับอิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ที่มีผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละออง (Li et al., 2017a)

(3) ความเร็วลมและทิศทางลม

ความเร็วลมเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณและการแพร่กระจายของฝุ่นละออง เมื่อความเร็วลมสูงจะส่งผลความเข้มข้นของฝุ่นละอองลดลงเนื่องจากฝุ่นละอองสามารถแพร่กระจายได้ดี นอกจากนี้ฝุ่นละอองที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดจะสามารถถูกเจือจางโดยลมที่พัดผ่าน หากความเร็วลมต่ำจะส่งผลให้ฝุ่นละอองไม่สามารถแพร่กระจายได้ดี เกิดการสะสมทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองเพิ่มมากขึ้นดังรูปที่ 2.7 เมื่อปลดปล่อยมลสารที่อัตรา 6 หน่วยต่อวินาทีที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาทีและ 2 เมตรต่อวินาที จะพบว่าความเร็วลมที่มากกว่าที่อัตรา 6 เมตรต่อวินาทีจะทำให้ส่งผลมลสารสามารถแพร่กระจายได้ดีกว่า อย่างไรก็ตาม หากลมที่พัดผ่านบริเวณใด ๆ มีการปนเปื้อนของฝุ่นละอองและมลสารก็สามารถส่งผลให้บริเวณที่ลมพัดผ่านมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองและมลสารเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน (Vallero, 2019) ทั้งนี้ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมที่ลดลงเกิดขึ้นเนื่องจากความเสียดทาน ซึ่งมีผลมาปัจจัยทางด้านกายภาพของลักษณะภูมิประเทศ เช่น พื้นที่เขตเมืองที่มีอาคารสูง ป่าไม้และต้นไม้สูง และภูเขา เป็นต้น ดังรูปที่ 2.8 ลักษณะเหล่านี้ก่อให้เกิดความแตกต่างของการเคลื่อนที่ของลมที่ความสูงแตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อการแพร่กระจายของมลสาร และในส่วนของทิศทางลมมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวของฝุ่นละออง และมลสารที่แพร่กระจายออกไป โดยทิศทางลมจะเป็นตัวกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของฝุ่นละอองว่าจะเคลื่อนที่ไปยังทิศทางใด



รูปที่ 2.7 การแพร่กระจายของมลพิษด้วยกระแสที่ความเร็วลมต่างกัน
ที่มา: Vallero (2019)



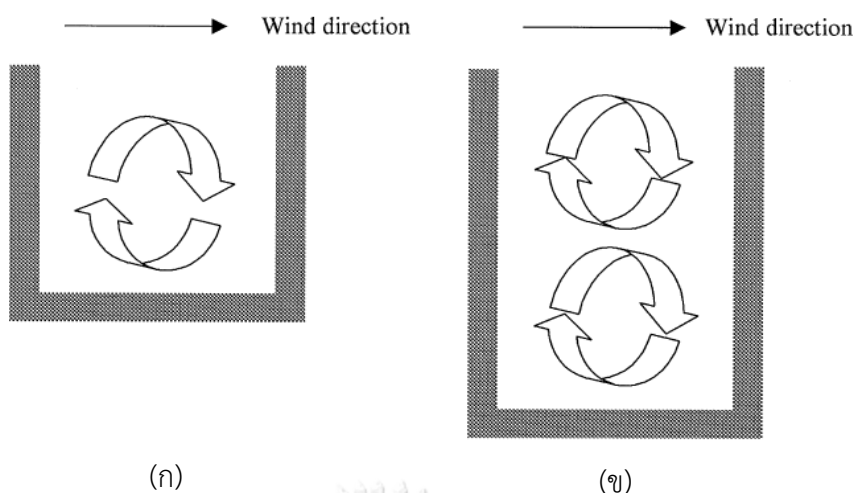
รูปที่ 2.8 อิทธิพลของแรงเสียดทานจากพื้นผิวโลกที่มีต่อความเร็วลม
ที่มา: Katsaprakakis and Christakis (2012)

จากการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการศึกษาระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของฝุ่นละออง บริเวณอาคารสูง จากการศึกษาของ Chan et al. (2000) ที่ศึกษาการแพร่กระจายตามแนวตั้งของฝุ่นละออง บริเวณอาคารสูง โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง 3 ขนาด ได้แก่ ฝุ่นละอองรวม (TSP) PM₁₀ และ PM_{2.5} ในพื้นที่ที่มีลักษณะแตกต่างกัน ได้แก่ พื้นที่เปิดโล่ง (Open Street) และพื้นที่มีถนนที่มีลักษณะเป็นอุโมงค์ อาคารสูงปิดทึบถนนทั้งสองฝั่ง (Street Canyon) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีค่า

H/W ratio สูง (สัดส่วนระหว่างความสูงของอาคารริมถนนและความกว้างของถนน) สำหรับการเก็บตัวอย่างในพื้นที่มีถนนที่มีลักษณะเป็นอุโมงค์ อาคารสูงปิดทึบถนนทั้งสองฝั่ง (Street Canyon) ทำการเก็บตัวอย่าง 2 แห่ง ได้แก่ อาคารริมถนน Lockhart (CWB) มีค่า H/W ratio เท่ากับ 1.7 โดยเก็บตัวอย่างที่ความสูง 3, 21 และ 26 เมตร และอาคารริมถนน Castle Peak (SSP) มีค่า H/W ratio เท่ากับ 1.3 โดยเก็บตัวอย่างที่ความสูง 3 และ 14 เมตร ในส่วนของพื้นที่เปิดโล่ง (Open Street) ทำการเก็บตัวอย่าง 2 แห่ง ได้แก่ อาคารริมถนน Man Lai (ST) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นแต่ไม่ติดขัด โดยเก็บที่ความสูง 7, 10 และ 18 เมตร และอาคารริมถนน Hong Chong (HKPU) โดยเก็บที่ความสูง 3, 8 และ 25 เมตร ส่วนผลการศึกษามีดังต่อไปนี้

1) ความเข้มข้นของ TSP, PM₁₀ และ PM_{2.5} ในพื้นที่แบบ Street Canyon มีความเข้มข้นเฉลี่ยลดลงตามระดับความสูง โดยอาคาร CWB อัตราการลดลงของ TSP, PM₁₀ และ PM_{2.5} ที่ระดับพื้นดิน (3 เมตร) ถึงระดับความชันบนสุด (26 เมตร) มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 35.30, 21.26 และ 18.12 ตามลำดับ ส่วนอาคาร SSP อัตราการลดลงของ TSP, PM₁₀ และ PM_{2.5} ที่ระดับพื้นดิน (3 เมตร) ถึงระดับความชันบนสุด (14 เมตร) มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 43.38, 37.18 และ 34.55 ตามลำดับ จากผลอัตราการลดลงตามระดับความสูงของฝุ่นละอองจะเห็นได้ว่า อาคาร CWB มีอัตราการลดลงตามระดับความสูงของฝุ่นละอองต่ำกว่าอาคาร SSP เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของถนนและทิศทางลมซึ่งก่อให้เกิดกระแสลมวน หากพื้นที่ที่มี H/W ratio สูงจะมีปริมาณมลพิษสูงกว่าบริเวณที่มีค่า H/W ratio ต่ำ เนื่องจากลักษณะตึกที่สูงจะทำให้เกิดการระบายของมลพิษได้ไม่ดี อีกทั้ง ยังเกิด Double vortex ดังรูปที่ 2.9

2) ความเข้มข้นของ TSP, PM₁₀ และ PM_{2.5} ในพื้นที่แบบ Open Street มีความเข้มข้นเฉลี่ยลดลงตามระดับความสูงเช่นเดียวกัน โดยอาคาร HKPU อัตราการลดลงของ TSP, PM₁₀ และ PM_{2.5} ที่ระดับพื้นดิน (3 เมตร) ถึงระดับความชันบนสุด (25 เมตร) มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 3.67, 10.56 และ 13.15 ตามลำดับ ส่วนอาคาร ST อัตราการลดลงของ TSP และ PM₁₀ ที่ระดับพื้นดิน (7 เมตร) ถึงระดับความชันบนสุด (18 เมตร) มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 24.29 และ 20.49 ตามลำดับ ในส่วน PM_{2.5} ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองกับระดับความสูง อาจเนื่องมาจากฝุ่นละอองที่มาจากจราจรจากถนนสายหลักบริเวณใกล้เคียง ประกอบกับบริเวณโดยรอบไม่มีอาคารที่มีลักษณะเป็นอุโมงค์แบบ Street Canyon ที่จำกัดการแพร่กระจายของฝุ่นละอองที่มาจากจราจร



รูปที่ 2.9 รูปแบบของการเคลื่อนที่กระแสลมวนบริเวณพื้นที่ที่มีลักษณะเป็น Street canyon

(ก) Single vortex; $H/W \sim 1.3$ (ข) Double vortex $H/W \sim 1.7$

ที่มา: Chan et al. (2000)

Quang et al. (2012) ศึกษาการแพร่กระจายตามแนวตั้งของ $PM_{2.5}$ บริเวณรอบอาคารสำนักงาน 3 แห่งในเมือง Brisbane ประเทศออสเตรเลีย โดยอาคารสำนักงานทั้ง 3 แห่งจะตั้งอยู่ใกล้กับถนนที่มีการจราจรหนาแน่น และมีลักษณะภูมิประเทศแตกต่างกัน โดยอาคาร A มีความสูงประมาณ 17 เมตร ตั้งอยู่บนพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นพื้นราบ ซึ่งติดอยู่กับถนนที่มีแต่รถบัสวิ่งผ่าน ส่วนอาคาร B มีความสูงประมาณ 77 เมตร ตั้งอยู่บนพื้นที่ใจกลางเมือง ล้อมรอบไปด้วยอาคารสูงอื่น ๆ และติดกับถนนที่มีการจราจรหนาแน่น และอาคาร C มีความสูงประมาณ 25 เมตร ตั้งอยู่ห่างจากทางด่วนประมาณ 7 เมตร และมีอาคารสูงอยู่ด้านหลัง โดยทำการเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ บริเวณอาคาร A ที่ระดับความสูง 1.5, 6.5, 10.5 และ 14.5 เมตร ส่วนอาคาร B ที่ระดับความสูง 1.5 และ 78.5 เมตร และอาคาร C ที่ระดับความสูง 1.5, 5.5, 9.5 และ 21.5 เมตร ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ บริเวณอาคารสำนักงานทั้ง 3 แห่ง มีความเข้มข้นลดลงตามระดับความสูง (36-52 %) ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ระดับพื้นดินสูงกว่าระดับชั้นบนสุดของแต่ละอาคารอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้ บริเวณอาคาร A ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นและคงตัวที่ระดับ 6.5 และ 10 เมตร และลดลงจนถึงที่ระดับความสูงสูงสุด

Zauli Sajani et al. (2018) ศึกษาการแพร่กระจายตามแนวตั้งของ $PM_{2.5}$ บริเวณอาคารสูงในเมือง Bologna ประเทศอิตาลี โดยทำการเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ ที่ระดับความสูง 2, 15, 26, 44 และ 65 เมตร ในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ระดับความสูงจากพื้นดิน (2 เมตร) และความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ระดับความสูงบนสุด (65 เมตร) แตกต่างกัน

ร้อยละ 4 คือ ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ลดลงร้อยละ 4 จากความสูงระดับพื้นดิน (2 เมตร) ถึงระดับความสูงชั้นบนสุด (65 เมตร) ในช่วงฤดูร้อน และพบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ระดับความสูงจากพื้น (2 เมตร) และความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ระดับความชั้นบนสุด (65 เมตร) แตกต่างกันร้อยละ 11 คือ ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ลดลงร้อยละ 11 จากความสูงระดับดิน (2 เมตร) ถึงระดับความสูงชั้นบนสุด (65 เมตร) ในช่วงฤดูหนาว เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ระดับความสูงจากพื้น (2 เมตร) และความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ระดับความชั้นบนสุด (65 เมตร) ระหว่างฤดูร้อนและฤดูหนาวพบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อีกทั้ง Liu et al. (2018a) ศึกษาการแพร่กระจายตามแนวตั้งของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} บริเวณอาคารสูงในเขตเมืองและบริเวณวนอุทยานเขา ภายในเมือง Nanjing ประเทศจีน ซึ่งอาคารสูงเป็นอาคารสำนักงาน 33 ชั้น ความสูงประมาณ 100 เมตร โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองบริเวณอาคารสูงและวนอุทยานเขาที่ระดับความสูงเหมือนกันทั้ง 2 พื้นที่ คือ 1.5, 10, 25, 35, 50, 65, 80 และ 100 เมตร และเก็บตัวอย่างในฤดูกาลที่แตกต่างกัน ได้แก่ ฤดูใบไม้ผลิ ฤดูร้อน ฤดูใบไม้ร่วง และฤดูหนาว ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} บริเวณวนอุทยานเขา มีความเข้มข้นลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นเหมือนกันทั้ง 4 ฤดูกาล โดยอัตราการลดลงจนถึงระดับความสูง 100 เมตรของ $PM_{2.5}$ ในฤดูใบไม้ผลิ ฤดูร้อน ฤดูใบไม้ร่วง และฤดูหนาว เท่ากับร้อยละ 33.2, 38.1, 25.9 และ 19.2 ตามลำดับ และอัตราการลดลงของ PM_{10} เท่ากับร้อยละ 29.0, 32.8, 18.6 และ 20.5 ตามลำดับ โดยจะพบความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูงสุดที่ระดับความสูง 1.5 เมตร ในขณะที่บริเวณอาคารสูง $PM_{2.5}$ ที่ระดับความสูง 1.5 มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจนถึงระดับความสูงประมาณ 25 เมตร จากนั้นความเข้มข้นจะลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราการลดลงจนถึงระดับความสูง 100 เมตรของ $PM_{2.5}$ ในฤดูใบไม้ผลิ ฤดูร้อน ฤดูใบไม้ร่วง และฤดูหนาว เท่ากับร้อยละ 7.0, 12.9, 18.1 และ 19.7 ตามลำดับ และอัตราการลดลงของ PM_{10} เท่ากับร้อยละ 6.1, 29.4, 15.9 และ 29.6 ตามลำดับ

นอกจากนี้ จากการศึกษาที่ผ่านมายังได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ต่าง ๆ จากการศึกษาของตระกูลพรหม หาญกิจรุ่ง (2556) ที่ทำการศึกษาคือความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM_{10} กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาและปริมาณจราจรในพื้นที่ริมถนนเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 3 เส้นทาง ได้แก่ ถนนอินทรพิทักษ์ ถนนดินแดง และถนนลาดพร้าว โดยนำข้อมูลความเข้มข้นของ PM_{10} ระหว่างปี พ.ศ. 2545 - 2554 มาวิเคราะห์ด้วยสถิติ ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฝุ่นละอองมากที่สุด โดยมีความสัมพันธ์เชิงลบในถนนสองเส้นทาง ได้แก่ ถนนอินทรพิทักษ์ และถนนลาดพร้าว

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ -0.239 และ -0.441 ตามลำดับ กล่าวคือ หากอุณหภูมิสูงขึ้น ความเข้มข้นของ PM_{10} จะลดลง ปัจจัยที่มีผลรองลงมาได้แก่ ปริมาณน้ำฝน หากปริมาณน้ำฝนมีปริมาณมากก็จะส่งผลความเข้มข้นของ PM_{10} ลดลง เนื่องจากเกิดการชะล้างของน้ำฝน เมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองกับปัจจัยอุตุนิยมวิทยาทั้งหมดพบว่า ปัจจัยอุตุนิยมวิทยามีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณถนนอินทรพิทักษ์ ร้อยละ 27.5 ถนนดินแดงร้อยละ 41.9 และ ถนนลาดพร้าวร้อยละ 38.1 จากการศึกษาสรุปได้ว่า PM_{10} มีความเข้มข้นสูงขึ้นหากบรรยากาศโดยรอบมีความเร็วลมต่ำ อากาศเย็นและเสถียร แสงแดดไม่จัดมาก โดยลักษณะอากาศเช่นนี้จะพบในช่วงฤดูหนาว อีกทั้ง ปริมาณน้ำฝนมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของ PM_{10} ในช่วงฤดูฝนเนื่องจากการชะล้างของน้ำฝนโดยตรง

ชาคริต โชติอมรศักดิ์ และ ดวงนภา ลากใหญ่ (2561) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยากับความเข้มข้นของ PM_{10} ในจังหวัดเชียงใหม่ โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาซึ่งประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ทิศทางและความเร็วลม ความดันบรรยากาศและความชื้นสัมพัทธ์ กับความเข้มข้นของ PM_{10} ในช่วงที่เกิดปัญหาหมอกควัน (เดือนมกราคม ถึง เมษายน) ช่วงปี พ.ศ. 2546 - 2555 ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงที่เกิดปัญหาหมอกควันอุณหภูมิสูงสุดรายวันมีความสัมพันธ์เชิงบวก ในขณะที่อุณหภูมิต่ำสุดรายวันมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน และจำนวนวันฝนตก ในช่วงฤดูปัญหาหมอกควันพบว่า มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและทิศทางลมพบว่า ช่วงที่ค่าความเข้มข้นของ PM_{10} เกินค่ามาตรฐานมีความสัมพันธ์กับช่วงวันที่ความเร็วลมมีค่าต่ำ โดยความเร็วลมต่ำส่งผลให้มลพิษทางอากาศแพร่กระจายได้ไม่ดี ประกอบกับลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดเชียงใหม่ที่มีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ ทำให้ความเร็วลมต่ำเอื้อต่อการสะสมของมลพิษภายในแอ่ง ในขณะที่ทิศทางลมพบว่า ช่วงวันที่ความเข้มข้นของ PM_{10} เกินมาตรฐาน ลมส่วนใหญ่พัดมาจากทิศใต้และทิศตะวันตกของตัวเมืองเชียงใหม่ ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่สูงและเป็นพื้นที่ที่มีการเผาชีวมวลจำนวนมาก ประกอบกับลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดเชียงใหม่ ลมจึงสามารถพัดพาเอามลพิษจากบริเวณที่มีแหล่งกำเนิดมลพิษมากดังกล่าวเข้าสู่สมในแอ่งเชียงใหม่ นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าช่วงที่ความเข้มข้นของ PM_{10} มีค่าสูงมักเป็นช่วงที่มีความความดันบรรยากาศสูงแผ่มาปกคลุมจังหวัดเชียงใหม่

ปภัสรา ขวัญมา (2562) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยากับความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณพื้นที่ตำบลหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี โดยได้นำข้อมูลปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาและความเข้มข้นของ PM_{10} ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2558 มาวิเคราะห์

ด้วยวิธีการทางสถิติ ผลการศึกษาพบว่า ความดันบรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิอากาศ และความเร็วลม มีความสัมพันธ์กับ PM_{10} อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.838 0.581 0.488 0.440 และ 0.402 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีถดถอยเชิงพหุคูณพบว่า ความดันบรรยากาศ ความเร็วลม และปริมาณน้ำฝน สามารถอธิบายความผันแปรของ PM_{10} ได้ร้อยละ 74.90 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 นอกจากนี้ ผลการศึกษาแยกตามช่วงฤดูกาลสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของ PM_{10} เพิ่มขึ้นเมื่อความดันบรรยากาศสูง ในขณะที่ความเร็วลม อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝนต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งที่มีสภาพอากาศเย็นและแห้ง มีผลให้ความเข้มข้นของ PM_{10} มีค่าสูงที่สุดเป็นประจำในทุกปี

Li et al. (2017a) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยากับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในเมือง Hong Kong โดยนำอุตุนิยมวิทยากับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ระหว่างเดือนมกราคม - ธันวาคม 2013 มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ ผลการศึกษาพบว่า ความดันบรรยากาศมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.507 ในขณะที่อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน และความเร็วลม มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.512, -0.237, -0.524 และ -0.284 ตามลำดับ นอกจากนี้ ทิศทางลมมีอิทธิพลต่อทิศทางการแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$

จากข้อมูลและการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นและการแพร่กระจายของฝุ่นละอองในบรรยากาศตามที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นและการแพร่กระจายของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นและ การแพร่กระจายของฝุ่นละออง	อิทธิพลจากปัจจัย
ลักษณะภูมิประเทศในเขตเมือง	อาคารบริเวณพื้นที่แบบ Street Canyon ที่มี H/W ratio จะมีปริมาณมลพิษสูงกว่าบริเวณที่มีค่า H/W ratio ต่ำ เนื่องจากลักษณะตึกที่สูงจะฝุ่นละอองแพร่กระจายได้ไม่ดีและอีกทั้งยังเกิด Double vortex ในขณะที่อาคารบริเวณพื้นที่แบบ Open street ที่เป็นพื้นที่เปิดโล่งส่งผลให้ฝุ่นละอองเกิดการแพร่กระจายได้ดี และไม่ได้รับอิทธิพลจาก Double vortex แต่อย่างไร ก็สามารถได้รับอิทธิพลจากฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดรอบ ๆ ได้เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นและการแพร่กระจายของฝุ่นละอองในบรรยากาศ (ต่อ)

ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นและ การแพร่กระจายของฝุ่นละออง	อิทธิพลจากปัจจัย
อุณหภูมิ	อุณหภูมิสูงส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้เกิดยกตัวของกลุ่มก้อนอากาศ อากาศโดยรอบที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและความหนาแน่นมากกว่าจึงไหลเข้ามาแทนที่ ซึ่งส่งผลต่อการเจือจางและแพร่กระจายฝุ่นละออง
ความชื้นสัมพัทธ์	ความชื้นสัมพัทธ์สูงจะส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองลดลง เนื่องจากไอน้ำในบรรยากาศมีปริมาณสูงจึงทำให้ฝุ่นละอองดูดซับไอน้ำเพิ่มมากขึ้นจนอึดตัว ฝุ่นละอองมีขนาดและปริมาตรของอนุภาคเพิ่มขึ้นจนตกกลับลงสู่พื้นดินตามแรงโน้มถ่วงโลก
ปริมาณน้ำฝน	ปริมาณน้ำฝนสูงจะส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองลดลง เนื่องจากถูกชะล้างจากน้ำฝนตกลงสู่พื้นดิน
ความเร็วลมและทิศทางลม	ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ฝุ่นละอองลดลง เนื่องจากเกิดการแพร่กระจายได้ดี และถ้าหากความเร็วลมต่ำจะส่งผลให้ฝุ่นละอองแพร่กระจายได้ไม่ดี เกิดการสะสมในบริเวณพื้นที่นั้น ๆ ในขณะที่เดียวกันทิศทางลมก็สามารถทำให้ฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นได้ หากพัดผ่านบริเวณที่เป็นแหล่งกำเนิดหรือมีความเข้มข้นสูง
ความดันบรรยากาศ	ความดันบรรยากาศสูงจะส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น เนื่องมวลอากาศกดทับไม่ทำให้ฝุ่นละอองในบรรยากาศลอยสูงขึ้น จึงเกิดการสะสมทำให้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

2.5 องค์ประกอบธาตุโลหะหนักในฝุ่นละออง

โลหะหนักสามารถเกิดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมผ่าน 3 ช่องทางหลัก ได้แก่ 1) การสะสมบนอนุภาคแขวนลอยในบรรยากาศ 2) การกำจัดกากตะกอนและน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก และ 3) กระบวนการทำเหมืองและถลุงแร่ (Shrivastav, 2001) โดยโลหะหนักไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ จึงเกิดการสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อม และก่อความเป็นพิษและอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โลหะหนักในบรรยากาศของพื้นที่เขตเมืองส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมทางอุตสาหกรรม เช่น การทำเหมือง การถลุงแร่ และการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล มลพิษจากการจราจร เช่น ไอเสียจากรถยนต์และการสึกหรอของผ้าเบรกและยางรถยนต์ อีกทั้ง ยังมีกำเนิดมาจากธรรมชาติ

เช่น แร่ธาตุ ไฟฟ้า และมหาสมุทร โดยความเข้มข้นของโลหะหนักในบรรยากาศนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นระดับพื้นฐานหลังตามธรรมชาติ ระดับการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม และลักษณะการวางแผนโดยรวมของเมือง ซึ่งการผลิตพลังงานและลักษณะการใช้พลังงานของแต่ละประเทศมีแนวโน้มที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโลหะหนักในบรรยากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศกำลังพัฒนาที่ส่วนใหญ่พลังงานมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (Li et al., 2013) โดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจะมีองค์ประกอบของโลหะ ได้แก่ เบริลเลียม (Be) โคบอลต์ (Co) พรอท (Hg) โมลิบดีนัม (Mo) นิกเกิล (Ni) พลวง (Sb) ซีลีเนียม (Se) ดีบุก (Sn) และวานาเดียม (V) กระบวนการในอุตสาหกรรมโลหะจะมีองค์ประกอบของโลหะ ได้แก่ สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) และสังกะสี (Zn) ไอเสียจากเครื่องยนต์เบนซินจะมีองค์ประกอบของโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) นิกเกิล (Ni) และแคดเมียม (Cd) และการสึกหรอของยางรถยนต์มีองค์ประกอบของโลหะหนัก คือ สังกะสี (Zn) (Geiger and Cooper, 2010) นอกจากนี้ สามารถจำแนกองค์ประกอบของธาตุโลหะหนักในฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การจำแนกองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิด

แหล่งกำเนิด	องค์ประกอบธาตุ
แร่ธาตุจากเปลือกโลก	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Sc, Ti, Mn, Fe, Ga, Rb, Sr, Zr
การเผาไหม้ถ่านหิน	Ge, As, Se, Sb, Ba, W, U, Hg, B
การเผาไหม้น้ำมัน	V, Ni, Mo (fine PM)
โรงกลั่นปิโตรเลียม	La, Ce, Nd, other elements specific to process
ยานยนต์	Br, Pb (fine PM)
โรงถลุงทองแดง นิกเกิล และตะกั่ว	Cu, As, Cd, Pb, In, Sn, Sb
ละอองลอยจากทะเล	Na, Cl
การเผาไหม้ชีวมวล	Organic Carbon, Elemental Carbon, K, Cl, Zn
อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า	Fe, Co, Cr, Ni, Mg (fine PM)

ที่มา: Geiger et al. (2010)

จากการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการศึกษาองค์ประกอบและจำแนกแหล่งกำเนิดของโลหะในฝุ่นละอองในพื้นที่ต่าง ๆ จากการศึกษานี้ของแสงสุริย ศรีสะอาด (2559) ที่ศึกษาองค์ประกอบโลหะในฝุ่นละอองขนาดเล็ก ภายในห้องผู้ป่วยวิกฤตของโรงพยาบาล โดยใช้เทคนิควิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ Enrichment factor (EF) และ PCA ผลการศึกษาพบว่า โลหะใน PM_{2.5-10} และ PM_{2.5} พบ Al เฉพาะภายในอาคาร ในขณะที่ Cu และ Ni พบเฉพาะภายนอกอาคาร ส่วน Si, Cl, K, Ti, Fe, Mn, Zn และ

Cr พบทั้งภายในและภายนอกอาคาร ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโลหะในฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร พบว่า Al, Fe และ Zn เป็นโลหะที่มีปริมาณมากที่สุด โดยมีความเข้มข้นมากกว่า 10 ng/m^3 และ Cr, Mn, Ni, และ Cu เป็นโลหะที่มีปริมาณรองลงมา โดยมีความเข้มข้นในช่วง $1-10 \text{ ng/m}^3$ เมื่อจำแนกแหล่งกำเนิดของโลหะในฝุ่นละอองด้วย PCA และ EF สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดได้ 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย As, V, Al และ Fe ซึ่งมีแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติโดยทั่วไปในดินและหินจากเปลือกโลก และกลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย Cu, Pb, Ni, Cr, Co, Cd, Zn, Sb และ Mn ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากการจราจร การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และอุตสาหกรรม

Chen et al. (2015a) ศึกษาองค์ประกอบและจำแนกแหล่งกำเนิดของโลหะหนักใน $\text{PM}_{2.5}$ บริเวณมหาวิทยาลัย Nankai ในเมือง Tianjin ประเทศจีน โดยใช้เทคนิควิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ EF และ PCA ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุโลหะหนัก โดยธาตุโลหะหนักที่เก็บมาวิเคราะห์ ประกอบด้วย Ni, Cu, Pb, Zn, Cr, Cd, Hg, As และ Mn ผลการศึกษาพบว่า ค่า EF ของธาตุโลหะหนัก Cu, Zn, Cd, Pb และ Hg มากกว่า 1 ซึ่ง Zn และ Cd มีค่ามากกว่า 10 องค์ประกอบธาตุโลหะหนักพื้นที่เขตเมืองนี้มีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์ ในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย PCA สามารถจัดกลุ่มธาตุโลหะหนักได้ 3 กลุ่มองค์ประกอบ โดยกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย Cr และ Ni โดยมีแหล่งกำเนิดมาจากยานยนต์ และการเผาไหม้ของถ่านหินและน้ำมัน กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย Cu และ Mn โดยมีแหล่งกำเนิดมาจากโรงงานเหล็ก การถลุงเหล็ก และแรงเสียดทานของเบรกรถยนต์ และกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วย As โดยมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและถ่านหิน สรุปได้ว่าแหล่งกำเนิดหลักของธาตุโลหะหนักในฝุ่นละอองมาจากยานยนต์ อุตสาหกรรมหลอมและถลุงเหล็ก และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและถ่านหิน

Elhadi et al. (2016) ที่ทำการศึกษาองค์ประกอบโลหะหนักใน PM_{10} บริเวณพื้นที่ที่มีการจราจรแตกต่างกัน 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น พื้นที่ที่มีการจราจรปกติ และพื้นที่ที่มีการจราจรไม่หนาแน่น ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น พื้นที่ที่มีการจราจรปกติ และพื้นที่ที่มีการจราจรไม่หนาแน่น มีค่าเท่ากับ 207.63 , 164.92 และ $90.09 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักใน PM_{10} ที่พบมากที่สุดในทั้ง 3 พื้นที่ ได้แก่ Ba ซึ่งมีค่าเท่ากับ 111.29 , 102.35 , 89.24 ng/m^3 ในพื้นที่พื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น พื้นที่ที่มีการจราจรปกติ และพื้นที่ที่มีการจราจรไม่หนาแน่น ตามลำดับ และรองลงมาได้แก่ Zn, Pb, Mn, Cr และ As ตามลำดับ โดยพื้นที่ที่พบค่าความเข้มข้นสูงสุด ได้แก่ พื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น พื้นที่ที่มีการจราจรปกติ และพื้นที่ที่มีการจราจรไม่หนาแน่น ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้วย EF พบว่า As, Pb, Zn และ Ba มีค่า EF สูง ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด

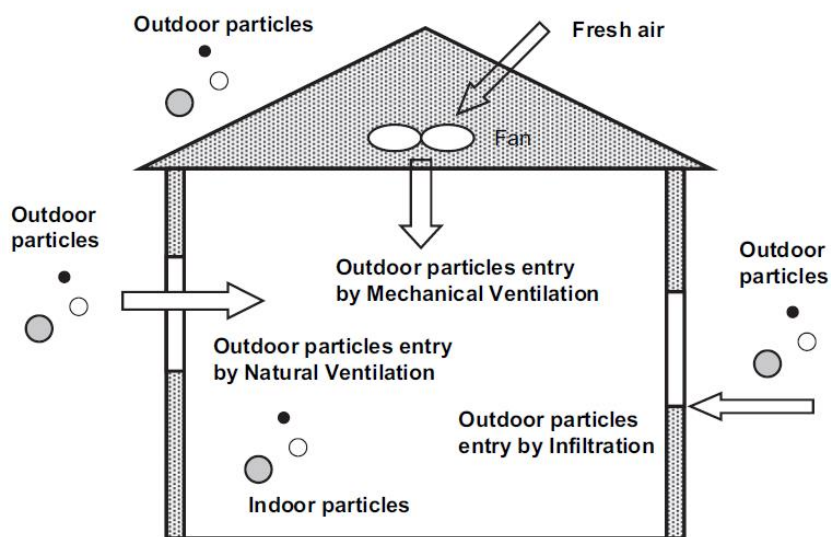
มีแหล่งกำเนิดจากการจราจร เช่น ไอเสียของเครื่องยนต์ เบรกและยางรถยนต์ ในขณะที่ Cr มีค่า EF ต่ำ บ่งชี้ได้ว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นจากแร่ธาตุ

นอกจากนี้ Soleimani et al. (2018) ศึกษาองค์ประกอบและจำแนกแหล่งกำเนิดของโลหะหนักใน PM_{2.5} ในเมือง Isfahan ประเทศอิหร่าน โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจาก 7 สถานีตรวจวัด ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2014 - เดือนมีนาคม 2015 และทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุโลหะหนักในฝุ่นละอองโดยเทคนิควิธี PCA ผลการศึกษาพบว่า As, Cd และ Ni มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 23-36, 1-12 และ 5-76 ng/m³ ตามลำดับในทุกสถานี ซึ่งเกินค่ามาตรฐานของ U.S.EPA ที่กำหนดค่ามาตรฐานเฉลี่ยรายปีของ As, Cd และ Ni ไว้ไม่เกิน 6, 0.6 และ 0.24 ng/m³ ตามลำดับ นอกจากนี้ Cr และ Cu มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 153 และ 167 ng/m³ ในบางสถานี ซึ่งเกินค่ามาตรฐานกำหนดเช่นเดียวกัน โดยค่าเฉลี่ยรายปีของ Cr ไม่เกิน 100 ng/m³ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดโดยเทคนิควิธี PCA พบว่า แหล่งกำเนิดที่สำคัญของโลหะหนักในฝุ่นละอองในบรรยากาศ ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล การสึกหรอของยางรถยนต์ กิจกรรมจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเหล็ก และพายุฝุ่น อีกทั้ง ยังพบว่าความเข้มข้นของ PM_{2.5} ในแต่ละฤดูกาลมีค่าความเข้มข้นแตกต่างกัน

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อฝุ่นความเข้มข้นของละอองภายในอาคาร

2.6.1 การระบายอากาศ

การระบายอากาศเป็นวิธีการควบคุมมลพิษทางอากาศที่ได้ผลดีอย่างหนึ่ง โดยอาศัยหลักการในการเคลื่อนย้ายอากาศที่ปนเปื้อนด้วยมลพิษออกไปจากอาคาร การระบายอากาศจึงหมายถึงการจัดการเคลื่อนย้ายอากาศด้วยปริมาณที่กำหนดให้ไหลไปในทิศทางและด้วยความเร็วที่ต้องการ ดังนั้น การระบายอากาศจึงสามารถกำจัดสิ่งอันไม่พึงประสงค์ เช่น มลพิษ ความร้อน ความชื้น กลิ่นรบกวน คิว และ อื่น ๆ ที่ปะปนอยู่ในอากาศให้ออกไปจากที่ปฏิบัติงาน และในขณะเดียวกันก็สามารถดำเนินการให้อากาศบริสุทธิ์หรืออากาศที่มีสมบัติที่ต้องการไหลเข้ามาในอาคารนั้นได้ โดยทั่วไปอาคารจะมีการระบายอากาศโดยใช้กลไก 3 ประการ ได้แก่ การระบายอากาศตามธรรมชาติ (Natural ventilation) การแทรกซึม (Infiltration) และการระบายอากาศเชิงกล (Mechanical ventilation) ซึ่งกลไกเหล่านี้ส่งผลให้อุณหภูมิหรือฝุ่นละอองจากภายนอกอาคารแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารได้ (Chen and Zhao, 2011) ดังรูปที่ 2.10



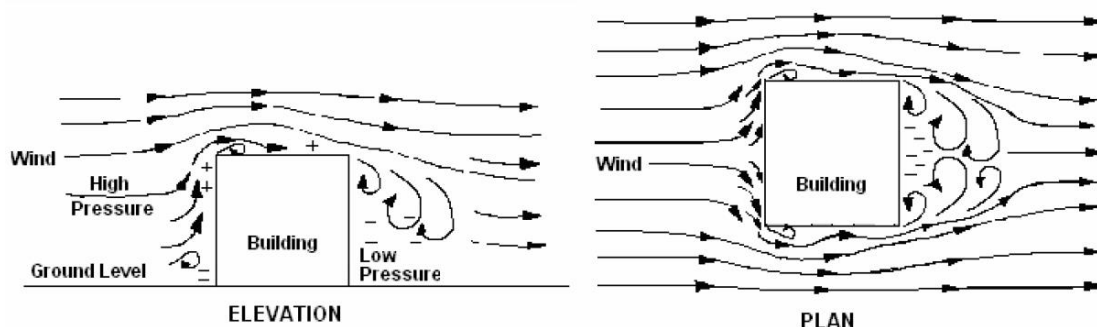
รูปที่ 2.10 ช่องทางการแพร่กระจายของฝุ่นละอองภายนอกอาคารสู่ภายในอาคาร
ที่มา: Chen et al. (2011)

2.6.1.1 การระบายอากาศตามธรรมชาติ (Natural ventilation)

การระบายอากาศตามธรรมชาติ คือ การหมุนเวียนอากาศเข้าและออกสู่ภายนอกอาคารด้วยแรงตามธรรมชาติ (Natural forces) ซึ่งการหมุนเวียนอากาศเป็นผลมาจากความแตกต่างของความดันอากาศระหว่างภายในและภายนอกอาคาร และขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งภายในและภายนอกอาคาร รวมถึงความสูงของอาคาร ความแตกต่างของอุณหภูมิและความสูงของอาคารที่มากขึ้น จะมีผลต่อการระบายอากาศตามธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น โดยอากาศที่มีความดันสูงจะเคลื่อนที่ไปยังอากาศที่มีความดันต่ำ นอกจากนี้ กระแสลมยังมีอิทธิพลต่อการระบายอากาศตามธรรมชาติ โดยลมจะส่งผลให้อากาศบริเวณด้านของอาคารที่ปะทะกับกระแสลมมีความดันเป็นบวก (Positive pressure) และบริเวณด้านที่มีความปั่นป่วนของกระแสลมมีความดันเป็นลบ (Negative pressure) (Bhatia, 2012) ดังรูปที่ 2.11 ทั้งนี้ การระบายอากาศตามธรรมชาติสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

(1) การควบคุมการระบายอากาศแบบธรรมชาติ (Controlled natural ventilation) คือ การหมุนเวียนอากาศผ่านทางช่องว่าง เช่น หน้าต่าง ประตู และการระบายอากาศโดยใช้แรงตามธรรมชาติ โดยการควบคุมแรงดันจากลม และควบคุมความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งภายในและภายนอกอาคาร

(2) การแทรกซึม (Infiltration) คือ อากาศภายนอกอาคารสามารถแทรกซึมเข้าสู่ภายในอาคารผ่านทางช่องว่าง รอยต่อ และรอยรั่วบนผนัง พื้น และเพดาน รวมถึงช่องว่างรอบหน้าต่างและประตู การเคลื่อนที่ของอากาศผ่านการแทรกซึมผ่านรอยแยกของอาคารเป็นผลมาจากความอุมหุมิระหว่างภายในอาคารและนอกอาคารที่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากอุมหุมิระหว่างภายในอาคารและนอกอาคารแตกต่างกันจึงส่งผลให้ความดันภายในอาคารและนอกอาคารไม่เท่ากัน อีกทั้ง ยังมีผลมาจากปัจจัยทางด้านลม (Kubba, 2017)



รูปที่ 2.11 อิทธิพลของกระแสลมต่อความดันของอากาศบริเวณรอบอาคาร

ที่มา: Bhatia (2012)

2.6.1.2 การระบายอากาศเชิงกล (Mechanical ventilation)

ระบบระบายอากาศเชิงกล คือ ระบบระบายอากาศที่มีการใช้พัดลมไฟฟ้า (Blowers) อย่างน้อยหนึ่งตัวหรือมากกว่า หรือการใช้ระบบท่อสำหรับการหมุนเวียนอากาศเข้าและออกระหว่างภายในและภายนอกอาคาร โดยระบบระบายอากาศเชิงกลมีข้อได้เปรียบ คือ ความสม่ำเสมอและความสามารถในการควบคุมอัตราการระบายอากาศภายในอาคาร อีกทั้ง ยังสามารถปรับสภาพอากาศจากภายนอกที่เข้ามาสู่ภายในอาคาร เช่น การกรองอากาศ การลดความชื้น และการปรับอุณหภูมิ เป็นต้น โดยการระบายอากาศเชิงกลมีจุดประสงค์เพื่อเจือจางและกำจัดกำจัดสิ่งอันไม่พึงประสงค์ และมลพิษภายในอาคาร รวมถึงการระบายอากาศสำหรับกระบวนการอุตสาหกรรมเหมืองแร่ อุโมงค์ และห้องปฏิบัติการ (Kubba, 2017) ทั้งนี้ กลไกของการระบายอากาศแบบเชิงกลโดยทั่วไปจะใช้วิธีการเติมอากาศจากภายนอก (Fresh Air) ที่มีการปนเปื้อนอนุภาคหรือฝุ่นละออง และเนื่องจากตัวกรองของระบบระบายอากาศเชิงกลไม่สามารถกำจัดอนุภาคหรือฝุ่นละอองที่มาจากภายนอกอาคารได้ทั้งหมด อนุภาคหรือฝุ่นละอองเหล่านี้จึงเข้าสู่ภายในอาคารได้ (Chen et al., 2011)

2.6.2 แหล่งกำเนิดมลพิษภายในอาคารและภายนอกอาคาร

ความเข้มข้นของฝุ่นละอองและมลพิษภายในอาคารขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร มลพิษภายในอาคารประกอบไปด้วยมลพิษหลายชนิด ซึ่งอาจมีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมการเผาไหม้จากการประกอบอาหาร เตาผิงไฟ ควันบุหรี่ และวัสดุและอุปกรณ์ตกแต่งภายในอาคาร เป็นต้น อีกทั้ง ฝุ่นละอองและมลพิษจากภายนอกอาคารยังสามารถแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารได้โดยผ่านการระบายอากาศหรือการแทรกซึมผ่านช่องว่าง รอยต่อ และรอยรั่วบนผนัง พื้น และเพดาน รวมถึงทางประตูและหน้าต่าง (Thornburg et al., 2001) ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองและมลพิษภายในอาคารเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถสรุปชนิดและแหล่งกำเนิดของมลพิษภายในอาคารได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ชนิดและแหล่งกำเนิดของมลพิษภายในอาคาร

ชนิดของมลพิษภายในอาคาร	แหล่งกำเนิดหลัก
ฝุ่นละออง	แหล่งกำเนิดจากภายในและภายนอกอาคาร การสูบบุหรี่ กิจกรรมการเผาไหม้จากการประกอบอาหาร
สารก่อภูมิแพ้ (สารที่ทำให้เกิดอาการแพ้)	เชื้อรา สัตว์เลี้ยง และแหล่งอื่น ๆ
แบคทีเรียและไวรัส	มนุษย์ ความชื้น สัตว์เลี้ยง
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของผู้อาศัย การเผาไหม้
สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs)	วัสดุก่อสร้าง วัสดุตกแต่ง ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด
ควันบุหรี่	การสูบบุหรี่
ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)	การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ การสูบบุหรี่
เรดอน (Rn)	การสลายของแร่ของเรเดียม (Radium) ในดิน
ฟอร์มัลดีไฮด์ (HCHO)	วัสดุก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ การสูบบุหรี่
ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO _x)	การเผาไหม้ การสูบบุหรี่
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂)	การเผาไหม้
โอโซน (O ₃)	เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องฟอกอากาศแบบไฟฟ้าสถิต

ที่มา: McDowall (2007)

2.7 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร (I/O ratio)

I/O ratio คือสัดส่วนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร ซึ่งง่ายต่อการเข้าใจและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย (Chen et al., 2011) เมื่อคำนวณค่า I/O ratio แล้วพบว่ามิต่ำกว่าหรือใกล้เคียง 1 แสดงว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในอาคารมีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคาร ค่า I/O ratio มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในอาคารมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคาร โดยคำนวณได้จากสมการ 2.1

$$I/O \text{ ratio} = \frac{C_{in}}{C_{out}} \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

โดย C_{in} = ความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในอาคาร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 C_{out} = ความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคาร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

จากการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคารโดยการวิเคราะห์ค่า I/O ratio จากการศึกษาของ Massey et al. (2009) ที่ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ $\text{PM}_{2.5}$ ภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยในประเทศอินเดีย โดยทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ $\text{PM}_{2.5}$ ต่อเนื่อง 7 วันต่อเดือน ระยะเวลา 6 เดือน ตรวจวัดภายในและภายนอกที่พักอาศัยจำนวน 14 หลัง โดยแบ่งออกเป็น 3 พื้นที่ประกอบด้วย ที่พักอาศัยตริมนถนนทั้งหมด 5 หลัง ที่พักอาศัยตั้งอยู่บริเวณชานเมืองทั้งหมด 4 หลัง และที่พักอาศัยตั้งอยู่บริเวณเขตเมืองทั้งหมด 5 หลัง ผลการศึกษาพบว่าค่า I/O ratio มีค่าเท่ากับ 0.98, 1.11 และ 0.92 ของที่พักอาศัยตริมนถนน ที่พักอาศัยตั้งอยู่บริเวณชานเมือง และที่พักอาศัยตั้งอยู่บริเวณเขตเมือง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ $\text{PM}_{2.5}$ ภายในและภายนอกอาคาร พบว่า ทั้ง 3 กลุ่มมีความสัมพันธ์ทางบวก โดยกลุ่มที่พักอาศัยตริมนถนน และที่พักอาศัยตั้งอยู่บริเวณชานเมือง มีค่าสหสัมพันธ์ในระดับสูง (r) เท่ากับ 0.9059 และ 0.7021 ลำดับ ดังนั้นความเข้มข้นของ $\text{PM}_{2.5}$ ภายในอาคารของกลุ่มที่พักอาศัยตริมนถนน และที่พักอาศัยตั้งอยู่บริเวณชานเมืองได้รับอิทธิพลจาก $\text{PM}_{2.5}$ จากภายนอกอาคาร ในขณะที่กลุ่มที่พักอาศัยตั้งอยู่บริเวณชานเมืองมีค่าสหสัมพันธ์ในระดับต่ำ (r) เท่ากับ 0.6642 และเมื่อพิจารณาค่า I/O ratio ที่มีค่ามากกว่า 1 คือความเข้มข้นของ $\text{PM}_{2.5}$ ภายในอาคารมากกว่าภายนอกอาคาร ดังนั้น ความเข้มข้นของ $\text{PM}_{2.5}$ ภายในอาคารของกลุ่มที่พักอาศัยตั้งอยู่บริเวณชานเมืองได้รับอิทธิพลมาจากกิจกรรมภายในอาคาร เช่น การทำอาหาร และการสูบบุหรี่ เป็นต้น

Shao et al. (2017) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยตามฤดูกาลในเมือง Nanjing ประเทศจีน โดยทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในและภายนอกที่พักอาศัยจำนวน 60 หลัง โดยเก็บตัวอย่างแบ่งออกเป็น 3 ช่วงฤดูกาล โดย 16 หลังจะเก็บทั้ง 3 ฤดูกาล ได้แก่ ช่วงฤดูร้อนระหว่างเดือนมิถุนายน - เดือนสิงหาคม 2016 ทั้งหมด 35 หลัง ช่วงฤดูหนาวระหว่างเดือนธันวาคม 2016 - เดือนกุมภาพันธ์ 2017 ทั้งหมด 36 หลัง และช่วงเปลี่ยนฤดู (ฤดูใบไม้ผลิและฤดูใบไม้ร่วง) ระหว่างเดือนมีนาคม - เดือนพฤษภาคม 2017 และเดือนตุลาคม - เดือนพฤศจิกายน 2017 ทั้งหมด 39 หลัง โดยลักษณะที่อยู่อาศัยส่วนใหญ่จะเป็นอะพาร์ตเมนต์เป็นหลัก ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในอาคารเฉลี่ยตามฤดูกาลมีค่าเท่ากับ 37.08, 55.56 และ 45.09 $\mu g/m^3$ ในช่วงฤดูร้อน ช่วงฤดูหนาว และช่วงเปลี่ยนฤดูตามลำดับ และความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารเฉลี่ยตามฤดูกาลมีค่าเท่ากับ 27.75, 70.61 และ 53.42 $\mu g/m^3$ ในช่วงฤดูร้อน ช่วงฤดูหนาว และช่วงเปลี่ยนฤดูตามลำดับ ค่า I/O ratio มีค่าเท่ากับ 1.67, 0.90, 0.97 ในช่วงฤดูร้อน ช่วงฤดูหนาว และช่วงเปลี่ยนฤดูตามลำดับ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในและนอกอาคาร พบว่า ทั้งสามกลุ่มมีความสัมพันธ์ทางบวก โดยมีค่าสหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.509, 0.644 และ 0.723 ในช่วงฤดูร้อน ช่วงฤดูหนาว และช่วงเปลี่ยนฤดูตามลำดับ เมื่อพิจารณาในช่วงฤดูร้อนจะพบว่า ค่า I/O ratio มีค่ามากกว่า 1 คือความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในอาคารมากกว่าภายนอกอาคาร และมีค่าสหสัมพันธ์ในระดับต่ำกว่า 1 ทั้ง 2 ฤดู ดังนั้น ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในอาคารในกลุ่มที่พักอาศัยช่วงฤดูร้อนได้รับอิทธิพลมาจากกิจกรรมภายในอาคาร เช่น การทำอาหาร และสูบบุหรี่ เป็นต้น เนื่องจากที่พักอาศัย ร้อยละ 88.5 จะมีเปิดเครื่องปรับอากาศและปิดหน้าต่างในช่วงฤดูร้อน ส่งผลให้อัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศระหว่างภายในและภายนอกลดลง มีการระบายอากาศน้อยลง เมื่อเกิดฝุ่นละอองภายในอาคารจากกิจกรรมต่าง ๆ ฝุ่นละอองจึงถ่ายเทไปนอกอาคารได้ต่ำ ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในอาคารจึงสูงกว่าภายนอกอาคาร ในขณะที่ช่วงเปลี่ยนฤดู ส่วนใหญ่จะเปิดหน้าต่างไว้ตลอด อีกทั้ง ค่า I/O ratio น้อยกว่า 1 และมีค่าสหสัมพันธ์สูงที่สุด ดังนั้น ในช่วงเปลี่ยนฤดูความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในอาคารจะได้รับอิทธิพลจาก $PM_{2.5}$ จากภายนอกอาคารมากที่สุด และในช่วงฤดูหนาวรองลงมา

2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค Principal Component Analysis (PCA)

Principle Component Analysis เป็นวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติแบบหลายตัวแปร เพื่อจับกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กัน โดยอาศัยหลักการความสัมพันธ์เชิงเส้นของของตัวแปร และทำการผนวกความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear Combination) ของตัวแปร โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA จะทำการสร้าง Component ที่ประกอบไปด้วยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กัน โดยตัวแปรจะถูก

จัดอยู่ใน Component เดียวเท่านั้น ซึ่งแต่ละ Component นั้นจะไม่มีความสัมพันธ์กัน (แสงสุรีย์ ศรีสะอาด, 2559)

จากการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค PCA ในการจัดกลุ่มธาตุเพื่อบ่งชี้ และจำแนกแหล่งกำเนิดขององค์ประกอบในฝุ่นละออง โดยการศึกษาของ Jain et al. (2018) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบและจำแนกแหล่งกำเนิดของ PM₁₀ ที่เมือง Delhi ประเทศอินเดีย ระหว่างเดือนมกราคม 2013 - เดือนมิถุนายน 2014 โดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค Principal component analysis with absolute principal component scores (PCA/APCS) และ UNMIX เพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง สำหรับองค์ประกอบที่วิเคราะห์ใน PM₁₀ ประกอบด้วย Organic carbon (OC), Elemental carbon (EC), Water soluble inorganic ions (WSIC) และ Trace elements ผลการวิเคราะห์ด้วย PCA/APCS พบว่า PM₁₀ มีแหล่งกำเนิดมาจาก 5 แหล่งกำเนิด ได้แก่ 1) ฝุ่นจากดิน 2) ไอเสียจากยานยนต์ 3) ฝุ่นจากดินและเกลือทะเล 4) ละอองลอยหุติยภูมิ การเผาไหม้ชีวมวล และเกลือทะเล 5) มลพิษจากอุตสาหกรรม

Zhang et al. (2019) ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบและจำแนกแหล่งกำเนิดของสารกลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นจากถนน โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่น 4 ขนาด ได้แก่ 1000-400 μm (Coarse sand), 400-100 μm (Media sand), 100-63 μm (Fine sand) และ 63-0.45 μm (Silt) บริเวณถนนลาดยาง ในเมือง Dresden ประเทศเยอรมนี ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค PCA/APCS, Positive matrix factorization (PMF) และ UNMIX ผลการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์แหล่งกำเนิดของ PAHs ในฝุ่นจากถนนทั้ง 3 วิธีบ่งชี้แหล่งกำเนิดคล้ายคลึงกัน โดยแหล่งกำเนิดที่มีสัดส่วนมากที่สุด คือ ไอเสียจากยานยนต์ (73.0%) รองลงมาได้แก่ เตเผาถ่านโค้ก (21.2%) พื้นผิวถนนหรือทางเท้า (12.1%) และอื่น ๆ ตามลำดับ

Wang et al. (2019) ทำการศึกษาจำแนกแหล่งกำเนิดของโลหะหนักใน PM_{2.5} จากหอพักมหาวิทยาลัย ในเมือง Nanjing ประเทศจีน โดยใช้เทคนิควิเคราะห์ข้อมูล PCA ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจำแนกแหล่งกำเนิด โดยโลหะในฝุ่นละอองที่เก็บมาวิเคราะห์ ได้แก่ As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb และ Zn ผลการศึกษาพบว่า แหล่งกำเนิดของ PM_{2.5} ในหอพักมหาวิทยาลัยมีสัดส่วนมากที่สุด คือ การเผาไหม้ของถ่านหินและแหล่งอุตสาหกรรม (71.21%) รองลงมาได้แก่ ไอเสียจากยานยนต์และฝุ่นถนนจากการจราจร (11.26%) และฝุ่นที่ฟุ้งกระจายจากกิจกรรมของนักศึกษา (5.68%)

ทั้งนี้ สามารถสรุปผลการวิเคราะห์จัดจำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของฝุ่นละอองจากการศึกษาที่ผ่านมาปรากฏดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การจำแนกแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองจากการศึกษาที่ผ่านมา

แหล่งกำเนิด	องค์ประกอบของธาตุที่พบ										
	PM	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5} , PM ₁₀	
Johnson et al. (2011)	Geiger et al. (2010)	Liu et al. (2018b)	Han et al. (2015)	Tan et al. (2017)	Mansha et al. (2012)	Manousakas et al. (2017)	Bove et al. (2016)	Acciai et al. (2017)	Nayebare et al. (2017)	Murillo et al. (2013)	Manousakas et al. (2015)
ฝุ่นดิน ฝุ่นจากเปลือกโลก และ การก่อสร้าง	Al, Si, Sc, Ti, Fe, Sm, Ca	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Sc, Ti, Mn, Fe, Ga, Rb, Sr, Zr	Fe, Ca, Co, Mn	Mg, Al, Ca, Al, Ti, V, Ba	Al, Ca, K	Al, Si, Ca, Ti, Fe	Ti, Fe	Ca, Ba, Fe, Mn	Si, Al, Ti, Mn, Fe, Mg, Rb, K, Cr, Er,	Al, Ca, Fe, Mg	-
ยางและผ้าเบรก	-	Ba, Zn	-	-	-	Cu, Zn	-	Mn, Zn, Cr, Cu	-	-	Cu, Zn
รถยนต์	-	-	-	-	-	Na, Mg	NO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , Na ⁺ , Mg ₂ ⁺	-	Cl ⁻ , Na	Cl ⁻ , Na, Mg	Na, Cl, Mg
ละอองลอยจากเกลือทะเล	Na, Cl, Na ⁺ , Cl ⁻ , Br, I, Mg, Mg ²⁺	Na, Cl	-	-	-	-	-	-	-	-	-
การเผาไหม้ถ่านหิน	V, Ni, Mn, Fe, Cr, As, S, SO ₄ ²⁻	V, Ni, Mo	-	-	V, As, Sr, Ba,	V, Ni	V, Ni	-	V, Ni, Lu, Cu, Zn, NH ₄ ⁺ , SO ₄ ²⁻ , BC.	V, Ni	-

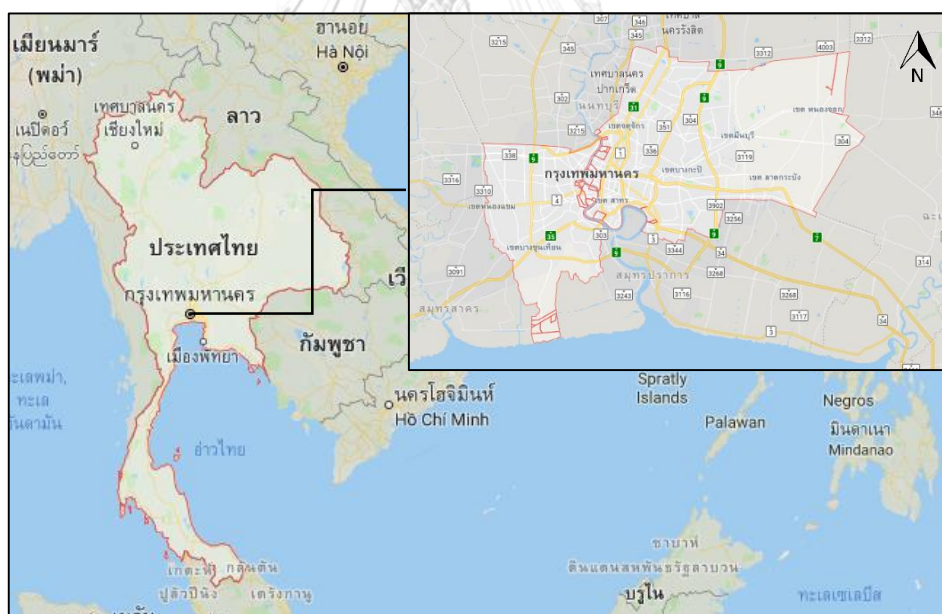
ตารางที่ 2.6 การจำแนกแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองจากการศึกษาที่ผ่านมา (ต่อ)

แหล่งกำเนิด	องค์ประกอบของธาตุที่พบ										
	PM	PM	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5} , PM ₁₀	PM ₁₀	
Johnson et al. (2011)	Geiger et al. (2010)	Liu et al. (2018b)	Han et al. (2015)	Tan et al. (2017)	Mansha et al. (2012)	Manousakas et al. (2017)	Bove et al. (2016)	Acciai et al. (2017)	Nayebare et al. (2017)	Murillo et al. (2013)	Manousak et al. (2015)
ธาตุสังกะสี, Mn, Cr, Fe, Co, Cr, Ni, Fe, Zn, W, Rb	Fe, Co, Cr, Ni, Mg	-	Fe, Mn, V, Pb	Fe, Mn, Pb	-	-	-	-	-	-	-
การเผาไหม้, K, OC, EC, Br, Zn	OC, EC, K, Cl, Zn	-	-	-	-	K, Cl, SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , K, BC	-	K	-	K	K, BC
ฝุ่นทุตยภูมิ	-	-	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , S	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , Cl ⁻	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	S	SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺	-	-	OC, S, NO ₃ ⁻	-
การปลดปล่อย	OC, EC, S, SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , Br, Ce, La, Pt,	Br, Pb	Ni, Co, Cr	OC, EC	Cd, Pb, Sb, Zn	BC, Cu, Zn, K, Cr	-	Cr, Cu, Zn	NO ₃ ⁻ , C ₂ O ₄ ²⁻ , V, Ni, BC	EC, OC, SO ₄ ²⁻	S, V, As, Ni, Cu, Zn

2.9 ข้อมูลพื้นฐานของกรุงเทพมหานคร

2.9.1 ลักษณะภูมิประเทศ

กรุงเทพมหานครตั้งอยู่บริเวณภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย บริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยา มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 1,568.7 ตารางกิโลเมตร โดยลักษณะภูมิประเทศของกรุงเทพมหานครเป็นที่ราบลุ่ม มีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 1.50-2 เมตร โดยมีความลาดเอียงของระดับพื้นดินจากทิศเหนือ จะค่อย ๆ ลาดเอียงสู่อ่าวไทยทางทิศใต้ และเฉพาะลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างจะอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลไม่เกิน 1.50 เมตร ตั้งอยู่บนพื้นที่ซึ่งในทางภูมิศาสตร์เรียกว่า บริเวณดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ ซึ่งเกิดจากตะกอนน้ำพา (Alluvium) โดยเป็นส่วนหนึ่งของที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย (The Lower General Plain of Thailand) เป็นพื้นที่อุดมสมบูรณ์เหมาะแก่การเพาะปลูกข้าวและพืชประเภทต่าง ๆ (สำนักยุทธศาสตร์และประเมินผล, 2562)



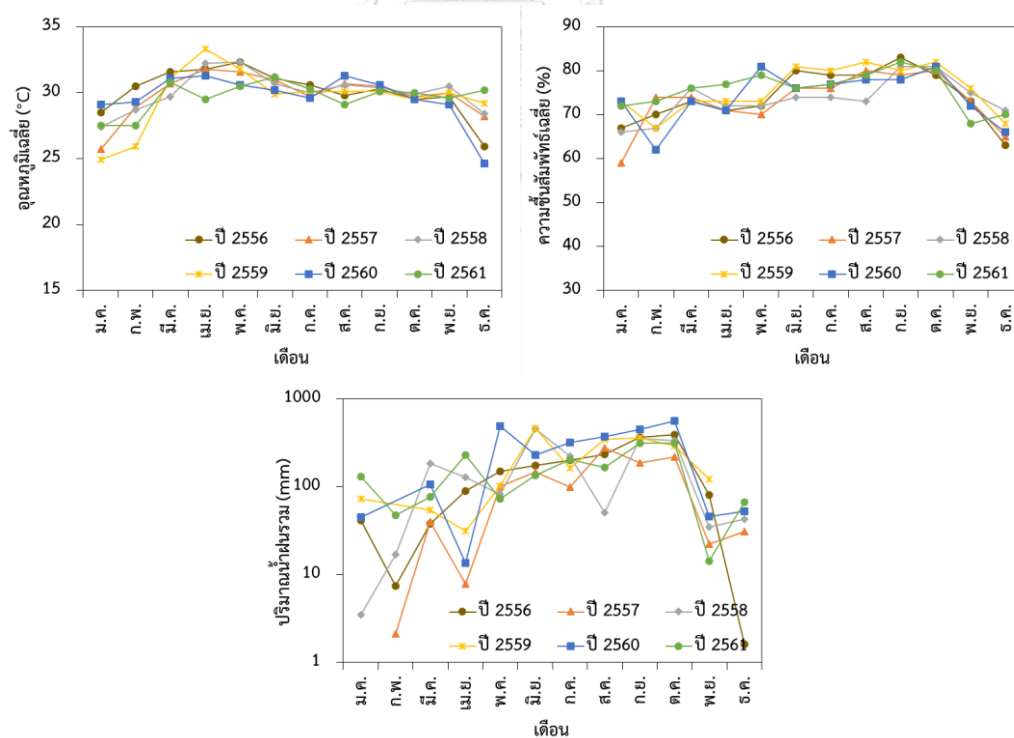
รูปที่ 2.12 แผนที่แสดงที่ตั้งของกรุงเทพมหานคร

2.9.2 ลักษณะภูมิอากาศ

กรุงเทพมหานครมีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม 2 ชนิด คือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งก่อให้เกิดฤดูกาลที่แตกต่างกัน 3 ฤดู ได้แก่

- 1) ฤดูร้อน เริ่มประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงประมาณกลางเดือนพฤษภาคม
- 2) ฤดูฝน เริ่มประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงประมาณกลางเดือนตุลาคม
- 3) ฤดูหนาว เริ่มประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์

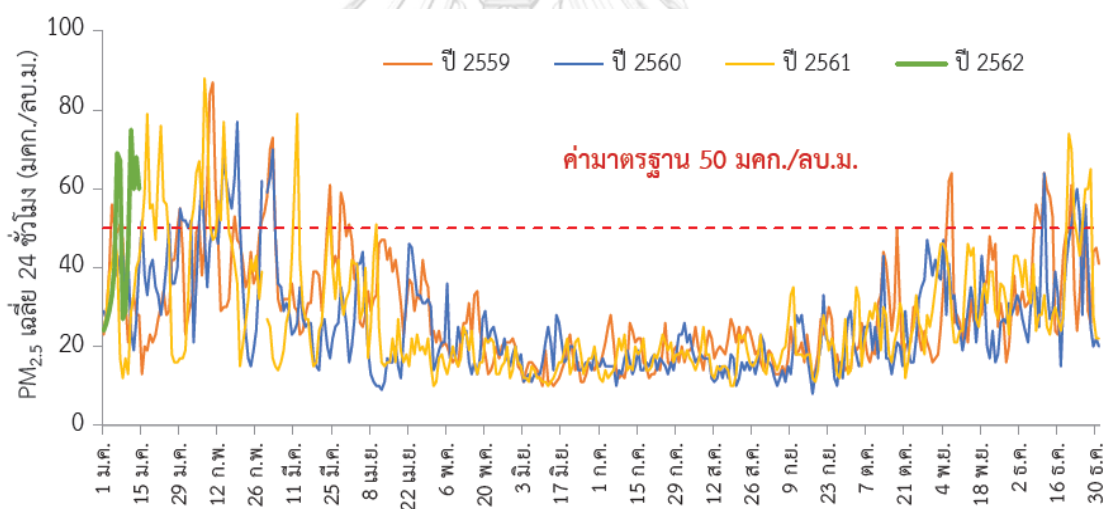
จากข้อมูลการตรวจวัดปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาย้อนหลังระหว่างปี 2556 - 2561 จากสถานี 455201 กรุงเทพมหานครที่ปรากฏดังรูปที่ 2.13 พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของกรุงเทพมหานคร มีแนวโน้มสูงสุดระหว่างช่วงเดือนมีนาคม - มิถุนายน และมีแนวโน้มต่ำสุดระหว่างช่วงเดือนธันวาคม - มกราคม ส่วนความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยแนวโน้มสูงสุดระหว่างช่วงเดือนสิงหาคม - ตุลาคม และมีแนวโน้มต่ำสุดระหว่างช่วงเดือนธันวาคม - กุมภาพันธ์ และปริมาณน้ำฝนรวม พบว่า มีแนวโน้มสูงสุดระหว่างช่วงเดือนกันยายน - ตุลาคม (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2563a)



รูปที่ 2.13 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่างปี 2556 - 2561 จากสถานี 455201 กรุงเทพมหานคร
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2563a)

2.10.3 สถานการณ์ปัญหาฝุ่นละอองในกรุงเทพมหานคร

จากการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ของกรมควบคุมมลพิษ พบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ สูงเกินค่ามาตรฐานประมาณ 40 - 50 วันต่อปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) และมากกว่าร้อยละ 20 ของจำนวนวันในรอบปีที่มีคุณภาพอากาศเกินค่ามาตรฐาน ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐานจะพบในช่วงเดือนธันวาคม - มีนาคม ซึ่งสถานการณ์ในปี 2561 ปริมาณ $PM_{2.5}$ มีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงเดือนมกราคม - กุมภาพันธ์ 2561 และช่วงเดือนธันวาคม 2561 - มกราคม 2562 ดังรูปที่ 2.14 สำหรับผลการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากสถานีตรวจวัดบริเวณพื้นที่ทั่วไปในกรุงเทพมหานครจำนวน 7 สถานี ปี 2561 พบว่า ฝุ่นละอองความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM_{10} มีค่าอยู่ในช่วง 10 - 153 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยรายปี มีค่าอยู่ในช่วง 36 - 77 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ มีค่าอยู่ในช่วง 4 - 99 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยรายปี มีค่าอยู่ในช่วง 23 - 30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2562b) ปรากฏดังตารางที่ 2.7



รูปที่ 2.14 ผลการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ปี 2559 - 2562
ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2562c)

พื้นที่แขวงดินแดง เขตดินแดง เป็นพื้นที่หนึ่งในกรุงเทพมหานครที่พบปัญหาฝุ่นละอองในปีที่ผ่านมา จากผลตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณสถานีแขวงดินแดง เขตดินแดง ในปี 2561 ของกรมควบคุมมลพิษ พบว่า ความเข้มข้นของ PM_{10} มีค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 44 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานเฉลี่ยรายปี (50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และมีค่าเฉลี่ยรายวันอยู่ระหว่าง 24 - 74 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ค่ามาตรฐานเฉลี่ยรายวัน

เท่ากับ 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ในขณะที่ความเข้มข้นของ PM_{2.5} มีค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเกินค่ามาตรฐานเฉลี่ยรายปี (25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และมียุทธศาสตร์รายวันอยู่ระหว่าง 12 - 64 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ค่ามาตรฐานเฉลี่ยรายวันเท่ากับ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) (กรมควบคุมมลพิษ, 2562a)

ตารางที่ 2.7 ผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองจากสถานีตรวจวัดบริเวณพื้นที่ทั่วไปในกรุงเทพมหานคร แยกตามรายสถานี ปี 2561

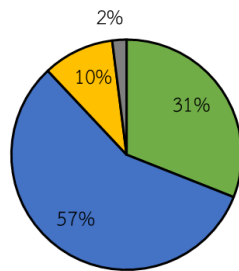
สถานี	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM ₁₀)			ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5})		
	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		ค่าเฉลี่ย 1 ปี ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		ค่าเฉลี่ย 1 ปี ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
แขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี	117	20	42	-	-	-
แขวงบางนา เขตบางนา	153	13	42	99	4	23
แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ	116	10	41	65	8	30
แขวงดินแดง เขตดินแดง	74	24	44	64	12	30
แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา	136	21	77	-	-	-
แขวงพญาไท เขตพญาไท	128	13	36	97	6	13
แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง	119	18	42	90	8	27
มาตรฐาน	120		50	50		25

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2562a)

2.9.4 ข้อมูลอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร

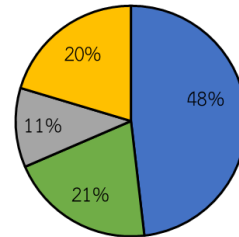
จากข้อมูลอาคารสูงในกรุงเทพมหานครปี 2562 ของสภาตึกสูงและที่อยู่อาศัยในเมือง (CTBUH) พบว่า จำนวนอาคารสูงในกรุงเทพมหานครที่ดำเนินการก่อสร้างแล้วเสร็จมีทั้งหมด 169 อาคาร ซึ่งมีอาคารที่สูงที่สุดที่ระดับ 315 เมตร โดยระดับความสูงของอาคารที่พบในกรุงเทพมหานคร ส่วนใหญ่มีความสูงอยู่ในช่วง 100 - 199 เมตร มากที่สุด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 57 รองลงมา ได้แก่ ความสูงต่ำกว่า 100 เมตร คิดเป็นร้อยละ 31 ความสูงระหว่าง 200 - 299 เมตร คิดเป็นร้อยละ 10 และ ความสูงระหว่าง 300 - 399 เมตร คิดเป็นร้อยละ 2 ตามลำดับ ในส่วนของประเภทการใช้สอยของอาคารพบว่า เป็นอาคารที่พักอาศัยมากที่สุด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 52 รองลงมา ได้แก่ อาคารสำนักงาน คิดเป็นร้อยละ 22 อาคารอเนกประสงค์ คิดเป็นร้อยละ 12 และอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 14 (Council on Tall Buildings and Urban Habitat [CTBUH], 2018) ดังรูปที่ 2.15

ระดับความสูงของอาคารในกรุงเทพมหานคร



■ ต่ำกว่า 100 เมตร ■ ระหว่าง 100 - 199 เมตร
 ■ ระหว่าง 200 - 299 เมตร ■ ระหว่าง 300 - 399 เมตร

ประเภทของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร



■ อาคารที่พักอาศัย ■ อาคารสำนักงาน
 ■ อาคารเอนกประสงค์ ■ อื่น ๆ

รูปที่ 2.15 ระดับความสูงและประเภทของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร
 ที่มา : Council on Tall Buildings and Urban Habitat [CTBUH] (2018)

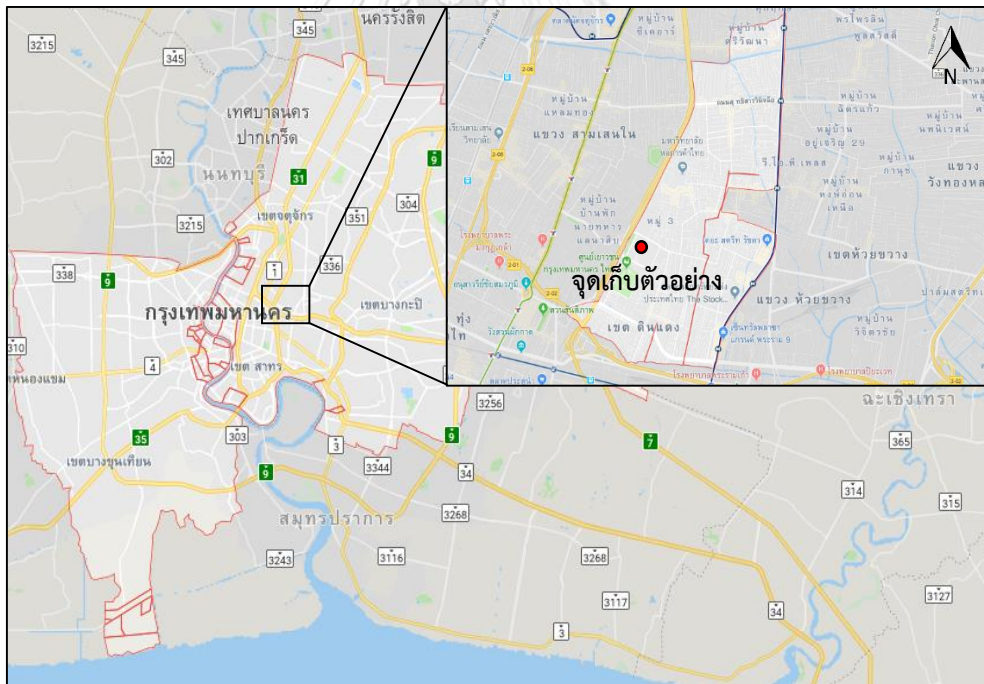


บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

3.1.1 การกำหนดพื้นที่ศึกษา

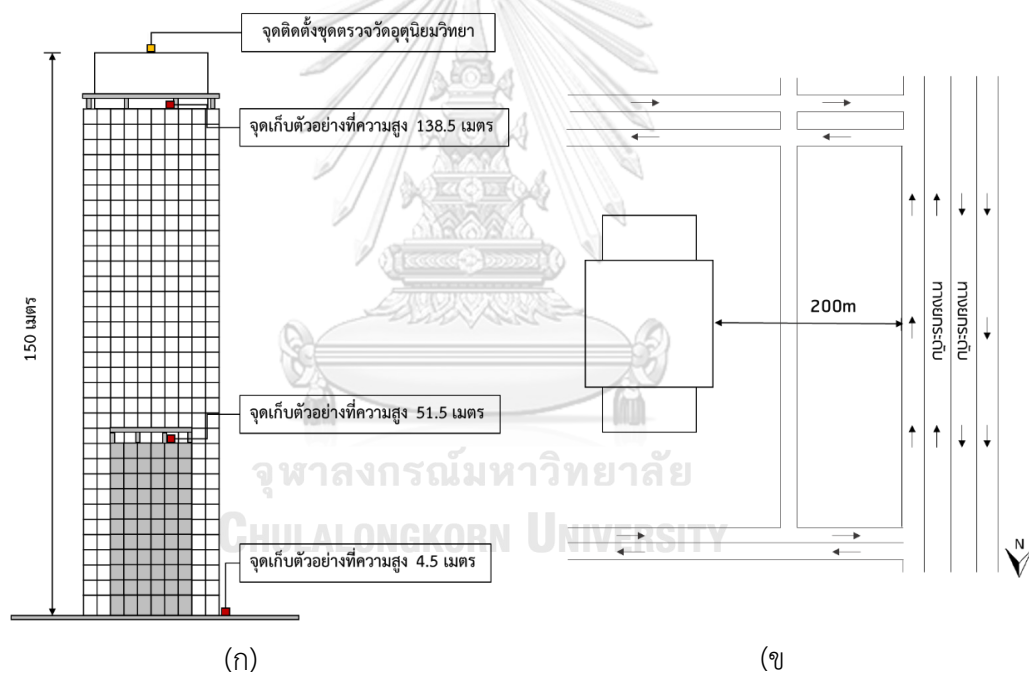
จากข้อมูลอาคารสูงในกรุงเทพมหานครในปี 2562 ของสภาตึกสูงและที่อยู่อาศัยในเมือง (CTBUH) และข้อมูลผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองบริเวณสถานีแขวงดินแดง เขตดินแดง ในปี 2561 ของกรมควบคุมมลพิษ ได้นำมาพิจารณาการกำหนดพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้ โดยได้กำหนดพื้นที่ศึกษาและสถานที่ในการเก็บตัวอย่าง คือ อาคารสูงประเภทอาคารสำนักงานแห่งหนึ่ง มีระดับความสูงประมาณ 150 เมตร ซึ่งเป็นอาคารที่มีระดับความสูงอยู่ในระดับช่วงความสูงส่วนใหญ่ของอาคารในกรุงเทพมหานคร โดยอาคารตั้งอยู่ในเขตดินแดง กรุงเทพมหานคร และห่างจากทางยกระดับประมาณ 200 เมตร โดยปรากฏดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงที่ตั้งของพื้นที่ศึกษาในเขตดินแดง กรุงเทพมหานคร

3.1.2 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ แบ่งออกเป็นความสูงจากระดับพื้นดิน 3 ระดับ ได้แก่ 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร โดยแต่ละชั้นได้กำหนดจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแบ่งออกเป็นภายในอาคาร 1 จุด และภายนอกอาคาร 1 จุด รวมจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองทั้งหมด 6 จุด และติดตั้งชุดตรวจวัดปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาบนชั้นดาดฟ้าของอาคาร ความสูงจากระดับพื้นดินประมาณ 150 เมตร ปรากฏดังรูปที่ 3.2 สำหรับจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองภายในอาคารในแต่ละระดับความสูง จะตั้งอยู่ในระดับความสูงเดียวกับจุดติดตั้งฝุ่นละอองภายนอกอาคาร (ความสูงจากพื้นห้องประมาณ 1.5 เมตร) และตั้งอยู่บริเวณกลางห้องโดยห่างจากผนัง เสา และสิ่งกีดขวางอย่างน้อย 1.5 เมตร โดยข้อมูลทั่วไปและรายละเอียดของจุดเก็บตัวอย่างภายในอาคารที่ความสูงทั้งสามระดับ ปรากฏตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 จุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองภายนอกอาคาร และจุดติดตั้งชุดตรวจวัดปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

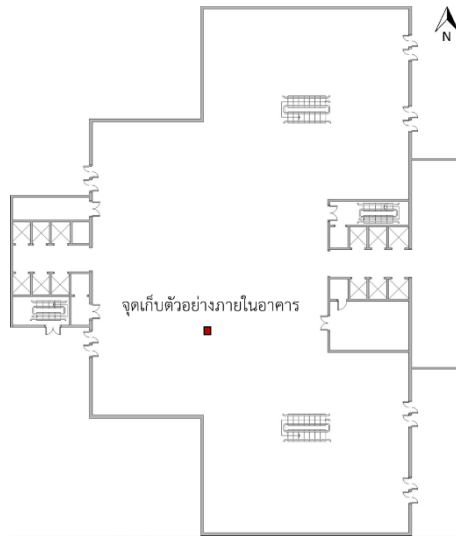
(ก) Side view (ข) Top view

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทั่วไปและรายละเอียดจุดเก็บตัวอย่างภายในอาคาร

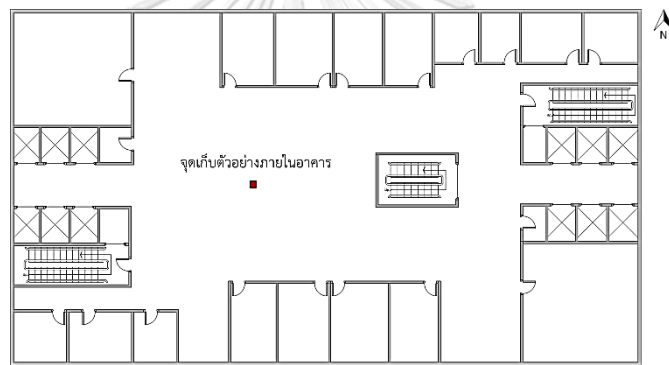
จุดเก็บตัวอย่าง	ขนาดพื้นที่ (m ²)	ข้อมูลทั่วไปและรายละเอียดจุดเก็บตัวอย่าง
4.5 เมตร (ชั้นที่ 1)	~ 1,890	<ul style="list-style-type: none"> - มีลักษณะเป็นห้องโถงขนาดใหญ่ มีประตูบริเวณทางเข้าและทางออก จำนวน 7 จุด โดยประตูมีลักษณะเป็นประตูกระจกบานสวิงแบบ 4 บาน ซึ่งมีการเปิดประตูประมาณ 4 จุด ในระหว่างช่วงเวลาประมาณ 05.00 - 20.00 น. ของทุกวัน - มีระบบระบายอากาศแบบส่วนกลาง ซึ่งทำการเปิดเฉพาะวันจันทร์ - วันศุกร์ ช่วงเวลาประมาณ 6.00 - 16.00 น. - มีผู้คนเดินเข้าและออกตลอดช่วงเวลากลางวัน - ไม่มีกิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง เช่น การสูบบุหรี่ การทำอาหาร และเครื่องถ่ายเอกสาร เป็นต้น
51.5 เมตร (ชั้นที่ 12)	~ 1,458	<ul style="list-style-type: none"> - มีลักษณะเป็นห้องสำนักงานที่ยังไม่มีคนเข้าใช้พื้นที่ ซึ่งเป็นพื้นที่ปิดทึบ โดยมีหน้าต่างกระจกแบบบานกระทุ้ง ซึ่งไม่มี การเปิดหน้าต่างตลอดช่วงการเก็บตัวอย่าง อีกทั้ง มีบันไดเชื่อมระหว่างชั้น - มีการปูพรมที่พื้นบริเวณกลางห้อง - มีระบบระบายอากาศแบบส่วนกลาง ซึ่งทำการเปิดเฉพาะวันจันทร์ - วันศุกร์ ช่วงเวลาประมาณ 6.00 - 16.00 น. - ไม่มีกิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง
138.5 เมตร (ชั้นที่ 34)	~ 100	<ul style="list-style-type: none"> - มีลักษณะเป็นห้องโถงขนาดเล็กที่ไม่มีคนใช้พื้นที่ โดยมีประตูจำนวน 2 บาน ซึ่งมีการเปิดประตูทิ้งไว้ตลอดเวลา จำนวน 1 บาน - มีการซ่อมบำรุงบริเวณห้องใกล้เคียงในบางครั้ง - ไม่มีระบบระบายอากาศเชิงกลภายในห้อง - ไม่มีกิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง - ไม่มีการทำความสะดวกบริเวณภายในห้อง

หมายเหตุ: 1. ขนาดพื้นที่มาจากการตรวจวัดของผู้วิจัย ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

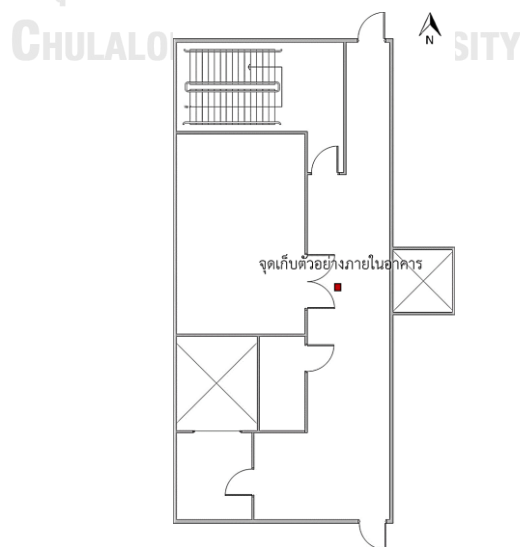
2. ข้อมูลทั่วไปและรายละเอียดจุดเก็บตัวอย่างมาจากการสำรวจและสอบถาม



รูปที่ 3.3 แผนผังพื้นที่เก็บตัวอย่างภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร



รูปที่ 3.4 แผนผังพื้นที่เก็บตัวอย่างภายในอาคารที่ระดับความสูง 51.5 เมตร



รูปที่ 3.5 แผนผังพื้นที่เก็บตัวอย่างภายในอาคารที่ระดับความสูง 138.5 เมตร

3.2 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

กำหนดช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วงฤดูกาล ได้แก่ ช่วงฤดูฝน (ระหว่างวันที่ 23 - 29 กันยายน 2562) ฤดูหนาว (ระหว่างวันที่ 13 - 19 มกราคม 2563) และฤดูร้อน (ระหว่างวันที่ 2 - 8 มีนาคม 2563) ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 7 วัน (วันจันทร์ - อาทิตย์) โดยช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างและจำนวนตัวอย่างปรากฏดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างและจำนวนตัวอย่างฝุ่นละอองทั้งหมดที่ทำการศึกษา

ช่วงเวลาการเก็บ ตัวอย่าง	จุดเก็บตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่างฝุ่นละออง			
		ภายในอาคาร		ภายนอกอาคาร	
		$PM_{2.5}$	$PM_{2.5-10}$	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5-10}$
ระหว่างวันที่ 23 - 29 กันยายน 2562	4.5 เมตร	7	7	7	7
	51.5 เมตร	7	7	7	7
	138.5 เมตร	7	7	7	7
ระหว่างวันที่ 13 - 19 มกราคม 2562	4.5 เมตร	7	7	7	7
	51.5 เมตร	7	7	7	7
	138.5 เมตร	7	7	7	7
ระหว่างวันที่ 2 - 8 มีนาคม 2563	4.5 เมตร	7	7	7	7
	51.5 เมตร	7	7	7	7
	138.5 เมตร	7	7	7	7
รวมจำนวนตัวอย่าง		63	63	63	63

3.3 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ด้วยวิธีการชั่งด้วยน้ำหนัก (Gravimetric analysis)

3.3.1 การเตรียมกระดาศกรอง

1) เตรียมกระดาศกรองชนิด Polytetrafluoroethylene (PTFE) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร และ 37 มิลลิเมตร สำหรับการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองโดยใช้หัวคัดแยกขนาดฝุ่นละอองแบบ Personal Module Impactor (PMI) โดยใช้กระดาศกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร สำหรับเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5-10}$ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร สำหรับเก็บ $PM_{2.5}$

2) เตรียมกระดาษกรองชนิด PTFE ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร และ 47 มิลลิเมตร สำหรับการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองโดยใช้หัวคัดแยกขนาดฝุ่นละอองแบบ IMPACT Sampler PM Coarse โดยใช้กระดาษกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร สำหรับเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5-10}$ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร สำหรับเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$

3) นำกระดาษกรองชนิด PTFE ที่เตรียมไว้ไปแช่ด้วย Acetone เป็นเวลา 15 นาที เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนและทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้น นำกระดาษกรองไปเก็บในตู้ดูดความชื้น (Desiccator) อย่างน้อย 3 วันจนน้ำหนักคงที่

4) นำกระดาษกรองมาชั่งน้ำหนักก่อนเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักของยี่ห้อ Mettler-Toledo ที่สามารถอ่านค่าละเอียด 0.0001 มิลลิกรัม ซึ่งขั้นตอนการชั่งน้ำหนักจะมีการควบคุมคุณภาพการชั่งน้ำหนักกระดาษกรองด้วยการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนัก โดยการนำลูกตุ้มมาตรฐานขนาด 100 และ 200 มิลลิกรัม มาชั่งก่อนและหลังการชั่งกระดาษกรองทุกครั้ง

3.3.2 การควบคุมคุณภาพการชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง

ทำการควบคุมคุณภาพการชั่งน้ำหนักกระดาษกรองด้วยการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนัก โดยการนำลูกตุ้มมาตรฐานขนาด 100 และ 200 มิลลิกรัม มาชั่งก่อนและหลังการชั่งกระดาษกรองทุกครั้ง แล้วนำค่าน้ำหนักของลูกตุ้มมาตรฐานที่ชั่งได้มาสร้าง Shewhart control chart เพื่อทดสอบความเที่ยงตรงและแม่นยำของเครื่องชั่งน้ำหนัก โดยกำหนดให้แกน X แสดงถึงจำนวนครั้งที่ชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน และแกน Y แสดงถึงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐานที่ชั่งได้ จากนั้น ลากเส้นค่าเฉลี่ยของน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐานที่ชั่งได้ (Target line, μ) ที่กึ่งกลางของกราฟ และลากเส้นขนานกับ Target line ทั้งหมด 4 เส้น ได้แก่ Upper warning line ($Y = \mu + 2SD$), Lower warning line ($Y = \mu - 2SD$), Upper action line ($Y = \mu + 3SD$) และ Lower action line ($Y = \mu - 3SD$) โดยกำหนดให้ μ คือ ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐานที่ชั่งได้ และ SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐานที่ชั่งได้ เมื่อพิจารณาค่าน้ำหนักของลูกตุ้มมาตรฐาน พบว่าอยู่ในช่วง Warning line ($\mu \pm 2SD$) และ Action line ($\mu \pm 3SD$) ถือว่ายอมรับได้ทางสถิติ

3.3.3 การเตรียมปั๊มดูดอากาศ

เก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ โดยใช้ปั๊มดูดอากาศแบบ Personal pump ของยี่ห้อ SKC รุ่น PCXR8 ที่มีการปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 3 ลิตรต่อนาที และใช้ปั๊มดูดอากาศแบบ Air sampling pump ของยี่ห้อ SKC รุ่น Leland legacy ที่มีการปรับอัตราการไหลของ

อากาศเป็น 10 ลิตรต่อนาที โดยปั๊มดูดอากาศได้มีการสอบเทียบอัตราการไหลของอากาศทั้งก่อนเก็บ และหลังเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยชุดวัดอัตราการไหลของยี่ห้อ TSI Model 4140 เพื่อนำไปคำนวณ ปริมาตรอากาศ

3.3.4 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} และ PM_{2.5-10}

1) เก็บตัวอย่าง PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายในอาคารโดยใช้เครื่อง Personal pump ของยี่ห้อ SKC รุ่น PCXR8 ต่อเข้ากับหัวคัดแยกขนาดฝุ่นละอองแบบ Personal Module Impactor (PMI) ที่สามารถใส่กระดาษกรองชนิด PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร สำหรับเก็บ ตัวอย่าง PM_{2.5-10} และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร สำหรับเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} และปรับ อัตราการไหลที่ 3 ลิตรต่อนาที โดยติดตั้งอุปกรณ์บนขาตั้งกล่องที่ความสูงจากพื้นห้องประมาณ 1.5 เมตร และตั้งอยู่บริเวณกลางห้องโดยห่างจากผนัง เสา และสิ่งกีดขวางอย่างน้อย 1.5 เมตร

2) เก็บตัวอย่าง PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารโดยใช้เครื่อง Air sampling pump ของยี่ห้อ SKC รุ่น Leland legacy ต่อเข้ากับหัวคัดแยกขนาดฝุ่นละอองแบบ IMPACT Sampler PM Coarse ที่สามารถใส่กระดาษกรองชนิด PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร สำหรับเก็บ PM_{2.5-10} และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร สำหรับเก็บ PM_{2.5} และปรับอัตราการไหลที่ 10 ลิตรต่อนาที โดยติดตั้งอุปกรณ์บนขาตั้งกล่องที่ความสูงจากพื้นประมาณ 1.5 เมตร และ ห่างจากผนัง เสา และสิ่งกีดขวางอย่างน้อย 1.5 เมตร

3) ทำการสอบเทียบอัตราการไหลของปั๊มดูดอากาศหลังเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยชุด วัดอัตราการไหลของยี่ห้อ TSI Model 4140 จากนั้น นำกระดาษกรองหลังจากเก็บตัวอย่างไปเก็บใน ตู้ดูดความชื้น (Desiccator) อย่างน้อย 3 วันจนน้ำหนักคงที่ ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักหลังเก็บตัวอย่าง ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักของยี่ห้อ Mettler-Toledo ที่สามารถอ่านค่าละเอียด 0.0001 มิลลิกรัม

3.3.5 การคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละออง

ทำการชั่งน้ำหนักกระดาษกรองก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอย่างน้อย 3 ซ้ำ และนำมา คำนวณค่าเฉลี่ยทั้งก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณความเข้มข้นของ PM_{2.5} PM_{2.5-10} และ PM₁₀ ดังสมการ 3.1-3.4

$$\text{ความเข้มข้นของ PM}_{2.5} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{W_{\text{post}} - W_{\text{pre}}}{V} \quad \text{สมการ 3.1}$$

โดย W_{pre} = น้ำหนักเฉลี่ยของกระตาขรกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (μg)
 W_{post} = น้ำหนักเฉลี่ยของกระตาขรกรองก่อนหลังตัวอย่าง (μg)
 V = ปริมาตรอากาศ (m^3)

$$\text{ความเข้มข้นของ PM}_{2.5-10} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{W_{post} - W_{pre}}{V} \quad \text{สมการ 3.2}$$

โดย W_{pre} = น้ำหนักเฉลี่ยของกระตาขรกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (μg)
 W_{post} = น้ำหนักเฉลี่ยของกระตาขรกรองก่อนหลังตัวอย่าง (μg)
 V = ปริมาตรอากาศ (m^3)

$$\text{ความเข้มข้นของ PM}_{10} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \text{PM}_{2.5-10} + \text{PM}_{2.5} \quad \text{สมการ 3.3}$$

$$V (\text{m}^3) = \text{อัตราการไหล} (\text{m}^3/\text{min}) \times \text{เวลาที่ใช้เก็บตัวอย่าง} (\text{min}) \quad \text{สมการ 3.4}$$

3.3.6 การคำนวณสัดส่วนความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร (I/O ratio)

เมื่อคำนวณความเข้มข้นของ $\text{PM}_{2.5}$ และ $\text{PM}_{2.5-10}$ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่า I/O ratio ซึ่งแสดงถึงสัดส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร หากผลการคำนวณพบว่าค่า I/O ratio มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในอาคารมีค่ามากกว่าภายนอกอาคาร บ่งชี้ได้ว่า ฝุ่นละอองภายในอาคารอาจได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ภายในอาคาร หากค่า I/O ratio มีค่าน้อยกว่าหรือใกล้เคียง 1 แสดงว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในอาคารมีค่าต่ำกว่าภายนอกอาคาร บ่งชี้ได้ว่า ฝุ่นละอองภายในอาคารอาจได้รับอิทธิพลจากฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดจากภายนอกอาคาร โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.5

$$\text{I/O ratio} = \frac{C_{in}}{C_{out}} \quad \text{สมการที่ 3.5}$$

โดย C_{in} = ความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในอาคาร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 C_{out} = ความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคาร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

3.4 การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁₀ แบบอ่านค่าทันที (Real-time)

ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁₀ บริเวณภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร ด้วยเครื่องตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองแบบอ่านค่าทันที (Real-time) ของ Aeroqual Series 500 รวมทั้งหมด 4 เครื่อง โดยเครื่องมือทำการตรวจวัดด้วยหลักการ Light scattering ซึ่งสามารถอ่านค่าความเข้มข้นได้ตั้งแต่ 0.001 - 1.000 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยเครื่องมือได้รับการสอบเทียบจากผู้ผลิตและต้องสอบเทียบอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง สำหรับการเก็บข้อมูลได้ตั้งค่าการบันทึกข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้ง 2 ขนาดเฉลี่ยทุก 5 นาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 7 วัน ในช่วงเวลาเดียวกับการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยวิธีการชั่งด้วยน้ำหนัก (Gravimetric analysis) เพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มความเข้มข้นของฝุ่นละอองในแต่ละช่วงเวลา

ทั้งนี้ ก่อนนำเครื่องไปใช้ได้มีการทดสอบความแม่นยำของเครื่องตรวจวัดแต่ละเครื่อง โดยการนำเครื่องตรวจวัดทั้ง 4 เครื่องไปทำการตรวจวัดในจุดเดียวกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และบันทึกข้อมูลทุก 5 นาที จากนั้น นำผลตรวจวัดมาทดสอบความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างเครื่องตรวจวัดแต่ละเครื่องด้วย Pearson correlation ผลการทดสอบปรากฏดังภาคผนวก ก พบว่า ผลตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁₀ จากแต่ละเครื่องมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยมีค่าสหสัมพันธ์ (r) อยู่ในช่วง 0.971 - 0.983 และ 0.914 - 0.935 ตามลำดับ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁₀ จากทั้ง 4 เครื่อง มีเฉลี่ยเท่ากับ ± 2.1 และ ± 1.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

3.5 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10}

3.5.1 การสกัดโลหะในฝุ่น PM_{2.5} และ PM_{2.5-10}

ทำการสกัดโลหะในฝุ่นละอองจากกระดาศกรอง โดยการย่อยตัวอย่างฝุ่นละอองจากกระดาศกรองให้อยู่ในรูปของสารละลายด้วยเครื่อง Microwave digester (CEM MARS-5) โดยกระบวนการสกัดโลหะในฝุ่นละอองได้ดัดแปลงวิธีจาก U.S.EPA 3051A (U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 2007) และสำหรับขั้นตอนการย่อยตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่อง Microwave digester ได้ปฏิบัติตามวิธี Microwave Digestion of Airborne Particulate Matter Collected on Filters using CEM MARS-5 (Environment Canada, 2013) ทั้งนี้ ในการย่อยตัวอย่างฝุ่นละอองแต่ละรอบได้มีการทำ Blank โดยการนำกระดาศกรองที่ไม่ได้ผ่านการเก็บตัวอย่างมาผ่านกระบวนการย่อยเช่นเดียวกับการย่อยตัวอย่างฝุ่นละอองจากกระดาศกรอง โดยมีขั้นตอนการสกัดโลหะในฝุ่นละอองมีดังต่อไปนี้

1) นำกระดาดกรองที่ผ่านการเก็บตัวอย่างและ Filter blank แต่ละแผ่นใส่ลงใน Vessel จากนั้นเติมกรดไนตริกบริสุทธิ์ (HNO_3) ความเข้มข้น 40% ปริมาตร 10 มิลลิลิตรลงในแต่ละ Vessel และทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที

2) นำ Vessel เข้าเครื่อง Microwave digester เพื่อทำย่อยตัวอย่าง โดยย่อยตัวอย่าง เป็นระยะเวลา 31 นาที และแบ่งการย่อยออกเป็น 2 ชั้น โดยชั้นที่ 1 กำหนดอุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส 600 วัตต์ เป็นเวลา 11 นาที และชั้นที่ 2 กำหนดอุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส 1,200 วัตต์ เป็นเวลา 20 นาที เมื่อย่อยตัวอย่างครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว รอให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิลดลงที่ ประมาณ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างออกจากเครื่อง Microwave digester

3) ถ่ายสารละลายจาก Vessel ลงในบีกเกอร์ Teflon แล้วนำไปประเหยบน Hot plate ให้เหลือสารละลายระเหยเหลืออยู่ในบีกเกอร์ Teflon ประมาณ 0.1 มิลลิลิตร รอให้สารละลายเย็น และเติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์สูง (ค่าความต้านทานไฟฟ้า $>18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$) ประมาณ 2 - 3 มิลลิลิตร จากนั้น นำสารละลายไปกรองผ่าน PTFE syringe filter ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 5 มิลลิลิตร และปรับ ปริมาตรด้วยน้ำกลั่นบริสุทธิ์สูง (ค่าความต้านทานไฟฟ้า $>18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$) จากนั้นเก็บสารละลาย ตัวอย่างไว้ในขวด Polyethylene และนำไปแช่ในตู้เย็นก่อนนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ต่อไป

4) นำตัวอย่างที่อยู่ในรูปสารละลายไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) โดยทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะ 13 ชนิด ได้แก่ สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ตะกั่ว (Pb) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) แมกนีเซียม (Mg) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และแบเรียม (Ba)

3.5.2 การคำนวณความเข้มข้นของโลหะ

หลังจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละอองด้วยเครื่อง ICP-MS สามารถ นำค่าความเข้มข้นที่ได้มาคำนวณน้ำหนักของโลหะในสารละลาย ความเข้มข้นของโลหะในอากาศ และปริมาณของโลหะต่อน้ำหนักของ $\text{PM}_{2.5}$ และ $\text{PM}_{2.5-10}$ ได้ดังสมการที่ 3.6-3.7

น้ำหนักโลหะ (μg) = ความเข้มข้นของโลหะ ($\mu\text{g}/\text{L}$) \times ปริมาตรสารละลายตัวอย่าง (L) สมการที่ 3.6

$$\text{ความเข้มข้นของโลหะในอากาศ } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{\text{น้ำหนักโลหะ } (\mu\text{g})}{\text{ปริมาตรอากาศ } (\text{m}^3)} \quad \text{สมการที่ 3.7}$$

3.5.3 การสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

ทำการสร้างกราฟมาตรฐานของโลหะทั้ง 13 ชนิด โดยการเตรียมสารละลายมาตรฐาน (Multi-element calibration standard-2A) ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 9 ระดับความเข้มข้น ซึ่งมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 5 - 5,000 ppb จากนั้นนำสารละลายมาตรฐานไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS และนำมาสร้างกราฟมาตรฐาน นอกจากนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซ้ำ เพื่อทดสอบความแม่นยำของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS โดยนำมาวิเคราะห์หาค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ดังสมการที่ 3.8 ซึ่งค่า %RSD ที่วิเคราะห์ได้ควรมีค่าไม่เกิน $\pm 5\%$

$$\%RSD = \frac{SD}{X} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.8}$$

โดย SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
X = ค่าเฉลี่ยของสารละลายมาตรฐานที่วัดซ้ำทั้งหมด

3.5.4 การวิเคราะห์ค่า Limit of detection (LOD)

ทำการวิเคราะห์ค่า LOD เพื่อหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้จากเครื่อง ICP-MS โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากการวัดสัญญาณ Blank ของสารละลาย จำนวน 10 ซ้ำ จากนั้นนำค่าที่ได้จากการวัดมาคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) แล้วนำมาคำนวณค่า LOD โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ 3.9

$$LOD = \text{ค่าเฉลี่ย Blank ของสารละลาย} + 3SD \quad \text{สมการที่ 3.9}$$

3.5.5 การวิเคราะห์ค่าร้อยละคืนกลับ (%Recovery)

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของการสกัดโลหะในฝุ่นละอองจากกระต๊ากการด้วยการวิเคราะห์ค่าร้อยละคืนกลับ (%Recovery) โดยการนำวัสดุอ้างอิงที่ทราบความเข้มข้นของโลหะ (Standard Reference Materials: 1648a Urban Particulate Matter) มาผ่านกระบวนการสกัดด้วยเครื่อง Microwave digester (CEM MARS-5) เช่นเดียวกับการสกัดโลหะในตัวอย่างฝุ่นละอองจากกระต๊ากการเพื่อให้อยู่ในรูปของสารละลาย โดยทำซ้ำอย่างน้อย 10 ครั้ง จากนั้นนำวัสดุอ้างอิงที่อยู่ในรูปสารละลายไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS และนำค่าที่วิเคราะห์ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของวัสดุอ้างอิงด้วยการคำนวณ %Recovery ซึ่งค่าที่ได้ควรอยู่ในช่วงร้อยละ 80 - 120 โดยสามารถคำนวณ %Recovery ได้ดังสมการที่ 3.10

$$\% \text{ Recovery} = \frac{C_{\text{sample}}}{C_{\text{SRM}}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.10}$$

- โดย C_{sample} = ความเข้มข้นของโลหะที่สกัดจากวัสดุอ้างอิง
 C_{blank} = ความเข้มข้นของโลหะที่สกัดจาก Blank
 C_{SRM} = ความเข้มข้นมาตรฐานของโลหะจากวัสดุอ้างอิง

3.5 การเก็บข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา

ทำการเก็บข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาด้วยชุดตรวจวัดสภาพอุตุนิยมวิทยาของ DAVIS INSTRUMENT รุ่น Vantage PRO2 โดยการตั้งสถานีเก็บข้อมูลบนชั้นดาดฟ้าของอาคารพื้นที่ศึกษา ความสูงจากพื้นดินประมาณ 150 เมตร โดยข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่ศึกษา ได้แก่ ความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน และความดันบรรยากาศ ซึ่งเก็บข้อมูลช่วงเวลาเดียวกับการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง โดยรายละเอียดดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การเก็บข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่ศึกษา

พารามิเตอร์	ลักษณะข้อมูล	หน่วยวัด
ความเร็วลม	ทุก 1 ชั่วโมง	เมตรต่อวินาที (m/s)
อุณหภูมิ	ทุก 1 ชั่วโมง	องศาเซลเซียส (°C)
ความชื้นสัมพัทธ์	ทุก 1 ชั่วโมง	ร้อยละ (%)
ปริมาณน้ำฝน	ทุก 1 ชั่วโมง	มิลลิเมตร (mm)
ความดันบรรยากาศ	ทุก 1 ชั่วโมง	มิลลิเมตรปรอท (mmHg)

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค Principal Component Analysis (PCA)

Principle Component Analysis เป็นวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติแบบหลายตัวแปร เพื่อจับกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กัน โดยอาศัยหลักการความสัมพันธ์เชิงเส้นของของตัวแปร และทำการผนวกความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear Combination) ของตัวแปร โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA จะทำการสร้าง Component ที่ประกอบไปด้วยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กัน โดยตัวแปรจะถูกจัดอยู่ใน Component เดียวเท่านั้น ซึ่งแต่ละ Component นั้นจะไม่มีความสัมพันธ์กันเลย โดยในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละอองด้วยเทคนิค PCA

เพื่อจัดกลุ่มโลหะในฝุ่นละอองที่มีความสัมพันธ์กัน และระบุแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะกลุ่มนั้น ๆ โดยทำการอ้างอิงจากข้อมูลและการศึกษาที่ผ่านมา (แสงสุรีย์ ศรีสะอาด, 2559) โดยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค PCA จากโปรแกรม SPSS Statistics version 22

3.6.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.6.2.1 สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการกระจายของข้อมูลทั่วไป เช่น ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.6.2.2 สถิติเชิงวิเคราะห์ (Analytical statistics)

1) วิเคราะห์ความแตกต่างความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ รวมถึงความเข้มข้นโลหะในฝุ่นละอองทั้ง 2 ขนาด ในแต่ละระดับความสูง โดยใช้สถิติ One-Way ANOVA

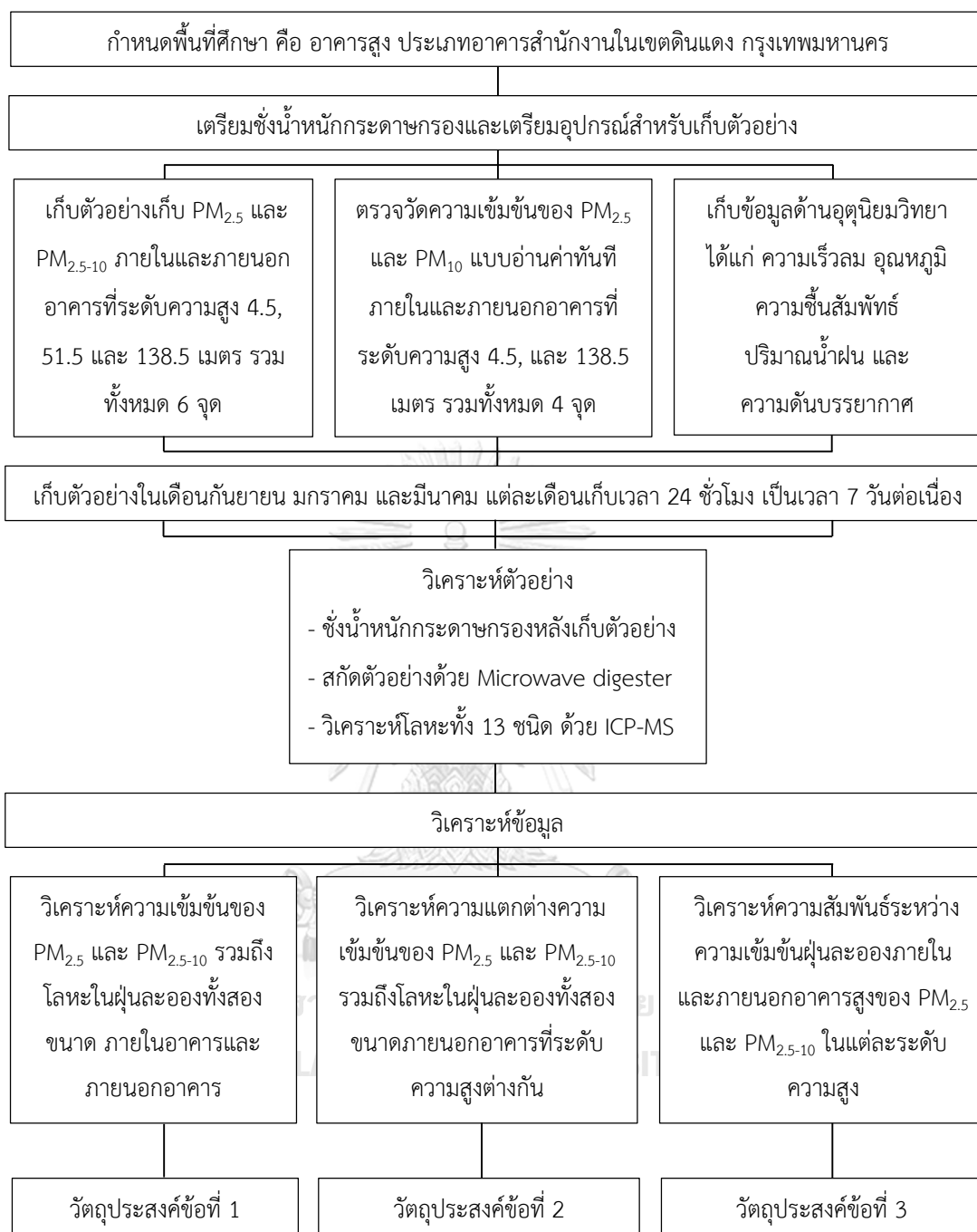
2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ โดยใช้สถิติ Pearson correlation

3) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ภายนอกอาคารกับปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยา โดยใช้สถิติ Pearson correlation และ Multiple linear regression

จากรายละเอียดวิธีการศึกษาตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปรายละเอียดของอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างในแต่ละขั้นตอนได้ดังตารางที่ 3.4 และสามารถสรุปแผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินการศึกษาได้ดังรูปที่ 3.6 อีกทั้ง ในการนำเสนอผลการศึกษาและอภิปรายผลในบทที่ 4 สามารถสรุปข้อมูลที่น่าสนใจในการวิเคราะห์และอภิปรายผลในแต่ละหัวข้อได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดของอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่าง	จุดเก็บตัวอย่าง	อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง
การเก็บตัวอย่าง PM _{2.5} และ PM _{2.5-10}	ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร	<ul style="list-style-type: none"> - เครื่อง Personal pump ยี่ห้อ SKC รุ่น PCXR8 ซึ่งปรับอัตราการไหลที่ 3 ลิตรต่อนาที - หัวคัดแยกขนาดฝุ่นละอองแบบ Personal Module Impactor (PMI) - ชุดวัดอัตราการไหล ยี่ห้อ TSI Model 4140 - กระจาดกรองชนิด PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 และ 37 มิลลิเมตร
	ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร	<ul style="list-style-type: none"> - เครื่อง Air sampling pump ยี่ห้อ SKC รุ่น Leland legacy ซึ่งปรับอัตราการไหลที่ 10 ลิตรต่อนาที - หัวคัดแยกขนาดฝุ่นละอองแบบ IMPACT Sampler PM Coarse - ชุดวัดอัตราการไหล ยี่ห้อ TSI Model 4140 - กระจาดกรองชนิด PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 และ 47 มิลลิเมตร
การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM _{2.5} และ PM ₁₀ แบบอ่านค่าทันที (Real-time)	ภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5, และ 138.5 เมตร	<ul style="list-style-type: none"> - เครื่องตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองแบบอ่านค่าทันที (Real-time) ยี่ห้อ Aeroqual Series 500
การเก็บข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา	ชั้นดาดฟ้าของอาคารพื้นที่ศึกษาที่ระดับความสูง 150 เมตร	<ul style="list-style-type: none"> - ชุดตรวจวัดสภาพอุตุนิยมวิทยาของ DAVIS INSTRUMENT รุ่น Vantage PRO2



รูปที่ 3.6 รายละเอียดและลำดับขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์และอภิปรายผลในแต่ละหัวข้อของบทที่ 4

ลักษณะข้อมูล	หัวข้อผลการศึกษาและอภิปรายผล
- ข้อมูลปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา	- 4.1 ข้อมูลปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา
- ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis และตรวจวัดด้วยวิธี Real-time	- 4.3. ความสัมพันธ์และร้อยละความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis และ Light scattering
- ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis	- 4.4 ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคาร - 4.5 ระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคาร
- ความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ตรวจวัดด้วยวิธี Real-time	- 4.6 การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในรอบวัน
- ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ตรวจวัดด้วยวิธี Real-time ซึ่งทำการเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดระหว่างความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร	- 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา
- ข้อมูลปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา	
- ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของโลหะใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$	- 4.9 ระดับความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ - 4.10 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ - 4.11 การระบุแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ข้อมูลปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

ทำการศึกษาปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา โดยการตั้งสถานีเก็บข้อมูลบนชั้นดาดฟ้าของอาคารพื้นที่ศึกษา โดยข้อมูลที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน ความดันบรรยากาศ ความเร็วลม และทิศทางลม ซึ่งได้มีการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกับการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง โดยทำการเก็บข้อมูลเฉลี่ยทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 7 วัน ในช่วงฤดูฝน (ระหว่างวันที่ 23 - 29 กันยายน 2562) ฤดูหนาว (ระหว่างวันที่ 13 - 19 มกราคม 2563) และฤดูร้อน (ระหว่างวันที่ 2 - 8 มีนาคม 2563) โดยผลการตรวจวัดข้อมูลปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในระหว่างช่วงการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองปรากฏดังตารางที่ 4.1 (ข้อมูลโดยละเอียดปรากฏดังภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในระหว่างช่วงการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

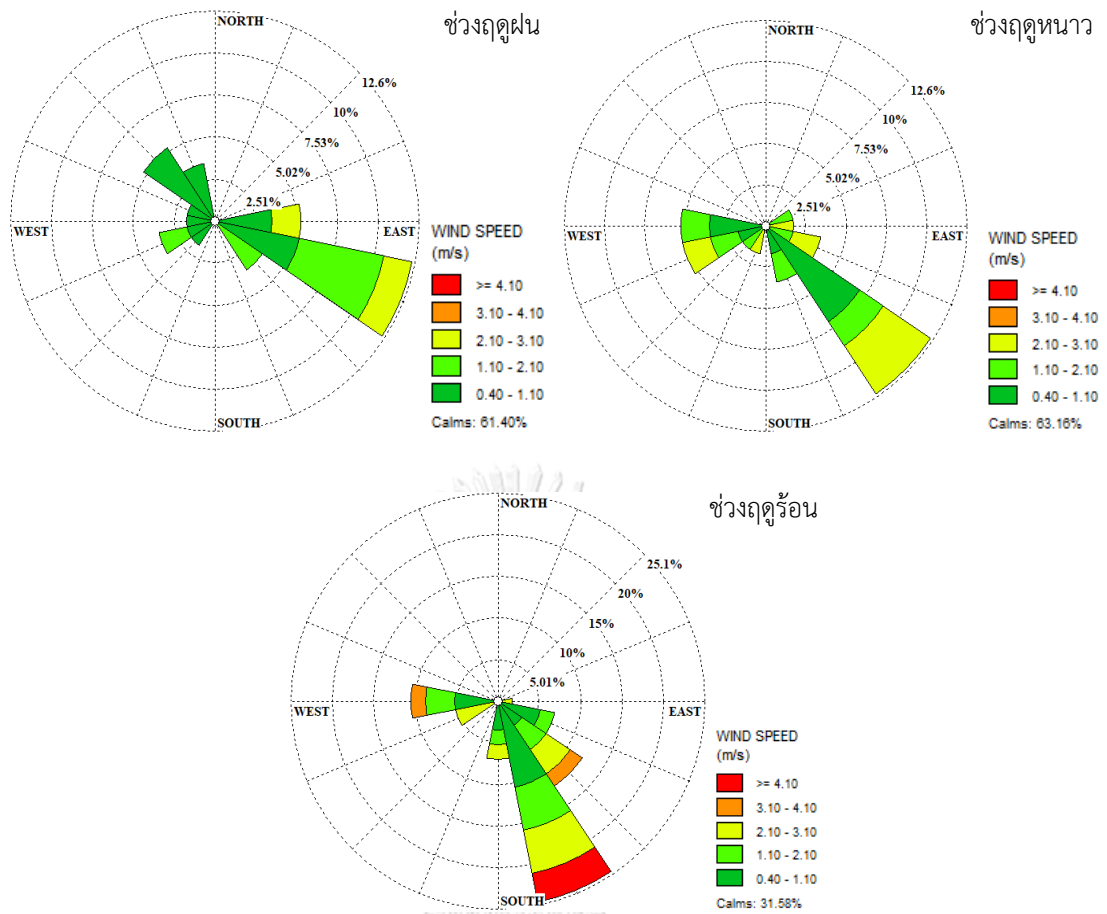
ปัจจัย	ช่วงฤดูฝน (23 - 29 กันยายน 2562)		ช่วงฤดูหนาว (13 - 19 มกราคม 2563)		ช่วงฤดูร้อน (2 - 8 มีนาคม 2563)	
	เฉลี่ย \pm SD (n = 162)	ค่าต่ำสุด - สูงสุด	เฉลี่ย \pm SD (n = 167)	ค่าต่ำสุด - สูงสุด	เฉลี่ย \pm SD (n = 153)	ค่าต่ำสุด - สูงสุด
อุณหภูมิ ($^{\circ}$ C)	29.9 \pm 2.9	24.3 - 37.0	28.7 \pm 2.2	25.7 - 33.8	29.4 \pm 2.2	27.1 - 34.7
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	68.5 \pm 12.9	37.0 - 94.0	75.8 \pm 11.1	49.0 - 90.0	73.6 \pm 10.9	37.0 - 87.0
ความดันบรรยากาศ (mmHg)	747.7 \pm 1.0	745.5 - 749.7	747.0 \pm 1.1	744.2 - 749.7	746.0 \pm 1.4	749.2 - 743.1
ความเร็วลม (m/s)	0.9 \pm 0.6	0.0 - 2.7	0.7 \pm 0.4	0.0 - 3.1	1.3 \pm 0.3	0.4 - 2.2
ปริมาณน้ำฝน (mm)	24.4	0.0 - 22.1	0.0	-	0.0	-

หมายเหตุ: ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายงานในลักษณะปริมาณน้ำฝนรวมตลอดช่วงการเก็บตัวอย่าง

จากผลการตรวจวัดปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในระหว่างการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง พบว่าในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน มีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24.3 - 37.0, 25.7 - 33.8 และ 27.1 - 34.7 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยกับ 29.9 \pm 2.9, 28.7 \pm 2.2 และ 29.4 \pm 2.2 องศาเซลเซียสตามลำดับ ความชื้นสัมพัทธ์ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 37.0 - 94.0, 49.0 - 90.0 และ 37.0 - 87.0 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 68.5 \pm 12.9, 75.8 \pm 11.1 และ 73.4 \pm 11.1 ตามลำดับ ความดัน

บรรยากาศ มีค่าอยู่ในช่วง 745.5 - 749.7, 744.2 - 749.7 และ 749.2 - 743.1 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 747.7 ± 1.0 , 747.0 ± 1.1 และ 746.0 ± 1.4 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ ความเร็วลม มีค่าอยู่ในช่วง 0.0 - 2.7, 0.0 - 3.1 และ 0.4 - 2.2 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.9 ± 0.6 , 0.7 ± 0.4 และ 1.3 ± 0.3 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และปริมาณน้ำฝนรวมในช่วงฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง 0.0 - 22.1 มิลลิเมตร และมีปริมาณรวมเท่ากับ 24.4 มิลลิเมตร และตรวจไม่พบปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน เมื่อนำปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา มาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละช่วงฤดูกาล ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่า อุณหภูมิในช่วงฤดูหนาวแตกต่างกับช่วงฤดูร้อนและฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ในขณะที่ช่วงฤดูฝนและฤดูร้อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงฤดูฝนแตกต่างกับฤดูหนาวและฤดูร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ในขณะที่ช่วงฤดูหนาวกับช่วงฤดูร้อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ส่วนความดันบรรยากาศ และความเร็วลมแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

จากข้อมูลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางลมจากสถานี 455201 กรุงเทพมหานครที่ปรากฏดังรูปที่ 4.1 (ข้อมูลสัดส่วนความเร็วลมปรากฏดังภาคผนวก ก) พบว่า ระหว่างช่วงการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในฤดูฝน (ระหว่างวันที่ 23 - 29 กันยายน 2562) มีทิศทางลมส่วนใหญ่พัดผ่านมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไปทางตะวันออกเฉียง (ESE) ร้อยละ 12.3 รองลงมาคือ ทิศตะวันออกเฉียง (E) และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) ร้อยละ 5.3 และ 5.3 ตามลำดับ โดยมีความเร็วลมส่วนใหญ่เป็นลมสงบ คิดเป็นร้อยละ 61.4 รองลงมาอยู่ในช่วง 0.40 - 1.10 เมตรต่อวินาที คิดเป็นร้อยละ 24.6 สำหรับในช่วงฤดูหนาว (ระหว่างวันที่ 13 - 19 มกราคม 2563) มีทิศทางลมส่วนใหญ่พัดผ่านมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) ร้อยละ 12.3 รองลงมาคือ ทิศตะวันตก (W) และตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางตะวันตก (WSW) ร้อยละ 5.3 และ 5.3 ตามลำดับ โดยมีความเร็วลมส่วนใหญ่เป็นลมสงบ คิดเป็นร้อยละ 63.2 รองลงมาอยู่ในช่วง 0.40 - 1.10 เมตรต่อวินาที คิดเป็นร้อยละ 14.0 ส่วนในช่วงฤดูร้อน (ระหว่างวันที่ 2 - 8 มีนาคม 2563) มีทิศทางลมส่วนใหญ่พัดผ่านมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไปใต้ (SSE) ร้อยละ 24.6 รองลงมาคือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) และทิศตะวันตก (W) ร้อยละ 12.3 และ 10.5 ตามลำดับ โดยมีความเร็วลมส่วนใหญ่เป็นลมสงบ คิดเป็นร้อยละ 31.6 รองลงมาอยู่ในช่วง 0.40 - 1.10 เมตรต่อวินาที คิดเป็นร้อยละ 28.1

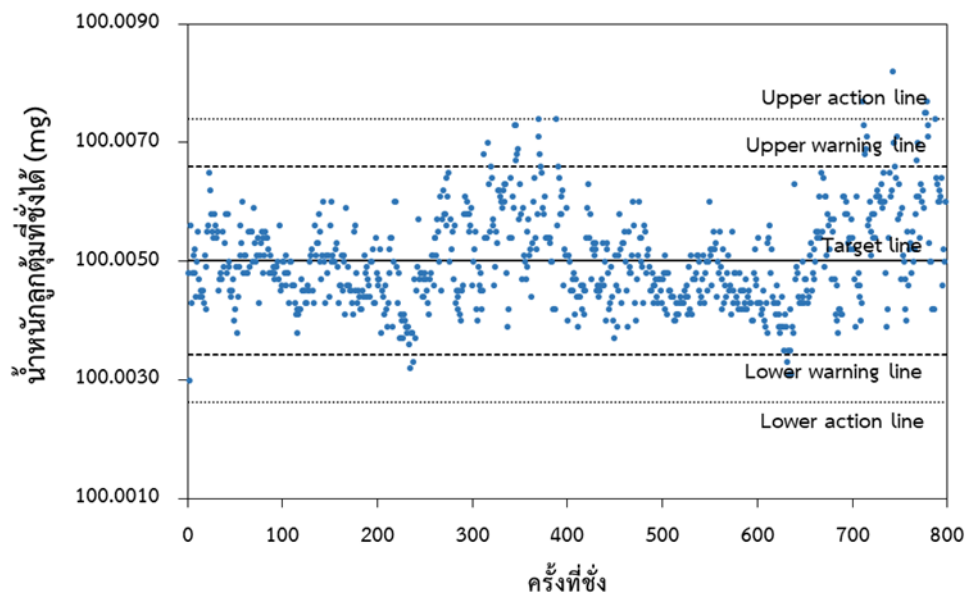


รูปที่ 4.1 ผังแสดงความเร็วลมและทิศทางลมระหว่างช่วงการเก็บตัวอย่าง

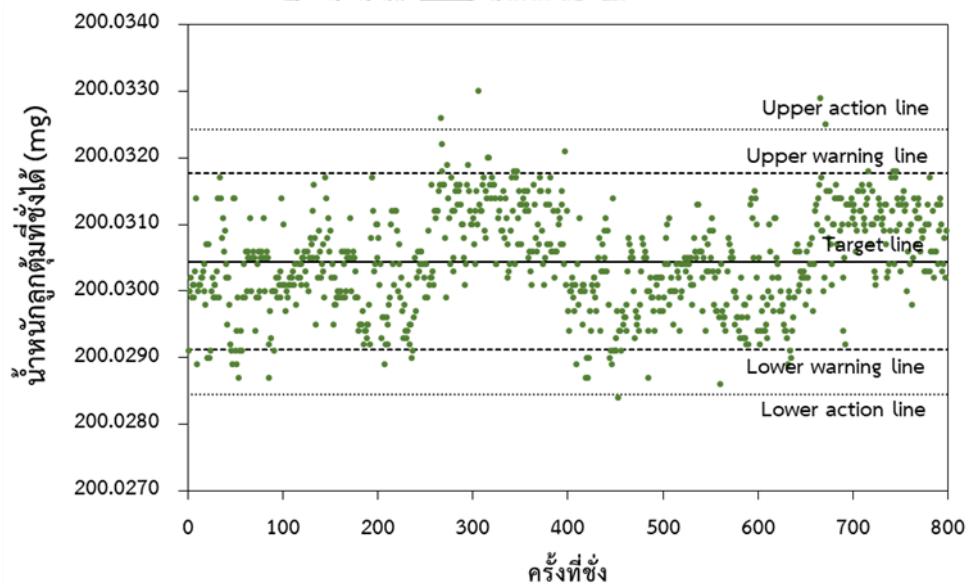
จากสถานี 455201 กรุงเทพมหานคร

4.2 การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละออง

ทำการควบคุมคุณภาพการชั่งน้ำหนักกระตาชกรองด้วยการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนัก โดยการนำลูกตุ้มมาตรฐานขนาด 100 และ 200 มิลลิกรัม มาชั่งก่อนและหลังการชั่งกระตาชกรองทุกครั้ง จากนั้นนำค่าน้ำหนักของลูกตุ้มมาตรฐานที่ชั่งได้มาสร้าง Shewhart control chart เพื่อทดสอบความเที่ยงตรงและแม่นยำของเครื่องชั่งน้ำหนัก โดยพิจารณาค่าน้ำหนักของลูกตุ้มมาตรฐานที่อยู่ในช่วง Warning line ($\mu \pm 2SD$) และ Action line ($\mu \pm 3SD$) โดย μ คือ ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐานที่ชั่งได้ และ SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐานที่ชั่งได้ ผลการวิเคราะห์ปรากฏดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 Control chart แสดงน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 100 มิลลิกรัมจากการชั่ง



รูปที่ 4.3 Control chart แสดงน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 200 มิลลิกรัมจากการชั่ง

จากผลการชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 100 มิลลิกรัม จำนวน 798 ครั้ง พบว่า มีค่า Target line (μ) เท่ากับ 100.0050 ± 0.0008 มิลลิกรัม และมีค่า Warning line ($\mu \pm 2SD$) เท่ากับ 100.0034 และ 100.0066 มิลลิกรัม ส่วน Action line ($\mu \pm 3SD$) มีค่าเท่ากับ 100.0026 และ 100.0074 มิลลิกรัม โดยผลการชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 100 มิลลิกรัม มีค่าอยู่ในช่วง Warning line ($\mu \pm 2SD$) จำนวน 764 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 95.74 และมีค่าอยู่ในช่วง Action line ($\mu \pm 3SD$)

จำนวน 793 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 99.37 สำหรับผลการชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 200 มิลลิกรัม จำนวน 798 ครั้ง พบว่า มีค่า Target line (μ) เท่ากับ 200.0304 ± 0.0007 มิลลิกรัม และมีค่า Warning line ($\mu \pm 2SD$) เท่ากับ 200.0291 และ 200.0318 มิลลิกรัม ส่วน Action line ($\mu \pm 3SD$) มีค่าเท่ากับ 200.0285 และ 200.0324 มิลลิกรัม โดยผลการชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 200 มิลลิกรัม มีค่าอยู่ในช่วง Warning line ($\mu \pm 2SD$) จำนวน 766 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 95.99 และมีค่าอยู่ในช่วง Action line ($\mu \pm 3SD$) จำนวน 792 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 99.25 จากผลการควบคุมคุณภาพการชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง โดยการชั่งน้ำหนักลูกตุ้มมาตรฐาน 100 และ 200 มิลลิกรัม พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนจากช่วง Warning line ($\mu \pm 2SD$) และ Action line ($\mu \pm 3SD$) ไม่เกินร้อยละ 5 ซึ่งเป็นผลที่ยอมรับได้ทางสถิติ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การชั่งน้ำหนักกระดาษกรองในการศึกษาครั้งนี้ให้ผลที่มีความเที่ยงตรงและแม่นยำ

4.3. ความสัมพันธ์และร้อยละความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis และ Light scattering

การศึกษานี้ได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} แบบอ่านค่าทันที (Real-time) ที่วิเคราะห์ด้วยหลักการ Light scattering เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดในรอบวัน โดยทำการตรวจวัดควบคู่กับการเก็บตัวอย่างที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis บริเวณภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร รวมจุดตรวจวัดทั้งสิ้น 4 จุด ทั้งนี้ ได้นำค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis และ Light scattering มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติ Pearson correlation อีกทั้ง ทำการวิเคราะห์ร้อยละความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Light scattering เทียบกับวิธี Gravimetric analysis โดยผลการวิเคราะห์เป็นดังต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis และ Light scattering ปรากฏดังตารางที่ 4.2 พบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis และ Light scattering มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 ($p < 0.01$) โดยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในและภายนอกอาคาร มีค่าเท่ากับ 0.935 และ 0.970 ตามลำดับ และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ PM_{10} ภายในและภายนอกอาคาร มีค่าเท่ากับ 0.890 และ 0.931 ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์ร้อยละความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Light scattering เทียบกับวิธี

Gravimetric analysis ปรากฏดังตารางที่ 4.3 พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis ให้ผลที่มีค่าสูงกว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธี Light scattering โดยมีค่าสูงกว่าร้อยละ 24.0 ± 0.2 และ 23.0 ± 0.2 สำหรับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในและภายนอกอาคาร และมีค่าสูงกว่าร้อยละ 23.8 ± 0.2 และ 24.7 ± 0.2 สำหรับความเข้มข้นของ PM_{10} ภายในและภายนอกอาคาร จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ด้วยวิธี Gravimetric analysis และ Light scattering ให้ผลการวิเคราะห์ที่มีแนวโน้มสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงสามารถนำผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากทั้งสองวิธีมาศึกษาร่วมกันได้

ตารางที่ 4.2 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis และ Light scattering

จุดตรวจวัดและเก็บตัวอย่าง	$PM_{2.5}$		PM_{10}	
	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	p-value	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	p-value
ภายในอาคาร	0.935**	0.000	0.890**	0.000
ภายนอกอาคาร	0.970**	0.000	0.931**	0.000

หมายเหตุ: ** มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

ตารางที่ 4.3 ผลวิเคราะห์ร้อยละความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Light scattering เทียบกับวิธี Gravimetric analysis

จุดตรวจวัดและเก็บตัวอย่าง	$PM_{2.5}$	PM_{10}
	ร้อยละความแตกต่าง \pm SD	ร้อยละความแตกต่าง \pm SD
ภายในอาคาร	24.0 ± 0.2	23.8 ± 0.2
ภายนอกอาคาร	23.0 ± 0.2	24.7 ± 0.2

หมายเหตุ: การวิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis ให้ค่าสูงกว่าวิธี Light scattering

4.4 ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคาร

ทำการศึกษาความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคารที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis บริเวณอาคารสูง ประเภทอาคารสำนักงานแห่งหนึ่งในพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 3 ระดับ ได้แก่ 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร รวมจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองทั้งหมด 3 จุด และทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

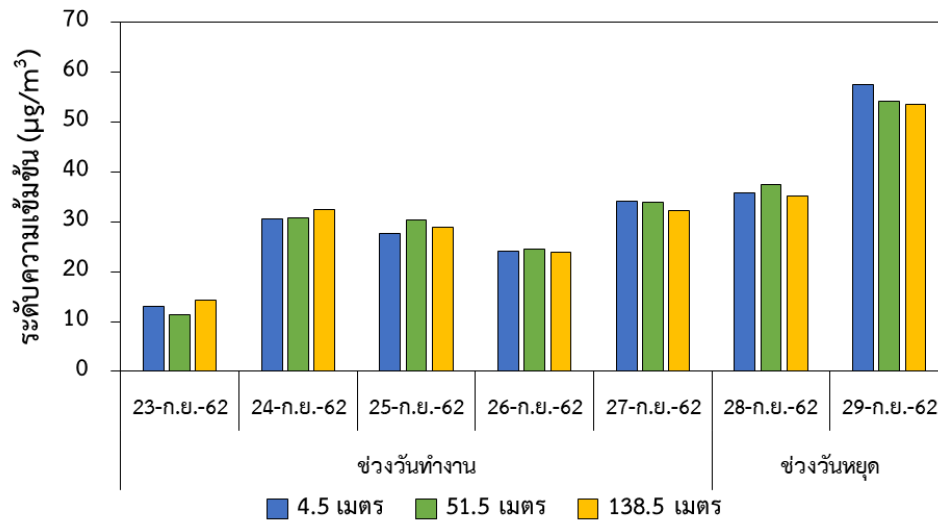
ต่อเนื่อง 7 วัน ในช่วงฤดูฝน (ระหว่างวันที่ 23 - 29 กันยายน 2562) ฤดูหนาว (ระหว่างวันที่ 13 - 19 มกราคม 2563) และฤดูร้อน (ระหว่างวันที่ 2 - 8 มีนาคม 2563) โดยผลการศึกษาเป็นดังต่อไปนี้

4.4.1 ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของ PM_{2.5} ภายนอกอาคาร

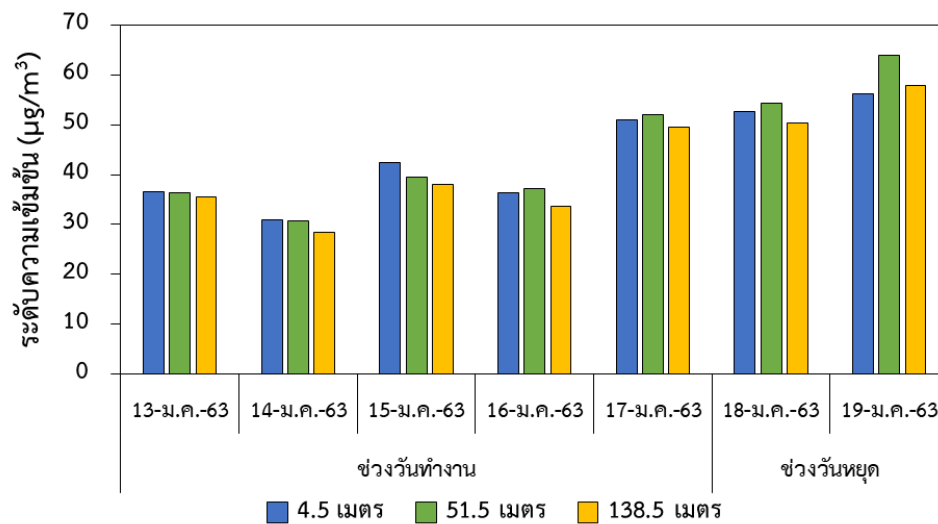
ทำการศึกษาความเข้มข้นของ PM_{2.5} ภายนอกอาคารที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis โดยทำการเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ที่ระดับความสูงจากพื้นดินสามระดับ ได้แก่ 4.5 51.5 และ 138.5 เมตร รวมจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมดสามจุด เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 7 วัน ในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน รวมตัวอย่างทั้งหมด 63 ตัวอย่าง โดยผลการศึกษาเป็นดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM_{2.5} ภายนอกอาคาร ปรากฏดังรูปที่ 4.4 - 4.7 (ข้อมูลโดยละเอียดปรากฏดังภาคผนวก ข) พบว่า ในช่วงฤดูฝน มีค่าความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร อยู่ในช่วง 13.1 - 57.5, 11.3 - 54.2 และ 14.2 - 53.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.9 ± 13.6 , 31.9 ± 13.0 และ 31.5 ± 12.0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแนวโน้มความเข้มข้นของ PM_{2.5} ทั้งสามระดับความสูง ระหว่างช่วงวันทำงาน (วันจันทร์ - วันศุกร์) และวันหยุด (วันเสาร์ และอาทิตย์) พบว่า มีแนวโน้มที่ไม่แตกต่างกันระหว่างช่วงวันทำงานและช่วงวันหยุด โดยในวันที่ 23 กันยายน 2562 ตรวจพบปริมาณน้ำฝนรวมเท่ากับ 24.4 มิลลิเมตร ส่งผลให้ PM_{2.5} มีความเข้มข้นต่ำในวันดังกล่าว ในขณะที่วันอื่น ๆ ไม่ได้รับอิทธิพลจากปริมาณน้ำฝน สำหรับในวันที่ 29 กันยายน 2562 ที่พบความเข้มข้นสูงกว่าวันอื่น เนื่องจากช่วงปลายเดือนกันยายนได้รับอิทธิพลจากความกดอากาศสูงกำลังปานกลางจากประเทศจีนที่ปกคลุมประเทศไทยตอนบน (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2563b) ส่งผลให้กรุงเทพมหานครมีสภาพอากาศที่มีลักษณะคงตัว ฝุ่นละอองจึงไม่สามารถแพร่กระจายได้ดีและเกิดการสะสมในวันดังกล่าว สำหรับในช่วงฤดูหนาว มีค่าความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร อยู่ในช่วง 30.9 - 56.3, 30.7 - 63.8 และ 28.4 - 57.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43.71 ± 9.68 , 44.9 ± 12.0 และ 41.9 ± 10.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยช่วงฤดูหนาวมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM_{2.5} ทั้งสามระดับความสูง ระหว่างช่วงวันทำงานและช่วงวันหยุดไม่แตกต่างกัน ส่วนในช่วงฤดูร้อน มีค่าความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร อยู่ในช่วง 12.8 - 29.2, 10.7 - 27.6 และ 12.0 - 25.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.6 ± 5.8 , 16.9 ± 6.4 และ 17.0 ± 5.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยช่วงฤดูร้อนมีแนวโน้มความเข้มข้นของ PM_{2.5} ทั้งสามระดับความสูง ระหว่างช่วงวันทำงานและช่วงวันหยุดไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกัน สำหรับวันที่ 8 มีนาคม 2563 พบว่ามีความเข้มข้นสูงกว่าวันอื่น ๆ อาจเนื่องจากช่วงการเก็บตัวอย่าง

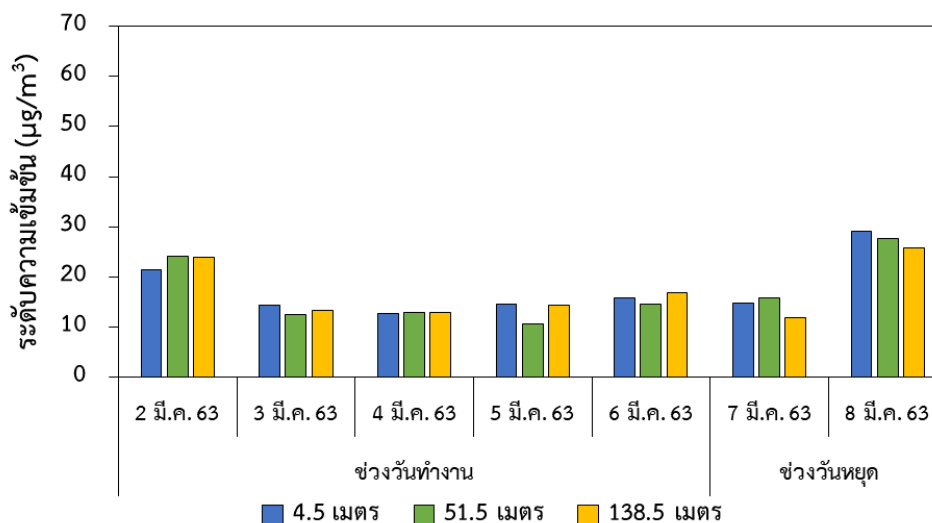
ฝุ่นละอองมีการคาบเกี่ยวช่วงเช้าของวันถัดไปซึ่งเป็นช่วงเวลาเร่งด่วนของวันทำงาน จึงส่งผลให้วันดังกล่าวมีความเข้มข้นสูงขึ้น



รูปที่ 4.4 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM_{2.5} ภายนอกอาคาร ในช่วงฤดูฝน

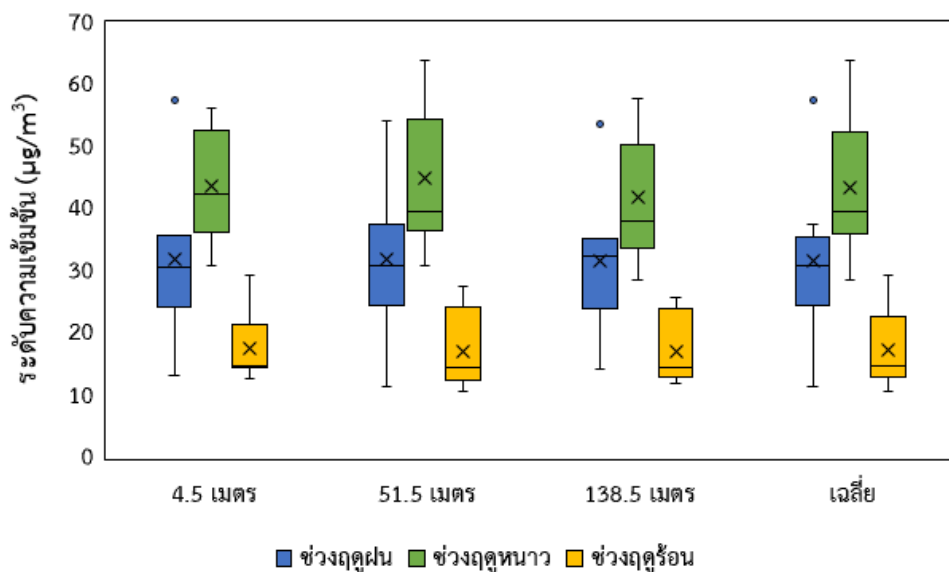


รูปที่ 4.5 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM_{2.5} ภายนอกอาคาร ในช่วงฤดูหนาว



รูปที่ 4.6 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM_{2.5} ภายนอกอาคาร ในช่วงฤดูร้อน

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างของ PM_{2.5} ที่ปรากฏดังรูปที่ 4.6 พบว่า ความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่ความสูงทั้งสามระดับ มีแนวโน้มสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน โดยทั้งสามระดับความสูงมีความเข้มข้นสูงสุดในช่วงฤดูหนาว รองลงมาได้แก่ ฤดูฝน และฤดูร้อน ตามลำดับ เมื่อนำความเข้มข้นของ PM_{2.5} แต่ละระดับความสูงมาเฉลี่ยรวมทั้งสามระดับแล้วนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละช่วงฤดูกาล ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_{2.5} รวมทั้งสามระดับความสูง แตกต่างกันทั้งสามฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) โดยช่วงฤดูหนาวมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ฤดูฝน และฤดูร้อน ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43.5 ± 10.7 , 31.7 ± 12.8 และ 17.1 ± 5.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

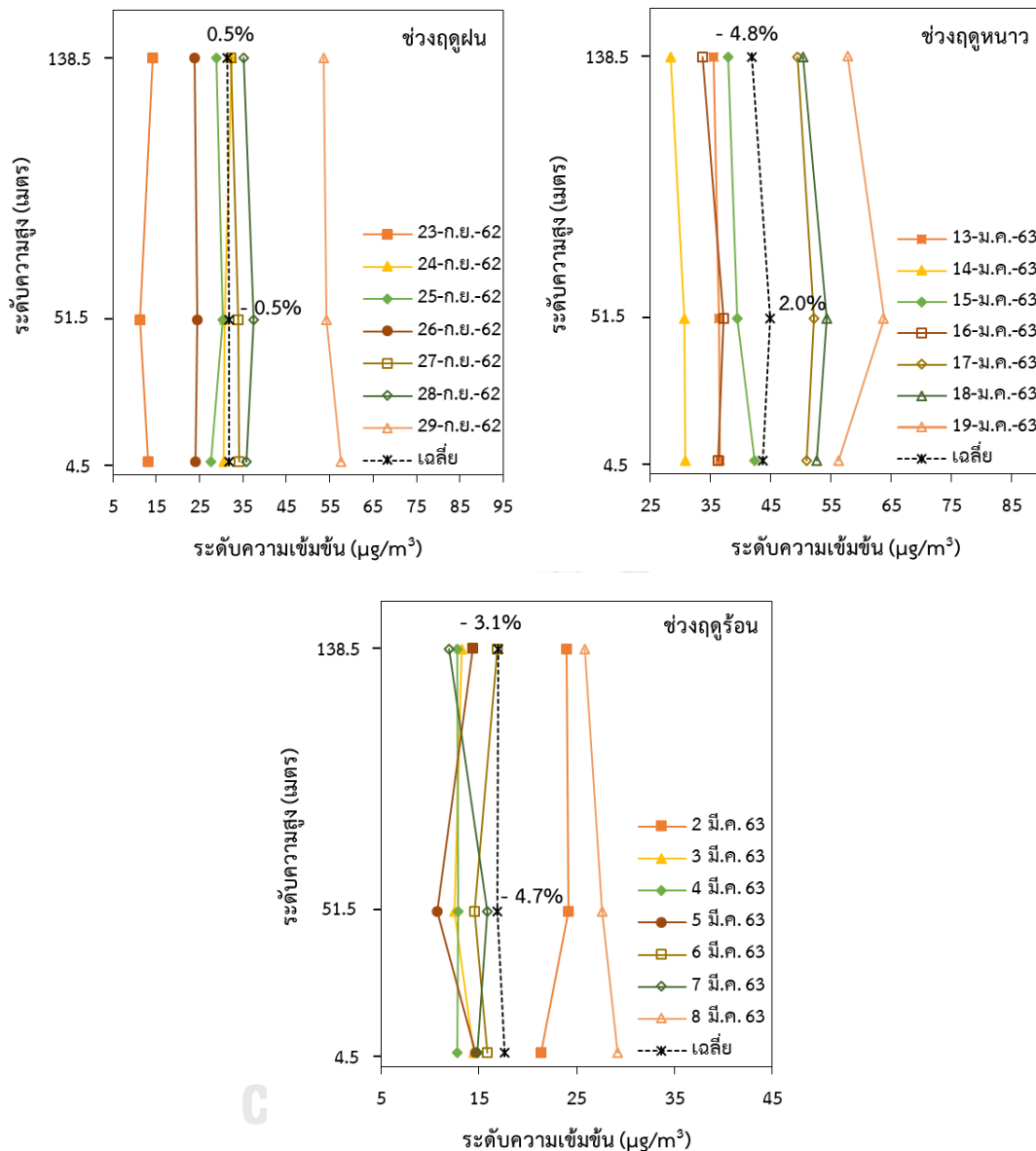


รูปที่ 4.7 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างของ PM_{2.5}

แนวโน้มความเข้มข้นของ PM_{2.5} ตามฤดูกาลในการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่พบว่า PM_{2.5} ในบรรยากาศ บริเวณพื้นที่เขตเมือง Wuhan ประเทศจีน มีความเข้มข้นสูงที่สุดในช่วงฤดูหนาว และมีความเข้มข้นต่ำที่สุดในช่วงฤดูร้อน (Gong et al., 2015; Xu et al., 2017a) เช่นเดียวกับที่เมือง Nanjing ประเทศจีน ที่พบว่า PM_{2.5} ในบรรยากาศช่วงฤดูหนาวมีความเข้มข้นมากกว่าช่วงฤดูร้อนทั้งในพื้นที่เขตเมืองและพื้นที่เขตอุตสาหกรรม (Chen et al., 2019) อีกทั้งการศึกษาของ Pandey et al. (2012) พบว่า PM_{2.5} ในบรรยากาศในเมือง Lucknow ประเทศอินเดีย มีความเข้มข้นสูงที่สุดในช่วงฤดูหนาวเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ ยังให้ผลที่สอดคล้องกับผลการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ (2562c) ที่ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ในบรรยากาศในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่า ความเข้มข้นของ PM_{2.5} มีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงฤดูหนาวของทุกปี (เดือนธันวาคม - กุมภาพันธ์) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ฤดูกาลที่แตกต่างกันส่งผลให้ PM_{2.5} มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยจะพบความเข้มข้นสูงที่สุดในช่วงฤดูหนาว เนื่องจากสภาพอากาศในช่วงฤดูหนาวมีลักษณะคงตัว ส่งผลให้ความปั่นป่วนของมวลอากาศตามแนวตั้งและแนวนอนลดลง ฝุ่นละอองในบรรยากาศจึงไม่สามารถแพร่กระจายได้ดีและเกิดการสะสมในช่วงดังกล่าว โดยเฉพาะ PM_{2.5} ที่สามารถสะสมในบรรยากาศได้นานในสภาพอากาศที่มีลักษณะคงตัว (Deshmukh et al., 2011; Gong et al., 2015; Pandey et al., 2012) ทั้งนี้ ในช่วงเดือนมกราคม 2563 ประเทศไทยตอนบนได้รับอิทธิพลจากความกดอากาศสูงจากประเทศจีน (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2563b) ประกอบกับผลการตรวจวัดอุณหภูมิในบรรยากาศชั้นบนของศูนย์ฝนหลวง สถานีสัตหีบ จังหวัดชลบุรี

ระหว่างช่วงการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในฤดูหนาว (ปรากฏดังภาคผนวก ค) แสดงให้เห็นถึงสภาวะการผกผันของอุณหภูมิ (Temperature inversion) ที่ระดับความสูงระหว่าง 500 - 1,000 เมตร (ศูนย์ฝนหลวง, 2563) โดยสภาวะดังกล่าวส่งผลให้สภาพอากาศในช่วงฤดูหนาวของกรุงเทพมหานครมีลักษณะคงตัว การไหลเวียนและถ่ายเทของมวลอากาศจึงเกิดได้ไม่ดี ส่งผลให้ $PM_{2.5}$ ไม่สามารถแพร่กระจายได้และเกิดการสะสมในบรรยากาศในช่วงดังกล่าว ในขณะที่ช่วงฤดูร้อนในเดือนมีนาคม 2563 ประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากหย่อมความกดอากาศต่ำ เนื่องจากความร้อนปกคลุมประเทศไทยตอนบน ส่งผลให้สภาพอากาศในหลายพื้นที่ของประเทศไทยรวมถึงพื้นที่กรุงเทพมหานครมีสภาพอากาศร้อน (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2563b) โดยสภาพอากาศดังกล่าวส่งผลให้อุณหภูมิพื้นผิวโลกสูงขึ้น มวลอากาศจึงเกิดการยกตัว เกิดการไหลเวียนและถ่ายเทอากาศของมวลอากาศได้ดี ฝุ่นละอองจึงสามารถแพร่กระจายและเกิดการเจือจางได้ดีในช่วงฤดูร้อน อีกทั้ง อิทธิพลจากความเร็วลมที่เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายและเจือจางฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยผลการตรวจวัดความเร็วลมที่ปรากฏดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่า ช่วงฤดูร้อนมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาได้แก่ ฤดูฝน และฤดูหนาว จะเห็นได้ว่า ความเร็วลมในช่วงฤดูร้อนมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายและเจือจาง $PM_{2.5}$ มากที่สุด รองลงมาได้แก่ ฤดูฝน และฤดูหนาว ดังนั้น จากอิทธิพลของสภาพอากาศและความเร็วลมตามที่ได้กล่าวไปข้างต้น จึงส่งผลให้กรุงเทพมหานครพบว่ามีค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ สูงที่สุดในช่วงฤดูหนาว และต่ำสุดในช่วงฤดูร้อน จึงกล่าวได้ว่า ฤดูกาลมีอิทธิพลต่อความแตกต่างความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในแต่ละช่วงฤดูกาล

ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นตามแนวตั้งเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ ปรากฏดังรูปที่ 4.8 พบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน มีแนวโน้มการลดลงตามระดับความสูงไม่ชัดเจน โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ ที่ระดับความสูง 51.5 เมตร มีแนวโน้มลดลงจากระดับความสูง 4.5 เมตร เฉลี่ยเพียงร้อยละ 0.5 และ 4.7 ในช่วงฤดูฝน และฤดูร้อน และเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 2.0 ในช่วงฤดูหนาว ส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากระดับความสูง 4.5 เมตร เฉลี่ยเพียงร้อยละ 0.5 ในช่วงฤดูฝน และมีแนวโน้มลดลงเพียงร้อยละ 4.8 และ 3.1 ในช่วงฤดูหนาว และฤดูร้อน ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM_{2.5}

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Zauli Sajani et al. (2018) ที่พบว่า ความเข้มข้นของ PM_{2.5} บริเวณอาคารสูง ในเมือง Bologna ประเทศอิตาลี มีแนวโน้มลดลงที่ระดับความสูง 65 เมตร ร้อยละ 11.0 ในช่วงฤดูหนาว และร้อยละ 4.0 ในช่วงฤดูร้อน สำหรับการศึกษาในเมือง Nanjing ประเทศจีน พบว่า ความเข้มข้นของ PM_{2.5} บริเวณอาคารที่ตั้งอยู่ติดถนนที่มีอาคารปิดทึบ ถนนทั้งสองฝั่ง (Street canyon) มีแนวโน้มลดลงที่ระดับความสูง 100 เมตร ร้อยละ 7.0, 12.9, 18.1 และ 19.2 ในช่วงฤดูใบไม้ผลิ ฤดูร้อน ฤดูใบไม้ร่วง และฤดูหนาว ตามลำดับ (Liu et al., 2018a) นอกจากนี้ การศึกษาของ Chan et al. (2005) ที่ทำการศึกษาระดับความเข้มข้นตามแนวตั้ง

ของ $PM_{2.5}$ ระหว่างเดือนสิงหาคม บริเวณหออุตินิยมวิทยาที่มีอาคารอยู่บริเวณใกล้เคียง ในเมือง Beijing ประเทศจีน พบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ระดับความสูง 100 เมตร มีแนวโน้มลดลงจากระดับความสูง 8 เมตร ประมาณร้อยละ 16.0 อีกทั้ง การศึกษาของ Sasaki and Sakamoto (2005) ที่ทำการศึกษในเมือง Osaka ประเทศญี่ปุ่น พบว่า $PM_{2.5}$ บริเวณอาคารสูงที่ระดับพื้นดินมีความเข้มข้นมากกว่าที่ระดับความสูง 200 เมตร ร้อยละ 23.0 จากการศึกษาที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีแนวโน้มลดลงตามระดับความสูงแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของลักษณะพื้นที่ศึกษา ลักษณะสภาพอากาศ แหล่งกำเนิดบริเวณใกล้เคียง และอิทธิพลจากอาคารบริเวณใกล้เคียงที่ส่งผลให้เกิดการสะสมของฝุ่นละอองที่ระดับพื้นดินบริเวณพื้นที่ศึกษา อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีแนวโน้มลดลงตามระดับความสูงไม่มากนัก ทั้งนี้ ผลการศึกษาของ Chan et al. (2000) ยังชี้ให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ บริเวณอาคารที่ตั้งอยู่ในพื้นที่เปิดโล่งไม่มีแนวโน้มลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ บริเวณอาคารที่ตั้งอยู่ติดถนนที่มีอาคารปิดทึบถนนทั้งสองฝั่ง (Street canyon) ได้รับอิทธิพลจากกระแสลมวน ส่งผลให้ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากการจราจรบริเวณใกล้เคียงไม่สามารถแพร่กระจายได้ดีและเกิดการสะสมที่ระดับพื้นดิน จึงส่งผลให้ $PM_{2.5}$ ที่ระดับพื้นดินมีความเข้มข้นสูงกว่าบรรยากาศชั้นบน จึงกล่าวได้ว่า ลักษณะพื้นที่โดยรอบของอาคาร ถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายตามแนวตั้งของฝุ่นละออง ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาบริเวณอาคารสูงที่ตั้งอยู่ในพื้นที่เปิดโล่ง จึงไม่ได้รับอิทธิพลจากกระแสลมวนเช่นเดียวกับพื้นที่ที่มีอาคารปิดทึบทั้งสองฝั่งถนน นอกจากนี้ ผลการศึกษานี้ยังให้ผลที่สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Choomanee et al. (2020) ที่ทำการศึกษาระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของ $PM_{2.5}$ บริเวณหอตรวจวัดมลพิษทางอากาศที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร ระหว่างวันที่ 15 กรกฎาคม - 15 กันยายน 2558 โดยพบว่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ระดับความสูง 30, 75 และ 110 เมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.21 ± 2.45 , 8.12 ± 3.65 และ 9.03 ± 3.93 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมากนักในแต่ละระดับความสูง

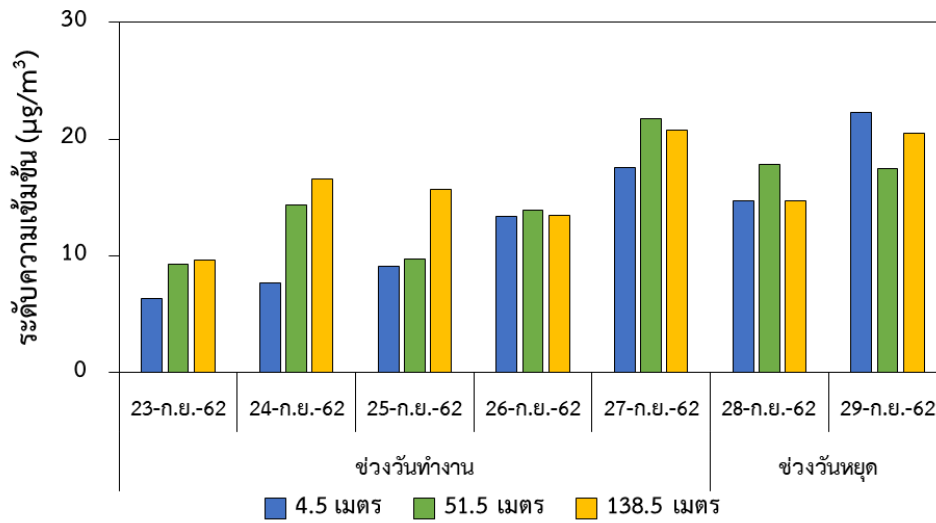
เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ความสูงทั้งสามระดับ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ความสูงทั้งสามระดับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ทั้งในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ความสูงทั้งสามระดับมีค่าไม่แตกต่างกัน และฤดูกาลที่แตกต่างกันของกรุงเทพมหานครไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ความสูงทั้งสามระดับ นอกจากนี้ยังพบว่า อิทธิพลจากความกดอากาศสูงจากประเทศจีนและการผกผันของอุณหภูมิในช่วงฤดูหนาว ไม่ได้มีอิทธิพลต่อความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ความสูงทั้ง

สามารถบ่งชี้อย่างเด่นชัด เนื่องจาก $PM_{2.5}$ สามารถสะสมในบรรยากาศได้นานในสภาพอากาศที่มีลักษณะคงตัว (Deshmukh et al., 2011)

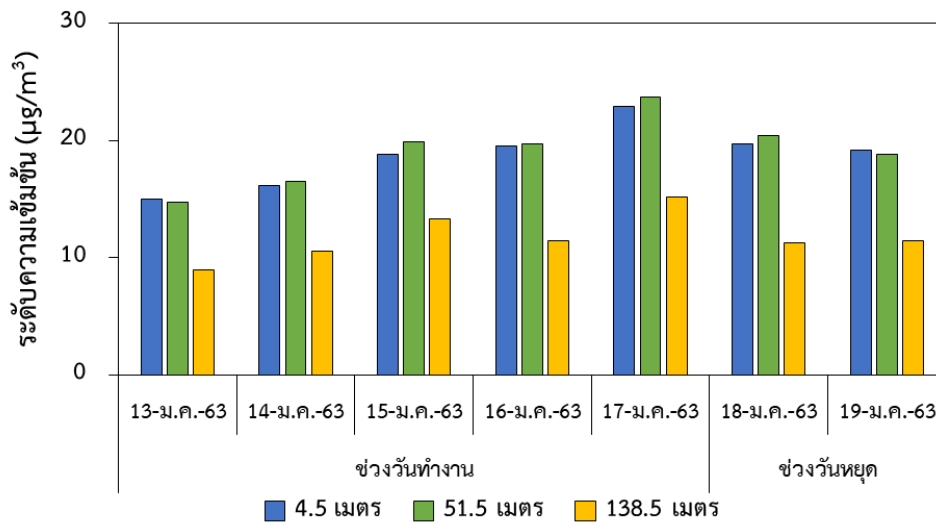
4.4.2 ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของ $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคาร

ทำการศึกษาความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคารที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis โดยทำการเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5-10}$ ที่ระดับความสูงจากพื้นดินสามระดับ ได้แก่ 4.5 51.5 และ 138.5 เมตร รวมจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมดสามจุด เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 7 วัน ในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน รวมตัวอย่างทั้งหมด 63 ตัวอย่าง โดยผลการศึกษาเป็นดังต่อไปนี้

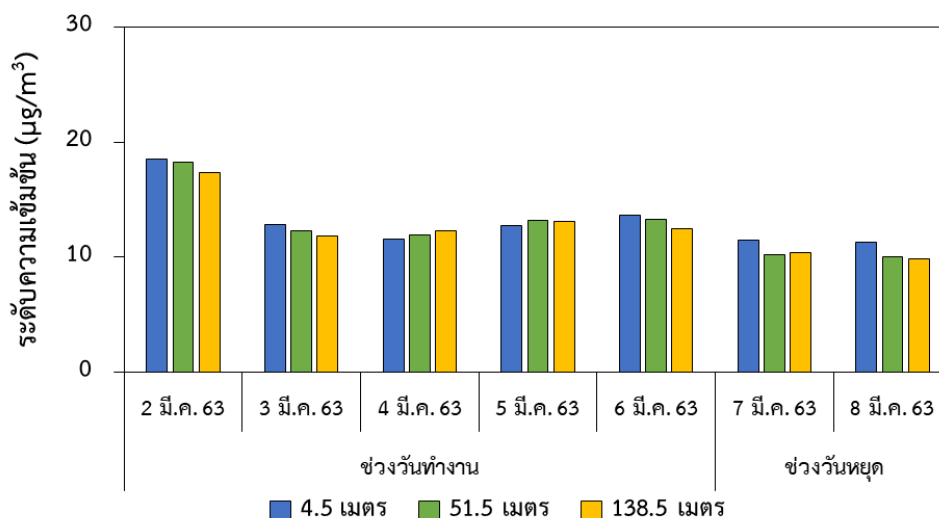
ผลการศึกษาความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคาร ปรากฏดังรูปที่ 4.9 - 4.12 (ข้อมูลโดยละเอียดปรากฏดังภาคผนวก ข) พบว่า ในช่วงฤดูฝน มีค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร อยู่ในช่วง 6.4 - 22.3, 9.3 - 21.8 และ 9.6 - 20.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.0 ± 5.7 , 14.9 ± 4.5 และ 15.9 ± 3.9 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ส่วนในช่วงฤดูหนาว มีค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร อยู่ในช่วง 15.0 - 22.9, 14.7 - 23.7 และ 9.0 - 15.1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.7 ± 2.6 , 19.1 ± 2.9 และ 11.7 ± 2.0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และสำหรับในช่วงฤดูร้อน มีค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร อยู่ในช่วง 11.3 - 18.6, 10.0 - 18.2 และ 9.9 - 17.3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.2 ± 2.5 , 12.7 ± 2.7 และ 12.5 ± 2.4 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแนวโน้มความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ทั้งสามระดับความสูงในช่วงวันทำงานและช่วงวันหยุด พบว่า ในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน มีแนวโน้มความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ทั้งสามระดับความสูงไม่แตกต่างกันอย่างเด่นชัดระหว่างช่วงวันทำงานและช่วงวันหยุด



รูปที่ 4.9 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM_{2.5-10} ภายนอกอาคาร ในช่วงฤดูฝน

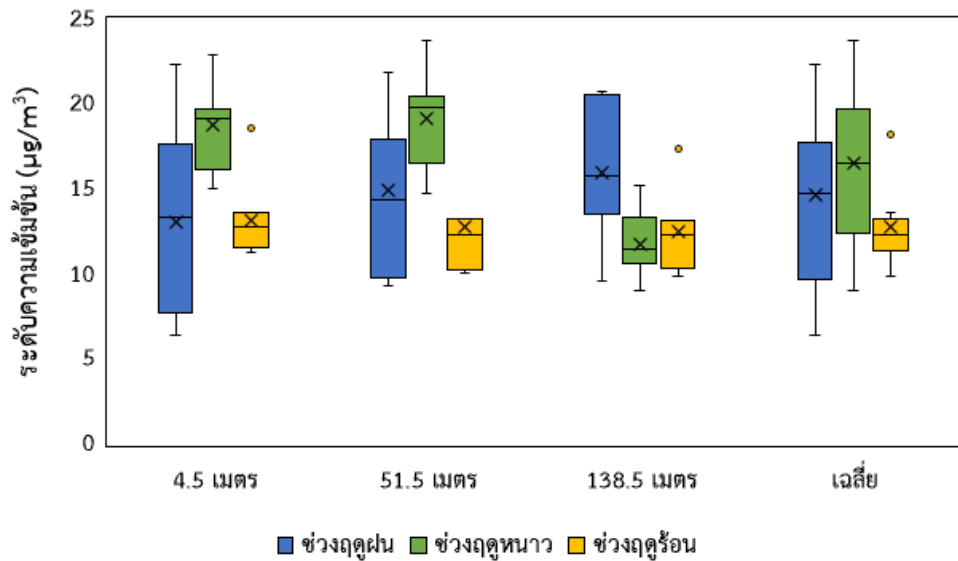


รูปที่ 4.10 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM_{2.5-10} ภายนอกอาคาร ในช่วงฤดูหนาว



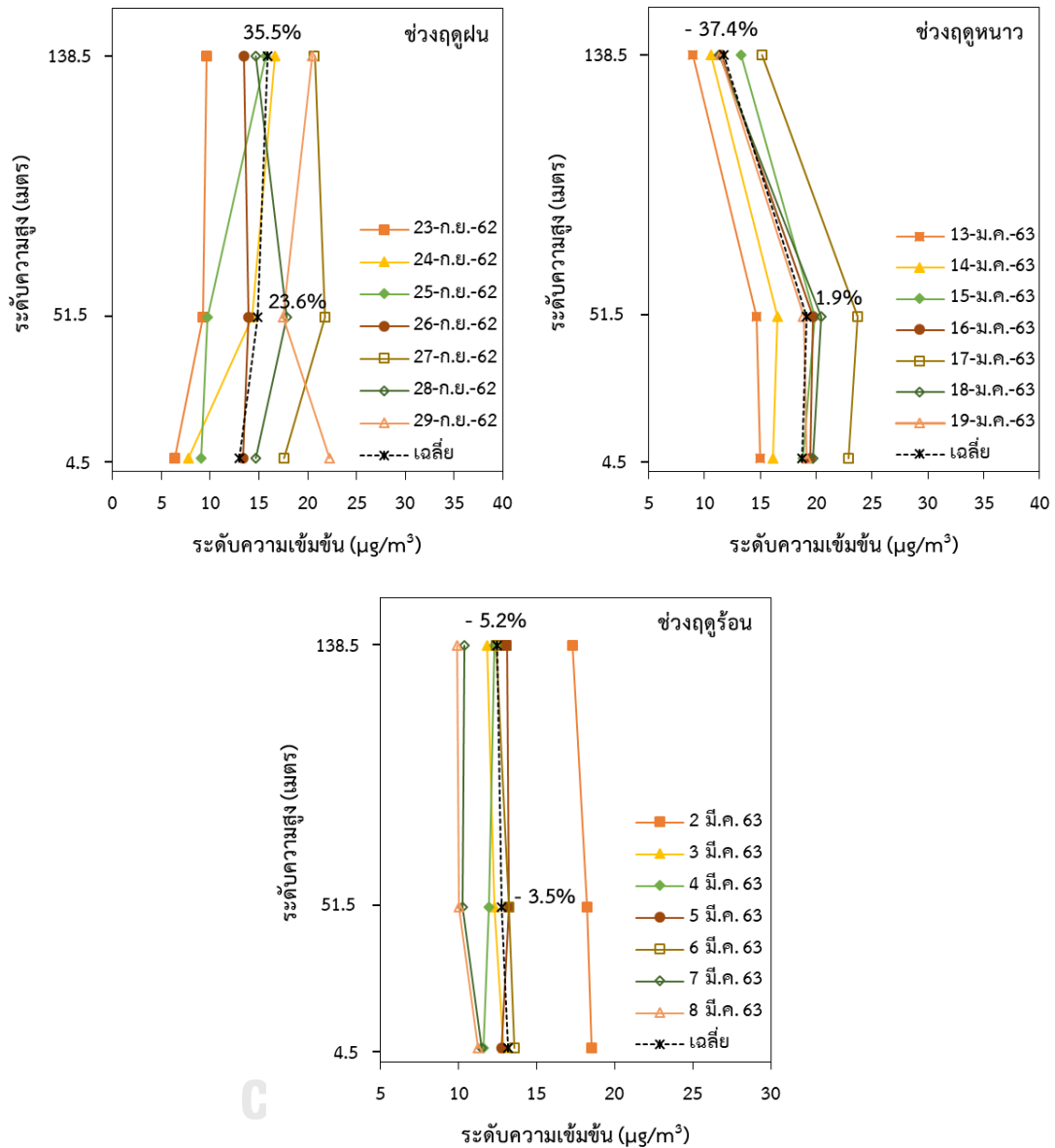
รูปที่ 4.11 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคาร ในช่วงฤดูร้อน

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างของ $PM_{2.5-10}$ ที่ปรากฏดังรูปที่ 4.12 พบว่า $PM_{2.5-10}$ ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร มีความเข้มข้นสูงสุดในช่วงฤดูหนาว รองลงมาได้แก่ ฤดูร้อน และฤดูฝน ซึ่งฤดูร้อนและฤดูฝนมีความเข้มข้นไม่แตกต่างกันมากนัก และ $PM_{2.5-10}$ ที่ระดับความสูง 51.5 เมตร มีความเข้มข้นสูงสุดในช่วงฤดูหนาวเช่นเดียวกัน รองลงมาได้แก่ ฤดูฝน และฤดูร้อน สำหรับ $PM_{2.5-10}$ ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร ให้ผลที่แตกต่างจากความสูงทั้ง 2 ระดับจากที่กล่าวมาข้างต้น โดยมีความเข้มข้นสูงสุดในช่วงฤดูฝน รองลงมาคือ ฤดูร้อน และฤดูหนาว ซึ่งฤดูร้อนและฤดูหนาวมีความเข้มข้นไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อนำความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ แต่ละระดับความสูงมาเฉลี่ยรวมทั้งสามระดับ แล้วนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละช่วงฤดูกาล ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยรวมทั้งสามระดับความสูงของ $PM_{2.5-10}$ ในช่วงฤดูหนาวแตกต่างกับฤดูร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ในขณะที่ช่วงฤดูฝนไม่แตกต่างกับฤดูหนาวและฤดูร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรวมทั้งสามระดับความสูงของ $PM_{2.5-10}$ ให้ผลที่สอดคล้องกับผลการศึกษาความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยช่วงฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาได้แก่ ฤดูฝน และฤดูร้อน ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.5 ± 2.4 , 14.6 ± 4.3 และ 12.8 ± 2.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างของ PM_{2.5-10}

ผลการศึกษาค่าความเข้มข้นตามแนวตั้งเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM_{2.5-10} ปรากฏดังรูปที่ 4.13 พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างของ PM_{2.5-10} ที่ระดับความสูง 51.5 เมตร มีค่าเพิ่มขึ้นจากระดับความสูง 4.5 เมตร เฉลี่ยร้อยละ 23.6 และ 1.8 ในช่วงฤดูฝน และฤดูหนาว และลดลงเฉลี่ยร้อยละ 3.5 ในช่วงฤดูร้อน ส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างของ PM_{2.5-10} ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร มีค่าเพิ่มขึ้นจากระดับความสูง 4.5 เมตร เฉลี่ยร้อยละ 35.5 ในช่วงฤดูฝน ในขณะที่ช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน มีค่าลดลงเฉลี่ยร้อยละ 37.4 และ 5.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM_{2.5-10}

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ที่ความสูงทั้งสามระดับ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่า ความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ที่ความสูงทั้งสามระดับ ในช่วงฤดูฝนและฤดูร้อน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) สำหรับในช่วงฤดูหนาว พบว่า ความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ที่ระดับความสูง 4.5 และ 51.5 เมตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ในขณะที่ความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร แตกต่างกับที่ระดับความสูง 4.5 และ 51.5 เมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า

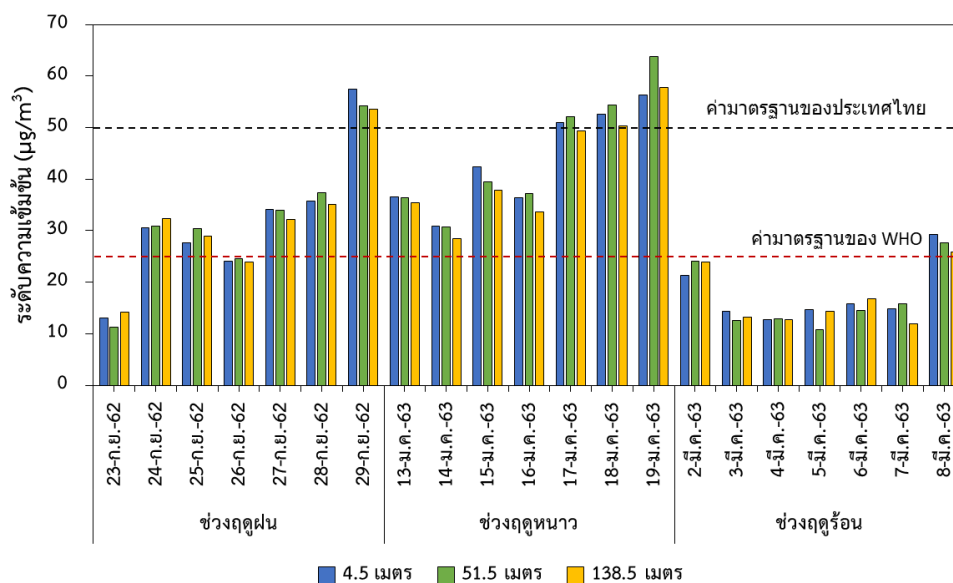
ความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ที่ความสูงทั้งสามระดับ ในช่วงฤดูฝนและฤดูร้อนมีค่าไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ช่วงฤดูหนาว ความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร แตกต่างกับระดับความสูง 4.5 และ 51.5 เมตร โดยความเข้มข้นมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากในช่วงฤดูหนาวได้รับอิทธิพลจากความกดอากาศสูงกำลังอ่อนจากประเทศจีน และเกิดการผกผันของอุณหภูมิ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2563b; ศูนย์ฝนหลวง, 2563) จึงส่งผลให้สภาพอากาศมีลักษณะคงตัว โดยสภาพอากาศที่มีลักษณะดังกล่าว ส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนตามแนวตั้งและแนวนอนของมวลอากาศลดลง ฝุ่นละอองจึงไม่สามารถแพร่กระจายได้ดี โดยฝุ่นละอองที่มีอนุภาคใหญ่จะเกิดการตกตามแรงโน้มถ่วง ในขณะที่ฝุ่นละอองขนาดอนุภาคเล็กกว่าเกิดการสะสมในบรรยากาศ (Deshmukh et al., 2011; Gong et al., 2015; Pandey et al., 2012; Xu et al., 2017a) จากผลการศึกษาดังกล่าว พบว่า ความกดอากาศสูงกำลังอ่อนจากประเทศจีนและการผกผันของอุณหภูมิในช่วงฤดูหนาวมีอิทธิพลต่อลดลงของความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร อย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ช่วงฤดูฝนและฤดูร้อนมีค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ที่ความสูงทั้งสามระดับไม่แตกต่างกัน เนื่องจากไม่ได้รับอิทธิพลจากสภาพอากาศที่มีลักษณะคงตัว

4.4.3 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารเทียบกับค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ภายนอกอาคารที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis (ข้อมูลโดยละเอียดปรากฏดังภาคผนวก ข) กับค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดในบรรยากาศ ซึ่งความเข้มข้นของ PM_{10} ที่นำมาเปรียบเทียบเป็นผลรวมระหว่างความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างช่วงการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในช่วงฤดูฝน (ระหว่างวันที่ 23 - 29 กันยายน 2562) ฤดูหนาว (ระหว่างวันที่ 13 - 19 มกราคม 2563) และฤดูร้อน (ระหว่างวันที่ 2 - 8 มีนาคม 2563) ผลการเปรียบเทียบเป็นดังต่อไปนี้

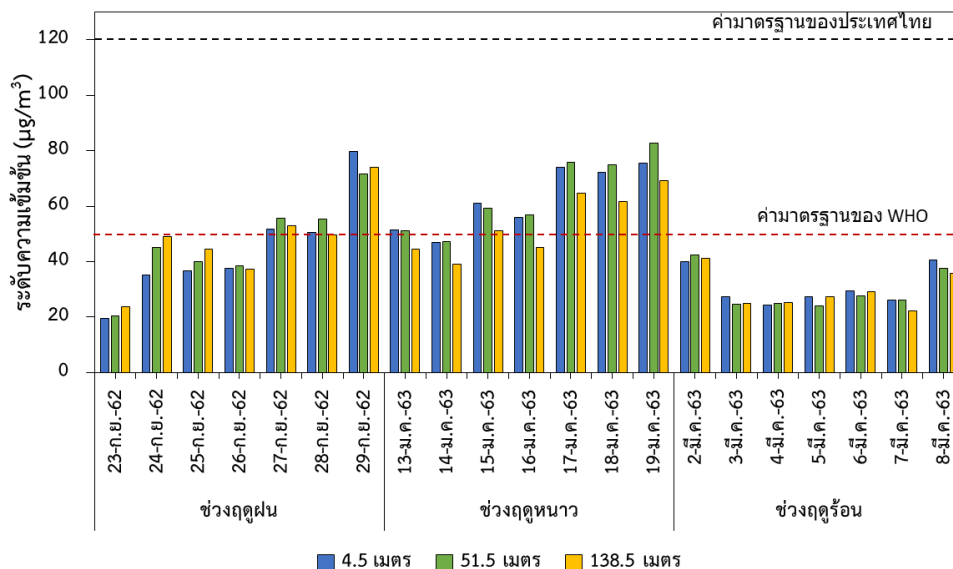
ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารกับค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศปรากฏดังรูปที่ 4.20 พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารเกินค่ามาตรฐานของประเทศไทยในวันที่ 29 กันยายน 2562 ในช่วงฤดูฝน และระหว่างวันที่ 17-19 มกราคม 2563 ในช่วงฤดูหนาว ส่วนในช่วงฤดูร้อน พบว่า ไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนด โดยประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ ไว้ไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อพิจารณาตามมาตรฐานที่

องค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ ไว้ไม่เกิน 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่า ช่วงระหว่างการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในช่วงฤดูฝนส่วนใหญ่เกินค่ามาตรฐาน ยกเว้นวันที่ 23 และ 26 กันยายน 2562 และเกินค่ามาตรฐานทุกวันในช่วงฤดูหนาว นอกจากนี้ ยังพบว่าเกินค่ามาตรฐานในวันที่ 8 มีนาคม 2563 ในช่วงฤดูร้อน



รูปที่ 4.14 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารเทียบกับค่ามาตรฐาน

สำหรับผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM_{10} ภายนอกอาคารกับค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศที่ปรากฏดังรูปที่ 4.21 พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM_{10} ภายนอกอาคาร มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานของประเทศไทยทั้งในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน โดยประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM_{10} ไว้ไม่เกิน 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐานที่องค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM_{10} ไว้ไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะพบว่า มีค่าเกินค่ามาตรฐานในระหว่างวันที่ 27 - 29 กันยายน 2562 ในช่วงฤดูฝน และเกินค่ามาตรฐานเกือบทุกวันในช่วงฤดูหนาว ส่วนในช่วงฤดูร้อนไม่พบเกินค่ามาตรฐาน



รูปที่ 4.15 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM₁₀ ภายนอกอาคารเทียบกับค่ามาตรฐาน

4.4.4 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁₀ ภายนอกอาคาร (PM_{2.5}/PM₁₀ ratio)

ทำการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁₀ ภายนอกอาคาร (PM_{2.5}/PM₁₀ ratio) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis เพื่อวิเคราะห์หาสัดส่วนของ PM_{2.5} ต่อ PM_{2.5-10} ในบรรยากาศที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และ ฤดูร้อน โดยผลการวิเคราะห์ค่า PM_{2.5}/PM₁₀ ratio เป็นดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่า PM_{2.5}/PM₁₀ ratio ที่ปรากฏดังตารางที่ 4.4 (ข้อมูลโดยละเอียดปรากฏดังภาคผนวก ง) พบว่า ค่า PM_{2.5}/PM₁₀ ratio ในช่วงฤดูฝนที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.71 ± 0.05 , 0.67 ± 0.08 และ 0.65 ± 0.05 ตามลำดับ สำหรับช่วงฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.70 ± 0.03 , 0.70 ± 0.04 และ 0.78 ± 0.04 ตามลำดับ และ ฤดูร้อน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.56 ± 0.07 , 0.56 ± 0.09 และ 0.57 ± 0.07 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่า PM_{2.5}/PM₁₀ ratio ที่ความสูงทั้งสามระดับ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่า ค่า PM_{2.5}/PM₁₀ ratio ที่ความสูงทั้งสามระดับ ในช่วงฤดูฝนและฤดูร้อน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) สำหรับในช่วงฤดูหนาว พบว่า ค่า PM_{2.5}/PM₁₀ ratio ที่ระดับความสูง 4.5 และ 51.5 เมตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ในขณะที่ค่า PM_{2.5}/PM₁₀ ratio ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร แตกต่างกับระดับความสูง 4.5 และ 51.5 เมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น

ร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่า ในช่วงฤดูหนาวที่ระดับความสูง 138.5 เมตร มีสัดส่วนของ $PM_{2.5}$ ต่อ $PM_{2.5-10}$ มากกว่าที่ระดับความสูง 4.5 และ 51.5 เมตร ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับผลการศึกษาระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของ $PM_{2.5-10}$ ที่พบว่า $PM_{2.5-10}$ มีความเข้มข้นลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่ระดับความสูง 138.5 เมตร ส่งผลให้สัดส่วนของ $PM_{2.5-10}$ ที่ระดับความสูง 138.5 เมตรลดลง ดังนั้น สัดส่วนของ $PM_{2.5}$ ต่อ $PM_{2.5-10}$ จึงเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับที่ระดับความสูงทั้งสองระดับ

ตารางที่ 4.4 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ภายนอกอาคาร

ระดับความสูง	ช่วงฤดูฝน		ช่วงฤดูหนาว		ช่วงฤดูร้อน	
	เฉลี่ย \pm SD	ช่วง	เฉลี่ย \pm SD	ช่วง	เฉลี่ย \pm SD	ช่วง
4.5 เมตร	0.71 \pm 0.05	0.64 - 0.80	0.70 \pm 0.03	0.65 - 0.75	0.56 \pm 0.07	0.52 - 0.72
51.5 เมตร	0.67 \pm 0.08	0.55 - 0.76	0.70 \pm 0.04	0.65 - 0.77	0.56 \pm 0.09	0.45 - 0.73
138.5 เมตร	0.65 \pm 0.05	0.60 - 0.72	0.78 \pm 0.04	0.73 - 0.84	0.57 \pm 0.07	0.51 - 0.72
เฉลี่ยรวม	0.68 \pm 0.06	0.55 - 0.80	0.72 \pm 0.05	0.65 - 0.84	0.56 \pm 0.08	0.45 - 0.73

เมื่อนำค่า $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio มาเฉลี่ยรวมทั้งสามระดับความสูง แล้วนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างช่วงฤดูกาล ด้วยสถิติ One-Way ANOVA พบว่า ค่า $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio เฉลี่ยรวมทั้งสามระดับความสูงในช่วงฤดูฝน ไม่แตกต่างกับช่วงฤดูหนาวอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ในขณะที่ค่า $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio เฉลี่ยรวมทั้งสามระดับความสูงในช่วงฤดูร้อนแตกต่างกับช่วงฤดูฝน และฤดูหนาวอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) โดยในช่วงฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาได้แก่ ช่วงฤดูฝน และฤดูร้อน โดยมีค่าเท่ากับ 0.72 ± 0.05 , 0.68 ± 0.06 และ 0.56 ± 0.08 ตามลำดับ ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่พบว่า ค่า $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio ในบรรยากาศทั่วไปบริเวณพื้นที่เขตเมืองในประเทศจีน มีค่าสูงสุดในช่วงฤดูหนาว และต่ำสุดในช่วงฤดูร้อน (Xu et al., 2017b) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Xu et al. (2017a) ที่พบว่า ค่า $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio ในบรรยากาศบริเวณพื้นที่เขตเมือง Wuhan ประเทศจีน มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงฤดูหนาว เท่ากับ 0.75 ± 0.26 และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงฤดูร้อน เท่ากับ 0.55 ± 0.19 นอกจากนี้ เมือง Tianjin ประเทศจีน พบว่า ค่า $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio ในบรรยากาศทั่วไปในพื้นที่เขตเมือง มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในฤดูหนาว เท่ากับ 0.61 ± 0.17 (Gu et al., 2010) สำหรับการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพมหานคร พบว่า ค่า $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio ในบรรยากาศทั่วไป มีค่าอยู่ในช่วง $0.64 - 0.67$ (Chuersuwan et al., 2008) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ค่า $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio มีค่าเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลที่ต่างกัน โดยพบว่ามีค่าสูงสุดในช่วงฤดูหนาว และต่ำสุดในช่วงฤดูร้อน

อย่างไรก็ตาม เมื่อนำค่า $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio มาพิจารณาสัดส่วนของ $PM_{2.5}$ ต่อ $PM_{2.5-10}$ ในบรรยากาศ พบว่า $PM_{2.5}$ มีสัดส่วนมากกว่า $PM_{2.5-10}$ ทั้งสามฤดูกาล สามารถบ่งชี้ได้ว่า $PM_{2.5}$ เป็นองค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองในบรรยากาศทั่วไปบริเวณกรุงเทพมหานคร

4.5 ระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคาร

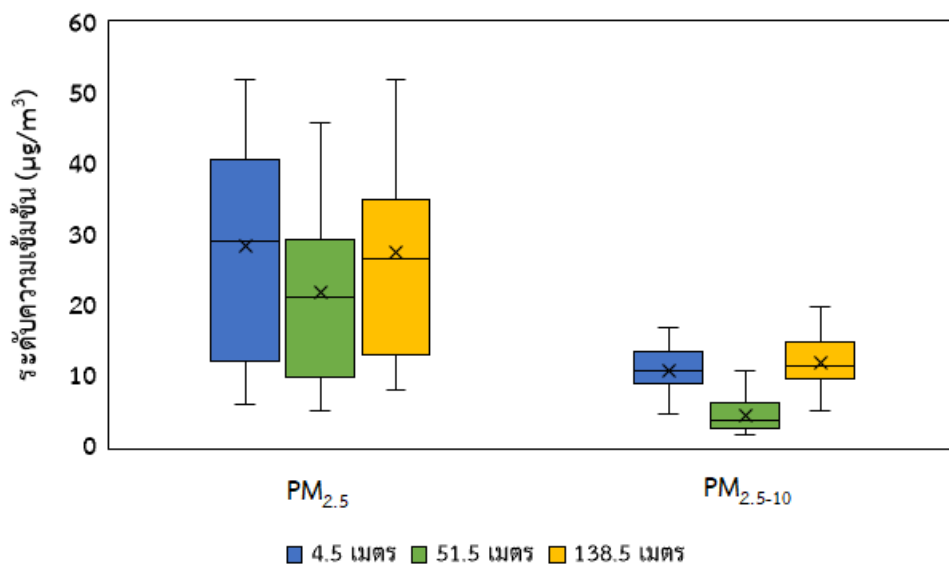
ทำการศึกษาความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคารที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่ระดับความสูงเดียวกับจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองภายนอกอาคาร ได้แก่ 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร รวมจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 จุด และทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 7 วัน ในช่วงฤดูฝน (ระหว่างวันที่ 23 - 29 กันยายน 2562) ฤดูหนาว (ระหว่างวันที่ 13 - 19 มกราคม 2563) และฤดูร้อน (ระหว่างวันที่ 2 - 8 มีนาคม 2563) โดยผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.5.1 ระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในอาคารและความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร

ทำการศึกษาความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคารที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่ระดับความสูงเดียวกับจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองภายนอกอาคาร ได้แก่ 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร รวมจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 จุด เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 7 วัน ในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน รวมตัวอย่างทั้งหมด 126 ตัวอย่าง ได้แก่ $PM_{2.5}$ จำนวน 63 ตัวอย่าง และ $PM_{2.5-10}$ จำนวน 63 ตัวอย่าง โดยจำแนกตามระดับความสูงได้เป็นระดับละ 21 ตัวอย่าง จากนั้นนำความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดมาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร โดยผลการวิเคราะห์เป็นดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ ภายในอาคาร ปรากฏดังรูปที่ 4.22 (ข้อมูลโดยละเอียดปรากฏดังภาคผนวก ข) พบว่า ในช่วงฤดูฝน มีค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร อยู่ในช่วง 12.2 - 45.1, 9.1 - 42.6 และ 12.4 - 52.0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.3 ± 11.4 , 26.7 ± 11.2 และ 30.1 ± 12.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ สำหรับในช่วงฤดูหนาว มีค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ อยู่ในช่วง 24.7 - 52.1, 19.4 - 45.9 และ 26.7 - 50.0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 38.9 ± 11.1 , 29.8 ± 10.8 และ 38.7 ± 8.9 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

และในช่วงฤดูร้อน มีค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ อยู่ในช่วง 6.0 - 27.7, 5.2 - 16.1 และ 8.0 - 22.0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.5 ± 8.2 , 9.2 ± 4.0 และ 14.0 ± 5.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.16 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคาร

สำหรับผลการศึกษาค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคารที่ปรากฏดังรูปที่ 4.22 พบว่า ในช่วงฤดูฝน มีค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร อยู่ในช่วง 4.7 - 17.0, 1.7 - 10.8 และ 5.0 - 15.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.3 ± 4.0 , 5.5 ± 3.1 และ 12.8 ± 3.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ สำหรับในช่วงฤดูหนาว มีค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ อยู่ในช่วง 8.5 - 15.1, 1.9 - 8.4 และ 7.1 - 16.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.1 ± 2.5 , 4.0 ± 2.1 และ 11.8 ± 3.0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และในช่วงฤดูร้อน มีค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ อยู่ในช่วง 9.4 - 14.3, 2.5 - 8.5 และ 7.5 - 19.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.9 ± 1.8 , 3.9 ± 2.1 และ 11.0 ± 4.1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ด้วยสถิติ Pearson correlation ได้ผลปรากฏดังตารางที่ 4.5 พบว่า ความเข้มข้นของ PM_{2.5} ภายในและภายนอกอาคาร มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($p < 0.01$) โดยที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.926, 0.907 และ 0.976 ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ภายในและภายนอกอาคาร มีความสัมพันธ์เชิงบวกเฉพาะที่ระดับความสูง 138.5 เมตร โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.629 จากผลการวิเคราะห์สามารถบ่งชี้ได้ว่า PM_{2.5} ภายในอาคารได้รับอิทธิพลจาก PM_{2.5} ที่มีแหล่งกำเนิดจากภายนอกอาคาร เมื่อความเข้มข้นของ PM_{2.5} ภายนอกอาคารเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ความเข้มข้นของ PM_{2.5} ภายในอาคารเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจาก PM_{2.5} สามารถแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารได้ดี เมื่อเทียบกับผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ภายในและภายนอกอาคารที่พบว่ามีเพียงที่ระดับความสูง 138.5 เมตร เท่านั้น ที่พบความสัมพันธ์เชิงบวก แต่พบในระดับต่ำ ในขณะที่ระดับความสูง 4.5 และ 51.5 เมตร ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ภายในและภายนอกอาคาร แสดงให้เห็นว่า PM_{2.5-10} ไม่สามารถแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารได้ดีเท่ากับ PM_{2.5} ที่มีขนาดของอนุภาคเล็กกว่า

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร

ระดับความสูง	PM _{2.5}		PM _{2.5-10}	
	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	p-value	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	p-value
	4.5 เมตร	0.926*	0.000	0.318
51.5 เมตร	0.907*	0.000	-0.042	0.856
138.5 เมตร	0.976*	0.000	0.629*	0.002

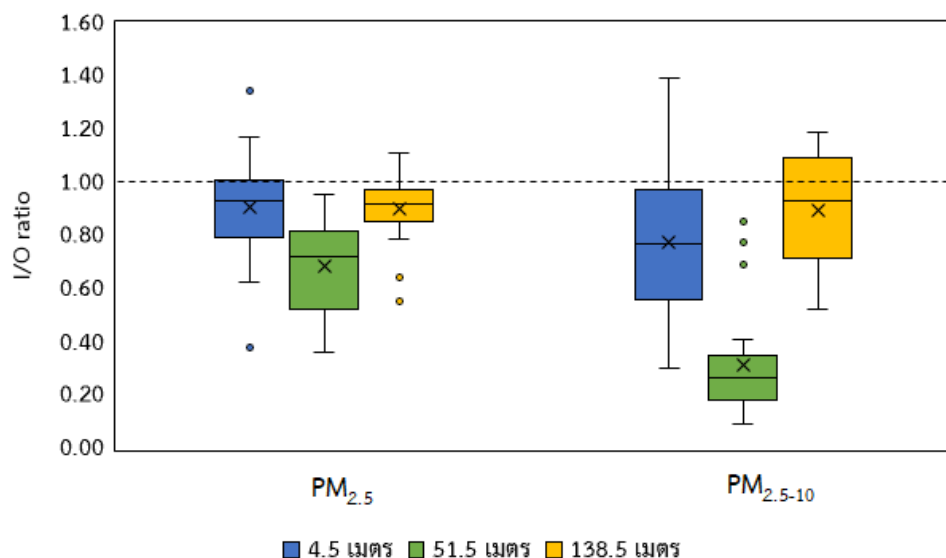
หมายเหตุ: * มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

4.5.2 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร (I/O ratio)

ทำการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร (I/O ratio) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร หากค่า I/O ratio มีค่ามากกว่า 1 บ่งชี้ได้ว่า ฝุ่นละอองภายในอาคารอาจได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เป็นแหล่งกำเนิดภายในอาคาร หากค่า I/O ratio มีค่าน้อยกว่าหรือใกล้เคียง 1 แสดงว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในอาคารมีค่าต่ำกว่าภายนอกอาคาร บ่งชี้ได้ว่า ฝุ่นละอองภายในอาคารอาจได้รับอิทธิพลจากฝุ่นละอองที่มี

แหล่งกำเนิดจากภายนอกอาคาร โดยผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย I/O ratio ของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} เป็นดังต่อไปนี้

จากผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย I/O ratio ของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ที่ปรากฏดังรูปที่ 4.23 (ข้อมูลโดยละเอียดปรากฏดังภาคผนวก จ) พบว่า ค่า I/O ratio ของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 0.38 - 1.34 และ 0.30 - 1.39 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.90 ± 0.21 และ 0.78 ± 0.27 ตามลำดับ โดยผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ พบว่า ความเข้มข้นของ PM_{2.5} ภายในและภายนอกอาคาร มีความสัมพันธ์เชิงบวกกันในระดับสูง ($r = 0.926$) อีกทั้ง ค่ามี I/O ratio เข้าใกล้ 1 ซ้ำให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ PM_{2.5} ภายนอกอาคาร มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าภายในอาคาร โดยความเข้มข้นของ PM_{2.5} ภายในอาคารได้รับอิทธิพลจาก PM_{2.5} ที่มีแหล่งกำเนิดจากภายนอกอาคารเป็นหลัก ในขณะที่ไม่พบความสัมพันธ์กันทางสถิติระหว่างความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ภายในและภายนอกอาคาร อย่างไรก็ตาม ค่า I/O ratio ของ PM_{2.5-10} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.78 ± 0.27 ซ้ำให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ภายในอาคาร มีค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่าภายนอกอาคารมากนัก เมื่อพิจารณาตามลักษณะทางกายภาพภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร พบว่า เป็นห้องโถงขนาดใหญ่ มีประตูบริเวณทางเข้าและทางออก จำนวน 7 จุด เป็นประตูกระจกบานสวิงแบบ 4 บาน ซึ่งมีการเปิดประตูประมาณ 4 จุดตั้งแต่เวลาประมาณ 05.00 - 20.00 น. ของทุกวัน และมีคนเดินเข้าและออกตลอดช่วงเวลากลางวัน ส่วนระบบระบายอากาศทำการเปิดเฉพาะวันจันทร์ - วันศุกร์ ช่วงเวลาประมาณ 6.00 - 16.00 น. อีกทั้ง ไม่มีกิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง จะเห็นได้ว่า มีการเปิดประตูตั้งแต่ช่วงเช้าจนถึงช่วงหัวค่ำ ส่งผลให้ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดสามารถแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารผ่านทางประตูได้ อีกทั้ง การเดินเข้าและออกระหว่างภายในและภายนอกอาคารของผู้คนยังสามารถพัดพาฝุ่นละอองจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารได้ ทั้งนี้ ในช่วงเวลากลางคืนที่มีการปิดประตู อาจส่งผลให้ PM_{2.5-10} ไม่สามารถแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารได้ดีเท่ากับ PM_{2.5} ที่อาจแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารผ่านทางรอยแยก หรือช่องว่างได้ เนื่องจากมีขนาดของอนุภาคที่เล็กกว่า อย่างไรก็ตาม การเดินเข้าและออกของคนตลอดช่วงเวลากลางวัน อาจส่งผลให้ PM_{2.5-10} ที่ตกอยู่บริเวณพื้นห้องเกิดการฟุ้งกระจาย จากการศึกษาที่ผ่านมา ซ้ำให้เห็นว่า กิจกรรมของมนุษย์สามารถทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองที่ตกอยู่บนพื้นห้องได้ (Chatoutsidou et al., 2015) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Zhou et al. (2016) ที่พบว่า กิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การเดิน การแต่งตัว หรือการปิดกวาด ส่งผลให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองที่ตกอยู่บนเฟอร์นิเจอร์ ผ้าคลุมเตียง และพื้นห้อง ดังนั้น การปิดประตูและการฟุ้งกระจายของฝุ่นจากพื้นห้อง อาจเป็นปัจจัยที่อิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ภายในอาคาร จึงส่งผลให้ไม่พบความสัมพันธ์กันทางสถิติกับความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ภายนอกอาคาร



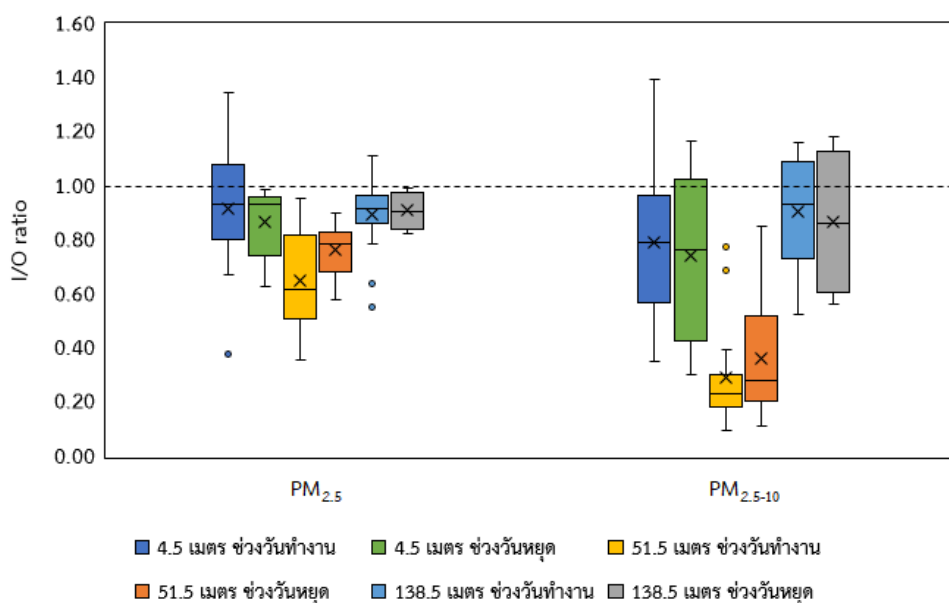
รูปที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10}

สำหรับค่า I/O ratio ของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ที่ระดับความสูง 51.5 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 0.36 - 0.95 และ 0.09 - 0.85 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.68 ± 0.18 และ 0.31 ± 0.21 ตามลำดับ โดยลักษณะพื้นที่เป็นห้องสำนักงานที่ยังไม่มีคนเข้าใช้พื้นที่ เป็นพื้นที่ปิดทึบ ไม่มีหน้าต่าง และมีบันไดเชื่อมระหว่างชั้น โดยทำการเปิดระบบระบายอากาศเฉพาะวันจันทร์ - วันศุกร์ ช่วงเวลาประมาณ 6.00 - 16.00 น. อีกทั้ง ไม่มีกิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง เมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่า ความเข้มข้นของ PM_{2.5} ภายในและภายนอกอาคาร มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูง ($r = 0.907$) และ I/O ratio มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.68 ± 0.18 แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ PM_{2.5} ภายนอกอาคาร มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าภายในอาคาร โดยความเข้มข้นของ PM_{2.5} ภายในอาคารได้รับอิทธิพลจาก PM_{2.5} ที่มีแหล่งกำเนิดจากภายนอกอาคารเป็นหลัก ในขณะที่ความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ภายในและภายนอกอาคาร ไม่พบความสัมพันธ์กันทางสถิติ และค่า I/O ratio มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับต่ำเพียง 0.31 ± 0.21 แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ภายในอาคาร ไม่ได้รับอิทธิพลจาก PM_{2.5-10} ที่มีแหล่งกำเนิดจากภายนอกอาคารมากนัก โดยค่า I/O ratio ชี้ให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ภายในอาคาร มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าภายนอกอาคารอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} จะเห็นได้ว่า พื้นที่ที่มีลักษณะปิดทึบ ส่งผลให้ PM_{2.5-10} ไม่สามารถแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารได้ดี เมื่อเทียบกับ PM_{2.5} ที่สามารถแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารผ่านทางช่องว่างหรือรอยแยกได้มากกว่าเนื่องจากมีอนุภาคที่ขนาดเล็ก

ส่วนค่า I/O ratio ของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 0.55 - 1.11 และ 0.52 - 1.18 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.90 ± 0.13 และ 0.90 ± 0.21 ตามลำดับ สำหรับลักษณะภายในอาคารเป็นห้องโถงขนาดเล็ก ไม่มีคนใช้งานภายในห้อง และมีการซ่อมบำรุงบริเวณห้องใกล้เคียงในบางครั้ง มีประตูจำนวน 2 บาน ซึ่งมีการเปิดประตูตลอดเวลาจำนวน 1 บาน ไม่มีระบบระบายอากาศเชิงกลภายในห้อง และไม่มีการทำความสะอาด อีกทั้ง ไม่มีกิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง เมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในและภายนอกอาคาร มีความสัมพันธ์เชิงบวกกันในระดับสูง ($r = 0.976$) อีกทั้ง มีค่าเฉลี่ยของ I/O ratio เท่ากับ 0.90 ± 0.13 แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในอาคาร ได้รับอิทธิพลจาก $PM_{2.5}$ ที่มีแหล่งกำเนิดจากภายนอกอาคารเป็นหลัก และความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในอาคาร มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกับภายนอกอาคารมากนัก สำหรับความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ภายในและภายนอกอาคาร พบความสัมพันธ์เชิงบวกกันในระดับต่ำ ($r = 0.629$) และมีค่าเฉลี่ยของ I/O ratio เท่ากับ 0.90 ± 0.21 แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคารได้รับอิทธิพลจาก $PM_{2.5-10}$ ที่มีแหล่งกำเนิดจากภายนอกอาคารเป็นหลักเช่นเดียวกับ $PM_{2.5}$ อีกทั้ง ความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคาร มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกับภายนอกอาคารมากนัก จะเห็นได้ว่า ทั้ง $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ สามารถแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารได้ดี เนื่องจากพื้นที่ศึกษาได้มีการเปิดประตูตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม กิจกรรมของมนุษย์ที่ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองที่ตกอยู่บนพื้น อาจเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคาร ซึ่งส่งผลให้พบความสัมพันธ์ระหว่างเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของ $PM_{2.5-10}$ อยู่ในระดับต่ำ

เมื่อพิจารณาแนวโน้มค่าเฉลี่ย I/O ratio ของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ในระหว่างช่วงวันทำงานและวันหยุดที่ปรากฏดังรูปที่ 2.24 พบว่า ค่าเฉลี่ย I/O ratio ของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ทั้งสามระดับความสูง มีแนวโน้มระหว่างช่วงวันทำงานและวันหยุดที่ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยในช่วงวันทำงานที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร มีการเปิดระบบระบายอากาศระหว่างเวลา 6.00 - 16.00 น. อีกทั้ง ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร มีผู้คนเดินเข้าและออกระหว่างภายในและภายนอกอาคารตลอดทั้งวัน ส่วนที่ระดับความสูง 51.5 เมตร ไม่มีคนเข้าใช้พื้นที่ทั้งช่วงวันทำงานและวันหยุด ทั้งนี้ ในช่วงวันหยุดไม่มีการเปิดระบบระบายอากาศที่ระดับความสูงทั้งสองระดับ และที่ระดับความสูง 4.5 เมตร มีผู้คนเดินเข้าและออกระหว่างภายในและภายนอกอาคารน้อยลง อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าในช่วงวันทำงานและวันหยุดมีกิจกรรมที่แตกต่างกัน แต่กลับพบว่าไม่มีอิทธิพลต่อความแตกต่างของค่า I/O ratio ของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดในระหว่างช่วงวันทำงานและวันหยุดมากนัก ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ ปัจจัยทางด้านระบบระบายอากาศจึงอาจไม่ได้มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของฝุ่นละอองจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคารมากนัก และถึงแม้ว่าที่ระดับความสูง 4.5 เมตร

ในช่วงวันหยุดจะผู้คนเดินเข้าและออกระหว่างภายในและภายนอกอาคารน้อยลง แต่ฝุ่นละอองจากภายนอกอาคารก็ยังสามารถแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารได้ เนื่องจากการเปิดประตูตลอดเวลา กลางวันจนถึงหัวค่ำเช่นเดียวกับช่วงวันทำงาน สำหรับที่ระดับความสูง 138.5 เมตร เนื่องมาจากกิจกรรมที่ไม่แตกต่างกันในระหว่างช่วงวันทำงานและวันหยุด จึงพบว่าค่า I/O ratio ของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก



รูปที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ระหว่างช่วงวันทำงานและวันหยุด

ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในแต่ละระดับความสูง จะเห็นได้ว่า ค่า I/O ratio ของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ที่ระดับความสูง 51.5 เมตร มีค่าต่ำกว่าที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร แสดงให้เห็นว่า ที่ระดับความสูง 51.5 เมตร สามารถปิดกั้นการแพร่กระจายของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} จากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารได้ดีกว่าทั้งสองระดับความสูง เนื่องลักษณะทางกายภาพของห้องที่เป็นพื้นที่ปิดทึบ โดยสามารถปิดกั้นการแพร่กระจายของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} จากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารได้เฉลี่ยร้อยละ 31.79 และ 68.93 ตามลำดับ นอกจากนี้ ลักษณะทางกายภาพของห้องก็มีผลต่อการหมุนเวียนอากาศภายในอาคาร (Air exchange) โดยภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร ที่มีการเปิดประตูและหน้าต่าง จะเกิดการหมุนเวียนอากาศระหว่างภายในและภายนอกอาคารได้ดี ส่งผลให้ฝุ่นละอองจากภายนอกอาคารแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารได้ ในขณะที่ระดับความสูง 51.5 เมตรที่มีลักษณะปิดทึบ จึงเกิดหมุนเวียนอากาศ

ระหว่างภายในและภายนอกอาคารได้ต่ำ ฝุ่นละอองจากภายนอกอาคารจึงสามารถแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารที่ระดับความสูง 51.5 เมตรได้ต่ำกว่าทั้งสองระดับความสูง ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาของ Zhou et al. (2016) ที่ทำการศึกษาความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยในเมือง Tianjin ประเทศจีน พบว่า ห้องที่มีการปิดประตูและหน้าต่าง มีค่า I/O ratio ของ $PM_{2.5}$ ต่ำกว่า ห้องที่มีการเปิดหน้าต่างไว้ประมาณ 10 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับการศึกษาของ Cyrus et al. (2004) ที่ทำการศึกษาความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในและภายนอกอาคารในเมือง Erfurt ประเทศเยอรมนี พบว่า ห้องที่มีการปิดหน้าต่างไว้ตลอดเวลา มีค่า I/O ratio ของ $PM_{2.5}$ ต่ำกว่าห้องที่มีเปิดหน้าต่าง

จากผลการศึกษาค้นคว้านี้ชี้ให้เห็นว่า ลักษณะทางกายภาพและกิจกรรมของพื้นที่ศึกษาเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของฝุ่นละอองจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งสอดคล้องกับการรวบรวมผลการศึกษาที่ผ่านมาของ Chen et al. (2011) ที่พบว่า I/O ratio มีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยทางด้านลักษณะของอาคารที่แตกต่างกัน รวมถึง แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองภายในอาคาร ช่องว่างหรือรอยแยกของอาคาร กระแสลมภายนอกอาคาร และรูปแบบการระบายอากาศของอาคาร ทั้งนี้ เนื่องด้วยข้อจำกัดของพื้นที่ศึกษาที่ไม่สามารถควบคุมลักษณะทางกายภาพและปัจจัยต่าง ๆ ของภายในอาคารในแต่ละระดับความสูงให้เหมือนกัน เพื่อศึกษาความแตกต่างของค่า I/O ratio ในแต่ละระดับความสูงในสภาวะห้องแบบเดียวกัน อย่างไรก็ตาม จะสังเกตได้ว่า ที่ระดับความสูง 138.5 เมตรที่พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคารมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากมีการเปิดประตูไว้ตลอดเวลา จึงส่งผลให้ฝุ่นละอองจากภายนอกอาคารแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ภายในอาคารบริเวณชั้นบนของอาคารก็สามารถได้รับอิทธิพลจากฝุ่นละอองจากภายนอกอาคารเช่นเดียวกับภายในอาคารบริเวณชั้นล่างของอาคาร หากมีการเปิดประตูและหน้าต่าง หรือมีช่องว่างให้ฝุ่นละอองสามารถแพร่กระจายเข้ามาภายในอาคารได้ ดังนั้น การควบคุมกิจกรรมและลักษณะทางกายภาพของภายในอาคารจึงถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึง เมื่อต้องการควบคุมคุณภาพอากาศภายในอาคาร

4.6 การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในรอบวัน

ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} แบบอ่านค่าทันที (Real-time) ด้วยเครื่อง Aeroqual Series 500 ที่วิเคราะห์ด้วยหลักการ Light scattering และเนื่องด้วยข้อจำกัดของเครื่องมือ จึงสามารถทำการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดบริเวณภายในและภายนอกอาคารได้เฉพาะที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตรเท่านั้น โดยตรวจวัดเป็นเวลา 24

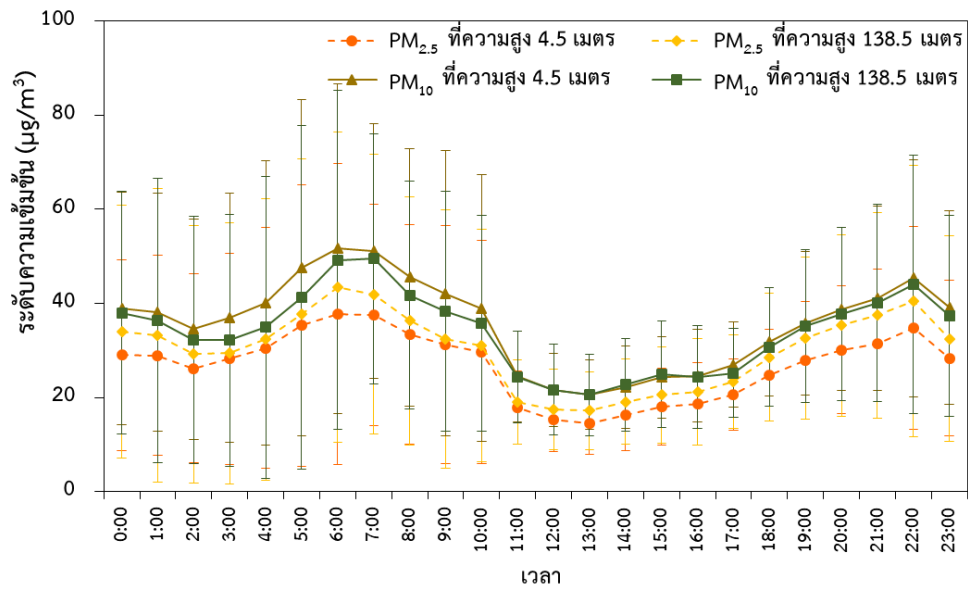
ชั่วโมง ต่อเนื่อง 7 วัน ในช่วงฤดูฝน (ระหว่างวันที่ 23 - 29 กันยายน 2562) ฤดูหนาว (ระหว่างวันที่ 13 - 19 มกราคม 2563) และฤดูร้อน (ระหว่างวันที่ 2 - 8 มีนาคม 2563) ซึ่งทำการตรวจวัดควบคู่กับการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis ผลการตรวจวัดของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดได้นำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นในรอบวัน โดยผลการวิเคราะห์เป็นดังต่อไปนี้

4.6.1 การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในรอบวันบริเวณภายนอกอาคารที่ระดับความสูงต่างกัน

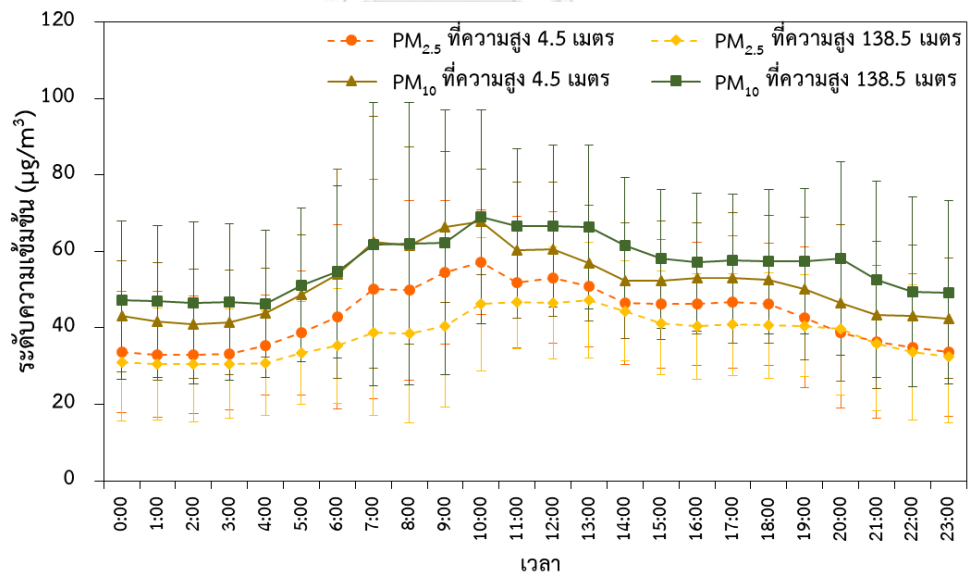
ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} แบบอ่านค่าทันทีบริเวณภายนอกอาคารที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 4.5 และ 138.5 เมตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 7 วัน ในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน โดยข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดที่ทำการเฉลี่ยทั้ง 7 วัน (ข้อมูลโดยละเอียดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานปรากฏดังภาคผนวก ฉ) ได้นำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในรอบวันบริเวณภายนอกอาคารที่ระดับความสูงต่างกันในแต่ละช่วงฤดูกาล ผลการวิเคราะห์เป็นดังต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ตามแนวดิ่งในรอบวัน ปรากฏดังรูปที่ 4.14 - 4.16 พบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีแนวโน้มสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันทั้งสามฤดูกาล เมื่อพิจารณาแนวโน้มในแต่ละฤดูกาล พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในช่วงฤดูฝน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสองช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเช้า เวลาประมาณ 04.00 - 10.00 น. และช่วงเย็นจนถึงช่วงกลางคืน เวลาประมาณ 18.00 - 01.00 น. เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาเร่งด่วน ซึ่งมีกิจกรรมของมนุษย์ที่เป็นแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองอย่างหนาแน่น โดยเฉพาะการจราจรที่ถือเป็นแหล่งกำเนิดหลักที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองในกรุงเทพมหานคร อีกทั้งแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองบริเวณพื้นที่ศึกษาจากการจราจรบริเวณใกล้เคียงเป็นหลัก ดังนั้น ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดจึงมีแนวโน้มสูงในช่วงเวลาดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดก็มีแนวโน้มลดลงในช่วงบ่าย เวลาประมาณ 12.00 - 16.00 น. ซึ่งผลการศึกษาให้ผลที่สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ (Deng et al., 2015) ที่ทำการศึกษาระดับความเข้มข้นในรอบวันของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในเมือง Guangzhou ประเทศจีน ผลการศึกษาพบว่า ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสองช่วงเวลา คือ ช่วงเวลาเร่งด่วนในช่วงเช้าและช่วงเย็น และมีแนวโน้มลดลงในช่วงบ่าย เนื่องจากการยกตัวของมวลอากาศส่งผลให้ฝุ่นละอองเกิดการกระจายตัว ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจึงมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาแนวโน้มของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดที่ระดับความสูง 4.5 และ

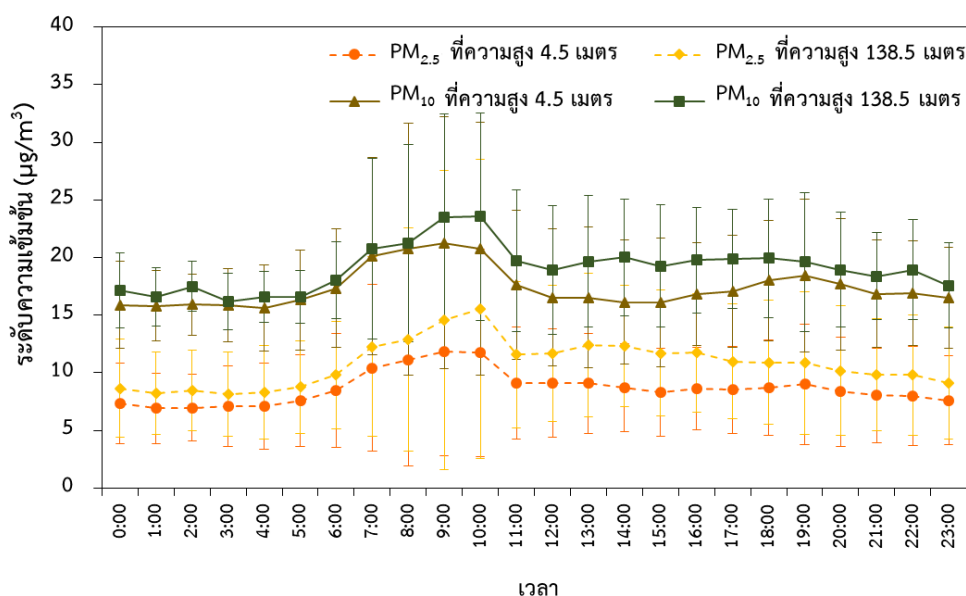
138.5 เมตร จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดที่ระดับความสูงทั้งสองระดับ มีแนวโน้มสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 4.19 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_{2.5} และ PM₁₀ ตามแนวตั้งในรอบวัน ระหว่างช่วงฤดูแล้ง



รูปที่ 4.20 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_{2.5} และ PM₁₀ ตามแนวตั้งในรอบวัน ระหว่างช่วงฤดูหนาว



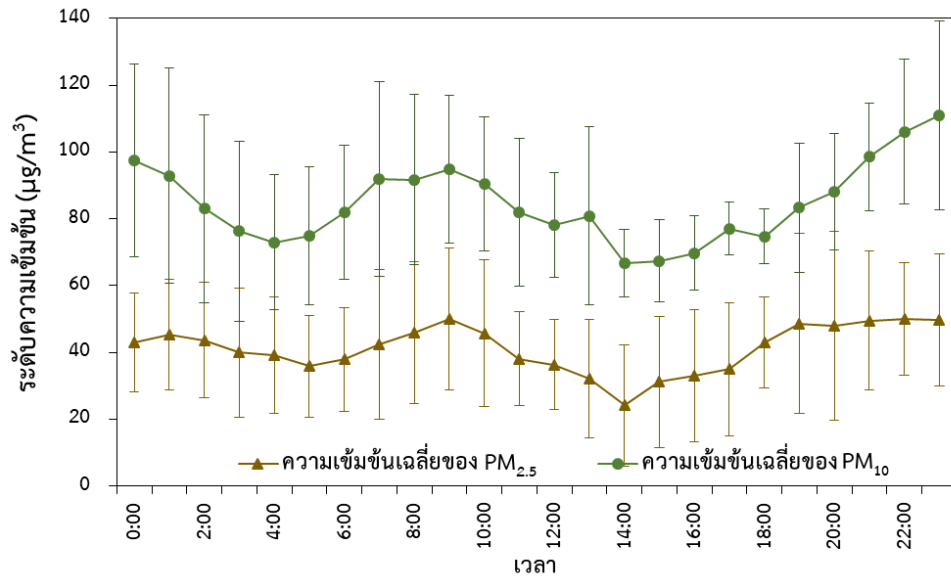
รูปที่ 4.21 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_{2.5} และ PM₁₀ ตามแนวตั้งในรอบวัน ระหว่างช่วงฤดูร้อน

สำหรับในช่วงฤดูหนาว พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_{2.5} และ PM₁₀ แนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดช่วงกลางวันจนถึงหัวค่ำ เวลาประมาณ 05.00 - 20.00 น. จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดในช่วงฤดูหนาว ให้ผลที่มีแนวโน้มแตกต่างกับในช่วงฤดูฝน อาจเนื่องจากในช่วงฤดูหนาวได้รับอิทธิพลจากความกดอากาศสูงกำลังอ่อนจากประเทศจีน และเกิดการผกผันของอุณหภูมิ (กรมควบคุมมลพิษ, 2563; กรมอุตุนิยมวิทยา, 2563b) ส่งผลให้สภาพอากาศในกรุงเทพมหานครมีลักษณะคงตัว การไหลเวียนและถ่ายเทของมวลอากาศจึงเกิดได้ไม่ดี ส่งผลให้ฝุ่นละอองจึงไม่สามารถแพร่กระจายได้ ประกอบกับกิจกรรมของมนุษย์ที่เป็นแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในช่วงเวลากลางวัน และช่วงเวลาเร่งด่วน โดยเฉพาะการจราจรบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ศึกษา จึงส่งผลให้ฝุ่นละอองเกิดการสะสมตลอดช่วงเวลากลางวันจนถึงหัวค่ำ ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาแนวโน้มของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร พบว่า มีแนวโน้มสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน

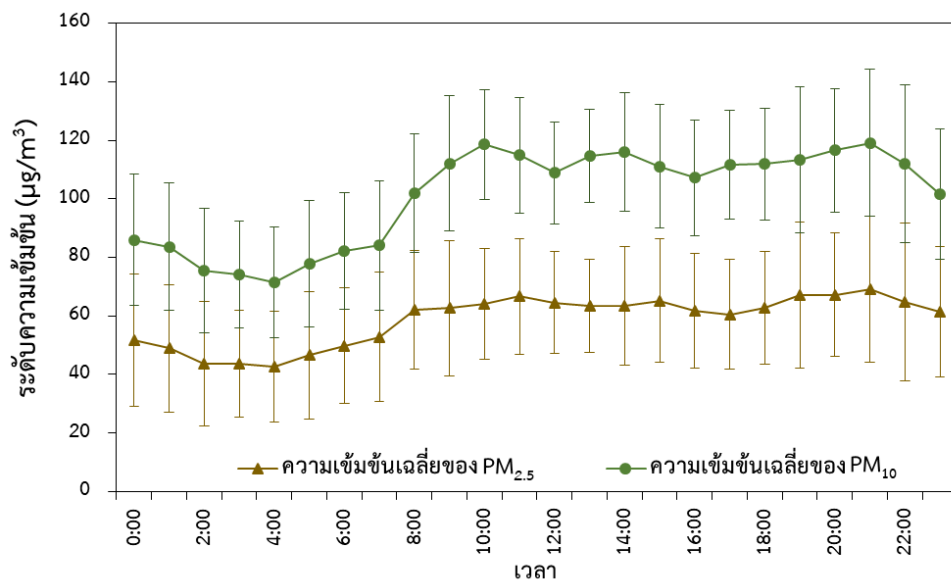
ส่วนในช่วงฤดูร้อน พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_{2.5} และ PM₁₀ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาเร่งด่วนเฉพาะช่วงเช้า เวลาประมาณ 06.00 - 11.00 น. และมีแนวโน้มลดลงในช่วงบ่าย จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดในช่วงฤดูร้อนมีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงในรอบวันไม่เด่นชัด เมื่อเปรียบเทียบกับแนวโน้มของฝุ่นละอองในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว เนื่องจากในเดือนมีนาคม 2563 ประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากหย่อมความกดอากาศต่ำ เนื่องจากความร้อนปกคลุมประเทศไทยตอนบน ส่งผลให้สภาพอากาศในหลายพื้นที่ของประเทศไทย รวมถึงกรุงเทพมหานครมี

สภาพอากาศร้อน (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2563b) โดยสภาพอากาศดังกล่าวส่งผลอุณหภูมิพื้นผิวโลกสูงขึ้น มวลอากาศจึงเกิดการยกตัว เกิดการไหลเวียนและถ่ายเทอากาศของมวลอากาศได้ดี ฝุ่นละอองจึงสามารถแพร่กระจายและเกิดเจือจางได้ ด้วยเหตุนี้ จึงส่งผลให้ฝุ่นละอองไม่เกิดการสะสมในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งพบเพียงช่วงเวลาเร่งด่วนในช่วงเช้าเท่านั้น (06.00 - 11.00 น.) ที่พบว่าฝุ่นละอองทั้งสองขนาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะการจราจรที่หนาแน่นบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ศึกษา จากนั้นก็มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด สำหรับแนวโน้มของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร พบว่า มีแนวโน้มสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน เช่นเดียวกับช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน

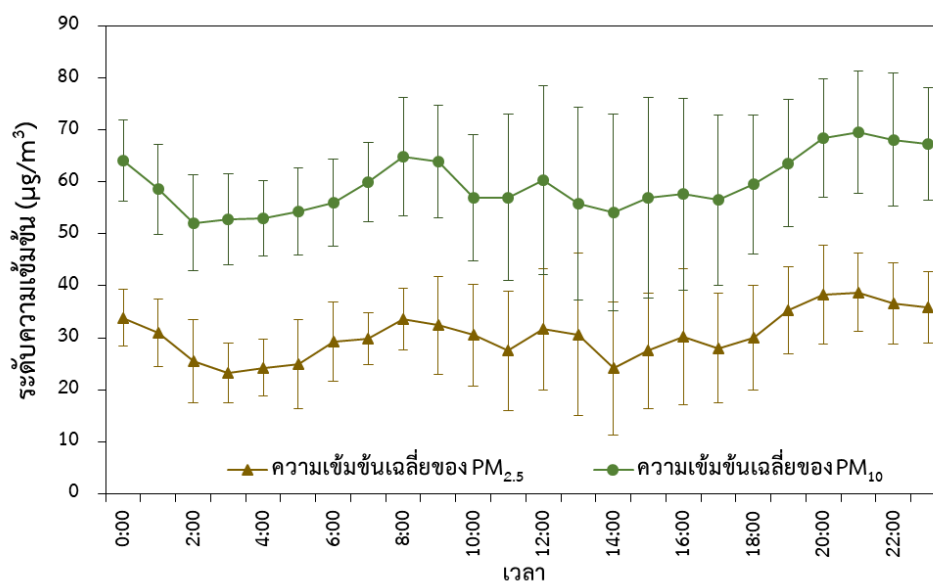
ทั้งนี้ เมื่อนำผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ทำการตรวจวัดจากกรมควบคุมมลพิษ ณ สถานีการเคหะชุมชนดินแดง ริมถนนดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร (54t) (กรมควบคุมมลพิษ, 2563) ซึ่งสถานีตรวจวัดห่างจากพื้นที่ศึกษาประมาณ 1 กิโลเมตร มาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นในรอบวัน โดยวิเคราะห์ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดในช่วงฤดูฝน (ระหว่างวันที่ 23 - 30 กันยายน 2562) ฤดูหนาว (ระหว่างวันที่ 13 - 20 มกราคม 2563) และฤดูร้อน (ระหว่างวันที่ 2 - 9 มีนาคม 2563) โดยผลวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.17 - 4.19 พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในช่วงฤดูหนาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเช้า และช่วงเย็นจนถึงช่วงกลางคืน ส่วนในช่วงฤดูหนาว พบว่า ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดช่วงกลางวันจนถึงหัวค่ำ และในช่วงฤดูร้อน พบว่า ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาเร่งด่วนในช่วงเช้าและช่วงเย็น จะเห็นได้ว่า ผลการตรวจวัดฝุ่นละอองทั้งสองขนาดจากสถานีการเคหะชุมชนดินแดงและการศึกษาในครั้งนี้ ให้ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นในรอบวันที่มีแนวโน้มสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ผลการตรวจวัดในช่วงฤดูร้อนของสถานีการเคหะชุมชนดินแดงมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนกว่าผลการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากสถานีการเคหะชุมชนดินแดงซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดริมถนน จึงได้รับอิทธิพลโดยตรงจากการจราจรที่หนาแน่นในช่วงเวลาเร่งด่วนในช่วงเช้าและช่วงเย็น



รูปที่ 4.22 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_{2.5} และ PM₁₀ ในรอบวัน ระหว่างการเก็บตัวอย่าง ในช่วงฤดูฝน จากสถานีการเคหะชุมชนดินแดง



รูปที่ 4.23 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_{2.5} และ PM₁₀ ในรอบวัน ระหว่างการเก็บตัวอย่าง ในช่วงฤดูหนาว จากสถานีการเคหะชุมชนดินแดง



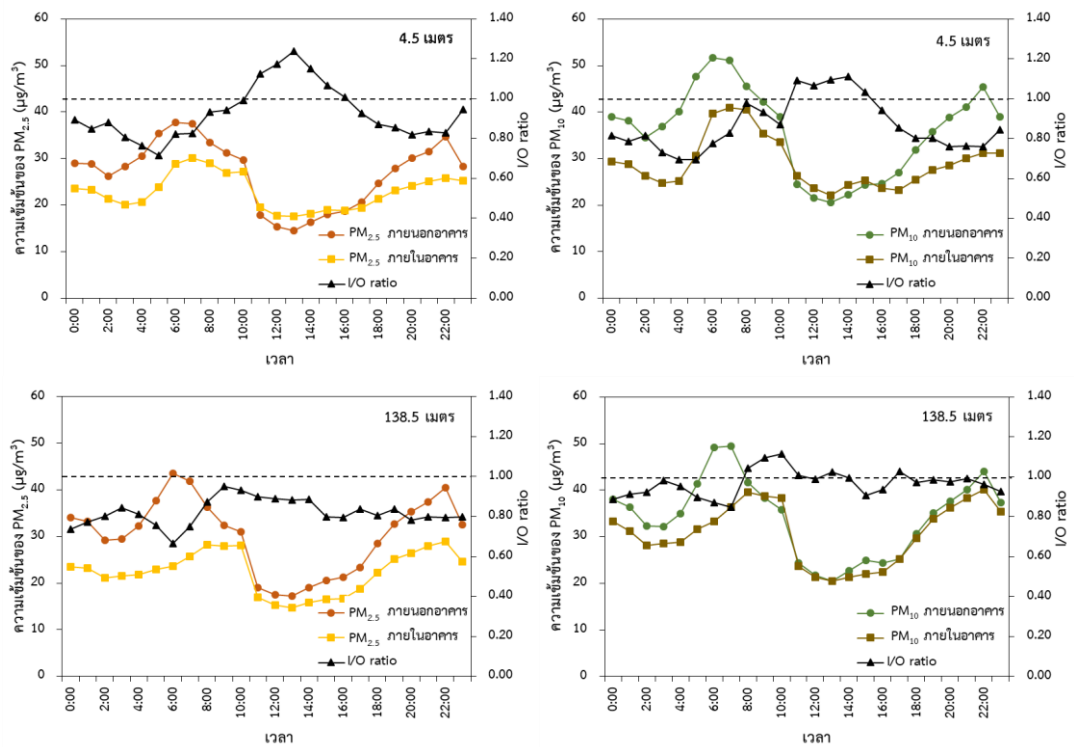
รูปที่ 4.24 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_{2.5} และ PM₁₀ ในรอบวัน ระหว่างการเก็บตัวอย่าง ในช่วงฤดูร้อน จากสถานีการเคหะชุมชนดินแดง

จากผลการศึกษา เห็นได้ว่า ฤดูกาลที่แตกต่างกันนอกจากจะส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองในแต่ละช่วงฤดูกาลมีความแตกต่างกันแล้ว ยังส่งผลให้ฝุ่นละอองมีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงในรอบแตกต่างกันด้วย โดยปัจจัยทางด้านสภาพอากาศถือเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาแนวโน้มของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร พบว่า มีแนวโน้มสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันทั้งสามช่วงฤดูกาล แสดงให้เห็นว่า ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดที่ระดับความสูงต่างก็มีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงในรอบวันไม่แตกต่างกัน

4.6.2 การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในรอบวันบริเวณภายในอาคาร

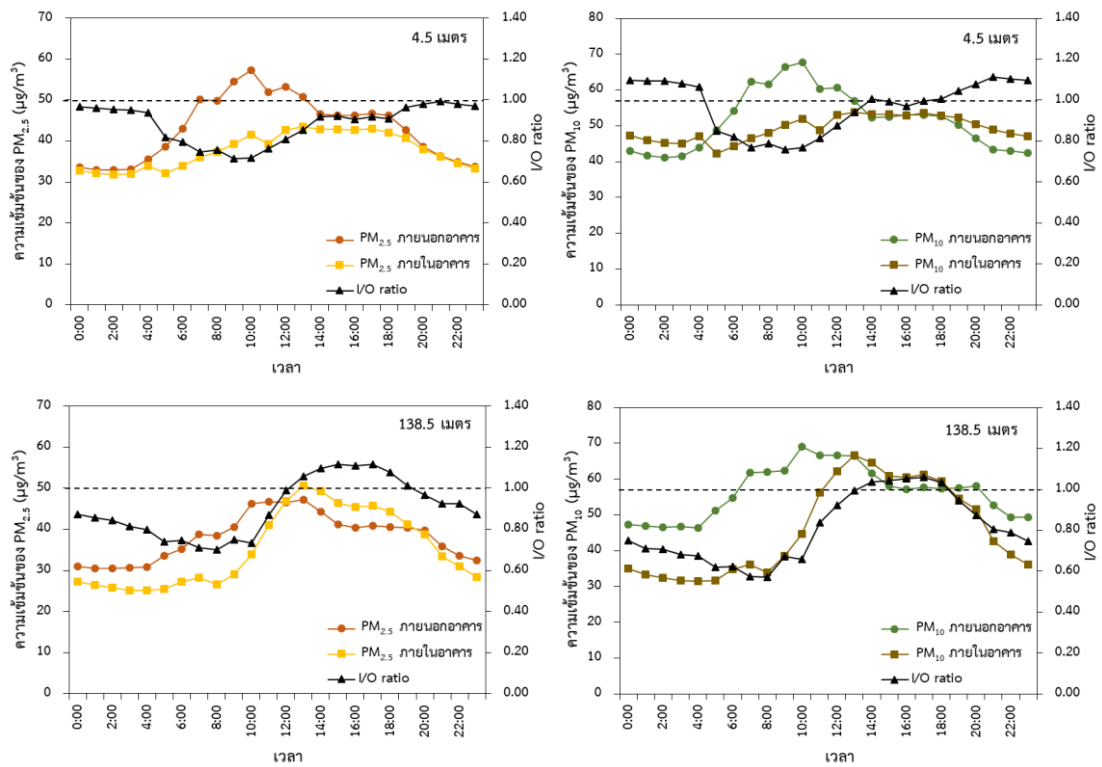
ผลการการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁₀ แบบอ่านค่าทันทีบริเวณภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 4.5 และ 138.5 เมตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 7 วัน ในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน โดยข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดที่ทำการเฉลี่ยทั้ง 7 วัน ได้นำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในอาคารในรอบวัน (ข้อมูลโดยละเอียดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานปรากฏดังภาคผนวก ฉ) และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่า I/O ratio ในรอบวันในแต่ละช่วงฤดูกาล (ข้อมูลโดยละเอียดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานปรากฏดังภาคผนวก ช) โดยผลการวิเคราะห์เป็นดังต่อไปนี้

ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ภายในอาคาร และค่าเฉลี่ย I/O ratio ของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดในรอบวันระหว่างช่วงฤดูฝน ปรากฏดังรูปที่ 2.25 พบว่า ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดบริเวณภายในอาคารมีแนวโน้มสอดคล้องกับภายนอกอาคารทั้งที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร โดยค่า I/O ratio ของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดที่ระดับความสูง 4.5 เมตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดช่วงกลางวันจนถึงหวัคค่า ระหว่างช่วงเวลา 06.00 - 19.00 น. ซึ่งได้มีการเปิดประตูระหว่างช่วงเวลาประมาณ 05.00 - 20.00 น. อีกทั้ง มีผู้คนเดินเข้าและออกกระหว่างภายในและภายนอกอาคารตลอดช่วงกลางวัน จึงอาจส่งผลให้ฝุ่นละอองสามารถแพร่กระจายเข้ามาสู่ภายในอาคาร และเกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองที่ตกอยู่บนพื้น ดังนั้น ฝุ่นละอองจึงเกิดการสะสมภายในอาคาร ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่า I/O ratio มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และพบค่ามากกว่า 1 ในช่วงเที่ยงวัน กล่าวคือ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในอาคารมีค่าสูงกว่าภายนอกอาคาร ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาค่า I/O ratio ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร พบว่า ค่า I/O ratio ของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงเวลากลางวัน เนื่องจากเป็นห้องโถงขนาดเล็ก จึงเกิดการสะสมของฝุ่นละอองภายในห้องได้ง่าย ทั้งนี้ ค่า I/O ratio PM_{10} มีพบว่ามีค่ามากกว่า 1 บางช่วงเวลา อาจเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากงานซ่อมบำรุงบริเวณห้องใกล้เคียง จึงทำให้ PM_{10} เกิดการฟุ้งกระจาย ส่งผลให้มีความเข้มข้นภายในอาคารสูงกว่าภายนอกอาคารในบางช่วงเวลา



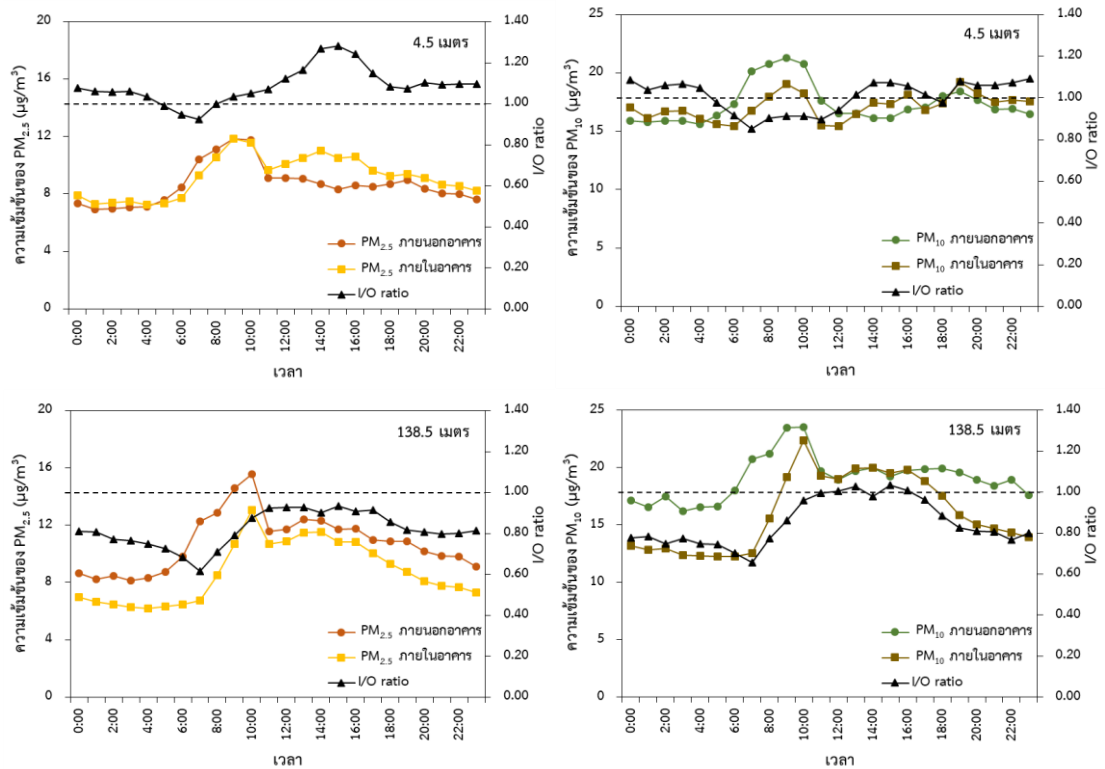
รูปที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในรอบวัน ระหว่างช่วงฤดูฝน

สำหรับผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ภายในอาคารและค่าเฉลี่ย I/O ratio ของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดในรอบวันระหว่างช่วงฤดูหนาว ปรากฏดังรูปที่ 2.26 พบว่า ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดบริเวณภายในอาคารมีแนวโน้มสอดคล้องกับภายนอกอาคาร ทั้งที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร โดยค่า I/O ratio ของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร มีแนวโน้มที่แตกต่างจากช่วงฤดูฝน โดยค่า I/O ratio ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร มีแนวโน้มลดลงระหว่างช่วงเวลา 04.00 - 14.00 น. เนื่องจากสภาพอากาศในช่วงฤดูหนาวมีลักษณะคงตัว ส่งผลให้ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ในช่วงเวลาเร่งด่วน โดยเฉพาะการจราจรบริเวณใกล้เคียง เกิดการสะสมในบรรยากาศตลอดช่วงกลางวัน โดยจะสังเกตเห็นว่า ฝุ่นละอองภายนอกอาคารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่เวลา 04.00 น. ฝุ่นละอองภายนอกอาคารจึงมีความเข้มข้นสูงกว่าภายในอาคารในช่วงดังกล่าว ซึ่งส่งผลให้ค่า I/O ratio มีแนวโน้มลดลงในช่วงเวลาตามทีกล่าวมาข้างต้น อย่างไรก็ตาม ฝุ่นละอองภายนอกอาคารก็แพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารผ่านทางประตู และเกิดการสะสมภายในอาคาร ส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในอาคารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดช่วงกลางวันจนถึงกลางคืน ประกอบกับฝุ่นละอองภายนอกอาคารมีแนวโน้มลดลงในช่วงบ่าย ด้วยเหตุนี้ จึงส่งผลให้ค่า I/O ratio มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงบ่ายเป็นต้นไป ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาที่ระดับความสูง 138.5 เมตร พบว่า ค่า I/O ratio ของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างเวลา 11.00 - 23.00 น. ทั้งนี้ เนื่องจากในช่วงเช้า ฝุ่นละอองภายนอกอาคารมีความเข้มข้นสูงกว่าภายในอาคารเช่นเดียวกับที่ระดับความสูง 4.5 เมตร จึงพบค่า I/O ratio มีค่าต่ำในช่วงเช้า จากนั้นฝุ่นละอองจากภายนอกอาคารก็แพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคาร จึงส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในอาคารและค่า I/O ratio เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากที่ระดับความสูง 138.5 เมตร เป็นห้องโถงขนาดเล็ก การสะสมของฝุ่นละอองภายในห้องจึงทำให้ฝุ่นละอองมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตาม ก็พบว่าฝุ่นละอองภายในอาคารและค่า I/O ratio มีแนวโน้มลดลงตั้งแต่ช่วงหัวค่ำ อาจเนื่องมาจากการเปิดประตูไว้ตลอดเวลา จึงมีการไหลเวียนและถ่ายเทอากาศระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ส่งผลให้ฝุ่นละอองสะสมภายในห้องลดลง



รูปที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของ PM_{2.5} และ PM₁₀ ในรอบวัน ระหว่างช่วงฤดูหนาว

ส่วนผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁₀ ภายในอาคารและค่าเฉลี่ย I/O ratio ของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดในรอบวันระหว่างช่วงฤดูร้อน ปรากฏดังรูปที่ 2.27 พบว่า ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดบริเวณภายในอาคารมีแนวโน้มสอดคล้องกับภายนอกอาคาร ทั้งที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร โดยค่า I/O ratio ของ PM_{2.5} ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างช่วงเวลา 08.00 - 18.00 น. ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่า I/O ratio ของ PM_{2.5} ในรอบวัน ให้ผลที่สอดคล้องกับช่วงฤดูร้อน อันเนื่องมาจากอิทธิพลจากการเปิดประตู และการเดินเข้าและออกระหว่างภายในและภายนอกอาคารของผู้คน ซึ่งทำให้เกิดการพัดพาและสะสมของฝุ่นละอองภายในอาคาร ทั้งนี้ ค่า I/O ratio ของ PM₁₀ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงกลางวันไม่มากนัก อาจเนื่องจากบริเวณใกล้เคียงอาคารมีกิจกรรมการปรับหน้าดิน ส่งผลให้ฝุ่นละอองเกิดการฟุ้งกระจายจากกิจกรรมดังกล่าว ความเข้มข้นของ PM₁₀ ภายนอกอาคารจึงมีค่าสูงกว่าภายในอาคาร และเมื่อเกิดแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคาร ค่า I/O ratio จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงบ่าย ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาที่ระดับความสูง 138.5 เมตร พบว่าค่า I/O ratio ของฝุ่นละอองทั้งสองขนาด มีแนวโน้มสอดคล้องกับช่วงฤดูฝนและฤดูหนาวเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของ PM_{2.5} และ PM₁₀ ในรอบวัน ระหว่างช่วงร้อน

การผลการวิเคราะห์ ชี้ให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงในรอบวันของฝุ่นละอองภายในอาคารมีแนวโน้มสอดคล้องกับภายนอกอาคารทั้งที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร โดยค่าเฉลี่ย I/O ratio ของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ในรอบวันที่ความสูงทั้งสองระดับมีแนวโน้มที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา เนื่องจากอิทธิพลของการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองที่ตกสะสมภายในอาคาร การปิดและเปิดประตู การเดินเข้าและออกระหว่างภายในและภายนอกอาคาร และอิทธิพลจากความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคาร เป็นต้น โดยจะพบว่าค่าเฉลี่ย I/O ratio ของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางวัน

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา โดยการนำความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงของ PM_{2.5} และ PM₁₀ ภายนอกอาคารที่ทำการตรวจวัดแบบอ่านค่าทันที (Real-time) ที่วิเคราะห์ด้วยหลักการ Light scattering (ข้อมูลโดยละเอียดปรากฏดังภาคผนวก ฉ) และปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในลักษณะเฉลี่ยรายชั่วโมง ได้แก่

อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความดันบรรยากาศ (ข้อมูลโดยละเอียดปรากฏดังภาคผนวก ก) มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติ Pearson correlation และ Multiple regression ส่วนข้อมูลปริมาณน้ำฝนไม่ได้นำมาวิเคราะห์หิเคราะห์ความสัมพันธ์กับฝุ่นละออง เนื่องจากไม่มีฝนตกในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน ทั้งนี้ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดภายนอกอาคารที่นำมาวิเคราะห์ ได้ทำการเฉลี่ยรวมระหว่างความเข้มข้นรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 4.5 กับ 138.5 เมตร โดยผลการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

4.7.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาด้วยสถิติ Pearson correlation

ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในลักษณะเฉลี่ยรายชั่วโมง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความดันบรรยากาศ โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามด้วยสถิติ Pearson correlation ผลการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาด้วยสถิติ Pearson correlation ปรากฏดังตารางที่ 4.6 พบว่า ความเร็วลมมีอิทธิพลต่อ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มากที่สุด รองลงมาคือ ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีอิทธิพลเฉพาะกับ $PM_{2.5}$ เท่านั้น โดยความเร็วลมมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($p < 0.01$) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.348 และ -0.359 ตามลำดับ กล่าวคือ เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองลดลง เนื่องจากความเร็วลมส่งผลให้ฝุ่นละอองสามารถแพร่กระจายได้ดี ฝุ่นละอองในบรรยากาศจึงเกิดการเจือจาง (Li et al., 2017a) ส่วนความดันบรรยากาศมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($p < 0.01$) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.199 และ 0.203 ตามลำดับ กล่าวคือ เมื่อความดันบรรยากาศสูงขึ้น จะส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่า ความดันบรรยากาศมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เนื่องจากความดันบรรยากาศสูง ส่งผลให้มวลอากาศเคลื่อนตัวได้ไม่ดี ฝุ่นละอองจึงเกิดการสะสมในบรรยากาศมากขึ้น (Li et al., 2017a; Li et al., 2017b) สำหรับอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ พบว่า มีความสัมพันธ์เฉพาะกับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) โดยความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.121

กล่าวคือ เมื่อความชื้นในบรรยากาศสูงขึ้น จะส่งผลให้ฝุ่นละอองมีความเข้มข้นลดลง สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความชื้นสัมพัทธ์ เมื่อความชื้นในบรรยากาศสูงขึ้น จะส่งผลให้ฝุ่นละอองดูดซับความชื้นจนมีน้ำหนักน้ำเพิ่มมากขึ้น และตกลงสู่พื้นดิน (Li et al., 2017a; Wang and Ogawa, 2015) ส่วนอนุภาคมีขนาดเล็กที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.121 กล่าวคือ เมื่ออนุภาคในบรรยากาศสูงขึ้น จะส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องมาจากเมื่อบรรยากาศมีอนุภาคสูงขึ้น จะมีอิทธิพลต่อการเกิดอนุภาคทุติยภูมิจากปฏิกิริยาทางเคมี (Photochemical process) (Li et al., 2017b) ส่งผลให้ฝุ่นละอองมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติ Pearson correlation เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ซึ่งยังไม่ได้มีการพิจารณาถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน ดังนั้น จึงต้องมีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.6 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาด้วยสถิติ Pearson correlation

ปัจจัย	$PM_{2.5}$		PM_{10}	
	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	p-value	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	p-value
อุณหภูมิ	0.121**	0.008	0.067	0.142
ความชื้นสัมพัทธ์	- 0.121**	0.008	- 0.060	0.186
ความเร็วลม	- 0.348**	0.000	- 0.359**	0.000
ความดันบรรยากาศ	0.199**	0.000	0.203**	0.000

หมายเหตุ: ** มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

4.7.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาด้วยสถิติ Multiple linear regression

ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในลักษณะเฉลี่ยรายชั่วโมง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความดันบรรยากาศ โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามด้วยสถิติ Multiple linear regression แบบวิธีการ Stepwise ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าว

เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหลายตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว และคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเข้าสู่สมการ โดยผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์อยู่ในรูปแบบของสมการดังต่อไปนี้

$$Y = C + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n \quad \text{สมการที่ 4.1}$$

โดยกำหนดให้ Y คือ ตัวแปรตาม

C คือ ค่าคงที่ (Constant)

B คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

X คือ ตัวแปรอิสระ

n คือ จำนวนตัวแปรอิสระ

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาด้วยสถิติ Multiple linear regression แบบวิธีการ Stepwise ปรากฏดังตารางที่ 4.7 พบว่า ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันบรรยากาศ มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R^2) ของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.173 และ 0.160 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยาดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เพียงร้อยละ 17.3 และมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM_{10} เพียงร้อยละ 16.0 ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาทิศทางความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม พบว่า ความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์เชิงลบกับฝุ่นละอองทั้งสองขนาด กล่าวคือ เมื่อความเร็วลมและความชื้นในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดมีความเข้มข้นลดลง ในขณะที่ความดันบรรยากาศมีสัมพันธ์เชิงบวกกับฝุ่นละอองทั้งสองขนาด กล่าวคือ ความดันบรรยากาศเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Pearson correlation

ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Pearson correlation พบว่า การวิเคราะห์ด้วยสถิติ Multiple linear regression แบบวิธีการ Stepwise ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} อาจเนื่องจากความสัมพันธ์ดังกล่าวได้รับอิทธิพลจากตัวแปรอิสระตัวอื่น นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับเข้มข้น PM_{10} จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า ปัจจัยหลักของปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองขนาด คือ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และ

ความดันบรรยากาศ อย่างไรก็ตาม ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยาดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁₀ ในระดับต่ำเพียงร้อยละ 17.3 และ 16.0 ตามลำดับ ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น อาจกล่าวได้ว่า ปัจจัยอุตุนิยมวิทยาที่ศึกษาไม่ได้มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นรายชั่วโมงของฝุ่นละอองมากนัก ซึ่งอาจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฝุ่นละออง เช่น แหล่งกำเนิดบริเวณใกล้เคียง ลักษณะของพื้นที่ศึกษา อิทธิพลจากความกดอากาศ และการผกผันของอุณหภูมิ เป็นต้น

ตารางที่ 4.7 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาด้วยสถิติ Multiple linear regression แบบวิธีการ Stepwise

ตัวแปร	สมการถดถอยพหุคูณ	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R ²)	p-value	N
PM _{2.5}	PM _{2.5} = -1,278.592 - 13.548WS - 0.3609RH + 1.801P	0.173	0.000	470
PM ₁₀	PM ₁₀ = -1,426.203 - 15.407WS - 0.290RH + 2.006P	0.160	0.000	470

หมายเหตุ: WS = ความเร็วลม, RH = ความชื้นสัมพัทธ์, P = ความดันบรรยากาศ

4.7.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาด้วยสถิติ Multiple linear regression ในลักษณะชุดข้อมูลแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

เพื่อให้เห็นถึงอิทธิพลของปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดในเชิงคาบเวลาที่แตกต่างกัน ในขั้นตอนนี้จึงนำข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายชั่วโมง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความดันบรรยากาศ มาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) โดยทำการเฉลี่ย 3 และ 6 ชั่วโมง จากนั้น นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วย Multiple linear regression ผลการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ในลักษณะชุดข้อมูลแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 ชั่วโมง ปรากฏดังตารางที่ 4.8 พบว่า ความเร็วลม และอุณหภูมิ มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁₀ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05) เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R²) ของ PM_{2.5} และ PM₁₀ พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.213 และ 0.201 ตามลำดับ สังเกตได้ว่า การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

ในลักษณะข้อมูลเฉลี่ย 3 ชั่วโมง ให้ผลที่มีตัวแปรทางปัจจัยอุตุนิยมวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไปจากการวิเคราะห์แบบรายชั่วโมง โดยพบว่าอุณหภูมิ เข้ามามีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองแทนความชื้นสัมพัทธ์และความดันบรรยากาศ โดยอุณหภูมิมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับฝุ่นละอองทั้งสองขนาด ในขณะที่ความเร็วลมยังคงมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองเช่นเดิม ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในลักษณะข้อมูลแบบเส้นค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 6 ชั่วโมง ที่ปรากฏดังตารางที่ 4.9 พบว่า ให้ผลที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคาบเวลาที่ 3 ชั่วโมง โดยพบว่า ความเร็วลม อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} รวมถึงความชื้นสัมพัทธ์มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R^2) ของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เท่ากับ 0.296 และ 0.274 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์เชิงคาบเวลาที่ 3 และ 6 ชั่วโมง ซึ่งให้เห็นว่า คาบเวลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองเปลี่ยนแปลงไป โดยพบว่าอุณหภูมิจะเข้ามามีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดในคาบเวลา 3 และ 6 ชั่วโมง อีกทั้ง ยังพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R^2) ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการวิเคราะห์แบบรายชั่วโมง

ตารางที่ 4.8 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาด้วยสถิติ Multiple linear regression ในลักษณะชุดข้อมูลแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 ชั่วโมง

ตัวแปร	สมการถดถอยพหุคูณ	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R^2)	p-value	N
$PM_{2.5}$	$PM_{2.5} = 7.240 - 18.622WS + 1.278T$	0.213	0.000	498
PM_{10}	$PM_{10} = 19.251 - 21.169WS + 1.271T$	0.201	0.000	498

หมายเหตุ: WS = ความเร็วลม, T = อุณหภูมิ

ตารางที่ 4.9 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาด้วยสถิติ Multiple linear regression ในลักษณะชุดข้อมูลแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 6 ชั่วโมง

ตัวแปร	สมการถดถอยพหุคูณ	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R^2)	p-value	N
$PM_{2.5}$	$PM_{2.5} = 9.535 - 24.941WS + 1.655T - 0.110RH$	0.296	0.000	489
PM_{10}	$PM_{10} = 16.134 - 27.723WS + 1.570T$	0.274	0.000	489

หมายเหตุ: WS = ความเร็วลม, T = อุณหภูมิ, RH = ความชื้นสัมพัทธ์

4.8 การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละออง

การศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละออง จำนวน 13 ชนิด ได้แก่ สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ตะกั่ว (Pb) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) แมกนีเซียม (Mg) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แบเรียม (Ba) ซึ่งได้ทำการควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละอองด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS) โดยผลการวิเคราะห์เป็นดังต่อไปนี้

4.8.1 กราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

ทำการสร้างกราฟมาตรฐานของโลหะทั้ง 13 ชนิดที่ระดับความเข้มข้นในช่วง 5 - 5,000 ppb ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการสร้างกราฟมาตรฐาน จำนวน 3 ชุด โดยผลการวิเคราะห์ปรากฏดังตารางที่ 4.9 (กราฟมาตรฐานปรากฏดังภาคผนวก ข) โดยผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า R^2 ของโลหะทั้ง 13 ชนิดจากกราฟมาตรฐาน มีค่าอยู่ในช่วง 0.9990 - 0.9998 นอกจากนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เพื่อทดสอบความแม่นยำของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS โดยผลวิเคราะห์ปรากฏดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะด้วยเครื่อง ICP-MS

ชนิดของโลหะ	ค่า R^2 ของกราฟมาตรฐาน			%RSD	LOD ($\mu\text{g/L}$)
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3		
Mg	0.9997	0.9990	0.9997	0.520	5.00
K	0.9990	0.9991	0.9990	6.107	5.00
Cr	0.9993	0.9991	0.9995	0.906	1.50
Mn	0.9991	0.9992	0.9994	0.859	1.00
Fe	0.9994	0.9994	0.9992	0.963	1.50
Ni	0.9996	0.9992	0.9997	0.674	1.00
Cu	0.9993	0.9991	0.9995	0.848	1.00
Zn	0.9998	0.9990	0.9998	0.572	1.00
As	0.9990	0.9992	0.9994	0.019	1.50
Cd	0.9993	0.9990	0.9994	3.873	1.00
Ba	0.9992	0.9990	0.9994	0.286	1.00
Pb	0.9996	0.9993	0.9995	2.420	1.00
Ca	0.9990	0.9994	0.9990	8.317	5.00

4.8.2 ค่า Limit of detection (LOD)

ทำการวิเคราะห์ค่า LOD เพื่อหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้จากเครื่อง ICP-MS โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากการวัดสัญญาณ Blank ของสารละลาย จำนวน 10 ซ้ำ จากนั้นนำค่าที่ได้จากการวัดมาคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) แล้วนำมาคำนวณค่า LOD โดยผลการวิเคราะห์ปรากฏดังตารางที่ 4.10

4.8.3 การวิเคราะห์ค่าร้อยละคืนกลับ (%Recovery)

ทำการทดสอบประสิทธิภาพการสกัดโลหะในฝุ่นละอองจากกระต๊ากการองด้วยการวิเคราะห์ %Recovery โดยการนำวัสดุอ้างอิง (Standard Reference Materials: 1648a Urban Particulate Matter) ที่ทราบความเข้มข้นของโลหะจำนวน 12 ตัวอย่าง มาผ่านกระบวนการสกัดด้วยเครื่อง Microwave digester (CEM MARS-5) เช่นเดียวกับการสกัดโลหะในตัวอย่างฝุ่นละอองจากกระต๊ากการองเพื่อให้อยู่ในรูปของสารละลาย โดยผลการวิเคราะห์ปรากฏดังตารางที่ 4.11 พบว่าค่า %Recovery ของโลหะทุกชนิดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (ร้อยละ 80 - 120) ยกเว้นค่า %Recovery ของโครเมียมที่มีค่าอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 30 - 47 ดังนั้น การรายงานผลความเข้มข้นของโครเมียมในการศึกษาครั้งนี้ ได้นำ Recovery factor (R) มาคูณกับความเข้มข้นของโครเมียมที่วิเคราะห์ได้ เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นที่มีความถูกต้องและเที่ยงตรง โดยกำหนดให้ Recovery factor (R) มีค่าเท่ากับ 100% ทหารด้วย %Recovery ของโครเมียมในแต่ละรอบ

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละคืนกลับ (%Recovery)

ชนิดของโลหะ	%Recovery	ชนิดของโลหะ	%Recovery
	ค่าต่ำสุด - สูงสุด		ค่าต่ำสุด - สูงสุด
Mg	82.04 - 117.54	Cu	81.48 - 120.40
K	88.43 - 119.77	Zn	84.29 - 121.15
Cr	29.96 - 46.50	As	82.76 - 103.49
Mn	83.49 - 126.54	Cd	82.61 - 124.05
Fe	81.01 - 112.50	Pb	78.83 - 114.64
Ni	90.90 - 120.19	Ca	80.66 - 109.79

4.9 ระดับความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10}

ทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} จำนวน 13 ชนิด ได้แก่ As, Cd, Cr, Pb, Mn, Ni, Cu, Fe, Zn, Mg, K, Ca และ Ba โดยทำการศึกษาบริเวณอาคารสูง ประเภทอาคารสำนักงานแห่งหนึ่งในพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 3 ระดับ ได้แก่ 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ระหว่างช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน ซึ่งฝุ่นละอองที่ได้จากการเก็บตัวอย่างได้นำมาย่อยด้วยเครื่อง Microwave digestion (CEM MARS-5) จากนั้น นำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละอองด้วยเครื่อง ICP-MS โดยผลการศึกษายเป็นดังต่อไปนี้

4.9.1 ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายนอกอาคาร

ทำการศึกษาระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายนอกอาคาร จำนวน 13 ชนิด ได้แก่ As, Cd, Cr, Pb, Mn, Ni, Cu, Fe, Zn, Mg, K, Ca และ Ba รวมถึงความเข้มข้นของโลหะรวมทั้ง 13 ชนิด โดยศึกษาที่ระดับความสูงจากพื้นดินสามระดับ ได้แก่ 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ระหว่างช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน ผลการศึกษายเป็นดังต่อไปนี้

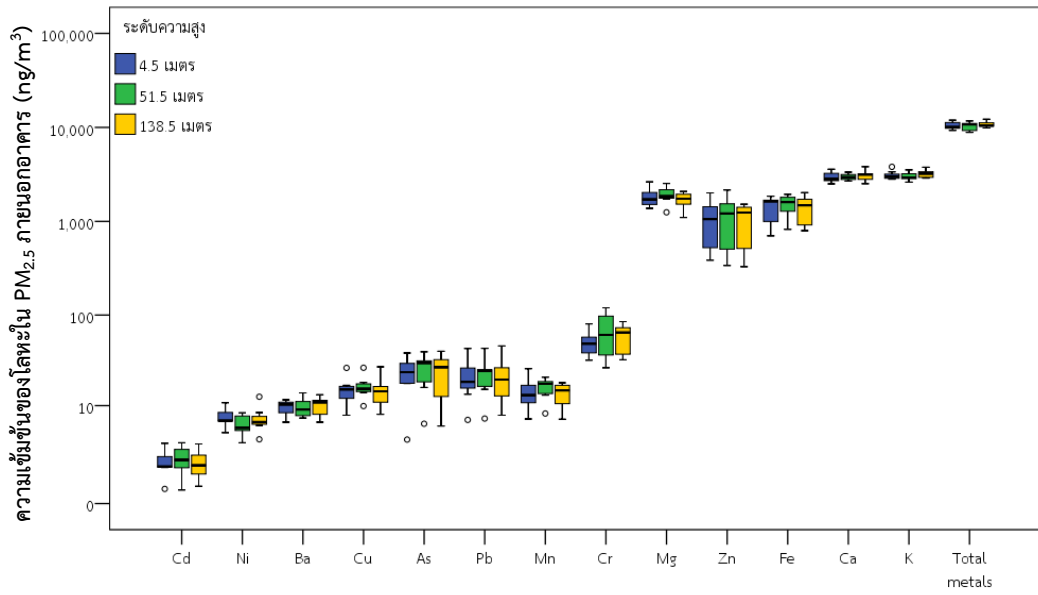
ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ปรากฏดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.28 - 4.30 (ข้อมูลโดยละเอียดปรากฏดังภาคผนวก ฉ) พบว่า ผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ในการศึกษาครั้งนี้ มีค่าอยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ในบรรยากาศ บริเวณพื้นที่เขตเมือง จากการศึกษาที่ผ่านมาตามที่ปรากฏดังตารางที่ 4.13 (Acciai et al., 2017; Chuersuan et al., 2008; Liu et al., 2015; Liu et al., 2018b; Tao et al., 2017; Wang et al., 2018; Wimolwattanapun et al., 2011; Zhang et al., 2015) โดยในช่วงฤดูฝนมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะรวมทั้งระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร เท่ากับ $10,492.386 \pm 1,007.854$, $10,396.845 \pm 1,098.792$ และ $10,744.938 \pm 832.048$ นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ สำหรับในช่วงฤดูหนาว มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,455.364 \pm 626.445$, $1,320.193 \pm 701.835$ และ $1,470.36 \pm 912.913$ นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และในช่วงฤดูร้อน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,059.488 \pm 335.670$, $1,088.19 \pm 220.456$ และ 908.323 ± 407.129 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน (ng/m³)

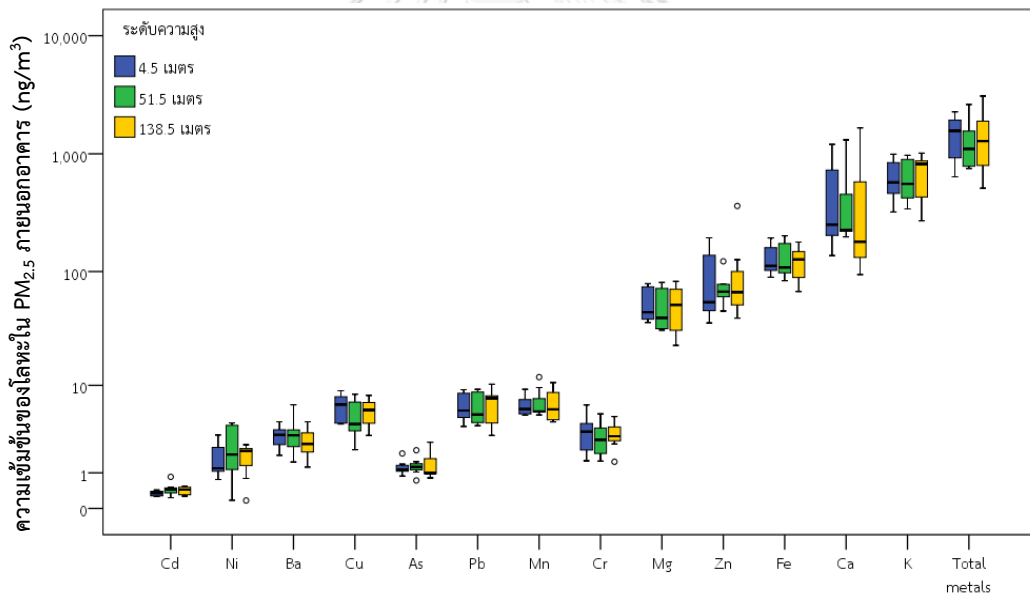
ชนิดของโลหะ	ช่วงฤดูฝน					ช่วงฤดูหนาว					ช่วงฤดูร้อน	
	ค่าเฉลี่ย ± SD	51.5 เมตร	138.5 เมตร	4.5 เมตร	51.5 เมตร	ค่าเฉลี่ย ± SD	138.5 เมตร	4.5 เมตร	51.5 เมตร	ค่าเฉลี่ย ± SD	51.5 เมตร	138.5 เมตร
Mg	4.5 เมตร	1,833.425 ± 443.135	1,700.808 ± 362.574	55.085 ± 19.401	49.231 ± 21.328	51.667 ± 24.186	71.639 ± 20.231	75.744 ± 14.361	62.274 ± 16.068	51.5 เมตร	75.744 ± 14.361	138.5 เมตร
K		3,107.821 ± 360.274	3,216.352 ± 327.457	642.518 ± 251.194	645.709 ± 269.933	673.03 ± 288.188	297.644 ± 150.768	484.713 ± 177.61	358.901 ± 200.766		484.713 ± 177.61	
Cr		50.992 ± 16.623	68.338 ± 37.951	3.492 ± 1.798	3.007 ± 1.365	3.276 ± 1.213	2.995 ± 1.849	2.529 ± 0.148	2.535 ± 1.826		2.529 ± 0.148	
Mn		14.585 ± 6.278	16.013 ± 4.438	6.521 ± 1.569	7.033 ± 2.623	6.76 ± 2.477	3.586 ± 1.309	4.227 ± 2.365	5.878 ± 3.938		4.227 ± 2.365	
Fe		1,371.353 ± 462.195	1,507.518 ± 398.639	131.298 ± 39.522	133.739 ± 47.939	121.382 ± 42.429	88.176 ± 21.909	123.652 ± 16.38	98.735 ± 46.361		123.652 ± 16.38	
Ni		7.397 ± 1.957	5.91 ± 1.956	1.69 ± 0.908	2.226 ± 1.626	1.697 ± 0.864	1.732 ± 0.743	1.743 ± 1.24	1.951 ± 0.973		1.743 ± 1.24	
Cu		15.359 ± 6.002	16.696 ± 5.192	6.262 ± 2.011	5.074 ± 2.285	5.624 ± 1.844	3.861 ± 1.313	2.4 ± 0.617	3.422 ± 1.561		2.4 ± 0.617	
Zn		1057.931 ± 607.922	1119.066 ± 691.319	93.228 ± 62.487	73.501 ± 26.135	111.411 ± 114.125	97.549 ± 52.209	65.115 ± 4.561	62.021 ± 49.721		65.115 ± 4.561	
As		23.331 ± 11.733	25.431 ± 11.576	1.24 ± 0.339	1.301 ± 0.427	1.381 ± 0.66	0.81 ± 0.565	2.334 ± 1.038	1.004 ± 0.299		2.334 ± 1.038	
Cd		1.805 ± 1.01	2.012 ± 1.052	0.341 ± 0.07	0.461 ± 0.198	0.411 ± 0.113	0.208 ± 0.09	0.172 ± 0.182	0.202 ± 0.042		0.172 ± 0.182	
Ba		9.561 ± 2.045	9.674 ± 2.543	3.1 ± 0.945	3.309 ± 1.651	2.72 ± 1.16	1.432 ± 0.723	1.295 ± 0.266	1.808 ± 1.347		1.295 ± 0.266	
Pb		22.207 ± 12.271	22.836 ± 11.423	6.488 ± 2.126	6.339 ± 2.365	6.5 ± 2.603	2.655 ± 1.027	2.1 ± 1.921	4.381 ± 4.007		2.1 ± 1.921	
Ca		2,976.621 ± 389.552	2,983.045 ± 249.34	504.102 ± 430.844	438.924 ± 437.326	484.501 ± 567.891	487.201 ± 346.283	331.83 ± 218.129	305.211 ± 239.048		331.83 ± 218.129	
โลหะรวม		10,492.386 ± 1007.854	10,396.845 ± 1098.792	1,455.364 ± 832.048	1,320.193 ± 701.835	1,470.36 ± 912.913	1,059.488 ± 335.67	1,088.19 ± 220.456	908.323 ± 407.129		1,088.19 ± 220.456	

ตารางที่ 4.13 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ในบรรยากาศ บริเวณพื้นที่เขตเมืองจากการศึกษาที่ผ่านมา (ng/m³)

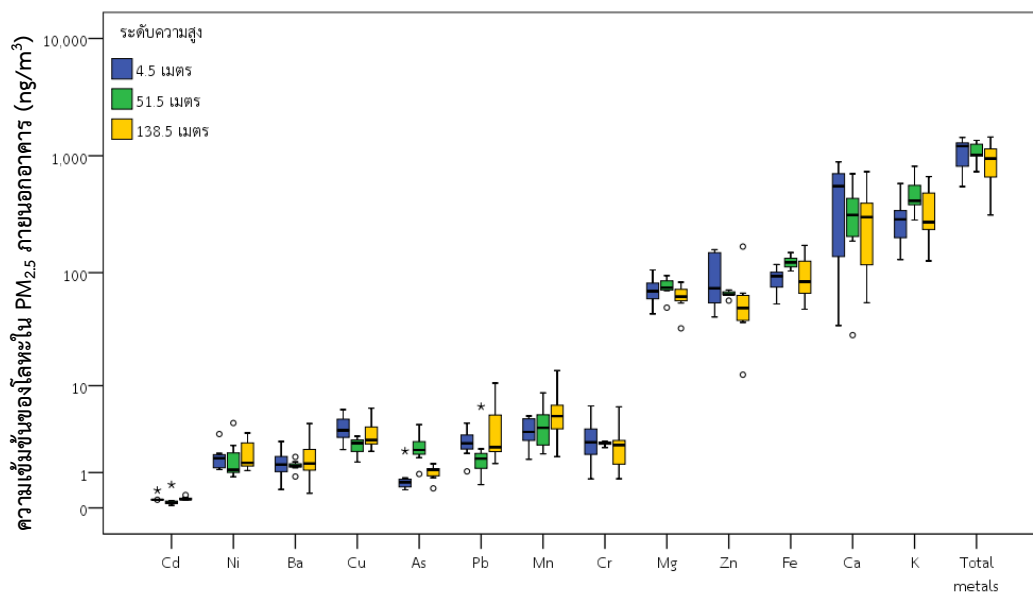
ชนิดของโลหะ	พื้นที่ศึกษา										
	Beijing, China (Liu et al., 2018b)	Guangzhou, China (Tao et al., 2017)	Wuhan, China (Zhang et al., 2015)	Wuhan, China (Liu et al., 2015)	Hangzhou, China (Liu et al., 2015)	Sichuan Basin, southwest China (Wang et al., 2018)	Wuhan, China (Acciai et al., 2017)	Din Daeng district, Bangkok (Chuersuwan et al., 2008)	Chatuchak district, Bangkok (Wimolwattanapun et al., 2011)	Yunlin, Taiwan (Chen et al., 2015b)	
Mg	-	-	790	-	-	-	-	470 ± 250	81.2 ± 51.2	246 ± 123	726 ± 531
K	-	-	1,530	-	-	720	3,733.48 ± 3,249.17	980 ± 506	396 ± 267	518 ± 413	-
Cr	3.97 ± 6.73	9 ± 6	7.91	4.2 ± 3.7	5.6	5.6	9.81 ± 13.93	130 ± 60	3.85 ± 2.93	7.15 ± 3.75	16.9 ± 8.68
Mn	38.1 ± 38.7	34 ± 17	97.25	26.3 ± 29.1	33.8	33.8	76.46 ± 50.94	50 ± 20	7.96 ± 7.06	18.5 ± 16.6	46.8 ± 22.4
Fe	1,159 ± 1,660	353 ± 174	1,680	1,300 ± 1,200	456	456	1,820.76 ± 1,458.54	1,430 ± 820	141 ± 66	629 ± 325	2,155 ± 1,723
Ni	3.01 ± 2.37	4 ± 2	4.8	2.9 ± 1.9	2.1	2.1	3.57 ± 3.39	260 ± 310	3.23 ± 1.98	4.51 ± 2.90	5.345 ± 3.34
Cu	25.0 ± 59.7	37 ± 29	25.27	88.8 ± 103.7	18.7	18.7	30.13 ± 23.26	80 ± 140	7.09 ± 4.87	10.8 ± 7.1	15.1 ± 8.79
Zn	291 ± 553	225 ± 124	290.78	1,300 ± 1,200	238	238	419.21 ± 388.18	780 ± 740	61.9 ± 36.6	90.4 ± 59.5	107 ± 31.9
As	7.84 ± 7.90	-	34.71	-	10.8	10.8	27.82 ± 27.91	310 ± 130	4.33 ± 5.02	1.95 ± 2.24	2.10 ± 1.50
Cd	1.27 ± 1.28	-	4.27	6.7 ± 5.6	-	-	-	-	-	-	0.604 ± 0.225
Ba	278 ± 705	46 ± 22	31.38	-	-	-	103.15 ± 79.17	-	-	-	33.9 ± 24.3
Pb	53.6 ± 73.5	77 ± 47	158.4	500 ± 300	55.4	55.4	180.79 ± 128.79	180 ± 180	29.3 ± 24.4	43.8 ± 37.8	23.8 ± 9.87
Ca	2,669 ± 3,037	195 ± 140	4,300	-	240	240	1,792.49 ± 2,043.36	2,980 ± 2,280	159 ± 91	1,573 ± 776	1,035 ± 521



รูปที่ 4.28 ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.29 ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูแล้ง

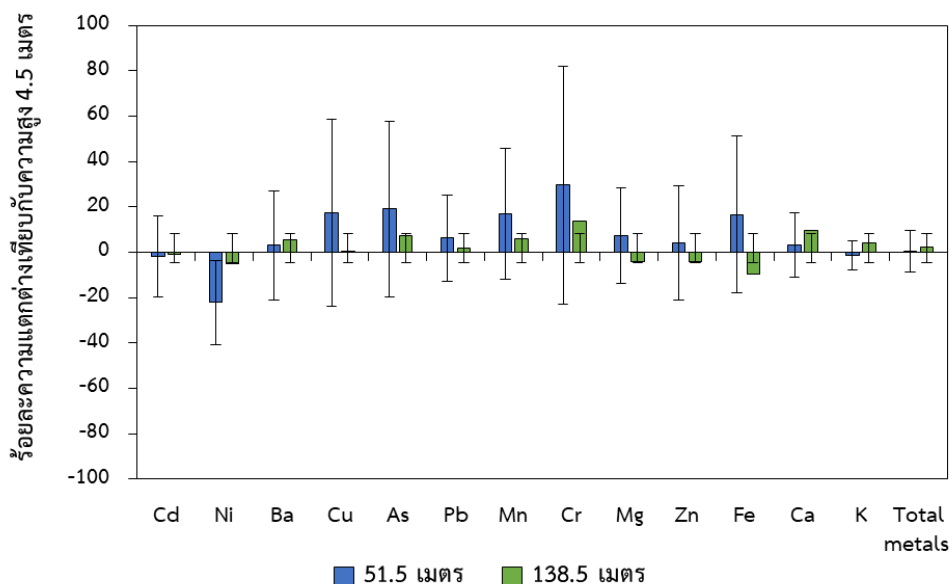


รูปที่ 4.30 ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูร้อน

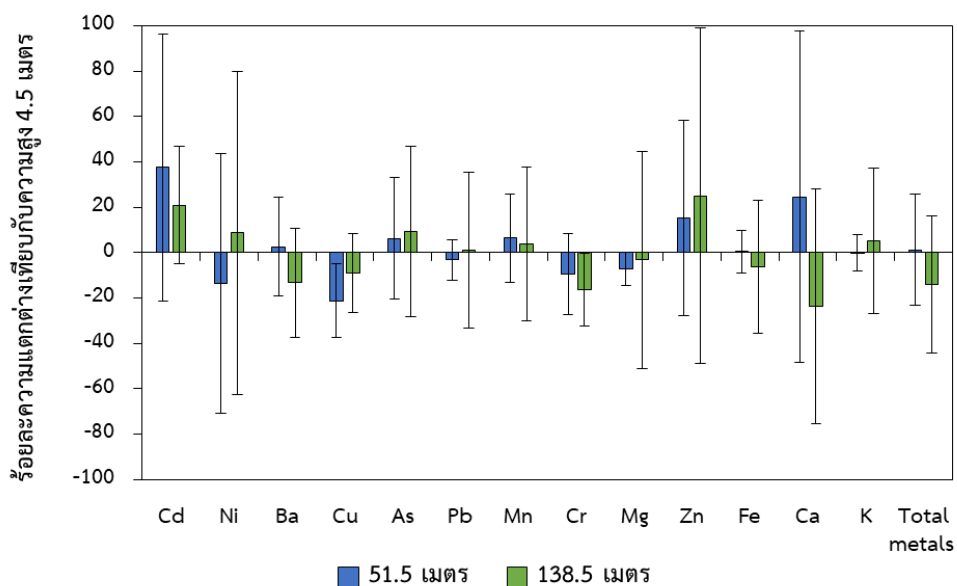
เมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ที่ความสูงทั้งสามระดับตามที่ปรากฏดังรูปที่ 4.31 - 4.33 พบว่า ทั้งสามช่วงฤดูกาล ความเข้มข้นของโลหะแต่ละชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงตามระดับความสูงแตกต่างกัน ไม่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูงที่ชัดเจน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะรวมทั้งที่ระดับ 51.5 และ 138.5 เมตรกับที่ระดับความสูง 4.5 เมตร พบว่า ปริมาณโลหะรวมทั้งที่ระดับความสูง 4.5 เมตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ระดับความสูง 51.5 เมตร เฉลี่ยร้อยละ 0.4, 1.2 และ 16.6 ในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ระดับความสูง 138.5 เมตร เฉลี่ยร้อยละ 2.5 ในช่วงฤดูฝน ส่วนในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน มีแนวโน้มลดลงเฉลี่ยร้อยละ 13.9 และ 4.8 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของโลหะรวมทั้งสามระดับความสูงมีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมากนัก อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของโลหะบางชนิดในช่วงฤดูร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงมากกว่าทั้งสองช่วงฤดูกาล อาจเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากความเร็วลม จึงทำให้เกิดการแพร่กระจายตามแนวตั้งของโลหะบางชนิดอย่างไม่สม่ำเสมอ ซึ่งผลการตรวจวัดสภาพพอดูนิยมหาวิทยาลัยพบว่า ในช่วงฤดูร้อนมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงกว่าช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว (ปรากฏดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1)

เมื่อนำความเข้มข้นของโลหะรวมมาวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างระดับความสูงทั้งสามระดับด้วยสถิติ One-way ANOVA พบว่า ความเข้มข้นของโลหะรวมทั้งความสูงทั้งสามระดับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ทั้งในช่วงฤดูร้อน ฤดูหนาว และฤดูฝน ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่พบว่า มีความ

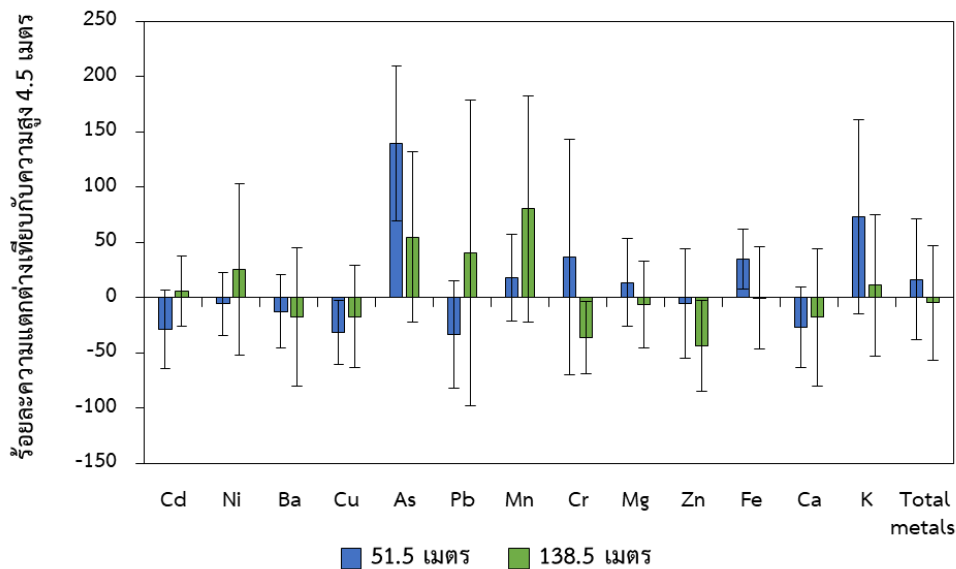
เข้มข้นไม่แตกต่างกันที่ความสูงทั้งสามระดับทั้งสามช่วงฤดูกาล (ปรากฏดังรูปที่ 4.8) จากผลการวิเคราะห์ที่ชี้ให้เห็นว่า ฤดูกาลที่แตกต่างกันไม่ได้มีอิทธิพลต่อความแตกต่างของปริมาณโลหะรวมใน $PM_{2.5}$ ที่ความสูงทั้งสามระดับมากนักเช่นเดียวกับปริมาณของ $PM_{2.5}$



รูปที่ 4.31 ร้อยละความแตกต่างความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 51.5 และ 138.5 เมตรเทียบกับระดับความสูง 4.5 เมตรในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.32 ร้อยละความแตกต่างความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 51.5 และ 138.5 เมตรเทียบกับระดับความสูง 4.5 เมตรในช่วงฤดูหนาว

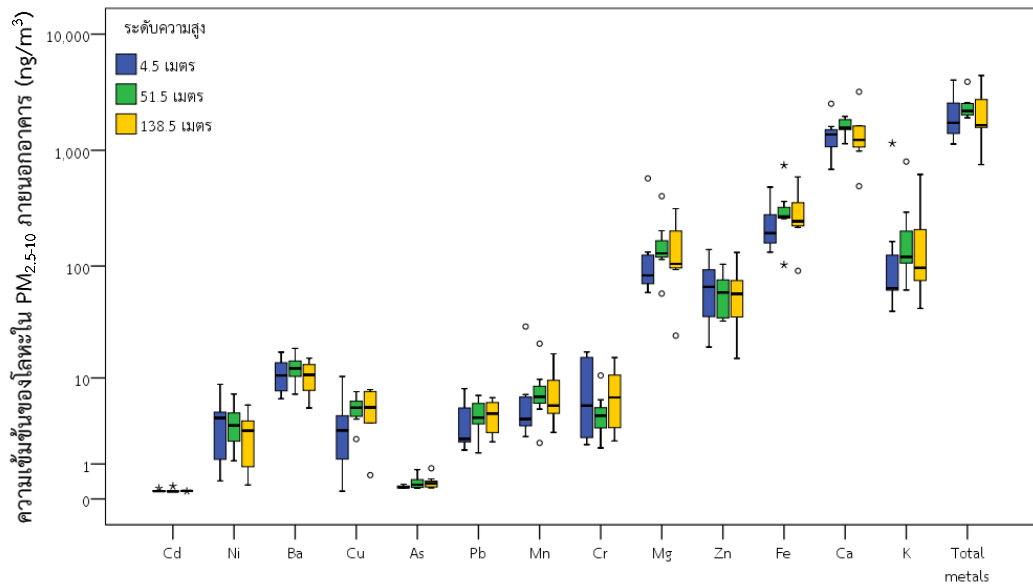


รูปที่ 4.33 ร้อยละความแตกต่างความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 51.5 และ 138.5 เมตรเทียบกับระดับความสูง 4.5 เมตรในช่วงฤดูร้อน

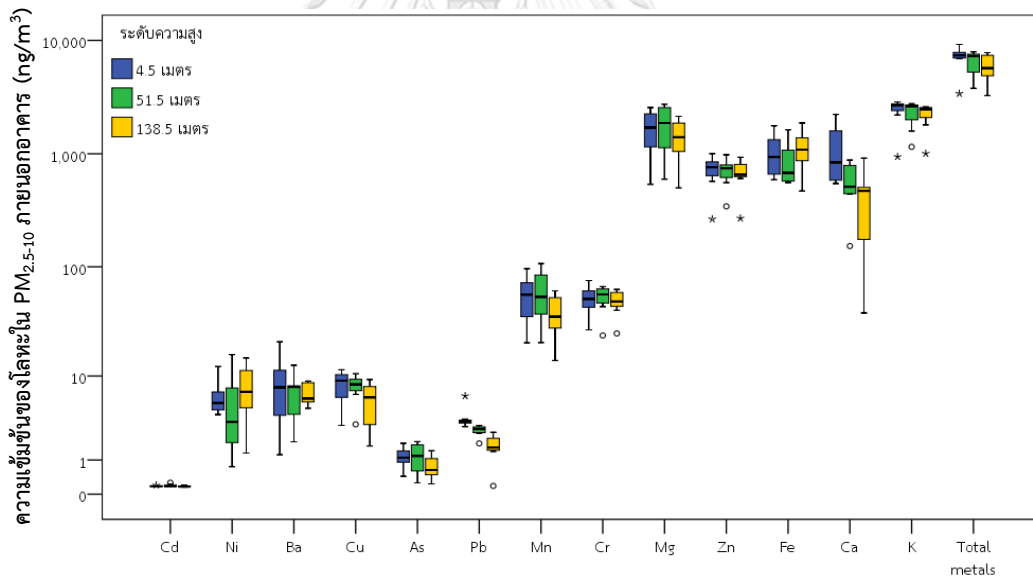
สำหรับผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ปรากฏดังตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.34 - 4.36 (ข้อมูลโดยละเอียดปรากฏดังภาคผนวก ฉ) พบว่า ผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10} ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับผลความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10} ในบรรยากาศ บริเวณพื้นที่เขตเมือง จากการศึกษาที่ผ่านมาตามที่ปรากฏดังตารางที่ 4.13 (Chen et al., 2015b; Wimolwattanapun et al., 2011) โดยในช่วงฤดูฝน มีความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะรวมที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร เท่ากับ $2,136.309 \pm 1,081.780$, $2,437.987 \pm 686.342$ และ $2,219.132 \pm 1,245.597$ นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ สำหรับในช่วงฤดูหนาว มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $7,089.356 \pm 1,801.641$, $6,406.584 \pm 1,720.812$ และ $5,910.351 \pm 1,744.634$ นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และในช่วงฤดูร้อน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $6,277.687 \pm 1,687.847$, $6,778.494 \pm 770.352$ และ $5,616.896 \pm 561.196$ นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.14 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะใน $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคารในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน (ng/m^3)

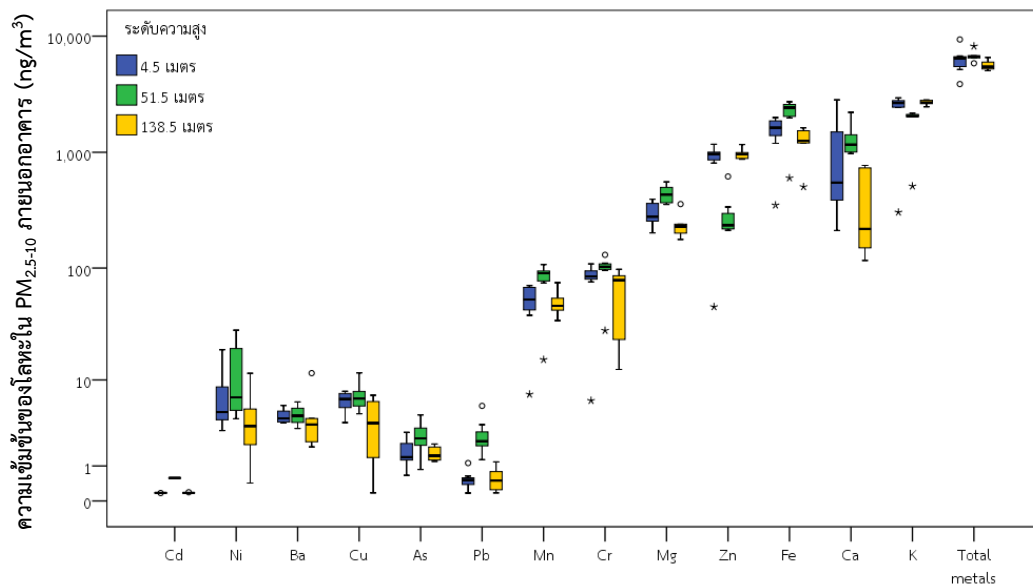
ชนิดของโลหะ	ช่วงฤดูฝน			ช่วงฤดูหนาว			ช่วงฤดูร้อน		
	ค่าเฉลี่ย \pm SD	ค่าเฉลี่ย \pm SD	ค่าเฉลี่ย \pm SD	ค่าเฉลี่ย \pm SD	ค่าเฉลี่ย \pm SD	ค่าเฉลี่ย \pm SD	ค่าเฉลี่ย \pm SD	ค่าเฉลี่ย \pm SD	
Mg	4.5 ไมโครกรัม	138.5 ไมโครกรัม	4.5 ไมโครกรัม	51.5 ไมโครกรัม	138.5 ไมโครกรัม	4.5 ไมโครกรัม	51.5 ไมโครกรัม	138.5 ไมโครกรัม	
	157.827 \pm 184.941	152.436 \pm 109.098	1,660.35 \pm 752.108	1,799.854 \pm 855.655	1,411.248 \pm 584.778	301.208 \pm 71.732	439.138 \pm 80.954	239.035 \pm 62.502	
K	233.472 \pm 405.769	199.730 \pm 215.941	2,402.707 \pm 678.945	2,289.696 \pm 646.142	2,199.989 \pm 593.959	2,338.54 \pm 916.777	1,860.283 \pm 597.884	2,678.383 \pm 133.441	
Cr	8.222 \pm 6.917	7.386 \pm 5.072	51.891 \pm 17.059	52.749 \pm 14.976	49.072 \pm 13.206	78.556 \pm 33.981	96.134 \pm 32.007	62.705 \pm 35.649	
Mn	7.923 \pm 9.647	7.682 \pm 5.249	55.715 \pm 26.838	61.059 \pm 31.799	39.126 \pm 17.225	50.419 \pm 22.416	79.455 \pm 30.215	50.055 \pm 13.851	
Fe	240.906 \pm 122.637	299.257 \pm 165.439	1,043.069 \pm 456.205	905.141 \pm 488.834	1,144.707 \pm 497.893	1502.517 \pm 571.19	2,141.564 \pm 731.62	1,231.063 \pm 395.316	
Ni	3.528 \pm 2.884	2.562 \pm 1.934	6.439 \pm 3.075	5.861 \pm 5.977	8.003 \pm 5	7.43 \pm 5.583	11.783 \pm 9.945	4.342 \pm 3.88	
Cu	3.570 \pm 3.481	4.920 \pm 2.647	8.093 \pm 3.156	7.851 \pm 2.474	5.641 \pm 2.993	6.244 \pm 1.552	7.125 \pm 2.482	3.703 \pm 2.683	
Zn	69.138 \pm 43.287	61.153 \pm 38.265	716.444 \pm 240.152	700.524 \pm 205.349	675.323 \pm 215.540	844.591 \pm 368.99	300.238 \pm 147.179	973.010 \pm 106.089	
As	0.274 \pm 0.036	0.406 \pm 0.199	1.142 \pm 0.455	1.147 \pm 0.673	0.769 \pm 0.439	1.683 \pm 0.818	2.632 \pm 1.216	1.56 \pm 0.375	
Cd	0.178 \pm 0.027	0.171 \pm 0.002	0.176 \pm 0.012	0.193 \pm 0.036	0.174 \pm 0.018	0.174 \pm 0.001	0.575 \pm 0.003	0.176 \pm 0.007	
Ba	11.076 \pm 4.524	10.487 \pm 3.929	8.780 \pm 6.790	6.803 \pm 3.739	6.834 \pm 1.822	4.414 \pm 0.768	4.55 \pm 1.144	4.493 \pm 3.580	
Pb	3.740 \pm 2.349	4.277 \pm 1.77	3.734 \pm 1.173	2.624 \pm 0.421	1.623 \pm 0.756	0.534 \pm 0.297	2.718 \pm 1.439	0.561 \pm 0.368	
Ca	1,397.630 \pm 590.751	1,469.368 \pm 851.519	1,139.174 \pm 670.477	573.083 \pm 259.502	429.151 \pm 304.054	1,141.377 \pm 1150.718	1,321.881 \pm 460.319	367.809 \pm 300.073	
โลหะรวม	2,136.309 \pm 1081.780	2,219.132 \pm 1,245.597	7,089.356 \pm 1,801.641	6,406.584 \pm 1,720.812	5,910.351 \pm 1,744.634	6,277.687 \pm 1,687.847	6,778.494 \pm 770.352	5,616.896 \pm 561.196	



รูปที่ 4.34 ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.35 ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูแล้ง

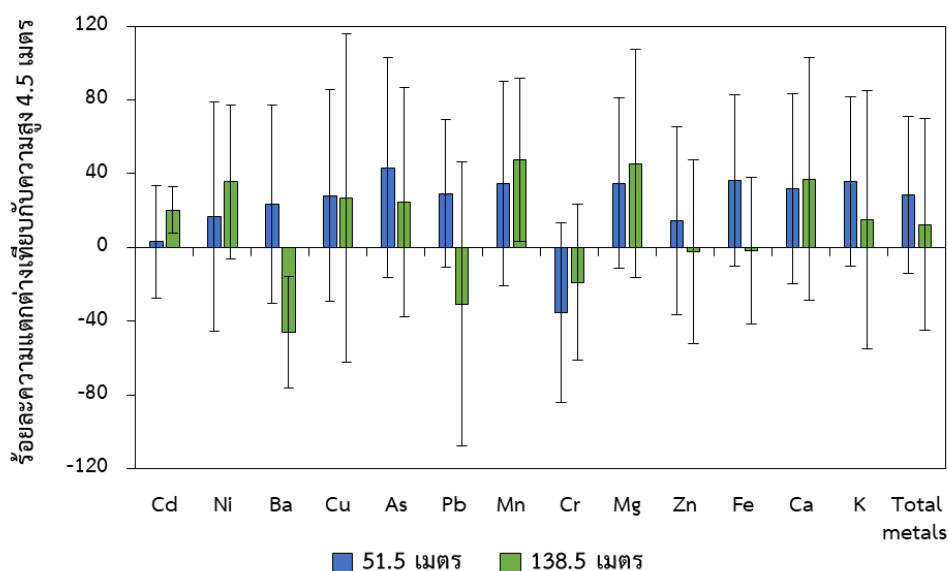


รูปที่ 4.36 ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูร้อน

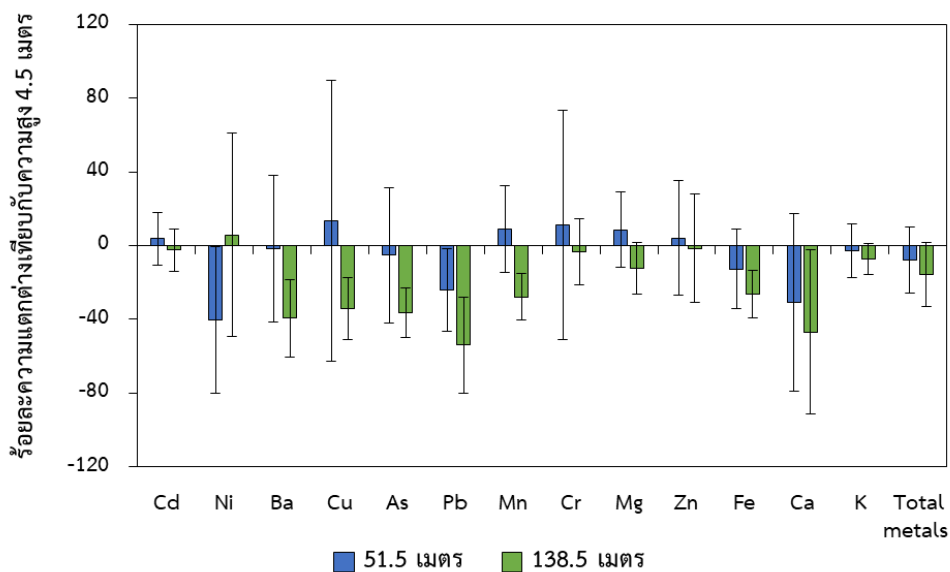
เมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10} ที่ความสูงทั้งสามระดับตามที่ปรากฏดังรูปที่ 4.37 - 4.39 พบว่า ความเข้มข้นของโลหะส่วนใหญ่ในช่วงฤดูฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง ในขณะที่ช่วงฤดูหนาว ความเข้มข้นของโลหะส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงที่ระดับความสูง 138.5 เมตร และสำหรับในช่วงฤดูร้อนพบว่า ความเข้มข้นของโลหะส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ระดับความสูง 51.5 เมตร และมีแนวโน้มลดลงที่ระดับความสูง 138.5 เมตร ซึ่งในช่วงฤดูร้อนจะพบว่าความเข้มข้นของโลหะบางชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมีปริมาณมาก อาจเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากความเร็วลมในช่วงฤดูร้อนเช่นเดียวกับความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ในช่วงฤดูร้อน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะรวมที่ระดับ 51.5 และ 138.5 เมตร กับที่ระดับ 4.5 เมตร พบว่า ที่ระดับความสูง 51.5 เมตร ความเข้มข้นของโลหะรวม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เฉลี่ยร้อยละ 28.7 และ 16.5 ในช่วงฤดูฝน และฤดูร้อน ตามลำดับ ในขณะที่ช่วงฤดูหนาวมีแนวโน้มลดลงที่ระดับความสูง 51.5 เมตร เฉลี่ยร้อยละ 7.9 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ระดับความสูง 138.5 เมตร เฉลี่ยร้อยละ 12.4 ในช่วงฤดูฝน ส่วนในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน มีแนวโน้มลดลงที่ระดับความสูง 138.5 เมตร เฉลี่ยร้อยละ 15.4 และ 4.1 ตามลำดับ

เมื่อนำความเข้มข้นของโลหะรวมมาวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างความสูงทั้งสามระดับด้วยสถิติ One-way ANOVA พบว่า ความเข้มข้นของโลหะรวมระดับความสูงทั้งสามระดับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ทั้งในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ที่พบว่า มีความ

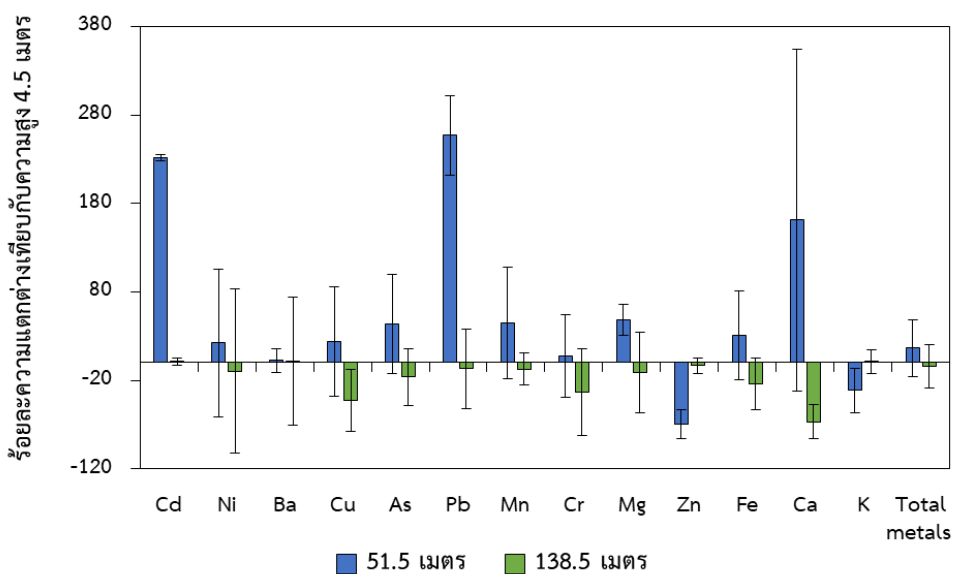
เข้มข้นไม่แตกต่างกันที่ความสูงทั้งสามระดับในช่วงฤดูฝนและฤดูร้อน อย่างไรก็ตาม จะสังเกตได้ว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะรวมในช่วงฤดูหนาวมีแนวโน้มลดลงตามระดับความสูงเช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ในช่วงฤดูหนาวที่พบว่ามีความเข้มข้นเฉลี่ย 37.4 ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร (ปรากฏดังรูปที่ 4.13) จากผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่า ฤดูกาลที่แตกต่างกันมีอิทธิพลการแพร่กระจายตามแนวตั้งของโลหะใน $PM_{2.5-10}$ เช่นเดียวกับความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ โดยจะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของโลหะในช่วงฤดูหนาวมีแนวโน้มลดลงตามระดับความสูง อาจเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากสภาพอากาศที่มีลักษณะคงตัวและการผกผันของอุณหภูมิ ในขณะที่ผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5}$ ไม่ได้รับอิทธิพลจากสภาพอากาศดังกล่าว ซึ่งแสดงให้เห็นว่า $PM_{2.5}$ ที่มีโลหะเป็นองค์ประกอบมีการแพร่กระจายตามแนวตั้งได้ดีและสม่ำเสมอในสภาวะอากาศต่างกัน เมื่อเทียบกับ $PM_{2.5-10}$



รูปที่ 4.37 ร้อยละความแตกต่างความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 51.5 และ 138.5 เมตรเทียบกับระดับความสูง 4.5 เมตรในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.38 ร้อยละความแตกต่างความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 51.5 และ 138.5 เมตรเทียบกับระดับความสูง 4.5 เมตรในช่วงฤดูแล้ง



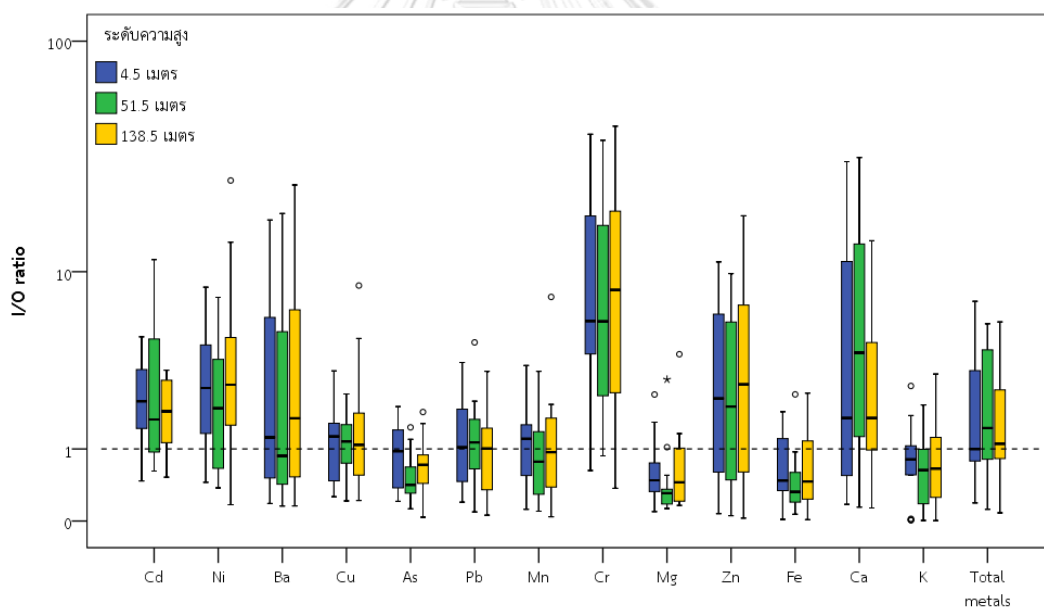
รูปที่ 4.39 ร้อยละความแตกต่างความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 51.5 และ 138.5 เมตรเทียบกับระดับความสูง 4.5 เมตรในช่วงฤดูร้อน

4.9.2 ระดับความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายในอาคารและสัดส่วนความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละอองทั้งสองขนาดระหว่างภายในและภายนอกอาคาร

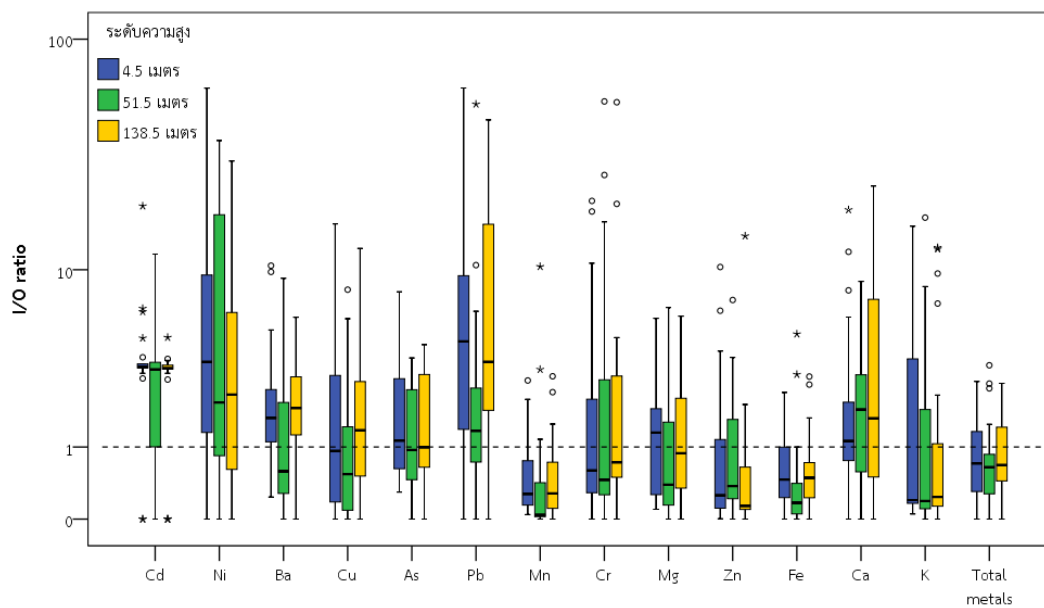
ทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายในอาคารจำนวน 13 ชนิด ได้แก่ As, Cd, Cr, Pb, Mn, Ni, Cu, Fe, Zn, Mg, K, Ca และ Ba รวมถึงความเข้มข้นของโลหะรวมทั้ง 13 ชนิด โดยศึกษาที่ระดับความสูงจากพื้นดินสามระดับ ได้แก่ 4.5 51.5 และ 138.5 เมตร ระหว่างช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน และวิเคราะห์สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละอองทั้งสองขนาดระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (I/O ratio) โดยผลการศึกษาดังต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ระหว่างช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน ปรากฏดังตารางที่ 4.15 และ 4.16 ทั้งนี้ ลักษณะข้อมูลความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายในและภายนอกอาคารมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ เมื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างภายในและภายนอกอาคารแล้วไม่พบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (ลักษณะการกระจายของข้อมูลปรากฏดังภาคผนวก ญ) อย่างไรก็ตาม เมื่อนำความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละอองระหว่างภายในและภายนอกอาคารมาเปรียบเทียบสัดส่วนความเข้มข้นด้วยการวิเคราะห์ค่า I/O ratio ตามที่ปรากฏดังรูปที่ 4.40 และ 4.41 พบว่า ค่าเฉลี่ย I/O ratio ของโลหะใน PM_{2.5} ทั้งสามระดับความสูง ส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 1 และสำหรับโลหะใน PM_{2.5-10} ค่าเฉลี่ย I/O ratio ของทั้งสามระดับความสูงมีค่าส่วนใหญ่มากกว่า 1 เช่นกัน ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละอองทั้งสองขนาดภายในอาคารมีค่ามากกว่าภายนอกอาคาร อาจเนื่องมาจากฝุ่นละอองภายนอกอาคารแพร่กระจายเข้ามาสู่ภายในอาคารและเกิดการตกสะสมอยู่ที่บริเวณพื้นภายในอาคาร เมื่อได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของผู้คนภายในอาคาร เช่น การขนย้ายอุปกรณ์ การเดินเข้าและออกของผู้คนระหว่างภายในและภายนอกอาคาร การปรับปรุงภายในอาคาร การซ่อมบำรุงบริเวณห้องใกล้เคียงที่ระดับความสูง 138.5 เมตร และการปิดกั้นทำความสะอาดภายในอาคาร เป็นต้น จึงส่งผลให้ฝุ่นละอองที่ตกสะสมอยู่ภายในอาคารนั้นเกิดการฟุ้งกระจาย ประกอบกับฝุ่นละอองจากภายนอกอาคารที่แพร่กระจายเข้ามา ด้วยเหตุนี้ จึงส่งผลให้ความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละอองทั้งสองขนาดภายในอาคารมีปริมาณมากกว่าภายนอกอาคาร ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาของ Rivas et al. (2015) พบว่า ค่า I/O ratio ของโลหะบางชนิดใน PM_{2.5} (Ca, Sr, Na, Li, Ti และ Fe) มีค่ามากกว่า 1 กล่าวคือ ความเข้มข้นของโลหะภายในอาคารมากกว่าภายนอกอาคาร เนื่องจากเกิดการสะสมภายในอาคารของโลหะดังกล่าว อีกทั้ง การศึกษาของ Tofful and Perrino (2015) พบว่า ความเข้มข้นของ Si และ Ca ใน PM_{2.5} ภายในอาคารมีค่ามากกว่า

ภายนอกอาคาร เนื่องจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นที่ตกสะสมอยู่บนพื้น นอกจากนี้ การศึกษาของ Pallares et al. (2019) พบว่า PM_{10} ภายในอาคารมีปริมาณ As, Ni, Cd, Pd, Al, Zn, Mg และ Sb สะสมมากกว่า PM_{10} ภายนอกอาคาร (I/O ratio มากกว่า 1) ซึ่งเกี่ยวเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของฝุ่นละอองที่มีโลหะสะสมจากกระบวนการทำความสะอาดหรือแหล่งกำเนิดบางประเภทที่มีโลหะสะสมปริมาณมากใน PM_{10} ดังนั้น การฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองที่ตกสะสมอยู่บริเวณพื้นภายในอาคาร จึงอาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้การศึกษาครั้งนี้พบความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละอองทั้งสองขนาดบริเวณภายในอาคารมากกว่าภายนอกอาคาร อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเชิงปริมาณของโลหะในฝุ่นละอองทั้งสองขนาดระหว่างภายในและภายนอกอาคาร อาจไม่ได้สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของการแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารของโลหะในฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดจากภายนอกอาคาร ทั้งนี้ เพื่ออธิบายถึงความเชื่อมโยงระหว่างโลหะภายในและภายนอกอาคาร จึงได้ทำการวิเคราะห์สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละอองระหว่างภายในและภายนอกอาคาร โดยได้ทำการอภิปรายในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 4.40 สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5}$ ระหว่างภายในและภายนอกอาคาร



รูปที่ 4.41 สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10} ระหว่างภายในและภายนอกอาคาร



ตารางที่ 4.15 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายในอาคารในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน (ng/m^3)

ชนิดของโลหะ	ฤดูฝน				ฤดูหนาว				ฤดูร้อน			
	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD
Mg	4.5 ไมโครกรัม	51.5 ไมโครกรัม	138.5 ไมโครกรัม	4.5 ไมโครกรัม	39.392 ± 30.499	51.293 ± 37.393	47.053 ± 24.294	22.259 ± 8.913	29.998 ± 12.747			
K	2,588.062 ± 676.34	1,837.12 ± 461.348	1,858.28 ± 577.288	746.438 ± 241.029	737.763 ± 194.146	795.645 ± 315.516	68.196 ± 103.154	27.813 ± 26.263	92.992 ± 110.582			
Cr	245.784 ± 39.521	212.735 ± 34.816	221.361 ± 61.704	58.21 ± 14.053	53.898 ± 15.911	58.036 ± 5.191	23.185 ± 26.07	18.119 ± 21.744	17.848 ± 20.001			
Mn	28.717 ± 9.008	22.621 ± 4.838	31.705 ± 19.057	6.912 ± 3.185	6.761 ± 4.967	7.245 ± 2.809	1.833 ± 1.611	0.712 ± 0.3	1.261 ± 0.904			
Fe	598.098 ± 200.241	458.419 ± 130.052	457.035 ± 78.896	146.573 ± 43.785	101.899 ± 48.016	153.296 ± 34.11	39.091 ± 41.69	22.951 ± 21.129	33.615 ± 33.309			
Ni	30.471 ± 13.467	19.282 ± 4.763	34.482 ± 20.675	4.47 ± 2.942	6.315 ± 5.346	6.519 ± 3.493	2.285 ± 1.773	1.823 ± 0.806	1.682 ± 1.641			
Cu	26.576 ± 12.992	18.263 ± 3.502	42.828 ± 17.718	6.409 ± 2.29	5.788 ± 2.832	5.7 ± 2.416	1.846 ± 0.598	2.081 ± 1.026	1.509 ± 0.484			
Zn	1173.689 ± 336.965	948.278 ± 147.467	1017.297 ± 185.562	418.246 ± 78.442	409.736 ± 45.308	481.041 ± 136.184	310.528 ± 369.687	206.131 ± 303.546	282.913 ± 344.73			
As	8.905 ± 5.791	7.977 ± 3.561	8.512 ± 5.307	1.352 ± 0.582	1.075 ± 0.358	1.066 ± 0.353	0.864 ± 0.036	0.859 ± 0.005	0.852 ± 0.01			
Cd	2.675 ± 1.497	2.18 ± 0.671	2.193 ± 0.927	0.58 ± 0.015	0.577 ± 0.006	0.575 ± 0.004	0.569 ± 0.011	0.573 ± 0.003	0.568 ± 0.007			
Ba	82.448 ± 26.25	53.782 ± 7.37	74.862 ± 20.637	1.639 ± 1.12	5.971 ± 11.813	10.496 ± 13.419	1.129 ± 0.729	0.719 ± 0.184	0.978 ± 0.454			
Pb	38.741 ± 8.364	29.232 ± 6.812	27.641 ± 14.247	7.756 ± 2.326	7.543 ± 2.099	7.526 ± 4.219	1.038 ± 0.868	1.009 ± 0.619	1.368 ± 0.799			
Ca	33,639.941 ± 3,291.347	30,949.074 ± 23,687.334	12,116.912 ± 12,360.594	1,398.96 ± 1,243.381	1,745.246 ± 1,021.453	1,009.354 ± 439.834	424.824 ± 292.974	356.135 ± 314.838	230.152 ± 276.169			
โลหะรวม	38,795.17 ± 32,316.551	35,064.211 ± 23,788.939	16,271.75 ± 12,201.393	2,807.944 ± 1,460.01	3,117.823 ± 1,093.994	2,489.543 ± 760.244	906.689 ± 748.755	661.184 ± 508.785	662.403 ± 666.31			

ตารางที่ 4.16 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายในอาคารในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน (ng/m³)

ชนิดของโลหะ	ฤดูฝน					ฤดูหนาว					ฤดูร้อน				
	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่าเฉลี่ย ± SD
Mg	4.5 ไมโครกรัม	51.5 ไมโครกรัม	138.5 ไมโครกรัม	4.5 ไมโครกรัม	51.5 ไมโครกรัม	138.5 ไมโครกรัม	4.5 ไมโครกรัม	51.5 ไมโครกรัม	138.5 ไมโครกรัม	4.5 ไมโครกรัม	51.5 ไมโครกรัม	138.5 ไมโครกรัม	4.5 ไมโครกรัม	51.5 ไมโครกรัม	138.5 ไมโครกรัม
	325.847 ±	415.289 ±	497.473 ±	424.156 ±	234.073 ±	333.311 ±	419.666 ±	133.094 ±	374.37 ±	419.666 ±	133.094 ±	374.37 ±	419.666 ±	133.094 ±	374.37 ±
	261.311	189.74	360.614	99.204	162.066	137.618	127.171	48.228	128.086	127.171	48.228	128.086	127.171	48.228	128.086
K	697.779 ±	716.875 ±	726.101 ±	541.842 ±	143.7	375.231 ±	406.763 ±	219.621 ±	422.059 ±	406.763 ±	219.621 ±	422.059 ±	406.763 ±	219.621 ±	422.059 ±
	233.458	254.153	127.057	175.406	151.329	134.354	134.354	134.888	129.575	134.354	134.888	129.575	134.354	134.888	129.575
Cr	37.493 ±	16.594	57.5 ±	36.469	19.612 ±	8.624	15.977 ±	6.29	27.164 ±	5.256	43.814 ±	29.2	43.867 ±	14.576	51.402 ±
	7.285 ±	5.47	9.545 ±	7.065	13.12 ±	3.478	6.126 ±	8.166	13.555 ±	5.244	8.176 ±	3.386	1.768 ±	0.7	7.161 ±
	335.556 ±	386.868 ±	577.031 ±	491.204 ±	118.88 ±	67.95	507.324 ±	409.269 ±	342.028 ±	507.324 ±	409.269 ±	342.028 ±	507.324 ±	409.269 ±	342.028 ±
	155.959	232.456	244.509	203.553	204.956	204.956	204.956	204.956	59.495	204.956	204.956	204.956	204.956	204.956	204.956
Ni	89.404 ±	60.68	65.173 ±	42.311	17.257 ±	2.863	14.928 ±	5.986	17.782 ±	15.531	10.216 ±	5.561	6.485 ±	3.76	8.292 ±
	4.615 ±	4.427	10.832 ±	11.086	9.595 ±	4.663	3.659 ±	3.182	11.893 ±	6.228	11.503 ±	6.851	11.71 ±	9.304	15.051 ±
	125.431 ±	184.405 ±	112.918 ±	105.612 ±	175.347 ±	163.571 ±	207.35 ±	160.917 ±	229.688 ±	163.571 ±	207.35 ±	160.917 ±	160.917 ±	160.917 ±	229.688 ±
	80.004	117.341	135.379	73.579	58.649	198.684	141.395	120.342	176.856	198.684	141.395	120.342	120.342	120.342	176.856
As	1.057 ±	0.401	0.867 ±	0.024	0.941 ±	0.148	0.866 ±	0.009	1.052 ±	0.345	0.866 ±	0.04	0.861 ±	0.005	0.852 ±
	1.169 ±	0.932	0.924 ±	0.59	0.574 ±	0.003	0.577 ±	0.006	0.575 ±	0.004	0.58 ±	0.032	0.575 ±	0.002	0.567 ±
	24.3 ±	13.961	36.705 ±	16.833	19.222 ±	11.72	8.705 ±	9.503	15.745 ±	8.469	4.877 ±	1.771	1.308 ±	0.528	4.341 ±
	54.964 ±	36.535	45.011 ±	57.414	4.648 ±	2.148	4.181 ±	2.106	5.525 ±	2.576	3.068 ±	0.654	3.181 ±	1.256	2.921 ±
	1,237.944 ±	2,871.641 ±	2,248.894 ±	1,687.832 ±	1,425.747 ±	1,444.815 ±	2,532.522 ±	2,854.055 ±	2,945.251 ±	1,444.815 ±	2,532.522 ±	2,854.055 ±	2,854.055 ±	2,854.055 ±	2,945.251 ±
	897.072	1520.466	1735.089	1440.902	707.476	1095.846	1210.772	1790.452	1546.413	1095.846	1210.772	1790.452	1790.452	1790.452	1546.413
โลหะรวม	2,717.401 ±	4,748.776 ±	4,242.89 ±	2,832.334 ±	2,379.65 ±	2,827.236 ±	3,998.122 ±	3,573.353 ±	4,419.509 ±	2,827.236 ±	3,998.122 ±	3,573.353 ±	3,573.353 ±	3,573.353 ±	4,419.509 ±
	1069.676	2052.711	2378.636	1011.181	844.144	1314.526	1592.468	2049.824	1721.757	1314.526	1592.468	2049.824	2049.824	2049.824	1721.757

4.10 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10}

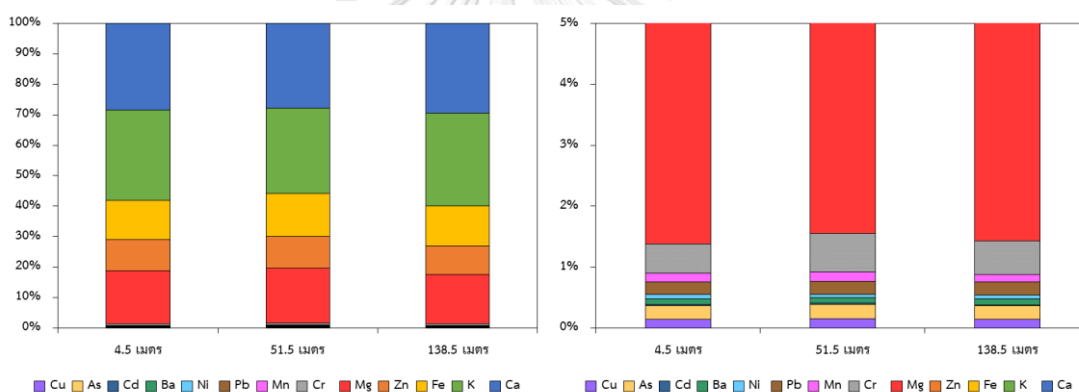
ทำการวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ทั้งในช่วงฤดูฝน ฤดูแล้ง และฤดูร้อน เพื่อบ่งชี้ชนิดของโลหะที่เป็นองค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดบริเวณภายในและภายนอกอาคาร โดยผลการวิเคราะห์เป็นดังต่อไปนี้

4.10.1 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายนอกอาคาร

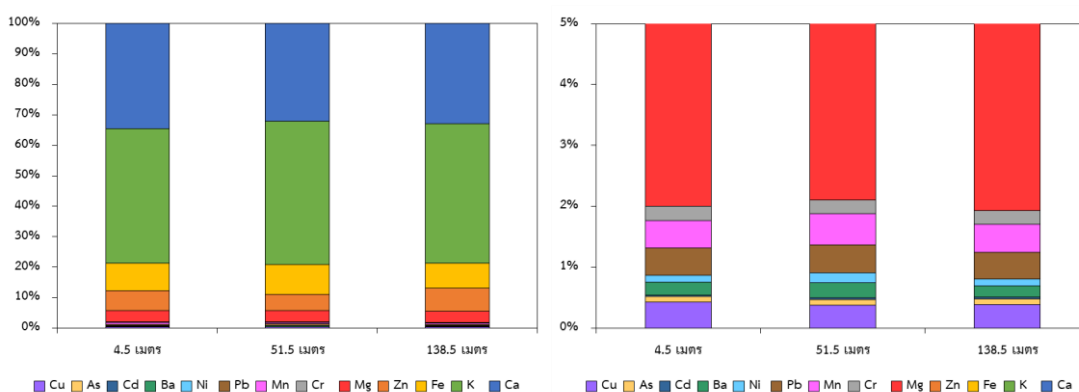
ทำการวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ทั้งในช่วงฤดูฝน ฤดูแล้ง และฤดูร้อน เพื่อบ่งชี้ชนิดของโลหะที่เป็นองค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดที่ระดับความสูงต่างกัน โดยผลการวิเคราะห์เป็นดังต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ในช่วงฤดูฝน ฤดูแล้ง และฤดูร้อนปรากฏดังรูปที่ 4.42 - 4.44 และตารางที่ 4.17 พบว่า สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคารที่ความสูงทั้งสามระดับในช่วงฤดูฝน มีสัดส่วนที่สอดคล้องกันทั้งสามระดับความสูง ซึ่งพบโลหะที่มีปริมาณมากที่สุดทั้งสามระดับความสูง คือ K และ Ca โดยมีสัดส่วนของ K ร้อยละ 29.6, 28.1 และ 30.6 ที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 ตามลำดับ และมีสัดส่วนของ Ca ร้อยละ 28.4, 27.8 และ 29.6 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มโลหะที่มีปริมาณมากรองลงมา ได้แก่ Mg, Fe และ Zn ในขณะที่กลุ่มโลหะที่มีปริมาณน้อย (สัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 1) ประกอบด้วย Cr, As, Pb, Cu, Mn, Ba, Ni และ Cd สำหรับในช่วงฤดูหนาว พบว่า ปริมาณของโลหะมีสัดส่วนที่สอดคล้องกันทั้งสามระดับความสูง โดยพบ K และ Ca มีปริมาณมากที่สุดทั้งสามระดับความสูงเช่นเดียวกับช่วงฤดูฝน ซึ่งสัดส่วนของ K ที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เท่ากับร้อยละ 44.2, 47.1 และ 45.8 ตามลำดับ และ Mg มีสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 34.6, 32.0 และ 33.0 ตามลำดับ และรองลงมาได้แก่ Fe, Zn และ Mg ส่วนกลุ่มโลหะที่มีสัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 1 ประกอบด้วย Mn, Pb, Cu, Cr, Ba, Ni, As และ Cd ส่วนในช่วงฤดูร้อน พบว่า ปริมาณของโลหะมีสัดส่วนสอดคล้องกันทั้งสามระดับความสูงเช่นเดียวกับทั้งสองฤดูกาล โดยพบ K และ Ca เป็นโลหะที่มีปริมาณมากที่สุดทั้งสามระดับความสูง แต่จะพบว่าที่ระดับความสูง 4.5 เมตร จะพบว่ามีปริมาณของ Ca มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 46.0 และ K มีสัดส่วนรองลงมาคิดเป็นร้อยละ 28.1 และตามด้วย Zn, Fe และ Mg ตามลำดับ ในขณะที่ระดับความสูง 51.5 และ 138.5 เมตร มีปริมาณของ K มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 44.2 และ 39.5 ตามลำดับ และ Ca รองลงมาคิดเป็นร้อยละ

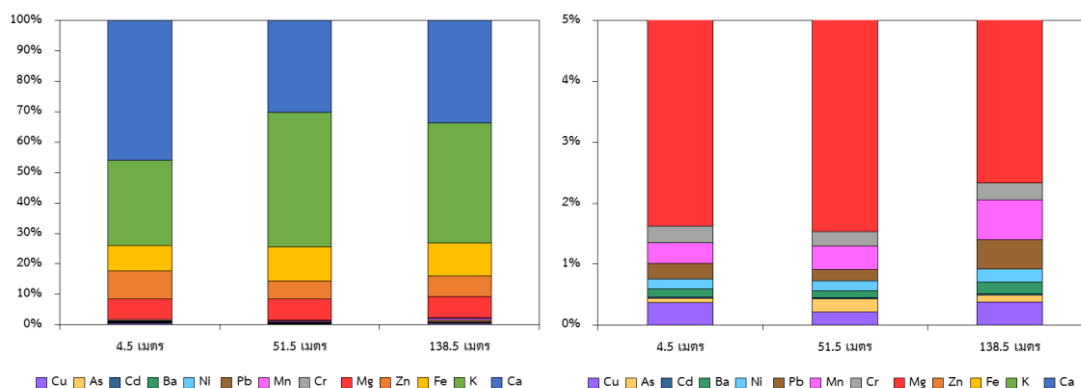
30.2 และ 33.6 ตามลำดับ และตามด้วย Fe, Mg และ Zn ตามลำดับ และสำหรับกลุ่มโลหะที่มีปริมาณน้อยทั้งสามระดับความสูงจะประกอบด้วย Cu, Mn, Cr, Pb, Ni, Ba, As และ Cd ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่าในช่วงฤดูร้อนที่ระดับความสูง 4.5 เมตร มีสัดส่วนของ Ca มากกว่าทั้งที่ระดับความสูง 51.5 และ 138.5 เมตรอย่างเห็นได้ชัด อาจเนื่องมาจากมีการปรับหน้าดินเพื่อทำลานจอดรถบริเวณอาคารที่ทำการศึกษ ซึ่งจากการศึกษาของ Zhang et al. (2015) รายงานว่า Ca ใน $PM_{2.5}$ มีแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นดินและการก่อสร้าง ดังนั้น กิจกรรมดังกล่าวจึงอาจส่งผลให้ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร มีสัดส่วนของ Ca มากกว่าทั้งสองระดับ จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า $PM_{2.5}$ ที่ความสูงทั้งสามระดับมีสัดส่วนองค์ประกอบของโลหะที่สอดคล้องกันทั้งสามระดับความสูงทั้งในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน ซึ่งอาจบ่งชี้ได้ว่า $PM_{2.5}$ ที่ความสูงทั้งสามระดับได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดแหล่งเดียวกัน อีกทั้ง อาจกล่าวได้ว่า $PM_{2.5}$ ที่มีแหล่งกำเนิดจากระดับพื้นดิน สามารถแพร่กระจายตามแนวตั้งได้ดี จึงส่งผลให้มี $PM_{2.5}$ สัดส่วนที่สอดคล้องกันทั้งสามระดับ



รูปที่ 4.42 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.43 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารในช่วงฤดูหนาว



รูปที่ 4.44 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูร้อน

เมื่อพิจารณาสัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} ทั้งสามระดับความสูงระหว่างช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน จะเห็นได้ว่า ทั้งสามช่วงฤดูกาลมีสัดส่วนองค์ประกอบของโลหะที่สอดคล้องกัน โดยพบ K และ Ca เป็นโลหะที่มีปริมาณมากที่สุดจากโลหะทั้งหมดที่ทำการวิเคราะห์ (มีสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 60) ส่วนกลุ่มโลหะที่มีปริมาณมากรองลงมา ประกอบด้วย Fe, Zn และ Mg โดยจากหลายการศึกษาที่ผ่านมาบ่งชี้ได้ว่าโลหะแต่ละชนิดมีแหล่งกำเนิดมาจากแหล่งต่าง ๆ โดยการศึกษาที่ผ่านมาระบุไว้ว่า K เป็นองค์ประกอบหลักที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล (Johnson et al., 2011; Nayebare et al., 2017; Park and Kim, 2005; Wang et al., 2018; Wimolwattanapun et al., 2011) ส่วน Ca พบว่าเป็นองค์ประกอบหลักที่มีแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นดิน ดินจากเปลือกโลก หรือฝุ่นจากการก่อสร้าง (Acciai et al., 2017; Hagler et al., 2007; Zhang et al., 2015; Zhang et al., 2013) เช่นเดียวกับ Fe และ Mg ที่เป็นองค์ประกอบที่พบได้ในฝุ่นดินและดินจากเปลือกโลกเช่นเดียวกัน (Chen et al., 2015b; Liu et al., 2018b; Tao et al., 2017; Wang et al., 2018) นอกจากนี้ ผลการศึกษาของ Murillo et al. (2013) ยังพบว่า Ca, Fe และ Mg เป็นกลุ่มที่มีแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นดิน ฝุ่นถนน และการก่อสร้าง อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า Fe สามารถพบได้จากแหล่งกำเนิดที่มาจากกระบวนการแปรรูปโลหะ และการผลิตเหล็กและเหล็กกล้า (Pant and Harrison, 2013; Yu et al., 2013) และสำหรับ Zn จะพบว่าสามารถเกิดขึ้นได้จากน้ำมันหล่อลื่น หรือการสึกหรอของผ้าเบรกและยางรถยนต์ (Pant et al., 2013; Yu et al., 2013) ดังนั้น PM_{2.5} จึงอาจได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นเป็นหลัก ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาสัดส่วนของ K ในช่วงฤดูฝน จะเห็นได้ว่า มีสัดส่วนน้อยกว่าในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน อาจเนื่องมาจากในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน (เดือนมกราคมและเดือนมีนาคม) ได้รับอิทธิพลจากการเผาทางการเกษตรมากกว่า ซึ่งในช่วงฤดูแล้ง (ระหว่างเดือนมกราคม - เมษายน) ของทุกปีจะมีการเผาวัสดุทางการเกษตรเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับทำเกษตรในช่วงฤดูฝน (กรมควบคุม

มลพิษ, 2560) โดยรายงานสถานการณ์จุดความร้อนในประเทศไทยปี 2563 พบว่า มีจุดความร้อนสูงในช่วงเดือนมกราคม - เมษายน อีกทั้ง ยังพบจุดความร้อนบริเวณประเทศใกล้เคียง ได้แก่ กัมพูชา ลาว เมียนมาร์ และเวียดนาม (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2563) ดังนั้น อิทธิพลจากการเผาวัสดุทางเกษตรในช่วงดังกล่าว จึงอาจส่งผลให้ K ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ชีวมวล มีสัดส่วนความเข้มข้นมากกว่าในช่วงฤดูฝน

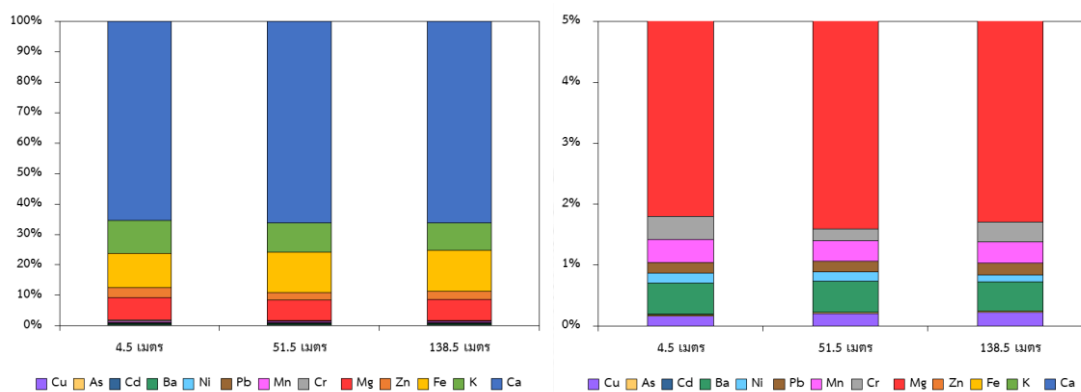
เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5}$ ที่มีสัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 1 พบว่า ทั้งสามช่วงฤดูกาลมีกลุ่มชนิดของโลหะที่สอดคล้องกัน ซึ่งประกอบไปด้วย Cr, As, Pb, Cu, Mn, Ba, Ni และ Cd อย่างไรก็ตาม จะพบว่าแต่ละช่วงฤดูกาลมีสัดส่วนของกลุ่มโลหะปริมาณน้อยที่แตกต่างกัน อาจเนื่องจากอิทธิพลของแหล่งกำเนิดต่าง ๆ โดยการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า Cr มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ถ่านหิน การเผาไหม้ของน้ำมัน หรืออุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า (Cheng et al., 2014) โดย Pb พบได้จากการปลดปล่อยจากยานยนต์ (Mansha et al., 2012; Yu et al., 2013) เช่นเดียวกับ Cu ที่สามารถพบได้จากการปลดปล่อยจากยานยนต์ (Nayebare et al., 2017; Yatkin and Bayram, 2007) ทั้งนี้ ยังสามารถพบ Pb ได้จากแหล่งกำเนิดที่เป็นการเผาไหม้จากถ่านหิน (Zhang et al., 2009) สำหรับ Mn และ Ba พบได้จากการสึกหรอของผ้าเบรกและยางรถยนต์ (Yu et al., 2013) ส่วน Ni มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้น้ำมันและเชื้อเพลิงฟอสซิล (Liu et al., 2018b; Nayebare et al., 2017; Park et al., 2005; Yatkin et al., 2007) นอกจากนี้ การศึกษาของ Song et al. (2006) ระบุว่า Cr, Ni และ Mn มีแหล่งกำเนิดมาจากอุตสาหกรรม เช่นเดียวกับการศึกษาของ Mansha et al. (2012) ระบุว่า Cr และ Ni มีแหล่งกำเนิดมาจากอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าหรือโรงหลอมเหล็ก นอกจากนี้ ยังพบว่า Cd มีแหล่งกำเนิดมาจากเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและถ่านหิน (Yatkin et al., 2007) โดยการศึกษาของ Chen et al. (2015b) และ Dai et al. (2015) พบว่า As, Cd และ Pb มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ถ่านหิน ดังนั้น จากแหล่งกำเนิดตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น อาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณและสัดส่วนของโลหะใน $PM_{2.5}$ ซึ่งจะพบว่าในแต่ละฤดูกาลมีสัดส่วนของโลหะที่เป็นองค์ประกอบหลักที่สอดคล้องกัน รวมไปถึงกลุ่มชนิดของธาตุปริมาณน้อย อาจกล่าวได้ว่าแต่ละฤดูกาลได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 4.17 ลำดับสัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคาร

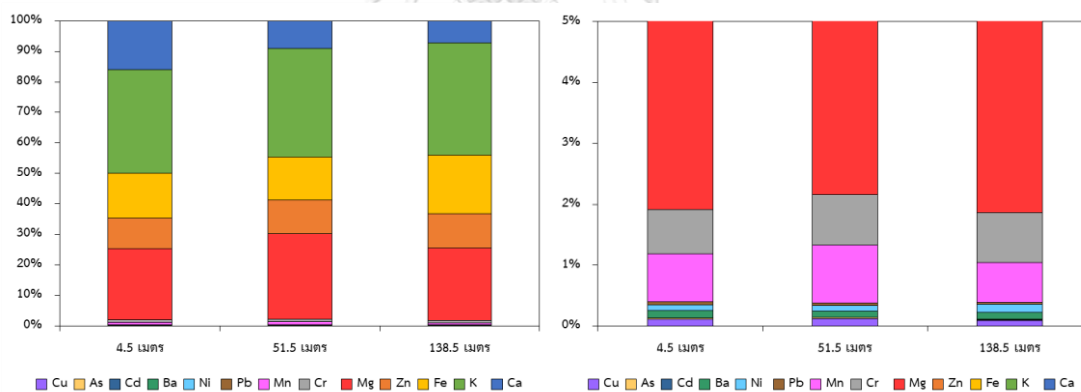
ช่วงเวลา	จุดเก็บ ตัวอย่าง	ลำดับสัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5}
ฤดูฝน	4.5 เมตร	K>Ca>Mg>Fe>Zn>Cr>As>Pb>Cu>Mn>Ba>Ni>Cd
	51.5 เมตร	K>Ca>Mg>Fe>Zn>Cr>As>Pb>Cu>Mn>Ba>Ni>Cd
	138.5 เมตร	K>Ca>Mg>Fe>Zn>Cr>As>Pb>Cu>Mn>Ba>Ni>Cd
ฤดูหนาว	4.5 เมตร	K>Ca>Fe>Zn>Mg>Mn>Pb>Cu>Cr>Ba>Ni>As>Cd
	51.5 เมตร	K>Ca>Fe>Zn>Mg>Mn>Pb>Cu>Ba>Cr>Ni>As>Cd
	138.5 เมตร	K>Ca>Fe>Zn>Mg>Mn>Pb>Cu>Cr>Ba>Ni>As>Cd
ฤดูร้อน	4.5 เมตร	Ca>K>Zn>Fe>Mg>Cu>Mn>Cr>Pb>Ni>Ba>As>Cd
	51.5 เมตร	K>Ca>Fe>Mg>Zn>Mn>Cr>Cu>As>Pb>Ni>Ba>Cd
	138.5 เมตร	K>Ca>Fe>Mg>Zn>Mn>Pb>Cu>Cr>Ni>Ba>As>Cd

สำหรับผลการวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อนปรากฏดังรูปที่ 4.45 - 4.47 และตารางที่ 4.18 พบว่า ในช่วงฤดูฝน มีสัดส่วนของโลหะที่สอดคล้องกันทั้งสามระดับความสูง โดยพบว่า Ca มีปริมาณมากที่สุดทั้งระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ซึ่งมีสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 65.4, 66.3 และ 66.2 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มโลหะที่มีปริมาณมากรองลงมา ได้แก่ Fe, K, Mg และ Zn ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มโลหะปริมาณน้อยที่มีสัดส่วนกว่าร้อยละ 1 ประกอบด้วย Ba, Cr, Mn, Pb, Cu, Ni, As และ Cd สำหรับช่วงฤดูหนาว พบว่า สัดส่วนของโลหะทั้งสามระดับความสูงสอดคล้องกัน โดยพบว่า K และ Mg มีปริมาณมากที่สุด ซึ่งสัดส่วนของ K ที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร มีค่าเท่ากับร้อยละ 33.9, 35.7 และ 36.8 ตามลำดับ และ Mg มีสัดส่วนร้อยละ 23.4, 28.1 และ 23.6 ตามลำดับ ทั้งนี้ โลหะที่มีปริมาณมากรองลงมา ประกอบด้วย Ca, Fe และ Zn ส่วนกลุ่มโลหะปริมาณน้อยที่มีสัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 1 ประกอบด้วย Mn, Cr, Ba, Cu, Ni, Pb, As และ Cd ส่วนในช่วงฤดูร้อน พบว่า ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร มีปริมาณของ K และ Fe มากที่สุดร้อยละ 37.3 และ 23.9 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มโลหะที่มีปริมาณมากรองลงมา ได้แก่ Ca, Zn และ Mg ส่วนที่ระดับความสูง 51.5 เมตร มีปริมาณของ Fe และ K มากที่สุดร้อยละ 34.2 และ 29.7 รองลงมา ได้แก่ Ca, Mg และ Zn สำหรับที่ระดับความสูง 138.5 เมตร มีปริมาณของ K และ Fe มากที่สุดร้อยละ 47.7 และ 21.9 ตามลำดับ และกลุ่มโลหะที่มีปริมาณน้อย (สัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 1) ทั้งสามระดับความสูง ประกอบด้วย Cr, Mn, Ni, Cu, Ba, As, Pb และ Cd ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาสัดส่วน

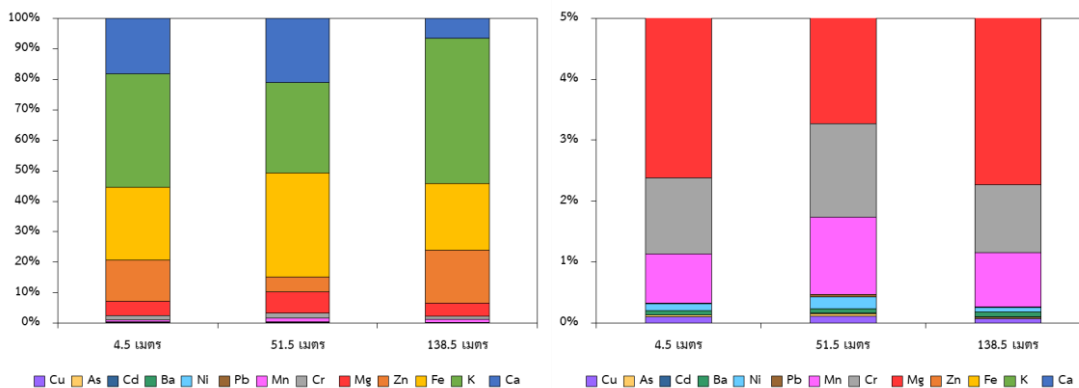
ของโลหะทั้งสามระดับความสูง จะพบว่า Ca ที่ระดับความสูง 4.5 และ 51.5 เมตร มีสัดส่วนมากกว่าที่ระดับความสูง 138.5 เมตร อาจเนื่องมาจากบริเวณใกล้เคียงอาคารที่ทำการศึกษามีการปรับหน้าดินเพื่อทำลานจอดรถ จึงส่งผลให้ระดับความสูงทั้งสองระดับมีสัดส่วนของ Ca มากกว่า ซึ่ง Ca เป็นองค์ประกอบหลักที่พบได้จากฝุ่นดิน (Acciai et al., 2017; Hagler et al., 2007; Zhang et al., 2015; Zhang et al., 2013)



รูปที่ 4.45 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.46 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูหนาว



รูปที่ 4.47 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารในช่วงฤดูร้อน

เมื่อพิจารณาสัดส่วนของโลหะใน PM_{2.5-10} ระหว่างช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน จะเห็นได้ว่า ในช่วงฤดูฝนมีปริมาณของ Ca มากที่สุดจากโลหะทั้งหมดที่ทำการวิเคราะห์ (สัดส่วนมากกว่าร้อยละ 60) รองลงมาได้แก่ Fe, K, Mg และ Zn ในขณะที่ฤดูหนาว และฤดูร้อน มีปริมาณของ K มากที่สุดจากโลหะทั้งหมดที่ทำการวิเคราะห์ (สัดส่วนมากกว่าร้อยละ 30) โดยในช่วงฤดูหนาว มีโลหะที่มีปริมาณมากรองลงมา ได้แก่ Mg, Fe, Ca และ Zn ตามลำดับ และในช่วงฤดูร้อน ได้แก่ Fe, Ca, Zn และ Mg ตามลำดับ เช่นเดียวกับผลวิเคราะห์สัดส่วนของโลหะใน PM_{2.5} ซึ่งอาจเนื่องมาจาก ในช่วงฤดูหนาว และฤดูร้อน (เดือนมกราคมและเดือนมีนาคม) ได้รับอิทธิพลจากการเผาในพื้นที่ทำการเกษตร ในช่วงฤดูแล้ง (มกราคม-เมษายน) ที่มีการเผาวัสดุทางการเกษตรเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับทำเกษตรในช่วงฤดูฝน (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) ประกอบกับพบจุดความร้อนสูงในช่วงเดือนมกราคม - เมษายน และประเทศใกล้เคียง (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2563) ดังนั้น อิทธิพลจากการเผาวัสดุทางการเกษตรในช่วงดังกล่าว จึงอาจส่งผลให้ K ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ชีวมวล มีปริมาณและสัดส่วนมากในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน ในขณะที่ช่วงฤดูฝน ได้รับอิทธิพลจากสถานการณ์ดังกล่าวน้อยกว่า จึงพบว่ามีสัดส่วนของ Ca มากที่สุด อย่างไรก็ตาม K ก็สามารถพบได้จากแหล่งกำเนิดที่เป็นฝุ่นดิน ซึ่งอาจส่งผลต่อสัดส่วนของ K ใน PM_{2.5-10} เช่นเดียวกัน (Park et al., 2005; U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 1996) นอกจากนี้ เมื่อพิจารณากลุ่มโลหะที่มีปริมาณมากรองลงในแต่ละช่วงฤดูกาลพบว่ามี Fe, Mg และ Ca เช่นเดียวกันทั้งสามฤดูกาล ซึ่งโลหะกลุ่มดังกล่าวเป็นกลุ่มโลหะที่มีแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นดินจากเปลือกโลก หรือฝุ่นจากการก่อสร้าง (Chen et al., 2015b; Liu et al., 2018b; Murillo et al., 2013; Tao et al., 2017; Wang et al., 2018) รวมถึง Zn ที่เป็นกลุ่มโลหะปริมาณมากรองลงมาในแต่ละช่วงฤดูกาล โดยพบได้จากน้ำมันหล่อลื่น หรือการสึกหรอของผ้าเบรกและยางรถยนต์ (Pant et al., 2013; Yu et al., 2013) ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10}

ที่มีสัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 1 พบว่า ทั้งสามช่วงฤดูกาลมีกลุ่มชนิดของโลหะที่สอดคล้องกัน ซึ่งประกอบไปด้วย Ba, Cr, Mn, Pb, Cu, Ni, As และ Cd ซึ่งความแตกต่างของสัดส่วนของโลหะปริมาณน้อยในแต่ละช่วงฤดูกาลอาจเนื่องมาจากอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดของโลหะในฝุ่นละอองตามที่ได้กล่าวไว้ในส่วนของโลหะปริมาณน้อยใน PM_{2.5}

ตารางที่ 4.18 ลำดับสัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคาร

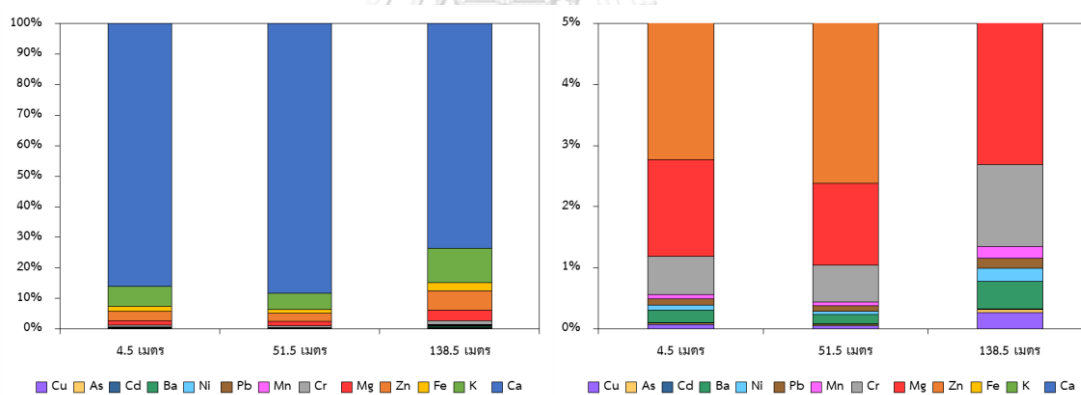
ช่วง	จุดเก็บตัวอย่าง	ลำดับสัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5-10}
ฤดูฝน	4.5 เมตร	Ca>Fe>K>Mg>Zn>Ba>Cr>Mn>Pb>Cu>Ni>As>Cd
	51.5 เมตร	Ca>Fe>K>Mg>Zn>Ba>Mn>Cu>Cr>Pb>Ni>As>Cd
	138.5 เมตร	Ca>Fe>K>Mg>Zn>Ba>Mn>Cr>Cu>Pb>Ni>As>Cd
ฤดูหนาว	4.5 เมตร	K>Mg>Ca>Fe>Zn>Mn>Cr>Ba>Cu>Ni>Pb>As>Cd
	51.5 เมตร	K>Mg>Fe>Zn>Ca>Mn>Cr>Cu>Ba>Ni>Pb>As>Cd
	138.5 เมตร	K>Mg>Fe>Zn>Ca>Cr>Mn>Ni>Ba>Cu>Pb>As>Cd
ฤดูร้อน	4.5 เมตร	K>Fe>Ca>Zn>Mg>Cr>Mn>Ni>Cu>Ba>As>Pb>Cd
	51.5 เมตร	Fe>K>Ca>Mg>Zn>Cr>Mn>Ni>Cu>Ba>Pb>As>Cd
	138.5 เมตร	K>Fe>Zn>Ca>Mg>Cr>Mn>Ba>Ni>Cu>As>Pb>Cd

จากผลการวิเคราะห์สัดส่วนของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ทั้งสามช่วงฤดูกาลพบว่า ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดมีกลุ่มชนิดของโลหะที่สอดคล้องกัน ซึ่งกลุ่มชนิดของโลหะปริมาณมากประกอบด้วย K, Ca, Mg, Fe และ Zn โดยมี K และ Ca เป็นธาตุเด่นที่พบได้ในฝุ่นละอองทั้งสองขนาด ในขณะที่กลุ่มชนิดของโลหะปริมาณน้อยที่มีสัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 1 ประกอบด้วย Cr, As, Pb, Cu, Mn, Ba, Ni และ Cd จะเห็นได้ว่า ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดมีองค์ประกอบของโลหะที่เหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตาม ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดอาจมีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน โดย PM_{2.5} อาจได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดที่เป็นการเผาไหม้เป็นหลัก ในขณะที่ PM_{2.5-10} อาจได้รับอิทธิพลจากฝุ่นดิน ฝุ่นถนน หรือฝุ่นจากการก่อสร้างมากกว่า

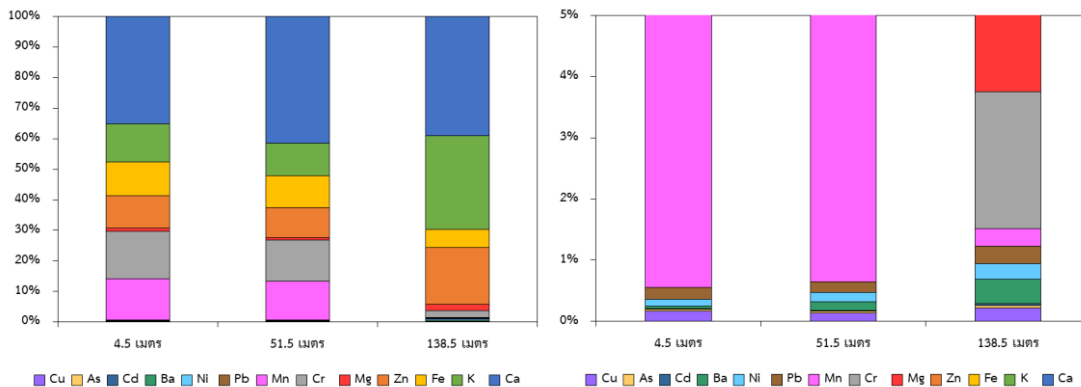
4.10.2 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายในอาคาร

ทำการวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ทั้งในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน เพื่อบ่งชี้ชนิดของโลหะที่เป็นองค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองทั้งสองขนาด โดยผลการวิเคราะห์เป็นดังต่อไปนี้

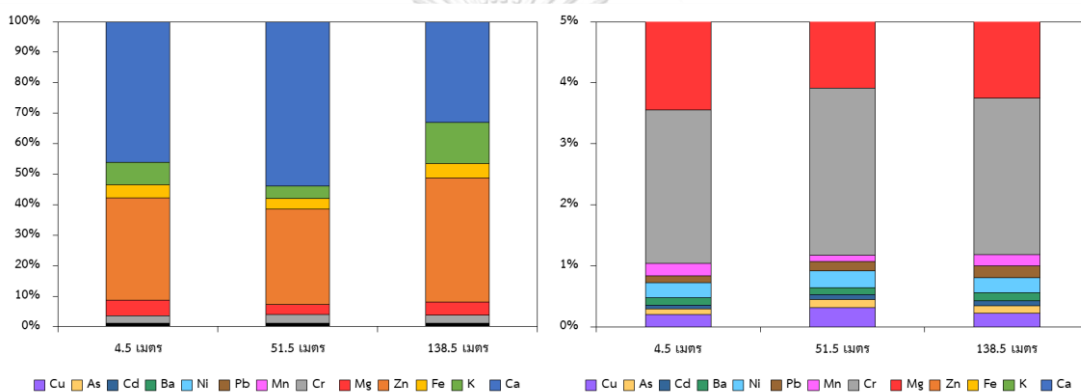
ผลการวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อนปรากฏดังรูปที่ 4.48 - 4.50 และตารางที่ 4.19 พบว่า ในช่วงฤดูฝน มีปริมาณของ Ca มากที่สุดทั้งระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ซึ่งมีสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 86.1, 88.4 และ 73.5 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มโลหะที่มีปริมาณมากกว่ารองลงมา ได้แก่ K, Mg, Fe และ Zn รวมถึง Cr ที่ระดับความสูง 138.5 เมตรที่พบว่ามีสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 1 สำหรับกลุ่มโลหะปริมาณน้อยที่ระดับความสูง 4.5 และ 51.5 เมตร (มีสัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 1) ประกอบด้วย Ba, Cr, Mn, Pb, Cu, Ni, As และ Cd และที่ระดับความสูง 138.5 เมตร ประกอบด้วย Ba, Mn, Pb, Cu, Ni, As และ Cd ส่วนในช่วงฤดูหนาว พบว่า มีปริมาณของ Ca มากที่สุดทั้งที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 49.1, 56.0 และ 39.0 ตามลำดับ สำหรับกลุ่มโลหะที่มีปริมาณมากกว่ารองลงมา ได้แก่ K, Zn, Fe, Mg และ Cr ส่วนกลุ่มโลหะที่มีปริมาณน้อยประกอบด้วย Ba, Mn, Pb, Cu, Ni, As และ Cd สำหรับในช่วงฤดูร้อน พบว่า Ca มีปริมาณมากที่สุดเช่นเดียวกัน โดยมีสัดส่วนที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ร้อยละ 46.1, 53.9 และ 33.1 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มโลหะที่มีปริมาณมากกว่ารองลงมา ได้แก่ K, Zn, Fe, Mg และ Cr และกลุ่มโลหะที่มีปริมาณน้อยประกอบด้วย Ba, Mn, Pb, Cu, Ni, As และ Cd



รูปที่ 4.48 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคารในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.49 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคารในช่วงฤดูหนาว



รูปที่ 4.50 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคารในช่วงฤดูร้อน

เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนของโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคาร จะเห็นได้ว่า สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคารให้ผลที่สอดคล้องกับภายนอกอาคาร โดยกลุ่มโลหะภายในอาคารที่มีปริมาณมาก ประกอบด้วย Ca, K, Zn, Mg, Fe และ Cr รวมถึง Mn และกลุ่มโลหะที่มีสัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 1 ประกอบด้วย Ba, Pb, Mn, Ni, Cu, As และ Cd รวมถึง Mg ส่วนกลุ่มโลหะภายนอกอาคารที่มีปริมาณมาก ประกอบด้วย K, Ca, Fe, Zn และ Mg และกลุ่มโลหะปริมาณน้อย ประกอบด้วย Mn, Pb, Cu, Ba, Cr, Ni, As และ Cd ซึ่งภายในอาคารไม่มีแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิด PM_{2.5} ดังนั้น จึงสามารถบ่งชี้ได้ว่า PM_{2.5} ภายในอาคารได้รับอิทธิพลจาก PM_{2.5} ภายนอกอาคารที่แพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคาร อย่างไรก็ตาม กิจกรรมของผู้คนภายในอาคารอาจมีอิทธิพลต่อการสัดส่วนของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคาร โดยจะเห็นได้ว่าภายในอาคารจะมีปริมาณของ Ca มากที่สุดจากโลหะทั้งหมดที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่พบได้จากฝุ่นดิน ดินจากเปลือกโลก หรือการก่อสร้าง (Chen et al., 2015b; Liu et al., 2018b; Murillo et al., 2013; Tao et al., 2017; Wang et al., 2018) อาจเนื่องมาจากได้รับอิทธิพลจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นดิน

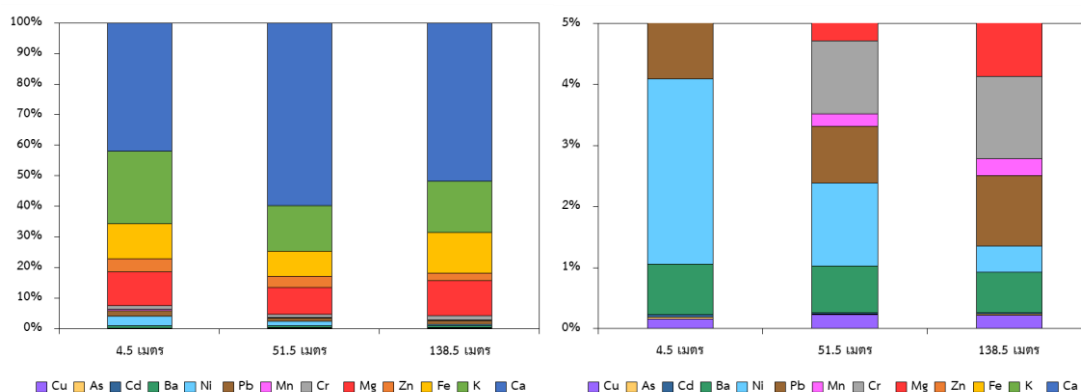
ที่ตกสะสมอยู่ภายในอาคารจากกิจกรรมของผู้คนภายในอาคาร เช่น การขนย้ายอุปกรณ์ การเดินเข้าและออกของผู้คนระหว่างภายในและภายนอกอาคาร การปรับปรุงภายในอาคาร การซ่อมบำรุงบริเวณห้องใกล้เคียงที่ระดับความสูง 138.5 เมตร และการปิดกวดทำความสะอาดภายในอาคาร เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบของฝุ่นที่กลับมาฟุ้งกระจายนั้นจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของฝุ่นที่ตกสะสมอยู่ตั้งแต่เริ่มต้น อีกทั้ง ฝุ่นละอองที่ตกลงสู่พื้นจะมีองค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อรวมกับฝุ่นที่ตกสะสมอยู่ตั้งแต่เริ่มแรก (U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 1996) เมื่อฝุ่นละอองที่แพร่กระจายมาจากภายนอกอาคารเกิดตกลงสู่พื้นจึงอาจเกิดการสะสมกับฝุ่นดินที่อยู่บริเวณพื้นภายในอาคาร ดังนั้น ฝุ่นละอองที่กลับมาฟุ้งกระจายจึงประกอบไปด้วยฝุ่นดินที่ตกสะสมอยู่ภายในอาคาร ซึ่งมี Ca เป็นองค์ประกอบ ด้วยเหตุนี้ ผลการวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคารจึงพบว่า มี Ca เป็นหลัก

ตารางที่ 4.19 ลำดับสัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคาร

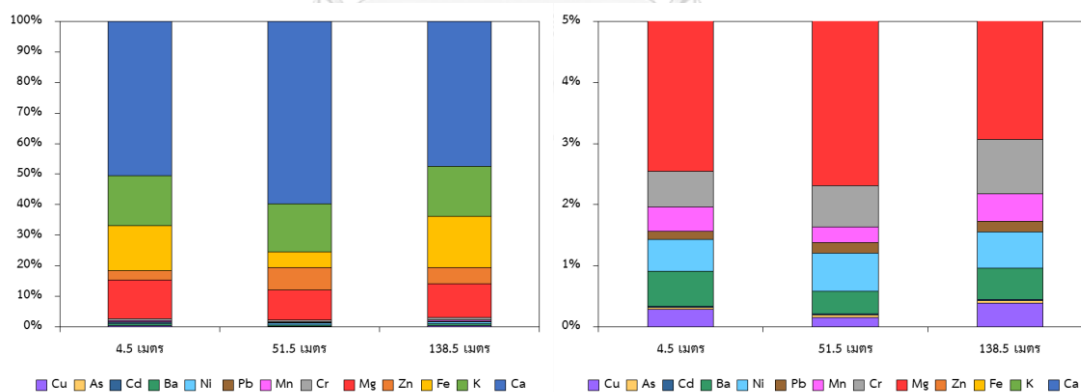
ช่วงเวลา	จุดเก็บตัวอย่าง	ลำดับสัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5}
ฤดูฝน	4.5 เมตร	Ca>K>Zn>Mg>Fe>Cr>Ba>Pb>Ni>Mn>Cu>As>Cd
	51.5 เมตร	Ca>K>Zn>Mg>Fe>Cr>Ba>Pb>Mn>Ni>Cu>As>Cd
	138.5 เมตร	Ca>K>Zn>Mg>Fe>Cr>Ba>Cu>Ni>Mn>Pb>As>Cd
ฤดูหนาว	4.5 เมตร	Ca>Cr>Mn>K>Fe>Zn>Mg>Pb>Cu>Ni>Ba>As>Cd
	51.5 เมตร	Ca>Cr>Mn>K>Fe>Zn>Mg>Pb>Ni>Ba>Cu>As>Cd
	138.5 เมตร	Ca>K>Zn>Fe>Cr>Mg>Ba>Pb>Mn>Ni>Cu>As>Cd
ฤดูร้อน	4.5 เมตร	Ca>Zn>K>Mg>Fe>Cr>Ni>Cu>Mn>Ba>Pb>As>Cd
	51.5 เมตร	Ca>Zn>K>Fe>Mg>Cr>Cu>Ni>Pb>As>Ba>Mn>Cd
	138.5 เมตร	Zn>Ca>K>Fe>Mg>Cr>Ni>Cu>Pb>Mn>Ba>As>Cd

สำหรับผลการวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อนปรากฏดังรูปที่ 4.51 - 4.53 และตารางที่ 4.20 พบว่า ในช่วงฤดูฝน มีปริมาณของ Ca มากที่สุดทั้งระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ซึ่งมีสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 42.1, 59.8 และ 51.8 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มโลหะที่มีปริมาณมากรองลงมา ได้แก่ K, Mg, Fe, Zn และ Cr รวมถึง Pb ที่พบว่ามีสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 1 ที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร และกลุ่มโลหะที่มีปริมาณน้อยที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร (สัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 1) ประกอบด้วย Ba, Mn, Cu, Ni, As และ Cd ส่วนที่ระดับ

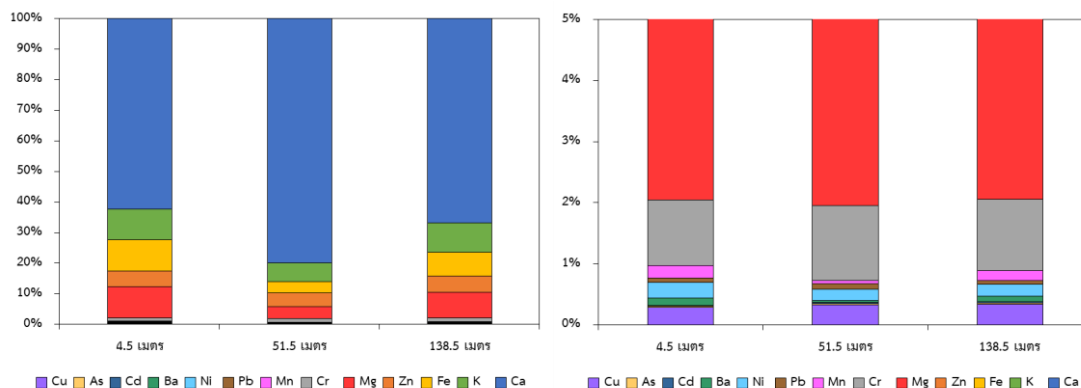
ความสูง 51.5 เมตร ประกอบด้วย Ba, Mn, Cu, Ni, As, Pb และ Cd สำหรับในช่วงฤดูหนาว พบว่ามีปริมาณของ Ca มากที่สุดทั้งที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 50.6, 59.8 และ 47.5 ตามลำดับ สำหรับกลุ่มโลหะที่มีปริมาณมากรองลงมา ได้แก่ K, Mg, Fe และ Zn ในขณะที่กลุ่มโลหะที่มีปริมาณน้อยประกอบด้วย Ba, Cr, Mn, Pb, Cu, Ni, As และ Cd ส่วนในช่วงฤดูร้อน พบว่า Ca มีปริมาณมากที่สุด โดยมีสัดส่วนที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ร้อยละ 62.4, 79.8 และ 66.9 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มโลหะที่มีปริมาณมากรองลงมา ได้แก่ K, Zn, Fe, Mg และ Cr และกลุ่มโลหะที่มีปริมาณน้อยประกอบด้วย Ba, Mn, Pb, Cu, Ni, As และ Cd



รูปที่ 4.51 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายในอาคารในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.52 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายในอาคารในช่วงฤดูหนาว



รูปที่ 4.53 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายในอาคารในช่วงฤดูร้อน

เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคาร จะเห็นได้ว่า สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคารให้ผลที่สอดคล้องกับภายนอกอาคาร โดยกลุ่มโลหะที่มีปริมาณมากภายในอาคาร ประกอบด้วย Ca, K, Mg, Fe, Zn, Cr รวมถึง Ni และ Pb และกลุ่มโลหะที่มีสัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 1 ประกอบด้วย Ba, Cu, Mn, Cd, As รวมถึง Pb และ Ni ส่วนกลุ่มโลหะปริมาณมากภายนอกอาคาร ประกอบด้วย Ca, Fe, K, Mg และ Zn และกลุ่มโลหะปริมาณน้อย ประกอบด้วย Ba, Cr, Mn, Pb, Cu, Ni, As และ Cd ซึ่งภายในอาคารไม่มีแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิด PM_{2.5-10} ดังนั้น จึงบ่งชี้ได้ว่า PM_{2.5-10} ภายในอาคารได้รับอิทธิพลจาก PM_{2.5-10} จากภายนอกอาคารที่แพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่า ภายในอาคารจะมีปริมาณของ Ca มากที่สุดจากโลหะทั้งหมดที่ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับผลวิเคราะห์สัดส่วนของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคาร ซึ่งอาจเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของผู้คนภายในอาคารที่ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองจากภายนอกอาคารและฝุ่นดินที่ตกสะสมอยู่ภายในอาคาร จึงส่งผลให้ Ca มีปริมาณและสัดส่วนมากที่สุดเช่นเดียวกับสัดส่วนของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคาร

ตารางที่ 4.20 ลำดับสัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายในอาคาร

ช่วงเวลา	จุดเก็บ ตัวอย่าง	ลำดับสัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน PM _{2.5-10}
ฤดูฝน	4.5 เมตร	Ca>K>Fe>Mg>Zn>Ni>Pb>Cr>Ba>Mn>Cu>Cd>As
	51.5 เมตร	Ca>K>Mg>Fe>Zn>Ni>Cr>Pb>Ba>Cu>Mn>Cd>As
	138.5 เมตร	Ca>K>Fe>Mg>Zn>Cr>Pb>Ba>Ni>Mn>Cu>As>Cd
ฤดูหนาว	4.5 เมตร	Ca>K>Fe>Mg>Zn>Cr>Ba>Ni>Mn>Cu>Pb>As>Cd
	51.5 เมตร	Ca>K>Mg>Zn>Fe>Cr>Ni>Ba>Mn>Pb>Cu>As>Cd
	138.5 เมตร	Ca>Fe>K>Mg>Zn>Cr>Ni>Ba>Mn>Cu>Pb>As>Cd
ฤดูร้อน	4.5 เมตร	Ca>Mg>Fe>K>Zn>Cr>Cu>Ni>Mn>Ba>Pb>As>Cd
	51.5 เมตร	Ca>K>Zn>Fe>Mg>Cr>Cu>Ni>Pb>Mn>Ba>As>Cd
	138.5 เมตร	Ca>K>Mg>Fe>Zn>Cr>Cu>Ni>Mn>Ba>Pb>As>Cd

4.11 การระบุแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10}

ทำการวิเคราะห์จำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} บริเวณภายนอกและภายในอาคารด้วยเทคนิค Principal Component Analysis (PCA) เพื่อจำแนกกลุ่มของโลหะในฝุ่นละอองที่จัดอยู่ในองค์ประกอบ (Component) เดียวกันและระบุถึงแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้จากกลุ่มของโลหะในฝุ่นละอองที่จัดอยู่ในแต่ละองค์ประกอบ โดยทำการอ้างอิงจากข้อมูลและการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS Statistics version 22 ผลการวิเคราะห์เป็นดังต่อไปนี้

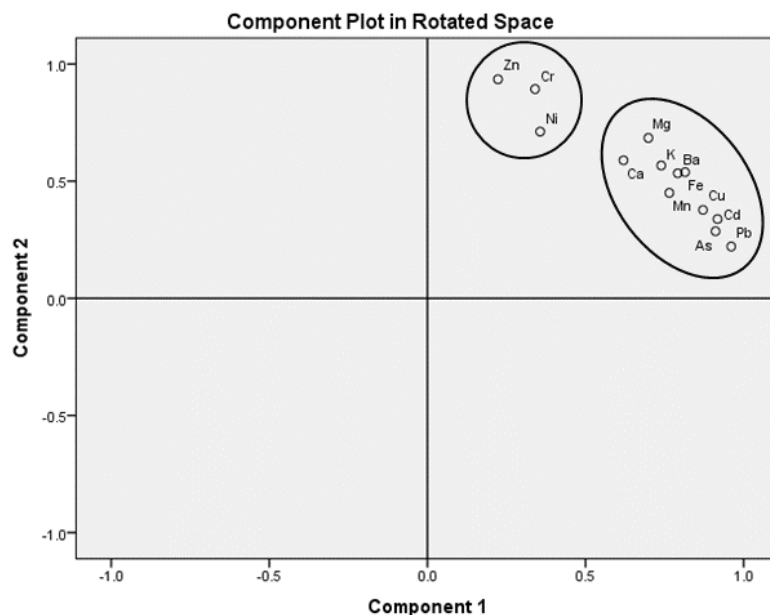
4.11.1 การระบุแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายนอกอาคาร

ทำการวิเคราะห์จำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารด้วยเทคนิค PCA เพื่อจำแนกกลุ่มของโลหะในฝุ่นละอองที่จัดอยู่ในองค์ประกอบ (Component) เดียวกันและระบุถึงแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้จากกลุ่มของโลหะในฝุ่นละอองที่จัดอยู่ในแต่ละองค์ประกอบ โดยทำการอ้างอิงจากข้อมูลและการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งนำข้อมูลความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตรทั้งในช่วงฤดูฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS Statistics version 22 โดยผลการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคารเป็นดังต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคาร (63 ตัวอย่าง) ปรากฏดังตารางที่ 4.21 และรูปที่ 4.54 พบว่า สามารถจำแนกกลุ่มของโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคารได้ทั้งหมด 2 องค์ประกอบ โดยองค์ประกอบที่ 1 ประกอบด้วย Pb, As, Cd, Cu, Fe, Ba, Mn, K, Mg และ Ca ซึ่งให้ค่า %Variance เท่ากับร้อยละ 53.394 และองค์ประกอบที่ 2 ประกอบด้วย Zn, Cr และ Ni ซึ่งให้ค่า %Variance เท่ากับร้อยละ 34.457 ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาค่า Factor loading ของแต่ละธาตุ หากพบว่ามีค่า Factor loading ไม่แตกต่างกันมากกว่า 0.100 จะสามารถพิจารณาเป็นกลุ่มโลหะร่วม (Co-metals) โดยองค์ประกอบที่ 1 สามารถจัดกลุ่มโลหะ ได้แก่ Pb-As-Cd, Cu-Fe, Ba-Mn, K และ Mg-Ca และองค์ประกอบที่ 2 สามารถจัดกลุ่มโลหะ ได้แก่ Zn-Cr และ Ni

ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคารด้วยเทคนิค PCA

ชนิดของโลหะ	องค์ประกอบที่ 1	องค์ประกอบที่ 2
	%Variance = 53.394	%Variance = 34.457
	Factor loading	Factor loading
Pb	0.961*	0.221
As	0.917*	0.338
Cd	0.911*	0.286
Cu	0.871*	0.377
Fe	0.815*	0.538
Ba	0.792*	0.534
Mn	0.765*	0.450
K	0.739*	0.567
Mg	0.699*	0.684
Ca	0.620*	0.589
Zn	0.223	0.935*
Cr	0.340	0.893*
Ni	0.357	0.712*

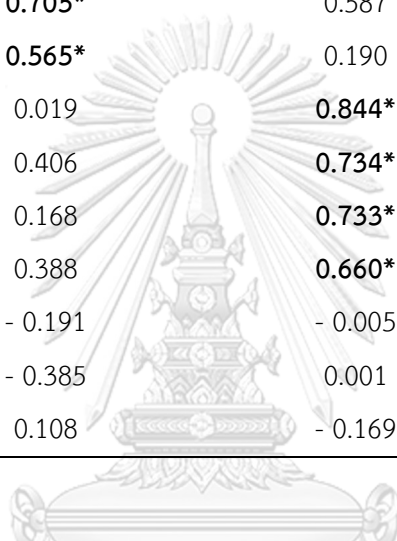


รูปที่ 4.54 ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารด้วยเทคนิค PCA

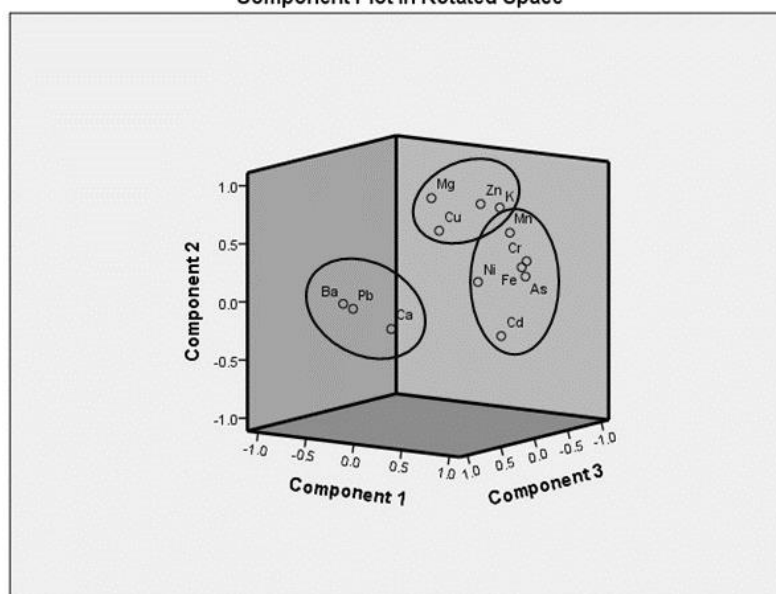
ผลการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มโลหะใน $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคาร (63 ตัวอย่าง) ปรากฏดังตารางที่ 4.22 และรูปที่ 4.55 พบว่า สามารถจำแนกกลุ่มของโลหะใน $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคารได้ทั้งหมด 3 องค์ประกอบ โดยองค์ประกอบที่ 1 ประกอบด้วย As, Cd, Cr, Fe, Mn และ Ni ซึ่งให้ค่า %Variance เท่ากับร้อยละ 30.306 ส่วนองค์ประกอบที่ 2 ประกอบด้วย Mg, K, Zn และ Cu ซึ่งให้ค่า %Variance เท่ากับร้อยละ 22.593 และองค์ประกอบที่ 3 ประกอบด้วย Pb, Ba และ Ca ทั้งนี้ องค์ประกอบที่ 1 สามารถจัดกลุ่มโลหะ ได้แก่ As-Cd, Cr-Fe-Mn และ Ni ส่วนองค์ประกอบที่ 2 สามารถจัดกลุ่มโลหะ ได้แก่ Mg, K-Zn และ Cu และองค์ประกอบที่ 3 สามารถจัดกลุ่มโลหะ ได้แก่ Pb และ Ba-Ca

ตารางที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารด้วยเทคนิค PCA

ชนิดของโลหะ	องค์ประกอบที่ 1	องค์ประกอบที่ 2	องค์ประกอบที่ 3
	%Variance = 30.306	%Variance = 22.593	%Variance = 21.109
	Factor loading	Factor loading	Factor loading
As	0.846*	0.221	- 0.246
Cd	0.807*	- 0.251	0.059
Cr	0.780*	0.329	- 0.358
Fe	0.779*	0.288	- 0.286
Mn	0.705*	0.587	- 0.215
Ni	0.565*	0.190	0.062
Mg	0.019	0.844*	- 0.022
K	0.406	0.734*	- 0.491
Zn	0.168	0.733*	- 0.545
Cu	0.388	0.660*	0.388
Pb	- 0.191	- 0.005	0.848*
Ba	- 0.385	0.001	0.718*
Ca	0.108	- 0.169	0.705*



Component Plot in Rotated Space



รูปที่ 4.55 ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารด้วยเทคนิค PCA

ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคาร ด้วยเทคนิค PCA สามารถนำมาระบุแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะในฝุ่นละอองทั้งสองขนาด โดยอ้างอิงจากการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งผลการจำแนกแหล่งกำเนิดโดยอ้างอิงจากการศึกษาที่ผ่านมาได้ ปรากฏดังตารางที่ 4.23 โดยผลการจัดจำแนกแหล่งกำเนิดของโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคาร พบว่า องค์ประกอบที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วย Pb-As-Cd, Cu-Fe, Ba-Mn, K และ Mg-Ca สามารถจำแนก แหล่งกำเนิดที่เป็นได้ของ Pb-As-Cd มาจากการปลดปล่อยจากยานยนต์ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่สามารถพบได้จากแหล่งกำเนิดดังกล่าว (Dai et al., 2015; Manousakas et al., 2015; Mansha et al., 2012; Yu et al., 2013) ส่วน Cu-Fe เป็นองค์ประกอบที่พบได้จากการเผาไหม้น้ำมัน (Johnson et al., 2011; Nayebare et al., 2017) สำหรับ Ba-Mn และ Mg-Ca เป็นองค์ประกอบที่สามารถพบได้จากฝุ่นดิน ฝุ่นจากเปลือกโลก และการก่อสร้าง โดยการศึกษาของ Han et al. (2015) ระบุว่า Mg, Mn และ Ca เป็นองค์ประกอบที่มีแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นดิน และการก่อสร้าง อีกทั้ง การศึกษาของ Acciai et al. (2017) ที่พบว่า Ca, Ba และ Mn เป็นแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นจากเปลือกโลก นอกจากนี้ จากการศึกษาที่ผ่านมาสามารถระบุได้ว่า K เป็นองค์ประกอบหลักที่มีแหล่งกำเนิด มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล (Johnson et al., 2011; Nayebare et al., 2017; Park et al., 2005; Wang et al., 2018; Wimolwattanapun et al., 2011) และสำหรับองค์ประกอบที่ 2 ซึ่ง ประกอบไปด้วย Zn-Cr และ Ni โดยการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า Zn และ Cr เป็นองค์ประกอบที่พบได้ จากการสีกรของผ้าเบรกและยางรถยนต์ (Hjortenkrans et al., 2006; Pant et al., 2013; Pastuszka et al., 2010; Yu et al., 2013) และ Ni เป็นองค์ประกอบที่พบจากแหล่งกำเนิดจากการ เผาไหม้น้ำมันและเชื้อเพลิงฟอสซิล (Liu et al., 2018b; Nayebare et al., 2017; Park et al., 2005; Yatkin et al., 2007) อย่างไรก็ตาม Zn และ Cr สามารถพบได้จากการเผาไหม้น้ำมัน (Johnson et al., 2011; Manousakas et al., 2015) รวมถึง Zn, Cr และ Ni ที่สามารถพบได้ จาก การปลดปล่อยจากรถยนต์เช่นเดียวกัน (Acciai et al., 2017; Han et al., 2015; Manousakas et al., 2015; Manousakas et al., 2017) ดังนั้น อาจกล่าวสรุปได้ว่าโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารมี แหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้มาจากการปลดปล่อยจากยานยนต์ ฝุ่นดิน ฝุ่นจากเปลือกโลก และการ ก่อสร้าง การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล การสีกรของผ้าเบรกและยางรถยนต์ และการเผาไหม้น้ำมัน และเชื้อเพลิงฟอสซิล

สำหรับผลการจัดจำแนกแหล่งกำเนิดของโลหะใน $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคาร พบว่า องค์ประกอบที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย As-Cd, Cr-Fe-Mn และ Ni สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นได้ ของ As-Cd มาจากการปลดปล่อยจากยานยนต์ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่สามารถพบได้จาก แหล่งกำเนิดดังกล่าว (Dai et al., 2015; Manousakas et al., 2015; Mansha et al., 2012) ส่วน

แหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของ Cr-Fe-Mn โดยจากการศึกษาของ Johnson et al. (2011) ได้ระบุว่า องค์ประกอบดังกล่าวพบได้จากการเผาไหม้น้ำมัน รวมถึง Ni ที่เป็นองค์ประกอบหลักที่พบได้จากการเผาไหม้น้ำมันและเชื้อเพลิงฟอสซิล (Liu et al., 2018b; Nayebare et al., 2017; Park et al., 2005; Yatkin et al., 2007) นอกจากนี้ Cr, Fe, Mn และ Ni ยังสามารถพบได้จากอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าเช่นเดียวกัน (Geiger et al., 2010; Han et al., 2015; Johnson et al., 2011; Tan et al., 2017) สำหรับองค์ประกอบที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วย Mg, K-Zn และ Cu โดย Mg เป็นองค์ประกอบที่พบจากฝุ่นดิน และฝุ่นจากเปลือกโลก (Geiger et al., 2010; Han et al., 2015; Murillo et al., 2013; Nayebare et al., 2017) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า Mg พบได้จากละอองลอยจากเกลือทะเล (Bove et al., 2016; Fang et al., 2006; Manousakas et al., 2017) และเมื่อพิจารณาจากทิศทางลมที่ปรากฏดังรูปที่ 4.1 ที่มีทิศทางลมพัดมาจากช่วงทิศตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งมาจากทะเลอ่าวไทย จึงอาจเป็นไปได้ว่า Mg ในการศึกษาครั้งนี้มีแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้มาจากละอองลอยจากเกลือทะเล ส่วน K-Zn เป็นองค์ประกอบที่พบได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล (Geiger et al., 2010; Johnson et al., 2011) โดยเฉพาะ K ที่เป็นองค์ประกอบหลักที่พบได้จากแหล่งกำเนิดดังกล่าว (Johnson et al., 2011; Nayebare et al., 2017; Park et al., 2005; Wang et al., 2018; Wimolwattanapun et al., 2011) สำหรับ Cu สามารถพบได้จากยางและผ้าเบรกรถยนต์ (Acciai et al., 2017; Manousakas et al., 2015; Manousakas et al., 2017) รวมถึงการปลดปล่อยจากยานยนต์และการเผาไหม้น้ำมัน (Nayebare et al., 2017; Yatkin et al., 2007) และสำหรับองค์ประกอบที่ 3 พบว่ามี Pb, Ba-Ca เป็นองค์ประกอบ โดย Pb มีแหล่งกำเนิดมาจากการปลดปล่อยจากยานยนต์ (Mansha et al., 2012; Yu et al., 2013) และ Ba-Ca จากฝุ่นดิน ฝุ่นจากเปลือกโลก และการก่อสร้าง ดังนั้น ผลการจัดจำแนกแหล่งกำเนิดของโลหะใน $PM_{2.5-10}$ จึงอาจระบุได้ว่า โลหะใน $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคารมีแหล่งกำเนิดมาจากการปลดปล่อยจากยานยนต์ การเผาไหม้น้ำมันและเชื้อเพลิงฟอสซิลและอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า ละอองลอยจากเกลือทะเล การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล การสึกหรอของผ้าเบรกและยางรถยนต์ รวมถึงฝุ่นดิน ฝุ่นจากเปลือกโลก และการก่อสร้าง ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน $PM_{2.5}$ จะเห็นได้ว่า มีแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ไม่เหมือนกันทั้งหมด โดยแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของ $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคาร จะพบว่ามีแหล่งกำเนิดจากอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า และละอองลอยจากเกลือทะเลเพิ่มเติม

ตารางที่ 4.23 การจำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะในฝุ่นละอองภายนอกอาคารโดยอ้างอิงการศึกษาที่ผ่านมา

องค์ประกอบ	ฝุ่นดิน ฝุ่นจากเปลือกโลก และการก่อสร้าง	การเผาไหม้ชีวมวล	ยางและผ้าเบรกรถยนต์	การเผาไหม้ถ่านหิน	ละอองลอยจากเกลือทะเล	อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า	การปลดปล่อยจากยานยนต์
การศึกษาที่ผ่านมา*	Ca, Fe, Mg, K, Mn, Ba	K, Zn	Ba, Zn, Cu, Mn, Cr	Ni, Mn, Fe, Cr, As, Ba, Zn, Cu	Mg	Mn, Cr, Fe, Zn, Ni, Mg, Pb	Pb, Ni, Cd, Zn, Cu, Cr, As
โลหะใน PM _{2.5} ภายนอกอาคาร							
- องค์ประกอบที่ 1	Ba-Mn, Mg-Ca	K	Ba-Mn	Cu-Fe	-	-	Pb-As-Cd
- องค์ประกอบที่ 2	-	-	Zn-Cr	Zn-Cr, Ni	-	-	Zn-Cr, Ni
โลหะใน PM _{2.5-10} ภายนอกอาคาร							
- องค์ประกอบที่ 1	-	-	-	Cr-Fe-Mn, Ni	-	Cr-Fe-Mn, Ni	As-Cd
- องค์ประกอบที่ 2	Mg	K-Zn	Cu	Cu	Mg	-	Cu
- องค์ประกอบที่ 3	Ba-Ca	-	-	-	-	Pb	Pb

อ้างอิง: * (Acciai et al., 2017; Bove et al., 2016; Geiger et al., 2010; Han et al., 2015; Johnson et al., 2011; Liu et al., 2018b; Manousakas et al., 2015; Manousakas et al., 2017; Mansha et al., 2012; Murillo et al., 2013; Nayebare et al., 2017; Tan et al., 2017)

4.11.2 การระบุแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายในอาคาร

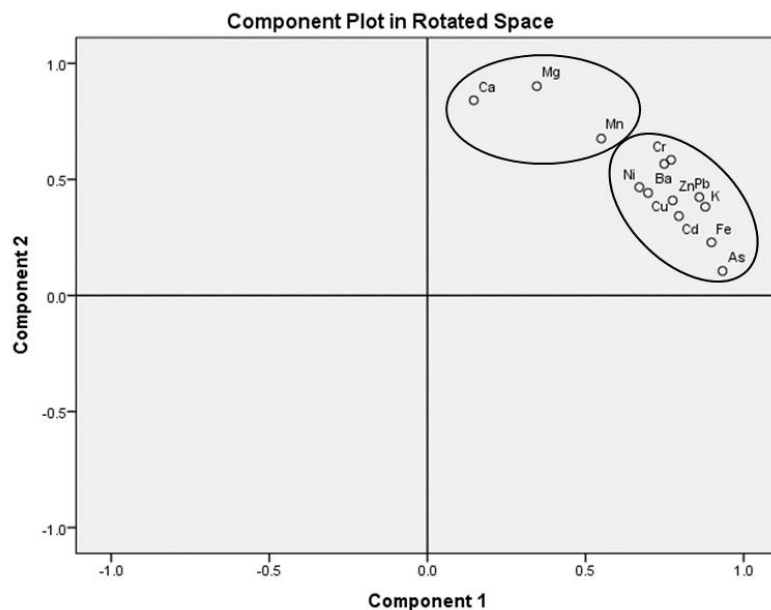
เพื่อเชื่อมโยงอิทธิพลจากการแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารของฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดมาจากภายนอก จึงได้ทำการวิเคราะห์จำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายในอาคารด้วยเทคนิค PCA โดยนำข้อมูลความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ทั้งในช่วงฤดูฤดูฝน ฤดูหนาว

และฤดูร้อน มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS Statistics version 22 โดยผลการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคารเป็นดังต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคาร (63 ตัวอย่าง) ปรากฏดังตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.56 พบว่า สามารถจำแนกกลุ่มของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคารได้ทั้งหมด 2 องค์ประกอบ โดยองค์ประกอบที่ 1 ประกอบด้วย As, Fe, K, Pb, Cd, Zn, Cr, Ba, Cu และ Ni ซึ่งให้ค่า %Variance เท่ากับร้อยละ 53.513 และองค์ประกอบที่ 2 ประกอบด้วย Mg, Ca และ Mn ซึ่งให้ค่า %Variance เท่ากับร้อยละ 28.657 ทั้งนี้ สามารถจัดกลุ่มโลหะขององค์ประกอบที่ 1 ได้แก่ As-Fe, K, Pb-Cd, Zn-Cr-Ba และ Cu-Ni และองค์ประกอบที่ 2 สามารถจัดกลุ่มโลหะ ได้แก่ Mg-Ca และ Mn

ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคารด้วยเทคนิค PCA

ชนิดของโลหะ	องค์ประกอบที่ 1	องค์ประกอบที่ 2
	%Variance = 53.513	%Variance = 28.657
	Factor loading	Factor loading
As	0.933*	0.106
Fe	0.898*	0.229
K	0.879*	0.382
Pb	0.860*	0.424
Cd	0.795*	0.342
Zn	0.776*	0.409
Cr	0.771*	0.584
Ba	0.749*	0.567
Cu	0.698*	0.442
Ni	0.670*	0.467
Mg	0.346	0.901*
Ca	0.146	0.841*
Mn	0.550	0.676*



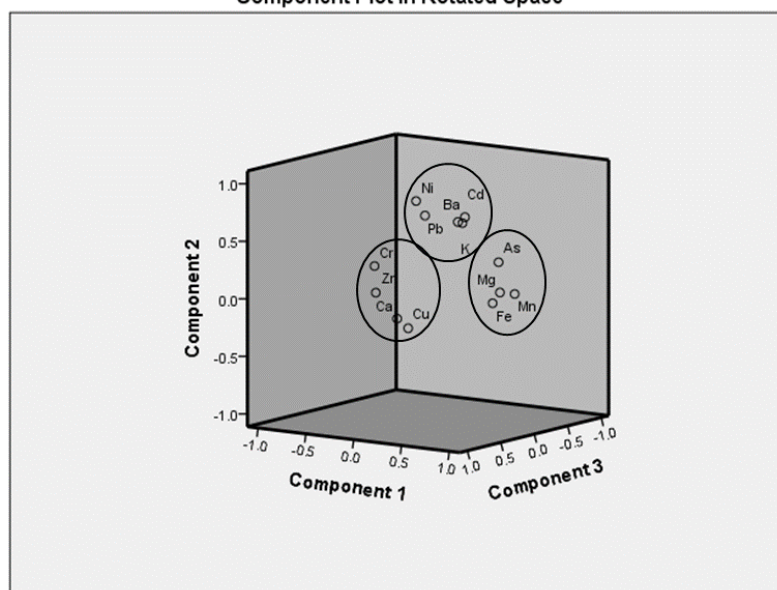
รูปที่ 4.56 ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายในอาคารด้วยเทคนิค PCA

ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มโลหะใน $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคาร (63 ตัวอย่าง) ปรากฏดังตารางที่ 4.25 และรูปที่ 4.57 พบว่า สามารถจัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคารได้ทั้งหมด 3 องค์ประกอบ โดยองค์ประกอบที่ 1 ประกอบด้วย Mn, Mg, Fe และ As ซึ่งให้ค่า %Variance เท่ากับร้อยละ 24.775 ส่วนองค์ประกอบที่ 2 ประกอบด้วย Ni, Ba, K, Pb และ Cd ซึ่งให้ค่า %Variance เท่ากับร้อยละ 21.282 และองค์ประกอบที่ 3 ประกอบด้วย Pb, Ba และ Ca ทั้งนี้ องค์ประกอบที่ 1 สามารถจัดกลุ่มโลหะ ได้แก่ Mn, Mg-Fe และ As ส่วนองค์ประกอบที่ 2 สามารถจัดกลุ่มโลหะ ได้แก่ Ni, Ba-K และ Pb-Cd และองค์ประกอบที่ 3 สามารถจัดกลุ่มโลหะ ได้แก่ Ca, Cr และ Cu-Zn

ตารางที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายในอาคารด้วยเทคนิค PCA

ชนิดของโลหะ	องค์ประกอบที่ 1	องค์ประกอบที่ 2	องค์ประกอบที่ 3
	%Variance = 24.775	%Variance = 21.282	%Variance = 16.305
	Factor loading	Factor loading	Factor loading
Mn	.910*	.087	.006
Mg	.840*	.110	.126
Fe	.838*	.032	.233
As	.608*	.304	-.185
Ni	-.038	.816*	.125
Ba	.434	.715*	.070
K	.486	.705*	.247
Pb	-.044	.668*	-.017
Cd	.245	.611*	-.163
Ca	.198	-.093	.745*
Cr	-.060	.333	.715*
Cu	.267	-.179	.679*
Zn	-.115	.083	.617*

Component Plot in Rotated Space

รูปที่ 4.57 ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายในอาคารด้วยเทคนิค PCA

ผลการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่มของโลหะใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคารด้วยเทคนิค PCA สามารถระบุแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะในฝุ่นละอองทั้งสองขนาด โดยอ้างอิงจากการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งผลการจำแนกแหล่งกำเนิดโดยอ้างอิงจากการศึกษาที่ผ่านมาปรากฏดังตารางที่ 4.26 โดยผลการจัดจำแนกแหล่งกำเนิดของโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายในอาคาร พบว่า องค์ประกอบที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย As-Fe, K, Pb-Cd, Zn-Cr-Ba และ Cu-Ni สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของ As-Fe มาจากการเผาไหม้น้ำมัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่พบได้จากแหล่งกำเนิดดังกล่าว (Johnson et al., 2011; Mansha et al., 2012) สำหรับ K เป็นองค์ประกอบหลักที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล (Johnson et al., 2011; Nayebare et al., 2017; Park et al., 2005; Wang et al., 2018; Wimolwattanapun et al., 2011) ส่วน Pb-Cd สามารถพบได้จากการปลดปล่อยจากยานยนต์ (Dai et al., 2015; Mansha et al., 2012; Yu et al., 2013) นอกจากนี้ Zn-Cr-Ba เป็นองค์ประกอบที่พบได้จากยางและผ้าเบรกรถยนต์ (Hjortenkrans et al., 2006; Manousakas et al., 2015; Pant et al., 2013; Pastuszka et al., 2010; Yu et al., 2013) และ Cu-Ni เป็นองค์ประกอบที่สามารถพบได้จากการเผาไหม้น้ำมันและเชื้อเพลิงฟอสซิล (Liu et al., 2018b; Nayebare et al., 2017; Park et al., 2005; Yarkin et al., 2007) และสำหรับองค์ประกอบที่ 2 ที่ประกอบด้วย Mg-Ca และ Mn ซึ่งเป็นองค์ประกอบมีแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นดิน ฝุ่นจากเปลือกโลก และการก่อสร้าง (Acciai et al., 2017; Hagler et al., 2007; Han et al., 2015; Zhang et al., 2015; Zhang et al., 2013) ดังนั้น จึงอาจกล่าวสรุปได้ว่าโลหะใน $PM_{2.5}$ ภายในอาคารมีแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้มาจากการปลดปล่อยจากยานยนต์ การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล การสึกหรอของผ้าเบรกและยางรถยนต์ การเผาไหม้น้ำมันและเชื้อเพลิงฟอสซิล และฝุ่นดิน ฝุ่นจากเปลือกโลก และการก่อสร้าง

สำหรับผลการจัดจำแนกแหล่งกำเนิดของโลหะใน $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคาร พบว่า องค์ประกอบที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย Mn, Mg-Fe และ As สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของ Mn, Mg-Fe มาจากฝุ่นดิน ฝุ่นจากเปลือกโลก และการก่อสร้าง ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่พบได้จากแหล่งกำเนิดดังกล่าว (Acciai et al., 2017; Geiger et al., 2010; Han et al., 2015; Murillo et al., 2013; Nayebare et al., 2017) ทั้งนี้ Mn, Mg-Fe ยังสามารถพบได้จากอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าเช่นเดียวกัน (Geiger et al., 2010; Han et al., 2015; Johnson et al., 2011; Tan et al., 2017) นอกจากนี้ Mn ยังสามารถพบได้จากยางและผ้าเบรกรถยนต์ (Acciai et al., 2017) และการเผาไหม้น้ำมัน (Johnson et al., 2011) ส่วน As สามารถพบได้จากการเผาไหม้น้ำมัน (Johnson et al., 2011; Mansha et al., 2012) และการปลดปล่อยจากยานยนต์ (Manousakas et al., 2015) ส่วนองค์ประกอบที่ 2 ที่ประกอบด้วย Ni, Ba-K และ Pb-Cd ซึ่ง Ni เป็นองค์ประกอบที่พบ

จากแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้น้ำมันและเชื้อเพลิงฟอสซิล (Liu et al., 2018b; Nayebare et al., 2017; Park et al., 2005; Yatkin et al., 2007) ส่วน Ba-K สามารถพบได้จากฝุ่นดิน ฝุ่นจากเปลือกโลก และการก่อสร้าง (Acciai et al., 2017; Geiger et al., 2010; Mansha et al., 2012; Nayebare et al., 2017; Tan et al., 2017) อย่างไรก็ตาม K ก็จัดเป็นองค์ประกอบหลักที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล (Johnson et al., 2011; Nayebare et al., 2017; Park et al., 2005; Wang et al., 2018; Wimolwattanapun et al., 2011) อีกทั้ง Ba ยังสามารถได้จากยางและผ้าเบรกรถยนต์ (Liu et al., 2018b) สำหรับ Pb-Cd พบได้จากการปลดปล่อยจากยานยนต์ (Dai et al., 2015; Mansha et al., 2012; Nayebare et al., 2017; Yatkin et al., 2007; Yu et al., 2013) และสำหรับองค์ประกอบที่ 3 ที่ประกอบด้วย Ca และ Cr-Cu-Zn โดย Ca เป็นองค์ประกอบที่มีแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นดิน ดินจากเปลือกโลก หรือฝุ่นจากการก่อสร้าง (Acciai et al., 2017; Hagler et al., 2007; Zhang et al., 2015; Zhang et al., 2013) และ Cr-Cu-Zn เป็นองค์ประกอบที่สามารถพบได้จากการสึกหรอของผ้าเบรกและยางรถยนต์ (Acciai et al., 2017; Hjortenkrans et al., 2006; Manousakas et al., 2015; Pant et al., 2013; Pastuszka et al., 2010; Yu et al., 2013) นอกจากนี้ ยังสามารถพบ Cr ได้จากการเผาไหม้น้ำมันและอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า (Johnson et al., 2011) รวมถึงการปลดปล่อยจากยานยนต์ (Acciai et al., 2017; Han et al., 2015; Manousakas et al., 2017) ดังนั้น จึงอาจกล่าวสรุปได้ว่าโลหะใน $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคารมีแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้มาจากฝุ่นดิน ฝุ่นจากเปลือกโลก และการก่อสร้าง อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า การเผาไหม้น้ำมันและเชื้อเพลิงฟอสซิล การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล การปลดปล่อยจากยานยนต์ และการสึกหรอของผ้าเบรกและยางรถยนต์

ตารางที่ 4.26 การจำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะในฝุ่นละอองภายในอาคารโดยอ้างอิงการศึกษาที่ผ่านมา

องค์ประกอบ	ฝุ่นดิน ฝุ่นจากเปลือกโลก และการก่อสร้าง	การเผาไหม้ชีวมวล	ยางและผ้าเบรกรถยนต์	การเผาไหม้น้ำมัน	ละอองลอยจากเกลือทะเล	อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า	การปลดปล่อยจากยานยนต์
การศึกษาที่ผ่านมา*	Ca, Fe, Mg, K, Mn, Ba	K, Zn	Ba, Zn, Cu, Mn, Cr	Ni, Mn, Fe, Cr, As, Ba, Zn, Cu	Mg	Mn, Cr, Fe, Zn, Ni, Mg, Pb	Pb, Ni, Cd, Zn, Cu, Cr, As
โลหะใน PM _{2.5} ภายในอาคาร							
- องค์ประกอบที่ 1	-	K	Zn-Cr-Ba	As-Fe, Cu-Ni	-	-	Pb-Cd, Cu-Ni
- องค์ประกอบที่ 2	Mg-Ca, Mn	-	Mn	Mn	-	-	-
โลหะใน PM _{2.5-10} ภายในอาคาร							
- องค์ประกอบที่ 1	Mn, Mg-Fe	-	Mn	Mn, As	-	Mn, Mg-Fe	As
- องค์ประกอบที่ 2	Ba-K	K	Ba	Ni	-	-	Pb-Cd
- องค์ประกอบที่ 3	Ca	-	Cr, Cu-	Cr	-	Cr	Cr

อ้างอิง: * (Acciai et al., 2017; Bove et al., 2016; Geiger et al., 2010; Han et al., 2015; Johnson et al., 2011; Liu et al., 2018b; Manousakas et al., 2015; Manousakas et al., 2017; Mansha et al., 2012; Murillo et al., 2013; Nayebare et al., 2017; Tan et al., 2017)

ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์จัดจำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายในอาคารเทียบกับภายนอกอาคาร พบว่า แหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคารมีแหล่งกำเนิดที่สอดคล้องกับภายนอกอาคาร ซึ่งประกอบด้วย การปลดปล่อยจากยานยนต์ ฝุ่นดิน ฝุ่นจากเปลือกโลก และการก่อสร้าง การเผาไหม้ชีวมวล การสึกหรอของผ้าเบรกและยางรถยนต์ และการเผาไหม้น้ำมันและเชื้อเพลิงฟอสซิล อีกทั้ง แหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะ

ใน $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคาร พบว่า มีแหล่งกำเนิดที่สอดคล้องกับภายนอกอาคาร ซึ่งประกอบด้วย การปลดปล่อยจากยานยนต์ การเผาไหม้น้ำมัน อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า การเผาไหม้ชีวมวล การสึกหรอของผ้าเบรกและยางรถยนต์ รวมถึงฝุ่นดิน ฝุ่นจากเปลือกโลก และการก่อสร้าง จากผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ฝุ่นละอองภายในอาคารได้รับอิทธิพลจากการแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารของ ฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดมาจากภายนอก

อย่างไรก็ตาม จากผลการวิเคราะห์จัดจำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดโดยอ้างอิงการศึกษาที่ผ่านมาในครั้งนี้ อาจได้ข้อสรุปของแหล่งกำเนิดที่ไม่ ชัดเจนมากนัก ดังนั้น ในการวิเคราะห์จัดจำแนกแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองควรมีการศึกษ องค์ประกอบทางเคมีที่มีปริมาณมากในฝุ่นละอองเพิ่มเติม เช่น ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ไนเตรต (NO_3^-) คาร์บอนอินทรีย์ (OC) และธาตุคาร์บอน (EC) และมีภาววิเคราะห์ด้วยเทคนิคแบบจำลองเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ ข้อมูลที่สามารถระบุแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของฝุ่นละอองได้ชัดเจนมากขึ้น



บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ได้ทำการศึกษาบริเวณอาคารสูงแห่งหนึ่งในพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองบริเวณภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 3 ระดับ ได้แก่ 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร รวมจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองทั้งหมด 6 จุด และทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง 7 วัน ในช่วงฤดูฝน (วันที่ 23 - 29 กันยายน 2562) ฤดูหนาว (วันที่ 13 - 19 มกราคม 2563) และฤดูร้อน (วันที่ 2 - 8 มีนาคม 2563) พร้อมทั้งวิเคราะห์โลหะในฝุ่นละอองทั้งสองขนาด จำนวน 13 ชนิด ได้แก่ สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ตะกั่ว (Pb) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) แมกนีเซียม (Mg) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แบเรียม (Ba) ผลการศึกษาคั้งนี้สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายนอกอาคาร

1) ปริมาณ PM_{2.5} ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร มีความเข้มข้นสูงที่สุดในช่วงฤดูหนาว รองลงมาได้แก่ ฤดูฝน และฤดูร้อน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43.5 ± 10.7 , 31.7 ± 12.8 และ 17.1 ± 5.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นของ PM_{2.5} ในแต่ละระดับความสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ทั้งในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ฤดูกาลที่แตกต่างกันและอิทธิพลจากสภาพอากาศคงตัวที่ปรากฏในช่วงฤดูหนาวไม่มีอิทธิพลต่อแตกต่างของความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่ความสูงทั้งสามระดับ

2) ปริมาณ PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร มีความเข้มข้นสูงที่สุดในช่วงฤดูหนาว รองลงมาได้แก่ ฤดูฝน และฤดูร้อน เช่นเดียวกับ PM_{2.5} โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.5 ± 2.4 , 14.6 ± 4.3 และ 12.8 ± 2.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ในแต่ละระดับความสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ในช่วงฤดูฝน และฤดูร้อน ในขณะที่ช่วงฤดูหนาว พบความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ที่ระดับความสูง 138.5 แตกต่างกับระดับความสูง 4.5 และ 51.5 เมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร ในช่วงฤดูหนาวมีแนวโน้มลดจาก

ระดับความสูง 4.5 เมตรเฉลี่ยร้อยละ 37.4 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า สภาพอากาศคงตัวในช่วงฤดูหนาวมีอิทธิพลต่อการลดลงของความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ที่ระดับความสูง 138.5 เมตรอย่างเห็นได้ชัด

3) ค่า $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio ในแต่ละระดับความสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ในช่วงฤดูฝน และฤดูร้อน ในขณะที่ช่วงฤดูหนาวพบว่า ค่า $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio ที่ระดับความสูง 138.5 เมตรแตกต่างกับระดับความสูง 4.5 และ 51.5 เมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยช่วงฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ย $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ช่วงฤดูฝนและฤดูร้อน โดยมีค่าเท่ากับ 0.72 ± 0.05 , 0.68 ± 0.06 และ 0.56 ± 0.08 ตามลำดับ กล่าวได้ว่า ฤดูกาลมีอิทธิพลต่อค่า $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio ในแต่ละฤดูกาล

5.1.2 ระดับความเข้มข้นของของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคาร

1) ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในและภายนอกอาคาร มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร เท่ากับ 0.926, 0.907 และ 0.976 ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นของ $PM_{2.5-10}$ ภายในและภายนอกอาคาร มีความสัมพันธ์เชิงบวกเฉพาะที่ระดับความสูง 138.5 เมตร โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.629

2) ค่าเฉลี่ย I/O ratio ของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.90 ± 0.21 และ 0.78 ± 0.27 ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความสูง 51.5 เมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.68 ± 0.18 และ 0.31 ± 0.21 ตามลำดับ และที่ระดับความสูง 138.5 เมตรค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.90 ± 0.13 และ 0.90 ± 0.21 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ย I/O ratio ของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ในระหว่างช่วงวันทำงานและวันหยุดมีแนวโน้มที่ไม่แตกต่างกันมากนัก และค่า I/O ratio ของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ที่ระดับความสูง 51.5 เมตร มีค่าต่ำกว่าที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ลักษณะทางกายภาพของห้องที่เป็นพื้นที่ปิดที่ระดับความสูง 51.5 เมตร สามารถปิดกั้นการแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ จากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารได้ดีกว่าทั้งสองระดับความสูง โดยสามารถปิดกั้นการแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ จากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารได้เฉลี่ยร้อยละ 31.79 และ 68.93 ตามลำดับ กล่าวได้ว่า ลักษณะทางกายภาพและกิจกรรมของพื้นที่ศึกษาเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของฝุ่นละอองจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร โดยภายในอาคารบริเวณชั้นบนของอาคารก็สามารถได้รับอิทธิพลจากฝุ่นละอองจากภายนอกอาคาร เช่นเดียวกับภายในอาคารบริเวณชั้นล่างของอาคาร หากมีการเปิดประตูและหน้าต่าง หรือมีช่องว่างให้ฝุ่นละอองสามารถแพร่กระจายเข้ามาภายในอาคารได้

5.1.3 การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในรอบวัน

1) ระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ทำการตรวจวัดด้วยวิธี Real-time ซึ่งวิเคราะห์ด้วยหลักการ Light scattering ในรอบวัน บริเวณภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน โดยในช่วงฤดูฝน พบว่า ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสองช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเช้า เวลาประมาณ 04.00 - 10.00 น. และช่วงเย็นจนถึงช่วงกลางคืน เวลาประมาณ 18.00 - 01.00 น. อีกทั้ง แนวโน้มลดลงในช่วงบ่าย เวลาประมาณ 12.00 - 16.00 น. ในขณะที่ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดในช่วงฤดูหนาว มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดช่วงกลางวันจนถึงหัวค่ำ เวลาประมาณ 05.00 - 20.00 น. สำหรับในช่วงฤดูร้อน พบว่า ฝุ่นละอองทั้งสองขนาดมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในรอบวันไม่ชัดเจน โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาเร่งด่วนเฉพาะช่วงเช้า เวลาประมาณ 06.00 - 11.00 น. ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ฤดูกาลมีอิทธิพลต่อแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงในรอบวันของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดในแต่ละฤดูกาล

2) การเปลี่ยนแปลงในรอบวันของฝุ่นละอองภายในอาคารมีแนวโน้มสอดคล้องกับภายนอกอาคารทั้งที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร โดยค่าเฉลี่ย I/O ratio ของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ในรอบวันที่ความสูงทั้งสองระดับมีแนวโน้มที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา เนื่องจากอิทธิพลของการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองที่ตกสะสมภายในอาคาร การปิดและเปิดประตู การเดินเข้าและออกระหว่างภายในและภายนอกอาคาร และอิทธิพลจากความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคาร เป็นต้น โดยจะพบว่าค่าเฉลี่ย I/O ratio ของฝุ่นละอองทั้งสองขนาดส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางวัน

5.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

1) ความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่ทดสอบด้วยสถิติ Pearson correlation พบว่า ความเร็วลมมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ($r = -0.348, -0.359$) และความดันบรรยากาศมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองขนาด ($r = 0.199, 0.203$) นอกจากนี้ พบว่า อุณหภูมิมีความสัมพันธ์เชิงบวกและความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ($r = 0.121, -0.121$)

2) ความเข้มข้นรายชั่วโมงของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่ทดสอบด้วยสถิติ Multiple linear regression พบว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ได้รับอิทธิพลจากความเร็วลม ($\beta = -13.548, -15.407$) ความชื้นสัมพัทธ์ ($\beta = -0.3609, -0.290$) และความดันบรรยากาศ ($\beta = 1.801, 2.006$) โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.173 และ 0.160

3) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่ทดสอบด้วยสถิติ Multiple linear regression ในลักษณะชุดข้อมูลแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 และ 6 ชั่วโมง พบว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ได้รับอิทธิพลจากความเร็วลม ($\beta = -18.622, -21.169, -24.941, -27.723$) และอุณหภูมิ ($\beta = 1.278, 1.271, 1.655, 1.570$) โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.213, 0.201, 0.296 และ 0.274

5.1.5 ระดับความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$

1) ความเข้มข้นของโลหะรวมทั้ง 13 ชนิดใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร ในแต่ละระดับความสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ทั้งในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน

2) ความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตรส่วนใหญ่มีความเข้มข้นมากกว่าภายนอกอาคาร โดยพบว่าค่า I/O ratio มากกว่า 1 ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองภายในอาคารที่ตกสะสมอยู่ภายในอาคาร ประกอบกับฝุ่นละอองจากภายนอกอาคารที่แพร่กระจายเข้ามา

5.1.6 สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$

1) สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5, 51.5 และ 138.5 เมตร มีกลุ่มชนิดของโลหะที่สอดคล้องกัน เมื่อพิจารณาสัดส่วนองค์ประกอบของโลหะในฝุ่นละอองทั้งสองขนาดในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน พบว่า ชนิดของโลหะปริมาณมากประกอบด้วย K, Ca, Mg, Fe และ Zn โดยมี K และ Ca เป็นธาตุที่พบเป็นหลักจากโลหะทั้งหมดที่ทำการวิเคราะห์ในฝุ่นละอองทั้งสองขนาด ในขณะที่กลุ่มชนิดของโลหะปริมาณน้อยที่มีสัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 1 ประกอบด้วย Cr, As, Pb, Cu, Mn, Ba, Ni และ Cd

2) สัดส่วนองค์ประกอบของโลหะใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคารเป็นกลุ่มชนิดของโลหะที่สอดคล้องกับสัดส่วนองค์ประกอบของโลหะในฝุ่นละอองภายนอกอาคาร โดยจะพบ Ca เป็นธาตุที่มีปริมาณมากที่สุดจากโลหะทั้งหมดที่ทำการวิเคราะห์ในฝุ่นละอองภายในอาคาร

5.1.7 การระบุแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10}

1) การวิเคราะห์จัดจำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคาร ด้วยเทคนิค Principal Component Analysis (PCA) สามารถจัดกลุ่มโลหะได้ 2 องค์ประกอบ ได้แก่ องค์ประกอบที่ 1 ประกอบด้วย Pb-As-Cd-Cu, Fe-Ba-Mn-K และ Mg-Ca และองค์ประกอบที่ 2 ประกอบด้วย Zn-Cr และ Ni โดยสามารถจำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ ได้แก่ การปลดปล่อยจากยานยนต์ ผุ่นดินและการก่อสร้าง การเผาไหม้ชีวมวล การสีกรอของผ้าเบรกและยางรถยนต์ และการเผาไหม้น้ำมันและเชื้อเพลิงฟอสซิล สำหรับผลการวิเคราะห์ของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคาร สามารถจำแนกได้ 3 องค์ประกอบ ได้แก่ องค์ประกอบที่ 1 ประกอบด้วย As-Cd, Cr-Fe-Mn และ Ni ส่วนองค์ประกอบที่ 2 ประกอบด้วย Mg, K-Zn-Cu และองค์ประกอบที่ 3 ประกอบด้วย ได้แก่ Pb และ Ba-Ca โดยสามารถจำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ ได้แก่ การปลดปล่อยจากยานยนต์ การเผาไหม้น้ำมันและอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า ละอองลอยจากเกลือทะเล การเผาไหม้ชีวมวล การสีกรอของผ้าเบรกและยางรถยนต์ รวมถึงผุ่นดิน และการก่อสร้าง

2) การวิเคราะห์จัดจำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคาร ด้วยเทคนิค Principal Component Analysis (PCA) สามารถจัดกลุ่มโลหะได้ 2 องค์ประกอบ ได้แก่ องค์ประกอบที่ 1 ประกอบด้วย As-Fe, K, Pb-Cd, Zn-Cr-Ba และ Cu-Ni และองค์ประกอบที่ 2 ประกอบด้วย Mg-Ca และ Mn โดยสามารถจำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ที่สอดคล้องกับแหล่งกำเนิดของ PM_{2.5} ภายนอกอาคาร ซึ่งประกอบด้วย การปลดปล่อยจากยานยนต์ การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล การสีกรอของผ้าเบรกและยางรถยนต์ การเผาไหม้น้ำมันและเชื้อเพลิงฟอสซิล และ ผุ่นดิน ผุ่นจากเปลือกโลก และการก่อสร้าง สำหรับผลการวิเคราะห์ของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายในอาคาร สามารถจำแนกได้ 3 องค์ประกอบ ได้แก่ องค์ประกอบที่ 1 ประกอบด้วย Mn, Mg, Fe และ As ส่วนองค์ประกอบที่ 2 ประกอบด้วย Ni, Ba, K, Pb และ Cd และองค์ประกอบที่ 3 ประกอบด้วย Ca, Cr และ Cu-Zn โดยสามารถจำแนกแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ที่สอดคล้องกับแหล่งกำเนิดของ PM_{2.5} ภายนอกอาคารเช่นเดียวกัน ซึ่งประกอบด้วย การปลดปล่อยจากยานยนต์ การเผาไหม้น้ำมันและอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า ละอองลอยจากเกลือทะเล การเผาไหม้ชีวมวล การสีกรอของผ้าเบรกและยางรถยนต์ รวมถึงผุ่นดิน และการก่อสร้าง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ผู้ที่อาศัยหรือทำกิจกรรมกลางแจ้งบริเวณชั้นบนของอาคารสูงควรมีการเฝ้าระวังการรับสัมผัสฝุ่นละอองผ่านทางหายใจเช่นเดียวกับผู้อยู่ชั้นล่างของอาคาร รวมถึงสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันหรือหลีกเลี่ยงการทำกิจกรรมกลางแจ้งในกรณีที่ฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐาน

2) ควรทำความสะอาดพื้นห้องและพื้นผิวต่าง ๆ เป็นประจำ เพื่อกำจัดและลดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองที่ตกสะสมและคงค้างอยู่ในห้อง หรืออาจใช้อุปกรณ์หรือผลิตภัณฑ์สำหรับกำจัดฝุ่นละอองและปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร และหลีกเลี่ยงการเปิดประตูและหน้าต่างในกรณีที่ฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐาน

3) ในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองที่อาจมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์เพิ่มเติม เช่น โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) รวมถึงศึกษาลักษณะทางกายภาพของฝุ่นละอองที่แพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคาร

4) ในการวิเคราะห์จัดจำแนกแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองควรมีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่มีปริมาณมากในฝุ่นละอองเพิ่มเติม เช่น ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ไนเตรต (NO_3^-) คาร์บอนอินทรีย์ (OC) และธาตุคาร์บอน (EC) เพื่อที่จะสามารถระบุแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของฝุ่นละอองได้ชัดเจนมากขึ้น

บรรณานุกรม

- Acciai, C., Zhang, Z., Wang, F., Zhong, Z., & Lonati, G. (2017). Characteristics and source Analysis of trace Elements in PM_{2.5} in the Urban Atmosphere of Wuhan in Spring. *Aerosol and Air Quality Research*, 17(9), 2224-2234.
- Bhatia, B. E. (2012). *HVAC - Natural Ventilation & Infiltration*. 5272 Meadow Estates Drive Fairfax: PDHcenter.
- Bove, M. C., Brotto, P., Calzolari, G., Cassola, F., Cavalli, F., Fermo, P., Hjorth, J., Massabò, D., Nava, S., Piazzalunga, A., Schembari, C., & Prati, P. (2016). PM₁₀ source apportionment applying PMF and chemical tracer analysis to ship-borne measurements in the Western Mediterranean. *Atmospheric Environment*, 125, 140-151.
- Camuffo, D. (2019). Atmospheric Stability and Pollutant Dispersion. In *Microclimate for Cultural Heritage* (pp. 175-196).
- Chan, C. Y., Xu, X. D., Li, Y. S., Wong, K. H., Ding, G. A., Chan, L. Y., & Cheng, X. H. (2005). Characteristics of vertical profiles and sources of PM_{2.5}, PM₁₀ and carbonaceous species in Beijing. *Atmospheric Environment*, 39(28), 5113-5124.
- Chan, L. Y., & Kwok, W. S. (2000). Vertical dispersion of suspended particulates in urban area of Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 34, 4403-4412.
- Chatoutsidou, S. E., Ondráček, J., Tesar, O., Tørseth, K., Ždímal, V., & Lazaridis, M. (2015). Indoor/outdoor particulate matter number and mass concentration in modern offices. *Building and Environment*, 92, 462-474.
- Chen, C., & Zhao, B. (2011). Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor. *Atmospheric Environment*, 45(2), 275-288.
- Chen, P., Bi, X., Zhang, J., Wu, J., & Feng, Y. (2015a). Assessment of heavy metal pollution characteristics and human health risk of exposure to ambient PM_{2.5} in Tianjin, China. *Particuology*, 20, 104-109.
- Chen, Q., Luo, X. S., Chen, Y., Zhao, Z., Hong, Y., Pang, Y., Huang, W., Wang, Y., & Jin, L. (2019). Seasonally varied cytotoxicity of organic components in PM_{2.5} from

- urban and industrial areas of a Chinese megacity. *Chemosphere*, 230, 424-431.
- Chen, Y. C., Hsu, C. Y., Lin, S. L., Chang Chien, G. P., Chen, M. J., Fang, G. C., & Chiang, H. C. (2015b). Characteristics of Concentrations and Metal Compositions for PM_{2.5} and PM_{2.5-10} in Yunlin County, Taiwan during Air Quality Deterioration. *Aerosol and Air Quality Research*, 15(7), 2571-2583.
- Cheng, Y., Lee, S., Gu, Z., Ho, K., Zhang, Y., Huang, Y., Chow, J. C., Watson, J. G., Cao, J., & Zhang, R. (2015). PM_{2.5} and PM_{10-2.5} chemical composition and source apportionment near a Hong Kong roadway. *Particuology*, 18, 96-104.
- Cheremisinoff, N. P. (2002). Air Pollution Dispersion. In *Handbook of Air Pollution Prevention and Control* (pp. 281-347).
- Choomanee, P., Bualert, S., Thongyen, T., Salao, S., Szymanski, W. W., & Rungratanaubon, T. (2020). Vertical Variation of Carbonaceous Aerosols with in the PM_{2.5} Fraction in Bangkok, Thailand. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(1), 43-52.
- Chuersuwan, N., Nimrat, S., Lekphet, S., & Kerdkumrai, T. (2008). Levels and major sources of PM_{2.5} and PM₁₀ in Bangkok Metropolitan Region. *Environ Int*, 34(5), 671-677.
- Council on Tall Buildings and Urban Habitat [CTBUH]. (2018). Buildings. Retrieved 2019, 20 August, from <http://www.skyscrapercenter.com/city/bangkok>
- Cyrus, J., Pitz, M., Bischof, W., Wichmann, H. E., & Heinrich, J. (2004). Relationship between indoor and outdoor levels of fine particle mass, particle number concentrations and black smoke under different ventilation conditions. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 14(4), 275-283.
- Dai, Q. L., Bi, X. H., Wu, J. H., Zhang, Y. F., Wang, J., Xu, H., Yao, L., Jiao, L., & Feng, Y. C. (2015). Characterization and Source Identification of Heavy Metals in Ambient PM₁₀ and PM_{2.5} in an Integrated Iron and Steel Industry Zone Compared with a Background Site. *Aerosol and Air Quality Research*, 15(3), 875-887.
- Deng, X., Li, F., Li, Y., Li, J., Huang, H., & Liu, X. (2015). Vertical distribution characteristics of PM in the surface layer of Guangzhou. *Particuology*, 20, 3-9.
- Deshmukh, D. K., Deb, M. K., Tsai, Y. I., & Mkombe, S. L. (2011). Atmospheric ionic species in PM_{2.5} and PM₁ aerosols in the ambient air of eastern central India. *Journal of*

Atmospheric Chemistry, 66(1-2), 81-100.

- Elhadi, R. E., Abdullah, A. M., Abdullah, A. H., Ash'aari, Z. H., Gumel, D. Y., & Binyehmed, F. M. (2016). Identification of Heavy Metals in Particulate Matter PM₁₀ of Traffic Area, Cheras, Malaysia. *Environment & Ecology*, 34(4), 1731-1173.
- Environment Canada. (2013). *Microwave Digestion of Airborne Particulate Matter Collected on Filters Using CEM MARS-5*. 335 River Rd, Ottawa, ON K1A 0H3: Air Quality Research Division.
- Fang, G. C., Wu, Y. S., Wen, C. C., Huang, S. H., & Rau, J. Y. (2006). Ambient air particulate concentrations and metallic elements principal component analysis at Taichung Harbor (TH) and WuChi Traffic (WT) near Taiwan Strait during 2004-2005. *J Hazard Mater*, 137(1), 314-323.
- Finlayson-Pitts, B. J., & Pitts Jr, J. N. (2000). The Atmospheric System. In *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere* (pp. 15-42).
- Geiger, A., & Cooper, J. (2010). *Overview of Airborne Metals Regulations, Exposure Limits, Health Effects, and Contemporary Research*. 10180 SW Nimbus Ave., Ste J6 Portland: Environmental Services.
- Gong, W., Zhang, T., Zhu, Z., Ma, Y., Ma, X., & Wang, W. (2015). Characteristics of PM_{1.0}, PM_{2.5}, and PM₁₀, and Their Relation to Black Carbon in Wuhan, Central China. *Atmosphere*, 6(9), 1377-1387.
- Gu, J., Bai, Z., Liu, A., Wu, L., Xie, Y., Li, W., Dong, H., & Zhang, X. (2010). Characterization of Atmospheric Organic Carbon and Element Carbon of PM_{2.5} and PM₁₀ at Tianjin, China. *Aerosol and Air Quality Research*, 10(2), 167-176.
- Hagler, G. S. W., Bergin, M. H., Salmon, L. G., Yu, J. Z., Wan, E. C. H., Zheng, M., Zeng, L. M., Kiang, C. S., Zhang, Y. H., & Schauer, J. J. (2007). Local and regional anthropogenic influence on PM_{2.5} elements in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 41(28), 5994-6004.
- Han, L., Cheng, S., Zhuang, G., Ning, H., Wang, H., Wei, W., & Zhao, X. (2015). The changes and long-range transport of PM_{2.5} in Beijing in the past decade. *Atmospheric Environment*, 110, 186-195.
- Hjortenkrans, D., Bergback, B., & Haggerud, A. (2006). New metal emission patterns in road traffic environments. *Environ Monit Assess*, 117(1-3), 85-98.

- Jain, S., Sharma, S. K., Mandal, T. K., & Saxena, M. (2018). Source apportionment of PM₁₀ in Delhi, India using PCA/APCS, UNMIX and PMF. *Particuology*, 37, 107-118.
- Johnson, T. M., Artaxo, P., Guttikunda, S. K., & Watson, J. G. (2011). *Tools for Improving Air Quality Management: A Review of Top-Down Source Apportionment Techniques and Their Application in Developing Countries*. Washington, DC 20433, USA: c/o Energy, Transport, and Water Department.
- Karnae, S., & John, K. (2019). Source apportionment of PM_{2.5} measured in South Texas near U.S.A. – Mexico border. *Atmospheric Pollution Research*, 10(5), 1663-1676.
- Katsaprakakis, D., & Christakis, D. G. (2012). Wind Parks Design, Including Representative Case Studies. In *Comprehensive Renewable Energy* (pp. 169-223).
- Kubba, S. (2017). Indoor Environmental Quality. In *Handbook of Green Building Design and Construction* (pp. 353-412).
- Li, H., Qian, X., & Wang, Q. (2013). Heavy metals in atmospheric particulate matter: a comprehensive understanding is needed for monitoring and risk mitigation. *Environ Sci Technol*, 47(23), 13210-13211.
- Li, X., Feng, Y. J., & Liang, H. Y. (2017a). The Impact of Meteorological Factors on PM_{2.5} Variations in Hong Kong. *Earth and Environmental Science*, 78.
- Li, X., Ma, Y., Wang, Y., Liu, N., & Hong, Y. (2017b). Temporal and spatial analyses of particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) and its relationship with meteorological parameters over an urban city in northeast China. *Atmospheric Research*, 198, 185-193.
- Liu, F., Zheng, X., & Qian, H. (2018a). Comparison of particle concentration vertical profiles between downtown and urban forest park in Nanjing (China). *Atmospheric Pollution Research*, 9(5), 829-839.
- Liu, G., Li, J., Wu, D., & Xu, H. (2015). Chemical composition and source apportionment of the ambient PM_{2.5} in Hangzhou, China. *Particuology*, 18, 135-143.
- Liu, J., Chen, Y., Chao, S., Cao, H., Zhang, A., & Yang, Y. (2018b). Emission control priority of PM_{2.5}-bound heavy metals in different seasons: A comprehensive analysis from health risk perspective. *Sci Total Environ*, 644, 20-30.
- Liu, K., Shang, Q., Wan, C., Song, P., Ma, C., & Cao, L. (2017). Characteristics and Sources of Heavy Metals in PM_{2.5} during a Typical Haze Episode in Rural and Urban Areas

- in Taiyuan, China. *Atmosphere*, 9(1).
- Manousakas, M., Diapouli, E., Papaefthymiou, H., Migliori, A., Karydas, A. G., Padilla-Alvarez, R., Bogovac, M., Kaiser, R. B., Jaksic, M., Bogdanovic-Radovic, I., & Eleftheriadis, K. (2015). Source apportionment by PMF on elemental concentrations obtained by PIXE analysis of PM₁₀ samples collected at the vicinity of lignite power plants and mines in Megalopolis, Greece. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 349, 114-124.
- Manousakas, M., Papaefthymiou, H., Diapouli, E., Migliori, A., Karydas, A. G., Bogdanovic-Radovic, I., & Eleftheriadis, K. (2017). Assessment of PM_{2.5} sources and their corresponding level of uncertainty in a coastal urban area using EPA PMF 5.0 enhanced diagnostics. *Sci Total Environ*, 574, 155-164.
- Mansha, M., Ghauri, B., Rahman, S., & Amman, A. (2012). Characterization and source apportionment of ambient air particulate matter (PM_{2.5}) in Karachi. *Sci Total Environ*, 425, 176-183.
- Massey, D., Masih, J., Kulshrestha, A., Habil, M., & Taneja, A. (2009). Indoor/outdoor relationship of fine particles less than 2.5µm (PM_{2.5}) in residential homes locations in central Indian region. *Building and Environment*, 44(10), 2037-2045.
- McDowall, R. (2007). Ventilation and indoor air quality. In *Fundamentals of HVAC Control Systems* (pp. 45-61).
- Men, C., Liu, R., Xu, F., Wang, Q., Guo, L., & Shen, Z. (2018). Pollution characteristics, risk assessment, and source apportionment of heavy metals in road dust in Beijing, China. *Sci Total Environ*, 612, 138-147.
- Muralikrishna, I. V., & Manickam, V. (2017). Air Pollution Control Technologies. In *Environmental Management* (pp. 337-397).
- Murillo, J. H., Roman, S. R., Rojas Marin, J. F., Ramos, A. C., Jimenez, S. B., Gonzalez, B. C., & Baumgardner, D. G. (2013). Chemical characterization and source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} in the metropolitan area of Costa Rica, Central America. *Atmospheric Pollution Research*, 4(2), 181-190.
- Nayebare, S. R., Aburizaiza, O. S., Khwaja, H. A., Siddique, A., Hussain, M. M., Zeb, J., Khatib, F., Carpenter, D. O., & Blake, D. R. (2017). Chemical Characterization and

- Source Apportionment of PM_{2.5} in Rabigh, Saudi Arabia. *Aerosol and Air Quality Research*, 16(12), 3114-3129.
- Oke, T. R. (1998). *Boundary Layer Climates* (2 ed.): Oke, T. R.
- Pallares, S., Gomez, E., Martinez, A., & Jordan, M. M. (2019). The relationship between indoor and outdoor levels of PM₁₀ and its chemical composition at schools in a coastal region in Spain. *Heliyon*, 5(8), e02270.
- Pandey, P., Khan, A. H., Verma, A. K., Singh, K. A., Mathur, N., Kisku, G. C., & Barman, S. C. (2012). Seasonal trends of PM_{2.5} and PM₁₀ in ambient air and their correlation in ambient air of Lucknow city, India. *Bull Environ Contam Toxicol*, 88(2), 265-270.
- Pant, P., & Harrison, R. M. (2013). Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review. *Atmospheric Environment*, 77, 78-97.
- Park, S. S., & Kim, Y. J. (2005). Source contributions to fine particulate matter in an urban atmosphere. *Chemosphere*, 59(2), 217-226.
- Pastuszka, J. S., Rogula-Kozłowska, W., & Zajusz-Zubek, E. (2010). Characterization of PM₁₀ and PM_{2.5} and associated heavy metals at the crossroads and urban background site in Zabrze, Upper Silesia, Poland, during the smog episodes. *Environ Monit Assess*, 168(1-4), 613-627.
- Quang, T. N., He, C., Morawska, L., Knibbs, L. D., & Falk, M. (2012). Vertical particle concentration profiles around urban office buildings. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(11), 5017-5030.
- Rivas, I., Viana, M., Moreno, T., Bouso, L., Pandolfi, M., Alvarez-Pedrerol, M., Forns, J., Alastuey, A., Sunyer, J., & Querol, X. (2015). Outdoor infiltration and indoor contribution of UFP and BC, OC, secondary inorganic ions and metals in PM_{2.5} in schools. *Atmospheric Environment*, 106, 129-138.
- Sasaki, K., & Sakamoto, K. (2005). Vertical differences in the composition of PM₁₀ and PM_{2.5} in the urban atmosphere of Osaka, Japan. *Atmospheric Environment*, 39(38), 7240-7250.
- Shao, Z., Bi, J., Ma, Z., & Wang, J. (2017). Seasonal trends of indoor fine particulate matter and its determinants in urban residences in Nanjing, China. *Building and Environment*, 125, 319-325.

- Shrivastav, R. (2001). Atmospheric Heavy Metal Pollution. *RESONANCE*, 62-68.
- Soleimani, M., Amini, N., Sadeghian, B., Wang, D., & Fang, L. (2018). Heavy metals and their source identification in particulate matter (PM_{2.5}) in Isfahan City, Iran. *J Environ Sci (China)*, 72, 166-175.
- Song, Y., Zhang, Y., Xie, S., Zeng, L., Zheng, M., Salmon, L. G., Shao, M., & Slanina, S. (2006). Source apportionment of PM_{2.5} in Beijing by positive matrix factorization. *Atmospheric Environment*, 40(8), 1526-1537.
- Tan, J., Zhang, L., Zhou, X., Duan, J., Li, Y., Hu, J., & He, K. (2017). Chemical characteristics and source apportionment of PM_{2.5} in Lanzhou, China. *Sci Total Environ*, 601-602, 1743-1752.
- Tao, J., Zhang, L., Cao, J., Zhong, L., Chen, D., Yang, Y., Chen, D., Chen, L., Zhang, Z., Wu, Y., Xia, Y., Ye, S., & Zhang, R. (2017). Source apportionment of PM_{2.5} at urban and suburban areas of the Pearl River Delta region, south China - With emphasis on ship emissions. *Sci Total Environ*, 574, 1559-1570.
- Thornburg, J., Ensor, D. S., Rodes, C. E., Lawless, P. A., Sparks, L. E., & Mosley, R. B. (2001). Penetration of Particles into Buildings and Associated Physical Factors. Part I: Model Development and Computer Simulations. *Aerosol Science and Technology*, 34(3), 284-296.
- Tofful, L., & Perrino, C. (2015). Chemical Composition of Indoor and Outdoor PM_{2.5} in Three Schools in the City of Rome. *Atmosphere*, 6(10), 1422-1443.
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA]. (1996). *Air Quality Criteria for Particulate Matter*. Washington, DC: Office of Research and Development.
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA]. (1999). *PARTICULATE MATTER (PM_{2.5}) SPECIATION GUIDANCE*. Research Triangle Park, NC: Office of Air Quality Planning and Standards.
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA]. (2001a). *Air Quality Criteria for Particulate Matter*. Washington, DC: Office of Research and Development.
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA]. (2001b). *HEALTHY BUILDINGS, HEALTHY PEOPLE: A VISION FOR THE 21ST CENTURY*. Washington, DC: Office of Air and Radiation.
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA]. (2007). *MICROWAVE ASSISTED ACID*

DIGESTION OF SEDIMENTS, SLUDGES, SOILS, AND OILS: United States Environmental Protection Agency.

U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA]. (2009). *Integrated Science Assessment for Particulate Matter*. Research Triangle Park, NC: Office of Research and Development.

U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA]. (2018). Environmental Topics. Retrieved 2019, March 11, from <https://www.epa.gov/environmental-topics>

Vallero, D. A. (2019). Air pollution dispersion models. In *Air Pollution Calculations* (pp. 429-448).

Wang, F., Wang, J., Han, M., Jia, C., & Zhou, Y. (2019). Heavy metal characteristics and health risk assessment of PM_{2.5} in students' dormitories in a university in Nanjing, China. *Building and Environment*, 160.

Wang, H., Qiao, B., Zhang, L., Yang, F., & Jiang, X. (2018). Characteristics and sources of trace elements in PM_{2.5} in two megacities in Sichuan Basin of southwest China. *Environ Pollut*, 242(Pt B), 1577-1586.

Wang, J., & Ogawa, S. (2015). Effects of Meteorological Conditions on PM_{2.5} Concentrations in Nagasaki, Japan. *Int J Environ Res Public Health*, 12(8), 9089-9101.

Wilson, W. E., & Suh, H. H. (1997). Fine particles and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies. *J Air Waste Manag Assoc*, 47(12), 1238-1249.

Wimolwattanapun, W., Hopke, P. K., & Pongkiatkul, P. (2011). Source apportionment and potential source locations of PM_{2.5} and PM_{2.5-10} at residential sites in metropolitan Bangkok. *Atmospheric Pollution Research*, 2(2), 172-181.

World Health Organization [WHO]. (2005). *Air Quality Guidelines*. Copenhagen Ø, Denmark: WHO Regional Office for Europe.

Xu, G., Jiao, L., Zhang, B., Zhao, S., Yuan, M., Gu, Y., Liu, J., & Tang, X. (2017a). Spatial and Temporal Variability of the PM_{2.5}/PM₁₀ Ratio in Wuhan, Central China. *Aerosol and Air Quality Research*, 17(3), 741-751.

Xu, L., Batterman, S., Chen, F., Li, J., Zhong, X., Feng, Y., Rao, Q., & Chen, F. (2017b). Spatiotemporal characteristics of PM_{2.5} and PM₁₀ at urban and corresponding

- background sites in 23 cities in China. *Sci Total Environ*, 599-600, 2074-2084.
- Yatkin, S., & Bayram, A. (2007). Elemental composition and sources of particulate matter in the ambient air of a Metropolitan City. *Atmospheric Research*, 85(1), 126-139.
- Yu, L., Wang, G., Zhang, R., Zhang, L., Song, Y., Wu, B., Li, X., An, K., & Chu, J. (2013). Characterization and Source Apportionment of PM_{2.5} in an Urban Environment in Beijing. *Aerosol and Air Quality Research*, 13(2), 574-583.
- Zauli Sajani, S., Marchesi, S., Trentini, A., Bacco, D., Zigola, C., Rovelli, S., Ricciardelli, I., Maccone, C., Lauriola, P., Cavallo, D. M., Poluzzi, V., Cattaneo, A., & Harrison, R. M. (2018). Vertical variation of PM_{2.5} mass and chemical composition, particle size distribution, NO₂, and BTEX at a high rise building. *Environ Pollut*, 235, 339-349.
- Zhang, F., Wang, Z. W., Cheng, H. R., Lv, X. P., Gong, W., Wang, X. M., & Zhang, G. (2015). Seasonal variations and chemical characteristics of PM_(2.5) in Wuhan, central China. *Sci Total Environ*, 518-519, 97-105.
- Zhang, J., Li, R., Zhang, X., Bai, Y., Cao, P., & Hua, P. (2019). Vehicular contribution of PAHs in size dependent road dust: A source apportionment by PCA-MLR, PMF, and Unmix receptor models. *Sci Total Environ*, 649, 1314-1322.
- Zhang, R., Jing, J., Tao, J., Hsu, S. C., Wang, G., Cao, J., Lee, C. S. L., Zhu, L., Chen, Z., Zhao, Y., & Shen, Z. (2013). Chemical characterization and source apportionment of PM_{2.5} in Beijing: seasonal perspective. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(14), 7053-7074.
- Zhang, Y., Wang, X., Chen, H., Yang, X., Chen, J., & Allen, J. O. (2009). Source apportionment of lead-containing aerosol particles in Shanghai using single particle mass spectrometry. *Chemosphere*, 74(4), 501-507.
- Zhou, Z., Liu, Y., Yuan, J., Zuo, J., Chen, G., Xu, L., & Rameezdeen, R. (2016). Indoor PM_{2.5} concentrations in residential buildings during a severely polluted winter: A case study in Tianjin, China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 372-381.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2554). รอบรู้ทิศ มลพิษทางอากาศ. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2560). แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาหมอกควันภาคเหนือ ปี ๒๕๖๐.

- กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2561). สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงของประเทศไทย ปี 2560. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2562a). ภาคผนวกข้อมูลสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2561. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2562b). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2561. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2562c). สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2561. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2563). ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 ที่ทำการตรวจวัดจากกรมควบคุมมลพิษ ณ สถานีการเคหะชุมชนดินแดง ริมถนนดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร (54t). Retrieved 25 สิงหาคม 2563, from aqnis.web@gmail.com
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2563a). ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่างปี 2556 - 2561 จากสถานี 455201 กรุงเทพมหานคร. Retrieved 10 สิงหาคม 2563, from กรมอุตุนิยมวิทยา
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2563b). สรุปลักษณะอากาศรายเดือน. Retrieved 20 เมษายน 2563, from <https://www.tmd.go.th/climate/>
- การทางพิเศษแห่งประเทศไทย. (2561). รายงานการศึกษาจำแนกแหล่งที่มาและการแพร่กระจายของฝุ่นละออง บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ. กรุงเทพมหานคร: การทางพิเศษแห่งประเทศไทย.
- ชาคริต โชติอมรศักดิ์ และ ดวงนภา ลาภใหญ่. (2561). ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่สัมพันธ์ต่อการเกิดปัญหามลพิษทางอากาศในจังหวัดเชียงใหม่. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 9(2).
- ตรระวรรณ หาญกิจรุ่ง. (2556). อิทธิพลของปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาและการจราจรต่อปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ของพื้นที่ริมถนนในเขตกรุงเทพมหานคร. (มหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย.
- ปภัสรา ขวัญมา, สมณมิตร พุกงาม และวันชัย อรุณประภรณ์. (2562). ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในพื้นที่ตำบลหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี. *PSRU Journal of Science and Technology*, 4.
- รพีพัฒน์ เกริกไคว้ล. (2543). องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในเขตกรุงเทพมหานคร. (มหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย.

- ศูนย์ฝนหลวง. (2563). ผลตรวจอากาศชั้นบนจากศูนย์ฝนหลวง สถานีสีตหีบ จังหวัดชลบุรี. Retrieved 26 เมษายน 2563, from <http://huahin.royalrain.go.th>
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (2563). รายงานสรุปสถานการณ์ไฟฟ้าและหมอกควันจากข้อมูลดาวเทียม ประจำปี 2563. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน).
- สำนักยุทธศาสตร์และประเมินผล. (2562). กรุงเทพฯ ของเรา. Retrieved 25 สิงหาคม 2563, from <http://203.155.220.230/m.info/nowbma/>
- แสงสุรีย์ ศรีสะอาด. (2559). องค์ประกอบธาตุโลหะและปริมาณความเข้มข้นในฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในห้องผู้ป่วยวิกฤตของโรงพยาบาล. (มหาดบัณฑิต). บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย.
- อนุวัฒน์ แสงอ่อน. (2547). องค์ประกอบที่เป็นธาตุโลหะและแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของพีเอ็ม-2.5 ในอากาศเขตเมืองและเขตชานเมืองของจังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย. (มหาดบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ผลการตรวจวัดข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาระหว่างช่วงการเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ ก-1 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาระหว่างช่วงการเก็บตัวอย่าง

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (m/s)	ความดันบรรยากาศ (mmHg)	ปริมาณน้ำฝน (mm)
23 ก.ย. 62	11:00 น.	27.1	82	1.8	748.5	0
	12:00 น.	27.6	80	1.8	747.7	0
	13:00 น.	27.3	80	2.2	746.9	0
	14:00 น.	28	78	1.8	746.6	0
	15:00 น.	29.1	74	1.3	746	0
	16:00 น.	24.9	92	1.3	746.1	22.1
	17:00 น.	24.9	93	0.4	746.3	2.29
	18:00 น.	25	92	0	746.4	0
	19:00 น.	24.8	92	0.4	747.4	0
	20:00 น.	24.4	93	0.4	747.9	0
	21:00 น.	24.5	92	0.4	748.4	0
	22:00 น.	24.7	90	0.4	748.7	0
	23:00 น.	24.4	92	0.4	748.7	0
24 ก.ย. 62	0:00 น.	24.4	94	1.8	748.4	0
	1:00 น.	24.3	94	0.4	748	0
	2:00 น.	24.3	94	0.4	747.8	0
	3:00 น.	24.4	93	0.9	747.6	0
	4:00 น.	24.4	93	0.4	747.5	0
	5:00 น.	24.4	94	0	747.9	0
	6:00 น.	24.5	94	0	748	0
	7:00 น.	24.6	92	0	748.5	0
	8:00 น.	25.1	92	0.4	749	0
	9:00 น.	27.1	83	0.4	749.1	0
	10:00 น.	28.2	75	0.9	749.1	0
	11:00 น.	29.4	68	1.8	748.8	0
	12:00 น.	30.1	62	1.3	748	0
	13:00 น.	30.5	61	2.7	747.3	0
	14:00 น.	31.9	59	2.2	746.8	0
	15:00 น.	31.8	60	1.8	746.3	0
	16:00 น.	31.6	61	1.3	746.3	0
	17:00 น.	31.6	61	0.9	746.3	0
	18:00 น.	30.6	64	0.9	746.7	0
	19:00 น.	30	68	0.9	747.3	0
	20:00 น.	29.7	71	1.8	747.8	0
	21:00 น.	29.2	70	1.8	748.4	0
	22:00 น.	29.1	71	0.9	748.6	0
23:00 น.	28.7	73	1.3	748.8	0	

ตารางที่ ก-1 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาระหว่างการเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (m/s)	ความดันบรรยากาศ (mmHg)	ปริมาณน้ำฝน (mm)
25 ก.ย. 62	0:00 น.	28.3	76	0.9	748.6	0
	1:00 น.	28.2	73	0.9	748.4	0
	2:00 น.	27.8	75	0.9	748.1	0
	3:00 น.	27.6	78	0.4	748	0
	4:00 น.	27.2	83	0.4	748	0
	5:00 น.	26.9	85	0.4	747.9	0
	6:00 น.	26.6	85	0.4	748	0
	7:00 น.	26.6	81	0.4	748.3	0
	8:00 น.	27.6	76	0.4	749.1	0
	9:00 น.	28.8	72	0.4	749.7	0
	10:00 น.	30.1	67	0.4	749.6	0
	11:00 น.	30.7	62	0.9	749.4	0
	12:00 น.	31.2	58	0.9	748.7	0
	13:00 น.	32.4	56	1.3	748	0
	14:00 น.	32.8	56	0.9	747.5	0
	15:00 น.	33.3	55	0.9	747.1	0
	16:00 น.	33.2	54	0.9	747.1	0
	17:00 น.	32.9	54	0.9	747	0
	18:00 น.	31.9	60	1.3	747.1	0
	19:00 น.	30.8	66	1.3	747.5	0
	20:00 น.	30.3	67	1.3	748.4	0
	21:00 น.	30.2	68	0.4	748.8	0
	22:00 น.	30.1	69	0.4	749.4	0
23:00 น.	29.8	71	0	749.3	0	
26 ก.ย. 62	0:00 น.	29.3	70	0.4	749.1	0
	1:00 น.	29	70	0.4	748.8	0
	2:00 น.	28.5	71	0	748.2	0
	3:00 น.	28	72	0.4	748.1	0
	4:00 น.	27.7	72	0.4	747.9	0
	5:00 น.	27.4	75	0.4	748.1	0
	6:00 น.	26.9	77	0.9	748.3	0
	7:00 น.	26.7	78	0.9	748.6	0
	8:00 น.	-	-	-	-	-
	9:00 น.	-	-	-	-	-
	10:00 น.	-	-	-	-	-
	11:00 น.	-	-	-	-	-
	12:00 น.	34.7	47	0.9	748.5	0
	13:00 น.	34.1	49	1.8	747.6	0
	14:00 น.	34.5	49	1.3	747.1	0
15:00 น.	34.6	50	0.9	746.6	0	

ตารางที่ ก-1 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาระหว่างการเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (m/s)	ความดันบรรยากาศ (mmHg)	ปริมาณน้ำฝน (mm)
26 ก.ย. 62	16:00 น.	34.4	49	0.9	746.3	0
	17:00 น.	33.6	51	0.9	746.2	0
	18:00 น.	33.1	61	0.4	746.4	0
	19:00 น.	32.2	64	0.4	746.8	0
	20:00 น.	32	66	0	747.5	0
	21:00 น.	32	66	0	748.2	0
	22:00 น.	32.1	64	0	748.5	0
	23:00 น.	30.7	66	0.9	748.6	0
27 ก.ย. 62	0:00 น.	30.1	69	2.7	748.8	0
	1:00 น.	29.2	72	2.7	748.3	0
	2:00 น.	29.1	73	2.7	748.1	0
	3:00 น.	28.6	74	2.7	747.7	0
	4:00 น.	28.2	75	2.7	747.8	0
	5:00 น.	28	76	1.8	748.2	0
	6:00 น.	27.9	78	1.3	748.3	0
	7:00 น.	28.1	78	0.4	748.8	0
	8:00 น.	29.3	75	0.4	749.4	0
	9:00 น.	30.8	68	0.4	749.6	0
	10:00 น.	32.2	61	0.9	749.7	0
	11:00 น.	34.1	54	0.9	749.4	0
	12:00 น.	33.3	53	0.9	748.8	0
	13:00 น.	34.1	52	0.9	748	0
	14:00 น.	34.8	48	0.9	747.1	0
	15:00 น.	31	66	2.2	746.7	0
	16:00 น.	30	70	2.7	746.7	0
	17:00 น.	29.2	72	2.2	746.5	0
	18:00 น.	29.7	68	1.8	746.6	0
	19:00 น.	29.8	71	1.3	747.3	0
	20:00 น.	29.8	70	1.3	747.8	0
	21:00 น.	29.4	72	0.9	748.4	0
	22:00 น.	29.7	73	0.4	748.5	0
23:00 น.	29.3	76	0	748.3	0	
28 ก.ย. 62	0:00 น.	29.3	77	0	748.3	0
	1:00 น.	28.9	79	0	747.8	0
	2:00 น.	28.8	75	0.9	747.4	0
	3:00 น.	28.2	75	1.3	747.2	0
	4:00 น.	27.9	75	0.4	747.3	0
	5:00 น.	27.7	76	0.4	747.7	0
	6:00 น.	26.8	85	0.9	748	0
7:00 น.	26.6	82	0.4	748.6	0	

ตารางที่ ก-1 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาระหว่างการเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (m/s)	ความดันบรรยากาศ (mmHg)	ปริมาณน้ำฝน (mm)
28 ก.ย. 62	8:00 น.	28.2	74	0.9	749	0
	9:00 น.	30.1	66	0.9	749.1	0
	10:00 น.	32	58	0.9	749.2	0
	11:00 น.	33.2	55	0.9	748.9	0
	12:00 น.	33.3	52	0.9	748.3	0
	13:00 น.	34.1	49	0.9	747.5	0
	14:00 น.	34.1	48	0.9	746.9	0
	15:00 น.	34.6	45	0.9	746.4	0
	16:00 น.	33.5	48	1.3	746	0
	17:00 น.	33.5	49	0.9	745.8	0
	18:00 น.	32.6	51	0.9	746.1	0
	19:00 น.	32.2	55	0.4	746.7	0
	20:00 น.	32.1	60	0.9	747.5	0
	21:00 น.	31.3	62	1.3	747.9	0
	22:00 น.	30.8	66	1.8	748.3	0
23:00 น.	30.2	71	1.3	748.4	0	
29 ก.ย. 62	0:00 น.	30.3	58	0.4	748.4	0
	1:00 น.	29.9	62	0.4	747.9	0
	2:00 น.	29.4	64	1.8	747.5	0
	3:00 น.	28.8	66	1.3	747.5	0
	4:00 น.	28.3	70	0.9	747.7	0
	5:00 น.	28.1	68	1.3	747.9	0
	6:00 น.	27.9	70	0.9	748.1	0
	7:00 น.	27.9	72	0.4	748.5	0
	8:00 น.	29.2	65	0.4	748.9	0
	9:00 น.	31.2	58	0.4	749.2	0
	10:00 น.	-	-	-	-	-
	11:00 น.	-	-	-	-	-
	12:00 น.	35.2	42	1.3	747.6	0
	13:00 น.	36.2	39	0.9	746.8	0
	14:00 น.	37	37	0.9	746.2	0
	15:00 น.	35.2	48	0.9	745.8	0
	16:00 น.	34.2	53	0.9	745.5	0
	17:00 น.	34.3	53	0.9	745.7	0
	18:00 น.	33.1	54	0.9	746	0
	19:00 น.	32.7	55	1.3	746.3	0
	20:00 น.	32.2	57	1.3	746.9	0
	21:00 น.	31.6	60	0.9	747.5	0
	22:00 น.	31.1	63	0.9	747.6	0
23:00 น.	30.9	63	0.4	747.5	0	

ตารางที่ ก-1 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาระหว่างการเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (m/s)	ความดันบรรยากาศ (mmHg)	ปริมาณน้ำฝน (mm)
29 ก.ย. 62	0:00 น.	31.3	62	0.4	747.2	0
	1:00 น.	30.1	67	0.9	746.6	0
	2:00 น.	30.1	69	0.4	746.3	0
	3:00 น.	29.8	73	0.4	746	0
	4:00 น.	29.6	75	0.4	745.8	0
	5:00 น.	29.1	71	0.9	746	0
	6:00 น.	29	72	1.3	746.3	0
	7:00 น.	28.6	75	0.9	746.8	0
	8:00 น.	29.7	70	0.9	747	0
	9:00 น.	32.1	64	0.4	747.5	0
	10:00 น.	33.7	58	0.4	747.4	0
13 ม.ค. 63	11:00 น.	29.3	70	2.7	746.9	0
	12:00 น.	30.2	64	3.1	746.4	0
	13:00 น.	30.3	67	2.2	745.9	0
	14:00 น.	30.9	63	1.8	744.9	0
	15:00 น.	31	64	1.8	744.4	0
	16:00 น.	30.8	65	1.3	744.2	0
	17:00 น.	30.2	66	0.9	744.3	0
	18:00 น.	29.1	68	0.9	744.7	0
	19:00 น.	28.3	76	0.4	745.1	0
	20:00 น.	27.9	78	0.9	745.8	0
	21:00 น.	27.8	79	0.4	746.4	0
	22:00 น.	27.6	81	0.4	746.5	0
	23:00 น.	27.3	84	0.9	746.5	0
14 ม.ค. 63	0:00 น.	27.2	84	0.9	746.4	0
	1:00 น.	27	85	0.9	746.3	0
	2:00 น.	26.9	86	0.9	746.2	0
	3:00 น.	26.8	85	0.9	745.9	0
	4:00 น.	26.8	86	0.4	745.9	0
	5:00 น.	26.6	88	0.4	746.3	0
	6:00 น.	26.4	88	0.4	746.6	0
	7:00 น.	26	90	0.4	747.1	0
	8:00 น.	25.7	90	0.9	748	0
	9:00 น.	26.8	84	0.9	748.4	0
	10:00 น.	28.3	76	0.4	748.6	0
	11:00 น.	29.6	72	0.4	748	0
	12:00 น.	31	63	0.9	747.5	0
	13:00 น.	31.2	64	0.9	746.5	0
	14:00 น.	31.4	61	0.9	745.7	0
15:00 น.	31.9	62	0.9	745.2	0	

ตารางที่ ก-1 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาระหว่างการเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (m/s)	ความดันบรรยากาศ (mmHg)	ปริมาณน้ำฝน (mm)
14 ม.ค. 63	16:00 น.	31.8	61	0.9	745.1	0
	17:00 น.	31.4	63	0.4	745.2	0
	18:00 น.	29.8	67	0.4	745.2	0
	19:00 น.	28.6	71	0.4	745.4	0
	20:00 น.	27.7	75	0.4	746.1	0
	21:00 น.	27.6	78	0.4	746.6	0
	22:00 น.	27.3	81	0.9	746.7	0
	23:00 น.	27.1	84	0.4	746.9	0
15 ม.ค. 63	0:00 น.	27	85	0.9	746.9	0
	1:00 น.	26.8	85	0.9	746.9	0
	2:00 น.	26.7	85	0.9	746.3	0
	3:00 น.	26.6	85	0.9	746	0
	4:00 น.	26.4	85	0.9	745.9	0
	5:00 น.	26.3	86	0.9	746	0
	6:00 น.	26.2	86	0.9	746.4	0
	7:00 น.	26.3	86	0.4	747.2	0
	8:00 น.	27.1	83	0.4	748	0
	9:00 น.	27.8	79	0.4	748.6	0
	10:00 น.	28.8	78	0.4	748.6	0
	11:00 น.	30.1	70	0.9	748.2	0
	12:00 น.	31.7	61	0.9	747.7	0
	13:00 น.	32.4	53	1.3	746.9	0
	14:00 น.	33.8	49	0.9	746	0
	15:00 น.	31.4	64	0.4	745.6	0
	16:00 น.	31.9	59	0.9	745.5	0
	17:00 น.	31.9	59	0.4	745.7	0
	18:00 น.	30.4	63	0.4	745.9	0
	19:00 น.	29.7	65	0.9	746	0
	20:00 น.	28.6	73	0.4	746.6	0
	21:00 น.	27.6	78	0.4	747	0
	22:00 น.	27.3	80	0.9	747.1	0
23:00 น.	27.2	83	0.9	747.1	0	
16 ม.ค. 63	0:00 น.	26.9	85	0.9	747.1	0
	1:00 น.	26.8	85	0.9	747	0
	2:00 น.	26.7	85	0.9	746.6	0
	3:00 น.	26.4	85	1.3	746.3	0
	4:00 น.	26.4	84	0.9	746.1	0
	5:00 น.	26.4	86	0.4	746.5	0
	6:00 น.	26.4	86	0.4	746.9	0
	7:00 น.	26.4	85	0.4	747.5	0

ตารางที่ ก-1 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาระหว่างการเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (m/s)	ความดันบรรยากาศ (mmHg)	ปริมาณน้ำฝน (mm)
16 ม.ค. 63	8:00 น.	26.6	87	0.4	748.1	0
	9:00 น.	26.7	86	0.4	748.7	0
	10:00 น.	28.7	78	0	748.7	0
	11:00 น.	31.2	69	0.4	748.3	0
	12:00 น.	31.4	62	0.4	747.9	0
	13:00 น.	32.3	54	0.9	747.1	0
	14:00 น.	32.7	53	0.9	746.5	0
	15:00 น.	31.8	64	0.9	746	0
	16:00 น.	32.1	60	0.9	745.9	0
	17:00 น.	31.9	58	0.9	746.2	0
	18:00 น.	30.3	64	0.4	746.5	0
	19:00 น.	28.8	71	0.4	746.8	0
	20:00 น.	27.8	79	0.9	747.4	0
	21:00 น.	27.3	82	0.9	747.8	0
	22:00 น.	27.1	84	0.9	747.8	0
23:00 น.	27.1	84	0.9	747.9	0	
17 ม.ค. 63	0:00 น.	27	85	0.9	747.8	0
	1:00 น.	26.8	85	0.9	747.6	0
	2:00 น.	26.7	85	0.9	747.2	0
	3:00 น.	26.6	84	1.3	746.8	0
	4:00 น.	26.4	85	0.9	746.7	0
	5:00 น.	26.4	85	0.9	747	0
	6:00 น.	26.2	86	0.4	747.2	0
	7:00 น.	26.3	86	0.4	747.8	0
	8:00 น.	26.9	84	0.4	748.6	0
	9:00 น.	27.7	81	0.4	749.4	0
	10:00 น.	-	-	-	-	-
	11:00 น.	30.8	69	0.9	749.1	0
	12:00 น.	32.2	59	0.4	748.7	0
	13:00 น.	32.2	61	0.4	748	0
	14:00 น.	32.8	54	0.9	746.9	0
	15:00 น.	33.2	59	0.4	746.4	0
	16:00 น.	31.9	63	0.9	746.3	0
	17:00 น.	31.9	65	0.9	746.4	0
	18:00 น.	30.5	69	0.4	746.6	0
	19:00 น.	29.9	69	0.9	746.9	0
	20:00 น.	29.4	67	0.4	747.2	0
	21:00 น.	28.6	73	0.4	747.8	0
	22:00 น.	28.1	74	0.4	747.8	0
23:00 น.	27.6	80	0.4	747.8	0	

ตารางที่ ก-1 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาระหว่างการเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (m/s)	ความดันบรรยากาศ (mmHg)	ปริมาณน้ำฝน (mm)
18 ม.ค. 63	0:00 น.	27.4	80	0.4	747.7	0
	1:00 น.	27.2	83	0.4	747.6	0
	2:00 น.	26.9	86	0.4	747.2	0
	3:00 น.	26.7	87	0.4	746.8	0
	4:00 น.	26.6	88	0.4	746.7	0
	5:00 น.	26.4	88	0.4	746.9	0
	6:00 น.	26.5	88	0.4	747.2	0
	7:00 น.	26.4	88	0.4	747.6	0
	8:00 น.	26.9	87	0.4	748.3	0
	9:00 น.	27.5	84	0.4	748.8	0
	10:00 น.	28.8	79	0.4	748.8	0
	11:00 น.	30.1	71	0.9	748.2	0
	12:00 น.	31.5	63	0.9	747.6	0
	13:00 น.	32.8	58	1.3	746.8	0
	14:00 น.	32.7	54	1.3	746.1	0
	15:00 น.	32.7	61	0.9	745.6	0
	16:00 น.	32.3	63	0.9	745.4	0
	17:00 น.	31.9	64	0.9	745.6	0
	18:00 น.	30.7	70	0.4	745.6	0
	19:00 น.	28.6	79	0.4	746.1	0
	20:00 น.	27.9	83	0.4	746.7	0
	21:00 น.	27.6	82	0.4	747.2	0
	22:00 น.	27.5	84	0.4	747.6	0
23:00 น.	27.4	85	0.4	747.6	0	
19 ม.ค. 63	0:00 น.	27.3	84	0.4	747.4	0
	1:00 น.	27.1	87	0.9	747.4	0
	2:00 น.	26.8	88	0.9	747	0
	3:00 น.	26.7	88	0.9	746.7	0
	4:00 น.	26.6	87	0.9	746.6	0
	5:00 น.	26.6	87	0.9	746.8	0
	6:00 น.	26.4	88	0.4	747.1	0
	7:00 น.	26.3	88	0.4	747.6	0
	8:00 น.	26.9	86	0	748.3	0
	9:00 น.	28.3	82	0.4	749	0
	10:00 น.	29.7	76	0.4	749	0
	11:00 น.	30.5	68	0.9	748.8	0
	12:00 น.	31.4	64	1.3	748.5	0
	13:00 น.	33.1	56	1.3	747.7	0
	14:00 น.	33.2	54	0.9	746.9	0
15:00 น.	32.4	56	2.2	746.4	0	

ตารางที่ ก-1 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาระหว่างการเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (m/s)	ความดันบรรยากาศ (mmHg)	ปริมาณน้ำฝน (mm)
19 ม.ค. 63	16:00 น.	32.8	58	0.9	746.2	0
	17:00 น.	32	56	1.3	746.2	0
	18:00 น.	31.8	56	0.4	746.4	0
	19:00 น.	30.9	69	0	746.6	0
	20:00 น.	29.8	74	0.4	747	0
	21:00 น.	28.5	79	0.9	747.5	0
	22:00 น.	28.1	82	1.3	747.7	0
	23:00 น.	27.8	81	0.9	747.6	0
20 ม.ค. 63	0:00 น.	27.7	80	0.9	747.7	0
	1:00 น.	27.4	83	0.9	747.8	0
	2:00 น.	27.2	84	0.9	747.8	0
	3:00 น.	27.1	85	0.4	747.4	0
	4:00 น.	27.1	85	0.4	747.4	0
	5:00 น.	27.1	86	0	747.5	0
	6:00 น.	26.8	86	0.4	747.6	0
	7:00 น.	26.3	89	0.4	748.1	0
	8:00 น.	26.4	89	0.4	749	0
	9:00 น.	26.9	85	0.9	749.6	0
	10:00 น.	27.9	81	0.4	749.7	0
2 มี.ค. 63	11:00 น.	32.1	62	1.3	746	0
	12:00 น.	32.6	59	1.3	745.2	0
	13:00 น.	32.6	59	1.3	744.6	0
	14:00 น.	32.1	61	1.3	744.3	0
	15:00 น.	31.6	62	1.3	744.6	0
	16:00 น.	30.3	68	1.3	744.6	0
	17:00 น.	28.9	76	1.8	744.6	0
	18:00 น.	28.4	78	1.8	745	0
	19:00 น.	28.1	81	1.8	745.7	0
	20:00 น.	27.9	81	1.3	746.4	0
	21:00 น.	27.9	81	1.3	746.5	0
	22:00 น.	27.7	82	1.3	746.5	0
	23:00 น.	27.6	82	1.3	746.2	0
3 มี.ค. 63	0:00 น.	27.4	83	1.3	745.6	0
	1:00 น.	27.2	84	1.3	745.7	0
	2:00 น.	27.4	83	1.3	745.8	0
	3:00 น.	27.4	83	1.3	745.6	0
	4:00 น.	27.4	83	1.3	746.2	0
	5:00 น.	27.3	84	1.3	746.6	0
	6:00 น.	27.6	84	1.8	747.2	0
	7:00 น.	28.9	74	1.8	747.8	0

ตารางที่ ก-1 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาระหว่างการเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (m/s)	ความดันบรรยากาศ (mmHg)	ปริมาณน้ำฝน (mm)
3 มี.ค. 63	8:00 น.	30.4	67	1.3	748	0
	9:00 น.	31.1	66	1.3	747.6	0
	10:00 น.	31.8	61	1.3	746.8	0
	11:00 น.	32.1	61	1.8	746	0
	12:00 น.	32.4	58	1.8	745.1	0
	13:00 น.	32.8	54	1.8	744.1	0
	14:00 น.	32.4	57	1.8	743.7	0
	15:00 น.	31.2	64	1.8	743.9	0
	16:00 น.	29.9	69	1.8	744.4	0
	17:00 น.	28.7	76	1.3	744.7	0
	18:00 น.	28.3	79	1.8	745	0
	19:00 น.	28.1	78	2.2	745.6	0
	20:00 น.	27.9	80	1.8	746	0
	21:00 น.	27.9	80	1.8	746.1	0
	22:00 น.	27.8	81	1.8	745.9	0
23:00 น.	27.6	81	1.8	745.6	0	
4 มี.ค. 63	0:00 น.	27.5	81	1.3	745.4	0
	1:00 น.	27.4	81	1.3	745.3	0
	2:00 น.	27.3	81	1.3	745.5	0
	3:00 น.	27.2	82	1.3	745.6	0
	4:00 น.	27.1	82	1.3	746.1	0
	5:00 น.	27.1	82	0.9	746.6	0
	6:00 น.	28.1	78	0.9	747.2	0
	7:00 น.	29.1	74	0.9	747.7	0
	8:00 น.	30.5	66	1.3	748.1	0
	9:00 น.	31.6	59	1.3	747.9	0
	10:00 น.	32.1	58	1.3	747.4	0
	11:00 น.	32.7	55	1.3	746.7	0
	12:00 น.	32.9	56	1.3	745.9	0
	13:00 น.	32.9	56	1.3	745	0
	14:00 น.	32.5	59	1.3	744.5	0
	15:00 น.	31.3	63	1.8	744	0
	16:00 น.	30.2	70	1.8	744.6	0
	17:00 น.	28.7	75	1.3	744.6	0
	18:00 น.	28.2	77	1.8	745.3	0
	19:00 น.	28.2	79	1.8	745.8	0
	20:00 น.	28.1	79	1.8	746.5	0
	21:00 น.	27.8	80	1.3	746.5	0
	22:00 น.	27.6	82	1.3	746.5	0
23:00 น.	27.6	82	1.3	746	0	

ตารางที่ ก-1 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาระหว่างการเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

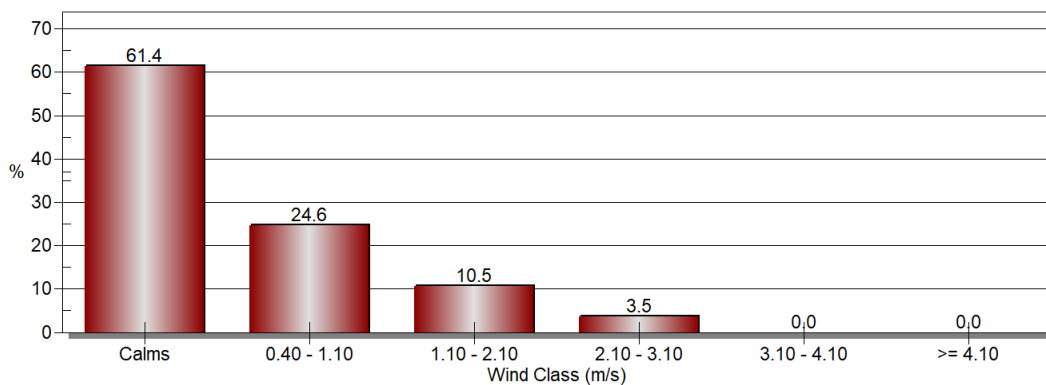
วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (m/s)	ความดันบรรยากาศ (mmHg)	ปริมาณน้ำฝน (mm)
5 มี.ค. 63	0:00 น.	27.5	82	1.3	745.6	0
	1:00 น.	27.4	81	1.3	745.3	0
	2:00 น.	27.3	82	1.3	745.3	0
	3:00 น.	27.3	82	1.3	745.4	0
	4:00 น.	27.3	82	1.3	745.9	0
	5:00 น.	27.4	82	0.9	746.7	0
	6:00 น.	27.9	81	0.9	747.5	0
	7:00 น.	29.2	73	0.9	748	0
	8:00 น.	30.2	68	1.3	748.2	0
	9:00 น.	30.7	67	1.3	748	0
	10:00 น.	32.2	61	1.3	747.4	0
	11:00 น.	33.1	58	1.3	746.5	0
	12:00 น.	33.3	56	1.3	745.8	0
	13:00 น.	33.3	56	1.3	745.1	0
	14:00 น.	32.9	57	1.3	744.5	0
	15:00 น.	32.2	62	1.3	744.5	0
	16:00 น.	30.4	70	1.3	744.7	0
	17:00 น.	29.1	75	1.3	744.8	0
	18:00 น.	28.6	78	1.3	745.5	0
	19:00 น.	28.5	80	1.8	746.2	0
	20:00 น.	28.3	80	1.8	747.1	0
	21:00 น.	28.1	80	1.8	747.2	0
	22:00 น.	27.9	80	1.8	747.4	0
23:00 น.	27.8	80	1.3	747.1	0	
6 มี.ค. 63	0:00 น.	27.7	81	1.3	746.9	0
	1:00 น.	27.6	82	1.3	746.5	0
	2:00 น.	27.3	83	1.3	746.5	0
	3:00 น.	27.3	84	1.3	746.5	0
	4:00 น.	27.1	85	1.3	746.9	0
	5:00 น.	27.1	84	0.9	747.7	0
	6:00 น.	28.1	80	0.9	748.5	0
	7:00 น.	28.9	75	0.9	749.1	0
	8:00 น.	-	-	-	-	-
	9:00 น.	-	-	-	-	-
	10:00 น.	-	-	-	-	-
	11:00 น.	31.6	63	1.3	749.2	0
	12:00 น.	32.3	62	1.3	748.4	0
	13:00 น.	32.8	59	1.3	747.7	0
	14:00 น.	33.3	56	1.3	746.8	0
15:00 น.	33.2	56	1.3	746.3	0	

ตารางที่ ก-1 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาระหว่างการเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (m/s)	ความดันบรรยากาศ (mmHg)	ปริมาณน้ำฝน (mm)
6 มี.ค. 63	16:00 น.	32.8	57	1.3	745.7	0
	17:00 น.	31.9	59	1.3	745.6	0
	18:00 น.	30.2	69	1.3	745.9	0
	19:00 น.	29	72	1.8	746.1	0
	20:00 น.	28.6	75	1.8	746.7	0
	21:00 น.	28.6	76	1.3	747.6	0
	22:00 น.	28.5	78	0.9	748.1	0
	23:00 น.	28.1	81	1.3	748.2	0
7 มี.ค. 63	0:00 น.	-	-	-	-	-
	1:00 น.	-	-	-	-	-
	2:00 น.	-	-	-	-	-
	3:00 น.	-	-	-	-	-
	4:00 น.	-	-	-	-	-
	5:00 น.	-	-	-	-	-
	6:00 น.	-	-	-	-	-
	7:00 น.	-	-	-	-	-
	8:00 น.	-	-	-	-	-
	9:00 น.	-	-	-	-	-
	10:00 น.	-	-	-	-	-
	11:00 น.	-	-	-	-	-
	12:00 น.	27.8	82	1.3	747.9	0
	13:00 น.	27.6	84	1.3	747.7	0
	14:00 น.	27.6	83	0.9	747.1	0
	15:00 น.	27.4	84	0.9	746.7	0
	16:00 น.	27.4	84	0.9	746.9	0
	17:00 น.	27.4	83	0.9	747	0
	18:00 น.	27.3	84	0.9	747.5	0
	19:00 น.	29.4	73	1.3	745.5	0
	20:00 น.	28.9	74	1.3	746	0
	21:00 น.	28.6	76	1.3	746.7	0
	22:00 น.	28.4	78	1.3	747	0
23:00 น.	28.1	80	1.3	747.2	0	
8 มี.ค. 63	0:00 น.	27.9	82	1.3	746.8	0
	1:00 น.	27.7	83	1.3	746.4	0
	2:00 น.	27.6	85	0.9	745.6	0
	3:00 น.	27.4	85	0.9	745.3	0
	4:00 น.	27.4	86	0.9	745.3	0
	5:00 น.	27.4	86	1.3	745.7	0
	6:00 น.	27.5	85	1.3	746.3	0
	7:00 น.	27.7	86	1.3	746.8	0

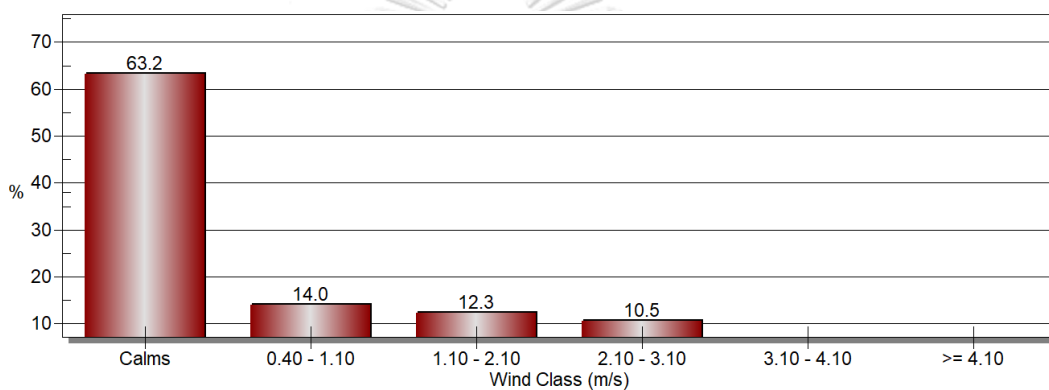
ตารางที่ ก-1 ผลการตรวจวัดข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาระหว่างการเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (m/s)	ความดันบรรยากาศ (mmHg)	ปริมาณน้ำฝน (mm)
8 มี.ค. 63	8:00 น.	28.4	84	0.9	747.4	0
	9:00 น.	29.8	76	0.9	747.8	0
	10:00 น.	31.2	71	0.9	747.9	0
	11:00 น.	32.3	66	0.9	747.6	0
	12:00 น.	33.3	63	0.9	746.8	0
	13:00 น.	34	61	0.9	745.8	0
	14:00 น.	34.7	59	0.9	744.9	0
	15:00 น.	34.6	60	1.3	743.9	0
	16:00 น.	34.6	59	1.3	743.3	0
	17:00 น.	34.5	58	0.9	743.2	0
	18:00 น.	33.2	61	0.9	743.1	0
	19:00 น.	30.9	69	0.9	743.2	0
	20:00 น.	29.6	74	0.9	743.7	0
	21:00 น.	28.9	78	1.3	743.9	0
	22:00 น.	28.7	82	1.3	744.7	0
23:00 น.	28.1	85	1.3	744.8	0	
9 มี.ค. 63	0:00 น.	28.2	85	1.3	744.9	0
	1:00 น.	28.1	85	1.3	744.4	0
	2:00 น.	27.8	87	1.3	743.7	0
	3:00 น.	27.7	87	0.9	743.3	0
	4:00 น.	27.7	87	0.4	743.3	0
	5:00 น.	27.7	87	0.4	743.4	0
	6:00 น.	27.4	85	0.4	743.9	0
	7:00 น.	28.4	65	0.9	744.7	0
	8:00 น.	29.2	52	1.8	745.3	0
	9:00 น.	30.2	42	2.2	745.7	0
	10:00 น.	31.4	38	1.8	745.9	0



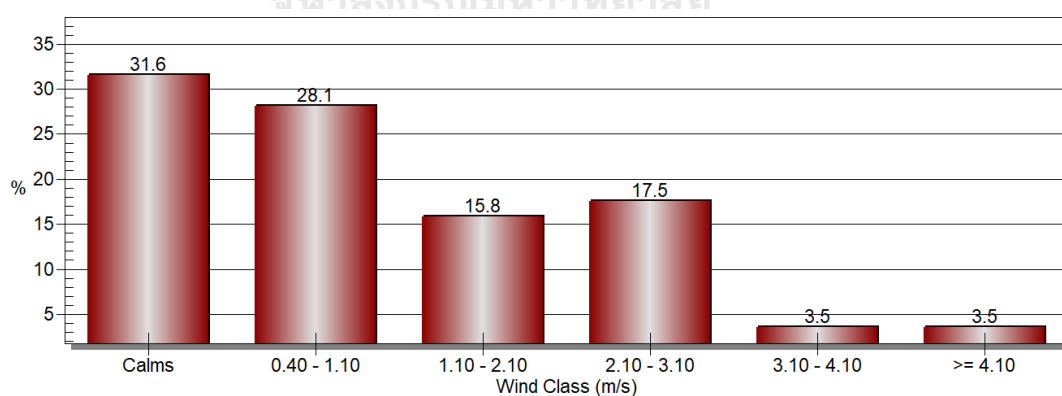
รูปที่ ก-1 สัดส่วนความเร็วลมจากสถานี 455201 กรุงเทพมหานคร ระหว่างช่วงการเก็บตัวอย่าง

ในช่วงฤดูฝน



รูปที่ ก-2 สัดส่วนความเร็วลมจากสถานี 455201 กรุงเทพมหานคร ระหว่างช่วงการเก็บตัวอย่าง

ในช่วงฤดูหนาว



รูปที่ ก-3 สัดส่วนความเร็วลมจากสถานี 455201 กรุงเทพมหานคร ระหว่างช่วงการเก็บตัวอย่าง

ในช่วงฤดูร้อน

ภาคผนวก ข

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis

ตารางที่ ข-1 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM_{2.5} (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

วันที่ตรวจวัด	ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM _{2.5} (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)					
	4.5 เมตร		51.5 เมตร		138.5 เมตร	
	ภายใน อาคาร	ภายนอก อาคาร	ภายใน อาคาร	ภายนอก อาคาร	ภายใน อาคาร	ภายนอก อาคาร
23 ก.ย. 62	12.2	13.1	9.1	11.3	12.4	14.2
24 ก.ย. 62	41.2	30.6	29.4	30.8	35.0	32.4
25 ก.ย. 62	29.9	27.7	27.6	30.3	32.1	28.9
26 ก.ย. 62	24.4	24.1	15.1	24.5	21.2	23.9
27 ก.ย. 62	40.0	34.2	29.4	33.9	25.4	32.2
28 ก.ย. 62	33.6	35.7	33.7	37.4	32.4	35.1
29 ก.ย. 62	45.1	57.5	42.6	54.2	52.0	53.6
13 ม.ค. 63	32.7	36.6	28.5	36.5	33.3	35.5
14 ม.ค. 63	24.7	30.8	25.2	30.7	26.7	28.4
15 ม.ค. 63	29.1	42.4	21.3	39.5	35.0	37.9
16 ม.ค. 63	36.3	36.3	19.3	37.2	32.6	33.7
17 ม.ค. 63	45.6	51.0	24.6	52.1	45.4	49.4
18 ม.ค. 63	51.9	52.6	43.7	54.3	50.0	50.3
19 ม.ค. 63	52.1	56.3	45.9	63.8	47.7	57.8
2 มี.ค. 63	24.3	21.4	10.4	24.1	22.0	24.0
3 มี.ค. 63	11.8	14.4	8.0	12.5	13.6	13.2
4 มี.ค. 63	12.3	12.8	6.5	12.9	11.0	12.8
5 มี.ค. 63	9.8	14.7	5.6	10.7	8.0	14.4
6 มี.ค. 63	6.0	15.8	5.2	14.5	10.8	16.9
7 มี.ค. 63	9.3	14.8	12.4	15.8	10.7	12.0
8 มี.ค. 63	27.7	29.2	16.1	27.6	21.9	25.8

ตารางที่ ข-2 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM_{2.5-10} (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

วันที่ตรวจวัด	ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM _{2.5-10} (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)					
	4.5 เมตร		51.5 เมตร		138.5 เมตร	
	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
23 ก.ย. 62	8.9	6.4	1.7	9.3	5.0	9.6
24 ก.ย. 62	7.0	4.4	5.7	14.3	15.6	16.6
25 ก.ย. 62	9.5	9.1	6.7	9.7	14.9	15.7
26 ก.ย. 62	4.7	13.4	10.8	13.9	12.5	13.5
27 ก.ย. 62	17.0	17.6	6.6	21.8	15.1	20.7
28 ก.ย. 62	11.2	14.7	5.2	17.9	14.8	14.7
29 ก.ย. 62	6.7	22.3	1.9	17.5	11.5	20.5
13 ม.ค. 63	8.5	15.0	4.3	14.7	9.8	9.0
14 ม.ค. 63	10.4	16.1	2.7	16.5	11.5	10.6
15 ม.ค. 63	10.0	18.8	3.8	19.8	11.0	13.3
16 ม.ค. 63	10.7	19.5	1.8	19.7	13.3	11.5
17 ม.ค. 63	13.8	22.9	2.6	23.7	16.5	15.1
18 ม.ค. 63	15.1	19.7	8.4	20.4	13.4	11.3
19 ม.ค. 63	9.0	19.1	4.5	18.9	7.1	11.4
2 มี.ค. 63	14.3	18.6	3.3	18.2	19.8	17.3
3 มี.ค. 63	13.6	12.9	2.5	12.3	10.7	11.9
4 มี.ค. 63	9.4	11.6	3.2	11.9	10.5	12.3
5 มี.ค. 63	11.1	12.8	3.7	13.2	9.3	13.1
6 มี.ค. 63	10.8	13.6	3.1	13.2	8.3	12.4
7 มี.ค. 63	13.4	11.5	2.7	10.2	7.5	10.3
8 มี.ค. 63	11.0	11.3	8.5	10.0	10.9	9.9

ตารางที่ ข-3 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM₁₀ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

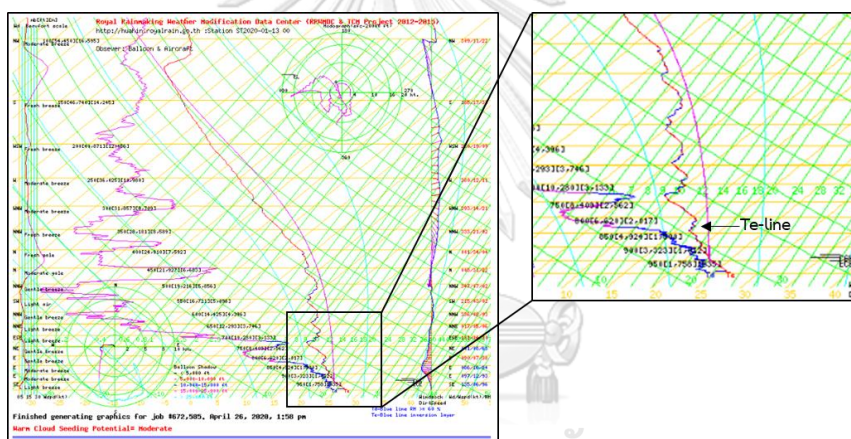
วันที่ตรวจวัด	ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM ₁₀ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)					
	4.5 เมตร		51.5 เมตร		138.5 เมตร	
	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
23 ก.ย. 62	21.1	19.5	10.9	20.6	17.5	23.8
24 ก.ย. 62	48.2	35.1	35.0	45.2	50.7	49.1
25 ก.ย. 62	39.4	36.8	34.4	40.1	47.0	44.6
26 ก.ย. 62	29.1	37.5	25.9	38.5	33.7	37.3
27 ก.ย. 62	57.0	51.8	36.0	55.7	40.5	53.0
28 ก.ย. 62	44.8	50.4	38.9	55.2	47.2	49.8
29 ก.ย. 62	51.7	79.8	44.5	71.6	63.5	74.1
13 ม.ค. 63	41.1	51.6	32.8	51.1	43.1	44.5
14 ม.ค. 63	35.0	47.0	27.9	47.3	38.3	39.0
15 ม.ค. 63	39.1	61.2	25.1	59.4	46.0	51.2
16 ม.ค. 63	47.0	55.8	21.2	56.9	45.9	45.2
17 ม.ค. 63	59.4	73.9	27.3	75.8	61.9	64.6
18 ม.ค. 63	67.0	72.3	52.0	74.8	63.4	61.6
19 ม.ค. 63	61.1	75.4	50.4	82.7	54.8	69.2
2 มี.ค. 63	38.5	39.9	13.7	42.4	41.8	41.3
3 มี.ค. 63	25.4	27.3	10.5	24.8	24.3	25.1
4 มี.ค. 63	21.6	24.3	9.7	24.8	21.5	25.1
5 มี.ค. 63	20.9	27.4	9.4	23.9	17.3	27.5
6 มี.ค. 63	16.8	29.4	8.3	27.7	19.1	29.3
7 มี.ค. 63	22.7	26.3	15.1	26.1	18.1	22.3
8 มี.ค. 63	38.7	40.5	24.6	37.6	32.8	35.7

หมายเหตุ: ความเข้มข้นของ PM₁₀ เป็นผลรวมระหว่างความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10}

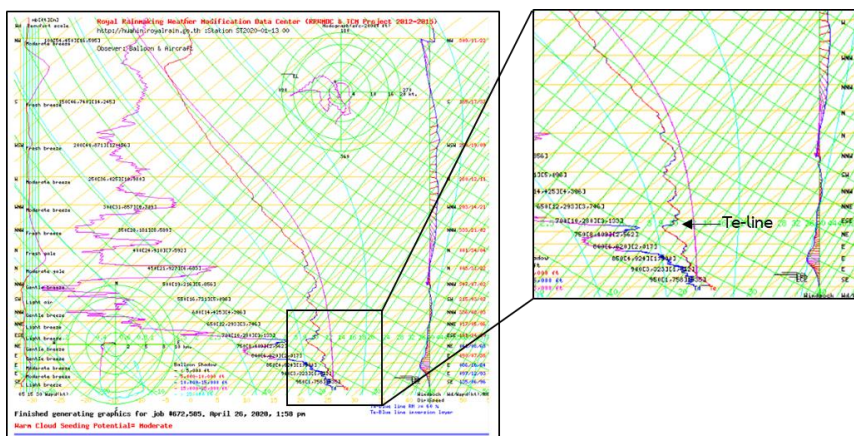
ภาคผนวก ค

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิชั้นบนจากศูนย์ฝนหลวง สถานีสัตหีบ จังหวัดชลบุรี

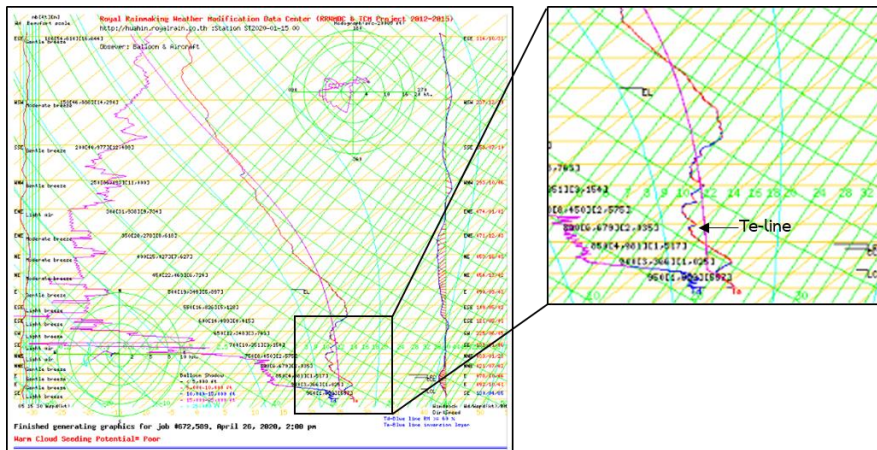
ผลการตรวจวัดอุณหภูมิชั้นบนจากศูนย์ฝนหลวง สถานีสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ปรากฏดังรูปที่ ข-1 ถึงรูปที่ ข-7 จากการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้ข้อมูลมาจากสถานีดังกล่าว เนื่องจากเป็นสถานีที่ใกล้เคียงกับพื้นที่กรุงเทพมหานครมากที่สุด ซึ่งไม่มีข้อมูลการตรวจวัดที่กรมอุตุนิยมวิทยาสถานีบางนา กรุงเทพมหานคร จากผลที่ปรากฏสามารถพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นได้จาก Te-line (เส้นสีแดง) ส่วน Te-Blue line (เส้นสีน้ำเงินบน Te-line) จะแสดงถึงสภาวะการผกผันของอุณหภูมิ (Temperature inversion) หรืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง โดยจากผลการตรวจวัดในช่วงการเก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 13 - 19 มกราคม 2563 พบว่ามีการผกผันของอุณหภูมิที่ระดับความสูงระหว่าง 500 - 1,000 เมตร ซึ่งสภาวะดังกล่าวส่งผลให้อากาศมีสภาพคงตัว



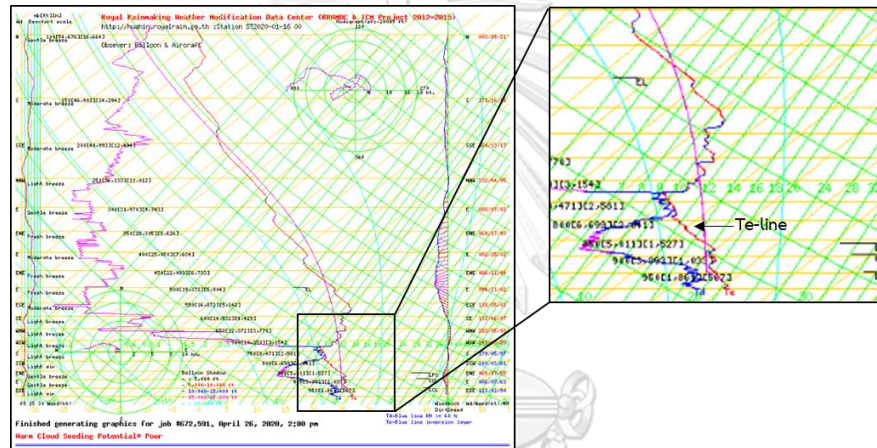
รูปที่ ค-1 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิชั้นบน (Te-line) วันที่ 13 มกราคม 2563



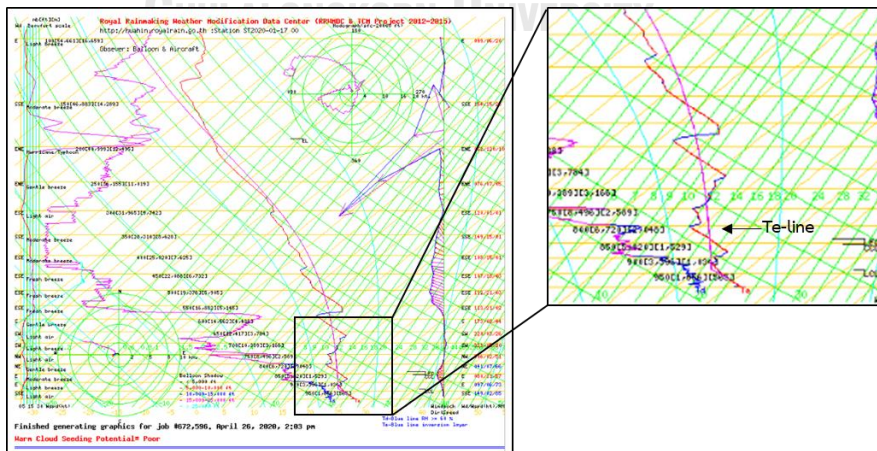
รูปที่ ค-2 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิชั้นบน (Te-line) วันที่ 14 มกราคม 2563



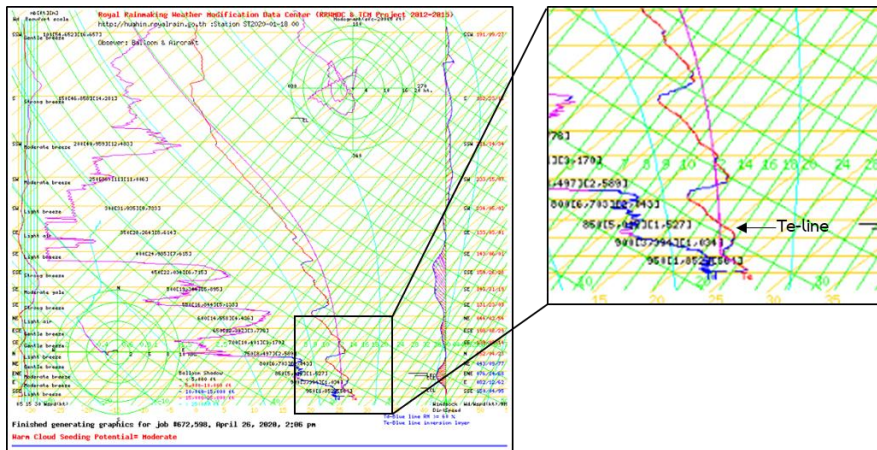
รูปที่ ค-3 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิจนบน (Te-line) วันที่ 15 มกราคม 2563



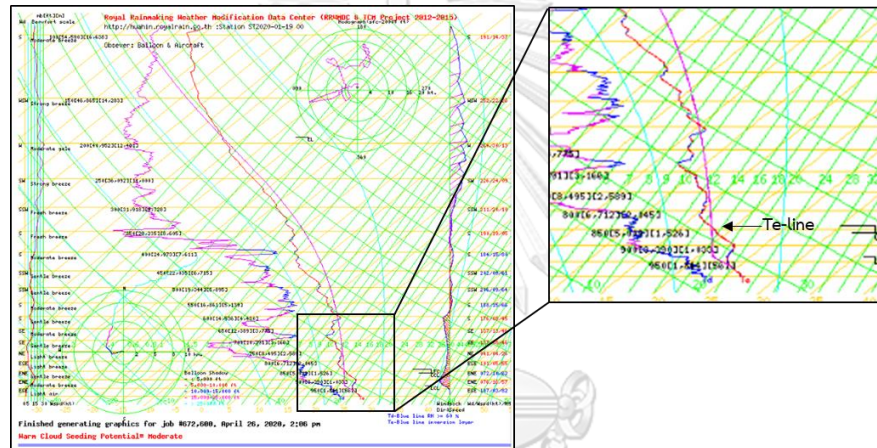
รูปที่ ค-4 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิจนบน (Te-line) วันที่ 16 มกราคม 2563



รูปที่ ค-5 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิจนบน (Te-line) วันที่ 17 มกราคม 2563



รูปที่ ค-6 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิมันบน (Te-line) วันที่ 18 มกราคม 2563



รูปที่ ค-7 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิมันบน (Te-line) วันที่ 19 มกราคม 2563

ภาคผนวก ง
สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁₀ ภายนอกอาคารที่วิเคราะห์ด้วย
วิธี Gravimetric analysis (PM_{2.5}/PM₁₀ ratio)

ตารางที่ ง-1 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PM_{2.5} และ PM₁₀ ภายนอกอาคาร (PM_{2.5}/PM₁₀ ratio)

วันที่	จุดตรวจวัด		
	4.5 เมตร	51.5 เมตร	138.5 เมตร
23 กันยายน 2562	0.67	0.55	0.60
24 กันยายน 2562	0.80	0.68	0.66
25 กันยายน 2562	0.75	0.76	0.65
26 กันยายน 2562	0.64	0.64	0.64
27 กันยายน 2562	0.66	0.61	0.61
28 กันยายน 2562	0.71	0.68	0.70
29 กันยายน 2562	0.72	0.76	0.72
13 มกราคม 2563	0.71	0.71	0.80
14 มกราคม 2563	0.66	0.65	0.73
15 มกราคม 2563	0.69	0.67	0.74
16 มกราคม 2563	0.65	0.65	0.75
17 มกราคม 2563	0.69	0.69	0.77
18 มกราคม 2563	0.73	0.73	0.82
19 มกราคม 2563	0.75	0.77	0.84
2 มีนาคม 2563	0.54	0.57	0.58
3 มีนาคม 2563	0.53	0.50	0.53
4 มีนาคม 2563	0.52	0.52	0.51
5 มีนาคม 2563	0.53	0.45	0.52
6 มีนาคม 2563	0.54	0.52	0.58
7 มีนาคม 2563	0.56	0.61	0.54
8 มีนาคม 2563	0.72	0.73	0.72

ภาคผนวก จ

สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของฝุ่นละอองที่วิเคราะห์ด้วย
วิธี Gravimetric analysis (I/O ratio)

ตารางที่ จ-1 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของฝุ่นละออง (I/O ratio)

วันที่	I/O ratio ของ PM _{2.5}			I/O ratio PM _{2.5-10}		
	4.5 เมตร	51.5 เมตร	138.5 เมตร	4.5 เมตร	51.5 เมตร	138.5 เมตร
23 กันยายน 2562	0.93	0.81	0.87	1.39	0.18	0.52
24 กันยายน 2562	1.34	0.95	1.08	0.91	0.39	0.94
25 กันยายน 2562	1.08	0.91	1.11	1.04	0.69	0.95
26 กันยายน 2562	1.01	0.62	0.89	0.35	0.77	0.93
27 กันยายน 2562	1.17	0.87	0.79	0.96	0.30	0.73
28 กันยายน 2562	0.94	0.90	0.92	0.76	0.29	1.01
29 กันยายน 2562	0.78	0.79	0.97	0.30	0.11	0.56
13 มกราคม 2563	0.89	0.78	0.94	0.57	0.29	1.09
14 มกราคม 2563	0.80	0.82	0.94	0.64	0.16	1.09
15 มกราคม 2563	0.69	0.54	0.92	0.53	0.19	0.83
16 มกราคม 2563	1.00	0.52	0.97	0.55	0.09	1.16
17 มกราคม 2563	0.89	0.47	0.92	0.60	0.11	1.09
18 มกราคม 2563	0.99	0.80	0.99	0.77	0.41	1.18
19 มกราคม 2563	0.93	0.72	0.83	0.47	0.24	0.62
2 มีนาคม 2563	1.14	0.43	0.92	0.77	0.18	1.14
3 มีนาคม 2563	0.82	0.64	1.03	1.06	0.20	0.90
4 มีนาคม 2563	0.96	0.51	0.86	0.81	0.27	0.85
5 มีนาคม 2563	0.67	0.53	0.55	0.87	0.28	0.71
6 มีนาคม 2563	0.38	0.36	0.64	0.79	0.23	0.67
7 มีนาคม 2563	0.63	0.78	0.89	1.17	0.26	0.72
8 มีนาคม 2563	0.95	0.58	0.85	0.97	0.85	1.11

ภาคผนวก จ ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ตรวจวัดด้วยวิธี Real-time โดยใช้หลักการ Light scattering

ตารางที่ จ-1 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงของ PM_{2.5} ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร ในเดือนกันยายน 2562 (ไม่โครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

เวลา	ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร										ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร									
	23 ก.ย. 62	24 ก.ย. 62	25 ก.ย. 62	26 ก.ย. 62	27 ก.ย. 62	28 ก.ย. 62	29 ก.ย. 62	30 ก.ย. 62	เฉลี่ยรายชั่วโมง	SD	23 ก.ย. 62	24 ก.ย. 62	25 ก.ย. 62	26 ก.ย. 62	27 ก.ย. 62	28 ก.ย. 62	29 ก.ย. 62	30 ก.ย. 62	เฉลี่ยรายชั่วโมง	SD
0:00 น.	-	5	23	23	14	24	33	43	24	12	-	6	24	23	11	33	36	68	29	20
1:00 น.	-	5	22	21	13	25	29	48	23	14	-	8	24	22	12	36	29	72	29	21
2:00 น.	-	5	21	21	13	23	25	43	21	12	-	7	24	23	13	24	23	69	26	20
3:00 น.	-	4	21	21	13	20	21	41	20	11	-	5	38	24	14	21	22	74	28	22
4:00 น.	-	4	22	21	14	20	22	42	21	11	-	7	39	24	15	21	23	84	31	26
5:00 น.	-	4	25	22	14	21	22	57	24	16	-	9	38	26	16	36	23	99	35	30
6:00 น.	-	7	28	25	16	31	25	69	29	19	-	9	31	27	18	44	32	106	38	32
7:00 น.	-	14	24	22	18	38	35	61	30	16	-	20	25	23	24	42	42	87	37	24
8:00 น.	-	20	21	21	19	35	30	57	29	14	-	18	23	22	19	35	34	84	33	23
9:00 น.	-	15	20	18	17	32	27	61	27	16	-	15	20	19	16	31	31	87	31	25
10:00 น.	-	18	20	18	18	33	22	62	27	16	-	18	19	18	16	31	23	82	30	24
11:00 น.	5	20	18	17	17	31	27	-	19	8	5	20	18	16	13	26	28	-	18	8
12:00 น.	5	18	19	12	16	25	27	-	18	7	5	18	19	9	14	20	24	-	15	7
13:00 น.	4	20	20	12	18	23	26	-	18	7	4	17	19	9	12	18	23	-	14	7
14:00 น.	5	22	20	11	21	21	26	-	18	8	4	19	19	8	20	17	26	-	16	8
15:00 น.	6	23	18	11	23	22	29	-	19	8	8	22	18	8	22	18	31	-	18	8
16:00 น.	5	22	18	10	24	22	31	-	19	9	7	21	17	8	25	20	32	-	19	9
17:00 น.	4	23	19	16	20	23	30	-	19	8	6	23	18	23	22	22	32	-	21	8
18:00 น.	5	23	24	23	19	24	33	-	21	9	6	24	25	33	23	25	36	-	25	10
19:00 น.	4	22	23	29	21	29	34	-	23	9	5	24	25	41	25	34	40	-	28	12
20:00 น.	5	22	23	32	21	32	33	-	24	10	7	24	24	42	29	38	47	-	30	14
21:00 น.	5	21	23	29	25	35	37	-	25	11	5	24	24	34	34	48	52	-	31	16
22:00 น.	5	23	25	27	25	39	39	-	26	11	5	26	26	26	34	71	55	-	35	22
23:00 น.	4	25	25	18	24	41	39	-	25	12	5	27	26	13	31	43	54	-	28	17

ตารางที่ ฉ-2 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงของ PM_{2.5} ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร ในเดือนกันยายน 2562 (ไม่รวมกรมต่อลูกบาศก์เมตร)

เวลา	ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร										ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร									
	23 ก.ย. 62	24 ก.ย. 62	25 ก.ย. 62	26 ก.ย. 62	27 ก.ย. 62	28 ก.ย. 62	29 ก.ย. 62	30 ก.ย. 62	เฉลี่ย	SD	23 ก.ย. 62	24 ก.ย. 62	25 ก.ย. 62	26 ก.ย. 62	27 ก.ย. 62	28 ก.ย. 62	29 ก.ย. 62	30 ก.ย. 62	เฉลี่ย	SD
0:00 น.	-	5	28	28	16	50	44	61	33	20	-	8	29	27	18	50	48	86	38	26
1:00 น.	-	5	29	28	16	40	34	66	31	19	-	8	27	25	17	40	37	100	36	30
2:00 น.	-	5	32	30	16	25	29	60	28	17	-	9	25	26	18	28	30	90	32	26
3:00 น.	-	5	42	31	17	23	27	56	29	17	-	7	25	26	19	26	32	90	32	27
4:00 น.	-	5	42	36	17	23	27	53	29	16	-	7	26	26	21	27	33	105	35	32
5:00 น.	-	4	46	42	18	27	27	56	32	18	-	6	33	33	21	46	31	119	41	37
6:00 น.	-	6	50	37	23	34	31	51	33	16	-	12	44	39	26	61	41	123	49	36
7:00 น.	-	24	37	35	29	39	38	54	36	9	-	19	42	38	35	59	53	102	50	27
8:00 น.	-	30	33	30	31	38	41	75	40	16	-	27	27	30	26	45	45	94	42	24
9:00 น.	-	25	32	28	24	40	40	83	39	21	-	19	33	24	21	39	40	93	38	26
10:00 น.	-	22	29	26	24	45	31	92	38	25	-	24	29	28	18	40	27	86	36	23
11:00 น.	7	23	25	20	20	35	35	-	24	10	8	29	32	21	17	30	35	-	24	10
12:00 น.	6	25	26	13	19	29	31	-	21	9	8	24	32	12	18	26	33	-	22	10
13:00 น.	6	25	25	14	18	25	31	-	20	8	6	26	28	13	17	24	30	-	21	9
14:00 น.	8	24	24	14	22	24	34	-	21	8	7	29	30	13	23	23	34	-	23	10
15:00 น.	6	26	22	13	23	26	39	-	22	10	8	33	32	13	26	23	40	-	25	11
16:00 น.	7	25	22	13	25	26	39	-	22	10	8	30	26	13	30	26	40	-	24	11
17:00 น.	8	27	26	28	25	27	37	-	25	9	7	27	22	28	27	26	38	-	25	9
18:00 น.	7	30	34	42	27	30	39	-	30	12	8	27	29	46	30	31	44	-	31	13
19:00 น.	7	33	34	50	32	38	44	-	34	14	8	27	28	55	35	43	51	-	35	16
20:00 น.	6	33	33	54	39	39	49	-	36	15	8	26	27	59	41	46	57	-	38	18
21:00 น.	5	36	35	46	49	46	51	-	38	16	7	25	27	50	47	59	66	-	40	21
22:00 น.	5	38	37	36	49	61	55	-	40	18	8	27	30	37	49	90	68	-	44	27
23:00 น.	4	36	31	19	47	53	58	-	35	19	8	31	30	19	46	59	68	-	37	21

ตารางที่ ๓-3 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงของ PM_{2.5} ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร ในเดือนมกราคม 2563 (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

เวลา	ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร										ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร									
	13 ม.ค. 63	14 ม.ค. 63	15 ม.ค. 63	16 ม.ค. 63	17 ม.ค. 63	18 ม.ค. 63	19 ม.ค. 63	20 ม.ค. 63	เฉลี่ย	SD	13 ม.ค. 63	14 ม.ค. 63	15 ม.ค. 63	16 ม.ค. 63	17 ม.ค. 63	18 ม.ค. 63	19 ม.ค. 63	20 ม.ค. 63	เฉลี่ย	SD
0:00 น.	-	20	19	20	21	45	51	54	33	16	-	21	20	21	22	46	50	55	34	16
1:00 น.	-	18	15	21	20	46	51	54	32	17	-	20	16	22	47	50	54	33	16	
2:00 น.	-	18	15	23	21	45	49	53	32	16	-	19	17	26	46	49	52	33	15	
3:00 น.	-	18	17	21	24	44	48	53	32	16	-	18	20	24	45	48	52	33	15	
4:00 น.	-	17	20	26	28	47	48	53	34	15	-	20	24	29	49	48	50	35	13	
5:00 น.	-	14	17	21	28	49	48	48	32	16	-	25	23	25	50	46	66	39	16	
6:00 น.	-	18	13	18	29	51	51	57	34	19	-	34	17	22	52	51	89	43	24	
7:00 น.	-	44	12	16	24	51	51	55	36	18	-	80	17	27	51	51	95	50	29	
8:00 น.	-	37	13	21	26	54	54	56	37	18	-	58	20	37	54	54	93	50	24	
9:00 น.	-	35	20	21	31	56	55	59	39	17	-	51	40	41	61	58	92	55	19	
10:00 น.	-	32	27	28	33	60	56	56	41	15	-	42	48	51	66	65	81	57	14	
11:00 น.	31	26	28	30	36	60	65	-	39	16	35	30	46	50	74	74	-	52	17	
12:00 น.	34	24	37	36	40	64	64	-	43	15	41	27	46	53	78	70	-	53	17	
13:00 น.	36	23	36	41	41	62	65	-	43	15	44	26	43	47	69	72	-	51	16	
14:00 น.	32	24	32	36	46	64	66	-	43	17	41	27	36	37	65	71	-	47	16	
15:00 น.	32	26	29	35	44	66	68	-	43	18	40	28	32	37	67	70	-	46	17	
16:00 น.	33	24	28	35	43	66	70	-	43	18	44	27	32	39	64	71	-	46	16	
17:00 น.	39	23	30	35	44	63	68	-	43	17	42	25	35	37	67	73	-	47	17	
18:00 น.	34	25	33	33	45	61	64	-	42	15	38	26	40	35	63	70	-	46	16	
19:00 น.	29	22	35	28	46	59	68	-	41	17	29	21	39	28	60	70	-	43	18	
20:00 น.	24	17	27	25	46	59	69	-	38	20	25	18	27	24	57	67	-	39	20	
21:00 น.	21	17	22	22	49	57	65	-	36	20	21	18	22	22	56	65	-	36	20	
22:00 น.	18	17	21	21	48	55	63	-	35	20	19	17	21	22	53	62	-	35	19	
23:00 น.	19	15	20	23	45	54	56	-	33	18	21	17	21	24	53	55	-	34	17	

ตารางที่ ๓-4 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงของ PM_{2.5} ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร ในเดือนมกราคม 2563 (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

เวลา	ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร										ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร									
	13 ม.ค. 63	14 ม.ค. 63	15 ม.ค. 63	16 ม.ค. 63	17 ม.ค. 63	18 ม.ค. 63	19 ม.ค. 63	20 ม.ค. 63	เฉลี่ยรายชั่วโมง	SD	13 ม.ค. 63	14 ม.ค. 63	15 ม.ค. 63	16 ม.ค. 63	17 ม.ค. 63	18 ม.ค. 63	19 ม.ค. 63	20 ม.ค. 63	เฉลี่ยรายชั่วโมง	SD
0:00 น.	-	16	13	18	18	33	43	50	27	15	-	18	16	20	22	41	49	50	31	15
1:00 น.	-	16	13	16	18	32	42	48	26	14	-	18	17	20	20	42	48	48	30	15
2:00 น.	-	15	13	17	17	32	41	46	26	14	-	17	15	21	20	43	47	49	30	15
3:00 น.	-	15	12	17	17	31	40	45	25	13	-	17	16	24	20	44	46	48	31	14
4:00 น.	-	14	12	17	18	33	40	43	25	13	-	18	18	22	23	42	44	49	31	14
5:00 น.	-	14	12	17	19	34	39	42	25	13	-	17	21	28	27	48	44	49	34	13
6:00 น.	-	13	13	18	21	34	38	54	27	15	-	19	20	26	32	47	44	59	35	15
7:00 น.	-	12	12	17	22	36	38	60	28	18	-	21	17	23	34	49	48	79	39	22
8:00 น.	-	15	11	15	21	37	37	52	27	15	-	18	17	26	29	47	49	83	39	23
9:00 น.	-	18	17	27	19	37	37	49	29	12	-	23	19	34	29	48	49	81	41	21
10:00 น.	-	20	32	23	24	38	38	63	34	15	-	27	36	38	38	55	51	80	46	17
11:00 น.	29	22	42	46	32	67	49	-	41	15	30	38	44	47	44	67	58	-	47	12
12:00 น.	28	23	43	48	51	71	64	-	47	17	30	27	43	48	49	65	64	-	47	15
13:00 น.	31	23	44	52	54	79	70	-	51	20	35	23	43	48	52	69	59	-	47	15
14:00 น.	37	23	41	49	57	70	68	-	49	17	36	23	39	45	51	59	58	-	44	13
15:00 น.	39	24	35	39	56	66	67	-	46	17	33	24	33	34	48	58	58	-	41	14
16:00 น.	36	27	29	38	52	67	68	-	45	17	30	26	29	36	45	58	59	-	40	14
17:00 น.	41	27	32	40	46	67	67	-	46	16	34	26	30	37	42	59	59	-	41	13
18:00 น.	37	25	32	36	45	67	68	-	44	17	33	24	32	33	43	60	59	-	41	14
19:00 น.	32	22	35	33	47	57	64	-	41	15	31	24	36	31	48	55	58	-	40	13
20:00 น.	25	18	36	24	47	55	67	-	39	18	25	20	37	26	47	58	65	-	40	17
21:00 น.	22	15	23	21	50	47	56	-	33	17	22	18	26	23	48	53	61	-	36	18
22:00 น.	20	14	19	19	44	48	53	-	31	16	19	17	22	20	48	52	57	-	34	18
23:00 น.	16	13	20	18	34	45	52	-	28	15	17	17	21	21	44	50	57	-	33	17

ตารางที่ ๕-5 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงของ PM_{2.5} ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร ในเดือนมีนาคม 2563 (ไม่ตรวจวัดต่อลูกบาศก์เมตร)

เวลา	ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร										ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร											
	2 ม. ๖๓	๓ ม. ๖๓	๔ ม. ๖๓	๕ ม. ๖๓	๖ ม. ๖๓	๗ ม. ๖๓	๘ ม. ๖๓	๙ ม. ๖๓	SD	๑๐ ม. ๖๓	๑๑ ม. ๖๓	๑๒ ม. ๖๓	๑๓ ม. ๖๓	๑๔ ม. ๖๓	๑๕ ม. ๖๓	๑๖ ม. ๖๓	๑๗ ม. ๖๓	๑๘ ม. ๖๓	๑๙ ม. ๖๓	๒๐ ม. ๖๓	๒๑ ม. ๖๓	๒๒ ม. ๖๓
0:00 น.	-	11	4	5	5	7	8	15	8	4	-	11	3	5	5	6	8	13	7	3		
1:00 น.	-	9	4	5	5	6	8	14	8	3	-	10	4	5	5	6	7	12	7	3		
2:00 น.	-	9	4	5	5	6	8	14	8	3	-	9	3	5	5	7	8	12	7	3		
3:00 น.	-	9	3	5	5	6	9	15	7	4	-	9	3	5	5	6	8	14	7	3		
4:00 น.	-	8	3	5	5	6	8	15	7	4	-	9	3	5	5	6	8	14	7	4		
5:00 น.	-	10	4	5	5	6	7	14	7	4	-	10	4	5	6	6	7	16	8	4		
6:00 น.	-	10	4	5	5	6	6	16	8	4	-	10	4	6	6	8	6	19	8	5		
7:00 น.	-	10	4	5	5	6	6	20	9	6	-	11	5	6	6	15	6	25	10	7		
8:00 น.	-	9	5	5	5	7	8	28	11	8	-	8	5	5	7	14	8	31	11	9		
9:00 น.	-	7	5	5	5	7	11	35	12	11	-	7	5	5	7	12	11	36	12	11		
10:00 น.	-	8	5	5	5	9	15	33	12	10	-	7	4	5	8	6	15	36	12	11		
11:00 น.	17	8	5	6	6	10	16	-	10	5	16	8	4	6	9	6	16	-	9	5		
12:00 น.	18	9	5	7	7	9	16	-	10	5	16	8	4	7	8	6	15	-	9	5		
13:00 น.	18	9	5	7	7	11	17	-	11	5	16	8	5	6	9	5	14	-	9	4		
14:00 น.	18	12	6	9	9	10	17	-	11	5	15	10	5	6	7	5	13	-	9	4		
15:00 น.	17	11	7	8	7	7	16	-	11	5	14	9	6	7	5	5	13	-	8	4		
16:00 น.	17	12	7	8	6	8	16	-	11	4	14	9	6	7	5	6	13	-	9	4		
17:00 น.	15	9	7	9	9	6	15	-	10	4	14	8	6	8	5	5	13	-	9	4		
18:00 น.	14	8	5	10	7	5	15	-	9	4	13	7	5	10	6	5	15	-	9	4		
19:00 น.	15	7	4	10	7	6	17	-	9	5	15	7	4	9	6	5	18	-	9	5		
20:00 น.	15	6	5	9	6	5	18	-	9	5	14	5	4	8	6	5	16	-	8	5		
21:00 น.	15	5	5	8	6	7	15	-	9	4	14	4	4	7	6	8	13	-	8	4		
22:00 น.	14	4	5	7	8	8	15	-	9	4	14	3	4	6	7	8	14	-	8	4		
23:00 น.	13	4	5	6	6	7	15	-	8	4	13	3	5	5	7	8	13	-	8	4		

ตารางที่ ๖-6 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงของ PM_{2.5} ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร ในเดือนมีนาคม 2563 (ไม่ตรวจวัดต่อลูกบาศก์เมตร)

เวลา	ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร										ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร													
	2 มิ. ๖3	๓ มิ. ๖3	๔ มิ. ๖3	๕ มิ. ๖3	๖ มิ. ๖3	๗ มิ. ๖3	๘ มิ. ๖3	๙ มิ. ๖3	๑๐ มิ. ๖3	๑๑ มิ. ๖3	SD	๑๒ มิ. ๖3	๑๓ มิ. ๖3	๑๔ มิ. ๖3	๑๕ มิ. ๖3	๑๖ มิ. ๖3	๑๗ มิ. ๖3	๑๘ มิ. ๖3	๑๙ มิ. ๖3	๒๐ มิ. ๖3	๒๑ มิ. ๖3	๒๒ มิ. ๖3	๒๓ มิ. ๖3	๒๔ มิ. ๖3
0:00 น.	-	11	4	4	4	5	6	7	12	7	3	-	14	4	6	6	7	8	16	9	4			
1:00 น.	-	10	4	4	4	5	5	7	12	7	3	-	12	5	6	6	7	8	14	8	4			
2:00 น.	-	9	4	4	4	5	6	7	11	6	3	-	11	4	6	7	8	10	15	8	4			
3:00 น.	-	9	3	4	4	4	6	7	11	6	3	-	11	4	6	6	7	9	15	8	4			
4:00 น.	-	8	3	4	4	5	5	6	12	6	3	-	11	4	5	6	7	9	16	8	4			
5:00 น.	-	8	4	4	4	5	5	6	12	6	3	-	11	5	6	7	7	10	17	9	4			
6:00 น.	-	8	4	4	4	5	5	6	13	6	3	-	11	5	6	7	10	19	10	5				
7:00 น.	-	9	4	4	4	5	6	5	14	7	4	-	12	6	7	7	20	26	12	8				
8:00 น.	-	8	5	5	5	6	7	7	23	9	6	-	10	6	6	7	17	33	13	10				
9:00 น.	-	8	5	5	5	7	9	11	30	11	9	-	9	6	6	8	15	42	15	13				
10:00 น.	-	9	5	5	5	8	7	17	40	13	13	-	10	5	7	9	23	48	16	15				
11:00 น.	19	9	5	6	6	10	7	19	-	11	6	21	10	5	7	11	7	20	-	12	6			
12:00 น.	20	10	5	8	8	10	6	18	-	11	6	21	11	6	9	10	7	19	-	12	6			
13:00 น.	19	10	6	8	8	11	6	20	-	11	6	21	11	6	9	12	7	21	-	12	6			
14:00 น.	19	12	7	9	9	10	6	18	-	12	5	20	13	7	9	11	7	19	-	12	5			
15:00 น.	18	12	7	9	9	7	6	17	-	11	5	20	13	8	9	7	7	19	-	12	5			
16:00 น.	19	11	7	8	8	6	7	18	-	11	5	20	12	8	9	7	8	18	-	12	5			
17:00 น.	17	10	7	8	8	6	6	17	-	10	5	18	11	8	10	7	6	18	-	11	5			
18:00 น.	14	8	5	9	9	6	5	17	-	9	5	17	9	6	12	8	5	20	-	11	5			
19:00 น.	14	7	4	9	9	6	5	17	-	9	5	18	8	5	11	8	5	21	-	11	6			
20:00 น.	14	6	4	8	8	6	5	15	-	8	4	17	7	6	10	7	6	19	-	10	6			
21:00 น.	14	5	4	7	7	6	6	13	-	8	4	17	5	6	9	7	9	16	-	10	5			
22:00 น.	14	4	4	6	6	6	7	13	-	8	4	17	5	5	7	8	9	17	-	10	5			
23:00 น.	13	4	4	6	6	6	6	13	-	7	4	16	4	6	6	7	9	16	-	9	5			

ตารางที่ ๖-7 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงของ PM₁₀ ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร ในเดือนกันยายน 2562 (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

เวลา	ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร										ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร									
	23 ก.ย. 62	24 ก.ย. 62	25 ก.ย. 62	26 ก.ย. 62	27 ก.ย. 62	28 ก.ย. 62	29 ก.ย. 62	30 ก.ย. 62	เฉลี่ย	SD	23 ก.ย. 62	24 ก.ย. 62	25 ก.ย. 62	26 ก.ย. 62	27 ก.ย. 62	28 ก.ย. 62	29 ก.ย. 62	30 ก.ย. 62	เฉลี่ย	SD
0:00 น.	-	8	29	27	18	30	43	50	29	14	-	12	31	29	18	46	53	85	39	25
1:00 น.	-	8	27	25	16	30	39	56	29	16	-	14	30	27	47	41	89	38	25	
2:00 น.	-	9	25	26	16	27	31	50	26	13	-	13	31	29	32	31	85	35	23	
3:00 น.	-	7	25	26	17	23	27	48	25	12	-	10	47	31	28	31	91	37	27	
4:00 น.	-	7	26	26	17	23	29	48	25	12	-	13	49	33	27	31	104	40	30	
5:00 น.	-	9	33	30	17	27	29	71	31	20	-	16	52	37	52	30	123	48	36	
6:00 น.	-	12	41	27	26	44	33	95	40	27	-	16	43	40	60	44	131	52	38	
7:00 น.	-	19	31	31	24	53	49	80	41	21	-	30	35	33	55	59	107	51	27	
8:00 น.	-	22	27	28	42	47	42	76	41	18	-	27	33	28	46	51	104	46	27	
9:00 น.	-	19	30	24	27	45	34	68	35	17	-	20	27	26	42	49	107	42	30	
10:00 น.	-	21	25	23	22	40	26	78	33	21	-	24	25	26	40	32	102	39	28	
11:00 น.	8	29	22	21	35	36	32	-	26	10	8	26	24	22	34	38	-	24	10	
12:00 น.	8	24	25	22	24	29	33	-	24	8	8	24	24	16	27	32	-	21	8	
13:00 น.	6	26	24	19	24	27	30	-	22	8	8	23	26	15	24	30	-	21	7	
14:00 น.	7	29	28	18	33	25	31	-	24	9	8	24	25	14	23	34	-	22	9	
15:00 น.	8	27	30	16	35	26	34	-	25	10	16	27	22	14	23	40	-	24	9	
16:00 น.	8	26	23	15	33	26	35	-	24	10	12	27	22	14	26	40	-	25	10	
17:00 น.	7	27	22	20	25	27	36	-	23	9	11	28	22	31	27	41	-	27	9	
18:00 น.	8	27	29	27	22	28	38	-	25	9	11	30	31	42	30	47	-	32	12	
19:00 น.	8	27	28	34	24	33	40	-	28	10	9	30	31	52	33	44	-	36	15	
20:00 น.	8	26	27	37	25	37	39	-	28	11	10	30	29	56	39	50	-	39	17	
21:00 น.	7	25	27	36	30	42	43	-	30	12	9	30	29	49	46	60	-	41	20	
22:00 น.	8	27	30	34	30	45	45	-	31	13	10	33	32	40	48	86	-	45	25	
23:00 น.	8	31	30	23	30	49	46	-	31	14	10	36	32	22	45	62	-	39	21	

ตารางที่ ๘-8 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงของ PM₁₀ ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร ในเดือนกันยายน 2562 (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

เวลา	ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร										ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร									
	23 ก.ย. 62	24 ก.ย. 62	25 ก.ย. 62	26 ก.ย. 62	27 ก.ย. 62	28 ก.ย. 62	29 ก.ย. 62	30 ก.ย. 62	เฉลี่ย	SD	23 ก.ย. 62	24 ก.ย. 62	25 ก.ย. 62	26 ก.ย. 62	27 ก.ย. 62	28 ก.ย. 62	29 ก.ย. 62	30 ก.ย. 62	เฉลี่ย	SD
0:00 น.	-	5	28	28	16	50	44	61	33	20	-	8	29	27	18	50	48	86	38	26
1:00 น.	-	5	29	28	16	40	34	66	31	19	-	8	27	25	40	37	100	36	30	
2:00 น.	-	5	32	30	16	25	29	60	28	17	-	9	25	26	28	30	90	32	26	
3:00 น.	-	5	42	31	17	23	27	56	29	17	-	7	25	26	26	32	90	32	27	
4:00 น.	-	5	42	36	17	23	27	53	29	16	-	7	26	26	27	33	105	35	32	
5:00 น.	-	4	46	42	18	27	27	56	32	18	-	6	33	33	21	46	31	119	41	37
6:00 น.	-	6	50	37	23	34	31	51	33	16	-	12	44	39	26	61	41	123	49	36
7:00 น.	-	24	37	35	29	39	38	54	36	9	-	19	42	38	35	59	53	102	50	27
8:00 น.	-	30	33	30	31	38	41	75	40	16	-	27	27	30	26	45	45	94	42	24
9:00 น.	-	25	32	28	24	40	40	83	39	21	-	19	33	24	21	39	40	93	38	26
10:00 น.	-	22	29	26	24	45	31	92	38	25	-	24	29	28	18	40	27	86	36	23
11:00 น.	7	23	25	20	20	35	35	-	24	10	8	29	32	21	17	30	35	-	24	10
12:00 น.	6	25	26	13	19	29	31	-	21	9	8	24	32	12	18	26	33	-	22	10
13:00 น.	6	25	25	14	18	25	31	-	20	8	6	26	28	13	17	24	30	-	21	9
14:00 น.	8	24	24	14	22	24	34	-	21	8	7	29	30	13	23	23	34	-	23	10
15:00 น.	6	26	22	13	23	26	39	-	22	10	8	33	32	13	26	23	40	-	25	11
16:00 น.	7	25	22	13	25	26	39	-	22	10	8	30	26	13	30	26	40	-	24	11
17:00 น.	8	27	26	28	25	27	37	-	25	9	7	27	22	28	27	26	38	-	25	9
18:00 น.	7	30	34	42	27	30	39	-	30	12	8	27	29	46	30	31	44	-	31	13
19:00 น.	7	33	34	50	32	38	44	-	34	14	8	27	28	55	35	43	51	-	35	16
20:00 น.	6	33	33	54	39	39	49	-	36	15	8	26	27	59	41	46	57	-	38	18
21:00 น.	5	36	35	46	49	46	51	-	38	16	7	25	27	50	47	59	66	-	40	21
22:00 น.	5	38	37	36	49	61	55	-	40	18	8	27	30	37	49	90	68	-	44	27
23:00 น.	4	36	31	19	47	53	58	-	35	19	8	31	30	19	46	59	68	-	37	21

ตารางที่ ๘-9 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงของ PM₁₀ ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร ในเดือนมกราคม 2563 (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

เวลา	ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร										ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร									
	13 ม.ค. 63	14 ม.ค. 63	15 ม.ค. 63	16 ม.ค. 63	17 ม.ค. 63	18 ม.ค. 63	19 ม.ค. 63	20 ม.ค. 63	เฉลี่ยรายชั่วโมง	SD	13 ม.ค. 63	14 ม.ค. 63	15 ม.ค. 63	16 ม.ค. 63	17 ม.ค. 63	18 ม.ค. 63	19 ม.ค. 63	20 ม.ค. 63	เฉลี่ยรายชั่วโมง	SD
0:00 น.	-	26	40	33	38	61	65	68	47	17	-	24	36	31	36	56	56	61	43	14
1:00 น.	-	26	31	33	35	61	67	68	46	19	-	25	27	32	34	56	58	59	42	15
2:00 น.	-	25	30	36	36	60	63	67	45	17	-	23	29	35	34	54	56	58	41	14
3:00 น.	-	25	31	34	39	57	63	66	45	17	-	22	32	33	38	52	56	58	41	14
4:00 น.	-	24	34	40	40	62	61	66	47	16	-	26	36	40	40	57	54	55	44	12
5:00 น.	-	18	27	30	37	63	61	59	42	19	-	31	37	37	50	58	53	76	49	16
6:00 น.	-	23	21	24	39	68	66	70	44	23	-	43	27	31	50	61	59	109	54	27
7:00 น.	-	54	17	21	30	69	66	68	46	23	-	93	27	40	40	59	58	120	62	33
8:00 น.	-	46	18	29	33	72	69	70	48	22	-	67	30	56	43	63	61	112	62	26
9:00 น.	-	43	28	27	38	73	71	73	50	21	-	57	57	57	49	70	66	108	66	20
10:00 น.	-	41	35	36	40	74	69	69	52	18	-	50	64	64	58	74	73	93	68	14
11:00 น.	39	32	35	37	44	74	80	-	49	20	40	37	58	60	63	83	81	-	60	18
12:00 น.	42	30	46	45	50	79	80	-	53	19	48	33	54	62	65	87	75	-	61	18
13:00 น.	44	30	44	51	51	78	80	-	54	18	51	32	50	54	61	74	76	-	57	15
14:00 น.	39	31	40	45	57	80	82	-	53	20	46	32	44	44	56	68	75	-	52	15
15:00 น.	40	32	36	44	54	83	85	-	53	22	45	35	42	44	56	72	75	-	52	16
16:00 น.	40	30	35	44	53	82	86	-	53	23	53	35	39	47	53	69	75	-	53	15
17:00 น.	48	29	38	43	55	79	84	-	54	21	46	32	43	43	56	74	78	-	53	17
18:00 น.	42	33	41	42	56	77	79	-	53	18	41	32	47	41	61	71	76	-	53	17
19:00 น.	36	30	45	38	58	74	84	-	52	20	35	27	49	35	63	67	76	-	50	19
20:00 น.	30	26	37	37	59	75	88	-	50	24	29	25	35	33	63	65	75	-	47	20
21:00 น.	29	27	33	34	65	73	82	-	49	23	26	27	30	32	57	62	71	-	43	19
22:00 น.	25	29	34	35	62	71	79	-	48	22	23	28	31	32	58	60	69	-	43	19
23:00 น.	26	29	32	41	61	69	72	-	47	20	25	28	31	38	55	61	60	-	43	16

ตารางที่ ๑๑-10 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงของ PM₁₀ ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร ในเดือนมกราคม 2563 (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

เวลา	ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร										ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร									
	13 ม.ค. 63	14 ม.ค. 63	15 ม.ค. 63	16 ม.ค. 63	17 ม.ค. 63	18 ม.ค. 63	19 ม.ค. 63	20 ม.ค. 63	เฉลี่ย	SD	13 ม.ค. 63	14 ม.ค. 63	15 ม.ค. 63	16 ม.ค. 63	17 ม.ค. 63	18 ม.ค. 63	19 ม.ค. 63	20 ม.ค. 63	เฉลี่ย	SD
0:00 น.	-	20	18	32	25	40	51	59	35	16	-	24	28	35	38	61	73	71	47	21
1:00 น.	-	19	20	23	26	39	49	57	33	15	-	25	34	32	34	64	71	69	47	20
2:00 น.	-	19	20	23	25	37	48	55	32	15	-	24	27	33	35	65	70	71	47	21
3:00 น.	-	18	18	23	24	37	49	53	32	15	-	24	29	35	35	65	69	70	47	20
4:00 น.	-	17	19	22	24	39	48	51	31	14	-	24	30	34	37	62	65	71	46	19
5:00 น.	-	16	19	23	26	40	48	50	32	14	-	25	33	44	44	75	65	74	51	20
6:00 น.	-	16	20	23	28	40	45	73	35	20	-	26	37	40	53	72	64	91	55	23
7:00 น.	-	15	18	21	29	43	45	83	36	24	-	30	30	36	57	74	72	134	62	37
8:00 น.	-	19	15	19	26	43	43	72	34	20	-	25	30	42	46	70	73	147	62	42
9:00 น.	-	24	28	43	24	44	44	64	39	15	-	30	32	55	45	72	73	131	62	35
10:00 น.	-	24	50	35	30	46	44	84	45	19	-	32	58	61	58	82	72	122	69	28
11:00 น.	38	33	62	66	42	90	62	-	56	20	43	41	67	70	65	97	84	-	67	20
12:00 น.	36	31	61	65	69	93	81	-	62	23	41	39	64	68	72	93	89	-	67	21
13:00 น.	40	31	61	70	71	103	91	-	67	25	48	33	62	67	75	96	84	-	66	21
14:00 น.	46	32	57	65	75	92	87	-	65	22	48	34	54	62	71	82	80	-	62	18
15:00 น.	50	32	48	52	73	86	85	-	61	21	45	35	49	49	68	81	79	-	58	18
16:00 น.	47	37	43	51	70	87	88	-	60	21	43	37	43	51	65	81	80	-	57	18
17:00 น.	53	38	48	54	62	86	88	-	61	19	47	37	46	52	61	82	80	-	58	17
18:00 น.	47	35	46	49	63	88	88	-	59	21	45	35	48	48	62	84	80	-	57	19
19:00 น.	38	29	50	45	63	74	83	-	55	20	41	34	53	45	69	79	82	-	57	19
20:00 น.	30	22	52	31	66	71	89	-	52	25	35	29	55	39	70	86	92	-	58	25
21:00 น.	28	19	30	26	71	56	69	-	43	22	30	28	38	34	73	79	87	-	53	26
22:00 น.	27	17	25	25	58	57	63	-	39	20	27	26	34	32	71	75	81	-	49	25
23:00 น.	20	17	37	24	41	53	62	-	36	17	24	29	36	34	65	74	83	-	49	24

ตารางที่ ฉ-11 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงของ PM₁₀ ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร ในเดือนมีนาคม 2563 (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

เวลา	ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร										ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร																						
	๒๒ มี.ค.	๒๓ มี.ค.	๒๔ มี.ค.	๒๕ มี.ค.	๒๖ มี.ค.	๒๗ มี.ค.	๒๘ มี.ค.	๒๙ มี.ค.	๓๐ มี.ค.	๓๑ มี.ค.	SD	๒๒ มี.ค.	๒๓ มี.ค.	๒๔ มี.ค.	๒๕ มี.ค.	๒๖ มี.ค.	๒๗ มี.ค.	๒๘ มี.ค.	๒๙ มี.ค.	๓๐ มี.ค.	๓๑ มี.ค.	SD	๒๒ มี.ค.	๒๓ มี.ค.	๒๔ มี.ค.	๒๕ มี.ค.	๒๖ มี.ค.	๒๗ มี.ค.	๒๘ มี.ค.	๒๙ มี.ค.	๓๐ มี.ค.	๓๑ มี.ค.	
0:00 น.	-	22	13	15	15	16	17	17	21	17	4	-	22	11	15	13	15	15	20	15	15	4	-	22	11	15	13	15	15	20	15	15	4
1:00 น.	-	19	13	16	15	15	16	16	20	16	2	-	20	12	14	14	14	14	20	16	14	2	-	20	12	14	14	14	20	16	14	3	
2:00 น.	-	19	12	16	16	17	17	17	20	17	3	-	19	12	14	15	16	17	19	17	14	3	-	19	12	14	15	16	17	19	17	3	
3:00 น.	-	18	12	16	16	15	19	21	21	17	3	-	19	11	15	14	15	17	21	17	15	3	-	19	11	15	14	15	21	16	16	3	
4:00 น.	-	18	12	15	15	16	17	21	21	16	3	-	18	11	14	13	14	14	22	16	14	3	-	18	11	14	13	14	22	16	16	4	
5:00 น.	-	20	11	14	15	15	16	19	19	16	3	-	20	11	15	15	15	16	24	16	15	3	-	20	11	15	15	16	24	16	16	4	
6:00 น.	-	20	10	13	13	17	15	20	20	15	4	-	20	12	15	14	14	14	27	14	15	4	-	20	12	15	14	14	27	17	5		
7:00 น.	-	16	9	13	12	27	15	25	25	17	7	-	20	13	15	14	14	15	35	15	15	7	-	20	13	15	14	15	20	20	9		
8:00 น.	-	15	10	13	13	22	19	33	33	18	8	-	17	12	15	14	14	16	42	15	15	8	-	17	12	15	14	16	21	11	11		
9:00 น.	-	13	10	12	13	22	21	44	44	19	12	-	16	11	12	15	15	20	50	12	12	12	-	16	11	12	15	20	21	14	14		
10:00 น.	-	15	9	11	14	16	23	40	40	18	11	-	17	11	14	16	14	24	51	14	14	11	-	17	11	14	16	24	21	14	14		
11:00 น.	25	14	9	11	15	13	21	-	-	16	6	28	19	10	13	17	13	24	-	13	13	6	28	19	10	13	17	13	24	-	18	6	
12:00 น.	26	15	8	12	15	13	21	-	-	15	6	27	17	10	14	14	12	22	-	14	14	6	27	17	10	14	14	12	22	-	17	6	
13:00 น.	27	16	10	12	16	13	23	-	-	17	6	28	16	11	13	16	11	21	-	13	16	6	28	16	11	13	16	11	21	-	17	6	
14:00 น.	27	17	11	13	15	15	24	-	-	17	6	25	18	11	13	14	11	21	-	13	14	6	25	18	11	13	14	11	21	-	16	5	
15:00 น.	27	18	12	15	11	13	26	-	-	17	7	26	19	12	14	12	10	20	-	14	12	7	26	19	12	14	12	10	20	-	16	6	
16:00 น.	23	19	14	14	12	17	28	-	-	18	6	25	19	14	16	13	13	19	-	16	13	6	25	19	14	16	13	13	19	-	17	4	
17:00 น.	23	18	14	17	12	14	21	-	-	17	4	26	18	14	16	13	12	21	-	16	16	4	26	18	14	16	13	12	21	-	17	5	
18:00 น.	23	17	13	19	15	15	20	-	-	17	4	26	16	14	20	15	12	24	-	20	15	4	26	16	14	20	15	12	24	-	18	5	
19:00 น.	28	16	14	20	15	16	25	-	-	19	5	28	15	13	20	14	12	27	-	20	14	5	28	15	13	20	14	12	27	-	18	7	
20:00 น.	25	15	15	20	15	13	24	-	-	18	5	25	14	13	19	15	13	26	-	19	15	5	25	14	13	19	15	13	26	-	18	6	
21:00 น.	25	14	15	18	15	15	21	-	-	18	4	25	12	13	16	15	16	21	-	18	16	4	25	12	13	16	15	16	21	-	17	5	
22:00 น.	23	13	15	17	16	17	22	-	-	18	4	24	11	14	15	17	17	21	-	17	17	4	24	11	14	15	17	17	21	-	17	5	
23:00 น.	23	14	15	16	16	18	21	-	-	18	3	24	11	15	13	15	17	21	-	18	15	3	24	11	15	13	15	17	21	-	17	4	

ตารางที่ ฉ-12 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงของ PM₁₀ ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร ในเดือนมีนาคม 2563 (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

เวลา	ภายในอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร										ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร													
	๑๖ มิ.ค. ๒๕๖๓	๑๗ มิ.ค. ๒๕๖๓	๑๘ มิ.ค. ๒๕๖๓	๑๙ มิ.ค. ๒๕๖๓	๒๐ มิ.ค. ๒๕๖๓	๒๑ มิ.ค. ๒๕๖๓	๒๒ มิ.ค. ๒๕๖๓	๒๓ มิ.ค. ๒๕๖๓	๒๔ มิ.ค. ๒๕๖๓	๒๕ มิ.ค. ๒๕๖๓	SD	๑๖ มิ.ค. ๒๕๖๓	๑๗ มิ.ค. ๒๕๖๓	๑๘ มิ.ค. ๒๕๖๓	๑๙ มิ.ค. ๒๕๖๓	๒๐ มิ.ค. ๒๕๖๓	๒๑ มิ.ค. ๒๕๖๓	๒๒ มิ.ค. ๒๕๖๓	๒๓ มิ.ค. ๒๕๖๓	๒๔ มิ.ค. ๒๕๖๓	๒๕ มิ.ค. ๒๕๖๓			
0:00 น.	-	17	11	12	12	12	12	12	12	16	13	3	-	23	14	16	15	16	17	16	16	20	17	3
1:00 น.	-	17	11	12	12	11	12	12	12	16	13	2	-	21	14	16	16	16	17	15	18	17	3	
2:00 น.	-	15	11	11	13	12	13	16	16	16	13	2	-	21	14	16	18	17	17	20	18	18	2	
3:00 น.	-	15	10	11	11	12	12	15	12	15	12	2	-	20	12	16	16	17	15	18	16	16	2	
4:00 น.	-	14	10	11	12	11	12	16	12	16	12	2	-	20	14	15	16	16	16	20	17	17	2	
5:00 น.	-	15	10	11	12	11	11	16	11	16	12	2	-	20	14	16	16	16	15	20	17	17	2	
6:00 น.	-	15	10	11	12	11	11	16	11	16	12	2	-	21	13	17	16	22	15	21	18	18	3	
7:00 น.	-	15	10	12	12	11	11	17	11	17	13	3	-	22	14	17	15	34	15	28	21	21	8	
8:00 น.	-	15	11	13	14	13	15	28	15	28	16	6	-	19	13	16	15	32	19	35	21	21	9	
9:00 น.	-	17	15	13	14	19	19	37	19	37	19	8	-	18	14	16	16	32	23	45	23	11	11	
10:00 น.	-	18	12	14	16	17	25	55	22	55	22	15	-	20	11	16	17	17	28	55	24	15	15	
11:00 น.	28	16	12	15	20	17	28	-	19	-	19	6	30	19	12	17	19	16	26	-	20	6	6	
12:00 น.	29	18	11	17	18	15	25	-	19	-	19	6	29	18	12	17	17	15	24	-	19	6	6	
13:00 น.	28	18	14	18	19	15	29	-	20	-	20	6	28	20	13	18	19	14	26	-	20	6	6	
14:00 น.	29	19	15	20	17	15	25	-	20	-	20	5	28	20	15	20	17	15	25	-	20	5	5	
15:00 น.	26	20	15	18	16	16	25	-	20	-	20	5	26	22	15	18	14	14	25	-	19	5	5	
16:00 น.	29	20	16	17	14	16	26	-	20	-	20	6	28	21	17	18	15	16	24	-	20	5	5	
17:00 น.	25	18	16	17	13	15	26	-	19	-	19	5	26	20	18	20	16	14	24	-	20	4	4	
18:00 น.	22	16	14	18	14	12	28	-	18	-	18	6	25	18	16	23	17	14	27	-	20	5	5	
19:00 น.	22	14	12	16	13	12	23	-	16	-	16	5	27	17	15	22	17	12	27	-	20	6	6	
20:00 น.	21	13	12	15	14	11	20	-	15	-	15	4	27	15	15	20	17	14	24	-	19	5	5	
21:00 น.	21	12	12	14	14	13	17	-	15	-	15	3	26	15	16	19	16	17	20	-	18	4	4	
22:00 น.	20	11	11	14	14	13	17	-	14	-	14	3	26	13	16	17	21	17	22	-	19	4	4	
23:00 น.	19	11	12	13	12	12	18	-	14	-	14	3	25	14	16	16	16	17	20	-	18	4	4	

ภาคผนวก ข

สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของฝุ่นละอองในรอบวัน
ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Light scattering (I/O ratio)

ตารางที่ ข-1 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของฝุ่นละอองในรอบวันระหว่างเดือนกันยายน (I/O ratio)

เวลา	23- 29 กันยายน 2562							
	4.5 เมตร				138.5 เมตร			
	PM _{2.5}		PM ₁₀		PM _{2.5}		PM ₁₀	
	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
0:00 น.	0.89	0.19	0.82	0.17	0.74	0.13	0.89	0.15
1:00 น.	0.85	0.17	0.79	0.16	0.77	0.15	0.91	0.19
2:00 น.	0.88	0.16	0.82	0.13	0.80	0.19	0.92	0.24
3:00 น.	0.81	0.17	0.73	0.15	0.84	0.29	0.98	0.36
4:00 น.	0.76	0.19	0.70	0.18	0.81	0.31	0.95	0.40
5:00 น.	0.72	0.18	0.69	0.15	0.76	0.30	0.90	0.37
6:00 น.	0.82	0.11	0.78	0.12	0.66	0.25	0.87	0.31
7:00 น.	0.83	0.13	0.83	0.12	0.75	0.26	0.85	0.24
8:00 น.	0.93	0.12	0.98	0.28	0.87	0.17	1.04	0.18
9:00 น.	0.94	0.13	0.93	0.20	0.95	0.15	1.09	0.15
10:00 น.	0.99	0.12	0.87	0.09	0.93	0.08	1.11	0.11
11:00 น.	1.12	0.14	1.09	0.26	0.90	0.07	1.01	0.14
12:00 น.	1.17	0.14	1.07	0.14	0.89	0.04	0.99	0.13
13:00 น.	1.24	0.20	1.09	0.17	0.88	0.06	1.03	0.07
14:00 น.	1.15	0.12	1.11	0.18	0.89	0.15	0.99	0.13
15:00 น.	1.07	0.18	1.03	0.25	0.80	0.08	0.91	0.14
16:00 น.	1.01	0.14	0.94	0.14	0.80	0.07	0.93	0.09
17:00 น.	0.93	0.15	0.85	0.16	0.84	0.11	1.03	0.10
18:00 น.	0.87	0.09	0.80	0.10	0.81	0.15	0.97	0.12
19:00 น.	0.86	0.08	0.80	0.10	0.84	0.19	0.98	0.16
20:00 น.	0.82	0.10	0.76	0.11	0.78	0.18	0.98	0.21
21:00 น.	0.83	0.10	0.76	0.10	0.80	0.21	0.99	0.28
22:00 น.	0.83	0.18	0.76	0.16	0.79	0.21	0.96	0.30
23:00 น.	0.95	0.24	0.84	0.15	0.80	0.13	0.93	0.20

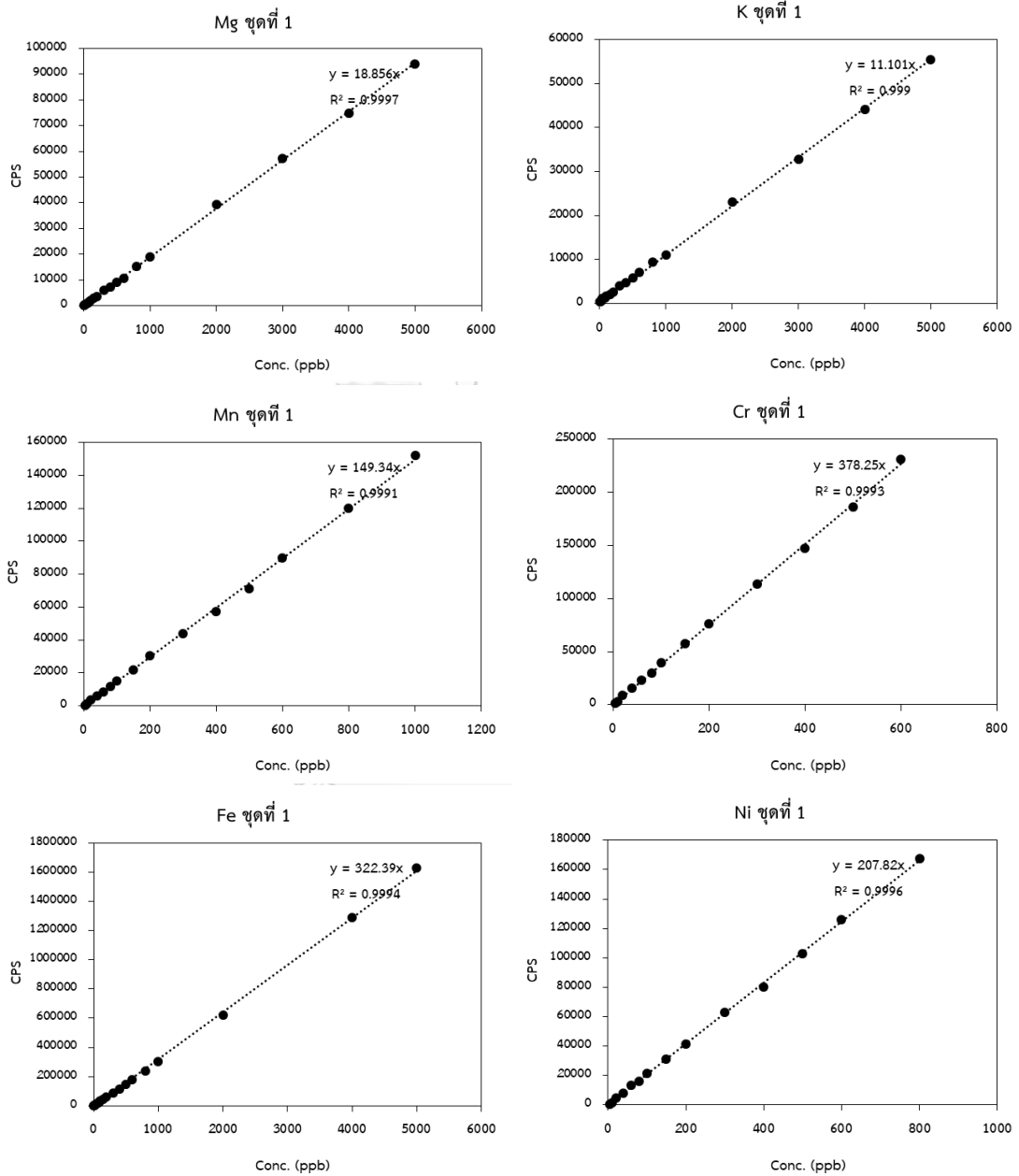
ตารางที่ ข-2 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของฝุ่นละอองในรอบวันระหว่างเดือนมกราคม (I/O ratio)

เวลา	13 - 19 มกราคม 2563							
	4.5 เมตร				138.5 เมตร			
	PM _{2.5}		PM ₁₀		PM _{2.5}		PM ₁₀	
	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
0:00 น.	0.97	0.03	1.10	0.03	0.87	0.06	0.75	0.11
1:00 น.	0.96	0.04	1.09	0.05	0.86	0.09	0.71	0.09
2:00 น.	0.95	0.05	1.09	0.05	0.85	0.07	0.71	0.07
3:00 น.	0.95	0.07	1.08	0.07	0.81	0.09	0.68	0.06
4:00 น.	0.94	0.08	1.06	0.09	0.80	0.08	0.67	0.04
5:00 น.	0.82	0.16	0.85	0.20	0.74	0.11	0.62	0.07
6:00 น.	0.80	0.17	0.82	0.23	0.75	0.11	0.62	0.10
7:00 น.	0.75	0.20	0.77	0.28	0.71	0.07	0.57	0.05
8:00 น.	0.76	0.18	0.79	0.25	0.70	0.10	0.57	0.11
9:00 น.	0.71	0.18	0.76	0.24	0.75	0.09	0.67	0.15
10:00 น.	0.72	0.14	0.77	0.18	0.73	0.09	0.66	0.12
11:00 น.	0.76	0.13	0.82	0.16	0.87	0.15	0.84	0.12
12:00 น.	0.81	0.09	0.88	0.11	0.99	0.07	0.92	0.07
13:00 น.	0.85	0.06	0.94	0.08	1.06	0.09	0.99	0.08
14:00 น.	0.92	0.08	1.01	0.11	1.10	0.06	1.04	0.06
15:00 น.	0.92	0.06	0.99	0.11	1.12	0.06	1.04	0.07
16:00 น.	0.91	0.09	0.97	0.16	1.11	0.07	1.05	0.05
17:00 น.	0.92	0.03	1.00	0.07	1.12	0.05	1.06	0.04
18:00 น.	0.91	0.05	1.01	0.07	1.08	0.05	1.03	0.04
19:00 น.	0.96	0.06	1.04	0.09	1.01	0.06	0.94	0.06
20:00 น.	0.98	0.05	1.08	0.08	0.97	0.04	0.87	0.08
21:00 น.	0.99	0.03	1.11	0.05	0.93	0.06	0.81	0.10
22:00 น.	0.98	0.03	1.10	0.04	0.93	0.07	0.79	0.10
23:00 น.	0.97	0.04	1.10	0.05	0.87	0.08	0.75	0.14

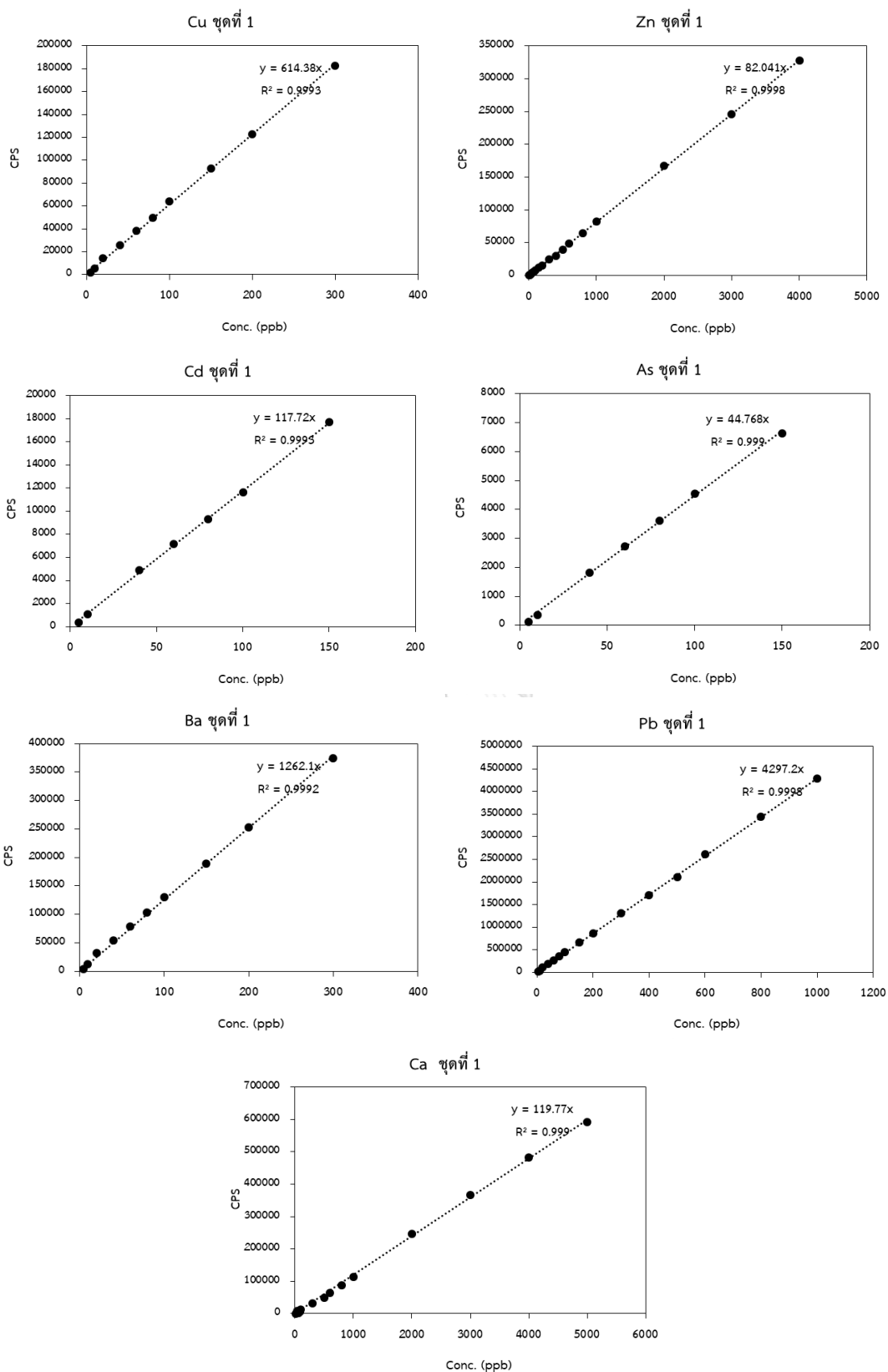
ตารางที่ ข-3 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารของฝุ่นละอองในรอบวันระหว่างเดือนมีนาคม (I/O ratio)

เวลา	2 - 8 มีนาคม 2563							
	4.5 เมตร				138.5 เมตร			
	PM _{2.5}		PM ₁₀		PM _{2.5}		PM ₁₀	
	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
0:00 น.	1.08	0.06	1.09	0.06	0.81	0.04	0.78	0.02
1:00 น.	1.06	0.07	1.04	0.07	0.81	0.05	0.78	0.06
2:00 น.	1.06	0.06	1.06	0.05	0.77	0.06	0.75	0.03
3:00 น.	1.06	0.04	1.07	0.05	0.76	0.03	0.78	0.06
4:00 น.	1.03	0.04	1.05	0.07	0.75	0.04	0.75	0.03
5:00 น.	0.99	0.04	0.98	0.10	0.73	0.04	0.74	0.04
6:00 น.	0.95	0.06	0.92	0.12	0.68	0.06	0.70	0.07
7:00 น.	0.92	0.07	0.85	0.11	0.62	0.16	0.66	0.15
8:00 น.	1.00	0.08	0.90	0.15	0.71	0.16	0.78	0.17
9:00 น.	1.04	0.04	0.91	0.07	0.79	0.12	0.86	0.15
10:00 น.	1.05	0.09	0.91	0.12	0.88	0.09	0.96	0.08
11:00 น.	1.07	0.05	0.90	0.08	0.92	0.03	1.00	0.08
12:00 น.	1.12	0.05	0.94	0.08	0.93	0.03	1.00	0.04
13:00 น.	1.17	0.04	1.02	0.12	0.93	0.03	1.03	0.06
14:00 น.	1.27	0.06	1.07	0.19	0.90	0.11	0.98	0.09
15:00 น.	1.28	0.06	1.07	0.17	0.93	0.04	1.03	0.08
16:00 น.	1.24	0.04	1.06	0.27	0.91	0.05	1.01	0.08
17:00 น.	1.15	0.05	1.01	0.10	0.91	0.04	0.96	0.10
18:00 น.	1.08	0.07	0.98	0.12	0.86	0.06	0.89	0.09
19:00 น.	1.07	0.06	1.08	0.14	0.82	0.04	0.83	0.07
20:00 น.	1.10	0.08	1.06	0.09	0.81	0.05	0.81	0.03
21:00 น.	1.09	0.09	1.06	0.09	0.80	0.06	0.81	0.04
22:00 น.	1.10	0.08	1.07	0.09	0.80	0.06	0.77	0.07
23:00 น.	1.10	0.08	1.09	0.10	0.81	0.09	0.80	0.05

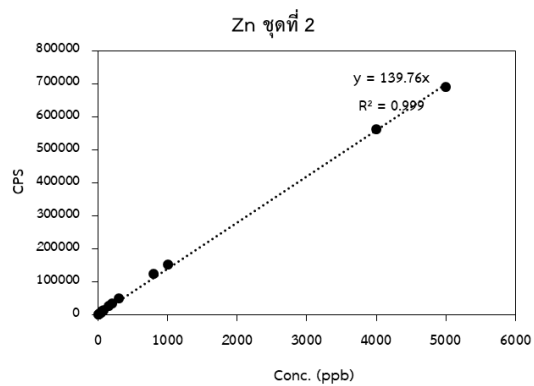
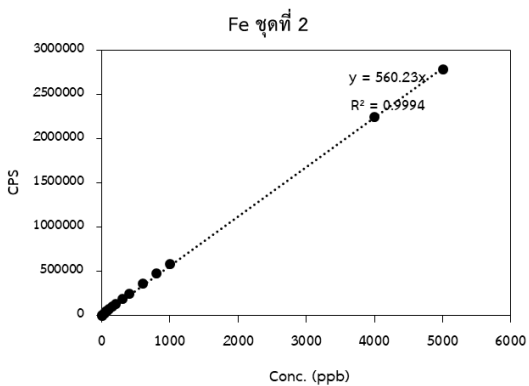
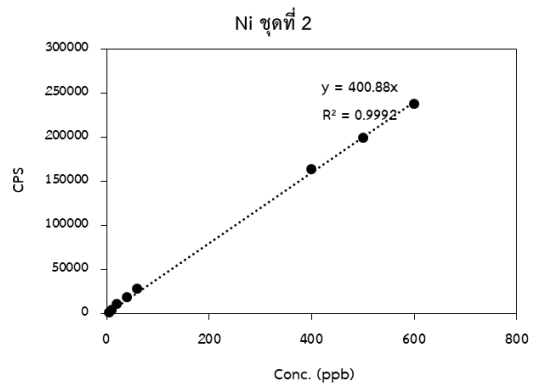
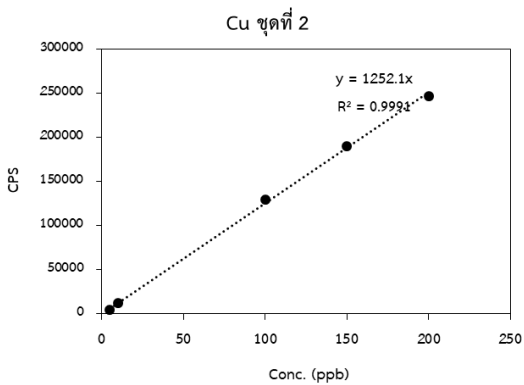
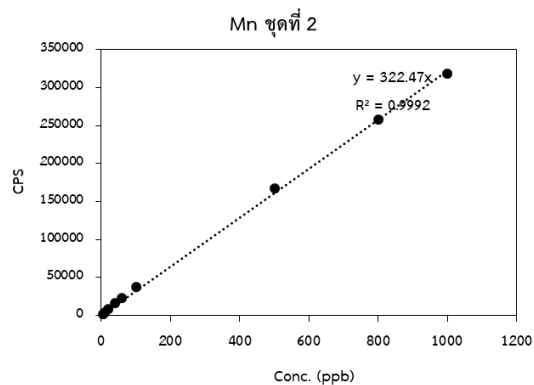
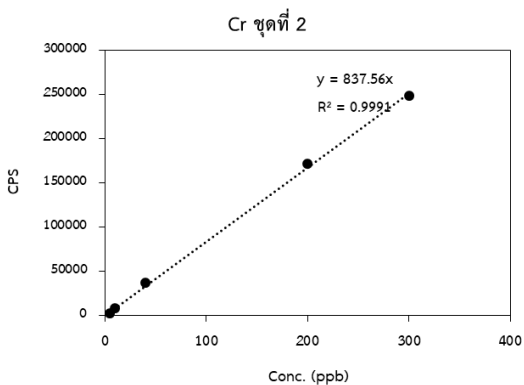
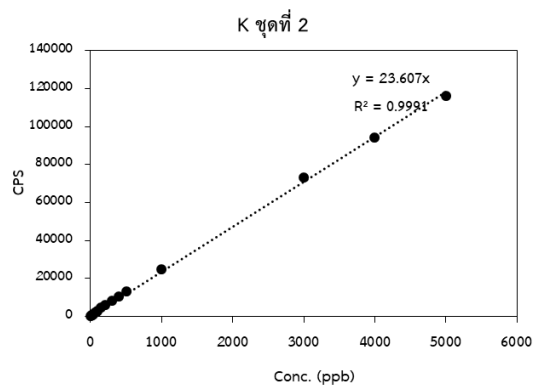
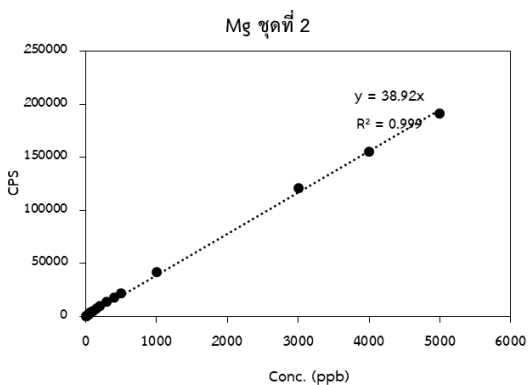
ภาคผนวก ช
กราฟมาตรฐาน (Calibration curve)



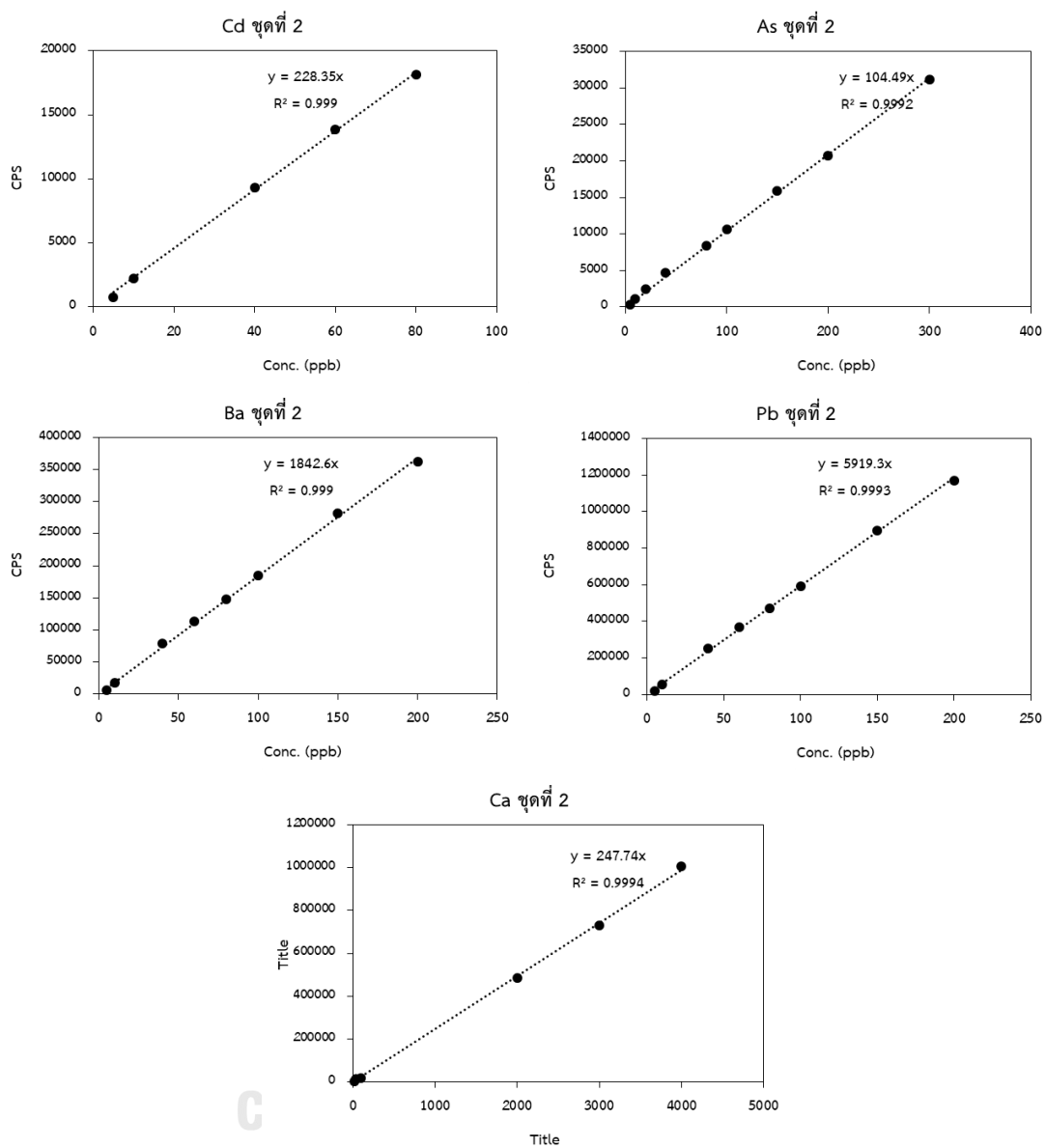
รูปที่ ช-1 กราฟมาตรฐานของโลหะชุดที่ 1



รูปที่ ซ-1 กราฟมาตรฐานของโลหะชุดที่ 1 (ต่อ)

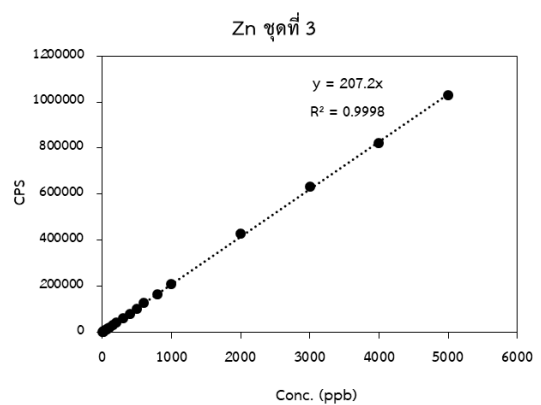
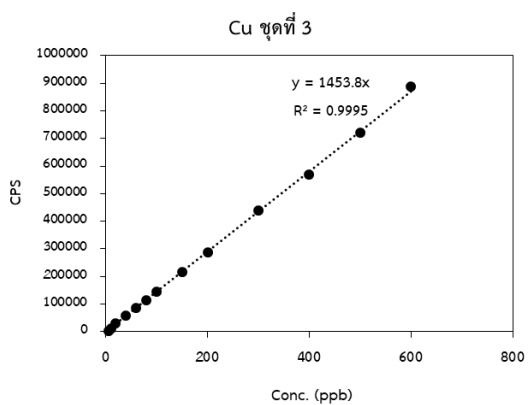
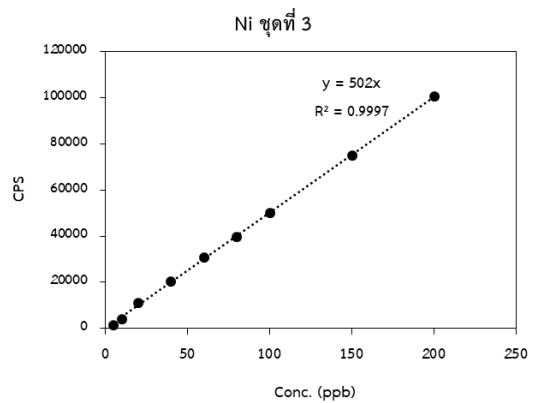
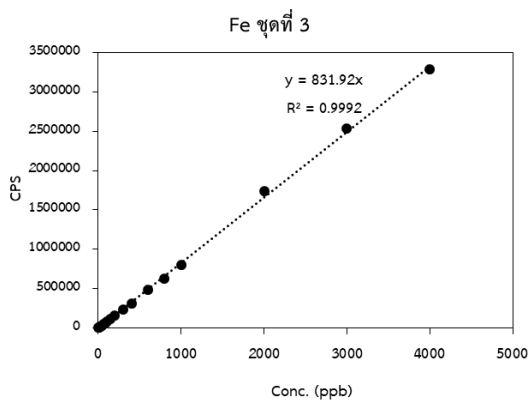
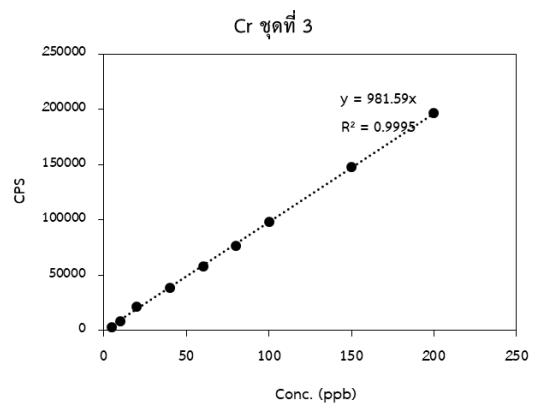
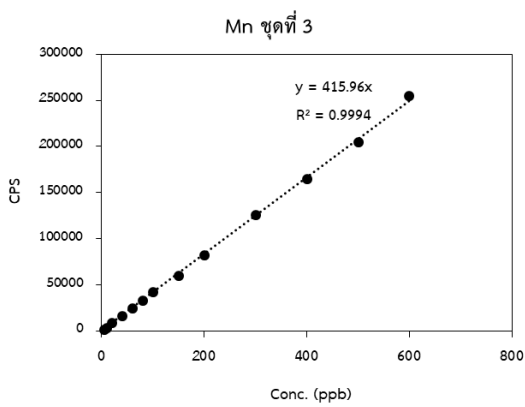
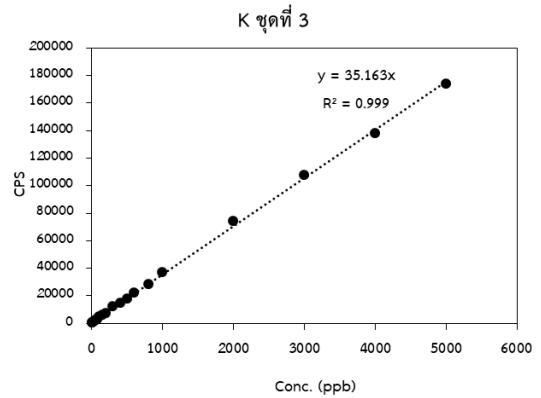
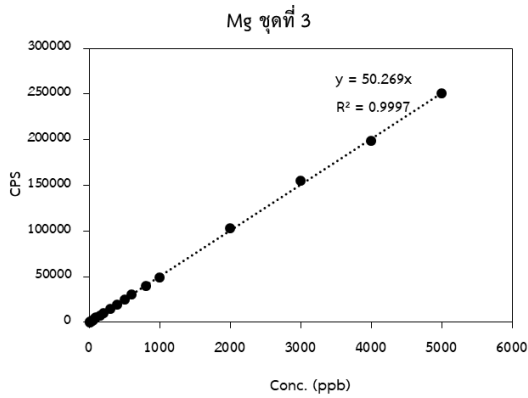


รูปที่ ซ-2 กราฟมาตรฐานของโลหะชุดที่ 2

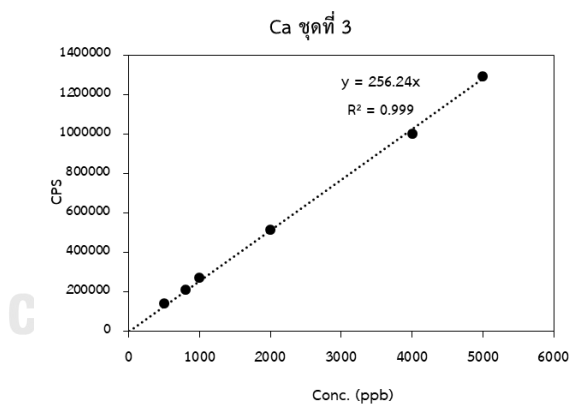
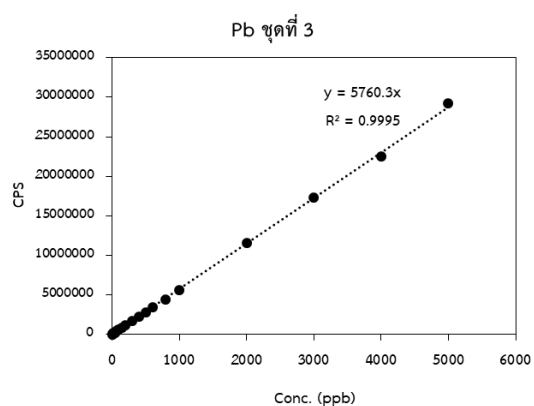
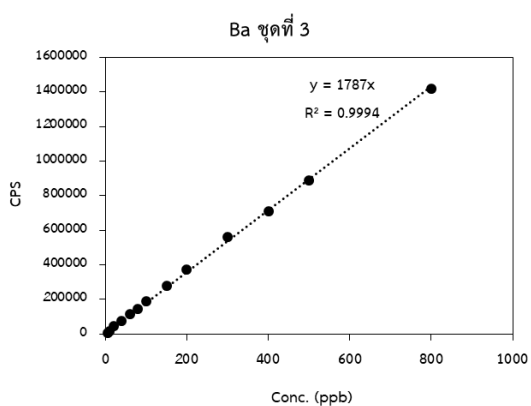
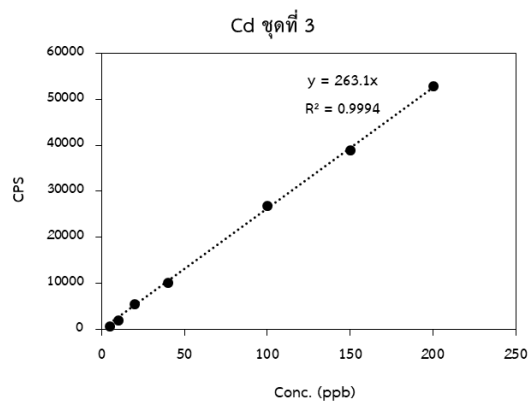
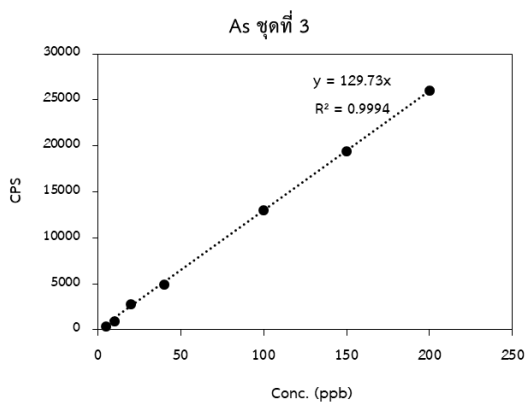


C

รูปที่ ซ-2 กราฟมาตรฐานของโลหะชุดที่ 2 (ต่อ)



รูปที่ ซ-3 กราฟมาตรฐานของโลหะชุดที่ 3



รูปที่ ซ-3 กราฟมาตรฐานของโลหะชุดที่ 3 (ต่อ)

ภาคผนวก ฅ ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละออง

ตารางที่ ฅ-1 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคารในเดือนกันยายน 2562 (นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่	Mg	K	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Ba	Pb	Ca	โลหะรวม
4.5 เมตร	23/9/62	1,408.545	2,884.128	49.178	6.928	803.323	10.805	16.189	1,059.815	3.784	0.431	9.454	6.750	3,588.362	9,847.694
	24/9/62	1,714.041	3,366.701	58.776	26.206	1,243.472	7.994	14.118	1,382.069	24.010	1.515	10.821	18.701	3,274.834	11,143.257
	25/9/62	1,379.657	2,815.136	56.962	10.775	701.197	6.610	7.706	1,490.207	17.934	1.475	6.334	13.555	2,781.805	9,289.353
	26/9/62	2,638.263	2,874.888	80.533	13.217	1,638.325	6.568	10.419	2,010.957	18.002	1.468	7.203	18.609	2,642.314	11,960.767
	27/9/62	1,627.106	3,008.727	32.422	10.834	1,668.101	8.628	15.328	424.366	25.610	1.418	10.305	21.694	3,217.443	10,071.984
	28/9/62	1,972.386	2,991.356	33.274	16.898	1,693.752	4.681	17.081	386.691	35.027	2.954	11.116	32.546	2,513.464	9,711.226
	29/9/62	2,093.978	3,813.811	45.799	17.235	1,851.300	6.493	26.670	651.410	38.949	3.371	11.692	43.592	2,818.125	11,422.425
	23/9/62	1,250.823	2,620.756	61.073	8.073	823.892	5.379	9.877	1,215.267	6.052	0.395	7.396	7.015	2,838.121	8,854.119
	24/9/62	2,389.319	-	113.361	21.048	1,937.301	7.530	17.175	2,159.953	21.504	1.907	11.044	17.918	-	-
	25/9/62	1,734.310	2,853.417	119.764	13.237	1,219.635	-	14.831	1,386.138	16.177	1.200	8.991	15.395	3,348.364	10,731.460
51.5 เมตร	26/9/62	2,535.652	2,998.618	83.366	18.179	1,603.730	-	14.220	1,707.197	33.205	3.426	7.119	25.604	2,693.831	11,724.149
	27/9/62	1,983.599	3,219.531	38.129	17.749	1,852.559	8.229	18.399	428.691	30.698	1.623	11.309	25.310	3,148.519	10,784.342
	28/9/62	1,799.634	2,868.554	26.825	14.376	1,351.376	3.427	15.607	338.690	30.254	2.593	7.852	24.918	2,792.074	9,276.179
	29/9/62	1,855.938	3,528.061	35.850	19.432	1,764.135	4.986	26.761	597.529	40.129	2.943	14.004	43.690	3,077.364	11,010.822
	23/9/62	1,099.921	2,941.799	64.845	6.888	827.818	12.682	14.636	1,242.357	5.669	0.530	11.239	7.686	-	-
	24/9/62	1,355.145	2,951.735	72.144	9.011	796.509	6.178	7.907	1,415.475	12.960	1.005	6.342	11.059	3,212.202	9,857.672
	25/9/62	2,086.745	3,221.205	84.944	17.431	1,483.788	8.292	10.980	1,411.025	27.197	1.914	8.313	19.799	3,819.608	12,201.240
	26/9/62	1,739.897	2,883.400	74.234	12.288	1,015.846	6.675	10.924	1,523.873	12.597	1.119	7.518	15.159	3,126.225	10,429.756
	27/9/62	1,716.689	3,498.662	39.638	18.234	1,889.321	6.360	18.200	435.616	32.989	1.551	10.919	26.049	2,801.202	10,495.431
	28/9/62	1,831.881	3,247.782	32.823	14.977	1,561.726	3.826	15.064	329.064	32.855	2.667	11.836	27.497	3,188.123	10,300.123
29/9/62	2,075.380	3,769.885	35.945	16.773	2,023.050	5.783	27.425	610.099	40.638	3.299	13.369	46.451	2,517.309	11,185.406	

หมายเหตุ: ND = Not Detected

ตารางที่ ฅ-2 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคารในเดือนกันยายน 2562 (นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่	Mg	K	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Ba	Pb	Ca	โลหะรวม
4.5 เมตร	23/9/62	677.622	2,275.029	212.188	13.098	404.227	28.206	5.005	1,033.634	ND	2.104	45.962	23.687	47,253.857	51,974.619
	24/9/62	569.309	1,851.691	242.426	28.572	460.533	14.914	25.798	865.536	6.679	3.727	73.346	43.919	55,345.315	59,531.766
	25/9/62	-	3,318.287	307.183	-	941.683	25.861	24.951	1,741.391	17.947	5.478	86.924	48.691	-	-
	26/9/62	1,265.455	2,417.724	292.966	37.592	519.460	32.851	21.017	1,157.626	3.760	2.386	123.108	39.145	81,096.264	87,009.353
	27/9/62	526.488	3,690.695	240.391	37.524	792.629	58.415	41.461	1,537.212	10.388	1.129	108.984	37.180	9,803.061	16,885.557
	28/9/62	387.000	2,018.458	210.116	29.097	617.124	27.545	24.299	901.582	9.236	1.388	68.265	33.618	4,112.469	8,440.196
	29/9/62	283.456	2,544.550	215.216	26.420	451.026	25.503	43.503	978.842	13.474	2.515	70.546	44.946	4,228.679	8,928.675
	23/9/62	429.904	1,464.091	274.793	15.204	462.802	22.754	19.466	1,137.668	3.231	2.483	44.176	32.071	46,253.548	50,162.190
	24/9/62	-	1,530.307	208.941	-	686.493	10.351	19.564	816.636	6.749	2.556	46.854	18.643	-	-
51.5 เมตร	25/9/62	959.534	2,250.954	237.711	28.172	488.294	22.880	17.158	1,153.997	10.624	3.302	64.108	33.388	44,755.230	50,025.351
	26/9/62	593.024	1,642.149	218.666	18.645	277.648	21.768	11.393	984.451	4.161	2.112	52.963	32.473	62,157.272	66,016.725
	27/9/62	319.562	1,482.721	188.088	26.000	476.383	20.043	21.565	859.696	7.371	1.247	50.658	21.375	22,166.638	25,641.347
	28/9/62	271.626	1,810.942	175.033	23.163	335.863	17.895	17.253	800.712	11.644	1.704	61.777	29.154	6,055.412	9,612.177
	29/9/62	236.946	2,678.674	185.912	24.540	481.453	19.282	21.440	884.788	12.061	1.853	55.940	37.521	4,306.345	8,946.756
	23/9/62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
138.5 เมตร	24/9/62	1,352.388	2,014.916	313.405	68.774	-	21.647	68.210	951.084	9.508	2.728	70.732	27.975	-	-
	25/9/62	399.498	2,036.526	228.242	26.222	437.184	18.499	52.587	755.192	10.936	3.092	42.508	30.787	33,331.201	37,372.474
	26/9/62	479.979	1,488.725	137.825	18.894	425.756	29.247	29.353	1,104.975	2.695	1.266	92.866	14.953	5,002.887	8,829.423
	27/9/62	542.393	964.891	258.664	16.320	351.274	51.282	24.926	1,272.519	ND	ND	99.986	8.205	12,790.142	16,380.601
	28/9/62	370.661	1,972.567	214.497	28.418	539.549	18.020	-	895.659	13.439	2.457	64.902	36.680	5,401.142	9,557.992
	29/9/62	373.330	2,672.052	175.532	31.602	531.412	68.194	39.062	1,124.354	13.274	2.802	78.179	47.247	4,059.189	9,216.230
	29/9/62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ: ND = Not Detected

ตารางที่ ฅ-3 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคารในเดือนมกราคม 2563 (นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่	Mg	K	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Ba	Pb	Ca	โลหะรวม	
4.5 เมตร	13/1/63	71.962	811.560	1.532	8.084	155.339	2.503	8.902	194.110	1.258	0.345	4.413	8.888	996.384	2,265.281	
	14/1/63	36.382	321.119	1.530	5.355	89.334	0.755	4.182	36.112	0.877	0.263	1.813	3.934	137.060	638.715	
	15/1/63	44.679	497.751	3.457	5.264	104.116	1.082	4.225	43.351	1.011	0.271	3.127	4.787	1,204.770	1,917.892	
	16/1/63	37.637	429.659	2.860	6.641	100.531	1.048	4.317	54.548	1.124	0.367	1.908	4.981	217.069	862.689	
	17/1/63	40.297	572.524	3.592	5.936	111.894	1.187	6.579	49.160	1.368	0.288	3.195	5.743	190.285	992.045	
	18/1/63	78.691	871.811	6.520	9.201	193.642	3.185	8.051	130.081	1.920	0.423	3.661	7.963	250.918	1,566.068	
	19/1/63	75.946	993.200	4.950	5.166	164.228	2.070	7.579	145.232	1.122	0.432	3.584	9.122	532.226	1,944.859	
	13/1/63	-	877.694	1.516	11.911	182.220	4.282	8.265	-	-	1.482	0.852	6.526	9.179	-	-
	14/1/63	32.141	341.578	1.819	5.554	83.593	4.044	3.352	45.750	1.303	0.397	1.789	4.041	225.942	751.302	
	15/1/63	40.076	493.834	3.719	5.185	108.262	-	3.718	77.703	1.211	0.470	3.154	4.624	453.684	1,195.639	
51.5 เมตร	16/1/63	31.202	362.736	2.022	5.621	89.093	ND	2.143	64.953	1.032	0.313	1.473	4.015	220.343	784.947	
	17/1/63	39.774	555.760	2.807	5.849	106.871	1.135	4.172	60.836	1.246	0.232	2.979	5.225	225.637	1,012.522	
	18/1/63	80.603	917.048	5.313	9.551	201.676	1.813	7.015	122.264	2.106	0.512	3.663	8.570	197.679	1,557.814	
	19/1/63	71.588	971.309	3.849	5.562	164.462	1.909	6.854	69.497	0.725	0.453	3.576	8.718	1,310.259	2,618.762	
	13/1/63	82.433	819.492	4.682	8.537	126.994	2.264	8.045	361.727	1.424	0.533	4.000	7.771	1,658.211	3,086.113	
	14/1/63	22.959	270.389	1.481	4.402	67.444	0.166	4.670	40.691	0.814	0.306	1.239	3.152	94.353	512.068	
	15/1/63	28.682	463.905	2.511	4.756	86.775	0.795	3.872	39.783	0.974	0.273	2.473	4.111	162.150	801.059	
	16/1/63	33.882	400.078	2.986	5.893	91.028	2.156	3.144	66.512	0.967	0.306	1.599	4.465	179.143	792.159	
	17/1/63	79.599	1,012.135	3.201	10.617	178.302	2.457	7.636	126.159	2.630	0.442	4.415	10.239	738.704	2,176.536	
	18/1/63	62.355	842.171	4.986	8.603	170.929	1.976	5.807	65.572	1.868	0.519	2.801	7.569	107.220	1,282.376	
19/1/63	51.762	903.039	3.085	4.508	128.202	2.068	6.194	79.432	0.988	0.498	2.515	8.192	451.729	1,642.212		

หมายเหตุ: ND = Not Detected

ตารางที่ ฅ-4 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคารในเดือนมกราคม 2563 (นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่	Mg	K	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Ba	Pb	Ca	โลหะรวม	
4.5 เมตร	13/1/63	30.019	770.683	36.307	9.755	167.943	3.245	4.083	447.003	1.149	0.610	0.847	9.748	547.350	2,028.743	
	14/1/63	86.528	856.021	61.590	8.116	144.065	5.187	6.241	400.224	1.232	ND	0.904	7.788	-	-	
	15/1/63	4.212	283.020	62.421	1.937	74.763	9.175	5.305	357.573	ND	ND	ND	3.644	1,518.174	2,320.224	
	16/1/63	33.827	755.387	50.226	9.011	187.086	-	5.546	441.215	1.618	ND	2.161	9.382	1,308.089	2,803.548	
	17/1/63	63.993	983.038	78.474	8.709	186.313	3.283	6.534	543.626	2.393	ND	3.557	9.294	3,407.057	5,296.272	
	18/1/63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19/1/63	17.771	830.481	60.241	3.946	119.271	1.461	10.744	319.834	ND	ND	1.792	6.677	214.131	1,586.348	
51.5 เมตร	13/1/63	50.769	1,035.674	24.791	5.514	53.803	1.976	1.769	425.811	ND	ND	1.012	8.299	1,181.858	2,791.274	
	14/1/63	93.234	701.320	69.007	17.897	198.988	1.516	8.024	448.621	1.035	ND	32.656	8.662	2,158.287	3,739.247	
	15/1/63	12.999	601.952	41.815	4.656	80.933	9.515	6.048	341.047	0.857	ND	3.784	9.529	822.384	1,935.519	
	16/1/63	9.869	415.857	62.414	4.321	83.993	11.875	3.239	425.871	1.233	ND	ND	5.071	2,264.803	3,288.546	
	17/1/63	41.147	828.903	66.528	5.040	91.121	4.755	6.439	415.731	1.822	ND	1.369	7.724	2,437.749	3,908.327	
	18/1/63	28.800	780.837	51.202	6.082	126.893	13.769	4.840	457.962	ND	ND	1.389	9.338	3,118.279	4,599.391	
	19/1/63	9.942	799.801	61.527	3.815	77.561	0.796	10.155	353.111	ND	ND	1.008	4.181	233.363	1,555.259	
138.5 เมตร	13/1/63	85.323	1,099.704	63.643	5.936	157.772	5.333	6.518	537.938	ND	ND	29.958	9.147	1,624.579	3,625.851	
	14/1/63	91.289	841.603	63.183	9.107	163.352	4.235	5.546	441.882	ND	ND	30.153	10.159	1,302.949	2,963.459	
	15/1/63	25.636	896.408	60.527	8.806	169.566	10.816	7.055	364.477	1.513	ND	3.605	7.679	1,239.449	2,795.536	
	16/1/63	36.537	639.602	55.053	7.703	156.282	3.873	6.384	372.875	ND	ND	3.099	7.409	714.412	2,003.230	
	17/1/63	93.987	1,147.254	60.589	10.462	193.214	12.214	9.182	620.853	1.646	ND	4.333	13.618	-	-	
	18/1/63	16.448	732.978	51.478	6.837	150.176	5.348	3.234	342.271	ND	ND	1.751	4.102	530.389	1,845.012	
	19/1/63	9.833	211.966	51.782	1.860	82.707	3.815	1.981	686.989	ND	ND	ND	ND	644.349	1,695.282	

หมายเหตุ: ND = Not Detected

ตารางที่ ฅ-5 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ภายนอกอาคารในเดือนมีนาคม 2563 (นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่	Mg	K	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Ba	Pb	Ca	โลหะรวม
4.5 เมตร	2/3/63	105.675	579.641	3.722	5.061	117.615	3.258	3.581	145.448	0.586	0.412	1.917	4.268	460.062	1,431.247
	3/3/63	69.296	194.090	2.621	3.438	79.155	1.168	4.536	73.448	0.710	ND	1.064	2.548	886.459	1,318.530
	4/3/63	79.460	286.324	6.398	2.959	93.296	1.648	5.876	157.786	0.803	ND	1.340	3.153	571.544	1,210.586
	5/3/63	44.030	129.467	3.676	1.593	53.744	1.124	2.142	151.823	0.425	ND	0.435	1.050	866.952	1,256.462
	6/3/63	83.367	393.671	1.448	4.818	108.274	1.922	4.869	42.817	2.053	ND	2.683	3.204	40.731	689.858
	7/3/63	54.742	205.448	0.767	2.570	71.320	1.230	2.598	70.206	0.438	ND	1.010	1.915	549.931	962.175
	8/3/63	64.902	294.864	2.332	4.664	93.830	1.773	3.427	41.318	0.656	ND	1.576	2.449	34.727	546.518
	2/3/63	70.184	400.304	-	8.540	135.658	4.284	2.457	-	0.942	ND	1.289	0.577	397.175	1,021.409
51.5 เมตร	3/3/63	49.884	282.931	2.480	3.815	103.407	1.022	1.455	57.337	2.210	ND	1.250	1.071	224.886	731.549
	4/3/63	74.291	363.988	2.638	4.602	130.253	0.986	2.566	68.255	1.678	ND	1.285	1.628	701.524	1,353.693
	5/3/63	71.441	412.723	2.265	1.887	122.581	0.840	1.647	70.879	3.203	ND	1.723	1.658	312.369	1,003.214
	6/3/63	85.452	530.672	2.572	2.440	104.688	1.552	2.733	64.678	4.124	ND	0.851	2.183	186.415	988.360
	7/3/63	84.695	587.519	2.537	2.423	120.053	1.114	3.087	64.736	2.115	ND	1.197	1.280	471.957	1,342.714
	8/3/63	94.259	814.854	2.684	5.880	148.922	2.399	2.856	64.807	2.068	ND	1.472	6.303	28.684	1,175.188
	2/3/63	82.839	388.387	2.837	1.733	104.409	1.986	2.502	60.852	1.194	0.229	1.387	2.289	730.609	1,381.253
	3/3/63	32.887	126.117	0.769	3.634	48.283	1.215	2.031	12.649	0.466	ND	0.332	1.388	82.564	312.336
138.5 เมตร	4/3/63	62.078	229.450	1.731	5.561	66.804	1.078	2.501	37.122	0.806	ND	0.859	2.518	299.391	709.899
	5/3/63	68.976	240.035	2.432	3.792	83.616	1.336	2.787	66.509	0.944	ND	1.362	1.970	477.896	951.656
	6/3/63	54.728	270.889	1.037	5.050	65.879	1.419	2.847	40.139	1.377	ND	1.476	2.071	165.611	612.523
	7/3/63	74.694	664.449	6.259	7.571	171.522	3.347	6.081	167.454	1.104	0.287	4.237	10.575	325.350	1,442.932
	8/3/63	59.718	592.978	2.678	13.805	150.627	3.278	5.208	49.422	1.137	0.186	3.003	9.858	55.053	946.950

หมายเหตุ: ND = Not Detected

ตารางที่ ฅ-6 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ภายในอาคารในเดือนมีนาคม 2563 (นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่	Mg	K	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Ba	Pb	Ca	โลหะรวม
4.5 เมตร	2/3/63	54.939	-	59.459	3.804	-	4.759	-	693.442	ND	ND	-	0.847	483.503	1,300.753
	3/3/63	44.609	165.954	60.178	2.824	118.920	0.575	1.191	646.452	0.938	ND	1.314	ND	392.377	1,435.333
	4/3/63	98.154	231.370	22.502	3.916	42.785	4.272	2.856	771.411	ND	ND	2.521	2.993	1,002.668	2,185.447
	5/3/63	35.418	2.840	2.303	0.568	ND	0.669	1.722	20.268	ND	ND	ND	ND	376.390	440.180
	6/3/63	28.743	3.273	2.323	0.573	13.901	0.866	1.920	13.665	ND	ND	0.664	0.750	453.501	520.178
	7/3/63	38.071	2.869	2.957	0.574	30.656	1.652	2.059	5.165	ND	ND	0.884	0.746	95.775	181.406
	8/3/63	29.435	2.869	12.574	0.574	27.434	3.200	1.325	23.295	ND	ND	0.826	0.790	169.554	271.875
	2/3/63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51.5 เมตร	3/3/63	8.882	47.332	39.702	0.573	23.493	0.573	0.573	594.963	ND	ND	ND	1.987	281.261	939.339
	4/3/63	15.062	70.335	51.629	1.319	64.626	2.285	1.809	654.664	ND	ND	ND	0.610	501.693	1,364.032
	5/3/63	20.858	19.693	4.689	0.569	17.306	2.785	2.807	3.674	ND	ND	0.691	0.601	44.551	118.224
	6/3/63	30.416	22.035	2.840	0.664	13.894	1.187	2.138	12.618	ND	ND	1.074	0.682	249.193	336.742
	7/3/63	30.278	2.855	7.518	0.571	8.052	2.182	1.607	4.959	ND	ND	0.707	1.595	142.884	203.208
	8/3/63	28.058	4.628	2.339	0.577	10.336	1.927	3.552	25.906	ND	ND	0.694	ND	917.227	995.244
	2/3/63	18.030	246.552	48.344	1.871	48.279	2.504	2.448	603.012	ND	ND	ND	2.609	231.804	1,205.453
	3/3/63	43.339	220.697	33.490	2.695	94.906	-	1.128	686.572	ND	ND	1.435	1.387	-	1,085.649
138.5 เมตร	4/3/63	35.067	155.357	33.917	1.997	52.432	4.686	1.454	661.875	ND	ND	1.222	1.544	781.087	1,730.637
	5/3/63	34.776	10.909	2.289	0.565	13.461	0.791	1.521	7.717	ND	ND	ND	0.761	64.009	136.799
	6/3/63	21.862	11.733	2.277	0.562	13.610	0.973	1.181	6.245	ND	ND	0.743	ND	117.016	176.202
	7/3/63	12.114	2.854	2.314	0.571	2.217	0.571	1.325	4.744	ND	ND	0.661	2.142	87.923	117.435
	8/3/63	44.800	2.846	2.307	0.569	10.400	0.569	-	10.222	ND	ND	1.662	ND	99.072	172.447

หมายเหตุ: ND = Not Detected

ตารางที่ ฅ-7 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารนอกเดือนกันยายน 2562 (นาเ้การัน้ต่อลูกบาศก์เมตร)

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่	Mg	K	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Ba	Pb	Ca	โลหะรวม	
4.5 เมตร	23/9/62	58.727	59.910	-	2.438	136.378	8.688	2.885	65.821	ND	ND	6.733	1.637	1,367.768	1,710.986	
	24/9/62	82.941	63.224	3.006	3.877	184.403	3.982	2.611	36.428	ND	ND	8.387	2.294	1,333.873	1,725.024	
	25/9/62	60.000	40.118	1.932	2.778	131.943	1.426	3.167	19.267	ND	ND	6.288	2.126	863.593	1,132.638	
	26/9/62	81.790	64.123	17.424	3.795	193.085	0.983	ND	78.728	0.250	ND	11.317	2.068	684.753	1,138.316	
	27/9/62	116.409	94.425	15.493	6.188	302.002	0.430	0.341	109.099	0.242	ND	16.943	4.698	2,517.231	3,183.502	
	28/9/62	132.278	163.351	2.380	6.910	256.851	4.202	5.512	35.715	0.341	ND	10.541	5.457	1,414.122	2,037.659	
	29/9/62	572.641	1,149.151	9.096	29.473	481.683	4.987	10.305	138.911	0.301	0.236	17.321	7.902	1,602.071	4,024.076	
	51.5 เมตร	23/9/62	57.479	61.842	1.750	2.037	102.514	3.294	3.863	103.617	ND	ND	6.983	1.492	1,560.680	1,905.551
		24/9/62	125.378	119.988	2.883	6.489	263.443	4.635	5.568	53.514	ND	ND	9.078	3.918	1,959.525	2,554.419
		25/9/62	128.844	137.415	4.218	6.564	287.166	1.131	4.426	32.921	0.326	ND	15.226	4.006	1,560.716	2,182.959
26/9/62		114.292	94.412	4.206	4.928	258.230	2.186	2.274	-	ND	ND	11.782	2.993	1,462.108	1,957.409	
27/9/62		136.277	118.983	3.305	7.144	268.727	2.094	7.386	64.440	0.262	ND	18.760	5.788	1,870.055	2,503.220	
28/9/62		202.047	292.535	6.131	9.699	362.359	4.369	5.095	35.140	0.503	ND	12.294	5.463	1,138.436	2,074.072	
29/9/62		402.253	798.875	10.557	20.676	743.269	7.000	6.325	75.793	0.789	ND	13.555	6.782	1,800.224	3,886.098	
138.5 เมตร		23/9/62	24.397	42.605	11.824	2.743	90.809	0.319	7.734	73.340	ND	ND	5.878	2.100	490.671	752.422
		24/9/62	104.572	96.629	2.156	5.352	243.926	2.865	3.508	15.186	0.367	ND	5.065	2.930	1,154.406	1,636.962
		25/9/62	99.392	90.077	15.455	4.644	229.032	1.317	ND	76.150	ND	ND	9.782	6.441	984.564	1,516.855
	26/9/62	93.034	61.835	2.856	4.275	216.691	0.550	0.604	26.209	0.280	ND	10.687	2.529	1,227.417	1,646.968	
	27/9/62	137.594	114.650	3.368	6.716	279.354	4.370	4.814	48.718	0.365	ND	15.291	5.981	1,631.613	2,252.834	
	28/9/62	293.910	372.768	6.483	13.289	445.705	5.421	7.409	57.257	0.488	ND	12.366	4.426	3,188.123	4,407.645	
	29/9/62	314.151	619.546	9.563	16.753	589.284	3.089	5.453	131.210	0.834	ND	14.337	5.535	1,608.784	3,318.539	

หมายเหตุ: ND = Not Detected

ตารางที่ ฅ-8 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายในอาคารในเดือนกันยายน 2562 (นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่	Mg	K	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Ba	Pb	Ca	โลหะรวม	
4.5 เมตร	23/9/62	201.408	770.707	63.028	5.197	324.957	179.933	11.843	265.436	ND	ND	8.036	49.253	2,840.946	4,720.743	
	24/9/62	319.698	602.763	54.915	8.382	237.445	141.981	2.141	131.638	ND	ND	43.266	76.451	1,185.014	2,803.693	
	25/9/62	113.344	631.178	39.284	4.160	-	23.731	ND	123.663	ND	ND	15.571	32.743	1,367.881	2,351.555	
	26/9/62	147.989	522.919	15.387	1.449	347.217	60.998	-	127.476	ND	1.058	23.777	128.478	673.211	2,049.959	
	27/9/62	686.641	1,196.928	33.590	17.291	552.653	131.869	5.490	60.308	1.913	3.119	41.357	33.204	-	2,764.363	
	28/9/62	701.213	599.403	25.486	11.132	444.952	40.158	7.084	9.897	ND	ND	26.879	24.671	1,177.067	3,067.942	
	29/9/62	110.638	560.553	30.761	3.385	106.114	47.159	0.573	159.601	ND	1.552	11.216	39.951	183.543	1,255.045	
	5.15 เมตร	23/9/62	382.594	1,061.171	95.422	21.052	505.214	103.811	22.659	268.658	ND	1.662	63.765	-	3,946.974	6,462.981
		24/9/62	384.325	1,002.458	75.978	1.881	108.191	128.718	-	386.302	ND	ND	50.627	41.159	4,661.738	6,841.376
		25/9/62	123.218	503.300	64.062	2.059	386.868	41.959	ND	122.927	ND	ND	43.230	25.538	1,382.647	2,695.808
26/9/62		317.500	688.960	32.939	15.853	779.465	67.073	18.384	82.262	ND	ND	34.529	158.786	2,730.039	4,925.790	
27/9/62		387.623	398.057	3.569	6.402	268.979	29.090	1.240	229.124	ND	ND	16.531	14.620	805.307	2,160.541	
28/9/62		691.771	546.060	100.797	10.895	285.287	77.152	21.563	43.488	ND	ND	25.442	ND	-	-	
29/9/62		619.991	818.115	29.733	8.672	374.074	8.408	ND	168.074	ND	1.899	22.815	29.395	3,703.144	5,784.320	
138.5 เมตร		23/9/62	82.314	537.054	47.678	3.463	149.235	6.726	9.849	1.071	ND	ND	13.331	83.468	245.305	1,179.493
		24/9/62	631.147	671.648	42.543	15.774	645.074	43.124	1.797	30.514	1.108	ND	30.207	47.015	1,886.743	4,046.693
		25/9/62	66.255	865.157	53.574	ND	-	39.900	19.639	134.848	ND	ND	16.057	13.217	821.620	2,030.269
	26/9/62	470.817	768.867	154.430	10.220	636.843	-	ND	372.758	1.221	ND	33.134	115.081	1,865.239	4,428.611	
	27/9/62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	28/9/62	866.645	854.269	30.640	19.838	688.665	3.317	9.081	53.204	ND	ND	37.965	32.218	4,354.002	6,949.844	
29/9/62	867.662	659.609	25.336	20.124	765.336	1.553	15.008	85.110	1.707	ND	42.950	10.053	4,320.455	6,814.902		

หมายเหตุ: ND = Not Detected

ตารางที่ ฅ-9 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารนอกเตื่อนกรมการคัม 2563 (นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่	Mg	K	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Ba	Pb	Ca	โลหะรวม
4.5 เมตร	13/1/63	537.314	942.384	43.388	20.606	714.874	4.543	5.092	264.842	0.438	ND	13.325	6.347	840.761	3,393.913
	14/1/63	1,081.139	2,194.832	44.128	30.161	937.060	6.011	11.401	1,001.771	0.779	ND	21.031	3.385	1,748.930	7,080.629
	15/1/63	1,225.276	2,625.843	61.024	42.170	1,477.601	4.758	9.297	720.597	1.059	ND	1.228	3.595	1,444.586	7,617.034
	16/1/63	2,051.540	2,761.452	-	66.859	1,767.235	-	7.342	813.570	1.310	0.199	9.661	3.408	581.720	8,064.295
	17/1/63	2,466.319	2,676.518	75.378	77.626	590.877	12.324	11.474	883.511	1.810	-	2.552	3.090	588.160	7,389.637
	18/1/63	1,704.144	2,751.944	27.075	56.270	1,202.726	6.962	3.039	570.245	1.095	ND	5.924	3.383	546.027	6,878.835
	19/1/63	2,556.720	2,865.976	60.355	96.310	611.113	4.037	9.004	760.574	1.502	ND	7.741	2.933	2,224.031	9,200.296
	13/1/63	597.224	1,151.516	43.926	20.678	721.575	2.659	3.125	342.869	0.347	ND	12.673	1.801	880.645	3,779.037
	14/1/63	967.257	1,585.856	24.017	30.582	677.995	0.748	7.828	682.929	ND	0.227	6.998	3.017	152.751	4,140.205
	15/1/63	1,318.652	2,513.038	51.037	46.424	1,630.108	1.217	10.062	556.714	0.909	ND	1.897	2.749	511.307	6,644.115
51.5 เมตร	16/1/63	1,870.568	2,628.238	56.628	53.828	1,600.086	15.984	6.563	744.872	1.172	ND	7.805	2.913	443.285	7,431.942
	17/1/63	2,537.546	2,764.066	66.621	80.318	585.620	12.616	10.524	748.702	1.903	0.261	2.193	2.928	444.156	7,257.454
	18/1/63	2,570.431	2,691.367	63.028	88.530	562.534	3.338	8.576	847.276	1.662	ND	8.207	2.459	818.242	7,665.650
	19/1/63	2,737.299	2,693.790	63.988	107.054	558.067	4.465	8.275	980.303	1.775	0.178	7.850	2.504	761.193	7,926.740
	13/1/63	500.091	1,005.841	55.910	14.051	469.231	13.714	1.922	269.126	ND	ND	8.874	1.576	914.197	3,254.532
	14/1/63	946.030	1,799.646	40.842	23.645	728.116	9.281	7.790	653.972	0.447	ND	5.880	1.383	-	4,217.031
	15/1/63	1,162.735	2,551.396	47.876	33.418	1,086.021	6.976	6.125	604.882	0.517	ND	8.331	2.024	175.149	5,685.450
	16/1/63	1,400.703	2,411.221	48.917	35.703	1,034.936	6.297	4.773	651.967	0.857	0.175	5.974	2.191	38.589	5,642.303
	17/1/63	2,142.005	2,596.925	62.765	54.011	1,706.820	14.878	9.251	749.468	1.411	0.189	8.941	0.181	452.502	7,799.349
	18/1/63	1,869.208	2,557.659	25.117	52.023	1,118.267	1.303	1.657	865.061	0.633	0.204	5.121	1.495	504.392	7,002.141
19/1/63	1,857.965	2,477.238	62.073	61.028	1,869.555	3.573	7.968	932.784	1.283	ND	4.715	2.509	490.078	7,770.770	

หมายเหตุ: ND = Not Detected

ตารางที่ ฅ-10 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายในอาคารในเดือนมกราคม 2563 (นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่	Mg	K	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Ba	Pb	Ca	โลหะรวม
4.5 เมตร	514.937	818.857	5.822	7.004	300.125	23.345	15.178	187.884	ND	-	41.338	-	2,570.852	4,485.342	514.937
	470.655	582.197	33.532	14.427	433.808	14.607	14.675	2.662	1.054	ND	22.025	3.369	1,958.217	3,551.228	470.655
	323.256	526.926	21.123	11.507	358.164	16.812	6.372	42.378	ND	ND	12.824	2.435	636.711	1,958.507	323.256
	435.693	556.183	12.869	12.962	342.875	17.888	-	208.896	ND	ND	17.107	8.399	379.836	1,992.709	435.693
	517.045	515.606	23.209	15.328	509.160	16.039	3.291	96.932	ND	ND	24.922	5.630	475.524	2,202.686	517.045
	453.229	429.758	20.854	18.171	884.552	15.817	9.721	112.857	1.233	ND	9.745	4.634	4,379.333	-	453.229
	254.280	363.368	19.872	12.438	609.745	16.290	8.335	87.673	ND	ND	6.593	3.419	1,414.353	2,796.364	254.280
	534.275	484.446	6.766	23.882	129.771	21.710	1.182	253.012	ND	ND	24.463	-	1,256.896	2,736.403	534.275
	379.191	593.922	-	7.677	186.064	17.063	6.360	157.595	ND	ND	8.705	4.029	1,349.633	2,710.238	379.191
	190.746	273.676	13.441	1.957	51.263	9.888	0.572	163.159	ND	ND	16.449	5.563	1,797.749	2,524.462	190.746
138.5 เมตร	157.164	231.034	17.924	1.409	12.408	15.984	0.580	210.285	ND	ND	4.562	1.169	49.707	702.227	157.164
	87.912	175.485	24.100	0.695	99.867	10.601	-	162.694	ND	ND	1.495	7.347	1,864.719	2,434.916	87.912
	169.612	280.838	21.021	2.985	166.759	6.910	7.146	68.538	ND	ND	3.071	3.181	1,374.589	2,104.651	169.612
	119.609	587.213	12.612	4.278	186.026	22.338	6.116	212.143	ND	ND	2.193	3.797	2,286.937	3,443.261	119.609
	258.957	427.731	23.717	10.243	332.460	40.373	15.684	26.380	ND	ND	18.312	2.517	400.690	1,557.064	258.957
	431.203	480.920	22.437	12.302	354.565	14.724	4.042	81.881	ND	ND	28.583	2.554	1,441.387	2,874.598	431.203
	402.862	604.327	27.034	18.829	643.717	5.760	5.036	189.770	1.718	ND	20.440	7.159	1,275.340	3,201.991	402.862
	487.793	734.717	-	17.466	584.391	39.618	10.977	597.867	ND	ND	17.507	5.670	-	2,496.005	487.793
	368.165	486.359	31.079	17.537	677.459	4.656	17.660	98.127	1.345	ND	14.168	5.802	1,422.546	3,144.904	368.165
	311.936	500.640	35.641	14.570	746.802	8.554	17.961	109.075	ND	ND	9.177	5.087	3,499.218	5,258.661	311.936
72.259	243.642	23.078	3.938	211.871	10.791	-	41.899	ND	ND	2.029	9.884	629.711	1,249.103	72.259	

หมายเหตุ: ND = Not Detected

ตารางที่ ฅ-11 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายนอกอาคารนอกเดือนมีนาคม 2563 (นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่	Mg	K	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Ba	Pb	Ca	โลหะรวม
4.5 เมตร	2/3/63	357.542	2,712.456	84.467	66.953	1,908.251	4.041	6.524	807.108	1.309	ND	5.122	0.171	809.743	6,763.686
	3/3/63	278.280	2,434.176	75.747	38.549	1,194.217	3.932	4.573	913.594	1.191	ND	3.897	0.533	211.703	5,160.393
	4/3/63	366.577	303.952	6.305	7.278	350.124	9.213	7.226	45.812	0.661	ND	3.678	0.635	2,771.000	3,872.461
	5/3/63	257.876	2,458.407	108.631	48.131	1,629.444	3.035	3.720	1,000.694	2.700	ND	4.140	0.373	276.035	5,793.186
	6/3/63	394.453	2,943.134	104.529	68.632	1,823.534	4.822	7.605	1,172.126	2.893	ND	4.754	0.513	2,831.036	9,358.032
	7/3/63	252.100	2,861.748	84.617	53.087	1,623.716	18.993	6.269	1,006.876	1.384	ND	3.671	0.396	542.820	6,455.676
	8/3/63	201.628	2,655.908	85.597	70.305	1,988.334	7.971	7.793	965.925	1.643	ND	5.634	1.120	547.300	6,539.157
	2/3/63	475.843	510.782	28.285	15.439	600.491	11.783	6.678	221.261	0.866	ND	6.106	5.579	1,321.881	-
5.15 เมตร	3/3/63	373.450	2,031.798	130.310	74.072	1,979.775	28.529	6.619	234.569	2.793	ND	3.203	2.261	977.646	5,845.024
	4/3/63	521.416	2,046.865	102.515	80.541	2,098.944	5.023	6.622	337.892	2.460	ND	3.275	2.407	1,413.030	6,620.990
	5/3/63	431.603	2,145.847	99.377	91.640	2,551.245	4.093	9.018	215.640	4.498	ND	4.405	2.198	1,179.376	6,738.939
	6/3/63	555.827	2,171.487	95.008	97.170	2,423.859	6.888	4.663	260.767	3.728	ND	4.681	1.777	1,148.239	6,774.095
	7/3/63	354.656	2,097.236	107.016	90.016	2,612.475	6.685	4.632	212.553	1.641	ND	4.260	1.265	1,006.418	6,498.853
	8/3/63	361.170	2,017.968	110.429	107.305	2,724.162	19.483	11.642	618.985	2.437	ND	5.919	3.538	2,206.576	8,189.614
	2/3/63	239.035	2,678.383	62.705	50.055	1,231.063	4.342	3.703	973.010	1.560	0.176	4.493	0.561	367.809	-
	3/3/63	200.899	2,821.232	97.441	42.837	1,305.177	2.049	4.021	994.131	1.600	ND	4.127	0.248	116.211	5,589.972
138.5 เมตร	4/3/63	231.700	2,628.498	85.700	43.251	1,214.243	3.955	3.366	955.204	1.915	ND	3.209	0.495	149.723	5,321.259
	5/3/63	176.880	2,735.077	23.538	34.659	504.071	5.179	1.361	967.588	1.308	ND	1.921	0.498	769.651	5,221.732
	6/3/63	227.444	2,623.672	72.558	74.632	1,625.373	11.538	6.163	1,165.853	2.091	ND	11.577	0.787	732.330	6,554.019
	7/3/63	239.824	2,464.443	12.554	50.463	1,204.926	0.427	ND	870.472	1.252	ND	2.227	ND	197.175	5,043.762
	8/3/63	357.466	2,797.378	84.442	54.487	1,532.588	2.907	7.132	884.811	1.192	ND	3.899	1.167	241.762	5,969.230

หมายเหตุ: ND = Not Detected

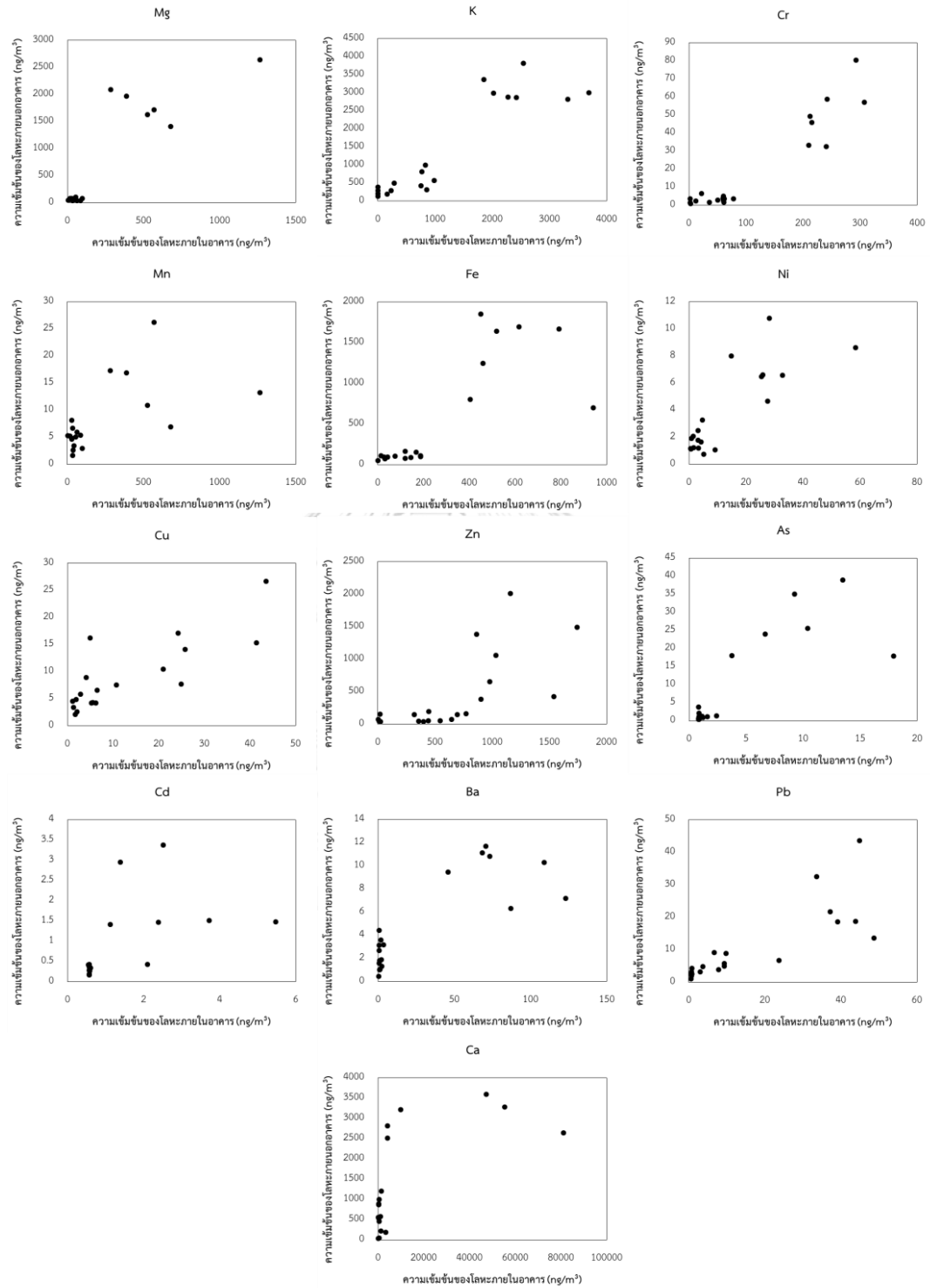
ตารางที่ ฌ-12 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายในอาคารในเดือนมีนาคม 2563 (นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่	Mg	K	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Ba	Pb	Ca	โลหะรวม
4.5 เมตร	2/3/63	481.528	401.910	17.462	8.436	436.217	4.236	4.351	78.497	ND	ND	5.063	2.218	1,036.787	2,476.705
	3/3/63	477.987	398.903	91.731	9.757	559.007	14.721	17.898	289.103	ND	ND	7.013	3.891	3,931.724	5,801.736
	4/3/63	403.856	443.769	54.506	5.482	335.823	12.042	15.642	471.632	ND	ND	4.861	2.530	2,096.287	3,846.430
	5/3/63	417.944	394.072	48.131	6.962	498.284	11.484	14.315	82.240	ND	ND	4.560	3.160	3,329.659	4,810.809
	6/3/63	512.070	542.460	62.320	9.835	595.561	7.374	15.420	190.732	ND	0.649	6.042	-	3,226.596	5,169.060
	7/3/63	498.196	529.873	24.432	13.608	-	18.435	-	233.062	0.950	ND	5.273	3.710	3,243.688	4,571.227
	8/3/63	146.082	136.356	8.118	3.152	30.722	3.221	1.392	106.184	ND	ND	1.327	2.898	862.910	1,302.364
	2/3/63	106.859	15.805	26.816	0.917	92.648	3.994	11.710	102.294	ND	ND	0.577	5.472	1,420.603	1,787.694
	3/3/63	84.413	232.531	47.625	1.535	133.572	6.127	9.466	194.380	ND	ND	1.328	1.871	1,472.533	2,185.381
	4/3/63	84.366	145.647	47.031	1.028	107.684	3.222	3.582	0.576	ND	ND	0.855	3.147	814.384	1,211.522
5.15 เมตร	5/3/63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6/3/63	187.790	412.615	59.479	2.317	197.971	8.854	20.408	94.707	ND	0.574	2.053	2.505	4,389.600	5,378.872
	7/3/63	147.214	300.078	25.496	2.351	101.344	12.889	2.595	341.919	ND	ND	1.438	3.509	4,652.933	5,591.768
	8/3/63	187.921	211.047	56.756	2.461	193.957	3.825	22.500	231.625	ND	ND	1.595	2.585	4,374.277	5,288.550
	2/3/63	653.472	345.115	10.329	12.615	267.307	3.865	3.679	58.723	ND	ND	3.668	4.838	2,945.251	-
	3/3/63	273.029	373.174	60.841	5.226	357.041	9.830	22.660	134.837	ND	-	5.151	4.103	1,057.607	2,303.499
	4/3/63	323.568	343.374	61.860	4.520	277.832	13.054	18.377	431.101	ND	ND	3.598	2.305	3,537.670	5,017.258
	5/3/63	388.794	439.596	68.388	6.948	364.161	11.958	17.023	488.138	ND	ND	4.768	2.195	5,629.598	7,421.566
	6/3/63	315.144	421.038	59.980	5.488	332.519	10.331	16.462	303.504	ND	ND	3.841	2.342	2,131.181	3,601.832
	7/3/63	350.563	700.797	37.148	9.400	445.292	6.023	16.640	115.200	ND	ND	4.253	2.831	2,590.480	4,278.627
8/3/63	316.020	331.318	61.269	5.929	350.043	2.983	10.517	76.315	ND	ND	5.106	1.830	2,724.972	3,886.302	

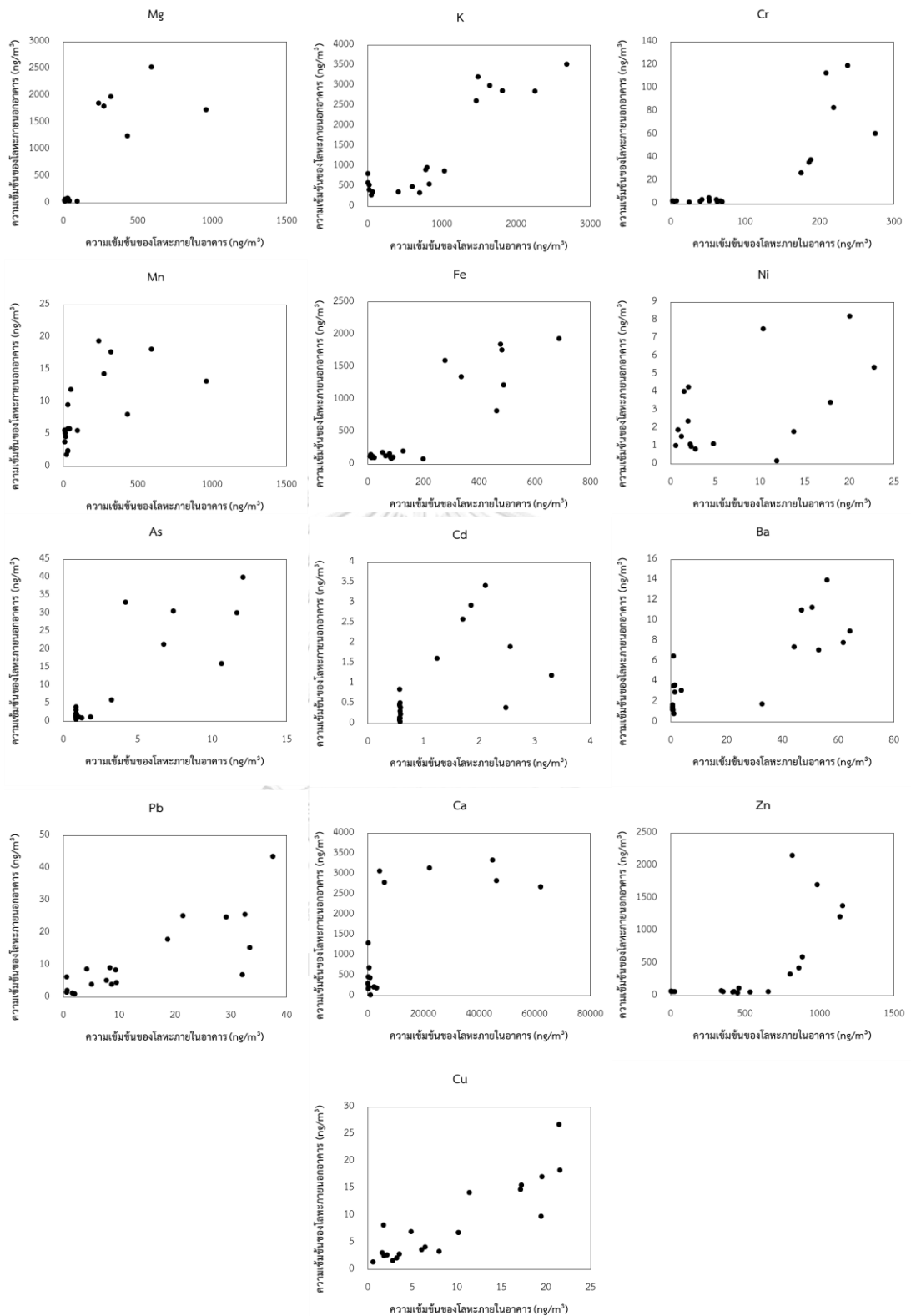
หมายเหตุ: ND = Not Detected

ภาคผนวก ญ

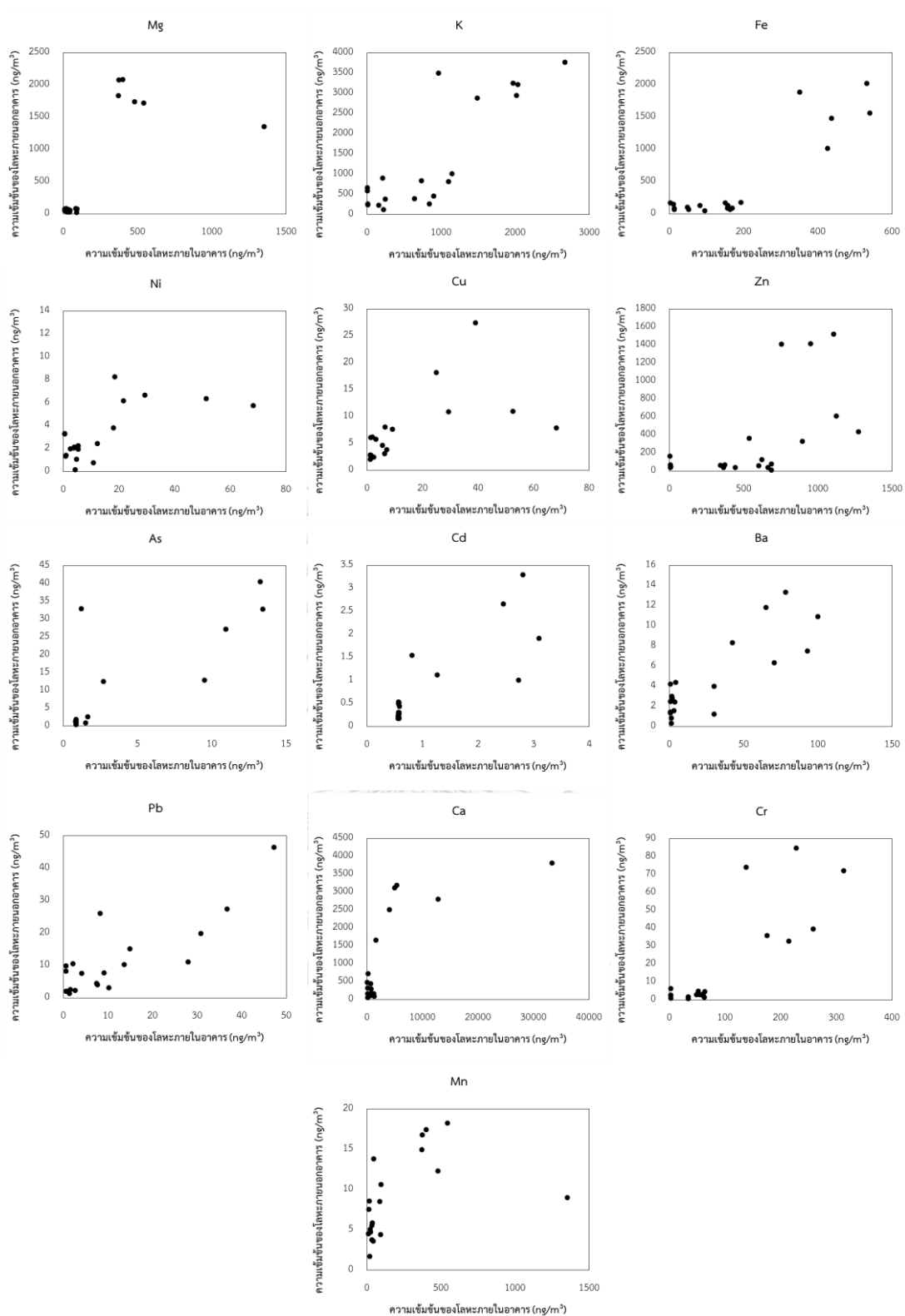
ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร



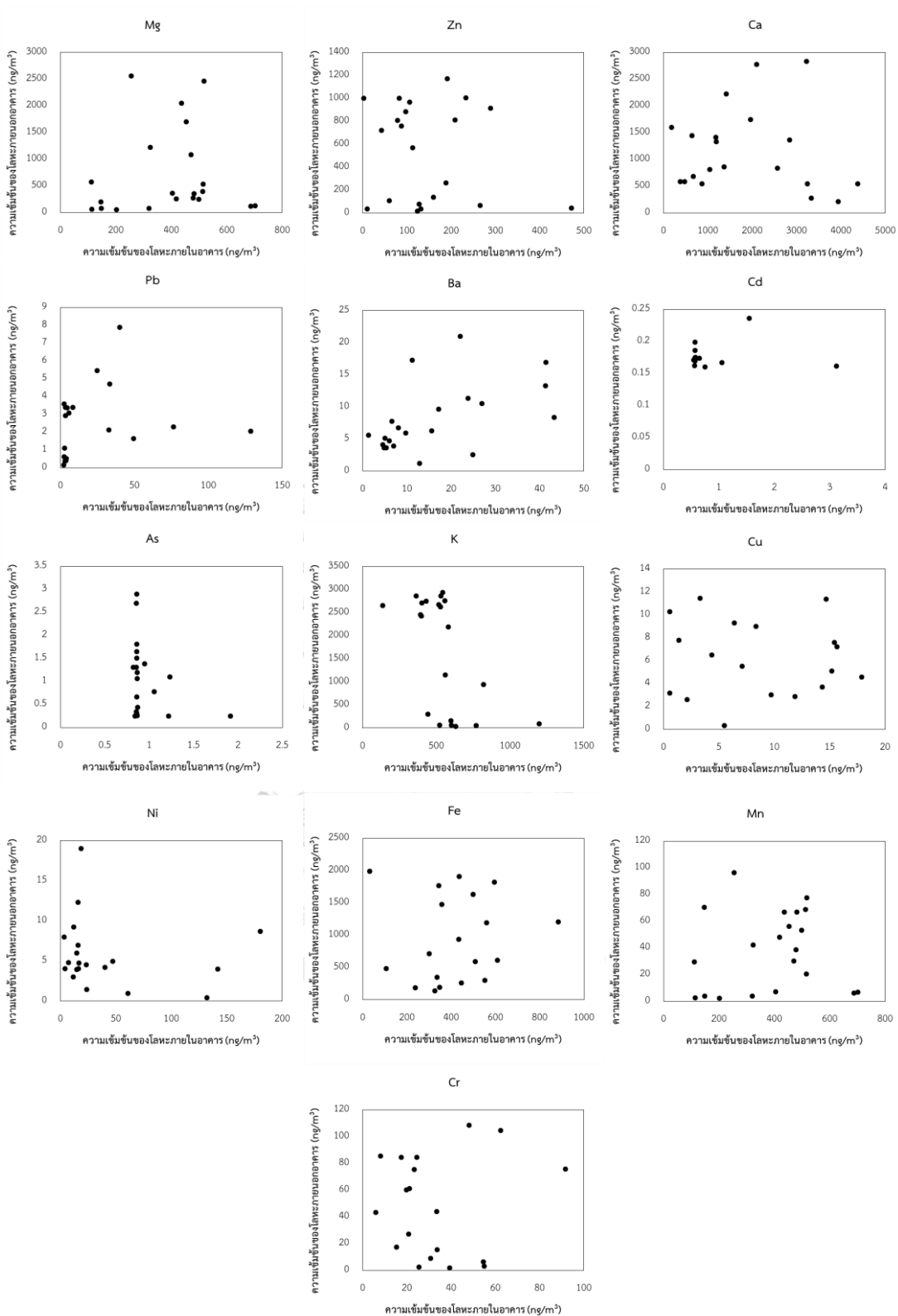
รูปที่ ญ-1 ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร



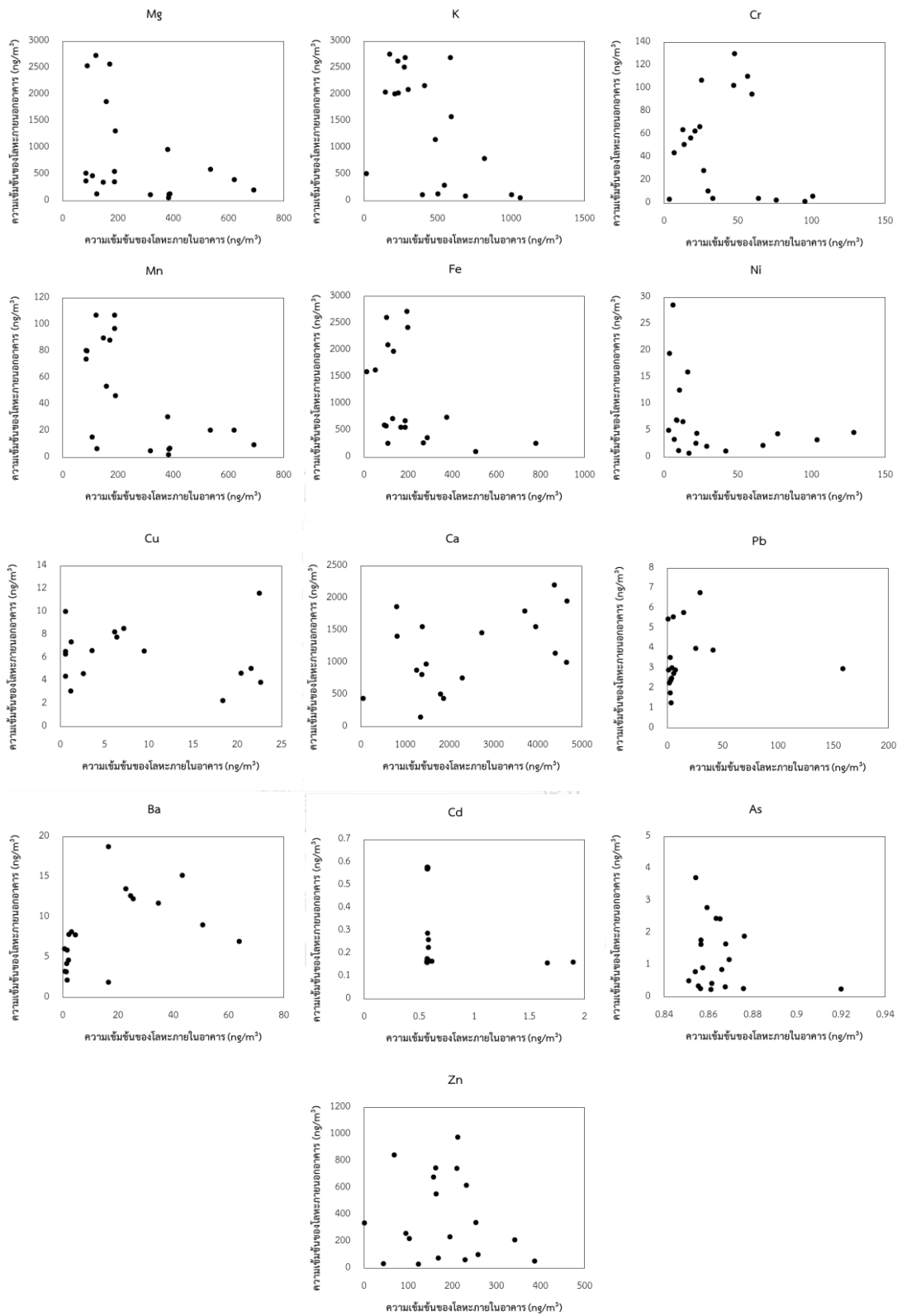
รูปที่ ๒-2 ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 51.5 เมตร



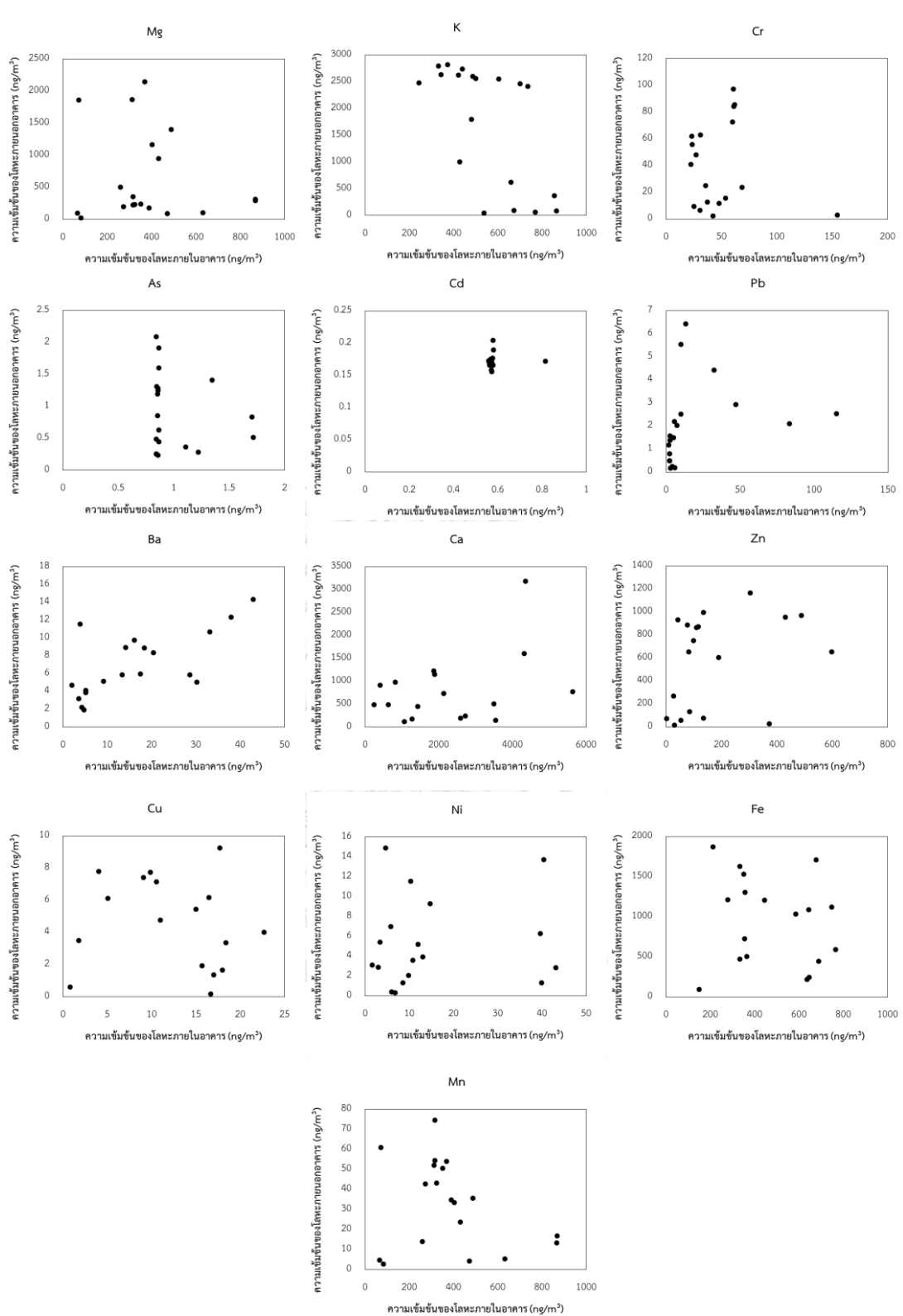
รูปที่ ๓-๓ ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5} ภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 138.5 เมตร



รูปที่ ๓-๔ ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{2.5-10} ภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร



รูปที่ ๕-5 ความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5-10}$ ภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 51.5 เมตร



รูปที่ ๖-6 ความเข้มข้นของโลหะใน $PM_{2.5-10}$ ภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 138.5 เมตร

ภาคผนวก ก
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS

ตารางที่ ก-1 ผลทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} จากเครื่องตรวจวัดแบบอ่านค่าทันที (Real-time) แต่ละเครื่องด้วยสถิติ Pearson correlation

		Correlations			
		NO.1_PM2.5	NO.2_PM2.5	NO.3_PM2.5	NO.4_PM2.5
NO.1_PM2.5	Pearson Correlation	1	.980**	.971**	.980**
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.000
	N	295	295	295	295
NO.2_PM2.5	Pearson Correlation	.980**	1	.981**	.982**
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.000
	N	295	295	295	295
NO.3_PM2.5	Pearson Correlation	.971**	.981**	1	.983**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.000
	N	295	295	295	295
NO.4_PM2.5	Pearson Correlation	.980**	.982**	.983**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	
	N	295	295	295	295

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางที่ ก-2 ผลทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM₁₀ จากเครื่องตรวจวัดแบบอ่านค่าทันที (Real-time) แต่ละเครื่องด้วยสถิติ Pearson correlation

		Correlations			
		NO.1_PM10	NO.2_PM10	NO.3_PM10	NO.4_PM10
NO.1_PM10	Pearson Correlation	1	.935**	.914**	.913**
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.000
	N	295	295	295	295
NO.2_PM10	Pearson Correlation	.935**	1	.919**	.921**
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.000
	N	295	295	295	295
NO.3_PM10	Pearson Correlation	.914**	.919**	1	.920**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.000
	N	295	295	295	295
NO.4_PM10	Pearson Correlation	.913**	.921**	.920**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	
	N	295	295	295	295

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางที่ ฎ-3 ผลทดสอบความแตกต่างของข้อมูลอุณหภูมิตามวิทยาระหว่างช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อนด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

LSD

Dependent Variable	(I) Season	(J) Season	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Temperature	Rainy	Winter	1.15202 [*]	.27128	.000	.6190	1.6851
		Summer	.44891	.27733	.106	-.0960	.9938
	Winter	Rainy	-1.15202 [*]	.27128	.000	-1.6851	-.6190
		Summer	-.70311 [*]	.27530	.011	-1.2441	-.1622
	Summer	Rainy	-.44891	.27733	.106	-.9938	.0960
		Winter	.70311 [*]	.27530	.011	.1622	1.2441
Humidity	Rainy	Winter	-7.25375 [*]	1.28517	.000	-9.7790	-4.7285
		Summer	-5.05701 [*]	1.31380	.000	-7.6385	-2.4755
	Winter	Rainy	7.25375 [*]	1.28517	.000	4.7285	9.7790
		Summer	2.19674	1.30421	.093	-.3659	4.7594
	Summer	Rainy	5.05701 [*]	1.31380	.000	2.4755	7.6385
		Winter	-2.19674	1.30421	.093	-4.7594	.3659
Wind speed	Rainy	Winter	.19593 [*]	.05362	.000	.0906	.3013
		Summer	-.38377 [*]	.05482	.000	-.4915	-.2761
	Winter	Rainy	-.19593 [*]	.05362	.000	-.3013	-.0906
		Summer	-.57970 [*]	.05442	.000	-.6866	-.4728
	Summer	Rainy	.38377 [*]	.05482	.000	.2761	.4915
		Winter	.57970 [*]	.05442	.000	.4728	.6866
Barometer	Rainy	Winter	.72288 [*]	.12708	.000	.4732	.9726
		Summer	1.73453 [*]	.12991	.000	1.4793	1.9898
	Winter	Rainy	-.72288 [*]	.12708	.000	-.9726	-.4732
		Summer	1.01166 [*]	.12896	.000	.7583	1.2651
	Summer	Rainy	-1.73453 [*]	.12991	.000	-1.9898	-1.4793
		Winter	-1.01166 [*]	.12896	.000	-1.2651	-.7583

ตารางที่ ฎ-4 ผลทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี

Gravimetric analysis และ Light scattering ด้วยสถิติ Pearson correlation

Correlations

		Gavimetric_P M2.5_Outdoor	Gavimetric_P M2.5_Indoor	Realtime_PM 2.5_Outdoor	Realtime_PM 2.5_Indoor
Gavimetric_PM2.5_Outdoor	Pearson Correlation	1	.950**	.970**	.965**
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.000
	N	42	42	42	42
Gavimetric_PM2.5_Indoor	Pearson Correlation	.950**	1	.924**	.935**
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.000
	N	42	42	42	42
Realtime_PM2.5_Outdoor	Pearson Correlation	.970**	.924**	1	.969**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.000
	N	42	42	42	42
Realtime_PM2.5_Indoor	Pearson Correlation	.965**	.935**	.969**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	
	N	42	42	42	42

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางที่ ฎ-5 ผลทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM₁₀ ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี

Gravimetric analysis และ Light scattering ด้วยสถิติ Pearson correlation

Correlations

		Gavimetric_P M10_Outdoor	Gavimetric_P M10_Indoor	Realtime_PM 10_Outdoor	Realtime_PM 10_Indoor
Gavimetric_PM10_Outdoor	Pearson Correlation	1	.897**	.931**	.929**
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.000
	N	42	42	42	42
Gavimetric_PM10_Indoor	Pearson Correlation	.897**	1	.868**	.890**
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.000
	N	42	42	42	42
Realtime_PM10_Outdoor	Pearson Correlation	.931**	.868**	1	.969**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.000
	N	42	42	42	42
Realtime_PM10_Indoor	Pearson Correlation	.929**	.890**	.969**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	
	N	42	42	42	42

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางที่ ฎ-6 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis ระหว่างช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน ด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

Dependent Variable: PM2.5

LSD

(I) Season	(J) Season	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Rainy	Winter	-11.78714*	5.46440	.045	-23.2674	-.3069
	Summer	14.54571*	5.46440	.016	3.0654	26.0260
Winter	Rainy	11.78714*	5.46440	.045	.3069	23.2674
	Summer	26.33286*	5.46440	.000	14.8526	37.8131
Summer	Rainy	-14.54571*	5.46440	.016	-26.0260	-3.0654
	Winter	-26.33286*	5.46440	.000	-37.8131	-14.8526

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ฎ-7 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างความเข้มข้นของ PM_{2.5-10} ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis ระหว่างช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน ด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

Dependent Variable: PM2.5_10

LSD

(I) Season	(J) Season	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Rainy	Winter	-2.07429	1.74225	.249	-5.7346	1.5860
	Summer	1.67143	1.74225	.350	-1.9889	5.3318
Winter	Rainy	2.07429	1.74225	.249	-1.5860	5.7346
	Summer	3.74571*	1.74225	.045	.0854	7.4060
Summer	Rainy	-1.67143	1.74225	.350	-5.3318	1.9889
	Winter	-3.74571*	1.74225	.045	-7.4060	-.0854

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ฎ-8 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis ระหว่างความสูงทั้งสามระดับในช่วงฤดูฝน ด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

LSD

Dependent Variable	(I) Floor	(J) Floor	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
PM2.5_Outdoor	Floor 1	Floor 12	.07000	6.88314	.992	-14.3909	14.5309
		Floor 34	.37143	6.88314	.958	-14.0895	14.8324
	Floor 12	Floor 1	-.07000	6.88314	.992	-14.5309	14.3909
		Floor 34	.30143	6.88314	.966	-14.1595	14.7624
	Floor 34	Floor 1	-.37143	6.88314	.958	-14.8324	14.0895
		Floor 12	-.30143	6.88314	.966	-14.7624	14.1595
PM2.5_10_Outdoor	Floor 1	Floor 12	-2.35571	2.68838	.392	-8.0038	3.2924
		Floor 34	-3.35143	2.68838	.229	-8.9995	2.2967
	Floor 12	Floor 1	2.35571	2.68838	.392	-3.2924	8.0038
		Floor 34	-.99571	2.68838	.715	-6.6438	4.6524
	Floor 34	Floor 1	3.35143	2.68838	.229	-2.2967	8.9995
		Floor 12	.99571	2.68838	.715	-4.6524	6.6438

ตารางที่ ฎ-9 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis ระหว่างความสูงทั้งสามระดับในช่วงฤดูหนาว ด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

LSD

Dependent Variable	(I) Floor	(J) Floor	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
PM2.5_Outdoor	Floor 1	Floor 12	-1.16857	5.78286	.842	-13.3179	10.9808
		Floor 34	1.84143	5.78286	.754	-10.3079	13.9908
	Floor 12	Floor 1	1.16857	5.78286	.842	-10.9808	13.3179
		Floor 34	3.01000	5.78286	.609	-9.1393	15.1593
	Floor 34	Floor 1	-1.84143	5.78286	.754	-13.9908	10.3079
		Floor 12	-3.01000	5.78286	.609	-15.1593	9.1393
PM2.5_10_Outdoor	Floor 1	Floor 12	-.37857	1.34134	.781	-3.1966	2.4395
		Floor 34	6.99143*	1.34134	.000	4.1734	9.8095
	Floor 12	Floor 1	.37857	1.34134	.781	-2.4395	3.1966
		Floor 34	7.37000*	1.34134	.000	4.5520	10.1880
	Floor 34	Floor 1	-6.99143*	1.34134	.000	-9.8095	-4.1734
		Floor 12	-7.37000*	1.34134	.000	-10.1880	-4.5520

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ฎ-10 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis ระหว่างความสูงทั้งสามระดับในช่วงฤดูร้อน ด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

LSD

Dependent Variable	(I) Floor	(J) Floor	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
PM2.5_Outdoor	Floor 1	Floor 12	.69143	3.18707	.831	-6.0044	7.3872
		Floor 34	.56857	3.18707	.860	-6.1272	7.2644
	Floor 12	Floor 1	-.69143	3.18707	.831	-7.3872	6.0044
		Floor 34	-.12286	3.18707	.970	-6.8186	6.5729
	Floor 34	Floor 1	-.56857	3.18707	.860	-7.2644	6.1272
		Floor 12	.12286	3.18707	.970	-6.5729	6.8186
PM2.5_10_Outdoor	Floor 1	Floor 12	.42429	1.37173	.761	-2.4576	3.3062
		Floor 34	.70143	1.37173	.615	-2.1805	3.5833
	Floor 12	Floor 1	-.42429	1.37173	.761	-3.3062	2.4576
		Floor 34	.27714	1.37173	.842	-2.6048	3.1590
	Floor 34	Floor 1	-.70143	1.37173	.615	-3.5833	2.1805
		Floor 12	-.27714	1.37173	.842	-3.1590	2.6048

ตารางที่ ฎ-11 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของค่า PM_{2.5}/PM₁₀ ratio ระหว่างความสูงทั้งสามระดับในช่วงฤดูฝน ด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

Dependent Variable: PM2.5_PM10 ratio

LSD

(I) Floor	(J) Floor	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4.5 m	51.5 m	.03857	.03227	.247	-.0292	.1064
	138.5 m	.05286	.03227	.119	-.0149	.1207
51.5 m	4.5 m	-.03857	.03227	.247	-.1064	.0292
	138.5 m	.01429	.03227	.663	-.0535	.0821
138.5 m	4.5 m	-.05286	.03227	.119	-.1207	.0149
	51.5 m	-.01429	.03227	.663	-.0821	.0535

ตารางที่ ฎ-12 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของค่า $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio ระหว่างความสูงทั้งสามระดับ ในช่วงฤดูหนาว ด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

Dependent Variable: PM2.5_PM10 ratio

LSD

(I) Floor	(J) Floor	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4.5 m	51.5 m	.00143	.02189	.949	-.0446	.0474
	138.5 m	-.08143*	.02189	.002	-.1274	-.0354
51.5 m	4.5 m	-.00143	.02189	.949	-.0474	.0446
	138.5 m	-.08286*	.02189	.001	-.1289	-.0369
138.5 m	4.5 m	.08143*	.02189	.002	.0354	.1274
	51.5 m	.08286*	.02189	.001	.0369	.1289

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ฎ-13 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของค่า $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio ระหว่างความสูงทั้งสามระดับ ในช่วงฤดูร้อน ด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

Dependent Variable: PM2.5_PM10 ratio

LSD

(I) Floor	(J) Floor	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4.5 m	51.5 m	.00571	.04205	.893	-.0826	.0940
	138.5 m	-.00571	.04205	.893	-.0940	.0826
51.5 m	4.5 m	-.00571	.04205	.893	-.0940	.0826
	138.5 m	-.01143	.04205	.789	-.0998	.0769
138.5 m	4.5 m	.00571	.04205	.893	-.0826	.0940
	51.5 m	.01143	.04205	.789	-.0769	.0998

ตารางที่ ฎ-14 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของค่า $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio ระหว่างความสูงทั้งสามระดับ ในช่วงฤดูร้อน ด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

Dependent Variable: PM2.5_PM10 ratio

LSD

(I) Season	(J) Season	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Rainy	Winter	-.04596	.03076	.153	-.1106	.0187
	Summer	.11337*	.03076	.002	.0487	.1780
Winter	Rainy	.04596	.03076	.153	-.0187	.1106
	Summer	.15933*	.03076	.000	.0947	.2240
Summer	Rainy	-.11337*	.03076	.002	-.1780	-.0487
	Winter	-.15933*	.03076	.000	-.2240	-.0947

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ฎ-15 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis ระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ด้วยสถิติ Pearson correlation

Correlations

		Indoor_PM2.5_4.5m	Outdoor_PM2.5_4.5m	Indoor_PM2.5_51.5m	Outdoor_PM2.5_51.5m	Indoor_PM2.5_138.5m	Outdoor_PM2.5_138.5m
Indoor_PM2.5_4.5m	Pearson Correlation	1	.926**	.907**	.941**	.945**	.942**
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.000	.000	.000
	N	21	21	21	21	21	21
Outdoor_PM2.5_4.5m	Pearson Correlation	.926**	1	.892**	.988**	.969**	.991**
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.000	.000	.000
	N	21	21	21	21	21	21
Indoor_PM2.5_51.5m	Pearson Correlation	.907**	.892**	1	.907**	.911**	.903**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.000	.000	.000
	N	21	21	21	21	21	21
Outdoor_PM2.5_51.5m	Pearson Correlation	.941**	.988**	.907**	1	.968**	.992**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000		.000	.000
	N	21	21	21	21	21	21
Indoor_PM2.5_138.5m	Pearson Correlation	.945**	.969**	.911**	.968**	1	.976**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000		.000
	N	21	21	21	21	21	21
Outdoor_PM2.5_138.5m	Pearson Correlation	.942**	.991**	.903**	.992**	.976**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000	
	N	21	21	21	21	21	21

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางที่ ฎ-16 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเข้มข้น PM_{2.5-10} ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric analysis ระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ด้วยสถิติ Pearson correlation

		Correlations					
		Indoor_PM2.5.10_4.5m	Outdoor_PM2.5.10_4.5m	Indoor_PM2.5.10_51.5m	Outdoor_PM2.5.10_51.5m	Indoor_PM2.5.10_138.5m	Outdoor_PM2.5.10_138.5m
Indoor_PM2.5.10_4.5m	Pearson Correlation	1	.318	-.103	.365	.296	.112
	Sig. (2-tailed)		.160	.657	.103	.192	.629
	N	21	21	21	21	21	21
Outdoor_PM2.5.10_4.5m	Pearson Correlation	.318	1	-.161	.828**	.279	.263
	Sig. (2-tailed)	.160		.487	.000	.221	.250
	N	21	21	21	21	21	21
Indoor_PM2.5.10_51.5m	Pearson Correlation	-.103	-.161	1	-.042	.256	.063
	Sig. (2-tailed)	.657	.487		.856	.262	.787
	N	21	21	21	21	21	21
Outdoor_PM2.5.10_51.5m	Pearson Correlation	.365	.828**	-.042	1	.503*	.413
	Sig. (2-tailed)	.103	.000	.856		.020	.063
	N	21	21	21	21	21	21
Indoor_PM2.5.10_138.5m	Pearson Correlation	.296	.279	.256	.503*	1	.629**
	Sig. (2-tailed)	.192	.221	.262	.020		.002
	N	21	21	21	21	21	21
Outdoor_PM2.5.10_138.5m	Pearson Correlation	.112	.263	.063	.413	.629**	1
	Sig. (2-tailed)	.629	.250	.787	.063	.002	
	N	21	21	21	21	21	21

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ตารางที่ ฎ-17 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Light scattering กับข้อมูลอุณหภูมิตามด้วย Pearson correlation

		Correlations					
		Outdoor PM2.5	Outdoor PM10	Temperature	Humidity	Wind speed	Barometer
Outdoor PM2.5	Pearson Correlation	1	.988**	.121**	-.121**	-.348**	.199**
	Sig. (2-tailed)		.000	.008	.008	.000	.000
	N	482	482	482	482	482	482
Outdoor PM10	Pearson Correlation	.988**	1	.067	-.060	-.359**	.203**
	Sig. (2-tailed)	.000		.142	.186	.000	.000
	N	482	482	482	482	482	482
Temperature	Pearson Correlation	.121**	.067	1	-.950**	.182**	-.180**
	Sig. (2-tailed)	.008	.142		.000	.000	.000
	N	482	482	482	482	482	482
Humidity	Pearson Correlation	-.121**	-.060	-.950**	1	-.211**	.118**
	Sig. (2-tailed)	.008	.186	.000		.000	.009
	N	482	482	482	482	482	482
Wind speed	Pearson Correlation	-.348**	-.359**	.182**	-.211**	1	-.295**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000		.000
	N	482	482	482	482	482	482
Barometer	Pearson Correlation	.199**	.203**	-.180**	.118**	-.295**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.009	.000	
	N	482	482	482	482	482	482

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางที่ ฎ-18 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างความเข้มข้นของโลหะรวมใน PM_{2.5} ที่ระดับความสูงทั้งสามระดับ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

LSD

Dependent Variable	(I) Height	(J) Height	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
PM2.5_Rainy	4.5m	51.5m	95.541272	549.224487	.864	-1068.76263	1259.84517
		138.5m	-252.551751	549.224487	.652	-1416.85565	911.75215
	51.5m	4.5m	-95.541272	549.224487	.864	-1259.84517	1068.76263
		138.5m	-348.093023	569.957186	.550	-1556.34828	860.16224
	138.5m	4.5m	252.551751	549.224487	.652	-911.75215	1416.85565
		51.5m	348.093023	569.957186	.550	-860.16224	1556.34828
PM2.5_Winter	4.5m	51.5m	135.174048	422.796703	.753	-756.84902	1027.19712
		138.5m	-14.995714	406.209933	.971	-872.02376	842.03233
	51.5m	4.5m	-135.174048	422.796703	.753	-1027.19712	756.84902
		138.5m	-150.169762	422.796703	.727	-1042.19283	741.85331
	138.5m	4.5m	14.995714	406.209933	.971	-842.03233	872.02376
		51.5m	150.169762	422.796703	.727	-741.85331	1042.19283
PM2.5_Summer	4.5m	51.5m	-28.698571	176.480902	.873	-399.47119	342.07405
		138.5m	151.165714	176.480902	.403	-219.60690	521.93833
	51.5m	4.5m	28.698571	176.480902	.873	-342.07405	399.47119
		138.5m	179.864286	176.480902	.322	-190.90833	550.63690
	138.5m	4.5m	-151.165714	176.480902	.403	-521.93833	219.60690
		51.5m	-179.864286	176.480902	.322	-550.63690	190.90833

ตารางที่ ฎ-19 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างความเข้มข้นของโลหะรวมใน PM_{2.5-10} ที่ระดับความสูงทั้งสามระดับ ด้วยสถิติ One-Way ANOVA

Multiple Comparisons

LSD

Dependent Variable	(I) Height	(J) Height	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
PM2.5_10_Rainy	4.5m	51.5m	-301.677143	551.433599	.591	-1460.19614	856.84186
		138.5m	-82.824286	551.433599	.882	-1241.34329	1075.69472
	51.5m	4.5m	301.677143	551.433599	.591	-856.84186	1460.19614
		138.5m	218.852857	551.433599	.696	-939.66614	1377.37186
	138.5m	4.5m	82.824286	551.433599	.882	-1075.69472	1241.34329
		51.5m	-218.852857	551.433599	.696	-1377.37186	939.66614
PM2.5_10_Winter	4.5m	51.5m	682.774286	938.634203	.476	-1289.22300	2654.77157
		138.5m	1179.005714	938.634203	.225	-792.99157	3151.00300
	51.5m	4.5m	-682.774286	938.634203	.476	-2654.77157	1289.22300
		138.5m	496.231429	938.634203	.603	-1475.76586	2468.22871
	138.5m	4.5m	-1179.005714	938.634203	.225	-3151.00300	792.99157
		51.5m	-496.231429	938.634203	.603	-2468.22871	1475.76586
PM2.5_10_Summer	4.5m	51.5m	-500.809524	646.940881	.450	-1872.26292	870.64388
		138.5m	660.790476	646.940881	.322	-710.66292	2032.24388
	51.5m	4.5m	500.809524	646.940881	.450	-870.64388	1872.26292
		138.5m	1161.600000	671.362280	.103	-261.62445	2584.82445
	138.5m	4.5m	-660.790476	646.940881	.322	-2032.24388	710.66292
		51.5m	-1161.600000	671.362280	.103	-2584.82445	261.62445

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ศิริภัทร์ อินทร์ตระกูล
วัน เดือน ปี เกิด	18 มกราคม 2539
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เกียรตินิยมอันดับ 2
ผลงานตีพิมพ์	ศิริภัทร์ อินทร์ตระกูล, ทรรศนีย์ พุกษาสีทธิ์ และนรุตตม์ สหนาวิน. (2563). ระดับความเข้มข้นตามแนวตั้งของฝุ่นละอองขนาดเล็กในรอบวัน บริเวณอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 19. (27-29 พฤษภาคม 2563) : 513-520.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY