



# โครงการ การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

**ชื่อโครงการ** การกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน  
บริเวณอาคารสูงประเภทสำนักงาน และที่พักอาศัย

**ชื่อนิสิต** นางสาว สุวิณี มะณีเทพ

**ภาควิชา** วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

**ปีการศึกษา** 2562

การกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณอาคารสูง  
ประเภทสำนักงาน และที่พักอาศัย

นางสาว สุวิณี มะณีเทพ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2562  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Vertical distribution of PM<sub>2.5</sub> at high-rise office building and residential building

Ms. Suwinee Maneetap

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
For the Degree of Bachelor of Science  
Department of Environmental Science  
Faculty of Science  
Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณอาคารสูงประเภทสำนักงาน และที่พักอาศัย
ชื่อนิสิต	นางสาวสุวิณี มะณีเทพ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. ทรรศनीย์ พุกขาสีทธี
ปีการศึกษา	2562
ภาควิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

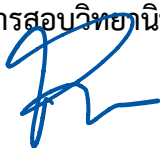
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



(ศาสตราจารย์ ดร.วนิดา จินศาสตร์)

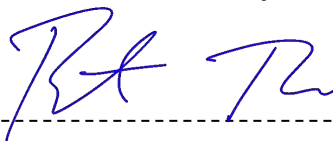
หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร. โชคชัย ยะชูศรี)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร. พันธนา ต่อเงิน)

กรรมการ



(ผศ. ดร. ทรรศনীย์ พุกขาสีทธี)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ชื่อโครงการ	การกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณอาคารสูงประเภทสำนักงาน และที่พักอาศัย
ชื่อนิสิต	นางสาวสุวิณี มะณีเทพ รหัสประจำตัวนิสิต 5933348123
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. ทรรศเนียร พุกกษาสิริทธิ์
ปีการศึกษา	2562
ภาควิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณอาคารสูงประเภทสำนักงานและที่พักอาศัย โดยใช้เครื่อง Aeroqual series 500 ที่ตรวจวัดแบบอ่านค่าได้ทันที ทำการตรวจวัดที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร ของอาคารสำนักงาน ในช่วงวันที่ 13 – 27 มกราคม พ.ศ. 2563 สำหรับอาคารที่พักอาศัย ตรวจวัดที่ความสูง 12.8 และ 124.9 เมตร ในช่วงวันที่ 30 – 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยของฝุ่นภายนอกของอาคารสำนักงานที่ความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร มีค่าเท่ากับ  $34.49 \pm 21.48$  และ  $30.78 \pm 18.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ สำหรับอาคารที่พักอาศัยที่ความสูง 12.8 และ 124.9 เมตร มีค่าเท่ากับ  $33.93 \pm 14.57$  และ  $24.83 \pm 10.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของฝุ่นภายในอาคารสำนักงานที่ความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร มีค่าเท่ากับ  $30.36 \pm 17.77$  และ  $28.62 \pm 18.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ สำหรับอาคารที่พักอาศัยที่ความสูง 12.8 และ 124.9 เมตร มีค่าเท่ากับ  $28.87 \pm 10.39$  และ  $21.96 \pm 8.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในรอบวันของฝุ่น  $\text{PM}_{2.5}$  ภายนอกและภายในอาคารมีลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งแสดงรูปแบบปกติที่อาคารที่พักอาศัย โดยพบความเข้มข้นฝุ่นสูงในช่วงเวลาเช้าและเริ่มลดลงในตอนเที่ยงจากนั้นจึงเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงบ่ายไปจนถึงประมาณ 20.00 น. และลดลงอีกครั้ง และแสดงรูปแบบไม่ปกติที่อาคารสำนักงาน โดยความเข้มข้นฝุ่นสูงในช่วงเวลาเช้าไปจนถึงช่วงเย็นและค่อย ๆ ลดลงในเวลากลางคืน ปริมาณฝุ่นภายนอกที่ตรวจวัดได้ทั้งสองอาคารมีความแตกต่างกับภายในอาคารอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก ค่าเฉลี่ย I/O ratio ของอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร เท่ากับ 0.92 และ 0.93 ตามลำดับ สำหรับอาคารที่พักอาศัยที่ความสูง 12.8 และ 124.9 เมตร มีค่าเฉลี่ย I/O ratio เท่ากับ 0.89 และ 0.92 ตามลำดับ ฝุ่นที่บริเวณชั้นล่างของทั้งสองอาคารมีความแตกต่างกับฝุ่นชั้นบนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก ความเข้มข้น  $\text{PM}_{2.5}$  ลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ซึ่งบริเวณอาคารสำนักงาน ที่ความสูง 138.5 เมตร  $\text{PM}_{2.5}$  ลดลง 10% และอาคารที่พักอาศัย ที่ระดับ 124.9 เมตร  $\text{PM}_{2.5}$  ลดลง 25% ความกดอากาศที่บริเวณอาคารทั้งสองแห่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นฝุ่น ขณะที่ความเร็วลมมีความสัมพันธ์เชิงลบ และอุณหภูมิมีความสัมพันธ์เชิงบวก และลบ บริเวณอาคารสำนักงานและที่พักอาศัย ตามลำดับ ส่วนความสัมพันธ์สัมพัทธ์มีความสัมพันธ์เชิงลบกับฝุ่นบริเวณอาคารที่พักอาศัย โดยที่อาคารสำนักงาน ความชื้นสัมพัทธ์ไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่น

คำสำคัญ: ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายนอกและภายในอาคาร การกระจายตัวตามแนวตั้ง ปัจจัยสภาพอุตุนิยมวิทยา มลพิษทางอากาศ

Title	<b>Vertical distribution of PM<sub>2.5</sub> at high-rise office building and residential building</b>	
Name	Miss Suwinee Maneetap	Student ID 5933348123
Project Advisor	Assistant Professor Tassanee Prueksasit, Ph.D.	
Academic Year	2019	
Department	Environmental Science	

---

#### ABSTRACT

This study aims to investigate the vertical distribution of PM<sub>2.5</sub> at high-rise office building and residential building in Bangkok. PM<sub>2.5</sub> was measured by a real-time monitor, Aeroqual series 500. The measurement was conducted at the height of 4.5 and 138.5 m of the office building during 13 - 27 January 2020, and at the height of 12.8 and 124.9 m between 30 - 11 February 2020 for residential building. The results showed that the average outdoor PM<sub>2.5</sub> concentrations at the office buildings at the height of 4.5 and 138.5 m were 34.49±21.48 and 30.78±18.64 µg/m<sup>3</sup>, respectively, and those of the residential building at the height of 12.8 and 124.9 m were 33.93±14.57 and 24.83±10.74 µg/m<sup>3</sup>, respectively. The 24-h average indoor PM<sub>2.5</sub> concentration of the office buildings at both heights were 30.36±17.77 and 28.62±18.60 µg/m<sup>3</sup>, respectively, and those of the residential buildings at both heights were 28.87±10.39 and 21.96±8.04 µg/m<sup>3</sup>, respectively. The daily profiles of indoor and outdoor PM<sub>2.5</sub> were similar. The profiles at the residential building exhibited a universal characteristic of “two peaks and one valley” and, which found a high concentration in the morning and began to decrease at noon, then rose again in the afternoon until about 8pm and decreased during the night time until early in the morning. Whilst the profile at the office building during the measurement period was different, the high concentration from morning till evening and gradually decreasing at night was observed. The outdoor PM<sub>2.5</sub> concentrations at both buildings was significantly different from those in indoor with 95% confidence level, and the significant positive relationship between indoor and outdoor PM<sub>2.5</sub> could be obtained. The average I/O ratio of the office buildings at the height of 4.5 and 138.5 m were 0.92 and 0.93, respectively, and for residential buildings at the height of 12.8 and 124.9 m, the average ratios were 0.89 and 0.92, respectively. The significant positive correlation between the concentrations measured at the ground and upper floors was observed. However, there was a significant difference between the concentrations at both levels at 95% confidence level. PM<sub>2.5</sub> concentration decreased as a height increased, the decreasing of 10% approximately was found at office building, while a higher decreasing rate of 25% presented at the residential building. Air pressure at both buildings was positively correlated with the PM<sub>2.5</sub> concentrations, while wind speed gave a negative relationship. The correlations between temperature and PM<sub>2.5</sub> at the office (positive) and residential (negative) buildings were different. Relative humidity showed a negative relationship with PM<sub>2.5</sub> at residential buildings, while that of the office building was not significantly correlated.

Keywords: PM<sub>2.5</sub>, Indoor and outdoor, Vertical distribution, Meteorological factors, Air pollution

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาการกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนบริเวณอาคารสูงประเภทสำนักงาน และที่พักอาศัย ได้รับทุนอุดหนุนบางส่วนจากภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการนี้ข้าพเจ้าจึงขอกล่าวขอบพระคุณต่อบุคคลที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ จนการศึกษาในครั้งนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์

ประการแรก ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทรรศนีย์ พฤกษาสีทธิ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้ให้คำปรึกษาแนะนำ และสนับสนุนช่วยเหลือตลอดการดำเนินการศึกษาในครั้งนี้ อีกทั้งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ประธาน และกรรมการโครงการสำหรับข้อเสนอแนะ และคำวิจารณ์ที่เป็นประโยชน์ เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขต่อตัวโครงการ และตัวข้าพเจ้าให้ดียิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. นรุตตม์ สหาวิน ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินการศึกษาในครั้งนี้ อีกทั้งขอขอบคุณพี่ ๆ นิสิตศึกษามหาบัณฑิตและคณาจารย์บัณฑิตทุกคน จากหลักสูตรสหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่มอบความรู้ทางด้านวิชาการ ให้คำแนะนำ และความห่วงใยตลอดมา และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณผู้บริหารทางอาคารที่พักอาศัย และคุณกาลกฤต วงษ์หาญ และคุณสมใจ สุริโยภาส ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านสถานที่เก็บตัวอย่าง และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่อาคารสำนักงานที่อำนวยความสะดวกตลอดการศึกษา

ขอขอบคุณนางสาว ณิชฐณีณา เนตรนรินทร์ สำหรับความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ และให้กำลังใจตลอดการศึกษาคั้ง

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณนางสาวภคจิรา ทัพจันทร์ และนางสาวรุ่งรวิน อนุรักษภราดร เพื่อน ๆ และครอบครัวที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งในการจัดทำโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ .....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา .....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 ฝุ่นละออง.....	4
2.1.1 ความหมายของฝุ่นละออง.....	4
2.1.2 ประเภทของฝุ่นละออง .....	4
2.2 มลพิษทางอากาศ .....	4
2.3 ฝุ่น PM <sub>2.5</sub> .....	6
2.3.1 ความหมายของฝุ่น PM <sub>2.5</sub> .....	6
2.3.2 แหล่งกำเนิดฝุ่น PM <sub>2.5</sub> ในประเทศไทย .....	6
2.3.2.1 PM <sub>2.5</sub> ที่มาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง.....	7
2.3.2.2 การรวมตัวของแก๊สชนิดอื่น ๆ ในบรรยากาศ.....	7
2.3.3 แหล่งกำเนิดฝุ่น PM <sub>2.5</sub> ในกรุงเทพมหานคร .....	8
2.3.4 ผลกระทบของฝุ่น PM <sub>2.5</sub> .....	8
2.3.5 ค่ามาตรฐานของ PM <sub>2.5</sub> ในบรรยากาศภายนอกอาคาร.....	9
2.3.6 ค่ามาตรฐานของ PM <sub>2.5</sub> ในบรรยากาศภายในอาคาร.....	9



2.4 ปริมาณฝุ่น PM <sub>2.5</sub> ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร .....	10
2.4.1 ปริมาณความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> บริเวณริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน และบริเวณริมถนนดินแดง เขตดินแดง.....	11
2.5 ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาและสภาวะอากาศที่มีอิทธิพลต่อระดับ PM <sub>2.5</sub> .....	13
2.5.1 อุณหภูมิ (Temperature).....	13
2.5.2 ความเร็วลม (wind speed).....	14
2.5.3 ความชื้น (Humidity).....	15
2.5.4 ความกดอากาศ (atmospheric pressure).....	16
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	24
3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย.....	24
3.2 การเตรียมการทดลอง .....	25
3.2.1 การเตรียมกระดาศกรอง .....	25
3.2.2 การเตรียมเครื่องมือเก็บตัวอย่าง.....	26
3.3 การเตรียมการทดลอง .....	27
3.3.1 การติดตั้งเครื่องมือ .....	27
3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> จากฝุ่นตัวอย่าง.....	28
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น.....	29
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ .....	30
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา .....	31
4.1 การกระจายตัวเชิงคาบของความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> รายวัน และรายชั่วโมง.....	31
4.1.1 อาคารสำนักงาน.....	31
4.1.2 อาคารที่พักอาศัย.....	33
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่น PM <sub>2.5</sub> ภายในและภายนอกอาคาร .....	34
4.2.1 อาคารสำนักงาน.....	36
4.2.2 อาคารที่พักอาศัย.....	38
4.3 ลักษณะการกระจายตัวของความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ตามแนวตั้ง .....	40
4.3.1 อาคารสำนักงาน.....	40

4.3.2 อาคารที่พักอาศัย.....	43
<b>4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา.....</b>	<b>46</b>
4.4.1 อาคารสำนักงาน.....	46
4.4.2 อาคารที่พักอาศัย.....	48
<b>4.5 ความสัมพันธ์ของปริมาณความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดแบบเรียลไทม์ และแบบวิธีวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นโดยน้ำหนัก.....</b>	<b>49</b>
<b>บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>52</b>
<b>5.1 สรุปผลการศึกษา.....</b>	<b>52</b>
5.1.1 การกระจายตัวเชิงคาบของความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> รายวัน และรายชั่วโมง .....	52
5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายในและภายนอกอาคาร .....	53
5.1.3 ลักษณะการกระจายตัวของความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ตามแนวตั้ง .....	53
5.1.4 ความสัมพันธ์ปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยากับปริมาณความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> .....	53
5.1.5 ความสัมพันธ์ของปริมาณความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ .....	54
<b>5.2 ข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>52</b>
<b>เอกสารอ้างอิง.....</b>	<b>55</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>58</b>

## สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2.1 สาเหตุการเกิดมลพิษภายในอาคาร.....	5
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบค่ามาตรฐานของต่างประเทศ.....	10
<b>ตารางที่ 4.1</b> ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Paired-Samples T-Test ระหว่างความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายนอกและภายในอาคาร ที่ชั้นล่างและชั้นบน อาคารสำนักงาน.....	37
<b>ตารางที่ 4.2</b> ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Pearson Correlation ระหว่างความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายนอกและภายในอาคาร ที่ชั้นล่างและชั้นบนอาคารสำนักงาน.....	37
<b>ตารางที่ 4.3</b> ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Paired-Samples T-Test ระหว่างความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายนอกและภายในอาคาร ที่ชั้นล่างและชั้นบน อาคารที่พักอาศัย.....	39
<b>ตารางที่ 4.4</b> ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Pearson Correlation ระหว่างความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายนอกและภายในอาคาร ที่ชั้นล่างและชั้นบน อาคารที่พักอาศัย.....	40
<b>ตารางที่ 4.5</b> แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Paired-Samples T-Test ระหว่างความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารบริเวณชั้นล่างและชั้นบน อาคารสำนักงาน.....	42
<b>ตารางที่ 4.6</b> ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่เก็บโดยใช้เครื่องมือ Cascade Impactor กับ เครื่องมือ Aeroqual series 500 ที่อาคารสำนักงาน บริเวณดินแดง.....	43
<b>ตารางที่ 4.7</b> ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Paired-Samples T-Test ระหว่างความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารบริเวณชั้นล่างและชั้นบน อาคารที่พักอาศัย.....	45
<b>ตารางที่ 4.8</b> ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Pearson Correlation ระหว่างความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารบริเวณชั้นล่างและชั้นบน อาคารสำนักงาน.....	46

**ตารางที่ 4.9** ความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ที่ทำการวิเคราะห์หาค่าปริมาณฝุ่นโดยน้ำหนักที่ได้เก็บจากเครื่อง Cascade impactor และตรวจวัดแบบเรียลไทม์จากเครื่อง Aeroqual series 500...49

**ตารางที่ 4.10** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดย Paired-Samples T-Test ของปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ที่ตรวจวัดแบบวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นโดยน้ำหนักจากเครื่อง Cascade impactor และตรวจวัดแบบเรียลไทม์จากเครื่อง Aeroqual Series 500.....51

**ตารางที่ 4.11** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ Pearson Correlation ระหว่างปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ที่ตรวจวัดแบบวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นโดยน้ำหนักจากเครื่อง Cascade impactor และตรวจวัดแบบเรียลไทม์จากเครื่อง Aeroqual series 500.....51

## สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
ภาพที่ 2.1 การเปรียบเทียบขนาดฝุ่น $PM_{2.5}$ กับเส้นผมมนุษย์.....	6
ภาพที่ 2.2 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2559 – 2562.....	10
ภาพที่ 2.3 ความเข้มข้นเฉลี่ย $PM_{2.5}$ ในรอบวัน เขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2559 – 2562.....	11
ภาพที่ 2.4 ความเข้มข้นเฉลี่ย $PM_{2.5}$ บริเวณริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน พ.ศ. 2560 – 2562.....	12
ภาพที่ 2.5 ความเข้มข้นเฉลี่ย $PM_{2.5}$ บริเวณริมถนนดินแดง เขตดินแดง พ.ศ. 2561 และ 2562.....	12
ภาพที่ 2.6 ความเข้มข้นเฉลี่ย $PM_{2.5}$ บริเวณริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวันและบริเวณริมถนน ดินแดง เขตดินแดง ปี พ.ศ. 2562.....	13
ภาพที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของฝุ่น $PM_{10}$ $PM_{2.5}$ และ $PM_1$ ในช่วง พฤศจิกายน 2553 - พฤษภาคม 2556.....	17
ภาพที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของฝุ่น $PM_{10}$ $PM_{2.5}$ และ $PM_1$ ในช่วง พฤศจิกายน 2553 - พฤษภาคม 2556.....	17
ภาพที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของอัตราการลดลงตามความสูงของปริมาณฝุ่น (vertical lapse rate) ในช่วง พฤศจิกายน 2553 - พฤษภาคม 2556.....	18
ภาพที่ 2.10 เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้น $PM_{10}$ $PM_{2.5}$ และ $PM_1$ ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 5.....	18
ภาพที่ 2.11 การเปลี่ยนแปลงฝุ่น PM ในฤดูร้อนและฤดูหนาว.....	19
ภาพที่ 2.12 การกระจายตัวตามแนวตั้งของปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย $PM_{2.5}$ ตามช่วงเวลาใน 1 วัน เดือนธันวาคม พ.ศ.2560.....	20
ภาพที่ 2.13 การกระจายของปริมาณความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ รายวัน ในเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2560.....	20
ภาพที่ 2.14 ค่าเฉลี่ยการกระจายตัวตามแนวตั้งของปริมาณความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ .....	21
ภาพที่ 2.15 การผันแปรระหว่างความเร็วลมและปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ .....	22
ภาพที่ 3.1 ภาพถ่ายดาวเทียม และภาพจำลองจุดเก็บตัวอย่างอาคารสำนักงาน.....	24

ภาพที่ 3.2	ภาพถ่ายดาวเทียม และภาพจำลองจุดเก็บตัวอย่างอาคารสำนักงาน.....	25
ภาพที่ 3.3	เครื่องวัดปริมาณปริมาณ PM <sub>2.5</sub> (Aeroqual series 500) .....	26
ภาพที่ 4.1	ความเข้มข้นเฉลี่ย PM <sub>2.5</sub> รายวัน ภายนอกและภายในอาคารบริเวณอาคารสำนักงาน .....	32
ภาพที่ 4.2	ความเข้มข้นเฉลี่ย PM <sub>2.5</sub> รายชั่วโมง ภายนอกและภายในอาคารบริเวณอาคารสำนักงาน.....	33
ภาพที่ 4.3	ความเข้มข้นเฉลี่ย PM <sub>2.5</sub> รายวัน ภายนอกและภายในอาคารบริเวณอาคารที่พักอาศัย.....	34
ภาพที่ 4.4	ความเข้มข้นเฉลี่ย PM <sub>2.5</sub> รายชั่วโมง ภายนอกและภายในอาคารบริเวณอาคารที่พักอาศัย .....	34
ภาพที่ 4.5	อัตราส่วนความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายในต่อภายนอกอาคาร บริเวณชั้นล่างและชั้นบนของอาคารสำนักงาน.....	36
ภาพที่ 4.6	อิทธิพลการกระจายตัวของความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายนอกส่งผลต่อภายในอาคาร ที่อาคารสำนักงาน .....	38
ภาพที่ 4.7	อัตราส่วนความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายในต่อภายนอกอาคาร บริเวณชั้นล่างและชั้นบนของอาคารที่พักอาศัย.....	38
ภาพที่ 4.8	อิทธิพลการกระจายตัวของความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายนอกส่งผลต่อภายในอาคาร ที่อาคารที่พักอาศัย.....	40
ภาพที่ 4.9	ความเข้มข้นเฉลี่ย PM <sub>2.5</sub> รายวัน ชั้นล่างและชั้นบนของอาคารสำนักงาน.....	41
ภาพที่ 4.10	อัตราส่วนความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ชั้นบนต่อชั้นล่าง อาคารสำนักงาน.....	42
ภาพที่ 4.11	อิทธิพลการกระจายตัวของความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารบริเวณชั้นล่างที่ส่งผลต่อชั้นบน อาคารอาคารสำนักงาน.....	43
ภาพที่ 4.12	ความเข้มข้นเฉลี่ย PM <sub>2.5</sub> รายวัน ชั้นล่างและชั้นบนของอาคารที่พักอาศัย.....	44
ภาพที่ 4.13	อัตราส่วนความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ชั้นบนต่อชั้นล่าง อาคารที่พักอาศัย.....	45
ภาพที่ 4.14	อิทธิพลการกระจายตัวของความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารบริเวณชั้นล่างที่ส่งผลต่อชั้นบน อาคารที่พักอาศัย.....	46
ภาพที่ 4.15	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ที่ตรวจวัดแบบวิธีวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นโดยน้ำหนักจาก.....	51

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

กรุงเทพมหานครได้ประสบปัญหาหมอกพิษทางอากาศโดยเฉพาะอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมโครเมตร ( $PM_{2.5}$ ) โดยฝุ่น  $PM_{2.5}$  ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า (United States Environmental Protection Agency, 2017) ซึ่งฝุ่นสามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้เป็นระยะเวลาอันยาวนานทำให้บดบังทัศนียภาพ การมองเห็นและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณพื้นที่ใกล้กับแหล่งกำเนิด เนื่องจากไม่เพียงแต่ผ่านเข้าไปภายในจมูกและลำคอเท่านั้น ยังสามารถผ่านเข้าไปในปอดและเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิตได้ การวิเคราะห์ตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่า 96% ของอนุภาคที่สะสมในเนื้อเยื่อปอดคือ  $PM_{2.5}$  (Valavanidis et al., 2008) จากการศึกษาที่ตีพิมพ์ในวารสารสมาคมการแพทย์อเมริกันชี้ให้เห็นว่าการได้รับ  $PM_{2.5}$  ในระยะยาวอาจนำไปสู่โรคหัวใจและหลอดเลือด (Pope et al., 2002) อนุภาคของสารในอากาศเป็นการกระตุ้นให้เกิดโรคหัวใจและโรคหลอดเลือดสมอง มะเร็งปอด และการติดเชื้อระบบทางเดินหายใจ ซึ่งการสัมผัสกับมลพิษดังกล่าวเป็นอันตรายถึงชีวิตมากที่สุด และเป็นปัจจัยเสี่ยงอันดับที่หกของการเสียชีวิตจากทั่วโลก โดยอ้างว่ามากกว่า 4 ล้านคนต่อปี (Price and Vaidyanathan, 2018)

ปัจจุบันการจราจรติดขัดเป็นสาเหตุหนึ่งซึ่งส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคในอากาศ (Pant and Harrison, 2013) ซึ่งในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลได้ประสบปัญหาดังกล่าวเช่นกัน โดยแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศหลักมาจากการเผาชีวมวล ยานพาหนะ ฝุ่นทุติยภูมิ โรงงานอุตสาหกรรม ฯลฯ (กรมควบคุมมลพิษ, 2562) ในกรุงเทพมหานครพบปัญหาอนุภาคฝุ่นละอองในหลายพื้นที่ที่มีค่าสูงเกินมาตรฐาน จากการสำรวจพบว่าปริมาณของอนุภาคฝุ่นละอองในอากาศเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี (อรุบล โชติพงศ์, 2561) จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษได้ระบุว่าในปี พ.ศ. 2559 - 2562 เขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลพบว่ามีแนวโน้มปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานในช่วงฤดูแล้ง คือช่วงเดือน ธันวาคม - เมษายน และจากข้อมูลทุติยภูมิขององค์กร Berkeley Earth พบว่าในกรุงเทพมหานครปี 2560 - 2562 เดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  มากที่สุดในรอบปี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่พบว่าช่วงฤดูหนาวของประเทศจีน (ธันวาคม - กุมภาพันธ์) มีปริมาณฝุ่นที่สูงที่สุดในรอบปีเช่นกัน อันเป็นผลมาจากปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาเข้ามาอิทธิพลต่อการแปรผันของปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  (Deng et al., 2015) การศึกษาทั้งในและต่างประเทศเน้นศึกษาการตรวจวัดปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  ในระดับพื้นดินเป็นจำนวนมาก

อย่างไรก็ตามในประเทศไทยการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของ  $PM_{2.5}$  ตามแนวตั้งบริเวณอาคารสูงยังมีการศึกษาที่จำกัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อศึกษาการกระจายตัวของความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ตามแนวตั้ง บริเวณภายในและภายนอกอาคารสูงประเภทสำนักงานและที่พักอาศัยในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร ในช่วงเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ ปี 2563 เนื่องจากเป็นช่วงที่ประสบปัญหาฝุ่นที่กล่าวไว้ข้างต้น พร้อมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องต่อลักษณะการกระจายตัวของความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  อันได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความกดอากาศ

## 1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

- 1.2.1 อธิบายลักษณะการกระจายตัวเชิงคาบของความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  รายวัน และรายชั่วโมง
- 1.2.2 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายในและภายนอกอาคาร
- 1.2.3 ศึกษาลักษณะการกระจายตัวของความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ตามแนวตั้ง ที่ระดับความสูงแตกต่างกัน 2 ระดับ
- 1.2.4 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความกดอากาศ

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ตรวจวัดปริมาณ  $PM_{2.5}$  ภายในและนอกอาคารโดยใช้เครื่อง Aeroqual series 500 ที่วัดแบบ Real-time และเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง Cascade impactor ตามวิธี Gravimetric method บริเวณอาคารสำนักงานชั้นล่างความสูง 4.5 เมตร และชั้นบนความสูง 138.5 เมตร ระหว่างวันที่ 13 - 27 มกราคม 2563 และอาคารที่พักอาศัยชั้นล่างความสูง 12.8 เมตร และชั้นบนความสูง 124.9 เมตร ระหว่างวันที่ 30 มกราคม - 11 กุมภาพันธ์ 2563

1.3.2 ตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาภายนอกอาคารชั้นบนสำหรับอาคารสำนักงานที่ความสูง 150 เมตร และอาคารที่พักอาศัย 124.9 เมตร พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความกดอากาศ โดยใช้เครื่อง Vantage PRO2

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ทราบถึงลักษณะการกระจายตัวของความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ตามแนวตั้งภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูงแตกต่างกัน และการกระจายตัวของปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  เชิงคาบ รายวัน และรายชั่วโมง

1.4.2 ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา



1.4.3 สามารถนำงานวิจัยฉบับนี้ไว้เป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ต่อไป

1.4.4 ใช้เป็นแนวทางในการจัดการปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศในเขตเมืองต่อไป

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ฝุ่นละออง

##### 2.1.1 ความหมายของฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง หรือ PM ย่อมาจาก Particulate Matter คือ อนุภาคของแข็งหรือของเหลว รวมถึง ละออง คิวบิก ฝุ่น เถ้า และละอองเกสรดอกไม้ (Sulovcova et al., 2017) ซึ่งแขวนลอยอยู่ในอากาศมีขนาดตั้งแต่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.002 ไมโครเมตร ไปจนถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 500 ไมโครเมตร สามารถตกสู่พื้นหรือถูกพัดพาเคลื่อนย้ายได้โดยกระแสลม การตกลงสู่พื้นจะช้าหรือเร็วขึ้นขึ้นอยู่กับมวลและขนาดของอนุภาค ฝุ่นละอองขนาดเล็กมักแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานอาจเป็นปี และฝุ่นละอองขนาดใหญ่เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 100 ไมโครเมตร อาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้เพียง 2-3 นาที (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

##### 2.1.2 ประเภทของฝุ่นละออง

ประเภทของฝุ่นละอองสามารถแบ่งตามขนาดได้ ดังนี้

- 1) ฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate) หรือ TSP หมายถึง ฝุ่นขนาดใหญ่ มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 100 ไมโครเมตร
- 2) ฝุ่นขนาดเล็ก (Particulate Matter with an aerodynamic diameter less than or equal to a nominal 10 micrometers) หรือ  $PM_{10}$  หมายถึง ฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมโครเมตร
- 3) ฝุ่นละเอียด (Particulate Matter with an aerodynamic diameter less than or equal to a nominal 2.5 micrometers) หรือ  $PM_{2.5}$  หมายถึง ฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร

#### 2.2 มลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศ หมายถึง สภาวะอากาศที่มีสิ่งเจือปนในปริมาณมากพอ และในระยะเวลานานพอที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ พืช และวัสดุต่าง ๆ (ยุวศรี ต่ายคำ, 2553) นอกจากนี้ อนุสราร รอดธานี (2559) กล่าวว่า มลพิษทางอากาศสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทหลัก ได้แก่ มลพิษทางอากาศภายนอกอาคาร ( Outdoor Air Pollution ) มลพิษภายนอกอาคารมีหลากหลาย

แหล่งกำเนิดทั้งที่เกิดโดยธรรมชาติ และเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ อาทิ ภูเขาไฟระเบิด ไฟป่า การจราจร การเผาวัสดุชนิดต่าง ๆ การใช้สารเคมี เป็นต้น และมลพิษทางอากาศภายในอาคาร ( Indoor Air Pollution ) ซึ่งตัวอย่างอาคารที่มีความเสี่ยงต่อมลพิษทางอากาศ ได้แก่ อาคารที่พักอาศัย อาคารสำนักงาน โรงพยาบาล เป็นต้น จากการศึกษาขององค์การอนามัยโลก (WHO) ร้อยละ 30 ของอาคารทั่วโลกอาจมีปัญหาด้านคุณภาพอากาศ และอาจมีสารมลพิษมากกว่าภายนอกอาคาร มลพิษดังกล่าวอาจมีสาเหตุจากหลายแหล่งกำเนิด เช่น การรั่วไหลของอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร หรือการทำกิจกรรมของผู้ใช้อาคาร ซึ่งหากมีการระบายอากาศไม่ดี สารมลพิษ อาจเกิดการสะสมอยู่ในตัวอาคาร และอาจมีปริมาณสูงขึ้น หากอาคารดังกล่าวเป็นอาคารที่มีผู้ใช้เป็นจำนวนมาก อาทิ สถานที่ทำงาน ห้างสรรพสินค้า โรงแรม และ โรงพยาบาล เป็นต้น (กรมอนามัย, 2559) นอกจากนี้กรมอนามัยระบุว่าสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติ (National Institute of Occupational Safety and Health, NIOSH) ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้แยกสาเหตุ การเกิดปัญหามลพิษทางอากาศภายในอาคาร ซึ่งก่อให้เกิดความไม่ปลอดภัยต่อผู้ใช้อาคาร (ดังตาราง ที่ 2.1) และจากการทบทวนงานวิจัยต่าง ๆ ของ Leung (2015) เกี่ยวกับมลพิษทางอากาศภายนอก และภายในอาคารบริเวณเขตเมือง ระบุว่าคุณภาพอากาศภายในอาคารได้รับผลกระทบจากอากาศ ภายนอกอาคาร และหลายงานวิจัยได้ศึกษาปริมาณฝุ่น  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  ภายในและภายนอกอาคารเพื่อ หาความสัมพันธ์ดังกล่าว โดยการหาอัตราส่วนฝุ่นภายในอาคารต่อภายนอกอาคาร หรือ Indoor/Outdoor (I/O) พบว่าอัตราส่วน I/O มีปัจจัยที่มีอิทธิพลหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น สภาพอากาศภายนอกอาคารและความเข้มข้นของสารมลพิษ การระบายอากาศภายในอาคาร รวมทั้ง แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์และอื่น ๆ

ตารางที่ 2.1 สาเหตุการเกิดมลพิษภายในอาคาร

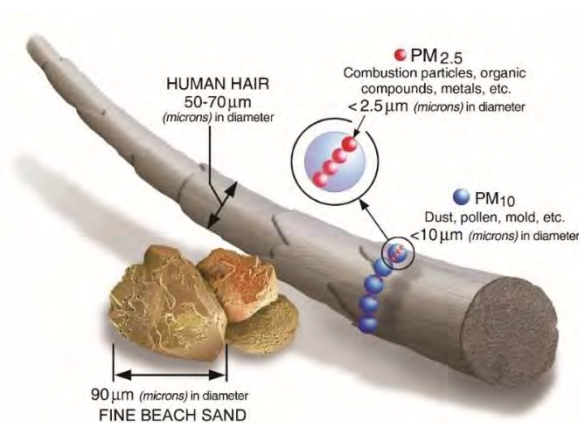
ร้อยละ	สาเหตุ
52	การระบายอากาศภายในอาคารไม่เพียงพอ เช่น การออกแบบไม่ถูกต้อง การกระจายอากาศภายในอาคารไม่ดี อุณหภูมิความชื้นไม่เหมาะสม มีแหล่งกำเนิดมลพิษภายในอาคาร
16	มีสารปนเปื้อนภายในอาคาร เช่น ไรระเหยของน้ำยาทำความสะอาด (สารตัวทำลาย หรือน้ำยาฆ่าเชื้อโรคและเชื้อรา)
10	มลพิษจากภายนอกอาคาร เช่น มลพิษการจราจร ควัน ฝุ่น และละอองเกสร
5	การปนเปื้อนด้านชีวภาพ
4	การปนเปื้อนของวัสดุตกแต่งอาคาร
13	ไม่ทราบสาเหตุ

ที่มา: กรมอนามัย (2559)

## 2.3 ฝุ่น PM<sub>2.5</sub>

### 2.3.1 ความหมายของฝุ่น PM<sub>2.5</sub>

ฝุ่น PM<sub>2.5</sub> หมายถึง อนุภาคฝุ่นละอองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือน้อยกว่า 2.5 ไมโครเมตร หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ฝุ่นละเอียด (Fine Particle) เมื่อเปรียบเทียบขนาดของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> กับขนาดเส้นผมของมนุษย์พบว่าโดยเฉลี่ยเส้นผมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 70 ไมโครเมตร ทำให้มีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคฝุ่นที่ใหญ่ที่สุดถึง 30 เท่า (แสดงดังภาพที่ 2.1) (US EPA, 2018) ฝุ่น PM<sub>2.5</sub> มีแหล่งกำเนิดจากไอเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงาน อุตสาหกรรม คิว้นที่เกิดจากหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO<sub>x</sub>) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดเป็นฝุ่นละเอียดได้ (อรุบล โชติพงศ์, 2561) นอกจากนี้ยังสามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้เป็นระยะเวลานานหลายสัปดาห์และสามารถแพร่กระจายจากแหล่งกำเนิดได้ระยะทาง 100 ถึง 1,000 กิโลเมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2561)



ภาพที่ 2.1 การเปรียบเทียบขนาดฝุ่น PM<sub>2.5</sub> กับเส้นผมมนุษย์

แหล่งที่มา : United States Environmental Protection Agency (2018)

### 2.3.2 แหล่งกำเนิดฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ในประเทศไทย

อรุบล โชติพงศ์ (2561) ได้จำแนกแหล่งกำเนิดของ PM<sub>2.5</sub> เป็น 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ PM<sub>2.5</sub> ที่มาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง และการรวมตัวของแก๊สชนิดอื่นๆ ในบรรยากาศ

### 2.3.2.1 PM<sub>2.5</sub> ที่มาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง

(1) การเผาในที่โล่งทำให้เกิด PM<sub>2.5</sub> มากที่สุดถึง 209,937 ตันต่อปี จากการเผาในพื้นที่เพาะปลูกพืชเชิงเดี่ยว โดยมาจากบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยและภูมิภาคลุ่มน้ำโขง รวมถึงหมอกควันข้ามพรมแดนจากประเทศเพื่อนบ้าน

(2) ภัยธรรมชาติ ภัยธรรมชาติในประเทศไทยที่เป็นปัญหาหลักคือ ไฟป่า จากการสังเกตพบว่าไฟป่าจะเกิดขึ้นเป็นครั้งคราวในช่วงฤดูแล้ง กินพื้นที่เป็นวงกว้างมากถึง แสนไร่ หรือล้านไร่ เป็นสาเหตุให้เกิดฝุ่น เขม่าฟุ้งกระจายไปในอากาศ รวมถึงเป็นการเพิ่มของแก๊ส CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> และออกไซด์ของไนโตรเจน สะสมในบรรยากาศมากขึ้น

(3) การคมนาคมขนส่งทำให้เกิด PM<sub>2.5</sub> มากถึง 50,240 ตันต่อปี โดยมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงของรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กและรถบรรทุกเป็นหลัก และยังเป็นแหล่งทำให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจน (NO<sub>x</sub>) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>)

(4) การผลิตไฟฟ้าทำให้เกิด PM<sub>2.5</sub> 31,793 ตันต่อปี มีการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน (NO<sub>x</sub>) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ในสัดส่วนที่มากที่สุด

(5) อุตสาหกรรมการผลิตทำให้เกิด PM<sub>2.5</sub> 65,140 ตันต่อปี โดยมาจากแหล่งมาบตาพุด โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

(6) ที่อยู่อาศัย/ธุรกิจการค้า ทำให้เกิด PM<sub>2.5</sub> 28,265 ตันต่อปี โดยมาจากควันการหุงต้มภาคครัวเรือนจากการใช้ฟืน เป็นต้น

### 2.3.2.2 การรวมตัวของแก๊สชนิดอื่น ๆ ในบรรยากาศ

แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO<sub>x</sub>) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) สารปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) อาร์เซนิก (As) หรือโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดเป็นฝุ่นละอองที่เป็นพิษและก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ได้

### 2.3.3 แหล่งกำเนิดฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ในกรุงเทพมหานคร

การศึกษาของ Wanna et al. (2011) ได้ทำการศึกษาปริมาณฝุ่น PM<sub>10</sub> และ PM<sub>2.5</sub> บริเวณที่พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ปี 2546 - 2550 พบว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PM<sub>2.5</sub> คือการจราจรและการเผาไหม้ของสารชีวมวล มากถึงร้อยละ 50 - 70 ของอนุภาคละเอียดทั้งหมด นอกจากนี้กรมควบคุมมลพิษ (2561) ได้จัดทำรายงานโครงการศึกษาแหล่งกำเนิดและแนวทางการจัดการฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล ระบุว่าองค์ประกอบของฝุ่นที่มาจากการเผาไหม้น้ำมันดิบ ไอเสียรถยนต์ดีเซล และการเผาไม้ในเตาเผาครัวเรือนจะมีฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน มากกว่าร้อยละ 90 ดังนั้นสามารถอนุมานได้ว่าฝุ่นไอเสียรถยนต์ย่อมหมายถึงฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

### 2.3.4 ผลกระทบของฝุ่น PM<sub>2.5</sub>

ฝุ่น PM<sub>2.5</sub> สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมได้ดังนี้

#### 1) ผลกระทบทางด้านสุขภาพ

ฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ที่มีการรวมตัวของสารพิษต่าง ๆ ในบรรยากาศ เมื่อสัมผัสกับอนุภาคดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อปอดและหัวใจ การศึกษาทางวิทยาศาสตร์จำนวนมากระบุว่า การสัมผัสมลพิษอนุภาคจะนำไปสู่การเสียชีวิตก่อนวัยอันควรในผู้ที่เป็โรคหัวใจหรือปอด หัวใจวาย การเต้นของหัวใจผิดปกติ โรคหอบหืดกำเริบ ลดการทำงานของปอด เกิดอาการเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจที่เพิ่มขึ้น เช่น การระคายเคืองของทางเดินหายใจ ไอ หรือ หายใจลำบาก ซึ่งพบว่าเด็กและผู้สูงอายุมีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบมากที่สุดจากการสัมผัสกับมลพิษที่มี PM<sub>2.5</sub> เป็นพาหะ (Price and Vaidyanathan, 2018) ฝุ่น PM<sub>2.5</sub> เป็นสารประกอบคาร์บอนมีสมบัติละลายได้ดีในไขมันทำให้ผ่านเข้าไปยังเซลล์ผิวหนังได้ และอนุภาคฝุ่นสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับผิวหนัง ก่อให้เกิดสารอนุมูลอิสระ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ผิวหนัง เกิดริ้วรอย ผิวหมองคล้ำ จุดต่างดำ และส่งผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์ผิวหนังในระดับยีนได้ (อรุบล โชติพงศ์, 2561) นอกจากนี้องค์การอนามัยโลก (WHO) จัดให้ฝุ่น PM<sub>2.5</sub> อยู่ในกลุ่มที่ 1 ของสารก่อมะเร็ง ตั้งแต่ปี 2556 และในปี 2541 และธนาคารโลก (World Bank) ได้มีการศึกษาเรื่องผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีผลต่อสุขภาพของคนที่พักอาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานคร อาจทำให้เสียชีวิตก่อนเวลาอันควรถึง 4,000 - 5,500 รายในแต่ละปี (อนุสราร รอดธานี, 2559)

#### 2) ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

ฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ที่มีปริมาณสูง สามารถปกคลุมบรรยากาศ ปกคลุมทัศนียภาพ และลดทัศนวิสัยการมองเห็น จึงอาจก่อให้เกิดปัญหาทางด้านการจราจรบนท้องถนนตามมา เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศทั้งที่เป็นของแข็ง และของเหลวสามารถดูดซับและหักเหแสงได้ ทำให้ทัศน

วิสัยในการมองเห็นเสื่อมลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด ความหนาแน่น และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองนั้น รวมถึงสามารถทำอันตรายต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้างได้ เช่น ทำให้โลหะสึกกร่อน การทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น

### 2.3.5 ค่ามาตรฐานของ PM<sub>2.5</sub> ในบรรยากาศภายนอกอาคาร

#### 1) ค่ามาตรฐานของ PM<sub>2.5</sub> ในบรรยากาศของประเทศไทย

กรมควบคุมมลพิษกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ในบรรยากาศ คือ ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 1 ปี 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

#### 2) ค่ามาตรฐานของ PM<sub>2.5</sub> ในบรรยากาศของ United States Environmental

Protection Agency (US.EPA) และองค์การอนามัยโลก (WHO)

องค์การอนามัยโลก ระบุว่าไม่มีหลักฐานที่ชี้ได้ว่าระดับฝุ่นละอองเท่าใดปลอดภัย หรือไม่แสดงผลเสียต่อสุขภาพอนามัย ดังนั้น จึงเป็นภาระกิจของหน่วยงานรัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่จะต้องพยายามปรับปรุงมาตรฐานคุณภาพอากาศให้เข้มงวดขึ้นในระยะยาว (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) ปัจจุบันองค์การอนามัยโลก (WHO) ยังคงใช้ค่ามาตรฐานฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ที่กำหนดขึ้นในปี พ.ศ. 2548 โดยค่าเฉลี่ยรายปีและค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง คือ 10 และ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ (WHO, 2020) สำหรับ United States Environmental Protection Agency มีมาตรฐานหลักและมาตรฐานรองของค่าเฉลี่ยฝุ่น PM<sub>2.5</sub> รายปี ได้แก่ 12 และ 15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง คือ 35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (US.EPA, 2020)

### 2.3.6 ค่ามาตรฐานของ PM<sub>2.5</sub> ในบรรยากาศภายในอาคาร

#### 1) ค่ามาตรฐานของ PM<sub>2.5</sub> ในบรรยากาศภายในอาคารของประเทศไทย

ในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีหน่วยงานใดกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร เพื่อให้เกิดความคุ้มครองสุขภาพของประชาชน กรมอนามัยจึงมีการร่างประกาศเรื่อง เกณฑ์ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ภายในอาคาร ที่ยอมรับได้ไม่เกิน 35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต่อค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมง หรือค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานของผู้ที่อยู่ในอาคาร (กรมอนามัย, 2559)

#### 2) ค่ามาตรฐานของ PM<sub>2.5</sub> ในบรรยากาศภายในอาคารของต่างประเทศ

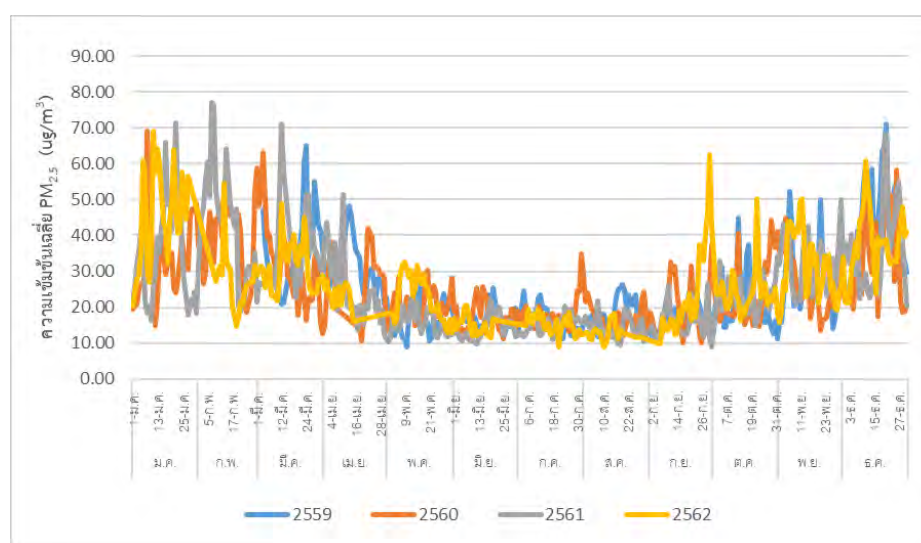
นอกจากประเทศไทยได้ร่างกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ภายในอาคารแล้ว ในหลาย ๆ ประเทศก็ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐาน PM<sub>2.5</sub> ภายในอาคาร (ดังตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบค่ามาตรฐานของต่างประเทศ

List	NAAQS/EPA	OSHA	ACGIH	Singapore	ASHRAE
Particles < 2.5 $\mu\text{m}^3$ (PM <sub>2.5</sub> )	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [1 yr] 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [24 hr]	5 $\text{mg}/\text{m}^3$	3 $\text{mg}/\text{m}^3$ [C]	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

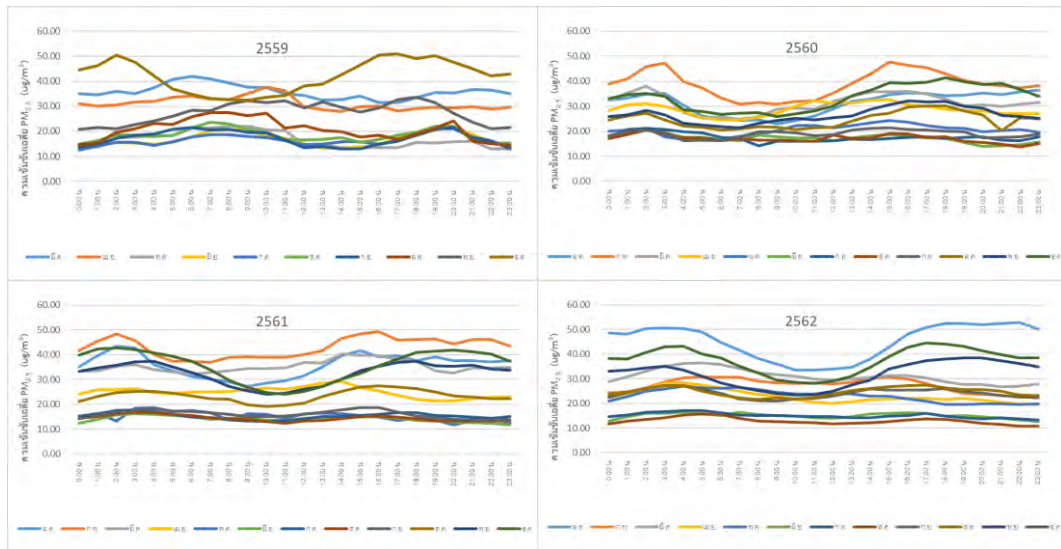
## 2.4 ปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร (PM<sub>2.5</sub>) เป็นปัญหาที่สำคัญทางด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย จากการนำข้อมูลทุติยภูมิขององค์กรอิสระไม่แสวงผลกำไร Berkeley Earth มาพล็อตกราฟ พบว่าปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ในกรุงเทพฯ ตั้งแต่ พ.ศ. 2559 – 2562 มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเดือนธันวาคม - มีนาคม ของทุกปี (แสดงดังภาพที่ 2.2) นอกจากนี้ปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> มีรูปแบบการกระจายตัวตามช่วงเวลาที่คล้ายคลึงกันทุกปี โดยปริมาณฝุ่นมีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงเช้า และลดลงในช่วงสายจนถึงบ่าย จากนั้นปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเย็นและยังคงมีปริมาณสูงต่อเนื่อง (แสดงดังภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.2 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2559 – 2562



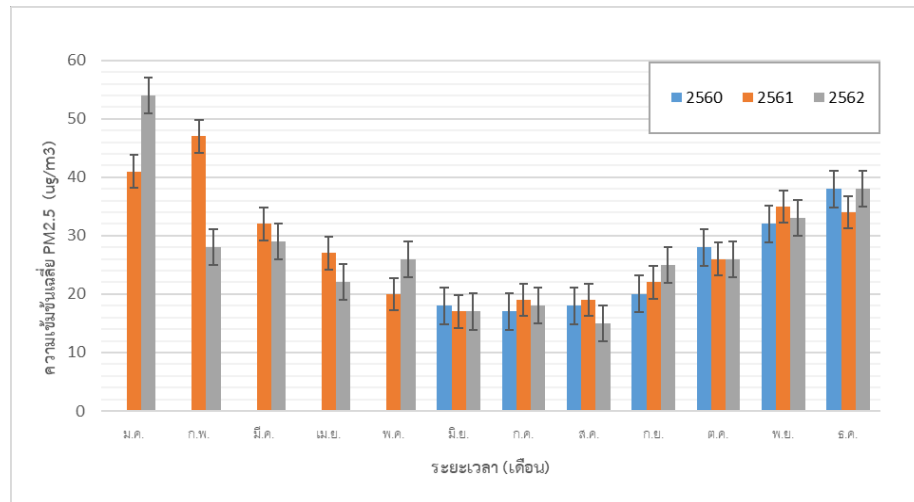


ภาพที่ 2.3 ความเข้มข้นเฉลี่ย  $PM_{2.5}$  ในรอบวัน เขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2559 – 2562

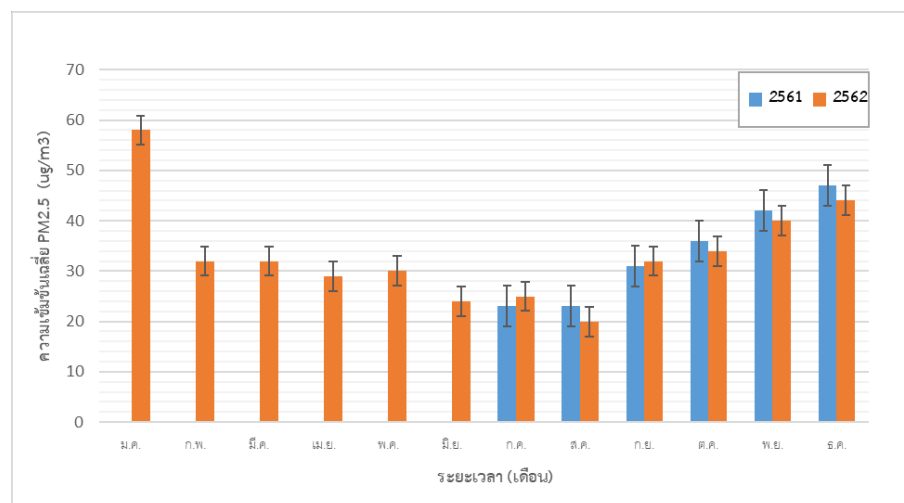
ด้วยขอบเขตการศึกษาได้กำหนดพื้นที่ศึกษาไว้บริเวณเขตปทุมวันและเขตดินแดง จึงได้นำข้อมูลจากรายงานของกรมควบคุมมลพิษในปี พ.ศ. 2561 มาวิเคราะห์แนวโน้ม เพื่อให้ทราบถึงปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  ย้อนหลังของพื้นที่ที่ทำการศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร บริเวณริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน และบริเวณริมถนนดินแดง เขตดินแดง เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีการจราจรหนาแน่น และอาจเป็นแหล่งที่มาสำคัญของฝุ่น  $PM_{2.5}$  การวิเคราะห์ปริมาณ  $PM_{2.5}$  บริเวณริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน และบริเวณริมถนนดินแดง เขตดินแดง ระหว่างปี พ.ศ. 2560 – 2562 เป็นดังนี้

#### 2.4.1 ปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ บริเวณริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน และบริเวณริมถนนดินแดง เขตดินแดง

กรมควบคุมมลพิษได้มีการบันทึกข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนของปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  บริเวณริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวันเริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายน ปี 2560 เป็นต้นมาจนถึงเดือนธันวาคม ปี 2562 พบว่าค่าเฉลี่ยรายเดือนของปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  มีค่ามากที่สุดในช่วงเดือน มกราคม และ กุมภาพันธ์ ปี 2561 และ 2562 ตามลำดับ (แสดงดังภาพที่ 2.4) และบริเวณริมถนนดินแดง เขตดินแดงได้มีการบันทึกข้อมูลตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ปี 2561 จนถึงเดือนธันวาคม ปี 2562 พบว่าค่าเฉลี่ยรายเดือนของความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  มีค่ามากที่สุดในช่วงเดือนมกราคม ปี 2562 (แสดงดังภาพที่ 2.5)



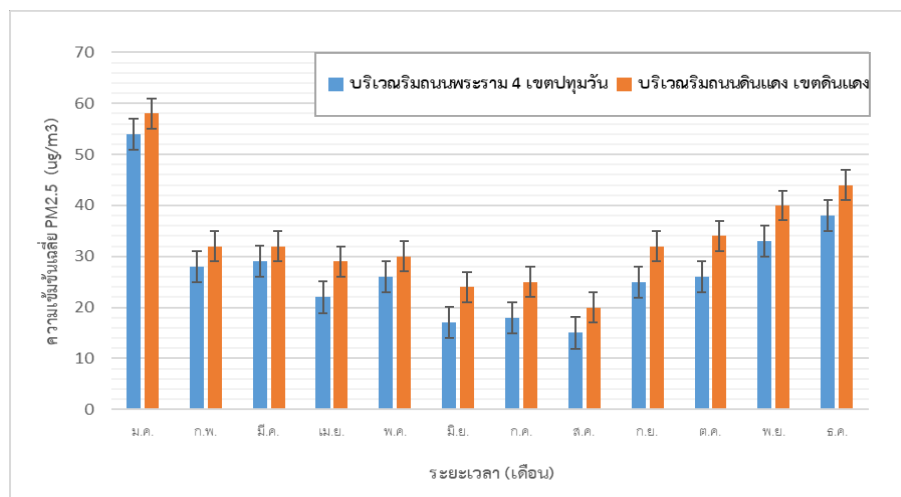
ภาพที่ 2.4 ความเข้มข้นเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> บริเวณริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน พ.ศ. 2560 - 2562



ภาพที่ 2.5 ความเข้มข้นเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> บริเวณริมถนนดินแดง เขตดินแดง พ.ศ. 2561 และ 2562

จากข้อมูลทุติยภูมิของกรมควบคุมมลพิษ พบว่าปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ในเขตปทุมวันและเขตดินแดงในเดือนมกราคม ปี 2562 มีค่าเฉลี่ยเกินเกณฑ์มาตรฐานค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกัน คือมากกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเมื่อนำปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ทั้ง 2 บริเวณมาทำการ

เปรียบเทียบกัน พบว่าปริมาณฝุ่นบริเวณริมถนนดินแดง เขตดินแดง มีค่ามากกว่าบริเวณริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน ในทุก ๆ เดือน (แสดงดังภาพที่ 2.6)



ภาพที่ 2.6 ความเข้มข้นเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> บริเวณริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวันและบริเวณริมถนนดินแดง เขตดินแดง ปี พ.ศ. 2562

จากการนำข้อมูลสถิติของปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ในพื้นที่กรุงเทพมหานครของ Berkeley Earth กับข้อมูลปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ของกรมควบคุมมลพิษบริเวณเขตดินแดงและเขตปทุมวันมาทำการวิเคราะห์เบื้องต้น พบว่าปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> มีแนวโน้มสูงช่วงต้นปีและปลายปีของทุกปีเช่นกัน อาจเนื่องมาจากปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาเข้ามาเกี่ยวข้อง

## 2.5 ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาและสภาวะอากาศที่มีอิทธิต่อระดับ PM<sub>2.5</sub>

สภาพอุตุนิยมวิทยาและสภาวะอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลต่อการกระจายตัวของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ที่อยู่ในบรรยากาศ ซึ่ง Ziyue et al. (2020) ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับอิทธิพลของสภาพอุตุนิยมวิทยาที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ทั่วประเทศจีน โดยมีการอธิบายเกี่ยวกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องดังตัวอย่างต่อไปนี้

### 2.5.1 อุณหภูมิ (Temperature)

การแปรผันของอุณหภูมิต่อความเข้มข้นของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> แตกต่างกันไปตามภูมิภาค บริเวณพื้นที่ที่แตกต่างกัน และผ่านกลไกต่าง ๆ กัน

- 1) อิทธิพลของอุณหภูมิที่แปรผันต่อความเข้มข้นของฝุ่น PM<sub>2.5</sub>

อิทธิพลที่แปรผกผันนี้มีสาเหตุหลักมาจากการหมุนเวียนของบรรยากาศที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและการสูญเสียการระเหยของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ประการแรกในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีกิจกรรมทางความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ความปั่นป่วนของสภาพอากาศทำให้การกระจายตัวของ  $PM_{2.5}$  ถูกเร่งขึ้นความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ก็จะน้อยลง ในทางกลับกันอุณหภูมิต่ำทำให้การพาความร้อนในบรรยากาศอ่อนลงและเพิ่มการสะสมของ  $PM_{2.5}$  ในพื้นที่ ประการที่สองอุณหภูมิสูงนำไปสู่การสูญเสียการระเหยที่ของ  $PM_{2.5}$  รวมถึงการสูญเสียโอ แอมโมเนียมไนเตรตและส่วนประกอบระเหยหรือกึ่งระเหยอื่น ๆ ส่งผลให้ความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{2.5}$  ลดลง

#### 2) อิทธิพลของอุณหภูมิที่แปรผันตรงต่อความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$

อิทธิพลที่ทำให้  $PM_{2.5}$  แปรผันตรงนี้มีสาเหตุหลักมาจากอิทธิพลของการผกผันของอุณหภูมิ (temperature inversion) ต่อการแพร่กระจายของฝุ่น  $PM_{2.5}$  และผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการผลิตของสารตั้งต้นและฝุ่นทุติยภูมิ ประการแรกในฤดูหนาวเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอาจนำไปสู่การก่อตัวของชั้นผกผันอุณหภูมิ ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ไม่เอื้ออำนวยสำหรับการเคลื่อนตัวมวลอากาศและอาจทำให้เกิดการสะสมของ  $PM_{2.5}$  นอกจากนี้การคงอยู่ของชั้นผกผันของอุณหภูมิเป็นตัวขับเคลื่อนสำคัญทางอุตุนิยมวิทยาสำหรับการก่อตัวของหมอกควัน ประการที่สองอุณหภูมิสูงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีในการสร้างสารตั้งต้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  และสารมลพิษอื่น ๆ เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  เพิ่มขึ้น สำหรับเมืองหรือพื้นที่เดียวกันอุณหภูมิอาจแปรผันตรงหรือแปรผกผันต่อความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลโดยรวมของอุณหภูมิต่อความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  อาจแตกต่างกันไปตามกลไกที่แตกต่างกัน

### 2.5.2 ความเร็วลม (wind speed)

จากการศึกษาในประเทศจีนพบว่าโดยทั่วไปความเร็วลมมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  แบบแปรผันตรงกัน กล่าวคือ เมื่อความเร็วลมเพิ่มสูงขึ้นปริมาณฝุ่นจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่กลไกที่แตกต่างกันอาจส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  มีปริมาณมากน้อยต่างกัน

#### 1) อิทธิพลของความเร็วลมที่แปรผกผันต่อความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$

ความเร็วลมสูงส่งเสริมการกระจายตัวของฝุ่น  $PM_{2.5}$  เกิดการถ่ายเทมวลอากาศออกจากพื้นที่ และเนื่องจากความเร็วลมเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับอัตราการระเหยของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ความเร็วลมสูงสามารถนำไปสู่การระเหยที่เพิ่มขึ้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ที่มีองค์ประกอบของสารระเหย ส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ลดลงในทางอ้อม

#### 2) อิทธิพลของความเร็วลมที่แปรผันตรงต่อความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$

ประการแรกเมื่อความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นอาจทำให้เกิดความปั่นป่วนขนาดเล็ก ทำให้การแพร่กระจายของฝุ่น  $PM_{2.5}$  มากขึ้นส่งผลให้ปริมาณฝุ่นเพิ่มขึ้น อีกทั้งการเคลื่อนตัวของบรรยากาศ

ในแนวนอนและอิทธิพลของการจมตัวอากาศชั้นบนทำให้เกิดสภาวะการกระจายตัวที่ไม่เอื้ออำนวย จึงเกิดการสะสมของฝุ่น  $PM_{2.5}$  และมลพิษอื่น ๆ ประการที่สองลมอ่อนหรือลมสงบเป็นตัวขับเคลื่อน อุตุนิยมวิทยาที่สำคัญสำหรับการก่อตัวของหมอกควัน ประการที่สามภายใต้สภาพทางภูมิศาสตร์ที่ แตกต่างกันรวมกับทิศทางลมและความเร็วลมที่มากขึ้นอาจทำให้ปริมาณความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{2.5}$  ถูก สะสมในบรรยากาศในทางตรงกันข้าม ยกตัวอย่างเช่น ลมพัดพาฝุ่น  $PM_{2.5}$  ออกจากเมืองหนึ่งไปสู่อีก เมืองหนึ่ง ประการที่สี่ลมแรงมากในตอนเกิดพายุนำไปสู่ความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{10}$  สูงและส่งผลให้ความ เข้มข้นฝุ่น  $PM_{2.5}$  สูงด้วยเช่นกัน

### 2.5.3 ความชื้น (Humidity)

ความชื้นมีอิทธิพลอย่างมากต่อความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  โดยมีกลไกที่แตกต่างกัน ดังนี้

#### 1) อิทธิพลของความชื้นที่แปรผกผันต่อความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$

จากการศึกษาหลายงานวิจัยในประเทศจีน พบว่าความชื้นที่แปรผกผันต่อความ เข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  เริ่มเกิดขึ้นบริเวณที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงประมาณ 70 หรือ 80% ขึ้นไป ทำให้อุณหภูมิของอนุภาคแขวนลอยรวมตัวกัน ส่งผลให้อนุภาคเหล่านี้มีน้ำหนักมากพอที่จะตกลงสู่พื้นดิน โดยการ รวมตัวของอนุภาคแล้วตกในสภาพอากาศแห้ง เรียกว่าเป็นการตกกลับของอนุภาค และการตกแบบ เปียก เรียกว่าการตกตะกอน กลไกเหล่านี้ทำให้ปริมาณความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{2.5}$  ในอากาศลดลงอย่างมี นัยสำคัญ

#### 2) อิทธิพลของความชื้นที่แปรผันตรงต่อความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$

ความชื้นแปรผันตรงต่อความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ผ่านกลไกสำคัญดังนี้ ประการ แรกความชื้นที่สูงขึ้นทำให้  $PM_{2.5}$  เกาะติดกับไอน้ำมากขึ้นและเพิ่มความเข้มข้นของมวลฝุ่น  $PM_{2.5}$  ซึ่ง เป็นการเพิ่มปริมาณและการสะสมของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ในอากาศ ในทางกลับกันความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่า จะนำไปสู่การสูญเสียการระเหยที่เพิ่มขึ้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ซึ่งเป็นกระบวนการตรงกันข้ามกับการเพิ่มขึ้น ของการอุ้มน้ำที่กล่าวมาข้างต้น ประการที่สองเมื่อมีรังสีจากดวงอาทิตย์และอุณหภูมิสูง ความชื้นสูง อาจเกิดการกระตุ้นส่งเสริมให้เกิดฝุ่น  $PM_{2.5}$  แบบทุติยภูมิ ประการที่สามการแบ่งส่วนที่เป็นแก๊สกับ อนุภาค โดยรับการกระตุ้นภายใต้สภาวะที่มีความชื้นสูง ดังนั้นเป็นการเพิ่มสัดส่วนของส่วนประกอบ ฝุ่นที่อุ้มน้ำ โดยเฉพาะแอมโมเนียมไนเตรตซึ่งจะช่วยเพิ่มการดูดซึมน้ำและเพิ่มมวลความเข้มข้นของ ฝุ่น  $PM_{2.5}$

### 2.5.4 ความกดอากาศ (atmospheric pressure)

อิทธิพลของความกดอากาศต่อความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  โดยทั่วไประบบแรงดันสูงจะนำไปสู่สภาพแวดล้อมที่นิ่ง ซึ่งไม่เอื้ออำนวยต่อการกระจายของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ในทางกลับกันความกดอากาศอาจมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ทางอ้อมโดยมีผลต่อปัจจัยอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เช่น ความชื้นและลม ซึ่งต่างมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  เช่นกัน อีกทั้งขึ้นอยู่กับสภาพทางภูมิศาสตร์และการกระจายตัวของระดับความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  เองที่ ดังนั้นอิทธิพลของความกดอากาศต่อความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  จะแตกต่างกันไปตามภูมิภาคและฤดูกาล

#### 1) อิทธิพลของความกดอากาศที่แปรผกผันต่อความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$

ความกดอากาศแปรผกผันกับความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ผ่านแนวกระแสลมอ่อนที่มาบรรจบกันจากสองพื้นที่ ซึ่งมีผลต่อการสะสมและการแพร่กระจายของฝุ่น  $PM_{2.5}$  นอกจากนี้ความกดอากาศแปรผกผันต่อความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  โดยมีผลต่อปัจจัยอื่น ตัวอย่างเช่น ระดับความกดอากาศที่เพิ่มขึ้นสามารถนำไปสู่ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยลดความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  อย่างมีนัยสำคัญ ในทางตรงกันข้ามความกดอากาศต่ำมักจะเกิดขึ้นบริเวณที่มีความชื้นสูง ซึ่งอาจทำให้เกิดการควบแน่นและการรวมตัวของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ในบรรยากาศ

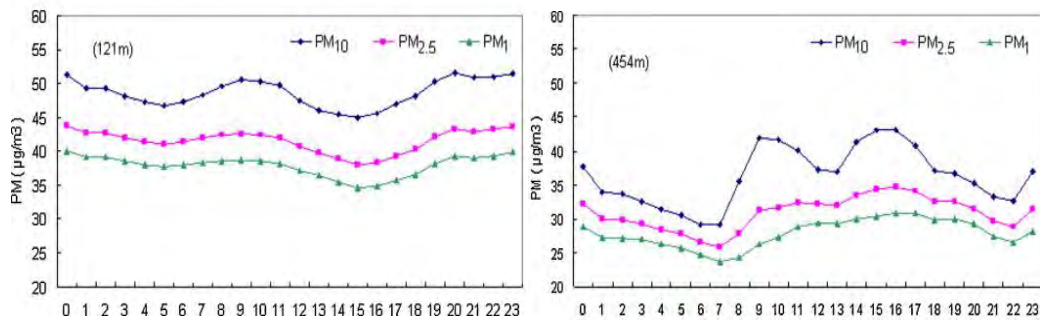
#### 2) อิทธิพลของความกดอากาศที่แปรผันตรงต่อความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$

ช่วงเหตุการณ์มลพิษความกดอากาศสูงซ่งทำให้เกิดสภาวะอากาศนิ่งมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ในภูมิภาค และทำให้เกิดฝุ่น  $PM_{2.5}$  ที่มีความเข้มข้นสูง นอกจากนี้ยังพบว่ากระแสลมสูงในศูนย์กลางความกดอากาศต่ำจะส่งเสริมการกระจายของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ในทางตรงกันข้ามกระแสลมต่ำในศูนย์กลางความกดอากาศสูง ซึ่งจะยับยั้งการเคลื่อนตัวของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ทำให้มีการสะสมของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ในบรรยากาศ

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

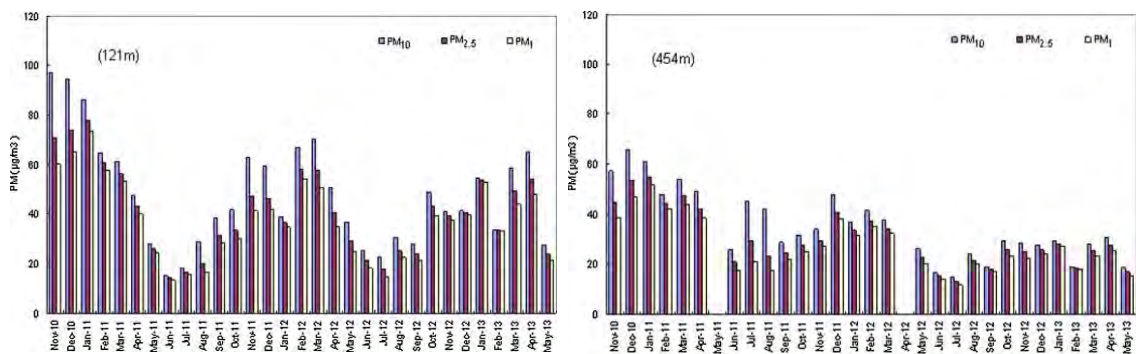
Deng et al. (2015) ได้ทำการการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{10}$   $PM_{2.5}$  และ  $PM_1$  ตามแนวตั้ง ที่ระดับความสูงสองระดับ คือ 121 และ 454 เมตร ที่หอคอยแคนตัน (Canton Tower) ในเมืองกวางโจว ประเทศจีน ตั้งแต่พฤศจิกายน พ.ศ. 2553 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2556 พบว่าลักษณะของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นทั้งสามขนาดโดยรวมลดลงตามฤดูกาล ดังต่อไปนี้ ฤดูหนาว > ฤดูใบไม้ผลิ > ฤดูใบไม้ร่วง > ฤดูร้อน และการเปลี่ยนแปลงรายวันตามช่วงเวลา พบว่าปริมาณฝุ่นที่ความสูง 121 เมตร แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบ “two peaks and one valley” กล่าวคือ ปริมาณฝุ่นจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเช้าและจะลดลงในช่วงเวลาประมาณเที่ยงถึงช่วงบ่ายแล้วกลับเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงเย็น ด้วยเหตุนี้จึงปรากฏเป็นภาพคล้ายยอดเขาสอง

ยอดและหนึ่งหุบเขา แต่ที่ความสูง 454 เมตร ไม่แสดงลักษณะนี้อย่างชัดเจน (แสดงดังภาพที่ 2.7) ซึ่งอธิบายไว้ว่าอาจเกี่ยวข้องกับโครงสร้างและกิจกรรมในการใช้ประโยชน์ของหอคอย โดยปริมาณของ PM เพิ่มขึ้นตามจำนวนนักท่องเที่ยว

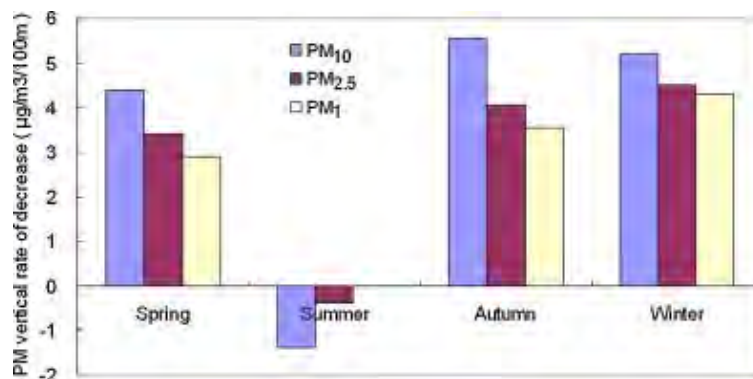


ภาพที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของฝุ่น  $PM_{10}$   $PM_{2.5}$  และ  $PM_1$  ในช่วง พฤศจิกายน 2553 - พฤษภาคม 2556 (Deng et al., 2015)

นอกจากนี้ปริมาณความเข้มข้นของค่าเฉลี่ยรายเดือนของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ที่ความสูง 121 เมตร มีค่ามากกว่าที่ความสูง 454 เมตร ซึ่งให้เห็นว่าเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  มีแนวโน้มลดลง (แสดงดังภาพที่ 2.8) และสามารถเรียงลำดับอัตราการลดลงตามความสูงของปริมาณฝุ่น (vertical lapse rate) คือ  $PM_{10} > PM_{2.5} > PM_1$  ซึ่งแสดงว่าการกระจายตัวตามแนวตั้งของอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กมีความสม่ำเสมอมากกว่าอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า (แสดงดังภาพที่ 2.9)

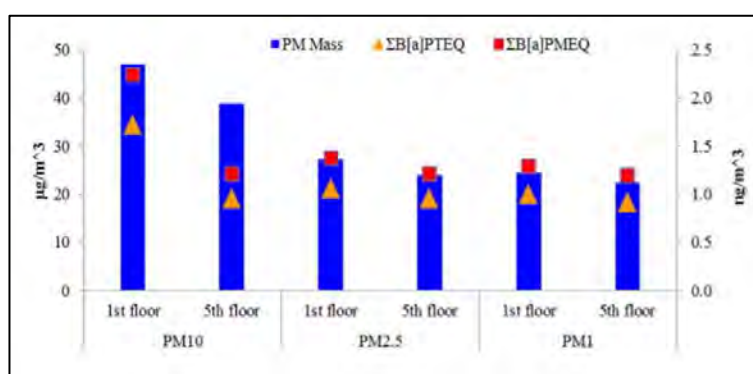


ภาพที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของฝุ่น  $PM_{10}$   $PM_{2.5}$  และ  $PM_1$  ในช่วง พฤศจิกายน 2553 - พฤษภาคม 2556 (Deng et al., 2015)



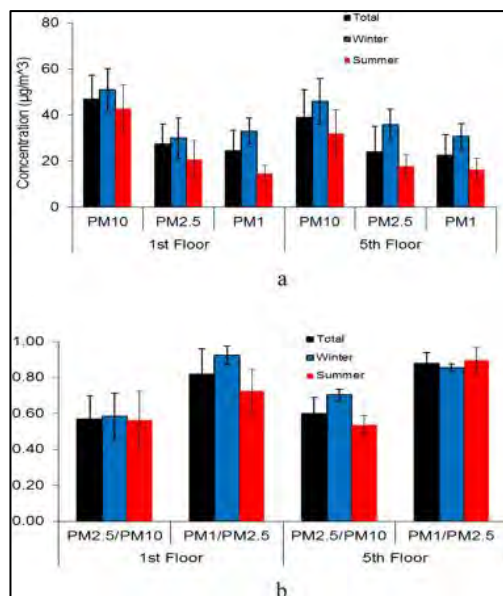
ภาพที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของอัตราการลดลงตามความสูงของปริมาณฝุ่น (vertical lapse rate) ในช่วง พฤษจิกายน 2553 - พฤษภาคม 2556 (Deng et al., 2015)

Pateraki et al. (2019) ได้ทำการศึกษาปริมาณฝุ่น PM<sub>10</sub> PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>1</sub> ตามแนวตั้งโดยทำการตรวจวัดบริเวณถนนที่มีการจราจรหนาแน่นที่สุดของเมืองเอเธนส์ ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 5 ของอาคารสูง 19 เมตร พบว่าปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นที่ทำการตรวจวัดชั้นที่ 1 มีค่าเฉลี่ยมากกว่าชั้นที่ 5 ของฝุ่นทั้งสามขนาด (แสดงดังภาพที่ 2.10) และอัตราส่วนของความเข้มข้นตามแนวตั้งของชั้นที่ 1 ต่อชั้นที่ 5 ลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 1.21 1.13 1.09 สำหรับ PM<sub>10</sub> PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>1</sub> ตามลำดับ และพบว่าในฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นทั้งสามขนาดมากที่สุดทั้งสองชั้นความสูง นอกจากนี้อัตราส่วนระหว่างฝุ่นขนาดเล็กต่อฝุ่นขนาดใหญ่ทั้งสองชั้นอัตราส่วน PM<sub>1</sub>/PM<sub>2.5</sub> มีค่ามากกว่า PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> และชั้นที่ 1 ค่า PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ใกล้เคียงกันในทุกฤดูในทางตรงกันข้ามที่ชั้น 5 ค่า PM<sub>1</sub>/PM<sub>2.5</sub> ใกล้เคียงกันในทุกฤดู ซึ่งให้เห็นว่าในฤดูร้อนและฤดูหนาวปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> มีปริมาณใกล้เคียงกันที่ชั้นล่าง ส่วนชั้นบนฝุ่น PM<sub>1</sub> และ PM<sub>2.5</sub> มีปริมาณใกล้เคียงกัน (แสดงดังภาพที่ 2.11)



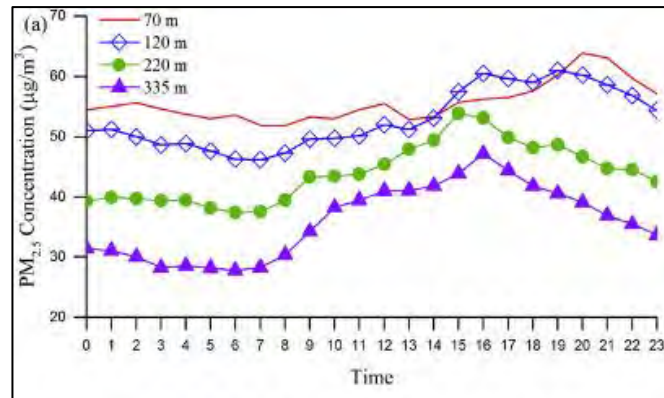
ภาพที่ 2.10 เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้น PM<sub>10</sub> PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>1</sub> ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 5 (Pateraki et al., 2019)



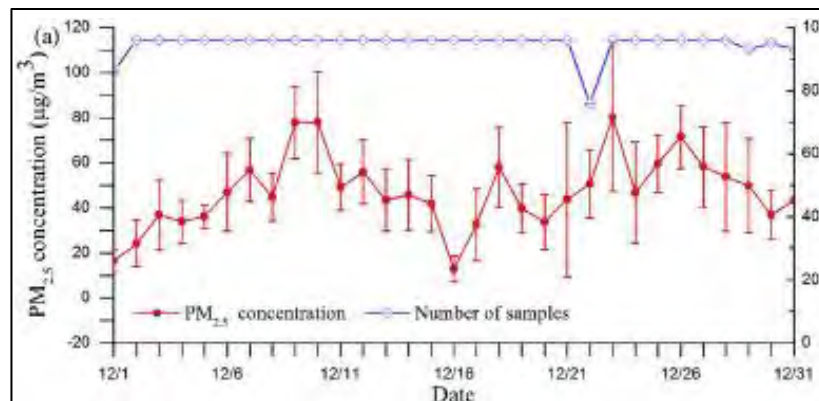


ภาพที่ 2.11 การเปลี่ยนแปลงฝุ่น PM ในฤดูร้อนและฤดูหนาว a) ปริมาณความเข้มข้น PM b) อัตราส่วนฝุ่นขนาดเล็กต่อฝุ่นขนาดใหญ่ (Pateraki et al., 2019)

Li L. et al. (2020) ได้ทำการศึกษาลักษณะการกระจายตัวตามแนวตั้งของความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ทำการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่เก็บรวบรวมในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 จากหออุตุนิยมวิทยาบริเวณสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเพิร์ล ประเทศจีน ผลการวิจัยพบว่า ความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  โดยทั่วไปลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น และความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลาเช้าต่อเนื่องไปถึงช่วงบ่าย หลังจากนั้นจึงค่อยๆ ลดปริมาณลง ทำให้มีลักษณะคล้ายกับยอดเขาหนึ่งยอด (แสดงดังภาพที่ 2.12) การลดลงของความเข้มข้นฝุ่นแตกต่างกันระหว่างในช่วงสถานการณ์มลพิษและไม่เกิดมลพิษ เป็นผลมาจากอุตุนิยมวิทยา โดยมีมวลอากาศเย็นเข้ามาปกคลุมส่งผลให้ความกดอากาศสูงอุณหภูมิจึงเริ่มลดลงเล็กน้อยและความเร็วลมเริ่มอ่อนลงทำให้เกิดสภาพอากาศนิ่ง ในขณะที่เดียวกันความสูงของชั้นผสมมวลอากาศ (mixing layer) ลดลง เงื่อนไขทางอุตุนิยมวิทยาดังกล่าวเอื้ออำนวยต่อการสะสมของมลพิษทางอากาศ ปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  เริ่มเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่วันที่ 1 – 10 ธันวาคม จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงเนื่องจากอุณหภูมิอากาศใกล้พื้นผิวเพิ่มสูงขึ้นในระยะสั้น ซึ่งก่อนหน้านี้มวลอากาศเย็นจะผ่านไป สภาพอากาศเริ่มไม่คงตัวและความเร็วลมเฉลี่ยก็เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นกัน และหลังจากวันที่ 15 ธันวาคม ความเร็วลมเฉลี่ยต่อวันเพิ่มขึ้นเป็นมากกว่า 4 เมตร/วินาที ทำให้มลพิษที่สะสมในช่วงก่อนหน้านี้ถูกถ่ายเทออกจากพื้นที่ และในวันที่ 16 ธันวาคม สามารถวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ถึงค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคมและจากนั้นวันที่ 17 ธันวาคม เริ่มเกิดสถานการณ์มลพิษขึ้นอีกครั้ง (แสดงดังภาพที่ 2.13)



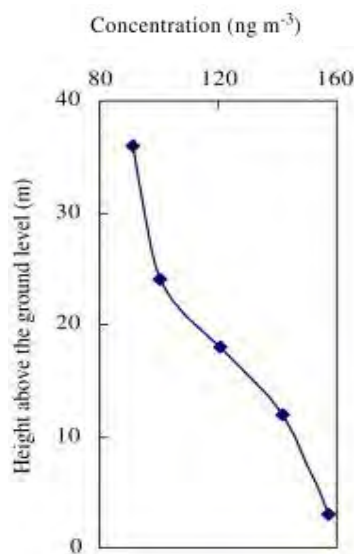
ภาพที่ 2.12 การกระจายตัวตามแนวตั้งของปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย  $PM_{2.5}$  ตามช่วงเวลาใน 1 วัน เดือนธันวาคม พ.ศ.2560 (Li L. et al., 2020)



ภาพที่ 2.13 การกระจายของปริมาณความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{2.5}$  รายวัน ในเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2560 (Li L. et al., 2020)

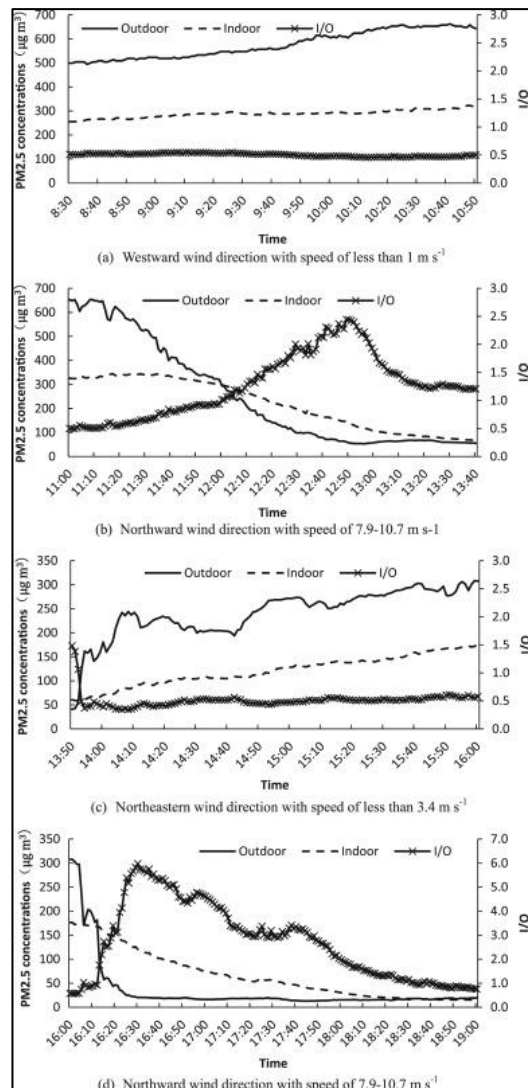
Li C. et al. (2005) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นและการกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยซึ่งตั้งอยู่ในเขตเมืองกวางโจว ประเทศจีน ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ที่วัดได้ในการศึกษาขึ้นอยู่กับระยะห่าง 83.33 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และอาคารที่อยู่ติดกับถนนที่มีการจราจรหนาแน่นมีปริมาณฝุ่นมากกว่าอาคารที่อยู่ห่างถัดออกไป พวกเขาได้อธิบายเกี่ยวกับอัตราส่วนปริมาณฝุ่นภายในต่อภายนอกอาคาร (I/O ratio) ว่าอัตราส่วนที่มากกว่า 1 บ่งชี้ว่าแหล่งภายในอาคารมีส่วนสำคัญต่อความเข้มข้นของอากาศภายในอาคาร ในขณะที่ไม่มีแหล่งกำเนิดฝุ่นหลักภายในอาคารคาดว่าอัตราส่วนจะใกล้เคียงหรือต่ำกว่า 1 จากผลการศึกษาพบว่าค่า I/O ratio มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นว่าปริมาณ  $PM_{2.5}$  ภายในอาคารได้รับอิทธิพลจากแหล่งที่มา

ภายนอกอาคาร นอกจากนี้การกระจายตัวตามแนวตั้งของปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  จะลดลงเมื่อความสูงที่เพิ่มขึ้น (แสดงดังภาพที่ 2.14 )



ภาพที่ 2.14 ค่าเฉลี่ยการกระจายตัวตามแนวตั้งของปริมาณความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{2.5}$  (Li C. et al., 2005)

Zhou et al. (2016) ได้ทำการศึกษาริมาณความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ภายในอาคารและภายนอกของที่พักอาศัย พบว่าปริมาณฝุ่นภายนอกมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับปริมาณฝุ่นภายในอาคาร โดยลมจากภายนอกอาคารส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นของฝุ่นภายในอาคารกรณีที่ความเร็วลมต่ำมีค่าน้อยกว่า 1 เมตร/วินาที ส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ภายนอกและภายในอาคารเพิ่มขึ้นแบบคงที่ช้า ๆ และค่าน้อยกว่า 3.4 เมตร/วินาที ก็ส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นเพิ่มขึ้นแต่จะมีควาผันผวนเล็กน้อย แต่หากความเร็วลมมีค่า 7.9 – 10.7 เมตร/วินาที จะส่งผลให้ปริมาณฝุ่นทั้งภายนอกและภายในอาคารมีความเข้มข้นลดลง (แสดงดังภาพที่ 2.15นอกจากนี้กิจกรรมภายในอาคารอาจทำให้ความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  ในอาคารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่นการสูบบุหรี่ การทำอาหาร หรือการทำความสะอาด เป็นต้น



ภาพที่ 2.15 การผันแปรระหว่างความเร็วลมและปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> (Zhoua et al., 2016)

Wanga et al. (2015) ได้ทำการศึกษาการแปรผันของความเข้มข้นของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารและผลกระทบที่มีต่อสภาพแวดล้อมในอาคาร พบว่าความเข้มข้นของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ภายในอาคารมีความสัมพันธ์สูงกับฝุ่นภายนอกอาคาร และความเข้มข้นของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารได้รับผลกระทบจากพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยา โดยความเข้มข้นของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารแปรผันกับความเร็วมและแปรผันตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นฝุ่น PM<sub>2.5</sub> สามารถแพร่กระจายเร็วขึ้นตามไปด้วย

Li X. et al. (2019) ทำการศึกษาการกระจายตัวของความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ที่ความสูง 1.5 กิโลเมตร ในเดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2561 โดยพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ย PM รายชั่วโมงลดลงตามความสูงในเวลากลางคืน (02.00 05.00 20.00 และ 23.00 น. ตามเวลาท้องถิ่น) อย่างรวดเร็ว โดยความสูงต่ำกว่า 500 เมตร มีค่าอัตราการลดลงของความเข้มข้น PM เมื่อความสูงเพิ่มขึ้น (lapse rates) เฉลี่ย 5.8 9.7 และ 11.7  $\mu g m^{-3}/100 m$ . สำหรับ  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ตามลำดับ และในเวลากลางวันมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ตามระดับความสูงช้า (08.00 – 17.00 น.) มีค่าอัตราการลดลงของความเข้มข้น PM เมื่อความสูงเพิ่มขึ้น (lapse rates) เฉลี่ย น้อยที่สุดประมาณ 1.8 3.0 และ 3.8  $\mu g m^{-3}/100 m$ . เมื่อเวลา 14.00

### บทที่ 3

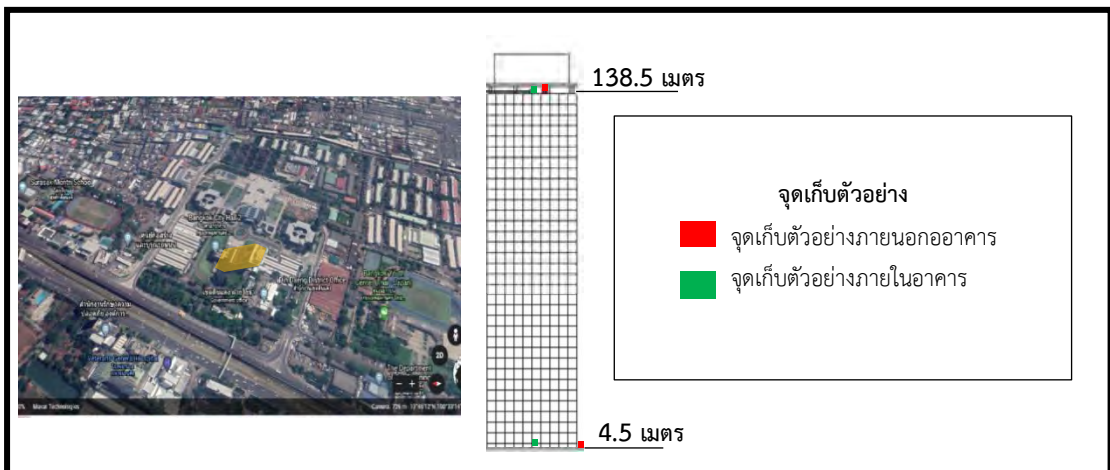
#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

##### 3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา 2 บริเวณด้วยกัน คือ

###### (1) อาคารสำนักงาน

ทางทิศเหนือของอาคารสำนักงานตั้งอยู่บริเวณ ถนนมิตรไมตรี เขตดินแดง ทิศใต้ติด ถนนประชาสงเคราะห์ และทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือใกล้กับถนนสายหลักวิภาวดีรังสิตมีระยะห่าง ประมาณ 180 เมตร อาคารมีความสูง 36 ชั้น ดำเนินการตรวจวัดความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ชั้นล่างความสูง 4.5 เมตร และชั้นบนความสูง 138.5 เมตร (แสดงดังภาพที่ 3.1 )

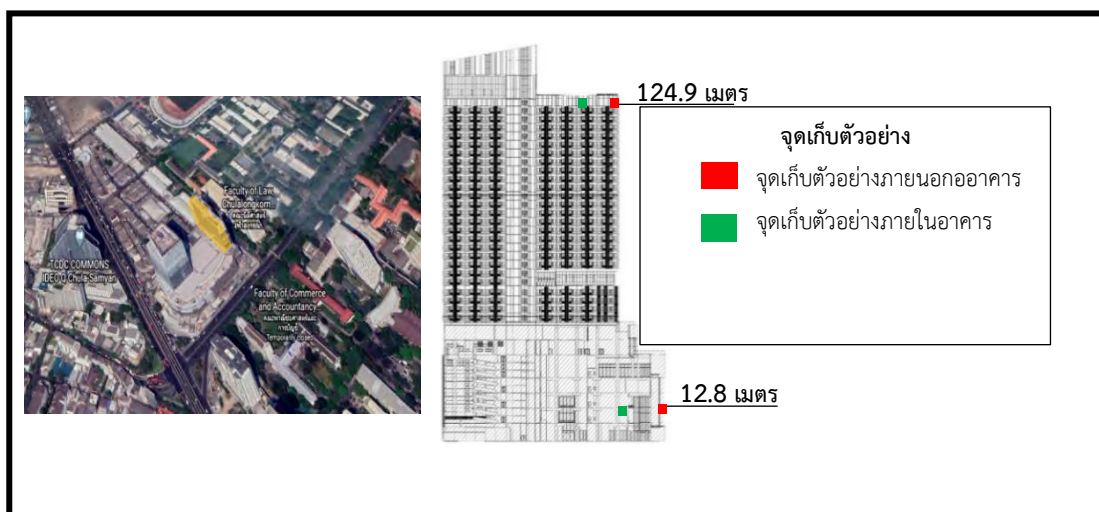


ภาพที่ 3.1 ภาพถ่ายดาวเทียม และภาพจำลองจุดเก็บตัวอย่างอาคารสำนักงาน

แหล่งที่มา : <https://earth.google.com>

###### (2) อาคารที่พักอาศัย

อาคารที่พักอาศัยตั้งอยู่บนหัวมุมถนนพระราม 4 – พญาไท คาดว่าการจราจรเป็น แหล่งที่มาของฝุ่น  $PM_{2.5}$  หลักในบริเวณนั้นเนื่องจากเป็นถนนสายหลักและมีการจราจรที่หนาแน่น อาคารที่พักอาศัยมีทั้งหมด 33 ชั้น ส่วนของอาคารทางทิศตะวันออกติดกับถนนพญาไท และทางด้าน ทิศเหนือติดกับถนนซอยจุฬาฯ 42 ดำเนินการตรวจวัดความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ชั้นล่างความสูง 12.8 เมตร และชั้นบน 124.9 เมตร (แสดงดังภาพที่ 3.2)



ภาพที่ 3.2 ภาพถ่ายดาวเทียม และภาพจำลองจุดเก็บตัวอย่างอาคารสำนักงาน

แหล่งที่มา : <https://earth.google.com>

### 3.2 การเตรียมการทดลอง

#### 3.2.1 การเตรียมกระดาศกรอง

(1) นำกระดาศกรอง (PTFE) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 46.2 มิลลิเมตร มาตรวจดูความไม่สมบูรณ์ของกระดาศกรอง เช่นรอยฉีกขาด รุพรุณ เป็นต้น หากมีความผิดปกติไม่นำไปใช้ในการเก็บตัวอย่าง

(2) นำกระดาศกรองไปแช่สารละลาย Acetone เป็นเวลา 15 นาที และผึ่งให้แห้งบนกระดาษนาฬิกา ในตู้ดูดควัน

(3) นำกระดาศกรองไปอบในตู้ดูดความชื้น โดยต้องมีความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 50% และควบคุมไม่ให้เปลี่ยนแปลงเกิน  $\pm 5\%$  ที่ไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง

(4) ชั่งกระดาศกรองที่อบแล้ว ก่อนนำไปทำการเก็บตัวอย่างโดยบันทึกค่าน้ำหนักกระดาศกรองด้วยเครื่องชั่งเครื่องชั่งทศนิยม 7 ตำแหน่ง (UMX2, Mettler-Toledo, Mettler-Toledo International Inc, USA) ก่อนเก็บตัวอย่าง ทำการชั่ง 3 ช้ำ โดยค่าที่ได้ไม่ควรห่างกันเกิน 0.0100 มิลลิกรัม

### 3.2.2 การเตรียมเครื่องมือเก็บตัวอย่าง

ก่อนทำการเก็บตัวอย่างจริงต้องมีการตรวจสอบสภาพเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างและสอบเทียบเครื่องมือก่อนนำไปใช้ในการเก็บตัวอย่างจริงทุกครั้ง เครื่องมือที่ใช้ ได้แก่

(1) เครื่อง Aeroqual series 500 ใช้ตรวจวัดความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  แบบเรียลไทม์ ซึ่งอ่านค่าได้ทันที (แสดงดังภาพที่ 3.3)



ภาพที่ 3.3 เครื่องวัดปริมาณปริมาณ  $PM_{2.5}$  (Aeroqual series 500)

แหล่งที่มา : [www.aeroqual.com/product/portable-particulate-monitor](http://www.aeroqual.com/product/portable-particulate-monitor)

(2) เครื่องมือ Cascade impactor ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่น  $PM_{2.5}$  เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก ซึ่งจะประกอบไปด้วย บีมดูดอากาศ หัว Impactor กระดาษกรองฝุ่นขนาดใหญ่ และกระดาษกรองที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่น (แสดงดังภาพที่ 3.4)



ภาพที่ 3.4 เครื่องมือ Cascade impactor ที่ใช้ในการเก็บฝุ่นตัวอย่าง



(3) เครื่อง Vantage PRO2 ใช้วัดสภาพอากาศทางอุตุนิยมวิทยา โดยมีพารามิเตอร์ในการตรวจวัดดังนี้ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความกดอากาศ (แสดงดังภาพที่ 3.5)



ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดสภาพอุตุนิยมวิทยา (Vantage PRO2)

### 3.3 การดำเนินการทดลอง

#### 3.3.1 การติดตั้งเครื่องมือ

ในพื้นที่การศึกษานี้ได้ทำการติดตั้งเครื่องตรวจวัดปริมาณ  $PM_{2.5}$  แบบ real-time และเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ Impaction และเครื่องวัดสภาพอุตุนิยมวิทยาโดยมีขั้นตอนดังนี้

(1) ติดตั้งเครื่อง Aeroqual series 500 เพื่อตรวจวัดความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  บริเวณภายนอกและภายในอาคารที่อาคารสำนักงาน ชั้นล่างความสูง 4.5 เมตร และชั้นบนความสูง 138.5 เมตร จากระดับนั้น สำหรับอาคารที่พักอาศัยทำการติดตั้งชั้นล่างความสูง 12.8 เมตร และชั้นบนความสูง 124.9 เมตร โดยเครื่องมีหลักการทำงานคือ หัวเซนเซอร์จะวัดลำแสงเลเซอร์ที่กระเจิงจากการกระทบกับอนุภาคฝุ่นละอองที่ผ่านเข้ามา เช่น เซอร์จะแปลงแสงที่กระเจิงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ต่อจากนั้นจะถูกแปลงเป็นค่าปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลาต่อเนื่องตั้งแต่วันที่ 13 – 27 มกราคม พ.ศ. 2563 สำหรับอาคารสำนักงาน และวันที่ 30 มกราคม – 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 สำหรับอาคารที่พักอาศัย ข้อมูลที่ได้จะถูกเก็บไว้ในอุปกรณ์จากนั้นจะดาวน์โหลดข้อมูลโดยตรงสู่พีซีผ่าน USB เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ผลต่อไป

(2) ติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น  $PM_{2.5}$  โดยเครื่องมือ Cascade impactor ติดตั้งบริเวณภายนอกและภายในอาคารที่อาคารสำนักงาน โดยติดตั้งที่ตำแหน่งเดียวกับเครื่องตรวจวัดแบบเรียลไทม์ เครื่องมืออาศัยหลักการดูดอากาศเข้าทางด้านบนของเครื่องโดยปั๊มดูดอากาศ หัว

Impactor ด้านบนมีตัวยึดแผ่นกรองอากาศ (filter PTFE) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 46.2 มิลลิเมตร เพื่อเก็บตัวอย่างฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ป้อนจะถูกตั้งเวลาให้ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง อากาศจะถูกดูดเข้าเครื่องวัดอัตราการไหลคงที่ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน จะถูกจับไว้แผ่นกรองที่ทาด้วยน้ำมันอีกชั้น เฉพาะฝุ่นขนาดเล็กเท่านั้นที่จะผ่านเข้าไปถึงกระดาษกรองเฉพาะ ซึ่งวิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นเป็นดังนี้

- 1) นำกระดาษกระดาษกรองที่ทำการชั่งน้ำหนักแล้วใส่ในหัว Impactor เพื่อทำการเก็บฝุ่น
  - 2) ติดตั้งปั๊มดูดอากาศกับหัว Impactor ที่ใส่กระดาษกรองแล้ว
  - 3) ปรับอัตราการไหลของอากาศ 10 ลิตร/นาที และตั้งเวลาทำการเก็บฝุ่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
  - 4) วัดอัตราการไหลของอากาศ ก่อนและหลังทำการเก็บตัวอย่างฝุ่น
  - 5) เมื่อทำการเก็บฝุ่นตัวอย่างครบ 24 ชั่วโมง นำกระดาษกรองไปอบในตู้ดูดความชื้นเป็นอย่างน้อย 24 ชั่วโมง
  - 6) นำกระดาษกรองที่อบแล้วมาทำการชั่งเช่นเดียวกับก่อนเก็บตัวอย่างฝุ่นด้วยเครื่องชั่งเครื่องชั่งทศนิยม 7 ตำแหน่ง โดยวิธีวิเคราะห์แบบ gravimetric
- (3) ติดตั้งเครื่อง Vantage PRO2 เพื่อทำการตรวจวัดสภาพอากาศทางอุตุนิยมหาวิทยาลัย เพื่อทำการวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความกดอากาศ บริเวณชั้นบนของอาคารสำนักงานความสูง 150 เมตร และอาคารที่พักอาศัยความสูง 124.9 เมตร โดยเครื่องจะบันทึกข้อมูลเป็นแบบเรียลไทม์ทุก ๆ 5 นาที

### 3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> จากฝุ่นตัวอย่าง

เมื่อทำการชั่งน้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่างแล้ว โดยเครื่องชั่งทศนิยม 7 ตำแหน่ง (Balance) (UMX2, Mettler-Toledo, Mettler-Toledo International Inc, USA) นำค่าน้ำหนักฝุ่นที่ได้จากผลต่างของกระดาษกรอง (หลังเก็บ - ก่อนเก็บตัวอย่าง) น้ำหนักที่ได้จะนำมาคำนวณเพื่อหาปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ต่อปริมาตรอากาศ หน่วยเป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$$\text{ความเข้มข้นของ PM}_{2.5} \text{ (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร)} = \frac{W_f - W_i \times 10^6}{V_{std}}$$

- เมื่อ
- |           |   |   |
|-----------|---|---|
| $W_f$     | = | น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง (กรัม)      |
| $W_i$     | = | น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (กรัม)      |
| $V_{std}$ | = | ปริมาตรของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (ลูกบาศก์เมตร) |
| $10^6$    | = | แปลงหน่วยกรัมเป็นไมโครกรัม                    |

และปริมาตรของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน ( $V_{std}$ ) สามารถหาได้จาก

$$V_{std} = Q_{std} \times t$$

เมื่อ  $Q_{std}$  = อัตราการไหลของอากาศมาตรฐาน (ลูกบาศก์เมตรต่อนาที)  
 $t$  = เวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)

### 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

นำข้อมูลเรียลไทม์ที่ได้จากการตรวจวัดมาวิเคราะห์โดยพล็อตกราฟจัดเรียงตามช่วงเวลา รายวันเพื่อทำการพิจารณาค่าที่ผิดปกติออกจากชุดข้อมูล เช่น ค่าสูงต่ำที่ผิดปกติ จากนั้นแยกข้อมูลตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการศึกษา ดังต่อไปนี้

(1) อธิบายลักษณะการกระจายตัวเชิงคาบของความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  รายวัน และรายชั่วโมง

ข้อมูลความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายนอกและภายในอาคารทั้งหมดถูกนำมาเฉลี่ยเป็นค่าเฉลี่ยรายวันและรายชั่วโมง

(2) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายในและภายนอกอาคาร

นำข้อมูลความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ทั้งสองชั้นของอาคารมาหาอัตราส่วนภายในต่อภายนอกอาคาร (I/O Ratio) จากนั้นนำค่า I/O Ratio มาเฉลี่ยเป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงก่อนนำไปทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ

(3) เปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ตามแนวตั้ง ที่ระดับความสูงแตกต่างกัน 2 ระดับ

ข้อมูลความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายนอกอาคารชั้นบนและชั้นล่างมาเฉลี่ยเป็นค่าเฉลี่ยรายวัน และหาอัตราส่วนความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ชั้นบนต่อชั้นล่างจากนั้นนำมาเฉลี่ยเป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงก่อนนำไปทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ

(4) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความกดอากาศ

ทำการเฉลี่ยข้อมูลความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายนอกอาคารชั้นบนและชั้นล่างเป็นข้อมูลรายชั่วโมง และทำการเฉลี่ยข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาเป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงก่อนนำไปทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ

(5) เปรียบเทียบความสัมพันธ์ปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  จากการตรวจวัดของเครื่องมือสองชนิด ได้แก่ ตรวจวัดแบบเรียลไทม์ โดยเครื่อง Aeroqual series 500 และแบบวิธีวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นโดยน้ำหนัก โดยเครื่อง Cascade impactor

นำข้อมูลเรียลไทม์ของความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  มาทำการเฉลี่ยเป็นค่าเฉลี่ยรายวันเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับปริมาณความเข้มข้นที่ได้จากการวิเคราะห์โดยน้ำหนักก่อนนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ

### 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจากผลการศึกษา โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics version 22 ตามวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

(1) อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายในและภายนอกอาคาร และเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ตามแนวตั้ง ที่ระดับความสูงแตกต่างกัน 2 ระดับ ทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Paired-Samples T-Test และ Pearson correlation

(2) อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความกดอากาศ ทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน Step-wise Multiple Regression Analysis

(3) เปรียบเทียบความสัมพันธ์ปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  จากการตรวจวัดของเครื่องมือสองชนิด ได้แก่ ตรวจวัดแบบเรียลไทม์ โดยเครื่อง Aeroqual series 500 และแบบวิธีวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นโดยน้ำหนัก โดยเครื่อง Cascade impactor โดยใช้วิธีวิเคราะห์ Paired-Samples T-Test

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

จากการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{2.5}$  โดยเครื่อง Aeroqual series 500 ตรวจวัดอากาศแบบต่อเนื่องทุก ๆ 5 นาที ที่สองระดับความสูงของอาคารสำนักงาน ได้แก่ ชั้นล่างความสูง 4.5 เมตร และชั้นบนความสูง 138.5 เมตร ในช่วงวันที่ 13 – 27 มกราคม พ.ศ. 2563 สำหรับอาคารที่พักอาศัย ตรวจวัดที่ชั้นล่างความสูง 12.8 เมตร และชั้นบนความสูง 124.9 เมตร ในช่วงวันที่ 30 มกราคม – 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563

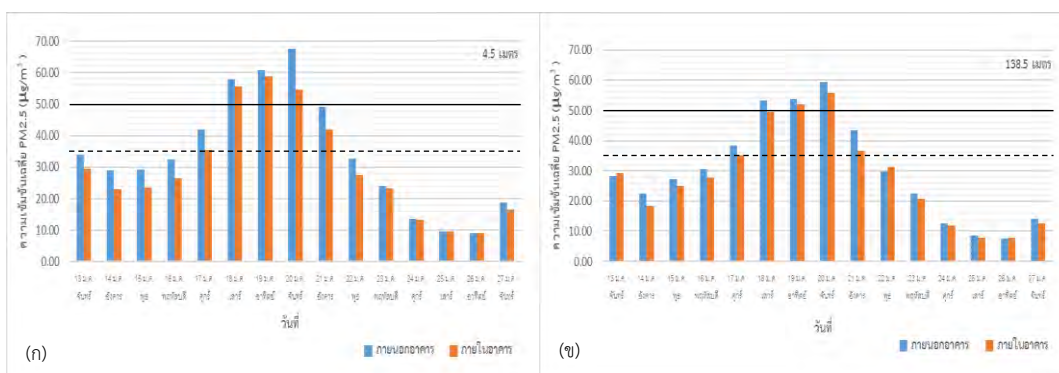
#### 4.1 การกระจายตัวเชิงคาบของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ รายวัน และรายชั่วโมง

การศึกษาการกระจายตัวเชิงคาบของความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  รายวัน และรายชั่วโมง เพื่อดูลักษณะรูปแบบการกระจายตัวในรอบวัน และอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  กับเกณฑ์มาตรฐานค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ภายในและภายนอกอาคาร

##### 4.1.1 อาคารสำนักงาน

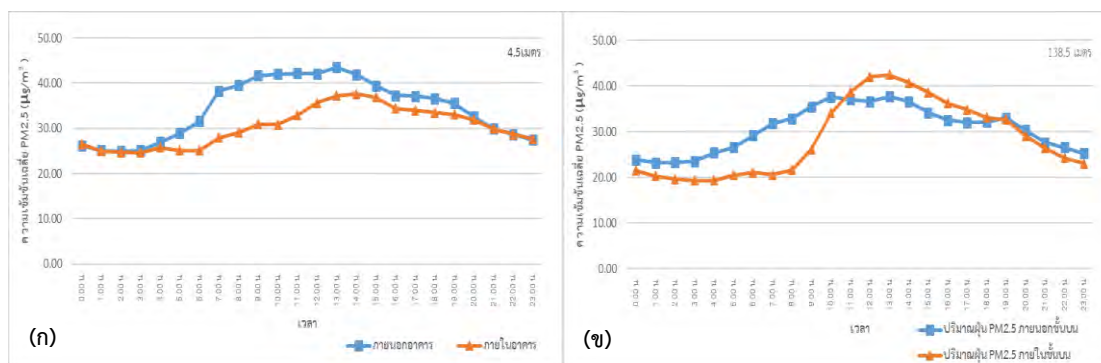
โดยรวมค่าเฉลี่ยรายวันของปริมาณความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{2.5}$  ภายนอกอาคารมากกว่าภายในอาคาร คือ ชั้นล่างที่ความสูง 4.5 เมตร คิดเป็น 93.3% โดยวันที่ 25 ม.ค. เป็นวันเดียวที่มีปริมาณฝุ่นภายในมากกว่าภายนอกอาคารเพียง  $0.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และชั้นบนที่ความสูง 138.5 เมตร คิดเป็น 80% ซึ่งพบว่าวันที่ 13, 22 และ 26 ม.ค. มีปริมาณฝุ่นภายในมากกว่าภายนอกอาคารเท่ากับ 1.02, 1.35 และ  $0.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ อย่างไรก็ตามผลต่างของปริมาณฝุ่นมีค่าน้อยอาจกล่าวได้ว่าปริมาณฝุ่นในวันดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันสำหรับฝุ่นภายนอกและภายในอาคาร นอกจากนี้วันที่ 18 – 20 ม.ค. ความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{2.5}$  ที่เกินเกณฑ์มาตรฐานภายนอกอาคาร 24 ชม. ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ทั้งชั้นล่างและชั้นบนมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในวันที่ 20 ม.ค. เท่ากับ 67.64 และ  $59.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ส่วนเกณฑ์มาตรฐานภายในอาคาร 24 ชม. ( $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) พบว่าความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{2.5}$  เริ่มถึงเกณฑ์ในวันที่ 17 ม.ค. และค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น โดยชั้นล่างมีความเข้มข้นสูงสุดในวันที่ 19 ม.ค. และวันที่ 20 ม.ค. สำหรับชั้นบน มีค่าเท่ากับ 58.86 และ  $55.69 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และในวันที่ 21 ม.ค. ยังคงมีความเข้มข้นที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน จากนั้นปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  ภายนอกและภายในอาคารทั้งสองชั้นมีความเข้มข้นลดลงจนมีค่าต่ำกว่า  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ในวันที่ 25 และ 26 ม.ค. และวันที่ 27 ปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอีกครั้งและอาจมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในวันถัดไป (แสดงดังภาพที่ 4.1)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของความเข้มข้นเฉลี่ย  $PM_{2.5}$  พบว่าความเข้มข้นฝุ่นที่ชั้นล่างและชั้นบนมีลักษณะคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Li L. et al. (2020) ที่มีลักษณะเส้นกราฟปรากฏเป็นภาพคล้ายกับยอดเขาหนึ่งยอด โดยผลการศึกษานี้พบว่า ปริมาณฝุ่นจะเริ่มสูงขึ้นในช่วงเช้าตั้งแต่เวลาประมาณ 05.00 น. จากนั้นปริมาณฝุ่นภายนอกอาคารจะเพิ่มสูงสุดในช่วงเวลา 13.00 น. ทั้งชั้นล่างและชั้นบนมีค่าเท่ากับ 43.5 และ 37.7  $\mu g/m^3$  ตามลำดับ และความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  จะค่อยๆ ลดลงจนความเข้มข้นต่ำสุดในช่วงเวลา 01.00 น. มีค่าเท่ากับ 23.23  $\mu g/m^3$  และ 02.00 น. มีค่าเท่ากับ 24.93  $\mu g/m^3$  สำหรับชั้นบนและชั้นล่างตามลำดับ สำหรับปริมาณฝุ่นภายในอาคารความเข้มข้นสูงสุดบริเวณชั้นล่างและชั้นบนมีค่าเท่ากับ 37.60 และ 42.49  $\mu g/m^3$  ในช่วงเวลา 14.00 น. และ 13.00 น. ตามลำดับ และความเข้มข้นต่ำสุดในช่วงเวลา 03.00 น. มีค่าเท่ากับ 24.58 และ 19.36  $\mu g/m^3$  สำหรับชั้นล่างและชั้นบนตามลำดับ (แสดงดังภาพที่ 4.2) โดยรวมแล้วปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย  $PM_{2.5}$  รายชั่วโมง ภายนอกอาคารมีค่ามากกว่าภายในอาคาร แต่พบว่าชั้นบนในช่วงเวลาประมาณ 11.00 น. – 18.00 น. มีปริมาณฝุ่นภายในมากกว่าภายนอกอาคาร (แสดงดังภาพที่ 4.2 (ข))



เกณฑ์มาตรฐานฝุ่น  $PM_{2.5}$  ภายนอกอาคาร ( $50 \mu g/m^3$ ) ————  
 เกณฑ์มาตรฐานฝุ่น  $PM_{2.5}$  ภายในอาคาร ( $35 \mu g/m^3$ ) - - - - -

ภาพที่ 4.1 ความเข้มข้นเฉลี่ย  $PM_{2.5}$  รายวันภายนอกและภายในอาคารบริเวณอาคารสำนักงาน ก) ชั้นล่างที่ความสูง 4.5 เมตร ข) ชั้นบนที่ความสูง 138.5 เมตร



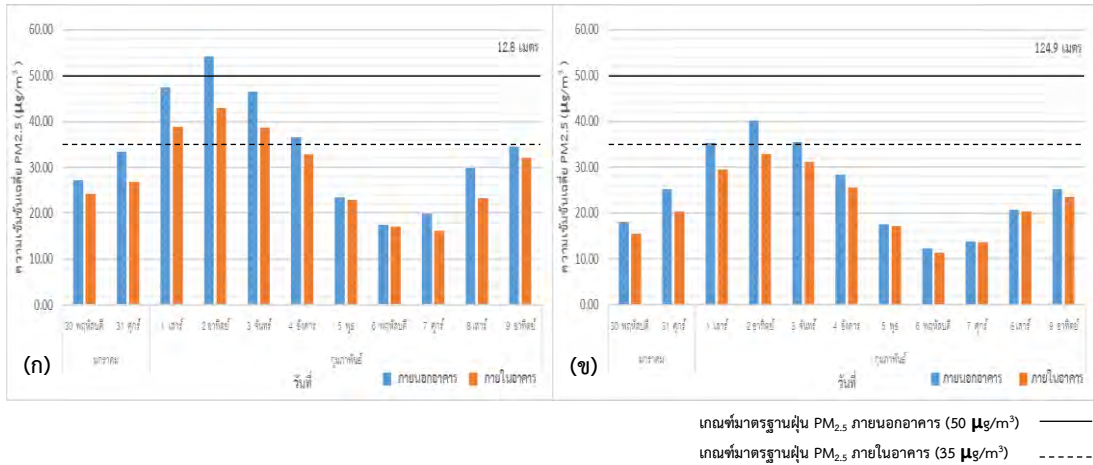
ภาพที่ 4.2 ความเข้มข้นเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> รายชั่วโมง ภายนอกและภายในอาคารบริเวณอาคารสำนักงาน ก) ชั้นล่างที่ความสูง 4.5 เมตร ข) ชั้นบนที่ความสูง 138.5 เมตร

#### 4.1.2 อาคารที่พักอาศัย

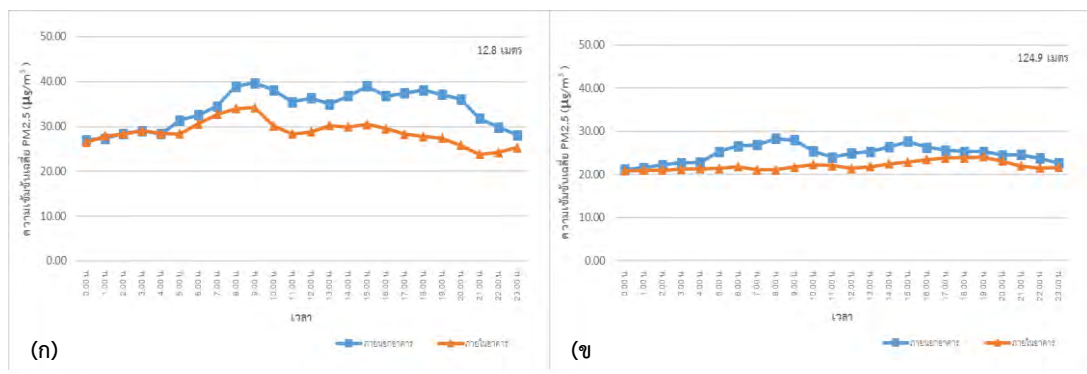
ความเข้มข้นเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> รายวัน ภายนอกอาคารที่พักอาศัยมีค่ามากกว่าภายในอาคารทุกวันที่ทำการตรวจวัดทั้งชั้นล่างและชั้นบนที่ความสูง 12.8 เมตร และ 124.9 เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นฝุ่น PM<sub>2.5</sub> เฉลี่ย 24 ชม. ที่เกินเกณฑ์มาตรฐานภายนอกและภายในอาคาร (50 และ 35 µg/m<sup>3</sup>) ตามลำดับ พบเพียงที่ชั้นล่างเท่านั้น โดยภายนอกอาคาร คือ วันที่ 2 ก.พ. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54.21 µg/m<sup>3</sup> และภายในอาคาร คือ วันที่ 1 - 3 ก.พ. ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 38.77, 42.91 และ 38.66 µg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ จากนั้นปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกและภายในอาคารทั้งสองชั้นมีความเข้มข้นลดลงจนมีค่าต่ำกว่า 20 µg/m<sup>3</sup> ในวันที่ 6 และ 7 ก.พ. สำหรับชั้นล่าง และวันที่ 5 - 7 ก.พ. สำหรับชั้นบน จากนั้นปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอีกครั้งและอาจมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในวันถัดไป (แสดงดังภาพที่ 4.3)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของความเข้มข้นเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> พบว่าความเข้มข้นฝุ่นที่ชั้นล่างและชั้นบนมีลักษณะคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Deng et al. (2015) ที่มีลักษณะกราฟปรากฏภาพคล้ายกับยอดเขาสองยอดและหนึ่งหุบเขา โดยผลการศึกษานี้พบว่า ปริมาณฝุ่นจะเริ่มสูงขึ้นในช่วงเช้าตั้งแต่เวลาประมาณ 05.00 น. จนถึงประมาณ 09.00 น. จากนั้นปริมาณฝุ่นจะค่อยๆ ลดลงปรากฏเป็นภาพหุบเขาและเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลา 14.00 น. จนถึงเวลาประมาณ 20.00 น. และลดลงอีกครั้ง ความเข้มข้นสูงสุดภายนอกอาคารชั้นล่างและชั้นบน มีค่าเท่ากับ 39.66 µg/m<sup>3</sup> ที่เวลา 09.00 น. และ 28.24 µg/m<sup>3</sup> ที่เวลา 08.00 น. ตามลำดับ ช่วงเวลาที่ความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ต่ำสุดภายนอกอาคารทั้งชั้นล่างและชั้นบนคือ 24.00 น. มีค่าเท่ากับ 27.01 และ 21.09 µg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ ส่วนปริมาณความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายในอาคาร พบว่าชั้นล่างมีความเข้มข้นสูงสุด

เท่ากับ 34.20 และสำหรับชั้นบนเท่ากับ 23.78  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ในช่วงเวลา 09.00 น. และ 17.00 น. ตามลำดับ ช่วงเวลาที่ความเข้มข้น  $\text{PM}_{2.5}$  ต่ำสุดภายในอาคารทั้งชั้นล่างและชั้นบนมีค่าเท่ากับ 23.78 และ 20.79  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ในช่วงเวลา 21.00 น. และ 24.00 น. ตามลำดับ (แสดงดังภาพที่ 4.4)



ภาพที่ 4.3 ความเข้มข้นเฉลี่ย  $\text{PM}_{2.5}$  รายวัน ภายนอกและภายในอาคารบริเวณอาคารที่พักอาศัย ก) ชั้นล่างที่ความสูง 12.8 เมตร ข) ชั้นบนที่ความสูง 124.9 เมตร



ภาพที่ 4.4 ความเข้มข้นเฉลี่ย  $\text{PM}_{2.5}$  รายชั่วโมง ภายนอกและภายในอาคารบริเวณอาคารที่พักอาศัย ก) ชั้นล่างที่ความสูง 12.8 เมตร ข) ชั้นบนที่ความสูง 124.9 เมตร

จากการศึกษา พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ย  $\text{PM}_{2.5}$  รายวันภายนอกอาคารโดยรวมที่ชั้นล่างและชั้นบนของทั้งสองอาคารมีค่ามากกว่าภายในอาคาร อาจเนื่องมาจากอาคารตั้งอยู่ใกล้ถนนสายหลักซึ่งการจราจรถือเป็นแหล่งที่มาสำคัญของการเกิด  $\text{PM}_{2.5}$  ในบริเวณนั้น ผลการศึกษาที่น่าสนใจคือ



กับการศึกษาของ Wanna et al. (2011) ที่ตรวจพบ PM<sub>2.5</sub> รายวันภายนอกอาคารมีค่ามากกว่าภายในอาคาร

จากผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นรายวันบริเวณอาคารสำนักงานในช่วงวันที่ 17 – 21 มกราคม 2563 ที่พบค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดนั้นอาจได้รับอิทธิพลจากสภาพอากาศบริเวณกรุงเทพมหานคร โดยมีการรายงานของเว็บไซต์ ASEAN Specialized Meteorological Centre ระบุว่าช่วงเวลาดังกล่าวตรวจพบจุดความร้อน (Hotspot) ที่อยู่กัมพูชา ไทย พม่า และเวียดนามตอนใต้ สภาวะหมอกควันยังคงมีอยู่ในหลายพื้นที่ของประเทศกัมพูชา ประเทศไทย และภาคใต้ของเวียดนาม อีกทั้งมีการรายงานคุณภาพอากาศในระดับที่ไม่ดีต่อสุขภาพในส่วนของภาคเหนือ และภาคกลางของประเทศไทย นอกจากนี้พบหมอกควันข้ามพรมแดนจากภาคเหนือของประเทศไทยถูกพัดพาไปทางเหนือของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว และหมอกควันจากกัมพูชาตอนเหนือบางส่วนก็ถูกพัดพาไปยังภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และทางทิศเหนือของเส้นศูนย์สูตร และพบว่าในช่วงวันที่ 23 – 27 มกราคม 2563 ลมมีทิศทางเปลี่ยนแปลงไปจากช่วงก่อนหน้านี้ โดยส่วนใหญ่พัดมาจากทางตะวันตกเฉียงเหนือ ดังนั้นช่วงวันที่ 17 – 21 มกราคม 2563 จึงมีการตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ได้สูงในช่วงดังกล่าว เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดกลุ่มหมอกควันจากประเทศเพื่อนบ้านเข้ามาในพื้นที่ของประเทศไทย และเมื่อลมเริ่มมีการเปลี่ยนทิศทางในวันที่ 23 มกราคม 2563 เป็นต้นไป ทำให้ประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมตะวันตกเฉียงใต้ ส่งผลให้การสะสมปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ในบรรยากาศเริ่มลดลง พบระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำการตรวจวัดบริเวณอาคารสำนักงานในวันที่ 26 มกราคม 2563

รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ในรอบวัน พบว่าที่อาคารสำนักงานมีรูปแบบไม่ปกติโดยกราฟปรากฏลักษณะเป็นยอดเขาหนึ่งยอด (one peak) อาจเนื่องมาจากในช่วงเวลาดังกล่าว บริเวณอาคารสำนักงานได้รับผลกระทบจากความกดอากาศสูงจากประเทศจีนที่แผ่ปกคลุมประเทศไทยส่งผลให้เกิดสภาวะอากาศนิ่งและคงตัว (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2563) ประกอบกับเป็นช่วงสถานการณ์มลพิษ ทำให้ฝุ่นถูกสะสมในบรรยากาศสูง ไม่สามารถกระจายตัวได้อย่างปกติ จึงทำให้ในช่วงเวลากลางวันอากาศไม่สามารถเคลื่อนตัวตามแนวตั้งได้ดี จึงทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นในบรรยากาศสูงกว่าสภาพอากาศปกติ ส่วนบริเวณอาคารที่พักอาศัยมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ในรอบวันแบบเป็นปกติ กราฟปรากฏคล้ายยอดเขาสองยอดและหนึ่งหุบเขา (two peaks and one valley) เนื่องมาจากในช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดไม่อยู่ในช่วงสถานการณ์มลพิษ เหมือนที่ทำการตรวจวัดฝุ่นที่อาคารสำนักงาน ดังนั้นการกระจายตัวของฝุ่นจึงเป็นรูปแบบปกติ โดยช่วงเช้าและเย็นค่าความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ที่สูงสุดปรากฏเป็นยอดเขาสองยอด บ่งชี้ว่าช่วงเวลาดังกล่าวมีกิจกรรมที่ก่อให้เกิดฝุ่นมากกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ ซึ่งพบว่าถนนสายหลักที่อาคารตั้งอยู่มีสภาพการจราจร

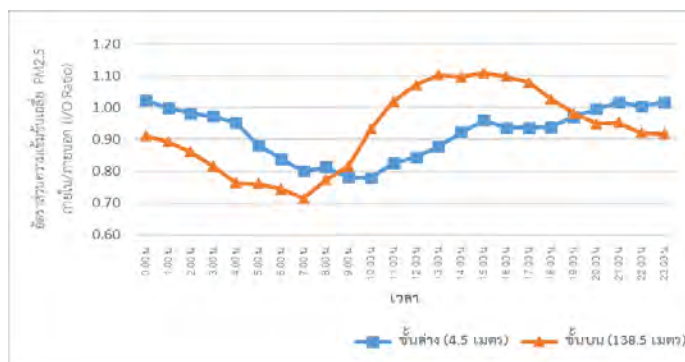
หนาแน่นในช่วงเวลาเช้าและเย็น อีกทั้งช่วงเวลา 14.00 น. ถึงเวลาประมาณ 20.00 น. มีกิจกรรมของประชาชนที่เข้ามาใช้บริการบริเวณห้างสรรพสินค้าที่อยู่ในอาคารเดียวกับที่พักอาศัยจึงอาจเป็นแหล่งที่มาสำคัญของฝุ่น  $PM_{2.5}$  สำหรับการลดลงของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ในช่วงกลางวันเป็นผลจากการยกตัวของอากาศตามแนวตั้งที่เกิดขึ้นเป็นปกติในวันที่สภาพอากาศปลอดโปร่งไม่มีเมฆปกคลุม ทำให้มลสารเจือจางได้ดี

#### 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ภายในและภายนอกอาคาร

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  ภายในและภายนอกอาคาร สามารถอธิบายด้วยอัตราส่วนความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายในต่อภายนอกอาคาร (I/O Ratio) โดยหากค่า I/O Ratio น้อยกว่า 1 แสดงว่าความเข้มข้นฝุ่นภายนอกมากกว่าภายในอาคาร ในทางตรงกันข้ามหากความเข้มข้นฝุ่นภายในมากกว่าภายนอกอาคาร I/O Ratio จะมีค่ามากกว่า 1 และหาก I/O Ratio มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าความเข้มข้นฝุ่นภายในเท่ากับภายนอกอาคาร

##### 4.2.1 อาคารสำนักงาน

อัตราส่วนภายในและภายนอกอาคารของค่าเฉลี่ยความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  รายชั่วโมงที่อาคารสำนักงาน แสดงดังภาพที่ 22 ชั้นล่างมีค่าอยู่ที่ช่วง 0.78 – 1.02 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.92 โดยพบว่ามีค่ามากที่สุดในช่วงเวลา 21.00 - 01.00 น. (I/O Ratio = 1.00 - 1.02) และค่าน้อยที่สุดในช่วงเวลา 09.00 – 10.00 น. (I/O Ratio = 0.78) ค่าเฉลี่ย I/O Ratio < 1 คิดเป็น 79.17% และชั้นบนมีค่าอยู่ที่ช่วง 0.72 – 1.11 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.93 โดยพบว่ามีค่ามากที่สุดในช่วงเวลา 11.00 - 18.00 น. (I/O Ratio = 1.02 – 1.11) และค่าน้อยที่สุดในช่วงเวลา 07.00 น. (0.78 – 0.72) ค่าเฉลี่ย I/O Ratio < 1 คิดเป็น 66.67% จากการหาอัตราส่วนความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายในต่อภายนอกอาคาร โดยรวมค่าน้อยกว่า 1 ทั้งชั้นล่างและชั้นบน ชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นภายนอกมากกว่าภายในอาคาร (แสดงดังภาพที่ 4.5)



ภาพที่ 4.5 อัตราส่วนความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายในต่อภายนอกอาคาร บริเวณชั้นล่างและชั้นบนของอาคารสำนักงาน

เมื่อนำข้อมูลปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายในและภายนอกอาคารไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี Paired-Samples T-Test พบว่าความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ชั้นล่างและชั้นบนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยชั้นล่างและชั้นบนมีค่า Sig 2 tailed = 0.000,  $p < 0.05$  อีกทั้งความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายนอกอาคารมีค่ามากกว่าความเข้มข้นภายในอาคาร (แสดงตารางที่ 4.1) นอกจากนี้การวิเคราะห์โดยวิธี Pearson Correlation พบว่าปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายในและภายนอกอาคารของทั้งสองชั้นมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% กล่าวคือหากความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายนอกอาคารมีปริมาณสูงจะส่งผลให้ความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายในอาคารสูงด้วยเช่นกัน (แสดงดังภาพที่ 4.6) โดยมีค่า  $r = 0.931$ ,  $r = 0.906$  สำหรับชั้นล่างและชั้นบนตามลำดับ (แสดงดังตารางที่ 4.2) แสดงให้เห็นว่าระดับที่ปรากฏของ  $PM_{2.5}$  ภายในอาคารเป็นผลมาจาก  $PM_{2.5}$  ที่อยู่ภายนอกอาคารแพร่ผ่านเข้ามา

**ตารางที่ 4.1** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Paired-Samples T-Test ระหว่างความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายนอกและภายในอาคาร ที่ชั้นล่างและชั้นบน อาคารสำนักงาน

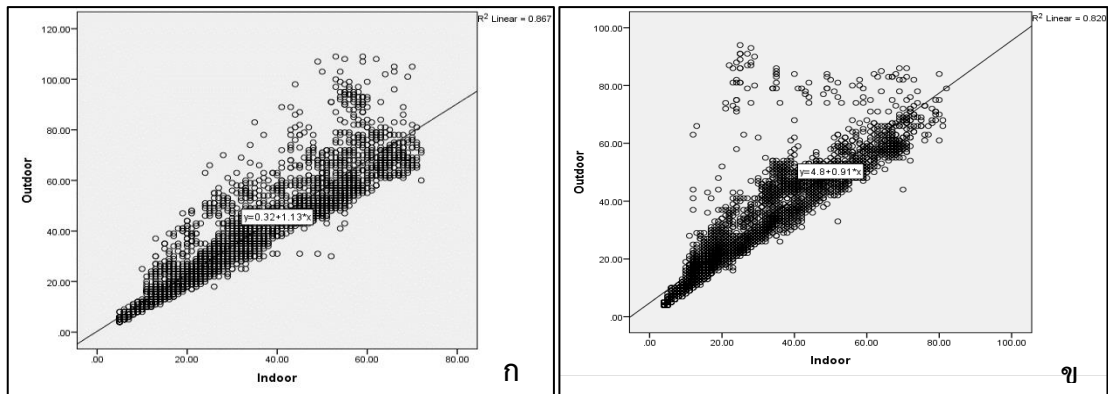
ระดับชั้นอาคาร	กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนข้อมูล (N)	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ )	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ค่าสถิติทดสอบ (t)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ชั้นล่าง (4.5 เมตร)	ภายนอกอาคาร	4034	34.488	21.480	32.138*	0.000
	ภายในอาคาร	4034	30.360	17.769		
ชั้นบน (138.5 เมตร)	ภายนอกอาคาร	4042	30.779	18.644	16.938*	0.000
	ภายในอาคาร	4042	28.623	18.600		

\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

**ตารางที่ 4.2** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Pearson Correlation ระหว่างความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายนอกและภายในอาคาร ที่ชั้นล่างและชั้นบน อาคารสำนักงาน

ระดับชั้นอาคาร	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ชั้นล่าง (4.5 เมตร)	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ภายนอกและภายในอาคาร	0.931*	0.000
ชั้นบน (138.5 เมตร)	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ภายนอกและภายในอาคาร	0.906*	0.000

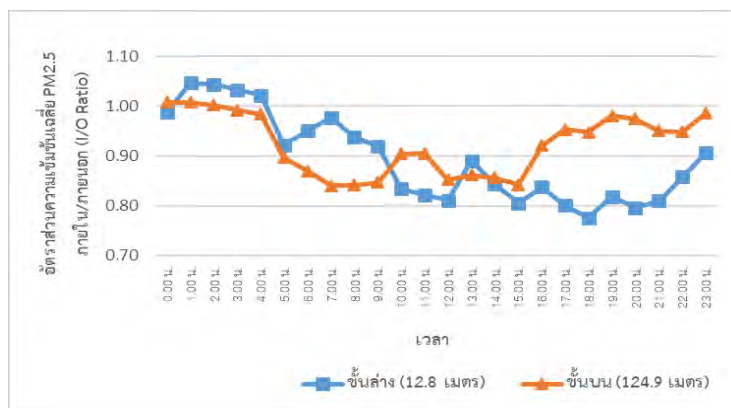
\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01



ภาพที่ 4.6 อิทธิพลการกระจายตัวของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกส่งผลกระทบต่อภายในอาคาร ก) ชั้นล่าง ข) ชั้นบน อาคารสำนักงาน

#### 4.2.2 อาคารที่พักอาศัย

อัตราส่วนภายในและภายนอกอาคารของค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> รายชั่วโมงที่อาคารที่พักอาศัย แสดงดังภาพที่ 4.7 ชั้นล่างมีค่าอยู่ที่ช่วง 0.78 – 1.05 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.89 โดยพบว่ามีค่ามากที่สุดในช่วงเวลา 01.00 - 04.00 (I/O Ratio = 1.02 - 1.05) และค่าน้อยที่สุดในช่วงเวลา 17.00 - 18.00 น. (I/O Ratio = 0.78 - 0.80) ค่าเฉลี่ย I/O Ratio < 1 คิดเป็น 83.33% และชั้นบนมีค่าอยู่ที่ช่วง 0.84 – 1.01 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.92 โดยพบว่ามีค่ามากที่สุดในช่วงเวลา 00.00 - 02.00 น. (I/O Ratio = 1.00 - 1.01) และค่าน้อยที่สุดในช่วงเวลา 07.00 - 09.00 น. (0.84 - 0.85) ค่าเฉลี่ย I/O Ratio < 1 คิดเป็น 87.50% จากการหาอัตราส่วนความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายในต่อภายนอกอาคาร โดยรวมค่า I/O Ratio น้อยกว่า 1 ทั้งชั้นล่างและชั้นบน (แสดงดังภาพที่ 4.7)



ภาพที่ 4.7 อัตราส่วนความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายในต่อภายนอกอาคาร บริเวณชั้นล่างและชั้นบนของอาคารที่พักอาศัย

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  ภายในและภายนอกอาคาร พบว่า ค่า I/O Ratio โดยรวมทั้งสองอาคารมีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นภายนอกมากกว่าภายในอาคาร แสดงว่าฝุ่นภายในอาคารได้รับอิทธิพลจากภายนอกเป็นหลัก แต่ในบางวันที่ชั้นบนของอาคารสำนักงานระหว่างช่วงเวลาประมาณ 11.00 – 18.00 น. ปริมาณฝุ่นภายในสูงกว่าภายนอกอาคาร อาจเกิดจากการเข้าออกของพนักงานซ่อมบำรุงจำนวนหนึ่งที่ห้องซ่อมบำรุงลิฟต์ซึ่งอยู่ใกล้จุดตรวจวัดฝุ่น (11.00 – 16.00 น.) จึงอาจเป็นผลทำให้ปรากฏ  $PM_{2.5}$  อยู่ภายในอาคารสูงขึ้น และมีปริมาณฝุ่นคงค้างภายในอาคารที่ยังกระจายอยู่ในห้องจนถึงเวลา 18.00 น. ในขณะที่อาคารที่พักอาศัย พบว่า ในช่วงเวลา 00.00 – 04.00 น. ความเข้มข้นภายในอาคารใกล้เคียงกับภายนอก อาจเนื่องมาจากชั้นล่างของอาคารบริเวณใกล้จุดตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่น มีประตูที่เชื่อมกับร้านสะดวกซื้อที่เปิดตลอด 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงทำให้ฝุ่น  $PM_{2.5}$  ไหลเวียนระหว่างภายในและภายนอกอาคารได้ในช่วงเวลาดังกล่าว

เมื่อนำข้อมูลปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายในและภายนอกอาคารไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี Paired-Samples T-Test พบว่าความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ชั้นล่างและชั้นบนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยชั้นล่างและชั้นบนมีค่า Sig 2 tailed = 0.000,  $p < 0.05$  และพบว่าความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายนอกอาคารมีค่ามากกว่าความเข้มข้นภายในอาคาร (แสดงดังตารางที่ 4.3) นอกจากนี้การวิเคราะห์โดยวิธี Pearson Correlation พบว่าปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายในและภายนอกอาคารของทั้งสองชั้นมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% กล่าวคือหากความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายนอกอาคารมีปริมาณสูงจะส่งผลให้ความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายในอาคารสูงด้วยเช่นกัน (แสดงดังภาพที่ 4.8) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhou et al. (2016) โดยมีค่า  $r = 0.865$ ,  $r = 0.855$  สำหรับชั้นล่างและชั้นบนตามลำดับ (แสดงดังตารางที่ 4.4) ซึ่งผลสอดคล้องกับการศึกษาที่อาคารสำนักงาน

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Paired-Samples T-Test ระหว่างความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายนอกและภายในอาคาร ที่ชั้นล่างและชั้นบน อาคารที่พักอาศัย

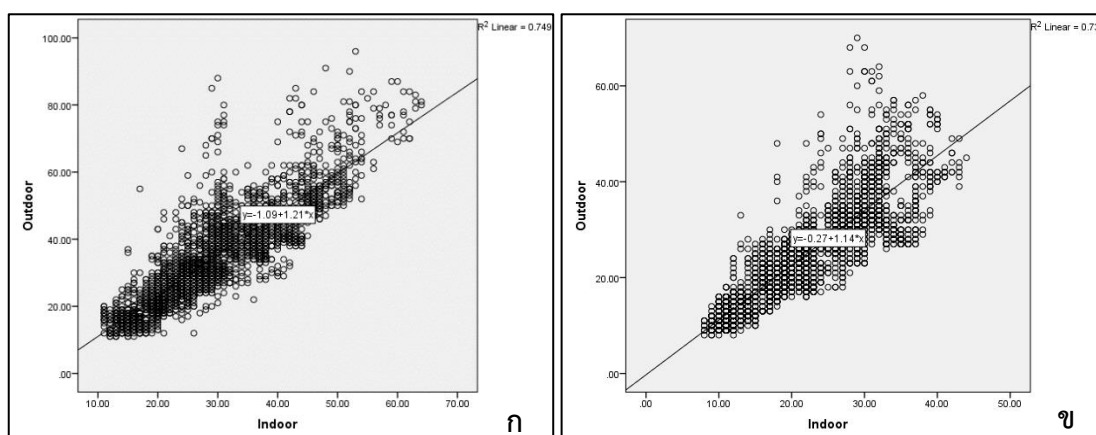
ระดับชั้นอาคาร	กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนข้อมูล (N)	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ )	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ค่าสถิติทดสอบ (t)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ชั้นล่าง (12.8 เมตร)	ภายนอกอาคาร	3062	33.926	14.570	36.676**	0.000
	ภายในอาคาร	3062	28.866	10.391		
ชั้นบน (124.9 เมตร)	ภายนอกอาคาร	3028	24.827	10.738	27.770**	0.000
	ภายในอาคาร	3028	21.961	8.037		

\*\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Pearson Correlation ระหว่างความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกและภายในอาคาร ที่ชั้นล่างและชั้นบน อาคารที่พักอาศัย

ระดับชั้นอาคาร	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ชั้นล่าง (12.8 เมตร)	ความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายนอกและภายในอาคาร	0.865**	0.000
ชั้นบน (124.9 เมตร)	ความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายนอกและภายในอาคาร	0.855**	0.000

\*\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01



ภาพที่ 4.8 อิทธิพลการกระจายตัวของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกส่งผลต่อภายในอาคาร ก) ชั้นล่าง ข) ชั้นบน อาคารที่พักอาศัย

### 4.3 ลักษณะการกระจายตัวของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ตามแนวตั้ง

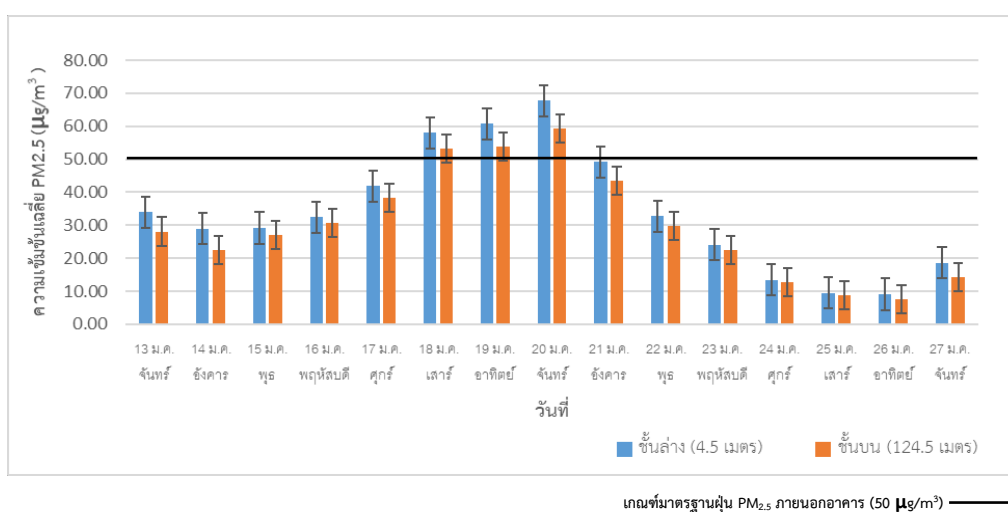
การศึกษาลักษณะการกระจายตัวของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ตามแนวตั้ง สามารถอธิบายด้วยอัตราส่วนความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารชั้นบนต่อชั้นล่าง โดยหากอัตราส่วนมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าความเข้มข้นฝุ่นที่ชั้นล่างมากกว่าชั้นบน ในทางตรงกันข้ามหากความเข้มข้นฝุ่นที่ชั้นบนมากกว่าชั้นล่าง จะมีค่าอัตราส่วนมากกว่า 1 และอัตราส่วนมีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าความเข้มข้นฝุ่นที่ชั้นล่างเท่ากับชั้นบน

#### 4.3.1 อาคารสำนักงาน

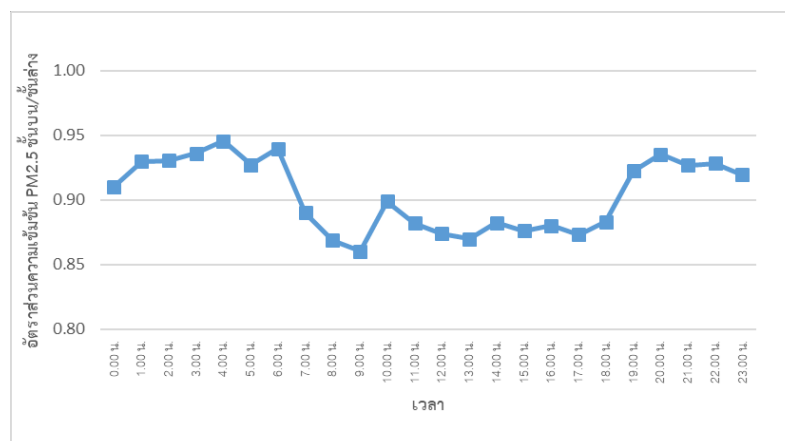
ลักษณะการกระจายตัวของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ตามแนวตั้ง พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> รายวัน ชั้นล่างมีค่ามากกว่าชั้นบนตลอดการตรวจวัด และในวันที่ 18 – 20 ม.ค. ทั้งสองชั้นมี

ปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  เกินเกณฑ์มาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ( $50 \mu g/m^3$ ) โดยพบว่าความเข้มข้นสูงสุดปรากฏในวันที่ 20 ม.ค. มีค่าเท่ากับ  $67.70$  และ  $59.31 \mu g/m^3$  และค่าน้อยที่สุดปรากฏในวันที่ 26 มีค่าเท่ากับ  $9.09$  และ  $7.65 \mu g/m^3$  สำหรับชั้นล่างและชั้นบนตามลำดับ (แสดงดังภาพที่ 4.9)

อัตราส่วนความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ชั้นบนต่อชั้นล่างมีค่าอยู่ที่ช่วง  $0.86 - 0.95$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 ทั้งหมดแสดงว่าความเข้มข้นฝุ่นชั้นล่างมีค่าสูงกว่าชั้นบน โดยมีค่าเฉลี่ยคือ  $0.90$  ดังนั้นความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ชั้นบนมีค่าน้อยกว่าชั้นล่าง 10% สอดคล้องกับการศึกษาของ Pateraki et al. (2019) และ Li L. et al. (2020) ความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  โดยทั่วไปลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น และในรอบวันอัตราส่วนความเข้มข้นฝุ่นชั้นบนต่อชั้นล่างมีค่าเข้าใกล้ 1 ในช่วงเวลาประมาณ 19.00 – 06.00 น. และมีค่าต่ำเวลาประมาณ 07.00 – 18.00 น. บ่งชี้ว่าในเวลากลางวันปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ชั้นล่างมากกว่าชั้นบนซึ่งมากกว่าในช่วงเวลากลางคืน อาจเนื่องมาจากในช่วงเวลาเช้าที่ชั้นล่างได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การจราจร การเข้าใช้พื้นที่ เป็นต้น ทำให้ช่วงเวลาตั้งแต่ 06.00 – 09.00 น. มีค่าอัตราส่วนต่ำที่สุด แต่ในทางตรงกันข้ามช่วงเวลากลางคืนกิจกรรมของมนุษย์ลดลงในยามวิกาลส่งผลให้ความเข้มข้นชั้นล่างละชั้นบนมีค่าไม่แตกต่างกันมาก (แสดงดังรูปที่ 4.10)



ภาพที่ 4.9 ความเข้มข้นเฉลี่ย  $PM_{2.5}$  รายวัน ชั้นล่างและชั้นบนของอาคารสำนักงาน



ภาพที่ 4.10 อัตราส่วนความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ชั้นบนต่อชั้นล่าง อาคารสำนักงาน

เมื่อนำข้อมูลปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ทั้งสองชั้นไปวิเคราะห์ทางสถิติโดย Paired-Samples T-Test พบว่า มีค่า Sig 2 tailed = 0.000,  $p < 0.05$  ดังนั้นชั้นล่างและชั้นบนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ชั้นล่างความสูง 4.5 เมตร มีค่าความเข้มข้นฝุ่นมากกว่าชั้นบนที่ความสูง 138.5 เมตร ซึ่งให้เห็นว่าปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> มีปริมาณลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น (แสดงดังตารางที่ 4.5) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า Li L. et al. (2020) นอกจากนี้การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี Pearson Correlation พบว่าปริมาณความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ชั้นล่างและชั้นบนมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% กล่าวคือหากความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ชั้นล่างมีปริมาณสูงจะส่งผลให้ความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ชั้นบนสูงด้วยเช่นกัน (แสดงดังภาพที่ 4.11) โดยมีค่า  $r = 0.969$  (แสดงตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Paired-Samples T-Test ระหว่างความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารบริเวณชั้นล่างและชั้นบน อาคารสำนักงาน

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนข้อมูล (N)	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ )	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ค่าสถิติทดสอบ (t)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ชั้นล่าง (4.5 เมตร)	4029	34.512	21.482	41.411**	0.000
ชั้นบน (138.5 เมตร)	4029	30.781	18.623		

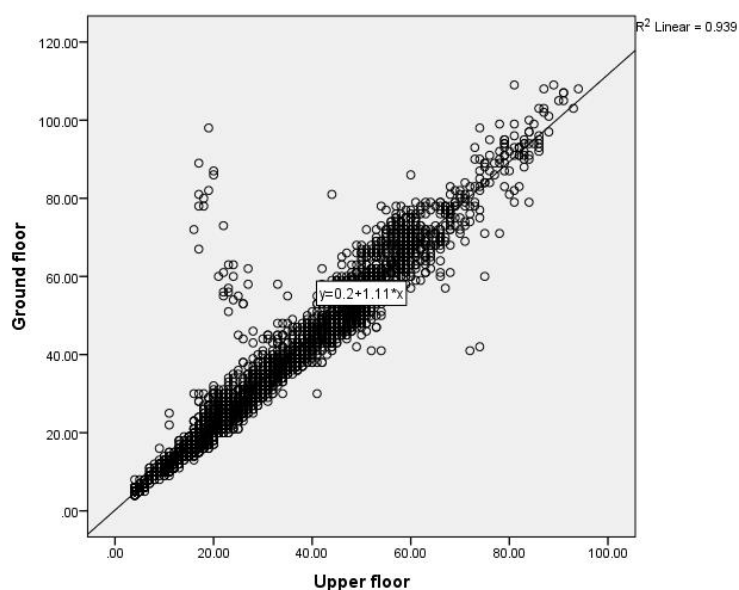
\*\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Pearson Correlation ระหว่างความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารบริเวณชั้นล่างและชั้นบน อาคารสำนักงาน

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารชั้นล่างและชั้นบน	0.969**	0.000

\*\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01



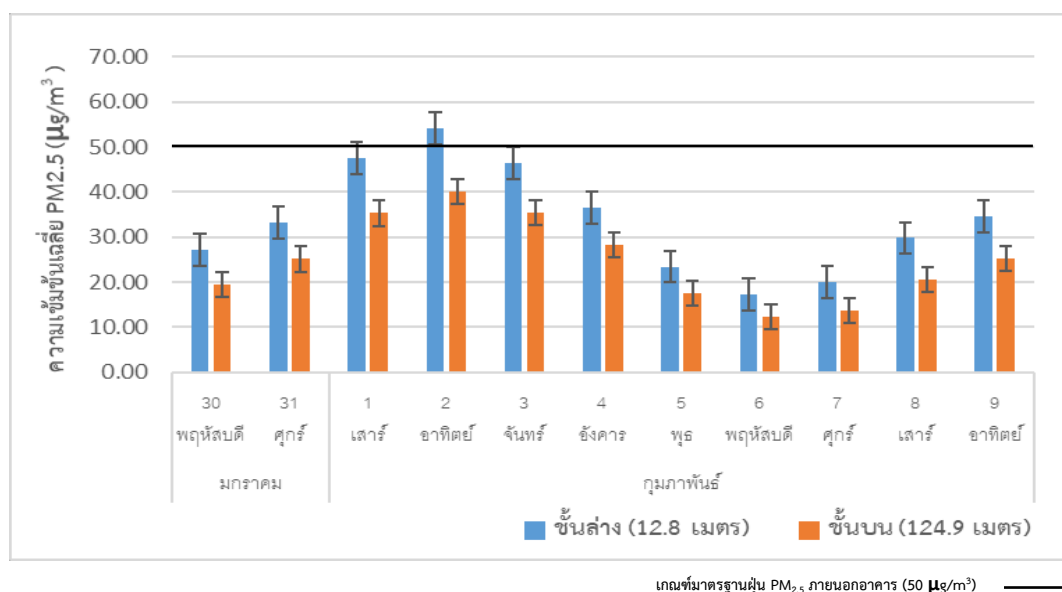
ภาพที่ 4.11 อิทธิพลการกระจายตัวของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารบริเวณชั้นล่างที่ส่งผลต่อชั้นบน อาคารอาคารสำนักงาน

#### 4.3.2 อาคารที่พักอาศัย

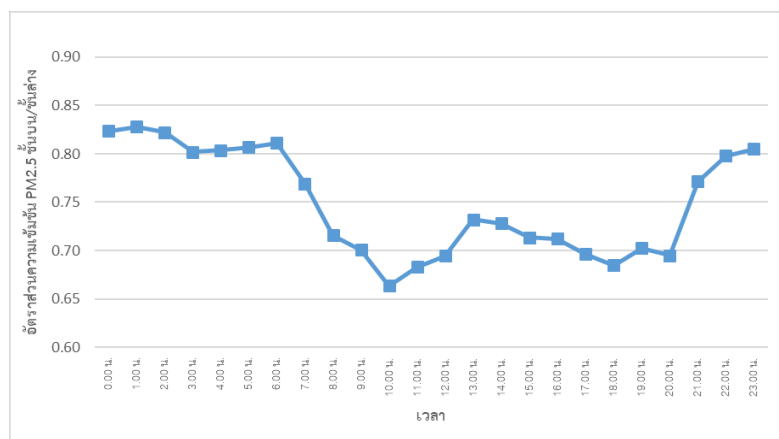
จากการศึกษาลักษณะการกระจายตัวความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ตามแนวตั้ง พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> รายวัน ชั้นล่างมีค่ามากกว่าชั้นบนตลอดการตรวจวัด และในวันที่ 2 ก.พ. ปริมาณความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> มีค่าสูงมากที่สุดทั้งสองชั้น โดยมีค่าเท่ากับ 54.21 และ 40.14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  สำหรับชั้นล่างและชั้นบนตามลำดับ ซึ่งในวันดังกล่าวชั้นล่างมีความเข้มข้นฝุ่นเกินเกณฑ์มาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง และค่าน้อยที่สุดปรากฏในวันที่ 26 มีค่าเท่ากับ 17.37 และ 12.36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  สำหรับชั้นล่างและชั้นบนตามลำดับ (แสดงดังภาพที่ 4.12)

อัตราส่วนความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ชั้นบนต่อชั้นล่างมีค่าอยู่ที่ช่วง 0.66 - 0.83 บ่งชี้ว่าความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> โดยทั่วไปลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.75 ดังนั้นความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ชั้นบนมีค่าน้อยกว่าชั้นล่าง 25% บ่งชี้ว่าความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ซึ่งมีค่ามากกว่าที่อาคาร

สำนักงานถึง 2.5 เท่า แสดงว่าฝุ่นบริเวณอาคารที่พักอาศัยมีความแตกต่างกันระหว่างชั้นบนกับชั้นล่างมากกว่าที่อาคารสำนักงาน อาจเป็นผลเนื่องจากบริเวณใกล้เคียงอาคารสำนักงานเป็นพื้นที่โล่งไม่มีตึกหรืออาคารสูงหนาแน่นและตำแหน่งที่ตั้งไม่ได้อยู่ใกล้กับถนนเท่ากับบริเวณอาคารที่พักอาศัย อีกทั้งอาคารที่พักอาศัยชั้นล่างมีกิจกรรมมนุษย์มากกว่าชั้นบนอย่างเห็นได้ชัด จากการเข้าใช้พื้นที่ทางสรรพสินค้าส่งผลให้อัตราส่วนฝุ่นชั้นล่างกับชั้นบนมีค่าแตกต่างกันชัดเจนกว่าที่อาคารทำ นอกจากนี้ในรอบวันกราฟมีลักษณะคล้ายอาคารสำนักงาน โดยอัตราส่วนความเข้มข้นฝุ่นชั้นบนต่อชั้นล่างมีค่าสูงในช่วงเวลาประมาณ 21.00 – 06.00 น. และมีค่าต่ำเวลาประมาณ 08.00 – 20.00 น. บ่งชี้ว่าในเวลากลางวันปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ชั้นล่างมากกว่าชั้นบนซึ่งมากกว่าในช่วงเวลากลางคืน อาจเนื่องมาจากในช่วงเวลาเช้าที่ชั้นล่างได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์ เนื่องจากมีสถานศึกษาและห้างสรรพสินค้าอยู่ติดกับอาคารที่พักอาศัย ทำให้ช่วงเวลาตั้งแต่ 08.00 – 20.00 น. มีค่าอัตราส่วนต่ำที่สุด แต่ในทางตรงกันข้ามช่วงเวลากลางคืนกิจกรรมของมนุษย์ลดลงส่งผลให้ความเข้มข้นชั้นล่างละชั้นบนมีค่าไม่แตกต่างกันมาก (แสดงดังรูปที่ 4.13) เช่นเดียวกับการศึกษาที่อาคารสำนักงาน



ภาพที่ 4.12 ความเข้มข้นเฉลี่ย  $PM_{2.5}$  รายวัน ชั้นล่างและชั้นบนของอาคารที่พักอาศัย



ภาพที่ 4.13 อัตราส่วนความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ชั้นบนต่อชั้นล่าง อาคารที่พักอาศัย

การวิเคราะห์ทางสถิติโดย Paired-Samples T-Test พบว่า มีค่า Sig 2 tailed = 0.000,  $p < 0.05$  ดังนั้นชั้นล่างและชั้นบนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ชั้นล่างความสูง 12.8 เมตร มีค่าความเข้มข้นฝุ่นมากกว่าชั้นบนที่ความสูง 124.9 เมตร แสดงให้เห็นว่าปริมาณฝุ่น PM<sub>2.5</sub> มีปริมาณลดลงตามความสูง (แสดงดังตารางที่ 4.7) นอกจากนี้การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี Pearson Correlation พบว่าปริมาณความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ชั้นล่างและชั้นบนมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน (แสดงดังภาพที่ 4.14) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยมีค่า  $r = 0.928$  (แสดงดังตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Paired-Samples T-Test ระหว่างความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารบริเวณชั้นล่างและชั้นบน อาคารที่พักอาศัย

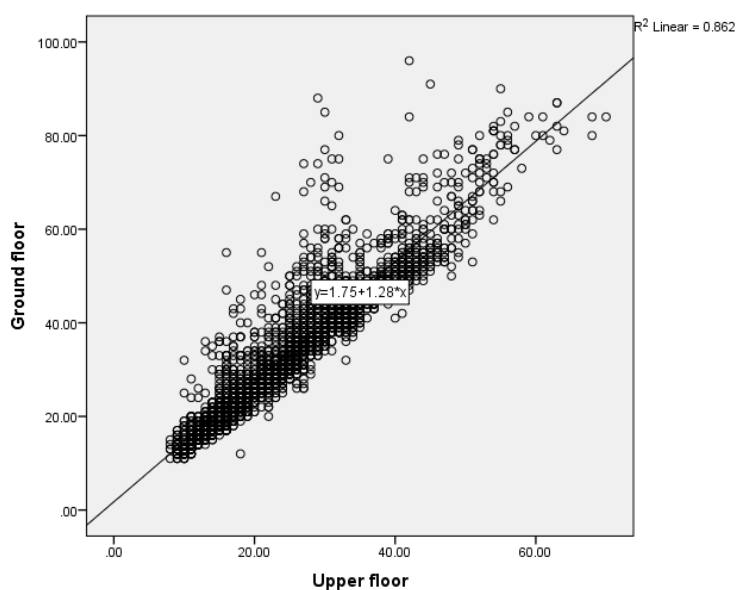
กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนข้อมูล (N)	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ )	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ค่าสถิติทดสอบ (t)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ชั้นล่าง (12.8 เมตร)	2977	33.927	14.756	77.166*	0.000
ชั้นบน (124.9 เมตร)	2977	25.066	10.671		

\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Pearson Correlation ระหว่างความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารบริเวณชั้นล่างและชั้นบน อาคารสำนักงาน

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารชั้นล่างและชั้นบน	0.928**	0.000

\*\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01



ภาพที่ 4.14 อิทธิพลการกระจายตัวของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารบริเวณชั้นล่างที่ส่งผลต่อชั้นบน อาคารที่พักอาศัย

#### 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

ความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ที่สะสมอยู่ในบรรยากาศปริมาณสูงในช่วงฤดูหนาวของประเทศไทย นอกจากมีสาเหตุมาจากแหล่งกำเนิดที่สำคัญแล้ว การสะสมของฝุ่นในบรรยากาศยังเกี่ยวข้องกับการปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา จึงได้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความกดอากาศ

##### 4.4.1 อาคารสำนักงาน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> รายชั่วโมง กับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ยชั้นล่างความสูง 4.5 เมตร และชั้นบนความสูง 138.5 เมตร ในช่วงวันที่ 13 – 27 มกราคม พ.ศ. 2563 พบว่าอุณหภูมิมีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.87, 33.80 และ 28.80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำสุด สูงสุด เท่ากับ 40.70%, 89.42% โดยมีค่าเฉลี่ย

คือ 74.41% ความเร็วลมมีค่าต่ำสุดและสูงสุดระหว่าง 0.00 – 2.32 เมตรต่อวินาที โดยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.88 เมตรต่อวินาที และความกดอากาศมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 995.52 เฮกโตปาสคัล โดยมีค่าต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 990.41 และ 1000.43 เฮกโตปาสคัล ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  กับปัจจัยทางด้านภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมและความกดอากาศ ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นต่อน (Step-wise Multiple Regression Analysis) พบว่าปัจจัยทางด้านภูมิอากาศสามพารามิเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วลมและความกดอากาศ มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ที่นัยสำคัญ 0.05 และความชื้นสัมพัทธ์ไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  อย่างมีนัยสำคัญ จากการศึกษาสามารถอธิบายความแปรผันได้ประมาณร้อยละ 38.3 โดยปัจจัยทางด้านภูมิอากาศที่ส่งผลต่อความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ในทางเดียวกัน คือ อุณหภูมิและความกดอากาศ ส่วนปัจจัยทางด้านภูมิอากาศที่ส่งผลต่อความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ในทางตรงกันข้ามคือ ความเร็วลม (แสดงดังภาพที่ 4.15) ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์การแปรผันโดยอ้างอิงจาก Ziyue et al. (2020) ได้ดังนี้ ความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  แปรผันตรงกับอุณหภูมิอาจเนื่องจากเกิดการผกผันอุณหภูมิ ซึ่งมักเกิดขึ้นในช่วงฤดูหนาว ส่งผลให้เกิดสภาพอากาศปิดและเกิดการเคลื่อนตัวมวลอากาศต่ำลงส่งผลให้เกิดการถ่ายเท  $PM_{2.5}$  ออกจากพื้นที่ได้น้อยเช่นกัน และอาจทำให้เกิดการสะสมของ  $PM_{2.5}$  เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิสูงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีในการสร้างสารตั้งต้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  เพิ่มขึ้นตามไปด้วย สำหรับความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  แปรผันตรงกับ ความกดอากาศ โดยทั่วไปพบว่าความกดอากาศสูงชักนำให้เกิดสภาวะอากาศนิ่ง กระแสแรงลมต่ำซึ่งส่งผลให้การเคลื่อนตัวของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ในอากาศต่ำลง จึงเพิ่มการสะสมของ  $PM_{2.5}$  ในบรรยากาศ และในทางตรงกันข้ามความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  แปรผกผันกับความเร็วลม ความเร็วลมสูงช่วยส่งเสริมการกระจายตัวของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ทำให้มีความเข้มข้นฝุ่นลดลงจากการถ่ายเทมวลสารออกจากพื้นที่ และนำไปสู่การสูญเสียการระเหยที่เพิ่มขึ้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ที่มีองค์ประกอบของสารระเหย ส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ลดลงในทางอ้อมได้เช่นกัน แสดงความสัมพันธ์ปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่ส่งผลต่อความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ดังสมการเส้นตรง (1)

$$Y = -4557.174 + 4.532X_1 + 3.090X_2 - 12.475X_3 \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ  $Y =$  ค่า  $PM_{2.5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$X_1 =$  ความกดอากาศ (hPa)

$X_2 =$  อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ )

$X_3 =$  ความเร็วลม (m/s)

#### 4.4.2 อาคารที่พักอาศัย

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ย  $PM_{2.5}$  รายชั่วโมง กับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ยชั้นล่างความสูง 12.8 เมตร และชั้นบนความสูง 124.9 เมตร ในช่วงวันที่ 31 มกราคม - 9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 พบว่าอุณหภูมิมีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.51, 31.67 และ 27.99 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำสุด สูงสุด เท่ากับ 45.92%, 88.00% โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 73.69% ความเร็วลมมีค่าต่ำสุดและสูงสุดระหว่าง 0.07 - 4.73 เมตรต่อวินาที ค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.58 เมตรต่อวินาที และความกดอากาศมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 999.42 เฮกโตปาสคัล โดยมีต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 995.94 และ 1003.89 เฮกโตปาสคัล ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  กับปัจจัยทางด้านภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมและความกดอากาศ ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (Step-wise Multiple Regression Analysis) พบว่าปัจจัยทางด้านภูมิอากาศมีความสัมพันธ์ทางสถิติกับปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ที่นัยสำคัญ 0.05 (แสดงดังภาพที่ 36) สามารถอธิบายความแปรผันได้ประมาณร้อยละ 30.3 โดยปัจจัยทางด้านภูมิอากาศส่งผลต่อความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ในทางเดียวกัน คือ ความกดอากาศ ส่วนปัจจัยทางด้านภูมิอากาศส่งผลต่อความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ในทางตรงกันข้าม คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม (แสดงดังภาพที่ 4.16) สามารถอธิบายความสัมพันธ์การแปรผันได้ดังนี้ ความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  แปรผันตรงกับความกดอากาศ สามารถอธิบายความสัมพันธ์เหมือนกับที่อาคารสำนักงาน โดยความกดอากาศสูงจะชักนำให้เกิดสภาวะอากาศนิ่ง ลมสงบ ส่งผลให้การเคลื่อนตัวของมลอากาศช้าลง จึงเพิ่มการสะสมของ  $PM_{2.5}$  ในบรรยากาศ ในทางตรงกันข้ามความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  แปรผกผันกับอุณหภูมิ ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีกิจกรรมทางความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ความปั่นป่วนของสภาพอากาศทำให้เกิดการกระจายตัวของ  $PM_{2.5}$  สูงขึ้น ความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ก็จะลดลง ในทางกลับกันอุณหภูมิต่ำทำให้เกิดการพาความร้อนในบรรยากาศอ่อนลง ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของมลอากาศช้า จึงเพิ่มการสะสมของ  $PM_{2.5}$  ในพื้นที่ นอกจากนี้อุณหภูมิสูงนำไปสู่การสูญเสียการระเหยที่เพิ่มขึ้นของ  $PM_{2.5}$  ทำให้ความเข้มข้นฝุ่นลดลง ความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  แปรผกผันกับความชื้นสัมพัทธ์ ในบริเวณที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงประมาณ 70 - 80% ขึ้นไป ทำให้อนุภาคแขวนลอยในอากาศรวมตัวกัน รวมถึงฝุ่น  $PM_{2.5}$  ส่งผลให้อนุภาคเหล่านี้ตกลงสู่พื้นดินได้ และความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  แปรผกผันกับความเร็วลม โดยความเร็วลมสูงจะช่วยถ่ายเทฝุ่น  $PM_{2.5}$  ออกจากพื้นที่ และช่วยเพิ่มการสูญเสียการระเหยของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ที่มีองค์ประกอบของสารระเหย ส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ลดลง แสดงความสัมพันธ์ปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่ส่งผลต่อความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ดังสมการเส้นตรง (2)

$$Y = -1717.699 + 1.926X_1 - 3.5X_2 - 4.291X_3 - 0.973X_4 \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ  $Y =$  ค่า  $PM_{2.5}$  ( $\mu g/m^3$ )  
 $X_1 =$  ความกดอากาศ (hPa)  
 $X_2 =$  อุณหภูมิ ( $^{\circ}C$ )  
 $X_3 =$  ความเร็วลม (m/s)  
 $X_4 =$  ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  กับปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยา พบว่า มีเพียงสองพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์รูปแบบเดียวกันทั้งสองอาคาร คือ ความกดอากาศมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นฝุ่น และความเร็วมมีความสัมพันธ์เชิงลบ อุณหภูมิมีความสัมพันธ์เชิงบวก และลบ บริเวณอาคารสำนักงานและที่พักอาศัย ตามลำดับ ส่วนความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์เชิงลบกับฝุ่นบริเวณอาคารที่พักอาศัย โดยที่อาคารสำนักงานความชื้นสัมพัทธ์ไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่น สะท้อนให้เห็นว่าอิทธิพลโดยรวมของปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{2.5}$  อาจแตกต่างกันไปตามกลไกที่แตกต่างกันหรือเหมือนกันในแต่ละพื้นที่

#### 4.5 ความสัมพันธ์ของปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดแบบเรียลไทม์ และแบบวิธีวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นโดยน้ำหนัก

ปัจจุบันมีเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ที่หลากหลาย และมีวิธีการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฝุ่นที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับเครื่องมือชนิดนั้น ๆ แต่ไม่อาจทราบได้ว่าผลการวิเคราะห์จะมีความแม่นยำหรือใกล้เคียงกันมากน้อยเพียงใด ทางผู้จัดทำจึงทำการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดแบบเรียลไทม์ โดยเครื่อง Aeroqual series 500 และแบบการวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นโดยน้ำหนักที่ได้เก็บจากเครื่อง Cascade impactor ว่ามีค่าความเข้มข้นที่แตกต่างกันหรือไม่ ตั้งแต่วันที่ 20 มกราคม - 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 (แสดงในตารางที่ 4.9)

**ตารางที่ 4.9** ความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ที่ทำการวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นโดยน้ำหนักที่ได้เก็บจากเครื่อง Cascade impactor และตรวจวัดแบบเรียลไทม์จากเครื่อง Aeroqual series 500

ชุดตัวอย่างฝุ่น	วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ( $\mu g/m^3$ )		ผลต่าง
		Cascade impactor	Aeroqualseries 500	
1	20 ม.ค. 63	48.45	55.31	-6.86
2	20 ม.ค. 63	57.09	67.78	-10.69

3	20 ม.ค. 63	52.53	59.71	-7.18
4	20 ม.ค. 63	58.51	58.16	0.35
5	21 ม.ค. 63	28.10	41.92	-13.82
6	21 ม.ค. 63	31.77	49.22	-17.45
7	21 ม.ค. 63	32.97	36.84	-3.87
8	21 ม.ค. 63	30.50	43.60	-13.10
9	22 ม.ค. 63	32.65	27.52	5.13
10	22 ม.ค. 63	34.55	32.72	1.83
11	22 ม.ค. 63	35.03	31.17	3.85
12	22 ม.ค. 63	34.50	29.83	4.67
13	23 ม.ค. 63	23.75	23.30	0.44
14	24 ม.ค. 63	16.85	13.43	3.42
15	25 ม.ค. 63	11.38	9.49	1.89
16	26 ม.ค. 63	18.86	9.09	9.77
17	30 ม.ค. 63	30.79	27.52	3.27
18	31 ม.ค. 63	57.03	33.82	23.21
19	1 ก.พ. 63	46.54	48.02	-1.48
20	2 ก.พ. 63	49.11	54.21	-5.10
21	3 ก.พ. 63	42.82	46.51	-3.70
22	4 ก.พ. 63	32.37	36.72	-4.36
23	5 ก.พ. 63	15.00	23.77	-8.77
24	6 ก.พ. 63	25.34	17.37	7.97
25	7 ก.พ. 63	30.29	20.09	10.21
26	8 ก.พ. 63	37.30	30.25	7.05
27	9 ก.พ. 63	38.53	34.61	3.92
28	11 ก.พ. 63	50.61	32.30	18.31

จากการศึกษาการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ระหว่างสองวิธีตรวจวัด โดยใช้วิธีวิเคราะห์ Paired-Samples T-Test พบว่ามีค่า Sig 2 tailed = 0.857,  $p > 0.05$  แสดงว่าปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  ที่ตรวจวัดแบบวิธีวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นโดยน้ำหนักจากเครื่อง Cascade impactor และตรวจวัดแบบเรียลไทม์จากเครื่อง Aeroqual series ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (แสดงในตารางที่ 4.10) อีกทั้งความเข้มข้นฝุ่นที่ได้จากเครื่องมือสองชนิดมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% จากผลการวิเคราะห์โดยวิธีวิเคราะห์ Pearson Correlation พบว่าค่า  $r = 0.799$  (แสดงในตารางที่ 4.11) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง (แสดงดังภาพที่ 4.17) ดังนั้นเครื่องมือทั้งสองให้ผลการตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นที่ปริมาณเท่า ๆ กัน และมีความน่าเชื่อถือที่จะใช้เครื่อง Aeroqual series 500 ในการตรวจวัดและรายงานผล  $PM_{2.5}$  ซึ่งสามารถอ่านค่าความเข้มข้นฝุ่นได้ทันที มีความสะดวกรวดเร็ว และไม่ต้องทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมจึงทำให้ช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ทำการศึกษา ข้อเสียคือไม่สามารถเก็บ



ตัวอย่างฝุ่นไปวิเคราะห์หาค่าประกอบเพิ่มเติมได้ ทั้งนี้การตรวจวัดแบบเรียลไทม์เหมาะสำหรับนำไปใช้ในการศึกษาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ในบรรยากาศ

**ตารางที่ 4.10** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดย Paired-Samples T-Test ของปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  ที่ตรวจวัดแบบวิธีวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นโดยน้ำหนักจากเครื่อง Cascade impactor และตรวจวัดแบบเรียลไทม์จากเครื่อง Aeroqual series 500

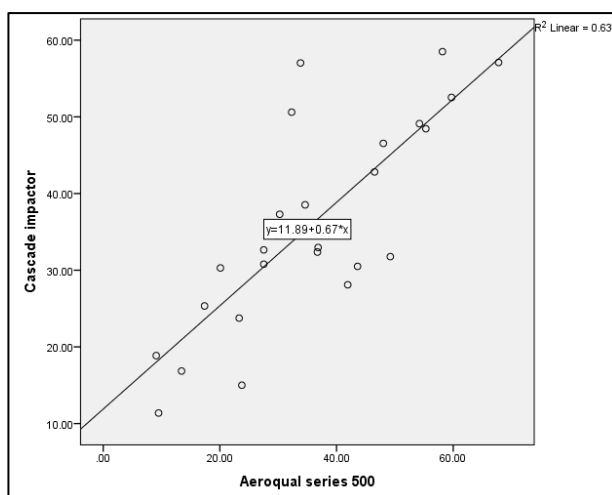
กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนข้อมูล (N)	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ )	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ค่าสถิติทดสอบ (t)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
Cascade impactor	28	35.829	12.985	0.182*	0.857
Aeroqual series 500	28	35.510	15.398		

\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

**ตารางที่ 4.11** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Pearson Correlation ระหว่างปริมาณฝุ่น  $PM_{2.5}$  ที่ตรวจวัดแบบวิธีวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นโดยน้ำหนักจากเครื่อง Cascade impactor และตรวจวัดแบบเรียลไทม์จากเครื่อง Aeroqual series 500

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารชั้นล่างและชั้นบน	0.799**	0.000

\*\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01



**ภาพที่ 4.15** ความสัมพันธ์ความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  แบบวิธีวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นโดยน้ำหนักจากเครื่อง Cascade impactor และตรวจวัดแบบเรียลไทม์จากเครื่อง Aeroqual series 500

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาเรื่อง การกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณอาคารสูงประเภทสำนักงานและที่พักอาศัย สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

##### 5.1.1 การกระจายตัวเชิงคาบของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ รายวัน และรายชั่วโมง

1) ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่อาคารสำนักงานที่ตรวจวัดในช่วงวันที่ 17 -21 มกราคม 2563 มีระดับสูงเกิดเกณฑ์มาตรฐาน (50 และ  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ภายนอกและภายในอาคาร ตามลำดับ โดยพบค่าเฉลี่ยสูงสุดภายนอกอาคารที่ความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร เท่ากับ 67.64 และ  $59.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และฝุ่นภายในอาคารมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 58.86 และ  $55.69 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของฝุ่น  $PM_{2.5}$  ภายนอกสูงกว่าภายในอาคาร โดยที่ความสูง 4.5 เมตร คิดเป็น 93.3% และ 80% สำหรับที่ความสูง 138.5 เมตร ช่วงเวลากลางวันความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดกว่าช่วงเวลากลางคืน โดยพบค่ามากที่สุดในช่วงเวลา 13.00 – 14.00 น. และค่าน้อยที่สุดช่วงเวลา 01.00 – 03.00 น. ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในรอบวันที่ระดับความสูงสองชั้นมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน แสดงลักษณะรูปแบบไม่ปกติ

2) ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง  $PM_{2.5}$  ที่อาคารที่พักอาศัย พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวัน ภายนอกมากกว่าภายในอาคารคิดเป็น 100% ความเข้มข้นเฉลี่ย  $PM_{2.5}$  ที่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ( $50$  และ  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ภายนอกและภายในอาคาร ตามลำดับ พบที่ความสูง 12.5 เมตร ซึ่งในวันที่ 2 ก.พ. 2563 ความเข้มข้นฝุ่นมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ  $54.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และ  $42.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ แนวโน้มปริมาณฝุ่นเริ่มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเช้าตั้งแต่เวลาประมาณ 05.00 น. จนถึงประมาณ 09.00 น. จากนั้นปริมาณฝุ่นจะค่อยๆ ลดลงและเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลาบ่ายจนถึงเวลาประมาณ 20.00 น. และลดลงจนถึงเข้ามิดของวันถัดไป ซึ่งที่ความสูง 12.8 เมตรจะเห็นความแตกต่างชัดเจนมากกว่าที่ความสูง 124.9 เมตร ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในรอบวันที่ระดับความสูงสองชั้นมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน แสดงลักษณะรูปแบบเป็นปกติ

### 5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ภายในและภายนอกอาคาร

1) ค่า I/O ratio ที่วิเคราะห์บริเวณอาคารสำนักงาน พบว่า ที่ความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร มีค่าช่วง 0.72 – 1.11 โดย I/O ratio มีค่าน้อยกว่า 1 บริเวณที่ความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร คิดเป็น 79.17% และ 66.67% ตามลำดับ การวิเคราะห์ทางสถิติชี้ให้เห็นว่าค่าความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายนอกมีความแตกต่างกันกับภายในอาคารที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยความเข้มข้นภายนอกมากกว่าภายในอาคาร และความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายในและภายนอกอาคารของทั้งสองชั้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

2) ค่า I/O ratio ที่วิเคราะห์บริเวณอาคารที่พักอาศัย พบว่า ที่ความสูง 12.8 และ 124.9 เมตร มีค่าช่วง 0.78 – 1.05 โดย I/O ratio มีค่าน้อยกว่า 1 บริเวณที่ความสูง 12.8 และ 124.9 เมตร คิดเป็น 83.33% และ 87.50% ตามลำดับ การวิเคราะห์ทางสถิติชี้ให้เห็นว่าค่าความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายนอกมีความแตกต่างกันกับภายในอาคารที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยความเข้มข้นภายนอกมากกว่าภายในอาคาร และความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ภายในและภายนอกอาคารของทั้งสองชั้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกที่ระดับความเชื่อมั่น 99% เช่นเดียวกับที่อาคารสำนักงาน

### 5.1.3 ลักษณะการกระจายตัวของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ตามแนวตั้ง

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย  $PM_{2.5}$  ทั้งสองอาคารที่ทำการตรวจวัดบริเวณชั้นล่างมีความแตกต่างกับชั้นบนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยที่อาคารสำนักงานพบว่ามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย  $PM_{2.5}$  รายวันที่ชั้นล่างมีค่าสูงกว่าชั้นบนตลอดการตรวจวัด และอัตราส่วนความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ชั้นบนต่อชั้นล่างมีค่าอยู่ที่ช่วง 0.86 - 0.95 โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 0.90 ดังนั้นความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ชั้นบนมีค่าน้อยกว่าชั้นล่าง 10% สำหรับอาคารที่พักอาศัย พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ย  $PM_{2.5}$  รายวันที่ชั้นล่างมีค่าสูงกว่าชั้นบนตลอดการตรวจวัด และอัตราส่วนความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ชั้นบนต่อชั้นล่างมีค่าอยู่ที่ช่วง 0.66 - 0.83 โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 0.75 ดังนั้นความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ชั้นบนมีค่าน้อยกว่าชั้นล่าง 25% จากการศึกษาทั้งสองสถานที่บ่งชี้ว่าความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น และความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ชั้นล่างและชั้นบนมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

### 5.1.4 ความสัมพันธ์ปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยากับปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยากับปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ที่อาคารสำนักงาน พบว่าปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วลม และความกดอากาศ มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยความสัมพันธ์ไม่พบความสัมพันธ์ทางสถิติ โดยอุณหภูมิและความกดอากาศที่สูงขึ้นมีผลส่งเสริมให้ระดับความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  สูงขึ้น ส่วน

ความเร็วลมมากขึ้นมีผลทำให้ระดับความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ต่ำลง สมการการทำนายความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์สามารถอธิบายได้ประมาณ 38.3% สำหรับอาคารที่พักอาศัย พบว่า ค่าความกดอากาศที่สูงขึ้นมีผลทำให้ความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  สูงขึ้น ส่วนอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมในบริเวณนี้ที่สูงขึ้นมีผลต่อการลดลงของ  $PM_{2.5}$  สมการการทำนายความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์สามารถอธิบายสามารถอธิบายความแปรผันได้ประมาณ 30.3%

### 5.1.5 ความสัมพันธ์ของปริมาณความเข้มข้น $PM_{2.5}$ จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดแบบเรียลไทม์ และแบบวิธีวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นโดยน้ำหนัก

ผลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดแบบเรียลไทม์โดยเครื่อง Aeroqual series 500 และแบบวิธีวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นโดยน้ำหนักโดยเครื่อง Cascade impactor พบว่าความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ที่ได้จากทั้งสองเครื่องไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% จึงสรุปว่าเครื่องมือทั้งสองให้ผลการตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นที่ปริมาณเท่าๆ กัน และมีความน่าเชื่อถือที่จะใช้เครื่อง Aeroqual series 500 ในการตรวจวัดและรายงานผล  $PM_{2.5}$

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาในระยะเวลานาน เพื่อที่จะเห็นแนวโน้มที่แท้จริงของความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ในสถานการณ์มลพิษหรือช่วงฤดูหนาวของประเทศไทย
2. ศึกษาฝุ่นขนาดอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น  $PM_{10}$ ,  $PM_1$  เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

## เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2561. **โครงการศึกษาแหล่งกำเนิดและแนวทางการ จัดการฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล.** [ออนไลน์]. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. หน้า 3-8. เข้าถึงจาก : <http://infofile.pcd.go.th/air/PM2.5.pdf?CFID=49911&CFTOKEN=39693150>
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2563. **กรมอุตุนิยมวิทยา-พยากรณ์อากาศรายเดือน.** [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก : <https://www.tmd.go.th/climate/climate.php?FileID=4>
- ยูวศรี ต่ายคำ. 2553. **มลพิษทางอากาศ (Air Pollution).** [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก : <https://www.scimath.org/article-chemistry/item/1341-air-pollution>
- สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย. 2559. **คู่มือการปฏิบัติงานเพื่อการตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารสำหรับเจ้าหน้าที่.** [ออนไลน์]. กระทรวงสาธารณสุข. หน้า 1-3, 5-2, 5-5. เข้าถึงจาก : [http://env.anamai.moph.go.th/ewt\\_dl\\_link.php?nid=824](http://env.anamai.moph.go.th/ewt_dl_link.php?nid=824)
- สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ. 2546. **คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ.** [ออนไลน์]. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. หน้า 8. เข้าถึงจาก : <http://infofile.pcd.go.th/air/DustinAmbient.pdf?CFID=49911&CFTOKEN=39693150>
- สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ. 2546. **เกร็ดความรู้เรื่องฝุ่นละออง.** [ออนไลน์]. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. เข้าถึงจาก : [http://www.pcd.go.th/info\\_serv/air\\_dust.htm](http://www.pcd.go.th/info_serv/air_dust.htm)
- อนุสราร รอดธานี. 2559. **ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในห้องโดยสารสาธารณะในกรุงเทพฯ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศิลปากร กรุงเทพฯ.
- อรุบล โชติพงศ์. 2561. **ฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ในประเทศไทย.** [ออนไลน์]. วารสาร สิ่งแวดล้อม *Environmental Journal*. เข้าถึงจาก : (ปีที่ 22, ฉบับที่ 4). หน้า 50-56. <http://www.ej.eric.chula.ac.th/content/6108/53>
- Asean Specialised Meteorological Centre. **Home – Regional Haze Situation.** [Online]. Available from: <http://asmc.asean.org/home/>
- Berkeley Earth. **Local Particulate Air Pollution (PM<sub>2.5</sub>) Bangkok, Bangkok, Thailand.** [Online]. Available from: <http://berkeleyearth.lbl.gov/air-quality/local/Thailand/Bangkok/Bangkok>

- Chen, Z., et al., "Influence of meteorological conditions on PM<sub>2.5</sub> concentrations across China: A review of methodology and mechanism," Environment International 139 (June 2020): 105-558.
- Deng, X., et al., "Vertical distribution characteristics of PM in the surface layer of Guangzhou" Particuology 20 (June 2015): 3–9.
- Dennis Y. C. Leung., "Outdoor-indoor air pollution in urban environment: challenges and opportunity" frontiers in Environmental Science: Air Pollution (January 2015). Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2014.00069/full>
- Li, C., et al., "Vertical distribution of PAHs in the indoor and outdoor PM<sub>2.5</sub> in Guangzhou, China" Building and Environment 40 (March 2005): 329-341.
- Li, L., et al., "Tower observed vertical distribution of PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub> and NO<sub>x</sub> in the Pearl River Delta," Atmospheric Environment 220 (January 2020).
- Li, X., et al., "Vertical Distribution of Particulate Matter and its Relationship with Planetary Boundary Layer Structure in Shenyang, Northeast China," Aerosol and Air Quality Research 19 (November 2019): 2464–2476.
- Pant, P., and Harrison, R. M. "Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review," Atmospheric Environment 77 (October 2013): 78-97.
- Pateraki, St., et al., "The traffic signature on the vertical PM profile: Environmental and health risks within an urban roadside environment," Science of The Total Environment 646 (January 2019): 448-459.
- Pope CA., et al., "Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution," US National Library of Medicine National Institutes of Health (Mar 2002).
- Price, L. C., and Vaidyanathan, G. The Weight of Numbers: Air Pollution and PM<sub>2.5</sub> [Online]. Undark Magazine and The Pulitzer Center on Crisis Reportin, 2018. Available from: <https://pulitzercenter.org/reporting/weight-numbers-air-pollution-and-pm25> [2019, Mar 18]

- Sulovcova, K., et al., “ Geometrical Optimization of the Flue Gas Path with Regard to the Reduction of Particulate Matter,” Emission Control Science and Technology 4 (March 2018): 40–44.
- Valavanidis, A., Fiotakis, K., and Vlachogianni, T. “ Airborne Particulate Matter and Human Health: Toxicological Assessment and Importance of Size and Composition of Particles for Oxidative Damage and Carcinogenic Mechanisms,” Journal of Environmental Science and Health, Part C 26 (November 2008): 339-362.
- Wheeler, A. Particulate Matter (PM) Pollution [Online]. United States Environmental Protection Agency, 2017. Available from: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics> [2019, Mar 18]
- Wanga, Y., et al., “Experimental Investigation on Indoor/Outdoor PM<sub>2.5</sub> Concentrations of an Office Building Located in Guangzhou,” Procedia Engineering 121 (October 2015): 333-340.
- Zhoua, Z., et al., “Indoor PM<sub>2.5</sub> concentrations in residential buildings during a severely polluted winter: A case study in Tianjin, China,” Renewable and Sustainable Energy Reviews 64 (October 2016): 372–381.
- Wanna, W., et al., “Source apportionment and potential source locations of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5–10</sub> at residential sites in metropolitan Bangkok,” Atmospheric Pollution Research 2 (April 2011): 172-181.
- United States Environmental Protection Agency. **Particulate Matter (PM) Pollution.** <https://www.epa.gov/pm-pollution>
- World Health Organization. **Ambient (outdoor) air pollution.** [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

ภาคผนวก



## ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก.1 แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยรายวัน  $PM_{2.5}$  ในรอบวัน เขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2559

เวลา	ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวัน $PM_{2.5}$ ( $\mu g/m^3$ )									
	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
0.00 น.	35.09	31.13	13.65	14.60	12.53	14.89	13.79	14.64	20.76	44.45
1.00 น.	34.55	29.95	13.72	14.51	14.25	16.21	14.81	15.38	21.45	46.25
2.00 น.	36.07	30.43	17.43	15.69	15.63	18.75	17.34	19.54	21.06	50.54
3.00 น.	35.13	31.61	17.59	15.26	15.47	18.53	18.37	21.01	22.72	47.62
4.00 น.	37.31	31.86	18.28	14.91	14.44	17.84	18.80	23.14	24.17	42.19
5.00 น.	40.85	33.56	18.28	15.53	15.90	18.40	20.77	22.73	26.10	36.95
6.00 น.	41.86	34.07	21.31	17.82	17.64	21.38	21.49	25.90	28.38	34.85
7.00 น.	41.09	33.00	21.30	20.23	18.77	23.76	20.53	27.37	28.21	33.11
8.00 น.	39.44	32.77	22.06	20.68	18.77	23.04	20.90	27.53	30.99	32.76
9.00 น.	37.57	34.96	22.05	20.46	17.88	20.85	19.53	26.15	32.17	32.41
10.00 น.	37.40	37.59	20.47	18.04	17.55	19.54	19.32	27.10	31.45	33.58
11.00 น.	35.04	36.12	20.31	17.19	16.21	16.81	16.61	21.23	32.09	34.31
12.00 น.	34.34	29.73	14.57	14.77	14.56	16.49	13.46	22.19	29.28	38.16
13.00 น.	32.53	28.74	14.55	13.16	14.95	16.71	13.99	20.27	31.75	38.91
14.00 น.	32.62	27.98	13.50	13.25	15.93	17.40	12.91	19.79	29.51	42.70
15.00 น.	34.13	29.76	13.61	13.75	15.76	15.64	12.85	17.63	27.80	46.46
16.00 น.	31.49	30.08	13.35	14.66	14.80	16.87	14.82	18.40	29.26	50.47
17.00 น.	31.60	28.14	13.38	17.44	16.23	18.53	16.13	16.80	32.78	50.93
18.00 น.	33.30	29.22	15.55	18.34	18.60	19.53	18.52	18.82	33.66	49.15
19.00 น.	35.45	29.60	15.23	20.59	21.05	22.06	20.76	21.31	31.55	50.37
20.00 น.	35.30	29.36	15.83	21.74	21.05	21.98	21.47	24.06	27.10	47.52
21.00 น.	36.76	29.83	15.98	18.65	17.64	16.58	17.44	16.01	23.60	45.04
22.00 น.	36.54	28.79	13.06	15.88	16.18	15.16	16.02	15.09	21.04	42.21
23.00 น.	35.06	29.53	13.00	14.97	12.86	15.38	13.38	14.31	21.51	42.83

ภาคผนวก ก.2 แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมง  $PM_{2.5}$  ในรอบวัน เขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2560

เวลา	ความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมง $PM_{2.5}$ ( $\mu g/m^3$ )											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
0.00 น.	32.48	39.00	32.41	28.37	20.03	17.77	17.02	17.18	18.13	24.54	25.94	33.15
1.00 น.	33.32	40.97	35.33	30.55	20.50	19.83	20.67	18.61	19.98	26.05	26.63	34.61
2.00 น.	34.92	46.00	37.94	31.12	21.15	21.17	21.20	20.44	20.40	27.30	28.33	35.15
3.00 น.	34.98	47.29	34.19	29.81	17.71	19.61	20.59	18.94	19.34	24.53	26.59	34.05
4.00 น.	30.38	39.77	27.51	27.91	16.66	17.65	19.76	17.27	16.10	22.10	23.10	28.65
5.00 น.	26.17	37.37	25.15	25.52	17.16	17.48	19.23	17.35	16.44	21.58	22.54	27.79
6.00 น.	24.98	33.21	25.78	24.51	16.94	16.67	17.53	16.27	16.16	20.41	21.72	26.79
7.00 น.	24.23	30.86	24.80	24.59	18.01	16.28	17.02	17.17	17.82	20.81	21.34	27.18

8.00 น.	24.56	31.53	25.91	25.61	18.66	18.37	14.28	16.47	19.76	21.85	23.21	27.40
9.00 น.	22.87	30.78	28.72	27.18	20.32	17.84	15.87	16.44	19.77	21.50	24.38	25.97
10.00 น.	24.24	31.92	29.16	30.17	22.38	17.40	16.04	16.15	19.25	20.68	25.11	27.07
11.00 น.	26.16	32.24	28.82	32.17	22.29	17.40	15.96	15.93	18.27	21.42	24.49	28.01
12.00 น.	29.11	35.37	31.84	31.16	21.30	16.28	16.14	18.47	18.75	21.55	25.33	30.25
13.00 น.	31.94	39.10	33.99	31.27	22.37	17.32	16.91	17.09	20.51	24.08	26.02	34.09
14.00 น.	32.88	42.93	35.85	32.28	23.37	18.14	16.62	17.26	21.22	26.38	28.72	36.50
15.00 น.	34.66	47.74	35.69	32.55	24.32	18.68	16.99	19.16	21.38	27.27	30.64	39.36
16.00 น.	35.29	46.31	35.93	30.58	23.64	18.18	17.52	18.80	20.63	29.80	32.12	39.15
17.00 น.	35.13	45.43	34.90	29.92	22.16	17.31	17.70	17.44	20.47	30.09	31.67	39.62
18.00 น.	34.29	42.90	32.89	28.76	21.28	17.01	17.13	17.68	19.97	30.08	32.04	41.33
19.00 น.	34.52	40.32	30.08	28.29	21.25	15.54	17.45	16.01	19.72	28.03	29.91	39.78
20.00 น.	35.28	38.87	30.49	28.21	19.72	13.92	17.66	15.58	17.27	26.45	29.23	38.66
21.00 น.	34.73	38.17	29.86	26.94	20.30	14.08	16.38	14.81	17.60	20.33	26.41	39.10
22.00 น.	35.70	37.30	30.90	26.95	20.66	14.67	16.13	13.69	17.84	25.52	25.95	36.64
23.00 น.	36.43	38.15	31.47	26.94	19.55	15.67	17.76	15.04	18.86	25.01	25.27	34.00

ภาคผนวก ก.3 แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมง PM<sub>2.5</sub> ในรอบวัน เขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2561

เวลา	ความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมง PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
0.00 น.	35.14	41.55	33.22	24.11	14.56	12.33	15.24	14.45	14.18	21.20	33.37	39.74
1.00 น.	39.55	45.47	33.47	25.79	16.46	13.87	16.26	15.02	15.75	23.06	34.73	42.32
2.00 น.	43.40	48.28	35.25	25.82	13.38	15.73	17.55	16.25	16.81	24.83	35.71	42.79
3.00 น.	42.73	45.76	36.10	26.35	18.42	16.17	17.67	16.88	17.44	25.13	37.05	42.08
4.00 น.	35.91	40.15	33.95	24.75	18.56	15.86	17.13	16.58	18.19	25.27	37.44	40.75
5.00 น.	33.54	37.29	33.07	24.34	17.20	15.57	15.94	15.86	17.39	24.57	35.17	39.46
6.00 น.	31.36	37.25	32.23	25.04	17.43	15.07	14.88	15.50	17.08	23.37	32.77	37.40
7.00 น.	30.11	36.96	32.95	25.04	16.67	14.01	14.72	14.72	16.70	22.20	30.40	33.89
8.00 น.	28.95	38.83	33.61	25.10	13.65	14.36	13.77	14.24	15.93	21.96	27.30	29.70
9.00 น.	27.24	39.07	34.40	25.79	16.23	14.32	13.37	13.88	15.00	19.77	25.46	26.81
10.00 น.	28.68	38.99	34.38	26.60	16.07	13.76	12.99	13.02	15.06	19.16	24.08	24.69
11.00 น.	29.56	38.89	34.70	26.19	14.15	13.43	13.21	12.32	15.24	19.54	24.42	24.01
12.00 น.	31.57	40.01	36.87	27.13	16.20	14.46	14.08	13.35	16.04	20.54	26.11	25.17
13.00 น.	35.03	41.54	36.70	28.68	16.31	14.55	14.99	13.41	16.93	23.19	27.28	27.27
14.00 น.	39.51	46.63	40.20	29.21	16.18	15.16	15.04	14.06	17.78	25.11	30.24	30.05
15.00 น.	41.63	48.39	39.90	26.75	15.46	14.76	15.56	15.12	18.59	26.91	33.48	32.49
16.00 น.	39.19	49.24	39.70	25.49	14.92	14.97	15.96	15.25	18.57	27.54	35.40	35.45
17.00 น.	39.50	45.88	38.04	23.71	13.40	14.33	16.70	14.95	16.87	27.05	36.83	38.31
18.00 น.	37.46	46.17	37.37	21.96	14.33	13.606	16.53	14.10	15.19	26.29	37.38	40.95
19.00 น.	39.12	46.44	33.47	21.46	13.67	13.28	15.55	13.35	14.51	25.06	35.53	41.42
20.00 น.	37.57	44.41	32.61	21.40	11.68	12.85	15.20	13.29	14.01	23.31	35.40	41.84
21.00 น.	37.66	46.01	34.62	22.34	13.54	12.65	14.79	13.29	13.67	23.04	35.66	41.21
22.00 น.	37.14	46.17	34.63	22.90	14.09	12.42	14.38	13.33	13.83	22.32	34.28	40.31
23.00 น.	37.48	43.52	34.78	22.97	12.54	11.68	15.03	13.52	13.78	22.25	33.74	37.35

ภาคผนวก ก.4 แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมง  $PM_{2.5}$  ในรอบวัน เขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2562

เวลา	ความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมง $PM_{2.5}$ ( $\mu g/m^3$ )											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
0.00 น.	48.60	24.22	28.87	21.18	20.88	12.80	14.59	11.76	22.54	23.68	33.02	38.29
1.00 น.	48.13	24.85	30.86	22.95	22.68	14.52	15.35	12.79	24.23	24.63	33.57	37.93
2.00 น.	50.49	26.38	33.08	26.18	24.87	15.96	16.34	13.48	26.00	26.07	34.49	40.73
3.00 น.	50.51	28.76	35.12	28.27	25.80	16.06	16.69	14.19	27.26	27.13	35.06	42.93
4.00 น.	50.42	30.38	36.20	28.45	27.05	16.41	17.07	15.20	27.12	27.12	33.57	43.25
5.00 น.	49.12	30.92	36.44	27.46	26.35	15.69	17.00	15.81	25.91	24.90	31.08	40.10
6.00 น.	44.72	30.52	35.74	26.41	26.20	15.06	16.12	15.45	23.96	23.32	28.24	38.38
7.00 น.	41.67	30.52	34.08	24.89	26.64	16.40	15.30	13.91	21.92	22.22	26.64	35.04
8.00 น.	38.20	29.01	32.46	23.68	25.65	15.44	15.13	12.72	21.17	21.48	25.16	32.34
9.00 น.	35.96	28.27	31.68	23.13	24.54	15.13	15.08	12.70	20.87	22.20	23.98	29.51
10.00 น.	33.63	28.12	31.01	21.69	23.92	14.76	14.75	12.38	21.76	21.87	23.47	28.68
11.00 น.	33.47	28.45	29.95	20.47	23.79	14.19	14.53	12.04	21.95	22.52	23.59	28.08
12.00 น.	33.96	27.86	29.38	19.95	23.90	13.90	14.65	11.64	22.88	23.76	25.04	29.06
13.00 น.	34.54	28.66	29.99	20.78	23.90	14.61	14.24	12.02	24.53	25.11	27.34	30.98
14.00 น.	37.96	30.17	30.50	21.52	22.99	15.73	14.27	12.22	25.94	26.02	29.48	34.74
15.00 น.	42.81	30.51	31.23	21.88	22.98	16.05	14.84	12.57	25.37	26.83	33.98	38.98
16.00 น.	48.24	29.82	31.29	22.06	21.77	16.17	15.07	13.33	25.49	27.28	35.83	42.75
17.00 น.	50.93	28.08	30.37	22.14	20.89	15.97	15.94	13.75	25.52	27.41	37.34	44.53
18.00 น.	52.36	25.84	28.75	21.68	19.48	14.91	14.82	13.46	26.16	26.36	37.96	44.16
19.00 น.	52.49	24.09	27.73	22.10	19.68	15.12	14.22	12.78	24.72	25.71	38.54	43.11
20.00 น.	51.91	23.57	27.72	21.39	19.70	14.66	13.74	11.97	24.32	25.63	38.39	41.38
21.00 น.	52.48	23.32	26.83	20.45	19.74	14.05	14.27	11.51	23.18	24.98	37.42	39.84
22.00 น.	52.90	22.46	27.08	19.86	19.52	13.32	13.79	10.87	22.65	23.47	36.30	38.57
23.00 น.	50.12	23.21	28.00	19.68	19.86	12.58	13.33	10.91	22.37	23.18	34.86	38.42

ภาคผนวก ก.5 ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือน  $PM_{2.5}$  บริเวณริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน ปี พ.ศ. 2560 – 2562 และ บริเวณริมถนนดินแดง เขตดินแดง ปี พ.ศ. 2561 และ 2562

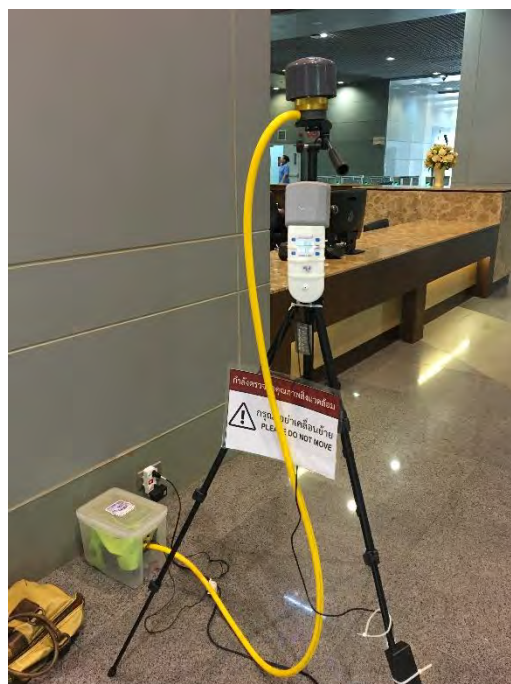
เดือน	ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือน $PM_{2.5}$ บริเวณ ( $\mu g/m^3$ )			ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือน $PM_{2.5}$ ( $\mu g/m^3$ )	
	2560	2561	2562	2561	2562
ม.ค.	-	41	54	-	58
ก.พ.	-	47	28	-	32
มี.ค.	-	32	29	-	32
เม.ย.	-	27	22	-	29
พ.ค.	-	20	26	-	30
มิ.ย.	18	17	17	-	24
ก.ค.	17	19	18	23	25
ส.ค.	18	19	15	23	20
ก.ย.	20	22	25	31	32
ต.ค.	28	26	26	36	34
พ.ย.	32	35	33	42	40
ธ.ค.	38	34	38	47	44

## ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข.1 ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารสำนักงาน



ภาคผนวก ข.2 ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ภายในอาคารสำนักงาน



## ภาคผนวก ค

ภาคผนวก ค.1 ความเข้มข้นเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> รายวัน ของอาคารสำนักงาน

วันที่	ความเข้มข้นเฉลี่ย PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) ชั้นล่าง (4.5 เมตร)		ความเข้มข้นเฉลี่ย PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) ชั้นบน (138.5 เมตร)	
	ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
13 ม.ค. (จันทร์)	33.95	29.44	28.23	29.25
14 ม.ค. (อังคาร)	28.99	23.03	22.40	18.56
15 ม.ค. (พุธ)	29.20	23.45	27.15	24.89
16 ม.ค. (พฤหัสบดี)	32.44	26.44	30.51	27.72
17 ม.ค. (ศุกร์)	41.89	35.48	38.39	35.10
18 ม.ค. (เสาร์)	57.97	55.70	53.29	49.53
19 ม.ค. (อาทิตย์)	60.77	58.86	53.76	52.10
20 ม.ค. (จันทร์)	67.64	54.71	59.28	55.69
21 ม.ค. (อังคาร)	49.09	42.04	43.49	36.73
22 ม.ค. (พุธ)	32.75	27.49	29.85	31.20
23 ม.ค. (พฤหัสบดี)	24.05	23.34	22.52	20.72
24 ม.ค. (ศุกร์)	13.41	13.38	12.67	11.97
25 ม.ค. (เสาร์)	9.46	9.63	8.69	7.92
26 ม.ค. (อาทิตย์)	9.09	9.02	7.65	7.82
27 ม.ค. (จันทร์)	18.72	16.50	14.25	12.75

ภาคผนวก ค.2 ความเข้มข้นเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> รายชั่วโมง ของอาคารสำนักงาน

เวลา	ความเข้มข้นเฉลี่ย PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) ชั้นล่าง (4.5 เมตร)		ความเข้มข้นเฉลี่ย PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) ชั้นบน (138.5 เมตร)	
	ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
0.00 น.	26.17	26.52	23.85	21.49
1.00 น.	25.10	24.90	23.23	20.31
2.00 น.	24.93	24.65	23.32	19.55
3.00 น.	25.13	24.58	23.50	19.36
4.00 น.	26.92	25.73	25.45	19.37
5.00 น.	28.94	25.10	26.56	20.48
6.00 น.	31.55	25.10	29.21	21.07
7.00 น.	38.26	27.88	31.83	20.57
8.00 น.	39.50	29.04	32.89	21.64
9.00 น.	41.67	30.90	35.46	26.11
10.00 น.	42.02	30.80	37.61	34.09
11.00 น.	42.16	32.86	37.04	38.73
12.00 น.	42.07	35.67	36.64	42.10
13.00 น.	43.50	37.21	37.70	42.49
14.00 น.	41.92	37.60	36.65	40.79
15.00 น.	39.48	36.86	34.19	38.61
16.00 น.	37.30	34.40	32.58	36.20
17.00 น.	37.16	33.94	32.03	34.88
18.00 น.	36.65	33.44	32.17	33.10

19.00 น.	35.58	33.07	33.04	32.60
20.00 น.	32.54	31.91	30.36	29.13
21.00 น.	29.88	29.88	27.61	26.38
22.00 น.	28.68	28.68	26.58	24.29
23.00 น.	27.45	27.69	25.23	23.06

### ภาคผนวก ค.3 ความเข้มข้นเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> รายวัน ของอาคารที่พักอาศัย

วันที่	ความเข้มข้นเฉลี่ย PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) ชั้นล่าง (12.8 เมตร)		ความเข้มข้นเฉลี่ย PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) ชั้นบน (124.9 เมตร)	
	ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
30 ม.ค. (พฤหัสบดี)	27.27	24.22	18.18	15.49
31 ม.ค. (ศุกร์)	33.28	26.76	25.13	20.42
1 ก.พ. (เสาร์)	47.41	38.77	35.24	29.48
2 ก.พ. (อาทิตย์)	54.21	42.91	40.14	32.94
3 ก.พ. (จันทร์)	46.51	38.66	35.43	31.13
4 ก.พ. (อังคาร)	36.49	32.77	28.29	25.49
5 ก.พ. (พุธ)	23.44	22.83	17.58	17.25
6 ก.พ. (พฤหัสบดี)	17.37	17.17	12.36	11.43
7 ก.พ. (ศุกร์)	19.97	16.18	13.72	13.64
8 ก.พ. (เสาร์)	29.78	23.19	20.66	20.27
9 ก.พ. (อาทิตย์)	34.56	32.01	25.19	23.60

### ภาคผนวก ค.4 ความเข้มข้นเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> รายชั่วโมง ของอาคารที่พักอาศัย

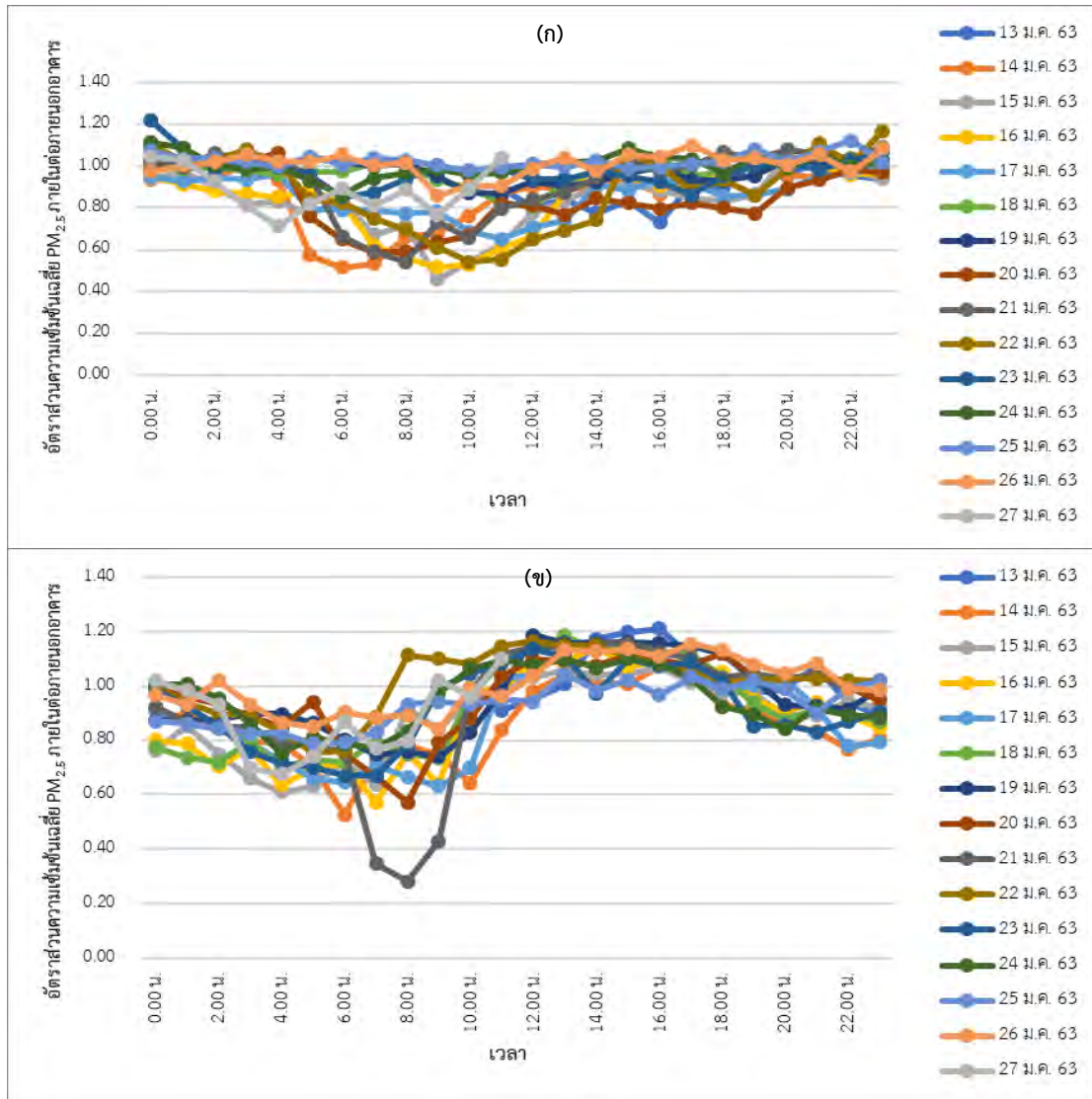
เวลา	ความเข้มข้นเฉลี่ย PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) ชั้นล่าง (12.8 เมตร)		ความเข้มข้นเฉลี่ย PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) ชั้นบน (124.9 เมตร)	
	ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร	ภายในอาคาร
0.00 น.	27.01	26.41	21.09	20.79
1.00 น.	27.29	27.82	21.48	20.93
2.00 น.	28.36	28.28	22.18	20.98
3.00 น.	29.05	29.03	22.69	21.23
4.00 น.	28.31	28.36	22.75	21.27
5.00 น.	31.39	28.30	25.30	21.38
6.00 น.	32.52	30.58	26.53	21.76
7.00 น.	34.51	32.70	26.81	21.02
8.00 น.	38.86	33.96	28.24	21.07
9.00 น.	39.66	34.20	27.97	21.65
10.00 น.	38.14	30.16	25.33	22.23
11.00 น.	35.42	28.36	23.94	22.00
12.00 น.	36.30	28.76	24.88	21.39
13.00 น.	34.98	30.18	25.28	21.80
14.00 น.	36.80	29.88	26.33	22.41
15.00 น.	38.96	30.43	27.62	22.85
16.00 น.	36.76	29.49	26.24	23.35
17.00 น.	37.43	28.27	25.58	23.78
18.00 น.	38.12	27.76	25.30	23.77
19.00 น.	37.08	27.40	25.28	24.03
20.00 น.	36.04	25.80	24.41	23.09
21.00 น.	31.80	23.78	24.52	21.94
22.00 น.	29.83	24.15	23.73	21.42
23.00 น.	28.12	25.28	22.60	21.63

## ภาคผนวก ง

ภาคผนวก ง.1 อัตราส่วนความเข้มข้นเฉลี่ย  $PM_{2.5}$  ภายในต่อภายนอกอาคาร (I/O Ratio) ของอาคารสำนักงาน และอาคารที่พักอาศัย

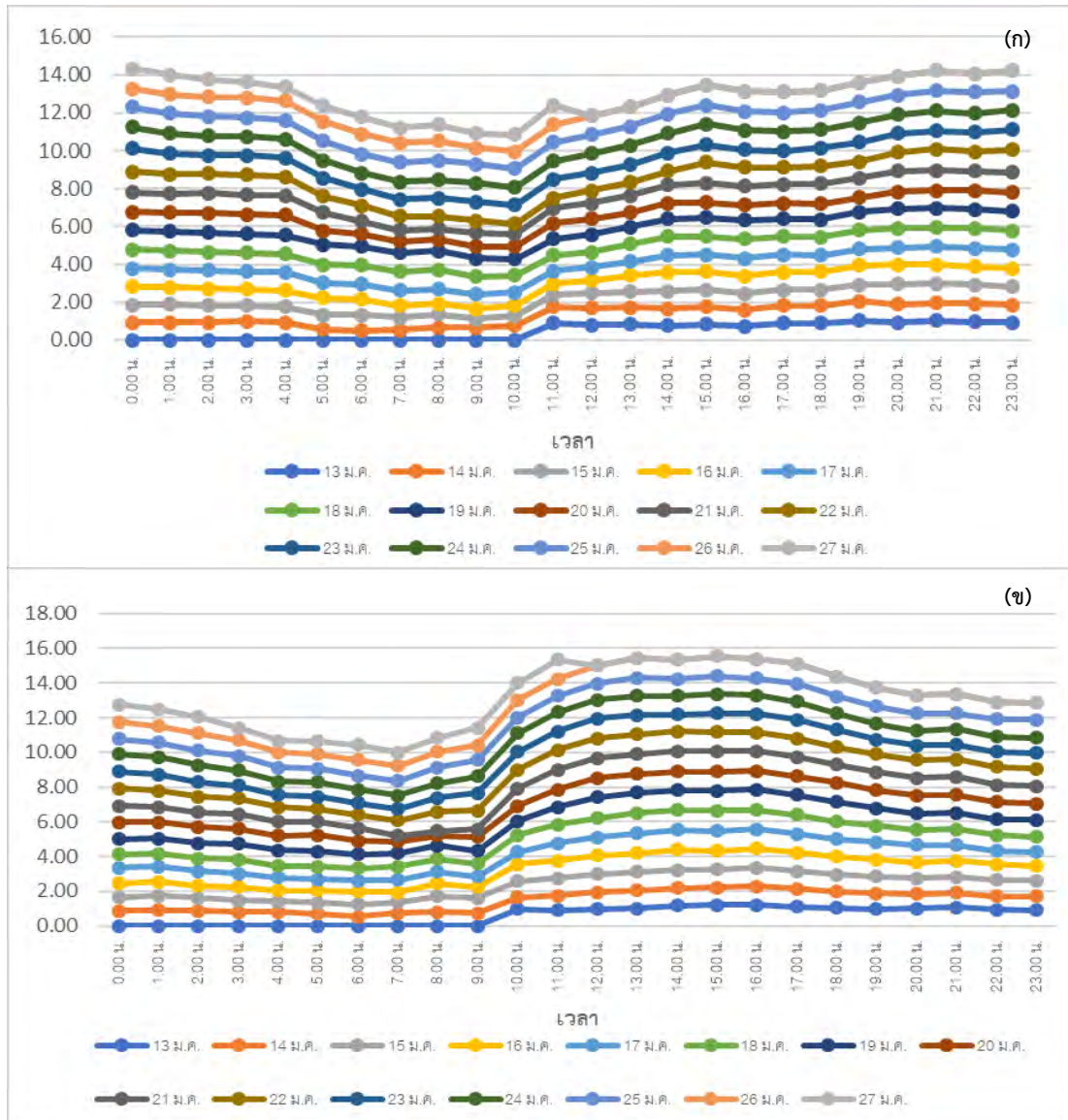
เวลา	I/O Ratio อาคารสำนักงาน		I/O Ratio อาคารที่พักอาศัย	
	ชั้นล่าง (4.5 เมตร)	ชั้นบน (138.5 เมตร)	ชั้นล่าง (12.8 เมตร)	ชั้นบน (124.9 เมตร)
0.00 น.	1.02	0.91	0.99	1.01
1.00 น.	1.00	0.89	1.05	1.01
2.00 น.	0.98	0.86	1.04	1.00
3.00 น.	0.97	0.82	1.03	0.99
4.00 น.	0.95	0.76	1.02	0.98
5.00 น.	0.88	0.76	0.92	0.90
6.00 น.	0.84	0.74	0.95	0.87
7.00 น.	0.80	0.72	0.98	0.84
8.00 น.	0.81	0.77	0.94	0.84
9.00 น.	0.78	0.82	0.92	0.85
10.00 น.	0.78	0.93	0.83	0.90
11.00 น.	0.83	1.02	0.82	0.91
12.00 น.	0.84	1.07	0.81	0.85
13.00 น.	0.88	1.10	0.89	0.86
14.00 น.	0.92	1.10	0.84	0.86
15.00 น.	0.96	1.11	0.81	0.84
16.00 น.	0.94	1.10	0.84	0.92
17.00 น.	0.94	1.08	0.80	0.95
18.00 น.	0.94	1.03	0.78	0.95
19.00 น.	0.97	0.98	0.82	0.98
20.00 น.	0.99	0.95	0.80	0.97
21.00 น.	1.02	0.95	0.81	0.95
22.00 น.	1.00	0.92	0.86	0.95
23.00 น.	1.02	0.92	0.91	0.99

ภาคผนวก ง.2 อัตราส่วนความเข้มข้นเฉลี่ย  $PM_{2.5}$  ภายในต่อภายนอกอาคาร ก) ชั้นล่าง และ ข) ชั้นบน อาคารสำนักงาน วันที่ 13 – 27 มกราคม 2563

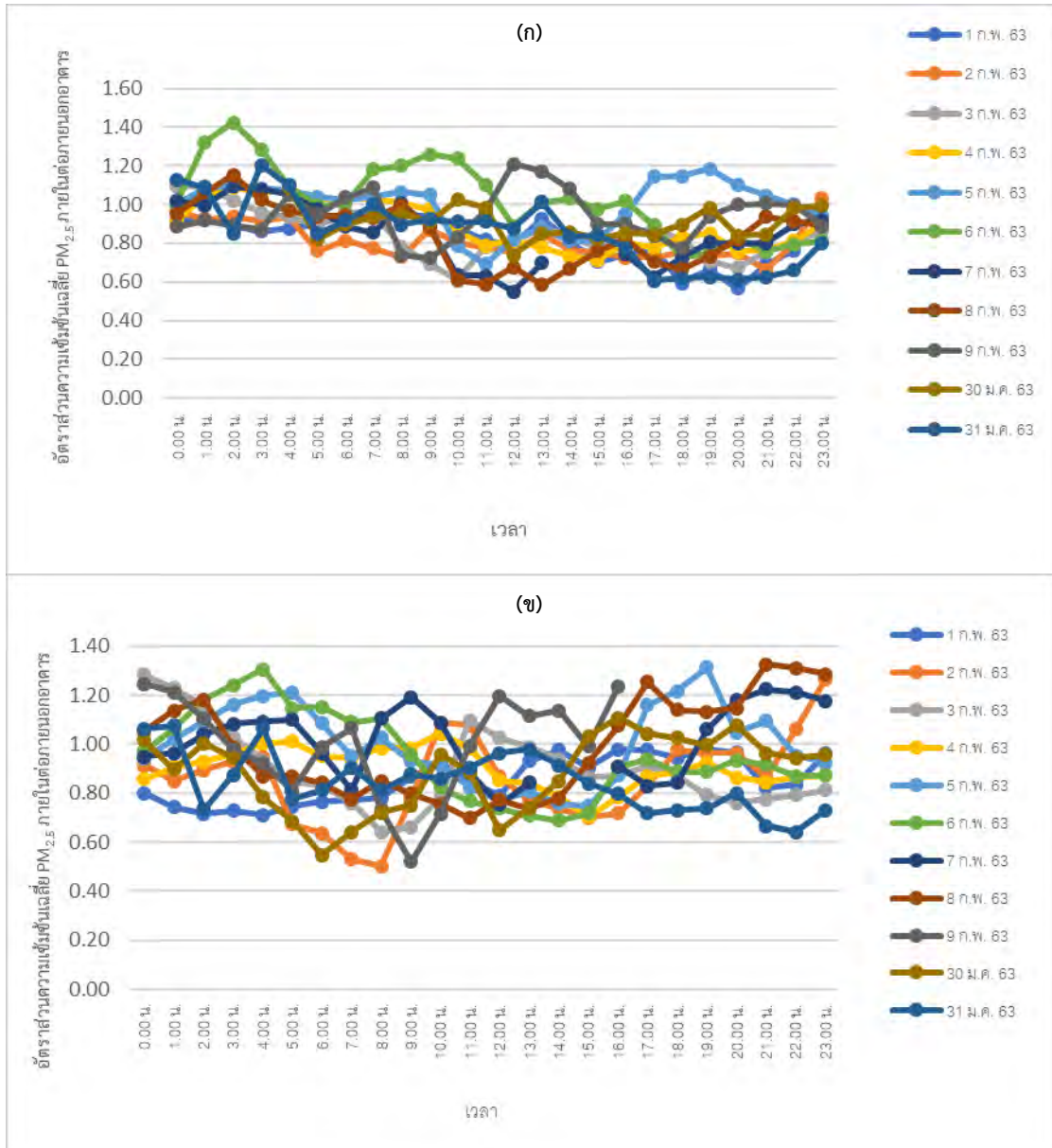




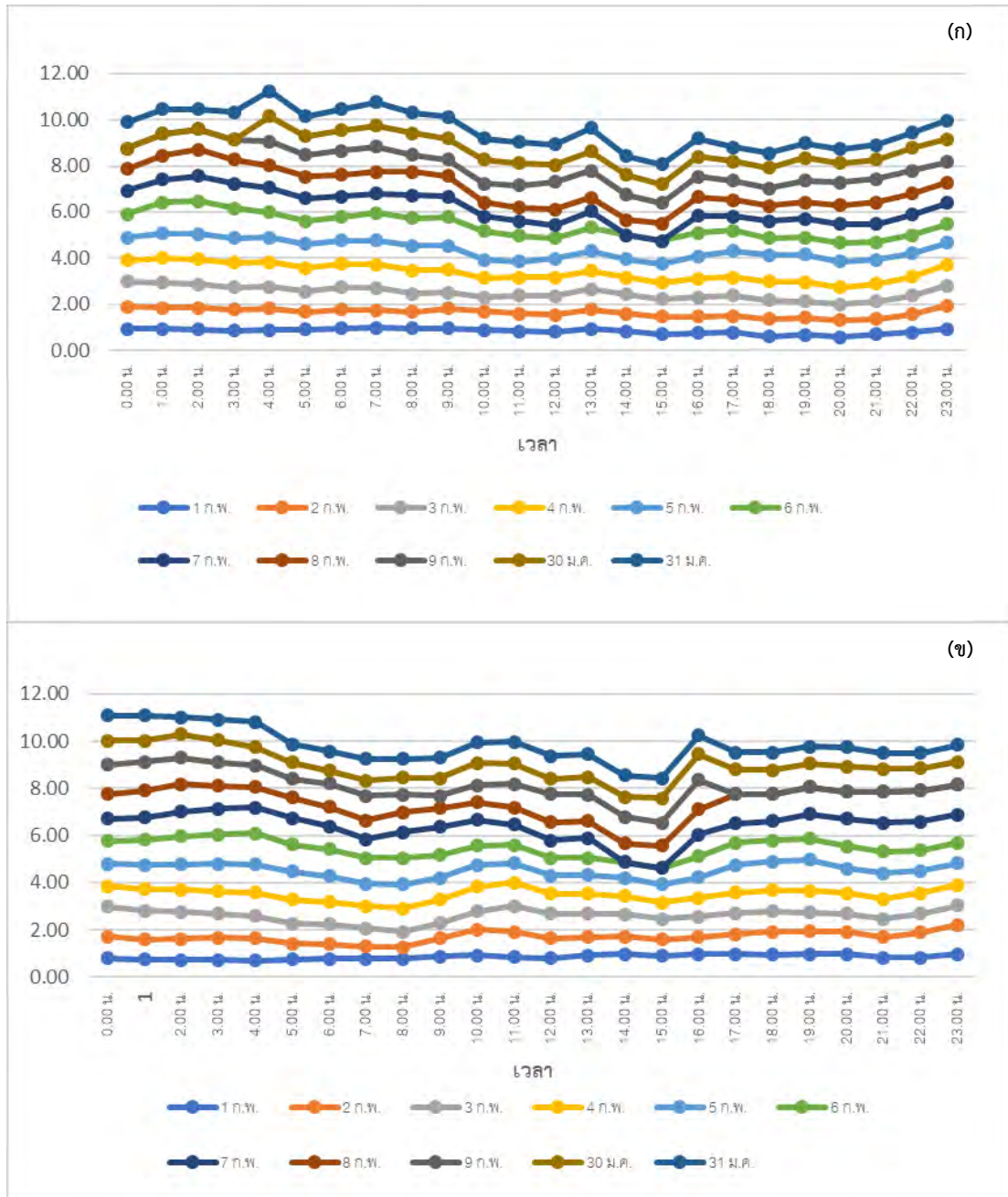
ภาคผนวก ง.3 แนวโน้มอัตราส่วนความเข้มข้นเฉลี่ย  $PM_{2.5}$  ภายในต่อภายนอกอาคาร ก) ชั้นล่าง และ ข) ชั้นบน อาคารสำนักงาน วันที่ 13 – 27 มกราคม 2563



ภาคผนวก ง.4 อัตราส่วนความเข้มข้นเฉลี่ย  $PM_{2.5}$  ภายในต่อภายนอกอาคาร ก) ชั้นล่าง และ ข) ชั้นบน อาคารที่พักอาศัย วันที่ 30 มกราคม – 9 กุมภาพันธ์ 2563



ภาคผนวก ง.5 แนวโน้มอัตราส่วนความเข้มข้นเฉลี่ย  $PM_{2.5}$  ภายในต่อภายนอกอาคาร ก) ชั้นล่าง และ ข) ชั้นบน อาคารที่พักอาศัย วันที่ 30 มกราคม – 9 กุมภาพันธ์ 2563



ภาคผนวก ง.6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดย Paired-Samples T-Test ของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกและภายในอาคาร ก) ชั้นล่าง ข) ชั้นบน อาคารสำนักงาน

T-Test										(ก)	
<b>Paired Samples Statistics</b>											
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean						
Pair 1	Outdoor	34.4879	4034	21.47979	.33819						
	Indoor	30.3602	4034	17.76857	.27976						
<b>Paired Samples Correlations</b>											
		N	Correlation	Sig.							
Pair 1	Outdoor & Indoor	4034	.931	.000							
<b>Paired Samples Test</b>											
		Paired Differences									
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)		
					Lower	Upper					
Pair 1	Outdoor - Indoor	4.12766	8.15744	.12844	3.87586	4.37947	32.138	4033	.000		

T-Test										(ข)	
<b>Paired Samples Statistics</b>											
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean						
Pair 1	Outdoor	30.7786	4042	18.64407	.29325						
	Indoor	28.6230	4042	18.60037	.29257						
<b>Paired Samples Correlations</b>											
		N	Correlation	Sig.							
Pair 1	Outdoor & Indoor	4042	.906	.000							
<b>Paired Samples Test</b>											
		Paired Differences									
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)		
					Lower	Upper					
Pair 1	Outdoor - Indoor	2.15562	8.09091	.12726	1.90611	2.40512	16.938	4041	.000		

ภาคผนวก ง.7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี Pearson Correlation ของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกและภายในอาคาร ก) ชั้นล่าง ข) ชั้นบน อาคารสำนักงาน

(ก) Correlations				(ข) Correlations			
		Outdoor	Indoor			Outdoor	Indoor
Outdoor	Pearson Correlation	1	.931**	Outdoor	Pearson Correlation	1	.906**
	Sig. (2-tailed)		.000		Sig. (2-tailed)		.000
	N	4034	4034		N	4042	4042
Indoor	Pearson Correlation	.931**	1	Indoor	Pearson Correlation	.906**	1
	Sig. (2-tailed)	.000			Sig. (2-tailed)	.000	
	N	4034	4034		N	4042	4042

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

ภาคผนวก ง.8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดย Paired-Samples T-Test ของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกและภายในอาคาร ก) ชั้นล่าง ข) ชั้นบน อาคารที่พักอาศัย

T-Test (ก)										
<b>Paired Samples Statistics</b>										
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean					
Pair 1	Outdoor	33.9255	3062	14.56985	.26330					
	Indoor	28.8661	3062	10.39138	.18779					
<b>Paired Samples Correlations</b>										
		N	Correlation	Sig.						
Pair 1	Outdoor & Indoor	3062	.865	.000						
<b>Paired Samples Test</b>										
		Paired Differences				95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper				
Pair 1	Outdoor - Indoor	5.05944	7.63341	.13795	4.78896	5.32992	36.676	3061	.000	

T-Test (ข)										
<b>Paired Samples Statistics</b>										
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean					
Pair 1	Outdoor	24.8269	3028	10.73769	.19513					
	Indoor	21.9614	3028	8.03734	.14606					
<b>Paired Samples Correlations</b>										
		N	Correlation	Sig.						
Pair 1	Outdoor & Indoor	3028	.855	.000						
<b>Paired Samples Test</b>										
		Paired Differences				95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper				
Pair 1	Outdoor - Indoor	2.86559	5.67820	.10319	2.66326	3.06792	27.770	3027	.000	

ภาคผนวก ง.9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี Pearson Correlation ของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกและภายในอาคาร ก) ชั้นล่าง ข) ชั้นบน อาคารที่พักอาศัย

(ก) Correlations				(ข) Correlations			
		Outdoor	Indoor			Outdoor	Indoor
Outdoor	Pearson Correlation	1	.865**	Outdoor	Pearson Correlation	1	.855**
	Sig. (2-tailed)		.000		Sig. (2-tailed)		.000
	N	3062	3062		N	3028	3028
Indoor	Pearson Correlation	.865**	1	Indoor	Pearson Correlation	.855**	1
	Sig. (2-tailed)	.000			Sig. (2-tailed)	.000	
	N	3062	3062		N	3028	3028

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

## ภาคผนวก จ

ภาคผนวก จ.1 ความเข้มข้นเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> รายวัน ชั้นล่างและชั้นบนของอาคารสำนักงาน

วันที่	ความเข้มข้นเฉลี่ย PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) รายวัน	
	ชั้นล่าง (4.5 เมตร)	ชั้นบน (138.5 เมตร)
13 ม.ค. (จันทร์)	33.95	28.10
14 ม.ค. (อังคาร)	28.99	22.40
15 ม.ค. (พุธ)	29.20	27.15
16 ม.ค. (พฤหัสบดี)	32.47	30.61
17 ม.ค. (ศุกร์)	41.89	38.39
18 ม.ค. (เสาร์)	57.97	53.29
19 ม.ค. (อาทิตย์)	60.77	53.76
20 ม.ค. (จันทร์)	67.70	59.31
21 ม.ค. (อังคาร)	49.22	43.60
22 ม.ค. (พุธ)	32.72	29.83
23 ม.ค. (พฤหัสบดี)	24.08	22.54
24 ม.ค. (ศุกร์)	13.43	12.70
25 ม.ค. (เสาร์)	9.49	8.71
26 ม.ค. (อาทิตย์)	9.09	7.65
27 ม.ค. (จันทร์)	18.67	14.19

ภาคผนวก จ.2 อัตราส่วนความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ชั้นบนต่อชั้นล่าง ของอาคารสำนักงาน

เวลา	ความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ชั้นบน/ชั้นล่าง
0.00 น.	0.91
1.00 น.	0.93
2.00 น.	0.93
3.00 น.	0.94
4.00 น.	0.95
5.00 น.	0.93
6.00 น.	0.94
7.00 น.	0.89
8.00 น.	0.87
9.00 น.	0.86
10.00 น.	0.90
11.00 น.	0.88
12.00 น.	0.87
13.00 น.	0.87
14.00 น.	0.88
15.00 น.	0.88
16.00 น.	0.88
17.00 น.	0.87
18.00 น.	0.88
19.00 น.	0.92
20.00 น.	0.94
21.00 น.	0.93
22.00 น.	0.93
23.00 น.	0.92

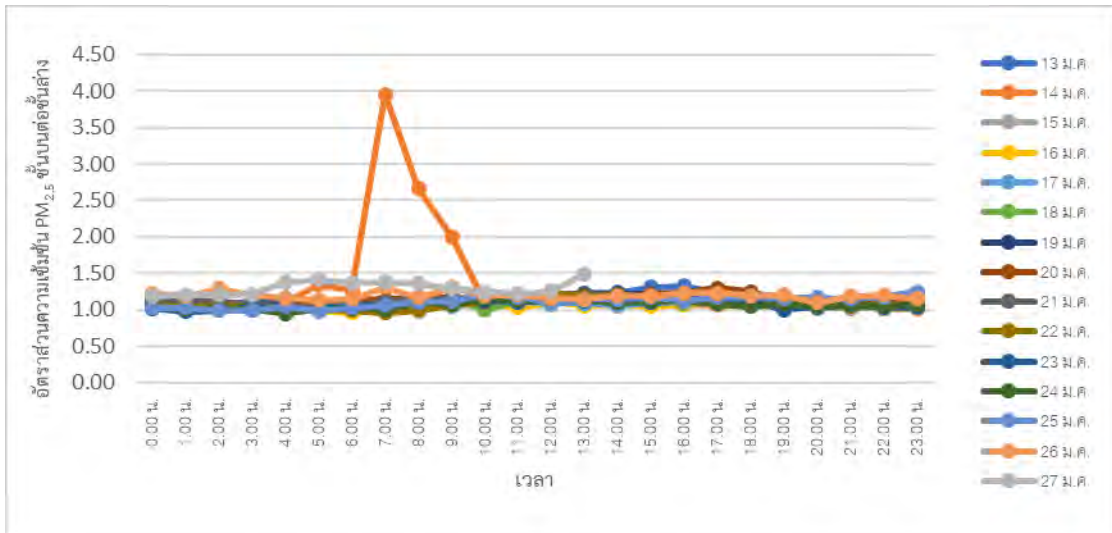
ภาคผนวก จ.3 ความเข้มข้นเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub> รายวัน ชั้นล่างและชั้นบนของอาคารที่พักอาศัย

วันที่	ความเข้มข้นเฉลี่ย PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) รายวัน	
	ชั้นล่าง (12.8 เมตร)	ชั้นบน (124.9 เมตร)
30 ม.ค. (พฤษภาคม)	27.27	19.48
31 ม.ค. (ศุกร์)	33.28	25.10
1 ก.พ. (เสาร์)	47.41	35.28
2 ก.พ. (อาทิตย์)	54.21	40.14
3 ก.พ. (จันทร์)	46.51	35.43
4 ก.พ. (อังคาร)	36.49	28.33
5 ก.พ. (พุธ)	23.44	17.60
6 ก.พ. (พฤหัสบดี)	17.37	12.36
7 ก.พ. (ศุกร์)	20.09	13.72
8 ก.พ. (เสาร์)	29.78	20.61
9 ก.พ. (อาทิตย์)	34.56	25.19

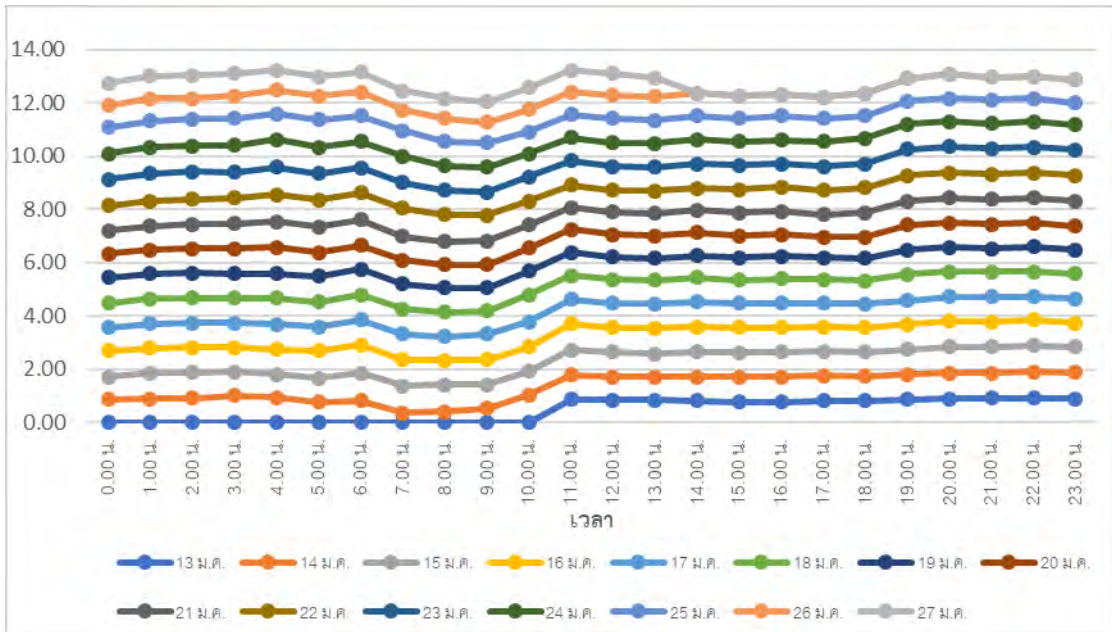
ภาคผนวก จ.4 อัตราส่วนความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ชั้นบนต่อชั้นล่าง ของอาคารที่พักอาศัย

เวลา	ความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ชั้นบน/ชั้นล่าง
0.00 น.	0.82
1.00 น.	0.83
2.00 น.	0.82
3.00 น.	0.80
4.00 น.	0.80
5.00 น.	0.81
6.00 น.	0.81
7.00 น.	0.77
8.00 น.	0.72
9.00 น.	0.70
10.00 น.	0.66
11.00 น.	0.68
12.00 น.	0.69
13.00 น.	0.73
14.00 น.	0.73
15.00 น.	0.71
16.00 น.	0.71
17.00 น.	0.70
18.00 น.	0.68
19.00 น.	0.70
20.00 น.	0.70
21.00 น.	0.77
22.00 น.	0.80
23.00 น.	0.81

ภาคผนวก จ.5 อัตราส่วนความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ชั้นบนต่อชั้นล่าง อาคารสำนักงาน  
วันที่ 13 – 27 มกราคม 2563

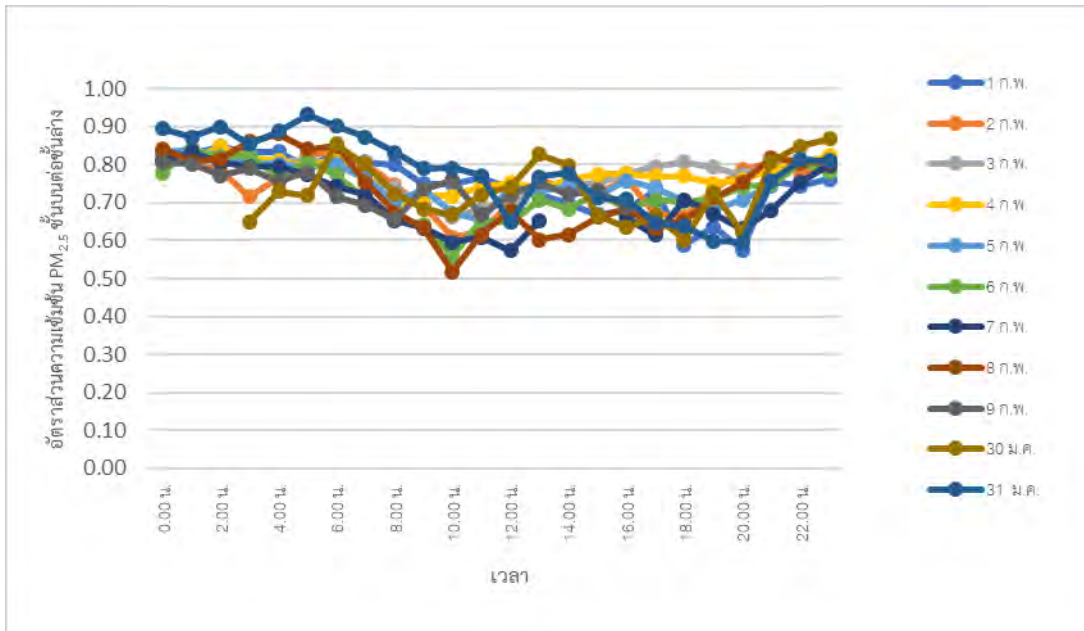


ภาคผนวก จ.6 แนวโน้มอัตราส่วนความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ชั้นบนต่อชั้นล่าง อาคารสำนักงาน  
วันที่ 13 – 27 มกราคม 2563

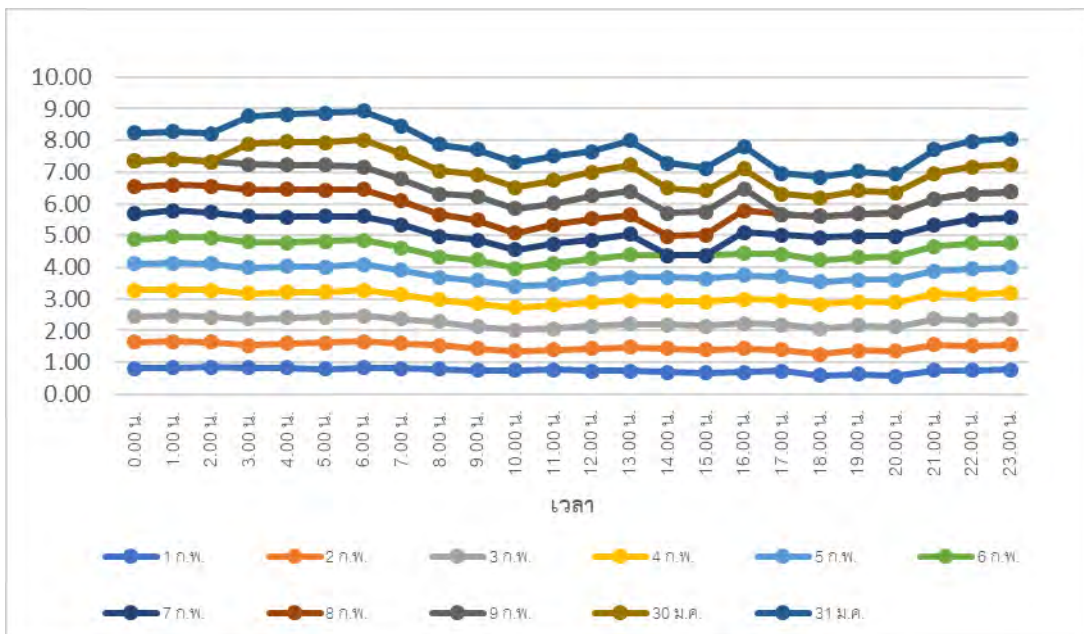




ภาคผนวก จ.7 อัตราส่วนความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ชั้นบนต่อชั้นล่าง อาคารที่พักอาศัย  
วันที่ 30 มกราคม – 9 กุมภาพันธ์ 2563



ภาคผนวก จ.8 แนวโน้มอัตราส่วนความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ชั้นบนต่อชั้นล่าง อาคารที่พักอาศัย



ภาคผนวก จ.9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดย Paired-Samples T-Test ของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารชั้นล่างและชั้นบน อาคารสำนักงาน

T-Test										
Paired Samples Statistics										
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean					
Pair 1	Ground floor	34.5118	4029	21.48235	.33844					
	Upper floor	30.7811	4029	18.67343	.29419					
Paired Samples Correlations										
		N	Correlation	Sig.						
Pair 1	Ground floor & Upper floor	4029	.969	.000						
Paired Samples Test										
		Paired Differences				95% Confidence Interval of the Difference				
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper	t	df	Sig. (2-tailed)	
Pair 1	Ground floor - Upper floor	3.73070	5.71842	.09009	3.55408	3.90733	41.411	4028	.000	

ภาคผนวก จ.10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Pearson Correlation ระหว่างความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารบริเวณชั้นล่างและชั้นบน อาคารสำนักงาน

Correlations				
Correlations				
		Ground floor	Upper floor	
Ground floor	Pearson Correlation	1	.969**	
	Sig. (2-tailed)		.000	
	N	4029	4029	
Upper floor	Pearson Correlation	.969**	1	
	Sig. (2-tailed)	.000		
	N	4029	4029	

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

ภาคผนวก จ.11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดย Paired-Samples T-Test ของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ภายนอกอาคารชั้นล่างและชั้นบน อาคารสำนักงาน

**T-Test**

**Paired Samples Statistics**

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 Ground floor	33.9274	2977	14.75556	.27044
Upper floor	25.0655	2977	10.67060	.19557

**Paired Samples Correlations**

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 Ground floor & Upper floor	2977	.928	.000

**Paired Samples Test**

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Ground floor - Upper floor	8.86194	6.26606	.11484	8.63676	9.08712	77.166	2976	.000

ภาคผนวก จ.12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี Pearson Correlation ของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ชั้นล่างและชั้นบน อาคารที่พักอาศัย

**Correlations**

**Correlations**

		Ground floor	Upper floor
Ground floor	Pearson Correlation	1	.928**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	2977	2977
Upper floor	Pearson Correlation	.928**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	2977	2977

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

## ภาคผนวก ฉ

ภาคผนวก ฉ.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> กับปัจจัยทางด้านภูมิอากาศ โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (Step-wise Multiple Regression Analysis) อาคารสำนักงาน

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.462 <sup>a</sup>	.213	.211	18.18142	.213	84.102	1	310	.000
2	.568 <sup>b</sup>	.323	.318	16.89934	.109	49.821	1	309	.000
3	.619 <sup>c</sup>	.383	.377	16.14891	.061	30.385	1	308	.000

a. Predictors: (Constant, Press

b. Predictors: (Constant, Press, Temp

c. Predictors: (Constant, Press, Temp, Winds

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B		Correlations		
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part
		1	(Constant)	-5118.361			561.687		-9.112	.000	-6223.563
	Press	5.174	.564	.462	9.171	.000	4.064	6.284	.462	.462	.462
2	(Constant)	-5607.678	526.662		-10.648	.000	-6643.975	-4571.381			
	Press	5.577	.528	.498	10.572	.000	4.539	6.615	.462	.515	.495
	Temp	3.075	.436	.332	7.058	.000	2.218	3.932	.279	.373	.330
3	(Constant)	-4557.174	538.149		-8.468	.000	-5616.089	-3498.260			
	Press	4.532	.539	.405	8.416	.000	3.472	5.592	.462	.432	.377
	Temp	3.090	.416	.334	7.422	.000	2.270	3.909	.279	.389	.332
	Winds	-12.475	2.263	-.264	-5.512	.000	-16.928	-8.022	-.392	-.300	-.247

a. Dependent Variable: PM2.5

Excluded Variables<sup>a</sup>

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	Temp	.332 <sup>b</sup>	7.058	.000	.373	.988
	Hum	-.287 <sup>b</sup>	-5.774	.000	-.312	.929
	Winds	-.261 <sup>b</sup>	-5.042	.000	-.276	.874
2	Hum	.056 <sup>c</sup>	.554	.580	.032	.217
	Winds	-.264 <sup>c</sup>	-5.512	.000	-.300	.874
3	Hum	.002 <sup>d</sup>	.019	.985	.001	.215

a. Dependent Variable: PM2.5

b. Predictors in the Model: (Constant), Press

c. Predictors in the Model: (Constant), Press, Temp

d. Predictors in the Model: (Constant), Press, Temp, Winds

ภาคผนวก ฉ.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> กับปัจจัยทางด้านภูมิอากาศ โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (Step-wise Multiple Regression Analysis) อาคารที่พักอาศัย

Model Summary									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.352 <sup>a</sup>	.124	.120	12.20692	.124	29.741	1	210	.000
2	.433 <sup>b</sup>	.188	.180	11.78300	.064	16.382	1	209	.000
3	.510 <sup>c</sup>	.260	.249	11.27458	.072	20.274	1	208	.000
4	.550 <sup>d</sup>	.303	.289	10.97086	.043	12.676	1	207	.000

a. Predictors: (Constant), Hum

b. Predictors: (Constant), Hum, Press

c. Predictors: (Constant), Hum, Press, Temp

d. Predictors: (Constant), Hum, Press, Temp, Winds

Coefficients <sup>a</sup>											
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B		Correlations		
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part
1	(Constant)	60.822	5.648		10.788	.000	49.687	71.957			
	Hum	-.413	.076	-.352	-5.454	.000	-.563	-.264	-.352	-.352	-.352
2	(Constant)	-2018.955	513.875		-3.929	.000	-3031.997	-1005.913			
	Hum	-.451	.074	-.384	-6.110	.000	-.598	-.305	-.352	-.389	-.381
	Press	2.084	.515	.254	4.047	.000	1.069	3.099	.208	.270	.252
3	(Constant)	-2083.783	491.983		-4.256	.000	-3083.695	-1123.871			
	Hum	-.852	.114	-.726	-7.495	.000	-1.076	-.628	-.352	-.481	-.447
	Press	2.279	.495	.278	4.608	.000	1.304	3.254	.208	.304	.275
	Temp	-3.234	.718	-.433	-4.503	.000	-4.650	-1.818	.123	-.298	-.269
4	(Constant)	-1717.699	490.245		-3.504	.001	-2884.211	-751.187			
	Hum	-.973	.116	-.829	-8.409	.000	-1.201	-.745	-.352	-.505	-.488
	Press	1.928	.491	.235	3.919	.000	.957	2.894	.208	.283	.228
	Temp	-3.500	.703	-.499	-4.980	.000	-4.888	-2.114	.123	-.327	-.289
	Winds	-4.291	1.205	-.227	-3.580	.000	-6.667	-1.915	-.088	-.240	-.207

a. Dependent Variable: PM2.5

Excluded Variables <sup>a</sup>						
Model		Beta In	t	Sig.	Partial	Collinearity
					Correlation	Statistics
1	Temp	.394 <sup>b</sup>	-3.929	.000	.262	.388
	Winds	.242 <sup>b</sup>	-3.598	.000	.242	.874
	Press	.254 <sup>b</sup>	4.047	.000	.270	.994
2	Temp	-.433 <sup>c</sup>	-4.503	.000	.298	.385
	Winds	-.194 <sup>c</sup>	2.887	.004	.196	.835
3	Winds	.227 <sup>d</sup>	-3.580	.000	.240	.825

a. Dependent Variable: PM2.5

b. Predictors in the Model: (Constant), Hum

c. Predictors in the Model: (Constant), Hum, Press

d. Predictors in the Model: (Constant), Hum, Press, Temp

## ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ นางสาวสุวิณี มะณีเทพ



เบอร์โทรศัพท์ +6688 065 5276

อีเมล suwinee.m@gmail.com



วันเกิด วันเสาร์ที่ 26 กรกฎาคม พ.ศ. 2540



ที่อยู่ 72 หมู่ 6 ต. ภูกระดึง อ. ภูกระดึง จ. เลย รหัสไปรษณีย์ 42180