โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนบริเวณอาคารสูงประเภทสำนักงาน และที่พักอาศัย

ชื่อนิสิต นางสาว ณัฏฐนีฌา เนตร์นรินทร์

ภาควิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนบริเวณอาคารสูง
ประเภทสำนักงาน และที่พักอาศัย

นางสาว ณัฏฐนีฌา เนตร์นรินทร์

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Vertical distribution of PM_{10} at high-rise office building and residential building

Ms. Chatthanicha Netnarin

A Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Bachelor of Science

Department of Environmental Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณอาคารสูงประเภทสำนักงาน และที่พักอาศัย

ชื่อนิสิต นางสาว ณัฏฐนีฌา เนตร์นรินทร์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. ทรรศนีย์ พฤกษาสิทธิ์

ภาควิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้นับโครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

-------------------------------- หัวหน้าภาควิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

(ศาสตราจารย์ ดร.วนิดา จีนศาสตร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

-------------------------------- ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โชคชัย ยะชูศรี)

-------------------------------- กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธนา ตอเงิน)

-------------------------------- อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทรรศนีย์ พฤกษาสิทธิ์)

ชื่อโครงการ การกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณอาคารสูงประเภทสำนักงาน และที่พักอาศัย
ชื่อนิสิต นางสาวณัฏฐนีฌา เนตร์นรินทร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทรรศนีย์ พฤกษาสิทธิ์
ภาควิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณอาคารสูงประเภทสำนักงานและที่พักอาศัย ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{10} โดยใช้เครื่อง Aeroqual series 500 ที่ตรวจวัดแบบอ่านค่าได้ทันที ทำการตรวจวัดที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร ของอาคารสำนักงาน ในช่วงวันที่ 13 – 27 มกราคม พ.ศ. 2563 สำหรับอาคารที่พักอาศัย ตรวจวัดที่ความสูง 12.8 เมตร และ 124.9 เมตร ในช่วงวันที่ 30 มกราคม – 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 จากการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยฝุ่นภายนอกอาคารบริเวณชั้นล่างและชั้นบนของอาคารสำนักงานเท่ากับ 43.09±17.28 และ 46.96±26.20 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ และของอาคารที่พักอาศัยมีค่าเท่ากับ 42.65±16.84 และ 37.61±14.21 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยฝุ่นภายในอาคารที่ชั้นล่างและชั้นบนของอาคารสำนักงานเท่ากับ 41.71±19.60 และ 38.95±23.79 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ สำหรับชั้นล่างและชั้นบนของอาคารที่พักอาศัยมีค่าเท่ากับ 34.91±12.00 และ 26.11±9.19 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ รูปแบบการเปลี่ยนแปลงในรอบวันของฝุ่นภายนอกและภายในของทั้งสองอาคารแตกต่างกัน โดยความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{10} รายชั่วโมงของภายนอกอาคารสำนักงาน และอาคารที่พักอาศัยมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 10.00 น. และ 17.00 น. ตามลำดับ และจะมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 02.00 น. สำหรับอาคารสำนักงาน และ 01.00น. สำหรับอาคารที่พักอาศัยเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างฝุ่น PM_{10} ภายในกับภายนอกอาคารทั้งสองความสูง พบว่าอาคารที่พักอาศัยมีค่า I/O ratio น้อยกว่า 1 แต่อาคารสำนักงานฝุ่น PM_{10} ภายในมีค่าสูงกว่า 1 ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่อาคารที่พักอาศัยมีค่าลดลงตามระดับความสูงคิดเป็น -11.36±6.23% ส่วนอาคารสำนักงานพบว่ามีบางวันที่ความสูง 138.5 เมตร มีค่ามากกว่าความสูงที่ 4.5 เมตรคิดเป็น 6.66±7.83% ความสัมพันธ์ของปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาของทั้งสองอาคารพบว่ามี 2 ปัจจัยที่ได้ผลไปในทางเดียวกัน คือ ความกดอากาศซึ่งเป็นปัจจัยที่แปรผันตรงกับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} และอีกปัจจัยหนึ่ง คือ ความเร็วลมที่แปรผกผันกับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10}

คำสำคัญ: ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน, การกระจายตัวตามแนวตั้ง, ปัจจัยสภาพอุตุนิยมวิทยา

Title Vertical distribution of PM_{10} at high-rise office building and residential building

Name Chatthanicha Netnarin ID 5933314823

Project Advisor Assistant Professor Tassanee Prueksasit, Ph.D.

Department Environmental Science

Academic Year 2019

ABSTRACT

This research aims to study the vertical distribution of particulate matter less than 10 microns at high-rise office building and residential building. PM_{10} was measured by a real-time monitor, i.e. Aeroqual series 500. The samples were measured at each building for 14 days. At office building, the instruments were placed at 4.5 and 138.5 m during 13 – 27 January 2020, while the measurement at residential building was taken place at 12.8 and 124.9 m during 30 January – 11 February 2020. As a result of this study, the 24-h average outdoor concentration at both height levels of the office building were 43.09±17.28 μg/m^3 for ground level and 46.96±26.20 μg/m^3 for upper level, and those of residential building at ground and upper levels were 42.65±16.84 μg/m^3 and 37.61±14.21 μg/m^3, respectively. Also, those of the indoor concentration at both height levels of the office building were 41.71±19.60 and 38.95±23.79 μg/m^3, respectively, and the values of 34.91±12.00 and 26.11±9.19 μg/m^3 were determined at ground and upper levels of the residential building respectively. The diurnal profiles of indoor and outdoor PM_{10} were different between both buildings. The highest hourly concentration of PM_{10} at office building was found at 10am, whereas the peak was observed at 5pm for residential building. The lowest hourly concentration was similarly observed at 2am and 1am at office building and residential building, respectively. When comparing between indoor and outdoor concentrations of each level at each building, I/O ratios of both heights at the residential building and the upper floor of the residential building were less than 1, while that of the ground level at the office building was more than 1. The concentration of PM_{10} observed at the upper level decreased -11.36±6.23% from the ground, but a different trend was found some days (10/14 days) at the office building that the concentration increased 6.66±7.83% from the ground. At both high-rise buildings, there were two meteorological factors that gave the same relationship with the PM_{10} concentration, air pressure could enhance an increase of PM_{10}, but wind speed gave negative association.

Keywords: PM_{10}, Vertical distribution, Meteorological factors

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ถ้าหากไม่ได้รับคำแนะนำ และความช่วยเหลือจากหลายบุคคล ดังนั้นข้าพเจ้าจึงขอโอกาสนี้ในการกล่าวขอบคุณต่อบุคคลผู้มีส่วนร่วมในการศึกษาครั้งนี้

ประการแรก ขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทรรศนีย์ พฤกษาสิทธิ์ ที่ให้ข้อแนะนำการสนับสนุน และความช่วยเหลือในการดำเนินการศึกษาต่าง ๆ ภายในโครงการ หากไม่ได้รับคำชี้แนะ และความช่วยเหลือแล้วนั้น ยากที่จะดำเนินการโครงการเล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อีกทั้งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ประธาน และกรรมการโครงการสำหรับข้อเสนอแนะ และคำวิจารณ์ที่เป็นประโยชน์ที่ดีต่อตัวโครงการ และตัวข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่มอบความรู้ทางด้านวิชาการ และอื่น ๆ ให้คำชี้แนะ และความห่วงใยตลอดมา

ขอบพระคุณอาจารย์ ดร. นรุตตม์ สหนาวิน ผู้ให้ยืมเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินการศึกษาในครั้งนี้ อีกทั้งขอขอบคุณพี่เบียร์ พี่เจมส์ พี่ฟ้า พี่นิด และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณผู้บริหารทางอาคารที่พักอาศัย และคุณกาลกฤต วงษ์หาญ และคุณสมใจ สุริโยภาส ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าใช้สถานที่ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่อาคารสำนักงานที่อำนวยความสะดวกตลอดการศึกษา

ขอขอบคุณโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายการศึกษาในครั้งนี้

ขอขอบคุณนางสาวสุวิณี มะณีเทพ สำหรับความช่วยเหลือในการออกภาคสนาม และการทำงานดี ๆ ร่วมกันตลอดโครงการ

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณนายณัชพล คงศรีศักดิ์ เพื่อน ๆ และครอบครัวที่ให้คำแนะนำในการจัดทำข้อมูลและเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งในการจัดทำโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความหมาย	4
2.2 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง	4
2.2.1 ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ	5
2.2.2 ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมที่มนุษย์สร้างขึ้น	5
2.2.2.1 ฝุ่นจากการคมนาคมขนส่งและการจราจร	5
2.2.2.2 ฝุ่นจากการก่อสร้าง	5
2.2.2.3 ฝุ่นจากการประกอบการอุตสาหกรรม	5
2.2.2.4 ฝุ่นจากการประกอบกิจกรรมอื่น ๆ	5
2.3 ผลกระทบของฝุ่นละออง	5
2.3.1 ผลกระทบต่อสภาพบรรยากาศทั่วไป	5
2.3.2 ผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง	5
2.3.3 ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์	6
2.4 มาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครกรัม	6
2.5 ปัญหามลพิษทางอากาศของบุคคลที่อาศัยในเมือง	7
2.5.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนของ กรุงเทพมหานคร ปี2560 ถึง 2562	8
2.6 ปัญหาฝุ่นภายในอาคาร	9

2.7 มาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร 10
2.8 การวัดการกระจายตัวของฝุ่นตามแนวตั้ง 10
2.8.1 ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการกระจายตัวของฝุ่นละออง PM_{10} ตามแนวตั้ง 10
2.8.1.1 ความเร็วและทิศทางลม 11
2.8.1.2 อุณหภูมิ 13
2.8.1.3 ฝน 13
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 16
3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างอากาศ 16
3.1.1 การกำหนดสถานที่เก็บตัวอย่าง 16
3.2 ขั้นตอนการเตรียมเก็บตัวอย่าง 18
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมกระดาษกรอง 18
3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมติดตั้งอุปกรณ์ 18
3.3 วิธีการดำเนินการศึกษา 18
3.3.1 การเก็บตัวอย่าง 18
3.3.2 การศึกษาปัจจัยอุตุนิยมวิทยา 19
3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง 19
3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ 20
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และวิจารณ์ผล 21
4.1 การเปลี่ยนแปลงตัวเชิงคาบของฝุ่น PM_{10} รายชั่วโมง และ รายวันบริเวณอาคารสำนักงาน และอาคารที่พักอาศัย 21
4.1.1 อาคารสำนักงาน 21
4.1.2 อาคารที่พักอาศัย 22
4.2 ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในอาคารและภายนอกอาคารสำนักงานบริเวณดินแดง และ อาคารที่พักอาศัย บริเวณสามย่าน 25
4.2.1 อาคารสำนักงาน 25
4.2.2 อาคารที่พักอาศัย 29
4.3 การกระจายตัวตามแนวตั้งของ PM_{10} ณ อาคารสำนักงาน บริเวณดินแดง และ อาคารที่พักอาศัย บริเวณสามย่าน 33
4.3.1 อาคารสำนักงาน 33

4.3.2 อาคารที่พักอาศัย 36
4.4 การกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่น PM_{10} กับปัจจัยสภาพอุตุนิยมวิทยา 40
4.5 ความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลของฝุ่น PM_{10} ที่เก็บด้วยเครื่องมือ Aeroqual series 500 กับ cascade impactor 44
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา และ ข้อเสนอแนะ 48
5.1 สรุปผลการศึกษา 48
5.1.1 การกระจายตัวเชิงคาบของความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} รายชั่วโมง และรายวัน 48
5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคาร 48
5.1.3 การกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นละออง PM_{10} 49
5.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง PM_{10} ปัจจัยสภาพอุตุนิยมวิทยา 49
5.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้น PM_{10} จากเครื่องตรวจวัดด้วยเครื่องมือแบบเรียลไทม์ และแบบวิธีวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นโดยการชั่งน้ำหนัก 49
5.2 ข้อเสนอแนะ 50
รายการอ้างอิง 51
ภาคผนวก 57

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 มาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนของประเทศไทยและต่างประเทศ	6
ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบค่ามาตรฐานของไทยกับสหประชาชาติ	10
ตารางที่ 4.1 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในกับภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 4.5 เมตร	27
ตารางที่ 4.2 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในอาคารกับภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 138.5 เมตร	27
ตารางที่ 4.3 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความความสัมพันธ์ชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 4.5 เมตร	28
ตารางที่ 4.4 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความความสัมพันธ์ชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 138.5 เมตร	29
ตารางที่ 4.5 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในอาคารกับภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 12.8 เมตร	30
ตารางที่ 4.6 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในอาคารกับภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 124.9 เมตร	31

ตารางที่ 4.7 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความความสัมพันธ์ชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 12.8 เมตร 31

ตารางที่ 4.8 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความความสัมพันธ์ชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 124.9 เมตร 32

ตารางที่ 4.9 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ของอาคารสำนักงานที่ความสูง 4.5 เมตร กับ 138.5 เมตร 35

ตารางที่ 4.10 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ระหว่างระดับความสูงที่ 4.5 เมตร กับ138.5 เมตร ของอาคารสำนักงาน 36

ตารางที่ 4.11 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ของอาคารสำนักงานที่ความสูง 12.8 เมตร กับ 124.9 เมตร 38

ตารางที่ 4.12 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ระหว่างระดับความสูง 12.8 เมตร กับ 124.9 เมตร ภายนอกอาคารที่พักอาศัย 38

ตารางที่ 4.13 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ระหว่างระดับความสูง 4.5 เมตร กับ 138.5 เมตรของอาคารสำนักงาน กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา 40

ตารางที่ 4.14 สัมประสิทธิ์ตัวแปรในสมการความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองของความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร 40

กับ 138.5 เมตรของอาคารสำนักงาน กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 4.15 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูง 12.8 เมตร กับ ระดับความสูง 124.9 เมตรของอาคารที่พักอาศัย กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา 41

ตารางที่ 4.16 สัมประสิทธิ์ตัวแปรในสมการความสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ความสูง 12.8 กับ 124.9 เมตรของอาคารที่พักอาศัย กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา 42

ตารางที่ 4.17 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่เก็บโดยใช้เครื่องมือ cascade impactor กับเครื่องมือ Aeroqual series 500 ที่อาคารสำนักงาน 44

ตารางที่ 4.18 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่เก็บโดยใช้เครื่องมือ cascade impactor กับเครื่องมือ Aeroqual series 500 ณ อาคารที่พักอาศัย 45

ตารางที่ 4.19 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ของชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ที่เก็บโดยใช้เครื่องมือcascade impactor กับเครื่องมือ Aeroqual series 500 46

ตารางที่ 4.20 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ที่เก็บโดยใช้เครื่องมือ cascade impactor กับเครื่องมือ Aeroqual series 500 46

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยฝุ่น PM_{10} รายเดือนบริเวณริมถนนปทุมวัน เขตปทุมวัน ปี2560 ถึง 2562 8

รูปที่ 2.2 ค่าเฉลี่ยฝุ่น PM_{10} รายเดือนบริเวณริมถนนดินแดง เขตดินแดง ปี2560 ถึง 2562 8

รูปที่ 3.1 ภาพจำลองจุดเก็บตัวอย่างอาคารที่พักอาศัย 17

รูปที่ 3.2 ภาพจำลองจุดเก็บตัวอย่างอาคารสำนักงาน 17

รูปที่ 4.1(ก) ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} รายวันเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของภายในและภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 4.5 เมตร 21

รูปที่ 4.1(ข) ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} รายวันเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของภายในและภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 138.5 เมตร 21

รูปที่ 4.2(ก) ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} รายชั่วโมงของภายในและภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 4.5 เมตร 22

รูปที่ 4.2(ข) ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} รายชั่วโมงของภายในและภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 138.5 เมตร 22

รูปที่ 4.3(ก) ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} รายวันเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 12.8 เมตร 23

รูปที่ 4.3(ข) ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} รายวันเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 124.9 เมตร 23

รูปที่ 4.4(ก) ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} รายชั่วโมงของภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 12.8 เมตร 24

รูปที่ 4.4(ข) ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} รายชั่วโมงของภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 124.9 เมตร 24

รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฝุ่นภายในและภายนอกอาคารสำนักงานของปริมาณฝุ่น PM_{10}ที่ความสูง4.5 เมตร กับ 138.5 เมตร 26

รูปที่ 4.6(ก) อิทธิพลการกระจายตัวของฝุ่น PM_{10} ภายนอกที่ส่งผลต่อฝุ่นภายในอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 4.5 เมตร 28

รูปที่ 4.6(ข) อิทธิพลการกระจายตัวของฝุ่น PM_{10} ภายนอกที่ส่งผลต่อฝุ่นภายในอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 138.5 เมตร 28

รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฝุ่นภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยของปริมาณฝุ่น PM_{10}ที่ความสูง 12.8 เมตร กับ 124.9 เมตร 29

รูปที่ 4.8(ก) อิทธิพลการกระจายตัวของฝุ่น PM_{10} ภายนอกที่ส่งผลต่อฝุ่นภายในอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 12.8 เมตร 32

รูปที่ 4.8(ข) อิทธิพลการกระจายตัวของฝุ่น PM_{10} ภายนอกที่ส่งผลต่อฝุ่นภายในอาคารที่พักอาศัยระดับความสูง 124.9 เมตร 32

รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่น PM_{10}ที่ความสูง4.5 เมตร กับ 138.5 เมตร 34

รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝุ่น PM_{10} ตามความสูง ของอาคารสำนักงาน 34

รูปที่ 4.11 อัตราส่วนของปริมาณฝุ่น PM_{10}ที่ความสูง4.5 เมตร กับ 138.5 เมตร 34

รูปที่ 4.12 อิทธิพลการกระจายตัวของฝุ่น PM_{10} ภายนอกบริเวณชั้นล่างที่ส่งผลต่อฝุ่นชั้นบนของอาคารสำนักงาน 36

รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่น PM_{10}ที่ความสูง 12.8 เมตร กับ 124.9 เมตรของอาคารที่พักอาศัย 37

รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝุ่น PM_{10} ตามความสูง ของอาคารที่พักอาศัย 37

รูปที่ 4.15 อัตราส่วนของปริมาณฝุ่น PM_{10}ที่ความสูง 12.8 เมตร กับ 124.9 เมตรของอาคารที่พักอาศัย 37

รูปที่ 4.16 อิทธิพลการกระจายตัวของฝุ่น PM_{10} ภายนอกบริเวณชั้นล่างที่ส่งผลต่อฝุ่นชั้นบนของอาคารที่พักอาศัย 39

รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลที่เก็บโดยใช้เครื่องมือ cascade impactor กับ เครื่องมือ Aeroqual series 500 47

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเป็นตัวชี้วัดคุณภาพทางอากาศที่สำคัญชนิดหนึ่ง และอนุภาคฝุ่นละอองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือน้อยกว่า 10 ไมครอนนั้นมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ Wang et al. (2009) ที่สามารถก่อให้เกิดโรคในระยะเฉียบพลันและเรื้อรัง โดยการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนก่อให้เกิดโรคหลายประเภท เช่น โรคทางระบบภูมิคุ้มกัน ความผิดปกติต่อปอด การทำลายเซลล์ หอบหืด รวมถึงการได้รับการรักษาที่โรงพยาบาล เนื่องจากโรคทางระบบหายใจ และโรคทางระบบหัวใจและหลอดเลือด โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง มะเร็ง และท้ายที่สุดอาจถึงขั้นเสียชีวิตได้ Jeong (2013) โดยฝุ่นละอองนี้มีแหล่งกำเนิดได้จากหลากหลายแหล่ง ไม่ว่าจะเป็นภาคอุตสาหกรรม การก่อสร้างท่อคอนกรีต ถนนลาดยาง และถนนที่ไม่ได้ลาดยาง Amato et al. (2011); Bhaskar and Sharma (2008); Cao et al. (2008); Zhang et al. (2017) และกิจกรรมในเขตเมือง โดยการปลดปล่อยจากการจราจรคิดเป็นร้อยละ 50 ของการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นในเขตเมือง Wrobel et al. (2000)

ในปัจจุบันผู้คนมากกว่า 600 ล้านคนที่อาศัยในเขตเมืองทั่วโลกกำลังได้รับสัมผัสมลพิษทางอากาศที่กำเนิดมาจากการจราจรในระดับที่อันตราย Cacciola et al. (2002) สำหรับประเทศไทยเนื่องด้วยการเติบโตของประชากร และการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศทำให้ปัญหาฝุ่นละอองในเขตเมืองหลวง อีกทั้งกรุงเทพมหานครยังมีการจราจรที่หนาแน่นซึ่งถือเป็นแหล่งปล่อยฝุ่นละออง PM_{10} Carmichael et al. (2009) และในเมืองส่วนใหญ่ผู้คนอาศัยอยู่ในอาคารคอนโดมิเนียมที่เป็นอาคารสูง เพราะมีพื้นที่น้อยกว่าจำนวนคนที่ต้องการเข้ามาทำงานที่นี่ และบุคคลเหล่านี้ส่วนใหญ่มักทำงานในสำนักงานที่เป็นอาคารสูงเฉกเช่นเดียวกัน ซึ่งฝุ่นที่กระจายตัวอยู่ภายนอกอาคารสามารถเข้ามาในอาคารได้ โดยผ่านมาทางหน้าต่าง ประตู รอยรั่วของโครงสร้างตึก และรวมไปถึงระบบระบายอากาศเชิงกลอีกด้วย ดังนั้นปริมาณของฝุ่นที่กระจายตัวในอากาศของทั้งภายในและภายนอกอาคารยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลถึงสุขภาพของบุคคลที่อยู่อาศัยในอาคารที่พักอาศัย หรือทำงานภายในอาคารสำนักงาน โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวของฝุ่นตามแนวตั้ง คือ สภาพทางอุตุนิยมวิทยา โดยมีงานวิจัยที่ศึกษาเรื่องการกระจายตัวของฝุ่นตามแนวตั้งที่ปักกิ่งพบว่า ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} และ $PM_{2.5}$ จะลดลงตามความสูงโดยมีแนวโน้มลดลง 2 รูปแบบ คือ แบบค่อย ๆ ลดและลดลงอย่างรวดเร็ว ในวันที่มีสภาพอากาศสงบหรือวันที่มลพิษความเข้มข้นของฝุ่นละอองจะลดลงอย่างช้า ๆ ถ้าหากเป็นวันที่อากาศปลอดโปร่งหรือวันที่สภาพอากาศไม่เย็นมาก ความเข้มข้นฝุ่นจะ

ลดลงอย่างรวดเร็ว Ding et al. (2005) นอกจากนี้ ความเร็วลม ทิศทางลมสามารถส่งผลต่อความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองได้อีกด้วย Li and Bai (2014)

การศึกษาที่ผ่านมาส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาความสัมพันธ์ของการกระจายตัวของฝุ่นในระดับพื้นดินกับผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น การวิจัยเกี่ยวกับฝุ่น PM_{10} ที่แยกถนนจราจรกับสุขภาพของมนุษย์ Ahmad (2019) ส่วนที่ฮ่องกงได้มีการประเมินฝุ่น PM_{10} ในช่วงเดือนมกราคมบริเวณริมถนนที่มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่าค่าฝุ่น PM_{10} เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ US EPA หากผู้คนได้รับมลพิษทางอากาศนี้เป็นเวลานานสามารถเกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้ L.Y. chan (2000) และที่เกาหลีได้มีงานวิจัยที่วิเคราะห์ฝุ่น PM_{10} บริเวณริมถนนและบริเวณที่พักอาศัยในเขตเมืองที่โซล ปูซาน และแดกูที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศและอุณหภูมิ โดยพบว่ามีค่าฝุ่น PM_{10} ที่เกินค่ามาตรฐานทั้งในบริเวณริมถนนและบริเวณที่พักอาศัย Jo and Park (2005) แต่งานวิจัยที่ทำการศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นตามแนวตั้งบริเวณอาคารสูงในเขตเมือง ยังมีข้อมูลที่ค่อนข้างจำกัด Flachsbart and Ott (1986); Hitchins et al. (2002); Jo et al. (2003)

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ณ อาคารสูงที่เป็นทั้งอาคารสำนักงานและอาคารที่พักอาศัยในกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย เพื่อศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นทั้งภายในและภายนอกอาคารของทั้ง 2 ประเภท และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่มีต่อฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1.2.1 เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคาร

1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของปริมาณ PM_{10} ตามแนวตั้งที่ระดับความสูงแตกต่างกัน 2 ระดับ

1.2.3 เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของปริมาณฝุ่น PM_{10} กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

1.2.4 อธิบายลักษณะการกระจายตัวเชิงคาบของปริมาณ PM_{10} รายชั่วโมง และรายวัน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 พื้นที่การศึกษาอยู่ในกรุงเทพมหานคร เขตปทุมวัน และเขตดินแดง

1.3.2 ทำการตรวจวัดฝุ่นละอองช่วงเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ. 2563 เนื่องจากเป็นช่วงสถานการณ์มลพิษฝุ่น

1.3.3 ชนิดสารมลพิษทางอากาศที่ศึกษา คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ทำการตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจวัดฝุ่น $PM_{2.5}$/ PM_{10} ชนิดพกพา (Aeroqual series 500) และใช้ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองจากการเก็บด้วยวิธี Gravimetric Method เป็นเวลา 7 วัน นำข้อมูลจากทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกันโดยใช้ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ยรายชั่วโมง 24 ชั่วโมง

1.3.4 ตรวจวัดสภาพทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความเร็วลม และทิศทางลมจากเครื่อง vantage pro 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงลักษณะการกระจายตัวของฝุ่นละออง PM_{10} ตามแนวตั้งของภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูงแตกต่างกัน

1.4.2 ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของฝุ่นละออง PM_{10} กับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

1.4.3 ทราบถึงแนวโน้มในการกระจายตัวของฝุ่นละออง PM_{10} เชิงคาบ รายชั่วโมง และรายวัน

บทที่ 2
ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมาย

อนุภาคฝุ่นละออง (PM) เป็นมลพิษทางอากาศที่สามารถแพร่กระจายได้ โดยประกอบด้วยสารผสมของอนุภาคของแข็งและของเหลวที่ลอยอยู่ในอากาศ PM เป็นสารผสมที่มีลักษณะทางกายภาพและเคมีที่ขึ้นอยู่กับสถานที่ โดยองค์ประกอบทางเคมีทั่วไปของ PM อาจมีสารที่ก่อให้เกิดผลกระทบทางสุขภาพได้มากมาย WHO (2013)

ในประเทศไทย กรมควบคุมโรคได้อธิบายถึงฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนไว้ว่า เมื่อนำฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมาเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผมก็จะพบว่าเล็กกว่าถึง 16 เท่า ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า สามารถลอยอยู่ในอากาศได้นานหลายวันกระทั่งเป็นเดือนได้ หากมีกระแสอากาศไหลเวียนเบา ๆ จะช่วยพยุงฝุ่นละอองให้ลอยอยู่ได้นานมากขึ้น ฝุ่นขนาดเล็กเหล่านี้สามารถผ่านระบบทางเดินหายใจส่วนต้น คือ จมูกและหลอดลมใหญ่ ไปถึงหลอดลมแขนงย่อย ๆ ได้ กรมควบคุมโรค (2559)

ฝุ่นละอองตามความหมายของกรมควบคุมมลพิษ หมายถึง อนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่มีอยู่ในอากาศ ฝุ่นละอองเกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งโดย ธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์ สำหรับปัญหามลพิษด้านฝุ่นละอองมักเกิดจากฝุ่นละอองขนาดเล็กซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น การเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล การเผาเศษวัชพืช ขยะ และปฏิกิริยาเคมีในอากาศ กรมควบคุมมลพิษ (2562) โดยกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มีการติดตามตรวจสอบและเฝ้าระวัง สถานการณ์ต่อเนื่องของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ซึ่งเป็นฝุ่นละอองที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ เนื่องจากเมื่อหายใจเข้าไปสามารถเข้าไปสะสมในระบบทางเดินหายใจ ซึ่งเกณฑ์ของประเทศไทยกำหนดว่าหากค่าดัชนีคุณภาพอากาศเริ่มมีค่าเกิน 100 แสดงว่าค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศมีค่าเกินมาตรฐานและคุณภาพอากาศในวันนั้นจะเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน กรมควบคุมมลพิษ (2553) โดยฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง การเผาในที่โล่ง กระบวนการอุตสาหกรรม การบด และการโม่

2.2 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง

แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ กรมควบคุมมลพิษ (2546)

2.2.1 ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural Particle) ได้แก่ ดิน ทราย หิน ละออง ไอน้ำ เขม่าควันจากไฟป่า และฝุ่นเกลือจากทะเล เป็นต้น

2.2.2 ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-made Particle) ได้แก่

(1) ฝุ่นจากการคมนาคมขนส่งและการจราจร เช่น ฝุ่นดินทรายที่ฟุ้งกระจายในถนน ขณะที่รถยนต์วิ่งผ่าน ฝุ่นดินทรายที่หล่นจากการบรรทุกขนส่ง การกองวัสดุสิ่งของบนทางเท้าหรือบนเส้นทางการจราจร และปริมาณรถที่เพิ่มมากขึ้นในประเทศไทย กรมขนส่งทางบกได้รายงานทางสถิติจำนวนรถจดทะเบียนใหม่ในแต่ละปีมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีการปลดปล่อยมลภาวะออกจากยานพาหนะเพิ่มมากขึ้น

(2) ฝุ่นจากการก่อสร้าง เช่น ฝุ่นจากการสร้างถนน/อาคาร การปรับปรุงผิวการจราจร การรื้อถอนอาคารและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ การก่อสร้างเพื่อติดตั้งหรือปรับปรุงระบบสาธารณูปโภค ฝุ่นที่เกิดการเข้า ออกพื้นที่โครงการก่อสร้าง และฝุ่นจากการก่อสร้างที่เกิดในทางอ้อม คือ การก่อสร้างทำให้เกิดการลดพื้นที่ในการจราจร ส่งผลให้การจราจรติดขัด ทำให้การปลดปล่อยมลพิษจากยานพาหนะเพิ่มมากขึ้น

(3) ฝุ่นจากการประกอบการอุตสาหกรรม เช่น การทำปูนซีเมนต์ โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับหิน กรวด ทราย หรือดิน สำหรับใช้ในการก่อสร้างอย่างใดอย่างหนึ่ง การโม่บดหรือย่อยหิน การร่อนหรือการคัดกรวดหรือทราย

(4) ฝุ่นจากการประกอบกิจกรรม อื่น ๆ เช่น การทำความสะอาด การทำอาหาร การทาสี เป็นต้น

2.3 ผลกระทบของฝุ่นละออง

2.3.1 ผลกระทบต่อสภาพบรรยากาศทั่วไป

ฝุ่นละอองจะลดความสามารถในการมองเห็น เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศทั้งที่เป็นของแข็ง และของเหลวสามารถดูดซับและหักเหแสงได้ ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด ความหนาแน่น และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง

2.3.2 ผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง

ฝุ่นละอองในบรรยากาศสามารถทำอันตรายต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้างได้ เช่น การสึกกร่อนของโลหะ การทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง การเสื่อมคุณภาพของผลงานทางศิลปะ ความสกปรกเลอะเทอะของวัตถุ เป็นต้น

2.3.3 ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์

ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษหรือเหตุเดือดร้อนรำคาญ ส่วนฝุ่นละอองที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดเล็กเหล่านี้ เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ จะเกาะตัวหรือตกตัวได้ในส่วนต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจ ก่อให้เกิดการระคายเคืองและทำลายเนื้อเยื่อของอวัยวะนั้น ๆ เช่น เนื้อเยื่อปอด ซึ่งหากได้รับในปริมาณมากหรือในช่วงเวลานาน จะสามารถสะสมในเนื้อเยื่อปอด เกิดเป็นผังผืด หรือ แผลขึ้นได้ และทำให้การทำงานของปอดเสื่อมประสิทธิภาพลงทำให้หลอดลมอักเสบ เกิดหอบหืดถุงลมโป่งพอง และโอกาสเกิดโรคระบบทางเดินหายใจเนื่องจากติดเชื้อเพิ่มขึ้นได้

2.4 มาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร

ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 พ.ศ. 2538 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ระบุไว้ว่า ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเวลา 24 ชั่วโมงควรมีค่าไม่เกิน 0.12 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่ามัชฌิมเรขาคณิตของสารดังกล่าวในเวลา 1 ปี ควรมีค่าไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตรของประเทศไทยและต่างประเทศ

ประเทศ	**ค่ามาตรฐาน**
สหรัฐ	50 $\mu g/m^3$ (24 ชม) 20 $\mu g/m^3$ (1ปี)
ไทย	120 $\mu g/m^3$ (24 ชม) 50 $\mu g/m^3$ (1 ปี)
สหราชอาณาจักร	50 $\mu g/m^3$ (24 ชม) 40 $\mu g/m^3$ (1 ปี)
ญี่ปุ่น	100 $\mu g/m^3$ (24 ชม)
จีน	150 $\mu g/m^3$ (24 ชม) 70 $\mu g/m^3$ (1 ปี)

ฮ่องกง	100 μg/m^3 (24 ชม)
	50 μg/m^3 (1 ปี)

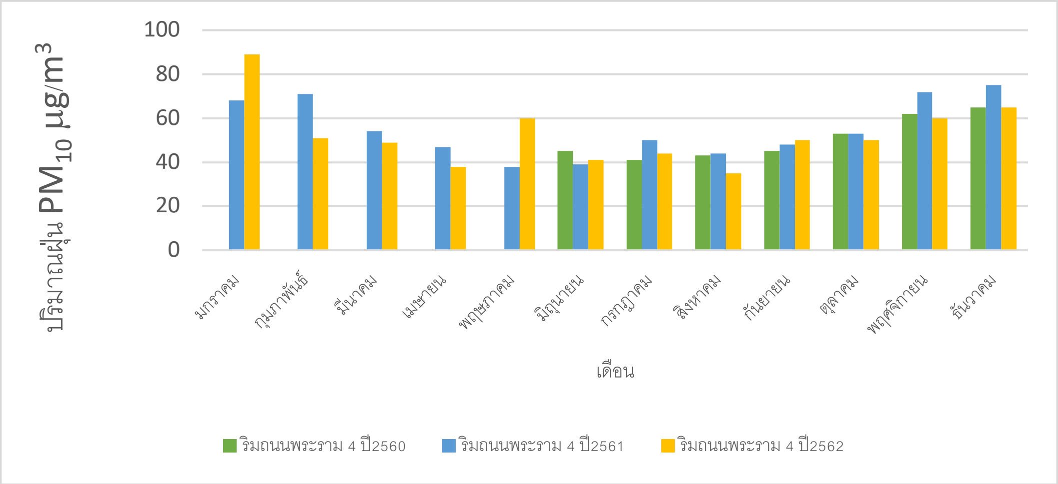
จากตารางที่ 1 พบว่าในแต่ละประเทศต่างมีค่ามาตรฐานที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งการกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละอองนั้นจะพิจารณากำหนดจากข้อมูลพื้นฐานการพัฒนาของประเทศ สภาพเศรษฐกิจและสังคม ซึ่งค่ามาตรฐานระหว่างประเทศไทยและต่างประเทศยังมีความแตกต่างกัน ดังนั้นประเทศไทยยังจัดเป็นประเทศกำลังพัฒนา ตอนนี้ประเทศไทยยังใช้รถยนต์ที่มีอายุ 20 – 30ปี เนื่องจากประชาชนส่วนใหญ่มีรายได้ระดับปานกลางถึงน้อย และระบบขนส่งมวลชนของประเทศไทยยังไม่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นข้อที่แตกต่างจากประเทศอื่น ๆ (ประลอง ดำรงค์ไทย, สัมภาษณ์, 22 มกราคม 2563)

2.5 ปัญหามลพิษทางอากาศของบุคคลที่อาศัยในเมือง

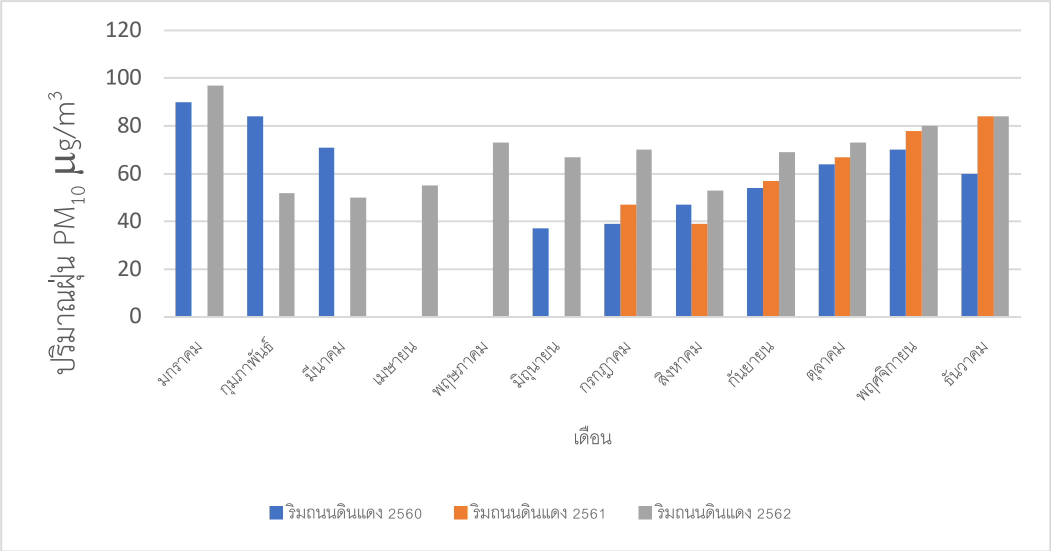
ปัญหามลพิษทางอากาศในเมืองถือเป็นข้อที่น่าวิตกกังวลทั่วโลก ไม่ว่าจะเป็นประเทศที่พัฒนาแล้วหรือว่ากำลังพัฒนาก็ตาม การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร และการเพิ่มขึ้นของปริมาณรถในการสัญจรนั้นส่งผลต่อมลพิษทางอากาศให้เลวร้ายมากยิ่งขึ้น ซึ่งมลพิษทางอากาศนี้ก็จะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม และรวมไปถึงสุขภาพของมนุษย์ โดยองค์การอนามัยโลกได้คาดการณ์ประเทศที่กำลังพัฒนาไว้ว่า การเพิ่มขึ้นของมลพิษทางอากาศส่งผลให้ประชากรมากกว่า 2 ล้านคนตายเนื่องมาจากการป่วยทางระบบทางเดินหายใจ หนึ่งในแหล่งกำเนิดหลักของมลพิษทางอากาศในเมืองคือยานพาหนะที่ขับเคลื่อนบนถนน นอกเหนือไปจากส่วนนี้แล้วยังมีในส่วนของอุตสาหกรรม และกิจกรรมการค้า โดยมีรายงานว่ามากกว่า 70-80 % ของมลพิษทางอากาศในเมืองใหญ่ ๆ ของประเทศที่กำลังพัฒนานั้นเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยมลพิษของยานพาหนะที่ส่วนใหญ่เป็นยานพาหนะเก่าประกอบกับมีการซ่อมบำรุงน้อย โครงสร้างภายในของถนนไม่ดีพอ และเชื้อเพลิงมีคุณภาพต่ำ มลสารที่นำมาเป็นเกณฑ์สำหรับชี้วัดคุณภาพอากาศในเมือง ได้แก่ ออกไซด์ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ อนุภาคฝุ่นละออง และสารอินทรีย์ระเหยง่ายซึ่งกรุงเทพมหานคร ถือเป็นเมืองหลวงที่มีประชากรเข้ามาอาศัยเป็นจำนวนมาก เพื่อเข้ามาทำงาน จึงส่งผลให้มีปริมาณการจราจรที่หนาแน่น จึงเกิดผลตามมาคือ ปัญหาฝุ่นละอองในอากาศ Gulia et al. (2015)

2.5.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนของกรุงเทพมหานครปี 2560 ถึง 2562

ขอบเขตการศึกษาวิจัยนี้ได้กำหนดพื้นที่ศึกษาเป็นเขตปทุมวันและเขตดินแดง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ตั้งอยู่ใจกลางกรุงเทพมหานคร ผู้ศึกษาได้ทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณฝุ่น PM_{10} ที่ตรวจวัดบริเวณริมถนนพระราม 4 และถนนดินแดงในช่วงปี 2560 ถึง 2562 เพื่อให้ทราบถึงสถานการณ์พื้นฐานของพื้นที่ในการศึกษาปริมาณฝุ่น PM_{10}



รูปที่2.1 ค่าเฉลี่ยฝุ่น PM_{10} รายเดือนบริเวณริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน ปี2560 ถึง 2562
ที่มา กรมควบคุมมลพิษ (2562)



รูปที่ 2.2 ค่าเฉลี่ยฝุ่น PM_{10} รายเดือนบริเวณริมถนนดินแดง เขตดินแดง ปี2560 ถึง 2562
ที่มา กรมควบคุมมลพิษ (2562)

จากรูปที่ 2.1 และ 2.2 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศริมถนนดินแดง เขตดินแดง และ ริมถนนพระราม 4เขตปทุมวันในแต่ละเดือนพบว่ามีค่าที่สูงในช่วงเดือนมกราคมและธันวาคมโดยในเดือนมกราคมมีค่าเฉลี่ยของฝุ่น PM_{10} อยู่ที่ 97 กับ 84 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 89 กับ 75 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยรายปีของทั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในปี 2560 ถึงปี 2563 พบว่า มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานทั้งสองสถานีโดยมีค่าเท่ากับ 53 55 และ 53 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของสถานีปทุมวัน ส่วนสถานีดินแดงมีค่าเท่ากับ 63 64 และ 69 53 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ โดยเกณฑ์มาตรฐานเฉลี่ยรายปีของประเทศไทยควรมีค่าไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จึงเห็นได้ชัดว่าเขตดินแดงและเขตปทุมวันซึ่งถือเป็นพื้นที่ในเมืองของกรุงเทพมหานครที่มีประชากรอาศัยอยู่เป็นจำนวนมากนั้น ประสบปัญหากับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

2.6 ปัญหาฝุ่นภายในอาคาร

คุณภาพอากาศภายในอาคารนั้นกล่าวถึงคุณภาพอากาศในอาคารที่อยู่อาศัย โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า โรงแรม อาคารสำนักงาน เป็นต้น คุณภาพอากาศภายในอาคารสามารถส่งผลถึงสุขภาพของมนุษย์ได้เนื่องจาก ประชากรส่วนใหญ่ที่อาศัยอยู่ภายในเมือง มักหลีกเลี่ยงสารมลพิษที่อยู่ในอากาศภายนอกอาคารดังกล่าว โดยการอาศัยอยู่ภายในอาคารที่สามารถควบคุมสภาพอากาศได้ จากการศึกษาการใช้เวลาภายในอาคารปิดนั้นพบว่า การใช้ชีวิตอยู่ในอาคารที่สามารถควบคุมสภาพอากาศได้ โดย US EPA ได้ทำการศึกษาพบว่าการใช้เวลาภายในอาคารปิด ประชากรส่วนใหญ่ที่อาศัยอยู่ในเมือง ใช้ชีวิตอยู่ภายในอาคารสูงถึงมากกว่า 90% ของเวลาทั้งหมดในแต่ละวัน และจากการศึกษาขององค์การอนามัยโลกพบว่า ร้อยละ 30 ของอาคารทั่วโลกอาจมีปัญหาด้านคุณภาพอากาศ โดยมลสารที่อยู่ภายในอาคารอาจก่อให้เกิดโรคกับผู้ที่อยู่ในอาคารได้ โดยมลสารที่ต้องได้รับการตรวจวัดหนึ่งในนั้นคือ อนุภาคฝุ่นละออง โดยมีงานวิจัยพบว่าความใกล้ชิดของผู้คนที่อาศัยกับแหล่งกำเนิดของฝุ่นนั้นมีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับการได้รับสัมผัสกับอนุภาคฝุ่น โดยมีรายงานว่าฝุ่นละอองมีความเข้มข้นของทั้งภายในอาคารและนอกอาคารที่สูงสำหรับบ้านที่ตั้งอยู่ใกล้กับการจราจรที่หนาแน่นมากกว่าบ้านที่ตั้งอยู่ใกล้การจราจรที่ไม่ค่อยหนาแน่น Jung (2011) นอกจากนี้บ้านที่ตั้งอยู่ใกล้การจราจรที่หนาแน่นนั้นได้รับอิทธิพลจากความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายนอกอาคารที่สูงอีกด้วย ความเข้มข้นของฝุ่นภายในอาคารมีที่มาจากสองแหล่งคือ ในอาคาร และนอกอาคาร อย่างไรก็ตามทั้งสองแหล่งกำเนิดนี้ขึ้นกับตัวแปรหลายตัวสิ่งสำคัญที่สุดคือ อัตราการปล่อยอนุภาค

ภายในอาคาร ความเข้มข้นอนุภาคกลางแจ้ง อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ประสิทธิภาพในการแทรกซึมของอนุภาคจากภายนอกสู่สิ่งแวดล้อมในร่มและอัตราการสะสมของอนุภาคในพื้นผิวในอาคาร

2.7 มาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร

สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม (2559) ได้มีการกำหนดมาตรการในการจัดการคุณภาพอากาศโดยพารามิเตอร์ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครกรัมให้มีค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ภายใน 8 ชั่วโมงต้องไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยค่ามาตรฐานนี้สอดคล้องกับค่ามาตรฐานที่องค์การอนามัยโลกได้กำหนดไว้ว่าพารามิเตอร์ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครกรัมไม่ควรเกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรภายใน 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบค่ามาตรฐานของไทยกับสหประชาชาติ

WHO guidelines	สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม
PM_{10} 50 $\mu g/m^3$ (ค่าเฉลี่ยภายใน 24 ชั่วโมง)	PM_{10} 50 $\mu g/m^3$ (ค่าเฉลี่ยภายใน 8 ชั่วโมง)

2.8 การกระจายตัวของฝุ่นตามแนวตั้ง

การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ตามแนวตั้งพบว่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น โดยงานวิจัยที่ศึกษาถึงคุณลักษณะการกระจายตัวของฝุ่น PM_{10} ที่กวางโจวได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{10} ที่ระดับความสูงที่แตกต่างกันสามระดับ คือ ที่ระดับพื้นดิน ระดับ 121 เมตร และ 454 เมตร ของหอคอยซึ่งเป็นสถานที่ที่โดดเด่นในกวางโจว และพบว่าความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} นั้นลดลงตามความสูง Deng et al. (2015) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Li and Bai (2014) ที่พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} ลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น โดยทำการศึกษาการกระจายตัวของฝุ่น PM_{10} ในบริเวณที่พักอาศัยที่มีความสูง 50 เมตร กับ ตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นในบริเวณพื้นที่โล่ง (open space) โดยใช้บอลลูน พบว่าความเข้มข้นฝุ่นลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น โดยวันที่มีความเร็วลมสูงจะทำให้ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นได้ช้ากว่าเมื่อเทียบกับวันที่มีความเร็วลมต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงปัจจัยของลม ซึ่งเป็นเป็นปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของฝุ่น PM_{10} ตามแนวตั้ง นอกเหนือจากลมอาจมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นละออง PM_{10} ได้

2.8.1 ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการกระจายตัวของฝุ่นละออง PM_{10} ตามแนวตั้ง

ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10}ที่ลอยอยู่ในบรรยากาศอาจมีการแปรผันไปตามสภาพอุตุนิยมวิทยา ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของฝุ่น PM_{10} มีดังต่อไปนี้

2.8.1.1 ความเร็วและทิศทางลม

อากาศมีการเคลื่อนตัวจากบริเวณที่มีความกดอากาศสูงไปยังบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ การเคลื่อนตัวของอากาศในแนวนอนนั้นก่อให้เกิดลม ลมจะทำให้ฝุ่นละอองในบรรยากาศเกิดการกระจายตัว ซึ่งฝุ่นละออง PM_{10} จะกระจายตัวได้มากหรือน้อย และในทิศทางใดขึ้นอยู่กับความเร็วและทิศทางลม โดยงานวิจัยของ ปภัสรา (2562) พบว่าความเร็วลมจะแปรผกผันกับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} กล่าวคือความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} มีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วลมต่ำ นอกจากนี้ ชาคริต (2561) ยังพบในลักษณะเดียวกันคือ หากความเร็วลมต่ำ ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} มีค่าสูง ในบริเวณพื้นที่โล่งฝุ่นละออง PM_{10} จะกระจายตัวได้มากและไปได้ไกลเนื่องจากในพื้นที่โล่ง ไม่มีสิ่งกีดขวาง แรงเสียดทาน หรือแรงต้านลมน้อย ดังนั้นฝุ่นละออง PM_{10} จึงสามารถกระจายตัวได้เป็นวงกว้างซึ่งจะแตกต่างกับในเมืองที่มีอาคารสูงและตึกต่าง ๆ ลมที่พัดพาไม่ได้พัดไปในทิศทางเดียวตลอดเสมอ ลมอาจพัดไปได้หลายทิศทางในหนึ่งชั่วโมง อันเนื่องมาจากอิทธิพลของลมท้องถิ่นเช่น ลมบก ลมทะเล และ ระดับภูมิภาคเช่น ลมตะวันตกเฉียงใต้ ลมมรสุม เป็นต้น ซึ่งอิทธิพลของลมที่มีต่อประเทศไทยมี รายละเอียดดังนี้

2.8.1.1.1 ลมท้องถิ่น (Local Wind)

(1) ลมบกและลมทะเล (Land Breeze & Sea Breeze) เป็นลมที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศเหนือพื้นดินกับอากาศเหนือพื้นน้ำ เป็นลมประจำวัน ลมทะเล (Sea Breeze) จะเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวันในฤดูร้อนตามชายฝั่งทะเล โดยที่อากาศเหนือพื้นดินมีอุณหภูมิสูงกว่าเนื่องจากได้รับรังสีดวงอาทิตย์ทำให้อากาศเหนือพื้นดินยกตัวลอยขึ้นและ อากาศเหนือพื้นน้ำซึ่งเย็นกว่าจะเข้ามาแทนที่ ส่วนลมบก (Land Breeze) จะเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืนโดยที่อากาศเหนือพื้นน้ำมีอุณหภูมิสูงกว่าเนื่องจากพื้นดินจะคายความร้อนในรูปรังสีทำให้อากาศเหนือพื้นน้ำยกตัวลอยขึ้นและอากาศเหนือพื้นดินซึ่งเย็นกว่าจะเข้ามาแทนที่

(2) ลมหุบเขาและลมภูเขา (Valley Breeze & Mountain Breeze) เป็นลมที่เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างบริเวณลาดเขาที่อยู่ส่วนบนกับบริเวณหุบเขาที่อยู่ส่วนล่าง เป็นลมประจำวัน ลมหุบเขา (ValleyBreeze) เกิดในช่วงเวลากลางวันบริเวณลาดเขาจะได้ความร้อนจากดวงอาทิตย์มากกว่าหุบเขา บริเวณลาดเขาจึงมีอุณหภูมิสูงกว่าและเกิดการยกตัวของ

อากาศขึ้น อากาศบริเวณหุบเขาซึ่งเย็นกว่าจึงเข้ามาแทนที่ จึงเกิดลมเย็นพัดมาจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ส่วนลมภูเขา (Mountain Breeze) เกิดในช่วงเวลากลางคืนบริเวณลาดเขาจะคายความร้อนจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าหุบเขา ดังนั้น อากาศบริเวณลาดเขาจึงเข้าไปแทนที่

ผลกระทบจากฝุ่นละอองจะมีความชัดเจนมาก ในกรณีที่แหล่งกำเนิดฝุ่นละอองอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมบกและทะเล หรือลมภูเขาและลมหุบเขา เช่น ถนนสายหลักที่มีปริมาณฝุ่นละอองสะสมอยู่บนพื้นถนนในปริมาณมากจะทำให้ฝุ่นละอองกระจายตัวในบรรยากาศในทุกพื้นที่ที่อยู่ใกล้ถนนสายหลัก

2.8.1.1.2 ลมมรสุม (Monsoon)

(1) ลมมรสุม หมายถึง ลมที่มีการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศที่เกิดขึ้นตามฤดูกาลโดยมีทิศทางที่แน่นอนและสม่ำเสมอหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ลมประจำฤดู” ลมจะพัดเปลี่ยนทิศทางเมื่อเปลี่ยนฤดูคือ ในฤดูร้อนลมจะพัดไปในทิศทางหนึ่ง และในฤดูหนาวจะพัดเปลี่ยน ทิศทางในทางตรงกันข้ามเกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นดินและพื้นน้ำมหาสมุทร ในฤดูร้อนอุณหภูมิของพื้นดินจะร้อนกว่าพื้นน้ำมหาสมุทร จึงเกิดการยกตัวของอากาศเหนือพื้นดิน และ อากาศเหนือพื้นน้ำที่เย็นกว่าไหลเข้าไปแทนที่ ทำให้ลมพัดเข้าสู่พื้นดิน ในทางกลับกันฤดูหนาว อากาศเหนือพื้นน้ำมหาสมุทรจะมีอุณหภูมิสูงกว่า ลมจึงพัดออกจากพื้นดิน ซึ่งประเทศไทยอยู่ได้รับ อิทธิพลของลมมรสุม 2 ชนิด คือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

(2) ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หรือลมมรสุมฤดูร้อน (Summer Monsoon) เกิดในช่วงกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคมบริเวณมหาสมุทรอินเดีย อุณหภูมิอากาศเหนือพื้นดินของประเทศไทยจะสูงกว่าอากาศเหนือพื้นน้ำมหาสมุทรอินเดีย ทำให้ประเทศไทยเป็นเขตความกดอากาศต่ำ ดังนั้นอากาศเหนือพื้นดินจะยกตัวขึ้นและอากาศเหนือพื้นน้ำมหาสมุทรอินเดียที่เป็นเขตความกดอากาศสูงจะไหลเข้าไปแทนที่ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งในช่วงนี้ประเทศไทยจะมีเมฆมาก และฝนตกชุก โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามบริเวณชายฝั่งทะเล เนื่องจากลมที่พัดมาจากมหาสมุทรอินเดียได้นำความชื้นเข้ามา

(3) ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือหรือลมมรสุมฤดูหนาว (Winter Monsoon) เกิดในช่วงกลางเดือนตุลาคมจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ บริเวณแถบประเทศมองโกเลียและจีนจะมีความกดอากาศสูง ส่วนมหาสมุทรอินเดียจะมีความกดอากาศต่ำแทน ดังนั้นอากาศแถบประเทศ มองโกเลียและจีนจะไหลเข้าสู่มหาสมุทรอินเดียที่มีอุณหภูมิสูงกว่าในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เมื่อลมมรสุมฤดู

หนาวพัดผ่านประเทศไทยจะพัดพาเอามวลอากาศเย็นและแห้งปกคลุมประเทศไทยทำให้ท้องฟ้าโปร่ง อากาศหนาวเย็น และแห้งแล้งทั่วไป และทำให้เกิดฝนตกในบางพื้นที่ เช่น ภาคใต้ฝั่งตะวันออก

อิทธิพลจากลมมรสุมส่งผลให้เห็นอย่างชัดเจน ในส่วนของปริมาณน้ำฝน จำนวนวันที่ฝนตก ความชื้นในบรรยากาศ และทิศทางลม โดยในช่วงที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดผ่าน (ฤดูฝน) ในช่วงนี้มีฝนตกติดต่อกันเป็นระยะเวลาหลายเดือน ฝุ่นละอองในบรรยากาศจะรวมตัวกับหยดน้ำแล้วตกลงสู่พื้นดินทำให้ในช่วงนี้ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศนั้นบางลง ส่วนในช่วงที่ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดผ่าน (ฤดูหนาว) ในช่วงนี้ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและมีกำลังลมแรง ทำให้ฝุ่นละอองค้างอยู่ในบรรยากาศนานและจะกระจายตัวในวงกว้างตามกำลัง และทิศทางของลม

2.8.1.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิในบรรยากาศจะไม่เท่ากัน ความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละระดับความสูง เป็นตัวกำหนดความสามารถการกระจายตัวของฝุ่นละออง PM_{10} ในชั้นบรรยากาศ อุณหภูมิแปรผกผันกับความสูง หรือยิ่งสูงอากาศยิ่งเย็นลง โดยเฉพาะบรรยากาศในช่วงระดับความสูง 0-10 กิโลเมตร หรือ ชั้นโทรโพสเฟียร์ (Troposphere) ฝุ่นละอองจะกระจายตัวได้เป็นอย่างดี เนื่องจากอากาศบนพื้นผิวโลกซึ่งอุ่นและลอยตัวสูงขึ้น ขณะที่ลอยตัวขึ้นก็จะนำเอาฝุ่นละออง PM_{10} จากระดับพื้นดินขึ้นไปด้วย เมื่อกระทบกับอากาศเย็นที่อยู่เบื้องบนก็จะขยายตัวออก ในทางตรงกันข้ามฝุ่นละอองจะกระจายตัวได้น้อยที่สุดหรือไม่มีเลยในชั้นบรรยากาศที่ความสูงแปรผันตรงกับอุณหภูมิ เนื่องจากฝุ่นละอองอาจกระจายตัวได้ดี และค้างอยู่ในบรรยากาศได้นานโดยเฉพาะแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองที่อยู่ในพื้นที่ที่มีปริมาณฝุ่นละอองสะสมอยู่มาก โดยงานวิจัยของตระวรรณ (2556) ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยากับปริมาณฝุ่นละออง PM_{10} บริเวณพื้นที่ริมถนนในเขตกรุงเทพมหานครพบว่า อุณหภูมิแปรผกผันกับค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} กล่าวคือ ฝุ่นละออง PM_{10} มีค่าสูงเมื่ออุณหภูมิต่ำ ในทางกลับกันกับงานวิจัยของ Kalisa et al. (2018) ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ในเมือง เบอร์มิงแฮม สหราชอาณาจักร โดยการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ระดับฝุ่น PM_{10} มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตาม เนื่องจากสภาพอากาศที่อบอุ่นส่งผลทำให้เกิด secondary fine particles ขึ้น โดยในเมืองจะมีระดับฝุ่น PM_{10} ที่สูงกว่าในเมืองเนื่องจากมีแหล่งกำเนิดจากแหล่งอุตสาหกรรม การจราจร และกิจกรรมมนุษย์ อีกทั้งในเมืองเป็นพื้นที่ปิด รายล้อมไปด้วยอาคารส่งผลทำให้เกิดการสะสมฝุ่น PM_{10} ได้มากยิ่งขึ้น

2.8.1.3 ฝน

วันที่ฝนตก อนุภาคของฝุ่นในบรรยากาศจะจับกับอนุภาคน้ำแล้วตกลงสู่พื้นดิน ช่วยลดการกระจายตัวของฝุ่น PM_{10} ได้ โดยทฤษฎีดังกล่าวนั้นตรงกับงานวิจัยของชาคริต (2561) พบว่าปริมาณน้ำฝนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเข้มข้น PM_{10}

กรมควบคุมโรค (2559) กล่าวว่าปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาหมอกควัน ประกอบด้วยสภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความกดอากาศ ทิศทางลม ฯลฯ สภาพภูมิประเทศ เช่น พื้นที่แอ่งกระทะ เขตเมืองที่มีอาคารสูง ฯลฯ สภาพภูมิประเทศเหล่านี้มักจะประสบกับปัญหาหมอกควันรุนแรงกว่าพื้นที่อื่น ๆ เช่น ในพื้นที่แอ่งกระทะ ที่มีภูเขาล้อมรอบมีโอกาส ที่จะเกิดปัญหาหมอกควันเพิ่มมากขึ้น และในวันที่มีความกดอากาศสูงหรือไม่มีการพัดผ่านของลม จะทำให้หมอกควัน ลอยปกคลุมในพื้นที่อย่างยาวนานกว่าวันที่มีอากาศแจ่มใส หรือมีลมพัดผ่านหรือมีความชื้นในอากาศสูง เช่น ฝนตก

ลักษณะของการเกิดไฟและการกระจายตัวของควันโดยทั่วไปแล้ว ลมจะเป็นตัวสนับสนุนทำให้ความเข้มข้นของหมอกควันลดลง เพราะควันจะเจือจางหากมีปริมาตรอากาศเพิ่มขึ้น โดยในช่วงที่เกิดความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่เกิดการไหม้ระยะแรก ควันไฟจะลอยตัวขึ้นด้านบนและจะคงตัวจนกระทั่งเริ่มเย็น จากนั้นจะค่อยลดตัวต่ำลง และเริ่มเจือจางและแพร่กระจายมากขึ้น ในช่วงเวลาที่มีแดด อากาศจะร้อนและลอยตัวขึ้นด้านบน ซึ่งจะนำเอาฝุ่นและควันไฟลอยตามขึ้นไปด้วย หลังจากนั้นในช่วงเวลาตอนเย็นที่พระอาทิตย์เริ่มตก อุณหภูมิบริเวณพื้นดินจะเริ่มเย็นตัวลง และอากาศจะลดตัวต่ำลงในบริเวณหุบเขาในช่วงเวลาเย็น ๆ อากาศใกล้พื้นดินจะเย็นกว่าอากาศด้านบน ส่งผล ให้อากาศไม่สามารถเคลื่อนตัวสู่ด้านบนได้ จึงส่งผลทำให้หมอกควันสะสมในบริเวณหุบเขาในช่วงเวลากลางคืน ดังนั้น ความรุนแรงของปัญหาหมอกควันจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ทำให้ระดับของหมอกควันในแต่ละพื้นที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ ความเข้มข้นของมลพิษหมอกควันจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพลมที่เกิดขึ้น

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wu et al. (2002) ทำการตรวจวัดชุดข้อมูลของฝุ่นตามแนวตั้งและแนวนอน และการกระจายตัวของฝุ่น PM_1, $PM_{2.5}$ และ PM_{10} บริเวณถนนสายหลักในมาเก๊าโดยใช้เครื่อง DustTrack และ TEOM โดยพบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_1, $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ลดลงตามความสูง ที่ความสูง 79 เมตรพบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_1, $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ลดลงประมาณ 80%, 62% และ 60% ตามลำดับ ของระดับความเข้มข้นสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ 2 เมตรจากพื้นดิน อย่างไรก็ตาม ชุดข้อมูลในแนวราบนั้นความเข้มข้นของฝุ่น PM_1, $PM_{2.5}$ และ PM_{10} แนวโน้มของระดับความเข้มข้นฝุ่นลดลงตามระยะทางอย่างไม่มีนัยสำคัญ

Rubino et al. (1998) ได้ทำการตรวจวัดคาร์บอนมอนอกไซด์(CO) และฝุ่นละออง PM_{10} ที่อิตาลีติดต่อกันเป็นเวลา 30 วัน โดยตรวจวัดที่นอกอาคารตั้งแต่ชั้นพื้นดิน และระดับความสูงที่แตกต่างกัน

กล่าวคือ ทำการตรวจวัดที่ระดับถนน และบริเวณสูงสุดของอาคาร (100 เมตร) และภายในอาคาร โดยความเข้มข้นของฝุ่นในแต่ละวันที่เปลี่ยนแปลงไปในบริเวณใกล้เคียงกับอาคารได้รับการติดตามว่ามีส่วนมาจากการผลิตมลพิษของการจราจร และการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศมีอิทธิพลต่อการกระจายตัวของฝุ่นจากระดับพื้นถนนขึ้นไปด้านบน CO ที่ตรวจวัดได้ในละแวกอาคารที่ทำการตรวจวัดพบว่าฝุ่นละออง PM_{10} ในอากาศจากค่า 40 $\mu g/m^3$ ลดลงเป็น 32 $\mu g/m^3$ ที่ 80 m, เบนซีน 5 mg/m^3 เทียบเท่า ที่ระดับพื้นดินลดลง 30% ที่ความสูง 100 เมตร, 3 mg/m^3 ของ CO ลดลงเป็น 2.2 mg/m^3 ที่ 100 m

C.Y. chan et al. (2005) ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PM, คาร์บอนอินทรีย์(OC) และ ธาตุคาร์บอน(EC) ในช่วงเดือนสิงหาคมปี 2003 ที่ระดับความสูง 8 100 200 และ 325 เมตร ที่หอคอยตรวจวัดสภาพอุตุนิยมวิทยา ในพื้นที่ตัวเมือง และพื้นที่ชานเมืองของปักกิ่ง ประเทศจีน พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} และ $PM_{2.5}$ มีค่าสูงสุดรายวันสูงถึง 368.1 $\mu g/m^3$ และ 178.7 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ในขณะที่ OC และ EC มีค่า 22.2 $\mu g/m^3$ และ 9.1 $\mu g/m^3$ ใน $PM_{2.5}$ และ 30.0 $\mu g/m^3$ และ 13.0 $\mu g/m^3$ ใน PM_{10} ตามลำดับ หลักฐานทางอุตุนิยมวิทยาชี้ให้เห็นว่ามีการเกิด temperature inversion ที่รุนแรงใกล้กับพื้นผิว (<50 เมตร) และมีสภาพอากาศที่คงตัว ทำให้เกิดการสะสมของมลพิษและก่อให้เกิดการกระจายตัวตามแนวตั้งอย่างไม่ปกติของอนุภาคฝุ่นละออง และกลุ่มของคาร์บอนในตัวเมืองปักกิ่ง อนุภาคฝุ่นละอองเกิดจากการเคลื่อนที่ของมลพิษที่ถูกปล่อยมาจากอุตสาหกรรมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ของเมือง การปล่อยมลพิษจากการจราจรบนถนน และกิจกรรมการก่อสร้าง รวมถึงคาร์บอนอินทรีย์ secondary organic carbon (SOC) ก็เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของอนุภาคฝุ่นละออง

Chan and Kwok (2000) ทำการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นที่แขวนลอยอยู่ในอากาศบริเวณถนนที่เปิดโล่ง กับบริเวณถนนที่มีตึกสูงที่ฮ่องกง พบว่าความเข้มข้นของอนุภาคและจำนวนของอนุภาคฝุ่นลดลงเมื่อความสูงของอาคารเพิ่มขึ้น โดย PM_{10} และ TSP จะแปรผันแบบเอกโปเนนเชียล อนุภาคฝุ่นบริเวณถนนที่มีตึกสูงจะได้รับอิทธิพลจากทิศทางลม ส่วนอนุภาคฝุ่นบริเวณถนนเปิดโล่ง อัตราส่วนระหว่างความสูงของอาคารกับความกว้างของถนนจะส่งผลต่อการกระจายตัวของฝุ่น นอกจากนี้ความเข้มข้นของฝุ่นตามระดับความสูงยังขึ้นกับกิจกรรมก่อสร้าง vertical mixing (ความสูงผสม) ความเร็วลม และสภาวะการเจือจางของมลพิษที่ระดับท้องถิ่น (local dilution)

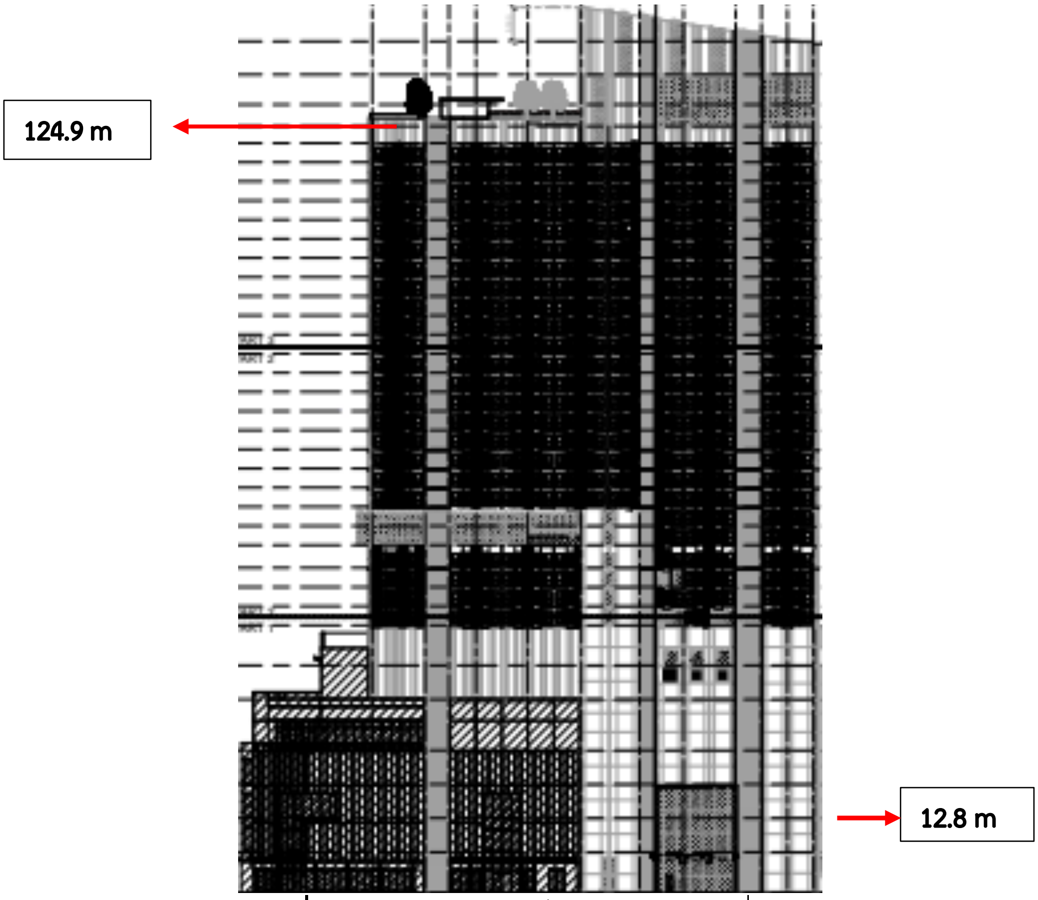
บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างอากาศ

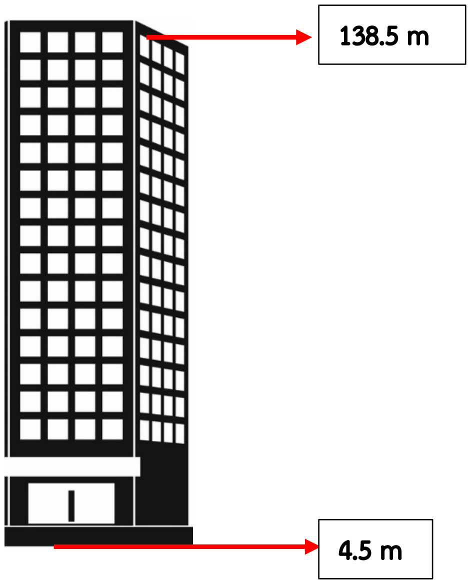
3.1.1 การกำหนดสถานที่เก็บตัวอย่าง

ทำการเลือกพื้นที่ศึกษา และจุดเก็บตัวอย่างโดยพิจารณาบริเวณในเขตกรุงเทพมหานครที่มีมลพิษทางอากาศสูง และมีอาคารสูง โดยกำหนดสถานที่เก็บตัวอย่างได้ 2 แห่งคือ

- อาคารสำนักงานที่ตั้งอยู่ในเขตดินแดง อาคารตั้งอยู่ใกล้กับถนนสายหลักคือ ถนนวิภาวดีรังสิต และตั้งอยู่ใกล้ถนนประชาสงเคราะห์ ที่มีปริมาณรถเป็นจำนวนมากในแต่ละวัน โดยในพื้นที่อาคารที่ทำการตรวจวัดพบว่า มีค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรประมาณ 17,253 คัน (สำนักการจราจรและขนส่งกรุงเทพมหานคร, 2562) ซึ่งถือเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองหลัก เนื่องจากบริเวณดังกล่าว ไม่มีโรงงานอุตสาหกรรม หรือแหล่งกำเนิดอื่น ๆ ที่มีผลเท่าการจราจร และตัวอาคารที่ทำการเก็บตัวอย่างมีความสูงประมาณ 150 เมตร มีจำนวน 37 ชั้นซึ่งถือเป็นอาคารสูง
- อาคารที่อยู่อาศัยตั้งอยู่ในเขตปทุมวัน ใกล้ห้างสรรพสินค้าสามย่านมิตรทาวน์ และตั้งใกล้ถนนพญาไท ซึ่งเป็นถนนที่มีการจราจรที่หนาแน่นและเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษหลักซึ่งคล้ายกันกับสถานที่แรกคือ ในบริเวณใกล้เคียงกับอาคารที่เก็บตัวอย่างอากาศไม่พบโรงงานอุตสาหกรรม หรือแหล่งกำเนิดอื่น ๆ โดยพบว่าปริมาณจราจรบริเวณสถานที่เก็บตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37,066 คัน (สำนักการจราจรและขนส่งกรุงเทพมหานคร, 2562)โดยตัวอาคารมีความสูง 144.15 เมตร มีจำนวน 33 ชั้นซึ่งถือเป็นอาคารสูง



รูปที่ 3.1 ภาพจำลองจุดเก็บตัวอย่างอาคารที่พักอาศัย



รูปที่ 3.2 ภาพจำลองจุดเก็บตัวอย่างอาคารสำนักงาน

3.2 ขั้นตอนการเตรียมเก็บตัวอย่าง

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมกระดาษกรอง

การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (Gravimetric analysis) เป็นวิธีการที่จะนำมาใช้ในการหามวลของฝุ่นละออง เป็นการหามวลจากการชั่งกระดาษกรองก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 7 ตำแหน่ง (Mettler Toledo UMX2) โดยเครื่องชั่งต้องตั้งอยู่ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ก่อนทำการชั่งควรนำกระดาษกรองไปแช่อะซีโตน 15 นาที จากนั้นนำไปอบในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 3 วันแล้วจึงนำมาชั่งกับเครื่องชั่ง ในการชั่งน้ำหนักกระดาษกรองควรชั่ง 3 ครั้งเพื่อนำมาหาค่าน้ำหนักเฉลี่ยจากนั้นบันทึกค่า นำกระดาษกรองเก็บเข้าตลับใส่กระดาษกรองแล้วนำเข้าตู้ดูดความชื้นก่อนนำไปทำการเก็บตัวอย่าง

3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมติดตั้งอุปกรณ์

Cascade impactor คือ เครื่องมือใช้เก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{10} เพื่อนำชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} มาทำการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก นำเครื่องมือมาทำการติดตั้งกับขาตั้งกล้อง และปั๊มดูดอากาศ โดยให้มีความสูงอยู่ที่ระดับ breathing zone ประมาณ 1.5 เมตรจากพื้นดินที่บริเวณภายใน และภายนอกอาคารสำนักงาน และอาคารที่พักอาศัยทั้งสองความสูง โดยอาคารสำนักงานทำการติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพอากาศแบบพกพาที่สองระดับความสูงคือ 4.5 และ 138.5 เมตร ส่วนอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 12.8 และ 124.9 เมตร

Aeroqual series 500 คือ เครื่องมือตรวจวัดปริมาณฝุ่น PM_{10} แบบเรียลไทม์ นำเครื่องมือมาทำการติดตั้งกับขาตั้งกล้องโดยให้มีความสูงอยู่ที่ระดับ breathing zone ประมาณ 1.5 เมตรจากระดับพื้น บริเวณภายในและภายนอกอาคารสำนักงาน และอาคารที่พักอาศัยทั้งสองความสูง โดยอาคารสำนักงานทำการติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพอากาศแบบพกพาที่ระดับความสูง 4.5 และ 138.5 เมตร ส่วนอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 12.8 และ 124.9 เมตร

Vantage pro 2 คือ เครื่องมือตรวจวัดปัจจัยอุตุนิยมวิทยา เครื่องนี้นำไปติดตั้งอยู่ที่ความสูงประมาณ 150 เมตรที่อาคารสำนักงาน และที่ความสูง 124.9 เมตรที่อาคารที่พักอาศัย ตามลำดับ

3.3 วิธีการดำเนินการศึกษา

3.3.1 การเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน 24 ชั่วโมง 14 วันติดต่อกัน บริเวณภายในอาคารและภายนอกของทั้งอาคารสำนักงานและอาคารที่พักอาศัย ในช่วงเดือนมกราคม และเดือนกุมภาพันธ์ ปี 2563 ตามลำดับ โดยอาคารแรกคือ อาคารสำนักงานทำการติดตั้งเครื่องมือที่ชั้น 1 (4.5 เมตร) และชั้น 34 (134.5 เมตร) ทั้งภายในและภายนอกอาคาร โดยติดตั้งทั้งเครื่องตรวจวัด

คุณภาพอากาศขนาดพกพารุ่น series 500 กับ หัว impactors โดยหัว impactor จะทำการติดตั้งเพียง 7 วันเท่านั้นทั้ง 2 อาคาร ส่วนอาคารที่พักอาศัยทำการติดตั้งเครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศขนาดพกพารุ่น series 500 กับหัว impactors โดยได้ทำการที่ชั้น 1 และชั้น 33 แต่เครื่องที่ตั้งภายนอกอาคารชั้น 1 ได้ทำการติดตั้งตรงบันไดหนีไฟชั้น 2 เนื่องจากปัญหาทางด้านสถานที่

3.3.2 การศึกษาปัจจัยอุตุนิยมวิทยา

เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดสภาพอุตุนิยมวิทยา คือเครื่อง Vantage PRO 2 โดยใช้ทำการตรวจวัด อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ ความเร็วลม และทิศทางลม โดยเก็บตัวอย่างต่อเนื่องกันเป็นเวลา 14 วันในช่วงเดียวกันกับการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PM_{10} โดยติดตั้งเครื่องมือนี้ที่ความสูงประมาณ 150 เมตรที่อาคารสำนักงาน และที่ความสูง 124.9 เมตรที่อาคารที่พักอาศัย โดยเครื่องทำการเก็บข้อมูลทุก ๆชั่วโมง

3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

Gravimetric analysis หลังจากเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PM_{10} ด้วย cascade impactor จึงนำมาหาปริมาณฝุ่นด้วยวิธี Gravimetric analysis โดยนำกระดาษกรองที่ทำการเก็บตัวอย่างเรียบร้อยเข้าตู้ดูดความชื้น 3 วัน หลังจากนั้นจึงนำมาชั่งด้วย Mettler Toledo UMX2 ทศนิยม 7 ตำแหน่ง โดยทำการชั่ง 3 ซ้ำ เมื่อได้ค่าเฉลี่ยจึงบันทึกผล คำนวณโดย

น้ำหนักฝุ่น (μg) = น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บ – น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บ

$$\text{ปริมาณฝุ่น } (\mu g/m^3) = \frac{\text{น้ำหนักฝุ่น}(\mu g)}{\text{ปริมาตรอากาศ}(m^3)}$$

ปริมาณฝุ่น PM_{10} (μg/m^3) = ปริมาณฝุ่น$PM_{10-2.5}$ + ปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$

การวัดแบบ Realtime เมื่อได้ชุดข้อมูลความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} ทุก ๆ 5 นาทีของอาคารสำนักงาน และอาคารที่พักอาศัยบริเวณภายในอาคาร และภายนอกอาคารของทั้งสองระดับความสูง มาทำการวิเคราะห์โดยพล็อตกราฟเป็นแนวโน้มรายวันเพื่อคัดข้อมูลที่ผิดปกติออกจากชุดข้อมูล เช่นค่าสูงต่ำที่ผิดปกติ จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

(1) นำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงของฝุ่น PM_{10} ทั้งภายในอาคาร และภายนอกอาคารของทั้งสองระดับความสูงในรอบวัน และรายวันเพื่อทำการศึกษาแนวโน้มของฝุ่นในบริเวณของอาคารตัวอย่าง

(2) นำมาศึกษาความสัมพันธ์ของฝุ่นภายในภายนอกอาคารทั้งสองระดับความสูง โดยดูอัตราส่วนฝุ่นภายในต่อภายนอกของอาคารทั้งสองแห่ง

(3) นำมาศึกษาการกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่น PM_{10} โดยนำมาเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นชั้นล่างกับชั้นบน และแสดงการลดลงของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10}

(4) นำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} กับปัจจัยสภาพอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความกดอากาศ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และ อุณหภูมิ

(5) เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ที่เก็บด้วยเครื่อง cascade impactor กับ เครื่อง Aeroqual series 500

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (Vantage pro 2) นำชุดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาทุก ๆ 1 ชั่วโมงมาวิเคราะห์หาค่าทางสถิติกับชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ที่ทำการวัด นำฝุ่น PM_{10}ของชั้นล่างและชั้นบนมาเฉลี่ยกัน จากนั้นจึงนำตัวแปรทั้งสองไปวิเคราะห์โดยโปรแกรม IBM SPSS Statistics version 25 เพื่อศึกษาปัจจัยสภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่มีอิทธิพลต่อฝุ่น PM_{10}

3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

3.5.1 เปรียบเทียบฝุ่นภายในกับภายนอกอาคาร การศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นตามแนวตั้งที่อาคารสูง กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย และเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการวัดของเครื่องตรวจวัดอากาศแบบพกพา กับเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธี impaction โดยใช้ T-test

3.5.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นกับสภาพอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความกดอากาศ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และ อุณหภูมิ โดยทำการติดตั้งเครื่องตรวจวัดสภาพอุตุนิยมวิทยาไว้ที่ชั้นบนของอาคารทั้งสอง และนำชุดข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่วโมงมาวิเคราะห์ทางสถิติกับชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10}ของชั้นล่างและชั้นบนที่นำมาเฉลี่ยกันโดยใช้ Step – wise Multiple Linear Regression

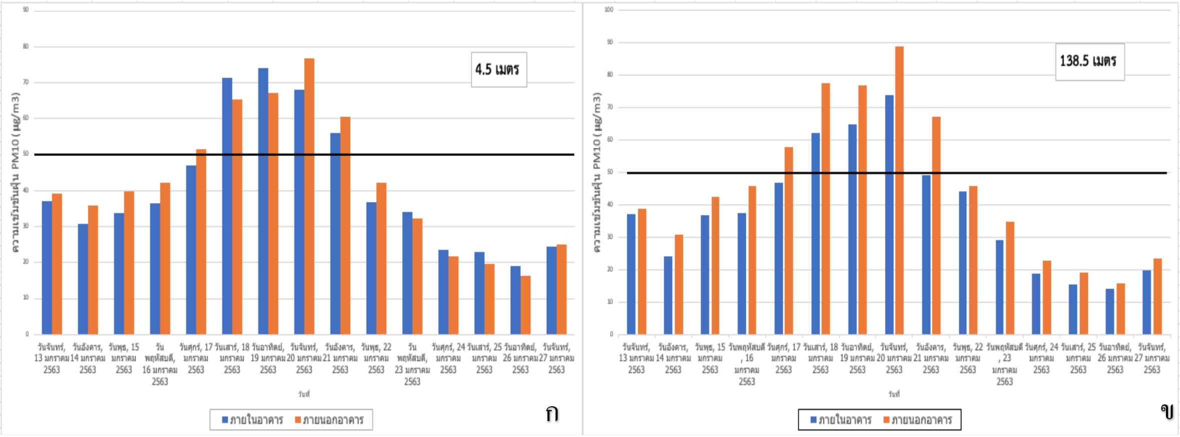
3.5.3 ใช้ Pearson correlation ในการศึกษาความสัมพันธ์ของฝุ่นภายในและภายนอกของอาคารสำนักงาน และอาคารที่พักอาศัยทั้งสองระดับความสูง

บทที่ 4
ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 การเปลี่ยนแปลงเชิงคาบของฝุ่น PM_{10} รายชั่วโมง และ รายวันบริเวณอาคารสำนักงาน และอาคารที่พักอาศัย

4.1.1 อาคารสำนักงาน

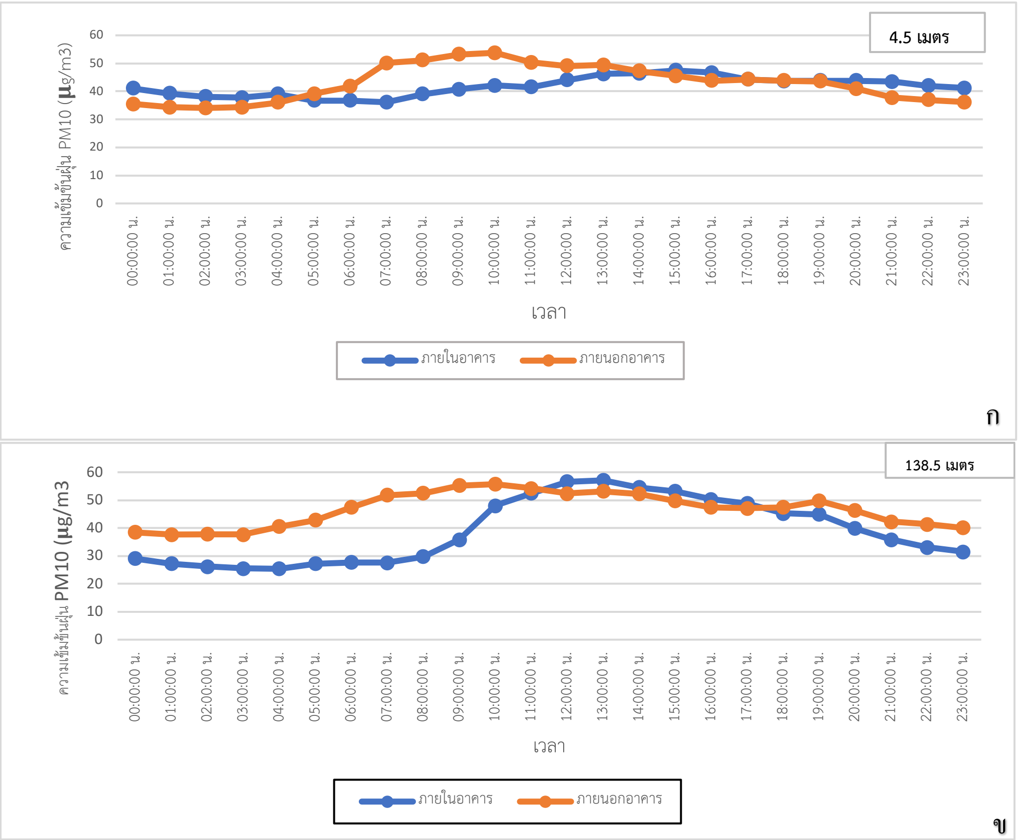
ทำการติดตั้งเครื่อง Aeroqual series 500 ตรวจวัดปริมาณฝุ่น PM_{10} ติดต่อกันเป็นเวลา 14 วัน จากนั้นนำค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} มาทำการพล็อตค่าเป็นแบบรายชั่วโมง และรายวันเพื่อดูแนวโน้มความเข้มข้นของฝุ่น เมื่อพิจารณาจากกราฟ รูปที่ 4.1(ก) และ (ข) จะพบได้ว่า บริเวณอาคารสำนักงานในเขตดินแดง ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} รายวันที่ภายนอกอาคารทั้งสองระดับความสูงไม่พบค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานของไทยซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 120 $\mu g/m^3$ แต่มีค่าฝุ่นละออง PM_{10} ภายในอาคารสำนักงานบางวันที่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานฝุ่นภายในอาคารของไทยซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 50 $\mu g/m^3$(เฉลี่ย 8 ชั่วโมง)ทั้งสองระดับความสูง โดยที่ระดับความสูง 4.5 เมตร วันที่พบค่าฝุ่นละออง PM_{10} เกินเกณฑ์มาตรฐานฝุ่นภายในอาคารของไทย คือวันที่ 18 - 21 มกราคม ซึ่งมีค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} อยู่ในช่วง 64.7 – 77.8 $\mu g/m^3$ส่วนที่ระดับความสูง 138.5 เมตรพบตั้งแต่ วันที่ 14 – 21 มกราคม มีค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} อยู่ในช่วง 50.5 – 80.5 $\mu g/m^3$ ในสัปดาห์ที่ 2 พบว่าวันพฤหัสบดีที่ 24 ถึง 26 มกราคม 2563 มีค่าความเข้มข้น PM_{10} น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวันอื่น ๆ อาจเป็นผลมาจากสภาพอุตุนิยมวิทยา ซึ่งพบว่าในวันที่ 24 – 26 มกราคม ลมที่พัดปกคลุมบริเวณกรุงเทพมหานครเริ่มมีกำลังแรงขึ้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้ค่าความเข้มข้นของฝุ่นลดลง กรมอุตุนิยมวิทยา (2563)



เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร PM_{10}

รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10}รายวันเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของภายในและภายนอกอาคารสำนักงาน ก) ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร ข) ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร

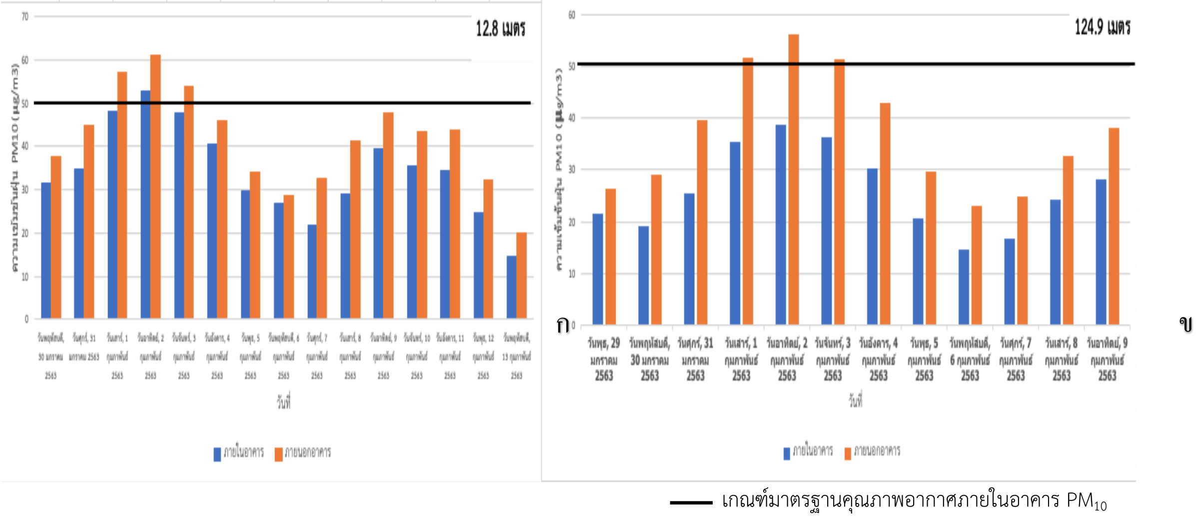
จากรูปที่ 4.2 (ก) และ (ข) การเปลี่ยนแปลงตัวเชิงคาบของฝุ่น PM_{10} รายชั่วโมงทั้งสองระดับความสูง ของภายนอกอาคารมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของความเข้มข้นเฉลี่ย PM_{10} คล้ายคลึงกัน พบว่าค่าความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} มีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 01.00 น.สำหรับชั้นบน และ 02.00 น. สำหรับชั้นล่าง โดยมีค่าเท่ากับ 37.67 µg/m^3 และ 34.07 µg/m^3 ตามลำดับ และจะเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 04.00 น. จนมีค่าสูงที่สุดในช่วงเวลา 10.00 น. ทั้งชั้นล่างและชั้นบนมีค่าเท่ากับ 53.77 µg/m^3 และ 55.71 µg/m^3 ตามลำดับ ส่วนความเข้มฝุ่นPM_{10} รายชั่วโมงภายในอาคาร พบว่าค่าความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} มีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 04.00 น.สำหรับชั้นบน และ 07.00 น. สำหรับชั้นล่าง โดยมีค่าเท่ากับ 25.38 µg/m^3 และ 36.11 µg/m^3 ตามลำดับ และจะเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 08:00 น. จนมีค่าสูงที่สุดในช่วงเวลา 13.00 น. และ 15.00 น. ซึ่งมีค่าเท่ากับ 57.08 µg/m^3 และ 47.44 µg/m^3 สำหรับชั้นบนและชั้นล่างตามลำดับ



รูป4.2 ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} รายชั่วโมงของภายในและภายนอกอาคารสำนักงาน ก) ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร ข) ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร

4.1.2 อาคารที่พักอาศัย

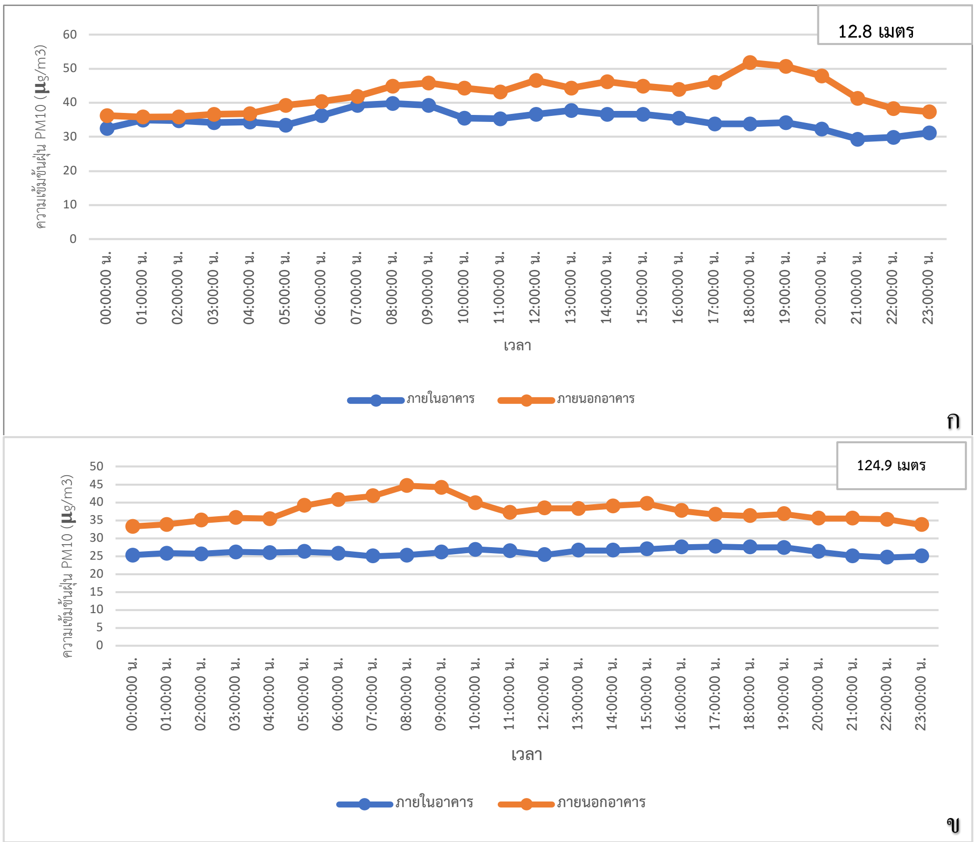
ค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} รายวันทั้งภายในและภายนอกอาคารพบว่าแนวโน้มความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} มีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันคือ ฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนทั้งสองระดับความสูงเริ่มมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่วันที่ 31 มกราคม จนถึงวันที่ 2 กุมภาพันธ์พบความเข้มข้นสูงสุด โดยในวันดังกล่าว คือช่วงสุดสัปดาห์ และมีค่าความเข้มข้น PM_{10} ต่ำที่สุดในวันพฤหัสบดี โดยสัปดาห์ที่หนึ่งมีค่าสูงกว่าสัปดาห์ที่สองเนื่องจาก เป็นสัปดาห์สิ้นเดือนทำให้มีการจราจรที่หนาแน่น ส่งผลให้สัปดาห์แรกมีค่าความเข้มข้น PM_{10} สูงกว่าสัปดาห์ที่สอง ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} รายวันที่ภายนอกอาคารทั้งสองระดับความสูงไม่พบค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานของไทยซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 120 $\mu g/m^3$ แต่มีค่าฝุ่นละออง PM_{10} ภายในอาคารที่พักอาศัยบริเวณชั้นล่างบางวันมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานฝุ่นภายในอาคารของไทยซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 50 $\mu g/m^3$(เฉลี่ย 8 ชั่วโมง)ดังแสดงในรูปที่4.3 (ก) และ (ข) วันที่พบค่าฝุ่นละออง PM_{10} เกินเกณฑ์มาตรฐานฝุ่นภายในอาคารของไทย คือวันที่ 2 กุมภาพันธ์ และ 3 กุมภาพันธ์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} เท่ากับ 58.5 $\mu g/m^3$ และ 50.75 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ



รูป4.3 ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10}รายวันของภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัย ก) ที่ระดับความสูง 12.8 เมตร ข) ที่ระดับความสูง 124.9 เมตร

จากรูป 4.4 (ก) และ(ข) ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} รายชั่วโมง พบว่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} ภายนอกอาคารทั้งสองระดับความสูง คือ 12.8 เมตร กับ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของความเข้มข้นเฉลี่ย PM_{10} ที่ไม่เหมือนกัน โดยที่ระดับความสูง 124.9 เมตร เริ่มมีค่า

เพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 04:00น. จนมีค่าสูงที่สุดในช่วงเวลา 08:00 น. แต่ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายนอกอาคารที่ความสูง 12.8 เมตร มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 18:00 น. บริเวณชั้นบนและชั้นล่างภายนอกอาคารที่พักอาศัยมีค่าฝุ่น PM_{10} เท่ากับ 44.6 µg/m^3และ 51.75 µg/m^3 ตามลำดับ และฝุ่น PM_{10} จะมีค่าต่ำสุดเวลา 24:00 น.สำหรับชั้นบน และ 01:00 น. สำหรับชั้นล่าง โดยมีค่าเท่ากับ 33.27 µg/m^3 และ35.8 µg/m^3 ตามลำดับ ส่วนภายในอาคารพบว่าที่ชั้นล่างมีค่าสูงสุดเวลา 08:00 น. และมีค่าต่ำสุดเวลา 21:00 น. โดยมีค่าเท่ากับ 39.78 µg/m^3 และ 29.38 µg/m^3 ส่วนบริเวณชั้นบนพบว่ามีค่าสูงสุดเวลา 17:00 น. และมีค่าต่ำสุดเวลา 22:00 น. โดยมีค่าเท่ากับ 27.63 µg/m^3 และ 24.6 µg/m^3



รูป4.4 ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10}รายชั่วโมงของภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัย ก) ที่ระดับความสูง 12.8 เมตร ข) ที่ระดับความสูง 124.9 เมตร

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงรายวันของความเข้มข้นเฉลี่ย PM_{10} ของอาคารสำนักงาน และอาคารที่พักอาศัยพบว่าทั้งสองระดับความสูงของทั้งภายในและภายนอกอาคารมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย PM_{10} ในช่วงสุดสัปดาห์มากกว่าในวันทำงานซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Y. Qin et al. (2004) ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นเฉลี่ย PM_{10} ตามเวลาพบว่าของอาคารสำนักงานมี

แนวโน้มความเข้มข้นเฉลี่ย PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารของทั้งสองระดับความสูงสอดคล้องกัน โดยฝุ่นภายนอกอาคารสำนักงานสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bathmanabhan et al. (2010) เนื่องจากมีรูปแบบการกระจายตัวดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ก) ที่ลักษณะเส้นกราฟมี 2 ยอด โดยค่าฝุ่นจะเพิ่มขึ้นในช่วงเช้า และจะค่อย ๆ ลดมาในช่วงบ่าย จนกระทั่งค่าฝุ่น PM_{10} จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้ง แต่สำหรับอาคารที่พักอาศัยนั้นแตกต่างกัน เนื่องจากอาคารที่พักอาศัยเป็นอาคารปิด ดังนั้นฝุ่นภายในกับภายนอกอาคารจึงไม่สอดคล้องกัน โดยแนวโน้มฝุ่นจะขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดเป็นหลัก โดยฝุ่นภายนอกอาคารทั้งสองความสูงจะพบได้ว่าความเข้มข้นเฉลี่ย PM_{10} จะมีค่าสูงในช่วงเวลาเร่งด่วน หรือในช่วงเวลาที่มีการจราจรที่ติดขัด ส่วนฝุ่นภายในอาคารจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งชั้นล่างจะมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย PM_{10} สูงกว่าชั้นบน เนื่องจากชั้นล่างมีจำนวนคนสัญจรเข้าออกที่บริเวณชั้นล่างมากกว่าชั้นบน

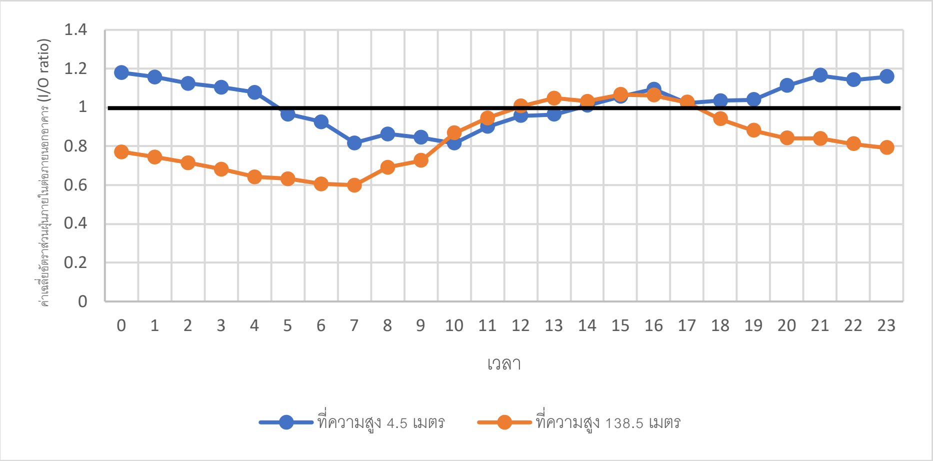
4.2 ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในอาคารและภายนอกอาคารสำนักงาน บริเวณดินแดง และอาคารที่พักอาศัย บริเวณสามย่าน

ทำการตรวจวัด PM_{10} ด้วยเครื่อง Aeroqual series 500 บริเวณจุดเก็บตัวอย่างของอาคารสำนักงาน และอาคารที่พักอาศัยในกรุงเทพมหานคร โดยจุดเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{10} มี 4 จุด คือ ภายในอาคารบริเวณชั้น 1 (4.5 เมตร) และชั้น 34 (138.5 เมตร) และภายนอกอาคารบริเวณชั้น 1 (12.8 เมตร) และชั้น 34 (124.9 เมตร) ทำการเก็บตัวอย่างติดต่อกันเป็นเวลา 14 วัน นำข้อมูลความเข้มข้น PM_{10} มาศึกษาความสัมพันธ์โดยใช้อัตราส่วนฝุ่นภายในต่อภายนอกอาคาร (I/O ratio) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเข้มฝุ่นละออง PM_{10}ภายในและภายนอกอาคาร

4.2.1 อาคารสำนักงาน

ที่ความสูง 4.5 เมตร พบว่าค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฝุ่นภายในต่อภายนอกอาคาร (I/O ratio) มีค่ามากกว่า 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ส่วนใหญ่ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} ภายในอาคารมีค่าสูงกว่าภายนอกอาคาร ยกเว้นช่วง 05:00 น. – 13:00 น. สาเหตุที่ฝุ่นภายในอาคารมากกว่าภายนอกอาคารเนื่องจากมีแหล่งกำเนิดภายในอาคาร คือ การสัญจรเข้าออกอาคารสำนักงาน นอกจากนี้อาคารที่ทำการศึกษานั้นมีการเปิดประตูไว้ฝุ่นจากภายนอกอาคารจึงสามารถแพร่กระจายเข้ามายังภายในอาคาร และบริเวณข้างเคียงที่ทำการตรวจวัดพบว่า มีการถมดิน และเขตก่อสร้าง อาจทำให้ฝุ่นแพร่กระจายเข้าสู่ตัวอาคาร และฟุ้งอยู่ภายในอาคารได้ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chatoutsidou et al. (2015) ที่พบว่านอกจากแหล่งกำเนิดฝุ่นในอาคาร เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร กิจกรรมของผู้คนในอาคารถือเป็นอิทธิพลส่วนสำคัญต่อฝุ่นละออง PM_{10} นอกจากนี้ฝุ่นภายนอกอาคารก็พบว่าเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อฝุ่นภายในอาคาร

ส่วนฝุ่นละออง PM_{10} ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร พบว่าค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฝุ่นภายในต่อภายนอกอาคาร (I/O ratio) มีค่าน้อยกว่า 1 ดังรูปที่ 4.5(ก) ส่วนใหญ่ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} ภายนอกอาคารมีค่าสูงกว่าภายในอาคาร ยกเว้นช่วง 12:00 น. – 17:00 น. ที่ฝุ่นภายในอาคารมากกว่า อาจเกิดจากสาเหตุที่มีช่างของอาคารสำนักงานมาทำการตรวจเช็คห้องบำรุงลิฟท์ ซึ่งตั้งอยู่บริเวณด้านหลังเครื่องมือตรวจวัดฝุ่น PM_{10} จึงอาจทำให้ค่าฝุ่นละอองมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและค่อย ๆลดลงในเวลา 16.00 น. เนื่องจากปริมาณห้องที่ความสูง 138.5 เมตรมีขนาดเล็ก ประกอบกับเป็นระบบระบายอากาศแบบธรรมชาติจึงทำให้ฝุ่นค้างอยู่ภายในห้องเป็นเวลานานจึงค่อยมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liang Yu et al. (2017) ที่พบว่าอาคารสำนักงาน 2 แห่งที่ทำการตรวจวัดฝุ่นภายใน และภายนอกอาคารสำนักงานในช่วงฤดูหนาวพบว่า ทั้งสองอาคารมีค่า I/O ratio น้อยกว่า 1 ทั้งสองอาคาร



รูป4.5 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฝุ่นภายในต่อภายนอกอาคารสำนักงานของปริมาณฝุ่น PM_{10} ที่ความสูง 4.5 เมตร และ 138.5 เมตร

เมื่อทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลความเข้มข้นฝุ่น PM_{10}ของภายในอาคารกับภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตร กับ 138.5 เมตร ด้วยวิธี paired sample t-test ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 จากผลข้อมูลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics version 25 ที่ชั้น1 ดินแดง พบว่ามีค่า Sig. = 0.000, $p < 0.05$ แสดงว่า ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายนอกอาคาร มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในอาคารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 4.5 เมตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในกับภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 4.5 เมตร

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนชุดข้อมูล (N)	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ค่าสถิติทดสอบ (t)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในอาคาร	4054	41.71	19.609	6.943*	.000
ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายนอกอาคาร	4054	43.09	17.286		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร พบว่ามีค่า Sig. = 0.000, $p< 0.05$ แสดงว่า ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายนอกอาคาร มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในอาคารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 138.5 เมตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในอาคารกับภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 138.5 เมตร

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนชุดข้อมูล (N)	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ค่าสถิติทดสอบ (t)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10}ภายในอาคาร	4044	38.95	23.79	-33.671*	.000
ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10}ภายนอกอาคาร	4044	46.96	26.20		

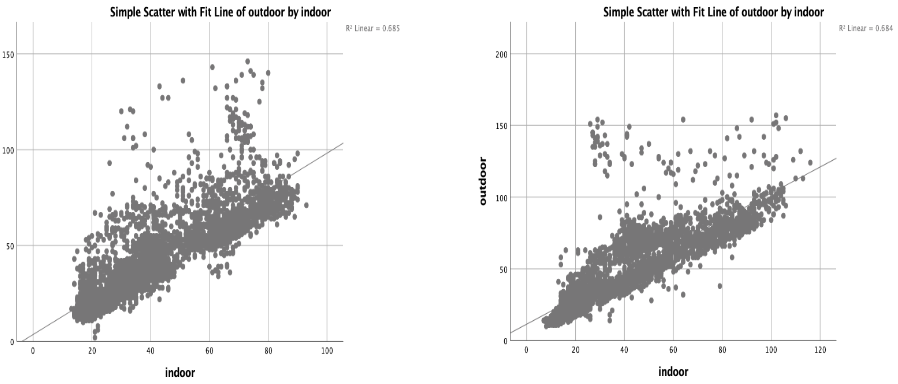
*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นภายในและภายนอกอาคารสำนักงานทั้งสองระดับความสูง พบว่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ทั้งสองระดับมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(r) ที่อาคารสำนักงานดินแดงมีค่าเท่ากับ 0.827 ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร และ 0.821 ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร แสดงว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นภายในและภายนอกอาคารสำนักงานในระดับสูงทั้งที่ความสูง 4.5 เมตร และ138.5 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.6 (ก) สำหรับความสูง 4.5 เมตร และ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.6 (ข) สำหรับความสูง 138.5 เมตร

ตารางที่ 4.3 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 4.5 เมตร

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	จำนวนชุดข้อมูลตัวอย่าง N	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ข้อมูลฝุ่น PM_{10}ภายในอาคารกับข้อมูลฝุ่น PM_{10}ภายนอกอาคาร	4054	.827**	.000

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01



รูปที่ 4.6 อิทธิพลการกระจายตัวของฝุ่น PM_{10} ภายนอกที่ส่งผลต่อฝุ่นภายในอาคารสำนักงาน ก) ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร ข) ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร

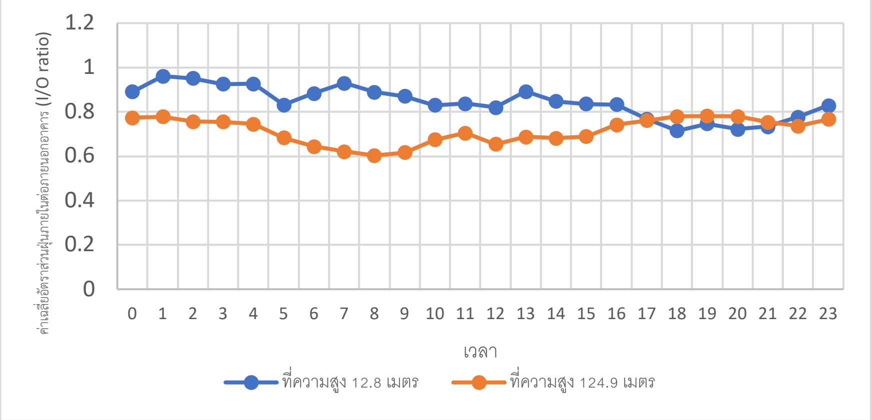
ตารางที่ 4.4 ผลสถิติวิเคราะห์ความสัมพันธ์ชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 138.5 เมตร

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	จำนวนชุดข้อมูลตัวอย่าง N	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ข้อมูลฝุ่น PM_{10}ภายในอาคารกับข้อมูลฝุ่น PM_{10}ภายนอกอาคาร	4044	.821**	.000

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

4.2.2 อาคารที่พักอาศัย

จากการศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัย สามย่าน ดังรูปที่ 4.5(ข) พบว่าค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฝุ่นภายในต่อภายนอกอาคาร (I/O ratio) มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} ภายนอกอาคารมีค่าสูงกว่าภายในอาคารทั้งในระดับความสูงที่ 12.8 และ 124.9 เมตร โดยที่ชั้นล่างมีค่า I/O ratio สูงกว่าข้างบน เนื่องจากที่ชั้นล่างมีการสัญจรของบุคคลที่มากกว่าจึงส่งผลให้ค่า I/O ratioเข้าใกล้ 1 มากกว่าชั้นบน และพบว่าค่า I/O ratio ในช่วงเวลากลางคืนมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากบริเวณที่ผู้วิจัยทำการติดตั้งเครื่องตรวจวัดฝุ่นเป็นบริเวณที่ใกล้กับประตูเข้าออกระหว่างห้างสรรพสินค้าที่เป็นโซนเปิดให้บริการ 24 ชั่วโมงกับอาคารที่อยู่อาศัยจึงอาจมีผู้คนยังสัญจรเข้าออกในช่วงเวลาดังกล่าวได้ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าบริเวณสามย่าน ทั้งสองความสูงต่างมีความเข้มข้นภายนอกอาคารมากกว่าภายในอาคาร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hassanvand et al. (2014) ที่พบว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองภายนอกมากกว่าภายในอาคารเมื่อทำการตรวจวัดที่บริเวณบ้านพักคนชรา และหอพักโรงเรียน



รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฝุ่นภายในต่อภายนอกอาคารที่พักอาศัยของปริมาณฝุ่น PM_{10} ที่ความสูง 12.8 เมตร และ 124.9 เมตร

ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลความความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} ที่ตรวจวัดบริเวณภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยทั้งสองระดับความสูง ด้วยวิธี paired sample t-test ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 จากผลข้อมูลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics version 25 ที่ระดับความสูง 12.8 เมตร พบว่ามีค่า Sig. = 0.000, $p < 0.05$ แสดงว่า ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} ภายนอกอาคาร มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} ภายใน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ส่วนที่ความสูง 124.9 เมตร พบว่ามีค่า Sig. = 0.000, $p < 0.05$ แสดงว่า ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} ภายนอกอาคาร มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} ภายในอาคารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.6 กล่าวคือ ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารทั้งสองความสูงนั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.5 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในอาคารกับภายนอกอาคารที่ระดับความสูง12.8 เมตร

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนชุดข้อมูล (N)	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ค่าสถิติทดสอบ (t)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในอาคาร	4084	34.91	12.005	-38.292*	.000
ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายนอกอาคาร	4084	42.65	16.844		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4.6 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในอาคารกับภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 124.9 เมตร

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนชุดข้อมูล (N)	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ค่าสถิติทดสอบ (t)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในอาคาร	3192	26.11	9.194	-74.99*	.000
ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายนอกอาคาร	3192	37.61	14.213		

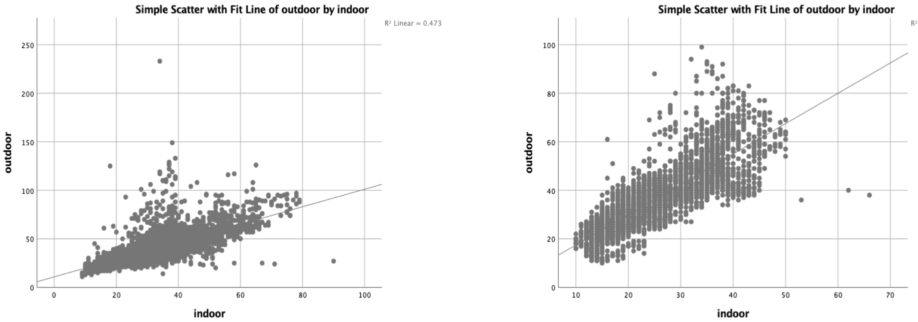
*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยทั้งสองระดับความสูงพบว่าทั้งสองระดับความสูงมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยทั้งสองระดับความสูงของอาคารที่พักอาศัยพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ที่ระดับความสูง 12.8 เมตรมีค่าเท่ากับ 0.645 และที่ระดับความสูง 124.9 เมตรมีค่าเท่ากับ 0.809 แสดงว่าทั้งสองระดับความสูงมีความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างฝุ่นภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยอยู่ในระดับสูง ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.8(ก) สำหรับที่ความสูง 12.8 เมตร และ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.8(ข) สำหรับที่ความสูง 124.9 เมตร

ตารางที่ 4.7 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 12.8 เมตร

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	จำนวนชุดข้อมูลตัวอย่าง (N)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ข้อมูลฝุ่น PM_{10}ภายในอาคารกับข้อมูลฝุ่น PM_{10}ภายนอกอาคาร	4084	.645**	.000

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01



รูปที่ 4.8 อิทธิพลการกระจายตัวของฝุ่น PM_{10} ภายนอกที่ส่งผลต่อฝุ่นภายในอาคารที่พักอาศัย ก) ที่ระดับความสูง 12.8 เมตร ข) ที่ระดับความสูง 124.9 เมตร

ตารางที่ 4.8 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 124.9 เมตร

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	จำนวนชุดข้อมูลตัวอย่าง N	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ข้อมูลฝุ่น PM_{10}ภายในอาคารกับข้อมูลฝุ่น PM_{10}ภายนอกอาคาร	3192	.809**	.000

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

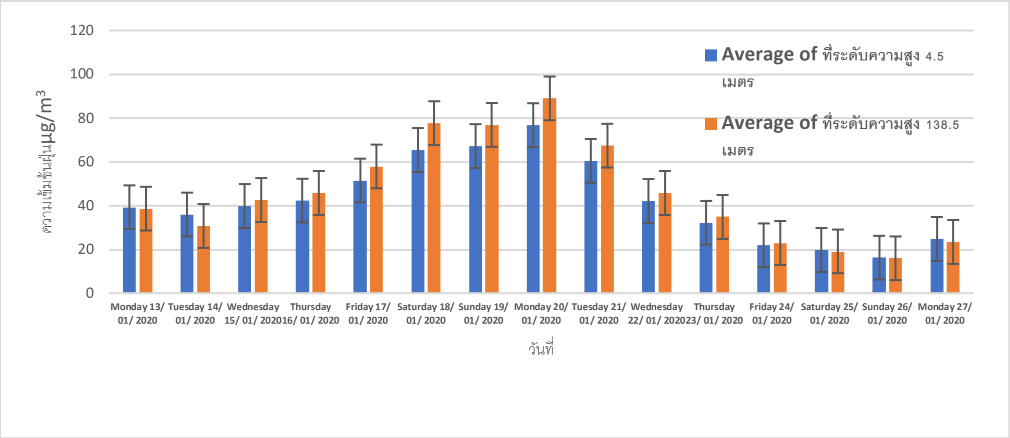
จากผลการศึกษาของทั้งสองอาคาร คือ อาคารสำนักงาน และอาคารที่พักอาศัยพบว่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ของภายในและภายนอกอาคารเมื่อนำไปศึกษาหาความสัมพันธ์ โดยใช้ I/O ratio รวมไปถึงการเปรียบเทียบฝุ่นภายในและภายนอกอาคาร ได้ผลการศึกษาที่คล้ายคลึงกัน คือ I/O ratio น้อยกว่า 1 กล่าวคือความเข้มข้นฝุ่นภายนอกมากกว่าภายในอาคาร แสดงว่าแหล่งกำเนิดฝุ่น PM_{10} ส่วนใหญ่เกิดจากข้างนอกอาคาร ยกเว้น I/O ratio ที่ระดับความสูง 4.5 เมตรของอาคารสำนักงาน ซึ่งได้ค่าต่างออกไป คือ I/O ratio มีค่ามากกว่า 1 เนื่องจากเป็นอาคารสำนักงาน นอกจากกิจกรรมมนุษย์ แล้วยังมีแหล่งกำเนิดจากอุปกรณ์ในสำนักงาน รวมไปถึงการเปิดปิดประตูของอาคารสำนักงานที่ไม่เหมือนกับอาคารที่พักอาศัย และมีการก่อสร้างอยู่บริเวณข้างอาคารที่ทำการตรวจวัดจึงทำให้ผลการศึกษานี้แตกต่างกัน

4.3 การกระจายตัวตามแนวตั้งของ PM_{10} ณ อาคารสำนักงาน บริเวณดินแดง และ อาคารที่พักอาศัย บริเวณสามย่าน

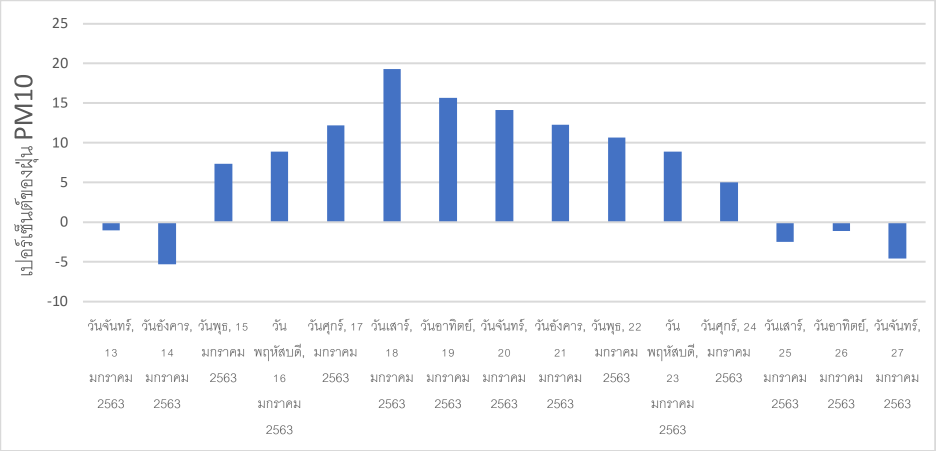
ทำการตรวจวัด PM_{10} ด้วยเครื่อง Aeroqual series 500 บริเวณจุดเก็บตัวอย่างของอาคารสำนักงาน และอาคารที่พักอาศัยในกรุงเทพมหานคร โดยจุดเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{10} มี 4 จุด คือ ภายในอาคารสำนักงานบริเวณชั้น 1 (4.5 เมตร) และชั้น 34 (138.5 เมตร) และภายนอกอาคารที่พักอาศัยบริเวณชั้น 1 (12.8 เมตร) และชั้น 34 (124.9 เมตร)ทำการเก็บตัวอย่างติดต่อกันเป็นเวลา 14 วัน นำข้อมูลความเข้มข้น PM_{10} มาศึกษาความสัมพันธ์ของฝุ่นชั้นล่างกับชั้นบน โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นระหว่างชั้นล่างกับชั้นบน ทำการศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นตามแนวตั้งทั้ง 2 อาคารโดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของฝุ่น PM_{10} ที่ชั้นบนเมื่อเทียบกับชั้นล่าง และทำการศึกษาความสัมพันธ์ของฝุ่นชั้นล่างต่อบนรายชั่วโมง

4.3.1 อาคารสำนักงาน

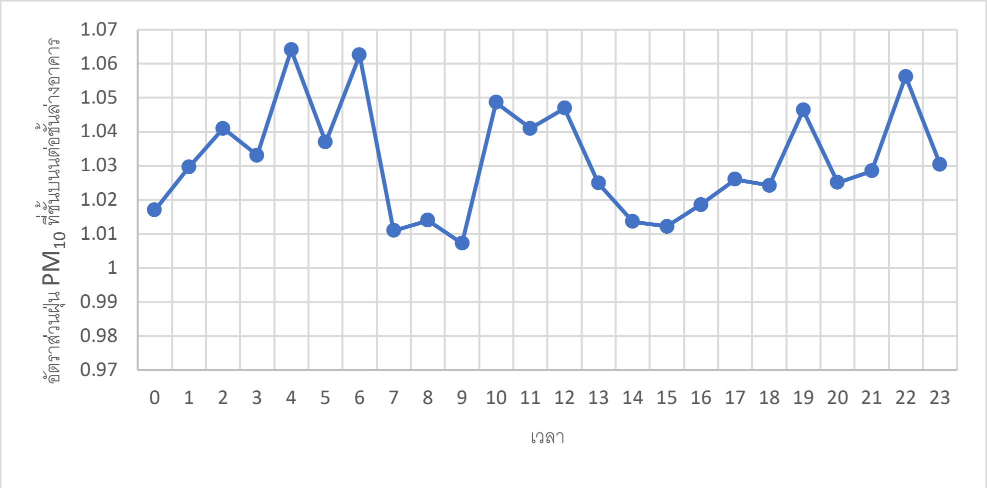
เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ย PM_{10} รายวัน พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ระดับความสูง 4.5 เมตร มีค่าต่ำกว่าที่ระดับความสูง 138.5 เมตร ซึ่งไม่เป็นไปตามทฤษฎีการกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่น (แสดงดังรูปที่4.9) เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.10 จะพบว่าค่าความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 – 19 ยกเว้นวันที่ 13 - 14 มกราคม และ 25-27 มกราคม ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฝุ่นที่ระดับบนต่อล่างพบว่ามีค่ามากกว่า 1 (แสดงดังรูปที่4.11) วันที่พบค่าฝุ่น PM_{10} ชั้นบนมากกว่าชั้นล่างนั้นอาจเกิดจากสภาพจราจร และสภาพอุตุนิยมวิทยา โดยพบว่าช่วงวันดังกล่าวที่ฝุ่นละออง PM_{10} ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร มีค่าสูงกว่าที่ระดับความสูง 4.5 เมตร โดยวันที่ 15 มกราคม 2563 ความเร็วลมส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0 – 0.4 m/s ซึ่งถือว่าเป็นภาวะลมสงบจึงทำให้เกิดการสะสมของฝุ่น อีกทั้งในวันที่ 16 มกราคม 2563 ทางกรมควบคุมมลพิษได้ประกาศว่าค่าฝุ่นอาจเกิดการสะสมเพิ่มสูงขึ้น เพราะเป็นวันที่อากาศปิดที่สุดในรอบเดือนนี้ นอกจากนี้ช่วงวันที่ 17-19 มกราคม ความกดอากาศสูงส่งผลทำให้กรุงเทพมหานครมีสภาพอากาศนิ่งและเกิดการสะสมของฝุ่นละออง กรมอุตุนิยมวิทยา (2563) จนวันที่ 25 มกราคม 2563 ที่เห็นว่าฝุ่น PM_{10} เกิดการกระจายตัวตามแนวตั้งได้ดี เนื่องจากสภาพอุตุนิยมวิทยา มีลมแรงต่อเนื่องตั้งแต่ช่วงเที่ยงจนถึงช่วงบ่าย ความเร็วลมสูงสุด 6.16 เมตรต่อวินาที กรมควบคุมมลพิษ (2563)



รูปที่4.9 การเปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่น PM_{10}ที่ความสูง4.5 เมตร กับ 138.5 เมตร



รูปที่4.10 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝุ่น PM_{10} ตามความสูง ของอาคารสำนักงาน



รูปที่4.11 อัตราส่วนของปริมาณฝุ่น PM_{10}ที่ความสูง4.5 เมตร กับ 138.5 เมตร

ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลความเข้มข้นที่ตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูงที่ 4.5 เมตร กับ138.5 เมตร ณ อาคารสำนักงาน บริเวณดินแดง ด้วยวิธี paired sample t-test ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 จากผลข้อมูลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics version 25 ที่ชั้น1 พบว่ามีค่า Sig. = 0.000, $p< 0.05$ แสดงว่า ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูงที่ 4.5 เมตร มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูง138.5 เมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูงที่ 4.5 เมตร กับ138.5 เมตร ณ อาคารสำนักงาน บริเวณดินแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ของอาคารสำนักงานที่ความสูง4.5 เมตร กับ 138.5 เมตร

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนชุดข้อมูล (N)	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ค่าสถิติทดสอบ (t)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูง4.5 เมตร	4051	43.11	22.462	-25.15*	.000
ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูง138.5 เมตร	4051	46.80	26.28		

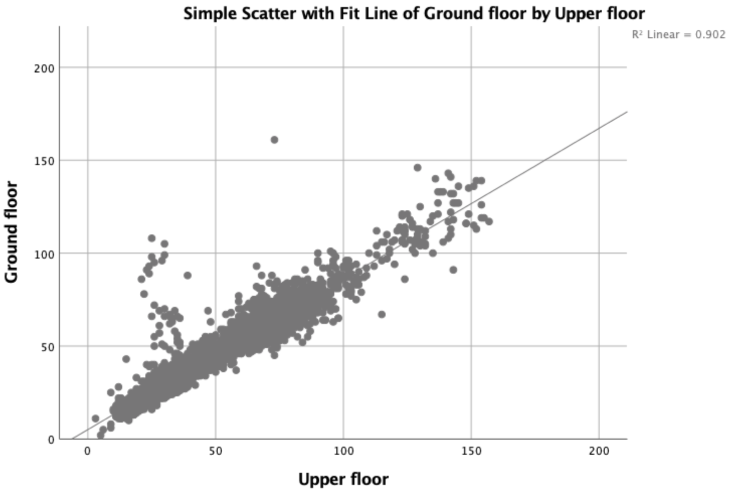
*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นที่ระดับความสูงที่ 4.5 เมตร กับ138.5 เมตร ของอาคารสำนักงานภายนอกอาคารพบว่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ทั้งสองตัวแปรมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยทั้งภายในและภายนอกอาคารสำนักงานดินแดงพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(r) ภายนอกอาคารมีค่าเท่ากับ 0.747 แสดงว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นที่ระดับความสูงที่ 4.5 เมตร กับ138.5 เมตรในระดับสูง ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.10 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ระหว่างระดับความสูงที่ 4.5 เมตร กับ138.5 เมตร ของอาคารสำนักงาน

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	จำนวนชุดข้อมูลตัวอย่าง N	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ข้อมูลฝุ่นระดับความสูง4.5 เมตรกับข้อมูลฝุ่นที่ระดับความสูง138.5 เมตร	4051	.938**	.000

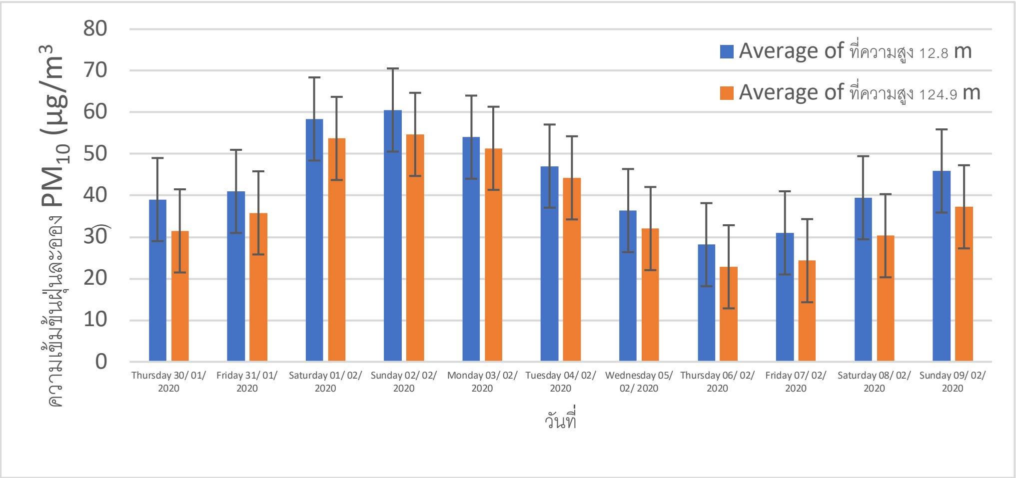
**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01



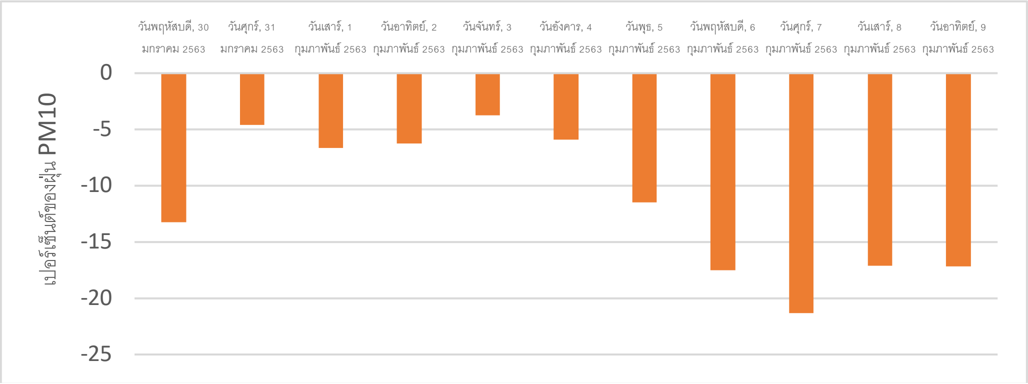
รูปที่ 4.12 อิทธิพลการกระจายตัวของฝุ่น PM_{10} ภายนอกบริเวณชั้นล่างที่ส่งผลต่อฝุ่นชั้นบนของอาคารสำนักงาน

4.3.2 อาคารที่พักอาศัย

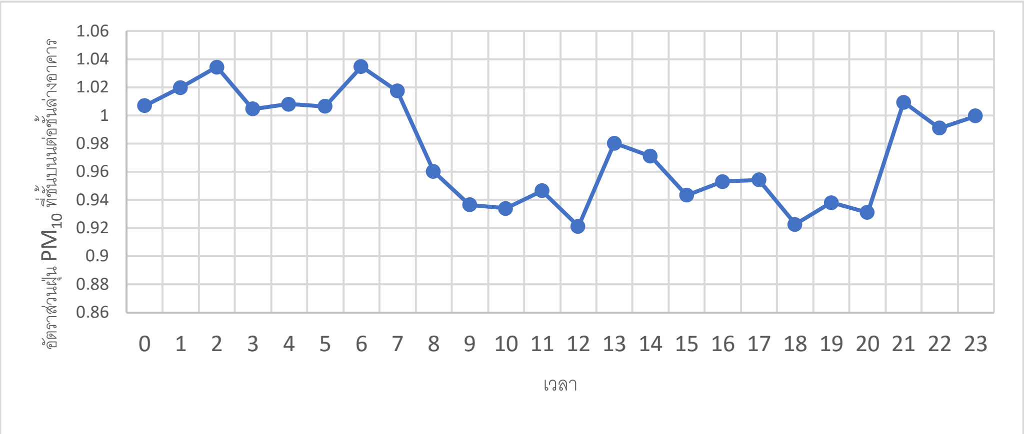
ส่วนอาคารที่พักอาศัย ในรูปที่ 4.13 ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} เมื่อทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ระดับความสูง 12.8 เมตร มีค่าสูงกว่าที่ระดับ 124.9 เมตรตลอดการศึกษา จากรูปที่ 4.14 ความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{10} ที่ระดับความสูง 12.8 เมตร ไปที่ระดับความสูง 124.9 เมตรมีค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ลดลงร้อยละ 3 – 21 เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.15 จะพบว่าค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฝุ่นที่ระดับบนต่อล่างพบว่ามีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งผลการศึกษาของอาคารที่พักอาศัย บริเวณสามย่านนั้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ C.Y. chan et al. (2005) ที่พบว่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} มีค่าลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่น PM_{10}ที่ความสูง 12.8 เมตร กับ 124.9 เมตรของอาคารที่พักอาศัย



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝุ่น PM_{10} ตามความสูง ของอาคารที่พักอาศัยของอาคารที่พักอาศัย



รูปที่4.15 อัตราส่วนของปริมาณฝุ่น PM_{10}ที่ความสูง 12.8 เมตร กับ 124.9 เมตรของอาคารที่พักอาศัย

ส่วนบริเวณอาคารที่พักอาศัย พบว่าค่าสถิติทดสอบมีค่าSig. = 0.000, $p < 0.05$ แสดงว่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูง 12.8 เมตร มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูง 124.9 เมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังนั้นความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูง 12.8 เมตร กับ 124.9 เมตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นที่ระดับความสูง 12.8 เมตร กับ 124.9 เมตรภายนอกอาคารที่พักอาศัย พบว่าฝุ่นภายนอกอาคารที่พักอาศัยมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(r) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายนอกอาคารมีค่าเท่ากับ 0.491 แสดงว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างฝุ่นที่ระดับความสูงที่ 12.8 เมตร กับ124.9 เมตรในระดับปานกลาง ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ของอาคารสำนักงานที่ความสูง 12.8 เมตร กับ 124.9 เมตร

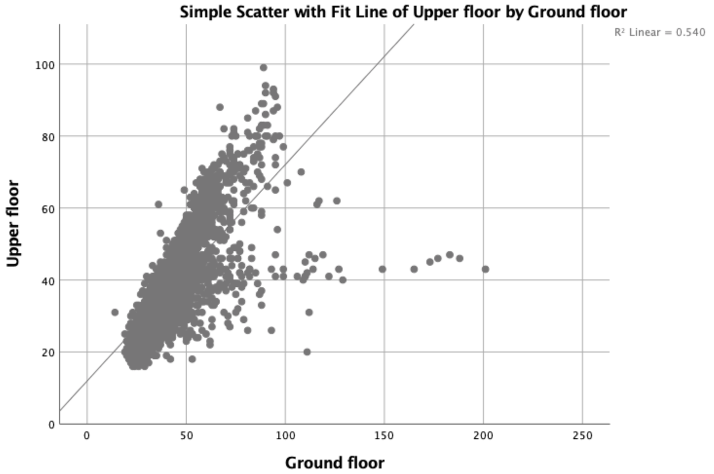
กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนชุดข้อมูล (N)	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ค่าสถิติทดสอบ (t)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูง 12.8 เมตร	3005	44.12	16.923	26.653*	.000
ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูง 124.9 เมตร	3005	38.49	13.848		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4.12 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ระหว่างระดับความสูง 12.8 เมตร กับ 124.9 เมตรภายนอกอาคารที่พักอาศัย

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	จำนวนชุดข้อมูลตัวอย่าง N	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ข้อมูลฝุ่นระดับความสูง12.8 เมตรกับข้อมูลฝุ่นที่ระดับความสูง124.9 เมตร	3005	.735**	.000

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01



รูปที่ 4.16 อิทธิพลการกระจายตัวของฝุ่น PM_{10} ภายนอกบริเวณชั้นล่างที่ส่งผลต่อฝุ่นชั้นบนของอาคารที่พักอาศัย

เมื่อศึกษาการกระจายตัวตามแนวตั้งของอาคารทั้งสอง พบว่าที่อาคารสำนักงานมีค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} บริเวณชั้นบนมากกว่าชั้นล่าง โดยพบว่าช่วงเวลาที่ค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} บริเวณชั้นบนมีค่าสูงเนื่องจากสภาพอุตุนิยมวิทยาที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการกระจายตัวของฝุ่นละออง PM_{10} ทำให้เกิดการสะสมของฝุ่น PM_{10} ซึ่งแตกต่างกับผลการตรวจวัดจากอาคารที่พักอาศัยที่พบว่า ค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} บริเวณชั้นล่างมากกว่าชั้นบนตลอดการตรวจวัด

4.4 การกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่น PM_{10} กับปัจจัยสภาพอุตุนิยมวิทยา

แหล่งกำเนิดหลักของฝุ่น PM_{10} บริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 แห่งนั้นคือ การจราจร การก่อสร้าง และกิจกรรมของมนุษย์ แต่นอกจากปัจจัยนี้แล้ว ยังได้ทำการทดสอบปัจจัยของสภาพอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ว่ามีปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10}

จากการวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ความสูง 4.5 เมตร กับ 138.5 เมตร ด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณซึ่งจะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Stepwise เป็นการวิเคราะห์ตัวแปรที่มากกว่า 2 ตัวแปร เนื่องจากต้องการศึกษาปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาใดบ้างที่ส่งผล หรือมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} และสร้างสมการที่ใช้คาดการณ์โดยทำการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติเข้าสมการ จากผลข้อมูลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics version 25 บริเวณดินแดง จากตารางที่ 4.13 จะได้สมการความสัมพันธ์ (Model ที่ 3) เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณที่สูงที่สุด (R square) โดยนำสมการนี้มาทำนายค่าปริมาณฝุ่น PM_{10} ดังนี้

ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} = 5.722[ความกดอากาศ] + 2.838[อุณหภูมิ] – 14.644[ความเร็วลม] - 5723.275

ตารางที่ 4.13 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ระหว่างระดับความสูง 4.5 เมตร กับ 138.5 เมตรของอาคารสำนักงาน กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

Model Summary			
Model	R	R Square	Adjusted R Square
1	.493[a]	.243	.240
2	.554[b]	.307	.303
3	.604[c]	.365	.359

a: ความกดอากาศ b: ความกดอากาศ อุณหภูมิ c: ความกดอากาศ อุณหภูมิ ความเร็วลม

ตารางที่ 4.14 สัมประสิทธิ์ตัวแปรในสมการความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองของความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร กับ 138.5 เมตรของอาคารสำนักงาน กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

	Model	**Unstandardized B**	**Coefficients Std. Error**	**Standardized Coefficients Beta**	**t**	**Sig.**
1	constant	-6530.98	659.682		-9.900	.000
	ความกดอากาศ	6.602	.662	.493	9.968	.000
2	constant	-6987.317	637.672		-10.958	.000
	ความกดอากาศ	6.978	.638	.521	10.932	.000
	อุณหภูมิ	2.827	.527	.256	5.365	.000
3	constant	-5723.275	656.297		-8.721	.000
	ความกดอากาศ	5.722	.656	.427	8.717	.000
	อุณหภูมิ	2.838	.505	.257	5.617	.000
	ความเร็วลม	-14.644	2.763	-.258	-5.300	.000

จากตารางที่ 4.13 พบว่า ความกดอากาศ ความเร็วลม และอุณหภูมิมีผลต่อค่าความแตกต่างของระดับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} ในบริเวณที่ตรวจวัดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ($p<0.001$) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R square = 0.365) ค่าเฉลี่ยความแปรปรวนของความกดอากาศ ความเร็วลม และอุณหภูมินั้นส่งผลต่อความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} 36.5% กล่าวคือ 36.5% ของความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} นั้นมาจากปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.14 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} มากที่สุดคือ ความกดอากาศ รองลงมาคือ ความเร็วลม และอุณหภูมิตามลำดับ ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} แปรผันตามความกดอากาศ (B = .427) และอุณหภูมิ (B = .257) ตามลำดับ และ แปรผกผันกับความเร็วลม (B = -.258) ดังนั้นเมื่อความกดอากาศสูงขึ้น หรืออุณหภูมิ และความเร็วลมลดลง ส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{10} มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ถูกคัดออกจากสมการ เนื่องจากไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.001$) ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัย Kalisa et al. (2018) พบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} ในทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} จะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเร็วลมเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} ในทางตรงกันข้าม คือ เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นฝุ่นละออง PM_{10} จะลดลง

ตารางที่ 4.15 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูง 12.8 เมตร กับ ระดับความสูง 124.9 เมตรของอาคารที่พักอาศัย กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาบริเวณสามย่าน

Model Summary			
Model	R	R Square	Adjusted R Square
1	.354[a]	.125	.121
2	.454[b]	.206	.198
3	.545[c]	.297	.287
4	.545[d]	.329	.316

a: ความชื้นสัมพัทธ์ b: ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ c: ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความกดอากาศ d: ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความกดอากาศ ความเร็วลม

ตารางที่ 4.16 สัมประสิทธิ์ตัวแปรในสมการความสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ความสูง 12.8 กับ 124.9 เมตรของอาคารที่พักอาศัย กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

Model	Unstandardized B	Coefficients Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.
1 constant	75.810	6.164		12.298	.000
ความชื้นสัมพัทธ์	-.454	.083	-3.54	-5.486	.000
2 constant	213.441	30.503		6.997	.000
ความชื้นสัมพัทธ์	-.911	.127	-.710	-7.174	.000
อุณหภูมิ	-3.715	.808	-.455	-4.599	.000
3 constant	-2510.671	523.899		-4.792	.000
ความชื้นสัมพัทธ์	-1.003	.121	-.782	-8.291	.000
อุณหภูมิ	-4.070	.765	-.499	-5.322	.000
ความกดอากาศ	2.741	.526	.306	5.208	.000
4 constant	-2155.132	525.491		-4.101	.000
ความชื้นสัมพัทธ์	-1.118	.124	-.872	-9.014	.000
อุณหภูมิ	-4.324	.753	-.530	-5.740	.000
ความกดอากาศ	2.407	.526	.269	4.574	.000
ความเร็วลม	-4.049	1.291	-.197	-3.136	.002

ส่วนอาคารที่พักอาศัยบริเวณสามย่าน จากการวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ความสูง 12.8 เมตร กับ 124.9 เมตรด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณซึ่งจะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Stepwise โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics version 25 จะได้สมการความสัมพันธ์ (Model 4) เนื่องจาก

มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณที่สูงที่สุด (R square) ดังแสดงในตารางที่ 4.15 โดยนำสมการนี้มาทำนายปริมาณฝุ่น PM_{10} ดังนี้

ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} = 2.407[ความกดอากาศ] - 4.324[อุณหภูมิ] – 4.049[ความเร็วลม] – 1.118[ความชื้นสัมพัทธ์] – 2155.132

จากตารางที่ 4.15 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ ความเร็วลม และอุณหภูมิมีผลต่อระดับความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{10} ในบริเวณที่ตรวจวัดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ R square = 0.329 โดยค่าเฉลี่ยความแปรปรวนของความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ ความเร็วลม และอุณหภูมินั้นส่งผลต่อความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} 32.9% กล่าวคือ 32.9% ของความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} นั้นมาจากปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.16 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระดับความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} ตามแนวตั้งมากที่สุดคือ ความชื้นสัมพัทธ์ รองลงมาคือ อุณหภูมิ ความกดอากาศ และความเร็วลม ตามลำดับ ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} แปรผันตามความกดอากาศ (B = 0.269) และความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} แปรผกผันกับความเร็วลม (B = -.197) อุณหภูมิ(B = -.530) และความชื้นสัมพัทธ์(B = -.872) ดังนั้นเมื่อความกดอากาศเพิ่มสูงขึ้น หรือความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ลดลง ล้วนส่งผลต่อระดับความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{10} ให้มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yassen et al. (2006) พบว่าปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และความเร็วลมเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10}ในทางลบ กล่าวคือ เมื่อปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และความเร็วลมลดลง ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} ก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

จากผลการศึกษาของทั้งสองอาคารพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยามีเพียง 2 ปัจจัยที่ได้ผลไปในทางเดียวกัน คือ ความกดอากาศซึ่งเป็นปัจจัยที่แปรผันตรงกับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} และอีกปัจจัยหนึ่ง คือ ความเร็วลมที่แปรผกผันกับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} ซึ่งผลลัพธ์อื่น ๆ ที่แตกต่างกันออกไปอาจขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่ตัวอาคารตั้งอยู่ด้วย

4.5 ความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลของฝุ่น PM_{10} ที่เก็บด้วยเครื่องมือ Aeroqual series 500 กับ cascade impactor

การเปรียบเทียบชุดข้อมูลของฝุ่น PM_{10} ระหว่าง 2 เครื่องมือ ทำโดยการติดตั้งเครื่องมือ cascade impactor ที่ติดกับเครื่องดูดอากาศบริเวณอาคารสำนักงาน และอาคารที่พักอาศัยติดต่อกันเป็นเวลา 7 วัน ในระหว่างการเก็บตัวอย่าง เครื่องมือจะทำการติดตั้งไว้ทั้งภายในอาคารและ

ภายนอกอาคาร จากนั้นนำมาหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่เก็บจากเครื่องมือทั้งสองว่ามีค่าคล้ายคลึงกันหรือแตกต่างกัน โดยนำค่าฝุ่นมาเปรียบเทียบกันดังที่แสดงในตารางที่ 4.17 และ 4.18

ตารางที่ 4.17 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่เก็บโดยใช้เครื่องมือ cascade impactor กับ เครื่องมือ Aeroqual series 500 ที่อาคารสำนักงาน

วันที่เก็บตัวอย่าง	PM_{10}(μg/m^3)		**ผลต่าง**
	cascade impactor	Aeroqual series 500	
20 ม.ค.63 I1	56.166	65.177	-9.011
20 ม.ค.63 O1	78.614	73.539	5.075
20 ม.ค. 63 I34	68.178	63.723	4.455
20 ม.ค. 63 O34	72.217	82.961	-10.743
21 ม.ค. 63 I1	37.248	39.955	-2.706
21 ม.ค. 63 O1	48.756	39.927	8.829
21 ม.ค. 63 I34	44.455	42.124	2.330
21 ม.ค. 63 O34	40.739	44.401	-3.66
22 ม.ค. 63 I1	42.049	40.408	1.641
22 ม.ค. 63 O1	53.321	42.678	10.643
22 ม.ค. 63 I34	48.972	43.373	5.598
22 ม.ค. 63 O34	46.296	46.501	-0.205
23 ม.ค. 63 I1	27.893	29.660	-1.767
24 ม.ค. 63	25.254	21.460	3.794
25 ม.ค. 63	24.066	16.839	7.226
26 ม.ค. 63	26.783	21.145	5.637

I1: ติดตั้งภายในอาคารที่ชั้น 1 O1: ติดตั้งภายนอกอาคารที่ชั้น 1

I34: ติดตั้งภายในอาคารที่ชั้น 34 I34: ติดตั้งภายนอกอาคารที่ชั้น 34

ตารางที่ 4.18 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่เก็บโดยใช้เครื่องมือ cascade impactor กับ เครื่องมือ Aeroqual series 500 ณ อาคารที่พักอาศัย

วันที่เก็บตัวอย่าง	$PM_{10}(\mu g/m^3)$		ผลต่าง
	cascade impactor	Aeroqual series 500	
30 ม.ค. 63	16.807	36.404	-19.597
31 ม.ค. 63	81.310	56.605	24.705
1 ก.พ. 63	65.671	57.054	8.616
2 ก.พ. 63	69.850	61.066	8.784
3 ก.พ. 63	58.930	48.610	10.319
4 ก.พ. 63	53.115	40.824	12.291
5 ก.พ. 63	24.728	28.249	-3.520

เมื่อทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ที่เก็บโดยใช้เครื่องมือ cascade impactor กับ เครื่องมือ Aeroqual series 500 ด้วยวิธี paired sample t-test ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 จากผลข้อมูลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS for mac พบว่าค่าสถิติทดสอบ มีค่า Sig. = 0.294, $p > 0.05$ แสดงว่า ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่เก็บด้วย cascade impactor มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่เก็บด้วย Aeroqual series 500 อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังนั้น การเก็บข้อมูลความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนสามารถใช้เครื่องมือ cascade impactor หรือ เครื่องมือ Aeroqual series 500 ได้โดยชุดข้อมูลจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ของชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ที่เก็บโดยใช้เครื่องมือ cascade impactor กับ เครื่องมือ Aeroqual series 500

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนชุดข้อมูล (N)	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ค่าสถิติทดสอบ (t)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
เครื่อง cascade impactor	23	45.556	18.399	1.074*	.294
เครื่องมือ Aeroqual series 500	23	43.804	17.286		

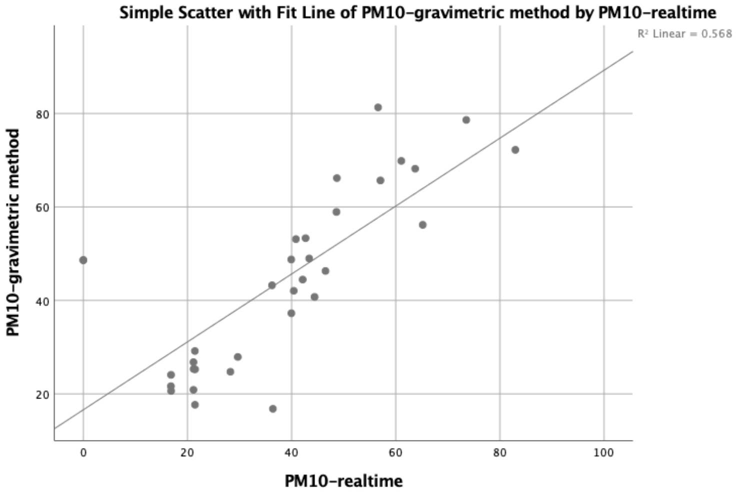
*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4.20 ผลสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ชุดข้อมูลฝุ่น PM_{10} ที่เก็บโดยใช้เครื่องมือ cascade impactor กับ เครื่องมือ Aeroqual series 500

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	จำนวนชุดข้อมูลตัวอย่าง N	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ระดับนัยสำคัญ (P-value)
ข้อมูลฝุ่นcascade impactor กับ ข้อมูลฝุ่นAeroqual series 500	23	.906**	.000

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

จากตารางที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่เก็บโดยใช้เครื่องมือ cascade impactor กับ เครื่องมือ Aeroqual series 500 พบว่า ข้อมูลความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ระหว่าง 2 เครื่องมือ มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(r) มีค่าเท่ากับ 0.906 แสดงว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่เก็บโดยใช้เครื่องมือ cascade impactor กับ เครื่องมือ Aeroqual series 500 ในระดับสูง (pm10-gravimetric method, pm10-Realtime)



รูปที่4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลที่เก็บโดยใช้เครื่องมือ cascade impactor กับ เครื่องมือ Aeroqual series 500

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา และ ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณอาคารสูงประเภทสำนักงานและที่พักอาศัย สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 การกระจายตัวเชิงคาบของความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} รายชั่วโมง และ รายวัน

1) ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่น PM_{10} ที่อาคารสำนักงานไม่พบค่าไม่พบค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน 120 $\mu g/m^3$ แต่ฝุ่นละออง PM_{10} ภายในอาคารพบว่ามีบางวันที่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน 50 $\mu g/m^3$ (เฉลี่ย 8 ชั่วโมง) โดยพบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในอาคารที่ความสูง 4.5 เมตร และ 138.5 เมตร มีค่าสูงสุดเท่ากับ 77.8 และ 80.5 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ช่วงเช้าความเข้มข้น PM_{10} มีแนวโน้มของฝุ่นชัดกว่าตอนกลางคืน โดยพบค่าน้อยที่สุดช่วงเวลา 01.00 น. – 02.00 น. และค่ามากที่สุดในช่วงเวลา 10:00 น.

2) ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่น PM_{10} ที่อาคารที่พักอาศัย พบค่าฝุ่น PM_{10} ที่เกินเกณฑ์ค่ามาตรฐานภายในอาคาร ซึ่งพบค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 58.5 $\mu g/m^3$ และแนวโน้มของฝุ่นความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} เห็นชัดที่สุดในช่วงเย็นตอนเวลา 18:00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่พบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่สูงที่สุด

5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคาร

1) ค่า I/O ratio จากการวิเคราะห์ที่อาคารสำนักงานพบว่า มีเพียงที่ความสูง 138.5 เมตรที่มีค่าน้อยกว่า 1 กล่าวคือ ที่ความสูง 4.5 เมตรมีค่าฝุ่น PM_{10} ภายในอาคารที่มากกว่าภายนอก การวิเคราะห์ทางสถิติชี้ให้เห็นว่าค่าความเข้มข้น PM_{10} ภายนอกมีความแตกต่างกับภายในอาคารที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยความเข้มข้นภายนอกสูงกว่าภายในอาคาร และความเข้มข้น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารของทั้งสองชั้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

2) ค่า I/O ratio จากการวิเคราะห์ที่อาคารที่พักอาศัยพบว่า ทั้งความสูง 12.8 เมตร และ 124.9 เมตรมีค่าน้อยกว่า 1 การวิเคราะห์ทางสถิติชี้ให้เห็นว่าค่าความเข้มข้น PM_{10} ภายนอกมีความแตกต่างกับภายในอาคารที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยความเข้มข้นภายนอกสูงกว่าภายในอาคาร

และความเข้มข้น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารของทั้งสองชั้นมีความสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

5.1.3 การกระจายตัวตามแนวตั้งของฝุ่นละออง PM_{10}

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย PM_{10} ทั้งสองอาคารที่ทำการตรวจวัดบริเวณชั้นล่างมีความแตกต่างกับชั้นบนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยที่อาคารสำนักงานพบว่าส่วนใหญ่มีความเข้มข้นเฉลี่ย PM_{10} รายวัน ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร มีค่าฝุ่นเพิ่มขึ้น จากที่ระดับความสูง 4.5 เมตร คิดเป็นร้อยละ 5 – 19 และอัตราส่วนความเข้มข้น PM_{10} ชั้นบนต่อชั้นล่างมีค่าอยู่ที่ช่วง 1.02 – 1.06 โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 1.03 ดังนั้นความเข้มข้น PM_{10} ชั้นบนมีค่ามากกว่าชั้นล่าง 3% สำหรับอาคารที่พักอาศัย พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ย PM_{10} รายวันที่ระดับความสูง 4.5 เมตร มีค่าสูงกว่าที่ระดับความสูง 138.5 เมตรตลอดการตรวจวัด และอัตราส่วนความเข้มข้น PM_{10} ชั้นบนต่อชั้นล่างมีค่าอยู่ที่ช่วง 0.92 – 1.03 โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 0.97 ดังนั้นความเข้มข้น PM_{10} ชั้นบนมีค่าน้อยกว่าชั้นล่าง 3% จากการศึกษาที่อาคารที่พักอาศัยบ่งชี้ว่าความเข้มข้น PM_{10} ลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น และความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ชั้นล่างและชั้นบนมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

5.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง PM_{10} กับ ปัจจัยสภาพอุตุนิยมวิทยา

จากการวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} กับปัจจัยของสภาพอุตุนิยมวิทยาได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ความกดอากาศ ที่อาคารสำนักงาน พบว่าปัจจัยสภาพอุตุนิยมวิทยามีความสัมพันธ์ทางสถิติกับฝุ่นละออง PM_{10} อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยความชื้นสัมพัทธ์ไม่พบความสัมพันธ์ทางสถิติ ความกดอากาศที่สูงขึ้นส่งเสริมให้ระดับความเข้มข้น PM_{10} สูงขึ้น ส่วนอุณหภูมิ และความเร็วลมมากขึ้นจะส่งผลให้ระดับความเข้มข้น PM_{10} ลดลง สมการทำนายความเข้มข้น PM_{10}ที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์สามารถนำมาใช้อธิบายได้ประมาณ 36.5% สำหรับอาคารที่พักอาศัย พบว่า ค่าความกดอากาศที่สูงขึ้นมีผลทำให้ความเข้มข้น PM_{10} สูงขึ้น ส่วนอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมในบริเวณสูงขึ้นทำให้ PM_{10} ลดลง สมการทำนายความเข้มข้น PM_{10} ที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์สามารถอธิบายสามารถอธิบายความแปรผันได้ประมาณ 32.9%

5.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้น PM_{10} จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือแบบเรียลไทม์ และแบบวิธีวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นโดยการชั่งน้ำหนัก

พบว่าเครื่อง Aeroqual series 500 ได้ค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ไม่แตกต่างจาก เครื่อง cascade impactor อย่างมีนัยสำคัญความเชื่อมั่น 95% จึงสรุปได้ว่าสามารถใช้เครื่อง Aeroqual series 500

ตรวจวัดแทนเครื่อง cascade impactor โดยปริมาณฝุ่น PM_{10} ที่ได้จะมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1 ควรศึกษาระบบระบายอากาศเพิ่มเติม เพื่อใช้อธิบายในความสัมพันธ์ของฝุ่นภายในและภายนอกอาคารได้เพิ่มขึ้น

2 ควรทำการตรวจวัดฝุ่นละออง PM_{10} ในแต่ละฤดู หรือในแต่ละสภาพอากาศเพื่อทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ว่าคล้ายคลึงหรือแตกต่างกัน

3 ควรทำการศึกษาข้อมูลการจราจร ซึ่งถือเป็นแหล่งกำเนิดหลักของสถานที่ทำการตรวจวัดฝุ่นละออง PM_{10}

รายการอ้างอิง

Ahmad et al., (2019), Airborne PM_{10} and lead concentrations at selected traffic junctions in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan, Implications for human health, 10 (2019), pp. 1320-1325

Amato et al., (2011), Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities, Atmos. Environ., 45 (2011), pp. 6777-6787

Bathmanabhan et al. (2010), Analysis and interpretation of particulate matter – PM_{10}, $PM_{2.5}$ and PM_1 emissions from the heterogeneous traffic near an urban roadway, Atmospheric Pollution Research, pp. 184-194

Bhaskar and Sharma. (2008), Assessment of fugitive road dust emissions in Kanpur, India. A note. Transportation Research Part D, transport and Environment, 13 (2008), pp. 400-403

Cao et al., (2008), Size differentiated source profiles for fugitive dust in the Chinese Loess Plateau, Atmos. Environ., 42 (2008), pp. 2261-2275,

Cacciola et al., (2002), Adverse respiratory effects and allergic susceptibility in relation to particulate air pollution, flirting with disaster allergy, 57 (2002), pp. 281-286

Carmichael et al., (2009), Asian aerosols: current and year 2030 distributions and implications to human health and regional climate change, Environ. Sci. Technol., 43 (2009), pp. 5811-5817

Chan and Kwok (2000) Vertical dispersion of suspended particulates in urban area of Hong Kong, Atmospheric Environment, 34 (2000), pp. 4403-4412

Chatoutsidou et al. (2015), Indoor/outdoor particulate matter number and mass concentration in modern offices, Building and environment, 92(2015), pp. 462-474

C.Y. chan et al., (2005), Characteristics of vertical profiles and sources of $PM_{2.5}$, PM_{10} and carbonaceous species in Beijing, 39 (2005), pp. 5113-5124

Ding et al., (2005), Vertical structures of PM_{10} and $PM_{2.5}$ and their dynamical character in low atmosphere in Beijing urban areas, 48 (2005), pp. 38-54

Flachsbart and Ott, (1986), A rapid method for surveying CO concentrations in high-rise buildings, Environmental International, 12 (1986), pp. 255-264

Hassanvand et al. (2014), Indoor/outdoor relationships of PM_{10}, $PM_{2.5}$, and PM_1 mass concentrations and their water-soluble ions in a retirement home and a school dormitory, Atmospheric Environment, 82(2014), pp. 375-382

Hitchins et al., (2002), Dispersion of particles from vehicle emissions around high- and low-rise buildings Indoor Air, 12 (2002), pp. 64-71

Jeong S (2013), The impact of air pollution on human health in Suwon City. Asian J Atmos Environ, 7(2013), pp. 227–233

Jo et al., (2003), Comparison of outdoor and indoor mobile source-related volatile organic compounds between low- and higher-floor apartments, Environmental Research, 92 (2003), pp. 166-171

Jo and Park (2005), Analysis of Roadside Inhalable Particulate Matter (PM_{10}) in Major Korean Cities, 36 (2005), pp. 826-841

Jung et al. (2011), Effects of Floor Level and Building Type on Residential Levels of Outdoor and Indoor Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Black Carbon, and

Particulate Matter in New York City, Atmosphere (Basel), 2(2011), pp. 96–109

Kalisa et al. (2018), Temperature and air pollution relationship during heatwaves in Birmingham, UK, Sustainable Cities and Society, 43(2018), pp. 111-120

Liang Yu et al. (2017), Characteristics of the concentration Change of the Particulate Matter in the Indoor and Outdoor Existing Public Office Buildings, Proceding Engineering, 205(2017), pp. 3367-3372

Li and Bai. (2014), Measurement and analysis of the Vertical Distribution Characteristic of the Atmospheric Particle Concentration in Beijing District 5 (2014), pp. 233-237

L.Y. chan. (2000), Human exposure to respirable suspended particulate and airborne lead in different roadside microenvironments, 41(2000), pp. 93-99

Morawska et al. (1999), A study of the horizontal and vertical profile of sub micrometer particles in relation to a busy road, Atmospheric Environment, 33 (1999), pp. 1261-1274

Rubino et al. (1998), Height profile of some air quality markers in the urban atmosphere surrounding a 100 m tower building, Atmospheric Environment, 32 (1998), pp. 3569-3580

SunilGulia et al. (2015), Urban air quality management-A review atmospheric pollution research, 6 (2015), pp. 286-304

Wrobel et al. (2000), Transport of traffic–related aerosols in urban areas, Science of the Total Environment, 257 (2000), pp. 199-211

Wu et al. (2002), Vertical and horizontal profiles of airborne particulate matter near major roads in Macao, China, Atmospheric Environment, 36 (2002), pp. 4907-4918

World Health Organization. (2013). HealtH effects of particulate matter. [online]. Retrieved from : http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf.

Yassen et al. (2006), The relationships between dust particulates and meteorological parameters in Kuala lumpur and Petaling jaya, Malaysia: Program of Geography, School of Social, University Kebangsaan Malaysia;2006

Y. Qin et al. (2004), Weekend/weekday differences of ozone NO_x, Co, VOCs, PM_{10} and the light scatter during ozone season in southern California, Atmospheric Environment, 38(2004), pp. 3069-3087

Zhang et al., 20017 Review of receptor-based source apportionment research of fine particulate matter and its challenges in China, Sci. Total Environ., 586 (2017), pp. 917-929

กรมควบคุมมลพิษ. (2546). คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ. [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก : http://infofile.pcd.go.th/air/DustinAmbient.pdf.

กรมควบคุมมลพิษ. (2562). แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ “การแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง”. [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก : http://air4thai.pcd.go.th/webV2/download.php.

กรมควบคุมมลพิษ. (2563). พรบ. กฎหมาย และมาตรฐานการควบคุมมลพิษ. [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก : http://infofile.pcd.go.th/law/2_36_air.pdf?CFID=2696042&CFTOKEN=46184754

กรมอุตุนิยมวิทยา.(2563). <u>สรุปลักษณะอากาศเดือนมกราคม</u>. [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก : https://www.tmd.go.th/programs/uploads/monthlySummary/มกราคม%2025633.pdf

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2563). <u>พยากรณ์อากาศประจำวัน</u>. [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก : https://www.tmd.go.th/warningwindow.php?wID=9597

กรมควบคุมมลพิษ. (2563). <u>ข้อมูลคุณภาพอากาศประจำวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2563 เวลา 15.00 น.</u>. [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก : https://www.facebook.com/PCD.go.th/photos/pcb.2740791072670929/2740813236002046/

กลุ่มเวชศาสตร์สิ่งแวดล้อม สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. (2559). <u>คู่มือการเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพจากปัญหาหมอกควันสำหรับบุคลากรสาธารณสุข (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2559)</u>. [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก : https://ddc.moph.go.th/uploads/files/90d5b1273811682e93fe5e68eb9a39ce.pdf.

ชาคริต โชติอมรศักดิ์ และดวงนภา ลาภใหญ่, “ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่สัมพันธ์ต่อการเกิดปัญหามลพิษทางอากาศในจังหวัดเชียงใหม่,” <u>วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้</u> 9(2) (31 ตุลาคม 2561): 237-249

ตระวรรณ หาญกิจรุ่ง. (2556). <u>อิทธิพลของปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาต่อปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนของพื้นที่ริมถนนในเขตกรุงเทพมหานคร</u> (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปภัสรา ขวัญมา สมนิมิต พุกงาม และวันชัย อรุณประภารัตน์, “<u>ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในพื้นที่ตำบลหน้าพระลานอำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี</u>,” <u>PSRU J. Sci. Tech.</u> 4(2) (24 เมษายน 2562): 85-94

ประลอง ดำรงไทย. อธิบดีกรมควบคุมมลพิษ. <u>สัมภาษณ์</u>, 22 มกราคม 2563.

สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. คู่มือการปฏิบัติงานเพื่อการตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร สำหรับเจ้าหน้าที่. [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก : http://env.anamai.moph.go.th/ewt_dl_link.php?nid=824.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

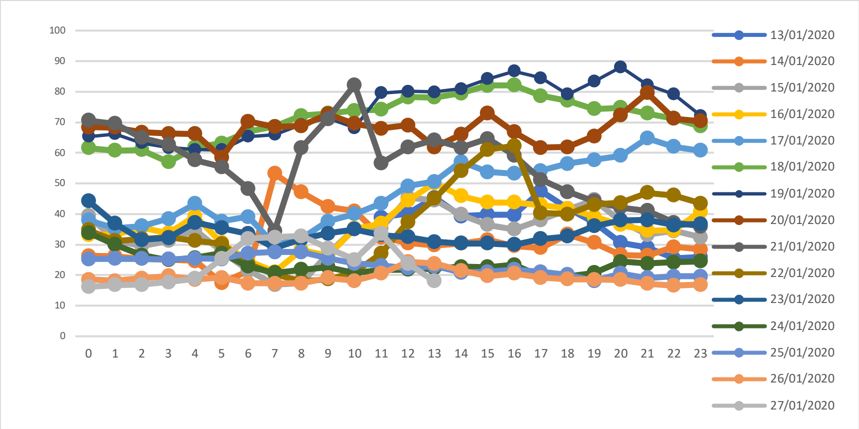
ตารางที่ ก.1 ค่าเฉลี่ยฝุ่น PM_{10} รายเดือนบริเวณริมถนนดินแดง เขตดินแดง ปี2560 - 2562

เดือน	ริมถนนดินแดง 2560	ริมถนนดินแดง 2561	ริมถนนดินแดง 2562
มกราคม	90		97
กุมภาพันธ์	84		52
มีนาคม	71		50
เมษายน			55
พฤษภาคม			73
มิถุนายน	37		67
กรกฎาคม	39	47	70
สิงหาคม	47	39	53
กันยายน	54	57	69
ตุลาคม	64	67	73
พฤศจิกายน	70	78	80
ธันวาคม	60	84	84

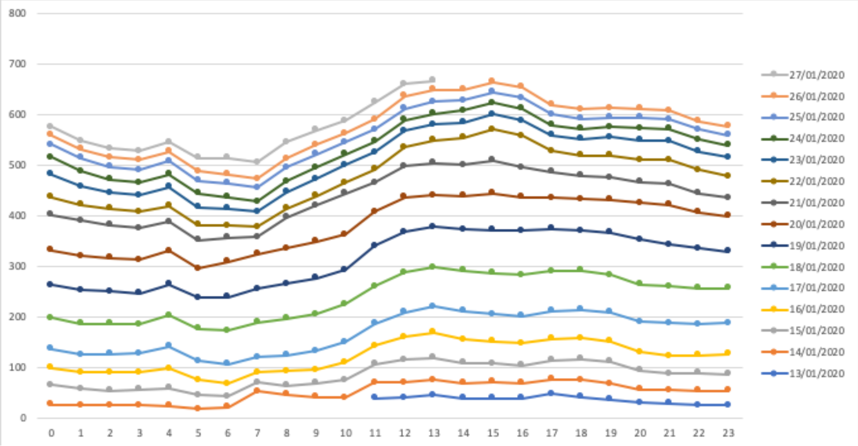
ตารางที่ ก.2 ค่าเฉลี่ยฝุ่น PM_{10} รายเดือนบริเวณริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน ปี2560 - 2562

เดือน	ริมถนนพระราม 4 2560	ริมถนนพระราม 4 2561	ริมถนนพระราม 4 2562
มกราคม		68	89
กุมภาพันธ์		71	51
มีนาคม		54	49
เมษายน		47	38
พฤษภาคม		38	60
มิถุนายน	45	39	41
กรกฎาคม	41	50	44
สิงหาคม	43	44	35
กันยายน	45	48	50
ตุลาคม	53	53	50
พฤศจิกายน	62	72	60
ธันวาคม	65	75	65

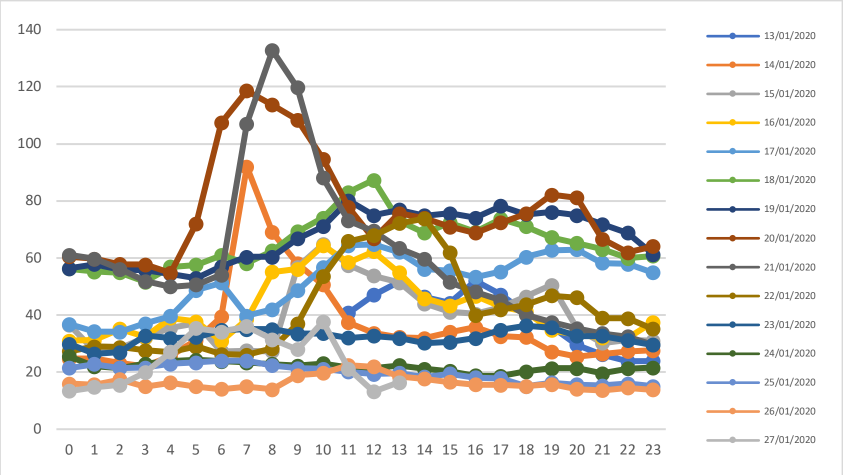
รูปที่ ก.1 แนวโน้มฝุ่นรายชั่วโมงภายในอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 4.5 เมตร ที่ทำการตรวจวัด14 วัน



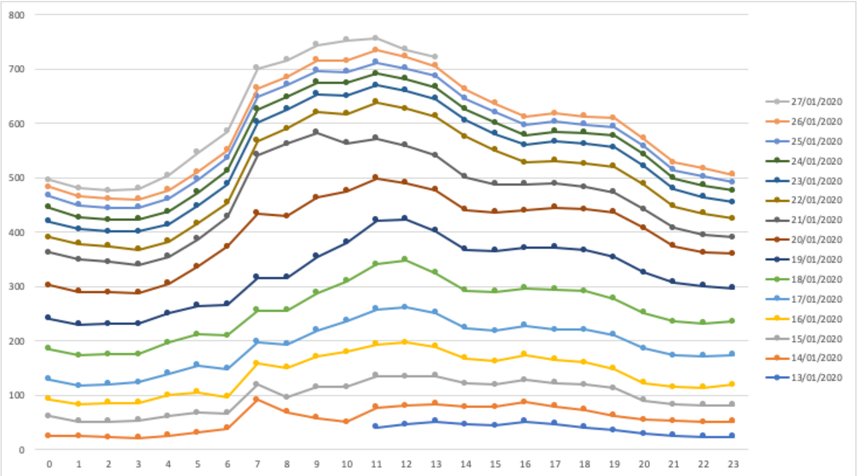
รูปที่ ก.2 แนวโน้มฝุ่นรายชั่วโมงภายในอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 4.5 เมตร ทำการตรวจวัด14 วันแบบซ้อนกัน



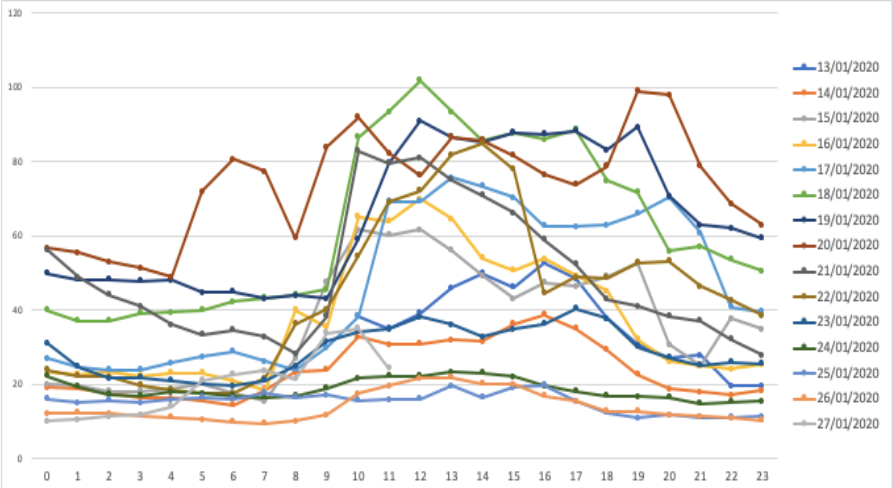
รูปที่ ก.3 แนวโน้มฝุ่นรายชั่วโมงภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 4.5 เมตร ที่ทำการตรวจวัด14 วัน



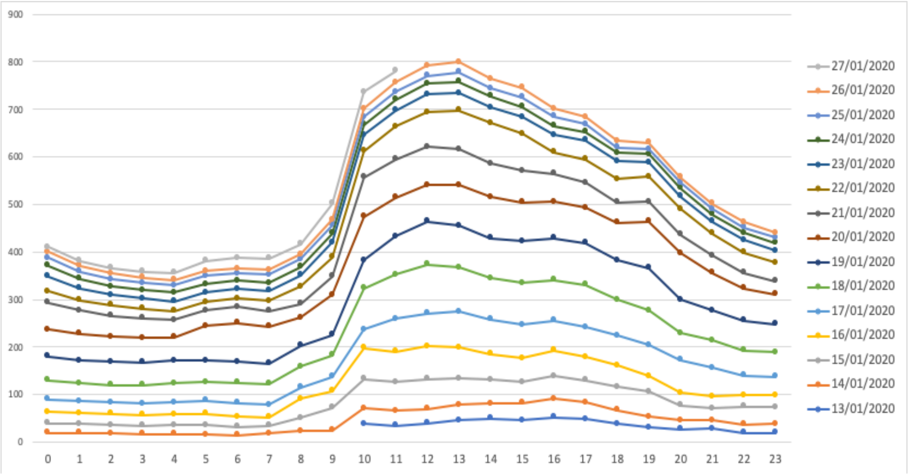
รูปที่ ก.4 แนวโน้มฝุ่นรายชั่วโมงภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 4.5 เมตร ที่ทำการตรวจวัด14 วันแบบซ้อนกัน



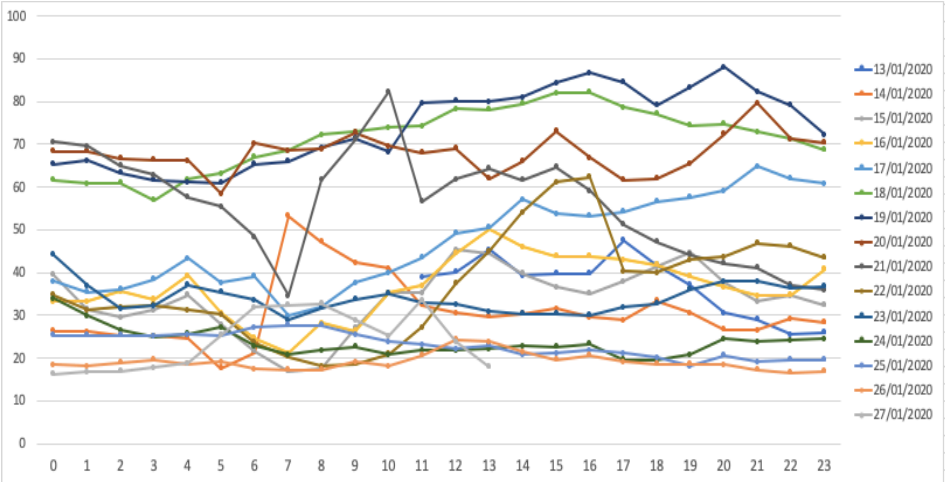
รูปที่ ก.5 แนวโน้มฝุ่นรายชั่วโมงภายในอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 138.5 เมตร ที่ทำการตรวจวัด14 วัน



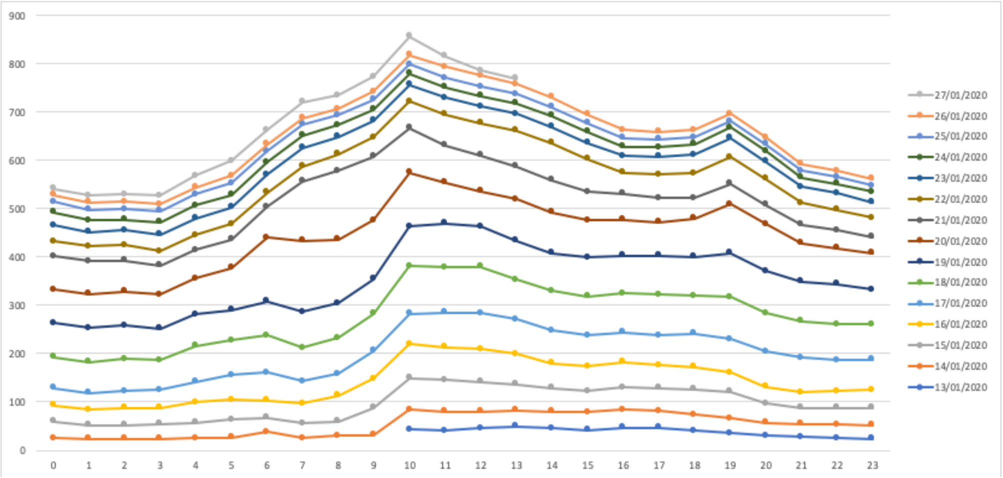
รูปที่ ก.6 แนวโน้มฝุ่นรายชั่วโมงภายในอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 138.5 เมตร ที่ทำการตรวจวัด14 วันแบบซ้อนกัน



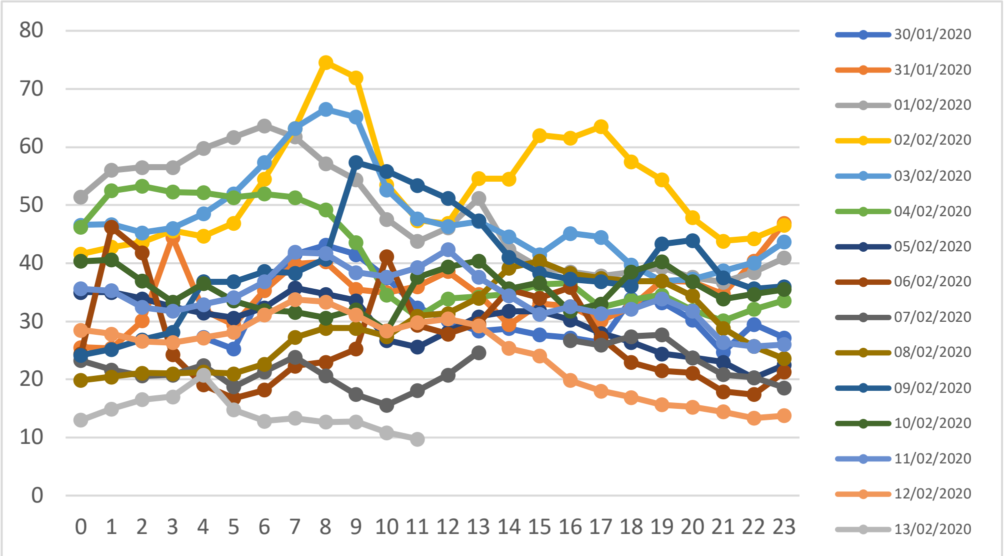
รูปที่ ก.7 แนวโน้มฝุ่นรายชั่วโมงภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 138.5 เมตร ที่ทำการตรวจวัด14 วัน



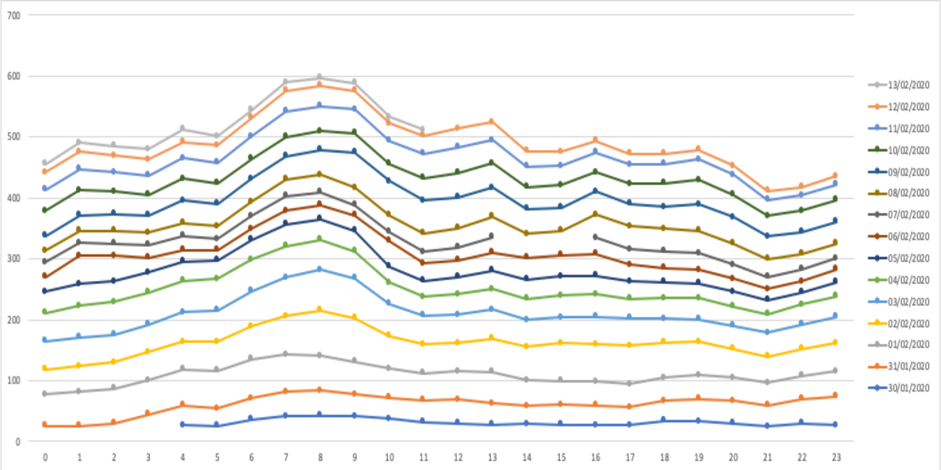
รูปที่ ก.8 แนวโน้มฝุ่นรายชั่วโมงภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 138.5 เมตร ที่ทำการตรวจวัด14 วันแบบซ้อนกัน



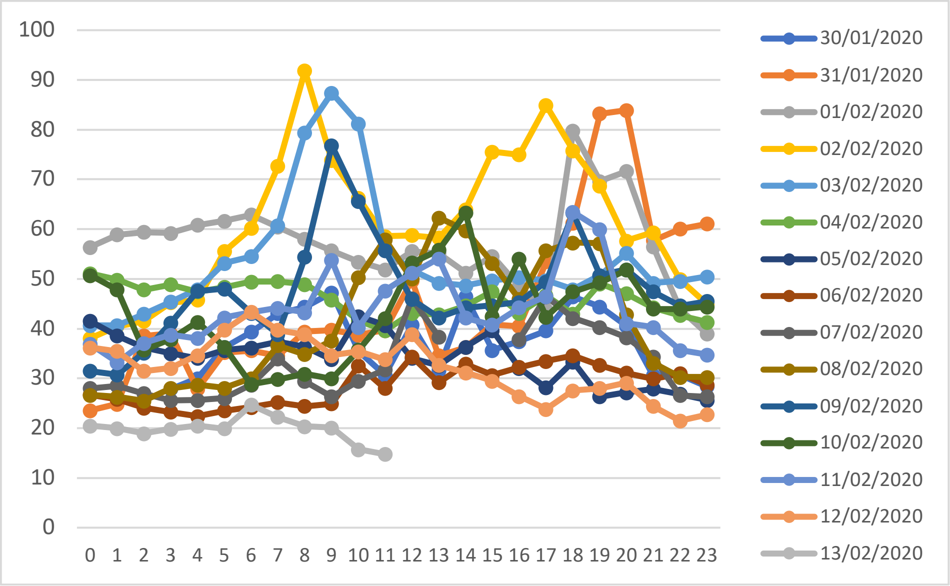
รูปที่ ก.9 แนวโน้มฝุ่นรายชั่วโมงภายในอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 12.8 เมตร ที่ทำการตรวจวัด14 วัน



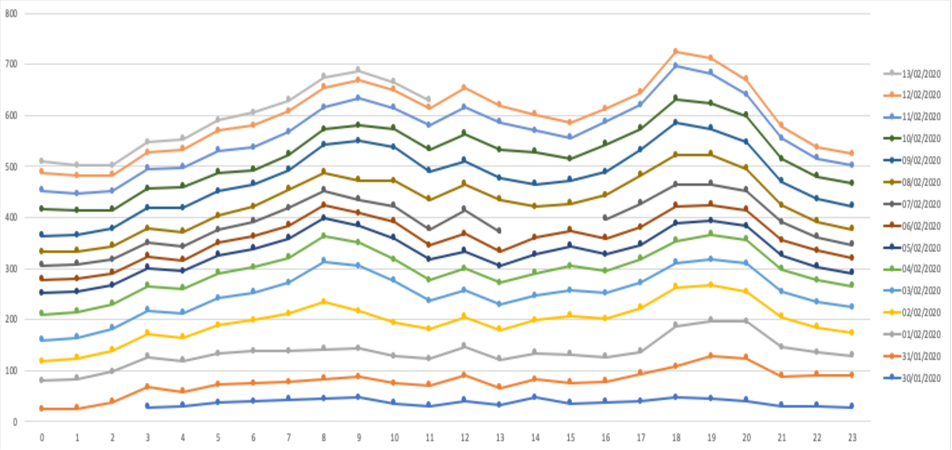
รูปที่ ก.10 แนวโน้มฝุ่นรายชั่วโมงภายในอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 12.8 เมตร ที่ทำการตรวจวัด14 วันแบบซ้อนกัน



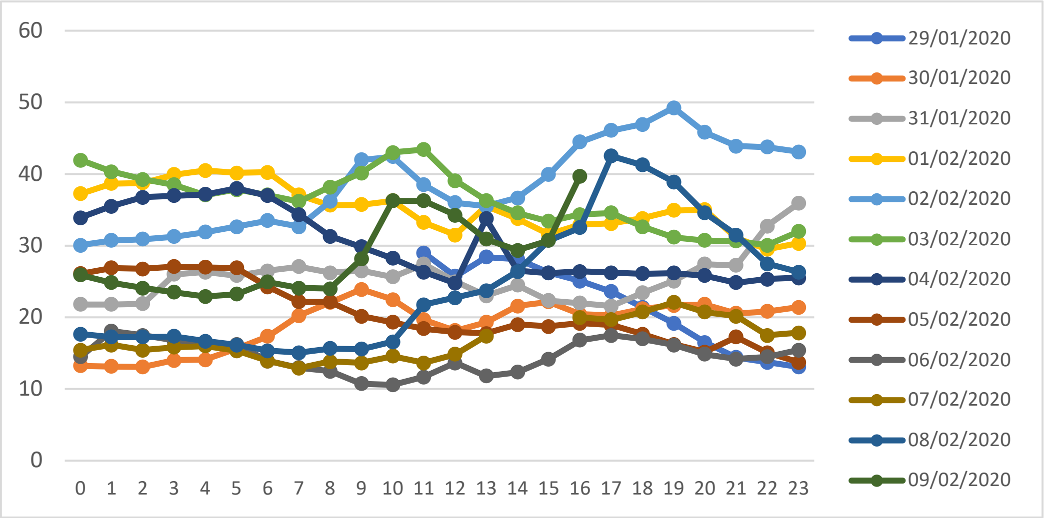
รูปที่ ก.11 แนวโน้มฝุ่นรายชั่วโมงภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 12.8 เมตร ที่ทำการตรวจวัด14 วัน



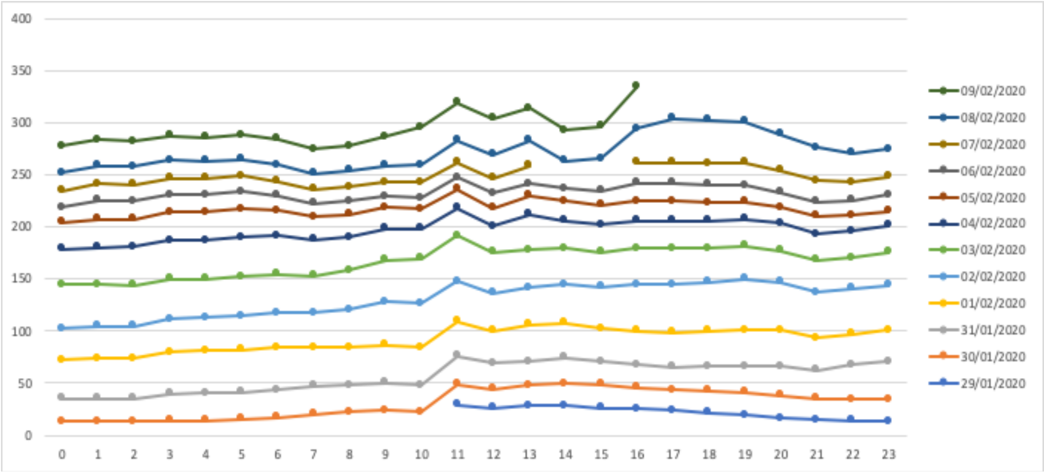
รูปที่ ก.12 แนวโน้มฝุ่นรายชั่วโมงภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 12.8 เมตร ที่ทำการตรวจวัด14 วันแบบซ้อนกัน



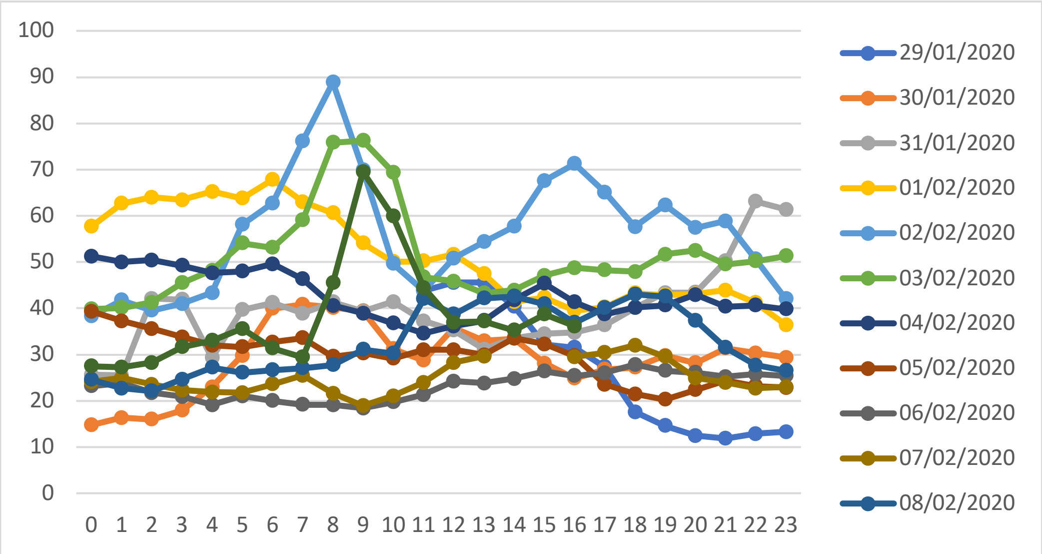
รูปที่ ก.13 แนวโน้มฝุ่นรายชั่วโมงภายในอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 124.9 เมตร ที่ทำการตรวจวัด14 วัน



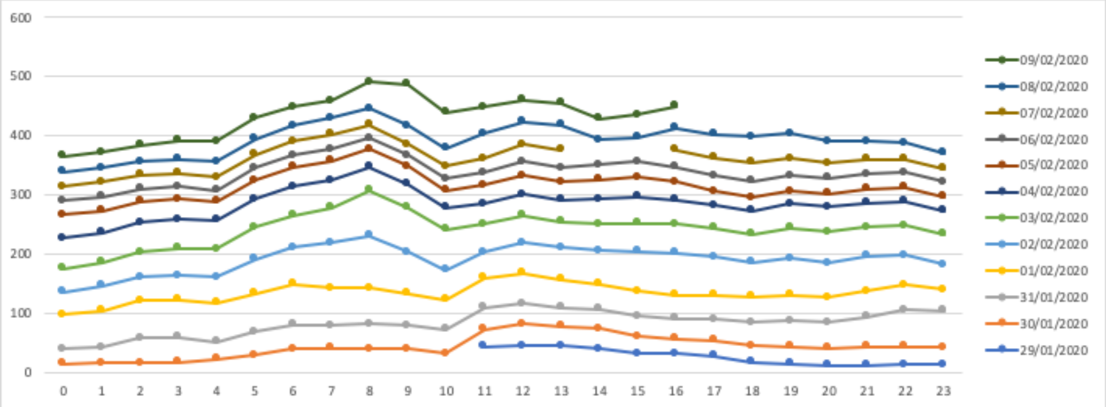
รูปที่ ก.14 แนวโน้มฝุ่นรายชั่วโมงภายในอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 124.9 เมตร ที่ทำการตรวจวัด14 วันแบบซ้อนกัน



รูปที่ ก.15 แนวโน้มฝุ่นรายชั่วโมงภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 124.9 เมตร ที่ทำการตรวจวัด14 วัน



รูปที่ ก.16 แนวโน้มฝุ่นรายชั่วโมงภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 124.9 เมตร ที่ทำการตรวจวัด14 วันแบบซ้อนกัน



ตารางที่ ก.3 แนวโน้มฝุ่นบริเวณอาคารสำนักงานรายชั่วโมง

Hours	Average indoor 1	Average outdoor1	Average indoor 34	Average outdoor 34
00:00:00 น.	41.095	35.464	29.089	38.526
01:00:00 น.	39.214	34.333	27.220	37.678
02:00:00 น.	38.095	34.071	26.160	37.833
03:00:00 น.	37.726	34.315	25.565	37.720
04:00:00 น.	38.970	36.053	25.386	40.595
05:00:00 น.	36.714	39.077	27.190	42.851
06:00:00 น.	36.714	41.779	27.714	47.410
07:00:00 น.	36.119	50.101	27.571	51.813
08:00:00 น.	38.994	51.166	29.755	52.535
09:00:00 น.	40.678	53.166	35.885	55.279
10:00:00 น.	42.047	53.773	47.959	55.7109
11:00:00 น.	41.514	50.344	52.48	54.195

12:00:00 น.	44.027	49.0833	56.577	52.427
13:00:00 น.	46.218	49.421	57.089	53.151
14:00:00 น.	46.446	47.209	54.571	52.202
15:00:00 น.	47.446	45.535	53.2023	49.684
16:00:00 น.	46.720	43.755	50.305	47.404
17:00:00 น.	44.255	44.2083	48.8571	47.107
18:00:00 น.	43.654	43.797	45.226	47.410
19:00:00 น.	43.785	43.547	44.952	49.738
20:00:00 น.	43.755	40.898	39.815	46.303
21:00:00 น.	43.476	37.726	35.857	42.321
22:00:00 น.	41.952	36.934	33.041	41.345
23:00:00 น.	41.184	36.119	31.452	40.130

ตารางที่ ก.4 แนวโน้มฝุ่นบริเวณอาคารสำนักงานรายวัน

Date	Average indoor 1	Average outdoor1	Average indoor 34	Average outdoor 34
Monday, 13 January 2020	**36.948**	**39.1428**	**37.078**	**38.668**
Tuesday, 14 January 2020	**30.729**	**36.006**	**24.111**	**30.811**
Wednesday, 15 January 2020	**33.746**	**39.836**	**36.666**	**42.576**
Thursday, 16 January 2020	**36.513**	**42.336**	**37.656**	**45.881**
Friday, 17 January 2020	**47.062**	**51.565**	**46.840**	**57.968**
Saturday, 18 January 2020	**71.312**	**65.491**	**62.309**	**77.670**
Sunday, 19 January 2020	**74.114**	**67.166**	**64.805**	**76.913**
Monday, 20 January 2020	**67.972**	**76.780**	**73.879**	**88.971**
Tuesday, 21 January 2020	**56.072**	**60.406**	**49.222**	**67.260**
Wednesday, 22 January 2020	**36.815**	**42.204**	**44.062**	**45.826**
Thursday, 23 January 2020	**34.034**	**32.236**	**29.097**	**34.909**
Friday, 24 January 2020	**23.663**	**21.857**	**18.763**	**22.840**
Saturday, 25 January 2020	**23.065**	**19.687**	**15.404**	**19.090**
Sunday, 26 January 2020	**19.079**	**16.302**	**14.017**	**15.944**
Monday, 27 January 2020	**24.566**	**24.919**	**19.688**	**23.45**

ตารางที่ ก.5 แนวโน้มฝุ่นบริเวณอาคารที่พักอาศัยรายชั่วโมง

Hours	Average indoor 1	Average outdoor 1	Average indoor 33	Average outdoor 33
00:00:00 น.	32.523	36.327	25.257	33.272
01:00:00 น.	35.017	35.803	25.772	33.840
02:00:00 น.	34.666	35.821	25.606	34.946
03:00:00 น.	34.273	36.72	26.106	35.659
04:00:00 น.	34.288	36.861	26	35.431
05:00:00 น.	33.394	39.316	26.189	39.037

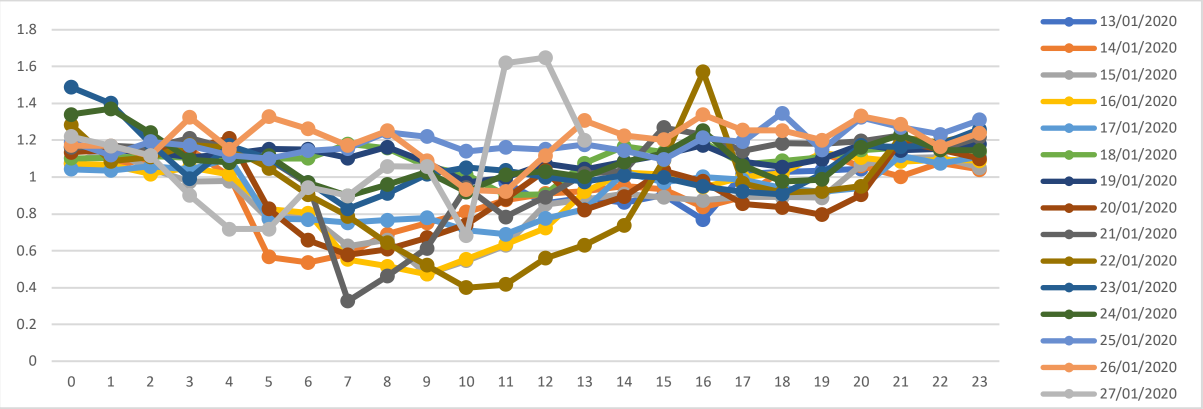
06:00:00 น.	36.294	40.288	25.818	40.780
07:00:00 น.	39.266	41.938	24.984	41.734
08:00:00 น.	39.788	44.977	25.257	44.621
09:00:00 น.	39.244	45.838	26.045	44.196
10:00:00 น.	35.511	44.318	26.856	39.878
11:00:00 น.	35.232	43.180	26.432	37.079
12:00:00 น.	36.660	46.666	25.305	38.354
13:00:00 น.	37.725	44.353	26.569	38.313
14:00:00 น.	36.692	46.230	26.613	38.939
15:00:00 น.	36.621	44.980	26.931	39.568
16:00:00 น.	35.539	43.975	27.503	37.627
17:00:00 น.	33.732	46.005	27.636	36.606
18:00:00 น.	33.773	51.753	27.469	36.181
19:00:00 น.	34.214	50.688	27.348	36.734
20:00:00 น.	32.315	47.809	26.227	35.515
21:00:00 น.	29.386	41.357	25.075	35.537
22:00:00 น.	29.827	38.380	24.598	35.280
23:00:00 น.	31.1369	37.404	24.969	33.75

ตารางที่ ก.6 แนวโน้มฝุ่นบริเวณอาคารที่พักอาศัยรายวัน

Date	Average indoor 1	Average outdoor 1	Average indoor 33	Average outdoor 33
Wednesday, 29 January 2020			21.397	26.278
Thursday, 30 January 2020	31.628	37.668	19.100	28.996
Friday, 31 January 2020	34.802	44.982	25.559	39.600
Saturday, 1 February 2020	48.190	57.013	35.270	51.489
Sunday, 2 February 2020	52.802	60.954	38.510	56.187
Monday, 3 February 2020	47.628	53.843	36.357	51.229
Tuesday, 4 February 2020	40.5486	45.975	30.125	42.857
Wednesday, 5 February 2020	29.503	34.086	20.579	29.590
Thursday, 6 February 2020	26.815	28.586	14.593	23.118
Friday, 7 February 2020	21.717	32.403	16.670	24.682
Saturday, 8 February 2020	29.055	41.118	24.211	32.586
Sunday, 9 February 2020	39.440	47.670	28.135	38.140
Monday, 10 February 2020	35.395	43.305		
Tuesday, 11 February 2020	34.284	43.825		
Wednesday, 12 February 2020	24.503	32.149		
Thursday, 13 February 2020	14.345	20.088		

ภาคผนวก ข

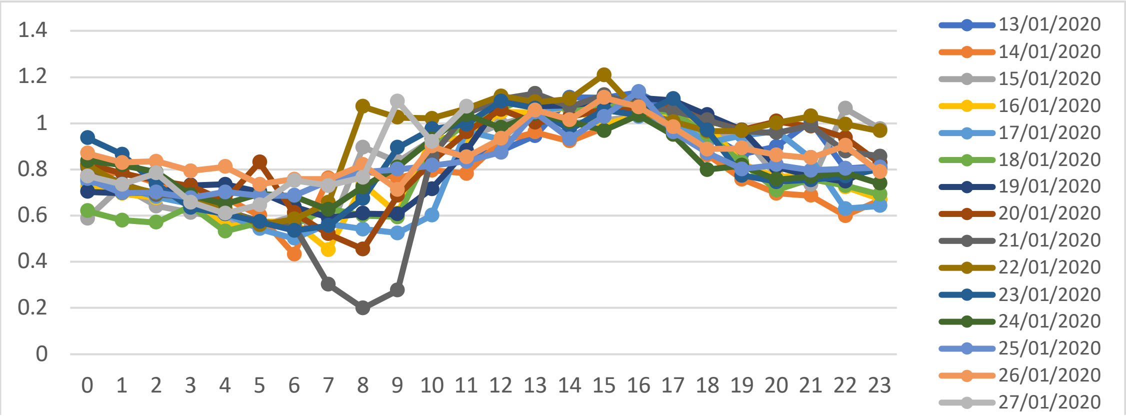
รูปที่ ข.1 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฝุ่นภายในต่อภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 4.5 เมตร



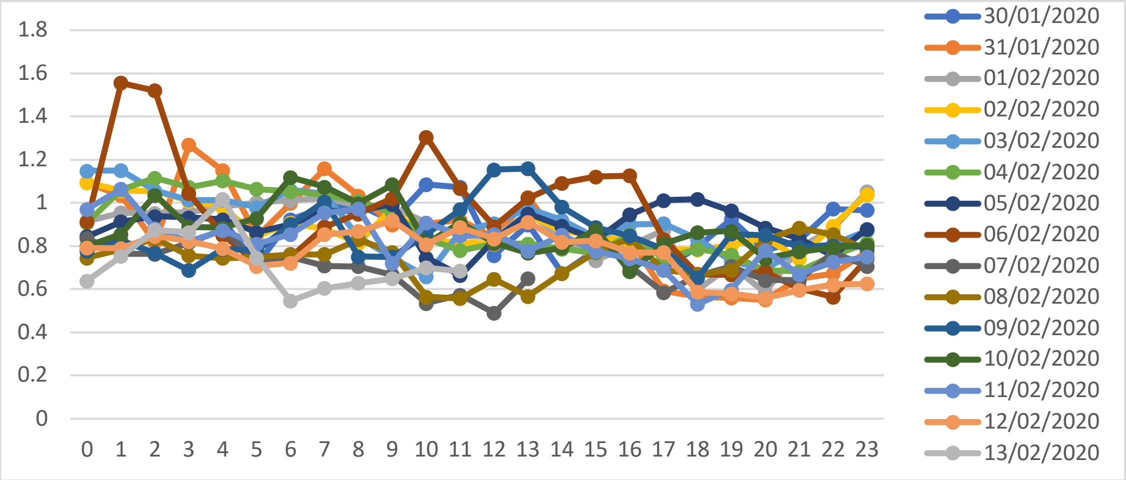
ตารางที่ ข.1 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฝุ่นภายในต่อภายนอกอาคารสำนักงานและอาคารที่พักอาศัย

Hours	อาคารสำนักงาน		อาคารที่พักอาศัย	
	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฝุ่นภายในและภายนอกอาคารสำนักงาน		ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฝุ่นภายในต่อภายนอกอาคารที่พักอาศัย	
	ระดับความสูง 4.5 เมตร	ระดับความสูง 134.5 เมตร	ระดับความสูง 12.8 เมตร	ระดับความสูง 124.9 เมตร
0	1.179	0.770	0.891	0.773
1	1.156	0.743	0.961	0.778
2	1.124	0.714	0.951	0.755
3	1.103	0.681	0.925	0.755
4	1.077	0.641	0.926	0.745
5	0.965	0.632	0.832	0.682
6	0.926	0.605	0.883	0.643
7	0.817	0.599	0.929	0.620
8	0.863	0.691	0.889	0.603
9	0.844	0.726	0.870	0.616
10	0.815	0.868	0.830	0.674
11	0.901	0.945	0.837	0.704
12	0.956	1.006	0.819	0.654
13	0.964	1.048	0.892	0.687
14	1.009	1.031	0.847	0.681
15	1.056	1.065	0.836	0.688
16	1.094	1.062	0.832	0.742
17	1.023	1.026	0.768	0.761
18	1.034	0.940	0.714	0.78
19	1.04	0.880	0.745	0.781
20	1.112	0.840	0.722	0.779
21	1.165	0.840	0.733	0.753
22	1.141	0.812	0.776	0.735
23	1.158	0.791	0.828	0.766

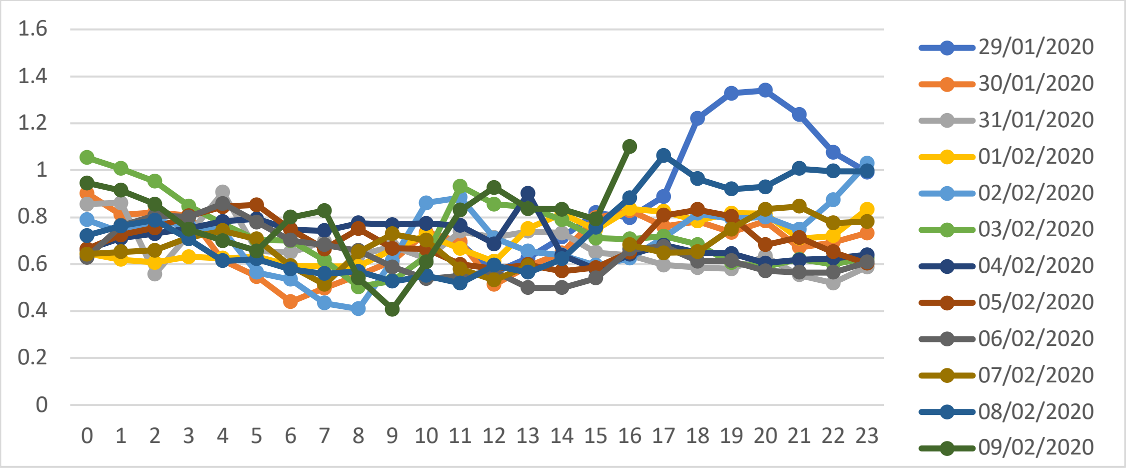
รูปที่ ข.2 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฝุ่นภายในต่อภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 134.5 เมตร



รูปที่ ข.3 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฝุ่นภายในและภายนอกอาคารพักอาศัยที่ระดับความสูง 12.8 เมตร



รูปที่ ข.4 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนฝุ่นภายในต่อภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 124.9 เมตร



ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค.1 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10}ระหว่างชั้นล่างกับชั้นบนของอาคารสำนักงาน

Date	Average of outdoor	Average of outdoor34
Monday 13/ 01/ 2020	39.241	38.668
Tuesday 14/ 01/ 2020	35.972	30.793
Wednesday 15/ 01/ 2020	39.836	42.562
Thursday 16/ 01/ 2020	42.329	45.868
Friday 17/ 01/ 2020	51.486	57.885
Saturday 18/ 01/ 2020	65.480	77.6423
Sunday 19/ 01/ 2020	67.194	76.909
Monday 20/ 01/ 2020	76.742	88.957
Tuesday 21/ 01/ 2020	60.531	67.413
Wednesday 22/ 01/ 2020	42.194	45.809
Thursday 23/ 01/ 2020	32.25	34.923
Friday 24/ 01/ 2020	21.878	22.881
Saturday 25/ 01/ 2020	19.718	19.114
Sunday 26/ 01/ 2020	16.302	15.944
Monday 27/ 01/ 2020	24.845	23.378

ตารางที่ ค.2 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10}ระหว่างชั้นล่างกับชั้นบนของอาคารที่พักอาศัย

Date	Average of PM10 outdoor ล่าง	Average of PM10outdoor 33
Thursday 30/ 01/ 2020	39.009	31.480
Friday 31/ 01/ 2020	40.982	35.815
Saturday 01/ 02/ 2020	58.402	53.722
Sunday 02/ 02/ 2020	60.559	54.694
Monday 03/ 02/ 2020	54.024	51.347
Tuesday 04/ 02/ 2020	47.065	44.243
Wednesday 05/ 02/ 2020	36.371	32.041
Thursday 06/ 02/ 2020	28.166	22.847
Friday 07/ 02/ 2020	31.004	24.319
Saturday 08/ 02/ 2020	39.454	30.322
Sunday 09/ 02/ 2020	45.897	37.278

ตารางที่ ค.3 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การลดลงของฝุ่น PM_{10}จากชั้นล่างขึ้นไปชั้นบน

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การลดลงของฝุ่น PM10จากชั้นล่างขึ้นไปชั้นบน			
Date	**อาคารสำนักงาน**	**Date**	**อาคารที่พักอาศัย**
13/01/2020	-0.010	30/01/2020	-0.132
14/01/2020	-0.052	31/01/2020	-0.046
15/01/2020	0.073	01/02/2020	-0.066
16/01/2020	0.088	02/02/2020	-0.062

17/01/2020	0.122	03/02/2020	-0.037
18/01/2020	0.192	04/02/2020	-0.059
19/01/2020	0.156	05/02/2020	-0.114
20/01/2020	0.141	06/02/2020	-0.174
21/01/2020	0.123	07/02/2020	-0.213
22/01/2020	0.106	08/02/2020	-0.171
23/01/2020	0.088	09/02/2020	-0.171
24/01/2020	0.050		
25/01/2020	-0.024		
26/01/2020	-0.011		
27/01/2020	-0.045		

ตารางที่ ค.4 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนของฝุ่น PM_{10}ระหว่างชั้นล่างต่อชั้นบน

ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนของฝุ่น PM10ระหว่างชั้นล่างต่อชั้นบน		
Hours	**อาคารสำนักงาน**	**อาคารที่พักอาศัย**
0	0.960	1.049
1	0.947	1.048
2	0.948	1.059
3	0.943	1.09
4	0.939	1.104
5	0.948	1.090
6	0.927	1.074
7	1.108	1.133
8	1.049	1.155
9	1.009	1.171
10	0.972	1.295
11	0.951	1.225
12	0.967	1.262
13	0.959	1.166
14	0.915	1.210
15	0.924	1.186
16	0.937	1.206
17	0.954	1.317
18	0.938	1.426
19	0.931	1.347
20	0.923	1.315
21	0.938	1.136
22	0.941	1.073
23	0.940	1.070

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง.1 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารสำนักงานที่ระดับความสูง 4.5 เมตร

Correlations

		indoor 1	outdoor 1
indoor 1	Pearson Correlation	1	.827**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	4054	4054
outdoor 1	Pearson Correlation	.827**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	4054	4058

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

ตารางที่ ง.2 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารสำนักงานที่ 138.5 เมตร กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

Correlations

		indoor 34	outdoor 34
indoor 34	Pearson Correlation	1	.827**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	4062	4039
outdoor 34	Pearson Correlation	.827**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	4039	4041

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

ตารางที่ ง.3 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM_{10} ภายในอาคารสำนักงาน ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร และที่ระดับความสูง 138.5 เมตร

Correlations

		indoor 1	indoor 34
indoor 1	Pearson Correlation	1	.887**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	4054	4046
indoor 34	Pearson Correlation	.887**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	4046	4062

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

ตารางที่ ง.4 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM_{10} ภายนอกอาคารสำนักงาน ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร และที่ระดับความสูง 138.5 เมตร

Correlations

		outdoor 1	outdoor 34
outdoor 1	Pearson Correlation	1	.747**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	4058	4041
outdoor 34	Pearson Correlation	.747**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	4041	4041

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

ตารางที่ ง.5 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูง12.8 เมตร

Correlations

		indoor1	outdoor1
indoor1	Pearson Correlation	1	.645**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	4084	4084
outdoor1	Pearson Correlation	.645**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	4084	4084

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

ตารางที่ ง.6 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 124.9 กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

Correlations

		indoor33	outdoor33
indoor33	Pearson Correlation	1	.809**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	3192	3192
outdoor33	Pearson Correlation	.809**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	3192	3192

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

ตารางที่ ง.7 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM_{10} ภายในอาคารที่พักอาศัย ที่ระดับระดับความสูง12.8 เมตร และที่ระดับความสูง 124.9 เมตร

Correlations

		indoor1	indoor33
indoor1	Pearson Correlation	1	.426**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	4084	3192
indoor33	Pearson Correlation	.426**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	3192	3192

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

ตารางที่ ง.8 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM_{10} ภายนอกอาคารที่พักอาศัย ที่ระดับระดับความสูง12.8 เมตร และที่ระดับความสูง 124.9 เมตร

Correlations

		outdoor1	outdoor33
outdoor1	Pearson Correlation	1	.491**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	4084	3192
outdoor33	Pearson Correlation	.491**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	3192	3192

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

ตารางที่ ง.9 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารสำนักงาน ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	in	41.71	4054	19.609	.308
	out	43.09	4054	22.465	.353

ตารางที่ ง.10 ผลสถิติวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารสำนักงาน ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	in & out	4054	.827	.000

ตารางที่ ง.11 ผลการทดสอบฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารสำนักงาน ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
					95% Confidence Interval of the Difference				
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper			
Pair 1	in - out	-1.384	12.689	.199	-1.774	-.993	-6.943	4053	.000

ตารางที่ ง.12 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารสำนักงาน ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	in	38.95	4044	23.793	.374
	out	46.9656281	4044	26.200185516034225	.412001496003176

ตารางที่ ง.13 ผลสถิติวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารสำนักงาน ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	in & out	4044	.821	.000

ตารางที่ ง.14 ผลการทดสอบฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารสำนักงาน ที่ระดับความสูง 138.5 เมตร

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	95% Confidence Interval of the Difference Upper			
Pair 1	in - out	-8.01409	15.1356	.238010	-8.48072	-7.54746	-33.671	4043	.000

ตารางที่ ง.15 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง12.8 เมตร

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	PM10 indoor ล่าง	34.91	4084	12.005	.188
	PM10 outdoor ล่าง	42.65	4084	16.844	.264

ตารางที่ ง.16 ผลสถิติวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง12.8 เมตร

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	PM10 indoor ล่าง & PM10 outdoor ล่าง	4084	.645	.000

ตารางที่ ง.17 ผลการทดสอบฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง12.8 เมตร

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	95% Confidence Interval of the Difference Upper			
Pair 1	PM10 indoor ล่าง - PM10 outdoor ล่าง	-7.746	12.928	.202	-8.143	-7.350	-38.292	4083	.000

ตารางที่ ง.18 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 124.9 เมตร

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	PM10 indoor 33	26.11	3192	9.194	.163
	PM10outdoor 33	37.61	3192	14.213	.252

ตารางที่ ง.19 ผลสถิติวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 124.9 เมตร

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	PM10 indoor 33 & PM10outdoor 33	3192	.809	.000

ตารางที่ ง.20 ผลการทดสอบฝุ่น PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 124.9 เมตร

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
					95% Confidence Interval of the Difference				
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper			
Pair 1	PM10 indoor 33 - PM10outdoor 33	-11.50	8.66	.153	-11.80	-11.20	-74.99	3191	.000

ตาราง ง.21 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร กับ138.5 เมตร บริเวณภายนอกอาคารสำนักงาน

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	PM10(ppm)outdoor 1	43.11	4051	22.462	.353
	PM10 outdoor 34	46.808195507282150	4051	26.289790385168292	.413053210197820

ตาราง ง.22 ผลสถิติวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูง 4.5 เมตร กับ138.5 เมตร บริเวณภายนอกอาคารสำนักงาน

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	PM10outdoor 1 & PM10 outdoor 34	4051	.938	.000

ตาราง ง.23 ผลการทดสอบฝุ่น PM_{10} ระดับความสูง 4.5 เมตร กับ138.5 เมตร บริเวณภายนอกอาคารสำนักงาน

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
					95% Confidence Interval of the Difference				
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper			
Pair 1	PM10outdoor 1 - PM10 outdoor 34	-3.697605	9.356381156150583	.147003198418908	-3.985812635846500	-3.409398423151274	-25.153	4050	.000

ตาราง ง.24 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูง12.8 เมตร กับ 124.9 เมตรบริเวณภายนอกอาคารที่พักอาศัย

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	PM10 outdoor ล่าง	44.12	3005	16.923	.309
	PM10outdoor 33	38.49	3005	13.848	.253

ตาราง ง.25 ผลสถิติวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูง12.8 เมตร กับ 124.9 เมตรบริเวณภายนอกอาคารที่พักอาศัย

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	PM10 outdoor ล่าง & PM10outdoor 33	3005	.735	.000

ตาราง ง.26 ผลการทดสอบฝุ่น PM_{10} ที่ระดับความสูง12.8 เมตร กับ 124.9 เมตรบริเวณภายนอกอาคารที่พักอาศัย

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
					95% Confidence Interval of the Difference				
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper			
Pair 1	PM10 outdoor ล่าง - PM10outdoor 33	5.626	11.571	.211	5.212	6.040	26.653	3004	.000

ตาราง ง.27 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ฝุ่น PM_{10} ที่เก็บโดยใช้เครื่องcascade impactor กับ เครื่องAeroqual series 500

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	cascade impactor	45.556	23	18.399	3.836
	Aeroqual series 500	43.804	23	17.278	3.602

ตาราง ง.28 ผลสถิติวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของฝุ่น PM_{10} ที่เก็บโดยใช้เครื่องcascade impactor กับ เครื่องAeroqual series 500

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	cascade impactor & Aeroqual series 500	23	.906	.000

ตาราง ง.29 ผลการทดสอบฝุ่น PM_{10} ที่เก็บโดยใช้เครื่องcascade impactor กับ เครื่อง Aeroqual series 500

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
					95% Confidence Interval of the Difference				
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper			
Pair 1	cascade impactor - Aeroqual series 500	1.75231	7.82335	1.63128	-1.63075	5.13538	1.074	22	.294

ตาราง ง.30 ผลสถิติวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของฝุ่น PM_{10} เก็บโดยใช้เครื่องcascade impactor กับ เครื่องAeroqual series 500

Correlations

		PM10	realtime
PM10	Pearson Correlation	1	.904**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	33	31
realtime	Pearson Correlation	.904**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	31	31

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

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ ณัฏฐนีณา เนตร์นรินทร์

เกิดวันที่ 10 ตุลาคม พ.ศ. 2540

อีเมลล์ chabtc@gmail.com

เบอร์โทรศัพท์ +6690 919 2244

ที่อยู่ปัจจุบัน 9/1115 ชั้น 19 ตึก บี Ideo Mix สุขุมวิท 103
เขต บางนา แขวง บางนา กรุงเทพมหานคร 10260