

การสอบเทียบเซ็นเซอร์วัดสารมลพิษทางอากาศเพื่อทดสอบ
ประสิทธิภาพของระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ

PERFORMANCE EVALUATION OF OFF-THE-SHELF AIR
POLLUTION SENSORS IN AIR QUALITY SENSORS
SYSTEMS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2566 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PERFORMANCE EVALUATION OF OFF-THE-SHELF
AIR POLLUTION SENSORS IN AIR QUALITY SENSORS
SYSTEMS







PORNCHITA MUNKRUEA
PHATCHARAPHON CHINNAPHAN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|----------------------|--|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | การสอบเทียบเซ็นเซอร์วัดสารมลพิษทางอากาศเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ Performance Evaluation of Off-the-Shelf Air Pollution Sensors in Air Quality Sensors Systems |
| ชื่อนักศึกษา | นางสาวพรชิตา มั่นเครือ รหัสนักศึกษา 63050337 นางสาวภัชชกรณีย์ ชินพันธ์ รหัสนักศึกษา 63050342 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) |
| ภาควิชา | เคมี |
| ปีการศึกษา | 2566 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ดร. ปิยาภรณ์ ศรีเจริญเวช |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | ดร. ธีรชาติ โสรัตน์ |

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2566

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|--|--|
| รศ.ดร. สุวรรณีย์ จรรยาพูน ประธานกรรมการ |  |
| ผศ.ดร. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการ |  |
| ดร. ปิยาภรณ์ ศรีเจริญเวช กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา |  |
| ดร. ธีรชาติ โสรัตน์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุแต่แปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|----------------------|--|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | การสอบเทียบเซ็นเซอร์วัดสารมลพิษทางอากาศเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ |
| ชื่อนักศึกษา | นางสาวพรชิตา มั่นเครือ 63050337 นางสาวภัชชราภรณ์ ชินพันธ์ 63050342 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) |
| ภาควิชา | เคมี |
| คณะ | วิทยาศาสตร์ |
| มหาวิทยาลัย | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) |
| ปีการศึกษา | 2566 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ดร.ปิยาภรณ์ ศรีเจริญเวช |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | ดร.ธีรชาติ โสรัตน์ |

บทคัดย่อ

การวิจัยทำการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพอากาศหรือเซ็นเซอร์ต้นทุนต่ำ (Low-cost sensors) ที่ประกอบขึ้นเองเพื่อใช้ตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยทำเปรียบเทียบค่าที่ตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์กับวิธีการตรวจวัดมาตรฐาน (Federal Reference Method, FRM) หรือวิธีเทียบเท่ามาตรฐาน (Federal Equivalent Method, FEM) การตรวจวัดปริมาณสารมลพิษทางอากาศภายนอกอาคาร 3 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (Fine particulate matter, PM_{2.5}) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (Coarse particulate matter, PM₁₀) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ดำเนินการที่บริเวณทางเข้า-ออก คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตั้งแต่วันที่ 24 มกราคม ถึง 29 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567 ผู้วิจัยพบว่าปริมาณฝุ่น PM_{2.5} และ PM₁₀ ที่แปลงมาจากค่าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ PMS7003 (Plantower) มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0 – 21.32% และ 14.46 – 166.14% ตามลำดับ จากปริมาณฝุ่นที่ตรวจวัดด้วยวิธีมาตรฐาน ซึ่งความคลาดเคลื่อนของค่าที่ตรวจวัดได้ของฝุ่นละออง PM_{2.5} และ PM₁₀ นั้นอาจเกิดจากกลไกในการตรวจวัดปริมาณฝุ่นของเซ็นเซอร์ที่แตกต่างจากวิธีมาตรฐาน โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้เซ็นเซอร์ฝุ่นมีประสิทธิภาพลดลงนั้น ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศ เมื่อทำการวิเคราะห์ไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธี Griess-Saltzman เทียบกับการตรวจวัดด้วยชุดเซ็นเซอร์ ULPSM-NO2 968-047 (SPEC Sensors) พบความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 173.76 – 15546.43% ซึ่งเป็นผลมาจากการตั้งค่าเริ่มต้นของอุปกรณ์ (Set Zero) ของเครื่องมือเซ็นเซอร์ในบริเวณที่ยังคงมีการปนเปื้อนไนโตรเจนไดออกไซด์ ทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อยู่ในตำแหน่งของเอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซ็นเซอร์ PMS7003 (Plan-tower) มีความเสถียรตลอดระยะเวลาการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง แต่เซ็นเซอร์ ULPSM-NO2 968-047 (SPEC Sensors) จะไม่เสถียรในช่วงแรกของการใช้งานประมาณ 1 - 2 ชั่วโมง

คำสำคัญ : ไนโตรเจนไดออกไซด์, ฝุ่นละออง, PM_{2.5}, PM₁₀, เซ็นเซอร์, คุณภาพอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|----------------------|--|----------|
| Title | Performance Evaluation of Off-the-Shelf Air Pollution Sensors in Air Quality Sensors Systems | |
| Students | Miss Pornchita Munkruea | 63050337 |
| | Miss Phatcharaphon Chinnaphan | 63050342 |
| Degree | Bachelor of Science (Environmental Chemistry) | |
| Department | Chemistry | |
| School | Science | |
| University | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) | |
| Academic Year | 2024 | |
| Advisor | Dr. Piyaporn Sricharoenvech | |
| Co-advisor | Dr. Teerachart Soratana | |

Abstract

This research evaluated the performance of low-cost off-the-shelf air quality measuring devices (i.e., sensors) in air quality measurement by comparing the readings from the sensors to the measurements by the federal reference method (FRM), or federal equivalent method (FEM). We performed the data collection of 3 types of outdoor air pollutants: fine particulate matter aerodynamically smaller than 2.5 microns ($PM_{2.5}$), coarse particulate matter aerodynamically smaller than 10 microns (PM_{10}) and nitrogen dioxide (NO_2) at the entrance of Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, from January 24 to February 29, 2024. The mass of $PM_{2.5}$ and PM_{10} converted from the readings of the PMS7003 (Plantower) sensor deviated from the FRM by 0 to 21.32% and 14.46 to 166.14%, respectively. These inaccuracies might be caused by differences in measurement mechanisms between the three methods as the performance of the sensors is found to be affected by temperature, relative humidity and PM concentration. Comparing the results of the Greiss-Saltzman method for ambient nitrogen dioxide concentration to the readings from ULPSM-NO2 968-047 (SPEC Sensors), we observed abnormally high levels of inaccuracy (173.76 - 15546.43%) between these two methods due to zero setting of the sensor in areas where NO_2 contamination was still present. Based on observation of the concentration readings from the two sensors used in this research, the PMS7003 (Plantower) sensor was stable throughout the 24-hour operation period, but the ULPSM-NO2 968-047 (SPEC Sensors) sensor was unstable during the first one or two hours.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keywords : Nitrogen dioxide, Particulate matter, PM_{2.5}, PM₁₀, Sensor, Air quality



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่อง “การสอบเทียบเซ็นเซอร์วัดสารมลพิษทางอากาศเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ” สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก ดร.ปิยาภรณ์ ศรีเจริญเวช อาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร.ธีรชาติ ไสรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ ข้อคิด ข้อเสนอแนะ และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ และ ศูนย์เครื่องมือภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยในครั้งนี้ จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

พรชิตา มั่นเครือ
ภัชรภรณ์ ชินพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

| | |
|--|----------|
| บทคัดย่อ..... | ก |
| Abstract..... | ค |
| กิตติกรรมประกาศ..... | จ |
| สารบัญ..... | ฉ |
| สารบัญตาราง..... | ณ |
| สารบัญรูป..... | ญ |
| คำย่อ/สัญลักษณ์..... | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 3 |
| 2.1 ฝุ่นละออง (Particulate Matter)..... | 3 |
| 2.1.1 ความหมายของฝุ่นละออง..... | 3 |
| 2.1.2 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง..... | 4 |
| 2.1.3 สถานการณ์ปัญหาฝุ่นละอองในประเทศไทย..... | 4 |
| 2.1.4 การตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศ..... | 4 |
| 2.2 ไนโตรเจนไดออกไซด์ (nitrogen dioxide, NO ₂)..... | 9 |
| 2.2.1 กลไกการก่อโรคและผลกระทบต่อสุขภาพ..... | 8 |
| 2.2.2 สถานการณ์ไนโตรเจนไดออกไซด์ในประเทศไทย..... | 9 |
| 2.2.3 การตรวจวัดปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ..... | 9 |
| 2.3 ประเภทของเซ็นเซอร์ตรวจวัด..... | 9 |
| 2.3.1 Catalytic Sensors..... | 9 |
| 2.3.2 Electrochemical Sensor..... | 10 |
| 2.3.3 Photoionization Sensors..... | 10 |
| 2.3.4 Infrared Sensors/Optical Sensors..... | 10 |
| 2.3.5 Metal Oxide (MO _x) Sensors/Chemical Sensors..... | 10 |
| 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 11 |
| 2.4.1 ปัญหาฝุ่นละอองและปัจจัยที่มีผลต่อระดับฝุ่นละออง..... | 11 |
| 2.4.2 การศึกษาปริมาณฝุ่นละอองในอากาศด้วยเซ็นเซอร์..... | 11 |
| 2.4.3 การสอบเทียบเซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก..... | 12 |
| 2.4.4 วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจนไดออกไซด์..... | 13 |
| 2.4.5 การสอบเทียบเซ็นเซอร์ตรวจจับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์..... | 14 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | |
|---|----|
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย | 15 |
| 3.1 สารเคมี | 15 |
| 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ | 16 |
| 3.2.1 อุปกรณ์ | 16 |
| 3.2.2 เครื่องมือ | 16 |
| 3.3 การเตรียมสาร | 17 |
| 3.3.1 สารละลายสต็อก NEDH เข้มข้น 0.1% w/v | 17 |
| 3.3.2 สารละลายสำหรับดูดซึมนไนโตรเจนไดออกไซด์ | 17 |
| 3.3.3 สารละลายสต็อกไนไตรท์ (NO ₂ ⁻) | 17 |
| 3.4 การเตรียมกระดาษกรองสำหรับการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง | 17 |
| 3.5 การตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในบรรยากาศทั่วไป | 18 |
| 3.5.1 ขั้นตอนการตั้งค่าเครื่องก่อนใช้งานเครื่องเก็บฝุ่น PM _{2.5} | 18 |
| 3.5.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน | 20 |
| 3.6 การตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM ₁₀) ในบรรยากาศทั่วไป | 20 |
| 3.6.1 การปรับเทียบอัตราการไหล (Q) ด้วยอุปกรณ์ปรับเทียบอัตราการไหล (Orifice Calibrator, Manometer) | 20 |
| 3.6.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน | 22 |
| 3.7 การตรวจวัดความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂) ด้วยวิธี Griess-Saltzman (ASTM D1607-91) | 22 |
| 3.7.1 การทำกราฟสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ (NO ₂ ⁻ absorption calibration curve) | 22 |
| 3.7.2 การเก็บตัวอย่างไนโตรเจนไดออกไซด์ | 23 |
| 3.8 เซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ประกอบขึ้นเอง | 24 |
| 3.8.1 PMS7003 | 24 |
| 3.8.2 ULPSM-NO ₂ 968-047 | 25 |
| 3.9 การวิเคราะห์ข้อมูล | 27 |
| 3.9.1 ความแม่นยำ (Accuracy) | 27 |
| 3.9.2 ความเสถียร (Stability) ของชุดเซ็นเซอร์ที่ประกอบขึ้นเอง | 27 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล | 27 |
| 4.1 คำนวณน้ำหนักของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5}) ในบรรยากาศทั่วไป | 28 |
| 4.2 คำนวณน้ำหนักของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM ₁₀) ในบรรยากาศทั่วไป | 34 |
| 4.3 ค่าความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศทั่วไป | 36 |
| 4.4 ความเสถียร | 35 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | |
|---|----|
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 39 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย | 39 |
| 5.1.1 ผลตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง ขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน | 39 |
| 5.1.2 ผลตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง ขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน | 39 |
| 5.1.3 ผลตรวจวัดปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ | 39 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 39 |
| 5.2.1 จำนวนตัวอย่าง..... | 39 |
| 5.2.2 ความเที่ยง (Precision) | 40 |
| 5.2.3 การติดตั้งอุปกรณ์อื่นๆ เพิ่มเติม | 40 |
| เอกสารอ้างอิง | 44 |
| ภาคผนวก ก..... | 49 |
| ภาคผนวก ข..... | 58 |
| ภาคผนวก ค..... | 60 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 2.1 มาตรฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศทั่วไปของประเทศไทย | 4 |
| ตารางที่ 3.1 PM ₁₀ High Volume Air Sampler Calibration Data Sheet..... | 22 |
| ตารางที่ 4.1 น้ำหนักของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5}) จากวิธีมาตรฐานเทียบกับ น้ำหนักฝุ่นจากเซ็นเซอร์ | 28 |
| ตารางที่ 4.2 น้ำหนักของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM ₁₀) จากวิธีมาตรฐานเทียบกับ น้ำหนักฝุ่นจากเซ็นเซอร์ | 31 |
| ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศจากวิธีเทียบเท่ามาตรฐานเทียบกับความเข้มข้นจากเซ็นเซอร์..... | 33 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 เครื่องเก็บตัวอย่าง PM ₁₀ แบบปริมาตรสูง (PM ₁₀ High-volume air sampler) | 6 |
| รูปที่ 2.2 เครื่องเก็บตัวอย่าง PM _{2.5} แบบปริมาตรต่ำ (PM _{2.5} Low-volume air sampler) | 7 |
| รูปที่ 2.3 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) | 7 |
| รูปที่ 2.4 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล (Personal air pump) | 8 |
| รูปที่ 3.1 การเตรียมกระดาดากรองสำหรับการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง | 18 |
| รูปที่ 3.2 แผนผังองค์ประกอบภาพในเซ็นเซอร์ตรวจวัดมลพิษอากาศที่ประกอบขึ้นเอง | 24 |
| รูปที่ 3.3 เซ็นเซอร์ PMS7003 | 25 |
| รูปที่ 3.4 เซ็นเซอร์ ULPSM-NO2 968-04 | 25 |
| รูปที่ 4.1 น้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนจากวิธีมาตรฐานเทียบกับน้ำหนักฝุ่นจาก เซ็นเซอร์ | 30 |
| รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5}) จากวิธีมาตรฐานเทียบกับความ เข้มข้นฝุ่นจากเซ็นเซอร์ | 30 |
| รูปที่ 4.3 น้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนจากวิธีมาตรฐานเทียบกับน้ำหนักฝุ่นจากเซ็นเซอร์ | 32 |
| รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM ₁₀) จากวิธีมาตรฐานเทียบกับความ เข้มข้นฝุ่นจากเซ็นเซอร์ | 32 |
| รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากวิธีเทียบเท่ามาตรฐานเทียบกับความเข้มข้นจาก เซ็นเซอร์ | 34 |
| รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์จากวิธีเทียบเท่ามาตรฐานเทียบกับความเข้มข้นจาก เซ็นเซอร์ | 34 |
| รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5}) ตลอด ระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2567 | 35 |
| รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5}) ตลอด ระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2567 | 36 |
| รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM ₁₀) ตลอด ระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2567 | 37 |
| รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM ₁₀) ตลอด ระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2567 | 37 |
| รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂) ตลอดระยะเวลาเดิน ระบบของวันที่ 30 มกราคม 2567 | 38 |
| รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂) ตลอดระยะเวลาเดิน ระบบของวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2567 | 38 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

| คำย่อ/สัญลักษณ์ | คำอธิบาย |
|----------------------|-----------------------------------|
| มค.ก./ลบ.ม. | ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร |
| ลบ.ม. | ลูกบาศก์เมตร |
| ppb | ส่วนในพันล้านส่วน |
| ppm | ส่วนในล้านส่วน |
| LPM | ลิตรต่อนาที |
| in H ₂ O | ในน้ำ |
| T _a | อุณหภูมิในบรรยากาศขณะปรับเทียบ |
| °C | องศาเซลเซียส |
| P _a | ความกดอากาศในบรรยากาศขณะปรับเทียบ |
| mmHg | มิลลิเมตรปรอท |
| m ³ /min | ลูกบาศก์เมตรต่อนาที |
| I | Recorder response |
| Ft ³ /min | ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที |
| I _c | Actual correction |
| PM ₁ | ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 1 ไมครอน |
| PM _{2.5} | ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน |
| PM ₁₀ | ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน |
| NO ₂ | ไนโตรเจนไดออกไซด์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหามลภาวะทางอากาศ (Air pollution) เป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่เมืองใหญ่ๆ ทั่วโลกกำลังประสบอยู่ในขณะนี้ มลภาวะทางอากาศเกิดจากการมีอยู่ของมลสารในอากาศที่สำคัญ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbons) และฝุ่นละออง (Particulate Matter, PM) ในปริมาณมากจนเกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะตามธรรมชาติของชั้นบรรยากาศ อันเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตด้านเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว การอพยพย้ายถิ่นฐานจากชนบทสู่เมืองทำให้ความหนาแน่นของประชากรในเมืองเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการขยายตัวของระบบคมนาคมขนส่งและการก่อสร้างระบบสาธารณูปโภคเพื่อรองรับการขยายตัวในเมืองอย่างต่อเนื่อง กิจกรรมต่างๆ ของประชากรมนุษย์ที่หนาแน่นขึ้นในบริเวณเมืองเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน โดยเฉพาะฝุ่นละออง (PM) ซึ่งสามารถผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างและถูกสะสมได้ เป็นผลให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจและโรคปอด ก่อให้เกิดการระคายเคืองและทำลายเนื้อเยื่อปอดเกิดเป็นพังผืด อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สิ่งก่อสร้างและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ อีกด้วย

ปัจจุบันเทคโนโลยีการตรวจวัดคุณภาพอากาศได้มีการพัฒนาขึ้นส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณสารมลพิษในราคาที่ย่อมเยาเพื่อตอบสนองความต้องการของประชากรในการติดตามปริมาณสารมลพิษในอากาศ อุปกรณ์ชิ้นส่วนนี้มักอยู่ในรูปของเซ็นเซอร์ (Electronic sensor) ที่สามารถรายงานผลแบบประมวลทันที (Real-time processing) ซึ่งต้องนำไปประกอบเข้ากับระบบไฟฟ้าเพื่อให้เป็นระบบ (Module) ของเซ็นเซอร์ที่สามารถดำเนินระบบตรวจวัดปริมาณสารมลพิษได้ตามการตั้งค่าที่ผู้ใช้ได้ตั้งค่าเอาไว้

เหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ โดยคณะผู้วิจัยมุ่งเน้นไปที่การศึกษาประสิทธิภาพของการตรวจวัดปริมาณสารมลพิษทางอากาศภายนอกอาคาร 3 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (Fine particulate matter, PM_{2.5}) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (Coarse particulate matter, PM₁₀) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ด้วยระบบเซ็นเซอร์ต้นทุนต่ำที่ทำการประกอบขึ้นเองจากชุดเซ็นเซอร์ที่มีขายตามท้องตลาด (Off-the-shelf sensor module) ซึ่งผลที่ได้จะนำไปสู่การนำข้อมูลมาใช้ในการพัฒนาชุดอุปกรณ์และการเลือกใช้ชุดเซ็นเซอร์ให้มีความแม่นยำมากขึ้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ประกอบขึ้นเอง
2. การสอบเทียบเซ็นเซอร์ฝุ่น $PM_{2.5}$ และฝุ่น PM_{10} โดยเทียบกับวิธีมาตรฐาน และการสอบเทียบเซ็นเซอร์ไนโตรเจนไดออกไซด์โดยเทียบกับวิธีเทียบเท่ามาตรฐาน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดสารมลพิษในอากาศและเดินระบบควบคู่กับการเก็บตัวอย่างอากาศจริงจากบริเวณพื้นที่ทางเข้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตั้งแต่วันที่ 24 มกราคม ถึง 29 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567 โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 24 ตัวอย่าง
2. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการตรวจวัดสารมลพิษในอากาศของชุดอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ประกอบเอง ครอบคลุม 2 หัวข้อ ได้แก่ ความแม่นยำ (Accuracy) และ ความเสถียร (Stability)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงประสิทธิภาพในการตรวจวัดสารมลพิษในอากาศของชุดอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ประกอบขึ้นเอง
2. ลดค่าใช้จ่ายการวิเคราะห์ที่ต้องใช้เครื่องมืออื่นๆ ที่มีราคาแพง และใช้เวลาวิเคราะห์นาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฝุ่นละออง (Particulate Matter)

2.1.1 ความหมายของฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง (Particulate matter, PM) หมายถึง อนุภาคของแข็ง และหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศบางชนิดมีขนาดใหญ่และสีดำจนมองไม่เห็นเป็นเขม่าและควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมากจนมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศโดยทั่วไปมีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน (กรมอนามัย, 2558) และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ สัตว์ พืชและเกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือน ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชน บดบังวิสัยทัศน์ ทำให้เกิดอุปสรรคในการคมนาคมขนส่ง (กรมอนามัย, 2558) นานาประเทศจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศขึ้น สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency, USEPA) ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองรวม (Total suspended particle, TSP) และฝุ่นละอองหยาบซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (Coarse particulate matter, PM₁₀) แต่เนื่องจากการศึกษาวิจัยพบว่าฝุ่นละอองหยาบ PM₁₀ นั้นเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นละอองรวม TSP เพราะสามารถผ่านเข้าไปในระบบทางเดินหายใจส่วนกลาง (กรมอนามัย, 2558) USEPA จึงยกเลิกค่ามาตรฐานฝุ่นละอองรวม TSP และกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กเป็น 2 ชนิด คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (Coarse particulate matter, PM₁₀) และฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (Fine particulate matter, PM_{2.5}) โดยมีคำจำกัดความดังนี้

- ฝุ่นละอองหยาบ (Coarse particulate matter, PM₁₀) หมายถึง อนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic diameter) ของอนุภาคชนิดนี้อยู่ในช่วง 2.5 ถึง 10 ไมครอน และมักมีแหล่งกำเนิดจากการจราจรบนท้องถนน โรงโม่หิน โรงงานปูนซีเมนต์ (กรมอนามัย, 2558)
- ฝุ่นละอองละเอียด (Fine particulate matter, PM_{2.5}) หมายถึง อนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคชนิดนี้เล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองละเอียดมักมีแหล่งกำเนิดจากควันไอเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากการหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน (กรมอนามัย, 2558)

ในการเฝ้าระวังปัญหามลพิษอากาศจากฝุ่นละออง ประเทศไทยได้กำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2538) เรื่อง “กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป” และ ประกาศคณะกรรมการ

สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง “กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในบรรยากาศโดยทั่วไป” (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2538) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศทั่วไปของประเทศไทย

| ชนิดของสารมลพิษอากาศ | ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา | ระดับมาตรฐาน |
|---|----------------------------|--------------------------|
| ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM ₁₀) | 24 ชั่วโมง | ไม่เกิน 120 มค.ก./ลบ.ม. |
| | 1 ปี | ไม่เกิน 50 มค.ก./ลบ.ม. |
| ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5ไมครอน (PM _{2.5}) | 24 ชั่วโมง | ไม่เกิน 37.5 มค.ก./ลบ.ม. |
| | 1 ปี | ไม่เกิน 15 มค.ก./ลบ.ม. |
| ฝุ่นละอองรวม (TSP) | 24 ชั่วโมง | ไม่เกิน 330 มค.ก./ลบ.ม. |
| | 1 ปี | ไม่เกิน 100 มค.ก./ลบ.ม. |

2.1.2 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง

แหล่งกำเนิดมลพิษฝุ่นละอองประกอบด้วยแหล่งกำเนิดธรรมชาติและแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ แหล่งกำเนิดธรรมชาติ ได้แก่ ฝุ่นละอองดินฟุ้งปลิวจากพื้นดินและพื้นที่เกษตรกรรม ไฟป่า เปลือกทะเล ภูเขาไฟปะทุ และฝุ่นฟุ้งปลิวจากทะเลทรายซึ่งมักจะเป็นฝุ่นรวมที่มีขนาดใหญ่ แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมมนุษย์ ได้แก่ การใช้เชื้อเพลิง การจราจร ไอเสียรถยนต์ น้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ ควันดำของรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน และฝุ่นละอองฟุ้งปลิวจากถนนโดยเฉพาะถนนดินลูกรัง โรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า การก่อสร้าง การเผาชีวมวล (รวมถึงการเผาขยะมูลฝอยและการเผาในที่โล่ง) และการเกษตรกรรม ซึ่งมักจะเป็นฝุ่นขนาดเล็ก (PM_{2.5} และ PM₁₀) ส่วนฝุ่นที่เกิดโดยอ้อมจากกิจกรรมของมนุษย์จัดเป็นฝุ่นทุติยภูมิ (secondary aerosols) ซึ่งมีขนาดเล็กมาก (Ultra-fine particle) และเกิดจากการรวมของก๊าซมลพิษผ่านกระบวนการรวมตัวของสาร (Coagulation) เช่น แอมโมเนียมไนเตรตและแอมโมเนียมซัลเฟต (สมพงษ์, 2563)

2.1.3 สถานการณ์ปัญหาฝุ่นละอองในประเทศไทย

ปัจจุบัน ปัญหาฝุ่นละอองเป็นหนึ่งในปัญหามลพิษหลักของประเทศไทยเนื่องจากความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศในเมืองใหญ่หลายเมืองมีค่าสูงในระดับที่อาจก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพอนามัยกับประชาชน ฝุ่นละอองขนาดเล็กจะมีความเข้มข้นมากขึ้นในช่วงปลายฤดูหนาวถึงต้นฤดูแล้ง (มกราคม – มีนาคม) เนื่องจากความกดอากาศสูงที่แผ่ลงมาปกคลุมภาคเหนือมีกำลังอ่อนลง ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีกำลังอ่อนลง หรือมีลมสงบ ประกอบกับการผกผันกลับของอุณหภูมิในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เกิดสภาพอากาศร้อนด้านบนกดทับอากาศเย็นเหมือนมีฝาครอบ การไหลเวียนและถ่ายเทอากาศไม่ดี ฝุ่นควันจึงสะสมในอากาศ (กัมพล, นิพนธ์ และสุทธิพัชร, 2562)

สำหรับเขตเมืองใหญ่ๆ เช่น กรุงเทพฯ สาเหตุที่ทำให้เกิด $PM_{2.5}$ มากที่สุด คือ ไอเสียจากรถยนต์ผนวกกับการจราจรที่ติดขัด โดยเฉพาะจากพาหนะเครื่องยนต์ดีเซลที่มีกระบวนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดเขม่าและฝุ่นควันมาก รองลงมา คือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในโรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม การเผาเศษขยะ และกิจกรรมในครัวเรือน (กัมพล, นิพนธ์ และสุทธิพัชร, 2562)

2.1.4 การตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศ

2.1.4.1 การตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองหยาบ (PM_{10})

การตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองหยาบ (PM_{10}) ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2538) เรื่อง “กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป” ระบุวิธีการตรวจวัดอ้างอิง (Federal reference method, FRM) คือ วิธีกราวิเมตริกไฮโวลุ่ม (Gravimetric high volume method) (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2538) โดยการใช้เครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} แบบปริมาตรสูง (PM_{10} High volume air sampler) ดูดตัวอย่างอากาศจำนวนหนึ่งที่ทราบปริมาตรแน่นอนผ่านกระดาศกรองที่ทราบน้ำหนักแน่นอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วจึงชั่งน้ำหนักกระดาศกรองหลังการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อหาน้ำหนักสุทธิของฝุ่นละออง (สุริรัตน์, 2547)

ในกรณีที่ไม่สามารถใช้วิธีตรวจวัดอ้างอิงได้ ปริมาณฝุ่นละอองหยาบ PM_{10} สามารถตรวจวัดได้ด้วยวิธีตรวจวัดเทียบเท่า (Federal equivalent method, FEM) (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2538) ได้แก่

- 1) วิธีเบต้าเรดิเอชันแอทเทนนูเอชัน (Beta radiation attenuation)
- 2) วิธีเทปเปอร์อีลิเมนต์ออสซิลเลติงไมโครบาลานซ์ (Tapered Element Oscillating Microbalance, TEOM)
- 3) วิธีการกระเจิงของแสง (Light scattering)
- 4) วิธีเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบไดโคโตมัส (Dichotomous air sampler)

2.1.4.2 การตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองละเอียด ($PM_{2.5}$)

การตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองละเอียด ($PM_{2.5}$) ตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง “เครื่องวัดและวิธีตรวจวัดค่าเฉลี่ยของก๊าซหรือฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยทั่วไประบบอื่นหรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ” ได้ระบุวิธีการตรวจวัดอ้างอิง (Federal reference method, FRM) คือ วิธีกราวิเมตริก (Gravimetric method) (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2538) ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ แบบปริมาตรต่ำ ($PM_{2.5}$ low-volume air sampler) หลักการ คือ ตัวอย่างอากาศจะถูกดึงเข้าสู่ทางเข้าที่ออกแบบมาเพื่อคัดแยกฝุ่นละอองที่มีขนาดมากกว่า 10 ไมครอน ออก

จากตัวอย่างอากาศ เมื่อตัวอย่างที่มีฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ผ่าน WINS Impactor ฝุ่นขนาดใหญ่ดังกล่าวจะถูกคัดแยกออกจากฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ส่วนฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน จะตกลงสู่กระดาดกรองที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นจึงนำกระดาดกรองหลังการเก็บตัวอย่างอากาศมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักสุทธิของฝุ่นละออง (กรองแก้ว, กลิ่นสุคนธ์ และ สุวรรณี , 2563)

สำหรับประเทศไทย ในกรณีที่ไม่สามารถใช้วิธีตรวจวัดอ้างอิงได้ ปริมาณฝุ่นละอองละเอียด PM_{2.5} สามารถตรวจวัดได้ด้วยวิธีตรวจวัดเทียบเท่า (Federal equivalent method, FEM) โดยมีวิธีตรวจวัดเทียบเท่าแบบเดียวกับวิธีตรวจวัดเทียบเท่าของ PM₁₀ (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2538)

2.1.4.3 กระดาดกรองสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละออง

การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ด้วยวิธีการวิเคราะห์อากาศด้วยกระดาดกรองที่ทราบน้ำหนักแน่นอน กระดาดกรองที่สามารถใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองมีหลายประเภท เช่น กระดาดกรอง PVC กระดาดกรองเทฟลอน กระดาดกรองใยหิน (Quartz fiber) โดยการเลือกประเภทของกระดาดกรองขึ้นกับลักษณะงานแต่ละชนิด โดยคุณสมบัติที่สำคัญของกระดาดกรองที่ต้องคำนึงก่อนการเลือกชนิด ประกอบด้วย ขนาดของรูพรุน ความสามารถในการกรองอนุภาค อัตราการไหลของสารที่ต้องการกรอง ประสิทธิภาพในการกรอง และความจุของกระดาดกรอง (บริษัท อีสไชนเอนทิฟิค จำกัด, ม.ป.ป.)

กระดาดกรองใยแก้ว (Glass filter) เป็นกระดาดกรองที่ผลิตจากใยแก้วบริสุทธิ์ปราศจากสารปนเปื้อน ใช้การกรองงานด้านอากาศ กรองฝุ่น กระดาดกรองใยแก้วมีการกรองที่รวดเร็วและมีการกักเก็บอนุภาคสูง มีความทนทานทางเคมีต่อตัวทำละลายอินทรีย์และอนินทรีย์สูง โดยมีหลายประเภท ได้แก่ GF1 (GF/A) , GF 2 (GF/B) , GF 3 (GF/C) , GF 4 (GF/D) , GF 5 (GF/F) , GF 6 (934-AH) (บริษัท มาเทอร์โบนา จำกัด, ม.ป.ป.)

2.1.4.4 เครื่องเก็บตัวอย่าง PM₁₀ แบบปริมาตรสูง (PM₁₀ High-volume air sampler)

เครื่องเก็บตัวอย่าง PM₁₀ แบบปริมาตรสูง ที่สามารถเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอน (TSP) และ 10 ไมครอน (PM₁₀) ลงมา โดยมีอุปกรณ์ ได้แก่ ชุดหัวคัดฝุ่นขนาด 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมครอน, แปร่งถ่านสำหรับใช้งานมอเตอร์, กระจาดขกรฟบันทึกอัตราการไหล, ใบรับรองการทวนสอบ/สอบเทียบตามมาตรฐานอากาศ และกล่องสำหรับใส่ชุดอุปกรณ์ปรับเทียบ (วิชัย, ม.ป.ป)



รูปที่ 2.1 เครื่องเก็บตัวอย่าง PM₁₀ แบบปริมาตรสูง (PM₁₀ High-volume air sampler)

2.1.4.5 เครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} แบบปริมาตรต่ำ (PM_{2.5} Low-volume air sampler)

เครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} แบบปริมาตรต่ำ เป็นระบบเก็บตัวอย่างที่ทันสมัยที่สุด สามารถเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอน (TSP) PM₁₀ และ PM_{2.5} โดยมีอุปกรณ์ ได้แก่ Inlet, Down Tube, PM_{2.5} Wins Impactor, Filter Holder, Flow System, Temperature measurement, Pressure measurement และ Unit control (บริษัท ไคเนติกส์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด, ม.ป.ป.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.2 เครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} แบบปริมาตรต่ำ (PM_{2.5} Low-volume air sampler)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.6 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

เครื่องมือที่วัดการดูดกลืนแสงของสารในช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเล็ต และช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นได้ เรียกว่ายูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) โดยมี ส่วนประกอบหลักได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง, ส่วนเลือกความยาวคลื่น, ภาชนะใส่สาร, ตัวตรวจจับสัญญาณ และ ส่วนบันทึกและแปรผลสัญญาณ (สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู มหาวิทยาลัยมหิดล, ม.ป.ป.)



รูปที่ 2.3 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

2.1.4.7 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล (Personal air pump)

ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล หรือ Personal Air Sampling Pump ที่จำเป็นต้องใช้ ร่วมกับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างประเภทอื่นๆ เช่น หลอดเก็บตัวอย่าง (Sorbent Tube) ถุงเก็บตัวอย่าง (Samplings Bag) อิมพิงเจอร์ (Impingers) สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซและไอระเหย และกระดาษกรอง (Filter) สำหรับเก็บตัวอย่างอนุภาคและฝุ่นต่างๆ มีช่วงอัตราการไหลในช่วง 5 – 5000 มิลลิลิตรต่อนาที และมีการทำงานชนิดอัตราการไหลคงที่ ปัจจุบันปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศมีการออกแบบมาให้มีความทันสมัยมากขึ้น และตอบโจทย์การใช้งานได้อย่างยอดเยี่ยม มีขนาดกะทัดรัด และพกพาสะดวก (Instrument Asia, ม.ป.ป.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู มหาวิทยาลัยมหิดล โดยขึ้นด้านการค้า
รูปที่ 2.4 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล (Personal air pump)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen Dioxide, NO₂)

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ในบรรยากาศ เกิดจากการสันดาปของเครื่องยนต์ดีเซล การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล ไนโตรเจนไดออกไซด์พบได้มากในบริเวณกรุงเทพฯ และปริมณฑล เนื่องจากมีการจราจรที่ติดขัด มีการใช้รถยนต์ค่อนข้างมาก และสาเหตุที่สำคัญ คือ การใช้น้ำมันมาตรฐานยูโร 1 - 3 ที่ทั่วโลกมีการยกเลิกการใช้ไปแล้ว แต่ในประเทศไทยยังมีการนำมาใช้อยู่ ทำให้เกิด NO_x ที่เป็นสารก่อมะเร็งเนื่องจากการสันดาปของเครื่องยนต์ จากการติดตามตรวจสอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศในกรุงเทพฯ พบว่าในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา ค่าเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ยรายชั่วโมงยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นปี พ.ศ. 2562 ที่มีค่าเกินมาตรฐาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2564)

ปัจจุบันน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศไทยอยู่ในระดับเทียบเท่ามาตรฐานยูโร 4 คือ มีปริมาณกำมะถันในเนื้อน้ำมัน ทั้งดีเซลและเบนซิน อยู่ในระดับไม่เกิน 50 ppm และจะพัฒนาเพื่อให้เทียบเท่ามาตรฐานยูโร 5 หรือมีปริมาณกำมะถันในเนื้อน้ำมันไม่เกิน 10 ppm การปรับปรุงการปล่อยมลพิษของโรงงานต่างๆ และปรับปรุงค่ามาตรฐานการปล่อยควันดำรถยนต์ดีเซลจากร้อยละ 45 เป็นร้อยละ 30 เพื่อลดระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2564)

2.2.1 กลไกการก่อโรคและผลกระทบต่อสุขภาพ

เมื่อหายใจนำไนโตรเจนไดออกไซด์เข้าสู่ร่างกาย ไนโตรเจนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำในทางเดินหายใจและปอด ได้เป็นกรดไนตริก (Nitric acid, HNO₃) และกรดไนตริก (Nitrous acid, HNO₂) เกิดเป็นอนุมูลอิสระ (Radicals) ที่ทำลายเซลล์ปอดและเซลล์เยื่อทางเดินหายใจ ก่อให้เกิดภาวะหลอดลมอักเสบและปอดอักเสบได้ อีกทั้งไนโตรเจนไดออกไซด์ยังมีความสามารถจับกับฮีโมโกลบิน เมื่อเข้าสู่กระแสเลือดจะถูกเปลี่ยนเป็นเมทฮีโมโกลบิน (Methemoglobin) ไนไตรท์ (NO₂) และไนเตรต (NO₃) ซึ่งขัดขวางการขนส่งออกซิเจนไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย ถ้าหากมีปริมาณปนเปื้อนในอากาศน้อย จะทำให้ระคายเคืองเยื่อทางเดินหายใจเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าหากมีปริมาณปนเปื้อนในอากาศมากจะทำให้เกิดการระคายเคือง แสบจมูก ไอ เจ็บคอ และมีอาการแสบตา ร่วมด้วย หากได้รับเป็นเวลานานอาจเกิดอาการเรื้อรัง ส่งผลให้ให้เกิดโรคหอบหืด พังผืดในเนื้อปอด หลอดลมโป่งพองได้ (สถาบันพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2563)

2.2.2 สถานการณ์ไนโตรเจนไดออกไซด์ในประเทศไทย

จากการวิเคราะห์ระดับไนโตรเจนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเบื้องต้นจากข้อมูลภาพดาวเทียมSentinel 5P ในปี พ.ศ. 2562 จัดทำขึ้นโดยองค์การอวกาศแห่งยุโรป (The European Space Agency) และวิเคราะห์โดย Greenpeace บริเวณที่มีความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สูงสุด คือ เขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล รองลงมาจะเป็นบริเวณการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรตีความหรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อำเภอแม่เกาะ จังหวัดลำปาง (ธารา, 2562) ภาพรวมของไนโตรเจนไดออกไซด์ในประเทศไทย จะมีความเข้มข้นมากในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม และจะมีแนวโน้มลดลงมาในช่วงฤดูฝน เมื่อฝนตกมากจะทำให้ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เจือจางลง และจะกลับไปเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเดือนตุลาคมเป็นต้นไป (สถาบันส่งเสริมการวิเคราะห์และบริหารข้อมูลขนาดใหญ่ภาครัฐ, 2563)

2.2.3 การตรวจวัดปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

การตรวจวัดปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 33 เรื่อง “กำหนดค่ามาตรฐานก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ” ระบุวิธีการตรวจวัดมาตรฐาน (Federal reference method, FRM) คือ เครื่องวัดระบบเคมีลูมิเนสเซน (Chemiluminescence) โดยเครื่องมือวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยใช้ก๊าซโอโซนทำปฏิกิริยากับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ซึ่งถูกเปลี่ยนมาจากก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์แล้ววัดความเข้มของแสงซึ่งเกิดจากปฏิกิริยานั้น ณ ที่ความยาวคลื่นที่สูงกว่า 600 นาโนเมตร (Nanometer) (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2552)

สำหรับประเทศไทย ในกรณีที่ไม่สามารถใช้วิธีตรวจวัดอ้างอิงได้ ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์สามารถตรวจวัดได้ด้วยวิธีตรวจวัดเทียบเท่า (Federal equivalent method, FEM) ได้แก่ ระบบหรือวิธีควิตี แอทเทนนูเอเต็ด เฟส ชิฟ สเปกโทรสโกปี (Cavity Attenuated Phase Shift Spectroscopy; CAPS) (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2562)

2.3 ประเภทของเซ็นเซอร์ตรวจวัด

2.3.1 Catalytic Sensors

เซ็นเซอร์ชนิดนี้เหมาะสำหรับการตรวจจับก๊าซที่ติดไฟได้ เช่น ก๊าซธรรมชาติ มีเทน บิวเทน โพรเพน หรือไฮโดรเจน เซ็นเซอร์มีราคาไม่แพงและทนทาน สามารถสอบเทียบได้ง่าย เนื่องจากปฏิกิริยาของเซ็นเซอร์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของก๊าซ หลักการทำงานของเซ็นเซอร์ชนิดนี้ จะประกอบไปด้วย catalytic bead ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อก๊าซเผาไหม้บน catalytic bead ที่กำลังทำงานอยู่จะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความต้านทานของ catalytic bead จะเปลี่ยนไป เมื่อวงจรไฟฟ้าไม่สมดุล แรงดันชดเชย (Offset Voltage) จะถูกใช้เพื่อกำหนดค่าที่วัดได้ การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นทั่วทั้ง catalytic bead จะทำให้เอาต์พุตของวงจรไม่สมดุล ค่าที่ได้นั้น เป็นค่าแสดงความเข้มข้นของก๊าซที่ติดไฟ (Elmer, n.d.) ข้อเสียของเซ็นเซอร์ชนิดนี้คือ มีความไวต่ำ (Low sensitivity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความจำเพาะต่ำ (Low selectivity) และเกิดการปลดปล่อยความร้อนที่วัดได้ นอกจากนี้ เซ็นเซอร์ยังใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนมากเนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการตรวจจับ (Al-Okby และคณะ, 2021)

2.3.2 Electrochemical Sensor

เซ็นเซอร์ไฟฟ้าเคมี (เซลล์ไฟฟ้าเคมีหรือเซ็นเซอร์ EC) ใช้กระบวนการออกซิไดซ์เพื่อสร้างกระแสไฟฟ้าในอิเล็กโทรด กระแสจะถูกวัดโดยวงจรภายนอก โดยทั่วไป เซ็นเซอร์ก๊าซไฟฟ้าเคมีจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน ส่วนแรกคือ Gas Chamber ติดตั้งอยู่ด้านบนบนตัวเซ็นเซอร์ เพื่อให้ก๊าซผ่านเซ็นเซอร์ ส่วนที่สองคือ Electrochemical Cell ซึ่งติดตั้งอยู่ตรงกลางของเซ็นเซอร์ Electrochemical Cell แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ อิเล็กโทรดสำหรับการทำงาน (Working Electrode) อิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference Electrode) และอิเล็กโทรดเคาน์เตอร์ (Counter Electrode) ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีจะเกิดใน Electrochemical Cell และส่วนที่สามของเซลล์ไฟฟ้าเคมีคือ Electrolyte Reservoir ติดตั้งอยู่ด้านล่างของเซ็นเซอร์ทำหน้าที่ปรับสมดุลความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ หลักการทำงานของเซ็นเซอร์ไฟฟ้าเคมีขึ้นอยู่กับการแพร่กระจายของก๊าซผ่าน Gas chamber ไป Working Electrode ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยวงจรภายนอก ค่าของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของก๊าซที่ต้องการตรวจวัด ข้อดีของเซ็นเซอร์ไฟฟ้าเคมีคือ ความไวต่อความเข้มข้นของก๊าซสูง ความจำเพาะสูง ใช้พลังงานต่ำ การผลิตต้นทุนต่ำ ข้อเสียของเซ็นเซอร์ไฟฟ้าเคมีคือ มีความไวต่ออุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งความไวเหล่านี้จะส่งผลต่ออิเล็กโทรด ทำให้การตอบสนองของเซ็นเซอร์ลดลง (Al-Okby และคณะ, 2021)

2.3.3 Photoionization Sensors

เซ็นเซอร์ชนิดนี้ใช้คุณสมบัติไอออไนเซชันของแสงจากก๊าซต่างๆ เพื่อสร้างกระแสไฟฟ้าจากไอออนบวกและไอออนลบ และหลักการนี้ยังใช้ในการตรวจจับ VOCs (Volatile organic compounds) ที่เป็นอันตรายในสิ่งแวดล้อม สารละลายที่เป็น Photoionization Detector (PID) ในปัจจุบันสามารถวัดความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ได้ถึง 1 - 10 ppb และตอบสนองอย่างรวดเร็วในไม่กี่วินาที (Al-Okby และคณะ, 2021)

2.3.4 Infrared Sensors/Optical Sensors

หลักการทำงานของเซ็นเซอร์ชนิดนี้ คือการเปรียบเทียบระหว่างความยาวคลื่นที่ดูดซับกับความยาวคลื่นอ้างอิง (ความยาวคลื่นที่ไม่ถูกก๊าซดูดซับ) วิธี Non-Dispersive Infrared (NDIR) มีความคุ้มค่าเหมาะสำหรับการตรวจวัดก๊าซที่มีความละเอียดปานกลาง เวลาที่เซ็นเซอร์ตอบสนองโดยทั่วไปประมาณ 20 วินาที เซ็นเซอร์อินฟราเรดและออปติคัลสามารถสร้างโครงสร้างขนาดเล็กช่วยให้แก้ปัญหาแบบพกพาได้ และสามารถใช้เครื่องตรวจจับอ้างอิงตรวจจับสิ่งรบกวนเพื่อลดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจวัดที่ผิดพลาดได้ ชัดจำกัดของวิธีนี้ คือสามารถใช้ได้กับก๊าซที่ดูดซับแสงอินฟราเรดและทราบความยาวคลื่นเท่านั้น (Al-Okby และคณะ, 2021)

2.3.5 Metal Oxide (MO_x) Sensors/Chemical Sensors

เซ็นเซอร์เซมิคอนดักเตอร์โลหะออกไซด์ จะใช้ฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ที่วางอยู่บนพื้นผิวซิลิกา โดยพื้นผิวซิลิกาจะให้ความร้อนประมาณ 200 - 600°C ในขณะที่ฝ้าติดตามความต้านทานของโลหะออกไซด์อย่างต่อเนื่อง โดยโลหะออกไซด์นั้นส่วนใหญ่แล้ว จะเป็น ทินออกไซด์ ไทเทเนียมไดออกไซด์ อินเดียมออกไซด์ ทังสแตนออกไซด์ และ ไนตริกออกไซด์ เป็นต้น หลักการของเซ็นเซอร์ทำงานโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานเซ็นเซอร์จะตอบสนองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในบรรยากาศ เนื่องจากค่าความต้านทานของโลหะออกไซด์เปลี่ยนแปลงเมื่อสัมผัสกับก๊าซที่ต้องการตรวจวัด เซ็นเซอร์ชนิดนี้มีความไวสูง สามารถตรวจจับก๊าซที่มีความเข้มข้นต่ำได้ ข้อเสียคือไม่จำเพาะต่อสาร มีการตอบสนองแบบไม่ใช้เชิงเส้น ละสามารถเกิดการแจ้งเตือนผิดพลาดเนื่องจากการรบกวนจากก๊าซที่ทำปฏิกิริยา (Al-Okby และคณะ, 2021)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 ปัญหาฝุ่นละอองและปัจจัยที่มีผลต่อระดับฝุ่นละออง

Lewis และคณะ (2022) รายงานข้อมูลการศึกษาฝุ่น PM_{2.5} และ PM₁₀ ในพื้นที่อนุรักษ์ธรรมชาติ The Oceano Dunes State Vehicular Recreation Area (ODSVRA) ในรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อศึกษาปริมาณองค์ประกอบสารอินทรีย์และองค์ประกอบของ PM_{2.5} และ PM₁₀ และระบุแหล่งที่มาของอนุภาคฝุ่นละอองทั้งสองขนาด โดยผลการศึกษาที่สำคัญพบว่า PM_{2.5} และ PM₁₀ มีความเข้มข้นในบรรยากาศสูงที่สุดในช่วงบ่ายและในช่วงที่มีความเร็วลมสูง คือ เดือนพฤษภาคมและตุลาคม การปล่อยฝุ่นโดยลมธรรมชาติเหนือพื้นที่ทะเลทรายตามธรรมชาติเป็นลักษณะทั่วไปของคุณภาพอากาศในพื้นที่ทางตะวันตกของสหรัฐอเมริกาส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ PM₁₀ ในบรรยากาศมากกว่ากิจกรรมสันหนนาการของมนุษย์

Rojano และคณะ (2018) รายงานการประเมินการสัมผัสฝุ่นละออง PM₁₀ ทั้งในร่มและกลางแจ้ง ในเมืองริโอฮาซา ประเทศโคลอมเบีย ในพื้นที่ตัวแทน 3 แห่งในเขตเมือง โดยทำการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีกราวิเมตริก เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM₁₀ ภายในอาคารและนอกอาคาร ผลการศึกษาที่สำคัญพบว่าระดับ PM₁₀ ในอาคารมีค่าต่ำกว่าระดับกลางแจ้ง ในทางกลับกันระดับ PM₁₀ ภายนอกอาคารมีค่าสูงมากทั้ง 3 สถานีเก็บตัวอย่าง และความเข้มข้นของ PM₁₀

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการผันตามเวลา โดยจะขึ้นถึงระดับสูงในวันธรรมดาและวันเสาร์ซึ่งเป็นวันทำงานที่มีผู้คนสัญจรเป็นจำนวนมาก

วรรณุช และคณะ (2558) รายงานการประเมินการปนเปื้อนของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ กรุงเทพฯ โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในชั้นบรรยากาศจาก 7 สถานีเก็บตัวอย่าง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองและนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ ผลการศึกษาที่สำคัญพบว่าค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ในพื้นที่มีค่าอยู่ในช่วง 60 – 160 มค.ก./ลบ.ม. (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 90 มค.ก./ลบ.ม.) โดยบริเวณที่พบค่าสูงสุด คือ บริเวณหน้ามหาวิทยาลัย ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานพบว่ามีความเกินมาตรฐาน (120 มค.ก./ลบ.ม.) มาเพียงเล็กน้อยจึงไม่น่าจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์

2.4.2 การศึกษาปริมาณฝุ่นละอองในอากาศด้วยเซ็นเซอร์

Guan และคณะ (2021) เสนอการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ไฟฟ้าเคมีร่วมกับอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) ในมณฑลจี๋หลิน เมืองหลวงฉางชุน ประเทศจีน เพื่อตรวจจับมลพิษทางอากาศที่ระดับสูงในแนวตั้ง ได้แก่ $PM_{2.5}$ PM_{10} Sulfur dioxide (SO_2) Ozone (O_3) Nitrogen dioxide (NO_2) Carbon monoxide (CO) โดยผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เพิ่มขึ้นตามความสูงในพื้นที่อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แนวโน้มของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีความสอดคล้องกันในทิศทางแนวตั้ง ค่าสูงสุดของ CO และ SO_2 จะปรากฏใกล้พื้นดินเสมอ จากนั้นจะลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น สำหรับความเข้มข้นของ NO_2 จะเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง

Suwanprasit และคณะ (2017) รายงานข้อมูลการศึกษาใช้ข้อมูล AOT (AOT : Aerosol Optical Thickness) จากเซ็นเซอร์ MODIS ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์บนดาวเทียม Terra และดาวเทียม Aqua เพื่อสังเกตรูปแบบของ PM_{10} ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ โดยการประมาณค่าความเข้มข้นของอนุภาค PM_{10} ที่ระดับพื้นดินจากการวัดของ AOT ใช้แบบจำลอง Kheatkanya's model โดยสรุปได้ว่าระดับ PM_{10} ที่มีผลต่อสุขภาพอย่างมากมีค่าสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์ ก่อนจะลดลงอย่างต่อเนื่องในเดือนพฤษภาคม มินาคม และเมษายน ตามลำดับ ผลการศึกษาได้ระบุว่าปัญหาหมอกควันของจังหวัดเชียงใหม่กลายเป็นภัยพิบัติตามฤดูกาลในภูมิภาคนี้และพบมากขึ้นช่วงฤดูแล้ง ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคมของทุกปี และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สุขภาพ สังคม และเศรษฐกิจ จึงมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นอย่างยิ่งในการสร้างความร่วมมือระหว่างประเทศเพื่อจัดการกับปัญหาปริมาณฝุ่นหมอกควันในพื้นที่

Rogulski (2018) เสนอผลลัพธ์ของการวัดความเข้มข้นของ PM_1 $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในอาคารโดยใช้เครื่องตรวจวัดราคาประหยัด คือ เซ็นเซอร์ฝุ่นแบบออปติคัล DFRobot ในห้องสำนักงานและสถาบันการศึกษา 4 แห่ง ในกรุงวอร์ซอ ประเทศโปแลนด์ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ค.ศ. 2017 ถึง มกราคม ค.ศ. 2018 โดยผลการศึกษาที่สำคัญพบว่าคุณภาพอากาศภายนอกและภายในมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก ซึ่งหมายความว่ามลพิษภายนอกในระดับสูงสามารถส่งผ่านไปยังอากาศที่หายใจระหว่างทำงานและอากาศที่เฝ้าชนหายใจระหว่างทำกิจกรรมที่โรงเรียน ระหว่างช่วงเวลาวิจัย ค่าความเข้มข้นของมลพิษเกินระดับที่ยอมรับได้นั้นเกิดขึ้นได้บ่อยครั้ง ดังนั้นอุปกรณ์เซ็นเซอร์มีส่วนช่วยในการเฝ้าติดตามคุณภาพอากาศ ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งในสถานศึกษา เพราะมีขนาดเล็กและเวลาที่ต้องตอบสนองที่รวดเร็ว เซ็นเซอร์ราคาประหยัดให้ความคล่องตัว และช่วยติดตามคุณภาพอากาศ

2.4.3 การสอบเทียบเซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก

Tékouabou และคณะ (2019) ได้นำเสนอการนำเซ็นเซอร์ราคาประหยัดมาปรับใช้และประมวลผลติดตามคุณภาพอากาศในประเทศที่กำลังพัฒนา คือ เมืองคิซุมู ประเทศเคนยา โดยตรวจวัดระดับมลพิษ เช่น CO NO_2 รวมถึงอนุภาคฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) ตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2019 ถึง 30 มิถุนายน ค.ศ. 2019 โดยผลการศึกษาที่สำคัญพบว่าค่าความเข้มข้นของ PM ในอากาศเฉลี่ยตามชั่วโมงของวันค่ามีต่ำในช่วงกลางวัน ระหว่างเวลา 10.00 ถึง 14.00 น. โดยค่าเฉลี่ยต่ำสุดถูกวัดได้ในช่วงระหว่าง 11.00 ถึง 12.00 น. ตั้งแต่เวลา 14.00 น. เป็นต้นไป ค่าความเข้มข้นจะเริ่มเพิ่มขึ้นจนค่าสูงสุดเวลาประมาณ 20.00 น แล้วจะลดลงเล็กน้อยก่อนเพิ่มขึ้นอีกครั้งเป็นค่าสูงสุดที่เวลาประมาณ 04.00 น. ผู้วิจัยจึงได้สรุปว่าเทคโนโลยีเซ็นเซอร์ราคาประหยัดเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคในสิ่งแวดล้อม การใช้งานเซ็นเซอร์เหล่านี้ในประเทศที่กำลังพัฒนาสามารถมอบโอกาสมากมายในการตรวจวัดคุณภาพอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ

2.4.4 วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจนไดออกไซด์

ศุภิระ และคณะ (2562) ได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์แบบใช้การเก็บตัวอย่างแพสซีฟ (Passive sampling) เพื่อลดข้อจำกัดของวิธีอ้างอิงที่เป็นการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ (Active sampling) ซึ่งต้องมีปั๊มอากาศและมีราคาแพง การวิเคราะห์ไนโตรเจนไดออกไซด์ทำได้ด้วยการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ (Passive Sampling) โดยนำหลอดเก็บตัวอย่างติดตั้ง ณ จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 1 สัปดาห์ หลังจากเก็บตัวอย่างเสร็จ นำตัวอย่างมาสกัดด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร (Vortex) แล้วตั้งทิ้งไว้ 15 นาที จากนั้นดูดสารละลายมา 1 มิลลิลิตร เพื่อกรองด้วยตัวกรองแบบเข็มฉีดยา (Syringe Filter) ที่มีแผ่นกรองเซลลูโลสอะซิเตท ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร แล้วเติมสารละลายซอลต์แมนรีเอเจนต์ (Saltzman Reagent) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที จะเกิดสีชมพูอมม่วง ก่อนนำไปตรวจวัดหาปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยการวัดปริมาณไนโตรที่ไอออน (NO_2^-) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ที่ความยาว 540 นาโนเมตร

อลิสสา (2556) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ (Passive Sampler) กับวิธีมาตรฐานเคมีลูมิเนสเซนซ์และผลต่อการสึกกร่อนของโบราณสถาน โดยทำทั้งหมด 2 ขั้นตอน คือ (1) การศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีการตรวจวัดแบบแพสซีฟ และการตรวจวัดแบบเคมีลูมิเนสเซนซ์ โดยทำการติดตั้งแพสซีฟแซมเปิลเลอร์ ในบริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศกรมการแพทย์ที่ 1 จังหวัดราชบุรี (2) การติดตั้งแพสซีฟแซมเปิลเลอร์บริเวณโบราณสถานหมู่เกาะรัตนโกสินทร์ กรุงเทพฯ และบริเวณองค์พระปฐมเจดีย์ จังหวัดนครปฐม เพื่อศึกษาการสึกกร่อนของโบราณสถานที่เกิดจากก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เนื่องจากบริเวณนั้นมีการจราจรคับคั่ง มีรถรับส่งนักท่องเที่ยวเข้าออกเป็นจำนวนมาก ทำให้มีระดับความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์บริเวณนั้นค่อนข้างสูงซึ่งผลต่อการสึกกร่อนของโบราณสถาน จากนั้นนำตัวอย่างที่เก็บได้จากแพสซีฟแซมเปิลเลอร์ไปสกัดแล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร และนำค่าการวิเคราะห์สารละลายตัวอย่างไปเทียบกับความเข้มข้นของไนโตรที่มาตรฐานจากกราฟที่สร้างขึ้น ผลวิจัยในขั้นตอนที่ 1 พบว่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีแพสซีฟกับวิธีเคมีลูมิเนสเซนซ์ความสัมพันธ์กันทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.851 ผลวิจัยในขั้นตอนที่ 2 พบว่าค่าการสึกกร่อนสังกะสีและระดับความสึกของผิววัสดุพอร์ทแลนด์ซีเมนต์ด้วยวิธีเคมีลูมิเนสเซนซ์ ณ เกาะรัตนโกสินทร์ เท่ากับ 7.8 - 8.5 กรัมต่อตารางเมตรต่อปี และ 15.3 - 19.7 ไมโครเมตรต่อปี ตามลำดับ และ ณ องค์พระปฐมเจดีย์ เท่ากับ 7.5 - 10.7 กรัมต่อตารางเมตรต่อปี และ 13.7 - 27.1 ไมโครเมตรต่อปีตามลำดับ ส่วนค่าการสึกกร่อนที่คำนวณด้วยวิธีแพสซีฟแซมเปิลเลอร์ของสังกะสี ณ เกาะรัตนโกสินทร์และองค์พระปฐมเจดีย์ เท่ากับ 7.3 - 8.1 และ 6.6 - 7.5 กรัมต่อตารางเมตรต่อปี ตามลำดับ ระดับความสึกของผิววัสดุพอร์ทแลนด์ซีเมนต์ ณ เกาะรัตนโกสินทร์และองค์พระปฐมเจดีย์ เท่ากับ 13.5 - 18.3 และ 11.9 - 16.2 ไมโครเมตรต่อปีตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการเปรียบเทียบค่าการสีกกร่อนของวิธีตรวจวัดด้วยเคมีลูมิเนสเซนซ์กับการตรวจวัดแบบแพสซีฟมีค่าใกล้เคียงกัน

2.4.5 การสอบเทียบเซ็นเซอร์ตรวจจับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

Zoest และคณะ (2019) การสอบเทียบเซ็นเซอร์ตรวจวัดไนโตรเจนไดออกไซด์ราคาประหยัด เป็นการตรวจวัดคุณภาพอากาศความละเอียดเชิงพื้นที่ การสอบเทียบเซ็นเซอร์ภาคสนามมักจะประสบปัญหาค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์มีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ที่รบกวนการทำงานของเซ็นเซอร์ ในการสอบเทียบเซ็นเซอร์ตรวจวัดไนโตรเจนไดออกไซด์จะเปรียบเทียบทั้งหมดด้วยกันสามวิธี นั่นคือ (1) วิธีการแบบเบย์แบบวนซ้ำสำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์รายวันในแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (2) ปัจจัยการแก้ไขที่ปรับปรุงทุกวัน และ (3) ปัจจัยการแก้ไขที่ปรับปรุงเฉพาะเมื่อความเข้มข้นต่ำสม่ำเสมอ ค่าไนโตรเจนไดออกไซด์ที่เก็บได้จากเซ็นเซอร์ต้นทุนต่ำแบบรายชั่วโมงตลอดทั้งปี โดยการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ทำการตรวจวัดไว้สองจุด และมีจอภาพอ้างอิงข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีเปรียบเทียบในด้านความเสถียรและความจำเพาะของเซ็นเซอร์ และความคาดเคลื่อนตลอดระยะเวลา 1 ปี พบว่า ปัจจัยการแก้ไขที่ปรับปรุงภายใต้ความเข้มข้นต่ำสม่ำเสมอทำงานได้ไม่ดี วิธีการแบบเบย์แบบวนซ้ำและปัจจัยการแก้ไขรายวันสองวิธีนี้ช่วยลดความผิดพลาดของค่า Root-mean-square Error (RMSE) 21 - 46% การถ่ายโอนข้อมูลเชิงพื้นที่และปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อเซ็นเซอร์นั้นแตกต่างกัน ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ พารามิเตอร์และเซ็นเซอร์ควรสอบเทียบและปรับปรุงแก้ไขอยู่เสมอ

Spinelle และคณะ (2015) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการสอบเทียบภาคสนามมีหลากหลายวิธีสำหรับเซ็นเซอร์ราคาประหยัด รวมถึงวิธีการถดถอยเชิงเส้น หรือหลายเส้น เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดสารมลพิษกลุ่มโอโซนและก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ใช้เป็นประเภทเคมีไฟฟ้า โลหะออกไซด์ หรือขึ้นอยู่กับเซลล์อินฟาเรดขนาดเล็ก การสอบเทียบแต่ละวิธีจะทำการสอบเทียบโดยใช้เวลาสองสัปดาห์ในพื้นที่กึ่งชนบทเทียบกับการวัดอ้างอิง ความแม่นยำของค่าที่วัดได้นั้นประเมินด้วยเทคนิคบางอย่าง เช่น การถดถอยมุมฉาก แผนภาพเป้าหมาย ความไม่แน่นอนในการวัด และการคาดเคลื่อนเมื่อเวลาผ่านไปของเซ็นเซอร์ จากการคาดการณ์การศึกษาเซ็นเซอร์ว่าค่าที่เซ็นเซอร์วัดได้นั้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของ Data Quality Objective (DQOs) ของ European Air Quality Directive สำหรับการตรวจวัดโอโซนและไนโตรเจนไดออกไซด์ จากผลการตรวจวัดพบว่า DQO รายงานผลว่าพบโอโซนรายชั่วโมง แต่ในขณะที่เดียวกันไม่พบไนโตรเจนไดออกไซด์ราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่วโมง สาเหตุที่ไม่พบนั้นอาจเกิดจากระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ค่อนข้างต่ำมาก และมีความสัมพันธ์กับระดับโอโซนที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งเป็นเรื่องปกติของพื้นที่กรุงเทพมหานคร

Breitegger และคณะ (2020) ได้ทำการพัฒนาเซ็นเซอร์ Quartz-Enhanced Photoacoustic Spectroscopy (QEPAS) ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ราคาประหยัดสำหรับตรวจวัดไนโตรเจนไดออกไซด์ เนื่องจากเซ็นเซอร์สำหรับการตรวจวัดไนโตรเจนไดออกไซด์ที่มีวางจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปยังขาดความแม่นยำและความเสถียรในระยะยาว อีกทั้งยังทำปฏิกิริยากับก๊าซอื่นๆ ในอากาศค่อนข้างไว ข้อบกพร่องเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้วิธีโฟโตอะคูสติกสเปกโทรสโกปีเสริมด้วยควอตซ์ (QEPAS) ซึ่งโมเลกุลของไนโตรเจนไดออกไซด์จะถูกดูดซับด้วยแสงมอดูเลตของ QEPAS คลื่นเสียงถูกตรวจจับโดยการสั่น ส่งผลให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ เทคนิค Photoacoustic Spectroscopy (PAS) เป็นการสร้างเสียงโดยใช้ความถี่ โดยปรับแหล่งกำเนิดแสงที่มีความถี่เดียวกัน เลือกใช้ความยาวคลื่นของแสงจากแหล่งกำเนิดให้ตรงกับค่าการดูดกลืนแสงของสารที่จะวิเคราะห์ ซึ่งไม่มีการรบกวนจากสารอื่นๆ PAS จะส่งสัญญาณเสียงที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารวิเคราะห์ โดยการใช้ตัวสะท้อนเสียง สัญญาณจะถูกขยายเพิ่มเติม การสอบเทียบเซ็นเซอร์ QEPAS ต้องคำนึงถึงผลกระทบของสภาพแวดล้อม จากผลการสอบเทียบพบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบที่สุด โดยส่งผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์ ความดันและความชื้นส่งผลกระทบต่อเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. N-(1-Naphthyl)-Ethylenediamine Dihydrochloride (NEDH) บริษัท Chemie Pvt. Ltd ประเทศอินเดีย
2. กรดซัลฟานิลิกแอนไฮไดรด์ (Sulphanilic Acid, $C_6H_7NO_3S$) บริษัท Loba Chemie Pvt. Ltd ประเทศอินเดีย
3. กรดอะซิติก (Acetic Acid, CH_3COOH) บริษัท J.T. Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา
4. โซเดียมไนไตรท์ ($NaNO_2$) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 อุปกรณ์

1. ปิเปตขนาด 5 มิลลิลิตร
2. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร
3. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
4. ปีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
5. ปีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร
6. แท่งแก้วคนสาร
7. กระจกบอทวง
8. ลูกยาง
9. ซ้อนตักสาร
10. ครอบเปอร์
11. ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)
12. คีมคีบปากแบน (Forceps)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 13. ถุงมือไวนิล (Vinyl gloves) สำหรับหยิบกระดาศกร่อง ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. ขອງกระดาษสีน้ำตาล สำหรับบรรจุกระดาษกรอง
15. กระดาษกรองใยแก้ว (Glass microfiber Filters) Grade GF/A บริษัท Whatman ประเทศอังกฤษ
16. ไมโครปิเปต ขนาด 10 - 100 ไมโครลิตร ยี่ห้อ Ahn ประเทศ เยอรมนี
17. ไมโครปิเปต ขนาด 200 - 1000 ไมโครลิตร ยี่ห้อ Scilogex ประเทศ สหรัฐอเมริกา
18. คิวเวตต์พลาสติก ขนาด 1 cm x 1 cm
19. อิมพิงเจอร์แบบฟริเทต (Fritted impinger) บริษัท SKC, Inc. ประเทศ สหรัฐอเมริกา
20. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)

3.2.2 เครื่องมือ

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Balance) รุ่น Ms204TS/00 ยี่ห้อ Mettler Toledo ประเทศไทย
2. เครื่องชั่ง 6 ตำแหน่ง (Balance) รุ่น XP6 ยี่ห้อ Mettler Toledo ประเทศไทย
3. เครื่องกวนสาร (Magnetic Stirrers) รุ่น MR Hei Tec ยี่ห้อ Heidolph ประเทศ เยอรมนี
4. เครื่องเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ชนิดไฮวอลุ่ม (PM₁₀ High Volume Air Sampler) รุ่น GB 1200H-1 บริษัท Thermo Scientific
5. เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรต่ำ (PM_{2.5} Low Volume FRM Sampler) รุ่น PQ200 ยี่ห้อ BGI (Mesa Lab) บริษัท ไคเนติกส์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ประเทศไทย
6. ปัมป์เก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล (Personal air sampling pump) รุ่น Airchek Sampler Model 224-PCXR8 บริษัท SKC, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา
7. เครื่องสอบเทียบอัตราการไหล (Calibrator Defender) รุ่น Bios Defender 520 ยี่ห้อ MesaLab บริษัท Brandt Instrument ประเทศสหรัฐอเมริกา
8. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) รุ่น UH5300 บริษัท Hitach ประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมสาร

3.3.1 สารละลายสต็อก NEDH เข้มข้น 0.1% w/v

ชั่ง N-(1-Naphthyl)-Ethylenediamine Dihydrochloride (NEDH) 0.1 กรัม ละลายลงในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการถ่ายสารละลายลงเก็บรักษาในขวดสีชา ปิดฝาให้สนิท และเก็บไว้ในตู้เย็น

3.3.2 สารละลายสำหรับดูดซึมไนโตรเจนไดออกไซด์

ละลายกรดซัลฟานิลิกแอนไฮไดรต 5 กรัม ลงในน้ำกลั่นที่มีกรดอะซิติกเข้มข้น 140 มิลลิลิตร ปั่นจนจนสารละลายละลายสมบูรณ์ ก่อนเติมสารละลาย NEDH 0.1% w/v (หัวข้อ 3.3.1) ลงไป 20 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร จากนั้นจึงถ่ายลงเก็บในขวดสีชา ปิดฝาให้สนิท และเก็บไว้ในตู้เย็น

3.3.3 สารละลายสต็อกไนโตรท (NO₂)

ชั่งโซเดียมไนโตรท (NaNO₂) 2.30 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร จากนั้นถ่ายลงเก็บในขวดสีชา ปิดฝาให้สนิท และเก็บไว้ในตู้เย็น

3.4 การเตรียมกระดาศกรองสำหรับการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง

1. ทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของกระดาศกรอง โดยตรวจสอบรอยฉีกขาด รูพรุน และสีของกระดาศกรอง หากพบว่ากระดาศกรองมีความบกพร่องจะไม่นำมาใช้เก็บตัวอย่าง
2. กำหนดหมายเลขการเก็บตัวอย่าง ไว้ที่มุมขวาของกระดาศสีน้ำตาลที่ใช้บรรจุ
3. นำกระดาศกรองมาดูความชื้นในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ 15 - 30 องศาเซลเซียส และ Relative humidity (%RH) < 50 % เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยห้อยกระดาศกรองด้านที่ใช้เก็บตัวอย่างขึ้น และอบกระดาศกรองอย่างน้อย 24 ชั่วโมง
4. เมื่อครบ 24 ชั่วโมง นำกระดาศกรองใส่ลงในช่องกระดาศสีน้ำตาล และเก็บไว้ในตู้ดูความชื้นต่ออีก 2 - 3 ชั่วโมง
5. ชั่งน้ำหนักของกระดาศกรอง ในหน่วยกรัม
6. นำกระดาศกรองใส่ช่องกระดาศสีน้ำตาลพร้อมแนบกระดาศกราฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหล เพื่อใช้สำหรับเก็บตัวอย่างในภาคสนามต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 การเตรียมกระดาศกรองสำหรับการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง

3.5 การตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในบรรยากาศทั่วไป

3.5.1 ขั้นตอนการตั้งค่าเครื่องก่อนใช้งานเครื่องเก็บฝุ่น PM_{2.5}

3.5.1.1 การตรวจเช็ครอยรั่ว (Check Leak)

1. ใส่ Filter Holder โดยไม่ใส่กระดาศกรอง
2. ถอดหัว Inlet แล้วติดตั้งชุดทดสอบรอยรั่วแทนที่ด้านบนปิดวาล์วให้แน่น
3. กดปุ่มเปิดเครื่องเพื่อเลือกคำสั่ง Test and Calibration Menu แล้วกดปุ่ม SELECT
4. จากคำสั่ง Test and Calibration Menu กดปุ่มเลือกคำสั่ง Leak Test แล้วกดปุ่ม SELECT
5. หน้าจอเครื่องจะปรากฏข้อความ กดปุ่ม SELECT เพิ่มเริ่มทดสอบ
6. ใช้เวลา 2 นาทีในการทดสอบ หน้าจอจะแจ้งว่าการทดสอบผ่าน (Pass) หรือ ไม่ผ่าน (Fail)
7. ถ้าไม่พบรอยรั่วแสดงว่าเครื่องพร้อมใช้งาน แต่ถ้าหากพบรอยรั่วให้ทำการทดสอบใหม่
8. ถอดชุดทดสอบออกจากตัวเครื่องทั้งหมด แล้วปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1.2 การตรวจเช็คคุณสมบัติและความดัน

1. เปิดเครื่องทิ้งไว้ 3 - 4 ชั่วโมงก่อนการตรวจเช็ค เพื่อให้เทอร์โมมิเตอร์และเซ็นเซอร์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ต่อสายไฟสีดำและสายไฟสีแดงเข้ากับ Temp sensor board ที่ต้องการเปรียบเทียบ โดยค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage) ที่อ่านได้ต้องไม่สูงกว่า 2.390 V (ควรอยู่ระหว่าง 2.388 ถึง 2.390 V) ถ้าค่าสูงเกินที่กำหนด ให้ปรับแต่งด้วยไขควงเล็กที่บริเวณ Trimmer
3. เปรียบเทียบค่าที่ปรับได้ และปรับให้ค่าใกล้เคียงไม่เกิน ± 10.1 องศาเซลเซียสที่จุด OFST Trimmer

3.5.1.3 การปรับค่าอัตราการไหล (Q)

1. ถอดหัวคัดแยกขนาดฝุ่น (Inlet) จากท่อนำอากาศและติดตั้งชุดปรับเทียบอัตราการไหลแทนที่ตำแหน่งเดิม
2. นำกระดาษกรองมาใช้ในการปรับเทียบ เหมือนการเก็บตัวอย่างจริง จากนั้นเปิดเครื่อง โดยกดปุ่ม ON/OFF
3. เมื่อนำจอเครื่องติด ให้เลือกเมนูคำสั่ง Test and Calibration Menu แล้วกด SELECT
4. จากนั้นเลือกคำสั่ง Select and Calibrate a Flow Rate กดปุ่ม SELECT หน้าจอจะขึ้น Flow rate ให้เราเช็คข้อมูลและเช็ค Pump ให้ถูกต้อง ก่อนเริ่มทำงาน
5. เมื่อ Pump เริ่มทำงาน การปรับเทียบใช้เวลาประมาณ 10 นาที ให้อ่านค่าจากชุดปรับเทียบอัตราการไหล ค่าที่อ่านได้ควรมากกว่า 2% ของ 16.67 LPM ถ้าค่าที่อ่านได้น้อยกว่า 2% ของ 16.67 LPM ควรเช็คจุดการรั่วไหลแล้วปรับเทียบใหม่
6. เมื่อทำการทดสอบเสร็จสมบูรณ์ ค่า Q จะถูกบันทึกไว้ภายในเครื่อง จากนั้นทำการย้อนกลับหน้าหลักแล้วปิดเครื่องให้เรียบร้อย

3.5.1.4 การตั้งค่าเวลาและวันที่ (Setting Data & Time)

1. เลือกเมนู Set-Ups and Download แล้วกด Select จากนั้นเลือกเมนู More Selections
2. กดปุ่มลูกศรเลือกเมนู Set Date and Time แล้วกด Select จากนั้นตั้งค่าเวลาและวันที่ (**ข้อมูลจะขึ้นตัวกระพริบ ให้กดปุ่ม Select ข้อมูลที่หยุดนิ่งจะสามารถแก้ไขได้โดยกดลูกศรขึ้น-ลง ตามที่ต้องการ เมื่อตั้งเวลาเสร็จ ให้กด Select **)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าประโยชน์ของการค้าไม่ต่ำกว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากนั้นกลับสู่หน้าหลัก กดเลือกเมนู More Selections กด Return to main Screen และกดปุ่ม (EXIT)

3.5.1.5 การตั้งค่าเครื่องก่อนเก็บตัวอย่างอากาศ

1. กดปุ่มเปิด/ปิดเครื่อง แล้วกด Select
2. เมื่อขึ้นแถบหน้าเมนู ให้กดปุ่มลูกศร เลือกเมนู Setup and Download แล้วกด Select
3. เลือก Run the Sampler with USES Defined Start/Stop Time แล้วกด Select
4. หน้าจอจะแสดงแถบข้อมูลให้ตั้งเวลาเริ่มเก็บ เมื่อตั้งเวลาเสร็จให้กด Exit
5. หน้าจอจะแสดงแถบข้อมูลให้ตั้งเวลาสิ้นสุด เมื่อตั้งเวลาเก็บเสร็จให้กด Exit
6. หน้าจอจะขึ้นแถบยืนยัน ให้กด Select จากนั้นหน้าจอเครื่องจะดับลง
7. เปิดเครื่องใหม่ เครื่องจะเริ่มทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้ และจะหยุดเก็บตามเวลาที่ตั้งไว้

3.5.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน

1. กำหนดจุดเก็บตัวอย่างที่ระดับสูงจากพื้นดินอย่างน้อย 1.50 เมตร แต่ไม่เกิน 6 เมตร ซึ่งเป็นระดับความสูงที่มากพอที่จะไม่ดูดเอาฝุ่นจากพื้นดินเข้าไปด้วย
2. เช็กภายในเครื่องเก็บตัวอย่างให้สะอาด และเช็กการรั่วของเครื่องใส่กระดาษกรองบน Fitter Holder จากนั้นปิดส่วนหัวเก็บอากาศ
3. เปิดเครื่องเก็บตัวอย่าง และเดินเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. หลังจากครบกำหนดให้นำกระดาษกรองออกจากเครื่องและเก็บกระดาษกรองเพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยเก็บใส่กล่องบรรจุและเก็บใส่ซองกระดาษสีน้ำตาลตามเดิม
5. นำกระดาษกรองที่ได้ไปชั่งวิเคราะห์น้ำหนักฝุ่นละอองในห้องปฏิบัติการ

3.6 การตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ในบรรยากาศทั่วไป

3.6.1 การเทียบอัตราการไหล (Q) ด้วยอุปกรณ์เทียบอัตราการไหล (Orifice Calibrator, Manometer) (กรองแก้ว, กลิ่นสุคนธ์ และสุวรรณี, 2563)

1. เปิดฝาเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ คลายน็อตที่ยึดแผ่นหน้าของกระดาษกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน (Face plate) ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การสอบเทียบอัตราการไหล (Q) โดยการวางแผ่น O-ring บน Plate จากนั้นวางแผ่น Orifice (โดยเริ่มต้นจากแผ่นที่มีรูน้อยไปหาแผ่นที่มีรูมาก) แล้วใช้ฝาครอบปิดแผ่น Orifice ให้แน่น โดยไม่ต้องใส่กระดาษกรอง
3. ต่อท่ออย่างอีกข้างเข้ากับ Manometer แขนงไว้ด้านข้างตัวถังของเครื่อง ใส่ น้ำ และหยด Green Oil Grease 2 หยด เช็คสเกล Manometer แล้วต่อเข้ากับ Orifice ต่อเครื่องบันทึกอัตราการไหลเข้ากับ Pressure tap จากนั้นถอดปลั๊กตัวผู้เสียบเข้ากับปลั๊กไฟ
4. ใส่แผ่นกราฟวงกลม เพื่อบันทึกอัตราการไหลของแผ่น Orifice
5. เมื่อเครื่องทำการปรับเทียบให้อ่านค่า ΔH จาก Manometer และอ่านค่าอัตราการไหลจากแผ่นกราฟวงกลม
6. จดบันทึก วัน เวลา อุณหภูมิ และความดัน ขณะเริ่มเก็บและหลังเก็บ
7. ทำการสอบเทียบจนครบทุกแผ่น (5, 7, 10, 13, 18 รู) จากนั้นถอดปลั๊กตัวผู้ออกจากปลั๊กไฟ แล้วนำไปเสียบกับปลั๊กตัวเมียเช่นเดิม
8. ถอดอุปกรณ์การสอบเทียบให้เรียบร้อย และติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศต่อไป

อัตราการไหล (Q) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 และสามารถปรับแก้ค่าที่อ่านได้จากกระดาษกราฟวงกลมได้ด้วยสมการที่ 3.2

$$Qa(\text{orifice}) = \frac{1}{m} \times \left(\sqrt{(\Delta H) \times \left(\frac{Ta}{Pa} \right)} - b \right) \quad (\text{สมการที่ 3.1})$$

$$Ic = \left(\sqrt{\frac{Ta}{Pa}} \right) \quad (\text{สมการที่ 3.2})$$

คำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากสมการที่ 3.3

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (\text{สมการที่ 3.3})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการสอบเท่านั้น เมื่อผู้ยื่นให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณอัตราการไหลของอากาศมาตรฐานจากสมการที่ 3.4

$$Qstd = Qa (sampler) \times \frac{Pa}{Pstd} \times \frac{Tstd}{Ta} \quad (\text{สมการที่ 3.4})$$

และคำนวณปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่างที่สภาวะมาตรฐานจากสมการที่ 3.5

$$Vstd = Qstd \times t \quad (\text{สมการที่ 3.5})$$

จากการเปรียบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอน (PM₁₀) บริเวณทางเข้า-ออก คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลอยู่ที่ 1.31 ± 0.33 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (m³/min) (ตารางที่ 3.1) ซึ่งจะเป็นค่าอัตราการไหลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ PM₁₀ ในบรรยากาศ

ตารางที่ 3.1 PM₁₀ High Volume Air Sampler Calibration Data Sheet

| Calibration Point | Plate NO. | ΔH_2O (in H ₂ O) | | Temp. (T _a)(°C) | Pressure (P _a) (mmHg) | Q _a (Orifice) Flow rate (m ³ /min) | Sampler Response (l) (ft ³ /min) | Corrected Response (l) (ft ³ /min) |
|--------------------------------------|-----------|-------------------------------------|------|-----------------------------|-----------------------------------|--|---|---|
| | | | | | | | | |
| 1 | 5 | 1.8 | +1.8 | 30 | 760 | 0.9171 | 28 | 17.74 |
| 2 | 7 | -2 | +2.8 | 30 | 760 | 1.0552 | 34 | 21.54 |
| 3 | 10 | 3.5 | +4.2 | 30 | 760 | 1.3310 | 42 | 26.61 |
| 4 | 13 | 4.7 | +5.6 | 30 | 760 | 1.5368 | 46 | 29.15 |
| 5 | 18 | -6 | +6.8 | 30 | 760 | 1.7114 | 52 | 32.95 |
| ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | | | 30 \pm 0 | 760 \pm 0 | 1.31 \pm 0.33 | - | - |

3.6.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

- กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง ที่ระดับสูงจากพื้นดินอย่างน้อย 1.50 เมตร แต่ไม่เกิน 6 เมตร ซึ่งเป็นระดับความสูงที่มากพอที่จะไม่ดูดเอาฝุ่นจากพื้นดินเข้าไปด้วย
- ตรวจสอบภายในเครื่องเก็บตัวอย่างให้สะอาด ใส่กระดาษกรองบนตะแกรงสำหรับกระดาษกรองโดยหยาด้านเก็บตัวอย่างขึ้น
- เปิดเครื่องเก็บตัวอย่าง เก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากครบกำหนดให้นำกระดาษกรองออกจากเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เก็บกระดาษกรองเพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยพับกระดาษกรองตามความกว้างให้ด้านที่เก็บฝุ่นสัมผัสกัน แล้วเก็บใส่ซองกระดาษสีน้ำตาลตามเดิมพร้อมกระดาษกราฟวงกลม

5. นำกระดาษกรองที่ได้ไปชั่งวิเคราะห์น้ำหนักฝุ่นละอองในห้องปฏิบัติการ

3.7 การตรวจวัดความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ด้วยวิธี Griess-Saltzman (ASTM D1607-91)

3.7.1 การทำกราฟสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ (NO₂⁻ absorption calibration curve)

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานขั้นต้น (Primary standard) ของไนไตรท์ ความเข้มข้น 0.000294 M โดยปิเปตสารละลายสต็อกไนไตรท์ 0.0294 M (หัวข้อ 3.3.3) จำนวน 1 มิลลิลิตร แล้วนำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ที่เจือจางแล้ว มาปริมาตร 0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2 และ 0.4 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร ตามลำดับ
3. ปรับปริมาตรในแต่ละขวดด้วยสารดูดซึ่ม เขย่าให้เข้ากัน วางตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้เกิดสีอย่างสมบูรณ์
4. วัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร โดยใช้สารดูดซึ่มเป็นแบลนค์ (reagent blank)

3.7.2 การเก็บตัวอย่างไนโตรเจนไดออกไซด์

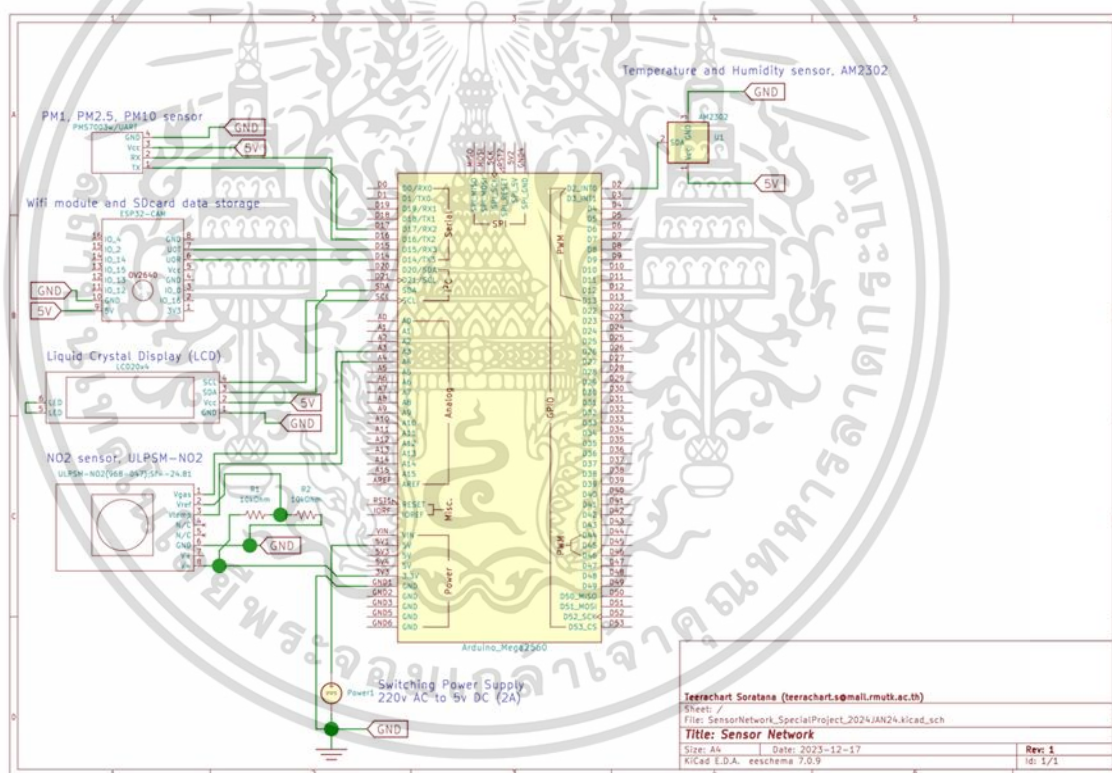
1. ติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศโดยต่อปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ ส่วนบุคคลเข้ากับอิมพิงเจอร์แบบฟรีเตต
2. เริ่มทำการเก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล ที่อัตราการไหล 0.4 ลิตรต่อนาที (L/min) ในสารดูดซึ่ม ปริมาตร 10 มิลลิลิตรในอิมพิงเจอร์ บริเวณริมถนน ประตูเข้า-ออก คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ระดับความสูง 1.50 เมตร จากพื้นเป็นเวลา 60 นาที
3. เมื่อครบกำหนดเวลา นำอิมพิงเจอร์ที่บรรจุสารดูดซึ่มหลังจากเก็บตัวอย่างอากาศไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ จะถือว่าผิดกฎหมาย

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่มีความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ทันที และใช้สารดูดซึมเป็นแบลงค์ (Reagent blank)

3.8 เซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ประกอบขึ้นเอง

เซ็นเซอร์สำหรับการตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วยเซ็นเซอร์จำนวน 2 ชิ้น ได้แก่ PMS7003 (Plantower) สำหรับการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ และ ULPSM-NO₂ 968-047 (SPEC Sensors) สำหรับการตรวจวัดปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ แผงผังแสดงองค์ประกอบและการเชื่อมต่อของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในชุดเซ็นเซอร์ที่ประกอบเอง แสดงดังรูปที่ 3.2



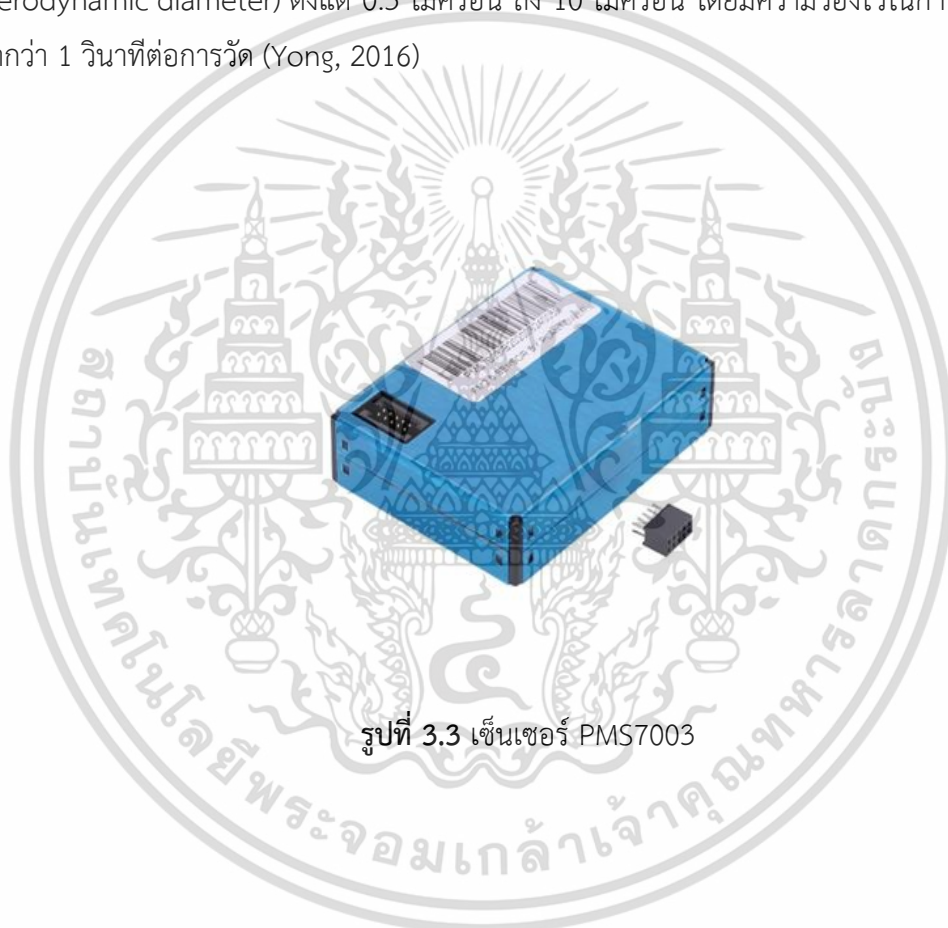
รูปที่ 3.2 แผงผังองค์ประกอบภายในเซ็นเซอร์ตรวจวัดมลพิษอากาศที่ประกอบขึ้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.1 PMS7003

PMS7003 เป็นเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาครูปแบบดิจิทัลที่สามารถใช้เพื่อรับข้อมูลความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอยในอากาศ เพื่อให้ข้อมูลความเข้มข้นที่ถูกต้องและรวดเร็วโดยอาศัยหลักการกระเจิงแสง เมื่อแสงของเลเซอร์ตกกระทบบนอนุภาคแขวนลอยในอากาศจะเกิดการกระเจิงของแสง อุปกรณ์ตรวจวัดของเซ็นเซอร์จะรวบรวมแสงจากการกระเจิงของแสง ก่อนประมวลผลความเข้มของแสงที่กระเจิงออกมาในรูปของความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอย (Yong, 2016)

PMS7003 มีความสามารถในการตรวจวัดอนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางพลศาสตร์ (aerodynamic diameter) ตั้งแต่ 0.3 ไมครอน ถึง 10 ไมครอน โดยมีความไวในการตอบสนองต่ำกว่า 1 วินาทีต่อการวัด (Yong, 2016)



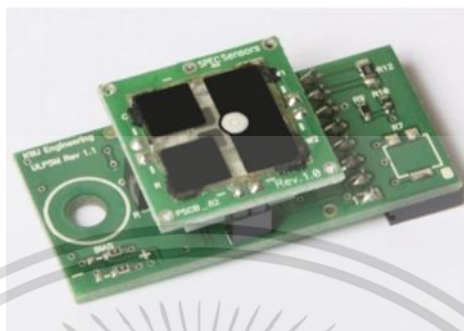
รูปที่ 3.3 เซ็นเซอร์ PMS7003

3.8.2 ULPSM-NO₂ 968-047

ULPSM-NO₂ 968-047 เป็นเซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่เน้นประโยชน์ของการใช้พลังงานต่ำ (< 45 ไมโครวัตต์) และส่งข้อมูลในรูปสัญญาณอนาล็อก (Analog signal) เซ็นเซอร์รุ่นนี้จะแปลงสัญญาณไฟฟ้าแบบเชิงเส้นของเซ็นเซอร์ให้เป็นสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยการตอบสนองของเซ็นเซอร์ต่อปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ใช้เวลาน้อยกว่า 30 วินาที (Spec Sensor, 2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ สามารถตรวจวัดความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ได้ในระดับต่ำกว่า 0.1 ppm และมีความละเอียดในการอ่านค่าระดับ < 0.1 ppm จึงมีความเหมาะสมในการ

ประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์รุ่นนี้ในการติดตามปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์เพื่อความปลอดภัยในภาคอุตสาหกรรม การติดตามฝุ่นละอองส่วนบุคคล และการตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้งภายในและภายนอกอาคาร (Spec Sensor, 2017)



รูปที่ 3.4 เซ็นเซอร์ ULPSM-NO₂ 968-04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.9.1 ความแม่นยำ (Accuracy)

ความแม่นยำเป็นแนวคิดเชิงคุณภาพเนื่องจากไม่สามารถทราบค่าที่แท้จริงของสิ่งที่สนใจได้ ในทางทฤษฎี ค่าที่แท้จริงเกิดจากการวัดที่สมบูรณ์แบบปราศจากความคลาดเคลื่อน แต่ความเป็นจริงนั้น การวัดค่าต่างๆไม่สามารถหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตาม การวัดต่างๆสามารถคำนวณค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงมากที่สุด เรียกว่า ค่าที่ยอมรับได้ (Accepted Value) ซึ่งเป็นค่าที่มีความใกล้เคียงระหว่างค่าที่วัดได้จากการทดลอง (Measurement Value) กับค่าที่แท้จริง (True Value) ผลของการวัดใดก็ตามที่ได้ค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงค่าที่แท้จริง จะมีความแม่นยำสูง แต่หากผลการวัดมีความห่างไกลจากค่าที่แท้จริง แสดงว่ามีความแม่นยำต่ำ (วรวิทย์, 2563)

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ที่ผลิตขึ้นมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน (Federal Reference Method, FRM) หรือเทียบเท่ามาตรฐาน (Federal Equivalent Method, FEM) ซึ่งจะใช้ค่าจากวิธีมาตรฐานหรือเทียบเท่ามาตรฐานเป็นค่าที่แท้จริง (True Value) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความถูกต้องและแม่นยำค่อนข้างสูง ส่วนค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์จะใช้เป็นค่าที่วัดได้จากการทดลอง (Measurement Value)

$$\text{Relative error} = \left| \frac{X_{\text{mea}} - X_t}{X_t} \right| \quad (\text{สมการที่ 3.6})$$

$$\% \text{Error} = \text{Relative error} \times 100 \quad (\text{สมการที่ 3.7})$$

โดย X_t คือ ค่าจริง (True Value)

X_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการทดลอง (Measurement Value)

3.9.2 ความเสถียร (Stability) ของชุดเซ็นเซอร์ที่ประกอบขึ้นเอง

ความเสถียรของระบบการวัด หมายถึง ความผันแปรทั้งหมดในการวัดที่ได้จากระบบการวัดหนึ่ง โดยการวัดคุณลักษณะประการหนึ่งตลอดช่วงเวลาที่ยาวนานขึ้น หรือเรียกว่า คุณสมบัติด้านการใช้งานของอุปกรณ์วัด โดยพิจารณาจากความผันแปรโดยรวมของระบบการวัดที่ได้จากการวัดงานมาตรฐานขึ้นหนึ่งตลอดช่วงเวลา (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ม.ป.ป.)

ความเสถียรของชุดเซ็นเซอร์ที่ผลิตขึ้นมาสามารถประเมินได้ด้วยการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อศึกษาความผิดปกติของการทำงานของชุดเซ็นเซอร์ในการอ่านค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองและไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ ตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมงที่เดินระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลอง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดมลพิษอากาศที่ประกอบขึ้นเองซึ่งสามารถตรวจวัดมลพิษในอากาศได้ 3 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศจริง ณ บริเวณทางเข้า-ออก คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และนำตัวอย่างที่ได้มาทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เพื่อประเมินปริมาณฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศและปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ ก่อนนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากชุดเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ประกอบขึ้นเองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของชุดเซ็นเซอร์ในด้านความแม่นยำ (Accuracy) และความเสถียร (Stability) โดยผลการศึกษาเป็นดังนี้

4.1 ค่าน้ำหนักของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในบรรยากาศทั่วไป

จากการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในบรรยากาศทั่วไป ณ บริเวณประตูทางเข้า-ออก คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 8 ครั้ง ระหว่างวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2567 ถึง 27 กุมภาพันธ์ 2567 เก็บตัวอย่างโดยใช้อัตราการไหล 16.67 LPM เมื่อนำน้ำหนักของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ที่ตรวจวัดได้จากวิธีมาตรฐานและน้ำหนักฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่คำนวณได้จากความเข้มข้นจากชุดเซ็นเซอร์ที่ประกอบขึ้นเองมาทำการเปรียบเทียบกัน พบว่าน้ำหนักของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนในพื้นที่ประตูทางเข้า-ออก คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นั้นมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0 – 21.32% ดังแสดงในตารางที่ 4.1

จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 8 ตัวอย่าง พบว่า ตัวอย่างที่ 5 (วันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2567) น้ำหนักฝุ่นที่คำนวณได้จากความเข้มข้นของฝุ่นที่วัดด้วยเซ็นเซอร์มีค่าเท่ากับน้ำหนักฝุ่นจากกระดาษกรอง ตัวอย่างที่ 7 (วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2567) น้ำหนักฝุ่นที่คำนวณจากค่าเซ็นเซอร์มีค่ามากกว่าน้ำหนักฝุ่นจากกระดาษกรอง สำหรับตัวอย่างที่ 1 3 4 6 และ 8 นั้นน้ำหนักฝุ่นที่คำนวณจากเซ็นเซอร์มีค่าต่ำกว่าน้ำหนักฝุ่นจากกระดาษกรอง

ที่น้ำหนักฝุ่นละอองจากกระดาษกรองและน้ำหนักฝุ่นละอองจากเซ็นเซอร์ ไม่เท่ากันนั้นอาจมีสาเหตุมาจากวิธีในการตรวจวัดที่แตกต่างกัน โดยน้ำหนักฝุ่นจากกระดาษกรองเป็นวิธีมาตรฐานด้วยวิธีการวิเมตริกที่เก็บตัวอย่างโดยการดูดอากาศผ่านแผ่นกรองแล้วหาน้ำหนักฝุ่นจากแผ่นกรอง

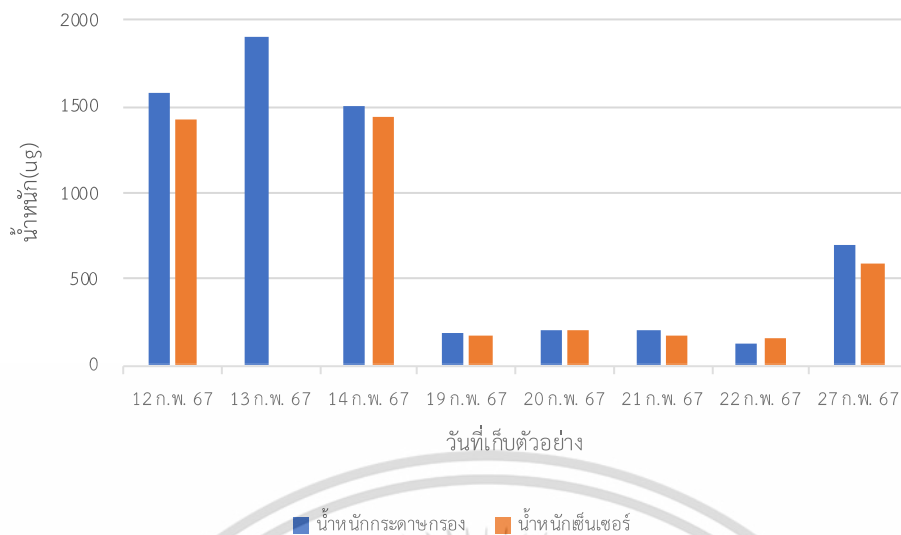
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า น้ำหนักฝุ่นละอองจากเซ็นเซอร์ เป็นการตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่เกิดขึ้นจากการส่งผ่านแสงผ่านไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากไม่มีเหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาใช้

ตัวกลางที่มีของแข็งแขวนลอยอยู่ โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้เซ็นเซอร์ฝุ่นมีประสิทธิภาพลดลงนั้น ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และ ความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ในอากาศ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูงประมาณ 50 - 80 % ทำให้ประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์ลดลง (Zamora และคณะ, 2019) ความเข้มข้นของฝุ่นละอองต่ำและระดับความชื้นสัมพัทธ์สูง มีผลกระทบอย่างมากต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซ็นเซอร์ (Dejchanchaiwong, 2023)

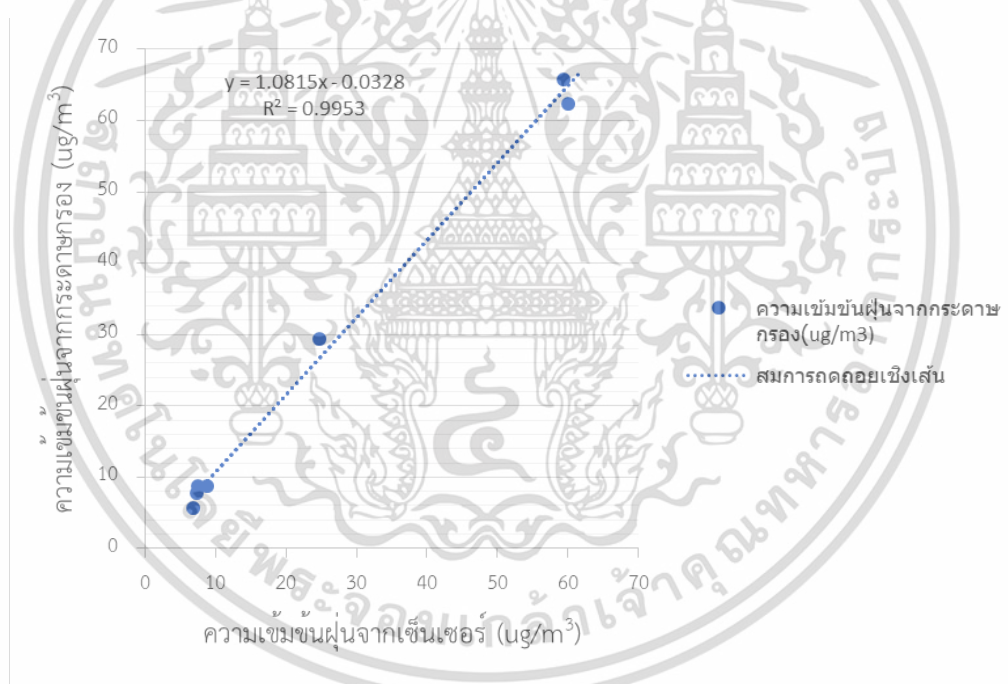
ตารางที่ 4.1 น้ำหนักของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) จากวิธีมาตรฐานเทียบกับ น้ำหนักฝุ่นจากเซ็นเซอร์

| ตัวอย่าง (วันที่) | น้ำหนักฝุ่นจาก กระตาศกรอง (ไมโครกรัม) | น้ำหนักฝุ่น จาก เซ็นเซอร์(ไมโครกรัม) | เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อน (%Error) |
|------------------------|---|--|---|
| 1 (12 กุมภาพันธ์ 2567) | 1580 | 1426 | 9.75 |
| 2 (13 กุมภาพันธ์ 2567) | 1903 | - | - |
| 3 (14 กุมภาพันธ์ 2567) | 1497 | 1440 | 3.81 |
| 4 (19 กุมภาพันธ์ 2567) | 187 | 176 | 5.88 |
| 5 (20 กุมภาพันธ์ 2567) | 210 | 210 | 0 |
| 6 (21 กุมภาพันธ์ 2567) | 210 | 180 | 14.29 |
| 7 (22 กุมภาพันธ์ 2567) | 136 | 165 | 21.32 |
| 8 (27 กุมภาพันธ์ 2567) | 707 | 594 | 15.98 |

หมายเหตุ : ไม่สามารถทำการคำนวณน้ำหนักฝุ่นในตัวอย่างที่ 2 (13 กุมภาพันธ์ 2567) เนื่องจาก ข้อมูลที่เซ็นเซอร์แปลผลนั้นขาดหายไปติดต่อกันมากกว่า 1 ชั่วโมง จึงทำให้ไม่สามารถคำนวณน้ำหนักฝุ่นตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมงได้



รูปที่ 4.1 น้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนจากวิธีมาตรฐานเทียบกับน้ำหนักฝุ่นจากซีเมนต์



รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) จากวิธีมาตรฐานเทียบกับความเข้มข้นฝุ่นจากซีเมนต์

พบว่าสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายได้ เป็น $y = 1.0815x - 0.0328$ โดย x คือ ความเข้มข้นฝุ่นจากซีเมนต์ y คือ ความเข้มข้นฝุ่นจากกระดาษกรองและค่า r^2 เท่ากับ 0.9953 หมายความว่า ค่าความเข้มข้นที่อ่านได้ซีเมนต์ มีแนวโน้มที่จะอ่านค่าได้มากกว่าวิธีมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 คำนวณน้ำหนักของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ในบรรยากาศทั่วไป

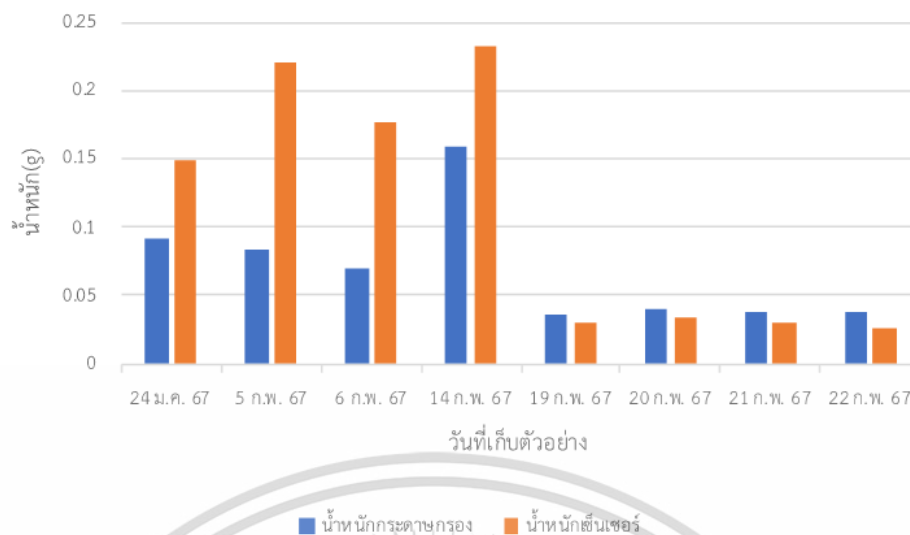
จากการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในบรรยากาศทั่วไป ณ บริเวณประตูทางเข้า-ออก คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 8 ครั้ง ระหว่างวันที่ 24 มกราคม 2567 ถึง 27 กุมภาพันธ์ 2567 เมื่อนำน้ำหนักของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ที่ตรวจวัดได้จากวิธีมาตรฐานและน้ำหนักฝุ่นละออง PM₁₀ ที่คำนวณได้จากความเข้มข้นจากชุดเซ็นเซอร์ที่ประกอบขึ้นเองมาทำการเปรียบเทียบกัน พบว่าน้ำหนักของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในพื้นที่ประตูทางเข้า-ออก คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นั้นมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 14.46 – 166.14% ดังแสดงในตารางที่ 4.2

จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 8 ตัวอย่าง พบว่าน้ำหนักของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในพื้นที่หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยผลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 8 ตัวอย่างพบว่าตัวอย่างที่ 1 - 4 คำนวณได้จากความเข้มข้นของฝุ่นที่วัดด้วยเซ็นเซอร์มีค่ามากกว่าน้ำหนักฝุ่นจากกระดาศกรอง และตัวอย่างที่ 5 - 8 น้ำหนักฝุ่นที่คำนวณจากค่าเซ็นเซอร์มีค่าต่ำกว่าน้ำหนักฝุ่นจากกระดาศกรอง ที่น้ำหนักฝุ่นละอองจากกระดาศกรองและน้ำหนักฝุ่นละอองจากเซ็นเซอร์ ไม่เท่ากันนั้นอาจมีสาเหตุเดียวกันกับการใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัด PM_{2.5}

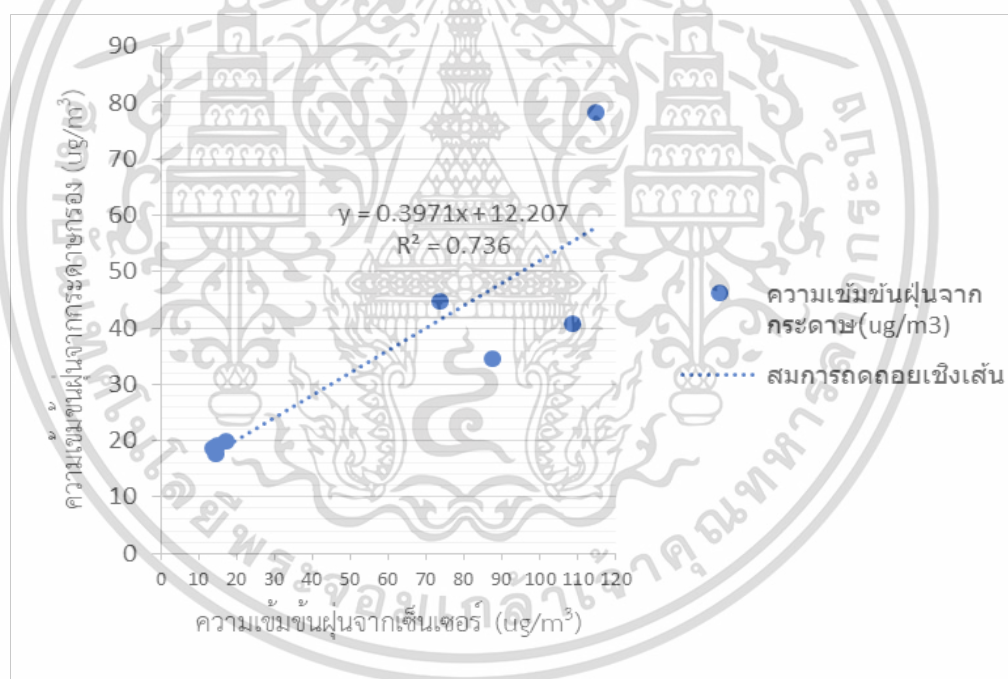
ตารางที่ 4.2 น้ำหนักของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) จากวิธีมาตรฐานเทียบกับน้ำหนักฝุ่นจากเซ็นเซอร์

| ตัวอย่าง (วันที่) | น้ำหนักฝุ่นจากกระดาศกรอง (กรัม) | น้ำหนักฝุ่นจากเซ็นเซอร์ (กรัม) | เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%Error) |
|------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| 1 (24 มกราคม 2567) | 0.0913 | 0.1496 | 63.86 |
| 2 (5 กุมภาพันธ์ 2567) | 0.0827 | 0.2201 | 166.14 |
| 3 (6 กุมภาพันธ์ 2567) | 0.0701 | 0.1776 | 153.35 |
| 4 (14 กุมภาพันธ์ 2567) | 0.1582 | 0.2315 | 46.33 |
| 5 (19 กุมภาพันธ์ 2567) | 0.0354 | 0.0292 | 17.51 |
| 6 (20 กุมภาพันธ์ 2567) | 0.0401 | 0.0343 | 14.46 |
| 7 (21 กุมภาพันธ์ 2567) | 0.0385 | 0.0296 | 23.12 |
| 8 (22 กุมภาพันธ์ 2567) | 0.0375 | 0.0269 | 28.27 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 น้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนจากวิธีมาตรฐานเทียบกับน้ำหนักฝุ่นจากเซ็นเซอร์



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) จากวิธีมาตรฐานเทียบกับความเข้มข้นฝุ่นจากเซ็นเซอร์

พบว่าสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายได้ เป็น $y = 0.3971x + 12.207$ โดย x คือ ความเข้มข้นฝุ่นจากเซ็นเซอร์ y คือ ความเข้มข้นฝุ่นจากกระดาษกรองและค่า r^2 เท่ากับ 0.736 หมายความว่า ค่าความเข้มข้นที่อ่านได้เซ็นเซอร์ มีแนวโน้มที่จะอ่านค่าได้ต่ำกว่าวิธีมาตรฐาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากมีข้อสงสัยประการใด กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2524-5000 หรือ 0-2524-5001

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ค่าความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศทั่วไป

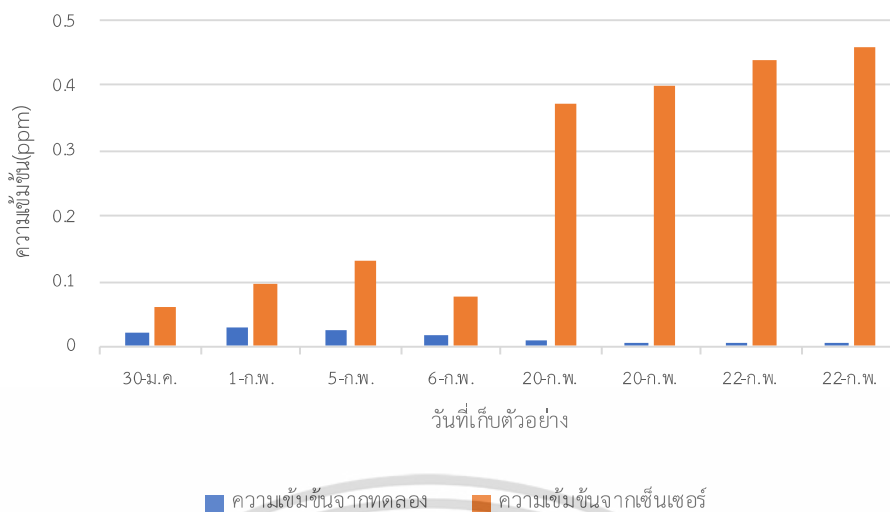
จากการศึกษาความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศทั่วไป ณ บริเวณประตูทางเข้า-ออก คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 8 ครั้ง ระหว่างวันที่ 30 มกราคม 2567 ถึง 22 กุมภาพันธ์ 2567 พบว่าเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Griess-Saltzman ซึ่งเป็นวิธีเทียบเท่ามาตรฐาน ไนโตรเจนไดออกไซด์ เมื่อนำความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้จากวิธีเทียบเท่ามาตรฐานและความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากชุดเซ็นเซอร์ที่ประกอบขึ้นเองมาทำการเปรียบเทียบกัน พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่ประตูทางเข้า-ออก คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นั้นมีความคลาดเคลื่อนในช่วง 173.76 – 15546.43% ดังแสดงในตารางที่ 4.3

จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 8 ตัวอย่าง พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ ในพื้นที่หน้า คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยผลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 8 ตัวอย่างพบว่าตัวอย่างที่ 1-3 และ 5-8 ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่วัดด้วยเซ็นเซอร์มีค่ามากกว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากการทดลอง และตัวอย่างที่ 4 ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่วัดด้วยเซ็นเซอร์มีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากการทดลอง

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศจากวิธีเทียบเท่ามาตรฐานเทียบกับความเข้มข้นจากเซ็นเซอร์

| ตัวอย่าง (วันที่) | ความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์จากการทดลอง(ppm) | ความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์จากเซ็นเซอร์(ppm) | เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%Error) |
|------------------------|--|---|-------------------------------------|
| 1 (30 มกราคม 2567) | 0.0221 | 0.605 | 173.76 |
| 2 (1 กุมภาพันธ์ 2567) | 0.0303 | 0.0953 | 214.52 |
| 3 (5 กุมภาพันธ์ 2567) | 0.0238 | 0.1303 | 447.48 |
| 4 (6 กุมภาพันธ์ 2567) | 0.0157 | 0.0754 | 380.25 |
| 5 (20 กุมภาพันธ์ 2567) | 0.0082 | 0.3715 | 4430.49 |
| 6 (20 กุมภาพันธ์ 2567) | 0.0036 | 0.3983 | 10963.89 |
| 7 (22 กุมภาพันธ์ 2567) | 0.0028 | 0.4381 | 15546.43 |
| 8 (22 กุมภาพันธ์ 2567) | 0.0034 | 0.4605 | 13444.12 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากวิธีเทียบเท่ามาตรฐานเทียบกับความเข้มข้นจากเซ็นเซอร์



รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์จากวิธีเทียบเท่ามาตรฐานเทียบกับความเข้มข้นจากเซ็นเซอร์

พบว่าสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายได้ เป็น $y = -0.0548x + 0.0276$ โดย x คือ ความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์จากเซ็นเซอร์ y คือ ความเข้มข้นไนโตรเจนจากการทดลอง และค่า r^2 เท่ากับ 0.8191

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

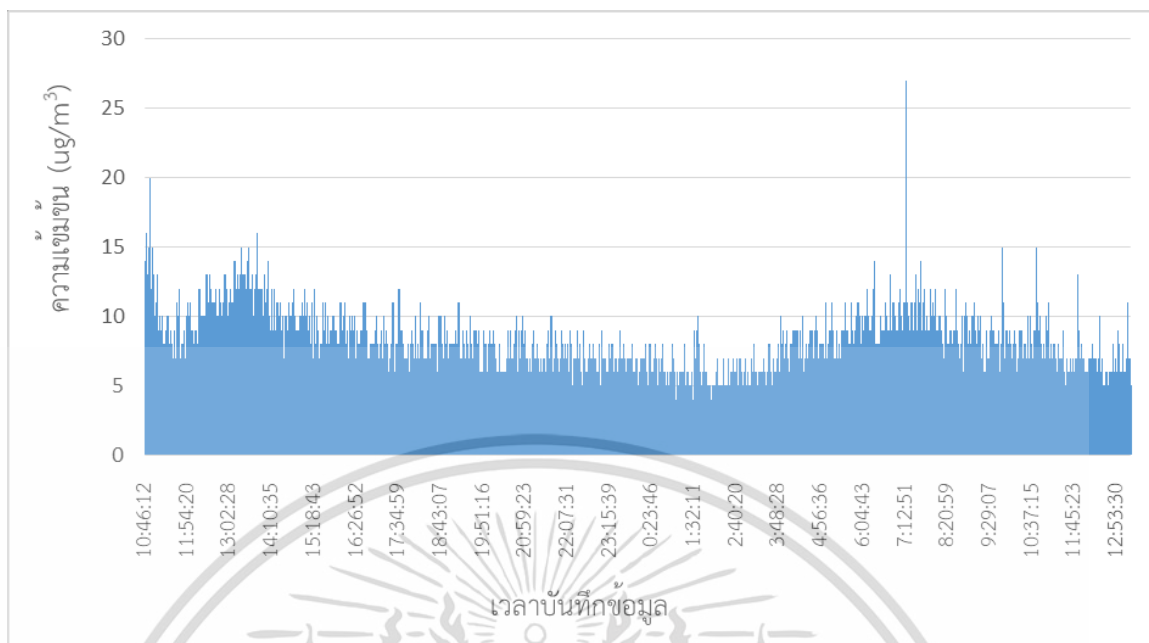
ที่ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากการตรวจวัดด้วยวิธีเทียบเท่ามาตรฐานและความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากเซ็นเซอร์ไม่เท่ากันนั้นมีสาเหตุมาจากในขั้นตอนการตั้งค่าเริ่มต้นของอุปกรณ์ (Set Zero) ของเครื่องมือเซ็นเซอร์ บริเวณที่ทำการตั้งค่าเริ่มต้นของอุปกรณ์นั้น อากาศไม่ปลอดไนโตรเจนไดออกไซด์ ทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนในการอ่านข้อมูล นอกจากนี้ถ้าในอากาศมีก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มารบกวนการอ่านข้อมูลของเซ็นเซอร์ จะทำให้ประสิทธิภาพในการอ่านข้อมูลของเซ็นเซอร์ลดลง (SPEC Sensors, 2017)

หากนำเซ็นเซอร์ไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดจริง เช่น การตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร การที่ค่าจากเซ็นเซอร์มีความคลาดเคลื่อนสูงมาก จะส่งผลให้ค่าที่ตรวจวัดนั้นสูงกว่าค่ามาตรฐานและไม่เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร ส่งผลต่อค่ามาตรฐานอากาศและการวางแผนในการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร

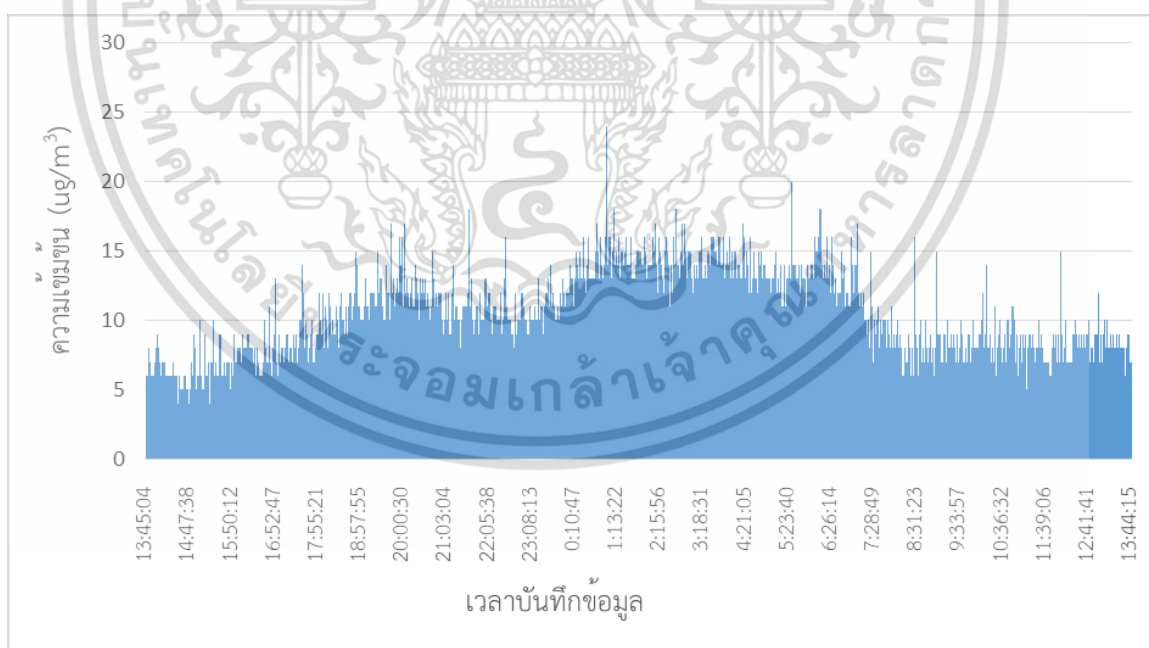
4.4 ความเสถียร

จากผลการศึกษาพบว่า เซ็นเซอร์ PMS7003 ในการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM10 ไม่พบปัญหาในการอ่านค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองในช่วงเริ่มต้นของการเดินระบบ จึงสามารถใช้ข้อมูลที่เก็บได้ตั้งแต่เริ่มเปิดเครื่อง ส่วนของเซ็นเซอร์ ULPSM-NO₂ 968-047 พบปัญหาในการอ่านค่าในช่วงแรกของการเดินระบบ โดยค่าความเข้มข้นที่เซ็นเซอร์สามารถวัดได้ค่าสูงผิดปกติ และจะเริ่มลดลงจนเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้นค่าความเข้มข้นที่ได้จากการวัดในช่วงเริ่มต้นนั้นอาจไม่ใช่ค่าที่ถูกต้อง ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ส่งไปยังตัวเซ็นเซอร์ไม่สม่ำเสมอ หรืออาจเกิดจากสภาพแวดล้อมที่แปรปรวน ทำให้เซ็นเซอร์ทำงานไม่เสถียร ดังนั้นก่อนการเก็บตัวอย่างทุกครั้ง ต้องทำการเดินระบบให้เซ็นเซอร์ทำงานก่อนอย่างน้อย 1 ชั่วโมง เพื่อวอร์มเครื่องก่อนการตรวจวัด ซึ่งจะช่วยให้ตัวเซ็นเซอร์มีความเสถียรมากขึ้นและค่าความเข้มข้นที่ได้จะมีความถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบปัญหาในการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ค่าความเข้มข้นที่เซ็นเซอร์ตรวจวัดได้หายไปช่วงหนึ่ง ทำให้ไม่สามารถคำนวณค่าความเข้มข้นตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

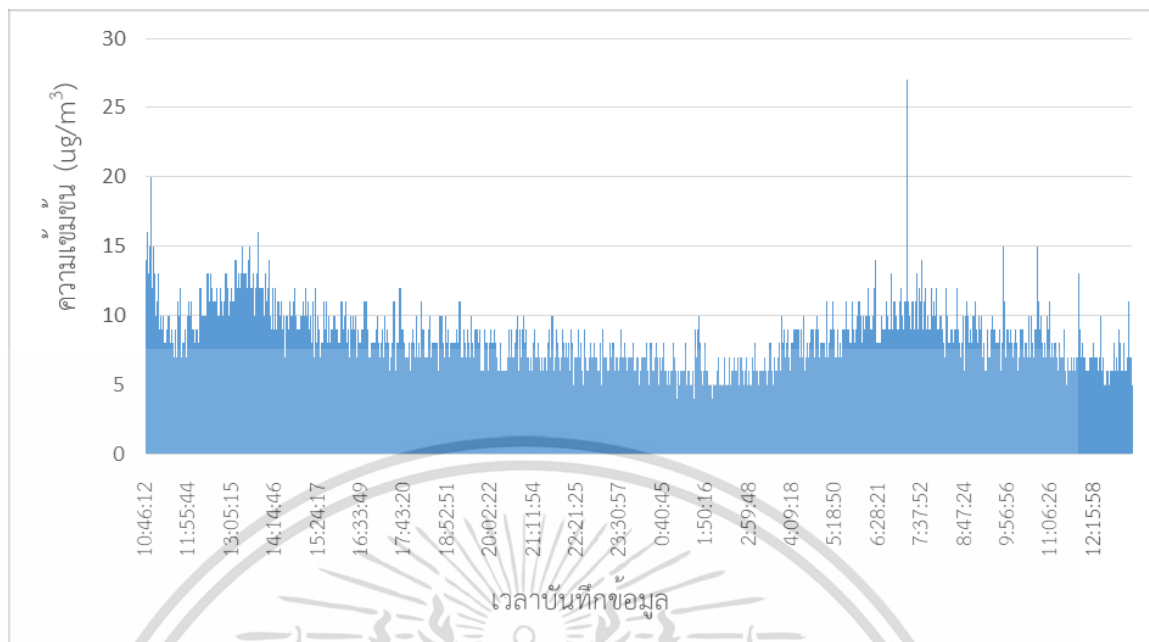


รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2567

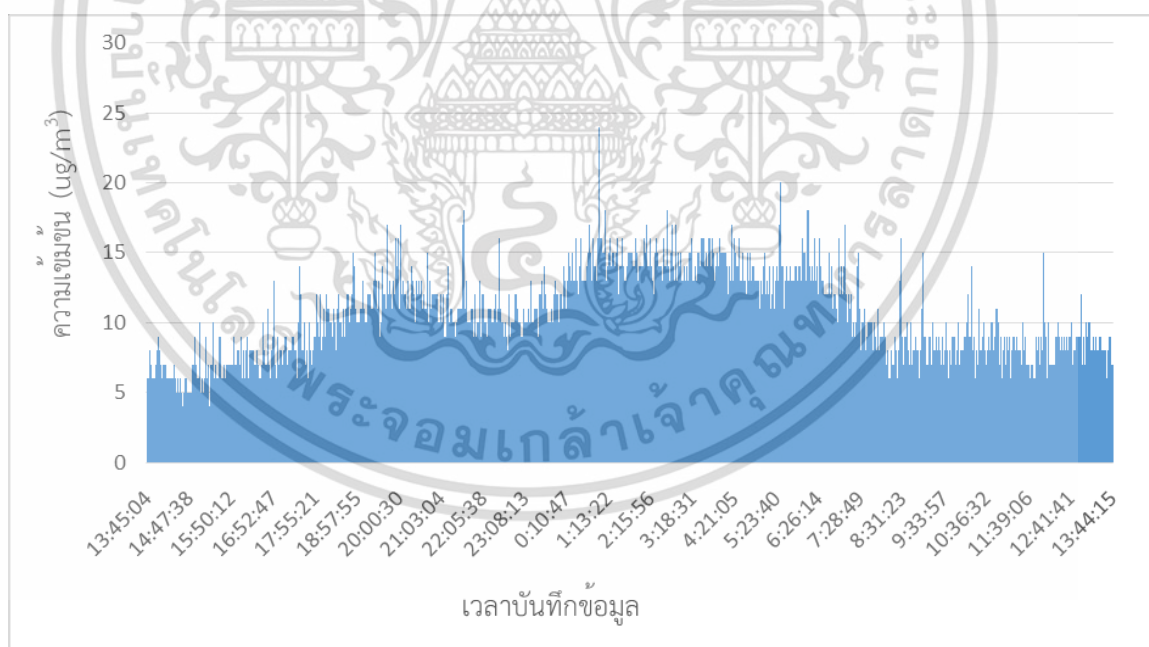


รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

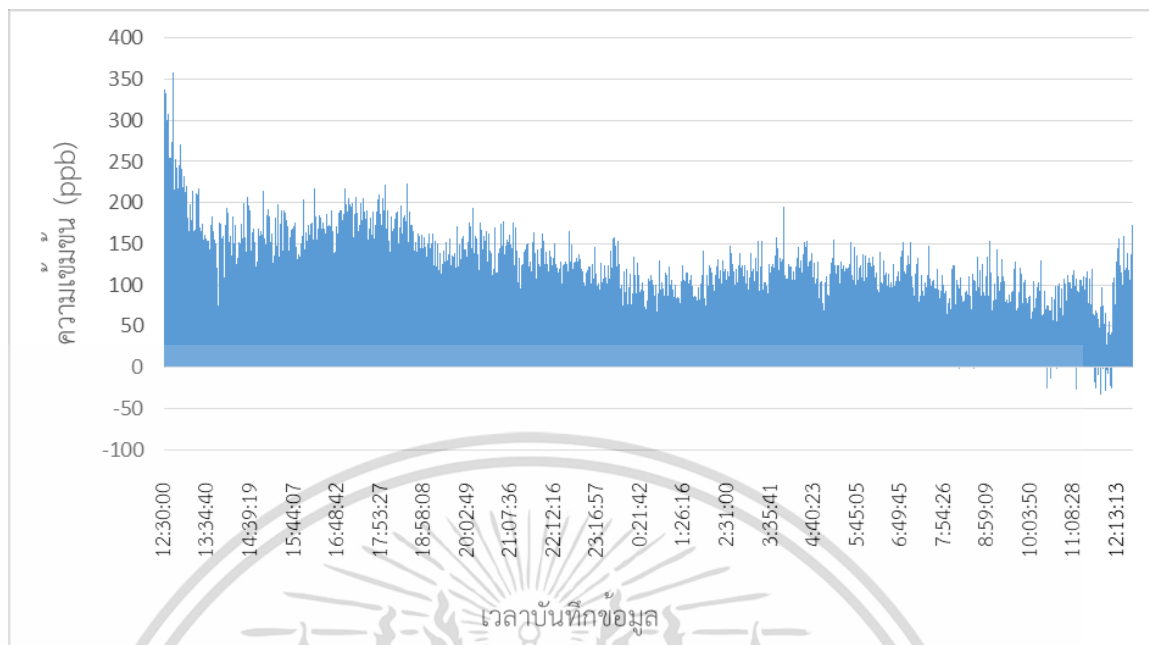


รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2567

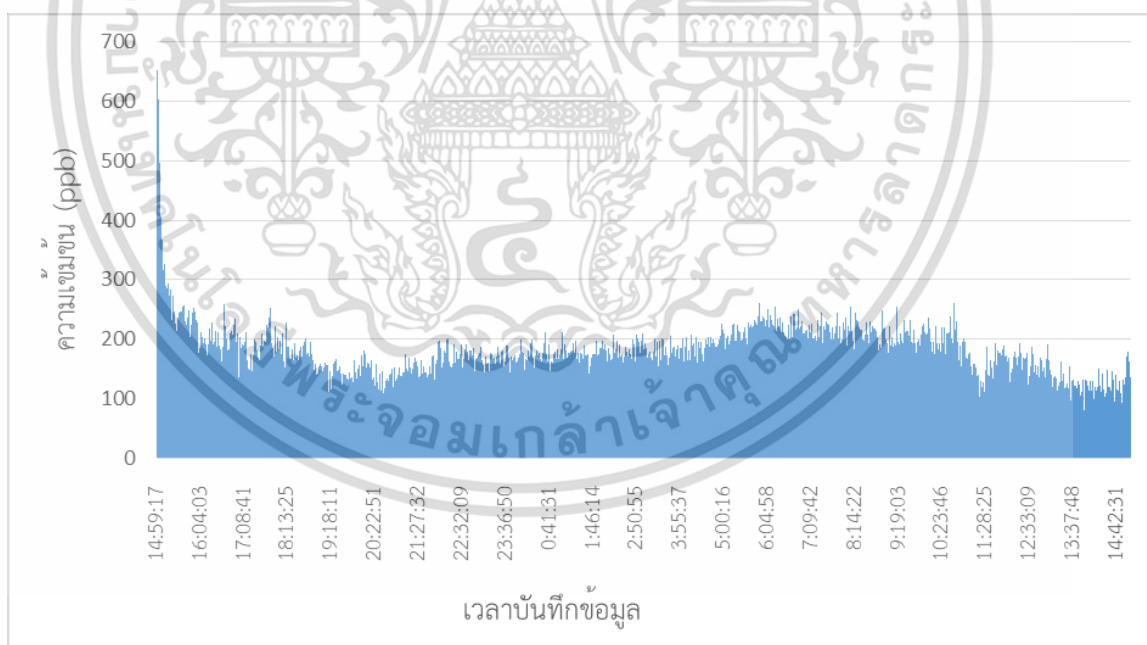


รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 30 มกราคม 2567



รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง ขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน

การตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน โดยทำการเก็บตัวอย่างปริมาณฝุ่นด้วยเครื่อง Low Volume FRM Sampler ในพื้นที่ทางเข้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 8 ตัวอย่าง พบว่า เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน (FRM) ของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เทียบกับการตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์ PMS7003 (Plantower) มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0 – 21.32% ความแตกต่างของค่าที่ได้นั้นอาจเกิดจากวิธีการตรวจวัดที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ด้วยวิธีการปริมาตร และปริมาณฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ จากเซ็นเซอร์ เป็นวิธีตรวจวัดโดยอาศัยหลักการกระเจิงแสง ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้เซ็นเซอร์ฝุ่นมีประสิทธิภาพพลดลงนั้น ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$

5.1.2 ผลตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง ขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

การตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน โดยทำการเก็บตัวอย่างปริมาณฝุ่น PM_{10} ด้วยเครื่อง High Volume Air Sampler ในพื้นที่ทางเข้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 8 ตัวอย่าง พบว่า เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน (FRM) ของฝุ่นละออง PM_{10} เทียบกับการตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์ PMS7003 (Plantower) มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 14.46 – 166.14% ความแตกต่างของค่าที่ได้นั้นอาจเกิดจากวิธีการตรวจวัดที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละออง PM_{10} ด้วยวิธีการปริมาตร และปริมาณฝุ่นละออง PM_{10} จากเซ็นเซอร์ เป็นวิธีตรวจวัดโดยอาศัยหลักการกระเจิงแสง ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้เซ็นเซอร์ฝุ่นมีประสิทธิภาพพลดลงนั้น ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มข้นของ PM_{10}

5.1.3 ผลตรวจวัดปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์

การตรวจวัดความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยทำการเก็บตัวอย่างปริมาณฝุ่นด้วยเครื่อง Personal Air Pump ในพื้นที่ทางเข้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 8 ตัวอย่าง พบว่า เมื่อทำการตรวจวัดความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์วิธี Griess Saltzman เทียบกับการตรวจวัดด้วยชุดเซ็นเซอร์ ULPSM-NO₂ 968-047 มีค่าความคลาดเคลื่อนในช่วง 173.76 – 15446.43% ความแตกต่างของค่าที่ได้นั้นอาจเกิดจาก ขั้นตอนการตั้งค่าเริ่มต้นของอุปกรณ์ (Set Zero) ของเครื่องมือเซ็นเซอร์ บริเวณที่ทำการตั้งค่าเริ่มต้นของอุปกรณ์ นั้นอากาศไม่ปลอดไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งไม่ถูกต้องตามหลักการตั้งค่าเริ่มต้นอุปกรณ์ของเซ็นเซอร์และอาจมีก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการทำงานของอุปกรณ์ ทำให้ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลลดลง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุบังเอิญและต้องอ้างอิงถึงข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จำนวนตัวอย่าง

เพื่อความชัดเจนของข้อมูลประสิทธิภาพการทำงานของเซ็นเซอร์ ควรทำการเก็บตัวอย่างหลายซ้ำหรือมากกว่า 8 ครั้ง ควรเก็บตัวอย่างทั้งสามชนิดพร้อมกันทั้งหมด และควรเลือกทำการทดลองเก็บตัวอย่างในช่วงกึ่งกลางของการเดินระบบเซ็นเซอร์เพื่อให้ได้ค่าที่มีความแม่นยำมากขึ้น จะทำให้เห็นแนวโน้มและความแตกต่างของค่าจากการวิเคราะห์ที่ได้ชัดเจน

5.2.2 ความเที่ยง (Precision)

ความเที่ยง เป็นค่าที่บ่งบอกว่า การทำซ้ำที่บริเวณใกล้เคียงและเวลาที่ใกล้เคียงกันมีความเสถียรมากน้อยเพียงใด ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับค่าเดิมมากน้อยแค่ไหน ทำได้โดยการเพิ่มจำนวนชุดกล่องเซ็นเซอร์ตรวจวัดที่มีองค์ประกอบภายในเหมือนกัน เก็บตัวอย่างที่เดียวกันและเวลาเดียวกัน โดยเทคนิคนี้จะเรียกว่า collocated sampling

5.2.3 การติดตั้งอุปกรณ์อื่นๆ เพิ่มเติม

ควรติดตั้งตัววัดความชื้นที่บริเวณด้านหลังพัดลมก่อนถึงตัวเซ็นเซอร์ เพื่อลดการรบกวนของปัจจัยด้านความชื้น ที่อาจมีผลต่อการทำงานของเซ็นเซอร์ ทำให้ประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์ลดลง

เอกสารอ้างอิง

กรมอนามัย และ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. 2558. แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงจากมลพิษทางอากาศกรณีฝุ่นละอองขนาดเล็ก. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER17/DRAWER002/GENERAL/DATA0000/00000200.PDF>

กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์, กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และสุวรรณี จรรยาพูน. 2563. ปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพอากาศ. กรุงเทพมหานคร. โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรมควบคุมมลพิษ. 2564. ทส. แจง 5 ปีที่ผ่านมา ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง และค่าเฉลี่ยรายปี ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://www.pcd.go.th/pcd_news/15084

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2538. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.pcd.go.th/laws/2831>

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2552. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยทั่วไป. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.pcd.go.th/laws/2806>

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2562. ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง เครื่องวัดและวิธีตรวจวัดค่าเฉลี่ยของก๊าซหรือฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยทั่วไประบบอื่นหรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://webportal.bangkok.go.th/upload/user/00000231/data/law/2.13.pdf>

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2565. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในบรรยากาศโดยทั่วไป. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2565/E/163/T_0021.PDF

ธรา คำบัวศรี. 2562. จับตาแหล่งกำเนิดไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) คู่หู PM_{2.5} ในประเทศไทย. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.greenpeace.org/thailand/story/9281/no2-couple-pm25/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

นิพนธ์ พัวพงศกร, กัมพล บันตะแก้ว และสุทธิภัทร ราชคม. 2562. ข้อจำกัดในการแก้ไขปัญหามลพิษ PM2.5. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://tdri.or.th/2023/03/pm2-5-thailands-solutions/>

บริษัท ไคเนติกส์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด. ม.ป.ป. คู่มือการใช้งานเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศขนาด 2.5 ไมครอน. กรุงเทพมหานคร

บริษัท อีออส ไซเอนทิฟิก จำกัด. ม.ป.ป. กระดาษกรอง คืออะไร. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.eosscientificshop.com/Article/Detail/151231>

วรนุช ดีละมัน, กัลทิมา เขาว์ชาญชัยกุล และ ปิยะพงษ์ ปานแก้ว. 2558. การประเมินค่าการปนเปื้อนของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ

วรวิทย์ จันท์สุวรรณ. 2563. การประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูล. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://web.rmutp.ac.th/woravith/upload/AnalChem/ppt-evaluation.pdf>

วิชัย ผลวิริยชัย, ม.ป.ป. ชุดตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศและพื้นที่ทำงาน. [Online]. เข้าถึงได้จาก http://php.div.go.th/centerprice/upload1/TOR_HighVolume.pdf

ศุภิระ บุตรดี, ศศิธร วงศ์ทิม และ นลพรพรช เกิดทวี. 2562. การแปรผันเชิงพื้นที่และฤดูกาลของความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เมืองพัทยาจังหวัดชลบุรี. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 3: 481-494.

สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัย มหิดล. ม.ป.ป. การวัดการดูดกลืนแสง. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page4_4.html

สถาบันพลังงานมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2564. 4 ก๊าซพิษแฝงตัวอยู่ในหมอกควัน. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://erdi.cmu.ac.th/?p=2697>

สถาบันส่งเสริมการวิเคราะห์และบริหารข้อมูลขนาดใหญ่ภาครัฐ. 2563. การวิเคราะห์ของกรีนพีซแหล่งกำเนิดของไนโตรเจนไดออกไซด์ในประเทศไทยจากข้อมูลดาวเทียม. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.greenpeace.or.th/report/Thailand-NO2.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- สมพงษ์ บุญเรือง. 2563. เรียนรู้เกี่ยวกับฝุ่น PM 2.5. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.mnre.go.th/reo11/th/view/?file=pTMgMUqjGP5gAjP2qQWcBUt5pQWgA3plGQlgBJp4qQlcZKtgpQygZUp1GQAgtPlqQqcZat1pQygBUp1GQSgAjpj qQlcZKtjpQWgZUplGP1gMJqfqTycMatipTlgoUqcGTMgY2q1qTycZ3t2pQSgY3qxG TSgo2qfqUOcqKti&n>
- อลิสา ป้อมสุข. 2556. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีตรวจวัดแบบแฟลสซีฟกับวิธีมาตรฐานเคมีลูมิเนสเซนซ์และผลต่อค่าการสีกรรอนต่อโบราณสถาน. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยศิลปากร
- Al-Okby, M. F., Neubert, S., Roddelkopf, T., & Thurow, K. (2021). Mobile Detection and Alarming Systems for Hazardous Gases and Volatile Chemicals in Laboratories and Industrial Locations. *Sensors*, 21(23).
- Breitegger, P., Schweighofer, B., Wegleiter, H., Knoll, M., Lang, B., & Bergmann, A. (2020). Towards low-cost QEPAS sensors for nitrogen dioxide detection. *Photoacoustics*, 18, 100169.
- Guan, R., Yu, J., Li, M., Yan, J., & Liu, Z. (2021). Preparation of electrochemical sensor assisted unmanned aerial vehicles system for SO₂, O₃, NO₂, CO and PM_{2.5}/PM₁₀ detection in air. *International Journal of Electrochemical Science*, 16(10), 211021
- Dejchanchaiwong, R., Tekasakul, P., Saejio, A., Limna, T., Le, T.-C., Tsai, C.-J., Lin, G.-Y., & Morris, J. (2023). Seasonal Field Calibration of Low-Cost PM_{2.5} Sensors in Different Locations with Different Sources in Thailand. *Atmosphere*, 14(3).
- Elmer. 2024. วารระบบตรวจจับแก๊สรั่ว. [Online]. <https://www.elmer.co.th>
- Instrument Asia. ม.ป.ป. ปีมสำหรับเก็บตัวอย่างอากาศ. [Online]. <https://www.instrumentasia.com/en/ปีมสำหรับเก็บตัวอย่าง/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Levy Zamora, M., Xiong, F., Gentner, D., Kerkez, B., Kohrman-Glaser, J., & Koehler, K. (2019). Field and Laboratory Evaluations of the Low-Cost Plantower Particulate Matter Sensor. *Environmental Science & Technology*, 53(2), 838-849.
- Lewis, S. L., Russell, L. M., McKinsey, J. A., & Harris, W. J. (2023). Small contributions of dust to PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations measured downwind of Oceano Dunes. *Atmospheric Environment*, 294, 119515.
- Rogulski, M. (2018). Indoor PM₁₀ concentration measurements using low-cost monitors in selected locations in Warsaw. *Energy Procedia*, 147, 137-144.
- Rojano, R., Vengoechea, A. M., & Arregocés, H. A. (2023). Indoor/outdoor relationship of Particulate matter (PM₁₀) and its chemical composition in a coastal region of Colombia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100397.
- Spec Sensor. 2017. Ultra-Low Power Analog Sensor Module for Nitrogen Dioxide. [Online]. https://www.spec-sensors.com/wp-content/uploads/2016/10/ULPSM-NO2-968-047_8-25-17.pdf
- Spinelle, L., Gerboles, M., Villani, M. G., Alexandre, M., & Bonavitacola, F. (2015). Field calibration of a cluster of low-cost available sensors for air quality monitoring. Part A: Ozone and nitrogen dioxide. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 215, 249-257.
- Suwanpravit, C., Charoenpanyanet, A., Pardthaisong, L., & Sin-ampol, P. (2018). Spatial and Temporal Variations of Satellite-Derived PM₁₀ of Chiang Mai: An Exploratory Analysis. *Procedia Engineering*, 212, 141-148.
- Tékouabou, S. C. K., Chenal, J., Azmi, R., Diop, E. B., Toulni, H., & Nsegbe, A. d. P. (2022). Towards air quality particulate-matter monitoring using low-cost sensor data and visual exploration techniques: case study of Kisumu, Kenya. *Procedia Computer Science*, 215, 963-972.
- Van Zoest, V., Osei, F. B., Stein, A., & Hoek, G. (2019). Calibration of low-cost NO₂ sensors in an urban air quality network. *Atmospheric Environment*, 210, 66-75.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

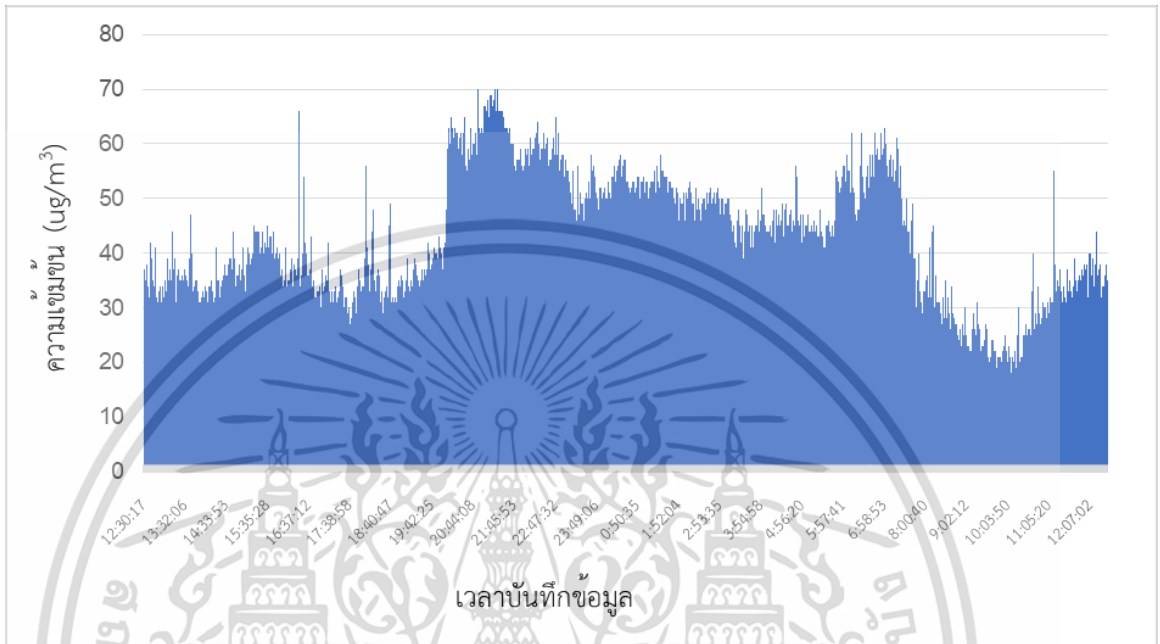
Yong, Z. 2016. Digital universal particle concentration sensor. [Online].
https://download.kamami.pl/p564008PMS7003%20series%20data%20manua_English_V2.5.pdf



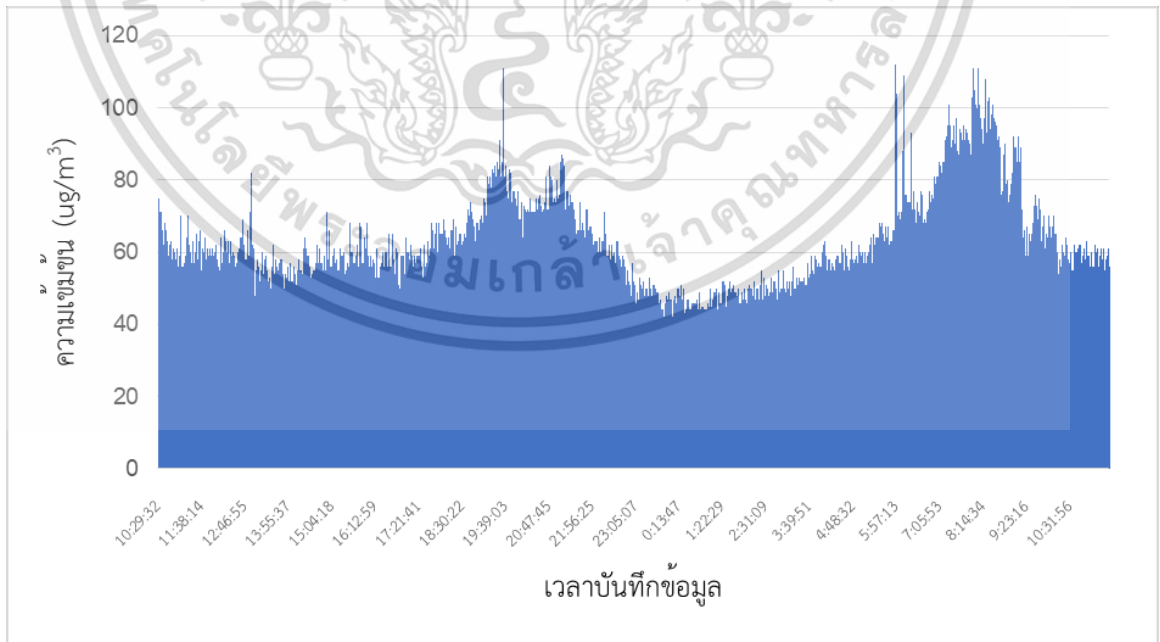
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

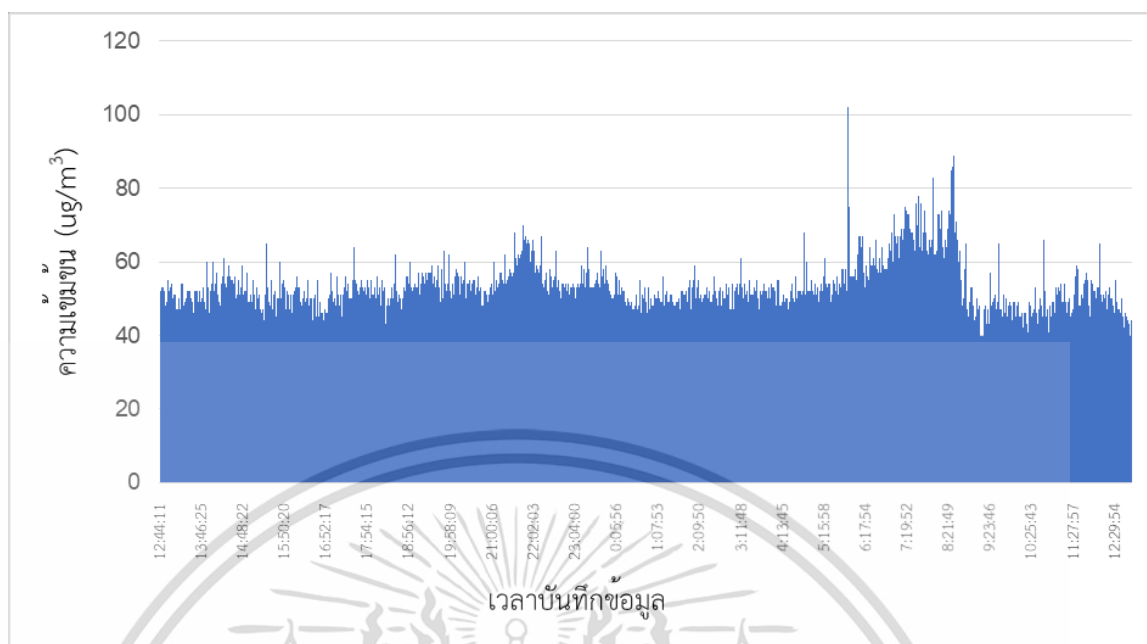
ผลการสอบเทียบความเสถียรของเซ็นเซอร์ PMS7003 และ ULPSM-NO2 968-047



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 24 มกราคม 2567



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2567

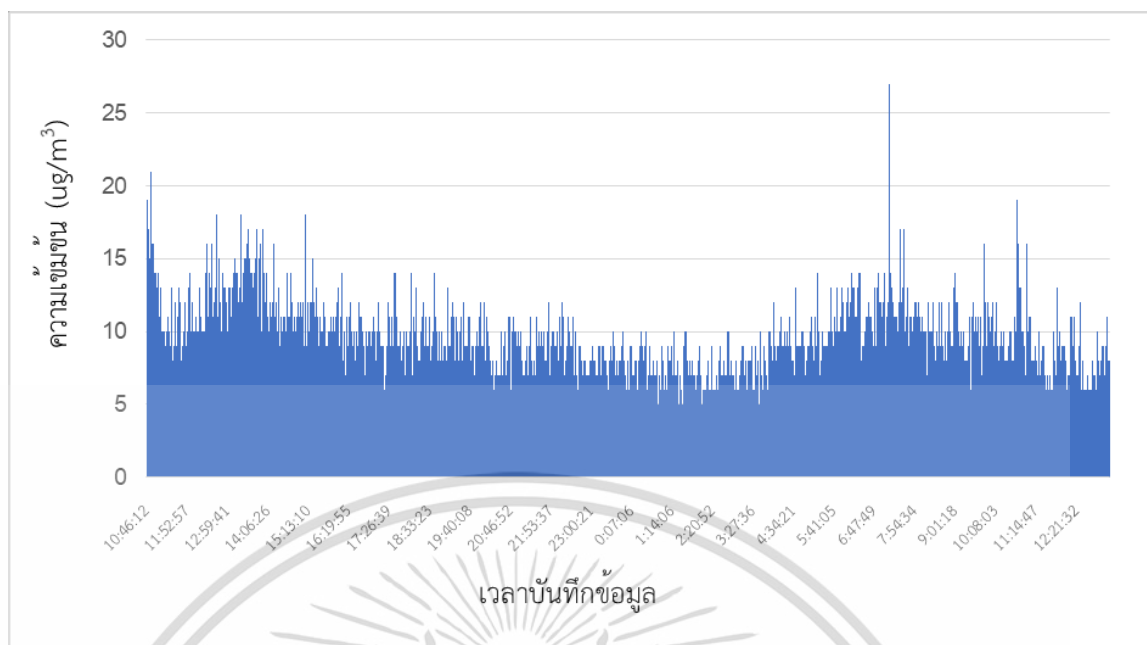


รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2567

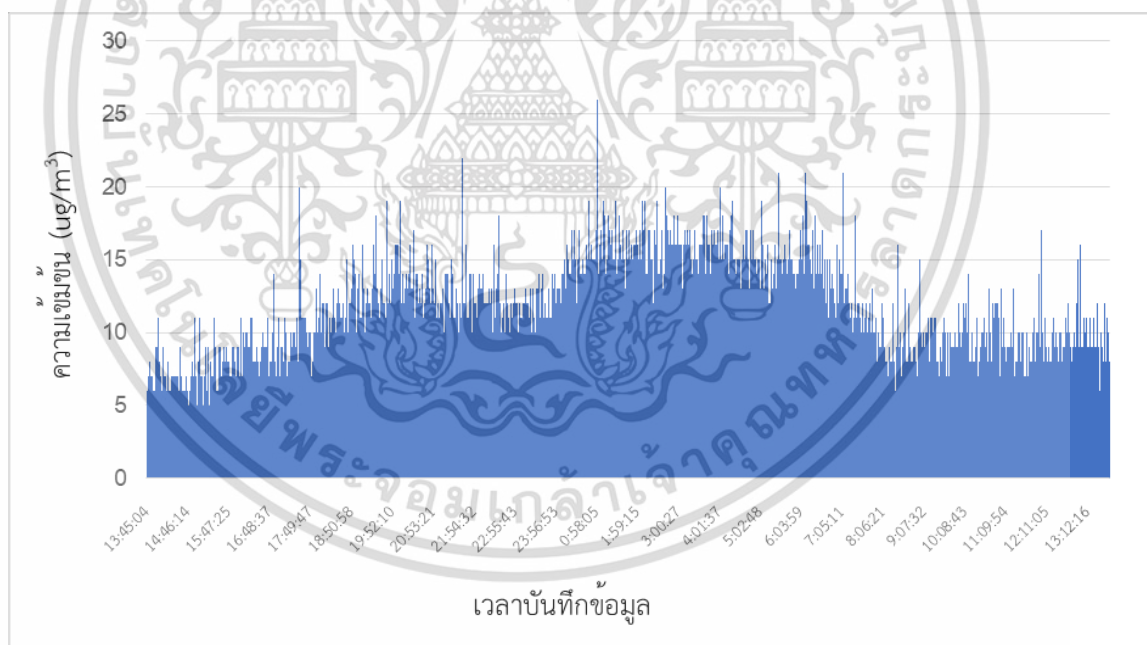


รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

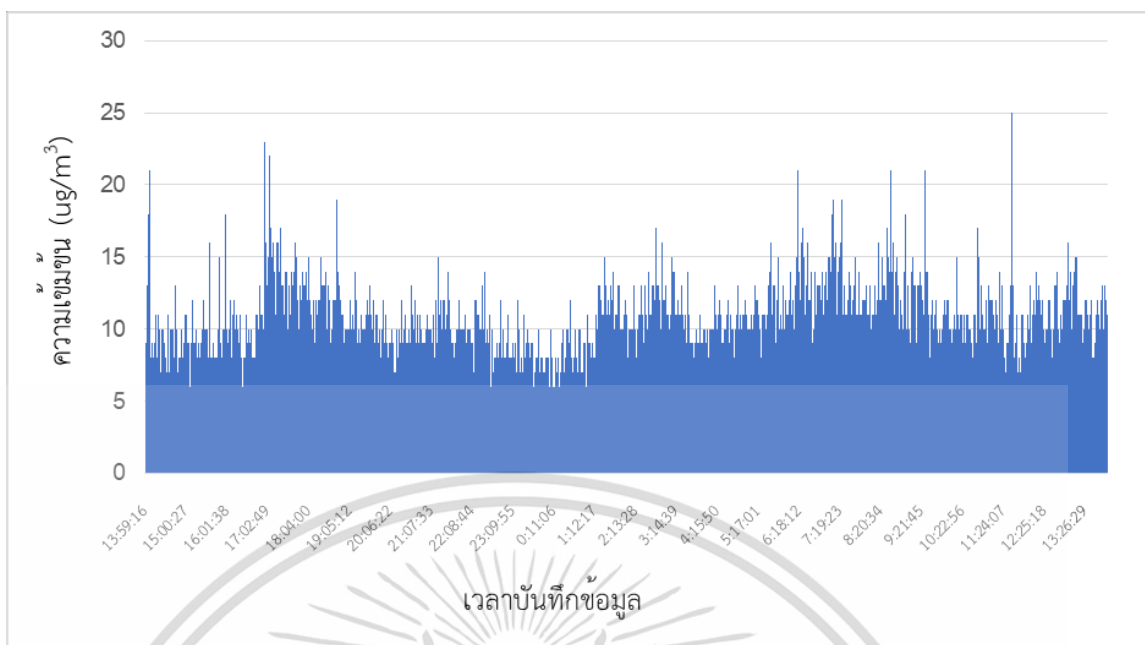


รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2567

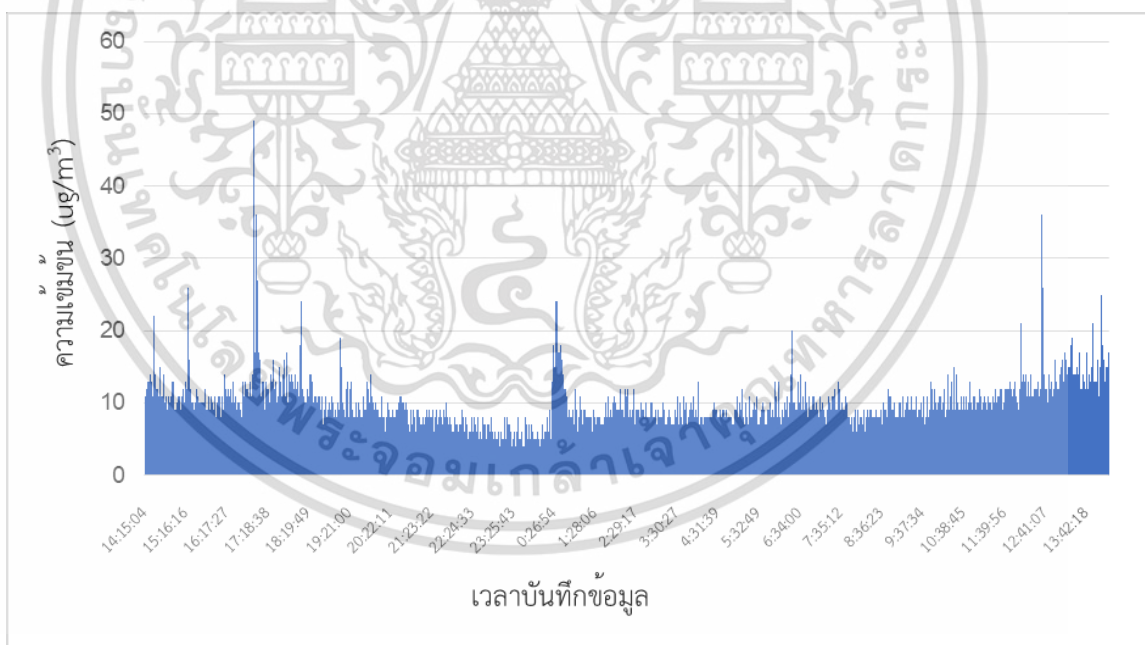


รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

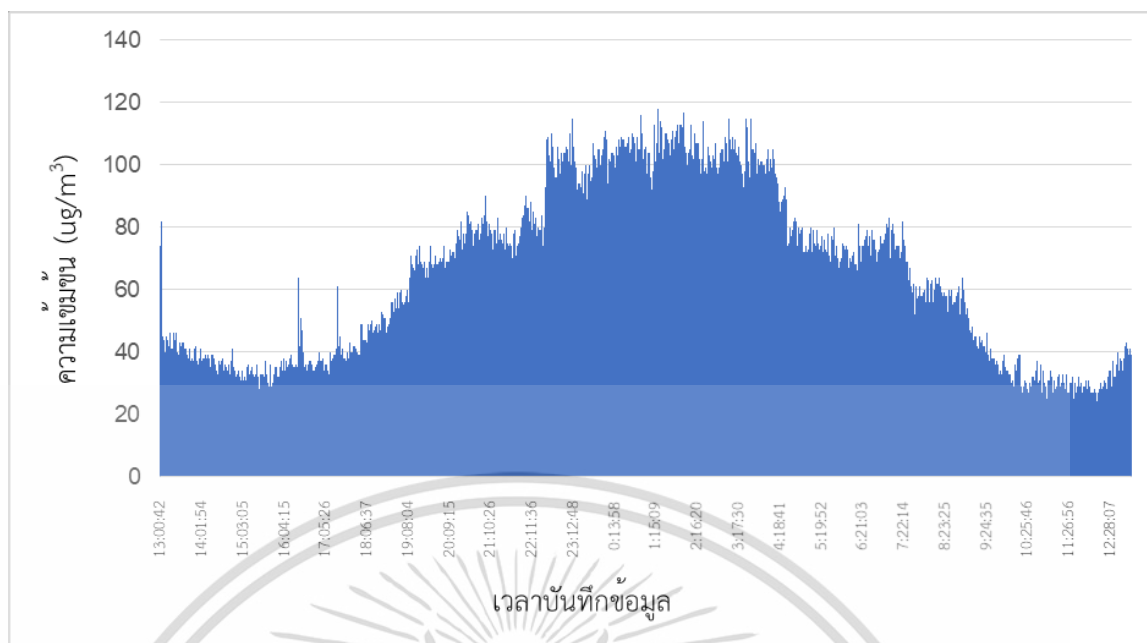


รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2567

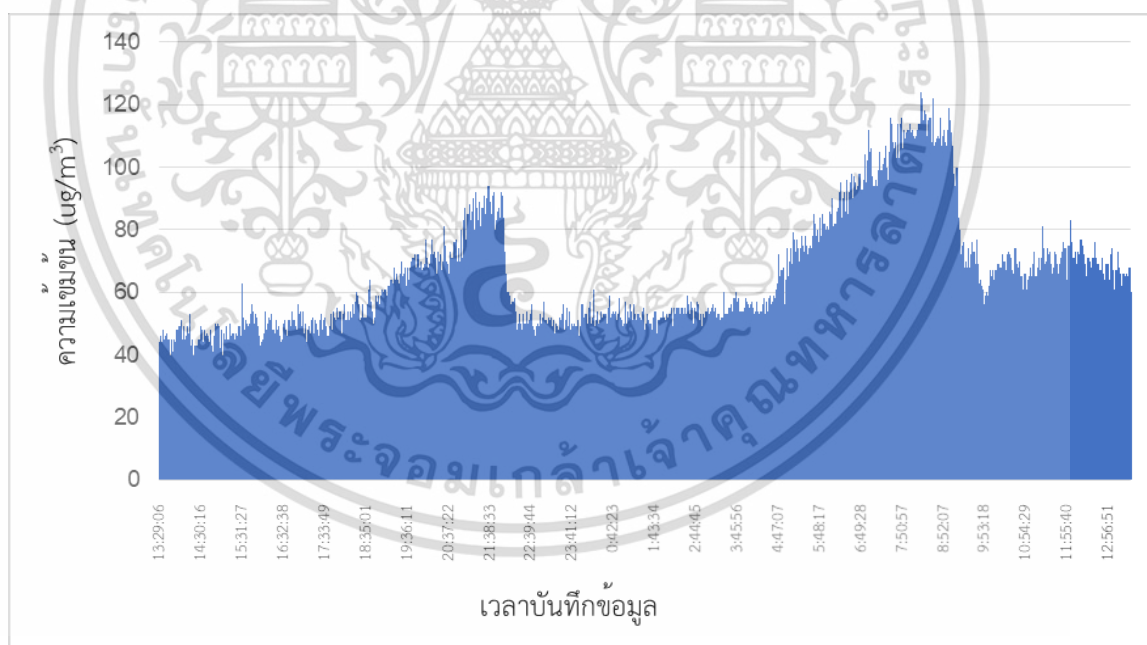


รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

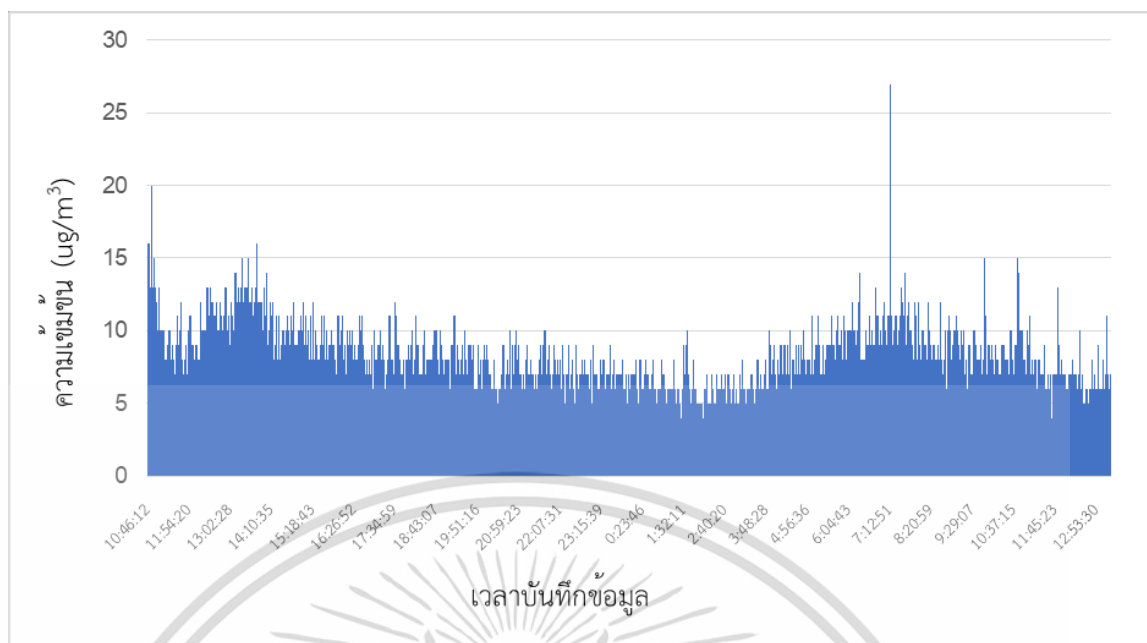


รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2567

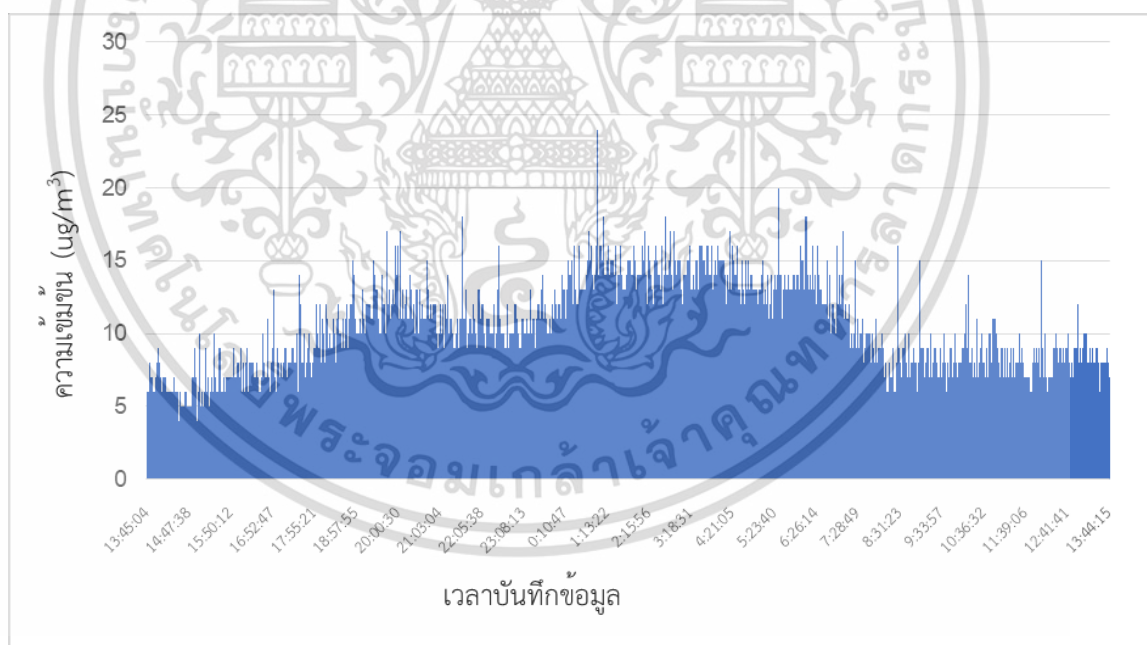


รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

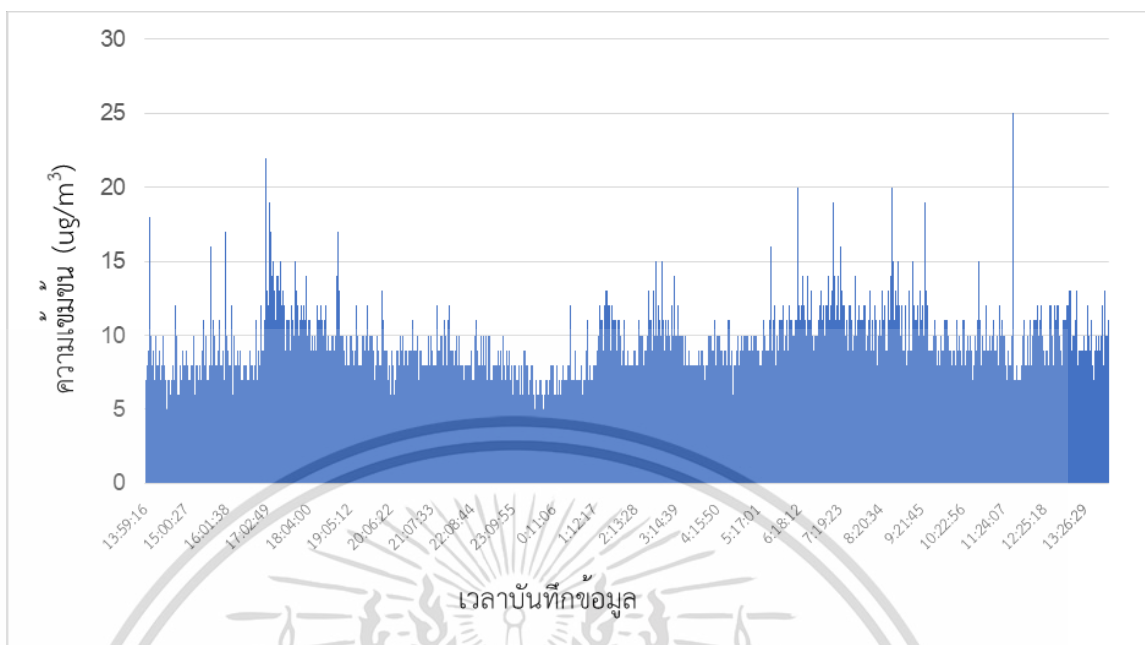


รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($\text{PM}_{2.5}$) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2567

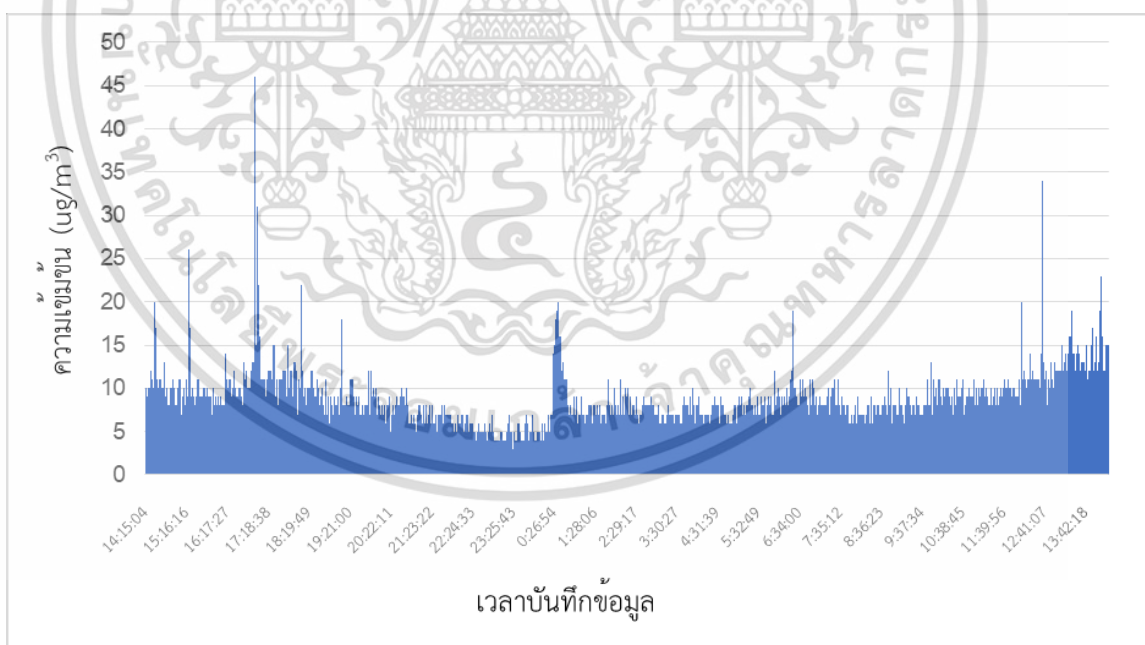


รูปที่ 12 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($\text{PM}_{2.5}$) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

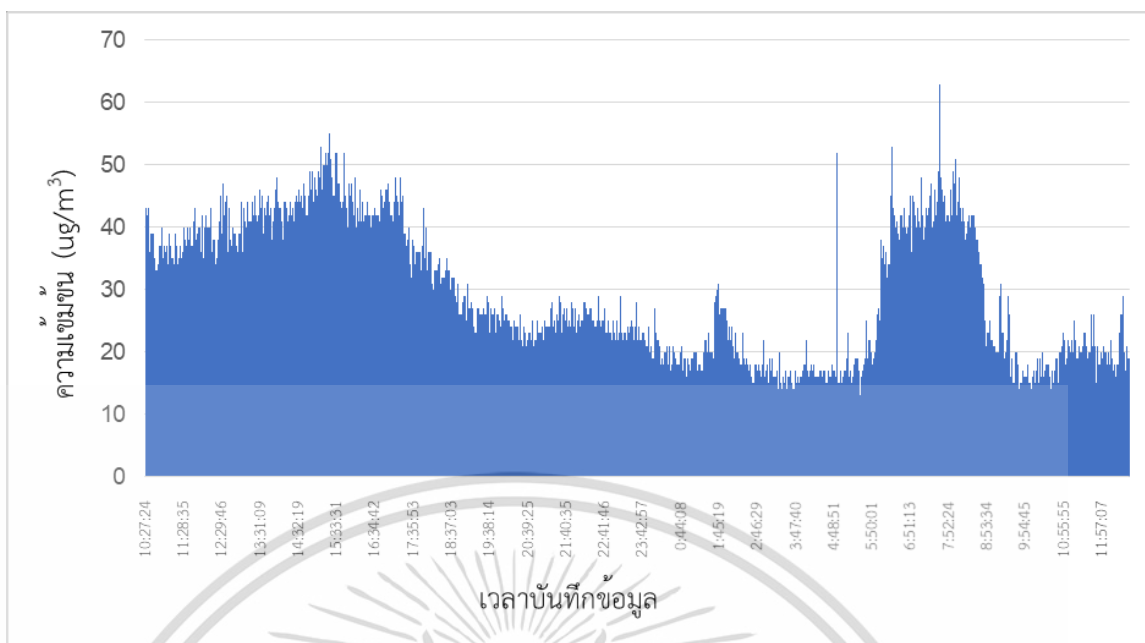


รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2567

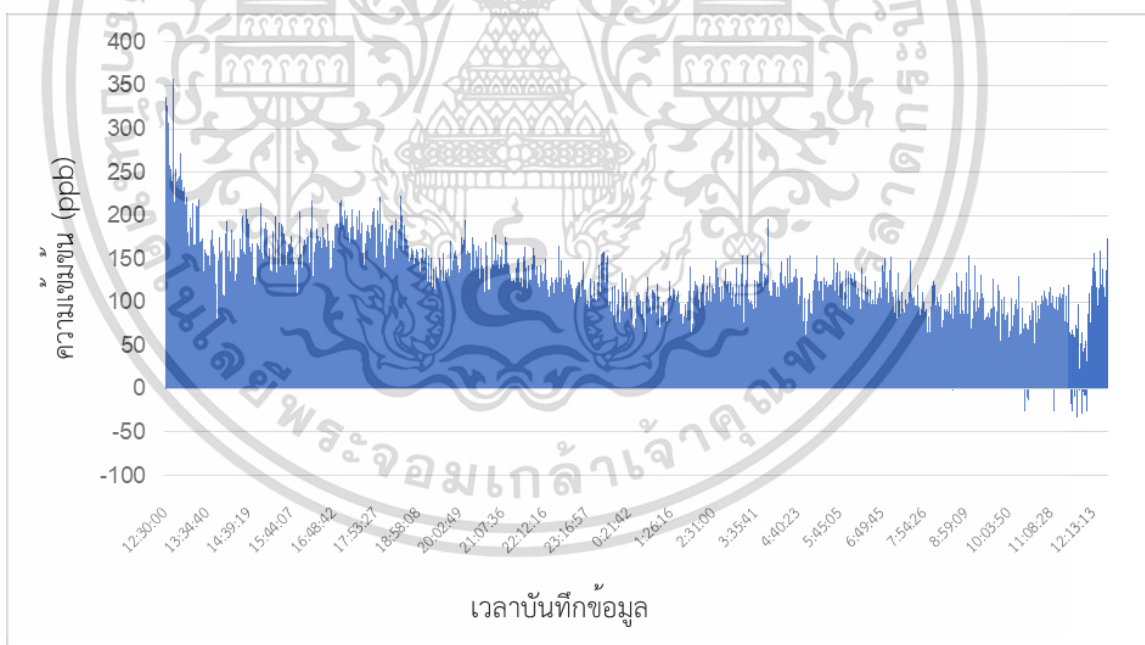


รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

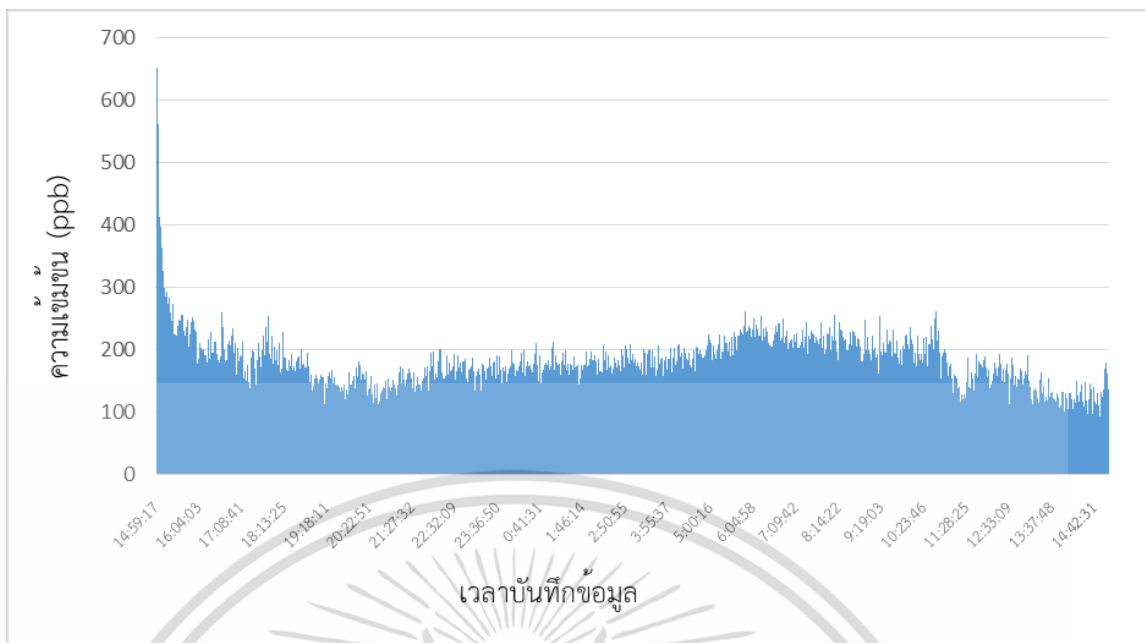


รูปที่ 15 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2567

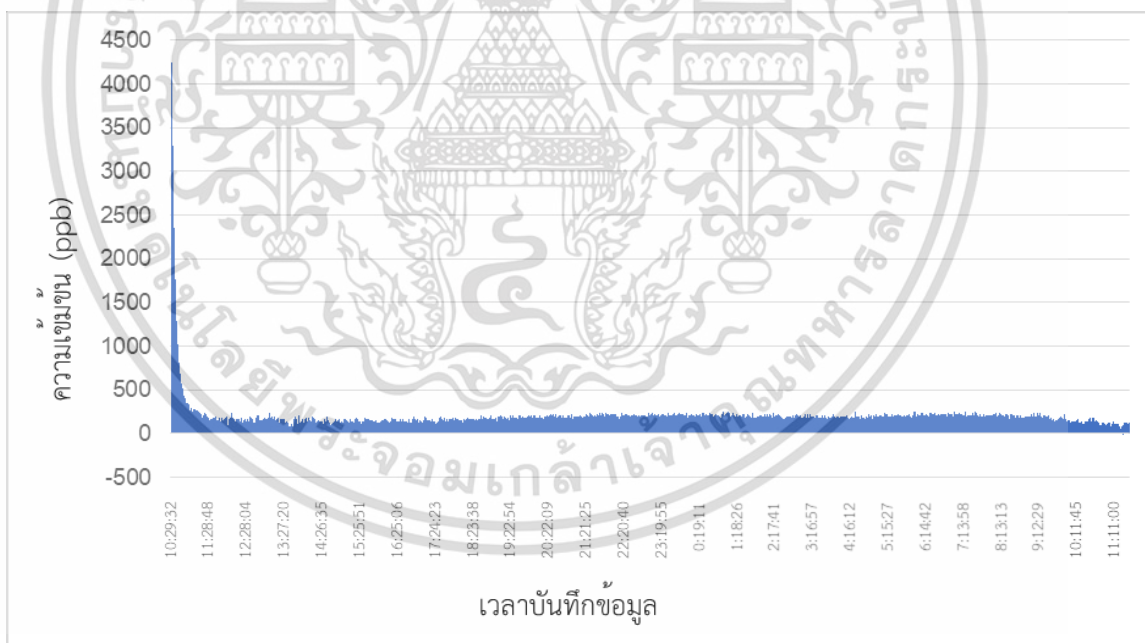


รูปที่ 16 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 30 มกราคม 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

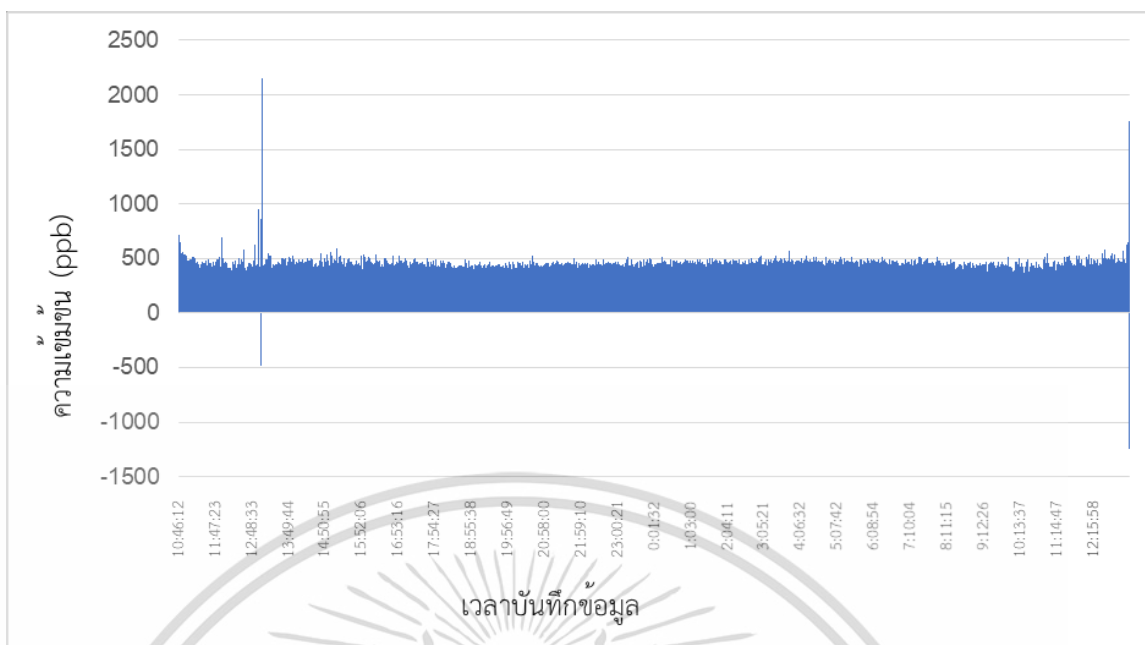


รูปที่ 17 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2567

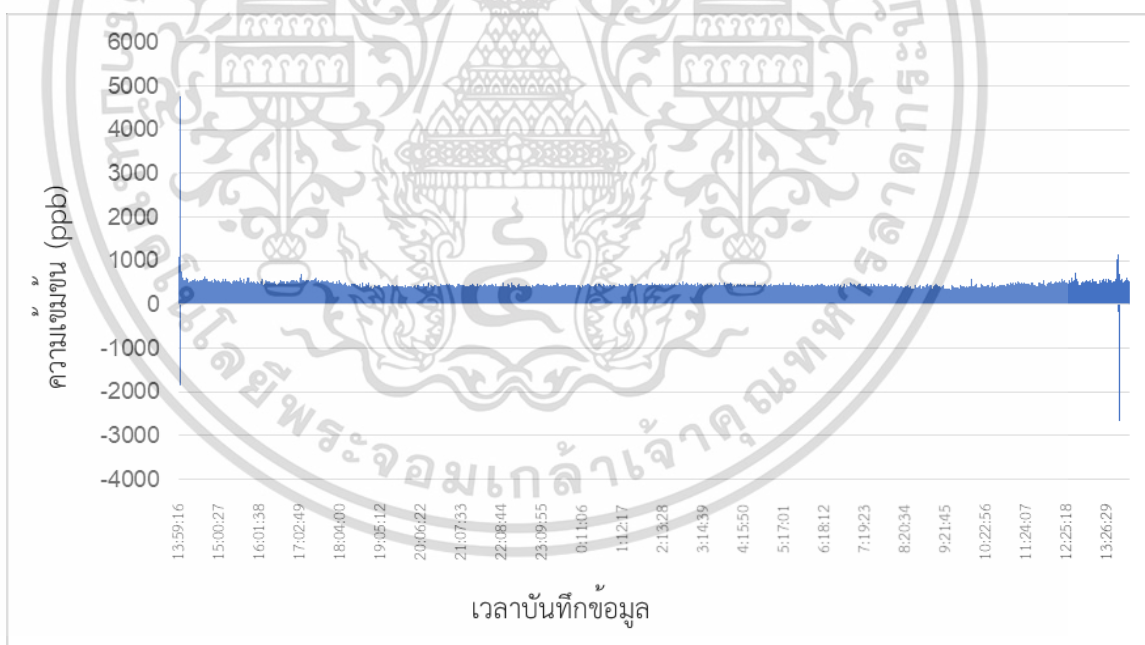


รูปที่ 18 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2567



รูปที่ 20 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ตลอดระยะเวลาเดินระบบของวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

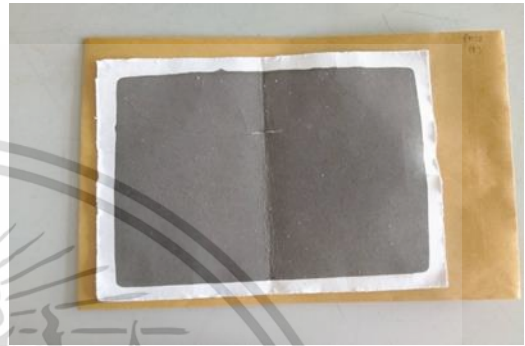
ภาคผนวก ข

กระดาษกรองที่ผ่านการเก็บตัวอย่าง PM₁₀

กระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ตัวอย่างที่ 1



กระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ตัวอย่างที่ 2



กระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ตัวอย่างที่ 3



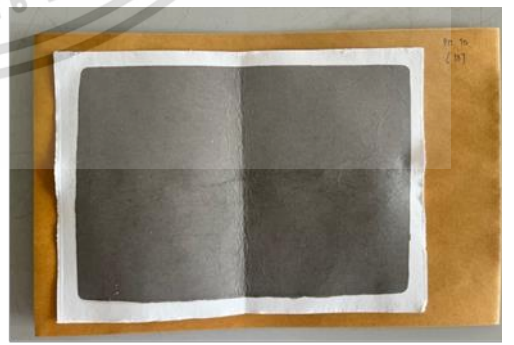
กระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ตัวอย่างที่ 4



กระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ตัวอย่างที่ 5



กระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ตัวอย่างที่ 6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ตัวอย่างที่ 7กระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ตัวอย่างที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

กระดาศกรองที่ผ่านการเก็บตัวอย่าง PM_{2.5}

กระดาศกรองหลังเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ตัวอย่างที่ 1



กระดาศกรองหลังเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ตัวอย่างที่ 2



กระดาศกรองหลังเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ตัวอย่างที่ 3



กระดาศกรองหลังเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ตัวอย่างที่ 4



กระดาศกรองหลังเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ตัวอย่างที่ 5



กระดาศกรองหลังเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ตัวอย่างที่ 6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ตัวอย่างที่ 7กระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ตัวอย่างที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคนะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 22 เดือน เมษายน พ.ศ 2567

ข้าพเจ้า นางสาว พรชิตา มั่นเครือ รหัสประจำตัว 63050337

นางสาว ภัชรภรณ์ ชินพันธ์ รหัสประจำตัว 63050342

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชา เคมี

ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

การสอบเทียบเซ็นเซอร์วัดสารมลพิษทางอากาศเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ

Performance Evaluation of Off-the-Shelf Air Pollution Sensors in Air Quality Sensors Systems

ปีการศึกษา 2566

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 2.52% หรือโปรแกรม Turnitin.....%

ลงชื่อ..... **พรชิตา**

(**พรชิตา มั่นเครือ**)

นักศึกษา

ลงชื่อ..... **ภัชรภรณ์**

(**ภัชรภรณ์ ชินพันธ์**)

นักศึกษา

ลงชื่อ.....

()

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ดร. ปิยาภรณ์ ศรีเจริญเวช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ และ ดร. ชีรชาติ โสรรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริง และมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ลงชื่อ..... **P. Srirachon**

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม