

การพัฒนาและปรับปรุงการใช้งานของอุปกรณ์
ตรวจวัดฝุ่นละอองราคาประหยัด



วรินทร์า มณีพงษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การพัฒนาและปรับปรุงการใช้งานของอุปกรณ์
ตรวจวัดฝุ่นละอองราคาประหยัด



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF LOW COST PARTICULATE
MATTER MONITORING EQUIPMENT



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง

การพัฒนาและปรับปรุงการใช้งานของอุปกรณ์

ตรวจวัดฝุ่นละอองราคาประหยัด

โดย

นางสาวรินทรา มณีพงษ์

อาจารย์ที่ปรึกษา


ดร.นริศรา ทองบุญชู

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ดร.นริศรา ทองบุญชู)


.....กรรมการ
(ผศ.ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์)


.....กรรมการ
(ดร.ณัฐพล ฤกษ์เกษมสันติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตรเรื่อง

การพัฒนาและปรับปรุงการใช้งานของอุปกรณ์ตรวจวัด
ฝุ่นละอองราคาประหยัด

โดย

นางสาววรินทรา มณีพงษ์

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.นริศรา ทองบุญชู

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศที่มีประสิทธิภาพและราคาประหยัด โดยใช้เซนเซอร์ตรวจวัดฝุ่นโดยใช้หลักการเชิงแสงของ Sharp รุ่น GP2Y1010AU0F ที่มีราคาประหยัดและขนาดเล็ก และ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความต่างศักย์ที่ออกมาจากเซนเซอร์ฝุ่นจะถูกแปลงเป็นความหนาแน่นของฝุ่นในเบื้องต้นโดยใช้สมการจากบริษัทผู้ผลิตผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ อุปกรณ์ต้นแบบจะถูกนำมาทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม โดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะทำโดยการนำอุปกรณ์ต้นแบบมาทดสอบในตู้ทดสอบโดยใช้ฝุ่นสองชนิดได้แก่แป้งฝุ่น และเถ้าจากควันธูปเพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องมือ ค่าความหนาแน่นของฝุ่นที่อ่านได้นำมาสอบเทียบกับค่า PM₁₀ ที่อ่านได้จากเครื่องมือปริมาณวัดฝุ่นแบบมือถือ ในส่วนของการทดลองภาคสนาม อุปกรณ์ต้นแบบได้ถูกนำไปติดตั้งที่สถานีตรวจคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษที่สถานีดินแดง และบางนา เพื่อเป็นตัวแทนของสถานีริมถนน และสถานีทั่วไปสอบเทียบกับเครื่องมือตามมาตรฐานของ US-EPA ที่ติดตั้งในที่เดียวกัน ผลการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการพบว่า สามารถคำนวณความเข้มข้นฝุ่นขนาดไมครอน (PM₁₀) จากสมการของโพลีโนเมียลกำลังสามของความเข้มข้นของฝุ่นจากอุปกรณ์ต้นแบบโดยมีค่า R-squared เท่ากับ 0.81 ในขณะที่การทดสอบในภาคสนามพบว่าเครื่องมือต้นแบบสามารถใช้ตรวจวัดฝุ่นในบรรยากาศได้ โดยสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฝุ่นที่สถานีริมถนนในช่วงที่มีการจราจรบางเบาหรือ หนาแน่นได้ และ ความแตกต่างในช่วงกลางวัน กลางคืนของสถานีทั่วไปได้ ผลการทดสอบในภาคสนามที่ทั้งสองสถานีแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์ต้นแบบ อุปกรณ์สามารถวัดฝุ่นที่มีความเข้มข้นในช่วง 40-540 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลจากการสอบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานที่สถานีบางนา พบว่าการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นจากความเข้มข้นของฝุ่นจากอุปกรณ์ต้นแบบเพียงอย่างเดียวไม่มีความเหมาะสม จึงใช้สมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุโดยใช้อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ร่วมด้วย พบว่าให้ผลที่ดีกว่าโดยมีค่า R-squared เท่ากับ 0.79

Report Title	DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF LOW COST PARTICULATE MATTER MONITORING EQUIPMENT
By	MS. Varindhra Maneephong
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2016
Advisor	Dr. Narisara Thongboonchoo

ABSTRACT

The objective of this project is to develop a cost-efficient particulate matter monitoring equipment. A compact optical dust sensor model GP2Y1010AU0F from Sharp was chosen from its performance and cost. The temperature and humidity sensors were also added to an equipment. The output voltage of the dust sensor was preliminary converted to dust density using correlation from manufacturer through a microcontroller. Prototype of the equipment was then tested in a laboratory and a field. A laboratory testing was conducted in a testing chamber using two dust types, i.e., talcum powder and soot from incense for function operation of the machine. The dust density data from prototype were calibrated with PM_{10} data from handheld PM analyzer. For a field test, the unit was deployed at Dindang and Bangna air quality monitoring of Pollution Control Department as a representative of roadside and ambient station for calibration with PM_{10} data from the US-EPA approved instrument at the station. The results from calibration in a laboratory revealed that PM_{10} could be represented in a term of cubic polynomial of dust concentration with R-squared of 0.81. The results from field test revealed that the prototype could be used to monitor dust in the ambient. The equipment could catch the variation of dust concentration at roadside station due to light and heavy traffic and daytime and nighttime variation at ambient station. The field test in both station is also revealed the limitation of prototype. It could be used to monitor dust concentration from 40-450 microgram per cubic meter. The results from calibration of dust concentration from prototype with PM_{10} from approved instrument revealed that linear regression equation was not appropriated. The multiple regression with temperature and relative humidity yield a better result with R-squared of 0.79.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือตลอดมาของคณาจารย์และบุคลากรหลายฝ่าย ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือดังนี้

ดร.นริศรา ทองบุญชู อาจารย์ที่ปรึกษา ที่มอบความรู้ ให้คำแนะนำ คำสอน ชี้แนะข้อบกพร่อง พร้อมทั้งช่วยแก้ปัญหาในด้านต่างๆ จนสามารถดำเนินงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผศ.ดร.ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ใช้ห้องปฏิบัติการทำการทดลอง รวมถึงให้ความรู้ และช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูลผู้ทดลองต่างๆ

กรมควบคุมมลพิษ ที่ให้ข้อมูลค่าผู้ทดลองจากเครื่องมือมาตรฐานเพื่อใช้ในการสอบเทียบ และคุณนันทิภา เกิดชื่น ที่ช่วยเหลือประสานงานในการขอติดตั้งอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นในสถานีวิจัยวัดคุณภาพอากาศต่างๆ รวมถึงนายช่างประจำสถานีวิจัยวัดที่แนะนำการติดตั้งอุปกรณ์ให้ได้มาตรฐาน

คุณอนุรักษ์ สีดา หนึ่งในนักวิจัยโครงการจุมภีเล็กทรอนิกส์ ที่ช่วยออกแบบ และประกอบอุปกรณ์ต้นแบบให้สามารถใช้งานได้ รวมถึงเพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่สอนการเขียนโปรแกรม และแนะนำการต่อวงจรของเซนเซอร์ต่างๆ

บิดาและมารดาผู้ซึ่งการสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกในการเดินทางทุกที่ และเป็นกำลังใจตลอดการดำเนินงานจนสำเร็จการศึกษา

ประโยชน์อันใดที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแต่บิดา มารดา ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้มอบความรู้ และคำสั่งสอนแก่ผู้จัดทำจนสามารถประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้จัดทำต้องขอภัยและน้อมรับไว้ ณ ที่นี้

วรินทรา มณีพงษ์

18 พฤษภาคม 2560

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ผุ่นละออง	3
2.1.1 ประเภทและแหล่งกำเนิดของผุ่นละออง	3
2.1.1.1 แหล่งกำเนิดผุ่นละออง	3
2.1.1.2 ประเภทผุ่นละออง	4
2.1.2 ผลกระทบของผุ่นละออง	5
2.2 ระบบของเครื่องมือในการวัดผุ่นละออง.....	7
2.2.1 ระบบกราวิเมตริก (Gravimetric).....	7
2.2.2 ระบบเบต้า เร (Bete Ray).....	8
2.2.3 ระบบเทปเปอร์ อิลิเมน ออสซิลเลตติ้ง ไมโครบาลานซ์ (Tapered Element Oscillating Microbalance).....	8
2.2.4 ระบบไดโคโตมัส (Dichotomous).....	9
2.2.5 ระบบการวัดด้วยการกระเจิงแสง (Light scattering).....	10
2.3 การเก็บตัวอย่างผุ่นละอองด้วยเครื่องมือมาตรฐาน	10
2.3.1 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างผุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในบรรยากาศ .10	
2.3.2 หลักเกณฑ์ทั่วไปในการเลือกจุดติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างผุ่นละออง.....	10
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	13
3.1 การประกอบอุปกรณ์และการเขียนโปรแกรม	13
3.2 การสอบเทียบอุปกรณ์	15

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล	18
4.1 ผลการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการ.....	18
4.2 ผลการสอบเทียบภาคสนาม.....	19
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	23
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	23
5.2 ข้อเสนอแนะ	24
บรรณานุกรม.....	25



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ลักษณะสัณฐานของฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ 4
2.2	เครื่องวัดฝุ่นละอองระบบกราฟิเมตริกชนิดไฮโวลูม..... 7
2.3	เครื่องวัดฝุ่นละอองระบบเบต้า เร 8
2.4	ฟิลเตอร์เทป 8
2.5	เครื่องวัดฝุ่นละอองระบบเทปเปอร์ อิลิเมนต์ ออสซิลเลตติ้ง ไมโครบาลานซ์ 9
2.6	เครื่องวัดฝุ่นละอองระบบระบบไดโคโตมัส 9
2.7	เครื่องวัดฝุ่นละอองระบบการวัดด้วยการกระเจิงแสง 10
2.8	ภายในอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นละออง (ODIN) 11
2.9	การติดตั้งอุปกรณ์เทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน 11
2.10	การเปรียบเทียบข้อมูลค่าฝุ่นละอองจากเครื่องมือมาตรฐาน (ภาพบน)กับค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์ ODIN (ล่าง)..... 12
2.11	การเปรียบเทียบข้อมูลค่าฝุ่นละอองจากเครื่องมือมาตรฐานเป็นรายชั่วโมง (บน)กับค่าฝุ่นละอองรายวัน (ล่าง) เทียบกับค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์ ODIN 12
3.1	ตำแหน่งของเซนเซอร์ภายในอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นละอองราคาประหยัด 13
3.2	ด้านหน้าและด้านข้างของอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นละอองราคาประหยัด 14
3.3	รูปแบบคำสั่งที่ใช้ในโปรแกรม Arduino 14
3.4	กราฟสำหรับการแปลงค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองจาก Output voltage 15
3.5	การทดสอบอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นในกล่องสะอาดที่มีอากาศบริสุทธิ์หมุนเวียน 15
3.6	การทดสอบในตู้ทดสอบ (Chamber test) ระหว่างอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นกับเครื่อง PM Analyzer 16
3.7	สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศดินแดง 16
3.8	การติดตั้งอุปกรณ์ราคาประหยัดเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ สถานีดินแดง 17
3.9	รูปภาพด้านหน้าและด้านข้างสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบางนา 17
3.10	การติดตั้งอุปกรณ์ราคาประหยัดเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ สถานีบางนา 17
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองกับ PM Analyzer 18
4.2	ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่วัดได้จากอุปกรณ์ต้นแบบรายนาที่ที่วัดได้ที่สถานีดินแดง ระหว่างวันที่ 12 – 23 เมษายน 2560 19
4.3	ฝุ่นละอองที่สะสมภายในเซนเซอร์เป็นปริมาณมาก 20
4.4	ความเข้มข้นฝุ่นละอองที่วัดได้รายชั่วโมงจากอุปกรณ์ต้นแบบและอุปกรณ์มาตรฐาน ที่สถานีบางนาระหว่างวันที่ 5 – 12 พฤษภาคม 2560 20
4.5	ชุดข้อมูลเวลาของค่าความเข้มข้นฝุ่นละออง อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ระหว่างวันที่ 5 – 12 พฤษภาคม 2560 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นปัญหาหนึ่งที่หน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมให้ความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นสาเหตุหนึ่งของการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรในผู้คนนับล้านทั่วโลก และการเจ็บป่วยด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ ตั้งแต่การเจ็บป่วยเฉียบพลันรุนแรง และการเจ็บป่วยเรื้อรัง เช่น อาการหอบหืด หลอดลมอักเสบเรื้อรัง ไปจนถึงอาการเจ็บป่วยเล็กน้อย เช่น ไอ หายใจเสียงหวีด และแน่นหน้าอกหายใจไม่ออก ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กมีผลกระทบต่อร่างกายมากกว่าฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่เพราะฝุ่นละอองที่มีอนุภาคใหญ่จะถูกกรองด้วยจมูก และลำคอแต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) สามารถเข้าไปในส่วนที่ลึกที่สุดของปอด เช่น หลอดลมฝอย หรือถุงลมปอด ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพ กลุ่มคนที่เสี่ยงต่อการได้รับอันตรายจากการสัมผัสฝุ่นละอองในอากาศเป็นอันดับต้นๆ ได้แก่ เด็ก ผู้สูงอายุ ผู้ป่วยโรคปอด และโรคหัวใจ ถึงแม้คนที่มีความแข็งแรงแต่การได้รับหรือสัมผัสฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เป็นเวลานานอาจก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจได้ [1] นอกจากนี้ปัญหาฝุ่นละอองยังส่งผลกระทบต่อทัศนวิสัยในการมองเห็น ถ้าฝุ่นละอองมีขนาด และความเข้มข้นมากพอก็จะกลืนแสงไว้ทำให้การมองเห็นมีปัญหา นอกจากนี้ฝุ่นละอองยังสามารถส่งผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารบ้านเรือนเพราะสามารถทำลาย และกัดกร่อนผิวหน้าของโลหะได้อีกด้วย

จากประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ.2538) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป โดยมีข้อกำหนดว่า ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ในเวลา 24 ชั่วโมง จะต้องไม่เกิน 0.12 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m³) และค่าเฉลี่ยต่อปีต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m³) [2] จากการศึกษาปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ยในกรุงเทพมหานคร พบว่าบางพื้นที่มีค่าเฉลี่ยเกินมาตรฐาน โดยบริเวณที่พบมากที่สุด ได้แก่ ริมถนน ฝุ่นละอองส่วนใหญ่ที่พบเป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ซึ่งภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรีได้ศึกษาลักษณะทางสัญญาณและองค์ประกอบธาตุของฝุ่น ทำให้สามารถวิเคราะห์แหล่งกำเนิดของฝุ่นโดยพบว่าส่วนใหญ่เป็นฝุ่นละอองที่มาจากเครื่องยนต์ดีเซล และเครื่องยนต์เบนซินมากที่สุด รองลงมา คือ ฝุ่นจากการก่อสร้าง [3] นอกจากนี้องค์การกรีนพีซ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้ศึกษาผลกระทบต่อเพิ่มเติมของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) พบว่าค่าฝุ่นละอองเกินมาตรฐาน 12 สถานี ใน 10 จังหวัดทั่วประเทศ ในช่วงเวลาตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2559 โดยจังหวัดที่มีค่าเฉลี่ยรายปีของฝุ่นละออง PM_{2.5} สูงสุด 5 อันดับได้แก่ เชียงใหม่ ลำปาง ขอนแก่น กรุงเทพมหานคร และราชบุรี ซึ่งสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานที่องค์การอนามัยโลก (WHO) แนะนำไว้ที่ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่การเฝ้าระวังปริมาณฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศยังไม่สามารถทำได้ครอบคลุมทุกพื้นที่ เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดมีราคาแพง นอกจากนี้อุปกรณ์ยังมีขนาดใหญ่ และต้องการพื้นที่ในการติดตั้งค่อนข้างมาก งานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดฝุ่นที่มีราคาประหยัดขนาดเล็กกะทัดรัด สามารถนำไปติดตั้งได้ง่ายและมีสมรรถนะเทียบเคียงกับเครื่องมือมาตรฐาน เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการรับมือและป้องกันผลกระทบของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในอนาคต [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนเพื่อการค้าเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

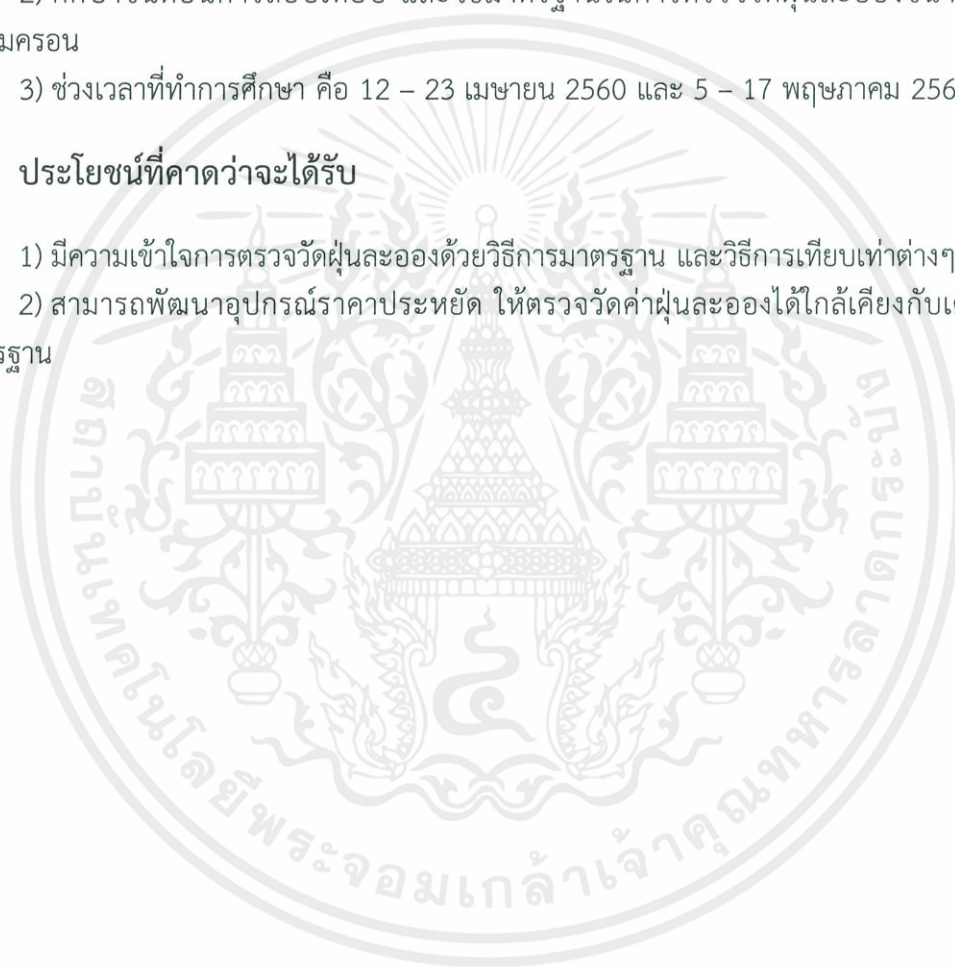
- 1) เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกะทัดรัด และมีราคาถูก
- 2) อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นละอองมีประสิทธิภาพ และความแม่นยำเทียบเท่าเครื่องมือมาตรฐาน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และความแม่นยำในการตรวจวัด
- 2) ศึกษาขั้นตอนการสอบเทียบ และวิธีมาตรฐานในการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน
- 3) ช่วงเวลาที่ทำการศึกษา คือ 12 – 23 เมษายน 2560 และ 5 – 17 พฤษภาคม 2560

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) มีความเข้าใจการตรวจวัดฝุ่นละอองด้วยวิธีการมาตรฐาน และวิธีการเทียบเท่าต่างๆ
- 2) สามารถพัฒนาอุปกรณ์ราคาประหยัด ให้ตรวจวัดค่าฝุ่นละอองได้ใกล้เคียงกับเครื่องมือมาตรฐาน



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาและปรับปรุงการใช้งานของอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นละอองราคาประหยัด จะต้องศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับฝุ่นละออง ระบบของเครื่องมือในการวัดฝุ่นละออง การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่องมือมาตรฐาน รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดของแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 ฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองในอากาศ (Particle matter หรือ PM) ประกอบด้วยสารเคมีหลายชนิด ในสภาพของแข็งที่ลอยอยู่ในอากาศหรือในสภาพของเหลว ซึ่งมีองค์ประกอบ และขนาดที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาและสถานที่ ขนาดของฝุ่นละอองที่พบ มีตั้งแต่ 0.002 ไมครอน จนถึงขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดใหญ่สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ และจะตกลงสู่พื้นด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงลม ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมักเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน เนื่องจากมีความเร็วในการตกลงสู่พื้นต่ำ หากมีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียนของอากาศ และกระแสลมจะทำให้แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมากขึ้น [5] ซึ่งฝุ่นละอองสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยความเดือดร้อนรำคาญ ความเสียหายต่อโครงสร้างอาคารปัญหาด้านทัศนวิสัย และเป็นอุปสรรคในการคมนาคม

ฝุ่นละอองสามารถเกิดได้จากสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ โดยชนิดที่เกิดจากสารอินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะก่อให้เกิดความระคายเคืองหรือมีพิษต่อร่างกาย และฝุ่นละอองจากสารอินทรีย์มีชีวิต เช่น แบคทีเรียบางชนิดสามารถทำให้เกิดโรคในคนและสัตว์

2.1.1 ประเภทและแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง

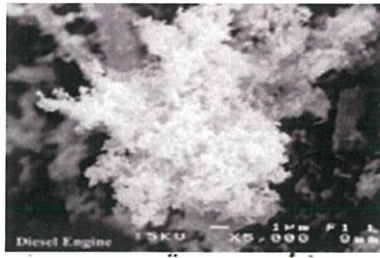
ฝุ่นละอองในบรรยากาศสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท ตามแหล่งกำเนิด ฝุ่นละอองชนิดปฐมภูมิ ได้แก่ ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้น และแพร่กระจายสู่บรรยากาศโดยตรง ฝุ่นละอองชนิดทุติยภูมิ ได้แก่ ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นภายหลังการเกิดปฏิกิริยาต่างๆในบรรยากาศ เช่น การรวมตัวของฝุ่นละอองด้วยกันเองหรือการรวมตัวกับก๊าซ ของเหลว ของแข็งด้วยปฏิกิริยาต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นทางฟิสิกส์ ทางเคมีแสง เป็นต้น

2.1.1.1 แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง

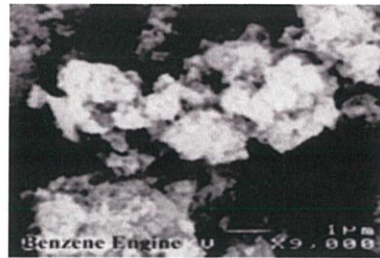
ฝุ่นละอองมีแหล่งกำเนิดทั้งจากการกระทำของมนุษย์ และจากธรรมชาติ แต่ในปัจจุบันปัญหาฝุ่นละอองตามเมืองใหญ่ต่างๆ เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การคมนาคมขนส่ง การจราจร โรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในบ้าน การเผาขยะ เป็นต้น และแหล่งกำเนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่ ไฟป่า การพัดพาฝุ่นดิน ละอองเธรดจากพืชและจุลินทรีย์ต่างๆ โดยฝุ่นที่มาจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ที่ไม่สมบูรณ์ จะปล่อยไอควีน ก๊าซต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วยสารประกอบตะกั่ว และสารก่อมะเร็งต่าง ส่วนฝุ่นที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม ประกอบไปด้วยสารไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ออกไซด์ของไนโตรเจน เป็นต้น การเผาไหม้และแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกันทำให้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฝุ่นไม่เหมือนกัน ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฝุ่นประเภทต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.1 [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

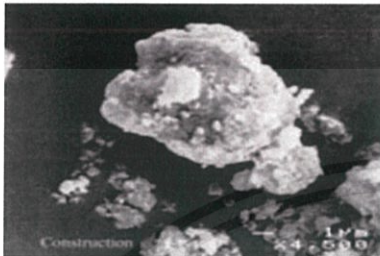
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



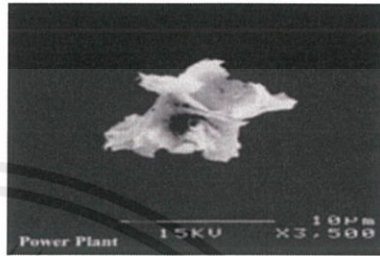
ฝุ่นจากเครื่องยนต์ดีเซล



ฝุ่นจากเครื่องยนต์เบนซิน



ฝุ่นจากการก่อสร้าง



ฝุ่นจากโรงไฟฟ้า

รูปที่ 2.1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ [3]

2.1.1.2 ประเภทของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองสามารถจำแนกลักษณะของฝุ่นละอองเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

1) ฝุ่นขนาดใหญ่ (Grit)

ฝุ่นละอองขนาดใหญ่ หมายถึง ฝุ่นละอองประเภทของแข็งที่ลอยปะปนอยู่ในอากาศเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 500 ไมครอน

2) ฝุ่น (Dust)

ฝุ่น หมายถึง อนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่ลอยปะปนอยู่ในอากาศเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.25 – 500 ไมครอน

3) ละออง (Mist)

ละออง หมายถึง อนุภาคที่เป็นของเหลวซึ่งเกิดจากการควบแน่นของไอหรือก๊าซบางอย่างหรือเกิดจากการแยกตัวของของเหลวออกจากกระบวนการ เมื่อความเข้มข้นของละอองไอสูงจนลดความสามารถในการมองเห็นเรียกว่า หมอก (Fog)

4) ควีน (Smoke)

ควีน หมายถึง อนุภาคของคาร์บอนที่รวมตัวกับอนุภาคของของเหลวที่มาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า ไมครอน 2.0

5) ไอควีน หรือ ฟุม (Fume)

ไอควีน หมายถึง อนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ส่วนใหญ่เกิดจากการควบแน่นของไอจากปฏิกิริยาทางเคมีบางอย่าง

6) ละอองลอย (Aerosol)

ละอองลอย หมายถึง อนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1.0 ไมครอน

7) หมอกควีน (Smog)

หมอกควีน เป็นสภาวะที่ใช้เรียกการเกิดควีน (Smoke) และหมอก (Fog) ร่วมกัน [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ผลกระทบของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีความสามารถในการลดทอนแสงทั้งโดยตรง และโดยอ้อม โดยสมบัติที่มีผลต่อการลดทอนแสงโดยตรง และโดยอ้อม เนื่องจากขนาดของฝุ่นละอองมีค่าใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแสงในช่วงที่ตามองเห็น ฝุ่นละอองจึงทำให้เห็นลำแสง เกิดการกระเจิงแสง สมบัติดังกล่าวมีผลต่อสมดุลพลังงานของบรรยากาศโลก โดยผลทางตรงคือ การทำให้รังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศมายังพื้นผิวโลกลดลงจากการดูดกลืนและการกระเจิงแสง ส่งผลต่ออัตราการระเหยของน้ำ การสังเคราะห์แสงของพืชและอุณหภูมิของพื้นผิวโลก ซึ่งละอองลอยที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลจะมีผลทำให้อุณหภูมิของบรรยากาศลดลง แต่ละอองลอยที่เกิดจากการเผาไหม้ของโรงงานอุตสาหกรรม และยานยนต์ส่วนใหญ่จะเป็น Black carbon ซึ่งดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์มากกว่าร้อยละ 50 ซึ่งทำให้อุณหภูมิบรรยากาศเพิ่มขึ้น [7] การแขวนลอยของฝุ่นละอองในบรรยากาศจะลดความสามารถด้านทัศนวิสัยในการมองเห็น ส่งผลให้เกิดอันตรายต่อการคมนาคม และระบบทางเดินหายใจ

1) อันตรายต่อสุขภาพ

จากคำจำกัดความของประกาศกรมอนามัย “ประชาชนกลุ่มเสี่ยง” หมายถึง ประชาชนที่อาจเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน มากกว่ากลุ่มคนทั่วไป ได้แก่ ผู้สูงอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป กลุ่มเด็กเล็กอายุ 0 – 5 ปี หญิงตั้งครรภ์ ผู้ป่วยเกี่ยวกับโรคทางเดินหายใจต่างๆ โรคระบบหัวใจและหลอดเลือด ผู้ป่วยโรคเรื้อรัง [8] อัตราการเข้ารับรักษาตัวในโรงพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจ และหลอดเลือดสูงขึ้นเมื่อมีฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในปริมาณมาก โดยฝุ่นที่มีขนาดใหญ่จะติดอยู่บริเวณโพรงจมูกและทางเดินหายใจส่วนบนและอาจถูกกำจัดออกมาด้วยการไอ จาม หรือกลืนเข้าไป ส่วนฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่าจะเข้าไปติดในบริเวณส่วนเล็กๆภายในปอด ดังนั้นกรมอนามัยจึงกำหนดระดับฝุ่นละอองที่ส่งผลต่อสุขภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติตนและเป็นแนวทางสำหรับเฝ้าระวัง เตือนภัย โดยจำแนกตามแต่ละระดับของฝุ่น PM₁₀ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

2) ผลกระทบต่อพืช

ใบของพืชเป็นส่วนที่มีพื้นที่ผิวมากที่สุด และมีมุมที่รับการตกลงมาเกาะของฝุ่นได้ดีทำให้ความสามารถการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง นอกจากนี้ฝุ่นที่ปิดปากใบยังส่งผลให้เกิดการสะสมความร้อนไว้ภายในมากขึ้น ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และถ้าหากมีการปนเปื้อนของสารโลหะหนักหรือปูนซีเมนต์ จะทำให้พืชได้รับพิษเพิ่มจากสารต่างๆเหล่านั้นอีกด้วย

3) ผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง

การเกาะติดของฝุ่นตามวัตถุและสิ่งก่อสร้างต่างๆ นอกจากก่อให้เกิดความสกปรกแล้ว ฝุ่นละอองยังมีสมบัติในการดูดซับโลหะ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ไว้ที่ผิวของฝุ่น นอกจากนี้ ฝุ่นละอองที่มีสมบัติทางเคมีเป็นกรด จะทำให้เกิดการสึกกร่อน และทำลายพื้นผิวของโครงสร้างอาคาร

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานค่าเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพจากฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน [8]

ระดับฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ระดับของผลกระทบต่อ สุขภาพ	ลักษณะผลกระทบต่อสุขภาพ
0 - 50	ปลอดภัย (สีฟ้า)	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
51 - 120	เฝ้าระวัง (สีเขียว)	<u>ประชาชนกลุ่มเสี่ยง</u> มีอาการทางระบบทางเดินหายใจเบื้องต้น เช่น ไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองตา
121 - 350	มีผลกระทบต่อสุขภาพ (สีเหลือง)	<u>ประชาชนกลุ่มเสี่ยง</u> มีอาการทางระบบทางเดินหายใจส่วนบน ตาอักเสบ แขนงหน้าอก หัวใจเต้นผิดปกติ คลื่นไส้ อ่อนเพลียเป็นต้น <u>ประชาชนทั่วไป</u> มีอาการทางระบบทางเดินหายใจเบื้องต้น
351 - 420	มีผลกระทบต่อสุขภาพมาก (สีส้ม)	<u>ประชาชนกลุ่มเสี่ยง</u> - อาการหอบหืด และความรุนแรงของ ระบบทางเดินหายใจ - ผู้ป่วยที่มีอาการทางหัวใจและปอด เสี่ยงต่อหัวใจวายเฉียบพลัน - หญิงตั้งครรภ์มีผลต่อน้ำหนักแรกคลอด บุตร <u>ประชาชนทั่วไป</u> มีอาการทางระบบทางเดินหายใจส่วนบน
>420	มีผลกระทบต่อสุขภาพรุนแรง (สีแดง)	<u>ประชาชนกลุ่มเสี่ยง</u> มีผลกระทบรุนแรงจนอาจเสียชีวิต <u>ประชาชนทั่วไป</u> มีโอกาสหัวใจวายเฉียบพลัน แขนงหน้าอก คลื่นไส้อาเจียน เป็นโรคหอบหืด หาก ได้รับการสะสมเป็นเวลานาน อาจ ก่อให้เกิดโรคมะเร็งปอดได้

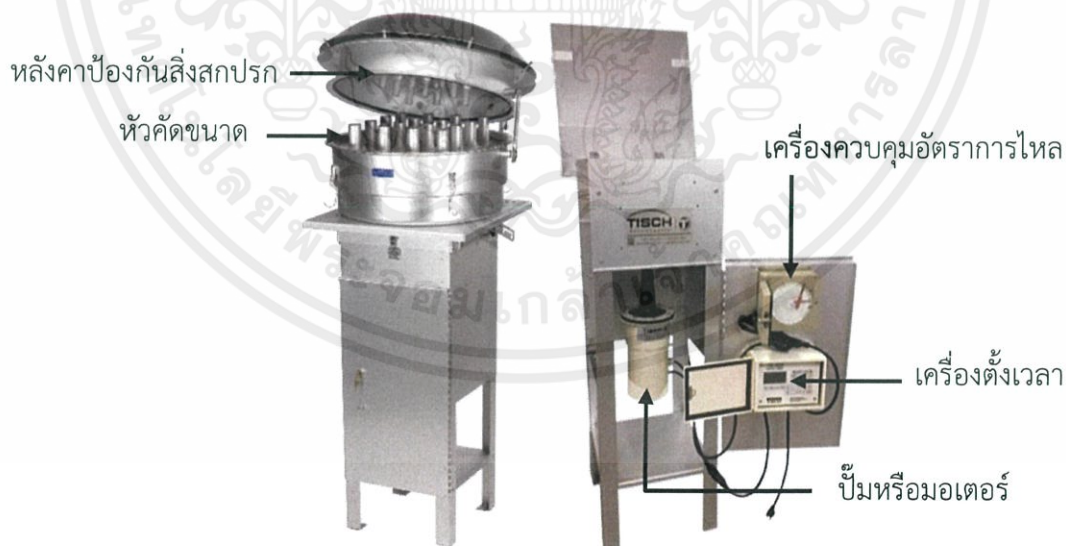
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ระบบของเครื่องมือในการวัดฝุ่นละออง

การวัดค่าเฉลี่ยของฝุ่นละออง ให้ทำในบรรยากาศทั่วไป และต้องสูงจากพื้นดินอย่างน้อย 1.50 เมตร แต่ไม่เกิน 6 เมตร ซึ่งการตรวจวัดฝุ่นละอองรวมในบรรยากาศ และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเวลา 24 ชั่วโมง หรือในเวลา 1 ปี ให้ใช้วิธีวัดตามที่กรมควบคุมมลพิษให้ความเห็นชอบ เช่น ระบบกราวิเมตริก (Gravimetric) ระบบเบต้า เร (Beta Ray) ระบบเทปเปอร์ อิลิเมนต์ ออสซิลเลตติ้ง ไมโครบาลานซ์ (Tapered Element Oscillating Microbalance) และระบบไดโคโตมัส (Dichotomous) เป็นต้น แต่ระบบที่ง่ายในการหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมหรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (Total Suspended Particulate : TSP) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน รวมถึงฝุ่นละอองที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 2.5 ไมครอน ลงมา คือ ระบบกราวิเมตริก ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นขนาด 0.3 ไมครอน ได้ร้อยละ 99

2.2.1 เครื่องวัดระบบกราวิเมตริก (Gravimetric)

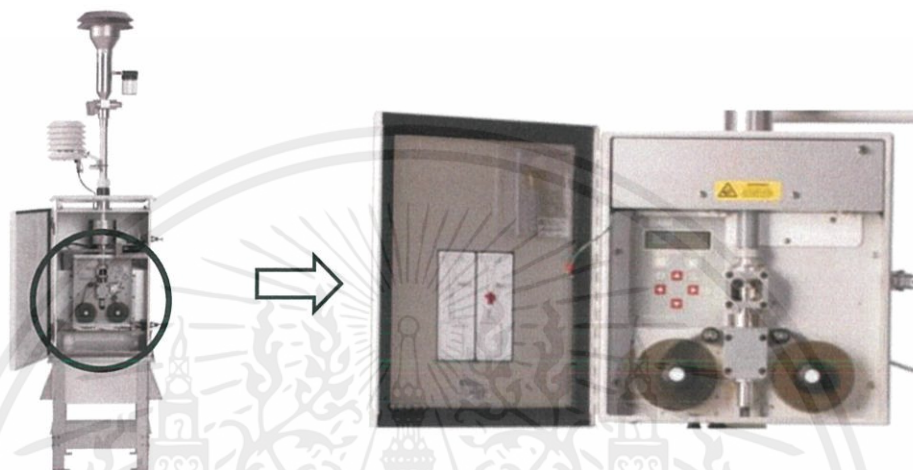
เครื่องวัดระบบกราวิเมตริก เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ตามมาตรฐานที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งทำการตรวจวัดฝุ่นด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรสูง (High Volume Air Sampler) ใช้หลักการดูดอากาศผ่านหัวคัดเลือกขนาดสำหรับฝุ่นละอองที่ขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ด้วยอัตราการไหลอากาศ 40 – 60 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ฝุ่นละอองที่ถูกดูดผ่านหัวคัดเลือกขนาดมาจะตกลงติดอยู่บนบริเวณกระดาศกรองเป็นชนิดใยหินที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ซึ่งจะทำให้การหาน้ำหนักสุทธิฝุ่นละอองด้วยวิธีการหาค่าความแตกต่างของน้ำหนักกระดาศกรองระหว่างก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง จากนั้นคำนวณหาค่าความเข้มข้นเป็นหน่วยน้ำหนักต่อปริมาตรอากาศ [9] ส่วนประกอบของเครื่องวัดฝุ่นละอองระบบกราวิเมตริก ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่องวัดฝุ่นละอองระบบกราวิเมตริกชนิดไฮโวลูม [10]

2.2.2 ระบบเบต้า เร (Beta Ray)

ระบบเบต้า เรใช้หลักการฉายรังสีเบต้าไปยังฝุ่นละอองบนแผ่นกรองที่อยู่ในฟิลเตอร์ เทป (filter tape) จากนั้นกระดาษส่วนนี้ก็จะเลื่อนไปยังบริเวณช่องตัวอย่างขาเข้า (sampling inlet) ซึ่งจะดูดผ่านหัวคัตขนาดสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และตกลงในบริเวณดังกล่าว จากนั้นแถบดังกล่าวจะถูกส่งย้อนกลับมาที่บริเวณต้นทางเพื่อส่องผ่านรังสีเบต้าอีกครั้ง จากนั้นจึงวัดความสามารถในการดูดซับรังสีเบต้าเพื่อนำมาแปลงเป็นค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4

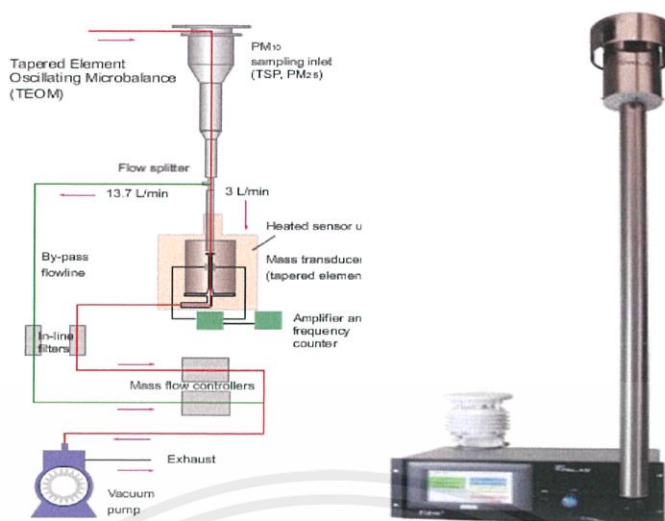


รูปที่ 2.3 เครื่องวัดฝุ่นละอองระบบเบต้า เร [11]

รูปที่ 2.4 ฟิลเตอร์เทป [11]

2.2.3 ระบบเทปเปอร์ อิลิเมน ออสซิลเลตติ้ง ไมโครบาลานซ์ (Tapered Element Oscillating Microbalance)

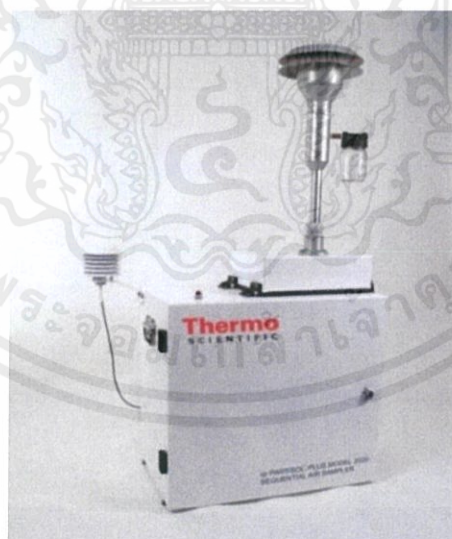
อุปกรณ์วัดฝุ่นระบบนี้เป็นอุปกรณ์ตัวอย่างเก็บอากาศแบบปริมาตรต่ำ (low volume air sample) โดยใช้หลักการดูดอากาศผ่านหัวคัตขนาดสำหรับฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน เพื่อให้ฝุ่นละอองตกสะสมบนกระดาษกรองในขณะสั่นสะเทือนโดยที่กระดาษกรองจะถูกติดอยู่ที่ปลายของ tapered quartz tube ซึ่งจะทำหน้าที่เหมือนส้อมเสียงซึ่งมีความไวต่อสิ่งกระตุ้น (sensitive) กับการเปลี่ยนแปลงของความถี่ในการสั่นตามน้ำหนักของฝุ่นที่ตกลงบนกระดาษกรอง จากนั้นแปลงค่าความถี่ที่สั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเป็นค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ลักษณะของเครื่องมือแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เครื่องวัดฝุ่นละอองระบบเทปเปอร์ อลิเมน ออสซิลเลตติ้ง ไมโครบาลานซ์ [12]

2.2.4 ระบบไดโคโตมัส (Dichotomous)

ระบบนี้ใช้หลักการดูดอากาศผ่านหัวคัดขนาดสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ให้ตกกระทบกับอุปกรณ์คัดแยกฝุ่นละอองที่แน่นอน (Virtual Impactor) เพื่อแยกฝุ่นละอองออกเป็นสองขนาดคือขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และขนาดตั้งแต่ 2.5 ไมครอน แต่ไม่เกิน 10 ไมครอน แล้วนำแผ่นกรองทั้งสองแผ่นมาชั่งน้ำหนักรวมของฝุ่นละอองทั้งหมด [5] ลักษณะของเครื่องมือแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เครื่องวัดฝุ่นละอองระบบไดโคโตมัส [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 ระบบการวัดด้วยการกระเจิงแสง (Light scattering)

ระบบการวัดฝุ่นละอองด้วยการกระเจิงแสง เป็นวิธีทางเลือกหนึ่งซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบการตรวจวัดของเครื่องตรวจวัดฝุ่นละอองแบบพกพา เทคนิคการกระเจิงแสงจะตรวจจับการเคลื่อนที่ของอนุภาคซึ่งส่งผลต่อความเข้มแสง โดยอนุภาคขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่ช้าทำให้เกิดความถี่ในการกระเพื่อมขึ้น-ลงของแสงที่กระเจิงต่ำ และอนุภาคขนาดเล็กเคลื่อนที่ได้เร็วจะมีความถี่ในการกระเพื่อมของแสงที่กระเจิงสูงกว่า ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของแสงที่กระเจิงจะช้ากว่าสัญญาณที่ได้จากการวัดความเข้มชั้นแสงในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ของอนุภาคขนาดเล็ก ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ระบบการตรวจวัดฝุ่นละอองแบบนี้ได้แก่ PM Analyzer (Aerocet 531S) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้สอบเทียบอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นในขั้นตอนการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการ โดยสามารถตรวจวัดฝุ่นละอองได้ในช่วง 0 – 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ อีกทั้งยังสามารถวัดข้อมูลฝุ่นละอองได้รายนาที่



รูปที่ 2.7 เครื่องวัดฝุ่นละอองระบบการวัดด้วยการกระเจิงแสง [14]

2.3 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่องมือมาตรฐาน

2.3.1 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในบรรยากาศ

การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง PM_{10} ในบรรยากาศ โดยทั่วไปจะกำหนดให้ช่องทางเข้าอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่าง สูงจากพื้นดินอย่างน้อย 1.50 เมตร แต่ไม่เกิน 6 เมตร ซึ่งมากพอที่จะไม่ดูดเอาฝุ่นละอองจากพื้นเข้าไปด้วย ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงตำแหน่งที่คาดการณ์ว่าจะเกิดมลพิษสูงสุด ตำแหน่งของผู้ที่ได้รับผลกระทบ และความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

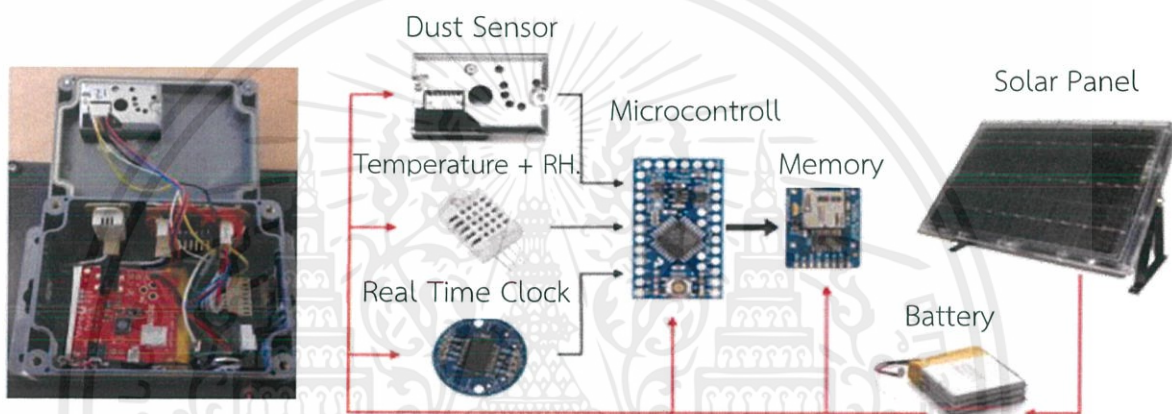
2.3.2 หลักเกณฑ์ทั่วไปในการเลือกจุดติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

- 1) ควรติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างให้ห่างจากกันเสาอย่างน้อย 2 เมตร และอย่างน้อย 10 เมตร กรณีมีต้นไม้เป็นสิ่งกีดขวาง
- 2) ช่องทางเข้าออกของเครื่องเก็บตัวอย่างควรอยู่ห่างจากสิ่งกีดขวาง เช่น อาคาร อย่างน้อย 2 เท่าของความสูงของสิ่งกีดขวางที่โผล่เหนือช่องทางเข้าอากาศนั้น
- 3) ในรัศมี 270 องศา รอบช่องทางเข้าอากาศ ต้องไม่มีอะไรกีดขวางการไหลของอากาศ
- 4) เครื่องเก็บตัวอย่างไม่ควรอยู่ใกล้บริเวณที่มีปล่องเตาหลอมโลหะ หรือเตาเผาขยะ
- 5) ถ้าต้องการวัด PM_{10} จากยานพาหนะ ให้ติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างใกล้ถนนที่มีรถติดมากที่สุด และในถนนที่คาดว่าจะมีความเข้มข้นของ PM_{10} สูง [9]

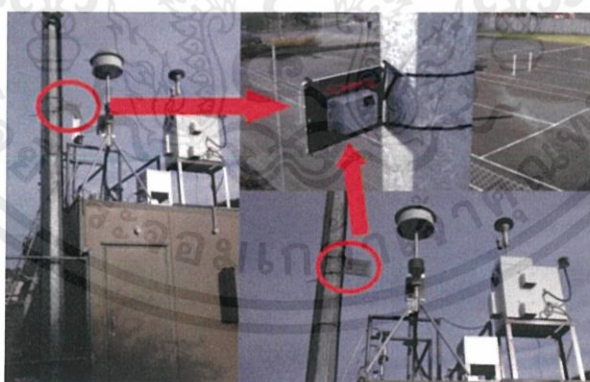
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สถาบันวิจัย National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA) ของประเทศนิวซีแลนด์ [15] ที่ทำการพัฒนาอุปกรณ์ราคาประหยัด เพื่อใช้เฝ้าระวังคุณภาพอากาศ โดยเฉพาะฝุ่นละอองในลักษณะโครงข่ายเพื่อเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ ที่เรียกว่า The Outdoor Dust Information Node (ODIN) อุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วยเซนเซอร์ในการตรวจวัดฝุ่นของ Sharp รุ่น GP2Y1010AU0F ซึ่งใช้หลักการวัดฝุ่นละอองเชิงแสง (Optical air quality sensor) โดยการเปล่งแสงอินฟราเรดเพื่อวัดค่าการสะท้อนของฝุ่นละออง เซนเซอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และส่วนประกอบอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ทาง NIWA ได้ทดสอบระบบและอุปกรณ์ที่เมือง Christchurch ซึ่งเป็นพื้นที่เขตเมืองที่มีชุมชนหนาแน่น โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ในบริเวณเดียวกับเครื่องมือมาตรฐานดังแสดงในรูปที่ 2.8 เป็นระยะเวลาในการทดสอบอุปกรณ์เป็นเวลา 17 วัน



รูปที่ 2.8 ภายในอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นละออง (ODIN) [15]

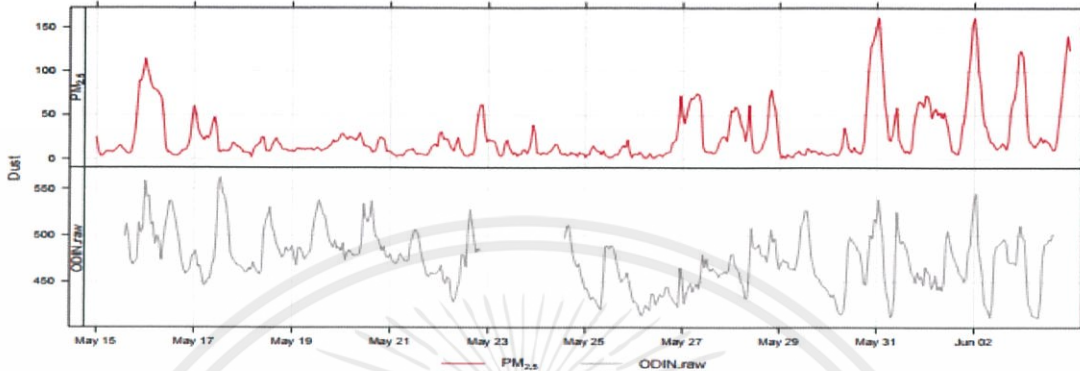


รูปที่ 2.9 การติดตั้งอุปกรณ์เทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน [16]

หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการนำข้อมูลจากอุปกรณ์ ODIN และเครื่องมือมาตรฐาน ได้แก่ ค่าฝุ่นละอองก่อนทำการปรับแก้ อุณหภูมิ ความชื้น เพื่อหาความสัมพันธ์โดยการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ กลางวัน (9:00 น. – 18:00 น.) และกลางคืน (19:00 น. – 8:00 น.) เนื่องจากต้องการวิเคราะห์ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาอื่นๆ ที่ส่งผลถึงค่าที่ได้จากการตรวจวัดนำค่าสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ ODIN กับข้อมูลค่าฝุ่นละอองที่ได้จากเครื่องมือมาตรฐานมาสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟเทียบกับเวลา เพื่อดูแนวโน้มของกราฟทั้งสองว่ามีรูปแบบเดียวกันหรือไม่ ซึ่งจะเห็นว่ากราฟค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จาก ODIN และเครื่องมือวัดมาตรฐานมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.10 จึงทำการปรับแก้กราฟจาก ODIN ให้มีลักษณะเช่นเดียวกับกราฟที่ได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) โดยการใช้ค่าฝุ่นละอองดิบที่ได้จาก ODIN มาปรับแก้ด้วยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ดังแสดงในสมการที่ 2.1

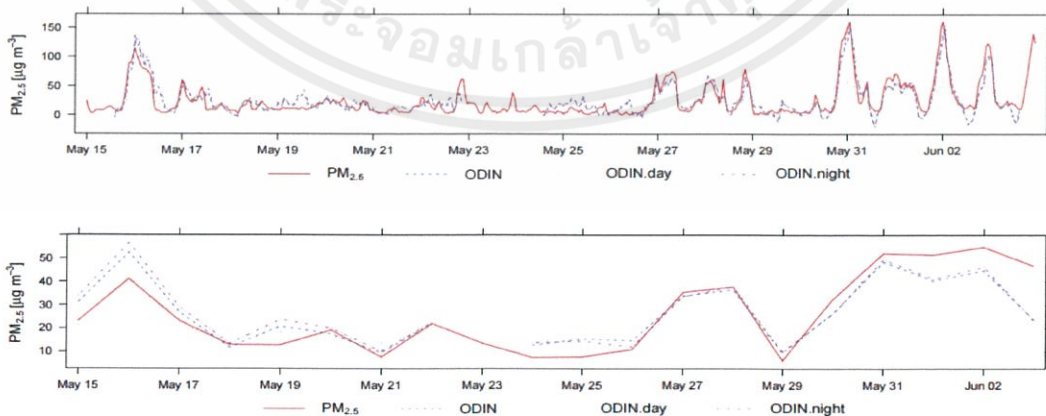


รูปที่ 2.10 การเปรียบเทียบข้อมูลค่าฝุ่นละอองจากเครื่องมือมาตรฐาน (ภาพบน) กับค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์ ODIN (ภาพล่าง) [16]

$$Dust_{calibrated} = A * Dust_{raw} + B * Temperature_{ODIN} + C * RH_{ODIN} + D \quad (2.1)$$

โดย $Dust_{calibrated}$ คือ ค่าฝุ่นละอองที่ผ่านการปรับแก้แล้ว
 $Dust_{raw}$ คือ ค่าฝุ่นละอองก่อนทำการปรับแก้
 $Temperature_{ODIN}$ คือ อุณหภูมิที่วัดได้จากอุปกรณ์ ODIN
 RH_{ODIN} คือ ความชื้นที่วัดได้จากอุปกรณ์ ODIN
 A, B, C และ D คือ ตัวแปรจากวิธี Regression

ซึ่งเมื่อทำการปรับแก้ค่าแล้ว ค่าฝุ่นละอองที่ได้จาก ODIN ก็ใกล้เคียงกับค่าฝุ่นละอองจากเครื่องมือมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 พบว่ามีความแม่นยำสูงถึงร้อยละ 90 แสดงว่าอุปกรณ์สามารถตรวจวัดฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.11 การเปรียบเทียบข้อมูลค่าฝุ่นละอองจากเครื่องมือมาตรฐานเป็นรายชั่วโมง (บน) กับค่าฝุ่นละอองรายวัน (ล่าง) เทียบกับค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์ ODIN [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

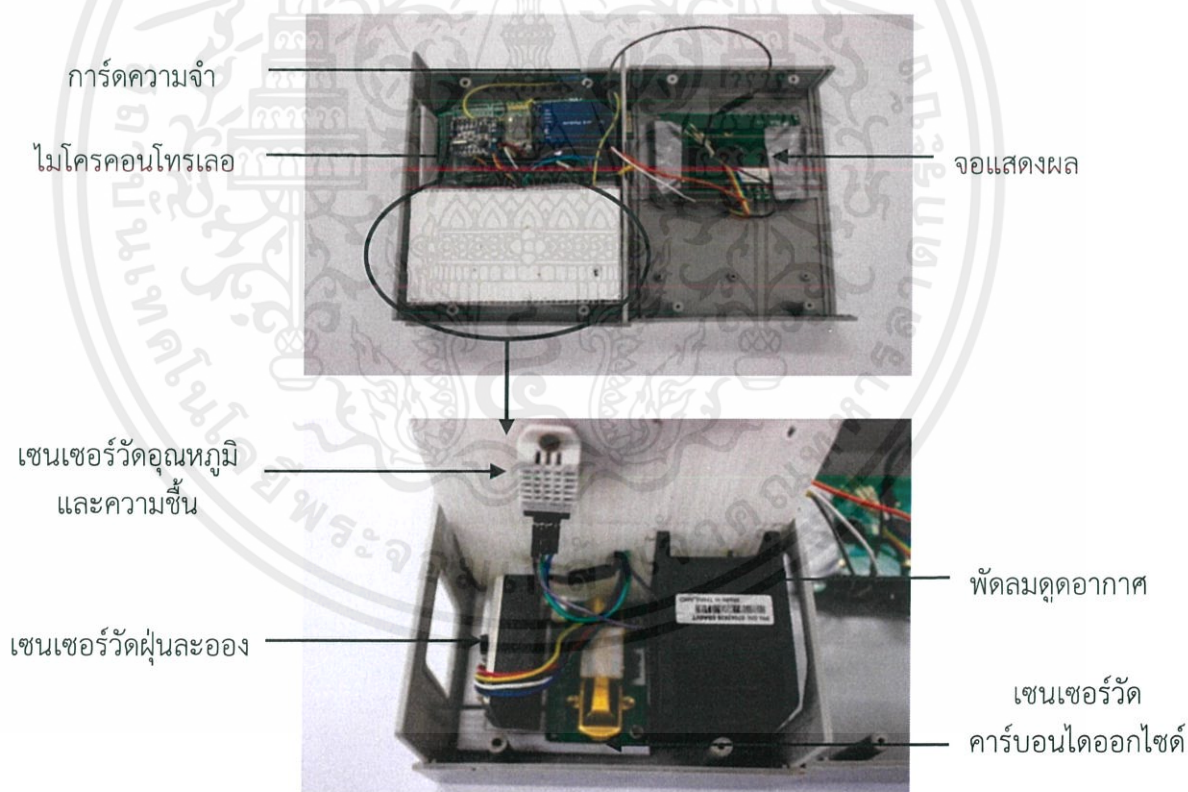
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

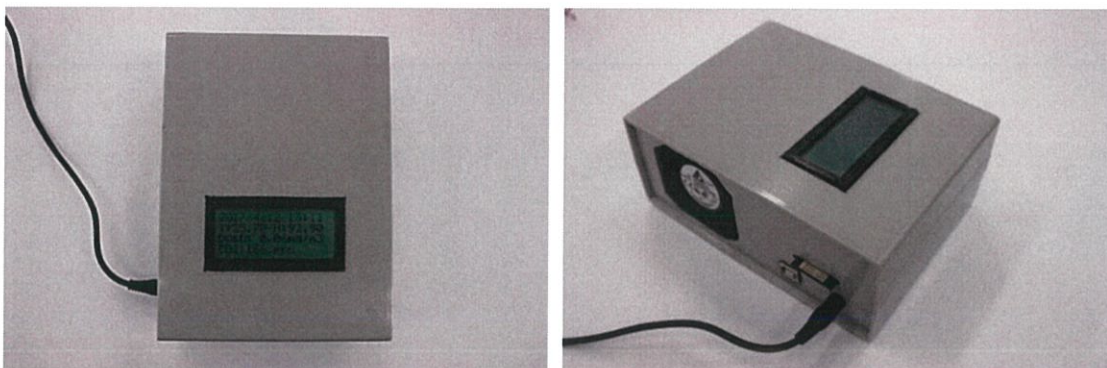
การดำเนินงานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนได้แก่ 1) การประกอบอุปกรณ์และการเขียนโปรแกรม และ 2) การสอบเทียบอุปกรณ์

3.1 การประกอบอุปกรณ์และการเขียนโปรแกรม

อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นละอองราคาประหยัด ประกอบด้วย เซนเซอร์ 3 ชนิด ได้แก่ เซนเซอร์สำหรับวัดฝุ่นละอองของ Sharp รุ่น GP2Y1010AU0F เซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น และเซนเซอร์วัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์โดยมีพัดลมขนาด 12 โวลต์ ทำหน้าที่ดูดอากาศจากภายนอกให้ผ่านเซนเซอร์ อุปกรณ์ทั้งหมดถูกต่อผ่านไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino รุ่น UNO R3 เพื่อประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์ต่างๆ และแสดงผลผ่านจอ LCD โดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกบันทึกเป็นรายนาที่ลงในการ์ดความจำ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 อุปกรณ์ออกแบบให้สามารถใช้กระแสตรงหรือใช้ไฟจากอุปกรณ์ฟ่วงต่อภายนอกผ่าน Port USB ภาพแสดงด้านหน้าและด้านข้างของอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งของเซนเซอร์ภายในอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นละอองราคาประหยัด



รูปที่ 3.2 ด้านหน้าและด้านข้างของอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นละอองราคาประหยัด

เนื่องจากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น ใช้การต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ประเภท Arduino จึงต้องมีการเขียนโปรแกรมเพื่อรับค่าจากเซนเซอร์ต่างๆ เพื่อประมวลผล และแสดงข้อมูลผ่านจอ LCD โดยภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม คือ ภาษา C Arduino ซึ่งมีวิธีการเขียนคล้ายกับภาษา C พื้นฐาน

รูปแบบคำสั่งแสดงในรูปที่ 3.3 โดยส่วนที่ 1 แสดงการแปลงข้อมูลจากเซนเซอร์วัดฝุ่นละอองเพื่อบันทึกในการวัดความจำ เนื่องจากค่าที่อ่านจากเซนเซอร์มีขนาด 10 บิต คือ 0 – 1023 จึงต้องทำการแปลงตัวเลขให้เป็นตัวเลขในหน่วยโวลต์ ซึ่งหมายถึงความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อเซนเซอร์ตรวจพบฝุ่นละอองโดยทำการเทียบค่าความต่างศักย์จากคู่มือของเซนเซอร์จากบริษัทผู้ผลิต ส่วนที่ 2 แสดงสมการที่ใช้ในการสอบเทียบโดยแปลงค่า output voltage เป็นความเข้มข้นของฝุ่นละออง โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของฝุ่นกับความต่างศักย์ดังแสดงในรูปที่ 3.4

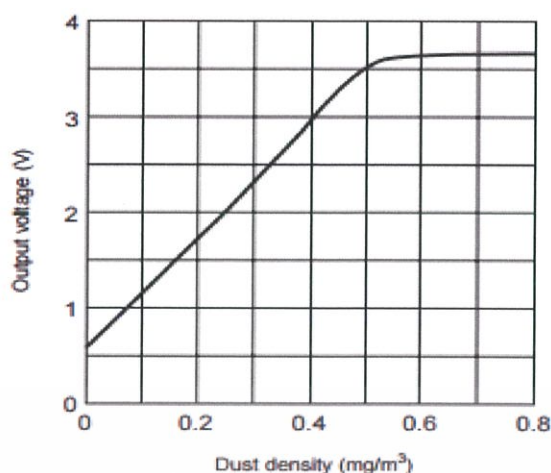
```

600112_Lcd_Co2_dust_T_h_fu | Arduino 1.8.1
File Edit Sketch Tools Help

_600112_Lcd_Co2_dust_T_h_fu $
207 void R_D_C()
208 {
209     digitalWrite(ledPower, LOW); // power on the LED
210     delayMicroseconds(samplingTime);
211
212     voMeasured = analogRead(measurePin); // read the dust value
213
214     delayMicroseconds(deltaTime);
215     digitalWrite(ledPower, HIGH); // turn the LED off
216     delayMicroseconds(sleepTime);
217
218     // 0 - 5V mapped to 0 - 1023 integer values
219     // recover voltage
220     calcVoltage = voMeasured * (5.0 / 1024.0);
221     dust_voltage_sum += calcVoltage;
222     // linear equation taken from http://www.howmuchnow.com/arduino/airquality/
223
224     // dust equation
225     dustDensity = 0.17 * calcVoltage - 0.1;
226
227     Dus += dustDensity;
228
229     h = dht.readHumidity();
230     tt = dht.readTemperature();
231

```

รูปที่ 3.3 รูปแบบคำสั่งที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม Arduino



รูปที่ 3.4 กราฟสำหรับการแปลงค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองจาก Output voltage

3.2 การสอบเทียบอุปกรณ์

ขั้นตอนการสอบเทียบจะกระทำโดยใช้เทคนิควิเคราะห์การถดถอยเพื่อปรับสมการมาตรฐานของเซนเซอร์วัดฝุ่นละออง โดยแบ่งการสอบเทียบออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

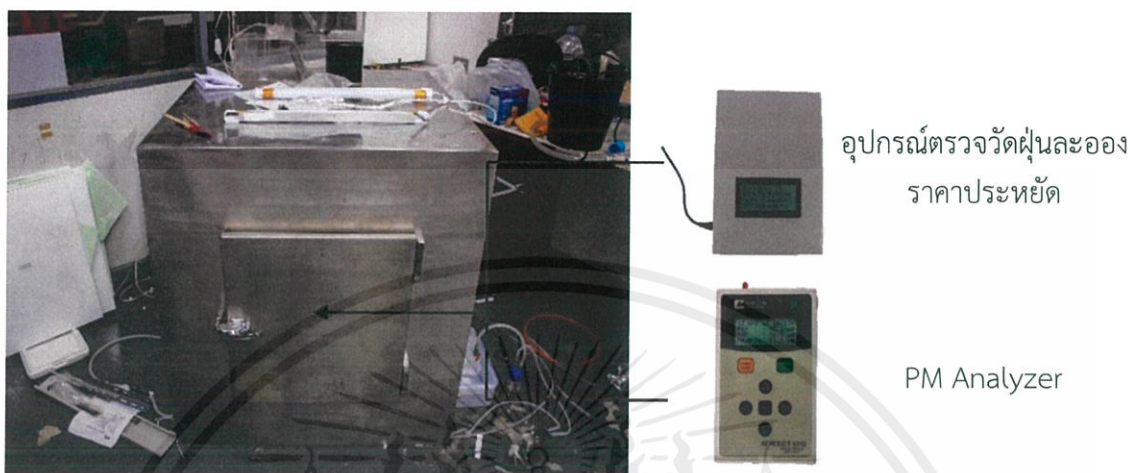
1) การสอบเทียบในห้องปฏิบัติการในตู้ทดสอบ (Chamber test)

ก่อนทำการทดสอบอุปกรณ์ในตู้ทดสอบ ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ทำการทดสอบอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นในกล่องสะอาดที่มีอากาศบริสุทธิ์หมุนเวียน เพื่อหาขีดจำกัดที่ต่ำที่สุดของเซนเซอร์ที่สามารถวัดฝุ่นละอองได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การทดสอบอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นในกล่องสะอาดที่มีอากาศบริสุทธิ์หมุนเวียน

เมื่อทราบขีดจำกัดต่ำสุดของเซนเซอร์แล้ว จึงทำการทดสอบ โดยการนำอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมาทดสอบในตู้ทดสอบ (Chamber test) โดยใช้ฝุ่นจากแป้งเด็ก และควีนรูบ โดยใช้เครื่อง PM Analyzer แบบพกพา ที่มีเทคนิคการตรวจวัดด้วยวิธี Light scattering มาสอบเทียบกับอุปกรณ์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นตู้ทดสอบและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการสอบเทียบ แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การทดสอบในตู้ทดสอบระหว่างอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นกับเครื่อง PM Analyzer

2) การสอบเทียบในภาคสนามร่วมกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน

นำอุปกรณ์ต้นแบบไปติดตั้งที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจากเครื่องมือมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษมาสอบเทียบ โดยทำการติดตั้งที่สถานีดินแดง เป็นระยะเวลา 12 วัน ระหว่างวันที่ 12 – 23 เมษายน 2560 รูปภาพแสดงสถานที่ติดตั้งและอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.7 และ 3.8 และที่สถานีบางนา เป็นระยะเวลา 13 วัน ระหว่างวันที่ 5 – 17 พฤษภาคม 2560 รูปภาพแสดงสถานที่ติดตั้งและอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.9 และ 3.10



รูปที่ 3.7 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศดินแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การติดตั้งอุปกรณ์ราคาประหยัดเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษที่สถานีดินแดง



รูปที่ 3.9 รูปภาพด้านหน้าและด้านข้างสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบางนา



รูปที่ 3.10 การติดตั้งอุปกรณ์ราคาประหยัดเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษที่สถานีบางนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

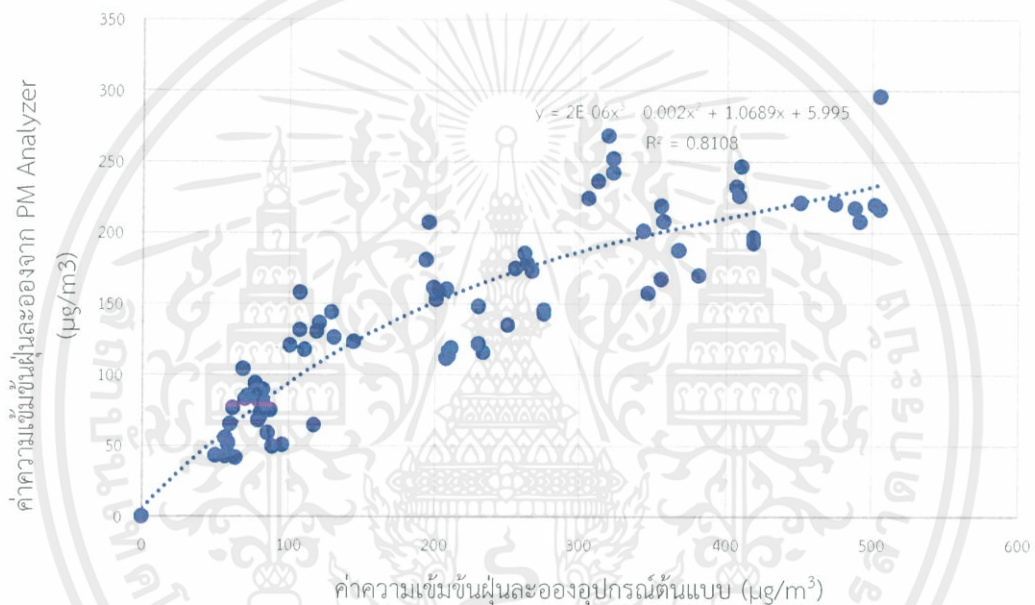
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองจะอภิปรายแยกเป็นสองส่วน คือ ผลการทดสอบเทียบในห้องปฏิบัติการ และผลการสอบเทียบในภาคสนาม

4.1 ผลการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการ

การสอบเทียบการวัดฝุ่นละอองของอุปกรณ์ต้นแบบในห้องปฏิบัติการร่วมกับเครื่อง PM Analyzer โดยใช้ฝุ่นจากแป้งเด็ก และควันทันรูป ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่วัดได้จากเครื่องมือทั้งสอง แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่วัดได้จากอุปกรณ์ต้นแบบกับ PM Analyzer

ซึ่งเมื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสอง พบว่าได้สมการแสดงความสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียลกำลังสาม ดังสมการที่ 4.1 โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8108

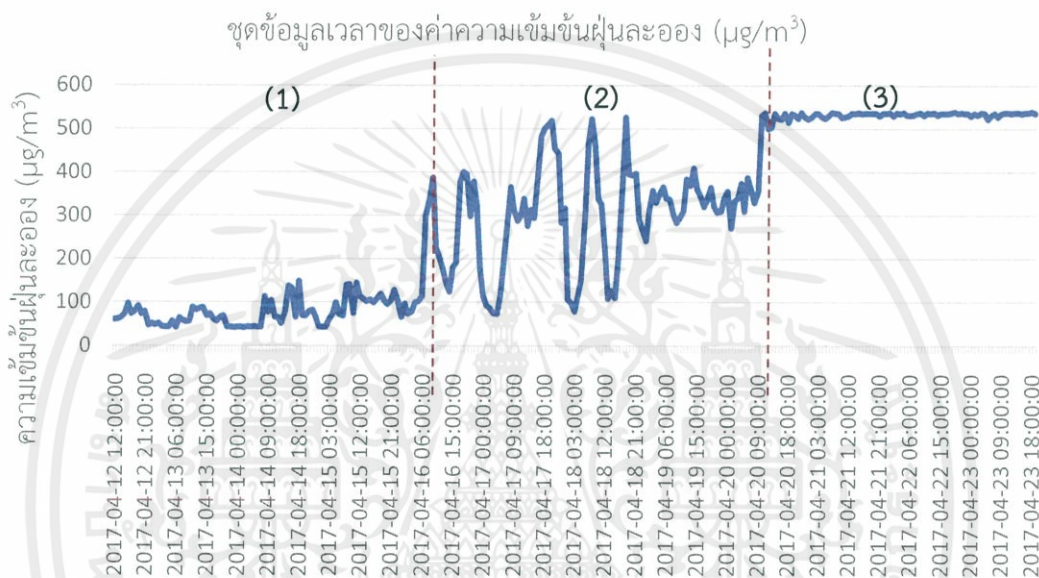
$$y = 2 \times 10^{-6} x^3 - 0.002 x^2 + 1.0689 x + 5.995 \quad (4.1)$$

โดย y คือ ค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองจากเครื่อง PM Analyzer
 x คือ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากอุปกรณ์ต้นแบบ

4.2 ผลการสอบเทียบภาคสนาม

การสอบเทียบเครื่องมือภาคสนาม ทำโดยติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ เพื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองที่วัดได้จากอุปกรณ์ต้นแบบและเครื่องมือมาตรฐานโดยได้ติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบที่สถานีดินแดงตั้งแต่วันที่ 12 – 23 เมษายน 2560 แต่เนื่องจากปัญหาทางด้านเทคนิคของอุปกรณ์ที่สถานีดินแดงทำให้ไม่สามารถสอบเทียบอุปกรณ์ต้นแบบกับอุปกรณ์มาตรฐานได้ จึงต้องย้ายเครื่องต้นแบบไปติดตั้งที่สถานีบางนาในระหว่างวันที่ 5 – 17 พฤษภาคม 2560 แทน

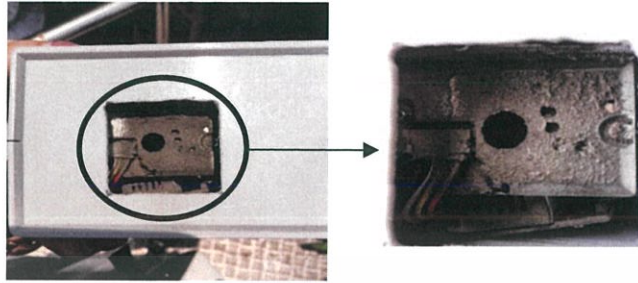
ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่วัดได้จากอุปกรณ์ต้นแบบที่ติดตั้งที่สถานีดินแดงเป็นเวลา 12 วัน ตั้งแต่วันที่ 12 – 23 เมษายน 2560 แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่วัดได้จากอุปกรณ์ต้นแบบรายนาที่ที่วัดได้ที่สถานีดินแดง ระหว่างวันที่ 12 – 23 เมษายน 2560

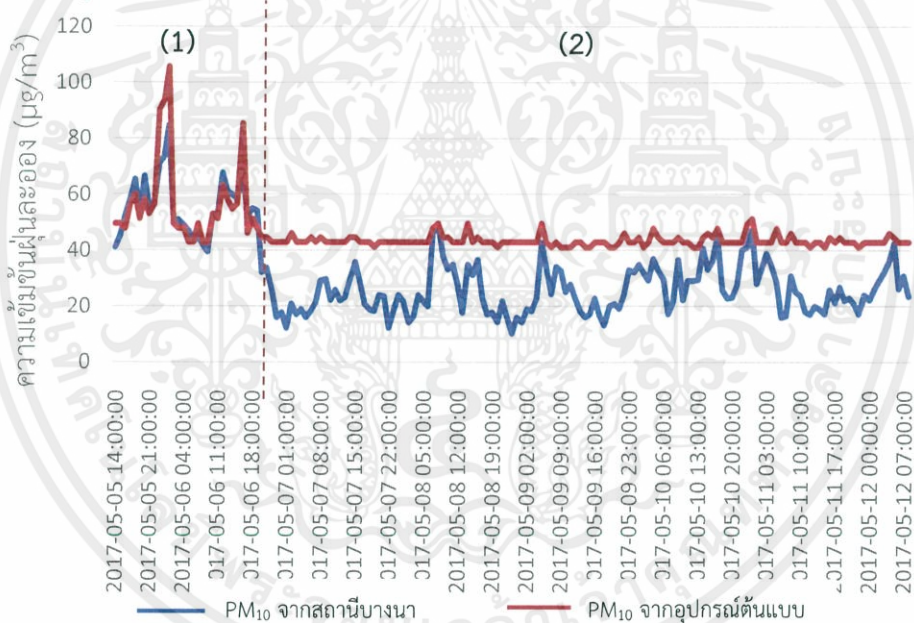
เนื่องจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศดินแดงเป็นสถานีที่ตั้งอยู่บริเวณริมถนนซึ่งมีปริมาณรถสัญจรเป็นจำนวนมาก ช่วงเวลาที่ทำการศึกษาติดตั้งอุปกรณ์เป็นช่วงที่ครอบคลุมช่วงเทศกาลสงกรานต์ ทำให้เห็นความแตกต่างของความเข้มข้นของฝุ่นที่วัดได้ และสามารถจำแนกได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงระหว่างวันที่ 12 – 15 เมษายน 2560 ซึ่งมีปริมาณการจราจรค่อนข้างน้อยเนื่องจากประชาชนเดินทางไปต่างจังหวัด ค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองที่วัดได้มีค่าระหว่าง $41.1 - 112.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และช่วงระหว่างวันที่ 16 – 20 เมษายน 2560 ที่การจราจรกลับมาเป็นปกติ จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้มีความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างค่าที่อ่านได้ในช่วงเวลากลางวันที่มีปริมาณการจราจรมาก และตอนกลางคืนที่มีปริมาณการจราจรน้อยโดยค่าสูงสุดที่ตรวจวัดได้ในช่วงเวลากลางวันคือ $537.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ในขณะที่ตอนกลางคืนค่าต่ำสุดที่วัดได้คือ $66.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ แสดงว่าอุปกรณ์ต้นแบบมีความสามารถที่จะตรวจวัดความผันแปรของปริมาณฝุ่นในช่วงเวลาต่างๆของวันได้ และช่วงที่ 3 คือตั้งแต่วันที่ 17 – 23 เมษายน 2560 ที่ความเข้มข้นของฝุ่น

ขึ้นสูง และคงที่ตลอดเวลา 1 สัปดาห์ ซึ่งเมื่อเปิดอุปกรณ์มาตรวจสอบพบว่า มีฝุ่นละอองเข้าไปติดค้าง และสะสมในเซนเซอร์จนหนา ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ฝุ่นละอองที่สะสมภายในเซนเซอร์เป็นปริมาณมาก

แสดงว่าค่าปริมาณฝุ่นที่คงที่ที่เกิดจากฝุ่นที่ไปเกาะจนหนาจนเกินขีดจำกัดที่อุปกรณ์จะตรวจวัดได้ สำหรับข้อมูลการสอบเทียบที่สถานีบางนา ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองรายชั่วโมงที่วัดได้จากอุปกรณ์ต้นแบบ และอุปกรณ์มาตรฐานที่สถานีบางนา ระหว่างวันที่ 5 - 12 พฤษภาคม 2560 แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นฝุ่นละอองที่วัดได้รายชั่วโมงจากอุปกรณ์ต้นแบบและอุปกรณ์มาตรฐานที่สถานีบางนา ระหว่างวันที่ 5 - 12 พฤษภาคม 2560

เนื่องจากค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่วัดได้จากอุปกรณ์มาตรฐานเป็นข้อมูลรายชั่วโมง จึงต้องทำการเฉลี่ยค่าจากอุปกรณ์ต้นแบบเป็นรายชั่วโมงเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน เนื่องจากสถานีบางนาเป็นสถานีที่อยู่ในบริเวณกรมอุตุนิยมวิทยาไม่ได้อยู่ริมถนน ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นที่วัดได้จึงต่ำกว่าที่สถานีดินแดง เมื่อพิจารณาจากกราฟของอุปกรณ์มาตรฐานพบว่า จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าสามารถแบ่งกราฟเป็น 2 ช่วง คือระหว่างวันที่ 5 – 6 พฤษภาคม 2560 ซึ่งค่าปริมาณฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอน (PM₁₀) อยู่ในช่วง 25.65 – 84.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และระหว่างวันที่ 7 – 12 พฤษภาคม 2560 ซึ่งความเข้มข้นของ PM₁₀ ลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 10.19 – 47.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เนื่องจากเป็นช่วงที่มีฝนตก ซึ่งเมื่อพิจารณาข้อมูลกราฟจากอุปกรณ์ต้นแบบก็พบว่า มีลักษณะเป็น 2 ช่วงเช่นเดียวกัน คือ ช่วงวันที่ 5 – 6 พฤษภาคม ที่มีการขึ้นลงของกราฟเช่นเดียวกับกราฟจากอุปกรณ์มาตรฐาน แต่หลังจากวันที่ 6 พฤษภาคม กราฟมีลักษณะคงที่ไม่มีการขึ้นลงตามเวลา ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศที่มีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดกลางที่เซนเซอร์สามารถวัดได้

จากผลการตรวจวัดดังกล่าวทำให้สามารถสอบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากอุปกรณ์ต้นแบบและอุปกรณ์มาตรฐานได้เพียง 2 วัน ซึ่งเมื่อทำการหาสมการถดถอยเชิงเส้นเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล 2 ชุด พบว่า สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 4.2

$$y = 12.58 + 0.788x \quad (4.2)$$

โดย y คือ ค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองจากอุปกรณ์มาตรฐาน
 x คือ ค่าความเข้มข้นจากอุปกรณ์ต้นแบบ

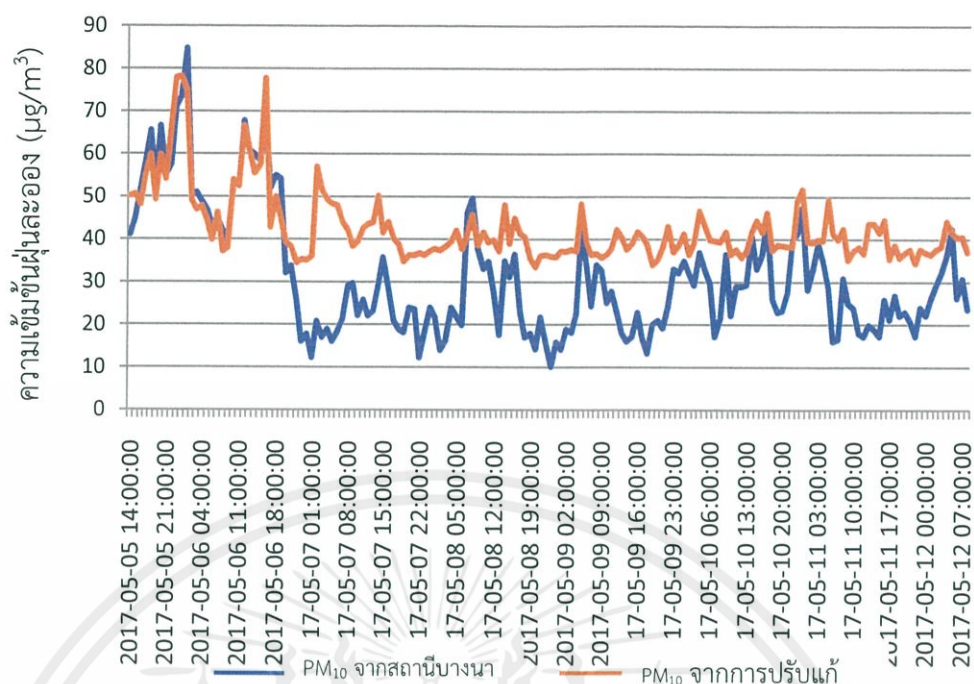
โดยค่า $R^2 = 0.64$ ซึ่งมีค่าน้อย จึงทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมด้วยเทคนิคการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple linear regression) โดยนำปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ มาพิจารณาพร้อม

ซึ่งสามารถหาสหสัมพันธ์ได้ ดังแสดงในสมการที่ 4.3 โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.79

$$Dust_{calibrated} = -215 + 5.85A + 2.53B + 2.891C - 0.01564C^2 - 0.0929AB \quad (4.3)$$

โดย A คือ อุณหภูมิที่วัดได้จากอุปกรณ์ต้นแบบ
 B คือ ความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น
 C คือ ค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองของอุปกรณ์ต้นแบบ

ซึ่งจะเห็นว่า มีค่า R^2 เพิ่มขึ้นจาก 0.64 เป็น 0.79 เมื่อนำค่าสมการดังกล่าวไปปรับแก้ค่าปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นที่วัดได้จากอุปกรณ์ต้นแบบ ค่าของ PM₁₀ ที่ได้จากอุปกรณ์ต้นแบบจะมีความใกล้เคียงกับ PM₁₀ ที่อ่านได้จากอุปกรณ์มาตรฐานมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ชุดข้อมูลเวลาของค่าความเข้มข้นฝุ่นละออง อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ระหว่างวันที่ 5 – 12 พฤษภาคม 2560

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นละอองราคาประหยัด โดยใช้เซนเซอร์ Sharp รุ่น GP2Y1010AU0F เพื่อตรวจวัดฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) ในบรรยากาศ โดยได้ทำการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการ และภาคสนามที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ผลการศึกษสามารถสรุปได้ดังนี้

1) การทดสอบในห้องปฏิบัติการ การสอบเทียบกับ PM Analyzer สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้ง 2 ชุด ได้ดังสมการ

$$y = 2 \times 10^{-6} x^3 - 0.002x^2 + 1.0689x + 5.995$$

โดย y คือ ค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองจากเครื่อง PM Analyzer

x คือ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากอุปกรณ์ต้นแบบ

โดยที่ค่า $R^2 = 0.81$

2) การทดสอบในภาคสนาม ผลการทดสอบในภาคสนามแสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์สามารถตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฝุ่นในช่วงเวลาต่างๆได้ แต่สามารถสอบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานที่สถานีบางนาได้เพียง 2 วัน ผลการหาสมการถดถอยเชิงพหุร่วมกับอุณหภูมิและความชื้น สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$Dust_{calibrated} = -215 + 5.85A + 2.53B + 2.891C - 0.01564C^2 - 0.0929AB \quad (4.3)$$

โดย A คือ อุณหภูมิที่วัดได้จากอุปกรณ์ต้นแบบ

B คือ ความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

C คือ ค่าความเข้มฝุ่นละอองของอุปกรณ์ต้นแบบ

โดยที่ค่า $R^2 = 0.782$

ซึ่งสมการดังกล่าวจะนำไปปรับค่าความหนาแน่นของฝุ่นผ่านโปรแกรม Arduino ดังแสดงในส่วนที่ 3.1 เพื่อให้ความหนาแน่นของฝุ่นที่วัดได้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3) จากการตรวจวัดในภาคสนามพบว่าอุปกรณ์สามารถวัดฝุ่นได้มีข้อจำกัดในการใช้งานในช่วงความเข้มข้นระหว่าง 40 – 540 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรออกแบบอุปกรณ์เพิ่มเติมให้สามารถจัดการกับฝุ่นในบรรยากาศกับฝุ่นที่มาติดกับอุปกรณ์ให้ได้ โดยอาจจะปรับปรุงโดยการเปลี่ยนขนาดของพัดลม หรือใช้การเคลือบสารป้องกันเพื่อไม่ให้ฝุ่นมาติดได้

2) ข้อจำกัดของเซนเซอร์ที่ใช้ คือ มีช่วงการตรวจวัดที่ความเข้มข้นฝุ่นละอองสูงในช่วงระหว่าง $40 - 540 \mu\text{g}/\text{m}^3$ จึงควรพิจารณาความเข้มข้นฝุ่นละอองในแต่ละบริเวณก่อนทำการติดตั้งอุปกรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] กรีนพีซ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (สำนักงานประเทศไทย), (5 มกราคม 2559). “ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) จากโรงไฟฟ้าถ่านหินคือภัยคุกคามสุขภาพของคนไทย,” [Online]. Available: <http://www.greenpeace.org/seasia/th/news/blog1/25pm25/blog/55226/>.
- [2] กรมควบคุมมลพิษ, (25 พฤษภาคม 2538). “มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป,” [Online]. Available : http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html/.
- [3] ปาจารย์ ทองสนิท, (11 ธันวาคม 2557). “ฝุ่นละออง,” [Online]. Available : http://www.eng.nu.ac.th/nuej/file/journal/2010_10_01_15_19_43-1-foon-la-aong/.
- [4] กรีนพีซ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (สำนักงานประเทศไทย), (6 กันยายน 2559). “ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ใน 10 เมืองของประเทศไทยเกินค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก,” [Online]. Available : <http://www.greenpeace.org/seasia/th/press/releases/right-to-clean-air>
- [5] ดร.พัชราวุธ สุวรรณชาติ, (20 มกราคม 2557), “ฝุ่นละอองในบรรยากาศ,” [Online]. Available : <http://www.en.mahidol.ac.th/elearning/upload/Pacharawadee.pdf/>.
- [6] ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ดร.วิจิตร บุญยะโหดระ, “มลภาวะจากท่อไอเสีย” [Online]. Available : <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet6/envi3/toI/toln.htm/>.
- [7] คุณวิทยา ทานะมัย, (3 กันยายน 2549), “การศึกษาสมบัติเชิงแสงของฝุ่นละอองในภูมิภาคต่างของประเทศไทย” [Online]. Available : http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Wittaya_Tanamai/Fulltext.pdf/.
- [8] กรมอนามัย, “มาตรฐานค่าเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพจากฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน,” [Online]. Available : http://laws.anamai.moph.go.th/download/article/article_nov58/.
- [9] ส่วนคุณภาพอากาศในบรรยากาศ สำนักงานจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, (2546), การตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน, “คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ”, 25-32.
- [10] TISCH, “TSP High Volume Air Sampler,” [Online]. Available : <https://tisch-env.com/high-volume-air-sampler/TSP/>.
- [11] Ecotech, “Our Product,” [Online]. Available : <https://www.ecotech.com/product/page/8/>.
- [12] Queensland Government, “Tapered element oscillating microbalance,” [Online]. Available: <https://www.qld.gov.au/environment/pollution/monitoring/air-pollution/oscillating-microbalance/>.

- [13] Tetra, “Dichotomous Sequential Air Sampler,” [Online].
Available:<http://www.tetrainc.com.tr/en/tetra-dichotomous-sequential-air-sampler-olcum-47-39.html/>.
- [14] Met one instruments, “Aerocet 531S,” [Online].
Available:<http://www.metone.com/products/indoor-particle-monitors/aerocet-531s/>
- [15] Olivares, G and S. Edwards. (2015, July 22). “The Outdoor Dust Information Node (ODIN) – development and performance assessment of a low cost ambient dust sensor.”[online].
Available : <https://atmos-meas-tech-discuss.net/amt-2015-175/>.
- [16] Olivares, G Sam Edwards and Ian Longley. (2014, July 7). “The Outdoor Dust Information Node - ODIN Development and first tests.” [online].
Available: <https://www.niwa.co.nz/sites/niwa.co.nz/files/>.

