



สมการปรับแก้สำหรับเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นแบบเรียลไทม์ภายในสิ่งแวดล้อมสถานศึกษา



โดย

นายสิรภพ พิณีจากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

สมการปรับแก้สำหรับเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นแบบเรียลไทม์ภายในสิ่งแวดล้อมสถานศึกษา



โดย
นายสิรภพ พิณีจการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

CORRECTION EQUATIONS FOR REAL-TIME DUST MONITOR FOR
EDUCATIONAL ENVIRONMENT



By
MR. Siraphob PINITKARN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Science (ENVIRONMENTAL SCIENCE)
Department of ENVIRONMENTAL SCIENCE
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2019
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

59311304 : วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : สมการถดถอยของ OLS, การตรวจวัดฝุ่นละออง, วิธีเชิงน้ำหนัก, เครื่องมือตรวจวัดแบบเรียลไทม์, DustTrak 8530

นาย สิริภพ พิณีจการ: สมการปรับแก้สำหรับเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นแบบเรียลไทม์ภายในสิ่งแวดล้อมสถานศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อังก์ศิริ ทิพยารมณ

การศึกษามีจุดมุ่งหมายเพื่อหาสมการปรับแก้สำหรับเครื่อง DustTrak II Aerosol Monitor 8530 (TSI Inc., Shore view, MN) ซึ่งเป็นเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นละอองแบบเรียลไทม์ การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM₁₀ และ PM_{2.5} ใช้เครื่อง DustTrak และเครื่องมือที่ใช้กระดาษกรองสำหรับวิธีเชิงน้ำหนัก โดยทำการตรวจวัดภายในสิ่งแวดล้อมที่เป็นสถานศึกษา สำหรับวิธีเชิงน้ำหนักนั้น การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM₁₀ และ PM_{2.5} ใช้ไซโคลนสำหรับ PM₁₀ (Sensidyne, Petersburg, FL) และเครื่อง Personal Environment Monitor (PEM) ซึ่งคัดเฉพาสำหรับฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอน (SKC Inc., Eighty Four, PA) ตามลำดับ สมการปรับแก้หาได้จากการตั้งเครื่อง DustTrak และเครื่องมือที่ใช้กระดาษกรองในสถานที่และเวลาเดียวกัน การตรวจวัดกระทำทั้งหมด 40 วัน โดยครอบคลุมทั้งวันธรรมดาและวันหยุด ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า เครื่อง DustTrak มีความเอนเอียงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเชิงน้ำหนัก เครื่อง DustTrak แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ ของ PM₁₀ และ PM_{2.5} สูงกว่าวิธีเชิงน้ำหนัก 2.6 (n=40) และ 3.4 (n=40) เท่าตามลำดับ เมื่อนำสมการปรับแก้มาใช้ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างทั้งสองวิธีเพิ่มขึ้นจาก 0.803 เป็น 0.959 สำหรับ PM₁₀ และจาก 0.590 เป็น 0.919 สำหรับ PM_{2.5} ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่า สมการปรับแก้สามารถลดความเอนเอียงของผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง DustTrak 8530 ได้อย่างเป็นที่น่าพอใจในสิ่งแวดล้อมที่เป็นสถานศึกษา

59311304 : Major (ENVIRONMENTAL SCIENCE)

Keyword : Real-Time Monitor, OLS Linear Regression, Particle Monitoring, Gravimetric Method, DustTrak 8530

MR. SIRAPHOB PINITKARN : CORRECTION EQUATIONS FOR REAL-TIME DUST MONITOR FOR EDUCATIONAL ENVIRONMENT THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR AUNGSIRI THIPPAYAROM, Ph.D.

This study aimed to obtain correction equation for DustTrak II Aerosol Monitor 8530 (TSI Inc., Shore view, MN) which is a real-time particle monitor. DustTrak and filter-based gravimetric method were used to measure PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations in academic building environment. For gravimetric method, the 24-hr average concentration of PM₁₀ and PM_{2.5} were acquired using a PM₁₀-cyclone (Sensidyne, Petersburg, FL) and Personal Environment Monitor (PEM) with 2.5 microns cut size (SKC Inc., Eighty Four, PA), respectively. Correction equation was obtained throughout colocation of DustTrak with filter-base samplers. Sampling was conducted 40 days covering weekday and weekend. The results indicated that DustTrak had substantial bias compared with gravimetric method. It was found to show PM₁₀ and PM_{2.5} concentration on average 2.6 (n=40) and 3.4 times, respectively, higher than gravimetric method. When the correction equations were applied, the correlation coefficients (r) between the two methods were increased from 0.803 to 0.959 for PM₁₀ and from 0.590 to 0.919 for PM_{2.5}. It is obvious that correlation equations can satisfactorily reduce biases of DustTrak 8530 monitoring results in academic building environment.

กิตติกรรมประกาศ

กระผมขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังก์ศิริ ทิพยารมณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและแนะนำข้อคิดเห็น ดูแลเอาใจใส่ ตลอดจนความช่วยเหลือตรงรายละเอียดต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์เกี่ยวกับการหาสมการปรับแก้สำหรับเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นแบบเรียลไทม์ภายในสิ่งแวดล้อมที่เป็นสถานศึกษาได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อันเนื่อง ประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประหยัด แสงงาม กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการเป็นกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์พร้อมกับให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับคำปรึกษาและความช่วยเหลือในเรื่องเครื่องชั่งระดับไมโครกรัมในการชั่งกระดาษกรอง ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์การดำเนินการเอกสารข้อมูล การอำนวยความสะดวกต่าง ๆ และขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่เอื้ออำนวยด้านสถานที่เก็บตัวอย่างบริเวณชั้น 5 อาคารวิทยาศาสตร์ 4 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร และทุนวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายขอกราบพระคุณพ่อและแม่ รวมถึงทุกคนในครอบครัว ที่เป็นกำลังใจพร้อมสนับสนุนและเป็นแรงผลักดันตลอดมา ขอขอบคุณพี่ น้อง และเพื่อนทุก ๆ คน ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สิริภพ พิณีการ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ	ฉุ
บทที่ 1	4
บทนำ.....	4
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	4
1.2 วัตถุประสงค์.....	6
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	6
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ	6
บทที่ 2	7
การตรวจสอบเอกสาร.....	7
2.1 นิยามของฝุ่นแขวนลอยขนาดเล็ก.....	7
2.2 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง.....	8
2.2.1 สถานที่ตั้งอาคาร	8
2.2.2 รูปแบบอาคาร	8
2.2.3 การออกแบบระบบปรับสภาวะอากาศของอาคาร	8
2.2.4 งานปรับปรุงอาคารใหม่.....	8
2.2.5 การไหลเวียนอากาศเสียเฉพาะที่.....	8

2.2.6 วัสดุก่อสร้าง	9
2.2.7 การตกแต่งอาคาร.....	9
2.2.8 การดูแลดูแลรักษาอาคาร	9
2.2.9 ผู้ใช้อาคาร.....	9
2.3 ผลกระทบต่อสุขภาพของฝุ่นละออง	9
2.4 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ	11
2.5 การตรวจวัดฝุ่นละอองภายในอาคาร	12
2.5.1 การตรวจวัดด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก.....	13
2.5.2 การตรวจวัดด้วยวิธีอัตโนมัติแบบเรียลไทม์.....	13
2.6 เครื่อง DustTrak Aerosol Monitor.....	14
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3	32
วิธีดำเนินการทดลอง	32
3.1 การเก็บตัวอย่าง	32
3.1.1 สถานที่เก็บตัวอย่าง.....	32
3.1.2 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง	34
3.1.3 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	34
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	35
3.2.1 การเตรียมกระดาศกรองก่อนทำการเก็บตัวอย่าง	35
3.2.2 วิธีการสอบเทียบอัตราการไหลอากาศของเครื่องดูดอากาศ	35
3.2.3 วิธีการเก็บตัวอย่าง	36
3.2.3.2 การเก็บตัวอย่างโดยใช้ PEM	36
3.2.3.3 การเก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่อง DustTrak II Aerosol Monitor.....	36

3.3 การคำนวณ	37
3.3.1 ปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านกระดาศกรองสามารถคำนวณได้ดังสมการ	37
3.3.2 การคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นวิธีเชิงน้ำหนัก	37
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	37
3.4.1 Paired Sample T-Test.....	37
3.4.2 การหาสมการปรับแก้.....	38
3.4.3 ความสัมพันธ์กันของข้อมูลโดยใช้ Pearson’s correlation และค่าสัมประสิทธิ์การ ตัดสินใจ (Coefficient of determination; R^2)	38
3.4.4 ค่าความผิดพลาดของรากกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error; RMSE).....	38
3.4.5 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนค่าสัมบูรณ์ (Mean absolute percent error, MAPE)	38
3.5 การประกันคุณภาพและการควบคุมคุณภาพ (Quality assurance / quality control; QA/QC)	39
3.5.1 การปรับอัตราการไหลของปั๊มดูดอากาศ	39
3.5.2 การซั่งกระดาศกรองก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง	39
3.5.3 การใช้เครื่องซั่งระดับไมโครกรัม.....	39
3.5.4 การปรับศูนย์เครื่อง DustTrak II รุ่น 8530	40
3.5.5 การทำความสะอาดหัววัดขนาดของ PEM และ DustTrak	40
3.5.6 การเปลี่ยน Internal Filter ของเครื่อง DustTrak	40
บทที่ 4	41
ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา	41
4.1 ผลการศึกษา.....	41
4.1.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละออง.....	41
4.1.2 สมการถดถอยเชิงเส้นตรง	42

4.1.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัด PM ₁₀ ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักกับวิธีอัตโนมัติ	43
4.1.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัด PM _{2.5} ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักกับวิธีอัตโนมัติ.....	46
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเก็บตัวอย่างเฉพาะวันธรรมดา.....	51
4.2.1 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงสำหรับข้อมูลเฉพาะวันธรรมดา.....	53
4.2.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัด PM ₁₀ เฉพาะวันธรรมดาด้วยวิธีเชิงน้ำหนักกับวิธีอัตโนมัติ	53
4.2.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัด PM _{2.5} เฉพาะวันธรรมดาด้วยวิธีเชิงน้ำหนักกับวิธีอัตโนมัติ	56
4.3 วิจารณ์ผลการศึกษา.....	62
4.3.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละออง	62
บทที่ 5	66
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุป	66
5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาในอนาคต	67
5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการศึกษา	67
รายการอ้างอิง	69
ประวัติผู้เขียน	72

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 อันตรรกของฝุ่นละอองต่อร่างกายมนุษย์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	10
ตารางที่ 2 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป	12
ตารางที่ 3 มาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร (ค่าเฉลี่ยในเวลา 8 ชั่วโมง).....	12
ตารางที่ 4 ความแตกต่างของเครื่อง DustTrak Aerosol Monitor แต่ละรุ่น.....	16
ตารางที่ 5 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบเครื่องมือ.....	27
ตารางที่ 6 ค่า Correction factor ของเครื่อง DustTrak ในสถานการณ์ต่าง ๆ.....	29
ตารางที่ 7 อัตราการไหลที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศ.....	36
ตารางที่ 8 ผลการตรวจวัด PM ₁₀ และ PM _{2.5} ภายในสถานศึกษา.....	41
ตารางที่ 9 ค่าพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นของ PM ₁₀ ที่เปลี่ยนแปลงไป.....	46
ตารางที่ 10 ผลการตรวจวัด PM ₁₀ และ PM _{2.5} ภายในสถานศึกษา.....	52
ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลดิบวันธรรมดา (สมการที่ (8)) เปรียบเทียบกับการใช้ข้อมูลดิบทั้งหมด (สมการที่ (2)) สำหรับ PM _{2.5}	54
ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวันธรรมดา (สมการที่ (9)) เปรียบเทียบกับข้อมูล ทั้งหมด (สมการที่ (3)) โดยบังคับให้กราฟตัดที่จุด (0,0) สำหรับ PM ₁₀	55
ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลดิบวันธรรมดา (สมการที่ (10)) เปรียบเทียบกับการใช้ข้อมูลดิบทั้งหมด (สมการที่ (4)) สำหรับ PM _{2.5}	57
ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวันธรรมดา (สมการที่ (11)) เปรียบเทียบกับ ข้อมูลทั้งหมด (สมการที่ (5)) โดยบังคับให้กราฟตัดที่จุด (0,0) สำหรับ PM _{2.5}	59
ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวันธรรมดา (สมการที่ (12)) เปรียบเทียบกับ ข้อมูลทั้งหมด (สมการที่ (6)) โดยใช้กราฟที่ 2 สำหรับ PM _{2.5}	60
ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวันธรรมดา (สมการที่ (13)) เปรียบเทียบกับ ข้อมูลทั้งหมด (สมการที่ (7)) โดยใช้กราฟที่ 2 และบังคับให้กราฟตัดที่จุด (0,0) สำหรับ PM _{2.5}	61

ตารางที่ 17 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่ได้จากการศึกษาในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ.....64



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบของอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาด.....	7
ภาพที่ 2 ขนาดฝุ่นที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ	11
ภาพที่ 3 DustTrak Model 8520	14
ภาพที่ 4 เครื่อง DustTrak II Model 8530 และ 8532.....	15
ภาพที่ 5 เครื่อง DustTrak DRX Model 8533 และ 8534	15
ภาพที่ 6 ค่าความเข้มข้นของฝุ่นที่วัดในการตรวจวัดฝุ่นภายในและภายนอกอาคาร	18
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ 8h-PM _{2.5} ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก (PM _{2.5} _FILTER) กับเครื่อง DustTrak (PM _{2.5} _DST).....	19
ภาพที่ 8 การตรวจวัดฝุ่นด้วยเครื่อง DustTrak DRX 8533 สถานีรถไฟใต้ดิน เมืองบาร์เซโลนา.....	21
ภาพที่ 9 เครื่อง MetOne BAM-1020.....	24
ภาพที่ 10 เครื่อง Leland Legacy Pump.....	24
ภาพที่ 11 เครื่อง PEM.....	25
ภาพที่ 12 เครื่อง BGI PQ200.....	25
ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ PM _{2.5} ที่ได้จากเครื่อง DustTrak และเครื่อง BAM.....	26
ภาพที่ 14 ค่า Correction factor ที่ช่วงความเข้มข้นต่าง ๆ	26
ภาพที่ 15 Correction factor ระหว่างเครื่อง DustTrak กับวิธี Leland PEM	27
ภาพที่ 16 Correction factor ระหว่างเครื่อง DustTrak กับเครื่อง BAM	28
ภาพที่ 17 ผลการตรวจวัด PM _{2.5} ด้วยเครื่อง BAM-1020 กับเครื่อง DustTrak 8530	31
ภาพที่ 18 พื้นที่จุดเก็บตัวอย่าง	33
ภาพที่ 19 Personal Environment Monitor (PEM).....	34
ภาพที่ 20 DustTrak II Aerosol Monitor	35

ภาพที่ 21 เครื่องปรับอัตราการไหลของปั๊มดูดอากาศ.....	39
ภาพที่ 22 สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์หาสมการถดถอยเชิงเส้นตรงสำหรับ PM_{10}	44
ภาพที่ 23 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด PM_{10} ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตราโนมิติ	44
ภาพที่ 24 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด PM_{10} ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตราโนมิติเมื่อมีจุดตัดที่ (0,0).....	45
ภาพที่ 25 ผลการทดสอบสมการปรับแก้สำหรับ PM_{10}	47
ภาพที่ 26 สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์หาสมการถดถอยเชิงเส้นตรงสำหรับ $PM_{2.5}$	47
ภาพที่ 27 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตราโนมิติ	48
ภาพที่ 28 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตราโนมิติเมื่อมีจุดตัดที่ (0,0).....	49
ภาพที่ 29 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก และรากที่ 2 ของค่าที่อ่านได้จากวิธีอัตราโนมิติ.....	49
ภาพที่ 30 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก และรากที่ 2 ของค่าที่อ่านได้จากวิธีอัตราโนมิติเมื่อมีจุดตัดที่ (0,0).....	50
ภาพที่ 31 ผลการทดสอบสมการปรับแก้สำหรับ $PM_{2.5}$	51
ภาพที่ 32 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด PM_{10} เฉพาะวันธรรมดาด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตราโนมิติ	53
ภาพที่ 33 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด PM_{10} เฉพาะวันธรรมดาด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตราโนมิติเมื่อมีจุดตัดที่ (0,0).....	55
ภาพที่ 34 ผลการทดสอบสมการปรับแก้สำหรับ PM_{10}	56
ภาพที่ 35 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ เฉพาะวันธรรมดาด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตราโนมิติ	57
ภาพที่ 36 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ เฉพาะวันธรรมดาด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตราโนมิติเมื่อมีจุดตัดที่ (0,0).....	58
ภาพที่ 37 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ เฉพาะวันธรรมดาด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก และรากที่ 2 ของค่าที่อ่านได้จากวิธีอัตราโนมิติ	59

ภาพที่ 38 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ เฉพาะวันธรรมดาด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก และรากที่ 2 ของค่าที่อ่านได้จากวิธีอัตโนมัติเมื่อมีจุดตัดที่ (0,0).....60

ภาพที่ 39 ผลการทดสอบสมการปรับแก้สำหรับ $PM_{2.5}$62



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

สภาวะแวดล้อมในปัจจุบันมีการแพร่กระจายของฝุ่นละอองไปทั่วทุกพื้นที่ ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากธรรมชาติ เช่น ลมที่ทำให้ใบพัดตะกอนดินและทราย ไฟไหม้ป่า และจากที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น การคมนาคม อุตสาหกรรม กิจกรรมต่าง ๆ ปลดปล่อยฝุ่นละอองหลากหลายขนาดตั้งแต่ขนาดใหญ่ ขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (Total Suspended Particulate Matter; TSP) ฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (Particulate matter with an aerodynamic diameter less than or equal to a nominal 10 micro-meters; PM₁₀) จนถึงฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) และฝุ่นละเอียดขนาดเล็กมาก (Ultrafine particle) ขนาดไม่เกิน 0.1 ไมครอน (PM_{0.1}) ฝุ่นละอองขนาดใหญ่จะตกลงสู่พื้นตามแรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน สามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานาน ปะปนในอากาศที่มนุษย์หายใจเข้าไปและส่งผลต่อสุขภาพอนามัย (รัชชา, 2559)

หลายประเทศทั่วโลก ได้ให้ความสนใจเรื่องคุณภาพอากาศภายในอาคารเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากคนส่วนใหญ่ในเขตเมืองใช้เวลาอยู่ในอาคารเกือบร้อยละ 90 ของเวลาในแต่ละวัน โดยเฉลี่ยมนุษย์ใช้เวลาอยู่ในอาคารประมาณ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ไม่ว่าจะเป็นในที่พักอาศัย โรงเรียน สถานที่ทำงาน โรงพยาบาล ห้างสรรพสินค้า และในอาคารอื่น ๆ กิจกรรมต่าง ๆ ภายในอาคาร เช่น การประกอบอาหาร การใช้เครื่องพิมพ์ การถ่ายเอกสาร การสูบบุหรี่ หรือแม้กระทั่งการแลกเปลี่ยนอากาศกับบรรยากาศภายนอกอาคาร ล้วนเป็นตัวการที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองฟุ้งกระจายภายในอาคาร องค์การอนามัยโลก (World Health Organization; WHO) คาดว่าร้อยละ 30 ของอาคารทั่วโลกมีปัญหาด้านคุณภาพอากาศภายในอาคาร (จักรกฤษณ์, 2555) เนื่องจากอาคารส่วนใหญ่ในปัจจุบันเป็นอาคารปิดสนิทเพื่อประหยัดพลังงาน จึงมีอากาศหมุนเวียนถ่ายเทน้อย ทำให้คนที่อยู่ภายในอาคารมีอาการผิดปกติหรือเจ็บป่วยด้วยโรคที่มีสาเหตุมาจากมลพิษอากาศภายในอาคาร ซึ่งจะนำไปสู่ปัญหาการเกิดกลุ่มอาการของโรคจากการทำงานในอาคารปิดได้ (กัญญา, 2559)

เครื่อง DustTrak Aerosol Monitors (TSI Incorporated, Shoreview, MN, USA) นั้นเป็นเครื่องมือตรวจวัดแบบเรียลไทม์ที่เคลื่อนที่ได้สะดวก สามารถตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นได้หลาย

ขนาด เครื่อง DustTrak ทุกรุ่นใช้หลักการกระเจิงแสง แต่รุ่น DRX จะแตกต่างจากรุ่นอื่นตรงที่สามารถวัดฝุ่นได้หลายขนาดในเวลาเดียวกัน ดังนั้น ความเข้มข้นที่รายงานจึงเป็นความเข้มข้นของฝุ่นขนาดต่าง ๆ แยกกันได้ เครื่อง DustTrak เป็นเครื่องมือที่ใช้งานง่าย ขนาดกะทัดรัด ราคาไม่สูง และช่วงความเข้มข้นที่วัดได้เหมาะสำหรับสิ่งแวดล้อมที่หลากหลาย ทั้งในอาคาร นอกอาคาร หรือแม้แต่ในโรงงานที่มีความเข้มข้นของฝุ่นสูง นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูง ซึ่งหมายถึงหากทำการตรวจวัดฝุ่นด้วยเครื่อง DustTrak รุ่นเดียวกันที่ผ่านการสอบเทียบมาเหมือนกันในห้องทดสอบที่ควบคุมปริมาณฝุ่นให้เท่ากันจะให้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกันมาก อย่างไรก็ตาม ความถูกต้องของเครื่องมือ นั้นขึ้นอยู่กับความจริงที่ว่า การตรวจวัดด้วยหลักการกระเจิงแสงจะไวต่อการกระจายขนาดของฝุ่น รูปร่างของฝุ่น และองค์ประกอบ (รวมถึงความหนาแน่น) ของฝุ่นที่กระเจิงแสงออกมาต่อหน่วยของมวล อันเป็นผลมาจากขนาดของฝุ่นและดัชนีการหักเหแสง ซึ่งหมายความว่าความสัมพันธ์ระหว่างมวลที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักและการตรวจวัดด้วยเครื่อง DustTrak อาจจะไม่เป็นไปในทางเดียวกันนักในสิ่งแวดล้อมที่มีแหล่งกำเนิดฝุ่นแตกต่างกัน (ฝุ่นที่มาจากแหล่งกำเนิดคนละแห่งจะมีรูปร่าง การกระจาย ความหนาแน่น และองค์ประกอบแตกต่างกัน) ดังนั้น จึงควรมีการปรับเทียบเครื่องมือด้วยวิธีการทางสถิติ เพื่อหาสมการปรับแก้ (Correction equation) ซึ่งได้มาจากการเปรียบเทียบผลการตรวจวัดกับวิธีอ้างอิงเชิงน้ำหนัก (Gravimetric method) ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตก็ได้แนะนำให้ทำเช่นกัน (Liu, Zhang, Jiang, & Chen, 2017; Rivas et al., 2017)

เครื่อง DustTrak รุ่นแรกคือรุ่น 8520 ซึ่งออกจำหน่ายในช่วงต้นทศวรรษที่ 1990 ซึ่งได้รับความนิยมมาก โดยมีการนำไปใช้ในงานวิจัยหลายชิ้น ซึ่งในงานวิจัยดังกล่าวมีการทดสอบการทำงานของเครื่อง DustTrak รุ่น 8520 โดยการเก็บตัวอย่างเทียบกับวิธีมาตรฐานเชิงน้ำหนัก ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ให้ผลการตรวจวัดสูงกว่าวิธีเชิงน้ำหนัก 2-3 เท่า (Braniš, 2006; Cheng, Lin, & Liu, 2008; Morawska, He, Loveday, Mengersen, & Gilbert, 2003; Tasić et al., 2012; Yanosky, Williams, & MacIntosh, 2002)

โดยในปัจจุบันยังไม่มีผู้ใดตีพิมพ์เผยแพร่สมการที่ใช้ในการปรับแก้ผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง DustTrak รุ่น 8530 ในสภาพแวดล้อมที่เป็นสถานศึกษา ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ ได้แก่ PM₁₀ และ PM_{2.5} โดยใช้เครื่อง DustTrak รุ่น 8530 เทียบกับวิธีอ้างอิงเชิงน้ำหนัก เพื่อหาสมการปรับแก้สำหรับฝุ่นทั้ง 2 ขนาด โดยใช้ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์เป็นตัวแทน

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อหาสมการปรับแก้ผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง DustTrak รุ่น 8530 สำหรับฝุ่น 2 ขนาด ได้แก่ PM₁₀ และ PM_{2.5} ในสิ่งแวดล้อมที่เป็นสถานศึกษาให้เป็นค่าที่แท้จริง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

เก็บตัวอย่าง PM₁₀ และ PM_{2.5} แบบพื้นที่ (Area monitoring) บริเวณโถงหน้าป้ายภาควิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาคารวิทยาศาสตร์ 4 ชั้น 5 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

เก็บตัวอย่างฝุ่นแต่ละขนาดโดยใช้เครื่อง DustTrak II Aerosol Monitor Model 8530 (TSI Incorporated, Shoreview, MN, USA) 2 เครื่อง และเครื่องเก็บตัวอย่างด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก 2 เครื่อง ในวันธรรมดาและวันหยุดอย่างละ 20 ตัวอย่าง โดยใช้เวลาตัวอย่างละ 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างฝุ่น 2 ขนาด ดังนั้นรวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 320 ตัวอย่าง

วิธีอ้างอิงเชิงน้ำหนักใช้ไซโคลอนสำหรับเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ตาม NIOSH Method 0600 และใช้เครื่อง Personal Environment Monitor (PEM) สำหรับเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ตาม EPA Method IP-10A

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.4.1 ได้สมการปรับแก้สำหรับการเก็บตัวอย่าง PM₁₀ และ PM_{2.5} ในสิ่งแวดล้อมที่เป็นสถานศึกษา

1.4.2 สามารถใช้ผลการตรวจวัดจากเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นอัตโนมัติแบบเรียลไทม์ของภาควิชาฯ ได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และสะดวกมากยิ่งขึ้น โดยไม่ต้องทำการสอบเทียบเครื่องมือกับวิธีมาตรฐานอีกต่อไปในอนาคต และไม่ต้องใช้วิธีเชิงน้ำหนักซึ่งมีขั้นตอนยุ่งยากกว่า

บทที่ 2

การตรวจสอบเอกสาร

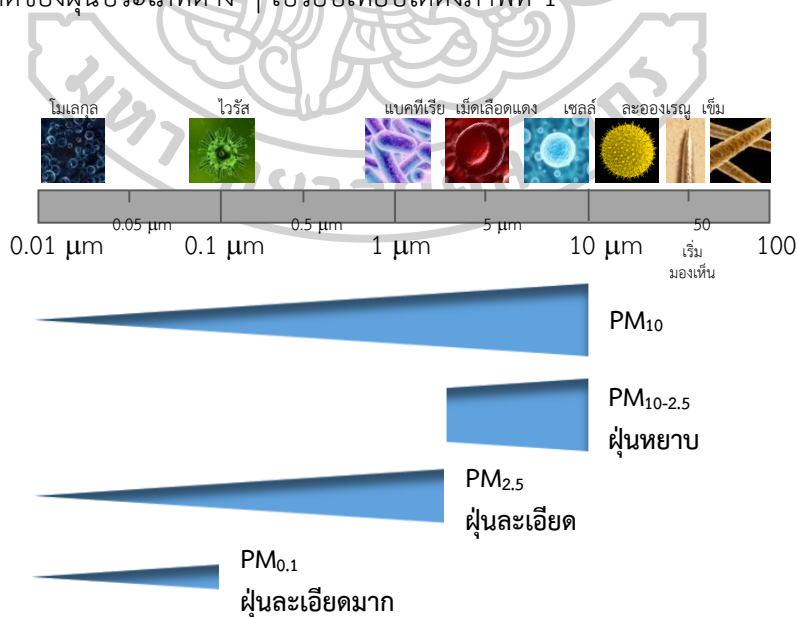
2.1 นิยามของฝุ่นแขวนลอยขนาดเล็ก

ฝุ่นแขวนลอย (Total suspended particle; TSP) หมายถึง อนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศบางชนิดมีขนาดใหญ่และสีดำจนมองเห็นเป็นเขม่าและควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมาก จนมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศโดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา (กรมอนามัย, 2557)

ฝุ่นหยาบ (Course Particle) หรือ PM₁₀ ตามคำจำกัดความของ US EPA หมายถึง อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 - 10 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรบนถนนที่ไม่ได้ลาดยาง จากการขนส่งวัสดุ ฝุ่นจากกิจกรรมรด ย่อย หิน (มนตรี, 2557)

ฝุ่นละเอียด (Fine particle) หรือ PM_{2.5} ตามคำจำกัดความของ US EPA หมายถึง อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นละเอียดมีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงาน อุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของ ไนโตรเจน (NO_x) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC_s) สามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดเป็นฝุ่นละเอียดได้ (กรมอนามัย, 2558)

ขนาดของฝุ่นประเภทต่าง ๆ เปรียบเทียบได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบของอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาด

ที่มา : กรมอนามัย (2558)

2.2 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง

แหล่งที่มาของฝุ่นละอองในบรรยากาศจำแนกออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น เกิดจากกระแสลมพัดผ่านดิน ทราย ตามธรรมชาติทำให้เกิดฝุ่น เขม่าควันจากไฟป่า ภูเขาไฟระเบิด ฝุ่นเกลือจากทะเล เป็นต้น และฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมที่มนุษย์กระทำ เช่น การประกอบอาหารภายในครัวเรือน การคมนาคม การก่อสร้าง การเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา ถ่านหิน ฟืน ฯลฯ รวมถึงกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ในการศึกษา นี้เป็นการตรวจวัดฝุ่นละอองภายในอาคาร จึงขอกล่าวถึงปัจจัยที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองภายในอาคาร ดังนี้ (กัญญา, 2559)

2.2.1 สถานที่ตั้งอาคาร

ที่ตั้งอาคารที่อยู่ใกล้กับทางหลวงและถนนที่มีการจราจรคับคั่ง จะเป็นปัจจัยด้านแหล่งที่มาของฝุ่นละอองและสารมลพิษอื่น ๆ ในอาคาร

2.2.2 รูปแบบอาคาร

ข้อผิดพลาดจากการออกแบบและก่อสร้าง รากฐานที่ไม่ดี หลังคา โครงสร้างอาคาร ประตู หน้าต่าง อาจเป็นทางเปิดนำสารมลพิษและความชื้นเข้าสู่อาคาร หรือตำแหน่งของท่อนำอากาศเข้าสู่อาคารอยู่ในตำแหน่งที่สารมลพิษถูกดึงกลับเข้าสู่อาคาร

2.2.3 การออกแบบระบบปรับสภาวะอากาศของอาคาร

เมื่อการทำงานของระบบปรับสภาวะอากาศ (Heating, ventilation and air conditioning; HVAC) ไม่เหมาะสม ความดันของอากาศในอาคารจะมีสภาพเป็นลบ ทำให้สารมลพิษจากภายนอกแทรกซึมผ่านเข้ามาในอาคาร เช่น อนุภาคแขวนลอยในอากาศ ควันจากท่อไอเสีย อากาศชื้น สารมลพิษจากอาคารจอดรถ เป็นต้น และเมื่อมีการปรับปรุงหรือออกแบบอาคารใหม่ โดยระบบ HVAC ไม่ได้รับการปรับปรุงให้เหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่นั้น ๆ ก็จะเป็นปัจจัยที่ทำให้สารมลพิษเข้าสู่ภายในอาคาร

2.2.4 งานปรับปรุงอาคารใหม่

ขณะที่กำลังดำเนินการปรับปรุงนั้น อาจมีกลิ่นสี ฝุ่น และสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ จากวัสดุ ก่อสร้าง ซึ่งเป็นแหล่งของสารมลพิษที่อาจจะหมุนเวียนอยู่ในอาคาร การจำกัดบริเวณ และเพิ่มการไหลเวียนอากาศจะช่วยเจือจางและกำจัดสารมลพิษที่เกิดขึ้นได้

2.2.5 การไหลเวียนอากาศเสียเฉพาะที่

สถานที่บางอย่าง เช่น ห้องครัว ห้องปฏิบัติการ ร้านซ่อมบำรุง อู่รถ ร้านทำเล็บ ร้านเสริมสวย ห้องน้ำ ห้องเก็บรวบรวมขยะ ห้องซักรีด ห้องลิฟท์ ห้องถ่ายเอกสาร ฯลฯ อาจเป็นแหล่งของสารมลพิษ หากไม่มีการระบายอากาศที่ดีพอ

2.2.6 วัสดุก่อสร้าง

วัสดุก่อสร้างบางชนิด เช่น ฉนวนกันความร้อน วัสดุกันเสียงที่ชำรุดเสียหาย ผนัง เพดาน พรม ม่าน ที่มีความชื้น เป็นต้น อาจเป็น แหล่งของสารมลพิษอากาศภายในอาคารได้

2.2.7 การตกแต่งอาคาร

เฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ อาจปลดปล่อยสารมลพิษสู่อากาศภายในอาคารได้ เช่น ฝุ่น และ สารฟอร์มัลดีไฮด์จากพรม หรือเฟอร์นิเจอร์ไม้ เป็นต้น

2.2.8 การดูแลรักษาอาคาร

การบำรุงรักษาอาคาร ได้แก่ การใช้สารฆ่าแมลง สารทำความสะอาด หรือผลิตภัณฑ์ เพื่อสุขภาพเฉพาะบุคคล อาจเป็นแหล่งปลดปล่อยสารมลพิษอากาศภายในอาคารได้ ควรทำความสะอาดและทำให้แห้งก่อนนำมาใช้ เพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์และการสะสมฝุ่นละอองซึ่งเป็นแหล่งของมลพิษอากาศภายในอาคารได้

2.2.9 ผู้ใช้อาคาร

สารมลพิษอาจมาจากตัวผู้ใช้อาคาร กิจกรรมของผู้ใช้อาคาร หรือผลิตภัณฑ์ที่ผู้ใช้อาคารใช้อยู่เป็นประจำ เช่น น้ำหอมหรือโรลออน เป็นต้น

2.3 ผลกระทบต่อสุขภาพของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชน นานาประเทศจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศขึ้น สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (United State Environmental Protection Agency) หรือ US EPA ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended particulate) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) แต่เนื่องจากมีการศึกษาวิจัยพบว่าฝุ่นขนาดเล็กนั้น เป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นแขวนลอยทั้งหมด เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไปในระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง และมีผลต่อสุขภาพมากกว่า ดังนั้น US EPA จึงได้มีการยกเลิกค่ามาตรฐานฝุ่นรวมและกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับฝุ่นขนาดเล็ก 2 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เท่านั้น ทั้งนี้มีงานวิจัยจำนวนมากสนับสนุนว่า PM_{10} มีแนวโน้มเข้าสู่ปอดและสะสมอยู่ภายในร่างกายของมนุษย์ได้ ในขณะที่ $PM_{2.5}$ จะเข้าสู่ปอดได้ลึกกว่า และมีแนวโน้มส่วนใหญ่มาจากปฏิกิริยาทางเคมี รวมถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์อีกด้วย (กรมอนามัย, 2559) อันตรายของฝุ่นละอองขนาดเล็กต่ออัตราการตายของมนุษย์ แสดงได้ดังตารางที่ 1

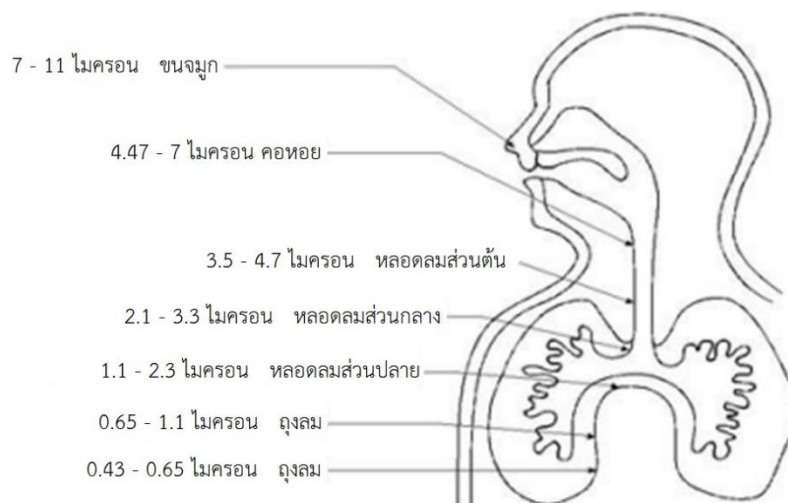
ตารางที่ 1 อันตรายของฝุ่นละอองต่อร่างกายมนุษย์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

PM ₁₀ (มคก./ลบ.ม.)	PM _{2.5} (มคก./ลบ.ม.)	ผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์
150	75	เพิ่มอัตราการเสียชีวิตระยะสั้นร้อยละ 5
100	50	เพิ่มอัตราการเสียชีวิตระยะสั้นร้อยละ 2.5
75	37.5	เพิ่มอัตราการเสียชีวิตระยะสั้นร้อยละ 1.2

ที่มา: กรมอนามัย (2558)

อันตรายจากฝุ่นละอองที่ลอยเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจขึ้นอยู่กับขนาด ปริมาณ ในทางกายภาพฝุ่นละอองเมื่อเข้าสู่ทางเดินหายใจจะตกสะสมอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ในระบบทางเดินหายใจโดยขึ้นอยู่กับขนาด ฝุ่นหยาบ (Course particle) หรือ PM₁₀ จะถูกกรองโดยขนจมูกและตกอยู่บริเวณทางเดินหายใจส่วนต้น ส่วนฝุ่นละเอียด (Fine particle) หรือ PM_{2.5} และฝุ่นละเอียดขนาดเล็กมาก (Ultrafine particle ในลมหายใจจะผ่านเข้าสู่หลอดลมใหญ่ หลอดลมฝอย และลงลึกถึงถุงลมปอด และหากหายใจเอาฝุ่นละอองเข้าไปในปริมาณมากจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพรุนแรงขึ้นตามไปด้วย ฝุ่นละอองที่มีสมบัติเป็นกรดอาจก่อการระคายเคืองและการอักเสบของทางเดินหายใจ นอกจากนี้ละอองน้ำลายที่ลอยฟุ้งกระจายในอากาศจากการไอจามของผู้ป่วยที่มีเชื้อโรคติดต่อผ่านระบบทางเดินหายใจ เช่น เชื้อวัณโรค เชื้อโรคไข้หวัดใหญ่ เป็นต้น อาจก่อให้เกิดการแพร่กระจายและการระบาดของโรคในหมู่ประชาชนที่สัมผัส ส่วนละอองรา เชื้อแบคทีเรีย และไวรัส ที่ลอยอยู่ปะปนอยู่กับฝุ่นละอองก็ส่งผลกระทบต่อสุขภาพเช่นกัน ปัจจุบัน ประชากรกลุ่มเสี่ยงที่อาจจะได้รับอันตรายจากการสัมผัสฝุ่นละอองในอากาศ ได้แก่ กลุ่มผู้ป่วยโรคปอดโรคหัวใจ ผู้สูงอายุ และเด็ก (วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, นิตยา มหาผล, & อีระ, 2540)

อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เรียกว่า PM₁₀ สามารถเข้าผ่านระบบทางเดินหายใจได้ลึกกว่าจมูก และคอหอย อนุภาคที่มีขนาด 0.3 – 6.0 ไมครอน สามารถผ่านเข้าไปได้ถึง ถุงลมปอด (Respirable particulate matter; RPM) ส่วนอนุภาคที่มีขนาด 0.5 – 2.5 ไมครอน จะติดค้างอยู่ที่ปอด และขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน จะลอยเข้าและออกจากปอดได้อย่างอิสระ อนุภาคขนาดเล็กกว่า (0.3 – 6.0 ไมครอน) ที่ผ่านถุงลมได้ ทำให้เกิดโคโรลลดลมอักเสบเรื้อรัง หรือปอดอักเสบ ขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของฝุ่น (วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ et al., 2540) การตกสะสมของฝุ่นขนาดต่าง ๆ ในทางเดินหายใจของมนุษย์แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขนาดฝุ่นที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ
ที่มา: ดัดแปลงจาก วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ และคณะ (2540)

เมื่อฝุ่นละอองเข้าสู่ทางเดินหายใจอาจก่อให้เกิดปฏิกิริยากับร่างกายเฉียบพลัน ตั้งแต่การระคายเคือง ไอ จาม น้ำมูกไหล ก่ออาการแพ้ ในระยะต่อมาอาจก่อให้เกิดการอักเสบในโพรงจมูก มีน้ำมูกข้นเป็นสีเหลืองหรือสีเขียว และอาการอาจพัฒนามากขึ้นทำให้เกิดโรคทางเดินหายใจหรือติดเชื้อในทางเดินหายใจส่วนต้นเรื้อรัง ไอมีเสมหะ หลอดลมอักเสบ การได้รับสัมผัสฝุ่นหยาบ ฝุ่นละเอียด และฝุ่นละเอียดมากแบบเรื้อรังเป็นระยะเวลานานอาจก่อให้เกิดการอักเสบและระคายเคืองเรื้อรัง เกิดพังผืดหรือรอยแผลเป็นภายในปอดส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของปอดลดลง (รัชชา, 2559)

2.4 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ

หลายประเทศได้ให้ความสำคัญถึงปัญหามลพิษประเภทฝุ่นละออง จึงได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานทั้งภายในอาคารและในบรรยากาศทั่วไป โดยในส่วนของประเทศไทยได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศไว้ดังตารางที่ 2 และ 3 ดังนี้

ตารางที่ 2 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป

หน่วย : (มคก./ลบ.ม.)

หน่วยงาน	PM ₁₀	PM _{2.5}
คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ	50 (1 ปี) ¹	25 (1 ปี) ²
องค์การอนามัยโลก ³	20 (1 ปี)	10 (1 ปี)
สหภาพยุโรป (EU) ⁴	50 (24 ชั่วโมง)	25 (24 ชั่วโมง)
US EPA ⁵	40 (1 ปี)	25 (1 ปี)
	50 (24 ชั่วโมง)	-
	15 (1 ปี)	12 (1 ปี)
	150 (24 ชั่วโมง)	35 (24 ชั่วโมง)

ที่มา: ¹ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2547), ²ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2553) ³WHO (2018), ⁴EU (2018), ⁵US EPA (2016)

ตารางที่ 3 มาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร (ค่าเฉลี่ยในเวลา 8 ชั่วโมง)

หน่วย : (มคก./ลบ.ม.)

หน่วยงาน	PM ₁₀	PM _{2.5}
กรมอนามัย ¹	50	35
กระทรวงมหาดไทย ²	15	-
ASHRAE ¹	50 (1 ชั่วโมง)	15

ที่มา: ¹กรมอนามัย (2559), ²ประกาศกระทรวงมหาดไทย (2515)

2.5 การตรวจวัดฝุ่นละอองภายในอาคาร

การตรวจวัดฝุ่นละอองภายในอาคารสามารถทำการตรวจวัดได้โดยใช้วิธีชั่งน้ำหนัก (Gravimetric method) และวิธีอัตโนมัติโดยใช้เครื่องมือตรวจวัดแบบเรียลไทม์ (Real-time air monitor) วิธีตรวจวัดชั่งน้ำหนักจะมีหลักการเดียวคือการชั่งน้ำหนักฝุ่นบนกระดาษกรองเทียบกับปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านกระดาษกรอง และวิธีอัตโนมัติจะมีหลักการตรวจวัดแตกต่างกันหลายหลักการ ขึ้นอยู่กับการออกแบบเครื่องมือตรวจวัด รายละเอียดของวิธีการตรวจวัดฝุ่นละอองภายในอาคารมีดังนี้

2.5.1 การตรวจวัดด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก

การตรวจวัดด้วยวิธีเชิงน้ำหนักเป็นการตรวจวัดโดยตรงที่มีความแม่นยำสูง และเป็นวิธีมาตรฐานหรือวิธีอ้างอิง สามารถทำได้โดยการดึงอากาศผ่านกระดาศกรอง และนำฝุ่นที่ติดอยู่บนกระดาศกรองไปชั่งน้ำหนักแล้วนำมาเทียบกับปริมาตรอากาศที่เก็บตัวอย่าง เพื่อหาความเข้มข้นของฝุ่นในหน่วยน้ำหนักฝุ่นต่อปริมาตรอากาศ เช่น มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นต้น การคัดขนาดของฝุ่นสามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์ที่แตกต่างกัน เช่น อิมแพคเตอร์ (Impactor) ไชโคลน (Cyclone) เป็นต้น

การตรวจวัดด้วยวิธีเชิงน้ำหนักแม้จะให้ค่าที่ถูกต้องมากกว่าวิธีอัตโนมัติ แต่ต้องทำการเก็บ ตัวอย่างอากาศต่อเนื่องอย่างน้อย 4 - 6 ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับปริมาณฝุ่น) หากเก็บในระยะเวลาสั้นกว่าช่วงเวลาดังกล่าว อาจทำให้ตัวอย่างฝุ่นบนกระดาศกรองไม่เพียงพอ และไม่สามารถหาน้ำหนักได้ (กรมอนามัย, 2559)

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศและวิธีการวิเคราะห์เชิงน้ำหนักที่นิยมใช้กันในปัจจุบันเป็นวิธีการของสถาบันอาชีวอนามัยและสุขภาพ ของประเทศสหรัฐอเมริกา (The National Institute of Occupational Safety and Health) หรือ NIOSH และของคณะกรรมการบริหารงานความปลอดภัย และสุขภาพอนามัยการประกอบอาชีพ ของประเทศสหรัฐอเมริกา (Occupational Safety and Health Administration) หรือ OSHA

2.5.2 การตรวจวัดด้วยวิธีอัตโนมัติแบบเรียลไทม์

การตรวจวัดด้วยวิธีอัตโนมัติแบบเรียลไทม์มีหลายหลักการ ณ ที่นี้จะกล่าวถึงหลักการที่นิยมใช้ในเครื่องมือตรวจวัดแบบเรียลไทม์ดังต่อไปนี้

(1) การตรวจวัดโดยการกระเจิงแสง (Light scattering) วิธีนี้สามารถตรวจวัดได้อย่างต่อเนื่อง โดยการยิงแสงผ่าน ตัวอย่างอากาศที่ดึงเข้ามาภายในเครื่อง โดยแสงดังกล่าวอาจเป็นแสงจากหลอดไฟปกติ หรือแสงเลเซอร์ จากนั้นจึงทำการตรวจวัดการกระจายของแสงผ่าน Photometer อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการ เทียบเคียง ไม่ได้เป็นการตรวจวัดโดยตรง ฝุ่นจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกันอาจส่งผลต่อการตรวจวัดโดย วิธีการณ์ เช่น ฝุ่นที่มีสีแตกต่างกัน หรือมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน จะส่งผลโดยตรงต่อการกระจายของ แสง และทำให้ค่าที่ตรวจวัดได้มีความผิดพลาดสูง เป็นต้น (กรมอนามัย, 2559)

(2) วิธีการดูดซับรังสีเบต้า (Beta ray absorption หรือ Beta-gauge attenuator) เป็นการดูอากาศเข้ามาในระบบอย่างต่อเนื่อง ฝุ่นจะตกลงบนกระดาศกรอง และจะมีแหล่งกำเนิดรังสีเบต้าซึ่งเป็นรังสีพลังงานต่ำฉายผ่านกระดาศกรอง กระดาศกรองจะเคลื่อนผ่านแหล่งกำเนิดรังสีซึ่งปริมาณรังสี (Beta ray Intensity) จะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นฝุ่นที่ตกลงบนกระดาศกรอง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระดาศกรงที่สะอาด และกระดาศกรงที่มีฝุ่นตกสะสมอยู่ ก็จะคำนวณค่าความแตกต่างของปริมาณรังสีที่ได้เป็นระดับความเข้มข้นของฝุ่น (Mass concentration) จากความสัมพันธ์ของปริมาณรังสีที่ผ่านกระดาศกรงเมื่อไม่มีและเมื่อมีฝุ่นละอองเกาะอยู่ (พัชรชาติ, 2557)

2.6 เครื่อง DustTrak Aerosol Monitor

เครื่อง DustTrak รุ่นแรกเป็นรุ่น 8520 (ภาพที่ 3) ซึ่งวางจำหน่ายในเมื่อต้นทศวรรษที่ 1990s และมีการใช้อย่างแพร่หลาย (Rivas et al., 2017) มีงานวิจัยหลายชิ้นได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจวัดฝุ่นด้วยเครื่อง DustTrak 8520 เทียบกับวิธีมาตรฐานเชิงน้ำหนัก และเทียบกับเครื่องมืออื่นที่ใช้หลักการกระเจิงแสงเช่นเดียวกัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เครื่อง DustTrak 8520 ให้ผลการตรวจวัดที่ไปในทางเดียวกันแต่มีความถูกต้องต่ำกว่าเมื่อเทียบกับวิธีอ้างอิงเชิงน้ำหนัก ด้วยเหตุนี้จึงเห็นได้ชัดว่า ความถูกต้องของผลการตรวจวัดเป็นสิ่งจำเป็น จึงต้องมีการตรวจวัดเทียบกับวิธีมาตรฐานในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ การตรวจเทียบนี้จะทำให้ผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง DustTrak มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น



ภาพที่ 3 DustTrak Model 8520

ที่มา: Credit Application Company (N.d.)

เครื่อง DustTrak II รุ่น 8530 และ 8532 (แบบตั้งโต๊ะและแบบมือถือ) (ภาพที่ 4) วางจำหน่ายในปี ค.ศ. 2008 สามารถตรวจวัดฝุ่นได้ที่ละขนาดแล้วแต่ห้วงคัดขนาดที่เลือกใช้ ขนาดฝุ่นที่สามารถวัดได้ประกอบด้วย PM_1 $PM_{2.5}$ Respirable particles (PM_4) PM_{10} และฝุ่นแขวนลอยทุกขนาด (TSP) (L McNamara, W Noonan, & J Ward, 2011) อ้างถึงใน (Rivas et al., 2017) ได้รายงานค่า R^2 สูงถึง 0.9873 เมื่อใช้เครื่อง DustTrak II ตรวจวัดฝุ่นจากเตาเผาไม้เทียบกับวิธี

มาตรฐาน Bata ray attenuation (Bam-1020, Met One Instrument) ในห้องควบคุม และได้พบค่า Correction factor ระหว่างเครื่อง DustTrak II กับเครื่องมืออ้างอิงอยู่ในช่วง 1.43 – 2.18 ในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่ได้รับอิทธิพลจากควันจากการเผาไม้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เครื่อง DustTrak II รุ่น 8530 และ/หรือ 8532 ให้ผลการตรวจวัดที่สูงกว่าวิธีมาตรฐาน



ภาพที่ 4 เครื่อง DustTrak II Model 8530 และ 8532

ที่มา: TSI (2019)

เครื่อง DustTrak DRX รุ่น 8533 และ 8534 (แบบตั้งโต๊ะและแบบมือถือ) (ภาพที่ 5) ซึ่งมีรูปร่างหน้าตาคล้ายกับรุ่นก่อนหน้า วางจำหน่ายในปี ค.ศ. 2008 เช่นกัน แต่ DustTrak DRX จะสามารถวัดความเข้มข้นของฝุ่นขนาดต่าง ๆ กันได้ในเวลาเดียวกัน โดยสามารถตรวจวัดฝุ่นได้ทั้ง 4 ขนาด เหมือนกับ DustTrak II ประสิทธิภาพในการตรวจวัดไม่ต่างจาก DustTrak II โดยเห็นได้จากการศึกษาเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานเช่นกัน แต่ยังมีไม่มากนัก



ภาพที่ 5 เครื่อง DustTrak DRX Model 8533 และ 8534

ที่มา: Keison Product (N.d.)

ความแตกต่างและรายละเอียดของเครื่อง DustTrak รุ่นต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความแตกต่างของเครื่อง DustTrak Aerosol Monitor แต่ละรุ่น

	DustTrak 8520	DustTrak II 8530	DustTrak II 8532	DustTrak DRX 8533	DustTrak DRX 8534
ปี ค.ศ. ที่วางจำหน่าย	1990 (ปัจจุบันเลิกผลิตแล้ว)	2008	2008	2008	2008
ชนิด	ตั้งโต๊ะ	ตั้งโต๊ะ	มือถือ	ตั้งโต๊ะ	มือถือ
ชนิดของเซนเซอร์	90° light-scattering, laser diode				
ช่วงความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ (มก./ลบ.ม.)	0.001-100	0.001-400	0.001-150	0.001-150	0.001-150
ขนาดอนุภาคที่ตรวจวัดได้ (ไมโครเมตร)	0.1-10	0.1-10	0.1-10	0.1-15	0.1-15
สามารถตรวจวัดฝุ่นหลายขนาดได้ในเวลาเดียวกัน	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้ (PM ₁ PM _{2.5} PM ₄ PM ₁₀ TSP)	ได้ (PM ₁ PM _{2.5} PM ₄ PM ₁₀ TSP)
อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)	1.7	3.0	3.0	3.0	3.0
ลักษณะอื่น ๆ		ปรับศูนย์ อัตโนมัติ ปรับสภาพ ตัวอย่างได้ (ต้องเพิ่ม อุปกรณ์ ประกอบ)		ปรับศูนย์ อัตโนมัติ ปรับสภาพ ตัวอย่างได้ (ต้องเพิ่ม อุปกรณ์ ประกอบ)	

ที่มา: ดัดแปลงจาก Rivas et al. (2017)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Rivas et al., 2017) ได้ศึกษาปัญหาทางเทคนิคที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่อง DustTrak DRX aerosol monitor (ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีการทำงานเช่นเดียวกับเครื่อง DustTrak II 8530 aerosol monitor ที่ใช้ในการศึกษานี้ แต่ต่างตรงที่สามารถตรวจวัดฝุ่นได้หลายขนาดในเวลาเดียวกัน) เนื่องจากพบว่าค่าที่อ่านได้จากเครื่อง DustTrak DRX มีค่าโดดเป็นระยะ โดยไม่ขึ้นกับสภาพแวดล้อม รายละเอียดของการศึกษามีดังนี้

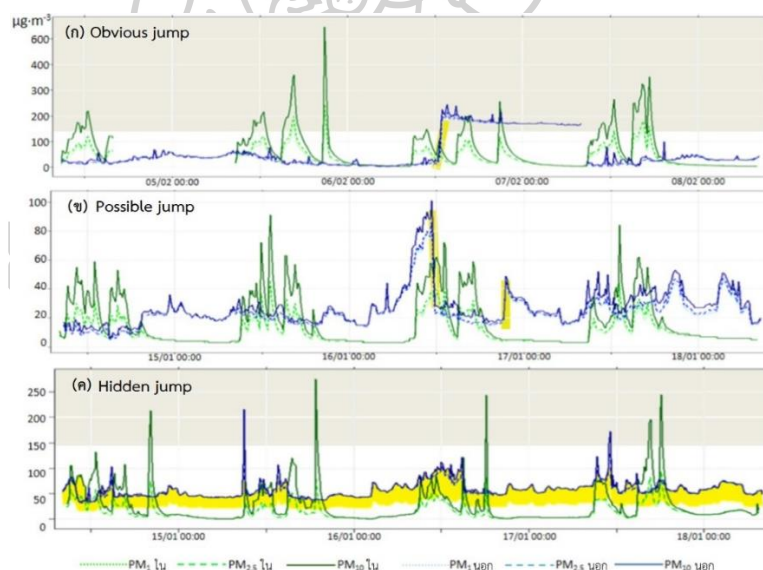
คณะผู้วิจัยได้ใช้เครื่อง DustTrak DRX 8533 ในการตรวจวัดฝุ่นในโรงเรียนที่ตั้งอยู่ในเมืองบาร์เซโลนา ประเทศสเปน โดยตรวจวัดทั้งภายในและภายนอกอาคาร และตรวจวัดภายในสถานีรถไฟใต้ดิน เพื่อให้ครอบคลุมความเข้มข้นของฝุ่นในช่วงกว้าง ตั้งแต่สภาพแวดล้อมที่สะอาดไปจนถึงสภาพแวดล้อมที่เต็มไปด้วยฝุ่น การตรวจวัดทำที่โรงเรียน 39 แห่ง ที่ตั้งอยู่ในเมืองบาร์เซโลนาและรอบเมือง Sant Cugat del Valles โดยตั้งเครื่อง DustTrak DRX 8533 จำนวน 2 เครื่อง เครื่องหนึ่งอยู่ภายในห้องเรียน อีกเครื่องหนึ่งอยู่บริเวณสนามเด็กเล่น ฝุ่นที่ตรวจวัด ได้แก่ PM_1 $PM_{2.5}$ Respirable particles (PM_{10}) และ PM_{10} คณะผู้วิจัยได้ตั้งเครื่องมือตรวจวัดไว้โรงเรียนละ 1 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 4 วัน ตั้งแต่เช้าวันจันทร์ถึงเช้าวันศุกร์ เวลา 9:00 – 17:00 น. วิธีอ้างอิงเชิงน้ำหนักที่คณะผู้วิจัยใช้ในการเปรียบเทียบคือวิธีการของสหภาพยุโรปซึ่งใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นปริมาตรสูง (High volume sampler MCV CAV-A/mb) ซึ่งมีอัตราการไหล 30 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

อีกหนึ่งการศึกษาคู่ขนานได้ทำในเมืองบรีสเบน ประเทศออสเตรเลีย โดยใช้เครื่อง DustTrak DRX 8534 โดยเก็บตัวอย่าง PM_1 $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในวันทำการเป็นเวลา 2 สัปดาห์ บริเวณสนามของโรงเรียนชั้นประถมจำนวน 25 โรงเรียน โดยตั้งเครื่องมือให้เก็บตัวอย่างทุก 30 วินาที และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยทุก 10 นาที นอกจากนี้ยังได้เก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ ด้วยกระดาศกรองตั้งแต่เวลา 8:00 – 17:00 น. เพื่อนำไปหาปริมาณ elemental/organic carbon (EC/OC) และเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาธาตุปริมาณน้อย น้ำหนักของ $PM_{2.5}$ ที่เก็บบนกระดาศกรองจะนำไปตรวจสอบการทำงานและคุณภาพในการตรวจวัดของเครื่อง DustTrak DRX 8534

การศึกษาในสถานีรถไฟใต้ดินในเมืองบาร์เซโลนา ประเทศสเปน ได้เก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ เป็นเวลา 2 เดือน โดยใช้เครื่อง DustTrak DRX 8533 โดยแสดงค่าเฉลี่ยทุก 5 นาที เปรียบเทียบกับเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดแรงดูดสูง (High volume sampler; HVS, Model CAV-A/MSb, MCV) ระยะการเก็บตัวอย่าง 19 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลาห้านาฬิกาถึงเที่ยงคืน ซึ่งเป็นระยะเวลาทำการของรถไฟใต้ดิน โดยมีอัตราการไหลของอากาศของเครื่อง HVS เท่ากับ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงค่าความเข้มข้นของฝุ่นที่โดดเด่นผิดปกติจากการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง DustTrak DRX โดยค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 8 ชั่วโมง (จากวิธีวิเคราะห์เชิงน้ำหนัก) ที่ตรวจวัดภายในห้องเรียนและที่สนามเด็กเล่นมีค่า 10 – 111 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าที่สูง

มากเป็นเพราะสนามเด็กเล่นของโรงเรียนเป็นสนามทราย กราฟความเข้มข้นของฝุ่นทั้ง 3 ขนาด ทั้งภายในและภายนอกอาคารเรียนตามระยะเวลาจากโรงเรียน 3 แห่ง แสดงดังภาพที่ 6 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงค่าความเข้มข้นที่โดดเด่นผิดปกติ 3 แบบ ภาพที่ 6(ก) เป็นตัวอย่างของค่าโดดเด่นเห็นได้ชัดหรือที่คณะผู้วิจัยเรียกว่า “Obvious jump” ซึ่งก็คือการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นมากกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรจากค่าปกติ (ในความเป็นจริงการโดดเด่นบางครั้งค่าขึ้นไปถึง 700 – 800 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังที่สังเกตเห็นในภาพที่ 7 ในกรณีนี้ ความเข้มข้นของฝุ่นภายนอกอาคาร (สำหรับฝุ่นทุกขนาด ได้แก่ PM₁ PM_{2.5} และ PM₁₀) เพิ่มขึ้นกว่า 150 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ซึ่งอยู่นอกช่วงความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง DustTrak DRX) ซึ่งสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน หลังจากการโดดเด่นของข้อมูลความเข้มข้นจะคงที่อยู่ประมาณ 200 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จนกระทั่งครบระยะเวลาการเก็บตัวอย่างและทำการปรับศูนย์ (Zero offset) ใหม่ค่าจึงกลับมาเป็นปกติ และเมื่อเริ่มตรวจวัดอีกครั้งค่าความเข้มข้นจะกลับมาเป็นค่าปกติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับศูนย์ (Zero offset) นั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเก็บตัวอย่าง การโดดเด่นของข้อมูลลักษณะนี้พบบ่อยในการตรวจวัดภายนอกอาคาร



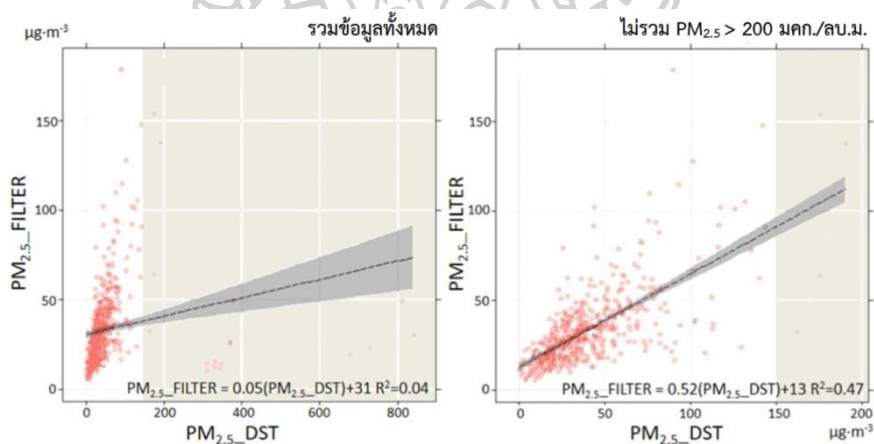
หมายเหตุ จากภาพแสดงให้เห็นถึงค่าความเข้มข้นที่โดดเด่นขึ้นจากค่าปกติในการตรวจวัดภายนอกอาคาร (เส้นสีน้ำเงิน) ในการตรวจวัดด้วยเครื่อง DustTrak DRX 8533 (ความเข้มข้นที่แท้จริงจากการตรวจวัดด้วยวิธีเชิงน้ำหนักจะอยู่ในช่วงสี่เหลี่ยมตอนล่าง) ค่าพื้นหลังสีเข้มแสดงให้เห็นถึงความเข้มข้นที่ >150 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ซึ่งอยู่นอกช่วงความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง DustTrak DRX)

ภาพที่ 6 ค่าความเข้มข้นของฝุ่นที่โดดเด่นในการตรวจวัดฝุ่นภายในและภายนอกอาคาร

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ravis et al. (2017)

ในทางตรงกันข้ามกับ “Obvious jump” ภาพที่ 6(ข) เป็นการโดดของข้อมูลที่คณะผู้วิจัยเรียกว่า “Possible jump” ซึ่งสังเกตเห็นได้ยากเนื่องจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นก่อนและหลัง “Possible jump” มีน้อยมาก และไม่คงอยู่ตลอดระยะเวลาที่ตรวจวัด จึงทำให้เกิดความสับสนว่าค่าใดคือค่าที่แท้จริง

ในอีกแง่หนึ่ง คือการโดดของข้อมูลที่เรียกว่า “Artefact jump” ซึ่งคงอยู่ตลอดระยะเวลาการตรวจวัด ดังแสดงในภาพที่ 6(ค) ในกรณีนี้ ความเข้มข้นของฝุ่น (ทุกขนาด) ภายนอกอาคารจะมีค่า 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตลอดเวลา (ค่า $PM_{2.5}$ เฉลี่ย = 55.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ความเข้มข้นนี้จัดว่าสูงสำหรับเมืองบาร์เซโลนา นอกจากนี้ ความเข้มข้นของฝุ่นภายในอาคารในเวลากลางวัน (เมื่อไม่มีกิจกรรมและแหล่งกำเนิดใด ๆ ทั้งภายในและภายนอกอาคารเรียน) มีค่าต่ำมาก อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นที่ตรวจพบนี้อาจเป็นค่าที่แท้จริงซึ่งมาจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นในระหว่างที่นักเรียนทำกิจกรรมก็เป็นไปได้



หมายเหตุ ภาพซ้ายเป็นภาพที่รวมข้อมูลทั้งหมด ภาพขวาเป็นภาพที่ตัดข้อมูล $PM_{2.5}$ ที่ >200 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Obvious jump) ออกไป ซึ่งจะเห็นว่าส่งผลต่อค่า R^2 อย่างมาก พื้นหลังสีเข้มคือความเข้มข้นที่ >150 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ซึ่งอยู่นอกช่วงความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง DustTrak DRX) แต่แสดงไว้เพื่อให้เห็นการโดดของข้อมูล

ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ 8h- $PM_{2.5}$ ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก ($PM_{2.5_FILTER}$) กับเครื่อง DustTrak ($PM_{2.5_DST}$)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ravis et al. (2017)

การโดดของข้อมูลอีกแบบหนึ่งคณะผู้วิจัยเรียกว่า “Hidden jump” ซึ่งสามารถตรวจพบได้เฉพาะเมื่อนำผลการตรวจวัดจากเครื่อง DustTrak ไปเปรียบเทียบกับเครื่องมือตรวจวัดแบบออนไลน์ชนิดอื่นหรือกับวิธีเชิงน้ำหนักเท่านั้น ในกรณีภาพที่ 6(ค) ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคาร

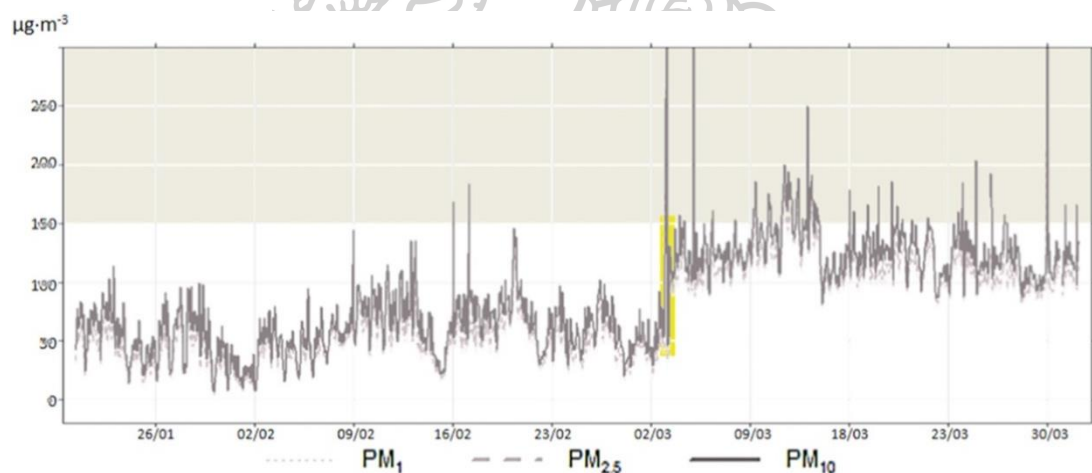
ในช่วงที่มีการเรียนการสอน (9:00 – 17:00 น.) ที่ตรวจวัดด้วยเครื่อง DustTrak มีค่าเท่ากับ 55.9 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่การตรวจวัดด้วยวิธีเชิงน้ำหนักให้ค่าความเข้มข้นเท่ากับ 22.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (สำหรับในอาคารค่าที่ได้เท่ากับ 26.2 และ 24.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ) ความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักและการวัดด้วยเครื่อง DustTrak ทั้งในอาคารและนอกอาคารอาจอธิบายได้จากคุณสมบัติการกระเจิงแสงที่แตกต่างกันของฝุ่นในสภาพจริงในแต่ละสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำให้ค่าที่ตรวจวัดได้จากวิธีเชิงน้ำหนักและจากเครื่อง DustTrak แตกต่างกัน 1 เท่า สำหรับสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคาร ในขณะที่ผลการตรวจวัดภายในอาคารมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างนี้ผันแปรเป็นช่วงกว้างแม้ในโรงเรียนเดิมแต่เก็บตัวอย่างต่างวัน ซึ่งคณะผู้วิจัยคาดว่าเป็นผลมาจาก “Possible jump” ที่ตรวจวัดไม่พบ

“Obvious jump” ซึ่งเกิดขึ้นเป็นบางเวลาหลังเริ่มเก็บตัวอย่างอาจจะสังเกตเห็นได้ง่าย และแก้ไขค่าได้โดยการหักลบค่าที่โดดออกจากผลการตรวจวัด อย่างไรก็ตาม ความยากลำบากหลัก ๆ คือการระบุค่า “Possible jump” หรือ “Artefact jump” ค่า “Obvious jump” สามารถระบุได้โดยง่ายเมื่อนำข้อมูลจากการตรวจวัดด้วยเครื่อง DustTrak กับวิธีเชิงน้ำหนักมาหาความสัมพันธ์กัน (ภาพที่ 7) อย่างไรก็ตาม เมื่อกำจัดค่าที่โดดออกไปจากสมการถดถอยแบบเส้นตรงแล้ว ค่า R^2 ระหว่างตัวแปรทั้งสองยังคงมีค่าต่ำ การกระจายของข้อมูลสามารถอธิบายได้โดย “Artefact jump” ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในทั้งสองทิศทางทั้งแกนตั้งและแกนนอน

การโดดของข้อมูลที่ผิดปกตินี้มีได้พบในการตรวจวัดภายในโรงเรียนเท่านั้น แต่พบในการตรวจวัดในบรรยากาศทั่วไปและในสถานีรถไฟใต้ดินด้วย ภาพที่ 8 เป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็น “Obvious jump” จากการตรวจวัดในสถานีรถไฟใต้ดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยหลังเกิดการโดดของข้อมูล ค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้นประมาณ 70 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และคงที่อยู่เช่นนั้น (ค่าเฉลี่ยก่อนเกิดการโดดเท่ากับ 48.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หลังการโดดเท่ากับ 115.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ในช่วง 4 สัปดาห์สุดท้ายของการเก็บตัวอย่าง การโดดของข้อมูลนี้เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันที่มีความเข้มข้นและองค์ประกอบของฝุ่นที่แตกต่างกัน ซึ่งดูเหมือนไม่สัมพันธ์กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่งานวิจัยก่อนหน้านี้กล่าวอ้าง (เช่น อุณหภูมิสูง ความชื้น ความสั่นสะเทือน ฯลฯ) ทางบริษัทผู้ผลิตได้คาดเดาว่าการโดดของข้อมูลนั้นมาจากการปรับศูนย์ (Zero offset) ที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งการปรับศูนย์ (Zero offset) ที่ไม่ถูกต้องนี้ทำให้เกิดขดเชยผลของแสงในบรรยากาศหรือแสงสะท้อนของกำแพงห้องทดสอบ แล้วนำไปหักลบกับสัญญาณการตรวจวัดเพื่อคำนวณค่าความเข้มข้นของฝุ่นก่อนแสดงผล ค่าการปรับศูนย์ (Zero offset) นั้นเป็นค่าคงที่ ดังนั้นจึงควรมีการปรับแก้ข้อมูลด้วยการเทียบกับวิธีมาตรฐาน ผู้ใช้เครื่องมือควรทำการปรับเทียบศูนย์ (Zero calibration) เพื่อหลีกเลี่ยงการโดดของข้อมูล อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการปรับเทียบศูนย์ก็ไม่สามารถป้องกันผลจากการปรับศูนย์ (Zero offset) ที่ไม่ถูกต้องหรือการโดดของ

ข้อมูลได้ นอกจากนี้ การปรับเทียบศูนย์ (Zero calibration) ทุก ๆ 2 – 3 ชั่วโมง ในขณะที่เก็บตัวอย่าง ซึ่งเป็นไปได้ยากในการปฏิบัติเพราะต้องมีบุคลากรประจำอยู่ที่พื้นที่ตรวจวัดตลอดเวลา หรือต้องไป ๆ กลับ ๆ แต่ในปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตได้ผลิตเครื่อง DustTrak รุ่นใหม่ ซึ่งมีการทำ Auto zero ได้ในตัวเอง จึงสามารถลดภาระและการโดดของข้อมูลลงไปได้มาก อย่างไรก็ตาม การปรับเทียบศูนย์ (Zero calibration) ทุกวันก่อนเก็บตัวอย่างยังคงเป็นสิ่งจำเป็น และคณะผู้วิจัยไม่แนะนำให้ใช้เครื่อง DustTrak ต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน แม้จะมีการส่งเครื่องไปปรับเทียบที่บริษัทแม่ตามระยะที่กำหนดก็ตาม

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยพบกรณีที่เครื่อง DustTrak DRX 8534 ให้ผลการตรวจวัดเป็นศูนย์หรือติดลบในการเก็บตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของฝุ่นต่ำ โดยวิธีเชิงน้ำหนักตรวจความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ได้ 17.2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่เครื่อง DustTrak กลับรายงานค่าความเข้มข้นเพียง 0.9 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเท่านั้น ประเด็นนี้ชี้ให้เห็นว่าเครื่อง DustTrak ไม่เหมาะที่จะใช้ในที่ความเข้มข้นต่ำมาก ๆ เนื่องจากการปรับเทียบจากโรงงานนั้นทำบนพื้นฐานความเข้มข้นในบรรยากาศ นอกจากนี้ยังมีความเป็นไปได้ว่าหากการตรวจวัดเริ่มที่ความเข้มข้นต่ำมาก ๆ จะทำให้ผลการตรวจวัดที่ได้มีแนวโน้มต่ำกว่าความเป็นจริง



หมายเหตุ พื้นหลังสีเข้มแสดงให้เห็นถึงความเข้มข้นที่ >150 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (นอกช่วงที่เครื่อง DustTrak DRX ตรวจวัดได้)

ภาพที่ 8 การตรวจวัดฝุ่นด้วยเครื่อง DustTrak DRX 8533 สถานีรถไฟใต้ดิน เมืองบาร์เซโลนา
ที่มา: Ravis et al. (2017)

การแก้ปัญหาข้อมูลที่สูงหรือต่ำเกินความเป็นจริงในบางกรณีสามารถแก้ได้โดยการหักลบหรือบวกเพิ่มค่าความเข้มข้นของฝุ่นเข้าไปในค่าที่วัดได้ แต่วิธีนี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อความเข้มข้นของฝุ่นคงที่

หลังการโดดของข้อมูลเท่านั้น อย่างไรก็ตามการหาปริมาณที่โดดขึ้นจากค่าปกตินั้นเป็นเรื่องที่ซับซ้อนและกระบวนการปรับแก้นี้จะทำให้เกิดความไม่แน่นอนของข้อมูลตามมา สำหรับค่าที่เป็นศูนย์นั้นไม่สามารถปรับแก้ได้ สิ่งที่ต้องทำคือตัดค่าที่เป็นศูนย์ทิ้งไป

ข้อสรุปที่ได้จากการศึกษานี้คือความคลาดเคลื่อนของเครื่อง DustTrak รุ่นล่าสุดคือรุ่น DRX ซึ่งวางจำหน่ายตั้งแต่ ค.ศ. 2008 มีการตรวจพบการโดดของข้อมูลหลายแบบ ทั้งที่ตรวจพบได้โดยง่าย (Obvious jump) และแบบที่สังเกตเห็นได้ยาก (Possible และ hidden jumps) การโดดของข้อมูลสังเกตได้ขณะที่ใช้เครื่อง DustTrak DRX ตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นในสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันได้แก่ ในอาคารเรียน นอกอาคารเรียน (สนามเด็กเล่น) สถานีรถไฟใต้ดิน และในบรรยากาศส่วนที่อยู่บนพื้นดินของสถานีรถไฟใต้ดิน โดยไม่สามารถอธิบายได้ว่าเกิดขึ้นจากอะไร การปรับศูนย์ (Zero offset) บ่อย ๆ สามารถช่วยป้องกันไม่ให้ข้อมูลโดดได้ นอกจากนี้ ยังพบการโดดแบบค่าติดลบในการตรวจวัดฝุ่นที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ ดังนั้น ข้อมูลความเข้มข้นที่ได้จากเครื่อง DustTrak DRX ต้องนำไปใช้อย่างระมัดระวัง และต้องปรับแก้ก่อนนำไปใช้อย่างเป็นทางการ การตรวจวัดที่ให้ค่าเป็นศูนย์ส่งผลต่อเซตข้อมูลเป็นอย่างมาก คณะผู้วิจัยไม่แนะนำให้ใช้เครื่อง DustTrak ในการตรวจวัดต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานหากไม่มีการปรับศูนย์ (Zero offset) อยู่เป็นประจำ

การศึกษาของ (L McNamara et al., 2011) เรื่อง Correction factor ของเครื่องตรวจวัดฝุ่นแบบอัตโนมัติในการตรวจติดตามควันจากการเผาไม้ ได้ใช้เครื่อง DustTrak 8520 และ 8530 ในการเก็บตัวอย่างเปรียบเทียบกับวิธีอ้างอิง (Federal Reference Method; FRM) หรือวิธีเทียบเคียง (Federal Equivalent Methods; FEM) ของ US EPA ในการเก็บตัวอย่างจะใช้เครื่องมือหลายชนิดตรวจวัดในสิ่งแวดล้อมเดียวกันหลาย ๆ สถานที่ เพื่อหา Correction factor การที่คณะผู้วิจัยเลือกใช้ควันจากการเผาไม้ในการทดสอบเนื่องจากควันดังกล่าวมีสารมลพิษมากมาย อาทิ PM_{2.5} ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาได้ระบุว่าควันจากการเผาไม้ประกอบด้วย PM_{2.5} เป็นส่วนใหญ่ มีการเผาไม้อย่างแพร่หลายในพื้นที่ชนบทย่านนอร์ธริอ็อกกีเมาเทนทางตะวันตกของรัฐมอนทานา ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการให้ความร้อนและประกอบอาหารในครัวเรือน ซึ่งการเผาไม้ก่อให้เกิด PM_{2.5} ถึงร้อยละ 90 ในบรรยากาศบริเวณดังกล่าว นอกจากนี้ การศึกษาระดับของ PM_{2.5} ภายในอาคารบ้านเรือนยังแสดงให้เห็นว่ามีระดับสูงกว่าในบรรยากาศอีกด้วย

วิธีอ้างอิง (FRM) ในการตรวจวัด PM_{2.5} ในบรรยากาศของสหรัฐอเมริกาคือวิธีการเก็บตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง (Filter based method) ซึ่งใช้เครื่อง BGI PQ200 และเครื่อง RAAS2.5 อย่างไรก็ตาม วิธีดังกล่าวไม่สามารถให้ข้อมูลแบบต่อเนื่องได้ เช่น ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นรายชั่วโมง เป็นต้น ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการศึกษาผลกระทบของ PM_{2.5} ต่อสุขภาพจากการได้รับ

สัมผัสแบบเฉียบพลัน ในการตรวจวัดให้เห็นถึงความผันแปรระดับของ $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศนั้น ในประเทศสหรัฐอเมริกาใช้วิธีเทียบเคียง (FEM) โดยเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดคือเครื่อง MetOne BAM-1020 (เป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการดูดซับรังสีเบต้า โดยเครื่องจะใช้ธาตุ Carbon-14 เป็นแหล่งในการปล่อยรังสีเบต้าออกมาผ่านแถบกระดาษกรองซึ่งใช้เก็บตัวอย่าง ในการหามวลของ $PM_{2.5}$ และคำนวณออกมาเป็นความเข้มข้นในหน่วยมวลต่อปริมาตรอากาศ) เครื่องมือนี้สามารถให้ข้อมูลรายชั่วโมงได้ จึงมีประโยชน์ในการประเมินการได้รับสัมผัสมากกว่าวิธี FRM

เครื่องมือตรวจวัดของ US EPA ทั้งโดยวิธี FRM และ FEM ไม่สะดวกในการเก็บตัวอย่าง ภายในอาคาร เนื่องจากมีขนาดใหญ่ เสียงดัง และมีราคาสูง เครื่องมือตรวจวัดแบบพกพาจึงเป็นทางเลือกในการแก้ปัญหาดังกล่าว เครื่อง TSI DustTrak เป็นเครื่องมือที่สามารถให้ข้อมูลการตรวจวัดแบบเรียลไทม์ ซึ่งใช้หลักการกระเจิงแสงในการตรวจวัด แต่เนื่องจากเครื่อง DustTrak ไม่ใช่เครื่องมือตรวจวัดที่รับรองโดย US EPA ดังนั้น การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการตรวจวัดจึงมีความสำคัญเพื่อให้ผลการตรวจวัดมีความถูกต้อง อย่างไรก็ตาม เครื่องมือตรวจวัดโดยใช้แสงนั้นมักให้ผลการตรวจวัดที่แตกต่างจาก Filter based method ยกตัวอย่างเช่น การตรวจวัดด้วยเครื่อง DustTrak รุ่นก่อนหน้าให้ผลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศพื้นที่ในเมืองสูงกว่าเครื่อง MetOne BAM-1020 ถึง 3 เท่า

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงได้มีวัตถุประสงค์เพื่อหา Correction factor สำหรับการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ด้วยเครื่อง DustTrak II ในครัวจากการเผาไม้ ซึ่งค่าที่ได้สามารถนำไปใช้ได้เมื่อใช้เครื่อง DustTrak ตรวจวัด $PM_{2.5}$ ภายในบ้านเรือนที่มีการเผาไม้เพื่อให้ความอบอุ่นและประกอบอาหาร หรือในบ้านเรือนที่ได้รับผลกระทบจากไฟฟ้า

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วย

- (1) เครื่อง DustTrak รุ่น 8520 (ภาพที่ 3) และ 8530 (ภาพที่ 4) (TSI Inc., Shoreview, MN, USA)
- (2) เครื่อง MetOne BAM-1020 (ภาพที่ 9) (MetOne Instruments Inc., Grants Pass, OR, USA)



ภาพที่ 9 เครื่อง MetOne BAM-1020
ที่มา: Met One Instruments, Inc. (2017)

- (3) ปุ่มดูดอากาศ Leland Legacy (ภาพที่ 10) ร่วมกับหัววัดขนาด Personal Environment Monitor (PEM) ขนาด 10 ลิตรต่อนาที (ภาพที่ 11) (SKC Inc., Eight Four, PA, USA)



ภาพที่ 10 เครื่อง Leland Legacy Pump
ที่มา: SKC Inc. (2019a)



ภาพที่ 11 เครื่อง PEM
ที่มา: SKC Inc. (2019b)

(4) เครื่อง PQ200 (ภาพที่ 12) (BGI, Waltham, MA, USA)



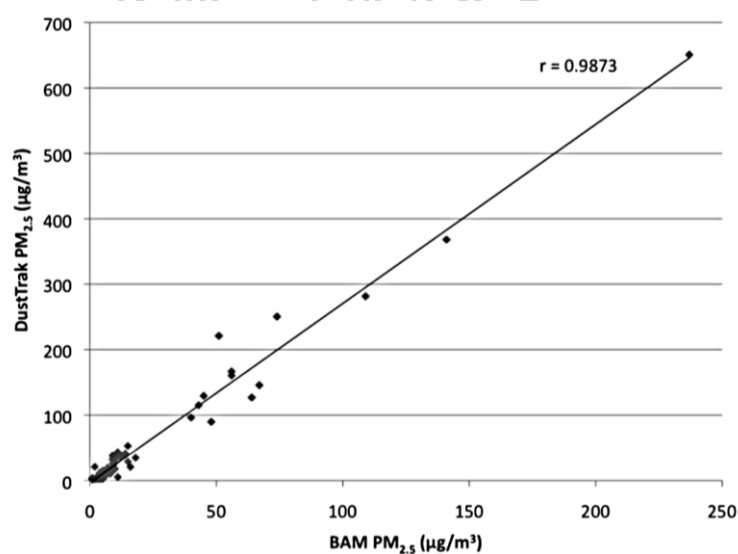
ภาพที่ 12 เครื่อง BGI PQ200
ที่มา: Mesa Labs, Inc. (2016)

การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

- (1) การเผาไหม้ในห้องควบคุม (Chamber)
 - (2) การเก็บตัวอย่างภายในอาคารที่ได้รับอิทธิพลจากไฟฟ้า
 - (3) การเก็บตัวอย่างภายในอาคารบ้านเรือนที่ใช้เตาเผาไม้
 - (4) การเก็บตัวอย่างในบรรยากาศที่ได้รับอิทธิพลจากการใช้เตาเผาไม้
- โดยมีรายละเอียดในการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2.5

คณะผู้วิจัยได้ใช้ค่า Pearson's correlation ในการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นของ PM_{2.5} ที่ได้จากเครื่อง DustTrak และเครื่อง BAM และใช้ One-way ANOVA ในการหานัยสำคัญระหว่าง Correction factor สำหรับความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่ได้จากวิธีต่าง ๆ ค่า Correction factor หาได้จากสูตร: Correction สำหรับเครื่อง x กับเครื่อง y = ค่าจากเครื่อง x สำหรับเวลา t/ค่าจากเครื่อง y สำหรับเวลา t ข้อมูลรายงานเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การศึกษาการเผาไหม้ในห้องควบคุม แสดงให้เห็นว่า ค่าที่ได้จากเครื่อง DustTrak และเครื่อง BAM มีความสัมพันธ์ระดับสูง ($r = 0.9873$ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) ดังภาพที่ 13 ข้อมูลในกราฟประกอบด้วยข้อมูลช่วงก่อน ระหว่าง และหลังการเผา ซึ่งแสดงให้เห็นช่วงความเข้มข้นที่กว้าง ในระหว่างการทดสอบคณะผู้วิจัยสังเกตเห็นว่าเครื่อง BAM มีอัตราการดูดอากาศผิดพลาดเมื่อความเข้มข้นของ PM_{2.5} มีค่าเกิน 300 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้น ข้อมูลจากการวัดด้วยเครื่อง BAM ในภาพที่ 13 จึงเป็นข้อมูลที่มีค่าต่ำกว่า 300 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



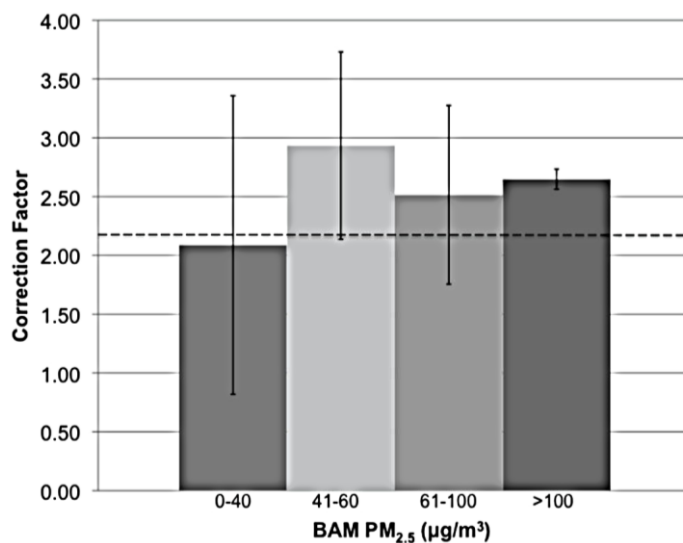
ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ PM_{2.5} ที่ได้จากเครื่อง DustTrak และเครื่อง BAM
ที่มา: McNamara, Noonan and Ward (2011)

ตารางที่ 5 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบเครื่องมือ

การทดสอบ	สถานที่ทดสอบ	เครื่องมือที่ใช้เทียบ	ช่วงเวลา	วิธีการ
การเผาไหม้	ห้องปฏิบัติการ	DustTrak	ม.ย. – ก.ค.	จุดเผาไหม้ทั้งหมด 8 ครั้ง โดยใช้ไม้เนื้ออ่อนในท้องถิ่น 50
ห้องควบคุม		8520 และ 8530	ค.ศ. 2009	กรัม เผาเป็นเวลา 15 นาที ใช้เครื่อง DustTrak ทั้งสองรุ่น 1-9 เครื่องต่อการเผา 1 ครั้ง เก็บตัวอย่าง 42 นาที/ชั่วโมง
การเก็บตัวอย่าง	ห้องปฏิบัติการ	DustTrak	ฤดูไฟป่า ฤดูร้อน	เนื่องจากเป็นระยะเวลาการทำงานของเครื่อง BAM
ควันท่อภายในอาคาร	มหาวิทยาลัยมอนทานา (มิสโซูลา)	8520 และ 8530	ค.ศ. 2007	เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในวันที่เกิดไฟป่าในเมือง มิสโซูลา ทั้งหมด 7 ครั้ง
การเก็บตัวอย่างภายในอาคาร	ครัวเรือนที่ใช้เตาเผาไม้ เมืองลิบปี รัฐมอนทานา	DustTrak 8520	ฤดูหนาว ค.ศ. 2007/2008 และ 2008/2009	เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทั้งหมด 43 ครั้ง โดยใช้กระดาษกรองชนิดเทฟลอนสำหรับวิธี Leland Legacy Pump/PEM
การเก็บตัวอย่างในบรรยากาศ	ดาต้าอาคาร เมืองลิบปี รัฐมอนทานา	DustTrak 8520	ฤดูหนาว ค.ศ. 2006/2007	เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จำนวน 7 ครั้ง ที่คณะผู้วิจัย
				เลือกเมืองลิบปีเนื่องจากเป็นเมืองที่มีมลพิษสูงปัญหาฝุ่นละอองสูงในฤดูหนาว ซึ่งมาจากการเผาไม้เพื่อความอบอุ่น

ที่มา: ดัดแปลงจาก McNamara, Noonan and Ward (2011)

ในการหา Correction factor โดยใช้สูตร $Correction\ factor = \frac{\text{ค่ารายชั่วโมงที่ได้จากเครื่องDustTrak}}{\text{ค่ารายชั่วโมงที่ได้จากเครื่องBAM}}$ ได้ค่า Correction factor เท่ากับ 2.18 ± 1.22 (ภาพที่ 14 เส้นประคือค่าเฉลี่ย) เมื่อความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีค่าต่ำ (<40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ค่า Correction factor จะมีความผันแปรต่ำกว่าเมื่อความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีค่าสูง อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างของค่า Correction factor อย่างมีนัยสำคัญที่ความเข้มข้น 0-40 41-60 61-100 และ มากกว่า 100 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (One-way ANOVA, $p = 0.34$, ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 ค่า Correction factor ที่ช่วงความเข้มข้นต่าง ๆ
ที่มา: McNamara, Noonan and Ward (2011)

การเก็บตัวอย่างภายในอาคารที่ได้รับอิทธิพลจากไฟฟ้า โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 7 ครั้ง แบ่งเป็นการเก็บตัวอย่างก่อนฤดูไฟฟ้า 4 ครั้ง และระหว่างฤดูไฟฟ้า 3 ครั้ง ในการเก็บตัวอย่าง 4 ครั้งแรก ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในอาคารต่ำมาก โดยเครื่อง PQ200 (FRM) วัดได้ระหว่าง 1.5 – 5.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีค่า correlation (r) ดังนี้

ระหว่าง PQ200 กับ Leland PEM = 0.6613 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ช่วงค่า r ที่ได้เท่ากับ -0.8228 ถึง 0.9920)

ระหว่าง PQ200 กับ DustTrak = 0.8953 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ช่วงค่า r ที่ได้เท่ากับ -0.4720 ถึง 0.9978)

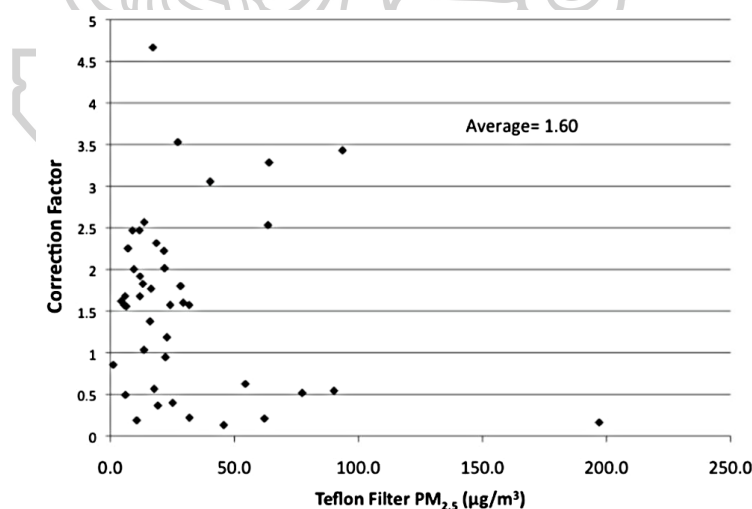
ระหว่าง DustTrak กับ Leland PEM = 0.3294 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ช่วงค่า r ที่ได้เท่ากับ -0.9244 ถึง 0.9802) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่ต่ำมาก โดยในช่วงที่ยังไม่เกิดไฟฟ้าซึ่งมีความ

เข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ต่ำนั้น วิธี Leland PEM ให้ค่าความเข้มข้นสูงกว่า และเครื่อง DustTrak ให้ค่าความเข้มข้นที่ต่ำกว่า ค่าที่ได้จากเครื่อง PQ200 (FRM)

ในช่วงที่ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ สูงขึ้นจากการเกิดไฟป่า พบความสัมพันธ์สูง (Strong) ระหว่างวิธีทั้งสาม โดยระหว่าง FRM กับ Leland PEM มีค่า $r=1.0$ และระหว่าง Leland PEM และ PQ200 (FRM) กับ DustTrak มีค่า $r=1.0$ เช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นที่ได้จากเครื่อง DustTrak กับ PQ200 (FRM) และ Leland PEM พบว่า มีค่า Correction factor เท่ากับ 1.7 และ 1.6 เท่า ตามลำดับ

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงกล่าวโดยสรุปว่า ที่ความเข้มข้นต่ำ (<5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ความสัมพันธ์ระหว่างทั้งสามวิธีจะมีความผันแปรมาก แต่ที่ความเข้มข้นที่สูงขึ้นจากไฟป่าค่าความสัมพันธ์จะสูง

การเก็บตัวอย่างภายในอาคารบ้านเรือนที่ใช้เตาเผาไม้ เก็บตัวอย่างทั้งหมด 43 ครั้ง ครั้งละ 24 ชั่วโมง โดยแต่ละครัวเรือนใช้เตาเผาไม้ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ ที่สำคัญมาก ตลอดช่วงฤดูหนาวที่เก็บตัวอย่าง พบความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เฉลี่ยจากวิธี Leland PEM เท่ากับ 30.7 ± 34.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่เครื่อง DustTrak ตรวจวัดได้ 43.3 ± 60.2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ภาพที่ 15) จากสูตร Correction factor = ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงจากเครื่อง DustTrak / ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงจากวิธี Leland PEM ได้ค่า Correction factor = 1.6 ± 1.05

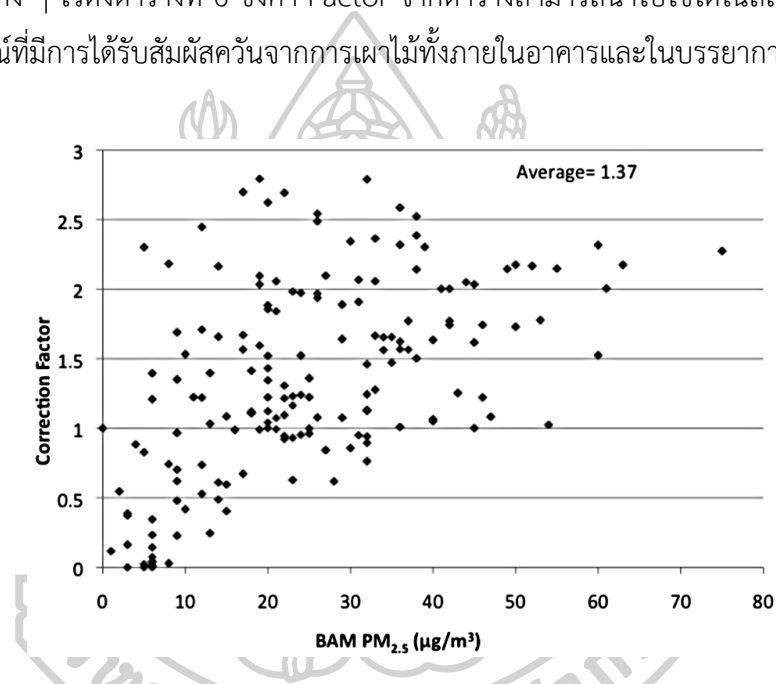


ภาพที่ 15 Correction factor ระหว่างเครื่อง DustTrak กับวิธี Leland PEM

ที่มา: McNamara, Noonan and Ward (2011)

การเก็บตัวอย่างในบรรยากาศที่ได้รับอิทธิพลจากการใช้เตาเผาไม้ เก็บตัวอย่างทั้งหมด 7 ครั้ง ครั้งละ 24 ชั่วโมง แล้วนำค่าเฉลี่ยทุก 1 ชั่วโมง ที่ได้มาหาค่า Correction factor โดยใช้สูตร $\text{Correction factor} = \text{ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงจากเครื่อง DustTrak} / \text{ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงจากเครื่อง BAM}$ ได้ค่าเท่ากับ 1.43 ± 0.61 (ภาพที่ 2.16) โดยค่าที่ตรวจวัดได้จากเครื่อง BAM เฉลี่ย 7 ครั้ง เท่ากับ 24.6 ± 8.0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนค่าที่ตรวจวัดได้จากเครื่อง DustTrak เท่ากับ 38.3 ± 21.2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

คณะผู้วิจัยได้สรุปค่า Correction factor ของเครื่อง DustTrak ที่ได้จากการตรวจวัดในสถานการณ์ต่าง ๆ ไว้ดังตารางที่ 6 ซึ่งค่า Factor จากตารางสามารถนำไปใช้ได้ สถานการณ์เฉพาะ คือสถานการณ์ที่มีการได้รับสัมผัสควันจากการเผาไม้ทั้งภายในอาคารและในบรรยากาศทั่วไปเท่านั้น



ภาพที่ 16 Correction factor ระหว่างเครื่อง DustTrak กับเครื่อง BAM
ที่มา: McNamara, Noonan and Ward (2011)

ตารางที่ 6 ค่า Correction factor ของเครื่อง DustTrak ในสถานการณ์ต่าง ๆ

สถานการณ์	แหล่งกำเนิด	Correction factor \pm S.D.	เครื่องมือตรวจวัด
การเผาไม้ในห้องควบคุม	เตาเผาไม้	2.18 \pm 1.22	DustTraks vs MetOne BAM (FEM)
การเก็บตัวอย่างควันไฟป่าภายในอาคาร	ไฟป่า	1.59 \pm 0.28	DustTrak vs Leland/PEM
การเก็บตัวอย่างควันไฟป่าภายในอาคาร	ไฟป่า	1.70 \pm 0.22	DustTrak vs BGI PQ200 (FRM)
การเก็บตัวอย่างภายในอาคารบ้านเรือน	บ้านที่ใช้เตาเผาไม้	1.60 \pm 1.05	DustTrak vs Leland/PEM
การเก็บตัวอย่างในบรรยากาศ	ชุมชนที่ใช้เตาเผาไม้	1.43 \pm 0.61	DustTrak vs MetOne BAM (FEM)

ที่มา: McNamara, Noonan and Ward (2011)

การตรวจวัดฝุ่นที่เพิ่งเกิดใหม่กับที่เกิดมานานแล้วนั้นย่อมให้ผลที่แตกต่างกัน สำหรับค่า Correction factor จากการตรวจวัดในบรรยากาศทั่วไปนั้น การตรวจวัดได้กระทำในฤดูหนาวที่อุณหภูมิมักจะต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นฝุ่นที่เกิดขึ้นมาระยะหนึ่งแล้วจากแหล่งกำเนิดจึงได้โดนตรวจวัด ฝุ่นนี้จะมีสารระเหยจากควันไม้ควบแน่นอยู่กับพื้นผิวของฝุ่น ในทางกลับกัน ฝุ่นที่ตรวจวัดในห้องควบคุมจัดเป็นฝุ่นที่เพิ่งเกิดใหม่ ซึ่งหมายความว่าฝุ่นที่เกิดขึ้นจะโดนตรวจวัดภายใน 2-3 นาที ซึ่งไม่มีใครทราบว่าเครื่อง DustTrak ทำการตรวจวัดฝุ่นทั้ง 2 แบบ แตกต่างกันดังเช่นเครื่องประเภท Filter-based หรือไม่ ภายในบ้านเรือนจะมีฝุ่นทั้ง 2 แบบปะปนกัน ดังนั้นจึงอาจเป็นสาเหตุให้เกิดความผันแปรในการตรวจวัด ส่วนสภาพทางอุตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม มีผลต่อค่า Correction factor ของ PM_{2.5} ในบรรยากาศ ค่า Correction factor ภายในอาคารและในบรรยากาศจึงได้แตกต่างกัน

อีกการศึกษาหนึ่งที่ใช้เครื่อง DustTrak 8530 ในการตรวจวัดฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจได้ (Respirable dust หรือ PM₄) ศึกษาโดย (Language, Piketh, & Burger, 2016) ในสาธารณรัฐแอฟริกาใต้ ที่ซึ่งประชากรมีรายได้น้อยและใช้เชื้อเพลิงแข็งหลากหลายชนิดในการให้ความอบอุ่นและการประกอบอาหาร ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้คนได้รับสัมผัสกับฝุ่นในปริมาณมาก คณะผู้วิจัยได้กล่าวว่า ในสาธารณรัฐแอฟริกาใต้มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศสำหรับ PM₁₀ และ PM_{2.5} เท่านั้น และมุ่งเน้นไปที่คุณภาพอากาศในบรรยากาศ โดยไม่มีคำแนะนำสำหรับคุณภาพอากาศภายในอาคาร และไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับ PM₄ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหา

ค่า Correction factor สำหรับ DustTrak II Model 8530 โดยตรวจวัดภายในอาคารที่มีการใช้เชื้อเพลิงแข็งคุณภาพต่ำ เช่น ถ่านหิน และ ไม้ เป็นต้น

คณะผู้วิจัยได้มุ่งเน้นไปที่การตรวจวัด PM₄ ในครัวเรือนที่มีรายได้ต่ำซึ่งใช้เชื้อเพลิงแข็งเป็นแหล่งพลังงานในการทำความร้อนและประกอบอาหารในแต่ละวัน โดยเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ในช่วงเดือนสิงหาคม ค.ศ. 2014 ซึ่งมีอุณหภูมิบรรยากาศประมาณ 12 องศาเซลเซียส และความชื้นประมาณร้อยละ 64 เก็บตัวอย่างในบ้านทั้งหมด 20 หลัง โดยการสุ่ม ใช้เครื่อง DustTrak II Model 8530 (TSI Inc., Shoreview, MN, USA) ต่อเข้ากับ 10mm Dorr-Oliver Cyclone สำหรับ PM₄ เป็นตัวคัดขนาด และใช้ไซโคลอนชนิดเดียวกันร่วมกับปั๊ม Gillian GilAir 3 (Sensidyne, Clear water, FL, USA) และกระดาษกรองชนิด Borosilicate Microfiber (ADVANTEC MFS Inc., Pleasanton, CA, USA) เป็นวิธีอ้างอิง ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) และหาความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยการวิเคราะห์ทางสถิติจะทำการที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิเคราะห์ค่าการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) ระหว่างความเข้มข้นของ PM₄ ที่ได้จากเครื่อง DustTrak และวิธีอ้างอิงเชิงน้ำหนักมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) เท่ากับ 0.79 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์สูง ค่า Correction factor สำหรับเครื่อง DustTrak ที่ได้จากการศึกษานี้เท่ากับ 0.14 ซึ่งน้อยกว่าการศึกษาอื่น ๆ มาก ทั้งนี้คณะผู้วิจัยได้กล่าวหาว่าอาจเนื่องมาจาก

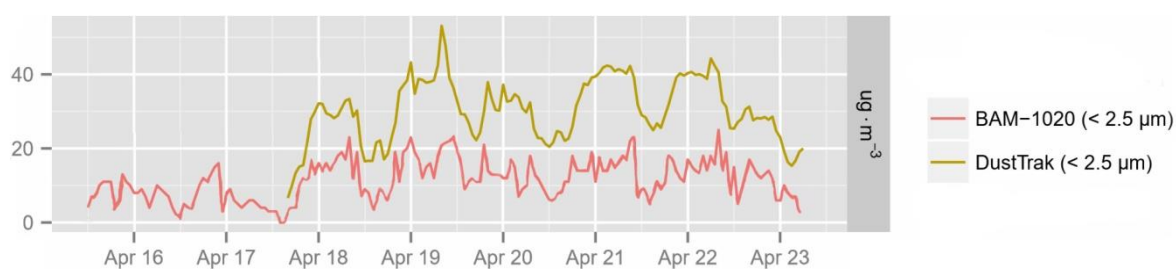
- (1) ความเข้มข้นของ PM₄ ต่ำ ทำให้ความไวในการตรวจวัดของเครื่องลดลง
- (2) องค์ประกอบทางเคมีของ PM₄ ที่แตกต่างกันและชนิดของฝุ่นที่แตกต่างจากการศึกษาอื่น
- (3) ความหนาแน่นของฝุ่นที่ตรวจวัดแตกต่างจาก Arizona test dust ที่ใช้ปรับเทียบเครื่อง DustTrak โดยฝุ่นจากการเผาไหม้มีความหนาแน่นต่ำกว่า
- (4) ผลของอุณหภูมิและความชื้น
- (5) ความแตกต่างของฝุ่นขนาดต่าง ๆ (Size fraction)

(Holstius et al., 2014) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} โดยใช้เครื่อง DustTrak II Model 8530 กับข้อมูลที่ได้จากเครื่อง MetOne BAM (FEM) ซึ่งตั้งอยู่ในสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของเมืองโอ๊คแลนด์ รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยคณะผู้วิจัยได้รับอนุญาตให้ติดตั้งเครื่องมือในบริเวณสถานีตรวจวัด เครื่องมือทั้งหมดอยู่ในห้อง (Chamber) ขนาด 30 ลิตร 2 ตู้ ซึ่งมีทางเข้าของอากาศอยู่ห่างจากเครื่อง MetOne BAM 2 เมตร และสูงประมาณ 5 เมตร จากพื้นดิน การเก็บตัวอย่างเริ่มตั้งแต่วันที่ 15 - 23 เมษายน ค.ศ. 2013 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเมืองโอ๊คแลนด์ตะวันตกตั้งอยู่ใกล้กับท่าเรือสินค้าซึ่งมีขนาดใหญ่เป็นลำดับที่ 4 ของประเทศสหรัฐอเมริกา จึงมีรถบรรทุก รถไฟ และยานพาหนะขนส่งสัญจรไปมามากมายในพื้นที่ การการ

ตรวจวัด PM_{2.5} ในพื้นที่เดียวกันในศึกษาก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าฝุ่นที่เกิดขึ้นนั้นเป็นฝุ่นทุติยภูมิ และเป็นอนุภาคไนเตรตและซัลเฟต

คณะผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination; r^2) ที่ได้จากแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary least-squares regression models; OLS model) นอกจากนี้ยังได้คำนวณค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean squared error; RMSE) เพื่อประเมินความถูกต้องของการเปรียบเทียบเชิงเส้น ส่วนผลของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแสงในบรรยากาศ ต่อการทำงานของเครื่องมือตรวจวัดนั้นประเมินโดยใช้การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis)

ภาพที่ 17 แสดงข้อมูลความเข้มข้นของ PM_{2.5} ตามเวลา ตลอดระยะเวลาเก็บตัวอย่าง 8 วัน ในเวลากลางคืน ความเข้มข้นของ PM_{2.5} จะสูงกว่าเวลากลางวัน เนื่องจากภาวะอากาศปิดตอนกลางคืน จะเห็นได้ว่า ค่าที่ตรวจวัดได้จากเครื่อง DustTrak จะสูงกว่าเครื่อง BAM อุณหภูมิในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างประมาณ 20-30 องศาเซลเซียส ความเข้มของแสงต่ำกว่า 1×10^1 ลักซ์ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงร้อยละ 10 – 60 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.49 และค่า RMSE เท่ากับ 3.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบว่าปัจจัยด้านอุณหภูมิ ความเข้มแสง และความชื้น ไม่มีผลต่อการตรวจวัด



ภาพที่ 17 ผลการตรวจวัด PM_{2.5} ด้วยเครื่อง BAM-1020 กับเครื่อง DustTrak 8530

ที่มา: ดัดแปลงจาก Holstius, Pillarisetti, Smith and Seto (2014)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 การเก็บตัวอย่าง

3.1.1 สถานที่เก็บตัวอย่าง

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เก็บตัวอย่างฝุ่นบริเวณโถงหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม ชั้น 5 อาคารวิทยาศาสตร์ 4 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม ซึ่งอาคารนี้เป็นอาคาร 5 ชั้น มีห้องต่าง ๆ ดังนี้

ชั้น 1 มีห้องบรรยาย 4 ห้อง ห้องปฏิบัติการพื้นฐานฟิสิกส์จำนวน 4 ห้อง ห้องเตรียมปฏิบัติการพื้นฐานฟิสิกส์จำนวน 2 ห้อง ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สำนักงานศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และห้องน้ำจำนวน 6 ห้อง

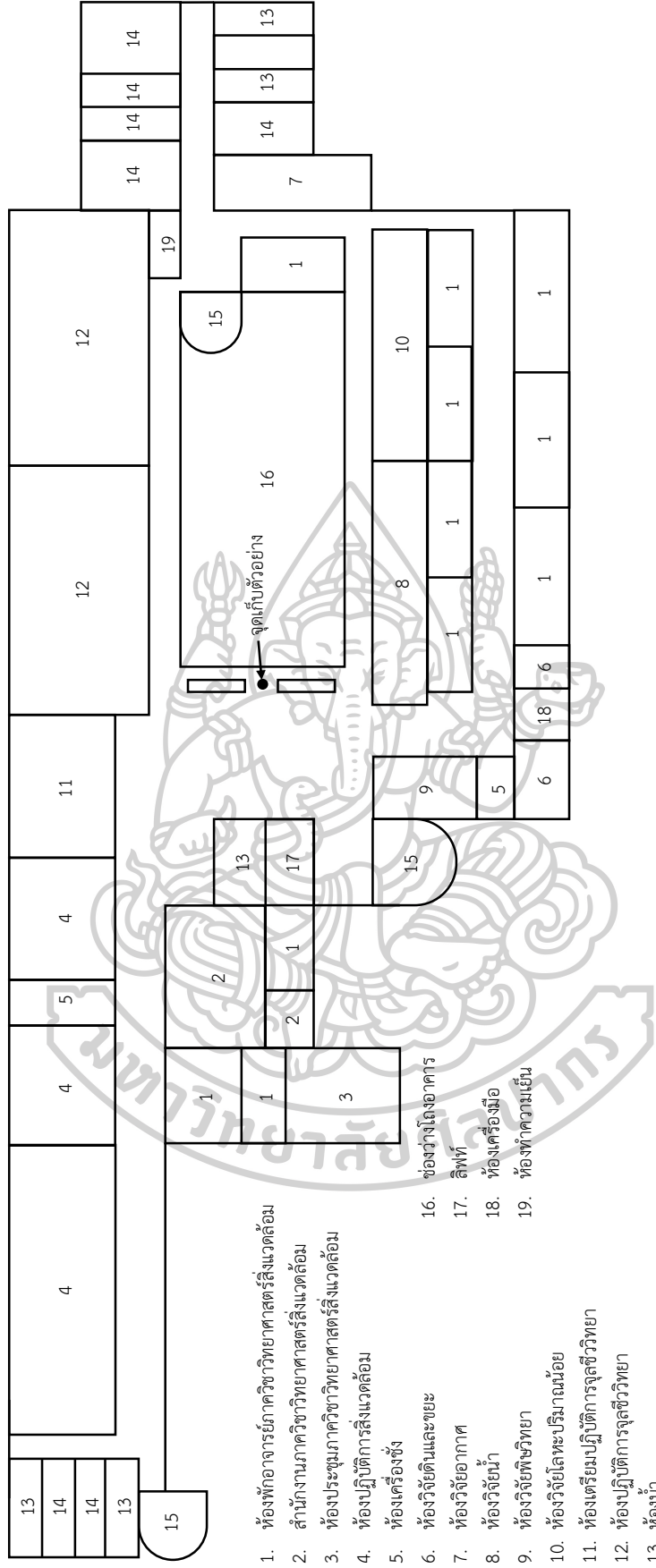
ชั้น 2 มีห้องบรรยาย 4 ห้อง ห้องพักอาจารย์ภาควิชาเคมี ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ ห้องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ห้องปฏิบัติการโมเดิร์นฟิสิกส์ ห้องควบคุมโมเดิร์นฟิสิกส์ ห้องเตรียมปฏิบัติการ ห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ห้องปฏิบัติการอินทรีย์เคมี ห้องโครงการนิติวิทยาศาสตร์ และห้องน้ำ 6 ห้อง

ชั้น 3 มีห้องคอมพิวเตอร์ภาควิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม ห้องเตรียมปฏิบัติการพื้นฐานเคมี ห้องเครื่องชั่ง ห้องปฏิบัติการพื้นฐานเคมี 2 ห้อง ห้องน้ำกลั่น ห้องเตรียมปฏิบัติการชีวเคมี ห้องปฏิบัติการชีวเคมี ห้องประชุมสัมมนา 3 ห้อง ห้องแสดงนิทรรศการ ห้องเก็บพัสดุ และห้องน้ำ 6 ห้อง

ชั้น 4 มีห้องพักอาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม 3 ห้อง ห้องวิจัย สิ่งแวดล้อม 2 ห้อง ห้องเตรียมปฏิบัติการพื้นฐานชีววิทยา 2 ห้อง ห้องปฏิบัติการพื้นฐานชีววิทยา 4 ห้อง ห้องเตรียมปฏิบัติการพฤกษศาสตร์ ห้องปฏิบัติการพฤกษศาสตร์ 2 ห้อง ห้องเตรียมปฏิบัติการสัตววิทยา ห้องปฏิบัติการสัตววิทยา ห้องบรรยาย ห้องโสตทัศนอุปกรณ์ ห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ และห้องน้ำ 6 ห้อง

ชั้น 5 มีห้องเตรียมปฏิบัติการจุลชีววิทยา ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา 2 ห้อง ห้องทำความสะอาด สำนักงานภาควิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม ห้องประชุมภาควิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม ห้องพักอาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม 11 ห้อง ห้องปฏิบัติการ สิ่งแวดล้อม 3 ห้อง ห้องวิจัย สิ่งแวดล้อม 5 ห้อง ห้องเครื่องมือ ห้องเครื่องชั่ง 2 ห้อง ห้องน้ำ 6 ห้อง และห้องเก็บของ 7 ห้อง

แผนผังอาคารวิทยาศาสตร์ 4 ชั้น 5 และจุดเก็บตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 พื้นที่จุดเก็บตัวอย่าง

3.1.2 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่าง PM₁₀ และ PM_{2.5} ตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2561 – เมษายน พ.ศ. 2562 เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 08.00 น. ของวันถัดไป โดยฝุ่นแต่ละขนาดเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 40 วัน โดยแบ่งเป็นวันธรรมดา 20 วัน และวันหยุด 20 วัน

3.1.3 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

3.1.3.1 กระจาดากรอง ADVANTEC รุ่น GC-50 (Advantec MFS, Inc., Dublin, CA, USA)

3.1.3.2 เครื่องชั่งทศนิยม 7 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)

3.1.3.3 โถดูดความชื้น (Desiccator) (Apex Chemical, เขตห้วยขวาง, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย)

3.1.3.4 ชุดปั๊มดูดอากาศแบบพกพา (Sensidyne, LP, St. Petersburg, FL, USA)

3.1.3.7 ไซโคลนสำหรับ PM₁₀ (Zefon International, Ocala, FL, USA)

3.1.3.8 Personal Environment Monitor (PEM) (SKC Inc., Eighty Four, PA, USA) (ภาพที่ 19)



ภาพที่ 19 Personal Environment Monitor (PEM)

ที่มา: SKC Inc. (2018)

3.1.3.9 DustTrak II Aerosol Monitor 8530 (TSI Incorporated, Shoreview, MN, USA) (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 20 DustTrak II Aerosol Monitor

ที่มา: TSI Inc. (2018a)

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2.1 การเตรียมกระดาศกรองก่อนทำการเก็บตัวอย่าง

นำกระดาศกรองใส่ในโถดูดความชื้น (Desiccator) เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำหนักคงตัว หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักกระดาศกรอง โดยใช้ปากคีบ (Forceps) คีบกระดาศกรองวางลงบนจานเครื่องชั่ง อ่านค่าน้ำหนักและจดบันทึกก่อนทำการเก็บตัวอย่าง ชั่งน้ำหนักกระดาศกรองทั้งหมด 3 ครั้ง และนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นน้ำหนักกระดาศกรองก่อนเก็บตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างใช้สำหรับไซโคลอน คีบกระดาศกรองที่ผ่านการชั่งน้ำหนักวางลงในตลับกระดาศกรอง (Filter cassette) ประกอบตลับกระดาศกรองเข้าด้วยกันให้สนิทและพันกระดาศกราวหรือเทปรัดตลับกระดาศกรอง ปิดจุดด้านบนและด้านล่างของตลับกระดาศกรอง เขียนหมายเลขบนตลับกระดาศกรอง

การเตรียมตัวอย่างที่ใช้สำหรับ PEM ไขน็อตเพื่อเปิดหัวคัตขนาดของเครื่อง PEM จากนั้นจึงคีบกระดาศกรองที่ผ่านการชั่งน้ำหนักใส่บนตะแกรงสแตนเลส และทากรีซ (Grease) บนวงแหวนตักกระทบเพื่อให้ดักจับฝุ่นขนาดใหญ่กว่า $PM_{2.5}$ แล้วปิดด้วยหัวคัตขนาดไขน็อตให้สนิท

3.2.2 วิธีการสอบเทียบอัตราการไหลอากาศของเครื่องดูดอากาศ

ประกอบเครื่องดูดอากาศเข้ากับเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ แล้วเปิดเครื่องดูดอากาศเพื่อปรับอัตราการไหลที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างให้ตรงตามที่เครื่องมือกำหนด (ตารางที่ 3.1) วัดอัตราการไหลทั้งก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง แล้วจดบันทึกค่าเฉลี่ยเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านกระดาศกรองต่อไป

ตารางที่ 7 อัตราการไหลที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศ

หน่วย : ลิตร/นาที

เครื่องมือเก็บตัวอย่าง	PM ₁₀	PM _{2.5}
ไซโคลน	1.7 ¹	-
PEM	-	2.0 ²
DustTrak	3.0	3.0

¹NIOSH (1998), ²US EPA (1990)

3.2.3 วิธีการเก็บตัวอย่าง

3.2.3.1 การเก็บตัวอย่างโดยใช้ไซโคลนและ PEM

- ประกอบปลั๊กกระดาษกรองเข้ากับไซโคลนสำหรับ PM₁₀
- ปิดมุดอากาศกับไซโคลน
- ติดอุปกรณ์กับขาตั้งให้มั่นคงและไม่กีดขวางทางเดินของห้องโถงกลาง โดยให้ทางเข้าของอากาศ (Inlet) อยู่ระดับ 1.5 เมตร จากพื้น
- เปิดมุดอากาศเพื่อเริ่มเก็บตัวอย่าง จดบันทึกเวลา
- เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ปิดมุดอากาศ จดบันทึกอัตราการดูดอากาศและเวลา
- นำกระดาษกรองที่ผ่านการเก็บตัวอย่างเข้าโถดูดความชื้น เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนัก 3 ครั้ง และนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นน้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง

3.2.3.2 การเก็บตัวอย่างโดยใช้ PEM

- ทำเช่นเดียวกับ ข้อ 3.2.3.1 แต่เปลี่ยนหัวคัดขนาดเป็น PEM

3.2.3.3 การเก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่อง DustTrak II Aerosol Monitor

- Set Zero เครื่องโดยใช้อุปกรณ์ Filter Zero เข้ากับช่องอากาศไว้ แล้วกด Zero Cal รอจนหน้าจอแสดงผล Complete
- เปิดเครื่อง ตั้งชื่อไฟล์ ตั้งค่าให้เก็บตัวอย่างทุก 5 นาที และกำหนดระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างเป็น 24 ชั่วโมง
- กดปุ่ม Start เพื่อเริ่มทำการเก็บตัวอย่าง จดบันทึกเวลาเริ่มต้น

- เมื่อครบ 24 ชั่วโมง นำเครื่อง DustTrak มาถ่ายโอนข้อมูลเข้ากับคอมพิวเตอร์ที่มีการติดตั้งซอฟต์แวร์ของเครื่องมือไว้ หรือทำการถ่ายโอนข้อมูลด้วยแฟลชไดรฟ์

3.3 การคำนวณ

การคำนวณสำหรับวิธีวิเคราะห์เชิงน้ำหนักสำหรับ PM₁₀ และ PM_{2.5} มีดังนี้

3.3.1 ปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านกระตาศกรองสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$V = \frac{F \times D}{1000}$$

- โดยที่ V – ปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง, ลูกบาศก์เมตร
 F – อัตราการไหลของปั๊มดูดอากาศ, ลิตร/นาที
 D – ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง, นาที
 1000 – ค่าคงที่ในการเปลี่ยนหน่วยจากลิตรเป็นลูกบาศก์เมตร

3.3.2 การคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นวิธีเชิงน้ำหนัก

$$PM = \frac{W_{\text{post}} - W_{\text{pre}}}{V}$$

- โดยที่ PM – ความเข้มข้นของฝุ่น, มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร
 W_{post} – น้ำหนักกระตาศกรองหลังเก็บตัวอย่าง, มิลลิกรัม
 W_{pre} – น้ำหนักกระตาศกรองก่อนเก็บตัวอย่าง, มิลลิกรัม
 V – ปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านกระตาศกรอง, ลูกบาศก์เมตร

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.4.1 Paired Sample T-Test

วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของ PM₁₀ และ PM_{2.5} เฉลี่ยที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักและจากเครื่อง DustTrak โดยใช้สถิติ Paired Sample T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.4.2 การหาสมการปรับแก้

หาสมการปรับแก้ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DustTrak ให้เป็นค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิง (FRM) ที่ต้องการคือ สมการถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary least-squares regression models; OLS model)

3.4.3 ความสัมพันธ์กันของข้อมูลโดยใช้ Pearson's correlation และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination; R²)

ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสองชุด จะใช้ Pearson's correlation และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination; R²)

3.4.4 ค่าความผิดพลาดของรากกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error; RMSE)

ความแม่นยำ (Precision) ของวิธีการเก็บตัวอย่าง บอกได้จากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean squared error; RMSE) ซึ่งหาก RMSE มีค่าใกล้เคียงศูนย์ แสดงว่าวิธีเก็บตัวอย่างมีความแม่นยำสูง (Yanosky et al., 2002) ค่า RMSE หาได้จากสูตร

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (\text{ค่าจากการสังเกต} - \text{ค่าพยากรณ์})^2}{\text{จำนวนข้อมูล}}}$$

3.4.5 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนค่าสัมบูรณ์ (Mean absolute percent error, MAPE)

$$MAPE = \frac{100}{t} \sum_{i=1}^t \left| \frac{e_i(1)}{Z_i} \right|$$

- โดยที่ $e_i(1)$ - ค่าจากการสังเกต - ค่าพยากรณ์
 Z_i - ค่าจากการสังเกต
 t - จำนวนการเก็บตัวอย่างทั้งหมด

3.5 การประกันคุณภาพและการควบคุมคุณภาพ (Quality assurance / quality control; QA/QC)

3.5.1 การปรับอัตราการไหลของปั๊มดูดอากาศ

ปรับอัตราการไหลของปั๊มดูดอากาศให้เป็นไปตามวิธีมาตรฐานสำหรับฝุ่นขนาดต่างๆ ก่อนการเก็บตัวอย่างทุกครั้ง (ตารางที่ 7) โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศแบบ Primary Calibrator รุ่น 4046/4146 (TSI Incorporated, Shoreview, MN, USA) (ภาพที่ 21) บันทึกอัตราการไหลของอากาศที่แท้จริงก่อนนำปั๊มดูดอากาศไปเก็บตัวอย่าง หลังเก็บตัวอย่างวัดอัตราการไหลอากาศอีกครั้งแล้วบันทึกอัตราการไหลอากาศหลังเก็บตัวอย่าง นำอัตราการไหลก่อนและหลังเก็บตัวอย่างมาเฉลี่ยแล้วบันทึกเป็นค่าอัตราการไหลระหว่างเก็บตัวอย่าง



ภาพที่ 21 เครื่องปรับอัตราการไหลของปั๊มดูดอากาศ
ที่มา: TSI (2018b)

3.5.2 การชั่งกระตาศกรองก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง

การชั่งกระตาศกรองที่แต่ละแผ่นจะชั่ง 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย น้ำหนักที่ได้จากการชั่งแต่ละครั้งต้องต่างกันไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนักกระตาศกรอง

3.5.3 การใช้เครื่องชั่งระดับไมโครกรัม

การใช้เครื่องชั่งระดับไมโครกรัมยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น XP2U โดยมีขั้นตอนดังนี้

- (1) เริ่มเปิดเครื่องครั้งแรก ต้องอุ่นเครื่องระยะเวลา 4-6 ชั่วโมง ดูแลจัดการอุณหภูมิแวดล้อมและความชื้น เพื่อการปรับสภาพอุณหภูมิแวดล้อมให้อยู่ในระดับที่เสถียร
- (2) ทำการ Adjust Zero ได้ดีที่สุด เมื่อห้องเครื่องชั่งมีอุณหภูมิน้อยกว่า 25 องศาเซลเซียส และเมื่อเครื่องชั่งพร้อมจึงชั่งตัวอย่าง

(3) ใช้ปากคีบในการหยิบตัวอย่างเท่านั้น เพื่อลดผลกระทบต่อความชื้นและการปนเปื้อนจากการใช้มือหยิบ

(4) คีบตัวอย่างผ่านระบบควบคุม U-Ionizer เพื่อดึงประจุที่เกาะกับฝุ่นละอองออก เพื่อให้น้ำหนักมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น

(5) เปิดประตูงานชั่ง แล้วคีบตัวอย่างบรรจุบนงานชั่ง ปิดประตูและรอให้น้ำหนักเสถียร ทำขั้นตอนซ้ำจนกว่าจะได้น้ำหนักที่ต้องการ แล้วทำการจดบันทึกน้ำหนักสุทธิ

3.5.4 การปรับศูนย์เครื่อง DustTrak II รุ่น 8530

ปรับศูนย์เครื่อง DustTrak ก่อนเก็บตัวอย่างทุกครั้งก่อนเก็บตัวอย่างโดยมีขั้นตอนดังนี้

- (1) นำอุปกรณ์สำหรับปรับศูนย์ (Zero filter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์เสริมที่มากับเครื่องต่อกับช่องอากาศเข้าของเครื่อง DustTrak
- (2) เลือกคำสั่ง Set up และเลือก Zero cal
- (3) เลือก OK รอจนหน้าจอขึ้นว่า “Complete”

3.5.5 การทำความสะอาดหัววัดขนาดของ PEM และ DustTrak

ทำความสะอาดหัววัดขนาด PEM และ DustTrak ทุก ๆ 2 สัปดาห์ หรือเมื่อมีฝุ่นเกาะที่หัววัดขนาดมากพอสมควรสามารถทำความสะอาดได้ทันที

3.5.6 การเปลี่ยน Internal Filter ของเครื่อง DustTrak

เปลี่ยน Internal filter ของเครื่อง DustTrak เมื่อระยะเวลาการทำงานครบ 350 ชั่วโมง หรือเมื่อหน้าจอแจ้งเตือนว่า Filter error indicator จึงทำการเปลี่ยน Internal filter และหลังจากการเปลี่ยนต้องตั้งค่าวันที่เริ่มการทำงานของ Internal filter ใหม่

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM₁₀ และ PM_{2.5} ระหว่างการตรวจวัดด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก (Gravimetric method) ซึ่งเป็นวิธีอ้างอิง (Federal Reference method) โดยใช้ไซโคลน (สำหรับ PM₁₀) และ Personal Environment Monitor (PEM) (สำหรับ PM_{2.5}) ร่วมกับปั๊มดูดอากาศ กับวิธีอัตโนมัติแบบเรียลไทม์ โดยใช้เครื่องตรวจวัด DustTrak II Aerosol Monitor 8530 เก็บตัวอย่างบริเวณโถงภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาคารวิทยาศาสตร์ 4 ชั้น 5 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม การเก็บตัวอย่างทั้ง 2 วิธี โดยทำ 2 ซ้ำ (ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดเดียวกัน 2 เครื่อง เก็บตัวอย่างพร้อมกัน) เป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยครอบคลุมทั้งวันธรรมดาและวันหยุด ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองทั้ง 2 ขนาด ที่ได้จากวิธีการตรวจวัดทั้ง 2 วิธี นำมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย หาค่าความสัมพันธ์ และสร้างสมการถดถอย ผลการศึกษามีดังนี้

4.1 ผลการศึกษา

4.1.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละออง

ทดสอบความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM₁₀ และ PM_{2.5} ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างจาก 2 วิธีที่ต่างกัน การทดสอบการแจกแจงของข้อมูลพบว่ามีข้อมูลมีการแจกแจงปกติ (Normal distribution) จึงใช้ Paired samples t-test ในการหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม ที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\alpha=0.05$) ผลจากการตรวจวัดค่าความเข้มข้นเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฝุ่นละอองด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติแบบเรียลไทม์ พบว่า การตรวจวัดที่ได้จากเครื่องมือวัด DustTrak II 8530 ให้ผลการตรวจวัดมากกว่าวิธีเชิงน้ำหนัก 2.6-3.4 เท่า ผลการทดสอบ พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยจากทั้ง 2 วิธี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 ($P=0.000$) ผลการตรวจวัดของฝุ่นละอองขนาด PM₁₀ และ PM_{2.5} ภายในสถานศึกษา ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการตรวจวัด PM₁₀ และ PM_{2.5} ภายในสถานศึกษา

		ค่าเฉลี่ย	จำนวน	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความคลาดเคลื่อน	ระดับนัยสำคัญ
PM ₁₀	DustTrak	96.86	40	54.53	8.62	.000
	Cyclone (FRM)	28.49	40	13.71	2.17	
PM _{2.5}	DustTrak	142.94	40	84.13	13.30	.000
	PEM (FRM)	54.22	40	27.11	4.29	

ค่าความเข้มข้นจากการตรวจวัด PM₁₀ ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 8.01 – 55.39 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเมื่อเทียบกับวิธีอัตโนมัติแบบเรียลไทม์ซึ่งมีค่า 33 – 229.50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยจะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญถึง 3.4 เท่า โดยหากพิจารณาเพียงแค่ผลการตรวจวัดที่ได้จากวิธีอัตโนมัติแบบเรียลไทม์จะสรุปว่า PM₁₀ มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารของกรมอนามัย (50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) แต่เมื่อพิจารณาผลการตรวจวัดด้วยวิธีเชิงน้ำหนักจะพบว่าไม่เกินค่ามาตรฐาน

ในส่วนของความเข้มข้นของ PM_{2.5} ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักได้ค่าความเข้มข้น 13.98 – 118.80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญถึง 2.6 เท่า เมื่อเทียบกับผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง DustTrak ซึ่งได้ค่าอยู่ในช่วง 35.50 – 371.50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ผลการตรวจวัดทั้ง 2 วิธี พบค่าความเข้มข้นสูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารของกรมอนามัย (35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จากตารางที่ 8 จะสังเกตเห็นว่าความเข้มข้นของ PM_{2.5} มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า PM₁₀ ทั้งนี้เนื่องมาจากเก็บตัวอย่างไม่พร้อมกัน นอกจากนี้ ในช่วงเวลาที่ตรวจวัด PM_{2.5} นั้นเป็นช่วงเวลาที่จังหวัดนครปฐมมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_{2.5} สูงติดอันดับ 1 ใน 3 ของประเทศ ซึ่งมาจากหลายสาเหตุ เช่น การคมนาคม การเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การปลดปล่อยมลพิษจากอุตสาหกรรม การรวมตัวระหว่างอนุภาคกับก๊าซในบรรยากาศ เป็นต้น

จากผลการศึกษาก่อนหน้าและการศึกษานี้ให้ผลไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ การใช้เครื่อง DustTrak ไม่ว่าจะรุ่นใดจะให้การตรวจวัดสูงกว่าวิธีเชิงน้ำหนักเสมอ เนื่องจากวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติแบบเรียลไทม์มีหลักการตรวจวัด และการทำงานที่ต่างกัน ซึ่งวิธีเชิงน้ำหนักเป็นวิธีอ้างอิง (FRM) และวิธีเทียบเคียง (FEM) นั้นให้ผลตรวจวัดใกล้เคียงกับความเป็นจริงและมีความถูกต้องมากกว่าวิธีอัตโนมัติแบบเรียลไทม์ ด้วยเหตุนี้จึงต้องหาสมการปรับแก้ ความสัมพันธ์ และความคลาดเคลื่อน ที่ใช้สำหรับเครื่องมือวัด DustTrak II 8530 ที่ภาควิชาฯ ใช้อยู่ให้มีความถูกต้องหรือใกล้เคียงกับวิธีอ้างอิงมากที่สุด การวิเคราะห์ทางสถิติในการศึกษานี้ใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 22

4.1.2 สมการถดถอยเชิงเส้นตรง

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์คือต้องการสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่เหมาะสมซึ่งจะนำมาใช้ปรับแก้ค่าความเข้มข้นจากการตรวจวัดด้วยเครื่อง DustTrak II ให้เป็นความเข้มข้นที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาสมการการหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรงดังกล่าวใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary least-squares regression models; OLS model) โดยจะได้สมการเชิงเส้นตรง ดังสมการที่ (1)

$$y = a + bx \quad (1)$$

โดยที่ y - ค่าที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก, ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร

x - ค่าที่ได้จากเครื่อง DustTrak II 8530, ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร

a - จุดตัดแกน y

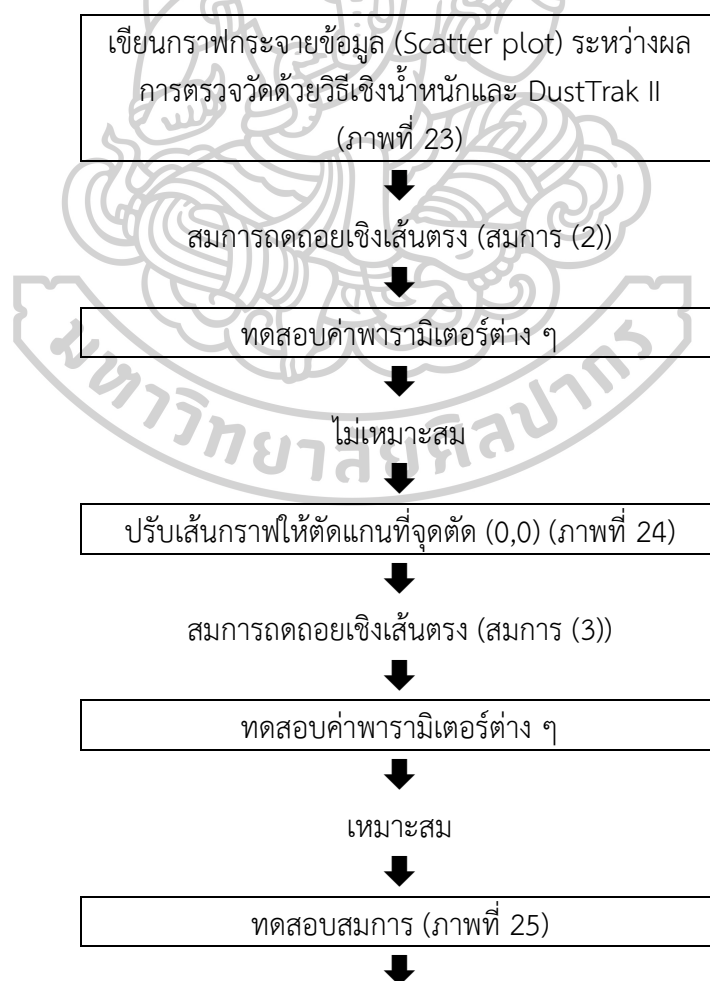
b - ค่าความชันของเส้นกราฟ

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่ได้จะพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- (1) ความสัมพันธ์ของข้อมูล (Pearson correlation)
- (2) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination; R^2)
- (3) ค่าความผิดพลาดของรากกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error; RMSE)
- (4) ร้อยละค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute percentage error; MAPE)

4.1.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัด PM₁₀ ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักกับวิธีอัตโนมัติ

ภาพที่ 22 สรุปวิธีการวิเคราะห์อันได้มาซึ่งสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่ใช้ปรับแก้ค่าความเข้มข้นของ PM₁₀ จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง DustTrak II ให้เป็นความเข้มข้นที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก

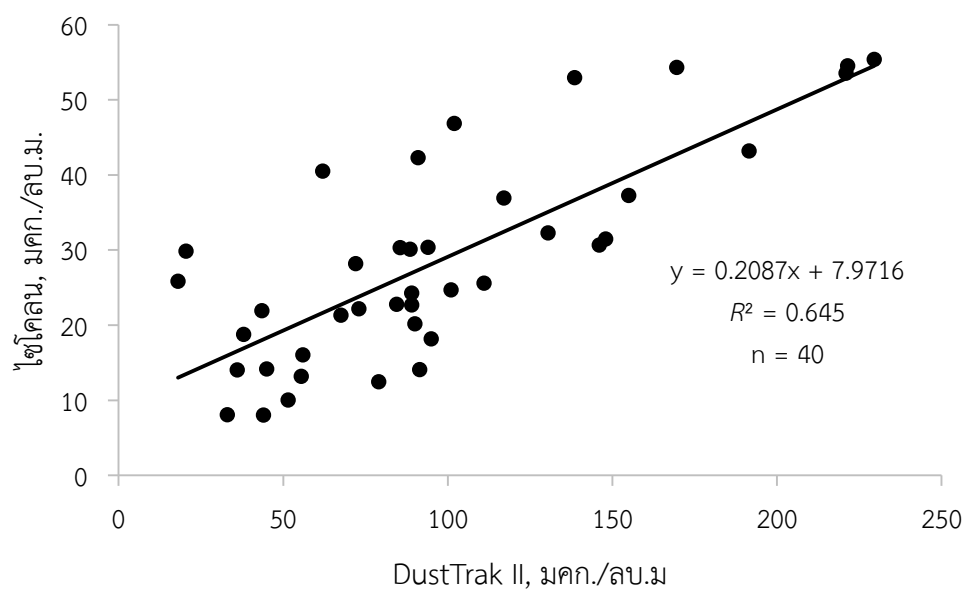


R^2 เท่ากับกราฟของสมการ (3)



นำสมการไปใช้

ภาพที่ 22 สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์หาสมการถดถอยเชิงเส้นตรงสำหรับ PM₁₀



ภาพที่ 23 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด PM₁₀ ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติ

$$y = 0.2087x + 9.479$$

(2)

- เมื่อ y - ค่าที่ทำการปรับแก้จากเครื่อง DustTrak II ให้เป็นค่าจากวิธีเชิงน้ำหนัก
 x - ค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องเครื่อง DustTrak II

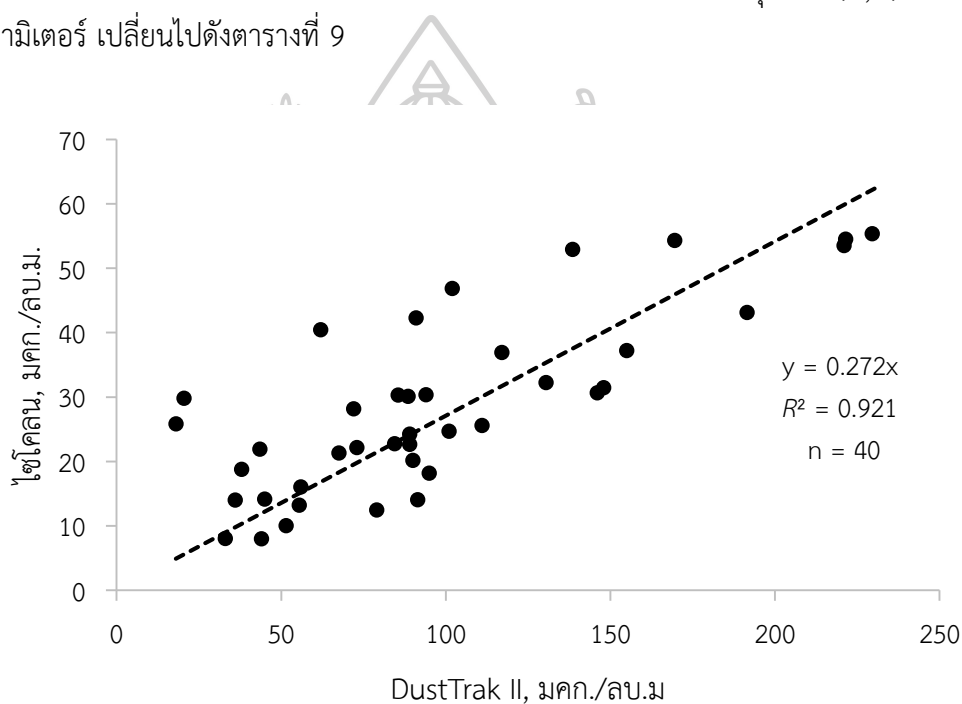
เมื่อวิเคราะห์ Pearson correlation พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.803 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับปานกลาง แต่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนค่า R^2 เท่ากับ 0.645 แสดงให้เห็นว่า สมการถดถอยสามารถอธิบายการกระจายของข้อมูลผลการตรวจวัดที่ได้จากเครื่อง DustTrak II ได้ประมาณร้อยละ 65 ส่วนค่า RMSE ที่ได้มีค่าเท่ากับ 8.27 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ยังพบว่า ความแตกต่างระหว่างการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 วิธี มีค่า MAPE เท่ากับร้อยละ 30.79 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า สมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้ยังอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM₁₀ ที่ได้จากวิธีการตรวจวัดทั้งสองวิธีได้ไม่ดัดนัก ยัง

ไม่สามารถนำไปใช้ได้ทันที ดังนั้นจึงทำการปรับสมการถดถอยเชิงเส้นให้ตัดแกนที่จุดตัด (0,0) จะได้เส้นกราฟและสมการใหม่ดังภาพที่ 24 และสมการที่ (3)

$$y = 0.272x \quad (3)$$

เมื่อ y - ค่าที่ทำการปรับแก้จากเครื่อง DustTrak II ให้เป็นค่าจากวิธีเชิงน้ำหนัก
 x - ค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องเครื่อง DustTrak II

เมื่อปรับสมการถดถอยเชิงเส้นให้ตัดแกนที่จุดตัด (0,0) แล้วจะได้ค่าพารามิเตอร์ เปลี่ยนไปดังตารางที่ 9



ภาพที่ 24 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด PM_{10} ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติเมื่อมีจุดตัดที่ (0,0)

ตารางที่ 9 ค่าพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นของ PM₁₀ ที่เปลี่ยนแปลงไป

พารามิเตอร์	เดิม	หลังปรับ	วิเคราะห์ผล
สมการ	$y = 0.2087x + 7.9716$	$y = 0.272x$	กราฟตัดที่ (0,0)
ความชัน	0.209	0.272	เข้าใกล้ 1 มากขึ้น
Pearson correlation	0.803	0.959	มีความสัมพันธ์กันมากขึ้น
R ²	0.645	0.921	อธิบายข้อมูลได้มากขึ้น
RMSE, มคก./ลบ.ม.	8.27	9.00	ยังคงมีความแม่นยำในระดับที่ยอมรับได้
MAPE, ร้อยละ	30.79	26.36	มีความแตกต่างน้อยลง

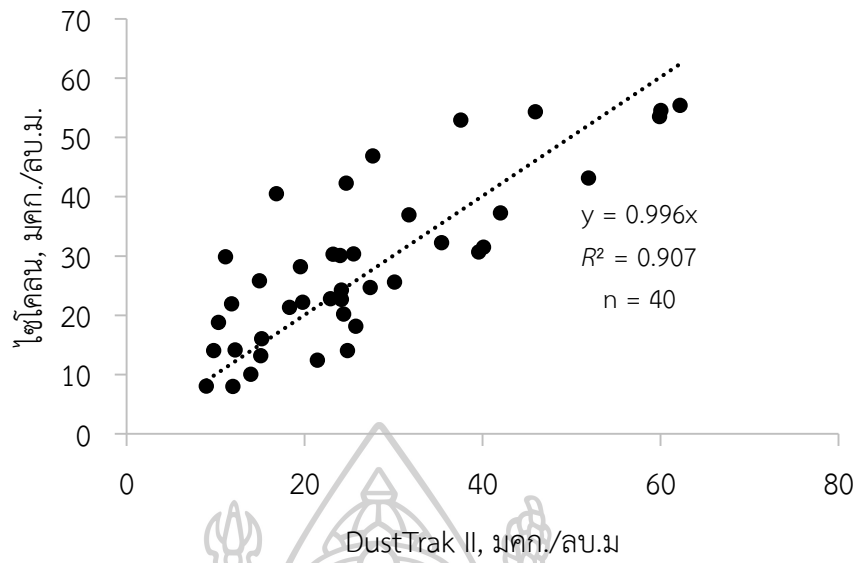
จากนั้นทำการทดสอบสมการถดถอยที่ได้โดยการนำค่าที่อ่านได้จากเครื่อง DustTrak II ไปแทนค่า x ในสมการที่ (3) จะได้กราฟกระจายของข้อมูลและเส้นสมการถดถอยดังภาพที่ 25

จากภาพ 25 จะเห็นได้ว่าความชันของสมการถดถอยมีค่าใกล้เคียง 1 ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสมการถดถอยในการปรับแก้ให้ผลตรวจวัดได้ใกล้เคียงกับวิธีเชิงน้ำหนัก ข้อมูลมีการกระจายรอบเส้นตรงความชัน 45 องศา การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นแสดงในภาคผนวก (ง)

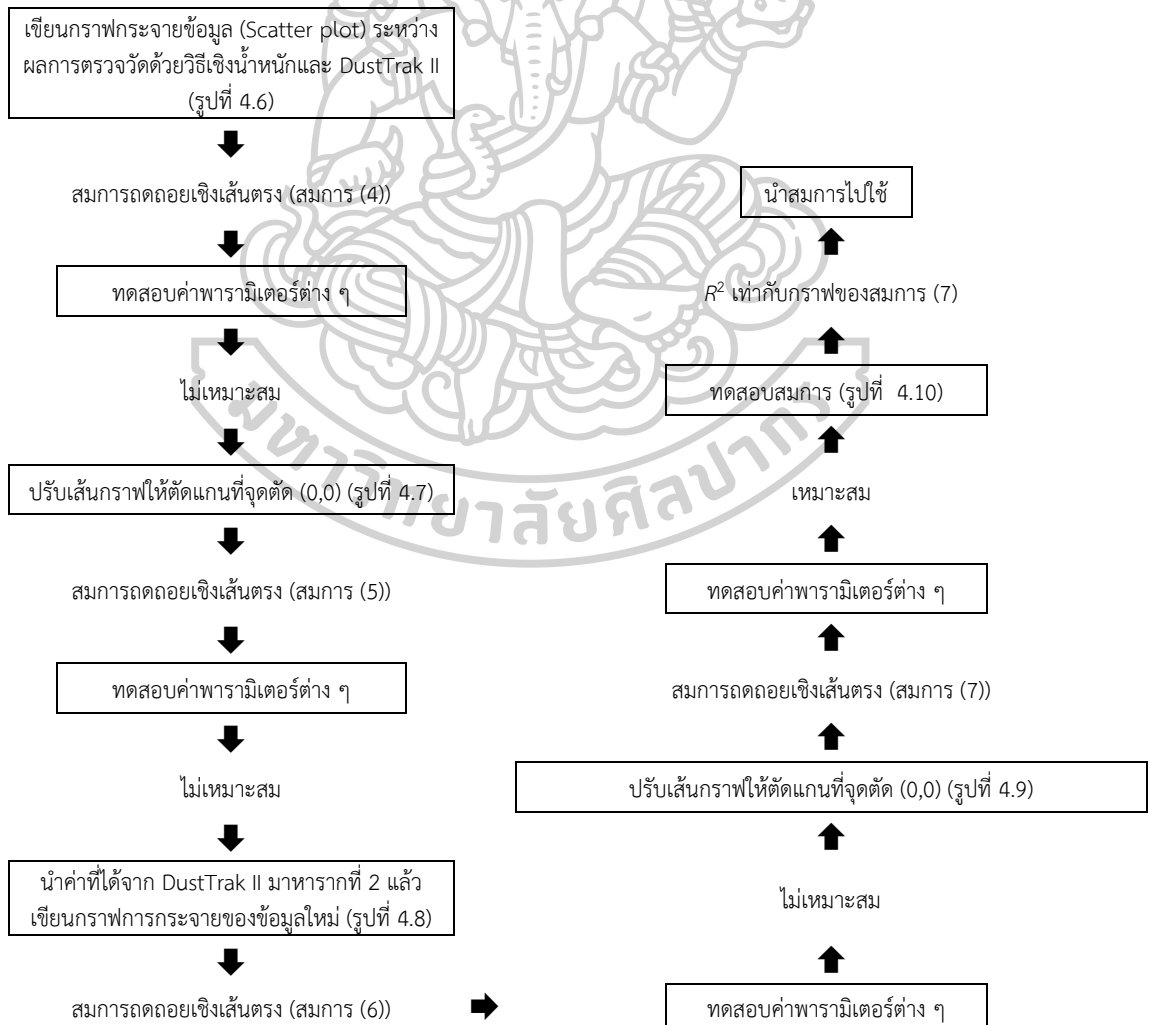
4.1.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัด PM_{2.5} ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักกับวิธี

อัตโนมัติ

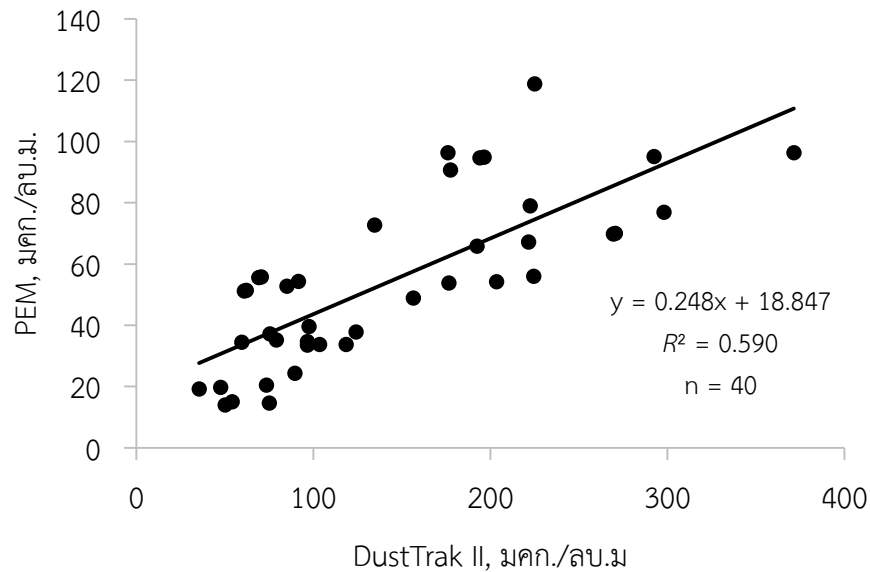
สำหรับ PM_{2.5} การได้มาซึ่งสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่ใช้ปรับแก้ความเข้มข้นที่ได้จากเครื่อง DustTrak II ให้เป็นความเข้มข้นเชิงน้ำหนักนั้นมีขั้นตอนซับซ้อนกว่า PM₁₀ ดังแสดงในภาพที่ 27



ภาพที่ 25 ผลการทดสอบสมการปรับแก้สำหรับ PM₁₀



ภาพที่ 26 สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์หาสมการถดถอยเชิงเส้นตรงสำหรับ PM_{2.5}



ภาพที่ 27 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด PM_{2.5} ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติ

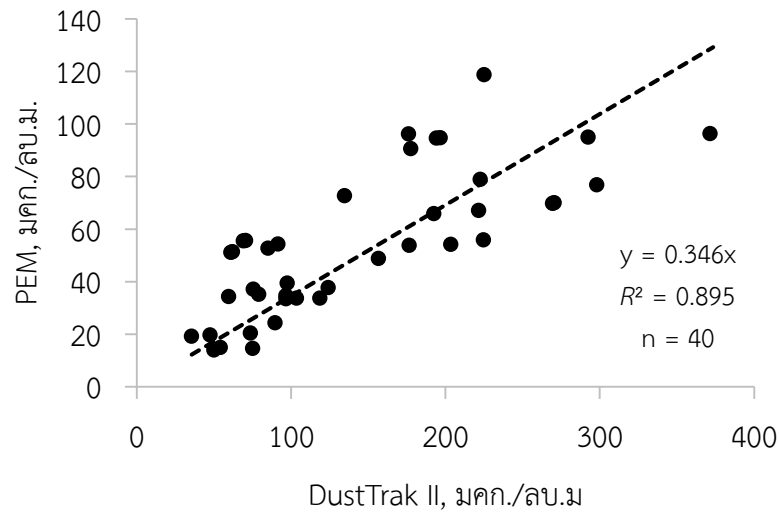
$$y = 0.248x + 18.847 \quad (4)$$

เมื่อ y - ค่าที่ทำการปรับแก้จากเครื่อง DustTrak II ให้เป็นค่าจากวิธีเชิงน้ำหนัก
 x - ค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่อง DustTrak II

กราฟแสดงการกระจายของข้อมูลในภาพที่ 27 มีค่าความชันเท่ากับ 0.248 ค่า Pearson correlation เท่ากับ 0.768 (ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับปานกลาง) ค่า R^2 เท่ากับ 0.590 ค่า RMSE ที่ได้มีค่าเท่ากับ 17.59 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ยังพบว่าความแตกต่างระหว่างการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 วิธี มีค่า MAPE เท่ากับร้อยละ 34.87 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า สมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้ยังอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่ได้จากวิธีการตรวจวัดทั้งสองวิธีได้ไม่ด้นักเช่นเดียวกับ PM₁₀ จึงทำการปรับสมการถดถอยเชิงเส้นให้ตัดแกนที่จุดตัด (0,0) จะได้เส้นกราฟและสมการใหม่ดังภาพที่ 28 และสมการที่ (5)

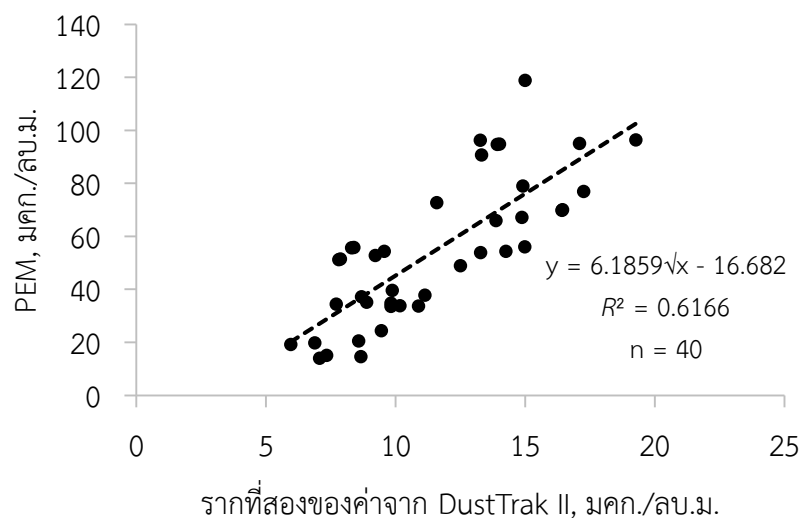
$$y = 0.3461x \quad (5)$$

เมื่อ y - ค่าที่ทำการปรับแก้จากเครื่อง DustTrak II ให้เป็นค่าจากวิธีเชิงน้ำหนัก
 x - ค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่อง DustTrak II



ภาพที่ 28 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติเมื่อมีจุดตัดที่ (0,0)

ภาพที่ 28 มีค่าความชันเท่ากับ 0.346 ค่า Pearson correlation เท่ากับ 0.946 ค่า R^2 เท่ากับ 0.895 ค่า RMSE ที่ได้มีค่าเท่ากับ 19.84 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่า MAPE เท่ากับร้อยละ 28.70 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าเหมาะสม แต่ค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ (มีค่าการกระจายออกห่างจากศูนย์ ดังภาคผนวก (ง) จึงต้องทำการปรับสมการถดถอยเชิงเส้นใหม่ โดยการนำความเข้มข้นที่ได้จากเครื่อง DustTrak II มาหารากที่สอง แล้วจึงเขียนกราฟการกระจายของข้อมูลใหม่ดังภาพที่ 29 และได้สมการถดถอยใหม่ดังสมการที่ (6)

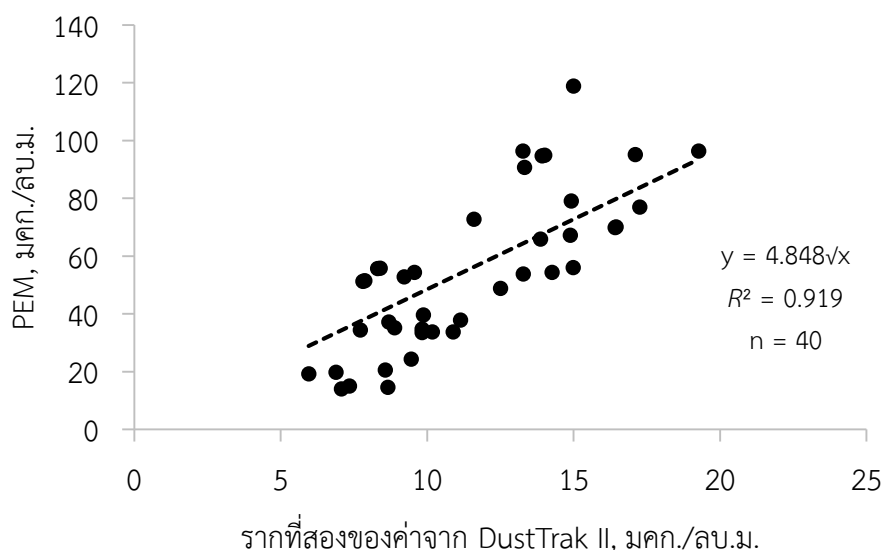


ภาพที่ 29 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก และรากที่ 2 ของค่าที่อ่านได้จากวิธีอัตโนมัติ

$$y = 6.1859\sqrt{x} - 16.682 \quad (6)$$

เมื่อ y - ค่าที่ทำการปรับแก้จากเครื่อง DustTrak II ให้เป็นค่าจากวิธีเชิงน้ำหนัก
 x - ค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องเครื่อง DustTrak II

เส้นสมการถดถอยในภาพที่ 29 มีค่าความชันเท่ากับ 6.1859 ค่า Pearson correlation เท่ากับ 0.785 (ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับปานกลาง) ค่า R^2 เท่ากับ 0.616 ค่า RMSE ที่ได้มีค่าเท่ากับ 17.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่า MAPE เท่ากับร้อยละ 74.84 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าแยลง จึงต้องทำการปรับสมการถดถอยเชิงเส้นใหม่อีกครั้ง โดยปรับสมการถดถอยเชิงเส้นให้ตัดแกนที่จุดตัด (0,0) แล้วเขียนกราฟการกระจายของข้อมูลใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 30 และได้สมการถดถอยใหม่ดังสมการที่ (7)



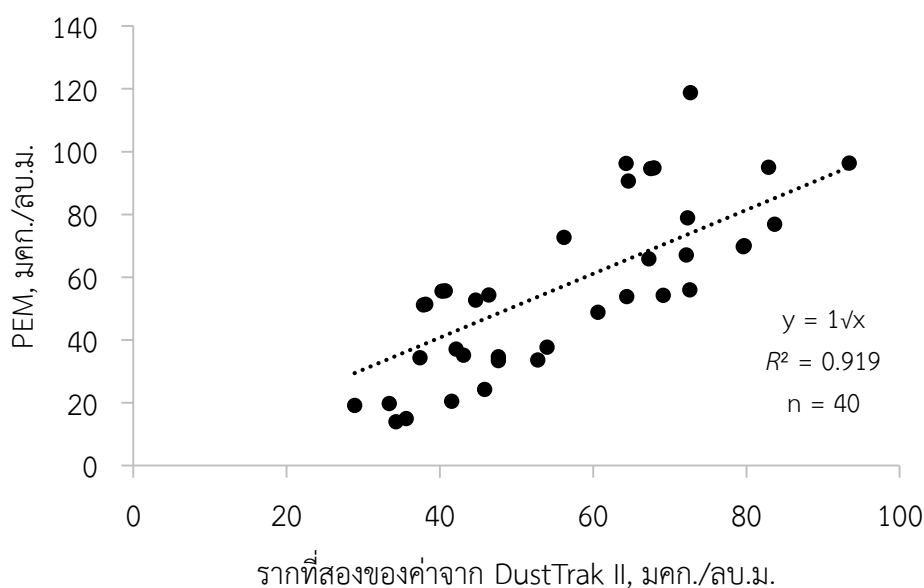
ภาพที่ 30 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก และรากที่ 2 ของค่าที่อ่านได้จากวิธีอัตโนมัติเมื่อมีจุดตัดที่ (0,0)

$$y = 4.848\sqrt{x} \quad (7)$$

เมื่อ y - ค่าที่ทำการปรับแก้จากเครื่อง DustTrak II ให้เป็นค่าจากวิธีเชิงน้ำหนัก
 x - ค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องเครื่อง DustTrak II

กราฟแสดงการกระจายของข้อมูลในภาพที่ 30 มีค่าความชันเท่ากับ 4.848 ค่า Pearson correlation เท่ากับ 0.958 ค่า R^2 เท่ากับ 0.919 ค่า RMSE ที่ได้มีค่าเท่ากับ 17.46

ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่า MAPE เท่ากับร้อยละ 39.02 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า สมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้มีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เหมาะสม จึงทำการทดสอบสมการถดถอยที่ได้โดยการนำค่าที่อ่านได้จากเครื่อง DustTrak II ไปแทนค่า x ในสมการที่ (7) จะได้กราฟกระจายของข้อมูลและเส้นสมการถดถอยดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 ผลการทดสอบสมการปรับแก้สำหรับ $PM_{2.5}$

จากภาพที่ 31 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของสมการถดถอยมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสมการถดถอยปรับแก้ให้ผลตรวจวัดใกล้เคียงกับวิธีเชิงน้ำหนัก ข้อมูลมีการกระจายรอบเส้นตรงความชัน 45 องศา การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นแสดงในภาคผนวก (ง)

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเก็บตัวอย่างเฉพาะวันธรรมดา

เพื่อการปรับปรุงสมการปรับแก้ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ โดยใช้ข้อมูลเฉพาะวันธรรมดา (ตัดข้อมูลวันหยุดออกทั้งหมด) ผลการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ จากนั้นทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยใช้ Paired samples t-test เช่นเดียวกันกับหัวข้อ 4.1 พบว่า ผลการตรวจวัดที่ได้จากเครื่อง DustTrak II 8530 มากกว่าวิธีเชิงน้ำหนัก 2.6-3.0 เท่า ผลการทดสอบ พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยจากทั้ง 2 วิธี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 ($P=0.000$) ผลการตรวจวัดเฉพาะวันธรรมดาสำหรับฝุ่นละอองขนาด PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ภายในสถานศึกษา มีลักษณะคล้ายคลึงกันกับผลการทดสอบข้อมูลทั้งวันธรรมดาและวันหยุด แต่แตกต่างกัน

ที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการตรวจวัด PM₁₀ และ PM_{2.5} ภายในสถานศึกษา

		ค่าเฉลี่ย	จำนวน	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความคลาดเคลื่อน	ระดับนัยสำคัญ
PM ₁₀	DustTrak	86.18	20	38.58	8.63	.000
	Cyclone (FRM)	28.34	20	11.98	2.68	
PM _{2.5}	DustTrak	156.98	20	86.96	19.45	.000
	PEM (FRM)	60.63	20	30.97	6.93	

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยจากการตรวจวัด PM₁₀ เฉพาะวันธรรมดาด้วยวิธีเชิงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 86.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่ามีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยจากข้อมูลทั้งหมด 10.68 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความเข้มข้นเฉลี่ยจากวิธีอัตโนมัติแบบเรียลไทม์ซึ่งมีค่า 28.34 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยจากข้อมูลทั้งหมดเพียง 0.15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัดทั้งสองวิธีพบว่าเครื่อง DustTrak II ให้ผลการตรวจวัดสูงกว่าวิธีเชิงน้ำหนัก 3.0 เท่า (ค่าความแตกต่างที่คิดจากข้อมูลทั้งหมดเท่ากับ 3.4 เท่า) โดยผลการตรวจวัดที่ได้จากวิธีอัตโนมัติแบบเรียลไทม์มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารของกรมอนามัย และผลการตรวจวัดด้วยวิธีเชิงน้ำหนักมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน เช่นเดียวกับการเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลทั้งหมด

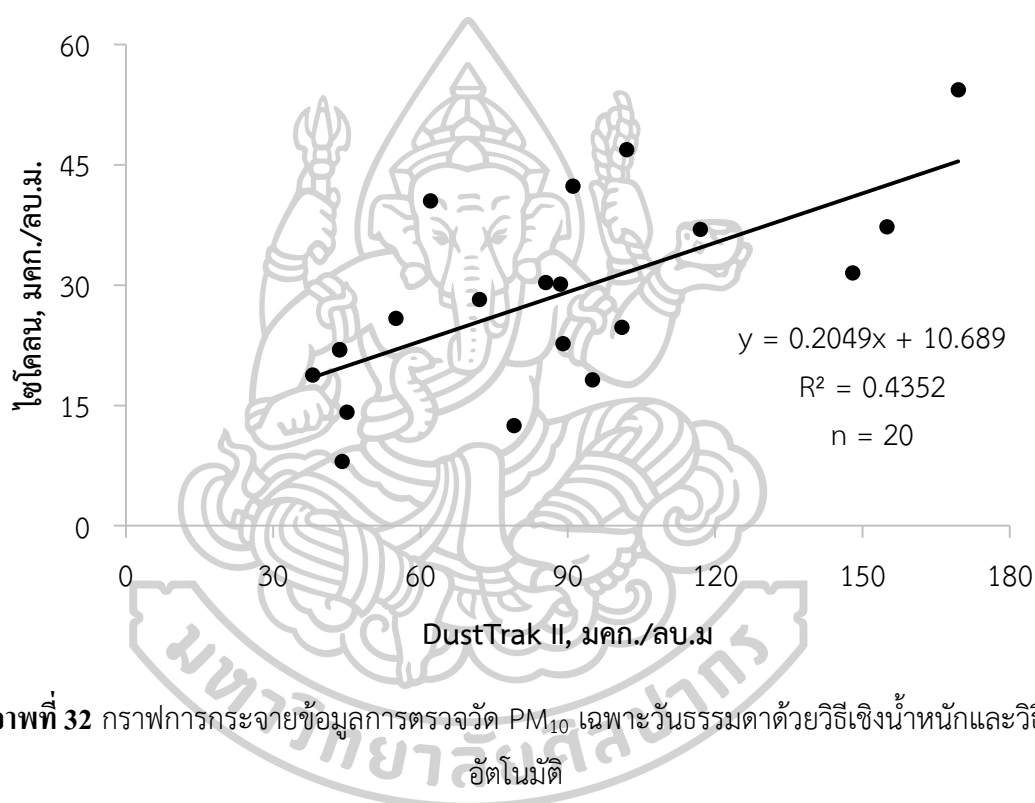
ความเข้มข้นของ PM_{2.5} เฉพาะวันธรรมดาที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักมีความเข้มข้นเฉลี่ย 60.63 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (สูงกว่าค่าเฉลี่ยจากข้อมูลทั้งหมดอยู่ 6.41 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และค่าเฉลี่ยจากเครื่อง DustTrak II มีค่าเท่ากับ 156.98 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (สูงกว่าค่าเฉลี่ยจากข้อมูลทั้งหมดอยู่ 14.04 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) โดยผลการตรวจวัดด้วยวิธีอัตโนมัติแบบเรียลไทม์มีค่าสูงกว่าวิธีเชิงน้ำหนัก 2.6 เท่า ซึ่งเท่ากับการใช้ข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ ผลการศึกษาจากข้อมูลเฉพาะวันธรรมดาแสดงให้เห็นว่า ผลการตรวจวัดทั้ง 2 วิธี มีความเข้มข้นสูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารของกรมอนามัย เช่นเดียวกับการเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลทั้งหมด

ขั้นตอนต่อไปเป็นการหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรงสำหรับข้อมูลเฉพาะวันธรรมดา เพื่อให้ทราบว่าคุณสมบัติใดใช้ในการปรับแก้ผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง DustTrak II ให้ใกล้เคียงกับวิธีเชิงน้ำหนักมากกว่า

4.2.1 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงสำหรับข้อมูลเฉพาะวันธรรมดา

4.2.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัด PM_{10} เฉพาะวันธรรมดาด้วยวิธี เชิงน้ำหนักกับวิธีอัตโนมัติ

วิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่ใช้ปรับแก้ค่าความเข้มข้นของ PM_{10} จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง DustTrak II ให้เป็นความเข้มข้นที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก ทำเช่นเดียวกันกับหัวข้อ 4.1.2.1 ได้กราฟกระจายข้อมูล (Scatter plot) ระหว่างผลการตรวจวัดด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและ DustTrak II ดังภาพที่ 32



$$y = 0.2049x + 10.689$$

(8)

เมื่อ y - ค่าที่ทำการปรับแก้จากเครื่อง DustTrak II ให้เป็นค่าจากวิธีเชิงน้ำหนัก
 x - ค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่อง DustTrak II

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับสมการที่ (8) แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลดิบวันธรรมดา (สมการที่ (8)) เปรียบเทียบกับการใช้ข้อมูลดิบทั้งหมด (สมการที่ (2)) สำหรับ PM_{2.5}

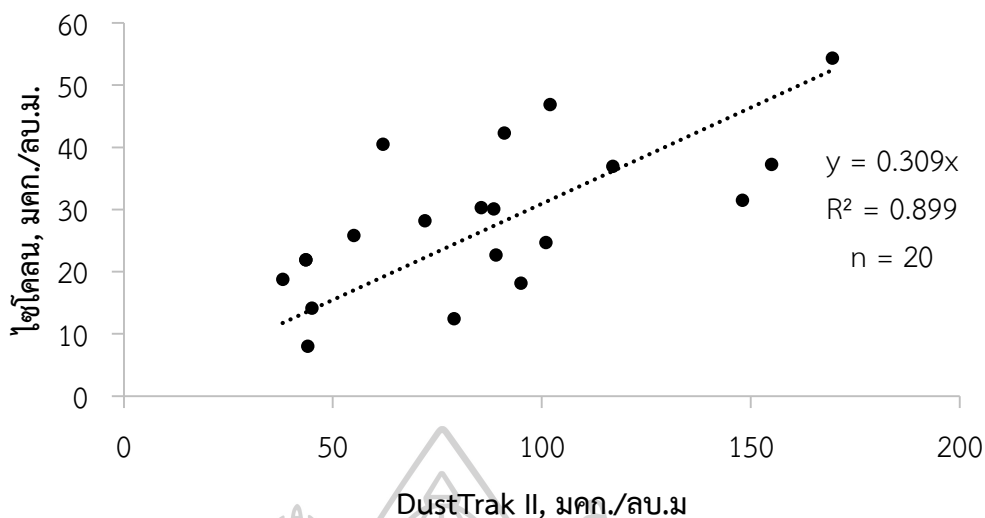
พารามิเตอร์	ข้อมูลเฉพาะวัน ธรรมดา สมการ (8)	ข้อมูล ทั้งหมด สมการ (2)	ผลการเปรียบเทียบ
Slope	0.205	0.209	ออกห่างจาก 1 มากขึ้นเล็กน้อย
Pearson correlation R^2	0.660	0.803	ความสัมพันธ์ลดลง
R^2	0.435	0.645	ความสามารถในการอธิบายการกระจายของข้อมูล ลดลง
RMSE, มคก./ลบ.ม.	9.25	8.27	ความผิดพลาดเพิ่มขึ้น
MAPE, ร้อยละ	30.79	30.79	ความแตกต่างระหว่างการเก็บตัวอย่าง 2 วิธีเท่าเดิม

จากผลการวิเคราะห์สมการที่ (8) เทียบกับสมการที่ (2) ที่จากข้อมูลในการตรวจวัด PM₁₀ ในวันธรรมดาและวันหยุด พบว่า ความสัมพันธ์ของข้อมูลมีค่าลดลงและความคลาดเคลื่อนมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งสมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้ยังอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM₁₀ ที่ได้จากวิธีการตรวจวัดทั้งสองวิธีได้ไม่ดัดนัก ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ทันที ดังนั้นจึงทำการปรับสมการถดถอยเชิงเส้นให้ตัดแกนที่จุดตัด (0,0) จะได้เส้นกราฟและสมการใหม่ดังสมการที่ (9) และภาพที่ 33

$$(9) \quad y = 0.309x$$

- เมื่อ y - ค่าที่ทำการปรับแก้จากเครื่อง DustTrak II ให้เป็นค่าจากวิธีเชิงน้ำหนัก
x - ค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่อง DustTrak II

เมื่อปรับสมการถดถอยเชิงเส้นให้ตัดแกนที่จุดตัด (0,0) แล้วจะได้ค่าพารามิเตอร์ เปลี่ยนไปดังตารางที่ 11

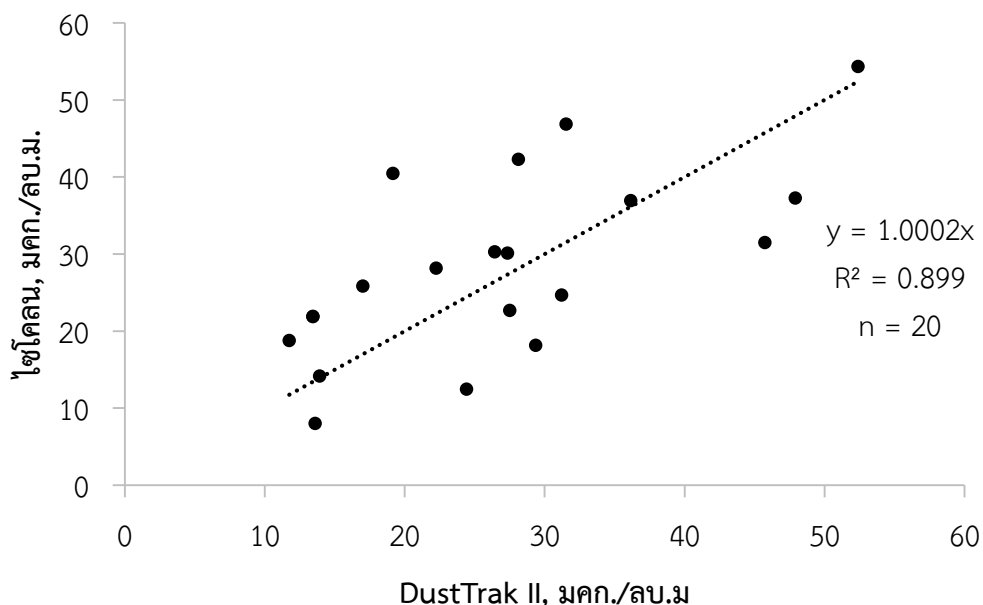


ภาพที่ 33 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด PM₁₀ เฉพาะวันธรรมดาด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติเมื่อมีจุดตัดที่ (0,0)

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวันธรรมดา (สมการที่ (9)) เปรียบเทียบกับข้อมูลทั้งหมด (สมการที่ (3)) โดยบังคับให้กราฟตัดที่จุด (0,0) สำหรับ PM₁₀

พารามิเตอร์	ข้อมูลเฉพาะวัน ธรรมดา สมการ (9)	ข้อมูล ทั้งหมด สมการ (3)	ผลการเปรียบเทียบ
Slope	0.309	0.272	เข้าใกล้ 1 มากขึ้นเล็กน้อย
Pearson correlation R^2	0.948 0.899	0.959 0.921	ความสัมพันธ์ลดลง ความสามารถในการอธิบายการกระจายของข้อมูลลดลง เล็กน้อย
RMSE, มคก./ลบ.ม.	10.02	9.00	ความผิดพลาดเพิ่มขึ้น
MAPE, ร้อยละ	33.36	26.36	ความแตกต่างระหว่างการเก็บตัวอย่าง 2 วิธีมากขึ้น

จากตารางที่ 12 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีความใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด โดยค่าความชัน RMSE และ MAPE เพิ่มขึ้น และค่าความสัมพันธ์ของข้อมูล และ R^2 ลดลงเพียงเล็กน้อย จากนั้นทำการทดสอบสมการถดถอยที่ได้โดยการนำค่าที่อ่านได้จากเครื่อง DustTrak II ไปแทนค่า x ในสมการที่ (9) จะได้กราฟกระจายของข้อมูลและเส้นสมการถดถอยดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 ผลการทดสอบสมการปรับแก้สำหรับ PM₁₀

จากภาพ 34 จะเห็นว่าความชันของสมการถดถอยมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสมการถดถอยในการปรับแก้ให้ผลตรวจวัดได้ใกล้เคียงกับวิธีเชิงน้ำหนัก ข้อมูลมีการกระจายรอบเส้นตรงความชัน 45 องศา แต่การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของตัวแบบการถดถอยเชิงเส้น พบว่าค่า ส่วนเหลือกระจายออกห่างจากเส้นตรงที่ความชัน 45 องศา แสดงว่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ และความคลาดเคลื่อนไม่คงที่มีค่าการกระจายออกห่างจากศูนย์แสดงในภาคผนวก (ง) ดังนั้น สมการที่ (3) จึงมีความเหมาะสมกว่า เนื่องจากการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของตัวแบบการถดถอยเชิงเส้น มีความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ ค่าเฉลี่ยของคลาดเคลื่อนสุ่มเป็นศูนย์ และความแปรปรวนคงที่

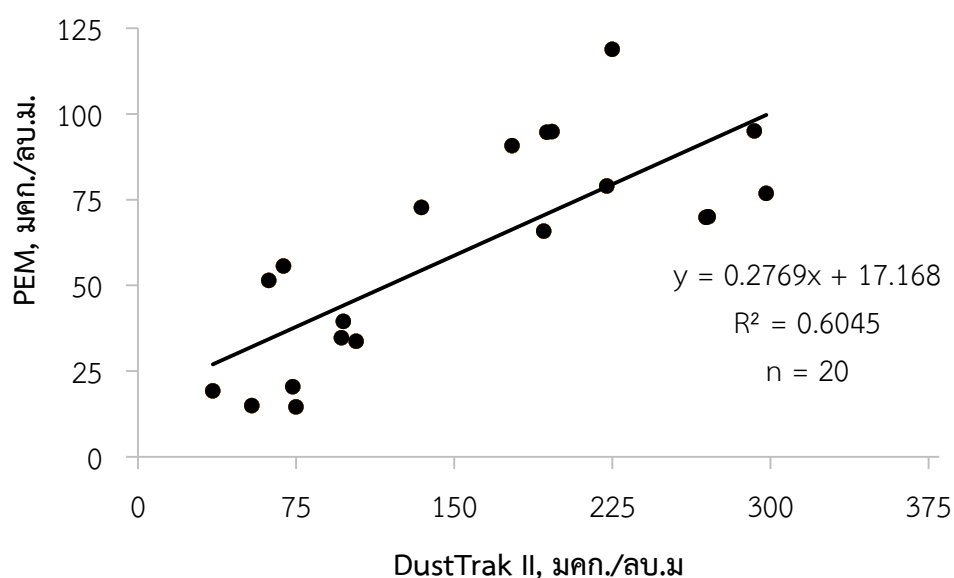
4.2.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัด PM_{2.5} เฉพาะวันธรรมดาด้วยวิธีเชิงน้ำหนักกับวิธีอัตโนมัติ

สำหรับ PM_{2.5} การได้มาซึ่งสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่ใช้ปรับแก้ความเข้มข้นที่ได้จากเครื่อง DustTrak II ให้เป็นความเข้มข้นเชิงน้ำหนักนั้นมีขั้นตอนเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.1.2.2 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด PM_{2.5} เฉพาะวันธรรมดาด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติแสดงดังภาพที่ 35

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับสมการที่ (10) แสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลดิบวันธรรมดา (สมการที่ (10)) เปรียบเทียบกับการใช้ข้อมูลดิบทั้งหมด (สมการที่ (4)) สำหรับ PM_{2.5}

พารามิเตอร์	ข้อมูลเฉพาะวัน ธรรมดา สมการ (10)	ข้อมูล ทั้งหมด สมการ (4)	ผลการเปรียบเทียบ
Slope	0.277	0.248	เข้าใกล้ 1 มากขึ้นเล็กน้อย
Pearson correlation R^2	0.777	0.768	ความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย
R^2	0.907	0.590	ความสามารถในการอธิบายการกระจายของข้อมูลเพิ่มขึ้น
RMSE, มคก./ลบ.ม.	20.01	17.59	ความผิดพลาดเพิ่มขึ้น
MAPE, ร้อยละ	17.04	34.87	ความแตกต่างระหว่างการเก็บตัวอย่าง 2 วิธีลดลง



ภาพที่ 35 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด PM_{2.5} เฉพาะวันธรรมดาด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติ

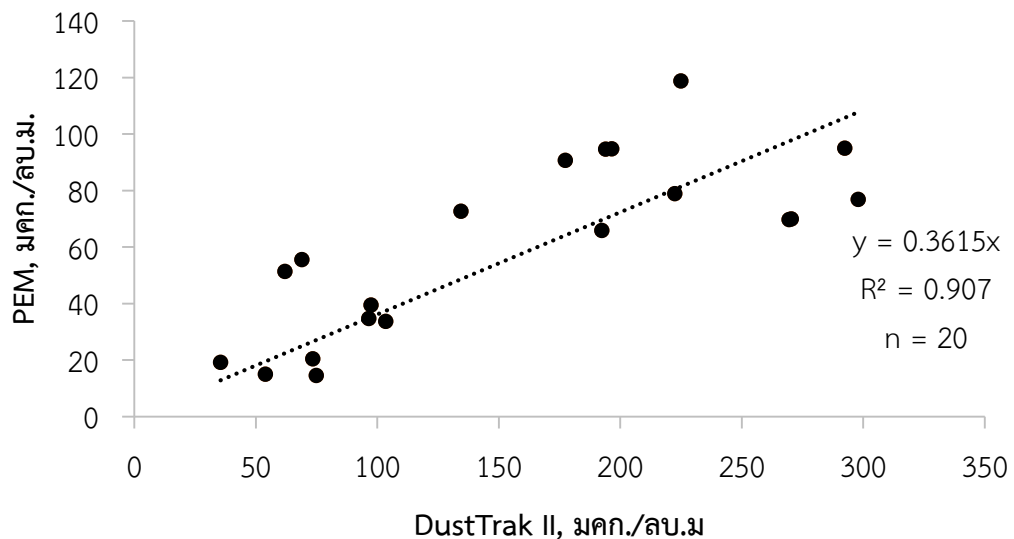
$$y = 0.2769x + 17.168$$

$$(10)$$

เมื่อ y - ค่าที่ทำการปรับแก้จากเครื่อง DustTrak II ให้เป็นค่าจากวิธีเชิงน้ำหนัก

x - ค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่อง DustTrak II

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า สมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้ยังอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากวิธีการตรวจวัดทั้งสองวิธีได้ไม่ด้นักเช่นเดียวกับ PM_{10} จึงทำการปรับสมการถดถอยเชิงเส้นให้ตัดแกนที่จุดตัด $(0,0)$ จะได้เส้นกราฟและสมการใหม่ดังภาพที่ 36 และสมการที่ (11)



ภาพที่ 36 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ เฉพาะวันธรรมดาด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติเมื่อมีจุดตัดที่ $(0,0)$

(11)

$$y = 0.3615x$$

เมื่อ y - ค่าที่ทำการปรับแก้จากเครื่อง DustTrak II ให้เป็นค่าจากวิธีเชิงน้ำหนัก

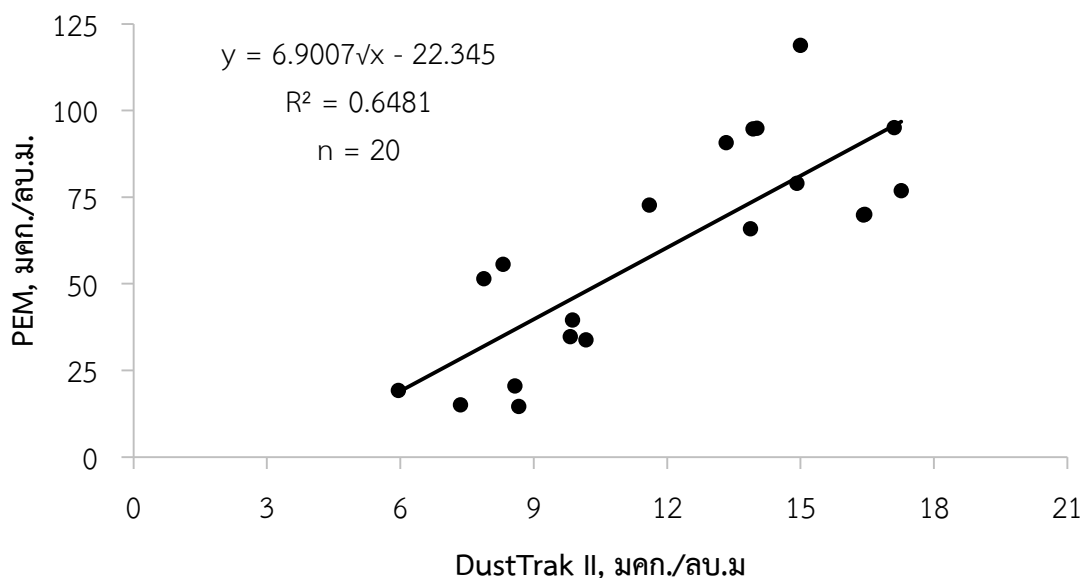
x - ค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่อง DustTrak II

จากรูปที่ 4.15 พารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าเปลี่ยนไปดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวันธรรมดา (สมการที่ (11)) เปรียบเทียบกับข้อมูลทั้งหมด (สมการที่ (5)) โดย บังคับให้กราฟตัดที่จุด (0,0) สำหรับ PM_{2.5}

พารามิเตอร์	ข้อมูลเฉพาะวัน ธรรมดา สมการ (11)	ข้อมูล ทั้งหมด สมการ (5)	ผลการเปรียบเทียบ
Slope	0.362	0.346	เข้าใกล้ 1 มากขึ้นเล็กน้อย
Pearson correlation	0.952	0.946	ความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย
R ²	0.907	0.895	ความสามารถในการอธิบายการกระจายของข้อมูลลดลง เล็กน้อย
RMSE, มคก./ลบ.ม.	21.20	19.84	ความผิดพลาดเพิ่มขึ้น
MAPE, ร้อยละ	14.99	28.70	ความแตกต่างระหว่างการเก็บตัวอย่าง 2 วิธีลดลง

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าที่ใกล้เคียงกับสมการที่ (5) แต่เมื่อทำการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของตัวแบบการถดถอยเชิงเส้น พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ มีค่าการกระจายออกห่างจากศูนย์ ดังภาคผนวก (ง) จึงต้องทำการปรับสมการถดถอยเชิงเส้นใหม่ โดยการนำความเข้มข้นที่ได้จากเครื่อง DustTrak II มาหารากที่สองเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.1.2.2 แล้วจึงเขียนกราฟการกระจายของข้อมูลใหม่ดังภาพที่ 37 และได้สมการถดถอยใหม่ดังสมการที่ (12)



ภาพที่ 37 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด PM_{2.5} เฉพาะวันธรรมดาด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก และรากที่ 2 ของค่าที่อ่านได้จากวิธีอัตโนมัติ

$$y = 6.9007\sqrt{x} - 22.35 \quad (12)$$

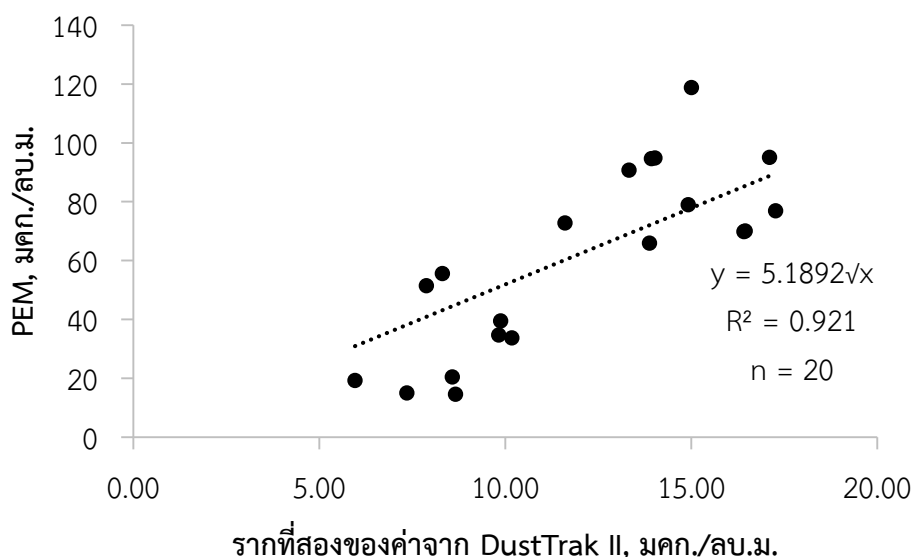
- เมื่อ y - ค่าที่ทำการปรับแก้จากเครื่อง DustTrak II ให้เป็นค่าจากวิธีเชิงน้ำหนัก
 x - ค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องเครื่อง DustTrak II

จากภาพที่ 37 พารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าเปลี่ยนไปดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวันธรรมดา (สมการที่ (12)) เปรียบเทียบกับข้อมูลทั้งหมด (สมการที่ (6)) โดยใช้รากที่ 2 สำหรับ $PM_{2.5}$

พารามิเตอร์	ข้อมูลเฉพาะวัน ธรรมดา สมการ (12)	ข้อมูล ทั้งหมด สมการ (6)	ผลการเปรียบเทียบ
Slope	6.901	6.186	เข้าใกล้ 1 มากขึ้นเล็กน้อย
Pearson correlation R^2	0.805	0.785	ความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย
R^2	0.648	0.616	ความสามารถในการอธิบายการกระจายของข้อมูลเพิ่มขึ้นเล็กน้อย
RMSE, มคก./ลบ.ม.	18.88	17.01	ความผิดพลาดเพิ่มขึ้น
MAPE, ร้อยละ	75.25	74.84	ความแตกต่างระหว่างการเก็บตัวอย่าง 2 วิธีมากขึ้นเล็กน้อย

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า สมการที่ (12) มีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าดีกว่า สมการที่ (6) ยกเว้น MAPE ที่มีค่าสูงมาก และยังไม่เหมาะสำหรับการนำมาใช้ จึงต้องทำการปรับสมการถดถอยเชิงเส้นใหม่อีกครั้ง โดยปรับสมการถดถอยเชิงเส้นให้ตัดแกนที่จุดตัด (0,0) แล้วเขียนกราฟการกระจายของข้อมูลใหม่ดังแสดงในภาพที่ 38 และได้สมการถดถอยใหม่ดังสมการที่ (13)



ภาพที่ 38 กราฟการกระจายข้อมูลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ เฉพาะวันธรรมดาด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก และรากที่ 2 ของค่าที่อ่านได้จากวิธีอัตโนมัติเมื่อมีจุดตัดที่ (0,0)

$$y = 5.1892\sqrt{x} \quad (13)$$

เมื่อ y - ค่าที่ทำการปรับแก้จากเครื่อง DustTrak II ให้เป็นค่าจากวิธีเชิงน้ำหนัก
 x - ค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องเครื่อง DustTrak II

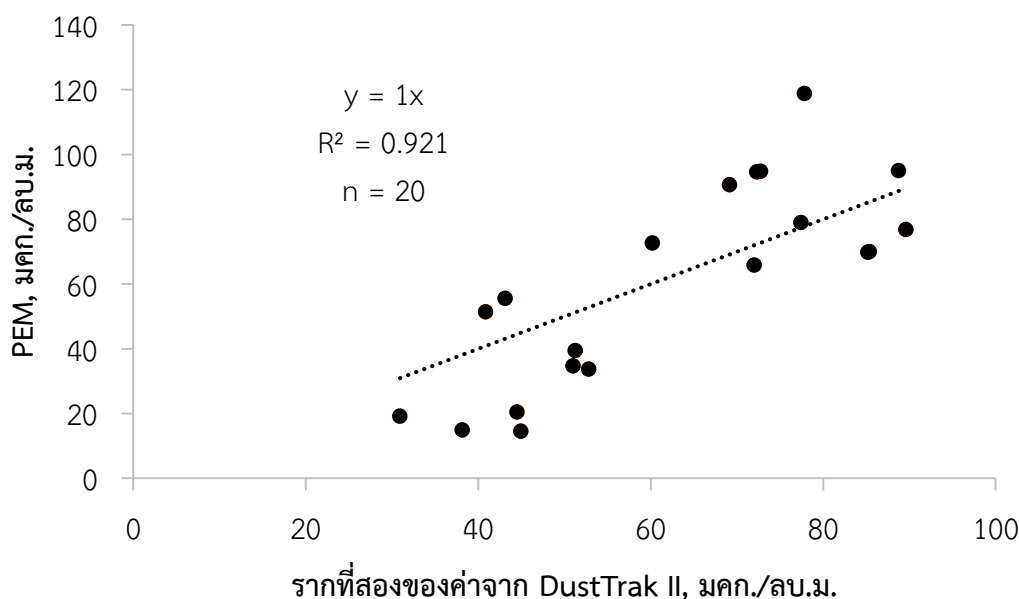
จากภาพที่ 38 พารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าเปลี่ยนไปดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวันธรรมดา (สมการที่ (13)) เปรียบเทียบกับข้อมูลทั้งหมด (สมการที่ (7)) โดยใช้รากที่ 2 และบังคับให้กราฟตัดที่จุด (0,0) สำหรับ PM_{2.5}

พารามิเตอร์	ข้อมูลเฉพาะวัน ธรรมดา สมการ (13)	ข้อมูล ทั้งหมด สมการ (7)	ผลการเปรียบเทียบ
Slope	5.819	4.848	ออกห่าง 1 มากขึ้น
Pearson correlation R^2	0.960	0.958	ความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย
RMSE, มคก./ลบ.ม.	19.47	17.46	ความสามารถในการอธิบายการกระจายของข้อมูลเพิ่มขึ้น เล็กน้อย
MAPE, ร้อยละ	45.85	39.02	ความผิดพลาดเพิ่มขึ้น ความแตกต่างระหว่างการเก็บตัวอย่าง 2 วิธีมากขึ้น

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า สมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้มีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เหมาะสมมากขึ้น จึงทำการทดสอบสมการถดถอยที่ได้โดยการนำค่าที่อ่านได้จากเครื่อง DustTrak II ไปแทนค่า x ในสมการที่ (13) จะได้กราฟกระจายของข้อมูลและเส้นสมการถดถอยดังภาพที่ 39





ภาพที่ 39 ผลการทดสอบสมการปรับแก้สำหรับ PM_{2.5}

จากภาพ 39 จะเห็นได้ว่าความชันของสมการถดถอยมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสมการถดถอยปรับแก้ให้ผลตรวจวัดใกล้เคียงกับวิธีเชิงน้ำหนัก ข้อมูลมีการกระจายรอบเส้นตรงความชัน 45 องศา แต่เมื่อทำการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของตัวแบบการถดถอยเชิงเส้น พบว่าค่า ส่วนเหลือกระจายออกจากเส้นตรงที่ความชัน 45 องศา ไม่เป็นเส้นตรง แสดงว่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ และความคลาดเคลื่อนไม่คงที่มีค่าการกระจายออกจากศูนย์ ดังนั้น สมการที่ (13) จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ จึงควรเลือกใช้สมการที่ (7) ซึ่งมีความเหมาะสมมากกว่า ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสุ่มคงที่ และความแปรปรวนคงที่ (ภาคผนวก (ง))

จากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลการเก็บตัวอย่างทั้งหมดกับข้อมูลการเก็บตัวอย่างเฉพาะวันธรรมดาของทั้ง PM₁₀ และ PM_{2.5} พบว่า การวิเคราะห์ข้อมูลการเก็บตัวอย่างทั้งหมดมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดีกว่า โดยมีความแม่นยำและความใกล้เคียงกับวิธีอ้างอิงมากกว่า ข้อมูลมีจำนวนมากกว่า (มีความน่าเชื่อถือมากกว่า) ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในสูงกว่า ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งสมการถดถอยเชิงเส้นที่เหมาะสมคือสมการที่ (3) สำหรับ PM₁₀ และสมการที่ (7) ที่สำหรับ PM_{2.5}

4.3 วิจารณ์ผลการศึกษา

4.3.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละออง

ผู้วิจัยได้นำค่าความเข้มข้นของ PM_{2.5} ไปเปรียบเทียบกับผลการศึกษาอื่น ๆ ที่ใช้เครื่อง DustTrak เปรียบเทียบกับวิธีเชิงน้ำหนัก และเก็บตัวอย่างในสถานศึกษาเช่นเดียวกับ

การศึกษานี้ ยกตัวอย่างเช่น การศึกษาของ Yanosky, Williams, and MacIntosh (2002) ซึ่งใช้เครื่อง PQ200 ซึ่งเป็นวิธีเชิงน้ำหนักที่เป็น FRM และเครื่อง DustTrak 8520 ในการตรวจวัด PM_{2.5} ในสถานศึกษาเช่นกัน โดยติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดไว้ในอาคารวิทยาศาสตร์สุขภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยจอร์เจีย เมืองเอเธนส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยตรวจวัดทุก 30 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง พบความเข้มข้นจากวิธีเชิงน้ำหนักอยู่ในช่วง 5.0 – 20.4 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และจากเครื่อง DustTrak 8520 อยู่ในช่วง 11.12 – 50.70 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเมื่อเทียบกับการศึกษานี้ พบว่ามีค่าต่ำกว่าการศึกษานี้มาก ทั้งนี้เนื่องมาจากสถานที่เก็บตัวอย่างในการศึกษาของ Yanosky et al. (2002) ไม่มีคนผ่านไปมาเป็นประจำ นอกจากนี้ยังมีการเปิดหน้าต่างระบายอากาศอยู่ตลอดเวลา และไม่มีแหล่งกำเนิดภายในอาคาร ซึ่งต่างจากบริเวณโถงชั้น 5 อาคารวิทยาศาสตร์ 4 ซึ่งมีอาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษาเดินผ่านเครื่องมือตรวจวัดไปมาตลอดวัน มีแหล่งกำเนิดภายในอาคาร เช่น การบดดิน การเผาขยะในเตาเผา เป็นต้น และมีการระบายอากาศต่ำอีกด้วย เนื่องจากจุดตรวจวัดตั้งอยู่บนชั้น 5 ซึ่งเป็นชั้นสูงสุดของอาคาร เป็นเหตุให้อากาศร้อนจากภายนอกอาคารเมื่อเข้ามาภายในอาคารจะยกตัวสูงขึ้นทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละอองในบริเวณที่เก็บตัวอย่าง ประกอบกับการมีช่องเปิดน้อยมาก การเจือจางของอากาศจึงน้อยตามไปด้วย แต่สิ่งที่สอดคล้องกับการศึกษานี้คือ ผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง DustTrak 8520 ให้ค่าที่สูงกว่าวิธีเชิงน้ำหนักเช่นเดียวกับการศึกษานี้ โดยพบความแตกต่างประมาณ 2.2 – 2.5 เท่า ซึ่งใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Ravis et al. (2017) ที่ศึกษาความเข้มข้นของ PM_{2.5} ในโรงเรียนจำนวน 39 แห่งในเมืองบาร์เซโลนา ประเทศสเปน โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างชนิดแรงดูดสูง (High volume air sampler เป็นวิธีเชิงน้ำหนักซึ่งเป็น FRM เทียบกับเครื่อง DustTrak 8533 โดยเก็บตัวอย่างเฉพาะเวลากลางวัน 8 ชั่วโมง ตั้งแต่ 9:00 – 17:00 น. ผลการศึกษาพบว่า วิธีเชิงน้ำหนักมีค่าความเข้มข้นของ PM_{2.5} เท่ากับ 10 – 111 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าใกล้เคียงกับการศึกษานี้ แต่ด้วยเหตุผลที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ความเข้มข้นของ PM_{2.5} ในการศึกษาของ Ravis et al. (2017) มีค่าสูงมีสาเหตุมาจากกิจกรรมการเล่นของเด็กนักเรียนในสนามเด็กเล่นที่มีพื้นเป็นทราย จึงเกิดการกระจายของฝุ่นขนาดต่าง ๆ อย่างไม่รู้ทิศทาง คณะผู้วิจัยได้รายงานว่า ผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง DustTrak 8533 ให้ผลการศึกษาที่สูงกว่าวิธีเชิงน้ำหนักเช่นกัน โดยสูงกว่าประมาณ 3 เท่า ซึ่งมีค่าสูงกว่าการศึกษานี้เล็กน้อย

การศึกษาของ Cheng et al. (2008) เกี่ยวกับฝุ่นละอองในระบบการขนส่งมวลชนในไทเป โดยเก็บตัวอย่าง PM₁₀ และ PM_{2.5} ภายในรถไฟและบนชานชาลาสถานีรถไฟ ใช้เครื่อง DustTrak 8520 ทำการปรับเทียบกับเครื่องเก็บตัวอย่าง Met One BAM 1020 ซึ่งเป็นวิธีเทียบเคียง โดยเก็บตัวอย่างภายในสถานีหลักของไทเป ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ PM₁₀ และ PM_{2.5} จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง DustTrak 8520 ให้ผลตรวจวัดที่สูงกว่าวิธีเทียบเคียงถึง 2.0 และ 2.2 เท่าตามลำดับ

การศึกษาของ Branis (2006) เกี่ยวกับการตรวจวัด PM₁₀ ภายในรถไฟใต้ดินและบริเวณชานชาลา ในกรุงปราก ประเทศสาธารณรัฐเช็ก โดยใช้เครื่อง DustTrak 8520 เก็บตัวอย่าง

เทียบกับเครื่อง Beta-ray ซึ่งเป็นวิธีเทียบเคียง โดยเก็บตัวอย่างช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน ผู้วิจัยพบว่า เครื่อง DustTrak 8520 ให้ผลตรวจวัดสูงกว่าวิธีเทียบเคียงถึง 1.87 และ 3.46 เท่า

ในการศึกษานี้ ถึงแม้จะใช้เครื่อง DustTrak คนละรุ่นกับงานวิจัยที่ผ่านมา แต่ก็พบว่า ผลการตรวจวัดที่ได้จากเครื่อง DustTrak II 8530 ให้ค่าที่สูงกว่าวิธีอ้างอิงและวิธีเทียบเคียง เช่นเดียวกับการศึกษาอื่น ๆ ที่ผ่านมา

4.3.2 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

งานวิจัยก่อนหน้าที่เกี่ยวกับการเปรียบเทียบผลการตรวจวัดฝุ่นละอองระหว่างวิธี เชงน้ำหนักกับวิธีอื่น ๆ มีอยู่หลายชิ้น แต่ตรวจวัดในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไป โดยผลการ หาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง ในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่ได้จากการศึกษาในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ

ผู้เขียน	DustTrak	ขนาด	วิธีเปรียบเทียบ (เครื่องมือ)	สถานที่ตั้ง	สมการที่ได้	ช่วงความเข้มข้น (หน่วย ไมโครกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร)	ค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสิ้นใจ (R^2)
Yanosky et al. (2002)	8520	PM _{2.5}	เชงน้ำหนัก (QP 200)	อาคารอนามัย สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยจอร์เจีย ประเทศสหรัฐอเมริกา	$y = 0.33x + 2.25$	5 - 20.4	0.859
Morawska et al. (2003)	8520	PM _{2.5}	เชงน้ำหนัก TEOM	ภายในบ้านพักอาศัย เมืองบรีสเบน ประเทศออสเตรเลีย 14 หลัง	$y = 0.394x + 4.450$	5.6 - 15.3	0.830
Branis (2006)	8520	PM ₁₀	Beta-ray attenuation (Dichotomous sampler)	ในรถไฟใต้ดินและ บริเวณชานชาลา ใน กรุงปราก ประเทศ สาธารณรัฐเช็ก	ฤดูหนาว $y = 3.46x - 3.99$ ฤดูร้อน $y = 1.87x + 1.04$	10 - 100	0.730 0.970
Cheng et al. (2008)	8520	PM _{2.5} PM ₁₀	Beta-ray (E-Bam)	ระบบขนส่งในไทเป	PM ₁₀ : $y = 0.54x + 4.17$ PM _{2.5} : $y = 0.46x + 3.68$	10 - 137 8 - 100	0.960 0.900
Goossens and Buck (2012)	8520 8533	PM ₁₀	Big Spring Number Eight (BNSE) sampler	อุโมงค์ลม	$y = 0.192x + 0.173$	0 - 2	0.988
Li et al. (2017)	8530	PM _{2.5}	Q-trak	ระบบขนส่งมวลชนของฮ่องกง	ป้ายรถโดยสารแบบเปิด ฤดูหนาว $y = 1.14x + 1.7$ ฤดูร้อน $y = 0.38x + 3.8$ รถมินิบัส ฤดูหนาว $y = 0.78x + 6.9$ ฤดูร้อน $y = 0.05x + 9.7$ รถบัสสองชั้น ฤดูหนาว $y = 0.71x + 14.4$ ฤดูร้อน $y = 0.26x + 11.5$ สถานีรถไฟฟ้า ฤดูหนาว $y = 1.13x + 0.5$ ฤดูร้อน $y = 0.33x + 7.1$ รถไฟฟ้า (ใต้ดิน) ฤดูหนาว $y = 0.53x + 10.6$ ฤดูร้อน $y = 0.34x + 8.6$	15 - 150	0.86 0.07 0.66 0.001 0.74 0.01 0.91 0.08 0.74 0.12

ผู้เขียน	DustTrak	ขนาด	วิธีเปรียบเทียบ (เครื่องมือ)	สถานที่ตั้ง	สมการที่ได้	ช่วงความเข้มข้น (หน่วย ไมโครกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร)	ค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสิ้นใจ (R^2)
					รถไฟฟ้า (บนดิน)		
					ฤดูหนาว $y=0.88x+3.7$		0.64
					ฤดูร้อน $y=0.16x+15.2$		0.0009

จากที่ผู้วิจัยได้กล่าวว่า สมการถดถอยที่ได้นี้ ใช้ได้เฉพาะเจาะจงสำหรับสถานที่ที่เป็นสถานศึกษา และมีลักษณะต่าง ๆ ใกล้เคียงกับสถานที่เก็บตัวอย่างในการศึกษานี้เท่านั้น สมการถดถอยจากการศึกษาก่อนหน้า (ตารางที่ 10) สนับสนุนข้อสรุปนี้ ยกตัวอย่างเช่น การศึกษาของ Branis (2006) และ Li et al. (2017) ซึ่งเก็บตัวอย่างในสถานที่เดิม แต่ต่างฤดูกาล สมการถดถอยที่ได้ก็จะแตกต่างกัน นอกจากนี้ สมการถดถอยที่ได้จากการศึกษาของ Li et al. (2017) ที่ใช้เครื่องมือแบบเดียวกันแต่เก็บตัวอย่างต่างสถานที่กัน ก็จะได้สมการถดถอยที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้ อาจกล่าวได้ว่า สภาพแวดล้อมทั้งในด้านอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม การใช้อาคาร ล้วนมีผลต่อสมการถดถอยที่ได้ทั้งสิ้น



บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

การศึกษาการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาด PM_{10} และ $PM_{2.5}$ โดยวิธีอัตโนมัติแบบเรียลไทม์ด้วย DustTrak II 8530 ภายในสถานศึกษา ให้ผลการตรวจวัดสูงกว่าวิธีเชิงน้ำหนัก (วิธีอ้างอิง) ดังนั้นในการนำเครื่องมือนี้ไปใช้จึงต้องปรับแก้ค่าที่ได้ด้วยสมการถดถอย เพื่อให้ค่าใกล้เคียงกับวิธีอ้างอิงมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ในการศึกษาเมื่อทำการปรับแก้สมการถดถอยเชิงเส้นใหม่ด้วยวิธีทางสถิติ แล้วพบว่า การวิเคราะห์ข้อมูลผลการเก็บตัวอย่างที่ใช้ข้อมูลทั้งวันธรรมดาและวันหยุดให้สมการถดถอยที่มีความแม่นยำมากกว่า และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับวิธีอ้างอิงมากกว่าการวิเคราะห์ข้อมูลการเก็บตัวอย่างเฉพาะวันธรรมดา โดยความถูกต้องของข้อมูลอธิบายได้ด้วยค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลที่สูงขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในระดับร้อยละ 90 ค่าความผิดพลาดของรากกำลังสองเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ร้อยละค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยลดน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด และการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นมีความคลาดเคลื่อนแบบแจกแจงปกติ การกระจายของส่วนเหลืออยู่รอบๆ ศูนย์ ลักษณะคองที่เมื่อพยากรณ์เพิ่มขึ้น แสดงว่าค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสุ่มเป็นศูนย์ และความแปรปรวนคงที่

ความแตกต่างระหว่างผลการตรวจวัดด้วยวิธีอัตโนมัติและวิธีเชิงน้ำหนักนั้นมีหลากหลายปัจจัยที่มีอิทธิพล ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 หลักการเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกัน โดยวิธีเชิงน้ำหนักใช้หลักการดึงอากาศผ่านกระดาษกรอง โดยการคำนวณหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองได้จากผลต่างระหว่างน้ำหนักของกระดาษกรองก่อนและหลังเก็บตัวอย่างหารด้วยปริมาตรของอากาศในการเก็บตัวอย่าง ส่วนวิธีอัตโนมัติแบบเรียลไทม์ใช้หลักการกระเจิงแสง โดยการใช้เลเซอร์ส่องไปยังอนุภาคที่ผ่านการดึงอากาศจากภายนอกเข้ามา ทำให้เกิดการหักเหของแสงไปยังตัวรับแสงแล้วประมวลผลแบบเรียลไทม์ได้ ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้แตกต่างกันทั้งการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผลการตรวจวัด นอกจากนี้ เครื่อง DustTrak II ยังตรวจวัดอนุภาคของไอน้ำที่มีลักษณะเป็นมิสต์ (Mist) ว่าเป็นฝุ่นละอองด้วย จึงให้ผลการตรวจวัดที่สูงกว่าวิธีเชิงน้ำหนักซึ่งความชื้นในอากาศไม่มีผลต่อการตรวจวัด

5.1.2 วิธีอัตโนมัติแบบเรียลไทม์อาจเกิดการโคตของข้อมูล การสอบเทียบของเซ็นเซอร์ อัตราการไหล การสอบเทียบที่ไม่ถูกต้อง หรือความแตกต่างความไวขององค์ประกอบแสง

เครื่อง DustTrak II 8530 เป็นเครื่องมืออัตโนมัติแบบเรียลไทม์มีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดีนั้นคือการใช้งานสะดวกและรายงานผลรวดเร็ว เครื่องมือมีขนาดเล็กง่ายต่อการพกพา ราคาไม่สูงมากนัก วิธีการใช้งานไม่ยุ่งยาก สามารถใช้ได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ซึ่งภายนอกอาคารอาจจะต้องมีอุปกรณ์ป้องกันจากสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น ฝน ความร้อน กั้นกระแทก เป็นต้น แต่มีข้อเสียคือมีความคลาดเคลื่อนในตัวของผู้ประกอบการเมื่อเทียบกับวิธีอ้างอิงหรือวิธีเทียบเคียง ดังนั้นในหลายงานวิจัยที่นำเครื่องมือเหล่านี้ไปใช้จึงทำการตรวจวัดเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานที่มีการยอมรับเพื่อหาความถูกต้อง แม่นยำ และมีความน่าเชื่อถือก่อนนำไปใช้อย่างระมัดระวังเช่นเดียวกับการศึกษา นี้ ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือการบำรุงรักษารายปีจะต้องกระทำโดยผู้เชี่ยวชาญหรือทางบริษัทผู้ผลิตเท่านั้น เพื่อให้เครื่องมือให้มีความสมบูรณ์พร้อมใช้งาน

5.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเก็บตัวอย่างเฉพาะวันธรรมดา มีความแตกต่างของจำนวนข้อมูลที่น้อยกว่า หรือข้อมูลไม่เพียงพอที่จะครอบคลุมในแต่ละช่วงของการเก็บตัวอย่าง จึงมีผลทำให้ส่วนเหลือกระจายห่างออกจากเส้นตรงที่ความชื้น 45 องศา ความคลาดเคลื่อนแบบแจกแจงไม่ปกติ การกระจายส่วนเหลือที่ห่างของจากศูนย์ ความแปรปรวนไม่คงที่ เมื่อเทียบการวิเคราะห์ข้อมูลเก็บตัวอย่างทั้งหมด

5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาในอนาคต

5.2.1 เพิ่มการทดสอบปัจจัยที่ทำให้ผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องมือวัด DustTrak II 8530 เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มแสงโดยรอบ ความเร็วของลม สภาพแวดล้อมที่ต่าง ๆ โดยทำในห้องควบคุม (Chamber)

5.2.2 เก็บตัวอย่างในสภาพแวดล้อมอื่น ๆ และหาสมการถดถอยเพื่อใช้งานในหลากหลายสภาพแวดล้อม

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการศึกษา

5.3.1 เนื่องจากการศึกษานี้ใช้เวลาในการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง จึงเกิดปัญหาปัดอากาศไม่สามารถทำงานจนครบ 24 ชั่วโมง ได้ ทำให้ตัวอย่างนั้นเสียไป ไม่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ได้ ต้องทำการเก็บตัวอย่างซ่อม ซึ่งเป็นการเสียเวลาและทรัพยากร

5.3.2 ปัญหาไฟดับหรือไฟตกทำให้การเก็บตัวอย่างไม่ต่อเนื่องครบ 24 ชั่วโมง จึงไม่สามารถนำตัวอย่างนั้นมาใช้วิเคราะห์ได้เช่นกัน

5.3.3 การอุดตันของ Internal filter ของเครื่อง DustTrak ซึ่งถึงแม้จะเก็บตัวอย่างในสภาพแวดล้อมที่เป็นสถานศึกษา ไม่มีแหล่งกำเนิดที่เข้มข้น (Strong source) แต่ก็ยังมีปัญหาการอุดตันเกิดขึ้นในระหว่างทำการศึกษา

5.3.4 อาจเกิดการหลุดร่วงของฝุ่นจากกระดาดากรองในระหว่างทำการเคลื่อนย้ายหรือขนส่ง โดยเฉพาะตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของฝุ่นสูง (ในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างมีช่วงที่ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในประเทศไทยขึ้นสูงเกินค่ามาตรฐานหลายเท่า)

5.3.5 การบำรุงรักษาต้องทำทุกปีโดยบริษัทผู้ผลิตซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง



รายการอ้างอิง

- Braniš, M. (2006). The contribution of ambient sources to particulate pollution in spaces and trains of the Prague underground transport system. *Atmospheric Environment*, 40(2), 348-356. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231005008903>. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.09.060>
- Cheng, Y.-H., Lin, Y.-L., & Liu, C.-C. (2008). Levels of PM₁₀ and PM_{2.5} in Taipei Rapid Transit System. *Atmospheric Environment*, 42(31), 7242-7249. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231008006444>. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.011>
- Holstius, D.M., Pillarisetti, A., S., K.R., & Seto, E. (2014). Field calibrations of a low-cost aerosol sensor at a regulatory monitoring site in California. *Atmospheric Measurement Techniques*, 7, 1121-1131.
- L McNamara, M., W Noonan, C., & J Ward, T. (2011). *Correction Factor for Continuous Monitoring of Wood Smoke Fine Particulate Matter* (Vol. 11).
- Language, B., Piketh, S., & Burger, R. (2016). *Correcting respirable photometric particulate measurements using a gravimetric sampling method* (Vol. 26).
- Liu, D., Zhang, Q., Jiang, J., & Chen, D.-R. (2017). Performance calibration of low-cost and portable particulate matter (PM) sensors. *Journal of Aerosol Science*, 112, 1-10. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021850217300848>. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2017.05.011>
- Morawska, L., He, C., Loveday, J., Mengersen, K., & Gilbert, D. (2003). *Characteristics of particle number and mass concentrations in residential houses in Brisbane, Australia* (Vol. 37).
- Rivas, I., Mazaheri, M., Viana, M., Moreno, T., Clifford, S., He, C., . . . Querol, X. (2017). Identification of technical problems affecting performance of DustTrak DRX aerosol monitors. *Science of the Total Environment*, 584-585, 849-855. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85028259592&doi=10.1016%2fj.scitotenv.2017.01.129&partnerID=40&md5=1ddf2d28db7ba7785999bc52ce3ebd2e>. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.01.129
- Tasić, V., Jovašević-Stojanović, M., Vardoulakis, S., Milošević, N., Kovačević, R., & Petrović,

- J. (2012). Comparative assessment of a real-time particle monitor against the reference gravimetric method for PM₁₀ and PM_{2.5} in indoor air. *Atmospheric Environment*, 54, 358-364. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231012001458>. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.02.030>
- Yanosky, J. D., Williams, P. L., & MacIntosh, D. L. (2002). A comparison of two direct-reading aerosol monitors with the federal reference method for PM_{2.5} in indoor air. *Atmospheric Environment*, 36(1), 107-113. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231001004228>. doi:[https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00422-8](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00422-8)
- กรมอนามัย. (2557). เครื่องมือวิทยาศาสตร์ภาคสนามพื้นฐานในงานด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม (2 ed.). กรุงเทพฯ: สำนักงานอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- กรมอนามัย. (2558). แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงจากมลพิษทางอากาศ กรณีฝุ่นละอองขนาดเล็ก. กรุงเทพฯ: สำนักงานอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- กรมอนามัย. (2559). คู่มือการปฏิบัติงานเพื่อตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร สำหรับเจ้าหน้าที่. กรุงเทพฯ: สำนักงานอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- กัญญา, ม. (Producer). (2559). คุณภาพอากาศภายในสำนักงาน.
- จักรกฤษณ์, ศ. (2555). 54113 สุขศาสตร์อุตสาหกรรม: การประเมิน (4 ed.). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.
- ชัชชา, ร. (2559). ฝุ่นละอองและผลต่อสุขภาพ. Retrieved from [http://www.stou.ac.th/studysumrit/6-59\(500\)/page2-6-59\(500\).html](http://www.stou.ac.th/studysumrit/6-59(500)/page2-6-59(500).html)
- พัชรารัตน์, ศ. (2557). ฝุ่นละอองในบรรยากาศ [เอกสารประกอบการสอนรายวิชาการวิเคราะห์มลพิษ คณาสสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล]. Retrieved from http://www.en.mahidol.ac.th/elearning/upload/Dust_Pacharawadee.pdf
- มนตรี, ช. (2557). ความรู้พื้นฐานฝุ่นละอองในอากาศ. Retrieved from http://www.en.mahidol.ac.th/elearning/upload/Dust_Montri.pdf
- วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสณีย์, นิตยา มหาผล, & ชีระ, เ. (2540). มลภาวะอากาศ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายสิรภพ พินิจการ
วัน เดือน ปี เกิด	11 เมษายน 2534
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต
ที่อยู่ปัจจุบัน	58/96 หมู่ 4 ต.ธรรมศาลา อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

