



สมการปรับแก้สำหรับ PM_{10} PM_4 และ $PM_{2.5}$ ภายในอาคารที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีกระจ่างแสง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

สมการปรับแก้สำหรับ PM_{10} PM_4 และ $PM_{2.5}$ ภายในอาคารที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีกระจ่างแสง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

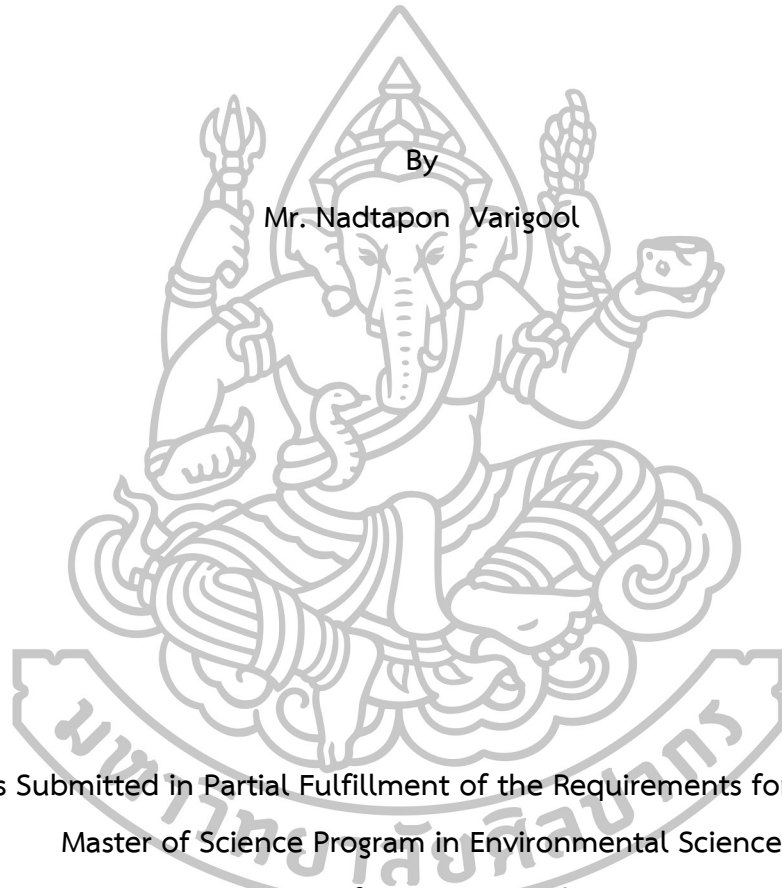
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

THE CORRECTION EQUATIONS FOR INDOOR PM_{10} , PM_4 AND $PM_{2.5}$ OBTAINED
FROM GRAVIMETRIC AND LIGHT SCATTERING METHODS.

By
Mr. Nadtapon Varigool



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree
Master of Science Program in Environmental Science
Department of Environmental Science
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2015
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “สมการปรับแก้สำหรับ PM₁₀ PM₄ และ PM_{2.5} ภายในอาคารที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีกระจ่างแสง” เสนอโดย นายณัฐพล วริกุล เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังกศิริ ทิพยารมณ

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กัณษริย์ ศรีวงศ์พันธุ์)

...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อันแดง)

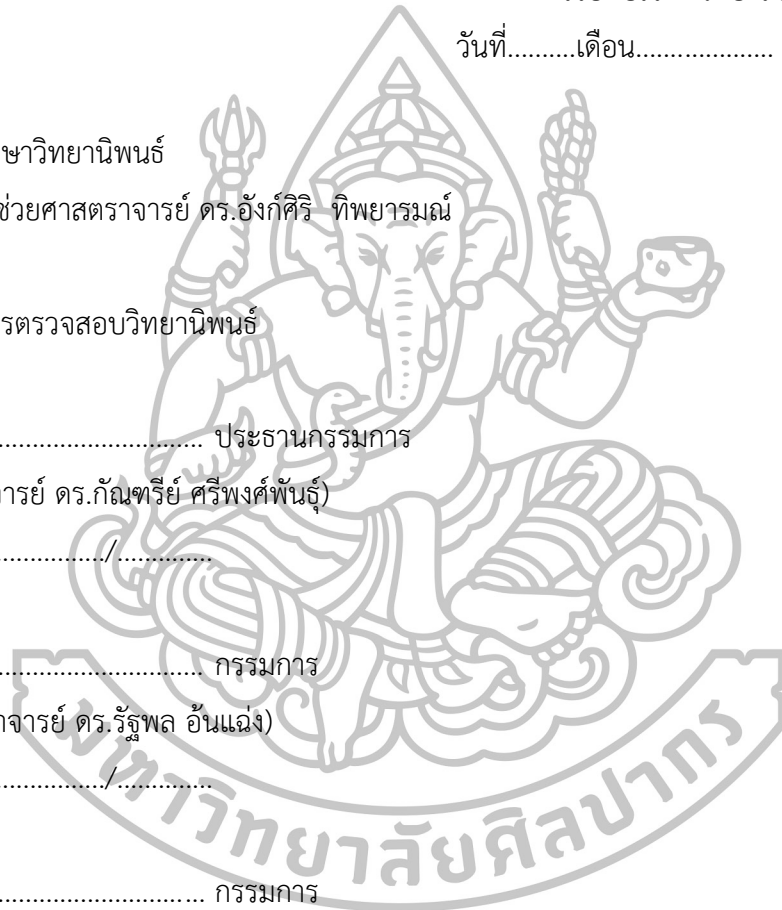
...../...../.....

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล)

...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังกศิริ ทิพยารมณ)

...../...../.....



56311305 : สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : $PM_{10}/PM_4/PM_{2.5}$ /วิธีเชิงน้ำหนัก/เครื่องมือตรวจวัดแบบเรียลไทม์/เครื่องดัสแทรีค/

สมการถดถอยแบบ OLS

ณัฐพล วริกุล : สมการปรับแก้สำหรับ PM_{10} PM_4 และ $PM_{2.5}$ ภายในอาคารที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักและ

วิธีกระจายแสง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.อังก์ศิริ ทิพยารมณ. 115 หน้า.

ตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{10} PM_4 และ $PM_{2.5}$ ด้วยวิธีการสองวิธีได้แก่ วิธีอ้างอิง (เชิงน้ำหนัก) และวิธีตรวจวัดแบบ การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีเชิงน้ำหนักใช้ไซโคลน (PM_{10} และ PM_4) และใช้เครื่อง Personal Environmental Monitor (PEM) (สำหรับ $PM_{2.5}$) ร่วมกับปั๊มดูดอากาศส่วนบุคคล ในขณะที่ใช้เครื่องดัสแทรีค รุ่น 8530 ในการเก็บตัวอย่างแบบอัตโนมัติ ตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ประเภท ไว้ในสถานที่เดียวกันเพื่อเปรียบเทียบผลการตรวจวัดที่ได้จากวิธีทั้งสอง เก็บตัวอย่างอากาศภายในห้องเครื่องชั่ง ห้องวิจัยอากาศ และในร้านปิ้งย่าง โดยใช้เครื่องดัสแทรีค 2 เครื่องและไซโคลน 2 ตัว (หรือ PEM 1 ตัว) เป็นเวลา 20 วัน ในแต่ละสถานที่ บันทึกความเข้มข้นเฉลี่ยทุก 5 นาทีที่ได้จากเครื่องดัสแทรีคตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างและนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิง สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นที่ได้จากแต่ละวิธี ประกอบด้วย Paired sample T-Test สมการถดถอยแบบ OLS Pearson correlation และค่าความผิดพลาดของรากกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ความเข้มข้นของ PM_{10} PM_4 และ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากเครื่องดัสแทรีคมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับความเข้มข้นที่ได้จากวิธีอ้างอิง ($R^2=0.97$ 0.90 และ 0.94 ตามลำดับ) และแทบจะไม่มี ความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ อย่างไรก็ตามพบความคลาดเคลื่อนแบบเป็นสัดส่วนของข้อมูล ($\beta_1=0.23$ 0.21 และ 0.10 ตามลำดับ) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเครื่องดัสแทรีคให้ผลการตรวจวัด PM_{10} PM_4 และ $PM_{2.5}$ ที่แม่นยำแต่จำเป็นต้องใช้สมการปรับแก้เพื่อเพิ่มความถูกต้องของการตรวจวัด

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

56311305 : Major : ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : PM₁₀/PM₄/PM_{2.5}/GRAVIMETRIC/REAL-TIME MONITOR/DUSTRAK/OLS LINEAR REGRESSION.

NADTAPON VARIGOOL : THE CORRECTION EQUATIONS FOR INDOOR PM₁₀, PM₄ AND PM_{2.5} OBTAINED FROM GRAVIMETRIC AND LIGHT SCATTERING METHODS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. AUNGSIRI TIPAYAROM, Ph.D. 115 pp.

PM₁₀, PM₄ and PM_{2.5} concentrations were investigated by two types of sampling methods, reference (gravimetric) and real-time monitoring method. Gravimetric method sampling devices included cyclones (for PM₁₀ and PM₄) and Personal Environment Monitor (PEM) (for PM_{2.5}) equipped with personal air pumps. Whereas the DustTrak Aerosol Monitors Model 8530 were used for automatic sampling. Each type of device was collocated with each other to evaluate the comparability of the two sampling methods. Samples were concurrently collected in weighing room, air pollution research laboratory and grilling restaurant, from two DustTrak instruments and two cyclones (or one PEM) 20 days for each site. The 5-min average concentrations obtained from DustTrak through specify sampling periods were logged and compared to reference method. Statistical analysis on the PM concentrations acquired from each method comprised Paired Sample T-Test, OLS linear regression, Pearson correlation, and root mean square error (RMSE). The average PM₁₀, PM₄ and PM_{2.5} concentrations from DustTrak were well correlated with reference method concentrations ($R^2 = 0.97, 0.90$ and 0.94 , respectively) and do not rather indicate systematic bias. However, the data show significant proportional bias ($\beta_1 = 0.23, 0.21$ and 0.10 , respectively). The results imply that DustTrak provide precise measurements of PM₁₀, PM₄ and PM_{2.5}, nevertheless, the correction equations were required to improve the accuracy of the measurements.

Department of Environmental Science

Graduate School, Silpakorn University

Student's Signature.....

Academic Year 2015

Thesis Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาสมการปรับแก้สำหรับ PM_{10} PM_4 และ $PM_{2.5}$ ภายในอาคารที่ได้จากเครื่องตรวจวัดอนุภาค
ดัสเทิร์ค รุ่น 8530 ได้รับทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์จากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ ของบัณฑิต
วิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ที่
เกี่ยวข้องในหน่วยงานทุกท่านที่สนับสนุนและประสานทุกๆ ด้านจนการศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังก์ศิริ ทิพยารมณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
อาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและแนะนำ
ข้อคิดเห็น ตลอดจนช่วยตรวจรายละเอียดต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณรอง
ศาสตราจารย์ ดร.กัณฐิรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์ ประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล
อันแจ้ง กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์และอาจารย์ ดร.ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการเป็นกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์
พร้อมทั้งให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับคำปรึกษาและความ
ช่วยเหลือในเรื่องเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ดาวรุ่ง สังข์ทอง อาจารย์ภาควิชา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรและร้านหมูกระทะในจังหวัดนครปฐม สำหรับ
ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่เก็บตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์
สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์การดำเนินการเอกสารข้อมูล และอำนวยความสะดวกต่างๆในการทำ
วิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณพ่อและแม่ รวมถึงทุกคนในครอบครัววิฑูล ที่เป็นกำลังใจพร้อม
สนับสนุนและเป็นแรงผลักดันตลอดมา ขอขอบคุณพี่ น้อง และเพื่อนทุกๆ คน ที่คอยช่วยเหลือและเป็น
กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญ.....	1
วัตถุประสงค์ในการศึกษา.....	3
ขอบเขตการศึกษา.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 การตรวจสอบเอกสาร.....	5
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับฝุ่น.....	5
นิยาม.....	5
กลไกการกำจัดฝุ่นออกจากร่างกาย.....	6
ผลกระทบต่อสุขภาพ.....	7
ค่ามาตรฐาน.....	8
วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่น.....	9
วิธีเชิงน้ำหนัก (Gravimetric method).....	9
วิธีอัตโนมัติ.....	14
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
3 วิธีดำเนินการทดลอง.....	27
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	27
การเก็บตัวอย่างฝุ่น.....	28
สถานที่เก็บตัวอย่าง.....	28

ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง.....	29
วิธีการเตรียมกระดาษกรอง.....	29
วิธีการเก็บตัวอย่าง.....	29
วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา.....	33
ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	38
การชั่งกระดาษกรอง.....	38
การบรรจุกระดาษกรองลงในตลับ.....	38
การประกอบชุดเก็บตัวอย่าง.....	39
การประกอบชุดเก็บตัวอย่างฝุ่น.....	39
การคำนวณ.....	41
การคำนวณปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (V).....	41
การคำนวณความเข้มข้นของฝุ่น.....	41
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	42
Paired Sample T-Test.....	42
กราฟการกระจายของข้อมูล (Scatter plot).....	42
Pearson correlation และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ (R^2).....	42
ค่าความผิดพลาดของรากกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error; RMSE).....	42
ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสมการถดถอย (Standard Error).....	42
การประกันคุณภาพและการควบคุมคุณภาพ (Quality assurance / quality control; QA/QC)	43
การปรับอัตราการไหลปั๊มดูดอากาศ.....	43
การชั่งกระดาษกรองก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง.....	43
การวัดอัตราการไหลของเครื่องดัสแทรีค รุ่น 8530.....	43
4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา.....	44
ความเข้มข้นของฝุ่นของฝุ่นละออง.....	44
ความเข้มข้นของ PM ₁₀	47
ความเข้มข้นของ PM ₄	48
ความเข้มข้นของ PM _{2.5}	49
การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	50

ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัด PM ₁₀ ด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก (ไซโคลน) และวิธี อัตโนมัติ (ดัสแทร์ค)	50
ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัด PM ₄ ด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก (ไซโคลน) และวิธี อัตโนมัติ (ดัสแทร์ค)	54
ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัด PM _{2.5} ด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก (ไซโคลน) และวิธี อัตโนมัติ (ดัสแทร์ค)	57
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	63
สรุปผลการศึกษา.....	63
ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต.....	63
เอกสารอ้างอิง.....	65
ภาคผนวก.....	70
ภาคผนวก ก.....	71
ภาคผนวก ข.....	96
ภาคผนวก ค.....	99
ภาคผนวก ง.....	109
ประวัติผู้วิจัย	115



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่ามาตรฐานของฝุ่น.....	8
2.2 ความแตกต่างของวิธีการอ้างอิงและวิธีการเทียบเคียง.....	19
3.1 ลักษณะทางกายภาพและการประกอบกิจกรรมภายในสถานที่เก็บตัวอย่าง.....	30
3.2 อัตราการไหลที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศ.....	37
4.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละออง.....	46
4.2 เปรียบเทียบผลการศึกษากับการศึกษาก่อนหน้า.....	61
ตารางภาคผนวก	หน้า
ก.1 การเก็บตัวอย่าง PM ₁₀ ห้องเครื่องซัง ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร.....	72
ก.2 การเก็บตัวอย่าง PM ₁₀ ห้องวิจัยอากาศ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร.....	75
ก.3 การเก็บตัวอย่าง PM ₁₀ ร้านปลาทองหมูกระทะ จังหวัดนครปฐม.....	78
ก.4 การเก็บตัวอย่าง PM ₄ ห้องเครื่องซัง ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร.....	81
ก.5 การเก็บตัวอย่าง PM ₄ ห้องวิจัยอากาศ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร.....	84
ก.6 การเก็บตัวอย่าง PM ₄ ร้านปลาทองหมูกระทะ จังหวัดนครปฐม.....	87
ก.7 การเก็บตัวอย่าง PM _{2.5} ห้องเครื่องซัง ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร.....	90
ก.8 การเก็บตัวอย่าง PM _{2.5} ห้องวิจัยอากาศ ภาควิชาวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร.....	92
ก.9 การเก็บตัวอย่าง PM _{2.5} ร้านปลาทองหมูกระทะ จังหวัดนครปฐม.....	94
ค.1 ระดับความเข้มข้นของ PM ₁₀ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง บริเวณห้องเครื่องซัง.....	100
ค.2 ระดับความเข้มข้นของ PM ₁₀ เฉลี่ย 8 ชั่วโมง บริเวณห้องวิจัยอากาศ.....	101
ค.3 ระดับความเข้มข้นของ PM ₁₀ เฉลี่ย 2 ชั่วโมง บริเวณร้านปลาทองหมูกระทะ.....	102

ตารางภาคผนวก

หน้า

ค.4	ระดับความเข้มข้นของ PM ₄ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง บริเวณห้องเครื่องซัง.....	103
ค.5	ระดับความเข้มข้นของ PM ₄ เฉลี่ย 8 ชั่วโมง บริเวณห้องวิจัยอากาศ.....	104
ค.6	ระดับความเข้มข้นของ PM ₄ เฉลี่ย 2 ชั่วโมง บริเวณร้านปลาทองหมูกระทะ.....	105
ค.7	ระดับความเข้มข้นของ PM _{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง บริเวณห้องเครื่องซัง.....	106
ค.8	ระดับความเข้มข้นของ PM _{2.5} เฉลี่ย 8 ชั่วโมง บริเวณห้องวิจัยอากาศ.....	107
ค.9	ระดับความเข้มข้นของ PM _{2.5} เฉลี่ย 2 ชั่วโมง บริเวณร้านปลาทองหมูกระทะ.....	108



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	กำจัดฝุ่นโดยกระบวนการพลาสมาไอออไนส์.....	7
2.2	หลักการวิเคราะห์เชิงน้ำหนัก.....	10
2.3	เครื่องพีคิว 200.....	11
2.4	เครื่องออมนิ.....	11
2.5	ปั๊มดูดอากาศแบบพกพา.....	12
2.6	ตลับกระดาษกรอง.....	12
2.7	ไซโคลนและตลับกระดาษกรอง.....	13
2.8	การประกอบชุดเก็บตัวอย่างอากาศแบบพกพา.....	13
2.9	หลักการทำงานของวิธีวิเคราะห์แบบอาศัยหลักการกระเจิงแสง.....	15
2.10	เครื่องดัสแทรีค รุ่น 8520.....	15
2.11	เครื่องดัสแทรีค รุ่น 8530.....	16
2.12	เครื่องไอซิริส รุ่น 2315.....	17
2.13	หลักการดูดซับรังสีเบต้า.....	17
2.14	เครื่องอีแบม.....	18
2.15	การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ 24 ชม.-PM _{2.5} ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก (เครื่องพีคิว 200) และวิธีอัตโนมัติ (ดัสแทรีค).....	21
2.16	เครื่องซีพีซี รุ่น 3022A.....	22
2.17	การกระจายของข้อมูลจากเครื่องดัสแทรีคและจากวิธีดูดซับรังสีเบต้าในช่วงฤดูหนาว.....	24
2.18	การกระจายของข้อมูลจากเครื่องดัสแทรีคและจากวิธีดูดซับรังสีเบต้าในช่วงฤดูร้อน.....	24
2.19	การกระจายของข้อมูลจากเครื่องดัสแทรีคและจากเครื่องอีแบม.....	25
2.20	การกระจายของข้อมูลจากเครื่องดัสแทรีคและจากเครื่องอีแบม.....	26
3.1	กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	27
3.2	สภาพภายในห้องเครื่องซัง ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์.....	28
3.3	สภาพภายในห้องวิจัยอากาศ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์.....	28
3.4	สภาพภายในร้านหมูกระทะ จังหวัดนครปฐม.....	29

รูปที่	หน้า
3.5 การปรับศูนย์เครื่องดัสแทร์ค.....	32
3.6 กระดาษกรองสำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่น.....	33
3.7 ตลับกระดาษกรองสำหรับไซโคลน.....	34
3.8 ตลับกระดาษกรองในเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530.....	34
3.9 ไซโคลนสำหรับเก็บตัวอย่าง PM ₁₀ และ PM ₄ แบบไซโคลน.....	35
3.10 เครื่อง PEM.....	35
3.11 ส่วนประกอบภายในของเครื่อง PEM.....	36
3.12 ข้อต่อและสายยาง.....	36
3.13 บีมดูดอากาศแบบพกพา.....	37
3.14 โถดูดความชื้น.....	38
3.15 เครื่องชั่งระดับไมโครกรัม (Microbalance).....	39
3.16 การหยดน้ำมันบนอิมแพ็คเตอร์.....	39
3.17 การประกอบตลับกระดาษกรองเข้ากับไซโคลนเก็บตัวอย่าง PM ₁₀	40
3.18 การประกอบตลับกระดาษกรองเข้ากับไซโคลนเก็บตัวอย่าง PM ₄	40
3.19 การประกอบบีมดูดอากาศกับเครื่อง PEM.....	41
3.20 เครื่องปรับอัตราการไหลกับบีมดูดอากาศ.....	43
4.1 ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดในแต่ละสถานที่.....	45
4.2 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ PM ₁₀ ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก (ไซโคลน) และวิธีอัตโนมัติ (ดัสแทร์ค).....	51
4.3 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ PM ₁₀ ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก (ไซโคลน) และวิธีอัตโนมัติ (ดัสแทร์ค) ที่ปรับแก้ด้วยสมการแล้ว.....	53
4.4 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ PM ₄ ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก (ไซโคลน) และวิธีอัตโนมัติ (ดัสแทร์ค)	55
4.5 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ PM ₄ ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก (ไซโคลน) และวิธีอัตโนมัติ (ดัสแทร์ค) ที่ปรับแก้ด้วยสมการแล้ว.....	56
4.6 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ PM _{2.5} ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก (PEM) และวิธีอัตโนมัติ (ดัสแทร์ค)	58

รูปที่

4.7 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก (PEM) และวิธีอัตโนมัติ (ดัสแทร์ค) ที่ปรับแก้ด้วยสมการแล้ว.....

หน้า

59



รายการคำย่อ

มก./ลบ.ม.	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
มคก./ลบ.ม.	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
CC	ค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยไซโคลน
CPC	Condensation Particle Counter
DT	ค่าที่ได้จากการอ่านค่าโดยตรงจากเครื่องดัสแทร์ค
g	Gram
LPG	Liquefied petroleum gas
L/min	Liter per minute
m ³	Cubic meter
min	Minute
mL/min	Milliliter per minute
NIOSH	The National Institute for Occupational Safety and Health
OLS	Ordinary least squares
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PEM	Personal Environmental Monitor
PM	Particulate matters
PM ₁	ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน
PM _{2.5}	ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน
PM ₄	ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน
PM ₁₀	ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน
R ²	Coefficient of determination
RMSE	Root mean square error
SMPS	Scanning Mobility Particle Sizer
SPM	Suspended particulate matters
SPSS	Statistical Package for the Social Science
TEOM	Tapered element oscillating microbalance
TSI	บริษัท Trust Science Innovation

รายการคำย่อ (ต่อ)

TSP	Total suspended particulate matters
US EPA	United States Environmental Protection Agency
V	Air volume
WHO	World Health Organization
W_{pre}	น้ำหนักกระตาศกรองก่อนเก็บตัวอย่าง
W_{post}	น้ำหนักกระตาศกรองหลังเก็บตัวอย่าง



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ฝุ่นเป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญต่อการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยเฉพาะการได้รับสัมผัสฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) ฝุ่นขนาดเล็กที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจและสะสมในปอดได้ (Respirable dust ในการศึกษานี้เรียกว่า PM_4) และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจและหลอดเลือดหัวใจ นอกจากนี้ยังทำให้มีอัตราการตายเพิ่มสูงขึ้น (Pope and Dockery, 2006; Pope *et al.*, 2009; Schwartz, 1996) ดังนั้นการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นทั้งภายในและภายนอกอาคารจึงเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากความเข้มข้นที่วัดได้เมื่อนำไปเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ จะสามารถบอกได้ว่าคุณภาพอากาศนั้นส่งผลกระทบต่อสุขภาพหรือไม่และอย่างไร

ในอดีตการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศจะใช้วิธีเชิงน้ำหนัก (Gravimetric method) โดยการดูดอากาศผ่านกระดาษกรอง จากนั้นนำน้ำหนักของฝุ่นที่อยู่บนกระดาษกรองหารด้วยปริมาตรอากาศที่ผ่านกระดาษกรอง จะได้ความเข้มข้นของฝุ่นในหน่วยน้ำหนักฝุ่นต่อปริมาตรอากาศ การเก็บตัวอย่างฝุ่นบนกระดาษกรองและการวิเคราะห์เชิงน้ำหนัก เป็นวิธีอ้างอิงสำหรับสหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป และประเทศอื่นๆ ทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยในการตรวจวัดอนุภาคฝุ่นทั้งในบรรยากาศและภายในอาคาร ยกตัวอย่างเช่น องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US EPA) ได้กำหนดวิธีอ้างอิงในการตรวจวัดฝุ่นด้วยวิธีเชิงน้ำหนักสำหรับฝุ่นขนาดฝุ่นแขวนลอยทั้งหมดในบรรยากาศ (Total suspended particulate matters; TSP หรือ SPM) และ PM_{10} ในบรรยากาศ ด้วยวิธี Compendium Method IO-2.1 (US EPA, 1999) ส่วนวิธีอ้างอิงสำหรับการเก็บตัวอย่างฝุ่นภายในอาคารนั้นสถาบันสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงานแห่งชาติ (National Institute for Occupational Safety and Health; NIOSH) ได้กำหนดให้ Method 0500, Issue 2 เป็นวิธีอ้างอิงในการเก็บตัวอย่างฝุ่นทั้งหมดภายในอาคาร เป็นต้น

จากการทบทวนเอกสารเกี่ยวกับการเปรียบเทียบเครื่องมือตรวจวัดแบบอัตโนมัติกับวิธีเชิงน้ำหนัก พบว่า วิธีเชิงน้ำหนักจะมีความยุ่งยากมากกว่า เนื่องจากต้องควบคุมสภาวะการซั่งน้ำหนัก กระดาษกรองก่อนและหลังให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด ดังนั้นจึงไม่สะดวกต่อการตรวจวัดที่ต้องการความ

รวดเร็ว นอกจากนี้วิธีเชิงน้ำหนักยังใช้เวลานานในการชั่งน้ำหนักฝุ่นหลังจากการเก็บตัวอย่างและต้องนำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณให้อยู่ในรูปความเข้มข้นของฝุ่นต่อปริมาตรอากาศ

ในขณะที่เครื่องเก็บตัวอย่างแบบอัตโนมัติ สามารถให้ผลการตรวจวัดฝุ่นในหน่วยน้ำหนักต่อปริมาตรอากาศได้ทันทีตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง ในปัจจุบันการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีก้าวหน้าขึ้นเป็นอันมาก รวมถึงการพัฒนาเทคโนโลยีในการตรวจวัดฝุ่นในอากาศด้วย จึงมีการนำหลักการต่าง ๆ ทางวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศ เช่น หลักการกระเจิงแสง หลักการดูดซับรังสีเบต้า เป็นต้น บริษัทต่าง ๆ มีการวิจัยและพัฒนานำเอาหลักการเหล่านี้มาสร้างเครื่องตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศ โดยผลิตเป็นเครื่องตรวจวัดฝุ่นในอากาศแบบอัตโนมัติ ซึ่งไม่ต้องมีการชั่งน้ำหนักหรือการดูดอากาศผ่านกระดาษกรอง เครื่องตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นแบบอัตโนมัติมักมีสายเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยตรงสำหรับถ่ายโอนข้อมูลลงเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้ผู้ใช้สะดวกทั้งในการตรวจวัดและในการนำข้อมูลไปใช้ ยกตัวอย่างเช่น เครื่องดัสแทร็ค (DustTrak) ของบริษัททีเอสไอ (TSI) เครื่องอีแบม (E-BAM) ของบริษัทเม็ทวัน (Met One) เป็นต้น

ในปี พ.ศ. 2557 ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ได้จัดซื้อเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นอัตโนมัติ ซึ่งใช้ตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร จากการจัดสรรเงินงบประมาณแผ่นดิน โดยเครื่องมือที่จัดซื้อคือเครื่อง DustTrak II Aerosol Monitor รุ่น 8530 ของบริษัททีเอสไอ ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งสามารถตรวจวัดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 1 2.5 4 และ 10 ไมครอน อย่างไรก็ตาม การศึกษาในอดีตเกี่ยวกับการเปรียบเทียบผลการตรวจวัดฝุ่นโดยใช้เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8520 ของบริษัททีเอสไอ ซึ่งเป็นรุ่นก่อนรุ่นปัจจุบันที่ภาควิชาได้จัดซื้อ พบว่า เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8520 ให้ผลการตรวจวัดที่สูงกว่าวิธีอ้างอิง และต้องมีการปรับแก้ค่าให้ถูกต้องโดยใช้สมการจากการทดลอง (Yanosky *et al.*, 2002; Morawsky *et al.*, 2003; Branis, 2006; Cheng *et al.*, 2008; Tasic *et al.*, 2012) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการเปรียบเทียบผลการตรวจวัดฝุ่นด้วยเครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 ของภาควิชา กับวิธีอ้างอิงคือวิธีเชิงน้ำหนัก โดยเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิธีเชิงน้ำหนัก ได้แก่ ไฮโคลน (สำหรับ PM₁₀ และ PM₄) และ Personal Environment Monitor (PEM) สำหรับ PM_{2.5} ร่วมกับปั๊มดูดอากาศแบบพกพา ที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมมีใช้อยู่เดิม ส่วน PM₁ นั้นไม่ได้ทำการศึกษา เนื่องจากยังไม่มีวิธีอ้างอิงให้เปรียบเทียบ ผลจากการศึกษาให้สมการปรับแก้สำหรับฝุ่นขนาดต่างๆ ที่สามารถนำไปปรับแก้ค่าความเข้มข้นของฝุ่นที่ได้จากเครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 ให้ถูกต้องตามความเป็นจริง เพื่อที่ในอนาคตจะสามารถใช้เครื่องมือดังกล่าวในการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด โดยไม่ต้องใช้วิธีเชิงน้ำหนักซึ่งยุ่งยากกว่า

1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบผลการเก็บตัวอย่าง PM₁₀ PM₄ และ PM_{2.5} จากการตรวจวัดด้วยวิธีอัตโนมัติและวิธีเชิงน้ำหนัก

1.2.2 เพื่อหาสมการสำหรับปรับแก้ค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดด้วยเครื่องดัสแทรีค รุ่น 8530 สำหรับฝุ่นทั้ง 3 ขนาด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

เก็บตัวอย่าง PM₁₀ PM₄ และ PM_{2.5} แบบพื้นที่โดยติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด ในสถานที่ 3 แห่ง ได้แก่ (1) ห้องเครื่องซั่ง (2) ห้องวิจัยอากาศ ซึ่งทั้ง 2 แห่ง ตั้งอยู่ ณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม และ (3) ร้านหมูกระทะ ในจังหวัดนครปฐม โดยมีรายละเอียดในการเก็บตัวอย่าง ดังนี้

1.3.1 PM₁₀

1.3.1.1 เก็บตัวอย่างด้วยไซโคลนในสถานที่ทั้ง 3 แห่ง แห่งละ 20 วัน วันละ 2 ชั่วโมง รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 120 ตัวอย่าง (นำค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ชั่วโมง มาเฉลี่ยเป็น 1 ตัวอย่าง)

1.3.1.2 เก็บตัวอย่างด้วยการอ่านค่าโดยตรงจากเครื่องดัสแทรีคที่ในสถานที่ทั้ง 3 แห่ง แห่งละ 20 วัน วันละ 2 ชั่วโมง รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 120 ตัวอย่าง (นำค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ชั่วโมง มาเฉลี่ยเป็น 1 ตัวอย่าง)

1.3.2 PM₄

การเก็บตัวอย่าง PM₄ จะเหมือนกับ PM₁₀ แต่จะเปลี่ยนชนิดของไซโคลนเป็นชนิดที่ใช้เก็บ PM₄ และเปลี่ยนหัวเครื่องดัสแทรีคเป็นหัวสำหรับเก็บตัวอย่าง PM₄ รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 240 ตัวอย่าง

1.3.3 PM_{2.5}

1.3.3.1 เก็บตัวอย่างด้วย Personal Environment Monitor (PEM) ที่ในสถานที่ทั้ง 3 แห่ง แห่งละ 20 วัน วันละ 1 ชั่วโมง (เนื่องจากมีเครื่องเก็บตัวอย่างเพียง 1 อัน) รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 60 ตัวอย่าง

1.3.3.2 เก็บตัวอย่างด้วยการอ่านค่าโดยตรงจากเครื่องดัสแทรีคในสถานที่ทั้ง 3 แห่ง แห่งละ 20 วัน วันละ 2 ชั่วโมง รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 120 ตัวอย่าง (นำค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ชั่วโมง มาเฉลี่ยเป็น 1 ตัวอย่าง)

1.3.4 ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้สมการปรับแก้ค่าความเข้มข้นที่ได้จากเครื่องดัสแทรีค รุ่น 8530 สำหรับฝุ่นขนาดต่างๆ

1.4.2 เพื่อให้สามารถใช้เครื่องดัสแทรีค รุ่น 8530 ของภาควิชาฯ ในการตรวจวัดฝุ่นทั้ง 3 ขนาด ได้โดยไม่ต้องทำการปรับเทียบเครื่องมือกับวิธีอ้างอิง จนกว่าจะส่งเครื่องมือไปสอบเทียบกับบริษัทผู้ผลิตในครั้งต่อไป



บทที่ 2 การตรวจสอบเอกสาร

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับฝุ่น

2.1.1 นิยาม

2.1.1.1 ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10})

ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน หรือที่มักเรียกโดยย่อว่า PM_{10} หมายถึง ฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 10 ไมครอน หรือฝุ่นหยาบ (Coarse particle) โดยลักษณะของสารมลพิษมีสถานะเป็นของแข็งและกึ่งของแข็ง PM_{10} เกิดจากการรวมตัวของสารมลพิษที่หลากหลาย ส่วนใหญ่แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน มาจาก 2 แหล่งหลัก ได้แก่ ฝุ่นที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นจากการเกิดไฟป่า และฝุ่นที่เกิดจากการประกอบกิจกรรมของมนุษย์ เช่น ฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ฝุ่นจากถนน และฝุ่นที่เกิดในพื้นที่ก่อสร้าง เป็นต้น (วนิดา, 2551; Division of Air Quality, 2015)

2.1.1.2 ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน (PM_4)

ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอน (PM_4) เป็นฝุ่นขนาดเล็กที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) ซึ่งสามารถเข้าถึงถุงลมปอดและบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝุ่นที่เข้าสู่ทางเดินหายใจและสะสมในปอดได้คือฝุ่นขนาด 4.25 ± 1.5 ไมครอน (OSHA, 1987; ACGIH, 1998; กระทรวงอุตสาหกรรม, 2555) PM_4 มีแหล่งกำเนิดหลายแหล่ง ยกตัวอย่างเช่น การอบขนมปัง การจราจร เป็นต้น (Burstyn *et al.*, 1997; Amato *et al.*, 2011)

2.1.1.3 ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)

ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) หมายถึง ฝุ่นขนาดเล็ก (Fine particle) ซึ่งมีสถานะเป็นของแข็งหรือกึ่งแข็งที่อยู่ในสภาพกึ่งระเหย และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน โดย $PM_{2.5}$ เป็นสารมลพิษทางอากาศที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพมากที่สุด แหล่งกำเนิดของ $PM_{2.5}$ คือการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแบบไม่สมบูรณ์ เช่น ยานพาหนะ กระบวนการอุตสาหกรรมและการเผาไม้ เป็นต้น (วนิดา, 2551; US EPA, 2015)

2.1.2 กลไกการกำจัดฝุ่นออกจากร่างกาย

เมื่อร่างกายได้รับฝุ่นจะเกิดการสะสมที่อวัยวะต่างๆ ตามขนาดของฝุ่น ร่างกายมนุษย์จะมีกลไกการกำจัดฝุ่นออกจากร่างกายหลายกลไกดังต่อไปนี้

2.1.2.1 การกำจัดโดยเยื่อเมือกและเซลล์ขนอ่อน (Mucociliary clearance)

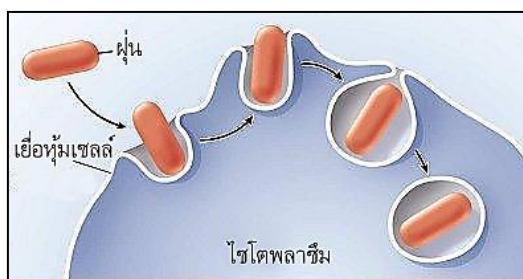
บริเวณหลอดลมและหลอดลมฝอยไปจนถึงหลอดลมฝอยส่วนปลายของมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์ขนอ่อนที่เรียกว่าซีเลีย (Cilia) เมื่อฝุ่นเข้าสู่ทางเดินหายใจ ซีเลียจะทำหน้าที่พัดเยื่อเมือกในหลอดลมให้ไปจับฝุ่นแปลกปลอมที่เข้ามาไม่ให้ผ่านเข้าสู่ปอด ซีเลียจะทำงานอย่างต่อเนื่องและพร้อมเพียงกัน โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของฝุ่นบริเวณหลอดลมมีค่าเท่ากับ 5 – 10 มิลลิเมตรต่อนาที เยื่อเมือกที่จับฝุ่นไว้จะเคลื่อนที่ต่อไปยังบริเวณฝาปิดกล่องเสียงและขับออกจากร่างกายโดยการไอ จาม หรือขับเสมหะหรือกลืนลงสู่กระเพาะอาหารและขับออกทางอุจจาระ (WHO, 1999) กลไกการกำจัดฝุ่นด้วยวิธีนี้เรียกว่า Mucociliary escalator จัดเป็นการกำจัดโดยใช้ระยะเวลาสั้นคือจะใช้เวลาในการกำจัดประมาณครึ่งวัน (ธนวรรณ, 2554)

2.1.2.2 การกำจัดโดยการเคลื่อนที่ของหลอดลมฝอย (Bronchiole movement)

เมื่อมีฝุ่นเข้าสู่ร่างกายและเคลื่อนที่ไปถึงหลอดลมฝอย หลอดลมฝอยจะเกิดการหดตัวเป็นระยะ ร่างกายจะเกิดการไอ และการจาม เพื่อเป็นการกำจัดฝุ่นที่จับอยู่กับเยื่อเมือกภายในหลอดลมฝอยออกมากับเสมหะหรือน้ำมูก (WHO, 1999)

2.1.2.3 การกำจัดโดยฟาโกไซโทซิส (Phagocytosis)

กระบวนการกำจัดโดยฟาโกไซโทซิส คือ กระบวนการที่เยื่อหุ้มเซลล์โอบล้อมอนุภาคขนาดใหญ่ (ฝุ่น) ซึ่งร่างกายจัดว่าเป็นสิ่งแปลกปลอมและนำไปอยู่ภายในเซลล์จากนั้นเซลล์จะทำการกำจัดสิ่งแปลกปลอม กระบวนการฟาโกไซโทซิสจะมีเซลล์ที่สร้างขึ้นเพื่อทำหน้าที่ในการกำจัดเชื้อโรคซึ่งเรียกว่า ฟาโกไซต์ (Phagocytes) สำหรับฝุ่นที่เข้าสู่ถุงลมปอดจะกำจัดโดยเซลล์ฟาโกไซต์ที่มีชื่อว่าแมโครฟาจ (Macrophage cell) ซึ่งเซลล์ดังกล่าวจะเคลื่อนย้ายฝุ่นไปที่ชั้นเยื่อเมือกที่มีซีเลียปกคลุม และเข้าสู่ระบบน้ำเหลือง (WHO, 1999) กลไกฟาโกไซโทซิสเป็นกลไกการกำจัดฝุ่นโดยใช้ระยะเวลาปานกลาง (10 วัน) ถึงระยะเวลานาน (100-200 วัน) (ธนวรรณ, 2554) กลไกฟาโกไซโทซิสแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กำจัดฝุ่นโดยกระบวนการฟาโกไซโทซิส

ที่มา: ดัดแปลงจาก Courtney (2013)

2.1.3 ผลกระทบต่อสุขภาพ

เมื่อร่างกายได้รับฝุ่นมากเกินไปที่กลไกภายในจะกำจัดได้ จะเกิดผลกระทบจากการได้รับสัมผัสฝุ่นแต่ละชนิดมีดังนี้

2.1.3.1 ผลกระทบต่อสุขภาพของ PM₁₀

PM₁₀ สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ โดยหากร่างกายได้รับสัมผัสในปริมาณน้อยจะเพิ่มโอกาสในการเกิดโรคระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคหืดหอบ (Asthma) และเกิดการระคายเคืองของเนื้อเยื่อปอด แต่หากได้รับสัมผัสในปริมาณมากและสะสมเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดโรคระบบหลอดเลือดหัวใจ โรคกล้ามเนื้อหัวใจตาย และเนื้อเยื่อปอดเป็นพังผืดหรือเกิดแผลขึ้นได้ จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในปี พ.ศ. 2545 – 2547 ข้อมูลผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลรามาริบัติและโรงพยาบาลศิริราช พบว่า ความชุกในการเกิดโรคระบบหลอดเลือดหัวใจสัมพันธ์กับระดับ PM₁₀ ที่เพิ่มขึ้น โดยจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยอาการของโรคระบบหลอดเลือดหัวใจในกลุ่มของผู้สูงอายุมีจำนวนเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.7 – 2.3 และผู้ป่วยด้วยโรคกล้ามเนื้อหัวใจตายเนื่องจากหลอดเลือดอุดตันเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 3.65 เมื่อระดับ PM₁₀ เพิ่มขึ้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (วนิดา, 2551)

2.1.3.2 ผลกระทบต่อสุขภาพของ PM₄

PM₄ สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนล่างและถุงลมปอดได้ ลักษณะของโรคและอาการหากได้รับสัมผัสในปริมาณมากจะมีลักษณะคล้ายกับการได้รับสัมผัส PM₁₀ และ PM_{2.5} อาทิ อาการหอบหืด โรคหลอดเลือดสมอง โรคกล้ามเนื้อหัวใจตาย และการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร เป็นต้น (Health Promotion & Environmental Health Development, no date)

2.1.3.3 ผลกระทบต่อสุขภาพของ PM_{2.5}

PM_{2.5} คือฝุ่นขนาดเล็กที่สามารถเข้าไปในถุงลมปอดได้ จึงก่อให้เกิดผลกระทบต่อร่างกายหลายประการ เช่น อาการหอบหืด โรคหลอดเลือดอักเสบ และอาการที่เกิดจากการได้รับสัมผัสแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง เช่น หายใจสั้นและมีอาการเจ็บปวดขณะหายใจ รวมถึงการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร (US EPA, 2011a)

2.1.4 ค่ามาตรฐาน

ค่ามาตรฐานของฝุ่นแต่ละชนิดของหน่วยงานต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานของฝุ่น, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

หน่วยงาน	ประเภท	PM ₁₀	PM ₄	PM _{2.5}
US EPA ¹	ในบรรยากาศ	0.15 (24 ชม.)	-	0.035 (24 ชม.) 0.012 (1 ปี)
WHO ²	ในบรรยากาศ	0.05 (24 ชม.) 0.02 (1ปี)	-	0.025 (24 ชม.) 0.010 (1 ปี)
ACGIH	ในอาคาร	-	3 ⁴	
OSHA	ในอาคาร	-	5 ⁴ (8 ชม.)	
กรมควบคุมมลพิษ ⁵	ในบรรยากาศ	0.12 (24 ชม.) 0.05 (1 ปี)		0.050 (24 ชม.) 0.025 (1 ปี)
กระทรวงมหาดไทย ⁶	ในอาคาร	0.15 (8 ชม.)	5 (8 ชม.)	-
กรมอนามัย (ร่าง) ⁷	ในอาคาร	0.05	-	0.035

ที่มา: ¹US EPA (2011b)

²WHO (2006)

³NIOSH (1994)

⁴NIOSH (1998)

⁵กรมควบคุมมลพิษ (2550)

⁶กระทรวงมหาดไทย (2520)

⁷กรมอนามัย (2558)

2.2 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่น

การตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศมีหลายหลักการ หลักการวิเคราะห์ฝุ่นในอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 วิธีชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)

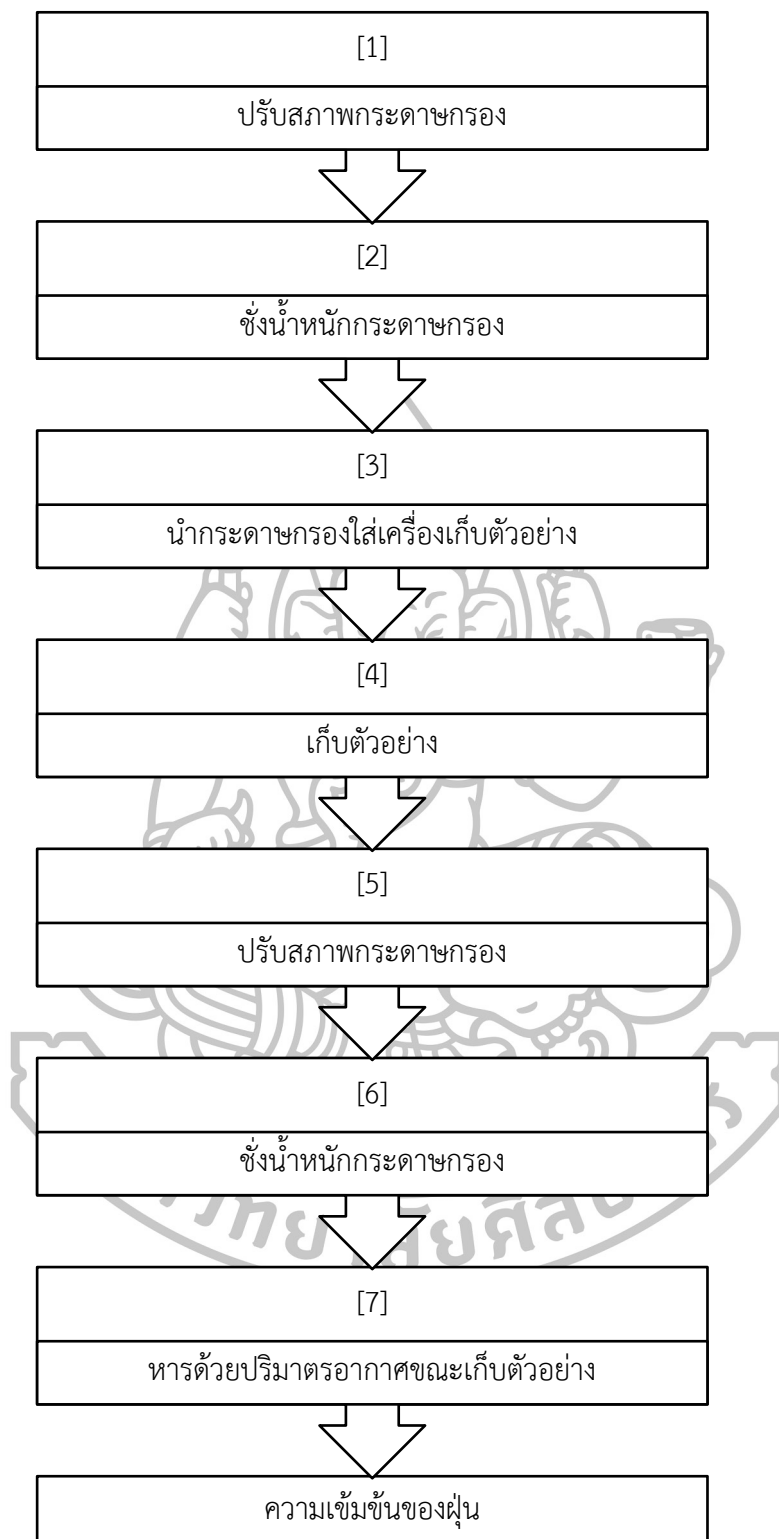
วิธีชั่งน้ำหนักเป็นวิธีอ้างอิงที่ใช้ในการเก็บฝุ่นทั้งภายในและภายนอกอาคารในหลายประเทศรวมทั้งประเทศไทย หลักการในการวิเคราะห์คือ การควบคุมสภาวะก่อนและหลังของกระดาศกรองให้เหมือนกัน โดยชั่งน้ำหนักกระดาศกรองที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างทั้งก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง โดยเครื่องชั่งระดับไมโครกรัม (Microbalance) เพื่อหาน้ำหนักของกระดาศกรองและน้ำหนักสุทธิของฝุ่น โดยกระดาศกรองทั้งก่อนและหลังชั่งน้ำหนักต้องมีความชื้นสัมพัทธ์เป็ยงเบนไม่เกิน $\pm 5\%$ (Yanosky *et al.*, 2002) ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ชั่งน้ำหนักแสดงดังรูปที่ 2.2 ในวิธีชั่งน้ำหนัก ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าความเข้มข้นของฝุ่นที่ได้จากการตรวจวัด กล่าวคือ ฝุ่นที่อยู่บนกระดาศกรองอาจดูดความชื้นได้ดี ซึ่งจะทำให้ค่าความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าสูงเกินความเป็นจริง นอกจากนี้ความชื้นยังส่งผลให้กระดาศกรองอุดตันเร็ว เกิดแรงต้านการดูดอากาศของปั๊มดูดอากาศ ซึ่งหากใช้ปั๊มดูดอากาศที่ไม่มีกลไกชดเชยแรงต้านที่เกิดขึ้น จะส่งผลให้อัตราการดูดอากาศของปั๊มดูดอากาศลดลงจากที่กำหนดไว้ ทำให้ผลการตรวจวัดน้อยกว่าความเป็นจริง

เครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นเพื่อการวิเคราะห์ชั่งน้ำหนักมีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งจะยกตัวอย่างดังนี้

2.2.1.1 เครื่องพีคิว 200 (PQ200 Air Sampler)

เครื่องตรวจวัดอนุภาคฝุ่นพีคิว 200 ของบริษัทบีจีไอ (BGI) ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นในบรรยากาศด้วยหลักการอิมแพคชัน (Impaction) โดยทางเข้าของอากาศมีอิมแพคเตอร์อะลูมิเนียมและมีหลอดปรับสภาพวางตัวในแนวตั้ง ทำหน้าที่คัดแยกฝุ่นให้เหลือเพียงขนาดที่ต้องการ ใช้อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 16.7 ลิตรต่อนาที ก่อนการใช้งานต้องเชื่อมต่อเครื่องพีคิว 200 กับคอมพิวเตอร์เพื่อตั้งโปรแกรมการเก็บตัวอย่าง เครื่องพีคิว 200 สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อถ่ายข้อมูลขณะตรวจวัดได้ (Watson *et al.*, 2011) เครื่องพีคิว 200 แสดงดังรูป 2.3

เครื่องพีคิว 200 เป็นเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น มิใช่เครื่องวิเคราะห์ความเข้มข้น ดังนั้น ในเครื่องจึงมีกระดาศกรองเป็นตัวกลางในการเก็บตัวอย่างฝุ่น และต้องนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นชั่งน้ำหนักดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นต่อไป



รูปที่ 2.2 หลักการของวิธีเชิงน้ำหนัก

2.2.1.2 เครื่องออมนิ (OMNI Ambient Air Sampler)

เครื่องออมนิเป็นเครื่องตรวจวัดฝุ่นของบริษัทบีจีไอ (BGI) ประเทศสหรัฐอเมริกา เครื่องออมนิเป็นเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นในบรรยากาศ มิใช่เครื่องมือวิเคราะห์ เช่นเดียวกับเครื่องพีคิว 200 และมีหลักการในการเก็บตัวอย่างเหมือนกับเครื่องพีคิว 200 ในเครื่องประกอบด้วยปั๊มดูดอากาศและใช้กระดาษกรองเป็นตัวกลางในการเก็บฝุ่นเช่นเดียวกัน ความแตกต่างจากเครื่องพีคิว 200 คืออัตราการไหลของอากาศที่ต่ำกว่า โดยเครื่องออมนิใช้อัตราการไหลของอากาศ 5 ลิตรต่อนาที การใช้งานเครื่องออมนิต้องตั้งโปรแกรมผ่านคอมพิวเตอร์และเครื่องมือนี้สามารถถ่ายข้อมูลสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ได้ (Watson *et al.*, 2011) เครื่องออมนิแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 เครื่องพีคิว 200

ที่มา: BGI (2004)



รูปที่ 2.4 เครื่องออมนิ

ที่มา: BGI (2004)

2.2.1.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพกพา (Personal Air Sampler)

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพกพาประกอบด้วยปั๊มดูดอากาศแบบพกพา (Personal air pump) ดังรูปที่ 2.5 และหัวคัตขนาดทำหน้าที่คัตขนาดฝุ่นที่ต้องการเก็บตัวอย่าง ในการใช้งานจะต้องใช้กระดาษกรองเป็นตัวกลางในการเก็บตัวอย่างฝุ่น การเลือกใช้หัวคัตขนาดจะขึ้นอยู่กับขนาดฝุ่นที่ต้องการเก็บตัวอย่าง เช่น หากต้องการเก็บฝุ่นแขวนลอยรวม (Total suspended particles; TSP) จะใช้ตลับกระดาษกรอง ดังรูปที่ 2.6 แต่หากต้องการเก็บตัวอย่าง PM_{10} จะต้องใช้ไซโคลนเป็นตัวคัตขนาดร่วมกับตลับกระดาษกรอง ดังรูปที่ 2.7 กระดาษกรองที่ใช้ต้องทำการปรับสภาพและชั่งน้ำหนักทั้งก่อนและหลังเก็บตัวอย่างและนำน้ำหนักสุทธิของฝุ่นหารด้วยปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านกระดาษกรอง อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพกพาจะใช้เก็บตัวอย่างแบบบุคคลหรือภายในอาคาร การประกอบชุดเก็บตัวอย่างอากาศแบบพกพาแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.5 ปั๊มดูดอากาศแบบพกพา



รูปที่ 2.6 ตลับกระดาษกรอง



รูปที่ 2.7 ไซโคลนและตลับกระดาษกรอง



รูปที่ 2.8 การประกอบชุดเก็บตัวอย่างอากาศแบบพกพา

นอกจากเครื่องเก็บตัวอย่างที่กล่าวมาแล้ว ยังมีเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นเพื่อการวิเคราะห์เชิงน้ำหนักที่ผลิตโดยบริษัทอื่นๆ อีกมากมาย แต่ใช้หลักการในการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์เช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เช่น เครื่องเก็บตัวอย่างชนิดแรงดูดสูง (High volume air sampler) ของบริษัทแอนเดอร์เซน (Andersen) หรือเครื่องไดโคโตมัส (Dichotomus sampler) ของบริษัทเทอร์โมไชน์ดีฟิสิก (Thermo Scientific) เป็นต้น

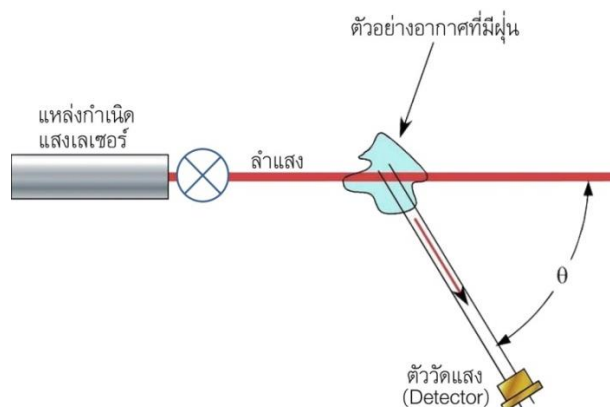
2.2.2 วิธีอัตโนมัติ

วิธีวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นแบบอัตโนมัติเป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อความสะดวกสบายในการตรวจวัดฝุ่นที่ต้องการความรวดเร็ว เนื่องจากวิธีวิเคราะห์แบบอัตโนมัติสามารถรายงานค่าความเข้มข้นของฝุ่นให้อยู่ในหน่วยน้ำหนักฝุ่นต่อปริมาตรอากาศได้แบบเรียลไทม์ หลักการที่ใช้ในเครื่องวิเคราะห์แบบอัตโนมัติมีหลายหลักการ เช่น หลักการกระเจิงแสง (Light scattering) การดูดซับรังสีเบต้า (Beta attenuation method) เป็นต้น เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบอัตโนมัติมีหลายแบบ หลายบริษัท ซึ่งแตกต่างกันทั้งรูปแบบภายนอกและหลักการที่ใช้ในการวิเคราะห์ จากงานวิจัยที่ผ่านมาเครื่องมือตรวจวัดอัตโนมัติที่ใช้หลักการในการตรวจวัดต่างกันเมื่อนำมาเก็บตัวอย่างพร้อมกันในพื้นที่เดียวกัน ให้ผลการตรวจวัดที่แตกต่างกัน (Cheng *et al.*, 2008) ซึ่งอาจเกิดจากประสิทธิภาพของหัววัดแยกขนาดฝุ่นและวิธีการตรวจวัดที่แตกต่างกัน (Yanosky *et al.*, 2002; Morawska *et al.*, 2003; Branis, 2006; Cheng *et al.*, 2008; Tasic *et al.*, 2012)

เครื่องมือตรวจวัดอัตโนมัติมีข้อดีหลายประการ กล่าวคือ มีความสะดวกรวดเร็ว สามารถตรวจวัดฝุ่นได้หลากหลายขนาด และสามารถกำหนดระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างหรือปรับอัตราการไหลของอากาศให้เหมาะสมกับการเก็บฝุ่นแต่ละขนาดได้ หลักการวิเคราะห์ที่นำมาใช้ในเครื่องเก็บตัวอย่างแบบอัตโนมัติมีดังนี้

2.2.2.1 การกระเจิงแสง (Light Scattering)

วิธีวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการกระเจิงแสงเป็นหลักการใช้กันมากในเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบอัตโนมัติ วิธีนี้ไม่ต้องใช้กระดาษกรองในการเก็บฝุ่น แต่จะมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์เทียบเท่ากับเครื่องมือตรวจวัดตามวิธีอ้างอิง โดยเครื่องจะทำงานโดยการดูดอากาศด้วยปั๊มดูดอากาศภายในเครื่อง อากาศที่มีฝุ่นจะเคลื่อนที่ผ่านลำแสงเลเซอร์ เมื่อแสงกระทบอนุภาคฝุ่นจะเกิดการกระเจิงแสงเป็นมุมน้อยๆ โดยแสงที่กระเจิงจากฝุ่นที่มีขนาดต่างกันจะมีมุมที่แตกต่างกันออกไป และมีอุปกรณ์ตรวจวัดแสง (Detector) ทำหน้าที่วัดแสงและส่งข้อมูลความเข้มแสงที่กระเจิงจากอนุภาคเข้าสู่หน่วยประมวลผลของเครื่องมือ เมื่อหน่วยประมวลผลทำการประมวลข้อมูลมุมของแสงจะแสดงผลการตรวจวัดในรูปความเข้มข้นของฝุ่นขนาดต่างๆ ได้ เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำ เนื่องจากหากตัวอย่างมีความเข้มข้นสูง แสงมีโอกาสที่จะกระเจิงกับอนุภาคอื่นก่อนที่อุปกรณ์ตรวจวัดแสงจะสามารถตรวจวัดได้ ส่งผลให้การแยกขนาดอนุภาคเกิดความผิดพลาด เทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์อนุภาคเล็กที่สุดได้ถึง 1 นาโนเมตร (Tasic *et al.*, 2012) รูปที่ 2.9 แสดงหลักการทำงานของวิธีวิเคราะห์แบบอาศัยหลักการกระเจิงแสง



รูปที่ 2.9 หลักการทำงานของวิธีวิเคราะห์แบบอาศัยหลักการกระเจิงแสง

เครื่องมือที่ใช้หลักการกระเจิงแสงในการตรวจวัดฝุ่นมีหลายรูปแบบและผลิตโดยหลายบริษัท ซึ่งขอยกตัวอย่างดังต่อไปนี้

- เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8520 (DustTrak Aerosol Monitor 8520)

เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8520 ของบริษัททีเอสไอ (TSI) ประเทศสหรัฐอเมริกา สามารถตรวจวัดฝุ่นได้ 4 ขนาด ได้แก่ PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_4 และ PM_{10} โดยใช้ความยาวของคลื่นแสงเลเซอร์ 780 นาโนเมตร ทำงานที่อัตราการไหล 1.7 ลิตรต่อนาที เครื่องมือชนิดนี้สามารถพกพาได้สะดวก เนื่องจากมีขนาดกะทัดรัดโดยมีน้ำหนักเพียง 1.5 กิโลกรัม และสามารถถ่ายโอนข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์ได้ (Watson *et al.*, 2011) เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8520 แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8520

ที่มา: TSI (2014)

- **เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 (DustTrak Aerosol Monitor 8530)**

เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 ของบริษัททีเอสไอ ประเทศสหรัฐอเมริกา ตรวจวัดฝุ่นได้ 4 ขนาด ได้แก่ PM_1 $PM_{2.5}$ PM_4 และ PM_{10} เช่นเดียวกับเครื่องรุ่น 8520 แต่ความยาวของคลื่นแสงเลเซอร์ที่ใช้คือ 655 นาโนเมตร ใช้อัตราการไหลเท่ากับ 3 ลิตรต่อ นาที เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 จะมีความถูกต้องมากกว่าเครื่องรุ่น 8520 เนื่องจากเครื่องรุ่น 8530 สามารถจำแนกฝุ่นขนาดใหญ่โดยใช้หลักการสะท้อนแสงปริมาณต่ำได้ นอกจากนี้การตรวจวัด $PM_{2.5}$ จะมีเครื่องเนฟโฟโลมิเตอร์ (Nephelometer) ซึ่งเป็นเครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นแขวนลอย ในของเหลวหรือในก๊าซ ทำหน้าที่ลดการสูญเสียความเข้มข้นของฝุ่นที่มีขนาดเล็ก เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 สามารถถ่ายโอนข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์ได้เช่นกัน ทำให้สะดวกต่อการนำข้อมูลไปใช้ แต่จะมีน้ำหนักมากกว่าเครื่อง รุ่น 8520 เล็กน้อยโดยมีน้ำหนัก 2.0 กิโลกรัม จึงไม่สามารถพกติดตัวได้ เหมาะสำหรับตรวจวัดฝุ่นภายในอาคาร (Watson *et al.*, 2011) เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 มีกระดาศกรองใช้สำหรับเก็บฝุ่นประกอบอยู่ในเครื่องซึ่งจะใช้ก็ต้องการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีใน ฝุ่น หรือนำไปวิเคราะห์เชิงน้ำหนักได้ เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530

ที่มา: TSI (2014)

- **เครื่องโอซิริส รุ่น 2315 (Osiris Particle Monitor Model 2315)**

เครื่องโอซิริส รุ่น 2315 ของบริษัทเทิร์นคีย์ (Turnkey) ประเทศอังกฤษ สามารถตรวจวัดฝุ่นได้ 4 ขนาด ได้แก่ TSP PM_1 $PM_{2.5}$ PM_4 และ PM_{10} โดยสามารถตรวจวัดความเข้มข้นต่ำสุดได้ถึง 0.1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.6 ลิตร ต่อ นาที เครื่องโอซิริส รุ่น 2315 มีช่องใส่กระดาศกรองที่สามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก หรือวิเคราะห์หาองค์ประกอบอื่นๆ ในฝุ่นได้ต่อไปเช่นเดียวกับเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 เครื่องโอซิริส รุ่น 2315 แสดงดังรูปที่ 2.12

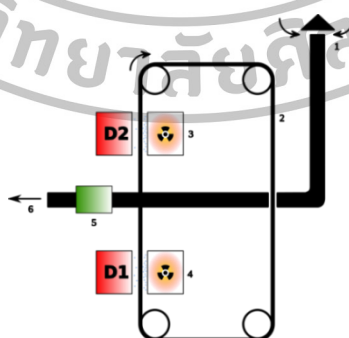


รูปที่ 2.12 เครื่องโอซิริส รุ่น 2315

ที่มา: TurnKey (no date)

2.2.2.2 การดูดซับรังสีเบต้า (Beta Attenuation Method; BAM)

หลักการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นด้วยวิธีดูดซับรังสีเบต้าเป็นหลักการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ซึ่งหลักการวิเคราะห์คือ เมื่อดูดอากาศเข้าในระบบ ฝุ่นจะตกสะสมลงบนแถบกระดาษกรองหมุนได้ มีแหล่งกำเนิดรังสีเบต้า (ซึ่งเป็นรังสีพลังงานต่ำ) 2 แหล่ง และมีอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีเบต้า 2 ชุด ซึ่งวางตัวอยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีเบต้า ดังรูปที่ 2.13 ฝุ่นบนแถบกระดาษกรองด้านที่ใช้เก็บฝุ่นจะสะสมฝุ่นไว้ โดยฝุ่นเหล่านี้จะดูดซับรังสีเบต้าไว้บางส่วน ทำให้รังสีที่ผ่านเข้าสู่อุปกรณ์วัดแสงมีความเข้มลดลง ส่วนแถบกระดาษกรองอีกด้านหนึ่งจะไม่มี การเคลื่อนที่ของอากาศผ่าน (เป็นแบบล็อก) รังสีเบต้าจะผ่านได้ตลอด เครื่องจะประมวลผลโดยการเปรียบเทียบความเข้มแสงที่ส่องผ่านแถบกระดาษกรองทั้งสอง แล้วหาความสัมพันธ์ของปริมาณรังสีที่ฉายและรังสีที่ผ่านกระดาษกรองออกมาเมื่อไม่มีและเมื่อมีฝุ่นสะสมอยู่ และนำไปเทียบหาความเข้มข้นของฝุ่นที่ตรวจวัด (Hart, 2009)



รูปที่ 2.13 หลักการดูดซับรังสีเบต้า

ที่มา: Liberti (1975)

จากรูป หมายเลข 1 คือทางเข้าของอากาศ หมายเลข 2 คือแถบกระดาษกรองหุ้มได้ หมายเลข 3 และ 4 คือแหล่งกำเนิดรังสีเบต้า D_1 และ D_2 คืออุปกรณ์ตรวจวัดแสง (Detector) หมายเลข 5 คือปั๊มดูดอากาศ หมายเลข 6 คือทางออกของอากาศ

เครื่องตรวจวัดฝุ่นที่ใช้หลักการดูดซับรังสีเบต้าในห้องตลาด ณ ปัจจุบันที่นิยมใช้คือเครื่องอีแบม (E-BAM Sampler) ของบริษัทเม็ทวัน (Met One) ประเทศสหรัฐอเมริกา ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถถ่ายโอนผ่านคอมพิวเตอร์ได้ เครื่องอีแบมแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 เครื่องอีแบม

ที่มา: Met One Instrument (no date)

ในที่นี้จะเน้นเฉพาะวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติที่ใช้หลักการกระเจิงแสงเท่านั้น เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้ในการวิจัยนี้ ทั้งนี้ วิธีวิเคราะห์ทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันทั้งในด้านหลักการ ทำงาน ตัวกลางที่ใช้ อุปกรณ์คัดขนาด และการอ่านค่าความเข้มข้นที่ได้ ความแตกต่างดังกล่าวได้สรุปไว้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความแตกต่างของวิธีการอ้างอิงและวิธีการเทียบเคียง

รายละเอียด	วิธีเชิงน้ำหนัก (วิธีอ้างอิง)	วิธีวิเคราะห์ด้วยการกระเจิงแสง (วิธีเทียบเคียง)
หลักการ	อิมแพ็คชั่นร่วมกับการกรอง	การกระเจิงแสง
ตัวกลาง	กระดาษกรอง	ไม่จำเป็น แต่อาจพบในบางรุ่น
อุปกรณ์สำคัญ	<ol style="list-style-type: none"> อุปกรณ์คัดขนาดฝุ่น อิมแพ็คเตอร์ (Impactor) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ฝุ่นขนาดใหญ่กว่าขนาดที่ต้องตกลงบนกระดาษกรอง 	<ol style="list-style-type: none"> อุปกรณ์คัดขนาดฝุ่น แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ อุปกรณ์ตรวจวัดแสง ทำหน้าที่ในการตรวจวัดแสงที่กระเจิง หน่วยประมวลผล ทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มแสงเป็นความเข้มข้น
ข้อดี	<ol style="list-style-type: none"> เป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้ในหลายประเทศ 	<ol style="list-style-type: none"> สามารถให้ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นต่อปริมาตรอากาศได้ตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง มีสายเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยตรง ทำให้สะดวกทั้งในการตรวจวัดและการนำข้อมูลไปใช้
ข้อด้อย	<ol style="list-style-type: none"> ไม่เหมาะกับการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในระยะเวลานั้น เนื่องจาก การซิงกระดาษกรองด้วยเครื่องซิงแบบไมโครกรัมมีความอ่อนไหว ควรตรวจวัด 24 ชั่วโมงเป็นอย่างน้อย ต้องระมัดระวังระหว่างการขนส่ง เพราะอาจสูญเสียน้ำหนักฝุ่นบนกระดาษกรองเนื่องจากการระเหย 	<ol style="list-style-type: none"> หลายงานวิจัยระบุว่าผลการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นจากเครื่องตรวจวัดอัตโนมัติให้ค่าที่สูงกว่าวิธีเชิงน้ำหนัก ความเหมาะสมของมุมการกระเจิงแสง ซึ่งอาจให้ผลการตรวจวัดที่ผิดพลาดไปจากความเป็นจริง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yanosky *et al.* (2002) ศึกษาเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่ได้จากวิธีอัตโนมัติ (เครื่องดัสแทร์ค) กับวิธีเชิงน้ำหนัก (เครื่องพีคิว 200) โดยเก็บตัวอย่างภายในอาคารวิทยาศาสตร์ สุขภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยจอร์เจีย เมืองเอเธนส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเปรียบเทียบผลการตรวจวัด PM_{2.5} เฉลี่ยทุก 30 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง

ผลการศึกษานำมาเขียนกราฟการกระจายของข้อมูลแสดงดังรูปที่ 2.15 และได้สมการถดถอยในรูปแบบดังสมการที่ 1

$$y = \beta_1 x + \beta_0 \quad (1)$$

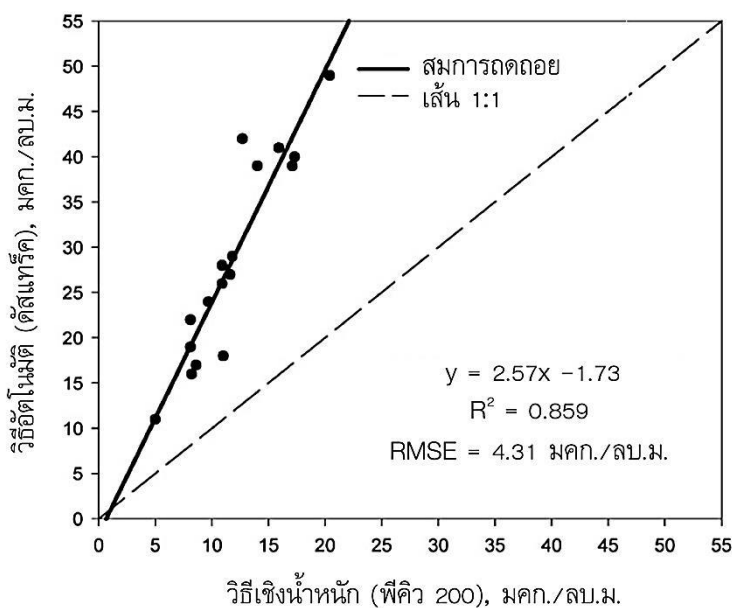
เมื่อ x คือตัวแปรอิสระ (ความเข้มข้นที่ได้จากวิธีอ้างอิง)

y คือตัวแปรตาม (ความเข้มข้นที่ได้จากวิธีอัตโนมัติ)

β_1 คือความชันของกราฟการกระจายของข้อมูล

β_0 คือจุดตัดแกน y

ผลการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ระหว่างเครื่องมือ 2 ชนิดด้วย Paired Sample T-Test พบว่า มีความแตกต่างระหว่างผลที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ค่าความแตกต่างเฉลี่ย = -16.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) อย่างไรก็ตาม จุดตัดแกน y ของกราฟทั้งสองไม่ต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังแสดงในรูปที่ 2.15) แต่ความชันของกราฟแตกต่างจาก 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\beta_1 = 2.57$) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.895 แสดงให้ทราบว่าความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่ได้จากการตรวจวัดโดยวิธีเชิงน้ำหนักกับวิธีอัตโนมัติ มีความสัมพันธ์สูง อย่างไรก็ตาม พบว่า เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8520 มีความแม่นยำไม่สูงนัก โดย หากค่า RMSE มีค่าต่ำแสดงว่าผลที่ได้จากการตรวจวัดมีความแม่นยำสูงค่า ซึ่ง RMSE ระหว่างเชิงน้ำหนักกับวิธีอัตโนมัติมีค่าเท่ากับ 4.31 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 2.15 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ 24 ชม.-PM_{2.5} ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก (เครื่องพีคิว 200) และวิธีอัตโนมัติ (ดัสแทร์ค) ที่มา: ดัดแปลงจาก Yanosky *et al.* (2002)

แม้ว่าเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8520 จะให้ผลการตรวจวัด PM_{2.5} ที่ใกล้เคียงกับวิธีเชิงน้ำหนัก แต่ความแม่นยำของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเชิงน้ำหนักแล้ว จะต้องใช้วิธีการทางสถิติในการปรับข้อมูลให้ถูกต้องโดยใช้ค่าความชันและค่าจุดตัดแกนของเส้นสมการถดถอยระหว่างเครื่องดัสแทร์คกับวิธีอ้างอิง ด้วยการเขียนกราฟใหม่โดยสลับแกนในรูปที่ 2.15 ให้วิธีอัตโนมัติเป็นตัวแปรอิสระ จะได้สมการปรับแก้ดังสมการที่ 2 การใช้สมการที่ 2 ในการปรับแก้ค่าที่ได้จากเครื่องดัสแทร์คทำให้ค่า RMSE ระหว่างค่าที่ได้จากวิธีอัตโนมัติที่ปรับแก้แล้วกับค่าที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักลดลงเหลือ 1.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$$y = 0.33x + 2.25 \quad (2)$$

เมื่อ y คือ ค่าจากเครื่องดัสแทร์คที่ปรับแก้แล้ว
 x คือ ค่าที่ได้จากเครื่องดัสแทร์ค

Morawska *et al.* (2003) ศึกษาการปรับเทียบเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8520 กับเครื่องโดโค-โตมัสโดยตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ภายในบ้านพักอาศัยเมืองบรัสเซล ประเทศออสเตรีย การศึกษานี้มีได้มุ่งเน้นเปรียบเทียบผลการตรวจวัดด้วยวิธีอัตโนมัติ (เครื่องดัสแทร์ค) กับวิธีเชิงน้ำหนัก

(เครื่องไดโคโตมัส) โดยตรง แต่มีการศึกษาเปรียบเทียบแทรกอยู่ในเนื้อหา จึงจะขอกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์เท่านั้น โดยในการศึกษาคั้งนี้ผู้วิจัยเก็บตัวอย่างในบ้านพักอาศัยบริเวณชานเมืองด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของเมืองบรีสเบนจำนวน 14 หลังคาเรือนและอีก 1 หลังคาเรือนตั้งอยู่ทางทิศตะวันออก โดยคณะผู้วิจัยใช้เครื่องนับอนุภาค (Condensation particle counter; CPC) รุ่น 3022A ของบริษัททีเอสไอ ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่สามารถตรวจวัดฝุ่นขนาดเล็กได้ในช่วง 0.007-0.080 ไมครอน โดยเก็บตัวอย่างที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.31 ลิตรต่อนาที เครื่องซีพีซี รุ่น 3022A แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 เครื่องซีพีซี รุ่น 3022A
ที่มา: TSI (no date)

การตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ แบบอัตโนมัติใช้เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8520 ของบริษัท ทีเอสไอ ประเทศสหรัฐอเมริกา (รูปที่ 2.10) ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากเครื่องดัสแทร์คนำไปเปรียบเทียบกับวิธีอ้างอิงของ US EPA (วิธี Tapered element oscillating microbalance; TEOM ที่ใช้เครื่องไดโคโตมัส) ซึ่งเป็นวิธีเชิงน้ำหนัก เพื่อหาสมการปรับแก้ แทนที่จะใช้ค่าที่ปรับเทียบมาจากผู้ผลิต

ความเข้มข้นภายนอกอาคารที่ใช้ในการเปรียบเทียบใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดที่ตั้งอยู่ในเมืองบรีสเบน ซึ่งใช้เครื่องไดโคโตมัสและเครื่องตรวจวัดการกระจายขนาดของอนุภาคที่เคลื่อนที่โดยการสแกน (Scanning Mobility Particle Sizer; SMPS) รุ่น 3934 ของบริษัททีเอสไอ ประเทศสหรัฐอเมริกา ในการเก็บตัวอย่าง PM_{10} แต่ไม่มีการเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ ที่สถานีตรวจวัดแห่งนี้

ในการเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นภายในและภายนอกอาคารจะต้องปรับแก้ความเข้มข้นของ PM_{10} ให้เป็น $PM_{2.5}$ โดยใช้อัตราส่วน $PM_{2.5}/PM_{10} = 0.61$ อัตราส่วนนี้ได้จากสถานีตรวจวัดของ US EPA ในเมืองบรีสเบนในปี ค.ศ. 1999 ผลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ด้วยเครื่องดัสแทร์ค

เปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักมีความสัมพันธ์กันสูง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.83 โดยข้อมูลที่ได้จากเครื่อง DustTrak มีค่าน้อยกว่าวิธีเชิงน้ำหนัก และได้สมการถดถอยดังสมการที่ 3

$$PM_{2.5}(TEOM) = 0.394PM_{2.5}(Dustrak) + 4.450 \quad (3)$$

Branis (2006) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการตรวจวัด PM_{10} ในรถไฟใต้ดินและบริเวณชานชาลา ในกรุงปราก ประเทศสาธารณรัฐเช็ก ในฤดูหนาวและฤดูร้อน โดยใช้เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8520 ของบริษัททีเอสไอ (รูปที่ 2.10) กับวิธีอ้างอิงของสาธารณรัฐเช็ก ซึ่งใช้หลักการดูดซับรังสีเบต้าในการตรวจวัด ผลจากการศึกษาพบว่า ในฤดูหนาวอัตราส่วนระหว่างผลการตรวจวัดที่ได้จากเครื่องดัสแทร์คกับผลการตรวจวัดที่ได้จากเครื่องดูดซับรังสีเบต้ามีค่าเท่ากับ 3.4 โดยสมการถดถอยที่ได้จากข้อมูลในช่วงฤดูหนาวแสดงดังสมการที่ 4 ($R^2 = 0.97$) และรูปที่ 2.17

$$y = 3.46x - 3.99 \quad (4)$$

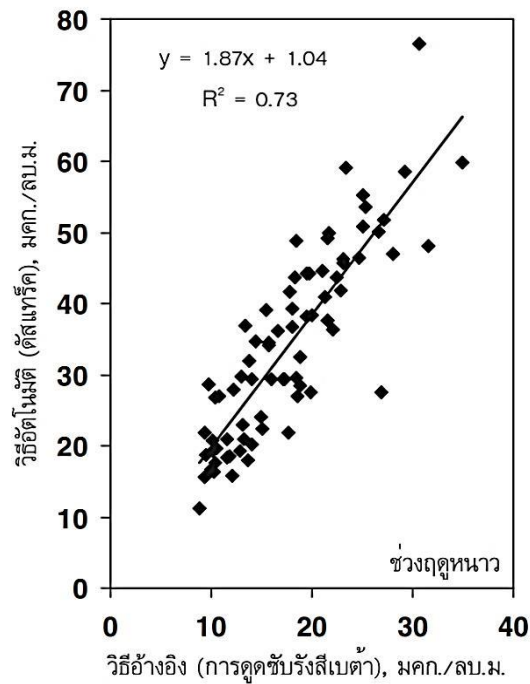
เมื่อ y คือ ค่าที่ได้จากเครื่องดัสแทร์ค

x คือ ค่าที่ได้จากเครื่องดูดซับรังสีเบต้า

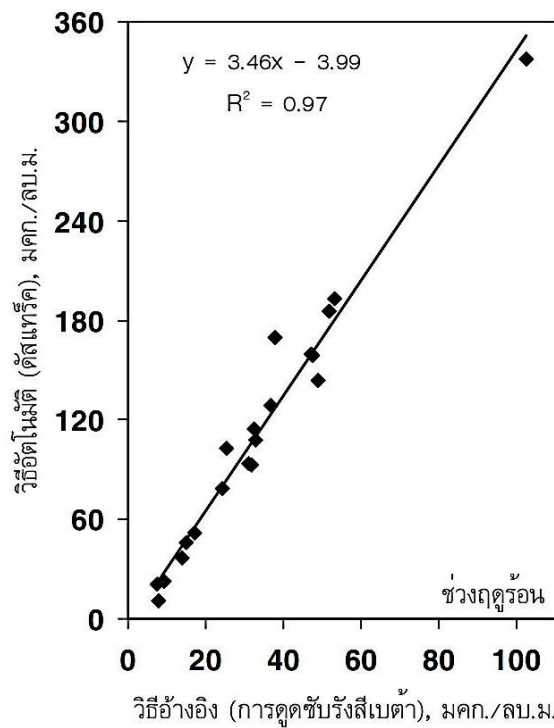
ส่วนในช่วงฤดูร้อนอัตราส่วนระหว่างข้อมูลทั้งสองชุดมีค่าต่ำกว่าในช่วงฤดูหนาวโดยมีค่าเท่ากับ 2.02 และสมการถดถอยที่ได้แสดงดังสมการ 5 ($R^2 = 0.73$) และรูปที่ 2.18

$$y = 1.87x + 1.04 \quad (5)$$

จากข้อมูลของคณะผู้วิจัยทั้งที่เผยแพร่และไม่ได้เผยแพร่แสดงให้เห็นว่า ค่าที่ได้จากวิธีอัตโนมัติ (เครื่องดัสแทร์ค) มักมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิง (วิธีดูดซับรังสีเบต้า) ในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว ค่าที่วัดได้มีค่าเกินกว่าค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงประมาณ 2 และ 3 เท่า ตามลำดับ ในฤดูร้อนซึ่งเป็นช่วงที่อากาศแห้งกว่าและอบอุ่นกว่าจะเกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นหยาบ (ฝุ่นขนาดใหญ่ 10 – 2.5 ไมครอน) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับฝุ่นแอริโซนาที่ใช้ในการปรับเทียบเครื่องมือ จึงทำให้มีความแตกต่างกับวิธีอ้างอิงน้อยกว่าช่วงฤดูหนาวซึ่งมีอากาศเย็นและชื้น สภาพอากาศเย็นและชื้นในช่วงฤดูหนาวทำให้เกิดฝุ่นละเอียด (ฝุ่นขนาดเล็ก < 2.5 ไมครอน) มาก และล่องลอยอยู่ในอากาศได้นานขึ้น ทำให้ได้ผลการตรวจวัดมากกว่าวิธีอ้างอิงมาก



รูปที่ 2.17 การกระจายของข้อมูลจากเครื่องดีสแทร์ริคและจากวิธีดูดซับรังสีเบต้าในช่วงฤดูหนาว
ที่มา: ดัดแปลงจาก Branis (2006)

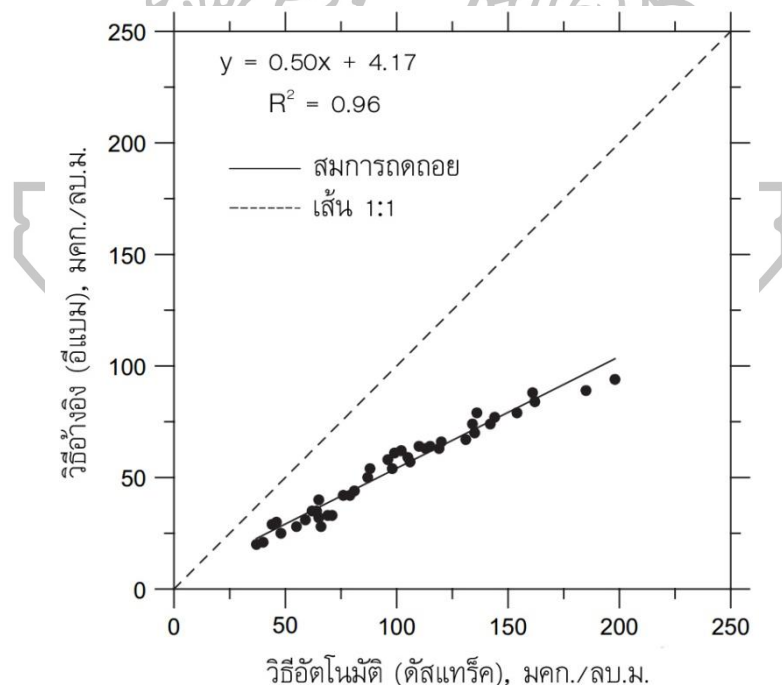


รูปที่ 2.18 การกระจายของข้อมูลจากเครื่องดีสแทร์ริคและจากวิธีดูดซับรังสีเบต้าในช่วงฤดูร้อน
ที่มา: ดัดแปลงจาก Branis (2006)

Cheng *et al.* (2008) ได้เปรียบเทียบผลการตรวจวัด PM₁₀ และ PM_{2.5} ในระบบขนส่งในไทเป โดยใช้เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8520 (รูปที่ 2.10) ของบริษัททีไอเอสไอกับเครื่องอีแบม ของบริษัทเม็ทวัน (รูปที่ 2.14) ซึ่งเป็นวิธีอ้างอิงขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของไต้หวัน โดยเครื่องอีแบมใช้หลักการดูดซับรังสีเบตาในการตรวจวัด ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM₁₀ และ PM_{2.5} เฉลี่ย 1 ชั่วโมง ที่ตรวจวัดด้วยเครื่องดัสแทร์คและเครื่องอีแบม แสดงได้ดังสมการที่ 6 และสมการที่ 7 ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PM₁₀ และ PM_{2.5} ที่ได้จากเครื่องดัสแทร์คมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากเครื่องอีแบม 2.0 และ 2.5 เท่า ตามลำดับ เนื่องจากในการทำงานของเครื่องดัสแทร์คเป็นการรวมแสงที่กระเจิงจากอนุภาคปริมาณมากในเวลาเดียวกัน จึงอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับเทียบเครื่องดัสแทร์คก่อนที่จะนำไปใช้ในการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่น อย่างไรก็ตาม พบความสอดคล้องในระดับสูงระหว่างข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดทั้งสอง โดยมีค่า R² สำหรับ PM₁₀ และ PM_{2.5} เท่ากับ 0.96 และ 0.90 ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.19 และรูปที่ 2.20

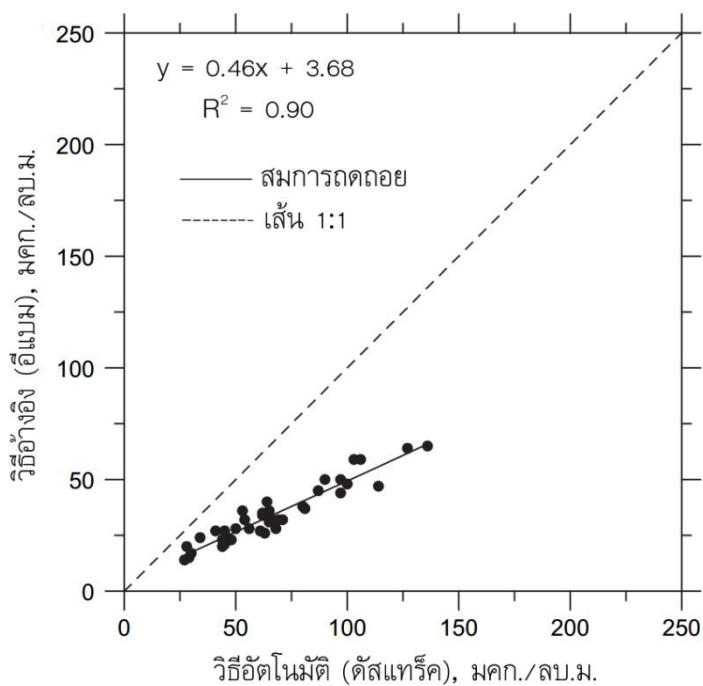
$$\text{PM}_{10}: \quad y = 0.54x + 4.17 \quad (6)$$

$$\text{PM}_{2.5}: \quad y = 0.46x + 3.68 \quad (7)$$



รูปที่ 2.19 การกระจายของข้อมูลจากเครื่องดัสแทร์คและจากเครื่องอีแบม

ที่มา: ดัดแปลงจาก Cheng *et al.* (2006)



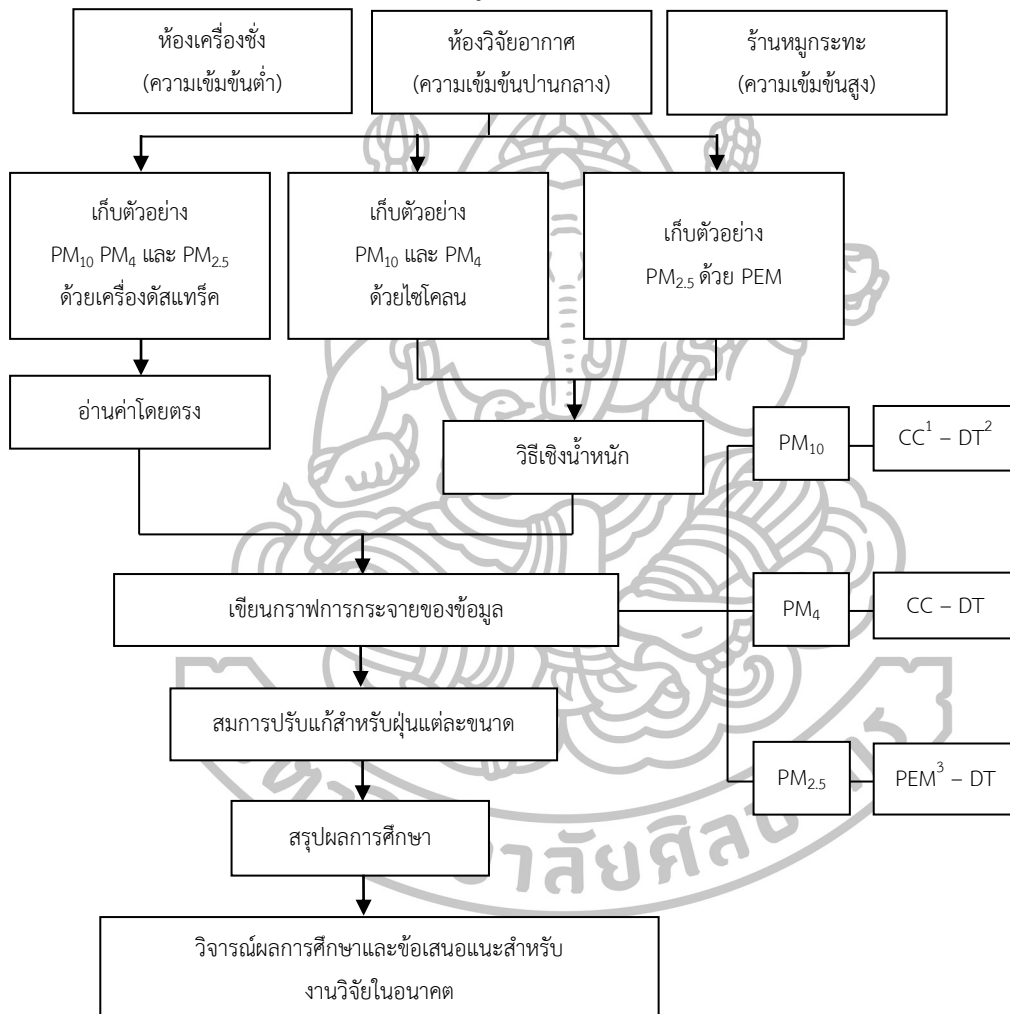
รูปที่ 2.20 การกระจายของข้อมูลจากเครื่องตัลแท็คและจากเครื่องอีเอ็ม
ที่มา: ดัดแปลงจาก Cheng *et al.* (2006)

ดังนั้น จากกรณีศึกษาที่ผู้จัดทำได้รวบรวมทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่า การตรวจวัดฝุ่นด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกัน ค่าความเข้มข้นของฝุ่นที่ได้จะไม่เท่ากัน เนื่องจากความแตกต่างระหว่างหลักการในการวิเคราะห์ และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเครื่องมือ เช่น อุณหภูมิ ความเร็วลม ทิศทางลม และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น (Cheng *et al.*, 2008; Watson *et al.*, 2010, 2011)

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

กรอบแนวคิดในการวิจัย แสดงดังรูปที่ 3.1



หมายเหตุ:

¹ CC หมายถึงค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยไซโคลน

² DT หมายถึงค่าที่ได้จากการอ่านโดยตรงจากเครื่องดัสแทร์ค

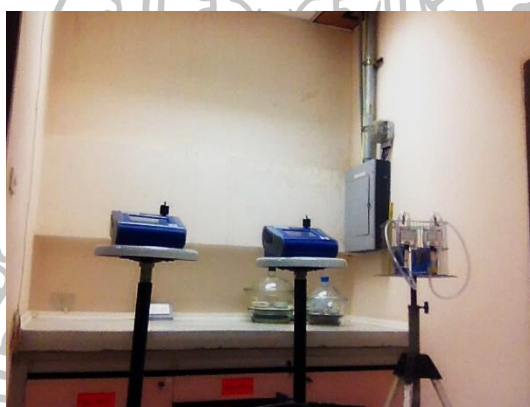
³ PEM หมายถึงค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วย PEM

รูปที่ 3.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่น

3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่าง

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เก็บตัวอย่างฝุ่นในห้องเครื่องซั้่งและห้องวิจัยอากาศ ภาควิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม และร้านหมูกระทะ จังหวัดนครปฐม สำหรับสถานที่เก็บตัวอย่างแต่ละที่จะมี แหล่งกำเนิดฝุ่นแตกต่างกัน อาทิ ในห้องเครื่องซั้่งและห้องวิจัยอากาศมีแหล่งกำเนิดคือการ แลกเปลี่ยนอากาศกับภายนอก และฝุ่นในร้านหมูกระทะเกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์ โดยคาดว่า สถานที่ที่มีความเข้มข้นต่ำสุดไปสูงสุด ได้แก่ ห้องเครื่องซั้่ง ห้องวิจัยอากาศ และร้านหมูกระทะ ตามลำดับ ลักษณะทางกายภาพของสถานที่และการประกอบกิจกรรมแสดงดังตารางที่ 3.1 รูปที่ 3.2-3.4 แสดงการเก็บตัวอย่างในสถานที่ต่างๆ



รูปที่ 3.2 การเก็บตัวอย่างในห้องเครื่องซั้่ง



รูปที่ 3.3 การเก็บตัวอย่างในห้องวิจัยอากาศ



รูปที่ 3.4 การเก็บตัวอย่างในร้านหมูกระทะ

3.2.2 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่าง PM_{10} PM_4 และ $PM_{2.5}$ ในอากาศแบบพื้นที่ โดยติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นทั้ง 3 ขนาด ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 โดยที่ห้องเครื่องซึ่งซึ่งคาดว่าจะมีความเข้มข้นของฝุ่นต่ำจึงเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 8.00 น. เพื่อให้มีปริมาณฝุ่นมากพอที่จะชั่งด้วยเครื่องชั่งระดับไมโครกรัม (Microbalance) ได้ ส่วนห้องวิจัยอากาศซึ่งคาดว่าจะมีความเข้มข้นของฝุ่นสูงกว่าห้องเครื่องซึ่ง เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 น. จนถึงเวลา 16.00 น. และร้านหมูกระทะซึ่งมีความเข้มข้นสูงสุด เก็บตัวอย่าง 2 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 18.00 น. จนถึงเวลา 20.00 น. เพื่อมิให้เกิดการอุดตันของกระตาดุกรอง เก็บตัวอย่างฝุ่นทั้ง 3 ขนาดสถานที่ละ 20 วัน โดยเก็บ 2 ชั่วโมง โดยตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดเดียวกัน 2 เครื่องเพื่อเก็บตัวอย่างพร้อมกัน ยกเว้น $PM_{2.5}$ เก็บตัวอย่างเพียงชั่วโมงเดียวเนื่องจากมีเครื่องคัดขนาดเพียงเครื่องเดียว

3.2.3 วิธีการเตรียมกระตาดุกรอง

ปรับสภาพกระตาดุกรองก่อนนำไปใช้ในการเก็บตัวอย่าง โดยนำกระตาดุกรองใส่ในโถดูดความชื้นเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง บรรจุกระตาดุกรองที่ผ่านการปรับสภาพแล้วลงในตลับกระตาดุกรอง ปิดฝาให้สนิทพันด้วยเทปที่ทำจากเทฟลอน (Teflon tape) แล้วบรรจุลงถุงซิปล็อคเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้า

3.2.4 วิธีการเก็บตัวอย่าง

ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างทำได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพและการประกอบกิจกรรมภายในสถานที่เก็บตัวอย่าง

สถานที่	ลักษณะการใช้งาน	ขนาดห้อง	ลักษณะทางกายภาพ	บริเวณติดตั้งเครื่องมือ
ห้องเครื่องซัง	ผู้ใช้งานคือ นักศึกษาที่เรียนปฏิบัติการดิน ความถี่ในการใช้งานประมาณ 2 วันต่อสัปดาห์ ซึ่งน้อยมาก ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าบริเวณนี้จะมี ความเข้มข้นของ PM ₁₀ PM ₄ และ PM _{2.5} ต่ำ	ห้องเครื่องซังกว้าง 1.95 เมตร ยาว 3.00 เมตร และสูง 2.80 เมตร ดังนั้นห้องจะมีขนาดเท่ากับ 16.38 ลูกบาศก์เมตร	ห้องเครื่องซังลักษณะเป็นห้องปิด มีประตูเข้า-ออกเพียง 1 ประตู ไม่มีหน้าต่าง นอกจากนี้ภายในห้องไม่มีเครื่องปรับอากาศและพัดลม ดังนั้นการแลกเปลี่ยนอากาศภายนอกต่ำ	ผู้วิจัยติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดทั้งวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติกลางห้องโดยเครื่องมือตรวจวัดจะอยู่สูงจากพื้น 1.5 เมตร
ห้องวิจัยอากาศ	ความถี่ในการใช้งานภายในห้องของนักศึกษาที่ทำโครงการงานวิจัยอากาศจะใช้ห้องตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันศุกร์ ระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งผู้วิจัยคาดว่ามีความเข้มข้นของฝุ่นมากกว่าบริเวณห้องเครื่องซัง	ห้องเครื่องวิจัยอากาศขนาดเท่ากับ 121.54 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งกว้าง 6.35 เมตร ยาว 6.38 เมตร และสูง 3.00 เมตร	ลักษณะทางกายภาพของห้องมีประตูกระจก 1 ประตู มีหน้าต่าง 2 บานและนอกจากนี้มีพัดลมและเครื่องปรับอากาศ ซึ่งช่วงที่ผู้วิจัยเก็บตัวอย่างเปิดเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง ดังนั้นการแลกเปลี่ยนอากาศจากภายนอกสู่ภายในจะมีค่ามากกว่าห้องเครื่องซัง	การติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดแบบพื้นที่ โดยสูงจากพื้น 1.5 เมตร

ตารางที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพและการประกอบกิจกรรมภายในสถานที่เก็บตัวอย่าง (ต่อ)

สถานที่	ลักษณะการใช้งาน	ขนาดห้อง	ลักษณะทางกายภาพ	บริเวณติดตั้งเครื่องมือ
ร้านหมูกระทะ	ผู้ใช้งานคือ ลูกค้าที่เข้ารับบริการรับประทานอาหารปิ้งย่างเนื้อสัตว์ภายในร้าน ร้านหมูกระทะเปิดทุกวัน ตั้งแต่ 17.00 น. ถึง 22.00 น. ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าบริเวณดังกล่าวจะมีความเข้มข้นของ PM ₁₀ PM ₄ และ PM _{2.5} สูงที่สุด	ร้านหมูกระทะกว้าง 12 เมตร ยาว 24 เมตร และสูง 6 เมตร ดังนั้นร้านหมูกระทะจะมีขนาดเท่ากับ 1,728 ลูกบาศก์เมตร	ลักษณะของร้านเป็นร้านปิ้งย่างแหล่งกำเนิดของฝุ่นเกิดจากการปิ้งย่างเนื้อสัตว์และการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง ซึ่งคือก๊าซแอลพีจี และร้านตั้งอยู่บริเวณริมถนนที่มีการจราจรไม่หนาแน่นภายในร้านจะมีพัดลมแต่ไม่ได้เปิดตลอดระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง ดังนั้นจะเกิดการสะสมของฝุ่นมาก	การติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดทั้งวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติ เครื่องมือตรวจวัดตั้งอยู่ในส่วนบริการลูกค้า สูงจากพื้น 1.5 เมตร และห่างจากบริเวณลูกค้าปิ้งย่างประมาณ 90 เซนติเมตร

3.2.4.1 การเก็บตัวอย่างโดยใช้ไซโคลนและPEM

- ตัวอย่าง
- (1) เปิดสวิทซ์ให้ปั๊มดูดอากาศทำงาน พร้อมบันทึกเวลาเริ่มต้นการเก็บตัวอย่าง
 - (2) เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง ปิดสวิทซ์ปั๊มดูดอากาศ พร้อมบันทึกเวลาสิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง
 - (3) นำกระดาษกรองที่ผ่านการเก็บตัวอย่างใส่ลงในโถดูดความชื้นเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง และบันทึกเป็นน้ำหนักหลังเก็บตัวอย่าง

3.2.4.2 การเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องดิสแทริค

สำหรับการเก็บตัวอย่างโดยการอ่านค่าโดยตรงด้วยเครื่องดิสแทริค รุ่น 8530 มีขั้นตอนดังนี้

- (1) ปรับศูนย์เครื่องเก็บตัวอย่างโดยประกอบอุปกรณ์ปรับศูนย์ (Zero filter) เข้ากับทางเข้าของอากาศที่ตัวเครื่องดิสแทริค (รูปที่ 3.5) รอจนเครื่องขึ้น “Complete”



รูปที่ 3.5 การปรับศูนย์เครื่องดิสแทริค

- (2) ทำความสะอาดและหยดน้ำมันลงบนอิมแพ็คเตอร์ 1 หยด
- (3) ที่หน้าจอเครื่องกดปุ่มดาต้าล็อก (Data log) ตั้งชื่อแฟ้มข้อมูล
- (4) กำหนดให้เครื่องเก็บตัวอย่างทุก 5 นาที และกำหนดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง
- (5) กดปุ่มสตาร์ท (Start) เพื่อเริ่มเก็บตัวอย่าง
- (6) เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง เครื่องเก็บตัวอย่างจะหยุดทำงานโดยอัตโนมัติ

(7) หลังจากการเก็บตัวอย่างถ่ายโอนข้อมูลจากเครื่องดัสแทร์คลงเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ โดยจะต้องติดตั้งซอฟต์แวร์ของเครื่องมือลงในคอมพิวเตอร์ไว้ก่อน หรือถ่ายโอนข้อมูลจากเครื่องดัสแทร์คผ่านแฟลชไดรฟ์ (Flash drive)

3.2.5 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

3.2.5.1 กระดาษกรอง (Filter paper)

กระดาษกรองที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างสำหรับในการศึกษาครั้งนี้เป็นกระดาษกรองใยแก้ว ยี่ห้อ ADVANTEC รุ่น GC-50 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร รูกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมครอน ขณะใช้งานต้องมีแผ่นพวยกระดาษกรองใช้ร่วมด้วยเพื่อป้องกันกระดาษกรองขาดขณะดูดอากาศผ่านกระดาษกรอง กระดาษกรองสำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่นแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 กระดาษกรองสำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่น

3.2.5.2 ตลับกระดาษกรอง (Filter cassette)

(1) ตลับกระดาษกรองที่ใช้กับไซโคลน

ตลับกระดาษกรองที่ใช้กับไซโคลนในการเก็บตัวอย่าง PM₁₀ และ PM₄ มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ยี่ห้อ ADVANTEC ขนาด 37 มิลลิเมตร ทำจากพลาสติกใส บริเวณกึ่งกลางของตลับกระดาษกรองชั้นบนและชั้นล่างมีรูเล็กๆ เป็นทางเข้าและทางออกของอากาศ ดังรูปที่ 3.7

(2) ตลับกระดาษกรองเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530

สำหรับตลับกระดาษกรองที่มากับเครื่องดัสแทร์คมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกเช่นกัน แต่ทำจากพลาสติกสีดำที่บดแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 ตลับกระตาศกรองสำหรับไซโคลน

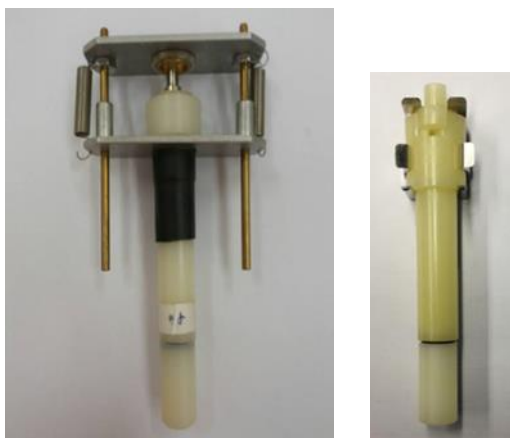


รูปที่ 3.8 ตลับกระตาศกรองในเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530

3.2.5.3 เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น

(1) ไซโคลน

ไซโคลนเป็นเครื่องมือเก็บตัวอย่างเชิงน้ำหนัก ไซโคลนที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นไซโคลนขนาดเล็กแบบพกพา ซึ่งใช้หลักแรงหนีศูนย์กลางในการคัดแยกฝุ่นขนาดที่ต้องการออกจากกระแสอากาศ ในการศึกษานี้ใช้ไซโคลนยี่ห้อ Sensidyne รุ่น Dorr-Oliver ในการเก็บตัวอย่าง PM_{10} และยี่ห้อ TSI ซึ่งมาพร้อมกับเครื่องดัสแทร์คในการเก็บตัวอย่าง PM_4 ลักษณะของไซโคลนที่ใช้ในการศึกษานี้แสดงดังรูปที่ 3.9(ก) และ (ข)

(ก) สำหรับ PM₁₀(ข) สำหรับ PM₄รูปที่ 3.9 ไซโคลนสำหรับเก็บตัวอย่าง PM₁₀ และ PM₄ แบบไซโคลน**(2) Personal Environmental Monitor (PEM)**

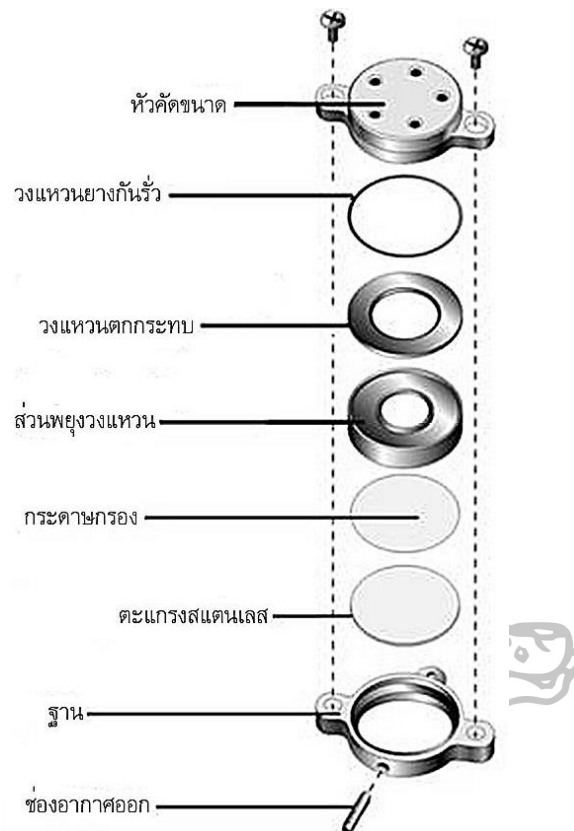
PEM เป็นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างเชิงน้ำหนักใช้ในการเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ในการศึกษานี้ใช้ PEM ของบริษัท MSP รุ่น 200 โดย PEM มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 3.10 และมีส่วนประกอบภายในแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 PEM

(3) เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 (DustTrak Aerosol Monitor 8530)

เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 บริษัททีเอสไอ (รูปที่ 2.11) เป็นเครื่องเก็บตัวอย่างอัตโนมัติแบบเรียลไทม์ ใช้หลักการกระเจิงแสงของอนุภาคในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่น



รูปที่ 3.11 ส่วนประกอบภายในของ PEM
ที่มา: SKC (2004)

3.2.5.4 ข้อต่อและสายยาง

ข้อต่อใช้เชื่อมต่อระหว่างตลับกระจาดากรองกับสายยาง สายยางใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่างตลับกระจาดากรองและปั๊มดูดอากาศ โดยขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของสายยางต้องพอดีกับข้อต่อ เพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศขณะเก็บตัวอย่าง ข้อต่อและสายยางที่ใช้ในการศึกษานี้แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ข้อต่อและสายยาง

3.2.5.5 ปุ่มดูดอากาศ

ปุ่มดูดอากาศแบบพกพาที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นปุ่มดูดอากาศยี่ห้อ Gilian รุ่น GilAir5 ดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยปรับเทียบอัตราการไหลให้เหมาะสมกับขนาดฝุ่นที่ต้องการดั่งตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.13 ปุ่มดูดอากาศแบบพกพา

ตารางที่ 3.2 อัตราการไหลที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศ

ขนาดฝุ่น	เครื่องมือเก็บตัวอย่าง	อัตราการไหล	อ้างอิง
PM ₁₀	ไซโคลอน	1.7 ลิตร/นาที	กระทรวงอุตสาหกรรม (2555)
	ดัสแทร์ค	3.0 ลิตร/นาที	TSI (2014)
PM ₄	ไซโคลอน	1.7 ลิตร/นาที	NIOSH (1998)
	ดัสแทร์ค	3.0 ลิตร/นาที	TSI (2014)
PM _{2.5}	PEM	2.0 ลิตร/นาที	SKC (2004)
	ดัสแทร์ค	3.0 ลิตร/นาที	TSI (2014)

3.2.5.6 โถดูดความชื้น (Desiccator)

โถดูดความชื้นที่ใช้ในการศึกษานี้มีลักษณะเป็นโถแก้วมีฝาปิดสนิท ภายในบรรจุเม็ดซิลิกาเจลบริเวณด้านล่างของโถ (รูปที่ 3.14) ทำหน้าที่ปรับสภาพกระดาศกรองทั้งก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 3.14 โถดูดความชื้น

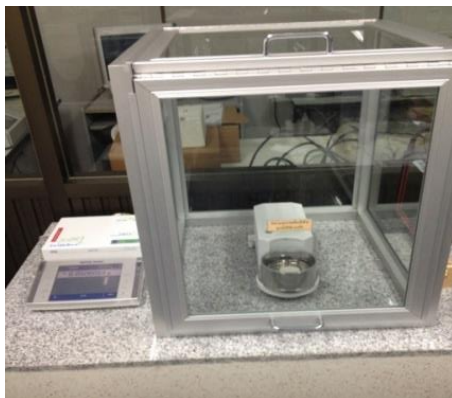
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3.1 การชั่งกระดาษกรอง

เปิดเครื่องชั่งเพื่ออุ่นเครื่องตามคู่มือผู้ผลิต ปรับเครื่องชั่งให้อ่านค่าที่ศูนย์ ในการชั่งกระดาษกรองทำในห้องที่สะอาด ปิดมิดชิด ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 60 ซึ่งผู้ชั่งล้างมือและล้างอุปกรณ์ที่จะใช้ให้สะอาดเพื่อป้องกันฝุ่นปนเปื้อนกระดาษกรอง ก่อนชั่งผู้ชั่งต้องนั่งอยู่ในห้องเครื่องชั่งประมาณ 30 นาที เพื่อให้ห้องปรับอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากตัวผู้ชั่งให้อยู่ในระดับที่ตั้งไว้ นำกระดาษกรองออกจากตลับกระดาษกรองโดยใช้ปากคีบ (Forceps) วางกระดาษกรองลงบนจานเครื่องชั่ง การชั่งกระดาษกรองชั่งด้วยเครื่องชั่งระดับไมโครกรัม 7 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น XP2U (รูปที่ 3.15) โดยได้รับความอนุเคราะห์จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ชั่งกระดาษกรองให้น้ำหนักต่างกันไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนักกระดาษกรองอย่างน้อย 3 ครั้ง บันทึกเป็นน้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (Pre-weight) หลังการเก็บตัวอย่าง นำกระดาษกรองใส่ในโถดูดความชื้นเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อปรับสภาพกระดาษกรองให้เหมือนก่อนเก็บตัวอย่าง จากนั้นทำตามขั้นตอนเดิม บันทึกเป็นน้ำหนักหลังเก็บตัวอย่าง (Post-weight)

3.3.2 การบรรจุกระดาษกรองลงในตลับกระดาษกรอง

เปิดตลับกระดาษกรองขึ้นบนออกแล้วใช้ปากคีบคีบแผ่นพุงกระดาษกรองวางบนตลับกระดาษกรองชั้นล่าง จากนั้นคีบกระดาษกรองซึ่งผ่านการปรับสภาพและชั่งน้ำหนักแล้ววางบนแผ่นพุงกระดาษกรอง ประกอบตลับกระดาษกรองขึ้นบนเข้ากับชั้นล่าง และปิดจุกด้านอากาศเข้า (Inlet) และด้านอากาศออก (Outlet) ให้สนิทเพื่อป้องกันการปนเปื้อน



รูปที่ 3.15 เครื่องชั่งระดับไมโครกรัม (Microbalance)

สำหรับ PEM ต้องไขน็อตด้านข้างออกสองข้าง จากนั้นใช้ปากคีบคีบกระดาดากรอง วางลงบนแผ่นตะแกรงสแตนเลส วางส่วนพุงและวงแหวนอิมแพ็คเตอร์ลงบนกระดาดากรอง หยดน้ำมันสำหรับอิมแพ็คเตอร์ (Impactor oil) เล็กน้อยลงบนพื้นผิวอิมแพ็คเตอร์ (รูปที่ 3.16) เพื่อดักจับฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 2.5 ไมครอน วางหัวคัตขนาดให้หลังล็อกแล้วขันน็อตสองข้างให้แน่นพอประมาณ



รูปที่ 3.16 การหยดน้ำมันบนอิมแพ็คเตอร์

3.4 การประกอบชุดเก็บตัวอย่าง

3.4.1 การประกอบชุดเก็บตัวอย่างฝุ่น

3.4.1.1 การประกอบชุดเก็บตัวอย่างฝุ่นด้วยไซโคลน

ประกอบตั้บกระดาดากรองเข้ากับไซโคลนโดยต่อช่องอากาศออกของไซโคลนเข้ากับช่องอากาศเข้าของตั้บกระดาดากรอง แล้วต่อเข้ากับปั๊มดูดอากาศ ดังรูปที่ 3.17 -3.18



รูปที่ 3.17 การประกอบตัวเก็บตัวอย่างอากาศกรองเข้ากับไซโคลนเก็บตัวอย่าง PM₁₀



รูปที่ 3.18 การประกอบตัวเก็บตัวอย่างอากาศกรองเข้ากับไซโคลนเก็บตัวอย่าง PM₄

3.4.1.2 การประกอบชุดเก็บตัวอย่างฝุ่นด้วย PEM

ประกอบชุดเก็บตัวอย่างโดยการต่อสายยางจาก PEM เข้ากับปั๊มดูดอากาศ

แสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การประกอบปั๊มดูดอากาศกับ PEM

3.5 การคำนวณ

การคำนวณสำหรับวิธีวิเคราะห์เชิงน้ำหนักสำหรับ PM_{10} PM_4 และ $PM_{2.5}$ มีดังนี้

3.5.1 การคำนวณปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (V)

$$V = \frac{F \times D}{1000} \quad (8)$$

โดยที่ V - ปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง, ลูกบาศก์เมตร

F - อัตราการไหลของอากาศขณะเก็บตัวอย่าง, ลิตร/นาที

D - ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง, นาที

1000 - ค่าคงที่ในการเปลี่ยนหน่วยจากลิตรเป็นลูกบาศก์เมตร

3.5.2 การคำนวณความเข้มข้นของฝุ่น

$$PM = \frac{W_{Post} - W_{Pre}}{V} \quad (9)$$

โดยที่ PM - ความเข้มข้นของฝุ่น, มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

W_{Post} - น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง, มิลลิกรัม

W_{Pre} - น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง, มิลลิกรัม

V - ปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง, ลูกบาศก์เมตร

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.6.1 Paired Sample T-Test

ใช้ Paired Sample T-Test ในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มข้นของ PM₁₀ PM₄ และ PM_{2.5} เฉลี่ยที่ได้จากไซโคลนและการอ่านค่าโดยตรงจากเครื่องดัสแทร์ริคที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.6.2 กราฟการกระจายของข้อมูล (Scatter plot)

นำข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นที่ได้จากเครื่องมือทั้งสอง มาเขียนกราฟการกระจายของข้อมูล เพื่อให้ได้สมการถดถอยเส้นตรงแบบ OLS (Ordinary least squares regression) โดยหากจุดตัดแกนของกราฟ y ยิ่งห่างจากศูนย์มากเท่าใดจะบอกถึงความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ (Systematic bias) ระหว่างค่าที่ได้จากเครื่องมือทั้งสองมากเท่านั้น (พิมพ์เพ็ญ และนวกัทรธา, 2558) ความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบเกิดจากเครื่องมือตรวจวัด ทำให้การอ่านค่าซ้ำของเครื่องมือเกิดความคลาดเคลื่อนโดยไม่ทราบสาเหตุ โดยความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเท่าเดิมตลอดการตรวจวัด ส่วนค่าความชันของเส้นกราฟหากยิ่งต่างจาก 1 มากเท่าใดจะบอกถึงความคลาดเคลื่อนแบบเป็นสัดส่วน (Proportional bias) ระหว่างข้อมูลทั้งสองชุดมากเท่านั้น

3.6.3 ความสัมพันธ์กันของข้อมูลโดยใช้ Pearson correlation และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination; R^2)

การประเมินความสัมพันธ์ของข้อมูลจะใช้ Pearson correlation และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination; R^2) อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสองชุด

3.6.4 ค่าความผิดพลาดของรากกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error; RMSE)

ค่าความผิดพลาดของรากกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error; RMSE) เป็นค่าที่บอกถึงความแม่นยำ (Precision) ของวิธีการเก็บตัวอย่าง ซึ่งหากมีค่าใกล้ศูนย์แสดงว่า วิธีเก็บตัวอย่างมีความแม่นยำสูง (Yanosky *et al.*, 2002) ค่า RMSE หาได้จากสูตร

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

3.6.5 ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสมการถดถอย (Standard Error)

ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสมการถดถอยแสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของสมการถดถอยที่ได้ ซึ่งถ้าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีค่าต่ำหมายถึงสมการที่ได้มีความน่าเชื่อถือสูง (ประกายรัตน์, 2548)

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้การวิเคราะห์ทางสถิติทั้งหมดใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 20

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

3.7.1 การปรับอัตราการไหลของปั๊มดูดอากาศ

ก่อนการเก็บตัวอย่างทุกครั้งต้องปรับอัตราการไหลของปั๊มดูดอากาศแบบพกพาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างทุกครั้ง โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ ยี่ห้อ Sensidyne รุ่น Gilian Gilibrator-2 (รูปที่ 3.20) เปิดปั๊มดูดอากาศปรับอัตราการไหลปั๊มดูดอากาศให้เหมาะสมกับการเก็บตัวอย่างฝุ่นแต่ละขนาดที่ทำการศึกษาโดยปรับค่าอัตราการไหลตามตารางที่ 3.2 และบันทึกอัตราการไหลของอากาศที่แท้จริงก่อนนำปั๊มดูดอากาศไปเก็บตัวอย่าง หลังเก็บตัวอย่างวัดอัตราการไหลอากาศอีกครั้ง แล้วบันทึกอัตราการไหลอากาศหลังเก็บตัวอย่าง นำอัตราการไหลก่อนและหลังเก็บตัวอย่างมาเฉลี่ย แล้วบันทึกเป็นค่าอัตราการไหลระหว่างเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 3.20 เครื่องปรับอัตราการไหลของปั๊มดูดอากาศ

3.7.2 การชั่งกระดาศกรองก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง

สำหรับการชั่งกระดาศกรองที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง ต้องชั่งกระดาศกรอง 3 ครั้ง โดยให้น้ำหนักต่างกันไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนักกระดาศกรอง ทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง และเมื่อชั่งครบ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกระดาศกรอง

3.7.3 การปรับศูนย์เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530

ปรับศูนย์เครื่องดัสแทร์คก่อนเก็บตัวอย่างทุกครั้งก่อนเก็บตัวอย่าง

(1) นำอุปกรณ์สำหรับปรับศูนย์ (Zero filter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์เสริมที่มาพร้อมกับเครื่องต่อกับช่องอากาศเข้าของเครื่องดัสแทร์ค

(2) เลือกคำสั่ง Set up และเลือก Zero cal

(3) เลือก OK รอจนหน้าจอขึ้นว่า “Complete”

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

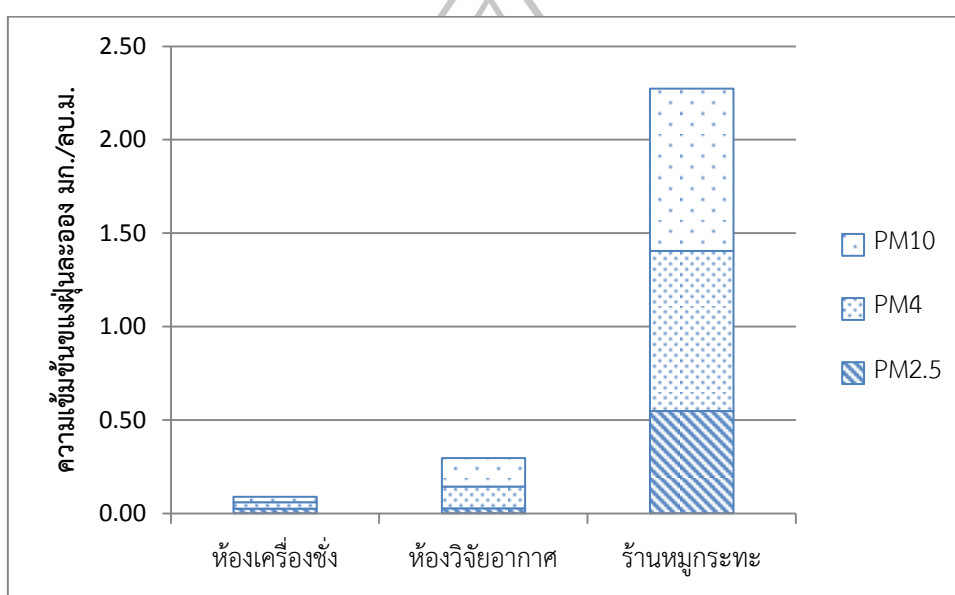
การศึกษาในครั้งนี้ได้เปรียบเทียบผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM₁₀ PM₄ และ PM_{2.5} จากการตรวจวัด 2 วิธี ได้แก่ วิธีเชิงน้ำหนัก (Gravimetric method) ซึ่งเป็นวิธีอ้างอิง (Reference method) โดยใช้ไซโคลนสำหรับ PM₁₀ และ PM₄ และเครื่อง Personal Environmental Monitor (PEM) ตามลำดับ ซึ่งเป็นเครื่องคัดขนาดฝุ่นที่ใช้ร่วมกับปั๊มดูดอากาศแบบพกพาเป็นอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง วิธีวิเคราะห์อีกวิธีหนึ่งคือการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นแบบอัตโนมัติ โดยใช้เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 (DustTrak Aerosol Monitor 8530) ของบริษัท ทีเอสไอ ซึ่งเป็นเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นอัตโนมัติแสดงผลแบบเรียลไทม์ การเก็บตัวอย่างทั้ง 2 วิธี ได้กระทำพร้อมกัน โดยเก็บตัวอย่างแบบพื้นที่ภายในอาคาร 3 แห่ง ได้แก่ ห้องเครื่องซัง ห้องวิจัยอากาศ และร้านปลาทองหมูกระทะ ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างเริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2557 จนถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 เก็บตัวอย่าง PM₁₀ PM₄ และ PM_{2.5} สถานที่ละ 20 วัน โดยเก็บ 2 ซ้ำ (ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดเดียวกัน 2 เครื่องเพื่อเก็บตัวอย่างพร้อมกัน) แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อความถูกต้อง ยกเว้น PM_{2.5} เก็บตัวอย่างซ้ำเดียว เนื่องจากมีเครื่องเก็บตัวอย่างเพียงเครื่องเดียว ความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้ง 3 ขนาด ที่ได้จากวิธีการตรวจวัดทั้ง 2 วิธี นำมาหาความแตกต่าง ความสัมพันธ์ และสมการถดถอย ดังนี้

4.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละออง

ผลการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ทั้งด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติให้ผลเป็นไปตามความคาดหมายและเป็นไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ พบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในร้านหมูกระทะสูงที่สุด รองลงมาคือห้องวิจัยอากาศ และสุดท้ายคือห้องเครื่องซัง ดังแสดงดังรูปที่ 4.1 (ได้จากการนำผลการตรวจวัดจากทั้ง 2 วิธีมาเฉลี่ย) และตารางที่ 4.1

ทั้งนี้เนื่องมาจากกิจกรรมในแต่ละสถานที่ก่อให้เกิดฝุ่นมากน้อยแตกต่างกันไป ในร้านหมูกระทะจะมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในปริมาณสูงที่สุด โดยฝุ่นเหล่านี้เกิดจากกิจกรรมปิ้งย่างเนื้อสัตว์ด้วยเตาแก๊ส ซึ่งใช้ก๊าซแอลพีจี (Liquefied petroleum gas; LPG) เป็นเชื้อเพลิง การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงและการที่ไขมันจากเนื้อสัตว์หยดลงบนเชื้อเพลิง (Lee *et al.*, 2001) ก่อให้เกิดควันที่ประกอบไปด้วยฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ฟูกระจายไปทั่วภายในร้าน กอปรกับร้านหมูกระทะมิได้เปิดพัดลมดูดอากาศตลอดเวลา และในช่วงที่ผู้วิจัยเก็บตัวอย่างเป็นช่วงระยะเวลาที่คน

ส่วนใหญ่นิยมออกมารับประทานอาหาร จึงส่งผลให้พบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ สูงมาก สำหรับห้องวิจัยอากาศมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ รองลงมา เนื่องจากห้องวิจัยอากาศมีการใช้งานทุกวันทำการของราชการ ลักษณะภายในห้องวิจัยอากาศจะมีการเปิด-ปิดประตูค่อนข้างบ่อยครั้งก่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนอากาศกับภายนอก และภายในห้องมีหน้าต่าง มีเครื่องปรับอากาศและมีพัดลม ดังนั้นอากาศภายในห้องวิจัยอากาศจึงสามารถถ่ายเทและมีการแลกเปลี่ยนอากาศกับภายนอกได้มากกว่าบริเวณห้องเครื่องซึ่ง จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้บริเวณห้องวิจัยอากาศมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ มีค่าสูงรองลงมาจากบริเวณร้านหมูกระทะ



รูปที่ 4.1 ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดในแต่ละสถานที่

ส่วนในห้องเครื่องซึ่งเป็นสถานที่ที่ตรวจพบว่ามีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ต่ำสุด เนื่องจากเป็นห้องที่สะอาด ใช้สำหรับการซึ่งนำนักสารเคมี และวัสดุอื่นๆ ที่ใช้เฉพาะในเวลาที่นักศึกษาทำปฏิบัติการ จึงมีการใช้งานน้อย ลักษณะภายในห้องเครื่องซึ่งมีการเปิด-ปิดประตูค่อนข้างน้อย และเป็นห้องปิดไม่มีหน้าต่าง ไม่มีพัดลมระบายอากาศ และไม่มีเครื่องปรับอากาศ ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศกับภายนอกต่ำ จึงส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ มีค่าต่ำ

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละออง, มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

วิธีเชิงน้ำหนัก	มากกว่า (>)/ น้อยกว่า (<)	วิธีอัตโนมัติ	ความแตกต่าง ¹ (Yes/No)	จำนวนเท่า	จำนวนข้อมูลที่เกิดมาตรฐาน ^{2,3,4} (ร้อยละ)		
					วิธีเชิงน้ำหนัก	วิธีอัตโนมัติ	
PM₁₀							
ห้องเครื่องซิ่ง	0.030 ± 0.011	>	0.028 ± 0.014	No	1.1	0	0
ห้องวิจัยอากาศ	0.222 ± 0.033	>	0.085 ± 0.020	Yes	2.6	100	100
ร้านหมูกระทะ	1.389 ± 0.221	>	0.349 ± 0.046	Yes	4.0	100	100
PM₄							
ห้องเครื่องซิ่ง	0.056 ± 0.047	>	0.016 ± 0.008	Yes	3.5	0	0
ห้องวิจัยอากาศ	0.186 ± 0.035	>	0.048 ± 0.015	Yes	3.9	0	0
ร้านหมูกระทะ	1.411 ± 0.174	>	0.305 ± 0.076	Yes	4.6	0	0
PM_{2.5}							
ห้องเครื่องซิ่ง	0.029 ± 0.009	>	0.019 ± 0.008	Yes	1.5	29	0
ห้องวิจัยอากาศ	0.029 ± 0.014	>	0.024 ± 0.008	No	1.2	33	6
ร้านหมูกระทะ	0.977 ± 0.102	>	0.116 ± 0.016	Yes	8.4	100	100

¹ ทดสอบด้วย Paired Sample T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{2,3,4} ค่ามาตรฐานสำหรับ PM₁₀ = 0.05 มก./ลบ.ม. (กรมอนามัย, 2558); ค่ามาตรฐานสำหรับ PM₄ = 5 มก./ลบ.ม.(NIOSH, 1998); ค่ามาตรฐานสำหรับ PM_{2.5} = 0.035 มก./ลบ.ม. (กรมอนามัย, 2558)

4.1.1 ความเข้มข้นของ PM₁₀

เมื่อนำผลการศึกษานี้ในส่วนของ PM₁₀ ภายในห้องเครื่องซั่งและห้องวิจัยอากาศ ซึ่งจัดเป็นสิ่งแวดล้อมในสถานศึกษา ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักไปเปรียบเทียบกับการศึกษาความเข้มข้นของ PM₁₀ ในสถานศึกษาก่อนหน้านี้ของ Gemenetzi *et al.* (2006) ที่ตรวจวัด PM₁₀ ภายในสถานศึกษาในห้องต่างๆ ทั้งห้องเรียน ห้องพักบุคลากร และห้องปฏิบัติการ แล้วรายงานเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.12 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งพบว่า ใกล้เคียงกับความเข้มข้นของ PM₁₀ เฉลี่ยในห้องเครื่องซั่งและห้องวิจัยอากาศในการศึกษานี้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.13 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการศึกษาของปิยนุช (2556) ซึ่งตรวจวัด PM₁₀ ในวิทยาลัยการอาชีพพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งเก็บตัวอย่างทั้งในห้องเรียนทฤษฎี ห้องฝึกปฏิบัติ ห้องธุรการ และห้องพักบุคลากร พบว่า ความเข้มข้นจากการศึกษาของปิยนุช (2556) มีค่าเท่ากับ 1.18 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าการศึกษานี้ประมาณ 10 เท่า ทั้งนี้เนื่องมาจากลักษณะการเรียนการสอนของวิทยาลัยการอาชีพที่เน้นการฝึกปฏิบัติ เช่น งานไฟฟ้า งานยานยนต์ ที่ก่อให้เกิด PM₁₀ ขึ้นมาก แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Branis *et al.* (2005) และ Jovanoic *et al.* (2014) ซึ่งตรวจวัดความเข้มข้นของ PM₁₀ ในห้องเรียน พบว่า ความเข้มข้นจากการศึกษาทั้งสองมีค่าเท่ากับ 0.04 และ 0.07 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งต่ำกว่าการศึกษานี้มาก อันมีสาเหตุมาจากกิจกรรมการเรียนการสอนแบบบรรยายไม่ก่อให้เกิดฝุ่นขนาดนี้ขึ้นแต่อย่างใด

นอกจากนี้ การศึกษาของ Madureira *et al.* (2015) ซึ่งเก็บตัวอย่างด้วยวิธี อัตโนมัติ โดยใช้เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8533 ตรวจวัดความเข้มข้นของ PM₁₀ ภายในห้องเรียนในประเทศโปรตุเกส พบว่า ความเข้มข้นของ PM₁₀ ภายในห้องเรียนมีค่าเท่ากับ 0.13 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษานี้ที่ตรวจวัดในห้องเครื่องซั่งและห้องวิจัยอากาศซึ่งตรวจวัดด้วยเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.06 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าการศึกษาในโปรตุเกสมีค่าสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากห้องเรียนที่เก็บตัวอย่างมีการใช้งานตลอดเวลา และมีการระบายอากาศไม่เพียงพอ จึงทำให้มีฝุ่นสะสมอยู่ภายในมาก

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ PM₁₀ ในร้านปิ้งย่างจากการศึกษาของ Lee *et al.* (2001) ที่ศึกษาความเข้มข้นของ PM₁₀ ภายในร้านอาหารปิ้งย่างแบบเกาหลี โดยวิธีอัตโนมัติด้วยเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8520 ซึ่งเป็นเครื่องมือตรวจวัดอัตโนมัติรุ่นก่อนหน้ารุ่น 8530 ที่ใช้ในการศึกษานี้ ผลการศึกษาพบว่า ร้านอาหารปิ้งย่างแบบเกาหลีมีความเข้มข้นของ PM₁₀ เฉลี่ยเท่ากับ 1.44 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในการประกอบอาหารร้านอาหารปิ้งย่างแบบเกาหลีเป็นชนิดเดียวกับร้านปลาทองหมูกระทะ ซึ่งภายในร้านปลาทองหมูกระทะพบ ความเข้มข้นของ PM₁₀

ภายในร้านเท่ากับ 0.35 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะเห็นได้ว่า ภายในร้านอาหารปิ้งย่างแบบเกาหลี มี PM₁₀ สูงกว่าร้านปลาทองหมูกระทะ เนื่องจากภายในร้านอาหารปิ้งย่างแบบเกาหลี ในการศึกษาของ Lee *et al.* (2001) ตั้งอยู่ริมถนนในเขตการค้าของเมือง ซึ่งมีการจราจรหนาแน่น โดยในเวลาที่เก็บตัวอย่างเป็นเวลาอาหารกลางวัน (12:00 - 14:00 น.) และเวลาอาหารเย็น (19:00 - 21:00 น.) มีผู้มาใช้บริการมาก มีการเปิดปิดประตูบ่อย จึงทำให้อากาศภายนอกเข้ามาในร้าน เป็นเหตุให้ความเข้มข้นของ PM₁₀ ภายในร้านสูงมาก นอกจากนี้เครื่องมือตรวจวัดที่ใช้ในครั้งนี่คือ เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 ของบริษัททีเอสไอ ซึ่งเป็นเครื่องรุ่นใหม่กว่าการศึกษาของ Lee *et al.* (2001) จึงส่งผลให้ความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัดด้วยวิธีอัตโนมัติมีความแตกต่างกัน

กรมอนามัยได้กำหนด (ร่าง) ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารสำหรับ PM₁₀ ไว้เท่ากับ 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ตรวจวัดด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติภายในห้องวิจัยอากาศและภายในร้านหมูกระทะมีค่าเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งมีสาเหตุมาจากกิจกรรมที่ทำในแต่ละสถานที่ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

4.1.2 ความเข้มข้นของ PM₄

เมื่อผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบเอกสารเพื่อนำความเข้มข้นของ PM₄ ในสถานศึกษาไปเปรียบเทียบกับการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า ยังไม่มีผู้ใดทำวิจัยเกี่ยวกับฝุ่นขนาดดังกล่าว ส่วนงานวิจัยเกี่ยวกับ PM₄ ในร้านปิ้งย่างเนื้อสัตว์ที่ใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงและใช้วิธีเชิงน้ำหนักในการวิเคราะห์ก็ไม่พบเช่นกัน มีเพียงการตรวจวัด PM_{3.5} เท่านั้น ผู้วิจัยจึงได้นำความเข้มข้นของ PM₄ จากการศึกษาในครั้งนี้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Baek *et al.* (1996) ซึ่งตรวจวัด PM_{3.5} ในร้านอาหารปิ้งย่างแบบเกาหลี ซึ่งใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง และใช้วิธีเชิงน้ำหนักเช่นเดียวกับการศึกษานี้ พบว่า ความเข้มข้นของ PM_{3.5} ภายในร้านอาหารปิ้งย่างแบบเกาหลีจากการศึกษาของ Baek *et al.* (1996) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ความเข้มข้นของ PM₄ ภายในร้านปลาทองหมูกระทะที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.41 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของ PM_{3.5} ประมาณ 8 เท่า ทั้งนี้อาจเนื่องด้วยสาเหตุ 2 ประการ ได้แก่ (1) การศึกษาของ Baek *et al.* (1996) เก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า และ (2) ร้านอาหารที่เป็นตัวแทนในการศึกษาของ Baek *et al.* (1996) ตั้งอยู่บริเวณชั้นใต้ดินของอาคาร มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ และมีการระบายอากาศทั้งด้วยวิธีธรรมชาติและด้วยวิธีเชิงกล (เครื่องดูดอากาศเฉพาะที่และพัดลมดูดอากาศ) แต่ร้านปลาทองหมูกระทะที่เป็นตัวแทนในการศึกษานี้ตั้งอยู่บริเวณริมถนนซึ่งมีการจราจรไม่หนาแน่น มีลักษณะเปิดโล่ง ไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ไม่มีเครื่องดูดอากาศเฉพาะที่ และไม่ได้เปิดพัดลมดูดอากาศตลอดเวลา จึงมีโอกาสที่จะตรวจพบความเข้มข้นของ PM₄ มากกว่าร้านอาหารปิ้งย่างแบบเกาหลีในการศึกษาของ Baek *et al.* (1996)

ในส่วนของ PM_4 กรมอนามัยมิได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานไว้ จึงนำค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานภายในอาคารของคณะกรรมการบริหารงานความปลอดภัยและสุขภาพอนามัย การประกอบอาชีพ (Occupational Safety and Health Administration; OSHA) ซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (NIOSH, 1998) ผลการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_4 ภายในห้องเครื่องซัง ห้องวิจัยอากาศและร้านหมูกระทะ ทั้งจากวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยไม่เกินค่ามาตรฐาน

4.1.3 ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$

ความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ ในสถานศึกษา (ห้องเครื่องซังและห้องวิจัยอากาศ) ที่ตรวจวัดด้วยวิธีเชิงน้ำหนักในการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 0.03 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งน้อยกว่าการศึกษาของ Branis *et al.* (2005) Gemenetzis *et al.* (2006) และ Jovanovic *et al.* (2014) เนื่องจากการศึกษาทั้ง 3 ทำการตรวจวัดภายในห้องเรียน ซึ่งตลอดระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างมีการใช้ห้องเรียนตลอดเวลา ทำให้ตรวจพบฝุ่นปริมาณมากกว่าห้องเครื่องซังและห้องวิจัยอากาศ ซึ่งมีการใช้ห้องน้อยกว่ามาก

การตรวจวัดด้วยวิธีอัตโนมัติภายในสถานศึกษาด้วยเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8533 ที่ศึกษาโดย Madureira *et al.* (2015) พบว่า ภายในห้องเรียนในเมืองปอร์โต ประเทศโปรตุเกสมีความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เฉลี่ยเท่ากับ 0.08 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมากกว่าการศึกษานี้ที่ใช้เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 ที่พบความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เท่ากับ 0.02 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เนื่องจากมีการใช้ห้องน้อยกว่าเช่นกัน

การศึกษาของ Lee *et al.* (2001) ศึกษาตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในร้านอาหารปิ้งย่างแบบเกาหลีที่ใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง โดยวิธีอัตโนมัติด้วยเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8520 ในการตรวจวัด พบความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เท่ากับ 1.17 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งความเข้มข้นที่พบภายในร้านปลาทองหมูกระทะที่ตรวจวัดด้วยเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 ในการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 0.12 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในการศึกษานี้ต่ำกว่าถึง 10 เท่า อันเนื่องมาจากการจราจรที่คับคั่งภายนอกร้าน และการแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างภายในและภายนอกผ่านการปิด-เปิดประตูร้านในช่วงที่มีผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมากเช่นเดียวกับที่กล่าวถึงในหัวข้อ 4.1 นั้นเอง

สำหรับ $PM_{2.5}$ กรมอนามัยได้กำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารไว้เท่ากับ 0.035 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในห้องวิจัยอากาศและห้องเครื่องซังมีค่าไม่เกินมาตรฐาน ส่วนค่าที่ตรวจวัดได้ในร้านหมูกระทะมีค่าเกินมาตรฐาน

จำนวนข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นทุกขนาดที่มีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศแสดงในรูป ร้อยละในตารางที่ 4.1

เมื่อนำผลการตรวจวัดฝุ่นละอองทั้ง 3 ขนาด ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติมา เปรียบเทียบกันเพื่อหาความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้สถิติ Paired Sample T-Test ที่ระดับความ เชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) ซึ่งเป็นสถิติที่ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่ม ที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งสองชุดแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig. (2-tailed) > α) โดยผลการตรวจวัดด้วยวิธี อัตโนมัติมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก

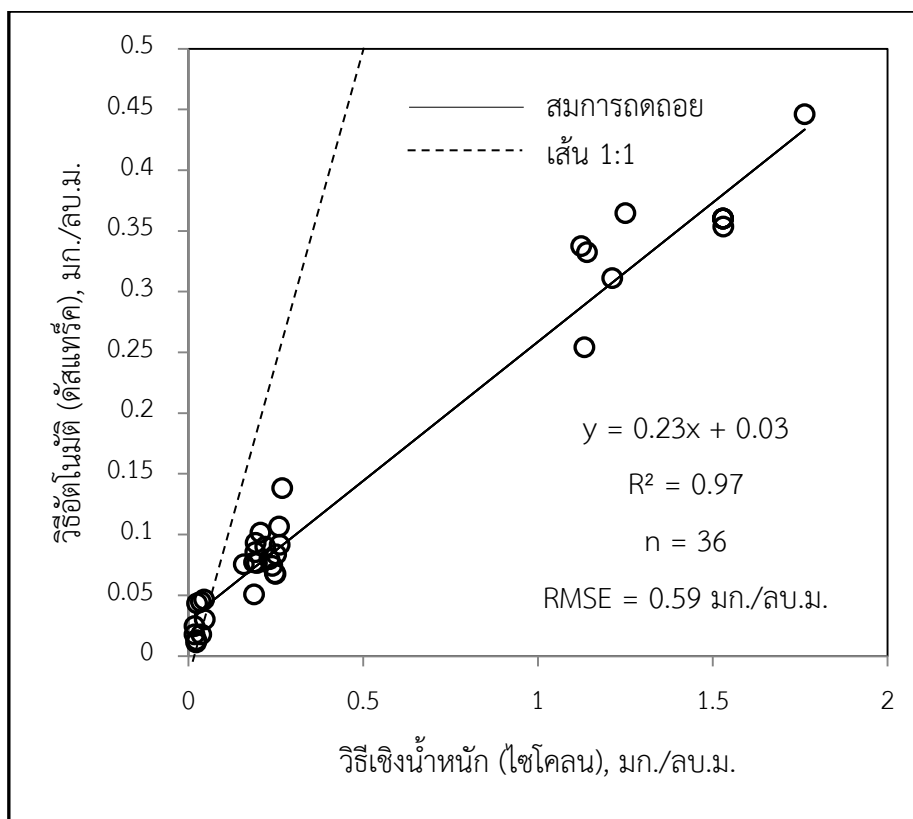
นอกจากนี้เมื่อนำผลการตรวจวัดฝุ่นทุกขนาดที่ได้จากเครื่องดักแตรทั้งสองเครื่องมา เปรียบเทียบกันโดยใช้สถิติ Paired Sample T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อนำมาทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การ ตัดสินใจ (R^2) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.996 0.998 และ 0.908 สำหรับ PM_{10} PM_4 และ $PM_{2.5}$ ตามลำดับ

4.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลผลการตรวจวัดด้วยวิธีการทางสถิตินั้น จะวิเคราะห์ทั้งความคลาดเคลื่อน แบบเป็นระบบ (Systematic bias) ความคลาดเคลื่อนแบบเป็นสัดส่วน (Proportional bias) รวมถึง ประเมินความสัมพันธ์กันของข้อมูล (Pearson correlation) สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination; R^2) และความแม่นยำของผลการตรวจวัด (Precision) ระหว่างเครื่องมือ ซึ่ง ทั้งหมดนี้สามารถวิเคราะห์ได้จากสมการถดถอยเส้นตรงแบบ OLS (Ordinary least squares regression) ซึ่งจะอยู่ในรูป $y = \beta_1 x + \beta_0$ โดยที่ y คือ ความเข้มข้นที่ได้จากวิธีอัตโนมัติ (ดักแตร); x คือ ความเข้มข้นที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก (ไซโคลน); β_1 คือความชันของกราฟ (บอกความคลาด เคลื่อนแบบเป็นสัดส่วน ควรเข้าใกล้ 1) และ β_0 คือจุดตัดแกน y (บอกความคลาดเคลื่อนแบบเป็น ระบบ ควรเข้าใกล้ 0)

4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัด PM_{10} ด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก (ไซโคลน) และวิธี อัตโนมัติ (ดักแตร)

เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นของของ PM_{10} จากการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 2 วิธีมาเขียน กราฟการกระจายของข้อมูล จะได้กราฟและได้สมการถดถอยเส้นตรงแบบ OLS ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ PM₁₀ ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก (ไซโคลน) และวิธีอัตราโน้มติ (ดัสแทร์ค)

การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM₁₀ ด้วยเครื่องดัสแทร์คมีความแม่นยำใกล้เคียงกับการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM₄ แต่ต่ำกว่าการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} (ค่า RMSE ของ PM₁₀ = 0.59 มก./ลบ.ม.; RMSE ของ PM₄ = 0.56 มก./ลบ.ม. และ RMSE ของ PM_{2.5} = 0.44 มก./ลบ.ม.) นอกจากนี้จุดตัดแกน y ของสมการถดถอยที่เท่ากับ +0.03 ซึ่งต่างจากศูนย์น้อยมาก แสดงให้ทราบว่าไม่มีความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ (No systematic bias) ค่า Pearson correlation มีค่าเท่ากับ 0.986 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันอย่างสูงของข้อมูล และค่า $R^2 = 0.97$ หมายความว่าสมการถดถอยที่ได้สามารถอธิบายการกระจายของผลการตรวจวัดที่ได้จากเครื่องดัสแทร์คได้ร้อยละ 97 ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า ค่าการตรวจวัดด้วยเครื่องดัสแทร์คสามารถปรับแก้ให้ถูกต้องได้โดยใช้สมการปรับแก้ดังสมการที่ (10)

$$y = 4.25x - 0.11 \quad (10)$$

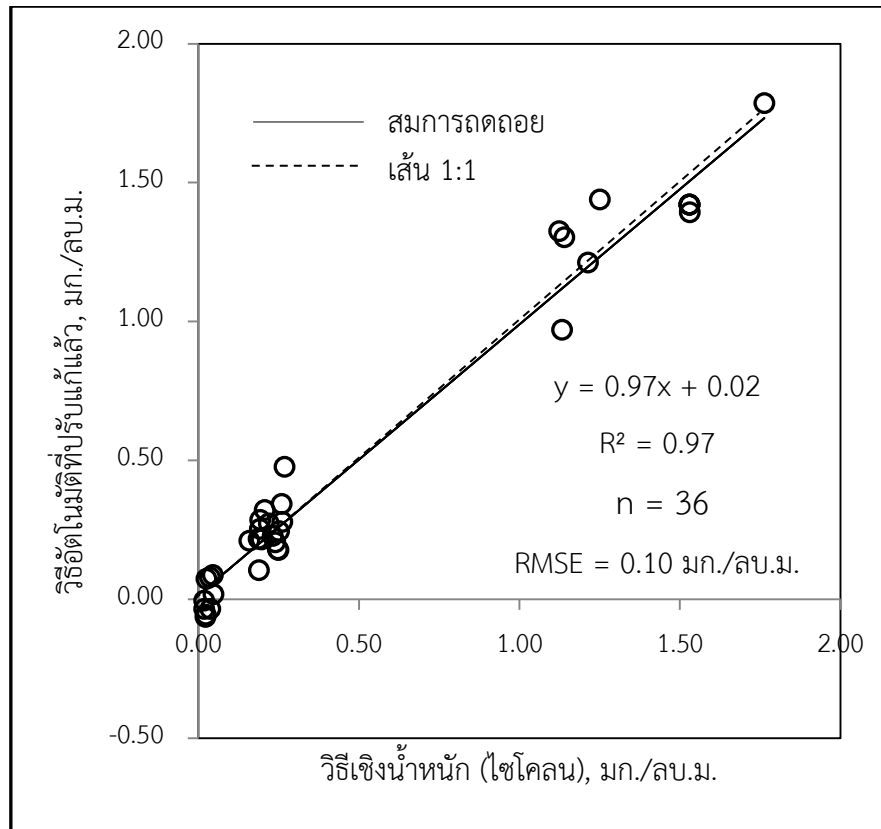
เมื่อ y คือค่าจากเครื่องดัสแทร์คที่ได้รับการปรับแก้ให้ถูกต้องแล้ว และ x คือค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องดัสแทร์ค

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าความชันของสมการถดถอยพบว่ามีความค่าเท่ากับ 0.23 ซึ่งมีค่าต่างจาก 1 มาก แสดงให้ทราบว่าผลการตรวจวัดด้วยเครื่องดัสแทร์คมีความผิดพลาดแบบเป็นสัดส่วน (Proportional bias) กล่าวคือ เมื่อค่าที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักเพิ่มขึ้น 1 หน่วย ค่าที่อ่านได้จากวิธีอัตโนมัติจะมีค่าเท่ากับ 0.23 เท่านั้น ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสมการถดถอยจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.023 ซึ่งค่าที่ได้นี้มีค่าไม่มาก แสดงว่าสมการถดถอยที่ได้มีความน่าเชื่อถือสูง (ประภายรัตน์, 2548) ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ผลการตรวจวัดจากการอ่านค่าโดยตรงด้วยเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับผลการตรวจวัดด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก แต่ให้ผลการตรวจวัดที่น้อยกว่าวิธีเชิงน้ำหนักร้อยละ 71

เมื่อนำผลการศึกษานี้ไปเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Branis (2006) และ Cheng *et al.* (2008) พบว่า ผลการตรวจวัดด้วยเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 ที่ใช้ในการศึกษานี้ให้ผลการตรวจวัดน้อยกว่าวิธีอ้างอิง (วิธีเชิงน้ำหนัก) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Cheng *et al.* (2008) ที่ใช้เครื่อง E-BAM Sampler (ใช้หลักการดูดซับรังสีเบต้า) เป็นวิธีอ้างอิงเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดด้วยเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8520 แต่เมื่อนำผลการศึกษาไปเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Branis (2006) ที่ผลการตรวจวัดด้วยเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8520 เช่นเดียวกับ Cheng *et al.* (2008) แต่ใช้เครื่อง Beta-gauge Monitor (ใช้หลักการดูดซับรังสีเบต้า) เป็นวิธีอ้างอิง แต่กลับให้ผลการตรวจวัดที่มากกว่าวิธีอ้างอิง ความแตกต่างนี้อาจเนื่องมาจากเทคนิคของวิธีอ้างอิงที่ใช้ในการตรวจวัดแตกต่างกัน จึงให้ผลการเปรียบเทียบที่แตกต่างกัน

เมื่อนำสมการปรับแก้ที่ได้ (สมการที่ 10) ไปใช้ปรับแก้ค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องดัสแทร์ค แล้วนำค่าที่ปรับแก้แล้วไปเขียนกราฟแสดงการกระจายของข้อมูลใหม่ เพื่อทดสอบว่าสมการปรับแก้ที่ได้ ทำให้ค่าความผิดพลาด ความแม่นยำ และความน่าเชื่อถือเปลี่ยนไปในทิศทางที่ดีขึ้นหรือไม่ กราฟแสดงการกระจายของข้อมูลระหว่างค่าที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักกับค่าที่ปรับแก้แล้วของเครื่องดัสแทร์ค แสดงดังรูปที่ 4.3

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า จุดตัดแกน y ลดลงเล็กน้อย จาก 0.03 เป็น 0.02 ซึ่งจัดว่าเข้าใกล้ศูนย์มากขึ้น แสดงว่าสมการถดถอยที่ได้มีความผิดพลาดแบบเป็นระบบลดลง ส่วนความชันของกราฟที่เพิ่มขึ้นจาก 0.02 เป็น 0.97 ซึ่งเข้าใกล้ 1 มาก โดยจะสังเกตเห็นได้ว่า เส้นสมการถดถอยและเส้น 1:1 แทบจะทับกันพอดี แสดงให้ทราบว่า ความผิดพลาดแบบเป็นสัดส่วนนั้นได้ปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยใช้สมการปรับแก้ อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากการปรับแก้ด้วยสมการที่ (10) พบว่าความเข้มข้นที่ปรับแก้บางข้อมูลมีค่าต่ำกว่า 0.00 ดังนั้นผู้วิจัยจึงปรับปรุงแบบความสัมพันธ์ของสมการปรับแก้ใหม่โดยให้เส้นแนวโน้มการกระจายของข้อมูลตัดผ่านจุด (0,0) ซึ่งจะได้สมการปรับแก้ใหม่ดังสมการที่ (11)



รูปที่ 4.3 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ PM₁₀ ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก (ไซโคลน) และวิธีอัตโนมัติ (ตัสแทรีค) ที่ปรับแก้ด้วยสมการแล้ว

$$y = 3.84x \quad (11)$$

เมื่อ y คือค่าจากเครื่องตัสแทรีคที่ได้รับการปรับแก้ให้ถูกต้องแล้ว และ x คือค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องตัสแทรีค

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการอ่านค่าโดยตรงจากเครื่องตัสแทรีคไปปรับแก้ด้วยสมการนี้พบว่า ค่าจากการปรับแก้มีแนวโน้มเป็นในทิศทางที่ดีขึ้นคือ ความเข้มข้นจากการปรับแก้จะมีค่าบวกและเมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างการปรับแก้ด้วยสมการที่ 10 และสมการที่ 11 ผลจากการศึกษาคือ ที่ระดับความเข้มข้นของ PM₁₀ ต่ำ (0.01 – 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ค่าที่ได้จากสมการที่ (11) จะสูงกว่าค่าที่ได้จากสมการที่ (10) ประมาณ 2 เท่า ที่ระดับความเข้มข้นปานกลาง (0.05 – 0.14 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ค่าที่ได้จากสมการที่ (11) จะสูงกว่าค่าที่ได้จากสมการที่ (10) ประมาณ 1.3 เท่า ส่วนที่ความเข้มข้นสูง (0.25 – 0.36 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ค่าที่ได้จาก

สมการทั้งสองไม่แตกต่างกัน สำหรับสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ลดลงเพียงเล็กน้อยจาก 0.97 เป็น 0.95

เมื่อก้าวถึงความแม่นยำของวิธีการเก็บตัวอย่าง จะต้องพิจารณาค่า RMSE ซึ่งเมื่อใช้สมการปรับแก้แล้ว ทำให้ค่า RMSE ลดลงจาก 0.59 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เหลือ 0.10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงว่าวิธีการเก็บตัวอย่างมีความแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งสองชุดยังไม่แตกต่างกัน ซึ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิธีอัตโนมัติที่ปรับแก้แล้วไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักแต่อย่างใด (ร้อยละที่แตกต่างลดลงจากร้อยละ 71 เหลือร้อยละ 0)

4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัด PM_{10} ด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก (ไซโคลน) และวิธีอัตโนมัติ (ดัสแทร์ค)

เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นของ PM_{10} จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 วิธีมาหาความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการถดถอยเส้นตรงแบบ OLS จะได้สมการถดถอยเส้นตรงแบบ OLS และกราฟการกระจายของข้อมูลดังรูปที่ 4.4

ข้อมูลความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ได้จากการอ่านค่าโดยตรงด้วยเครื่องดัสแทร์คมีความสัมพันธ์ระดับปานกลางกับความเข้มข้นที่ได้จากไซโคลน ($R^2 = 0.90$) สมการปรับแก้ค่าที่อ่านได้จากเครื่องดัสแทร์คคือ

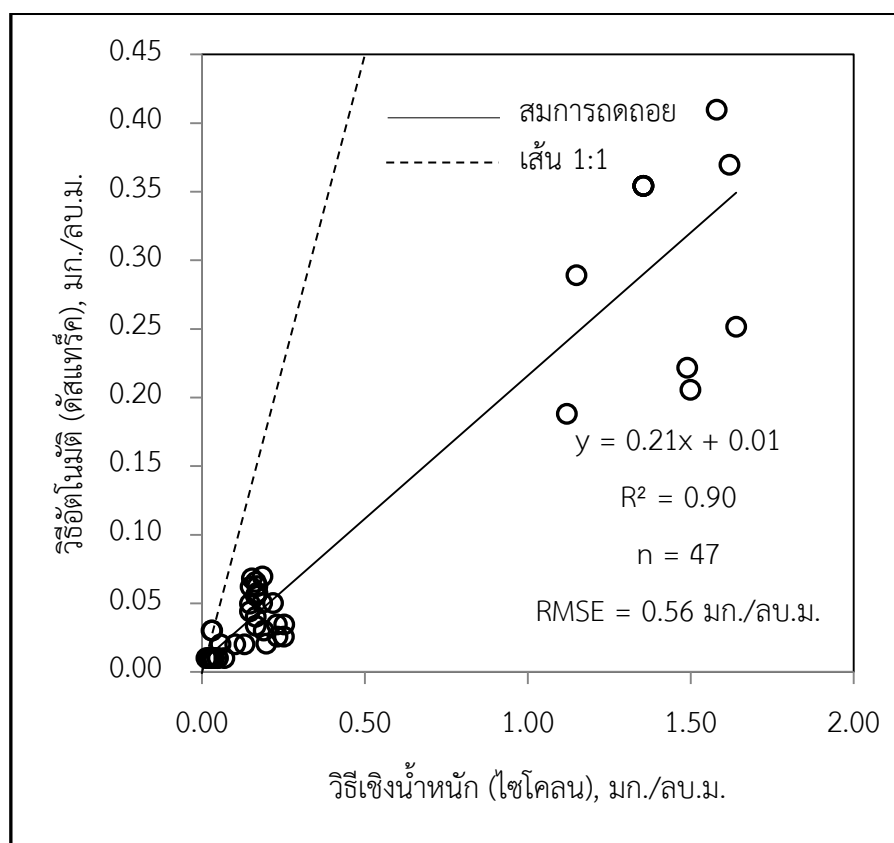
$$y = 4.33x - 0.01 \quad (12)$$

เมื่อ y คือค่าจากเครื่องดัสแทร์คที่ได้รับการปรับแก้ให้ถูกต้องแล้ว และ x คือค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องดัสแทร์ค

รูปที่ 4.4 จะเห็นว่า กราฟตัดแกน y ที่ 0.01 ซึ่งไม่แตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงสามารถกล่าวได้ว่าผลการศึกษาไม่มีความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ ส่วนความชันของกราฟเท่ากับ 0.21 ซึ่งแตกต่างจากเส้น 1:1 มาก แสดงว่า ข้อมูลทั้งสองชุดมีความคลาดเคลื่อนแบบเป็นสัดส่วน ส่วนค่า RMSE ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.56 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงว่าการใช้เครื่องดัสแทร์คในการเก็บตัวอย่าง PM_{10} มีความแม่นยำใกล้เคียงกับการเก็บตัวอย่าง PM_{10} แต่ต่ำกว่าการเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาสมการถดถอยด้วยโปรแกรม SPSS พบว่า ค่า Pearson correlation ของความเข้มข้นที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักและที่วิธีอัตโนมัติมีค่าเท่ากับ 0.951 ซึ่งหมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันสูงและมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน และจากการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.90 แสดงให้ทราบว่าสมการถดถอยที่ได้สามารถอธิบายการกระจายของความเข้มข้นที่ได้จากการอ่านค่าโดยตรงจากเครื่อง

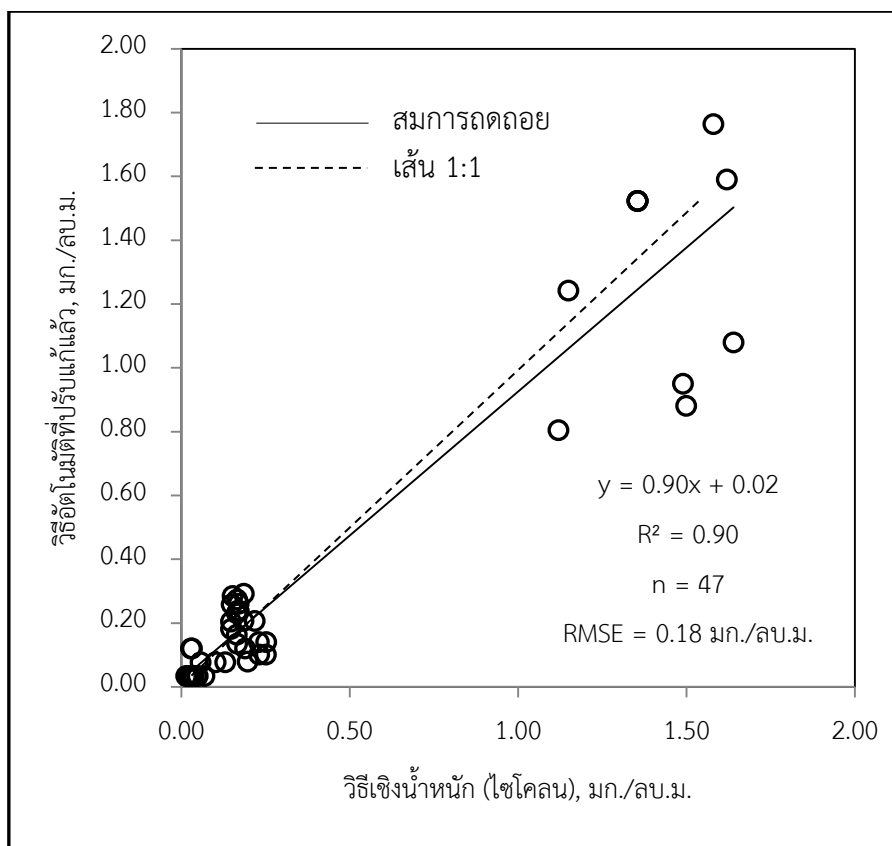
ดัสแทร์คได้ร้อยละ 90 ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสมการถดถอยจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.039 ซึ่งค่าที่ได้นี้มีค่าน้อย แสดงว่าสมการถดถอยที่ได้มีความน่าเชื่อถือสูง (ประกายรัตน์, 2548)



รูปที่ 4.4 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ PM₄ ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก (ไซโคลน) และวิธีอัติโนมัติ (ดัสแทร์ค)

ผลการศึกษาี้แสดงให้เห็นว่า ผลการตรวจวัดจากการอ่านค่าโดยตรงด้วยเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับผลการตรวจวัดด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก แต่ให้ผลการตรวจวัดที่น้อยกว่าวิธีเชิงน้ำหนักร้อยละ 77

เมื่อนำค่าที่ได้จากเครื่องดัสแทร์คไปปรับแก้โดยสมการที่ 12 แล้วนำชุดข้อมูลที่ปรับแก้แล้วไปเขียนกราฟการกระจายของข้อมูลกับข้อมูลเชิงน้ำหนักเพื่อหาสมการถดถอยใหม่ จะได้กราฟดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก (ไซโคลน) และวิธีอัตโนมัติ (ดิสแทรีค) ที่ปรับแก้ด้วยสมการแล้ว

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าจุดตัดแกน y เปลี่ยนจาก 0.01 เป็น 0.02 ซึ่งจัดว่าน้อยมาก แสดงว่าความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบไม่ต่างจากเดิมซึ่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยมากอยู่แล้ว เมื่อพิจารณาค่าความชันพบว่าเปลี่ยนจาก 0.21 เป็น 0.90 ซึ่งเข้าใกล้ 1 มาก แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงค่าความคลาดเคลื่อนแบบเป็นสัดส่วนจนเหลือน้อยมาก ส่วนค่าความแม่นยำของวิธีการตรวจวัดเพิ่มจากเดิมโดยพิจารณาจากค่า RMSE ที่ลดลงจาก 0.56 เป็น 0.18 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิธีอัตโนมัติที่ปรับแก้แล้วมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักลดลงจากร้อยละ 77 เหลือเพียงร้อยละ 11 เท่านั้น

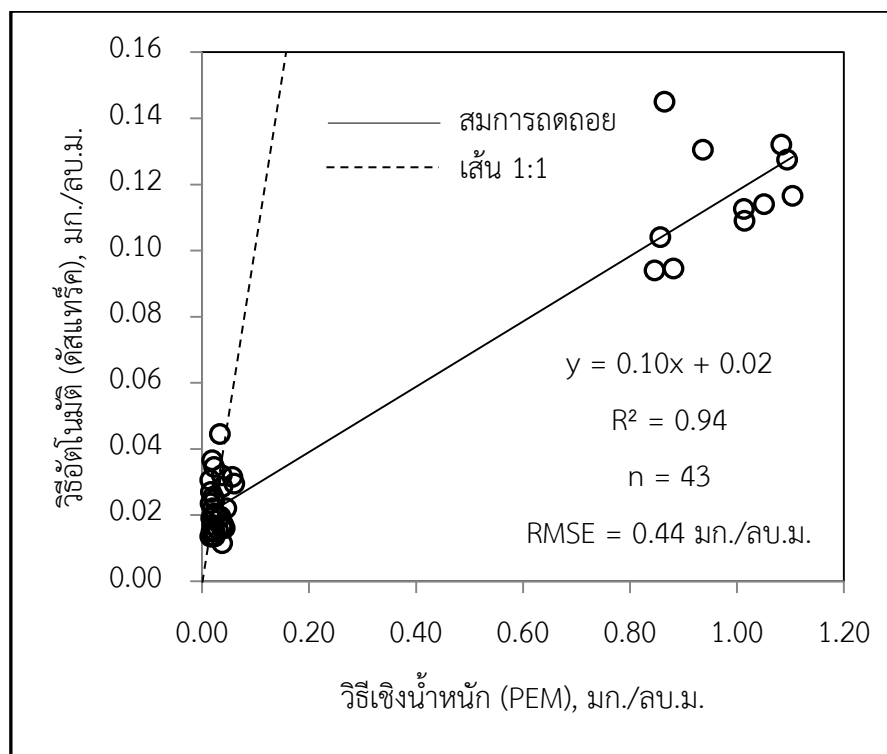
4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัด PM_{2.5} ด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก (PEM) และวิธีอัตโนมัติ (ดัสแทร์ค)

สมการถดถอยและกราฟการกระจายของข้อมูลจากการตรวจวัด PM_{2.5} ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 4.6 โดยอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างที่ใช้สำหรับวิธีเชิงน้ำหนักคือเครื่อง Personal Environment Monitor (PEM) จากสมการถดถอยที่ได้ ทำให้ได้สมการปรับแก้สำหรับการตรวจวัด PM_{2.5} ด้วยเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 ดังสมการที่ (13)

$$y = 9.54x - 0.17 \quad (13)$$

เมื่อ y คือค่าจากเครื่องดัสแทร์คที่ได้รับการปรับแก้ให้ถูกต้องแล้ว และ x คือค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องดัสแทร์ค

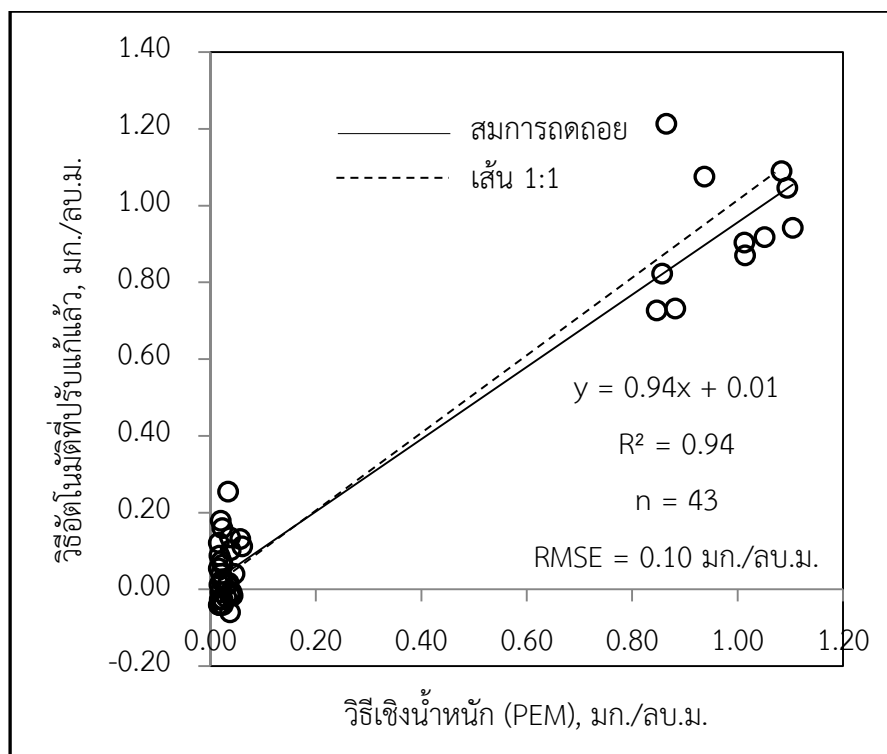
รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า ความชันของกราฟแตกต่างจากเส้น 1:1 มาก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความคลาดเคลื่อนแบบเป็นสัดส่วนระหว่างผลการตรวจวัดจากทั้งสองวิธี อย่างไรก็ตาม ค่า RMSE ที่มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการตรวจวัด PM₁₀ และ PM₄ โดยค่าที่ได้เท่ากับ 0.44 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าน้อยมาก แสดงให้เห็นว่า การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{2.5} ด้วยเครื่องดัสแทร์คมีความแม่นยำสูง จุดตัดแกน y ที่เท่ากับ 0.02 ซึ่งมีค่าใกล้ศูนย์มากหมายถึงผลการตรวจวัดแทบไม่มีความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ ค่า Pearson correlation ระหว่างผลการตรวจวัดทั้งสองวิธีเท่ากับ 0.94 ทำให้ทราบว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีความสัมพันธ์กันสูงมาก และจากค่า R^2 ทำให้ทราบว่าสมการถดถอยที่ได้สามารถอธิบายการกระจายของความเข้มข้นที่ได้จากการอ่านค่าโดยตรงจากเครื่องดัสแทร์คได้ร้อยละ 94 ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสมการถดถอยจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.011 ซึ่งค่าที่ได้นี้มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสมการถดถอยของ PM₁₀ และ PM₄ ซึ่งหมายความว่าสมการถดถอยที่ได้มีความน่าเชื่อถือสูงที่สุด (ประกายรัตน์, 2548) นอกจากนี้ ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่า ผลการตรวจวัดจากการอ่านค่าโดยตรงด้วยเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับผลการตรวจวัดด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก แต่ให้ผลการตรวจวัดที่น้อยกว่าวิธีเชิงน้ำหนักร้อยละ 83



รูปที่ 4.6 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ PM_{2.5} ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก (PEM) และวิธีอัตโนมัติ (ดัสแทร์ค)

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาในครั้งนี้กับการศึกษาของ Morawska *et al.* (2003) ซึ่งใช้เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8520 เก็บตัวอย่าง PM_{2.5} เทียบกับวิธีอ้างอิงของ US EPA (วิธี Tapered element oscillating microbalance; TEOM ที่ใช้เครื่องโคโคโตมัสในการตรวจวัด และใช้วิธีเชิงน้ำหนักในการวิเคราะห์) พบว่า ให้ผลการศึกษาไปในแนวทางเดียวกัน กล่าวคือ ผลการตรวจวัดด้วยเครื่องดัสแทร์ค ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอัตโนมัติ มีค่าน้อยกว่าวิธีเชิงน้ำหนักซึ่งเป็นวิธีอ้างอิง นอกจากนี้ เมื่อนำผลการศึกษาไปเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Cheng *et al.* (2008) ที่ใช้เครื่อง E-BAM Sampler (ใช้หลักการดูดซับรังสีเบต้า) เป็นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างสำหรับวิธีอ้างอิง พบว่า เครื่องดัสแทร์คให้ผลการตรวจวัดน้อยกว่าวิธีอ้างอิงเช่นกัน

เมื่อนำสมการที่ 13 ไปรับแก้ค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องดัสแทร์ค จะได้ชุดข้อมูลใหม่คือชุดข้อมูลจากวิธีอัตโนมัติที่ปรับแก้แล้ว ชุดข้อมูลนี้เมื่อนำไปเขียนกราฟการกระจายของข้อมูลร่วมกับค่าที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก จะได้สมการถดถอยใหม่และได้กราฟดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก (PEM) และวิธีออตโนมัต (ดัสแทร์ค) ที่ปรับแก้ด้วยสมการแล้ว

หลังการปรับแก้ข้อมูลด้วยสมการที่ 13 จุดตัดแกน y ชยับไปเพียงเล็กน้อยคือ จาก 0.02 เป็น 0.01 ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ความคลาดเคลื่อนอย่างเป็นระบบลดลงเล็กน้อยหลังปรับแก้ ส่วนค่าความชันของกราฟเพิ่มขึ้นจาก 0.10 เป็น 0.94 ซึ่งใกล้เส้น 1:1 มาก แสดงถึงการลดลงของความคลาดเคลื่อนแบบเป็นสัดส่วน จนเหลือความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ความแม่นยำของวิธีการเก็บตัวอย่างได้ปรับปรุงให้ดีขึ้นเช่นกัน โดยค่า RMSE เปลี่ยนจาก 0.44 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็น 0.10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากข้อมูลชุดที่ปรับแก้แล้วมีค่าต่ำกว่าวิธีเชิงน้ำหนักเพียงร้อยละ 0.5 เท่านั้น แต่จากรูปที่ 4.7 พบข้อมูลความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ บางข้อมูลจากการปรับแก้ด้วยสมการที่ (13) มีความเข้มข้นต่ำมากจนถึงติดลบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงหาความสัมพันธ์ของสมการปรับแก้ใหม่แสดงดังสมการที่ (14)

$$y = 7.52x \quad (14)$$

เมื่อ y คือค่าจากเครื่องดัสแทร์คที่ได้รับการปรับแก้ให้ถูกต้องแล้ว และ x คือค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องดัสแทร์ค

เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสมการที่ (13) และสมการที่ (14) พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ต่ำถึงปานกลาง (0.01 – 0.03 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ค่าที่ได้จากสมการที่ (14) จะสูงกว่าค่าที่ได้จากสมการที่ (13) ประมาณ 4 เท่า ส่วนที่ความเข้มข้นสูง (0.09 – 0.15 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ค่าที่ได้จากสมการทั้งสองไม่แตกต่างกัน สำหรับสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงคือเท่ากับ 0.94

ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 ให้ผลการตรวจวัดที่ต่ำกว่าวิธีเชิงน้ำหนักซึ่งเป็นวิธีอ้างอิง ดังนั้น การนำเครื่องดัสแทร์ครุ่นนี้ไปใช้จึงต้องปรับแก้ด้วยสมการปรับแก้ที่ได้ นอกจากนี้ ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่า เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 เป็นเครื่องมืออัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมสำหรับการตรวจวัด PM_{10} PM_4 และ $PM_{2.5}$ โดยพิจารณาจากความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ (Systematic bias) ความคลาดเคลื่อนแบบเป็นสัดส่วน (Proportional bias) รวมถึงประเมินความสัมพันธ์กันของข้อมูล (Pearson correlation) สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination; R^2) และความแม่นยำของผลการตรวจวัด (Precision)

การเปรียบเทียบผลการศึกษาี้กับการศึกษาก่อนหน้า ซึ่งใช้เครื่องดัสแทร์ครุ่นเก่า คือรุ่น 8520 แสดงดังตารางที่ 4.2



ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการศึกษากับการศึกษาก่อนหน้า

วิธีอัตโนมัติ (หลักการวิเคราะห์)	มากกว่า/ น้อยกว่า	วิธีอ้างอิง (หลักการวิเคราะห์)	Systematic bias ¹	Proportional bias ²	Pearson correlation ³	R^2 ⁴	RMSE ⁵	Standard error ⁶	ที่มา
PM₁₀									
DustTrak 8520 (การกระเจิงแสง)	มากกว่า	Beta-gauge monitor (การดูดซับรังสีเบต้า)	+1.04	1.87		0.73	-		Branis (2006)
	น้อยกว่า	E-BAM Sampler (การดูดซับรังสีเบต้า)	-2.34	2	0.96				Cheng <i>et al.</i> (2008)
DustTrak 8530 (การกระเจิงแสง)	น้อยกว่า	ไซโคลน (เชิงน้ำหนัก)	+0.03	0.23	0.986	0.97	0.59	0.023	<i>This study</i>
PM₄									
DustTrak 8530 (การกระเจิงแสง)	น้อยกว่า	ไซโคลน (เชิงน้ำหนัก)	+0.01	0.21	0.951	0.90	0.56	0.039	<i>This study</i>

หมายเหตุ

- ¹ ความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ พิจารณาจากจุดตัดแกน y (ยิ่งใกล้ศูนย์ยิ่งคลาดเคลื่อนน้อย)
- ² ความคลาดเคลื่อนแบบเป็นสัดส่วน พิจารณาจากความชันของกราฟ (ยิ่งใกล้ 1 ยิ่งคลาดเคลื่อนน้อย)
- ³ ความสัมพันธ์กันของข้อมูล (ยิ่งสูงยิ่งสัมพันธ์กันมาก)
- ⁴ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (ยิ่งสูงยิ่งอธิบายได้มาก)
- ⁵ ความแม่นยำของวิธีการเก็บตัวอย่าง พิจารณาจากค่าความผิดพลาดของรากลำกล้องเฉลี่ย (ยิ่งน้อยยิ่งแม่นยำ)
- ⁶ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน บอกถึงความน่าเชื่อถือของสมการถดถอย (ยิ่งน้อยยิ่งน่าเชื่อถือมาก)

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการศึกษากับการศึกษาก่อนหน้า (ต่อ)

วิธีอัตโนมัติ (หลักการวิเคราะห์)	มากกว่า/ น้อยกว่า	วิธีอ้างอิง (หลักการวิเคราะห์)	Systematic bias ¹	Proportional bias ²	Pearson correlation ³	R^2 ⁴	RMSE ⁵	Standard error ⁶	ที่มา
PM _{2.5}									
DustTrak 8520 (การกระเจิงแสง)	มากกว่า	PQ 200 (เชิงน้ำหนัก)	-1.73	2.57	0.86	4.31			Yanosky <i>et al.</i> (2002)
	น้อยกว่า	Dichotomous sampler (เชิงน้ำหนัก)	-11.29	2.54	0.83	-			Morawska <i>et al.</i> (2003)
	น้อยกว่า	E-BAM Sampler (การดูดซับรังสีเบต้า)	-8	2.17	0.90				Cheng <i>et al.</i> (2008)
DustTrak 8530 (การกระเจิงแสง)	น้อยกว่า	Personal Environment Monitor (PEM) (เชิงน้ำหนัก)	+0.02	0.10	0.966	0.94	0.44	0.011	This study

หมายเหตุ

- ¹ ความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ พิจารณาจากจุดตัดแกน y (ยิ่งใกล้ศูนย์ยิ่งคลาดเคลื่อนน้อย)
- ² ความคลาดเคลื่อนแบบเป็นสัดส่วน พิจารณาจากความชันของกราฟ (ยิ่งใกล้ 1 ยิ่งคลาดเคลื่อนน้อย)
- ³ ความสัมพันธ์กันของข้อมูล (ยิ่งสูงยิ่งสัมพันธ์กันมาก)
- ⁴ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (ยิ่งสูงยิ่งอธิบายได้มาก)
- ⁵ ความแม่นยำของวิธีการเก็บตัวอย่าง พิจารณาจากค่าความผิดพลาดของรากล้ำสองเฉลี่ย (ยิ่งน้อยยิ่งแม่นยำ)
- ⁶ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน บอกถึงความน่าเชื่อถือของสมการถดถอย (ยิ่งน้อยยิ่งน่าเชื่อถือมาก)

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 ให้ผลการตรวจวัดต่ำกว่าวิธีเชิงน้ำหนักซึ่งเป็นวิธีอ้างอิง แต่สามารถปรับแก้ได้โดยใช้สมการปรับแก้สำหรับฝุ่นแต่ละขนาด เครื่องมือตรวจวัดชนิดนี้มีความแม่นยำในการเก็บตัวอย่างสูง และมีค่าความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบต่ำ แม้ว่าผลการตรวจวัดจะมีความคลาดเคลื่อนแบบเป็นสัดส่วนสูง แต่ค่า R^2 ที่สูงบ่งชี้ให้ทราบว่าความคลาดเคลื่อนในส่วนนี้สามารถลดลงได้โดยใช้สมการปรับแก้ที่ได้จากสมการถดถอยแบบเส้นตรงจากกราฟการกระจายของข้อมูลระหว่างผลการตรวจวัดจากเครื่องดัสแทร์คกับวิธีเชิงน้ำหนัก นอกจากนี้ การใช้สมการปรับแก้ยังทำให้ผลการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องดัสแทร์คมีความแม่นยำสูงขึ้นได้ อีกทั้งยังช่วยลดความคลาดเคลื่อนแบบสัดส่วนได้อย่างมากอีกด้วย

ในการตรวจวัดฝุ่นทั้ง 3 ขนาด ได้แก่ PM_{10} , PM_4 และ $PM_{2.5}$ พบว่า เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือในการตรวจวัดเพิ่มขึ้นตามขนาดอนุภาคที่เล็กลง กล่าวคือ มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือสูงสุดในการตรวจวัด $PM_{2.5}$ รองลงมาคือ PM_4 และสุดท้ายคือ PM_{10} ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดที่ดีกว่ารุ่นก่อนหน้าคือรุ่น 8520 ทั้งในแง่ของความคลาดเคลื่อน ความสัมพันธ์กันของข้อมูล ความแม่นยำ และความน่าเชื่อถือ

ข้อดีของเครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 ได้แก่ ให้ผลการตรวจวัดที่รวดเร็ว ให้ค่าเฉลี่ยตามระยะเวลาที่ต้องการได้ มีขนาดเล็กกะทัดรัด เคลื่อนย้ายได้สะดวก ข้อมูลจากการตรวจวัดมีความคลาดเคลื่อนต่ำ มีความแม่นยำในการเก็บตัวอย่างสูง ต้องการการบำรุงรักษาเพียงเล็กน้อย(การทำ ความสะอาดอิมแพคเตอร์ และทำไขหลังเก็บตัวอย่าง การปรับศูนย์ทุกครั้งก่อนเก็บตัวอย่าง และการ ส่งไปปรับเทียบมาตรฐานปีละ 1 ครั้ง) ส่วนข้อเสีย ได้แก่ ไม่สามารถตรวจวัดอนุภาคฝุ่นหลายขนาด ในคราวเดียวกันได้ เหมาะสำหรับใช้ตรวจวัดฝุ่นขนาดเล็กภายในอาคารการเก็บตัวอย่างภายนอกอาคารจะต้องมีอุปกรณ์ป้องกัน และไม่เหมาะกับการเก็บตัวอย่างในที่อุณหภูมิสูงมากๆ

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

5.2.1 ควรศึกษาสภาพแวดล้อมบริเวณแหล่งกำเนิด เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละออง

5.2.2 ควรเพิ่มแหล่งกำเนิดที่มีความแตกต่างในเรื่องความเข้มข้นของฝุ่นในการเก็บตัวอย่างในการศึกษาครั้งต่อไป เพื่อสมการปรับแก้ที่ได้มีความแม่นยำ ความน่าเชื่อถือ และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

5.2.3 ผู้ที่ต้องการใช้เครื่องดัสแทร์ค รุ่น 8530 ต้องนำสมการปรับแก้ที่ได้จากการศึกษานี้ไปปรับแก้ค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่อง มิฉะนั้นจะได้ผลการตรวจวัดที่ต่ำกว่าความเป็นจริง



เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2550. **มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป**. กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html, 15 พฤษภาคม 2557.
- กระทรวงมหาดไทย. 2520. **ประกาศกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 103 (พ.ศ. 2515) เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี)**. ม.ป.ท., กรุงเทพฯ.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2555. **ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4428 (พ.ศ. 2555) เรื่องการเก็บและวิเคราะห์อนุภาคแขวนลอยในอากาศในสภาวะแวดล้อมการทำงาน**. ม.ป.ท., กรุงเทพฯ.
- ธนวรรณ พานิชพัฒน์. 2554. **ชีววิทยา**. บริษัท โอ. เอส. พรีนติ้งเฮาส์ จำกัด, กรุงเทพมหานคร.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนวกัทธา หนูนา. 2558. Systematic error / ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ. อ้างถึง นวกัทธา หนูนา และ ทวีพล ชือสัตย์. 2555. **ตำราเรียน การวัดและเครื่องมือประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: งานบริการการเรียนการสอน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ประกายรัตน์ สุวรรณ. 2548. **คู่มือการใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 12 สำหรับ Windows**. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น, กรุงเทพฯ.
- ปิยนุช ชัยพฤตินนท์. 2556. **การประเมินการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองของบุคลากรและนักศึกษาในวิทยาลัยการอาชีพพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ร่างประกาศกรมอนามัย. 2558. **มาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร**.
- วนิดา จินศาสตร์. 2551. **มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- Amato, F., M. Pandolfi, T. Moreno, M. Furger, J. Pey, A. Alastuey, N. Bukowiecki, A.S.H. Prevot, U. Baltensperger and X. Querol. 2011. Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities. **Atmospheric Environment** 45: 6777-6787.

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) (1998). **Particle Size-Selective Sampling for Particulate Air Contaminants**. Cincinnati, American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- Baek, S., K. Yoon and P. Roger. 1996. Indoor air quality in home, offices and restaurants in Korean urban areas – indoor/outdoor relationships. **Atmospheric Environment** 96: 529-544.
- Branis, M., R. Pavla and D. Marketa. 2005. The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM_{10} , $PM_{2.5}$, and PM_1 in classroom. **Environmental Research** 99: 143-149.
- Branis, M. 2006. The contribution of ambient sources to particulate pollutions in spaces and trains of the Prague underground transport system. **Atmospheric Environment** 40: 348-356.
- Burstyn, I., K. Teschke and S.M. Kennedy. 1997. Exposure levels and determinants of inhalable dust exposure in bakeries. **The Annals of Occupational Hygiene** 41(6): 609-624.
- Cheng, Y.H., Y.L. Lin. and C.C. Liu. 2008. Levels of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in Taipei Rapid Transit System. **Atmospheric Environment** 42: 7242-7249.
- Courtney, B. 2013. **Chapter 7: Membrane Structure and Function**. University of Central Florida, USA. Available Source: <http://www.studyblue.com/notes/note/n/chapter-7-membrane-structure-and-function/deck/7606990>, May 15, 2014.
- Division of Air Quality. 2015. **Particulate Matter – Background Information**. Available Source: https://dec.alaska.gov/air/anpms/pm/pm_bckgrd.htm, October 8, 2015.
- Enviro Technology Service. no date. **Leckel KFG LVS-3 Single Filter Gravimetric Sampler**. Available Source: <http://www.et.co.uk/products/air-quality-monitoring/particulate-monitoring/kfg-lvs-3-single-filter-gravimetric-sampler/>, May 20, 2014.
- Gemenetzis, P., M. Panagiotis, A. Anastasia and S. Constantini. 2006. Mass concentration and elemental composition of indoor $PM_{2.5}$ and PM_{10} in University rooms in Thessaloniki, northern Greece. **Atmospheric Environment** 40: 3195-3206.

- Hart, D. 2009. BAM - 1020 **Ambient** particulate mass monitor. *In the National Ambient Air Monitoring Conference*. 2-5 November 2009. Nashville Tennessee Hotels, USA.
- Health Promotion & Environmental Health Development. (no date). **Particle Matter (PM_{2.5}&PM₁₀)**. Available Source: <http://hpe4.anamai.moph.go.th/hia/pm2health.php>, August 15, 2014.
- James, H.V. 1998. **Particle Size-Selective Sampling for Particulate Air Contaminants**. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).
- Jovanovic, M., V. Biljana., T. Valentina., Z. Marija and S. Vuk. 2014. Investigation of indoor and outdoor air quality of the classrooms at a school in Serbia. **Energy** 77: 42-48.
- Lee, S.C., L.M. Wai and C.Y. Lo. 2001. Indoor air quality at restaurants with different styles of cooking in metropolitan Hong Kong. **The Science of the Total Environment** 279: 181-193.
- Liberti, A. 1975. Modern Methods for Air Pollution Monitoring. **Pure and Applied Chemistry** 44: 519-534.
- Madureira, J., P. Ines, R. Joao, R. Elisabete, B. Henrique, T. Joao and F. Eduardo. 2015. Indoor air quality in schools and its relationship with children's respiratory symptoms. **Atmospheric Environment** 118: 145-156.
- Morawska, L., He, C., Hitchins, J., Mengersen, K., Gilbert, D., 2003. Characteristics of particle number and mass concentrations in residential houses in Brisbane, Australia. **Atmospheric Environment** 37: 4195-4203.
- Mesa Labs. 2015. **BGI OMNI FT Ambient Air Sampler**. Available Source: <https://mesalabs.com/our-products/bgi-omni-ft-ambient-air-sampler/>, August 10, 2015.
- Mesa Labs. 2015. **PQ200 Ambient Air Particulate Sampler**. Available Source: <http://bgi.mesalabs.com/pq200-particulate-sampler/>, August 10, 2015.
- Met One Instrument. no date. **E-BAM**. Available Source: http://www.metone.com/documents/E-BAM_Datasheet_Rev_Aug09.pdf, September 11, 2014.

- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 1987. **Dust and Its Control**. Available Source: https://www.osha.gov/dsg/topics/silicacrystalline/dust/dust_control_handbook.html, March 10, 2014.
- Pope, C.A. and D.W. Dockery. 2006. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. **Journal of Air and Waste Management Association** 56: 709-742.
- Pope, C.A., E. Majid and D. Dockery. 2009. Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. **New England Journal of Medicine** 4: 376-386.
- Schwartz, J., D.W. Dockery and L.M. Neas. 1996. Is daily mortality associated specifically with fine particles. **Journal of the Air and Waste Management Association** 50: 927-939.
- Tasic, V., M. Jovasevic-Stojanovic. S. Vardoulakis. N. Milosevic. R. Kovacevic. and J. Petrovic, 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.
- The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) 1994. **NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed., NMAM 0500, Issue 2 Particulate Not Otherwise Regulated, Total**. Centers for Disease Control and Prevention, Georgia.
- The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) 1998. **NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed., NMAM 0600, Issue 3 Particulate Not Otherwise Regulated, Respirable**. Centers for Disease Control and Prevention, Georgia.
- TSI. 2001. **Aerodynamic Particle Size Spectrometer 3320**. Available Source: <http://www.tsi.com/aerodynamic-particle-sizer-spectrometer-3320/>, September 25, 2014.
- TSI. 2014. **DustTrak Aerosol Monitor 8520**. Available Source: <http://www.tsi.com/dusttrak-aerosol-monitor-8520/>, August 20, 2014.
- TSI. 2014. **DustTrak Aerosol Monitor 8530**. Available Source: <http://www.tsi.com/dusttrak-aerosol-monitor-8530/>, September 29, 2014.
- TSI. no date. **Condensation Particle Counter**. Available Source: <http://www.tsi.com/condensation-particle-counter-3022a/>, November 9, 2014.

- Turnkey Instrument. no date. **OSIRIS Portable Direct Reading, Airborne Particle Sampler**. Available Source: <http://www.turnkey-instruments.com/environment.php?id=8>, October 10, 2014.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). 1999. **Compendium Method IO-2.1 Sampling of Ambient Air for Total Suspended Particulate Matter (SPM) and PM₁₀ Using High Volume (HV) Sampler**. Cincinnati, Center for Environmental Research Information Office of Research and Development.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). 2011a. **PM_{2.5}**. National PEP Weighing Laboratory, Science and Ecosystem Support Division, Georgia.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). 2011b. **National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)**. US EPA. Available Source: <http://www.epa.gov/air/criteria.html>, May 15, 2014.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). 2015. **Fine Particle (PM_{2.5}) Designations**. Available Source: <http://www3.epa.gov/pmdesignations/faq.htm#0>, September 29, 2015.
- Watson, G., C. Chow., L. Chen., and X, Wang., 2010. **Measurement System Evaluation for Fugitive Dust Emissions Detection and Quantification**. Desert Research Institute, Reno, NV.
- Watson, G., C. Chow, L. Chen, X. Wang, M. Merifield, M. Fine and K. Barker. 2011. Measurement system evaluation for upwind/downwind sampling of fugitive dust emission. **Aerosol and Air Quality Research** 11: 331-350.
- World Health Organization (WHO). 1999. **Hazard Prevention and Control in the Work Environment: Airborne Dust**. WHO Press, Geneva.
- World Health Organization (WHO). 2006. **WHO Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide**. WHO Press, Geneva.
- Yanosky, J.D., P.L. Williams, and D.L. MacIntosh. 2002. A comparison of two direct-reading aerosol monitors with the federal reference method for PM_{2.5} in indoor air. **Atmospheric Environment** 1: 107-113.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

รายละเอียดข้อมูลการตรวจวัดความเข้มข้น PM_{10} PM_4 และ $PM_{2.5}$

โดยวิธีเชิงน้ำหนัก

ตารางที่ ก.1 การเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ห้องเครื่องซัง ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
7/7/2014	0001	0.0497066	0.0498223	CC3	1700	1440	2.45
7/7/2014	0002	0.0509607	0.0510625	CC4	1706	1440	2.46
8/7/2014	0005	0.0525455	0.0525524	CC1	1710	1440	2.46
8/7/2014	0006	0.0517358	0.0517710	CC2	1707	1440	2.46
9/7/2014	0009	0.0500016	0.0500082	CC3	1717	1440	2.47
9/7/2014	0010	0.0504663	0.0505046	CC4	1721	1440	2.48
15/7/2014	0013	0.0514574	0.0514656	CC1	1706	1440	2.46
15/7/2014	0014	0.0520345	0.05206-2	CC2	1728	1440	2.49
16/7/2014	0017	0.0495635	0.0496242	CC3	1711	1440	2.46
16/7/2014	0018	0.0493078	0.0493558	CC4	1707	1440	2.46
17/7/2014	0021	0.0513988	0.0514012	CC1	1717	1440	2.47
17/2/2014	0022	0.0515370	0.0515657	CC2	1714	1440	2.47
21/7/2014	0025	0.0511167	0.0512309	CC3	1706	1440	2.46
21/7/2014	0026	0.0501633	0.0502644	CC4	1706	1440	2.46
22/7/2014	0029	0.0519186	0.0520245	CC1	1704	1440	2.45
22/7/2015	0030	0.0518710	0.0519866	CC2	1716	1440	2.47
23/7/2014	0033	0.0504447	0.0504568	CC3	1708	1440	2.46
23/7/2014	0034	0.0512715	0.0512897	CC4	1705	1440	2.46

ตารางที่ ก.1 การเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ห้องเครื่องซัง (ต่อ)

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
24/7/2014	0037	0.0512302	0.0512486	CC1	1706	1440	2.46
24/7/2014	0038	0.0503692	0.0503852	CC2	1705	1440	2.46
28/7/2014	0041	0.0498286	0.0499382	CC3	1706	1440	2.46
28/7/2014	0042	0.0518288	0.0519320	CC4	1704	1440	2.45
29/7/2014	0045	0.0521637	0.0521677	CC1	1710	1440	2.46
29/7/2014	0046	0.0490612	0.0490820	CC2	1704	1440	2.45
5/8/2014	0049	0.0514410	0.0514727	CC3	1706	1440	2.46
5/8/2014	0050	0.0495916	0.0496043	CC4	1701	1440	2.45
16/9/2014	0053	0.0508600	0.0509035	CC1	1704	1440	2.45
16/9/2014	0054	0.0489913	0.0491082	CC2	1704	1440	2.45
22/9/2014	0057	0.0509350	0.0509781	CC1	1706	1440	2.46
22/9/2014	0058	0.0511011	0.0511252	CC2	1702	1440	2.46
24/9/2014	0061	0.0512252	0.0512278	CC1	1705	1440	2.47
24/9/2014	0062	0.0508015	0.0508369	CC2	1706	1440	2.46
2/10/2014	0065	0.0521794	0.0522535	CC1	1713	1440	2.46
2/10/2014	0066	0.0517180	0.0517554	CC2	1706	1440	2.46
7/10/2014	0069	0.0512495	0.0512682	CC3	1708	1440	2.45
7/10/2014	0070	0.0511263	0.0511739	CC4	1711	1440	2.46

ตารางที่ ก.1 การเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ห้องเครื่องซัง (ต่อ)

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
8/10/2014	0073	0.0514203	0.0514473	CC1	1701	1440	2.45
8/10/2014	0074	0.0517841	0.0518120	CC2	1709	1440	2.46
9/10/2014	0077	0.0528220	0.0528502	CC3	1702	1440	2.45
9/10/2014	0078	0.0516903	0.0517157	CC4	1710	1440	2.46

หมายเหตุ: CC หมายถึง ค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยไซโคลน

* สำหรับการคำนวณปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (V) หาได้จากสมการที่ 111 ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 3



ตารางที่ ก.2 การเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ห้องวิจัยอากาศ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

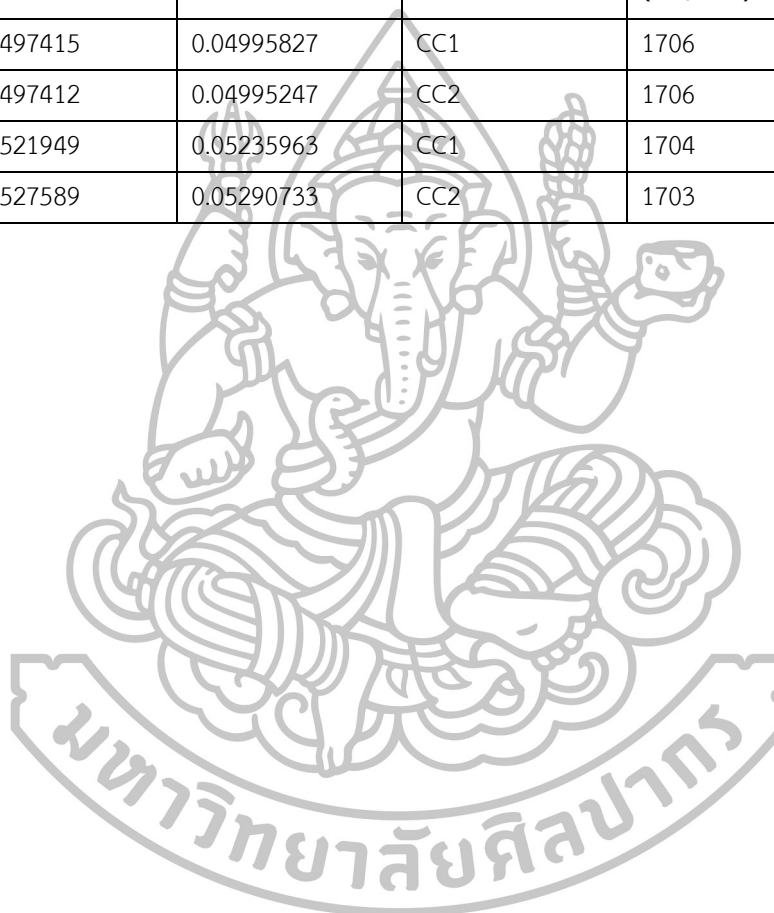
Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
11/2/2015	0001	0.0500274	0.0501828	CC1	1706	480	0.82
11/2/2015	0002	0.0503068	0.0504596	CC2	1709	480	0.82
12/2/2015	0005	0.0505518	0.0507106	CC1	1706	480	0.82
12/2/2015	0006	0.0492715	0.049416	CC2	1709	480	0.82
13/2/2015	0009	0.0504474	0.0505926	CC3	1704	480	0.82
13/2/2015	0010	0.0496822	0.0498368	CC4	1709	480	0.82
16/2/2015	0013	0.0504652	0.0506254	CC1	1708	480	0.82
16/2/2015	0014	0.0521830	0.0523389	CC2	1707	480	0.82
19/2/2015	0017	0.0518743	0.0519917	CC1	1707	480	0.82
19/2/2015	0018	0.0530127	0.0531556	CC2	1706	480	0.82
26/2/2015	0021	0.0510463	0.0512056	CC1	1706	480	0.82
26/2/2015	0022	0.0514671	0.0516165	CC2	1707	480	0.82
27/2/2015	0025	0.0524019	0.0526560	CC1	1702	480	0.82
27/2/2015	0026	0.0520072	0.0521576	CC2	1706	480	0.82
3/3/2015	0029	0.0508799	0.0510302	CC1	1705	480	0.82
3/3/2015	0030	0.0520958	0.0523388	CC2	1707	480	0.82
5/3/2015	0033	0.0513647	0.0515193	CC1	1706	480	0.82
5/3/2015	0034	0.0522242	0.0523778	CC2	1708	480	0.82

ตารางที่ ก.2 การเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ห้องวิจัยอากาศ (ต่อ)

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
6/3/2015	0037	0.0527440	0.0529028	CC1	1708	480	0.82
6/3/2015	0038	0.0524983	0.0527487	CC2	1708	480	0.82
9/3/2015	0041	0.0516492	0.0518574	CC1	1708	480	0.82
9/3/2015	0042	0.0511422	0.0513536	CC2	1709	480	0.82
12/3/2015	0045	0.0517762	0.0519957	CC1	1704	480	0.82
12/3/2015	0046	0.0519491	0.0520511	CC2	1704	480	0.82
13/3/2015	0049	0.0511912	0.0513064	CC1	1703	480	0.82
13/3/2015	0050	0.0516665	0.0518902	CC2	1707	480	0.82
16/3/2015	0053	0.0525630	0.0527708	CC1	1706	480	0.82
16/3/2015	0054	0.0488782	0.0490826	CC2	1706	480	0.82
17/3/2015	0057	0.0522965	0.0524525	CC1	1704	480	0.82
17/3/2015	0058	0.0511658	0.0513894	CC2	1705	480	0.82
18/3/2015	0061	0.0499538	0.0500692	CC1	1709	480	0.82
18/3/2015	0062	0.0491927	0.049321	CC2	1706	480	0.82
19/3/2015	0065	0.0513440	0.051551	CC1	1707	480	0.82
19/3/2015	0066	0.0494408	0.04965963	CC2	1707	480	0.82
20/3/2015	0069	0.0510316	0.05126033	CC1	1710	480	0.82
20/3/2015	0070	0.0492202	0.04943217	CC2	1710	480	0.82

ตารางที่ ก.2 การเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ห้องวิจัยอากาศ (ต่อ)

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
23/3/2015	0073	0.0497415	0.04995827	CC1	1706	480	0.82
23/3/2015	0074	0.0497412	0.04995247	CC2	1706	480	0.82
24/3/2015	0077	0.0521949	0.05235963	CC1	1704	480	0.82
24/3/2015	0078	0.0527589	0.05290733	CC2	1703	480	0.82



ตารางที่ ก.3 การเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ร้านปลาทองหมู่กระทะ จังหวัดนครปฐม

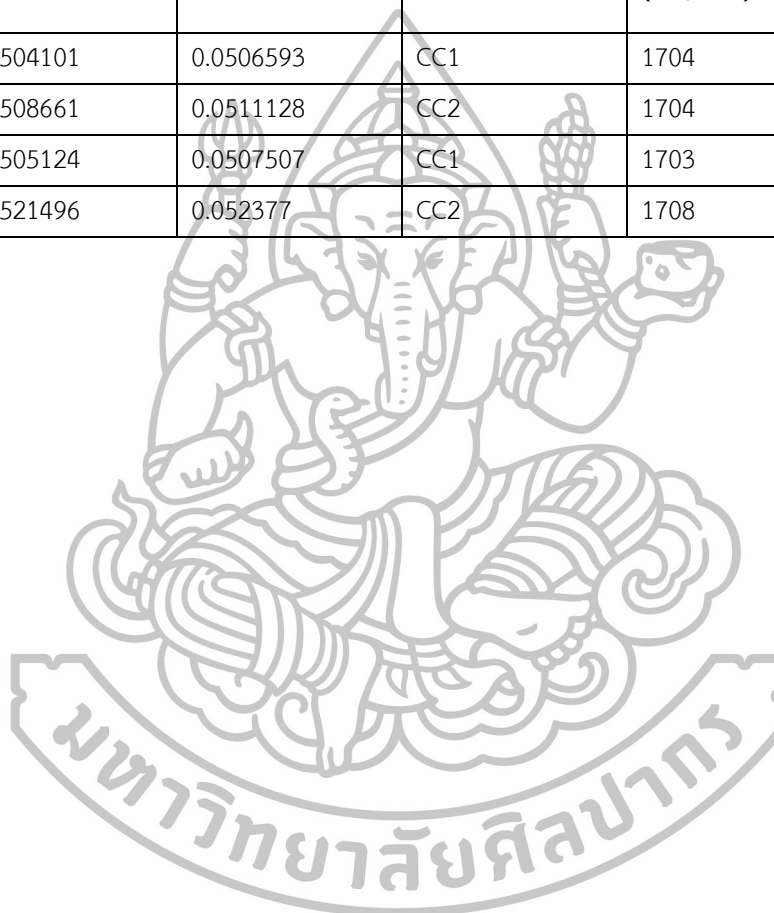
Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
23/12/2014	0001	0.0525806	0.0528884	CC5	1703	120	0.20
23/12/2014	0002	0.0522199	0.0525265	CC6	1705	120	0.20
24/12/2014	0005	0.0514858	0.0517127	CC1	1702	120	0.20
24/12/2014	0006	0.0517983	0.0520312	CC2	1706	120	0.20
25/12/2014	0009	0.0495020	0.0498974	CC5	1703	120	0.20
25/12/2014	0010	0.0504301	0.0508581	CC6	1705	120	0.20
26/12/2014	0013	0.0518385	0.0520600	CC5	1706	120	0.20
26/12/2014	0014	0.0507069	0.0509208	CC6	1706	120	0.20
29/12/2014	0017	0.0513509	0.0517777	CC1	1706	120	0.20
29/12/2014	0018	0.0512564	0.0516846	CC2	1706	120	0.20
7/1/2015	0021	0.0519566	0.0521989	CC1	1708	120	0.20
7/1/2015	0022	0.0519559	0.0522247	CC2	1707	120	0.20
8/1/2015	0025	0.0523393	0.0526148	CC1	1708	120	0.20
8/1/2015	0026	0.0515036	0.0517814	CC2	1705	120	0.20
13/1/2015	0029	0.0507524	0.0510326	CC1	1707	120	0.20
13/1/2015	0030	0.0500217	0.0503214	CC2	1704	120	0.20
14/1/2015	0033	0.0498506	0.0502057	CC1	1706	120	0.20
14/1/2015	0034	0.0528566	0.0532173	CC2	1706	120	0.20

ตารางที่ ก.3 การเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ร้านปลาทองหมู่กระทะ จังหวัดนครปฐม (ต่อ)

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
15/1/2015	0037	0.0512298	0.0515785	CC1	1705	120	0.20
15/1/2015	0038	0.0512685	0.0516097	CC2	1706	120	0.20
16/1/2015	0041	0.0515150	0.0517453	CC1	1708	120	0.20
16/1/2015	0042	0.0504867	0.0507196	CC2	1707	120	0.20
17/1/2015	0045	0.0514815	0.0518375	CC1	1707	120	0.20
17/1/2015	0046	0.0527334	0.0530979	CC2	1707	120	0.20
18/1/2015	0049	0.0511264	0.0514383	CC1	1706	120	0.20
18/1/2015	0050	0.0526841	0.0529975	CC2	1706	120	0.20
19/1/2015	0053	0.0519018	0.0522152	CC1	1703	120	0.20
19/1/2015	0054	0.0507290	0.0510393	CC2	1706	120	0.20
20/1/2015	0057	0.0516821	0.0518935	CC1	1705	120	0.20
20/1/2015	0058	0.051691	0.0519081	CC2	1705	120	0.20
21/1/2015	0061	0.0513284	0.0519261	CC1	1707	120	0.20
21/1/2015	0062	0.0516921	0.0522934	CC2	1706	120	0.20
22/1/2015	0065	0.0526417	0.0528466	CC1	1705	120	0.20
22/1/2015	0066	0.0518662	0.0520756	CC2	1705	120	0.20
23/1/2015	0069	0.0515054	0.0517514	CC1	1706	120	0.20
23/1/2015	0070	0.0521862	0.0524355	CC2	1704	120	0.20

ตารางที่ ก.3 การเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ร้านปลาทองหมูกระทะ จังหวัดนครปฐม (ต่อ)

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
24/1/2015	0073	0.0504101	0.0506593	CC1	1704	120	0.20
24/1/2015	0074	0.0508661	0.0511128	CC2	1704	120	0.20
25/1/2015	0077	0.0505124	0.0507507	CC1	1703	120	0.20
25/1/2015	0078	0.0521496	0.052377	CC2	1708	120	0.20



ตารางที่ ก.4 การเก็บตัวอย่าง PM₄ ห้องเครื่องซิ่ง ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
3/10/2014	0001	0.0520449	0.0520562	CC3	1700	1440	2.45
3/10/2014	0002	0.0515485	0.0515574	CC4	1706	1440	2.47
4/10/2014	0005	0.0519463	0.0519792	CC1	1710	1440	2.46
4/10/2014	0006	0.0513999	0.0514457	CC2	1707	1440	2.46
5/10/2014	0009	0.0520222	0.0520493	CC3	1717	1440	2.47
5/10/2014	0010	0.0524256	0.0525306	CC4	1721	1440	2.46
6/10/2014	0013	0.0516793	0.0517207	CC1	1706	1440	2.45
6/10/2014	0014	0.0515164	0.0515480	CC2	1728	1440	2.46
10/10/2014	0017	0.0506252	0.0506475	CC3	1711	1440	2.46
10/10/2014	0018	0.0509745	0.0509997	CC4	1707	1440	2.46
11/10/2014	0021	0.0526112	0.0526130	CC1	1717	1440	2.77
11/10/2014	0022	0.0507251	0.0507617	CC2	1714	1440	2.76
13/10/2014	0025	0.0522345	0.0522832	CC3	1706	1440	2.46
13/10/2014	0026	0.0523460	0.0523783	CC4	1706	1440	2.46
15/10/2014	0029	0.0517684	0.0517846	CC1	1704	1440	2.46
15/10/2014	0030	0.0516301	0.0516335	CC2	1716	1440	2.45
16/10/2014	0033	0.0494633	0.0500005	CC3	1708	1440	2.46
16/10/2014	0034	0.0517099	0.0517262	CC4	1705	1440	2.46

ตารางที่ ก.4 การเก็บตัวอย่าง PM₄ ห้องเครื่องขัง (ต่อ)

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
17/10/2014	0037	0.0524544	0.0524637	CC1	1708	1440	2.46
17/10/2014	0038	0.0511545	0.0511644	CC2	1708	1440	2.45
20/10/2014	0041	0.0519089	0.0519328	CC1	1708	1440	2.46
20/10/2014	0042	0.0514009	0.0514238	CC2	1709	1440	2.46
21/10/2014	0045	0.0508809	0.0508795	CC1	1704	1440	2.46
21/10/2014	0046	0.0508415	0.0508667	CC2	1704	1440	2.45
22/10/2014	0049	0.0515799	0.0515935	CC1	1703	1440	2.46
22/10/2014	0050	0.0509174	0.0509389	CC2	1707	1440	2.46
23/10/2014	0053	0.0516251	0.0516248	CC1	1706	1440	2.46
23/10/2014	0054	0.0512398	0.0512425	CC2	1706	1440	2.45
26/10/2014	0057	0.0506875	0.0507581	CC1	1704	1440	2.45
26/10/2014	0058	0.0512436	0.0512565	CC2	1705	1440	2.45
27/10/2014	0061	0.0500791	0.0501035	CC1	1709	1440	2.46
27/10/2014	0062	0.0503682	0.0504137	CC2	1706	1440	2.45
29/10/2014	0065	0.0507639	0.0510327	CC1	1707	1440	2.45
29/10/2014	0066	0.0505286	0.0507850	CC2	1707	1440	2.46
30/10/2014	0069	0.0507503	0.0507877	CC1	1710	1440	2.46
30/10/2014	0070	0.0504198	0.0504487	CC2	1710	1440	2.46

ตารางที่ ก.4 การเก็บตัวอย่าง PM₄ ห้องเครื่องซัง (ต่อ)

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
31/10/2014	0073	0.0511593	0.0511725	CC1	1706	1440	2.45
31/10/2014	0074	0.0501703	0.0501854	CC2	1706	1440	2.45
1/11/2014	0077	0.0497158	0.0497414	CC1	1704	1440	2.46
1/11/2014	0078	0.0515301	0.0515557	CC2	1703	1440	2.46

หมายเหตุ: CC หมายถึง ค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยไซโคลน

* สำหรับการคำนวณปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (V) หาได้จากสมการที่ 11 ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 3



ตารางที่ ก.5 การเก็บตัวอย่าง PM₄ ห้องวิจัยอากาศ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

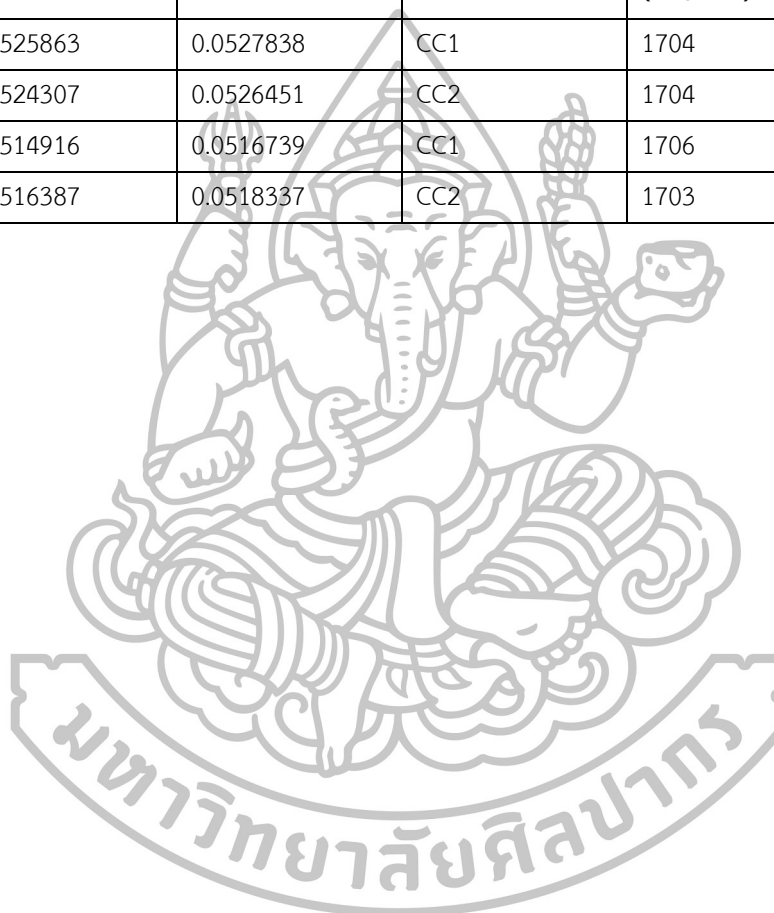
Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
5/2/2015	0001	0.0509147	0.0510495	CC1	1706	480	0.82
5/2/2015	0002	0.0498677	0.0500133	CC2	1708	480	0.82
1/4/2015	0005	0.0502814	0.0504177	CC1	1707	480	0.82
1/4/2015	0006	0.0495954	0.0497307	CC2	1709	480	0.82
2/4/2015	0009	0.0499808	0.0501084	CC3	1708	480	0.82
2/4/2015	0010	0.0500874	0.0502398	CC4	1709	480	0.82
7/4/2015	0013	0.0521450	0.0522587	CC1	1709	480	0.82
7/4/2015	0014	0.0519615	0.0520899	CC2	1709	480	0.82
8/4/2015	0017	0.0485497	0.0486698	CC1	1710	480	0.82
8/4/2015	0018	0.0483521	0.0484745	CC2	1710	480	0.82
17/4/2015	0021	0.0520169	0.0521470	CC1	1706	480	0.82
17/4/2015	0022	0.0514861	0.0516359	CC2	1707	480	0.82
20/4/2015	0025	0.0484349	0.0485711	CC1	1709	480	0.82
20/4/2015	0026	0.0491778	0.0493214	CC2	1705	480	0.82
21/4/2015	0029	0.0514900	0.0516132	CC1	1708	480	0.82
21/4/2015	0030	0.0496508	0.0487736	CC2	1707	480	0.82
22/4/2015	0033	0.0515180	0.0516492	CC1	1718	480	0.82
22/4/2015	0034	0.0495281	0.0496692	CC2	1720	480	0.82

ตารางที่ ก.5 การเก็บตัวอย่าง PM₄ ห้องวิจัยอากาศ (ต่อ)

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
24/4/2015	0037	0.0497018	0.0498337	CC1	1706	480	0.82
24/4/2015	0038	0.0517229	0.0518695	CC2	1702	480	0.82
25/4/2015	0041	0.0511505	0.0512831	CC1	1708	480	0.82
25/4/2015	0042	0.0497944	0.0499329	CC2	1708	480	0.82
26/4/2015	0045	0.0495044	0.0496219	CC1	1708	480	0.82
26/4/2015	0046	0.0509123	0.0510457	CC2	1705	480	0.82
27/4/2015	0049	0.0503223	0.0504574	CC1	1707	480	0.82
27/4/2015	0050	0.0513979	0.0515341	CC2	1705	480	0.82
28/4/2015	0053	0.0501847	0.0503254	CC1	1703	480	0.82
28/4/2015	0054	0.0504783	0.0506412	CC2	1701	480	0.82
29/4/2015	0057	0.0512865	0.0514657	CC1	1707	480	0.82
29/4/2015	0058	0.0513012	0.0514803	CC2	1708	480	0.82
30/4/2015	0061	0.0495122	0.0497114	CC1	1706	480	0.82
30/4/2015	0062	0.0518256	0.0520401	CC2	1703	480	0.82
1/5/2015	0065	0.0514867	0.0516446	CC1	1704	480	0.82
1/5/2015	0066	0.0527898	0.0529552	CC2	1708	480	0.82
2/5/2015	0069	0.0515692	0.0517418	CC1	1705	480	0.82
2/5/2015	0070	0.0510650	0.0512721	CC2	1707	480	0.82

ตารางที่ ก.5 การเก็บตัวอย่าง PM₄ ห้องวิจัยอากาศ (ต่อ)

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
3/5/2015	0073	0.0525863	0.0527838	CC1	1704	480	0.82
3/5/2015	0074	0.0524307	0.0526451	CC2	1704	480	0.82
4/5/2015	0077	0.0514916	0.0516739	CC1	1706	480	0.82
4/5/2015	0078	0.0516387	0.0518337	CC2	1703	480	0.82



ตารางที่ ก.6 การเก็บตัวอย่าง PM₄ ร้านปลาทองหมูกระทะ จังหวัดนครปฐม

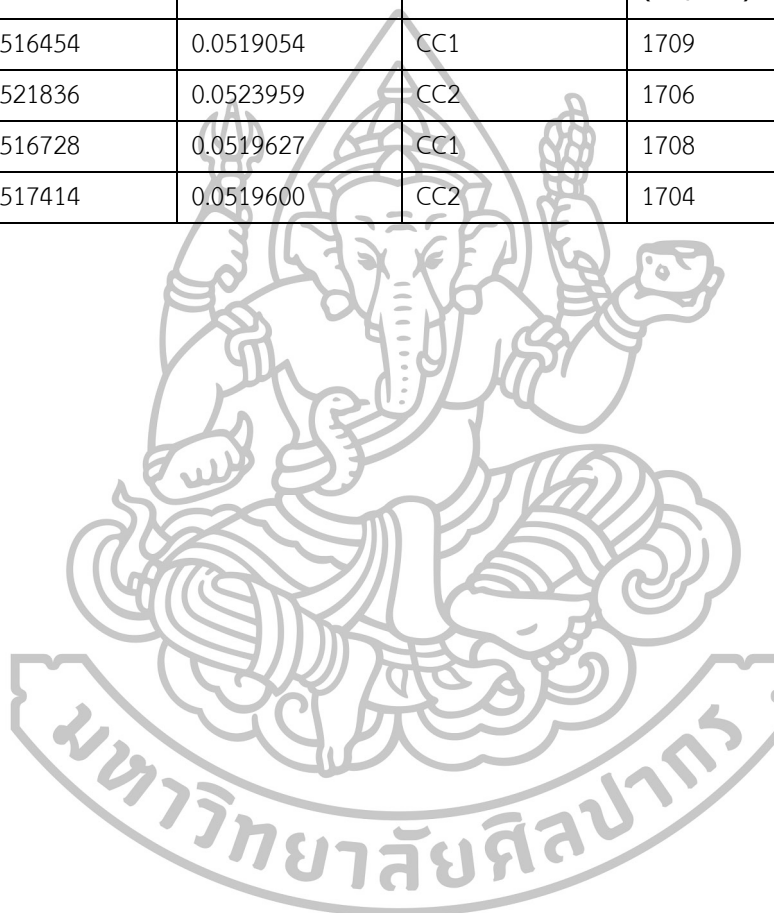
Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
26/1/2015	0001	0.0515303	0.0519042	CC5	1706	120	0.20
26/1/2015	0002	0.0522351	0.0524538	CC6	1706	120	0.20
28/1/2015	0005	0.0497476	0.0499576	CC1	1706	120	0.20
28/1/2015	0006	0.0500343	0.0502672	CC2	1703	120	0.20
29/1/2015	0009	0.0514192	0.0516306	CC5	1705	120	0.20
29/1/2015	0010	0.0540386	0.0542917	CC6	1704	120	0.20
30/1/2015	0013	0.0508272	0.0511633	CC5	1709	120	0.20
30/1/2015	0014	0.0521482	0.0524757	CC6	1710	120	0.20
31/1/2015	0017	0.0503873	0.0507283	CC1	1706	120	0.20
31/1/2015	0018	0.0499397	0.0501988	CC2	1705	120	0.20
4/2/2015	0021	0.0522071	0.0525289	CC1	1706	120	0.20
4/2/2015	0022	0.0512021	0.0514732	CC2	1703	120	0.20
5/2/2015	0025	0.0501643	0.0504040	CC1	1705	120	0.20
5/2/2015	0026	0.0483905	0.0487378	CC2	1706	120	0.20
7/2/2015	0029	0.0496686	0.0499157	CC1	1707	120	0.20
7/2/2015	0030	0.0493443	0.0496130	CC2	1708	120	0.20
8/2/2015	0033	0.0493351	0.0496476	CC1	1708	120	0.20
8/2/2015	0034	0.0488370	0.0491622	CC2	1706	120	0.20

ตารางที่ ก.6 การเก็บตัวอย่าง PM₄ ร้านปลาทองหมูกระทะ จังหวัดนครปฐม (ต่อ)

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
11/2/2015	0037	0.0516898	0.0520170	CC1	1706	120	0.20
11/2/2015	0038	0.0511346	0.0514577	CC2	1707	120	0.20
12/2/2015	0041	0.0510069	0.0513127	CC1	1706	120	0.20
12/2/2015	0042	0.0506534	0.0509641	CC2	1709	120	0.20
13/2/2015	0045	0.0494725	0.0498756	CC1	1704	120	0.20
13/2/2015	0046	0.0502940	0.0505106	CC2	1705	120	0.20
14/2/2015	0049	0.0492330	0.0495419	CC1	1708	120	0.20
14/2/2015	0050	0.0509431	0.0512467	CC2	1706	120	0.20
15/2/2015	0053	0.0524351	0.0527407	CC1	1704	120	0.20
15/2/2015	0054	0.0525966	0.0529308	CC2	1704	120	0.20
18/2/2015	0057	0.0515949	0.0518931	CC1	1709	120	0.20
18/2/2015	0058	0.0528246	0.0531577	CC2	1708	120	0.20
22/2/2015	0061	0.0519902	0.0523253	CC1	1710	120	0.20
22/2/2015	0062	0.0523009	0.0525506	CC2	1707	120	0.20
25/2/2015	0065	0.0521785	0.0524764	CC1	1709	120	0.20
25/2/2015	0066	0.0513532	0.0516859	CC2	1709	120	0.20
26/2/2015	0069	0.0520534	0.0522357	CC1	1702	120	0.20
26/2/2015	0070	0.0516573	0.0518768	CC2	1708	120	0.20

ตารางที่ ก.6 การเก็บตัวอย่าง PM₄ ร้านปลาทองหมูกระทะ จังหวัดนครปฐม (ต่อ)

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
28/2/2015	0073	0.0516454	0.0519054	CC1	1709	120	0.20
28/2/2015	0074	0.0521836	0.0523959	CC2	1706	120	0.20
1/3/2015	0077	0.0516728	0.0519627	CC1	1708	120	0.20
1/3/2015	0078	0.0517414	0.0519600	CC2	1704	120	0.20



ตารางที่ ก.7 การเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ห้องเครื่องซัง ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
7/6/2015	0001	0.0514770	0.0514878	PEM	2008	1440	2.89
8/6/2015	0004	0.0523719	0.0524735	PEM	2005	1440	2.89
9/6/2015	0007	0.0517012	0.0517517	PEM	2007	1440	2.89
10/6/2015	0010	0.0524404	0.0525727	PEM	2006	1440	2.89
11/6/2015	0013	0.0524825	0.0525325	PEM	2007	1440	2.89
12/6/2015	0016	0.0520876	0.0521573	PEM	2007	1440	2.89
13/6/2015	0019	0.0515185	0.0516267	PEM	2008	1440	2.89
14/6/2015	0022	0.0522970	0.0523080	PEM	2003	1440	2.88
15/6/2015	0025	0.0519808	0.0520403	PEM	2008	1440	2.89
16/6/2015	0028	0.0516061	0.0517145	PEM	2003	1440	2.88
17/6/2015	0031	0.0507667	0.0508127	PEM	2006	1440	2.89
18/6/2015	0034	0.0512103	0.0513682	PEM	2007	1440	2.89
19/6/2015	0037	0.0527487	0.0528716	PEM	2006	1440	2.89
20/6/2015	0040	0.0536142	0.0537503	PEM	2008	1440	2.89
21/6/2015	0043	0.0524933	0.0525612	PEM	2005	1440	2.89
22/6/2015	0046	0.0521725	0.0522604	PEM	2008	1440	2.89
23/6/2015	0049	0.0522317	0.0523290	PEM	2004	1440	2.89
24/6/2015	0052	0.0518114	0.0520653	PEM	2003	1440	2.88

ตารางที่ ก.7 การเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ห้องเครื่องซัง (ต่อ)

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
25/6/2015	0055	0.0522010	0.0523102	PEM	2006	1440	4.32
26/6/2015	0058	0.0515123	0.0516070	PEM	2006	1440	2.46

หมายเหตุ: PEM หมายถึง ค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง PEM

* สำหรับการคำนวณปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (V) หาได้จากสมการที่ 11 ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 3



ตารางที่ ก.8 การเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ห้องวิจัยอากาศ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
5/5/2015	0001	0.0527152	0.0527734	PEM	2008	480	0.96
6/5/2015	0004	0.0517127	0.0517497	PEM	2009	480	0.96
7/5/2015	0007	0.0519220	0.0519374	PEM	2002	480	0.96
8/5/2015	0010	0.0522079	0.0522233	PEM	2008	480	0.96
9/5/2015	0013	0.0520961	0.0521117	PEM	2009	480	0.96
10/5/2015	0016	0.0519331	0.0519553	PEM	2004	480	0.96
11/5/2015	0019	0.0521639	0.0521826	PEM	2005	480	0.96
12/5/2015	0022	0.0528534	0.0528894	PEM	2008	480	0.96
13/5/2015	0025	0.0525824	0.0526373	PEM	2007	480	0.96
14/5/2015	0028	0.0520713	0.0520879	PEM	2008	480	0.96
15/5/2015	0031	0.0512852	0.0513036	PEM	2006	480	0.96
16/5/2015	0034	0.0520723	0.0521132	PEM	2010	480	0.96
17/5/2015	0037	0.0518327	0.0518517	PEM	2010	480	0.96
23/5/2015	0040	0.0515132	0.0515522	PEM	2008	480	0.96
24/5/2015	0043	0.0523659	0.0524271	PEM	2005	480	0.96
25/5/2015	0046	0.0507100	0.0507324	PEM	2007	480	0.96
26/5/2015	0049	0.0512615	0.0512817	PEM	2008	480	0.96
4/6/2015	0052	0.0514581	0.0514753	PEM	2009	480	0.96

ตารางที่ ก.8 การเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ห้องวิจัยอากาศ (ต่อ)

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
5/6/2015	0055	0.0511544	0.0511752	PEM	2010	480	0.96
6/6/2015	0058	0.0522207	0.0522441	PEM	2010	480	0.96

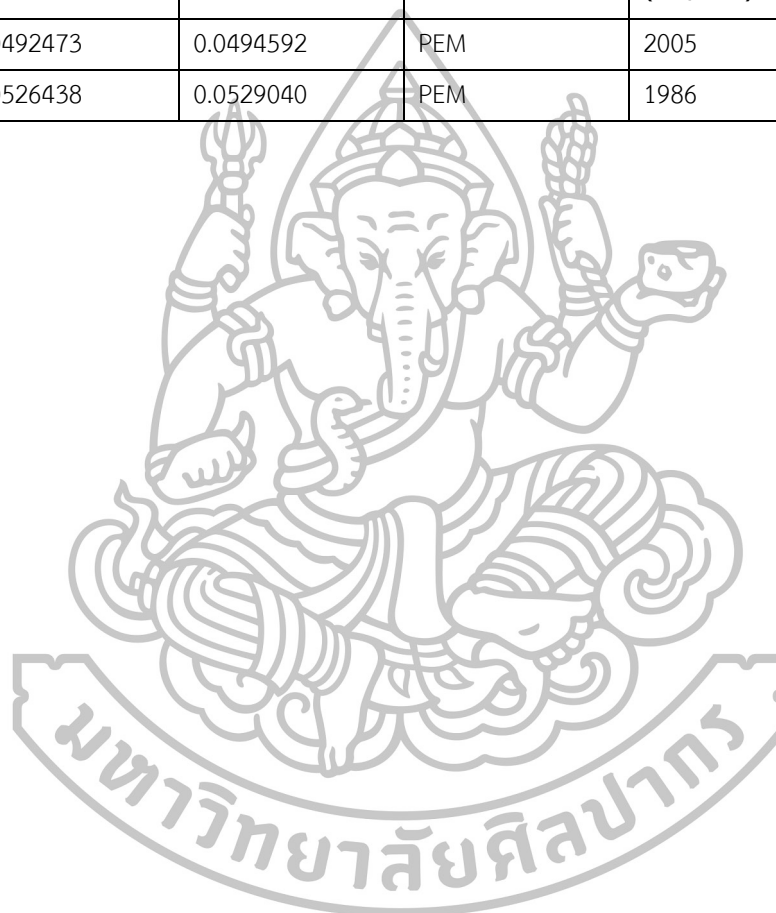


ตารางที่ ก.9 การเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} รั้วนปลาทองหมู่เกาะ จังหวัดนครปฐม

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
2/3/2015	0001	0.0506055	0.0508587	PEM	2007	120	0.24
3/3/2015	0004	0.0513060	0.0515134	PEM	2008	120	0.24
4/3/2015	0007	0.0520175	0.0522831	PEM	2003	120	0.24
5/3/2015	0010	0.0510768	0.0512825	PEM	2000	120	0.24
6/3/2015	0013	0.0509113	0.0511247	PEM	2005	120	0.24
8/3/2015	0016	0.0506454	0.0508784	PEM	2003	120	0.24
11/3/2015	0019	0.0522738	0.0525325	PEM	2007	120	0.24
13/3/2015	0022	0.0517520	0.0519770	PEM	2008	120	0.24
14/3/2015	0025	0.0504733	0.0507391	PEM	2008	120	0.24
15/3/2015	0028	0.0516353	0.0518477	PEM	2008	120	0.24
16/3/2015	0031	0.0522105	0.0524748	PEM	2006	120	0.24
18/3/2015	0034	0.0520985	0.0523420	PEM	2005	120	0.24
20/3/2015	0037	0.0518894	0.0521498	PEM	2007	120	0.24
23/3/2015	0040	0.0497064	0.0499495	PEM	2005	120	0.24
25/3/2015	0043	0.0511720	0.0514131	PEM	2007	120	0.24
29/3/2015	0046	0.0498621	0.0500698	PEM	2007	120	0.24
30/3/2015	0049	0.0516439	0.0518915	PEM	2008	120	0.24
1/4/2015	0052	0.0498649	0.0504757	PEM	2009	120	0.24

ตารางที่ ก.9 การเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ร้านปลาทองหมูกระทะ จังหวัดนครปฐม (ต่อ)

Date	Filter code	Pre-weight(g)	Post-weight(g)	Sampler	Flow rate (mL/min)	Duration (min)	V (m ³)
20/4/2015	0055	0.0492473	0.0494592	PEM	2005	120	0.24
22/4/2015	0058	0.0526438	0.0529040	PEM	1986	120	0.24





ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก
จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก

1. การคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละออง

สำหรับความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่จะแสดงการคำนวณให้ดูนี้ ขอแสดงการคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) โดยนำข้อมูลการเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ครั้งที่ 1 บริเวณห้องเครื่องซัง ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม ซึ่งมีรายละเอียดข้อมูลดังนี้

1. อัตราการไหลของอากาศ

- อัตราการไหลของอากาศของชุดเก็บตัวอย่าง PM₁₀

อัตราการไหลของชุดเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ชุดที่ 1 (CC3) เท่ากับ 1.700 ลิตร/นาที

อัตราการไหลของชุดเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ชุดที่ 2 (CC4) เท่ากับ 1.706 ลิตร/นาที

2. น้ำหนักกระดาษกรอง

Sampler	Pre-weight(g)	Post-weight(g)
CC3	0.0497066	0.0498223
CC4	0.0509607	0.0510625

3. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง

ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง PM₁₀ บริเวณห้องเครื่องซัง เท่ากับ 1,440 นาที

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (V)

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

โดยที่ V – ปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง, ลูกบาศก์เมตร

F – อัตราการไหลของอากาศขณะเก็บตัวอย่าง, ลิตร/นาที

D – ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง, นาที

1000 – ค่าคงที่ในการเปลี่ยนหน่วยจากลิตรเป็นลูกบาศก์เมตร

$$\begin{aligned} V \text{ ของ } CC_3 &= (1.700 \text{ ลิตร/นาที} \times 1,440 \text{ นาที}) / 1,000 \\ &= 2.45 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V \text{ ของ } CC_4 &= (1.706 \text{ ลิตร/นาที} \times 1,440 \text{ นาที}) / 1,000 \\ &= 2.46 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณความเข้มข้นของ PM₁₀

$$PM = \frac{W_{Post} - W_{Pre}}{V}$$

โดยที่ PM – ความเข้มข้นของฝุ่น, มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร
 W_{Post} – น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง, มิลลิกรัม
 W_{Pre} – น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง, มิลลิกรัม
 V – ปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง, ลูกบาศก์เมตร

$$PM_{10} \text{ ของ } CC_3 = (49.8223 - 49.7066) / 2.45 \\ = 0.05 \text{ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร}$$

$$PM_{10} \text{ ของ } CC_4 = (51.0625 - 50.9607) / 2.46 \\ = 0.04 \text{ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร}$$

หาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM₁₀ แต่ละเครื่องมือ

$$\text{ค่าความเข้มข้นของ } PM_{10} \text{ เฉลี่ยจากชุดเก็บตัวอย่าง } PM_{10} \\ = (0.05 + 0.04) / 2 \\ = 0.05 \text{ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร}$$

สำหรับการคำนวณความเข้มข้นของ PM_{2.5} ในหน่วยน้ำหนักต่อปริมาตรอากาศ จะคำนวณความเข้มข้นเช่นเดียวกับ PM₁₀ และ PM₄ แต่แตกต่างกันตรงอัตราการไหลในการเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} ใช้อัตราการไหลเท่ากับ 2 L/min



ภาคผนวก ค

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น PM_{10} PM_4 และ $PM_{2.5}$
โดยเครื่องตรวจวัดอนุภาคแบบเรียลไทม์และวิธีวิเคราะห์เชิงน้ำหนัก

ตารางที่ ค.1 ระดับความเข้มข้นของ PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง บริเวณห้องเครื่องซัง ของภาควิชา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขต
พระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

วันเดือนปีที่ตรวจวัด	ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (มก./ลบ.ม.)	
	ไซโคลน	การอ่านค่าโดยตรง จากเครื่องดัสแทรีค
7 กรกฎาคม 2557	0.05	0.02
8 กรกฎาคม 2557	0.00	0.02
9 กรกฎาคม 2557	0.00	0.02
15 กรกฎาคม 2557	0.00	0.02
16 กรกฎาคม 2557	0.02	0.02
17 กรกฎาคม 2557	0.00	0.02
21 กรกฎาคม 2557	0.05	0.05
22 กรกฎาคม 2557	0.04	0.03
23 กรกฎาคม 2557	0.00	0.03
24 กรกฎาคม 2557	0.01	0.03
28 กรกฎาคม 2557	0.04	0.04
29 กรกฎาคม 2557	0.00	0.04
5 สิงหาคม 2557	0.01	0.02
16 กันยายน 2557	0.02	0.02
22 กันยายน 2557	0.02	0.04
24 กันยายน 2557	0.03	0.03
2 ตุลาคม 2557	0.00	0.05
7 ตุลาคม 2557	0.01	0.05
8 ตุลาคม 2557	0.01	0.02
9 ตุลาคม 2557	0.01	0.03
ค่าเฉลี่ย	0.02	0.03
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.04	0.03

ตารางที่ ค.2 ระดับความเข้มข้นของ PM₁₀ เฉลี่ย 8 ชั่วโมง บริเวณห้องวิจัยอากาศ ของภาควิชา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขต
พระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

วันเดือนปีที่ตรวจวัด	ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ย 8 ชั่วโมง (มก./ลบ.ม.)	
	ไซโคลน	การอ่านค่าโดยตรง จากเครื่องดัสแทรีค
11 กุมภาพันธ์ 2558	0.19	0.29
12 กุมภาพันธ์ 2558	0.18	0.18
13 กุมภาพันธ์ 2558	0.18	0.15
16 กุมภาพันธ์ 2558	0.19	0.09
19 กุมภาพันธ์ 2558	0.16	0.08
26 กุมภาพันธ์ 2558	0.19	0.05
27 กุมภาพันธ์ 2558	0.25	0.07
3 มีนาคม 2558	0.24	0.07
5 มีนาคม 2558	0.19	0.08
6 มีนาคม 2558	0.25	0.07
9 มีนาคม 2558	0.26	0.04
12 มีนาคม 2558	0.20	0.08
13 มีนาคม 2558	0.21	0.10
16 มีนาคม 2558	0.25	0.08
17 มีนาคม 2558	0.23	0.08
18 มีนาคม 2558	0.15	0.12
19 มีนาคม 2558	0.26	0.11
20 มีนาคม 2558	0.27	0.14
23 มีนาคม 2558	0.26	0.09
24 มีนาคม 2558	0.19	0.09
ค่าเฉลี่ย	0.21	0.10
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.04	0.04

ตารางที่ ค.3 ระดับความเข้มข้นของ PM₁₀ เฉลี่ย 2 ชั่วโมง บริเวณร้านปลาทองหมู่เกาะ จังหวัดนครปฐม

วันเดือนปีที่ตรวจวัด	ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ย 2 ชั่วโมง (มก./ลบ.ม.)	
	ไซโคลน	การอ่านค่าโดยตรง จากเครื่องดัสเทรีค
23 ธันวาคม 2557	1.50	0.32
24 ธันวาคม 2557	1.12	0.34
25 ธันวาคม 2557	2.01	0.31
26 ธันวาคม 2557	1.06	0.22
29 ธันวาคม 2557	2.09	0.16
7 มกราคม 2558	1.25	0.36
8 มกราคม 2558	1.36	0.13
13 มกราคม 2558	1.42	0.18
14 มกราคม 2558	1.75	0.27
15 มกราคม 2558	1.69	0.30
16 มกราคม 2558	1.13	0.25
17 มกราคม 2558	1.76	0.45
18 มกราคม 2558	1.53	0.35
19 มกราคม 2558	1.53	0.66
20 มกราคม 2558	1.05	0.68
21 มกราคม 2558	2.93	1.01
22 มกราคม 2558	1.02	0.44
23 มกราคม 2558	1.21	0.31
24 มกราคม 2558	1.22	0.80
25 มกราคม 2558	1.14	0.33
ค่าเฉลี่ย	1.49	0.39
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.47	0.23

ตารางที่ ค.4 ระดับความเข้มข้นของ PM₄ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง บริเวณห้องเครื่องซัง ของภาควิชา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขต
พระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

วันเดือนปีที่ตรวจวัด	ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (มก./ลบ.ม.)	
	ไซโคลน	การอ่านค่าโดยตรง จากเครื่องดัสเทรีค
3 ตุลาคม 2557	0.01	0.05
4 ตุลาคม 2557	0.02	0.06
5 ตุลาคม 2557	0.03	0.03
6 ตุลาคม 2557	0.01	0.03
10 ตุลาคม 2557	0.01	0.02
11 ตุลาคม 2557	0.01	0.02
13 ตุลาคม 2557	0.02	0.13
15 ตุลาคม 2557	0.03	0.19
16 ตุลาคม 2557	0.11	0.18
17 ตุลาคม 2557	0.02	0.10
20 ตุลาคม 2557	0.01	0.04
21 ตุลาคม 2557	0.00	0.05
22 ตุลาคม 2557	0.01	0.03
23 ตุลาคม 2557	0.00	0.03
26 ตุลาคม 2557	0.03	0.03
27 ตุลาคม 2557	0.01	0.05
29 ตุลาคม 2557	0.11	0.03
30 ตุลาคม 2557	0.01	0.07
31 ตุลาคม 2557	0.01	0.03
1 พฤศจิกายน 2557	0.01	0.03
ค่าเฉลี่ย	0.02	0.06
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.03	0.05

ตารางที่ ค.5 ระดับความเข้มข้นของ PM₄ เฉลี่ย 8 ชั่วโมง บริเวณห้องวิจัยอากาศ ของภาควิชา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขต
พระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

วันเดือนปีที่ตรวจวัด	ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนเฉลี่ย 8 ชั่วโมง (มก./ลบ.ม.)	
	ไซโคลน	การอ่านค่าโดยตรง จากเครื่องดัสเทรีค
5 กุมภาพันธ์ 2558	0.17	1.25
1 เมษายน 2558	0.17	0.07
2 เมษายน 2558	0.17	0.06
7 เมษายน 2558	0.15	0.04
8 เมษายน 2558	0.15	0.05
17 เมษายน 2558	0.17	0.09
20 เมษายน 2558	0.17	0.06
21 เมษายน 2558	0.15	0.06
22 เมษายน 2558	0.17	0.04
24 เมษายน 2558	0.17	0.06
25 เมษายน 2558	0.17	0.06
26 เมษายน 2558	0.15	0.07
27 เมษายน 2558	0.17	0.03
28 เมษายน 2558	0.19	0.07
29 เมษายน 2558	0.22	0.05
30 เมษายน 2558	0.25	0.03
1 พฤษภาคม 2558	0.20	0.02
2 พฤษภาคม 2558	0.23	0.03
3 พฤษภาคม 2558	0.25	0.03
4 พฤษภาคม 2558	0.23	0.03
ค่าเฉลี่ย	0.18	0.11
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.03	0.27

ตารางที่ ค.6 ระดับความเข้มข้นของ PM₄ เฉลี่ย 2 ชั่วโมง บริเวณร้านปลาทองหมู่เกาะ จังหวัดนครปฐม

วันเดือนปีที่ตรวจวัด	ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนเฉลี่ย 2 ชั่วโมง (มก./ลบ.ม.)	
	ไซโคลน	การอ่านค่าโดยตรง จากเครื่องดัสเทรีค
26 มกราคม 2558	1.46	0.43
28 มกราคม 2558	1.10	0.36
29 มกราคม 2558	1.15	0.29
30 มกราคม 2558	1.64	0.25
31 มกราคม 2558	1.49	0.22
4 กุมภาพันธ์ 2558	1.48	0.52
5 กุมภาพันธ์ 2558	1.46	1.25
7 กุมภาพันธ์ 2558	1.28	0.85
8 กุมภาพันธ์ 2558	1.58	0.41
11 กุมภาพันธ์ 2558	1.62	0.37
12 กุมภาพันธ์ 2558	1.50	0.21
13 กุมภาพันธ์ 2558	1.12	0.19
14 กุมภาพันธ์ 2558	1.52	0.11
15 กุมภาพันธ์ 2558	1.59	0.13
18 กุมภาพันธ์ 2558	1.56	0.14
22 กุมภาพันธ์ 2558	1.37	0.05
25 กุมภาพันธ์ 2558	1.58	0.12
26 กุมภาพันธ์ 2558	1.00	0.10
28 กุมภาพันธ์ 2558	1.17	0.09
1 มีนาคม 2558	1.26	0.08
ค่าเฉลี่ย	1.40	0.31
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.20	0.29

ตารางที่ ค.7 ระดับความเข้มข้นของ PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง บริเวณห้องเครื่องขัง ของภาควิชา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขต
พระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

วันเดือนปีที่ตรวจวัด	ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (มก./ลบ.ม.)	
	เครื่อง PEM	การอ่านค่าโดยตรง จากเครื่องดัสเทรีค
7 มิถุนายน 2558	0.00	0.02
8 มิถุนายน 2558	0.00	0.02
9 มิถุนายน 2558	0.00	0.02
10 มิถุนายน 2558	0.00	0.02
11 มิถุนายน 2558	0.00	0.01
12 มิถุนายน 2558	0.00	0.02
13 มิถุนายน 2558	0.00	0.02
14 มิถุนายน 2558	0.00	0.02
15 มิถุนายน 2558	0.00	0.02
16 มิถุนายน 2558	0.00	0.01
17 มิถุนายน 2558	0.00	0.01
18 มิถุนายน 2558	0.00	0.01
19 มิถุนายน 2558	0.00	0.01
20 มิถุนายน 2558	0.00	0.09
21 มิถุนายน 2558	0.00	0.02
22 มิถุนายน 2558	0.00	0.02
23 มิถุนายน 2558	0.00	0.04
24 มิถุนายน 2558	0.00	0.04
25 มิถุนายน 2558	0.00	0.02
26 มิถุนายน 2558	0.00	0.02
ค่าเฉลี่ย	0.00	0.02
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.00	0.02

ตารางที่ ค.8 ระดับความเข้มข้นของ PM_{2.5} เฉลี่ย 8 ชั่วโมง บริเวณห้องวิจัยอากาศ ของภาควิชา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขต
พระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

วันเดือนปีที่ตรวจวัด	ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (มก./ลบ.ม.)	
	เครื่อง PEM	การอ่านค่าโดยตรง จากเครื่องดัสแทรีค
5 พฤษภาคม 2558	0.06	0.03
6 พฤษภาคม 2558	0.04	0.03
7 พฤษภาคม 2558	0.02	0.03
8 พฤษภาคม 2558	0.02	0.03
9 พฤษภาคม 2558	0.02	0.02
10 พฤษภาคม 2558	0.02	0.03
11 พฤษภาคม 2558	0.02	0.03
12 พฤษภาคม 2558	0.04	0.03
13 พฤษภาคม 2558	0.06	0.03
14 พฤษภาคม 2558	0.02	0.03
15 พฤษภาคม 2558	0.02	0.02
16 พฤษภาคม 2558	0.04	0.03
17 พฤษภาคม 2558	0.02	0.01
23 พฤษภาคม 2558	0.04	0.02
24 พฤษภาคม 2558	0.06	0.02
25 พฤษภาคม 2558	0.02	0.03
26 พฤษภาคม 2558	0.02	0.03
4 มิถุนายน 2558	0.02	0.02
5 มิถุนายน 2558	0.02	0.02
6 มิถุนายน 2558	0.02	0.01
ค่าเฉลี่ย	0.03	0.02
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.02	0.01

ตารางที่ ค.9 ระดับความเข้มข้นของ PM_{2.5} เฉลี่ย 2 ชั่วโมง บริเวณร้านปลาทองหมู่เกาะ จังหวัดนครปฐม

วันเดือนปีที่ตรวจวัด	ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (มก./ลบ.ม.)	
	เครื่อง PEM	การอ่านค่าโดยตรง จากเครื่องดัสแทรีค
2 มีนาคม 2558	1.05	0.11
3 มีนาคม 2558	0.85	0.09
4 มีนาคม 2558	1.11	0.12
5 มีนาคม 2558	0.86	0.10
6 มีนาคม 2558	0.89	0.09
8 มีนาคม 2558	0.97	0.06
11 มีนาคม 2558	1.08	0.07
13 มีนาคม 2558	0.94	0.13
14 มีนาคม 2558	1.11	0.12
15 มีนาคม 2558	0.88	0.10
16 มีนาคม 2558	1.10	0.10
18 มีนาคม 2558	1.01	0.11
20 มีนาคม 2558	1.08	0.13
23 มีนาคม 2558	1.01	0.12
25 มีนาคม 2558	1.00	0.24
29 มีนาคม 2558	0.87	0.15
30 มีนาคม 2558	1.03	0.08
1 เมษายน 2558	1.02	0.12
20 เมษายน 2558	0.88	0.08
22 เมษายน 2558	1.09	0.13
ค่าเฉลี่ย	0.99	0.11
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.09	0.04



1. การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูล

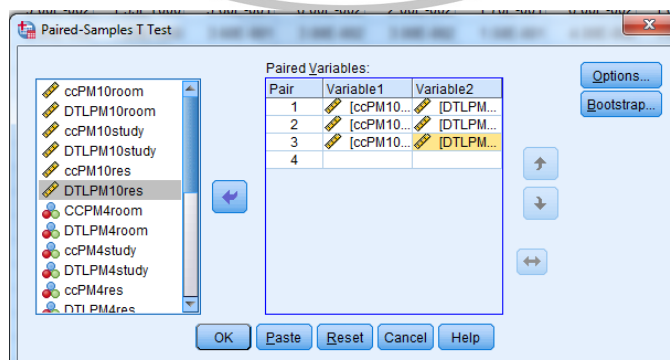
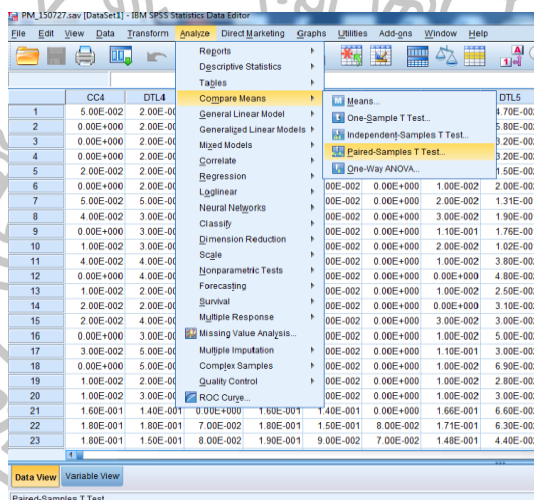
สำหรับการศึกษาในครั้งนี้เราจะทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM_{10} , PM_4 และ $PM_{2.5}$ จากการเก็บตัวอย่างโดยเครื่องตรวจวัดอนุภาคแบบเรียลไทม์และการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงน้ำหนัก โดยสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ Paired – Samples T Test เนื่องจากการเก็บตัวอย่างข้อมูลทำการศึกษาในสถานที่เดียวกันและทำการเก็บตัวอย่างพร้อมกัน ซึ่งในการทดสอบจะใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 20 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ตั้งสมมติฐาน กำหนด

H_0 = ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองที่ได้จากการตรวจวัดทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกัน ($\mu_d = 0$)

H_1 = ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองที่ได้จากการตรวจวัดทั้งสองวิธีแตกต่างกัน ($\mu_d \neq 0$)

2. เข้าโปรแกรม SPSS เลือกคำสั่ง Analyze > compare Means > Paired-Samples T Test > ใส่ตัวแปร (โดยใส่ตัวแปรเป็นคู่ๆ ตามที่เราต้องการทดสอบเช่น ค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยไซโคลน(CC) และค่าที่ได้จากการอ่านค่าโดยตรงจากเครื่องดัสแทร์ค (DTL) > OK



3. เมื่อโปรแกรมดำเนินการเสร็จ จะแสดงผลลัพธ์ในหน้าจอ Out put ดังนี้

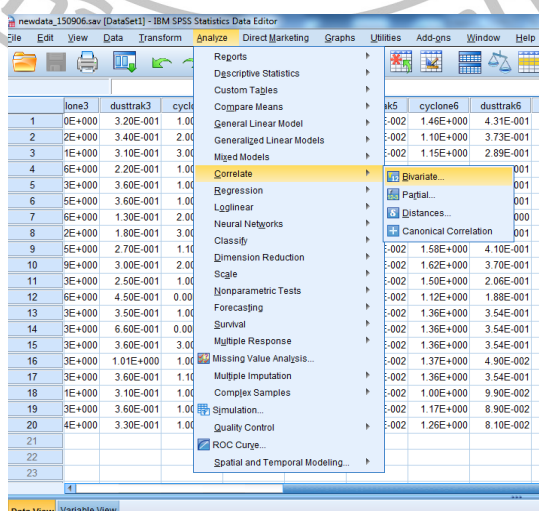
Paired Samples Test

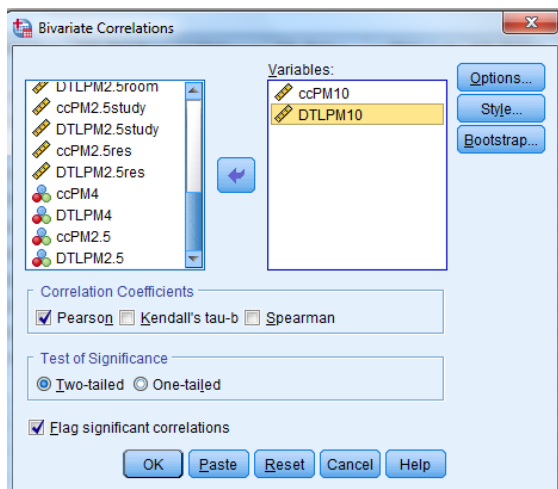
		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	ccPM10room - DTLPM10room	5.55556E-003	1.01379E-002	3.37931E-003	-2.23715E-003	1.33483E-002	1.644	8	.139
Pair 2	ccPM10study - DTLPM10study	1.36875E-001	3.17739E-002	7.94349E-003	1.19944E-001	1.53806E-001	17.231	15	.000
Pair 3	ccPM10res - DTLPM10res	1.03909E+000	1.86626E-001	5.62697E-002	9.13714E-001	1.16447E+000	18.466	10	.000

4. สรุปผล ให้ดูจากตาราง Paired samples Test โดยดูจาก sig ถ้ามีค่าน้อยกว่า ค่า α ซึ่งในการศึกษากำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.05 ปฏิเสธ H_0 แสดงว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองที่ได้จากการตรวจวัดทั้งสองวิธีแตกต่างกัน แต่ถ้า sig มีค่ามากกว่าค่า α แสดงว่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกัน

2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล

การวิเคราะห์สัมพันธ์ของข้อมูลจากการเก็บ PM_{10} , PM_4 และ $PM_{2.5}$ เครื่องตรวจวัดอนุภาคแบบเรียลไทม์และการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก สามารถอธิบายได้ด้วยค่า R^2 ซึ่งได้จากการการหาสมการ OLS และการทดสอบ Pearson correlation โดยเลือกคำสั่ง Analyze > correlate > Bivariate > ใส่ตัวแปร (โดยใส่ตัวแปรเป็นคู่ๆ ตามที่เราต้องการทดสอบเช่น ค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยไซโคลน(CC) และค่าที่ได้จากการอ่านค่าโดยตรงจากเครื่องดัสแทร์ค (DTL) > OK





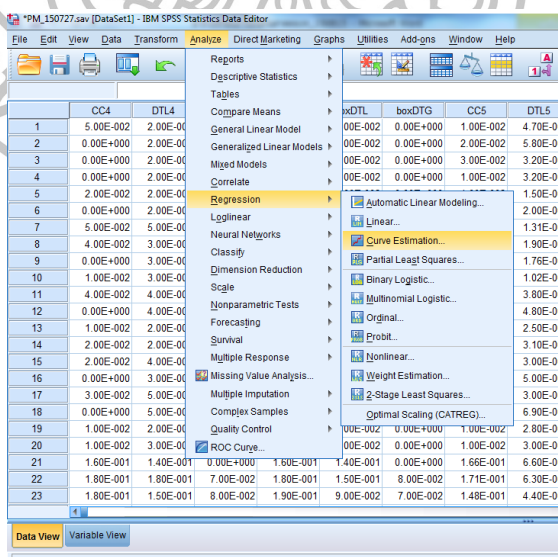
3. สมการถดถอยเส้นตรงแบบ OLS

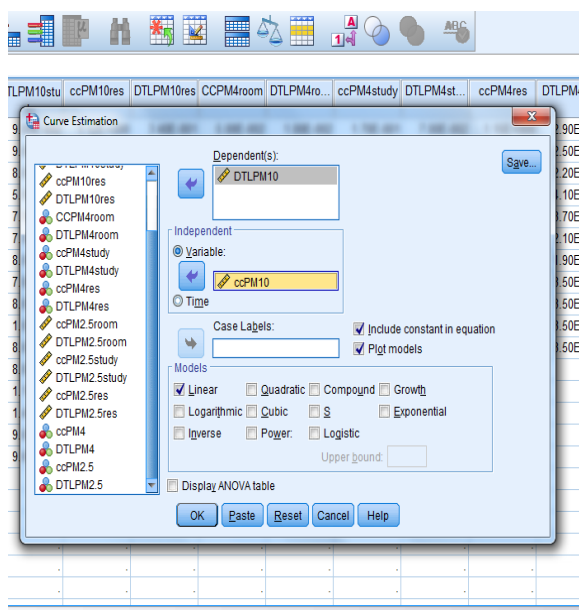
ในการหาสมการถดถอยเส้นตรงแบบ OLS เพื่อใช้เป็นสมการสำหรับปรับแก้ค่าระหว่างข้อมูล ความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจวัดอนุภาคแบบเรียลไทม์และข้อมูลความเข้มข้นซึ่ง ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก โดยจะใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 20 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

3.1 analysis > Regression > Curve estimation > Dependent = DTL

Independent = CC or PEM

Linear > display ANOVA table > OK





3.2 ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในหน้าจอ out put ซึ่งประกอบไปด้วย

ตาราง model summary บอกค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ซึ่งจะใช้บอกว่า สมการนี้สามารถอธิบายการกระจายของค่าความเข้มข้น PM_{10} ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างโดยการอ่านค่าโดยตรงจากเครื่องตรวจวัดแบบเรียลไทม์ (DTL) ได้กี่เปอร์เซ็นต์หรือ ค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก (CC) มีอิทธิพลต่อ ค่าความเข้มข้น PM_{10} ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างโดยการอ่านค่าโดยตรงจากเครื่องตรวจวัดแบบเรียลไทม์ (DTL) กี่เปอร์เซ็นต์และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสมการถดถอย (std. Error of the Estimate) มีค่าเท่ากับเท่าไร หากค่าที่ได้นี้มีค่าไม่มาก แสดงว่าสมการมีความน่าเชื่อถือสูง

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.986	.972	.972	.023

The independent variable is cc PM10.

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	.647	1	.647	1194.840	.000
Residual	.018	34	.001		
Total	.665	35			

The independent variable is ccPM10.

ตาราง Coefficients

- บอกค่าที่ใช้เขียนสมการ $y = \beta_1 x + \beta_0$

$$y = 0.229 x + 0.030$$

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
ccPM10	.229	.007	.986	34.566	.000
(Constant)	.030	.005		5.642	.000

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายณัฐพล วริกูล
 ที่อยู่ 190/4 ซ.6 ต.ดอนคลัง อ.ดำเนินสะดวก จ.ราชบุรี 70130
 โทรศัพท์ 085-181-4864
 E-mail address : warigool@gmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา
 วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร
 พ.ศ.2556 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์
 สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติการฝึกงานและอบรม

พ.ศ.2554 ผ่านการฝึกงาน แผนกระบบบำบัดน้ำ ฝ่ายดูแลระบบ
 บำบัดน้ำเสีย ภายในบริษัทผลิตไฟฟ้า จำกัด จังหวัดราชบุรี

พ.ศ.2555 ผ่านการอบรม ISO 14000 จากบริษัท Moody International

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์และเผยแพร่ การประชุมวิชาการระดับชาติ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ครั้งที่ 3 2558.
 มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. 1005.

