การสอบเทียบผลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ จากเครื่องตรวจวัดแบบเรียลไทม์และวิธีวิเคราะห์เชิงน้ำหนัก

Calibration of $PM_{2.5}$ Monitoring Results between Real - Time and Gravimetric Method

อังก์ศิริ ทิพยารมณ์ (Aungsiri Tipayarom)*
ณัฐพล วริกูล (Nadtapon Varigool)**

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เปรียบเทียบผลการตรวจวัดฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร ($PM_{2.5}$) ภายในอาคาร โดยใช้เครื่องดัสแทร็ค 8530 ซึ่งเป็นเครื่องมือตรวจวัดอนุภาคแบบเรียลไทม์ ส่วนการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีเชิงน้ำหนักซึ่งเป็นวิธีอ้างอิง ใช้หัวคัดขนาดคือเครื่อง Personal Environment Monitor (PEM) ในการเก็บตัวอย่างตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด ในสถานที่เดียวกัน โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 60 ครั้ง ในช่วงเดือนกรกฎาคม – มีนาคม 2558 จากนั้นนำความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากทั้งสองวิธีไปวิเคราะห์หาสมการถดถอยแบบเส้นตรง ผลการทดสอบการกระจายของข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือทั้งสองชนิดพบว่ามีการกระจายแบบปกติ โดยความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากเครื่องดัสแทร็ค 8530 มีค่าอยู่ในช่วง 0.01 – 0.24 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (โดยมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.05 และ 0.04 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ) ส่วนค่าที่ได้จากเครื่อง PEM มีค่าอยู่ในช่วง 0.00 – 0.54 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.27 และ 0.42 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ) ผลการศึกษาพบว่า ระดับของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากเครื่องดัสแทร็ค 8530 มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากเครื่อง PEM อย่างไรก็ตามข้อมูลทั้งสองชุดมีความสัมพันธ์กัน (R^2 = 0.940) และสมการถดถอยแบบเส้นตรงที่ได้มีความน่าเชื่อถือสูง (ความผิดพลาดมาตรฐาน = 0.011) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า ความถูกต้องของผลการตรวจวัดด้วยเครื่องดัสแทร็ค 8530 สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นด้วยสมการถดถอยแบบเส้นตรง

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อีเมล: aungsiri@gmail.com (Assistant Professor Dr., Depart of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University)

** นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย อีเมล: warigool@gmail.com (Student of Master of Science, Depart of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University)

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
ISSN 2408 - 1248

Abstract

In this study indoor $PM_{2.5}$ collected using real-time particle monitor, DustTrak 8530 and Personal Environmental Monitor (Reference gravimetric method) using Personal Environment Monitor (PEM) were compared. Two types of samplers were colocated and operated for 60 sampling periods during January-March 2015. $PM_{2.5}$ concentrations acquired from two methods were statistically analyzed using linear regression. Average $PM_{2.5}$ concentrations collected using DustTrak 8530 and Personal Environment Monitor were normally distributed. Average $PM_{2.5}$ concentrations obtained from DustTrak 8530 ranged from 0.01 to 0.24 mg•m^{-3} (with mean and standard deviation of 0.05 and 0.04 mg•m^{-3}, respectively). Average concentrations of $PM_{2.5}$ concentration obtained from Personal Environment Monitor were found beween 0.00 to 0.54 mg•m^{-3} with mean and standard deviation of 0.27 and 0.42 mg•m^{-3}, respectively. The results showd that $PM_{2.5}$ levels obtained from DustTrak 8530 were lower than those collected from Personal Environmental Monitor. However, average $PM_{2.5}$ levels of both data set showed good correlation (R^2 = 0.940) and the linear regression revealed substantial reliability (S.E. = 0.011). Therefore, it could be concluded that the accuracy of DustTrak 8530 measurement can be improved by linear regression equation.

บทนำ

ฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) มีขนาดเล็กมาก จึงสามารถแขวนลอยอยู่ในในอากาศได้นานเป็นปี และเมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์จะเข้าสู่ปอดและถุงลมปอดได้ จึงก่อเกิดผลกระทบต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ หากได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ ในปริมาณน้อยจะเพิ่มโอกาสในการเกิดโรคระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคหืดหอบ (Asthma) โรคหลอดลมอักเสบ แต่หากได้รับสัมผัสในปริมาณมากต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน จะเกิดอาการเจ็บปวดขณะหายใจ และนำไปสู่การเสียชีวิตก่อนวัยอันควร (วนิดา, 2551; US EPA, 2011) ในอดีตการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศจะใช้วิธีเชิงน้ำหนัก (Gravimetric method) ซึ่งเป็นวิธีอ้างอิงขององค์กรต่างๆ ทางด้านสิ่งแวดล้อม และสุขภาพอนามัย เช่น องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US EPA) คณะกรรมการบริหารงานความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยการประกอบอาชีพ (Occupational Safety and Health Administration - OSHA) ของสหรัฐอเมริกา เป็นต้น วิธีอ้างอิงทำได้โดยการดูดอากาศผ่านกระดาษกรอง และนำน้ำหนักของฝุ่นละอองที่อยู่บนกระดาษกรองหารด้วยปริมาตรอากาศที่ผ่านกระดาษกรอง จะได้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองในหน่วยน้ำหนักฝุ่นต่อปริมาตรอากาศ การเก็บและวิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิงจะต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์หลายอย่าง และเป็นวิธีที่ใช้เวลานาน เนื่องจากต้องควบคุมสภาวะการชั่งน้ำหนักกระดาษกรองก่อนและหลังให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด จึงไม่สะดวกต่อการตรวจวัดที่ต้องการความรวดเร็ว ใน ปัจจุบันบริษัทต่างๆ มีการผลิตเครื่องตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศแบบเรียลไทม์มากมายหลายแบบ ซึ่งใช้หลักการในการตรวจวัดที่แตกต่างกันไป แต่สิ่งที่เหมือนกันคือไม่ต้องมีการชั่ง

น้ำหนัก ให้ผลการตรวจวัดรวดเร็ว และสามารถถ่ายโอนข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์ได้ เครื่องมือชนิดนี้จึงเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน แต่สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือความถูกต้องของผลการตรวจวัด การศึกษานี้จึงได้มีแนวคิดในการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ด้วยเครื่องมือตรวจวัดแบบเรียลไทม์เทียบกับวิธีอ้างอิง เพื่อให้ได้สมการสำหรับปรับแก้ผลการตรวจวัดให้ถูกต้องตามความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งยังไม่มีผู้ศึกษาทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศ

วัตถุประสงค์

เพื่อหาสมการถดถอยสำหรับปรับแก้ผลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ด้วยเครื่องดัสแทร็ค 8530

วิธีการศึกษา

1) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษานี้ใช้เครื่องมือตรวจวัดแบบเรียลไทม์คือเครื่องดัสแทร็ค 8530 ของบริษัททีเอสไอ ติดตั้งคู่กับชุดเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ เชิงน้ำหนัก เพื่อประเมินความสอดคล้องระหว่างผลการตรวจวัดจากเครื่องมือทั้งสองประเภท โดยบริษัทผู้ผลิตได้ออกแบบให้เครื่องดัสแทร็ค 8530 ทำงานที่อัตราการไหลของอากาศ 3 ลิตรต่อนาที โดยใช้หลักการกระเจิงแสง (Light scattering) เป็นหลักการในการตรวจวัด ภายในเครื่องจะมีแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ทำหน้าที่เป็นส่วนยิงแสงให้กระทบกับอนุภาคขนาดต่างๆ ที่เข้าสู่ภายในเครื่อง และมีส่วนตรวจวัดความเข้มแสงที่กระเจิงเป็นมุมน้อยๆ โดยแสงที่กระเจิงจากอนุภาคที่มีขนาดต่างกันจะมีมุมที่แตกต่างกันออกไป ทำให้สามารถตรวจวัดฝุ่นขนาดต่างๆ ได้ ชุดเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ ด้วยวิธีอ้างอิงประกอบด้วยปั๊มดูดอากาศแบบพกพายี่ห้อ Gilian รุ่น GilAir5 โดยปรับเทียบอัตราการไหลเท่ากับ 2.0 ลิตรต่อนาที อุปกรณ์คัดขนาดใช้เครื่อง Personal Environmental Monitor (PEM) รุ่น 200 ซึ่งผลิตโดยบริษัท MSP และใช้กระดาษกรองชนิดใยแก้วเป็นตัวกลางในการเก็บฝุ่น เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 และเครื่อง PEM แสดงดังรูปที่ 1(ก) และ 1(ข) ตามลำดับ

(ก) เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 (ข) ชุดเก็บตัวอย่างด้วยวิธีอ้างอิง

รูปที่ 1 เครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
ISSN 2408 - 1248

วิธีการทดลอง

1) การเก็บตัวอย่างและการควบคุมคุณภาพ

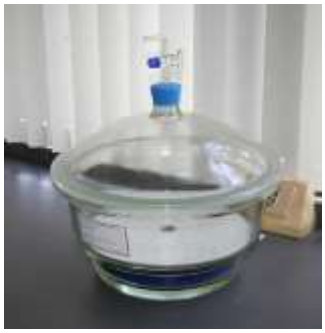
การเก็บตัวอย่างใน 3 สถานที่ ได้แก่ ห้องเครื่องชั่ง ห้องวิจัยอากาศ และร้านปิ้งย่าง เป็นระยะเวลาทั้งหมดที่ละ 20 วัน โดยมีระยะเวลาเก็บตัวอย่างแตกต่างกันดังนี้ ห้องเครื่องชั่ง (คาดว่ามีความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ต่ำ) เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนห้องวิจัยอากาศ (คาดว่าจะมีความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ สูงกว่า) เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 น. จนถึงเวลา 16.00 น. และที่ร้านอาหารประเภทปิ้งย่าง (คาดว่ามีความเข้มข้นสูงสุด) เก็บตัวอย่าง 2 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 18.00 น. จนถึงเวลา 20.00 น. เพื่อป้องกันการอุดตันของกระดาษกรอง

สถานที่เก็บตัวอย่างที่เป็นห้องเครื่องชั่งและห้องวิจัยอากาศ ตั้งอยู่ที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม และร้านอาหารประเภทปิ้งย่างบุฟเฟ่ต์ตั้งอยู่ในจังหวัดนครปฐม

เครื่องเก็บตัวอย่างทั้งสองประเภทจะปรับเทียบอัตราการไหลก่อนและหลังเก็บตัวอย่างทุกครั้ง และในการเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บ 2 ซ้ำ (ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดเดียวกัน 2 เครื่อง และเก็บตัวอย่างพร้อมกัน) เพื่อความถูกต้องของผลการศึกษา

2) การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

การศึกษานี้ใช้กระดาษกรองชนิดใยแก้ว (Glass fiber filter) ยี่ห้อ ADVANTEC รุ่น GC-50 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร ขนาดรูกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมครอน ปรับสภาพกระดาษกรองทั้งก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง โดยนำเข้าโถดูดความชื้นเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ซึ่งภายในโถจะบรรจุเม็ดซิลิก้าเจลไว้บริเวณด้านล่าง เมื่อครบตามระยะเวลาข้างต้นนำกระดาษกรองมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งระดับไมโครกรัม (Microbalance) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น XP2U (รูปที่ 2) ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ชั่งน้ำหนัก 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยน้ำหนักแต่ละครั้งต้องแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนักกระดาษกรอง (น้ำหนักกระดาษกรองเฉลี่ยเท่ากับ 0.0521 มิลลิกรัม) และบรรจุกระดาษกรองลงในเครื่อง PEM โดยไขน็อตทั้งสองข้างของเครื่องออก และคีบกระดาษกรองวางลงบนแผ่นตะแกรงสแตนเลส วางส่วนพยุงและวงแหวนอิมแพคเตอร์ที่หยดน้ำมันแล้วลงบนกระดาษกรองพร้อมวางหัวคัดขนาดให้ลงล็อคและขันน็อตให้แน่นพอประมาณ เมื่อบรรจุกระดาษกรองลงเครื่องแล้วนำเครื่อง PEM ต่อกับปั๊มดูดอากาศ โดยให้ทางเข้าอากาศ (Inlet) ของเครื่องมือมีความสูงจากพื้น 1.5 เมตร สภาพโดยรอบไม่มีสิ่งกีดขวางทางเดินของอากาศ หลังเก็บตัวอย่างนำกระดาษกรองเข้าตู้ดูดความชื้นเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นชั่งกระดาษกรอง 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเช่นเดียวกับการชั่งกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 2 โถดูดความชื้น

การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 ทำได้โดยดูดอากาศด้วยปั๊มดูดอากาศที่ติดตั้งอยู่ภายในเครื่อง ตั้งเครื่องให้เก็บเก็บตัวอย่างเฉลี่ยทุก 5 นาที หลังเก็บตัวอย่างถ่ายข้อมูลที่ได้จากเครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 ลงคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณต่อไป

การศึกษานี้วิเคราะห์ $PM_{2.5}$ ด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและวิธีอัตโนมัติ เพื่อนำผลที่ได้ไปหาสมการถดถอยแบบเส้นตรงสำหรับปรับแก้ผลการตรวจวัดด้วยวิธีอัตโนมัติให้ใกล้เคียงกับวิธีอ้างอิงมากที่สุด

3) การคำนวณ

ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในตัวอย่างอากาศ ที่ได้จากวิธีอ้างอิงเชิงน้ำหนัก หาได้โดยนำน้ำหนักฝุ่นบนกระดาษกรองหารด้วยปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง ดังสมการ

$$\text{ความเข้มข้นของ } PM_{2.5} = \frac{\text{น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง}}{\text{ปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง}}$$

โดยที่ ความเข้มข้นของกระดาษกรองแสดงในหน่วย ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร น้ำหนักกระดาษกรองก่อนและหลังเก็บตัวอย่างในหน่วย ไมโครกรัม และปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่างในหน่วยลูกบาศก์เมตร

4) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้สถิติ Paired T-test ในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$เฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง PEM และจากเครื่องดัสแทร็ค ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นอกจากนี้ นำข้อมูลทั้งสองชุดไปหากราฟการกระจายข้อมูล (Scatter plot) เพื่อให้ได้สมการถดถอยเส้นตรงแบบ OLS (Ordinary least squares regression)ถ้าจุดตัดแกน y ยิ่งห่างจากศูนย์มากเท่าใดจะบอกถึงความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ (Systematic bias) ระหว่างค่าที่ได้จากเครื่องมือทั้งสองมากเท่านั้น (พิมพ์เพ็ญ และนวภัทรา, 2558) ซึ่งความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบเกิดจากการอ่านค่าซ้ำของเครื่องมือ ซึ่งก่อเกิดความคลาดเคลื่อนโดยไม่ทราบสาเหตุ โดยความคลาดเคลื่อนจะมีขนาดเท่าเดิมตลอดการตรวจวัด ส่วนค่าความชันของเส้นกราฟที่ต่างจาก 1 มากเท่าใด จะบอกถึงความคลาดเคลื่อนแบบเป็นสัดส่วน (Proportional bias) ระหว่างข้อมูลทั้งสองชุดมากเท่านั้น สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination; R^2) จะใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
ISSN 2408 - 1248

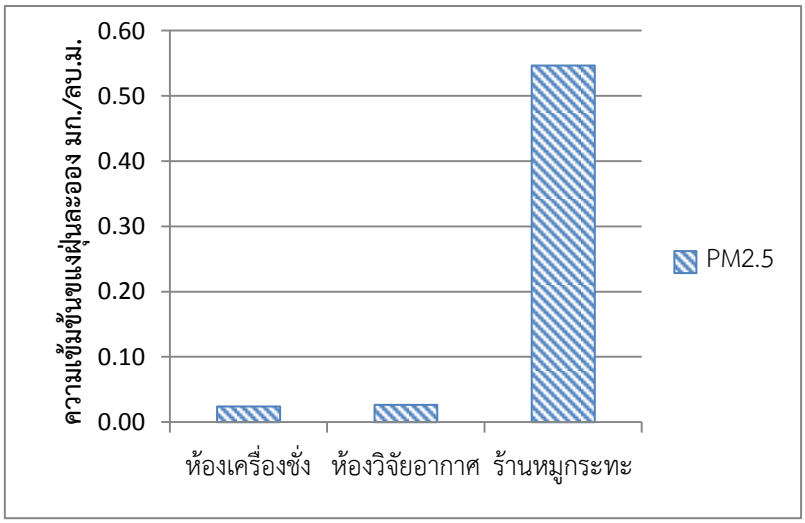
สองชุด ค่าความผิดพลาดของรากกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error; RMSE) เป็นค่าที่บอกถึงความแม่นยำของวิธีการเก็บตัวอย่าง ซึ่งหากมีค่าใกล้ศูนย์แสดงว่า วิธีเก็บตัวอย่างมีความแม่นยำสูง (Yanosky et al., 2002) และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสมการถดถอย (Standard Error) เป็นค่าที่แสดงถึงความน่าเชื่อถือของสมการ ซึ่งถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีค่าต่ำเข้าใกล้ศูนย์แสดงว่าสมการที่ได้จะมีความน่าเชื่อถือสูง (ประกายรัตน์, 2548)

ซึ่งสำหรับการศึกษาครั้งนี้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 20

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

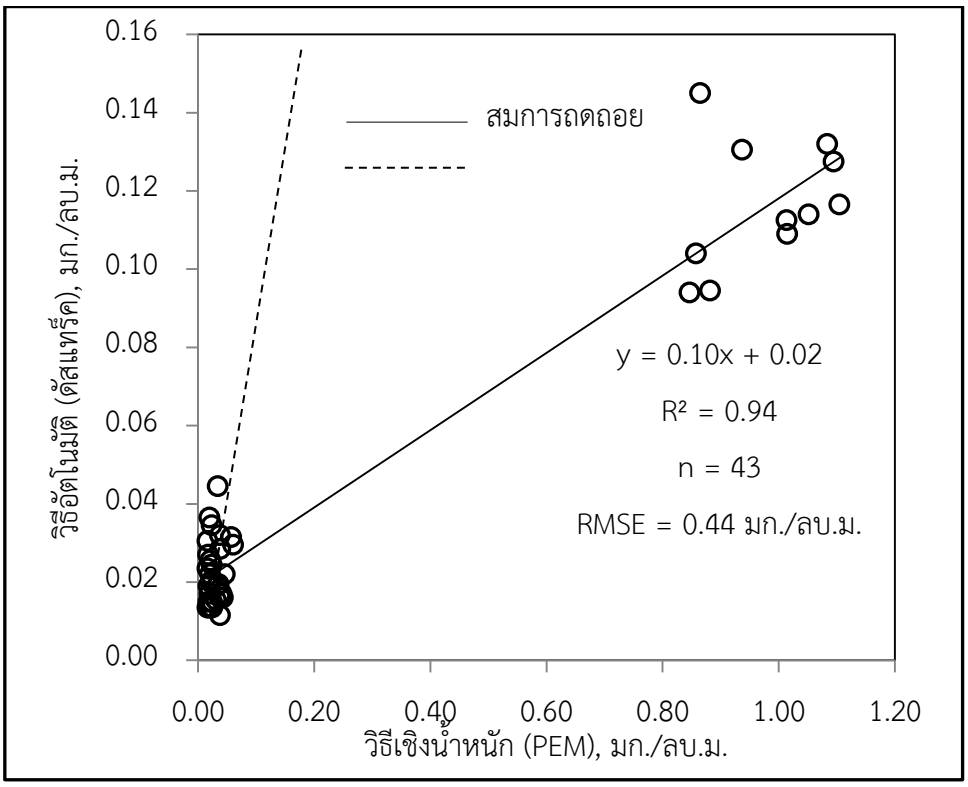
ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เฉลี่ยที่ได้จากเครื่อง PEM ที่ห้องเครื่องชั่ง ห้องวิจัยอากาศ และร้านปิ้งย่าง มีค่าเท่ากับ 0.029±0.009 0.029±0.014 และ 0.977±0.102 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นที่ได้จากเครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 ในสถานที่เดียวกันมีค่าเท่ากับ 0.019±0.008 0.024±0.008 และ 0.116±0.016 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นที่พบในสถานที่ทั้ง 3 พบความเข้มข้นต่ำสุดที่ห้องเครื่องชั่ง ตามด้วยห้องวิจัยอากาศ ซึ่งค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีค่าใกล้เคียงกับห้องเครื่องชั่ง เนื่องด้วยห้องวิจัยอากาศมีรูปแบบการใช้งานและการประกอบกิจกรรมการเรียนการสอนที่ไม่ก่อให้เกิดฝุ่นขนาดดังกล่าว และลักษณะงานส่วนใหญ่มีความใกล้เคียงกันกับห้องเครื่องชั่ง ดังนั้นผลจากการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งอาจไม่เป็นไปตามที่คาดไว้ แต่บริเวณร้านปิ้งย่างพบความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐาน ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของกิจกรรมที่ก่อให้เกิดฝุ่นในแต่ละสถานที่ ข้อมูลความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ จากการนำผลการตรวจวัดทั้ง 2 วิธีมาเฉลี่ยแสดงดังรูปที่ 3

เมื่อนำผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักและเครื่องตรวจวัด $PM_{2.5}$ แบบเรียลไทม์มาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วย Paired T-test ผลการวิเคราะห์ข้อมูล แสดงให้ทราบว่าค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งสองชุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยผลการตรวจวัดด้วยเครื่องดัสแทร็คมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนัก



รูปที่ 3 ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ภายในอาคารจากการตรวจวัด

เมื่อนำมาผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ทั้ง 2 วิธีมาเขียนกราฟการกระจายข้อมูลจะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์และได้สมการถดถอยเส้นตรงแบบ OLS แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากเครื่อง PEM และเครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530

เมื่อพิจารณาค่า RMSE จากรูปที่ 4 จะมีค่าเท่ากับ 0.44 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์แสดงว่าการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ด้วยเครื่อง PEM และเครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 มีความแม่นยำสูง นอกจากนี้ความชันจากกราฟมีค่าเท่ากับ 0.10 ซึ่งต่างจาก 1 มากแสดงว่าผลการตรวจวัดทั้ง 2 วิธีมีความคลาดเคลื่อนแบบเป็นสัดส่วน (Proportional bias) คือ เมื่อค่าที่ได้จากวิธีเชิงน้ำหนักเพิ่มขึ้น 1 หน่วย ค่าที่อ่านได้จากวิธีอัตโนมัติจะมีค่าเท่ากับ 0.10 แต่เมื่อพิจารณาจุดตัดแกน y มีค่าเท่ากับ +0.02 ซึ่งมีค่าต่างจากศูนย์น้อยมาก จึงสามารถสรุปได้ว่า ผลการศึกษาไม่มีความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ (No systeamatic bias) และจากการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) พบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากเครื่องดัสแทร็คมีความสัมพันธ์กันกับความเข้มข้นที่ได้จากเครื่อง PEM (R^2 = 0.94) หมายความว่าสมการถดถอยที่ได้สามารถอธิบายการกระจายของผลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ ที่ได้จากเครื่องดัสแทร็คได้ร้อยละ 94 และสมการถดถอยที่ได้จากข้อมูลทั้งสองชุดคือ

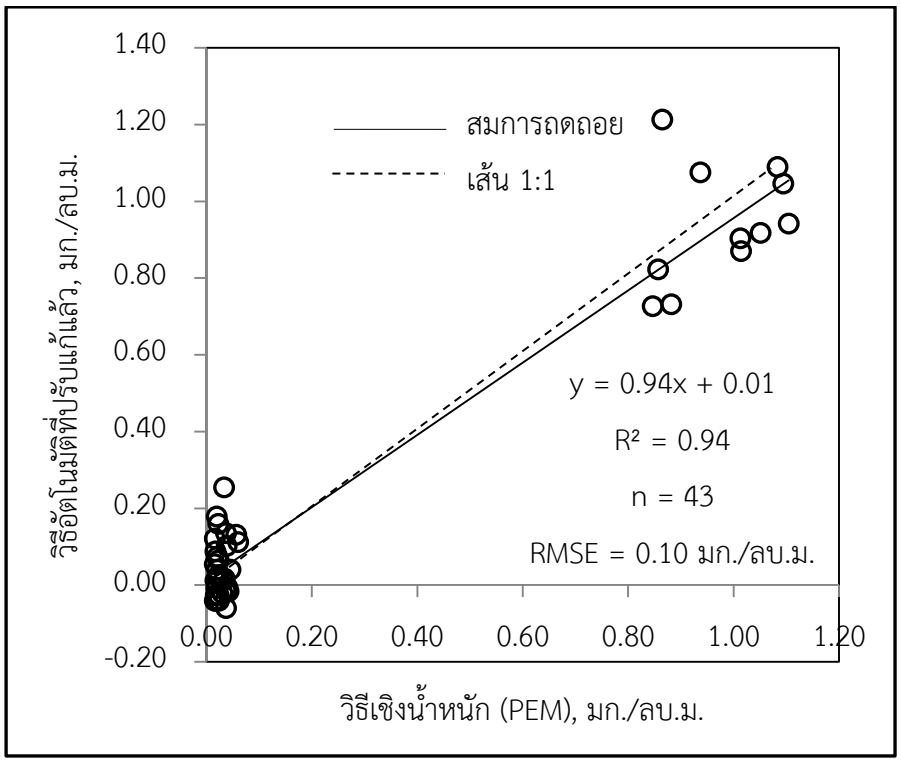
Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
ISSN 2408 - 1248

$$y = 9.54x - 0.17 \quad (1)$$

เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากเครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 ที่ได้รับการปรับแก้ให้ถูกต้องแล้ว และ x คือ ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากการอ่านค่าโดยตรงจากเครื่องดัสแทร็ค

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS แสดงให้ทราบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson correlation) ของข้อมูลทั้งสองชุดมีค่าเท่ากับ 0.94 ซึ่งหมายถึงตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันสูงและมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสมการถดถอยมีค่าเท่ากับ 0.011 ซึ่งมีค่าไม่มากแสดงว่าสมการถดถอยนั้นมีความน่าเชื่อถือสูง (ประกายรัตน์, 2548) นอกจากนี้ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่า ผลการตรวจวัดด้วยเครื่องดัสแทร็ค 8530 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับผลการตรวจวัดด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงน้ำหนัก แต่ให้ผลการตรวจวัดที่น้อยกว่าวิธีวิเคราะห์เชิงน้ำหนัก

เมื่อนำสมการปรับแก้ที่ได้จากสมการที่ 1 ไปปรับแก้ค่าซึ่งได้จากการอ่านค่าโดยตรงจากเครื่องดัสแทร็ค และนำค่าที่ได้จากการปรับแก้มาเขียนกราฟแสดงการกระจายของข้อมูลใหม่ เพื่อทดสอบว่าสมการปรับแก้สามารถทำให้ค่าความผิดพลาด ความแม่นยำ และความน่าเชื่อถือเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ดีขึ้นหรือไม่ ผลการตรวจวัดด้วยวิธีเชิงน้ำหนักและค่าที่ได้จากการปรับแก้แล้วของเครื่องดัสแทร็คแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากเครื่อง PEM และเครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 ที่ปรับแก้ด้วยสมการแล้ว

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่า ความชันของกราฟเพิ่มขึ้นจาก 0.10 เป็น 0.94 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 นอกจากนี้เส้นสมการถดถอยและเส้น 1:1 เข้ามาใกล้กันมากขึ้น ดังนั้นความผิดพลาดแบบเป็นสัดส่วนลดน้อยลง และสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ด้วยสมการปรับแก้ สำหรับจุดตัดแกน y มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยคือจาก 0.02 เป็น 0.01 ซึ่งมีค่าใกล้ศูนย์มากขึ้นแสดงว่าความผิดพลาดแบบเป็นระบบลดลง แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลซึ่งได้จากการปรับแก้ด้วยสมการที่ (1)พบความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ บางส่วนมีค่าต่ำกว่า 0.00 ดังนั้นผู้วิจัยจึงหาความสัมพันธ์ของสมการปรับแก้ใหม่โดยให้เส้นแนวโน้มการกระจายของข้อมูลตัดผ่านจุด (0,0) ซึ่งจะได้สมการปรับแก้ใหม่ดังสมการที่ (2)

$$y = 7.52x \qquad (2)$$

เมื่อ *y* คือ ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากเครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 ที่ได้รับการปรับแก้ให้ถูกต้องแล้ว และ *x* คือ ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ได้จากการอ่านค่าโดยตรงจากเครื่องดัสแทร็ค

เมื่อนำข้อมูลจากการอ่านค่าโดยตรงจากเครื่องดัสแทร็คไปปรับแก้ใหม่ด้วยสมการที่ (2) ผลจากศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางที่ดีขึ้นคือ ความเข้มข้นจากการปรับแก้มีค่าบวกมากขึ้น และเมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างสมการปรับแก้ที่ (1) และสมการที่ (2) มีดังต่อไปนี้ ผู้วิจัยได้จำแนกตามระดับความเข้มข้นโดยแบ่งเป็นความเข้มข้นต่ำ ปานกลาง และสูง บริเวณที่มีความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ต่ำจนถึงความเข้มข้นปานกลาง ค่าความเข้มข้นซึ่งได้จากสมการปรับแก้สมการที่ (2) มีค่า สูงกว่าค่าที่ได้จากการปรับแก้ด้วยสมการที่ (1) ประมาณ 4 เท่า ส่วนในบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงพบว่า ความเข้มข้นที่ได้จากปรับแก้ด้วยสมการที่ (2) และสมการที่ (1) ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าคงเดิม

จากการศึกษาในครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษา Yanosky et al. (2002) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการตรวจวัด $PM_{2.5}$ โดยใช้เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8520 กับวิธีมาตรฐานของ US EPA (Federal Reference Method; FRM) ซึ่งเป็นวิธีตรวจวัดเชิงน้ำหนัก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8520 ให้ผลการตรวจวัดที่สูงกว่าวิธีวิเคราะห์เชิงน้ำหนัก และสมการถดถอยที่ได้จากการศึกษาคือ y=2.57x - 1.73 โดยมีค่า R^2 ระหว่างข้อมูลทั้งสองชุดเท่ากับ 0.86 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Morawska et al. (2003) ซึ่งใช้เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8520 ตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เปรียบเทียบกับวิธีอ้างอิงของ US EPA (วิธี Tapered element oscillating microbalance; TEOM) โดยใช้เครื่องไดโคโตมัสตรวจวัดและวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก ผลจากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ สอดคล้องกับการศึกษาของผู้วิจัยคือ ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ จากการตรวจวัดด้วยเครื่องดัสแทร็คมีค่าน้อยกว่าการตรวจวัดด้วยวิธีเชิงน้ำหนัก และเมื่อเปรียบเทียบการศึกษาของ Cheng et al. (2008) ซึ่งใช้เครื่อง E-BAM Sampler และวิธีเชิงน้ำหนักในการตรวจวัดพบว่า เครื่องดัสแทร็คให้ผลการตรวจวัดน้อยกว่าวิธีเชิงน้ำหนักเช่นเดียวกัน

แม้ว่าเครื่องดัสแทร็ค 8520 ซึ่งเป็นรุ่นก่อนหน้าจะใช้หลักการกระเจิงแสงในการตรวจวัดอนุภาคฝุ่นเช่นเดียวกับเครื่องดัสแทร็ค 8530 ก็ตาม แต่สมการปรับแก้ที่มีผู้เคยศึกษาไว้ในการตรวจวัดด้วยเครื่องดัสแทร็ค 8520 ก็ไม่สามารถนำมาใช้กับเครื่องรุ่นใหม่นี้ได้ เนื่องจากความยาวคลื่นแสงเลเซอร์ที่เป็นส่วนของการตรวจวัดอนุภาคฝุ่นมีความยาวแตกต่างกัน ซึ่งเครื่องรุ่น 8520 มีความยาว 780 นาโนเมตรส่วนเครื่องรุ่น 8530 มีความ

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
ISSN 2408 - 1248

ยาวลำแสงเลเซอร์เท่ากับ 655 นาโนเมตร นอกจากนี้เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 มีความถูกต้องมากกว่าเครื่องรุ่น 8520 เนื่องจากเครื่องรุ่น 8530 มีเนฟิโลมิเตอร์ (Nephelometer) ซึ่งเป็นเครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นแขวนลอยในของเหลว (Watson et al., 2011)

สรุปผลและอภิปรายผล

ผลจากการศึกษาการตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ระหว่างวิธีวิเคราะห์เชิงน้ำหนักและการตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจวัด $PM_{2.5}$ แบบเรียลไทม์ซึ่งคือ เครื่องดัสแทร็ค รุ่น 8530 ผลการศึกษาสรุปได้ว่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ จากการตรวจวัดด้วยเครื่องดัสแทร็คจะมีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงน้ำหนักซึ่งเป็นวิธีอ้างอิงและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นอกจากนี้เครื่องดัสแทร็คมีความแม่นยำในการเก็บตัวอย่างสูงพิจารณาจากค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 0.44 ซึ่งมีค่าต่ำ สำหรับความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบมีค่าเท่ากับ 0.02 มีค่าเข้าใกล้ศูนย์จึงมีความคลาดเคลื่อนต่ำ ส่วนความคลาดเคลื่อนแบบเป็นสัดส่วนมีค่าเท่ากับ 0.10 ซึ่งแตกต่างจาก 1 แสดงว่าผลการตรวจวัดมีความคลาดเคลื่อนแบบเป็นสัดส่วนสูง เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.94 ซึ่งมีค่าสูงหมายความว่าข้อมูลความเข้มข้นจากการตรวจวัดทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์กัน และความคลาดเคลื่อนจากข้างต้นสามารถปรับได้ด้วยสมการปรับแก้จากการศึกษานี้ ซึ่งผลจากการใช้สมการปรับแก้ y= 7.52x พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อน ความแม่นยำและความน่าเชื่อถือมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ดี อย่างไรก็ตามหากต้องการตรวจวัดอนุภาคฝุ่นขนาดอื่นๆ จำเป็นต้องทำการศึกษาในลักษณะเดียวกันนี้ เนื่องจากสมการที่ได้ จะเป็นสมการเฉพาะสำหรับฝุ่นแต่ละขนาดไม่สามารถใช้กับฝุ่นขนาดอื่นๆ ได้ (Cheng et al., 2008)

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

ขนิษฐา ใจเย็น. (2556). “การผลิตผงฝุ่นจากถ่านหินและการประเมินผลการใช้ตรวจหารอยนิ้วมือแฝง” วารสารวิชาการ Veridian E-Journal ปีที่ 6, ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน: เลขหน้า 829.

พิชัย ศิริสุโขดม. (2557). “ปริมาณฝุ่นละอองและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงานในโรงงานอาหารสัตว์” วารสารวิชาการ Veridian E-Journal ปีที่ 1, ฉบับที่ 4 กรกฎาคม-สิงหาคม: เลขหน้า 42.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นวภัทรา หนูนาค. 2558. Systematic error / ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ. อ้างถึง นวภัทรา หนูนาค และ ทวีพล ซื่อสัตย์. 2555**. ตำราเรียน การวัดและเครื่องมือ ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: งานบริการการเรียนการสอน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วนิดา จีนศาสตร์. (2551). **มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประกายรัตน์ สุวรรณ. (2548). **คู่มือการใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 12 สำหรับ Windows.** กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น.

ภาษาต่างประเทศ

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.

Cheng, Y.H., Lin, Y.L., & Liu, C.C. (2008). “Levels of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in Taipei Rapid Transit System”. **Atmospheric Environment**, 42: 7242-7249.

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.

Tasic, V., et al. (2012). “Comparative assessment of a real-time particle monitor against the reference gravimetric method for PM_{10} and $PM_{2.5}$ in indoor air”. **Atmospheric Environment**, 54: 358-364.

TSI. (no date). **DustTrak aerosol monitor 8530.** Accessed September 29, 2014. Available from http://www.tsi.com/dusttrak-aerosol-monitor-8530/. September 29, 2014.

United Stated Environmental Protection Agency (US EPA) (2011). **$PM_{2.5}$.** National PEP Weighing Laboratory, Science and Ecosystem Support Division, Georgia.

Watson, G., Chow, C., Chen, L., Wang, X., Merifield. M., Fine, M., & Barker, K. (2011). “Measurement system evaluation for upwind/downwind sampling of fugitive dust emission”. **Air and Air Quality Research**, 11: 331-350.

Yanosky, J.D., Williams, P.L., & MacIntosh, D.L. (2002). “A comparison of two direct-reading aerosol monitors with the federal reference method for $PM_{2.5}$ in indoor air”. **Atmospheric Environment**, 36: 107-113.