การวัดการกระจายขนาดละอองลอยจากเครื่องยนต์ดีเซล ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแบบใช้หลักการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้า

พานิช อินต๊ะ [1,*]

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

และ นคร ทิพยาวงศ์ [2]

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

บทคัดย่อ

เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแบบใช้หลักการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้าถูกพัฒนาขึ้นเพื่อวัดการกระจายขนาดละอองลอยในช่วงขนาด 10 นาโนเมตร ถึง 1,000 นาโนเมตร ด้วยเวลาตอบสนอง 45 วินาที เครื่องมือนี้อาศัยเทคนิคการคัดแยกด้วยไฟฟ้าสถิตที่ประกอบด้วยเครื่องอัดประจุอนุภาคแบบโคโรนา เครื่องคัดแยกขนาดอนุภาคและตัวตรวจจับอนุภาคแบบหลายช่องวัด ในบทความวิจัยฉบับนี้ได้ทำการวัดการกระจายขนาดละอองลอยจากเครื่องยนต์ดีเซลด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแบบใช้หลักการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้า ที่พัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดนี้ได้ทำการเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ELPI ซึ่งผลจากการวัดของเครื่องมือวัดทั้งสองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ : ละอองลอย / อนุภาค / การเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้า / เครื่องยนต์ดีเซล / เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

---

[1] *อาจารย์ วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ*

[2] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล*

Measuring Combustion Aerosol Size Distribution from Diesel Engines with an Electrical Mobility Spectrometer

Panich Intra[1,*]
Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai 50200
and Nakorn Tippayawong[2]
Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

Abstract

An electrical mobility spectrometer (EMS) was developed for measuring aerosol size distribution in the size range of 10 nm to 1,000 nm with the time response of 45 second. This is achieved via an electrostatic classification technique, consisting of a corona charger followed by multi-channel electrometer sensor and constant voltage classifier. In this research paper, the combustion aerosol size distribution measurement from diesel engine with an electrical mobility spectrometer developed at Chiang Mai University was performed. Aerosol size distribution measuring from the spectrometer was compared with that obtained from an electrical low-pressure impactor (ELPI) and good agreement was found from comparison.

Keywords : Aerosol / Particle / Electrical Mobility / Diesel Engine / Spectrometer

[*] *Corresponding author, E-mail: panich.intra@hotmail.com, panich_intra@yahoo.com*

[1] *Lecturer, College of Integrated Science and Technology.*

[2] *Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering.*

1. บทนำ

มลพิษทางอากาศจากการแพร่กระจายของละอองลอย (aerosol) หรืออนุภาคจุลสารขนาดเล็ก (fine particles) เป็นปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ [1] และกำลังเป็นปัญหาระดับชาติที่ต้องการการแก้ไขอย่างเร่งด่วน โดยแหล่งกำเนิดหลักของอนุภาคขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในอากาศส่วนใหญ่ จะแพร่กระจายมาจากกระบวนการเผาไหม้จากท่อไอเสียของรถยนต์ที่มีการขนส่งอยู่บนท้องถนน โดยเฉพาะบริเวณที่มีการจารจรหนาแน่น [2 - 4] ซึ่งอนุภาคเหล่านี้จะมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตรหรือเรียกว่าอนุภาคนาโน (nanoparticles) โดยอนุภาคนาโนนี้จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สุขภาพของมนุษย์ และนอกจากนี้ยังส่งผลเสียต่อผลิตภัณฑ์และระบบการผลิตในอุตสาหกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์และสารกึ่งตัวนำ

ดังนั้นการตรวจสอบ วิเคราะห์ และควบคุมการปนเปื้อนจากอนุภาคนาโนเหล่านี้เป็นสิ่งที่จำเป็น เนื่องจากสามารถบ่งชี้ปริมาณและแหล่งที่มาของอนุภาคเหล่านี้ได้ ในการวัดขนาดอนุภาคสามารถเลือกใช้หลักการต่างๆ ได้หลายวิธี [5] สำหรับอนุภาคในช่วงขนาดระดับนาโนเมตร การใช้หลักการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้าเป็นวิธีที่ใช้แพร่หลาย [1, 5] วิธีการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้าได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องยาวนาน และได้มีการผลิตออกมาเป็นเครื่องมือมาตรฐานในการวัดขนาดอนุภาคเพื่อเชิงพาณิชย์ [6] อย่างไรก็ตาม เครื่องมือวัดอนุภาคเหล่านี้ยังมีความแตกต่างในเรื่องการนำไปใช้งาน โครงสร้าง ราคา ช่วงขนาดการวัด เวลา และความละเอียดในการวัด

ในบทความวิจัยฉบับนี้จะได้นำเสนอผลการทดสอบเบื้องต้นในการวัดการกระจายขนาดละอองลอยที่เกิดจากการเผาไหม้จากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแบบใช้หลักการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้า (Electrical Mobility Spectromter) หรือ EMS ที่พัฒนาขึ้นโดยภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ [7 - 9] ซึ่งก่อนหน้านี้ได้ทำการทดสอบการวัดเปรียบเทียบกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) มาแล้ว [7 - 9] และในการศึกษานี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบผลที่วัดได้จาก EMS กับเครื่องมือวัดอนุภาคมาตรฐาน ELPI (Electrical Low Pressure Impactor) ของบริษัท Dekati ประเทศฟินแลนด์ [10 - 13] เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องในการวัดของเครื่องมือวัดอนุภาคที่ได้พัฒนาขึ้น

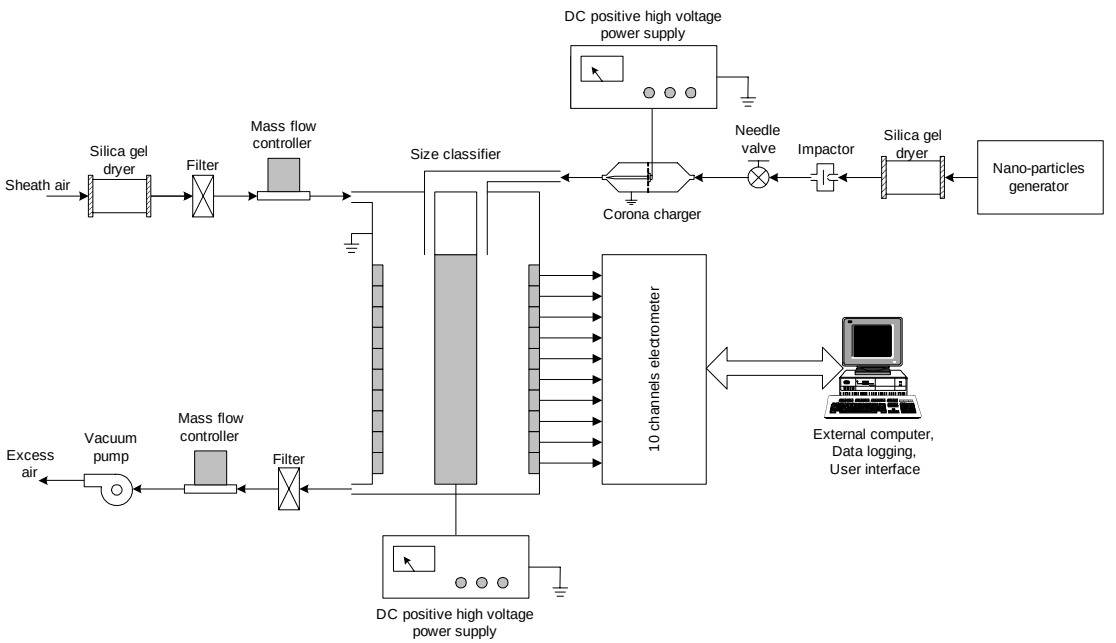
2. หลักการของ EMS

รูปที่ 1 แสดงรูปถ่ายเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแบบใช้หลักการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้า (Electrical Mobility Spectrometer) หรือเรียกว่า EMS เป็นเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคที่พัฒนาขึ้นโดยภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยได้ทุนสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา

รูปที่ 1 รูปถ่ายต้นแบบของ EMS [7]

วิศวกรรมจากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) [7 - 9] รูปที่ 2 แสดงลักษณะโครงสร้างของ EMS โดยเครื่องมือวัดนี้ประกอบด้วยระบบควบคุมการไหล (flow control system) ชุดคัดแยกสิ่งปนเปื้อนขนาดใหญ่ (size selective inlet) เครื่องอัดประจุละอองลอยแบบโคโรนา (corona aerosol charger) ชุดคัดแยกขนาดด้วยหลักการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้า (electrical mobility classifier) ชุดตรวจวัดกระแสระดับต่ำ (electrometer sensor) และชุดโปรแกรมบันทึกและประมวลผลข้อมูล (data processing system) ระบบการไหลของเครื่องมือวัดนี้จะถูกจ่ายและควบคุมโดยเครื่องควบคุมอัตราการไหลเชิงมวล (mass flow controller) กับเครื่องดูดสุญญากาศ (vacuum pump) โดยการทำงานของเครื่องมือวัดนี้เริ่มต้นโดยการดูดตัวอย่างละอองลอยที่ต้องการวัดผ่านท่อเก็บตัวอย่าง ละอองลอยตัวอย่างจะถูกอัดประจุแบบแพร่กระจายขั้วเดียว (unipolar diffusion charging) ด้วยเครื่องอัดประจุแบบโคโรนาเข็ม (corona-needle charger) ซึ่งเป็นการอัดประจุที่ให้ประสิทธิภาพในการอัดประจุสูงสำหรับละอองลอยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 1 ถึง 1,000 นาโนเมตร [14] จากนั้นละอองลอยที่ได้รับการอัดประจุ (charged aerosol) จะถูกนำเข้าในเครื่องคัดแยกขนาดละอองลอยที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าสูงใกล้กับขั้วไฟฟ้าแรงสูง ละอองลอยจะถูกผลักออกด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิตให้เคลื่อนที่เข้าหาหัววัดอิเล็กโทรมิเตอร์ที่มีลักษณะเป็นวงแหวน (electrometer rings) ที่ติดตั้งอยู่ผนังด้านในของเครื่องคัดแยกขนาดอนุภาคเนื่องจากความแตกต่างของความสามารถในการเคลื่อนตัวทางไฟฟ้าของละอองลอย ทำให้ละอองลอยที่มีขนาดต่างกันจะมีระยะการตกสะสมตัวในตำแหน่งที่ต่างกันของวงแหวนเหล่านี้ โดยขนาดของอนุภาคที่ตกสะสมตัวในแต่ละวงแหวน $d_{p,i}$ สามารถหาได้จาก

$$d_{p,i} = \frac{2VL_i n_p e C_c}{3\mu Q_t \ln\left(r_2/r_1\right)} \quad \textbf{(1)}$$



รูปที่ 2 ลักษณะโครงสร้างของ EMS [7]

เมื่อ V คือแรงดันไฟฟ้าของเครื่องคัดแยกขนาด L_i คือระยะการตกของอนุภาค n_p คือจำนวนประจุบนอนุภาค (net number of charges per particle) e คือประจุอิเล็กตรอน (elementary charge on an electron) มีค่าเท่ากับ 1.61 x 10^{-19}C C_c คือตัวชดเชยคันนิงแฮม (Cunningham correction factor) μ คือความหนืดของของไหล Q_t คืออัตราการไหลรวมภายในเครื่องคัดแยกขนาด และ r_1 และ r_2 คือรัศมีของขั้วอิเล็กโทรดด้านในและด้านนอก

โดยค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากการสะสมตัวของละอองลอยที่ประจุบนหัววัดวงแหวนอิเล็กโทรมิเตอร์ ในแต่ละช่องวัดจะถูกวัดระดับการเปลี่ยนแปลงด้วยชุดตรวจวัดกระแสต่ำอิเล็กโทรมิเตอร์ [15] พร้อมกับนำค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้ไปประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นผ่านพอร์ตอนุกรมภายใต้มาตรฐาน RS-232 และแสดงผลข้อมูลออกแบบในรูปของกราฟที่แสดงถึงการกระจายขนาดของละอองลอยเชิงจำนวน (number-weighted aerosol size distribution) ในแต่ละช่องวัด โดยค่าความเข้มข้นจำนวนอนุภาค (particle number concentration) $N_{p,i}$ สามารถหาได้จาก

$$N_{p,i} = \frac{I_{e,i}}{n_p(d_{p,i}^{\text{mid}})eQ_a} \tag{2}$$

เมื่อ $I_{e,i}$ คือค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากวงแหวนอิเล็กโทรมิเตอร์ Q_a คืออัตราการไหลของละอองลอย และ $n_p(d_{p,i}^{\text{mid}})$ คือจำนวนประจุบนอนุภาคที่เป็นฟังก์ชันของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่ตกที่จุดกึ่งกลางของวงแหวนและสามารถหาได้จาก [16 - 17]

$$n_p(d_{p,i}^{\text{mid}}) = \frac{d_{p,i}^{\text{mid}}kT}{2K_E e^2}\ln\left(1+\frac{\pi K_E d_{p,i}^{\text{mid}}\bar{c}_i e^2 N_i t}{2kT}\right) \tag{3}$$

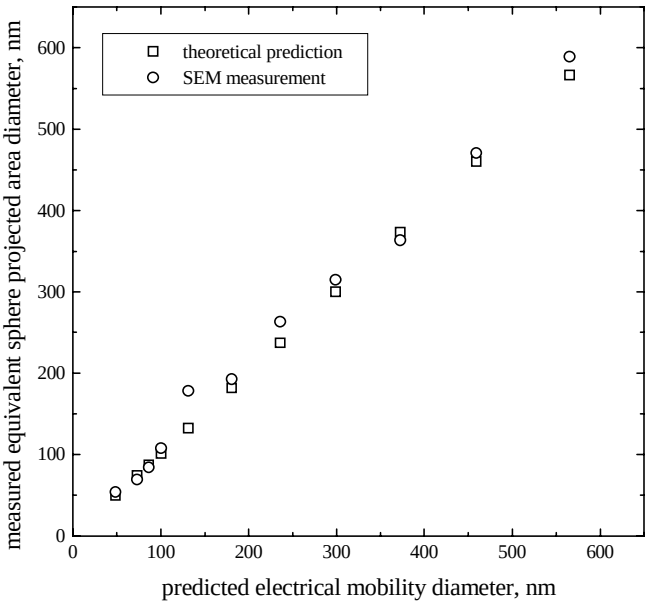
เมื่อ k คือค่าคงที่ของโบร์ทมานน์ (Boltzmann's constant) มีค่าเท่ากับ 1.3806 X 10^{-23} J/K T คืออุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน $\bar{c}_i$ คือ ค่าความเร็วเฉลี่ยเนื่องจากผลของอุณหภูมิของไอออน (mean thermal speed of ion) มีค่าเท่ากับ 240 m/s ที่สภาวะมาตรฐาน N_i คือค่าความเข้มข้นของไอออน t คือเวลาในการอัดประจุ และ K_E คือค่าคงที่จากสมการของคูลอมบ์ มีค่าเท่ากับ 9.0 X 10^9 N.m^2/C^2 ซึ่งค่าความเข้มข้นจำนวนอนุภาคจะมีหน่วยเป็น อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร (particles/m^3) โดยการกระจายขนาดอนุภาคในแต่ละช่องวัดจะสอดคล้องกับค่าความเข้มข้นในแต่ละช่องวัดหารด้วยความกว้างทางเรขาคณิต (channel geometric width) ของแต่ละช่องวัดคือ

$$\frac{dN_{p,i}}{d\log(d_{p,i})} = \frac{N_{p,i}\left(d_{p,i}^{\text{mid}}\right)}{\log\left(d_{p,i}^{\max}/d_{p,i}^{\min}\right)} \tag{4}$$

เมื่อ $d_{p,i}^{\max}$ และ $d_{p,i}^{\min}$ คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคสูงสุดและต่ำสุดที่ตกลงบนแต่ละวงแหวน สำหรับการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องวัดขนาดอนุภาคที่ผ่านมา ได้ทำการวัดเปรียบเทียบกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดซึ่งรายละเอียดแสดงไว้ใน [7 - 9] โดยขนาดอนุภาคที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง (theoretical prediction) จะถูกเปรียบเทียบกับขนาดอนุภาคที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนสัญญาณกระแสจากหัววัดอิเล็กโทรมิเตอร์ที่วัดได้จะถูกนำมาวิเคราะห์แปลงเป็นความเข้มข้นจำนวนของอนุภาค ซึ่งจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดนี้สามารถวัดการกระจายตัวละอองได้ในช่วงขนาดประมาณ 50 - 600 นาโนเมตร [7] ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3

3. การทดสอบการวัดละอองลอยจากเครื่องยนต์ดีเซล

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบการวัดการกระจายขนาดละอองลอยที่เกิดจากเผาไหม้ของไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากละอองลอยจากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลมีขนาดและความเข้มข้นอยู่ในช่วงการวัดของเครื่องมือวัด โดยเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบนี้คือ Isuzu รุ่น 4-JB1-T ขนาด 2,800 ซีซี 4 สูบ กำลังสูงสุด (maximum power) ที่ 82 แรงม้า ต่อ 2,500 รอบต่อนาที ที่ติดตั้งที่คณะวิชาเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาวิทยาเขตภาคพายัพ รูปที่ 4 (ก) แสดงรูปถ่ายของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบการวัด โดยในการวัดจะทำการวัดเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดอนุภาคมาตรฐาน ELPI ของ Dekati รูปที่ 4 (ข) แสดงรูปถ่ายของ ELPI



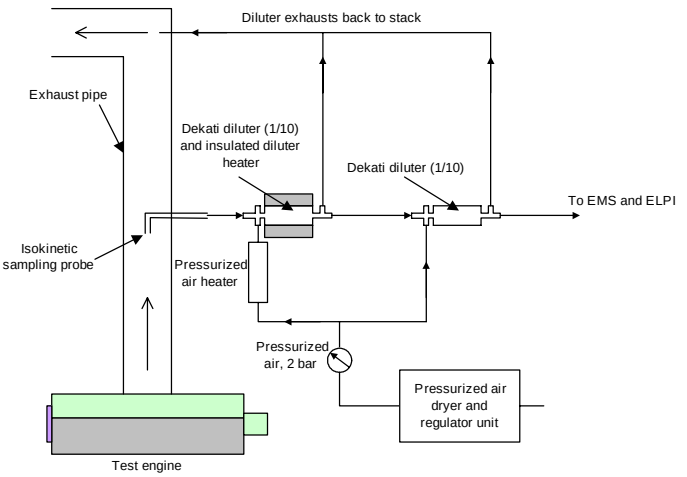
รูปที่ 3 การเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคระหว่างการวัดด้วยเครื่องมือวัดต้นแบบและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [7]

(ก) เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

(ข) ELPI

รูปที่ 4 รูปถ่ายเครื่องยนต์ดีเซลของ Isuzu รุ่น 4-JB1-T และ ELPI ที่ใช้ในการทดสอบ

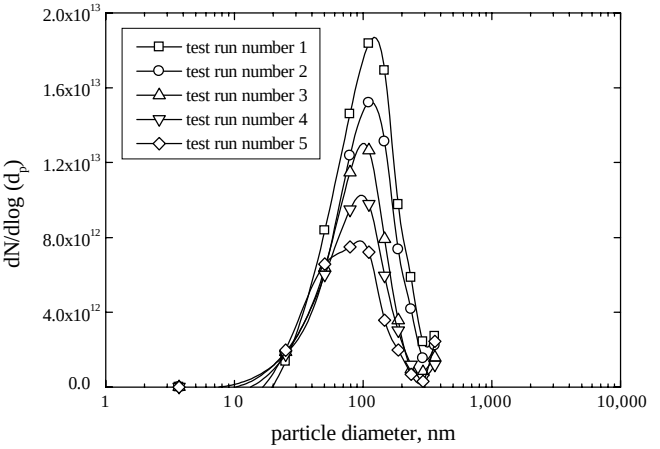
โดย ELPI เป็นเครื่องวัดขนาดอนุภาคด้วยเวลาจริง (real time) ที่อาศัยความเฉื่อยของอนุภาคในการคัดแยกขนาด สามารถวัดการกระจายขนาดของอนุภาคได้ในช่วง 30 นาโนเมตร ถึง 10 ไมโครเมตร ที่ค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนในช่วง 10^2 - 10^7 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยเวลาประมาณ 2 วินาที [10 - 13] รูปที่ 5 แสดงไดอะแกรมระบบการเก็บตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบการวัดนี้ โดยไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลจะถูกเก็บตัวอย่างจากท่อไอเสียที่ออกจากเครื่องยนต์โดยมีระยะห่างจากเครื่องยนต์ประมาณ 10 เมตรด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบที่มีจลศาสตร์เท่ากัน (isokinetic sampling) และถูกทำให้เจือจางลงในอัตราส่วน 1 ต่อ 100 ด้วยชุดเจือจางแบบฉีดพ่น (ejection diluter) ของบริษัท Dekati จำนวน 2 ชุด จากนั้นละอองลอยจะถูกส่งไปยังเครื่องมือวัดทั้งสองเพื่อทำการวัดเปรียบเทียบ โดยให้ EMS ทำงานที่อัตราการไหลของละอองลอยเท่ากับ 1 ลิตร ต่อ นาที อัตราการไหลของอากาศสะอาดเท่ากับ 10 ลิตร ต่อ นาที แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วอิเล็กโทรดด้านใน 2 กิโลโวลต์ ตัวเลขเรย์โนลด์ 116.6 และความดันบรรยากาศ 0.526 บาร์ โดยในการทดสอบการวัดเบื้องต้นในการศึกษานี้จะทำการทดสอบที่สภาวะไม่มีโหลด (no load) และที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที



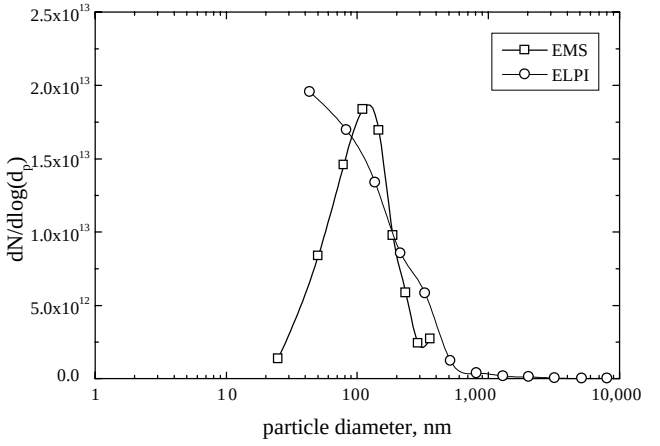
รูปที่ 5 ระบบเก็บตัวอย่างละอองลอยสำหรับการวัดเครื่องยนต์ดีเซล

4. ผลการทดสอบการวัดเบื้องต้นและวิจารณ์ผล

รูปที่ 6 แสดงผลการทดสอบการวัดการกระจายขนาดละอองลอยจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล โดยในการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบการวัดจำนวน 5 ครั้ง โดยใช้เวลาทดสอบประมาณ 125 นาที โดยในแต่ละครั้งจะใช้เวลาในการวัดประมาณ 25 นาที ซึ่งค่าที่ได้จากวัดในแต่ละครั้งจะได้มาจากหาค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้ภายในเวลา 25 นาที จากรูปจะเห็นว่าการกระจายขนาดของละอองลอยที่วัดได้จะมีขนาดอยู่ในช่วง 3 นาโนเมตร ถึง 400 นาโนเมตร และจากรูปยังสังเกตได้ว่าค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาค (dN/dlog (dp)) ในแต่ละครั้งการวัดมีค่าลดลงเรื่อยๆ ซึ่งการลดลงนี้เป็นผลมาจากการสะสมตัวของอนุภาคบนพื้นผิวด้านในของหัววัดอิเล็กโทรมิเตอร์ที่เกิดจากการวัดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ซึ่งการสะสมตัวของเหล่าอนุภาคนี้จะทำให้เกิดความต้านทานระหว่างขั้วอิเล็กโทรดด้านในกับหัววัดอิเล็กโทรมิเตอร์ขึ้น ความต้านทานที่เกิดขึ้นนี้จะจำกัดการไหลกระแสไฟฟ้าของอนุภาคประจุและส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากอิเล็กโทรมิเตอร์มีค่าลดลง ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่วัดได้นั้นเป็นฟังก์ชั่นของความเข้มข้นจำนวนของอนุภาคดังสมการที่ 2 ดังนั้นในการวัดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานเครื่องมือจำเป็นต้องมีการทำความสะอาดหัววัดอิเล็กโทรมิเตอร์เป็นช่วงๆ ซึ่งสังเกตได้จากการลดลงของกระแสไฟฟ้าที่วัดได้



รูปที่ 6 ผลการวัดอนุภาคจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลด้วย EMS



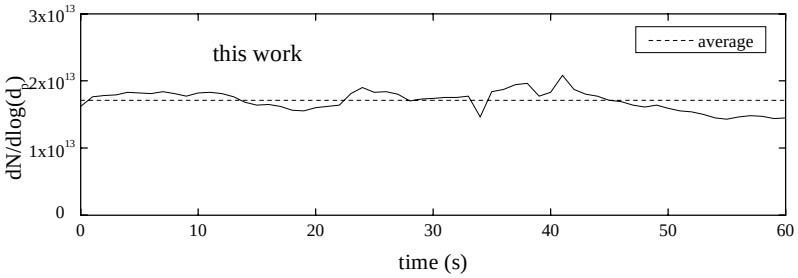
รูปที่ 7 การเปรียบเทียบการกระจายขนาดของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่องมือวัดต้นแบบและ ELPI

สำหรับผลของการเปรียบเทียบการกระจายขนาดของละอองลอยจากเครื่องยนต์ดีเซลที่วัดได้จาก EMS และ ELPI แสดงไว้ดังรูปที่ 7 จากรูปแสดงให้เห็นว่าค่าของการกระจายขนาดของละอองลอยเชิงจำนวนที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 80 นาโนเมตร ถึง 1,000 นาโนเมตร อย่างไรก็ตามค่าความเข้มข้นจำนวนของอนุภาคที่จุดสูงสุด (peak) ของ ELPI จะแตกต่างจาก EMS ด้วยแฟคเตอร์เท่ากับ 2 และยังพบว่ามีความแตกต่างของความเข้มข้นจำนวนอนุภาคที่ขนาดต่ำกว่า 80 นาโนเมตร ซึ่งความแตกต่างนี้อาจจะเนื่องมาจากเครื่องมือวัดทั้งสองนี้มีหลักการวัดที่แตกต่างกัน โดย ELPI เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้หลักการการตกกระทบเนื่องจากความเฉื่อยของอนุภาค (inertia impaction) โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ได้จากการวัดของ ELPI จะเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเชิงอากาศพลศาสตร์ (aerodynamic diameter) [10] ซึ่งจะแตกต่างจากขนาดที่วัดได้จากเครื่องมือวัดต้นแบบที่เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเชิงการเคลื่อนตัวทางไฟฟ้า (electrical mobility diameter) ซึ่งอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้เกิดความแตกต่างในช่วงขนาดต่ำกว่า 80 นาโนเมตร ดังนั้นในการวิจัยต่อไปจะได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนนี้ด้วย รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบการวัดค่าความเข้มข้นจำนวนอนุภาคกับเวลาของ EMS และ ELPI ซึ่งจากการเปรียบเทียบพบว่า

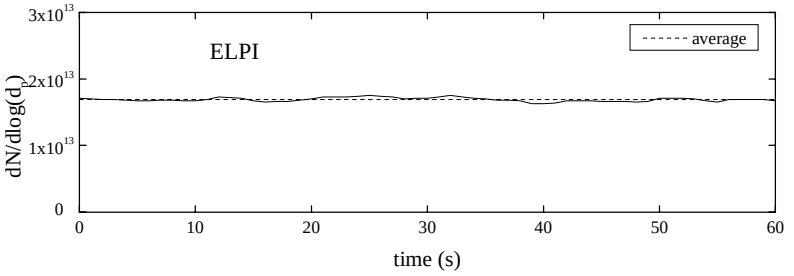
ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นที่วัดได้จาก ELPI มีค่าใกล้เคียงกับที่วัดได้จากเครื่องมือต้นแบบ แต่ยังพบความแตกต่างของค่าความความเข้มข้นในแต่ละช่วงเวลาที่วัดได้ ซึ่งความแตกต่างนี้อาจจะเป็นผลมาจากเวลาการตอบสนองในการวัดของ EMS โดย ELPI มีเวลาตอบสนองในการวัดเร็วกว่า EMS ประมาณ 23 เท่า [7, 10, 13]

5. สรุปและงานในอนาคต

เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแบบใช้หลักการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้าได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นเครื่องมือที่สามารถวัดการกระจายขนาดละอองลอยได้อยู่



(ก) EMS



(ข) ELPI

รูปที่ 8 การเปรียบเทียบการวัดค่าความเข้มข้นจำนวนของอนุภาคกับเวลาของ (ก) EMS และ (ข) ELPI

ในช่วง 10 นาโนเมตร ถึง 1000 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้นจำนวนอนุภาค 10^{11} - 10^{13} อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร ด้วยเวลาการตอบสนองประมาณ 45 วินาที ในการศึกษานี้ได้นำเสนอทำการทดสอบเบื้องต้นในการวัดการกระจายขนาดละอองลอยที่เกิดจากการเผาไหม้จากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล และได้เปรียบเทียบผลการวัดที่ได้กับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ELPI ของบริษัท Dekati ซึ่งจากผลการวัดที่ได้เป็นที่น่าพอใจและแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดการกระจายขนาดละอองลอยจากเครื่องยนต์ดีเซลได้เทียบเคียงกับ ELPI

สำหรับในการศึกษาวิจัยต่อไปจะทำการวัดและเปรียบเทียบผลของการวัดของเครื่องมือวัดนี้กับเครื่องวัดขนาดอนุภาคมาตรฐานอื่นๆ เช่น SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer), EAS (Electrical Aerosol Spectrometer), EEPS (Exhaust Engine Particle Sizer) และ DMS (Differential Mobility Spectrometer) และจะทำการปรับปรุงให้มีขนาดกะทัดรัดขึ้นแบบสำหรับตั้งโต๊ะ เพิ่มวงรับสัญญาณให้ขยายย่านการวัดให้ละเอียด กว้างและครอบคลุมขึ้น และวัดที่ความเข้มข้นต่ำได้ดีกว่าต้นแบบแรก และทำการทดสอบในภาคสนามเพิ่มเติมจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ทำมาแล้ว

6. กิตติกรรมประกาศ

ผลการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรมภายใต้โครงการนี้ ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนโครงการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรม สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ งานวิจัยระบบตรวจวัดสิ่งแวดล้อม ของศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม (JGSEE) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่เอื้อเฟื้อ ELPI ในการทดสอบครั้งนี้ รวมทั้งคณะวิชาเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

1. Hinds, W.C., 1999, *Aerosol technology*, John Wiley & Sons, New York.

2. Chen, S-J. et al.,1997, "Particle size distribution of aerosol carbons in ambient air," *Environ. Intl.,* Vol. 23, No. 4, pp. 475 - 488.

3. Balachandran, S. et al., 2000, "Particle size distribution and its elemental composition in the ambient air of Delhi," *Environ. Intl.,* Vol. 26, pp. 49 - 54.

4. Tippayawong, N., Vorayos, N., Suksamai, S., and Lee, A. L., 2002, "Sampling High Concentration Ambient Particles," *ESTECH 2002 (The IEST 48th Annual Technical Meeting and Exposition & the 16th ICCCS International Symposium on Contamination Control),* April 28 - May 1, Anaheim, California.

5. Intra, P. and Tippayawong, N., 2003, "Particle size analyzers," *Journal of the Scientific & Technological Research Equipment Centre,* Vol. 11, No. 2, pp. 156 - 170. (in Thai)

6. Intra, P. and Tippayawong, N., 2007, "An overview of aerosol particle sensors for size distribution measurement," *Maejo International Journal of Science and Technology,* Vol. 1, No. 2, pp. 120 - 136.

7. Intra, P., 2006, *Aerosol size measurement system using electrical mobility technique,* PhD thesis, Department of Mechanical Engineering, Chiang Mai University, Thailand.

8. Intra, P. and Tippayawong, N., 2006, "An electrical mobility spectrometer for aerosol size distribution measurement," *International Conference on Technology and Innovation for Sustainable Development Conference,* January 25-27, Khon Kaen, Thailand.

9. Intra, P. and Tippayawong, N., 2006, "Aerosol size distribution measurement using multi-channel electrical mobility sensor," *Journal of Aerosol Research Japan,* Vol. 21, No. 4, pp. 329 - 340.

10. Keskinen, J., 1992, *Experimental study of real time aerosol measurement techniques,* PhD Thesis, Tampere University of Technology, Tampere, Finland.

11. Keskinen, J., Pietarinen, K. and Lehtimaki, M., 1992, "Electrical low pressure impactor," *Journal of Aerosol Science,* Vol. 23, pp. 353 - 360.

12. Moisio, M., 1999, *Real time size distribution measurement of combustion aerosols,* PhD thesis, Tampere University of Technology, Finland.

13. Dekati Ltd., 2003, *ELPI user manual.* Version 3.2, Tampere.

14. Intra, P. and Tippayawong, N., 2006, "Corona ionizer for unipolar diffusion charging of nanometer aerosol particles," 29th *Electrical Engineering Conference,* November 9 - 10, Pattaya, Thailand.

15. Intra, P. and Tippayawong, N., 2007, "An ultra-low current meter for aerosol detection," *Chiang Mai University Journal,* Vol. 6, No. 2, in press.

16. White, H.J., 1963, *Industrial Electrostatic Precipitation,* Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.

17. Intra, P. and Tippayawong, N., 2005, "Approach to characterization of a diode type corona charger for aerosol size measurement," *KIEE International Transactions on Electrophysics & Applications,* Vol. 5-C, No. 5, pp. 196 - 203.