ณัฐพงษ์ ไชยคำ : การศึกษาลักษณะของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลและเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการขับขี่ตามสภาวะในเมืองและนอกเมือง (CHARACTERIZATION OF PARTICLE RELEASE FROM DIESEL AND GASOLINE COMBUSTION ENGINE UNDER URBAN AND EXTRA-URBAN CONDITION DRIVING SIMULATION TEST)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ บัตรสูงเนิน, 131 หน้า.

คำสำคัญ: อนุภาค/เครื่องยนต์ดีเซล/เครื่องยนต์เบนซีน/ความเข้มข้นเชิงจำนวน/ความเข้มข้นเชิงมวล

การศึกษาลักษณะของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลและเบนซีนภายใต้การจำลองการทดสอบการขับขี่ภายใต้ตามสภาวะในเมือง (Urban condition) และสภาวะนอกเมือง (Extra Urban condition) โดยใช้เครื่องมือ Portable Aerosol Spectrometer Dust Detector (PAS) และ Scanning Mobility Particle Sizer with Condensation Particle Counter (SMPS+C) ในการศึกษาการกระจายขนาดอนุภาค (10 nm–35.15 μm) ความเข้มข้นเชิงจำนวน (Number concentration) และความเข้มข้นเชิงมวล (Mass concentration) สัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุเก็บตัวอย่างโดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง Nano Particle Sampler (NPS) ร่วมกับกระดาษกรองประเภท Polycarbonate membrane ในการเก็บตัวอย่างอนุภาค และวิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้เครื่อง Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM-EDS)

ผลการศึกษาลักษณะของอนุภาคจากเครื่องยนต์ดีเซลจากการจำลองการขับขี่ที่สภาวะในเมืองและนอกเมือง พบว่าการกระจายตัวเชิงจำนวนของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลจากการทดสอบการขับขี่รถยนต์ตามสภาวะในเมืองและสภาวะนอกเมือง พบว่ามีการกระจายตัวเชิงจำนวนของอนุภาคอยู่ในช่วง 10-100 nm โดยสภาวะนอกเมืองมีความเข้มข้นสูงกว่าสภาวะในเมืองทุกขนาดและอนุภาคส่วนใหญ่มีการกระจายตัวสูงในช่วง 10-30 nm สภาวะการขับขี่ในเมือง พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุดที่ความเร็ว 0-50 km/h ที่อนุภาคขนาด 17.24 nm ขณะที่สภาวะนอกเมืองพบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุดที่ความเร็ว 70-100 km/h ที่อนุภาคขนาด 29.51 nm โดยแนวโน้มความเข้มข้นเชิงจำนวนขณะขับขี่ในทั้งสองสภาวะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามความเร็วที่ใช้และเมื่อลดความเร็วความเข้มข้นก็จะลดลงตามลำดับ อย่างไรก็ตามในสภาวะนอกเมืองที่ ขั้นตอนลดความเร็วจาก 70 km/h มายัง 50 km/h พบว่าความเข้มข้นเชิงจำนวนยังคงเพิ่มสูงขึ้น ในส่วนของการกระจายตัวเชิงมวล พบว่าที่สภาวะในเมือง อนุภาคมีการกระจายตัวเชิงมวลเฉลี่ยในช่วง 10-111.37 nm สูงสุด โดยกระจายตัวสูงที่สุดที่อนุภาคขนาด 111.37 nm ขณะที่สภาวะนอกเมืองมีการกระจายตัวเชิงมวลเฉลี่ยสูงในช่วง 10-111.37 nm โดยกระจายตัวสูงที่สุดที่อนุภาคขนาด 51.18 nm และสภาวะนอกเมืองมีการกระจายตัวเชิงมวลที่สูงกว่าสภาวะในเมือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ช่วง 10-100 nm ขณะที่ความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยในทั้งสองสภาวะจากการจำแนกตาม Environmental Parameters พบว่า Total Suspended Particulate (TSP) มีความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุด ในส่วนของอนุภาคที่จำแนกตาม Occupational Parameters พบว่า Inhalable dust มีความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุด โดยแนวโน้มความเข้มข้นเชิงมวลขณะขับขี่จะเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเร่งความเร็วและลดลงเมื่อ

ลดความเร็ว เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นเชิงมวลของทั้งสองสภาวะ พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลจากการจำลองการขับขี่ตามสภาวะในเมืองสูงกว่าการจำลองการขับขี่ตามสภาวะนอกเมืองอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในทุกพารามิเตอร์ สัณฐานวิทยาของอนุภาคดีเซลจากทั้งสองสภาวะการขับขี่มีรูปทรงไม่แน่นอนและที่สภาวะในเมืองอนุภาคมีการสะสมเกาะกลุ่มรวมกันเป็นสายโซ่ โดยพบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 100 nm ไปจนถึงอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 nm ขึ้นไป โดยอนุภาคจากการขับขี่ตามสภาวะในเมืองส่วนใหญ่อนุภาคโหมดนิวเคลียส ในขณะที่สภาวะนอกเมืองส่วนใหญ่เป็นอนุภาคโหมดสะสม ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของอนุภาคดีเซล พบว่าอนุภาคจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่สภาวะในเมืองมีการสะสมเกาะกลุ่มรวมกันเป็นสายโซ่ ขณะที่สภาวะนอกเมืองมีการสะสมเกาะกลุ่มรวมกัน โดยอนุภาคในทั้งสองสภาวะมีรูปทรงที่ไม่แน่นอนและองค์ประกอบธาตุของอนุภาคการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลพบคาร์บอนและออกซิเจนที่เป็นองค์ประกอบหลักของเชื้อเพลิง อลูมิเนียมและเหล็กที่มาจากจากส่วนประกอบของเครื่องยนต์หรือการสึกกร่อนของท่อไอเสียและคลอรีน โพแทสเซียม ซิลิกอนและแคลเซียมที่มาจากสารเติมแต่งน้ำมันหล่อลื่น

ผลการศึกษาลักษณะของอนุภาคจากเครื่องยนต์เบนซีนจากการจำลองการขับขี่ที่สภาวะในเมืองและนอกเมือง พบว่าการกระจายตัวเชิงจำนวนของอนุภาคขณะขับขี่อยู่ในช่วง 10-111.37 nm โดยอนุภาคส่วนใหญ่เป็นอนุภาคโหมดสะสมที่มีการกระจายตัวสูงในช่วง 30-500 nm อย่างไรก็ตาม พบว่าสภาวะนอกเมืองมีการกระจายตัวของอนุภาคสูงกว่าสภาวะในเมืองที่ช่วง 10-30 nm ความเข้มข้นเชิงจำนวนจากสภาวะการขับขี่ในเมือง พบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุดที่ความเร็ว 0-50 km/h ที่อนุภาคขนาด 111.37 nm ขณะที่สภาวะนอกเมืองพบความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุดที่ความเร็ว 70-100 km/h ที่อนุภาคขนาด 12.10 nm และความเข้มข้นเชิงจำนวนขณะขับขี่ในทั้งสองสภาวะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเร่งความเร็วและเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดที่ความเร็วจาก 70-100 km ในการขับขี่ที่สภาวะนอกเมือง นอกจากนี้พบว่าความเข้มข้นเชิงจำนวนยังคงเพิ่มขึ้นเมื่อลดความเร็ว ในส่วนของการกระจายตัวเชิงมวล พบว่าอนุภาคมีการกระจายตัวสูงสุดในสองช่วงได้แก่ ช่วงที่หนึ่งขนาดของอนุภาคเท่ากับ 91.05-737.02 nm มีการกระจายตัวสูงที่สุดที่อนุภาคขนาด 351 nm และช่วงที่สองขนาดของอนุภาคเท่ากับ 1.42-23.3 μm มีการกระจายตัวสูงสุดที่อนุภาคขนาด 7.36 μm โดยพบว่าช่วงที่หนึ่งมีการกระจายตัวเชิงมวลที่ใกล้เคียงกันและช่วงที่สองสภาวะนอกเมืองมีการกระจายตัวเชิงมวลที่สูงกว่าสภาวะในเมือง ขณะที่ความเข้มข้นเชิงมวลเฉลี่ยในทั้งสองสภาวะจากการจำแนกตาม Environmental Parameters พบว่า TSP มีความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุดในทั้งสองสภาวะการขับขี่ เมื่อจำแนกตาม Occupational Parameters พบว่า Inhalable dust มีความเข้มข้นเชิงมวลสูงที่สุดในทั้งสองสภาวะ ในส่วนของแนวโน้มความเข้มข้นเชิงมวลขณะขับขี่พบว่ามีความเข้มข้นเชิงมวลเพิ่มเมื่อทำการเร่งความเร็วและลดลงเมื่อลดความเร็ว ยกเว้นในสภาวะนอกเมืองที่ขั้นตอนลดความเร็วจาก 70-50 km/h พบว่าความเข้มข้นเชิงมวลเพิ่มขึ้นเมื่อลดความเร็วและเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นเชิงมวลของทั้งสองสภาวะพบว่าความเข้มข้นแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของอนุภาคเบนซีน พบว่าทั้งสองสภาวะมีรูปทรงไม่แน่นอนและมีการสะสมเกาะกลุ่ม

รวมกันของอนุภาค โดยพบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 100 nm ไปจนถึงอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 nm ขึ้นไป และพบองค์ประกอบธาตุที่เหมือนกับเครื่องยนต์ดีเซล

การเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงจำนวนของทั้งสองเครื่องยนต์ตามสภาวะในเมือง พบว่ามีการกระจายตัวสูงที่ช่วง 10-100 nm โดยเครื่องยนต์ดีเซลกระจายตัวสูงสุดในช่วง 10-30 nm ขณะที่เครื่องยนต์เบนซินกระจายสูงในช่วง >30 nm เมื่อเปรียบเทียบพบว่าความเข้มข้นเชิงจำนวนพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสำหรับขั้นตอนการขับขี่ส่วนใหญ่ ในส่วนของการกระจายเชิงมวล พบว่าเครื่องยนต์ดีเซลมีการกระจายตัวเชิงมวลสูงกว่าในช่วง 10-100 nm ขณะที่เครื่องยนต์เบนซินสูงกว่าใน >100 nm และพบว่าความเข้มข้นเชิงมวลของ TSP และ Inhalable dust มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของทั้งสองเครื่องยนต์พบอนุภาคโหมดนิวเคลียสและอนุภาคโหมดสะสม โดยอนุภาคส่วนใหญ่ของเครื่องยนต์เบนซินจะมีขนาดใหญ่กว่า ขณะที่องค์ประกอบธาตุมีองค์ประกอบหลักคล้ายกันแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กรณีการขับขี่ในสภาวะนอกเมืองพบว่า การกระจายตัวเชิงจำนวนของทั้งสองเครื่องยนต์มีการกระจายตัวสูงที่ช่วง 10-100 nm โดยเครื่องยนต์ดีเซลกระจายตัวสูงสุดในช่วง 10-30 nm ขณะที่เครื่องยนต์เบนซินกระจายสูงในช่วง >30 nm คล้ายสภาวะในเมือง เมื่อเปรียบเทียบพบว่าความเข้มข้นเชิงจำนวนพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในขั้นตอนส่วนใหญ่ การกระจายเชิงมวลของเครื่องยนต์ดีเซลมีการกระจายตัวสูงกว่าในช่วง 10-100 nm อนุภาคที่มีขนาดมากกว่า 351 nm ขึ้นไป เครื่องยนต์เบนซีนจะมีการกระจายตัวที่สูงกว่าและความเข้มข้นเชิงมวลของ TSP, PM10, Inhalable dust, Thoracic dust และ Respirable dust พบว่ามีความเข้มข้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของทั้งสองเครื่องยนต์พบทั้งอนุภาคโหมดนิวเคลียสและโหมดอนุภาคสะสม ขณะที่องค์ประกอบธาตุของเครื่องยนต์ทั้งสองชนิดมีองค์ประกอบที่หลักคล้ายกัน โดยพบว่าคาร์บอนและออกซิเจนของเครื่องยนต์ทั้งสองชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สาขาวิชา<u>อาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสิ่งแวดล้อม</u> ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ปีการศึกษา <u>2566</u> ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

NATTHAPHONG CHAIYAKHAM : CHARACTERIZATION OF PARTICLE RELEASE FROM DIESEL AND GASOLINE COMBUSTION ENGINE UNDER URBAN AND EXTRA-URBAN CONDITION DRIVING SIMULATION TEST
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. KIATTISAK BATSUNGNOEN, Ph.D., 131 PP.

Keywords: Particle/Diesel engine/Gasoline engine/Number concentration/ Mass concentration

This research studied the characteristics of particles emitted from diesel and gasoline engine combustion under simulated urban and extra-urban driving conditions. A Portable Aerosol Spectrometer Dust Detector (GRIMM 11D) and a Scanning Mobility Particle Sizer with Condensation Particle Counter (GRIMM 5416) were utilized to investigate particle size distribution (10 nm–35.15 μm), number concentration, and mass concentration. Polycarbonate membranes and a Nano Particle Sampler (NPS) were employed to collect particle samples for morphological and elemental composition analysis using a Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM-EDS).

The study of the characteristics of particles from diesel engines simulating driving conditions in urban and extra-urban areas showed that the number size distribution of particles from diesel engine combustion exhibited a range of 10-100 nm. The extra-urban driving condition had higher concentrations than the urban driving condition across all sizes, with most particles concentrated in the 10-30 nm range. For urban driving, the peak number concentration was found at 0-50 km/h with a particle size of 17.24 nm, while for extra-urban driving, the peak was at 70-100 km/h with a particle size of 29.51 nm. The number concentration tended to increase with speed and decrease when decelerating for both conditions. However, during extra-urban driving, the number concentration continued to rise when decelerating from 70 km/h to 50 km/h. Regarding the mass size distribution, for urban driving, the average mass distribution was highest in the 10-111.37 nm range, peaking at 111.37 nm, while for extra-urban driving, the highest average mass distribution was in the 10-111.37 nm range, peaking at 51.18 nm. The extra-urban condition exhibited a higher mass distribution, especially in the 10-100 nm range. For both conditions, total suspended particulate (TSP) had the highest average mass concentration among the environmental parameters, while inhalable dust had the highest among the occupational parameters. The mass concentration tended to increase with acceleration and decrease with deceleration, although no statistically significant difference was observed between the two conditions across all parameters.

The morphology of diesel particles from both driving conditions exhibited irregular shapes, with agglomeration into chain-like structures observed in the urban condition, ranging from particles smaller than 100 nm to larger than 100 nm. Urban driving primarily produced nucleation mode particles, while extra-urban driving produced accumulation mode particles. The analysis revealed carbon and oxygen as the main elemental components from fuel combustion, along with aluminum, iron from engine components or exhaust pipe erosion, and chlorine, potassium, silicon, and calcium from lubricating oil additives.

For gasoline engines simulating urban and extra-urban driving conditions, the number size distribution during driving was in the range of 10-111.37 nm, with most particles being accumulation mode particles concentrated in the 30-500 nm range. However, the extra-urban condition exhibited a higher particle distribution in the 10-30 nm range compared to the urban condition. For urban driving, the peak number concentration was found at 0-50 km/h with a particle size of 111.37 nm, while for extra-urban driving, the peak was at 70-100 km/h with a particle size of 12.10 nm. The number concentration tended to increase slightly with acceleration and more significantly at 70-100 km/h during extra-urban driving. Additionally, the number concentration continued to rise when decelerating. Regarding the mass size distribution, particles exhibited two distinct peaks: one at 91.05-737.02 nm with the highest concentration at 351 nm, and another at 1.42-23.3 μm with the highest concentration at 7.36 μm. The first peak showed similar mass distributions between conditions, while the second peak had a higher mass distribution in the extra-urban condition. For both conditions, TSP had the highest average mass concentration among the environmental parameters, while Inhalable dust had the highest among the occupational parameters. The mass concentration tended to increase with acceleration and decrease with deceleration, except during extra-urban driving when decelerating from 70-50 km/h, where the mass concentration increased. No statistically significant difference was observed in the mass concentration between the two conditions. The morphological analysis revealed irregular shapes and agglomeration of particles for both conditions, ranging from particles smaller than 100 nm to larger than 100 nm, with elemental compositions similar to those of diesel engines.

Comparing the number size distributions between the two engine types in urban driving conditions, both exhibited high concentrations in the 10-100 nm range, with diesel engines peaking in the 10-30 nm range and gasoline engines peaking above 30 nm. Significant differences in number concentrations were observed for most driving stages. For the mass size distribution, diesel engines had higher concentrations in the

10-100 nm range, while gasoline engines had higher concentrations above 100 nm. Statistically significant differences were found in the mass concentrations of TSP and Inhalable dust. The morphological analysis revealed the presence of both nucleation mode and accumulation mode particles, with gasoline engine particles generally larger in size. While the main elemental compositions were similar, no statistically significant differences were observed.

For extra-urban driving conditions, the number size distributions of both engine types exhibited high concentrations in the 10-100 nm range, with diesel engines peaking in the 10-30 nm range and gasoline engines peaking above 30 nm, similar to urban conditions. Significant differences in number concentrations were observed for most driving stages. For the mass size distribution, diesel engines had higher concentrations in the 10-100 nm range and particles larger than 351 nm, while gasoline engines had higher concentrations above 351 nm. Statistically significant differences were found in the mass concentrations of TSP, PM10, Inhalable dust, Thoracic dust, and Respirable dust. The morphological analysis revealed the presence of both nucleation mode and accumulation mode particles. While the main elemental compositions were similar, carbon and oxygen contents showed statistically significant differences between the two engine types.

School of Occupational Health, Safety and Environment
Academic Year 2023

Student's Signature.....
Advisor's Signature.....
Co-Advisor's Signature.....