ตัวคูณการปลดปล่อยของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน
จากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กและขนาดใหญ่

นายสุทธิชาน์ นิลฤทธิ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-3248-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EMISSION FACTORS OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS

FROM LIGHT AND HEAVY DUTY DIESEL VEHICLES

Mr. Sutthicha Nilrit

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Inter-Department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-14-3248-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ตัวคูณการปลดปล่อยของสารพอลิไซคลิกแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน จากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กและขนาดใหญ่
โดย	นายสุทธิชาน์ นิลฤทธิ์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. ทรรศนีย์ พฤกษาสิทธิ์
อาจารย์ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตุลวิทย์ สถาปนจารุ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ม.ร.ว. กัลยา ติงศภัทิย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. ทรรศนีย์ พฤกษาสิทธิ์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตุลวิทย์ สถาปนจารุ)

.... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

.... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. นพภาพร พานิช)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุทธิชาน์ นิลฤทธิ์: ตัวคูณการปลดปล่อยของสารพอลิไซคลิกแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ (EMISSION FACTORS OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS FROM LIGHT AND HEAVY DUTY DIESEL VEHICLES) อาจารย์ที่ปรึกษา: อ. ดร. ทรรศนีย์ พฤกษาสิทธิ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.ตุลวิทย์ สถาปนจารุ, 123 หน้า. ISBN 974-14-3248-8.

การศึกษาตัวคูณการปลดปล่อยสาร PAHs จากรถยนต์ดีเซลจำนวน 25 คัน แบ่งเป็นรถยนต์ดีเซลใหญ่ (HDDV) 13 คัน และรถยนต์ดีเซลเล็ก (LDDV) 12 คัน ทดสอบบนแท่นทดสอบด้วยระบบเก็บไอเสียปริมาตรคงที่ (CVS) และใช้รูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง (Particulate Matter, PM) ที่มีขนาดระหว่าง 0.18 ถึง 18 ไมครอน ด้วยเครื่อง Micro Orifice Uniform Deposit Impactor (MOUDI) และใช้หลอด PUF บรรจุสาร XAD-2 ที่ประกอบเข้ากับเครื่องดูดอากาศชนิดพกพา เพื่อเก็บตัวอย่างสาร PAHs ในสถานะก๊าซ นำตัวอย่างฝุ่นและก๊าซไปวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสาร PAHs ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี/แมสเสปคโตรเมทรี (GC/MS) นอกจากนี้ได้ตรวจวัดสาร PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (pPAHs) จากตัวอย่างไอเสีย ณ เวลาทดสอบจริงด้วยเครื่อง Photoelectric Aerosol Sensor (PAS 2000CE) จากผลการศึกษาพบว่ารถยนต์กลุ่ม HDDV ปลดปล่อยฝุ่นละอองมากกว่ากลุ่ม LDDV มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองรวมทุกขนาดเท่ากับ 518.5 ± 244.0 และ 245.2 ± 56.0 g/m^3 ตามลำดับ และกลุ่ม HDDV มีการกระจายตัวของฝุ่นละอองอยู่ใน 2 ช่วงคือ 0.1-1.0 และ 3.2-10 ไมครอน ส่วน LDDV มีรูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองปรากฏในทุกชั้นใกล้เคียงกัน ค่าเฉลี่ยของสาร pPAHs จากการตรวจวัดที่เวลาจริง พบว่า HDDV มีค่าเฉลี่ยมากกว่า LDDV และมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นลดลงตามรูปแบบการขับขี่ และชนิดของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นละอองที่ปลดปล่อยจาก HDDV และ LDDV ที่พบเป็นหลักได้แก่ Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF, BaP, BghiP, I(1,2,3-cd)P และ DahA ส่วนสาร PAHs หลักที่ปรากฏในสถานะก๊าซที่ปลดปล่อยจากรถทั้งสองชนิด ได้แก่ Naph, Acy, Ace, Flu, Phe, Anth, Fla และ Pyr ค่าเฉลี่ยสาร PAHs รวมทั้งก๊าซและฝุ่นละอองจาก HDDV และ LDDV เท่ากับ 9,092.1 ± 628.0 และ 2,959.9 ±1,208.2 $\mu g/m^3$ และพบค่าเฉลี่ย EF ของฝุ่นละอองรวมทุกขนาดจาก HDDV และ LDDV มีค่าเท่ากับ 223.0 ± 90.0 และ 83.3 ± 4.5 g/km ตามลำดับและ ค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs รวมทั้งก๊าซและฝุ่นละอองจาก HDDV และ LDDV มีค่าเท่ากับ 353.1 ± 134.0 และ 32.6 ± 11.9 mg/km ตามลำดับ

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนิสิต..

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..

4689172720 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: EMISSION FACTORS / PAHs / DIESEL VEHICLES

SUTTHICHA NILRIT :EMISSION FACTORS OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS FROM HEAVY AND LIGHT DUTY DIESEL VEHICLES. THESIS ADVISOR: TASSANEE PRUEKSASIT, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR: ASSIST. PROF. TULAWIT SATHAPANACHAROO, Ph.D., 123 pp. ISBN 974-14-3248-8.

Twenty five diesel vehicles, 13 heavy duty diesel vehicles (HDDV) and 12 light duty diesel vehicles (LDDV), were tested using chassis dynamometer operated with constant volume sampler system (CVS) and were driven through the Bangkok Driving Cycle in order to study their emission factors. In exhaust of tested vehicles, particulate matters (PM) in different size ranges between 0.18 - 18 micron were collected by Micro Orifice Uniform Dispersion Impactor (MOUDI), and gas samples were adsorbed with XAD-2 resin in PUF tube accompanied with personal air sampler. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) adsorbed on PM (pPAHs) and those existing in gas samples were quantitatively analyzed by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). Real-time pPAHs concentration was also measured using Photoelectric Aerosol Sensor (PAS 2000CE). For total PM emissions, HDDV samples generated significantly higher than those of LDDV with the average values of 245.2 ± 56.0 and 518.5 ± 244.0 g/m^3, respectively. PM size distributions of HDDV were found to be broadly bimodal which mainly distributed in the ranges of 0.1 – 1.0 and 3.2 – 10 micron, while the result of LDDV show widely distribution in all size ranges. The average real time pPAHs concentrations measured from HDDV were relatively higher than those of LDDV, and the concentration profiles of both vehicle types corresponded to the driving cycles. Dominant species of PAHs adsorbed on PM emitted from both HDDV and LDDV were Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF, BaP, BghiP, I(1,2,3-cd)P, and DahA, whereas Naph, Acy, Ace, Flu, Phe, Anth, Fla, and Pyr were predominantly found in the gas samples. The average of total PAHs concentrations (i.e. gas and particulate phases of PAHs) determined from HDDV and LDDV were 9,092.1 ± 628.0 and 2,959.9 ± 1,208.2 g/m^3, respectively. Emission factors of total PM for HVVD and LDDV were 223.0 ± 90.0 and 83.3 ± 4.5 g/km, respectively. For total PAHs, emission factors of 353.1 ± 134.0 for HDDV and of 32.6 ± 11.9 mg/km for LDDV could be obtained.

Field of study Environmental Science
Academic year 2005

Student's signature....Sutthicha Nilrit....
Advisor's signature....T. Prueksasit....
Co-advisor's signature....[signature]....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประสบความสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีด้วยความช่วยเหลือและสนับสนุนจากผู้เกี่ยวข้องและมีส่วนร่วมหลายฝ่าย ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ทรรศนีย์ พฤกษาสิทธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตุลวิทย์ สถาปนจารุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขรายละเอียดต่างๆ รวมทั้งให้กำลังใจเสมอมา จนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณ ผู้ชวยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ รองศาสตราจารย์วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ และรองศาสตราจารย์ ดร. นพภาภร พานิช ที่ให้ความกรุณาสละเวลาเพื่อเป็นกรรมการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. Yamamoto Kazuo ซึ่งให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ และทุนสนับสนุนจากโครงการ Risk evaluation of particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (pPAHs) at roadside air environment in Bangkok by time-series analysis and its application to urban traffic management ในการเก็บตัวอย่างจากห้องปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณผู้ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ และหน่วยงานต่างๆ ที่ได้อำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ ได้แก่ ฝ่ายมลพิษทางอากาศจากยานพาหนะ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติแลละสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะ เจ้าหน้าที่ทุกๆ ท่าน ที่ให้คำแนะนำและการดูแลขณะทำงานในการเก็บตัวอย่างจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

และเนื่องจากการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยการสนับสนุนทุนในการศึกษาวิจัยด้านสิ่งแวดล้อม ของโรงแรมบัณยันทรี สาขา กรุงเทพมหานคร และทุนอุดหนุนการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธีกุล ที่ให้คำปรึกษาและอนุเคราะห์ อุปกรณ์และเครื่องมือจากภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ และครอบครัว ที่กรุณาให้การสนับสนุนเตรียมความพร้อมด้านการศึกษา และเป็นกำลังใจอย่างดียิ่ง ถึงแม้ว่า คุณพ่อจะล่วงลับและจากไปในระหว่างการศึกษาวิจัย จนทำให้ไม่สามารถร่วมรับทราบผลการศึกษาได้นั้น แต่ท่านก็เป็นแรงผลักดันอันสำคัญเสมอมาจนประสบความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณครับ คุณพ่อ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.. ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.. จ

กิตติกรรมประกาศ... ฉ

สารบัญ... ช

สารบัญตาราง.. ฌ

สารบัญรูป... ฎ

รายการคำย่อ.. ฑ

บทที่

1. บทนำ.. 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.. 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย... 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา.. 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.. 2

2 . เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ปัญหามลพิษทางอากาศจากยานพาหนะ.. 3

2.2 ที่มาของสารมลพิษทางอากาศจากยานพาหนะ...................................... 4

2.3 การทำงานและการปลดปล่อยไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล...................... 6

2.4 กระบวนการเกิดไอเสียและการปลดปล่อยไอเสียจากรถยนต์ดีเซล.......... 8

2.5 การศึกษาการปลดปล่อยไอเสียจากรถยนต์ดีเซล.................................. 12

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยไอเสียจากรถยนต์.................................13

2.7 การศึกษาตัวคูณการปลดปล่อยมลพิษ (Emission Factors, EF)................21

2.8 สาร PAHs และคุณสมบัติทั่วไป.. 23

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.. 26

3. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย.. 31

3.1 สถานที่และการเก็บตัวอย่างไอเสียจากยานพาหนะ.............................. 31

3.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการศึกษา 31

3.3 ขั้นดำเนินการศึกษา 43

3.4 ขั้นวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล 53

หน้า

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ……………………………………………………………...…. 54
4.1 การพิจารณาข้อมูลเบื้องต้นของรถยนต์ที่ใช้ทดสอบ……………………………54
4.2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ……………………………………55
4.3 การกระจายตัว (Size Distribution, SD) ของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ………………59
4.4 ผลการเก็บสาร pPAHs ที่เวลาจริง (real time) จากเครื่อง PAS …………………61
4.5 ผลวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs จากเครื่อง GC/MS ……………………………69
4.6 การหาค่าตัวคูณการปลดปล่อยของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ และสาร PAHs
ในฝุ่นละอองและก๊าซ …………………………………………………………… 93
5. สรุปและข้อเสนอแนะ ………..…........................... 103
5.1 สรุปผลการศึกษา ....….. 106
5.2 ข้อเสนอแนะ..……... 107
รายการอ้างอิง……………………………………………………………………....... 106
ภาคผนวก……………………………………………………………………….......... 109
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์……………………………………………………….…...... 128

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนการระบายสารมลพิษในรถประเภทต่างๆ (คิดเป็นร้อยละ)............................ 5
ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของ Bangkok cycle ของรถยนต์ดีเซล ……………………………………18
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบสารมลพิษที่ปลดปล่อยจากรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่………………….. 20
ตารางที่ 2.4 สาร PAHs จากไอเสียรถยนต์ ……………………………………………………….. 24
ตารางที่ 3.1 แสดงชั้นขนาดต่างๆ ในการคัดแยกฝุ่นละออง 34
ตารางที่ 3.2 ชนิดรถยนต์ดีเซลใหญ่ (HDDV) ที่ทำการทดสอบ .. ………………………………39
ตารางที่ 3.3 ชนิดรถยนต์ดีเซลเล็ก (LDDV) ที่ทำการทดสอบ ………………………………..40
ตารางที่ 3.4 การแบ่งกลุ่มรถยนต์ในการทดสอบตามเลขระยะทางและอายุเครื่องยนต์ 41
ตารางที่ 3.5 สภาวะในการทดสอบรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ (HDDV)…..………………………42
ตารางที่ 3.6 สภาวะในการทดสอบรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก (LDDV)……………………………..42
ตารางที่ 3.7 พารามิเตอร์ในการเก็บตัวอย่างไอเสียเพื่อการวิเคราะห์……………………………..45
ตารางที่ 3.8 สภาวะการทำงานของเครื่อง GC/MS ……………………………………………….47
ตารางที่ 3.9 เวลาและความเข้มข้นต่ำสุดของสาร PAHs 16 ชนิด Internal standard และ surrogate standard ที่สามารถวิเคราะห์ได้ .... … … … … … … .50
ตารางที่ 4.1 ปริมาณรวมของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากรถยนต์ดีเซลใหญ่และดีเซลเล็ก…………58
ตารางที่ 4.2 การตกสะสมของฝุ่นละอองในชั้นขนาดต่างๆ ………………………………………61
ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นรวมและค่าเฉลี่ยของสาร pPAHs จากรถชนิด HDDV และ LDDV……69
ตารางที่ 4.4 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด >18 µm……………………71
ตารางที่ 4.5 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 10-18 µm…………………72
ตารางที่ 4.6 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 5.2-10 µm…………………73
ตารางที่ 4.7 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 3.2-5.2 µm………………74
ตารางที่ 4.8 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 1.8-3.2 µm………………75
ตารางที่ 4.9 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 1.0-1.8 µm………………76
ตารางที่ 4.10 าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.56-1.0 µm………………77
ตารางที่ 4.11 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.32-0.56 µm……………78
ตารางที่ 4.12 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.18-0.32 µm……………79
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด <0.18 µm…………80
ตารางที่ 4.14 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด >18 µm…………………81

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 4.15 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 10-18 μm..................82
ตารางที่ 4.16 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 5.2-10 μm..................83
ตารางที่ 4.17 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 3.2-5.2 μm..................84
ตารางที่ 4.18 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 1.8-3.2 μm..................85
ตารางที่ 4.19 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 1.0-1.8 μm..................86
ตารางที่ 4.20 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.56-1.0 μm...............87
ตารางที่ 4.21 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.32-0.56 μm...............88
ตารางที่ 4.22 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.18-0.32 μm...............89
ตารางที่ 4.23 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด <.0.1 μm.....................90
ตารางที่ 4.24 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในสถานะก๊าซกลุ่ม HDDV 91
ตารางที่ 4.25 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในสถานะก๊าซกลุ่ม LDDV 92
ตารางที่ 4.26 เปรียบเทียบความเข้มข้นรวมของสาร PAHs จากรถ HDDV และ LDDV............92
ตารางที่ 4.27 ค่า EF จากรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่และขนาดเล็ก 93
ตารางที่ 4.28 ค่าเฉลี่ย EF ของฝุ่นละอองจากรถยนต์ดีเซลใหญ่และดีเซลเล็ก........................94
ตารางที่ 4.29 เปรียบเทียบค่า EF ของฝุ่นละออง...95
ตารางที่ 4.30 ค่า EF ของสาร pPAHs จากรถกลุ่ม HDDV และ LDDV..............................97
ตารางที่ 4.31 ค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs ในสถานะฝุ่นละอองจากกลุ่ม HDDV.....................99
ตารางที่ 4.32 ค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs ในสถานะฝุ่นละอองจากกลุ่ม LDDV..................99
ตารางที่ 4.33 ค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs ในสถานะก๊าซจากกลุ่ม HDDV และ LDDV............101
ตารางที่ 4.34 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย EF สาร PAHs จากรถ HDDV และ LDDV 102

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

รูปที่ 2.1 มลพิษที่สำคัญ 5 ประเภทในเขตเมือง 3

รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของยานพาหนะที่ใช้บนถนนในเขตกรุงเทพมหานคร 4

รูปที่ 2.3 การเพิ่มจำนวนของยานพาหนะตั้งแต่ปี ค.ศ. 1992-2003 6

รูปที่ 2.4 การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 6

รูปที่ 2.5 อนุภาคฝุ่นละอองจากรถยนต์ดีเซล 9

รูปที่ 2.6 การดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยของสารไฮโดรคาร์บอนและซัลเฟตจากการเผาไหม้..10

รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนรูปร่างของไอเสียรถยนต์ 10

รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงของไอเสียจากการเผาไหม้จากท่อไอเสียสู่สิ่งแวดล้อม........ 11

รูปที่ 2.9 E.C.E driving mode ของยุโรป 14

รูปที่ 2.10 Japan 10 mode driving cycle ของประเทศญี่ปุ่น........14

รูปที่ 2.11 Bangkok driving mode เดือนตุลาคม-ธันวาคม ปี 1990 14

รูปที่ 2.12 Bangkok Driving Cycle ของรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ (HDDV)........16

รูปที่ 2.13 Bangkok Driving Cycle ของรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก (LDDV)........17

รูปที่ 2.14 ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยไอเสีย 19

รูปที่ 2.15 การทดสอบไอเสียแบบ Chassis Dynamometer Test 19

รูปที่ 2.16 การใช้ remote sensing ทดสอบการปลดปล่อยไอเสีย 20

รูปที่ 2.17 ค่าเฉลี่ย EF จากชนิดรถยนต์ที่ต่างกัน........22

รูปที่ 2.18 องค์ประกอบของ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย 23

รูปที่ 2.19 ขนาดของสาร PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย........24

รูปที่ 3.1 ห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะชนิดดีเซลเล็กและดีเซลใหญ่ 31

รูปที่ 3.2 ระบบการเก็บตัวอย่างห้องปฏิบัติการรถยนต์ดีเซลเล็กและดีเซลใหญ่ 32

รูปที่ 3.3 ท่อเหล็กอลูมิเนียมสำหรับตัวอย่างไอเสียจากระบบ........33

รูปที่ 3.4 การเก็บตัวอย่างไอเสียจากระบบ CVS 33

รูปที่ 3.5 อุปกรณ์คัดขนาดฝุ่นละออง (MOUDI)........ 34

รูปที่ 3.6 ชุดเก็บตัวอย่างหลอด PUF และเครื่อง personal air sampler........35

รูปที่ 3.7 เครื่อง PAS 2000CE และหลักการทำงาน 35

รูปที่ 3.8 แผนการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ในไอเสียรถยนต์ 38

รูปที่ 3.9 Bangkok driving cycle ของรถยนต์ดีเซลใหญ่ ที่ใช้ในการทดสอบ 43

รูปที่ หน้า

รูปที่ 3.10 Bangkok driving cycle ของรถยนต์ดีเซลเล็ก ที่ใช้ในการทดสอบ................................43
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างฝุ่นละอองและก๊าซที่เก็บจากระบบตรวจวัดมลพิษ 44
รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการสกัดสาร PAHs จากตัวอย่างไอเสีย 46
รูปที่ 3.13 เครื่อง GC/MS สำหรับวิเคราะห์สาร PAHs.. 46
รูปที่ 3.14 โครมาโตรแกรมของสาร PAHs 25 ชนิด 49
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบฝุ่นแต่ละขนาดของกลุ่มรถยนต์ดีเซลใหญ่ ……………………………55
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบฝุ่นแต่ละขนาดของกลุ่มรถยนต์ดีเซลเล็ก... ...56
รูปที่ 4.3 size distribution ของกลุ่ม HDDV... 59
รูปที่ 4.4 size distribution ของกลุ่ม LDDV... 60
รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของสาร pPAHs เปรียบเทียบกับ BKK driving cycle
กลุ่ม HDDV ชนิด BUSA..62
รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของสาร pPAHs เปรียบเทียบกับ BKK driving cycle
กลุ่ม HDDV ชนิด BUSB... .... .63
รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของสาร pPAHs เปรียบเทียบกับ BKK driving cycle
กลุ่ม HDDV ชนิด BUSC 64
รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของสาร pPAHs เปรียบเทียบกับ BKK driving cycle
กลุ่ม HDDV ชนิด EURO-II, NGV, Truck..65
รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นของสาร pPAHs เปรียบเทียบกับ BKK driving cycle ชนิด PUA4..............66
รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นของสาร pPAHs เปรียบเทียบกับ BKK driving cycle
กลุ่ม LDDV ชนิด PUB..67
รูปที่ 4.11 ความเข้มข้นของสาร pPAHs เปรียบเทียบกับ BKK driving cycle
กลุ่ม LDDV ชนิด VAN 68
รูปที่ 4.12 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด >18 µm กลุ่ม HDDV...70
รูปที่ 4.13 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 10-18 µm กลุ่ม HDDV.....................................71
รูปที่ 4.14 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 5.2-10 µm กลุ่ม HDDV...................................72
รูปที่ 4.15 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 3.2-5.2 µm กลุ่ม HDDV...................................73
รูปที่ 4.16 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 1.8-3.2 µm กลุ่ม HDDV...................................74
รูปที่ 4.17 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 1.0-1.8 µm กลุ่ม HDDV...................................75
รูปที่ 4.18 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.56-1.0 µm กลุ่ม HDDV................................76
รูปที่ 4.19 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.32-0.56 µm กลุ่ม HDDV..............................77

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.20 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.18-0.32 μm กลุ่ม HDDV.................................78
รูปที่ 4.21 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด <0.18 μm กลุ่ม HDDV.......................................79
รูปที่ 4.22 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด >18 μm กลุ่ม LDDV..80
รูปที่ 4.23 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 10-18 μm กลุ่ม LDDV.......................................81
รูปที่ 4.24 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 5.2-10 μm กลุ่ม LDDV.....................................82
รูปที่ 4.25 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 3.2-5.2 μm กลุ่ม LDDV....................................83
รูปที่ 4.26 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 1.8-3.2 μm กลุ่ม LDDV....................................84
รูปที่ 4.27 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 1.0-1.8 μm กลุ่ม LDDV....................................85
รูปที่ 4.28 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.56-1.0 μm กลุ่ม LDDV..................................86
รูปที่ 4.29 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.32-0.56 μm กลุ่ม LDDV................................87
รูปที่ 4.30 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.18-0.32 μm กลุ่ม LDDV................................88
รูปที่ 4.31 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด <0.18 μm กลุ่ม LDDV.......................................89
รูปที่ 4.32 ปริมาณสาร PAHs หลอด PUF ซึ่งบรรจุสาร XAD-2 กลุ่ม HDDV.................................90
รูปที่ 4.33 ปริมาณสาร PAHs หลอด PUF ซึ่งบรรจุสาร XAD-2 กลุ่ม LDDV.................................91
รูปที่ 4.34 ค่าเฉลี่ย EF ของฝุ่นละอองของรถยนต์ดีเซลใหญ่และดีเซลเล็ก....................................94
รูปที่ 4.35 ค่า EF ของสาร pPAHs จากรถกลุ่ม HDDV และ LDDV... .96
รูปที่ 4.36 ค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs จากรถกลุ่ม HDDV.. 99
รูปที่ 4.37 ค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs จากรถกลุ่ม HDDV.. ... ... .100
รูปที่ 4.38 ค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs ในสถานะก๊าซ... 101

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตัวย่อ

μg	ไมโครกรัม
$\mu g/m^3$	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
μm	ไมโครเมตร
°C	องศาเซลเซียส
Ace	อะซีแนฟทีน (Acenaphthene)
Acy	อะซีแนฟไทลีน (Acenaphtylene)
Anth	แอนทราซีน (Antracene)
BaA	เบนโซ (เอ) แอนทราซีน (Benzo (a) anthracene)
BaP	เบนโซ (เอ) ไพรีน (Benzo (a) pyrene)
BbF	เบนโซ (บี) ฟลูออแรนทีน (Benzo (b) fluoranthene)
BghiP	เบนโซ (จี, เอช, ไอ) ไพรีน (Benzo (g, h, i) pyrene)
BkF	เบนโซ (เค) ฟลูออแรนทีน (Benzo (k) fluoranthene)
Chr	ไครซีน (Chrysene)
CO	คาร์บอนมอนอกไซด์
DahA	ไดเบนซ์ (เอ, เอช) แอนทราซีน (Dibenz (a, h) Anthracene)
Flu	ฟลูออรีน (Fluorene)
Fla	ฟลูออแรนทีน (Fluoranthene)
GC/MS	ก๊าซโครมาโตกราฟี/แมสสเปคโตรเมทรี (Gas Chromatography/Mass Spectrometry)
HDDV	รถยนต์ดีเซลใหญ่ (Heavy-Duty Diesel vehicle)
I(1,2,3-cd)P	อินดีโน (1,2,3-ซี ดี) ไพรีน (Indeno (1,2,3 –cd) pyrene)
km/hr	กิโลเมตรต่อชั่วโมง
LDDV	รถยนต์ดีเซลเล็ก (Light Duty Diesel Vehicles)
l/min	ลิตรต่อนาที
m/s	เมตรต่อวินาที
millisecond	มิลลิวินาที
ng/m^3	นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
nm	นาโนเมตร
Naph	แนฟทาลีน (Naphthalene)
NO_2	ไนโตรเจนไดออกไซด์
N_2O	ไนตรัสออกไซด์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NO_X	ออกไซด์ของไนโตรเจน
PAHs	สารพอลิไซคลิกแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)
PCD	กรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department)
Phe	ฟีแนนทรีน (Phenanthrene)
PM	อนุภาคฝุ่นละออง (Particulate Matter)
pPAHs	สารพอลิไซคลิกแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย
PUF	Polyurethane foam
Pyr	ไพรีน (Pyrene)
RH	ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)
SO_2	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide)
U.S. EPA	องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environment Protection Agency)
VOCs	สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds)
XAD-2	Styrene-divinylbenzene polymer beads

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมลพิษทางอากาศในเขตเมืองส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของยานพาหนะที่มีปริมาณและความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น มลพิษที่ถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของไอเสีย (exhaust gas) ซึ่งประกอบด้วยก๊าซและฝุ่นละอองชนิดต่างๆ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_X) สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon compound) สารตะกั่ว (Pb) ควันดำ ควันขาว เป็นต้น และสารมลพิษอีกชนิดที่สำคัญคือ สารพอลิไซคลิกแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHs) ซึ่งเป็นกลุ่มของสารเคมีหลายชนิดและจัดเป็นสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอน ที่มีลักษณะเป็นวงเชื่อมต่อกันตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป สารกลุ่มนี้จัดเป็นสารก่อมะเร็งและร่วมก่อมะเร็ง และถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของสารระเหยและอนุภาคฝุ่นละออง สารมลพิษจำพวกอนุภาคฝุ่นละอองเป็นสารมลพิษหลักที่พบในปริมาณสูงบริเวณเขตเมือง มีแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จากยานพาหนะชนิดต่างๆ โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งชนิดของยานพาหนะได้เป็น 4 ประเภทคือ รถจักรยานยนต์ รถยนต์เบนซิน รถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก และรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ ซึ่งยานพาหนะประเภทรถยนต์ดีเซลมีสัดส่วนและตัวคูณการปลดปล่อยมลพิษของสาร PAHs สูงกว่ารถยนต์ประเภทอื่น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยสาร PAHs ออกสู่บรรยากาศในเขตเมือง (Lee และคณะ, 1995)

การศึกษาการปลดปล่อยมลพิษจากยานพาหนะมีหลายวิธี เช่น การทดลองวัดโดยตรง (direct measurement) การวิเคราะห์สมดุลมวล (mass balance) การศึกษาข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) รวมถึงการวิเคราะห์เชื้อเพลิงที่ใช้ (fuel analysis) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการปลดปล่อยมลพิษในรูปของ ตัวคูณการปลดปล่อยของสารมลพิษ (Emission Factors, EF) โดยในต่างประเทศได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการหาค่า EF ของสารมลพิษจากไอเสียยานพาหนะ เช่น CO, NO_X, SO_2, VOCs รวมถึงสาร PAHs ด้วย แต่ในประเทศไทยได้มีการศึกษาข้อมูลของค่า EF อยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การศึกษา EF ของสาร PAHs

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ศึกษาหาค่า EF ของสาร PAHs จากยานพาหนะ 2 ชนิด คือ รถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก และรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ ซึ่งค่า EF ของสาร PAHs นั้นได้มาจากการทดลองในห้องปฏิบัติการที่มีการจำลองสภาวะการทำงานให้เสมือนจริง และเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ เช่น อายุเครื่องยนต์ ระยะทาง ลักษณะการขับขี่ ชนิดเชื้อเพลิง เป็นต้น จากการศึกษาจะได้ข้อมูลของค่า EF ของสาร PAHs เป็นปริมาณความเข้มข้นต่อหน่วยระยะทางต่อคัน ผลการศึกษา

ที่ได้จะมีความสำคัญในการสนับสนุนข้อมูลการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากรถยนต์ เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการศึกษาคุณภาพอากาศ และใช้เป็นแนวทางในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมเมืองได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) ศึกษาการปลดปล่อยฝุ่นละอองขนาดน้อยกว่า 0.18 ไมครอน ถึงมากกว่า 18 ไมครอน จากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กและขนาดใหญ่

2) เพื่อหาตัวคูณการปลดปล่อยของสารพอลิไซคลิกแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) จากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กและขนาดใหญ่

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1) ศึกษาตัวคูณการปลดปล่อย (Emission Factors) ของสาร PAHs จากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ โดยมีตัวอย่างรถที่นำมาศึกษาดังนี้

- รถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก จำนวน 12 คัน ได้แก่ รถปิกอัพ รถตู้
- รถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ จำนวน 13 คัน ได้แก่ รถบรรทุก รถโดยสารประจำทาง เป็นต้น

2) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยสาร PAHs ได้แก่ ระยะทาง ลักษณะเครื่องยนต์ที่พัฒนาตามเกณฑ์มาตรฐานไอเสียรถยนต์

3) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวคูณการปลดปล่อยของสาร PAHs จากไอเสียของรถยนต์ 16 ชนิด ซึ่งเป็นสาร PAHs มาตรฐานจาก ที่กำหนดโดย U.S. EPA โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่อง Micro Orifice Uniform Deposit Impactor (MOUDI) เก็บตัวอย่างก๊าซด้วยวิธี common sorbent materials ด้วยสาร XAD-2 และวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ในตัวอย่างโดยวิธีทางเคมี และทำการเปรียบเทียบกับความเข้มข้นทั้งหมดของสาร PAHs ที่ตรวจวัดโดยเครื่อง real-time monitor หรือ PAS 2000CE ในขณะเดียวกับที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองดังกล่าว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เป็นการสร้างข้อมูลเบื้องต้นของค่าตัวคูณการปลดปล่อยของสาร PAHs จากไอเสียของยานพาหนะชนิดรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก และรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการคาดคะเนปริมาณความเข้มข้น และการกระจายตัวของสาร PAHs ที่พบในบรรยากาศจากการจราจรโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2) ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวคูณการปลดปล่อยของสาร PAHs จากตัวอย่างก๊าซ ฝุ่นละออง และตัวอย่างที่ตรวจวัดด้วยเครื่อง PAS

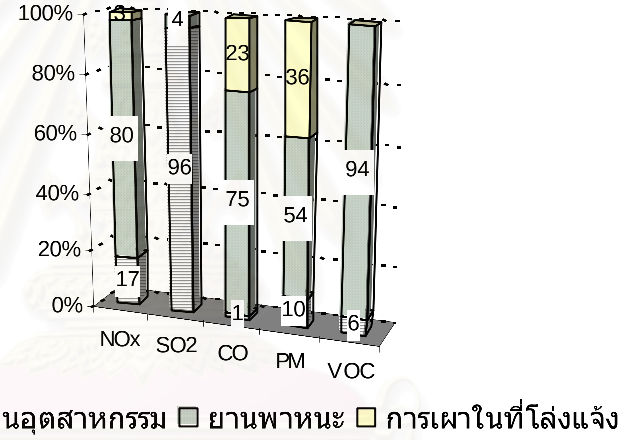
3) สามารถนำข้อมูลตัวคูณการปลดปล่อยของสาร PAHs มาพิจารณาประกอบในการกำหนดมาตรการในการลดผลกระทบของสารดังกล่าว ซึ่งถือว่าเป็นแนวทางหนึ่งในการป้องกันและแก้ไขปัญหามลภาวะทางอากาศจากยานพาหนะ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

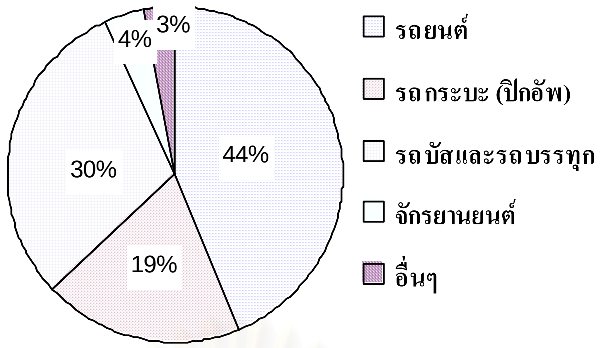
2.1 ปัญหามลพิษทางอากาศจากยานพาหนะ

การศึกษาปัญหาสิ่งแวดล้อมเมืองในประเด็นปัญหาด้านมลพิษทางอากาศ บริเวณพื้นที่ที่เป็นศูนย์กลางการเจริญเติบโตหลักของประเทศไทยดังเช่นกรุงเทพมหานคร ซึ่งได้ประสบปัญหามลพิษมาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาหลายปี พบว่า มลพิษทางอากาศส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากมายานพาหนะ โรงงานอุตสาหกรรม การเผาในที่โล่งแจ้ง เป็นต้น ซึ่งกำเนิดที่ปล่อยสารมลพิษทางอากาศที่สำคัญได้แก่ NO_x, CO, SO_2, Particulate Matter และ VOCs โดยมีสัดส่วนแหล่งปลดปล่อยจากยานพาหนะมีเปอร์เซ็นต์สูงที่สุด โดยมีสัดส่วนการปลดปล่อย ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 มลพิษที่สำคัญ 5 ประเภทในเขตเมือง (World Bank, 2002)

ยานพาหนะซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่และมีจำนวนมากในเขตเมือง ถือเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญที่ปลดปล่อยมลพิษในรูปของไอเสีย (exhaust) ซึ่งประกอบด้วยสารมลพิษที่สำคัญอาทิเช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_X) ฝุ่นละออง (Particulate Matter, PM) และสารระเหยชนิดต่างๆ (Volatile Organic Compound, VOC) เป็นต้น ยานพาหนะเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองที่สำคัญ และในไอเสียนั้นมีสารอันตรายอยู่มากมายและมีบางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogens) ยานพาหนะสามารถแบ่งได้หลายชนิดประกอบด้วยรถยนต์ รถประจำทาง รถบรรทุก รถจักรยานยนต์ และรถตู้ แต่ละชนิดยังมีลักษณะที่แตกต่างกันตามปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดและขนาดของเครื่องยนต์ ชนิดการใช้เชื้อเพลิง ชนิดการออกแบบ เป็นต้น รถยนต์ที่จัดเป็นเครื่องยนต์ดีเซล ได้แก่ รถบรรทุก รถโดยสารทั้งขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และรถปิกอัพ ซึ่งปล่อยไอเสียจำพวกก๊าซและฝุ่นละอองเป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของรถยนต์ชนิดต่างๆ ในเขตกรุงเทพมหานคร สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของยานพาหนะที่ใช้บนถนนในเขตกรุงเทพมหานคร (กรมการขนส่งทางบก, 2545)

2.2 ที่มาของสารมลพิษทางอากาศจากยานพาหนะ

ยานพาหนะชนิดต่างๆ ที่ถือเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษในอากาศ ซึ่งได้แก่ รถไฟ รถยนต์ เรือยนต์ เครื่องบิน เป็นต้น แต่แหล่งกำเนิดมลสารที่สำคัญในเขตเมืองหรือบริเวณชุมชนที่มีผู้คนหนาแน่น ได้แก่ รถยนต์ชนิดต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งได้ 4 ประเภทคือ รถจักรยานยนต์ รถยนต์เบนซิน รถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก และรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ แต่ละประเภทมีลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์ที่มีการสันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากเครื่องยนต์ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ ผลจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ ไอน้ำ (H_2O) หากมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ที่เหลือจากการเผาไหม้ดังแสดงในปฏิกิริยาการเผาไหม้ นอกจากนี้ในน้ำมันยังมีสารเจือปนอื่นที่สำคัญ คือ ซัลเฟอร์ (Sulfur) และไนโตรเจน (Nitrogen) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_X) อย่างไรก็ตามเนื่องจากในอากาศที่เข้าไปในปฏิกิริยาการสันดาปมีไนโตรเจนถึงร้อยละ 78 จึงทำให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจนได้มาก นอกจากนี้สารบางชนิดที่ใช้เติมเพื่อเพิ่มคุณลักษณะของน้ำมันก็จะถูกระบายออกมาด้วย เช่น สารตะกั่ว และยังมีไฮโดรคาร์บอนในสภาพก๊าซระบายปนออกมากับไอเสีย ซึ่งอัตราการระบายออกจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ลักษณะของเครื่องยนต์ชนิดต่างๆ ชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้ การปรับแต่งและสภาพของเครื่องยนต์ วิธีการขับขี่ของแต่ละคน เป็นต้น

ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิง (วงศ์พันธ์ และคณะ, 2543)

เผาไหม้สมบูรณ์: $C_XH_Y + (X + 0.25Y)\,O_2 \longrightarrow xCO_2 + 0.5y\,H_2O$

เผาไหม้ไม่สมบูรณ์: $C_XH_Y + O_2 \longrightarrow CO + \text{Hydrocarbon (fraction)}$

รถยนต์มีจังหวะการทำงานของระบบเครื่องยนต์ (Stroke Cycle) 2 แบบ คือ 2 จังหวะ และ 4 จังหวะ ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง (Fuel Type) ทั้งน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล เมื่อพิจารณาการทำงานและระบบการเผาไหม้ของเครื่องยนต์พบว่ามีแหล่งกำเนิดมลพิษ 3 แหล่ง คือ การระเหยจากส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ กระบอกลูกสูบ (blow by) และการระบายออกจากท่อไอเสีย สารมลพิษที่เป็นอันตรายและมีปริมาณมากที่สุด อันเป็นผลมาจากผลการสันดาปของเชื้อเพลิงและสารอื่นๆ เช่น สารไฮโดรคาร์บอนบางส่วนที่ยังไม่ถูกเผาไหม้และถูกเผาไหม้แล้วบางส่วน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มาจากกการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดจากการเผาไหม้ของไนโตรเจน (ซึ่งมีปรากฏอยู่เดิมในอากาศที่เข้าไปสันดาป) กับอากาศที่อุณหภูมิสูงและสารตะกั่วที่ใช้เติมในน้ำมันเบนซิน และยังมีควันดำอันเป็นลักษณะเฉพาะสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลอีกด้วย นอกจากนี้ ความแตกต่างของเครื่องยนต์ ชนิดเชื้อเพลิงและเงื่อนไขเฉพาะของแต่ละเครื่องยนต์ทำให้ปริมาณสารมลพิษเหล่านี้ปลดปล่อยมามีความแตกต่างกันออกไป ดังตารางที่ 2.1

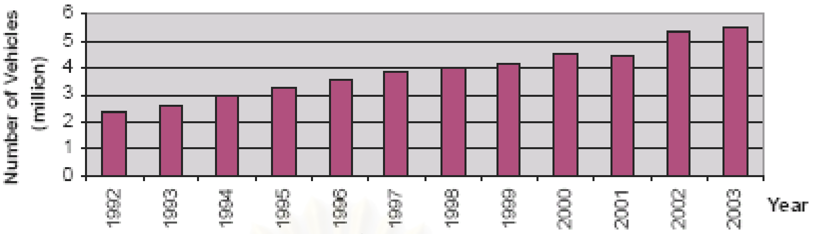
ตารางที่ 2.1 สัดส่วนมลพิษจากรถประเภทต่างๆ (คิดเป็นร้อยละ)

	เบนซิน 4 จังหวะ			เบนซิน 2 จังหวะ			ดีเซล 4 จังหวะ		
	CO	HC	NO_x	CO	HC	NO_x	CO	HC	NO_x
Exhaust gas	100	55	100	100	80	100	100	99	100
Blow by gas	--	25	--	--	--	--	--	1	--
Fuel Evap. Gas	--	20	--	--	20	--	--	--	--

ที่มา: พูลพร, 2537.

มลพิษจากยานพาหนะในเขตเมืองดังเช่น กรุงเทพมหานคร มีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปี ตามจำนวนยานพาหนะที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสำรวจโดยกรมการขนส่งทางบกตั้งแต่ปี ค.ศ. 1992-2003 พบว่ามีจำนวนรถเพิ่มขึ้นจาก 2 ล้านคันเป็น 5 ล้านคัน ดังรูปที่ 2.3 ส่งผลให้บริเวณถนนมีปริมาณมลพิษมากกว่าบริเวณที่พักอาศัย ซึ่งมีอัตราการใช้งานประจำวันสูง โดยเฉพาะรถยนต์ดีเซล เช่น รถประจำทาง รถบัส รถตู้ รถปิกอัพ ที่ปลดปล่อยมลพิษในรูปของไอเสียที่เป็นฝุ่นละอองและควันดำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) จากผลการสำรวจมลพิษจากรถยนต์ดีเซลชนิดต่างๆ พบว่า รถมินิบัสและรถโดยสารร่วมประจำทางมีควันดำและฝุ่นละอองเกินมาตรฐาน โดยสาเหตุมาจากการนำรถที่มีสภาพทรุดโทรมมาปรับปรุงเพื่อให้บริการ โดยสภาพเครื่องยนต์มีการปรับปรุงไม่สมบูรณ์และไม่ได้มาตรฐาน ถึงแม้ว่ารถมินิบัสจะมีเครื่องยนต์ขนาดเล็กแต่ก็มีปริมาณมลพิษสูง เนื่องจากสภาพของเครื่องยนต์ที่มีการเสื่อมโทรมเพราะใช้งานหนัก สำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่และรถบรรทุกซึ่งมีเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ มีการใช้เชื้อเพลิงและพลังงานสูง หากประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ไม่ดี ก็จะมีการปลดปล่อยมลพิษสูงด้วย และรถยนต์ประเภทรถยนต์ดีเซลจะมีการปลดปล่อยฝุ่นที่มีขนาดเล็ก

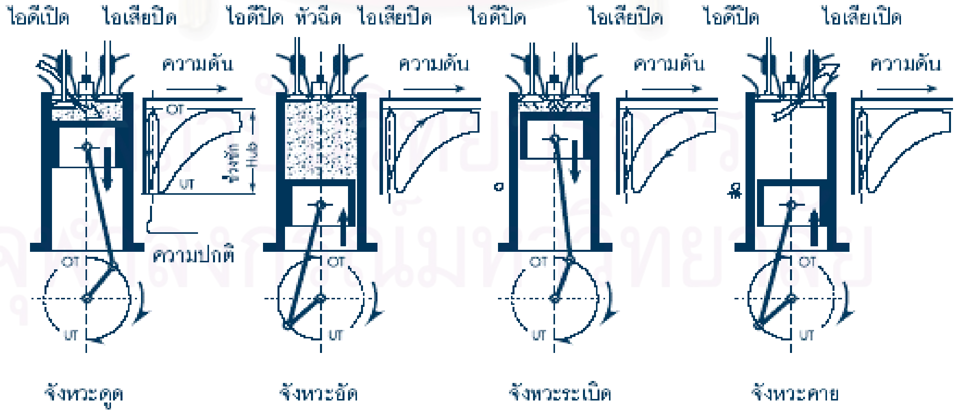
โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยอย่างมีนัยสำคัญ คือ อายุเครื่องยนต์ ระยะทางการวิ่ง การบำรุงรักษา เป็นต้น



รูปที่ 2.3 การเพิ่มจำนวนของยานพาหนะตั้งแต่ปี ค.ศ. 1992-2003 (กรมขนส่งทางบก, 2545)

2.3 การทำงานและการปลดปล่อยไอเสียจากรถยนต์ดีเซล

2.3.1 **หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล** คือ กระบอกสูบจะดูดอากาศที่ไม่มีน้ำมันเชื้อเพลิงผสมอยู่ ในจังหวัดอัดอากาศจะมีแต่อากาศอย่างเดียว ส่วนน้ำมันดีเซลจะถูกฉีดเข้าสู่กระบอกสูบตอนปลายของจังหวัดอัดอากาศ ซึ่งลักษณะการทำงานภายในเครื่องยนต์จะมีความดันและอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการจุดระเบิดน้ำมันที่ฉีดเข้าไปในกระบอกสูบ อัตราส่วนการเผาไหม้ควบคุมโดยอัตราการฉีดน้ำมัน ทำให้การเผาไหม้ในเครื่องดีเซลเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เพื่อช่วยทำให้เกิดแรงอัดในกระบอกสูบอย่างสม่ำเสมอ โดย เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ มีการทำงานในหนึ่งรอบของลูกสูบ 4 จังหวะ ได้แก่ ดูดอากาศ อัดอากาศ ถ่ายทอดกำลัง (ระเบิด) และปล่อยไอเสีย (คาย) เครื่องยนต์หมุน 2 รอบ นั่นคือลูกสูบเลื่อนขึ้น 2 ครั้ง ลง 2 ครั้ง รวม 4 ครั้ง โดยมีการฉีดน้ำมันเข้าห้องสันดาปในช่วงปลายจังหวะอัดอากาศ (วงศ์พันธ์ และคณะ, 2543) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

2.3.2 **องค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่ใช้** คือ น้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้เผาไหม้เพื่อให้พลังงานในการขับเคลื่อน เป็นสารผสมไฮโดรคาร์บอนซึ่งได้จากการกลั่นน้ำมันดิบปิโตรเลียม ใน

การกลั่นแยกลำดับส่วนต่างๆ ออกจากกันนั้น อาศัยหลักการของสารไฮโดรคาร์บอนที่จุดเดือดต่างๆ กัน ส่วนที่มีจุดเดือดต่ำกว่า เช่น บิวเทน (CH_4) โพรเพน (C_3H_8) อีเทน (C_2H_6) จะแยกออกมาก่อน แล้วต่อมาก็จะเป็นน้ำมันเบนซิน แนฟทา คีโรซีน น้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่น และขี้ผึ้ง หรือ ยางมะตอย องค์ประกอบส่วนใหญ่จะมีธาตุคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) เป็นองค์ประกอบ และใช้สารกำมะถัน (S) เป็นสารเติมแต่งเพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ดีขึ้น ในน้ำมันดีเซลประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated Hydrocarbon) แอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbon) และโอเลฟินไฮโดรคาร์บอน (Olefin Hydrocarbon) ในสัดส่วน 40:50:10 มีสถานะเป็นของเหลว เมื่อน้ำมันเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล จะมีการดูดอากาศที่มีความดันและอุณหภูมิสูง น้ำมันดีเซลจึงถูกฉีดเข้ามาในลูกสูบมีลักษณะเป็นละอองฝอย ก็จะได้รับความร้อน และผิวของหยดน้ำมันก็จะระเหยออก ไอของน้ำมันจะผสมกับอากาศที่ถูกอัดนั้น และเกิดเป็นสารผสมขึ้น กระจายตัวในบริเวณลูกสูบ มีอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงต่างกันไปในแต่ส่วนและแต่ละเวลา การเผาไหม้จะเกิดขึ้นเองเมื่ออุณหภูมิและอัตราส่วนเชื้อเพลิงพอดีกัน หยดน้ำมันขนาดต่างๆ ที่ถูกฉีดเข้ามาจะกระจายไปทั่วกระบอกสูบ และในกระบอกสูบอากาศก็จะหมุนเวียนวนไปวนมา ทำให้เกิดการเผาไหม้ขึ้นได้หลายๆ แห่งไม่แน่นอน โดยทั่วไปไฟจะติดหลายๆ จุดรอบๆ บริเวณที่ฉีดน้ำมันเข้ามาก่อน (พูลพร, 2537) หลังจากเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้แล้วจะมีน้ำมันส่วนหนึ่งที่ยังไม่ถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ เมื่อวาล์วไอเสียเปิดออกเพื่อขับถ่ายไอเสีย (exhaust gas) ควันดำ (smoke) และ เถ้าถ่าน (ash) ออกจากห้องเผาไหม้สู่ระบบท่อไอเสีย ส่วนของน้ำมันที่เผาไหม้ไม่หมดนี้บางส่วนสามารถส่งผลกระทบต่อเครื่องยนต์ได้โดยตรง เช่น คราบเขม่าควันที่เกาะจับบริเวณหัวฉีด ผนังเสื้อสูบ ลูกสูบ แหวนลูกสูบ และควันที่มีกรดกำมะถันผสมอยู่มากจะกัดกร่อนโลหะและลดประสิทธิภาพของน้ำมันหล่อลื่นและเครื่องยนต์ให้เสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น ส่วนไอเสียส่วนที่เหลือจะถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

2.3.3 **สารมลพิษที่สำคัญจากรถยนต์ดีเซล** โดยส่วนใหญ่คือ สารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ สารระเหย และฝุ่นละอองรายละเอียดของสารมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซลมีดังนี้

1) ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_X) ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์เมื่อมีอุณหภูมิสูง ต้องการใช้ออกซิเจนในการเกิดปฏิกิริยา

2) ก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) เกิดจากเชื้อเพลิงส่วนที่เหลือที่ถูกเผาไหม้ไม่สมบูรณ์หรือยังคงค้างตามส่วนต่างๆในกระบอกสูบแล้วถูกระบายออก ต้องการใช้ออกซิเจนและอุณหภูมิสูงในการเผาไหม้

3) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นจาก CO เปลี่ยนเป็น CO_2 ไม่สมบูรณ์ เนื่องมาจากสภาวะการขาดออกซิเจน หรืออัตราการให้อากาศเพิ่มและลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ CO ไม่ถูกรีดิวซ์ เป็น CO_2

4) สารอินทรีย์ระเหย (VOCs) หรือไอระเหยของสารอินทรีย์ เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากอุณหภูมิไม่สูงพอที่จะเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงจนหมด แล้วถูกขับออกจากกระบอกสูบ มีการสลายตัวเร็วเมื่อถูกปลดปล่อยจากท่อไอเสีย

5) ฝุ่นละออง (Particulate Matter) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

- หยดของเหลว (Liquid particulates) ซึ่งปรากฏเป็นควันสีขาวคล้ายไอน้ำ เกิดเมื่อขณะเริ่มเดินเครื่องเมื่อเครื่องเย็น ขณะเดินเครื่องเบาและไม่มีภาระ ประกอบไปด้วยส่วนของไฮโดรคาร์บอนที่เป็นของเหลว น้ำมันหล่อลื่น ควันขาวจะหายไปเมื่อเครื่องเริ่มร้อนขึ้นหรือมีภาระหนักขึ้น

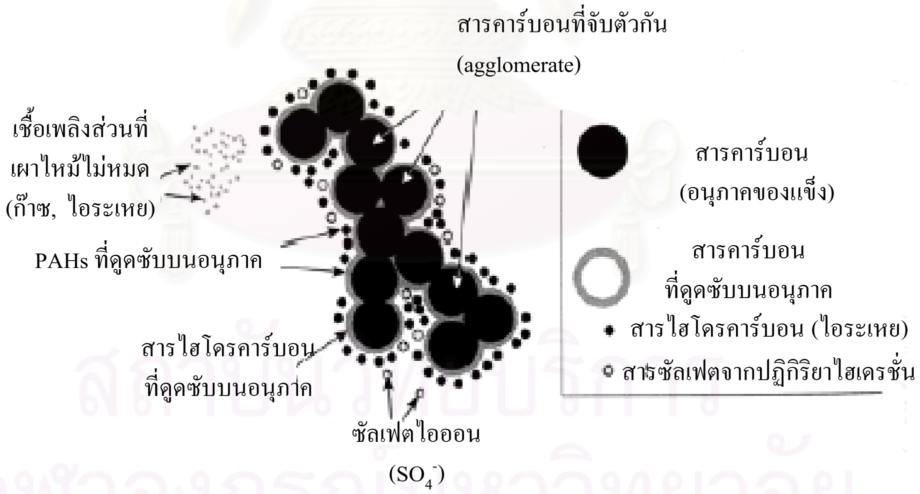
- ควันดำ (Soot หรือ Black Smoke) เกิดจากการรวมตัวกันของอะตอมของคาร์บอนและสารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งถูกเผาไหม้บางส่วน เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากอุณหภูมิ แรงดันในกระบอกสูบไม่เพียงพอ

2.4 กระบวนการเกิดไอเสียและการปลดปล่อยไอเสียจากรถยนต์ดีเซล

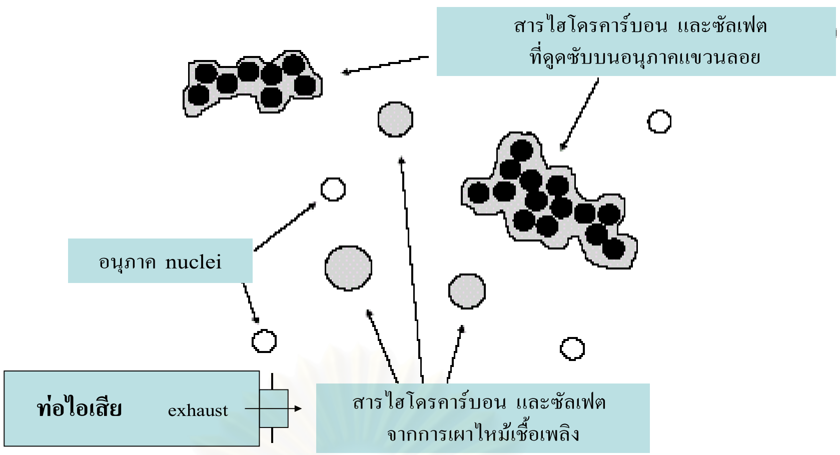
2.4.1 การเกิดไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล

เริ่มจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีปัจจัยที่ทำให้ไอเสียถูกปลดปล่อย เช่น การเติมอากาศไม่เพียงพอ ความไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ หรือเทคโนโลยีที่ใช้ลดไอเสีย เป็นต้น ทำให้ในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูงจึงเกิดไอเสียปลดปล่อยออกมา เมื่อไอเสียที่มีความเข้มข้นสูงออกจากระบบที่บริเวณปลายท่อไอเสียสู่สิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้สารมลพิษในไอเสียเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งความเข้มข้น ขนาดและรูปร่าง โดยพฤติกรรมเชิงพลวัต (dynamic behavior) ซึ่งได้แก่ การแพร่ (diffusion) การรวมตัว (coagulation) การตกกลับ (deposition) เป็นต้น โดยถูกปัจจัยต่างๆ เช่น ความแตกต่างของอุณหภูมิ ความชื้น สภาพอุตุนิยมวิทยา เป็นปัจจัยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของมลพิษ โดยใช้เวลาเปลี่ยนรูประดับมิลลิวินาที (millisecond) ไอเสียจึงเป็นทั้งสถานะที่เป็นก๊าซ (gas phase) และฝุ่น (particle phase) กระบวนการเปลี่ยนรูปของไอเสียเริ่มต้นหลังจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้โมเลกุลของน้ำมันดีเซลซึ่งส่วนใหญ่เป็นอะตอมของธาตุคาร์บอนหลังจากเผาไหม้จะเกิดการควบแน่น (condensed) ด้วยปฏิกิริยา pyrolysis ของโมเลกุลของน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbon) เช่น สารอะเซทิลีน (acetylene) และสาร PAHs หลังจากนั้นจึงเกิดการจับตัวกัน และดึงไฮโดรเจนอะตอมของสารด้วยปฏิกิริยา polymerization และ

dehydrogenation โดยมีอุณหภูมิเป็นปัจจัยในการเปลี่ยนแปลง ซึ่งถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 1700 K จะเกิดสารแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon) ที่มีรูปร่างโมเลกุลเป็นเส้นตรง เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 1800 K กระบวนการจะเกิดช้าลง แต่จะมีการทำลายพันธะ (braking) ของวงแอโรมาติก ทำโมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอนมีขนาดเล็กลง และเกิดปฏิกิริยา polymerization กับสารอื่นที่มีโมเลกุลไม่อิ่มตัวในไอเสียนั้น ทำให้เกิดการรวมตัวและเกิดอนุภาคที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น (nucleation) ดังเช่น ฝุ่นละอองขนาดต่างๆ และก๊าซมลพิษ เป็นต้น โดยส่วนใหญ่ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2 นาโนเมตร) และจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเกิดการรวมตัวกันด้วยปฏิกิริยา agglomeration กับสารตัวอื่นๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบริเวณพื้นผิวของฝุ่น จนเกิดฝุ่นขนาดและรูปร่างต่างๆ ในระบบการเผาไหม้จนถึงปลายท่อไอเสีย (tail-pipe) และถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศโดยกระบวนการนิวคลีเอชั่น (nucleation process) โดยอนุภาคนิวคลีอาย (Tnuclei) เกิดเป็นสารมลพิษ ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบจำพวกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและซัลเฟตที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และจากการระเหยของน้ำมันหล่อลื่นผ่านไปยังระบบท่อไอเสีย เมื่อเวลาผ่านไปกลุ่มไอเสียที่มีความเข้มข้นสูงจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะเกิดการวมตัวกันด้วยปฏิกิริยา coagulation และสะสมกัน agglomeration บริเวณปลายท่อไอเสียเมื่อมีปริมาณมากขึ้น ไอเสียจึงถูกดันออกสู่สิ่งแวดล้อม แสดงดังรูปที่ 2.5 และ 2.6



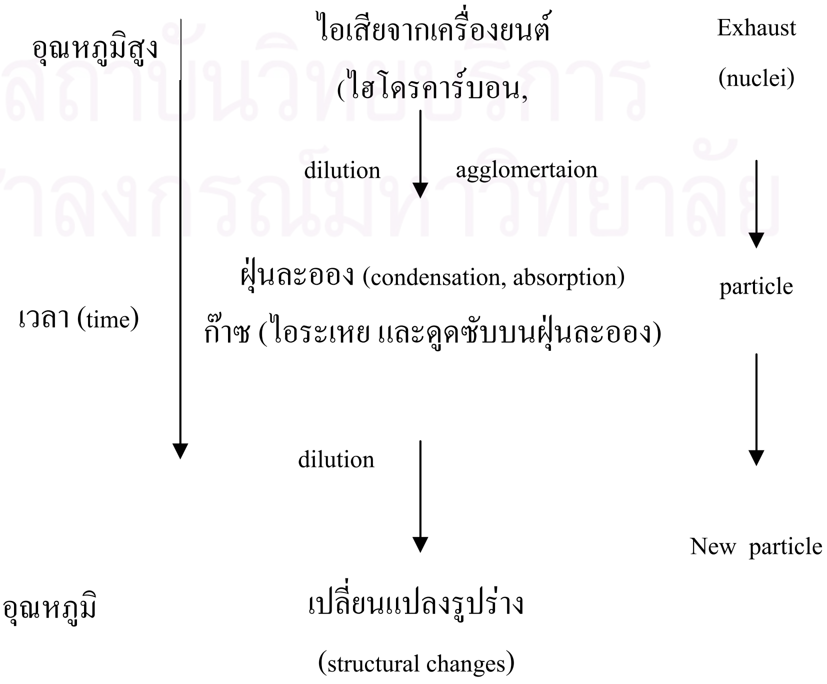
รูปที่ 2.5 อนุภาคฝุ่นละอองจากรถยนต์ดีเซล (Marjamäki and Keskinen, 2001)



รูปที่ 2.6 การดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยของสารไฮโดรคาร์บอนและซัลเฟตจากการเผาไหม้ (Marjamäki and Keskinen, 2001)

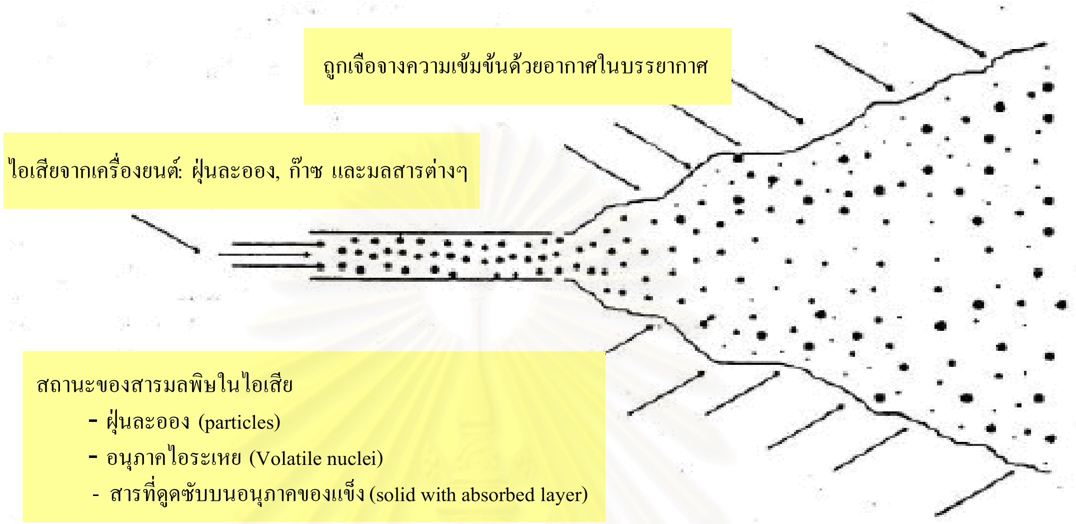
2.4.2 การเปลี่ยนแปลงของไอเสียที่ออกสู่สิ่งแวดล้อม

ไอเสียที่ถูกปลดปล่อยทางท่อไอเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมและมีการเจือจาง (dilution) กับอากาศในบรรยากาศ ทำให้ ความเข้มข้นของไอเสียลดลง และอุณหภูมิที่สูงก็จะลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิของบรรยากาศ ซึ่งมีปัจจัยที่เป็นตัวแปรควบคุม คือ อุณหภูมิ (temperature) ความชื้น (humidity) อัตราส่วนการเจือจางอากาศ (dilution ratio) ความเข้มข้นและจำนวนของไอเสีย (number and concentration of exhaust) อายุและการเปลี่ยนแปลงของสารที่ถูกเผาไหม้ ซึ่งเป็นอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการเกิดเป็นไอเสียชนิดต่างๆ ที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.7 และ 2.8



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนรูปร่างของไอเสียรถยนต์ (Marjamäki and Keskinen, 2001)



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงของไอเสียจากการเผาไหม้จากท่อไอเสียสู่สิ่งแวดล้อม (Marjamäki and Keskinen, 2001)

2.4.3 การแพร่กระจายของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ

การศึกษาการกระจายตัว (Size Distribution) ของขนาดอนุภาคฝุ่นละออง (Particle size) อธิบายถึง ลักษณะของฝุ่นละออง ซึ่งเมื่ออนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลม จะใช้เส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter) เป็นตัววัดขนาด แต่โดยทั่วไปอนุภาคฝุ่นละอองมีรูปร่างหลายอย่างนอกจากทรงกลม ดังนั้นอนุภาคที่ไม่ใช้ลักษณะทรงกลม สามารถบอกขนาดเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (equivalent diameter) โดยเปรียบเทียบกับ พื้นที่ผิว ปริมาตร มวลโดยการวัดขนาดอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ แสดงเป็นค่า แอโรไดนามิคไดเอมิเตอร์ (Aerodynamic diameter, Dp) ซึ่งเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่มีความหนาแน่นในหน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีความเร็วตกกลับในบรรยากาศเท่ากับของอนุภาค ค่า Dp ขึ้นอยู่กับอนุภาค รูปร่าง และความหนาแน่นของอนุภาค (Venkataraman, 1994) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$SD = n_N = \frac{dN}{dDP} = \frac{dCi}{d\log Dp} \qquad \text{..................(2.1)}$$

เมื่อ SD = การกระจายตัวของฝุ่นละออง มีหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu g/m^3$)

n_N= ปริมาณฝุ่นละออง (ความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีหน่วยเป็น $\mu g/m^3$)

Dp = เส้นผ่านศูนย์กลางของฝุ่นละออง (μm)

dDP = ส่วนต่างของขนาดในแต่ละชั้น

d logDP = log ขนาดชั้นบน- log ขนาดชั้นล่าง

การกระจายตัว (Size distribution) ของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในบรรยากาศในบริเวณพื้นที่ต่างๆ เช่น เขตเมือง หรือพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งมีขนาดตั้งแต่เส้นผ่านศูนย์กลางระดับนาโนเมตรจนถึงระดับ 100 ไมโครเมตร โดยส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ เช่น รถยนต์ โรงไฟฟ้าถ่านหิน การเผาวัสดุจำพวกไม้ เป็นต้น ขนาดที่แตกต่างของฝุ่นละออง สามารถบอกถึงที่มา หรือพฤติกรรมต่างๆ เช่น การแขวนลอยในอากาศ การเกิดปฏิกิริยาโดยแสง เคมี โดยสภาพแวดล้อม เป็นต้น ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ และแสดงผลในรูปแบบของลักษณะการกระจายตัวของฝุ่นละอองเพื่ออธิบายพฤติกรรมของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ได้ และมีการศึกษาขนาดของฝุ่นละอองและการกระจายตัวของสาร PAHs ในอุโมงค์ Caldecotle ในรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าฝุ่นละอองมีการกระจายตัวเป็นแบบ unimodal โดยร้อยละ 85 มีมวลอนุภาคเส้นผ่านศูนย์กลางแบบแอโรไดนามิคขนาดเล็กกว่า 0.12 μm และมีการกระจายตัวอยู่ในขนาดช่วง 0.5-1.0 μm (Venkataraman, 1994)

2.5 การศึกษาการปลดปล่อยไอเสียจากรถยนต์ดีเซล

การศึกษาการปลดปล่อยไอเสียโดยพิจารณาจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงกับรถยนต์ดีเซล มีหลายวิธีแล้วแต่การนำมาใช้ประโยชน์ตามลักษณะของการศึกษา รวมถึงความถูกต้องและแม่นยำและค่าใช้จ่าย ซึ่งมีความจำเป็นในการพิจารณา อาทิเช่น การวิเคราะห์สมดุลมวล (mass balance) อัตราการใช้เชื้อเพลิง (fuel consumption) ข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) และตัวคูณการปลดปล่อยมลพิษ (Emission Factors) รายละเอียดของการศึกษามีดังนี้

2.5.1 การวิเคราะห์สมดุลมวล (mass balance) หรือกฎแห่งการอนุรักษ์มวลสารคือมวลของน้ำมันเชื้อเพลิงจะไม่มีการถูกสร้างหรือถูกทำลาย ซึ่งในระบบปิดใดๆ มวลจะมีค่าคงที่เสมอ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไอเสียโดยคิดจากปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ ซึ่งต้องทราบปริมาณทั้งหมดของน้ำมันทีเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์เพื่อใช้ในการศึกษา มีข้อเสียคือไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของสารหลังเกิดปฏิกิริยาได้ (Reynolds , 2000) ดังสมการที่ 2.1

มวลเชื้อเพลิงในระบบ = มวลที่เข้าสู่กระบวนการเผาไหม้ – มวลที่ถูกปลดปล่อย ......(2.2)

2.5.2 อัตราการใช้เชื้อเพลิง (fuel consumption) คล้ายกับการวิเคราะห์สมดุลมวล แต่พิจารณาถึงคุณสมบัติต่างๆ ของไอเสีย เช่น ลักษณะสาร โครงสร้างปฏิกิริยาเคมีเป็นต้น ซึ่งอาจ

ใช้คำนวณการปลดปล่อยมลพิษที่มีความน่าเชื่อถือได้ดีการการตรวจวัดโดยทั่วไป แต่ในความเป็นจริงแล้ว รถยนต์ที่ผ่านการใช้งาน จะทำให้ผลการศึกษาที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น อายุเครื่องยนต์ การเสื่อมประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ลักษณะการขับขี่ รวมถึง การเปลี่ยนแปลงของไอเสียจากปลายท่อไอเสีย เช่น ถูกเจือจางในอากาศ เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับแสง เป็นต้น ทำให้ผลการศึกษามีความผิดพลาดเกิดขึ้น การคำนวณการปลดปล่อยสารซัลเฟอร์ออกไซด์จากการใช้น้ำมัน มีการศึกษาการปล่อยไอเสียโดยพิจารณาอัตราการใช้น้ำมันดีเซลต่างชนิดกันในรถยนต์ 2 ชนิด คือ รถกระบะ 1 ตัน และรถบรรทุกขนาดใหญ่ และมีมาตรฐานไอเสียต่างกันในแต่ละชนิด พบว่า ในแต่ละชนิดมีค่าเฉลี่ยการใช้เชื้อเพลิงใกล้เคียงกัน แต่รถบรรทุกมีอัตราการใช้เชื้อเพลิง มากกว่ารถกระบะประมาณ 2 เท่า สารมลพิษต่างๆ มีการปลดปล่อยไม่เท่ากัน เนื่องจากความแตกต่างของเทคโนโลยีที่ใช้ (Parson, 2003) ดังสมการที่ 2.2

$$E_{Sox,f} = Fuel_f \times \rho_f \times S_f \times 2 \qquad \text{.........(2.3)}$$

เมื่อ $E_{Sox,f}$ = การปลดปล่อย SO_X ในหน่วยน้ำหนักต่อปริมาตร

$Fuel_f$ = อัตราการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย (ลิตร)

ρ_f = ความหนาแน่นของน้ำมัน (g/m^3)

S_f = มวลปริมาณซัลเฟอร์ในน้ำมัน (กรัม)

2 = Conversion factor of sulphur to mass of SO_X

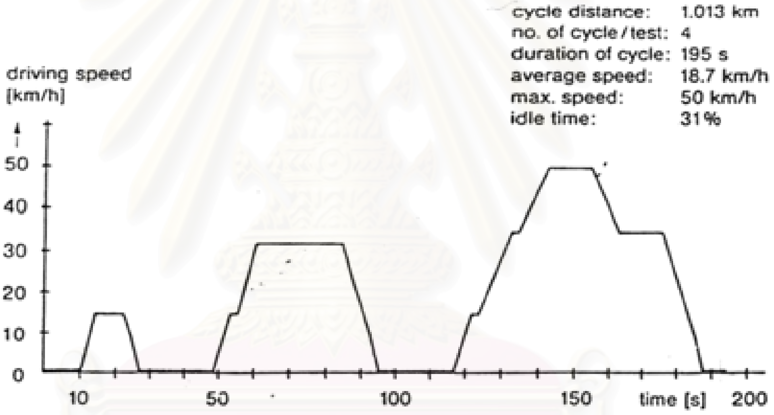
2.5.3 ข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) เป็นการรวบรวมข้อมูลต่างๆ มาวิเคราะห์ ซึ่งมีประโยชน์ในกรณีที่ไม่สามารถทดลองหรือตรวจวัดไอเสียได้จริงมาทำการศึกษา เช่น ข้อมูลที่ทำการตรวจวัดผ่านมาแล้ว ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับ มาตรฐานการปลดปล่อยไอเสีย ข้อมูลที่ตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ชนิดเดียวกัน ซึ่งหากมีข้อมูลสนับสนุนไม่เพียงพอ ก็ไม่สามารถจะศึกษาการปลดปล่อยไอเสียได้

2.5.4 ตัวคูณการปลดปล่อยมลพิษ (Emission Factors, EF) สามารถนำมาศึกษาการปลดปล่อยไอเสีย ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่มีความยุ่งยาก และมีค่าใช้จ่ายต่ำ เหมาะสำหรับการใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นและมีประโยชน์มากมาย โดยการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการศึกษา เช่น แบบจำลองมลพิษจากยานพาหนะ การจำลองการแพร่กระจายมลพิษ การวิเคราะห์ผลกระทบ การพัฒนานโยบายหรือวางแผนควบคุม หรือการใช้เป็นข้อมูลสำหรับงานด้านอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งตัวคูณการปลดปล่อยมลพิษนั้นเป็นตัวแทนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปลดปล่อยไอเสีย แสดงในรูปของน้ำหนักต่อหน่วยน้ำหนัก หรือปริมาตร หรือระยะทาง หรือเวลาที่ถูกปลดปล่อย (เช่น กิโลกรัมฝุ่นต่อระยะทางที่วิ่งได้ โดยทั่วไปตัวคูณการปลดปล่อยหาได้จากค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงคุณภาพทั้งหมดที่ยอมรับได้ (Abrantes, 2004)

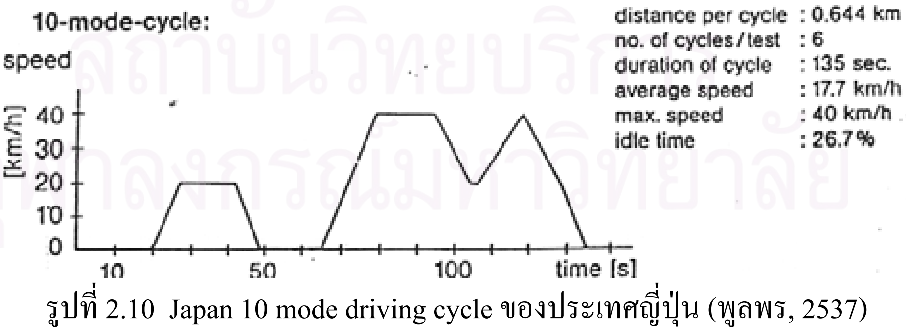
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยไอเสียจากรถยนต์

1) ชนิดและน้ำหนักของรถยนต์ คือ ขนาดของเครื่องยนต์ที่ใช้ ความเร็วของการขับขี่ และน้ำหนักของรถ ซึ่งเมื่อรถมีภาระน้ำหนักมากขึ้นทำให้มีการใช้กำลังและน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้น การเผาไหม้เพิ่มขึ้น แต่ทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ช้าลง ทำให้มีการปลดปล่อยไอเสียเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะ CO และ PM (Behrentz, 2004)

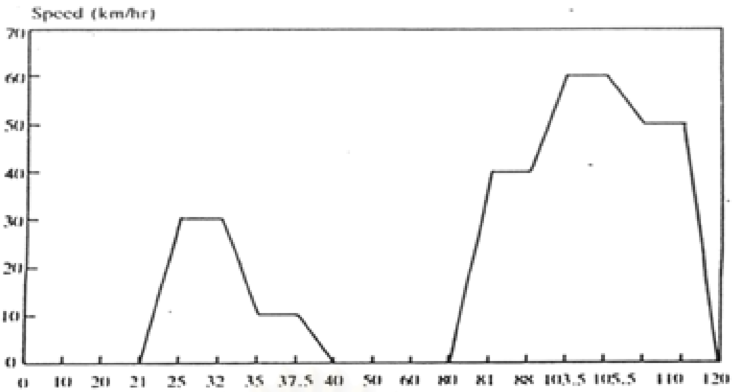
2) รูปแบบการขับขี่ (Driving cycle) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเร็วรถยนต์ และเป็นตัวแทนการขับขี่ของประชากรส่วนใหญ่ในเมืองนั้น เช่น E.C.E driving mode ของกลุ่มประเทศยุโรป Japan 10 mode driving cycle ของประเทศญี่ปุ่น Bangkok driving mode ปี 1990 เป็นต้น ผลของ Driving cycle ต่อการปลดปล่อยไอเสียปริมาณฝุ่นละอองและก๊าซ CO จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อลักษณะของ driving cycle ไม่คงที่ เช่น การเร่งเครื่องสูงขึ้นเร็วลงเร็ว รอบเครื่องวิ่งรอบต่ำทำให้เครื่องยนต์เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เป็นต้น (Clack et al, 2002) ดังรูปที่ 2.9 – 2.11



รูปที่ 2.9 E.C.E driving mode ของยุโรป (พูลพร, 2537)



รูปที่ 2.10 Japan 10 mode driving cycle ของประเทศญี่ปุ่น (พูลพร, 2537)



รูปที่ 2.11 Bangkok driving mode เดือนตุลาคม-ธันวาคม ปี 1990 (พูลพร, 2537)

อัตราการปลดปล่อยมลพิษจากยานพาหนะขึ้นอยู่กับการออกแบบเครื่องยนต์และสภาวะการขับขี่เครื่องยนต์ ในการประเมินอัตราการปลดปล่อยมลพิษอาจจะมีความไม่แน่นอนเนื่องจากสภาวะการขับขี่รถยนต์ในเมืองนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ การจราจรหนาแน่นหรือเบาบาง สัญญาณไฟ และพฤติกรรมการขับขี่ เป็นต้น ดังนั้นการประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากยานพาหนะด้วยการวัดจริงจากรถยนต์จำนวนมากจึงเป็นเรื่องยาก การสร้างหรือจำลองรูปแบบการขับขี่ (Driving cycle) ซึ่งเป็นความสำคัญระหว่างเวลา (time) กับ ความเร็ว (velocity) ของยานพาหนะ และเป็นตัวแทนการขับขี่ยานพาหนะส่วนใหญ่ในเมืองนั้น สำหรับในประเทศไทยมีการศึกษาอัตราการปลดปล่อยมลพิษในรูปของไอเสียโดยใช้รูปแบบการขับขี่น้อยมาก เนื่องจากความพร้อมของอุปกรณ์ ความสมบูรณ์ของข้อมูล การเก็บข้อมูลที่ยังไม่ครอบคลุม แต่การนำรูปแบบการขับขี่มาใช้ควบคุมปัจจัยในการปลดปล่อยมลพิษ ซึ่งจะทำให้มีความสะดวกรวดเร็วและแม่นยำมากกว่าวิธีการวัดจริง การทดสอบวัดอัตราการปลดปล่อยมลพิษจากรถยนต์ดีเซลบนแท่นทดสอบ (chassis dynamometer test) ของห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้รูปแบบการขับขี่ที่ถูกพัฒนาโดยองค์กร Japan Transport Cooperation Association ในปี ค.ศ. 2003 ซึ่งเป็นรูปแบบการขับขี่ของกรุงเทพมหานคร (Bangkok cycle mode, BKK driving cycle) โดยทำการแยกรูปแบบการขับขี่ของรถยนต์ดีเซลเล็กและดีเซลใหญ่ออกเป็น 6 รูปแบบ (ดังรูปที่ 2.12 และ 2.13) ซึ่งมีระยะทางทั้งหมด 27 กิโลเมตร และมีอัตราเร็วเฉลี่ย 19.74 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังตารางที่ 2.2

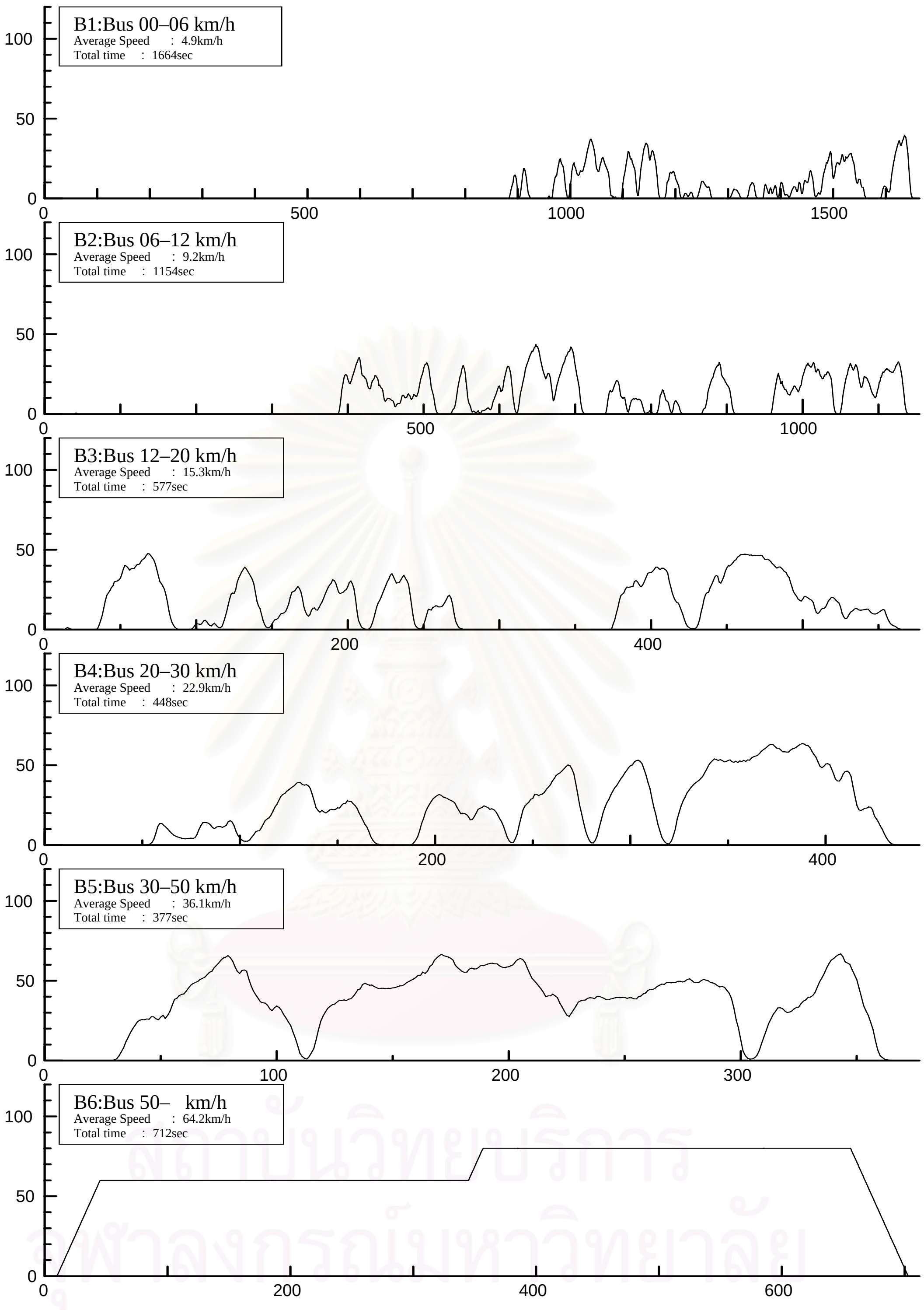
3) ลักษณะการขับขี่และสภาพการจราจร พฤติกรรมการขับขี่ของบุคคล และสภาพการจราจร เช่น ช่วงเวลาเร่งด่วน การจราจรติดขัดมีการปลดปล่อยไอเสียสูง (Miguel, 1998 และ Reynolds, 2000)

4) การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ลักษณะของเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน เช่น น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซหุงต้ม ไบโอดีเซล ฯลฯ ทำให้เกิดการเพิ่มหรือลดมลพิษได้ (Bishop and Stedman, 1996 และ Parson, 2004)

5) อุปกรณ์ลดมลพิษ เช่น catalytic converter ลดปริมาณไอเสียบางส่วนและนำกลับไปใช้ใหม่ จากการศึกษาพบว่ารถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลปลดปล่อยมลพิษประมาณ 30-50 เท่าของรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินที่ติดอุปกรณ์ลดมลพิษ รวมถึงเทคโนโลยีต่างๆ ที่ไว้ใช้ลดปริมาณไอเสีย (Clack, et al, 2002)

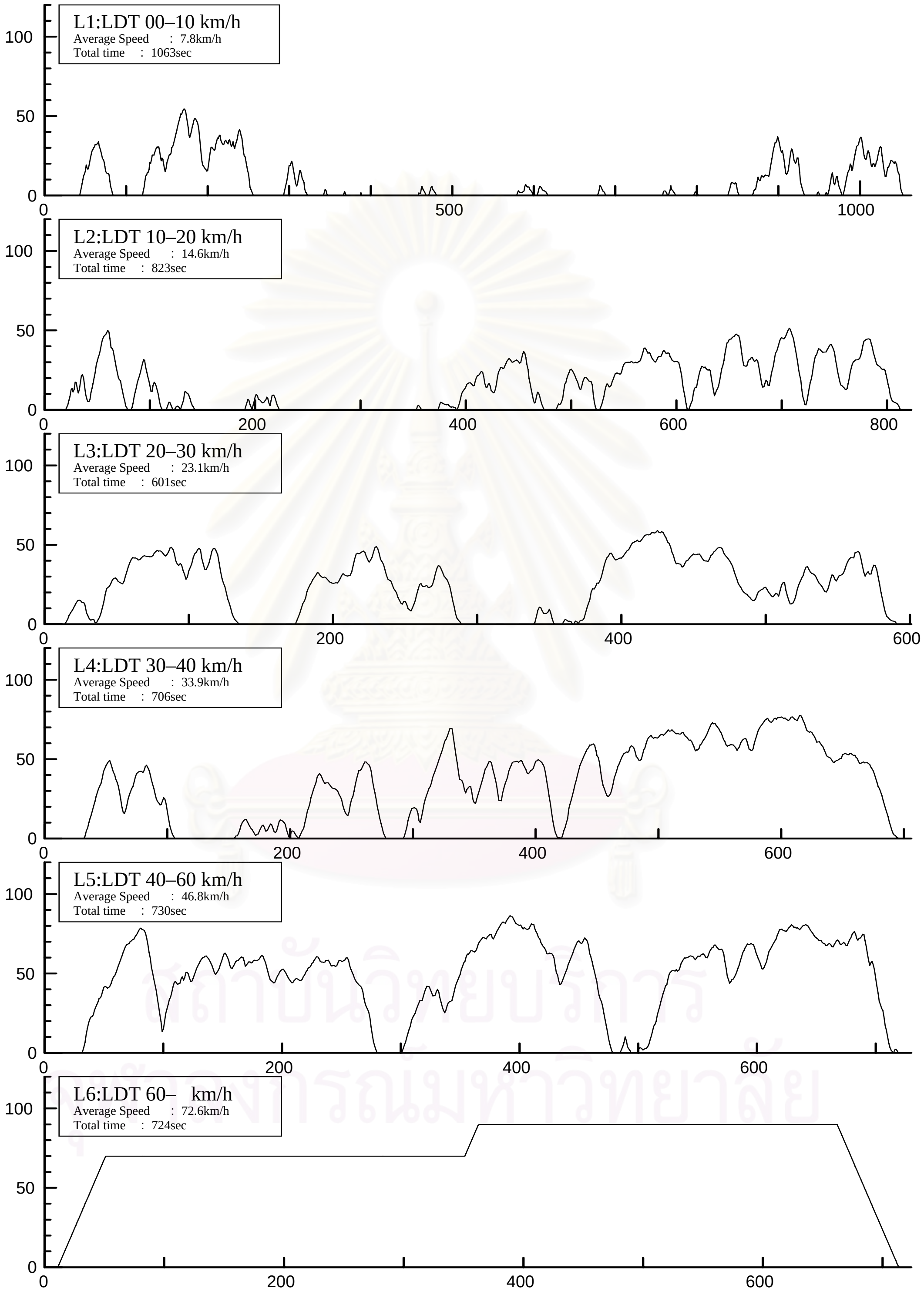
6) อายุของเครื่องยนต์ คือ รถยนต์ที่มีอายุมาก หรือมีการใช้งานมาก ความสมบูรณ์และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลง มีการปลดปล่อยไอเสียมากขึ้นเนื่องจากเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ หรือ มีการพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีลดปริมาณไอเสียที่ดีกว่าออกมาทำให้ปล่อยไอเสียได้น้อยกว่ารถที่มีอายุมาก (Clack, et al, 2002)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.12 Bangkok Driving Cycle ของรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ (HDDV)
(กรมควบคุมมลพิษ, 2542)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.13 Bangkok Driving Cycle ของรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก (LDDV)
(กรมควบคุมมลพิษ, 2542)

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของ Bangkok cycle ของรถยนต์ดีเซล

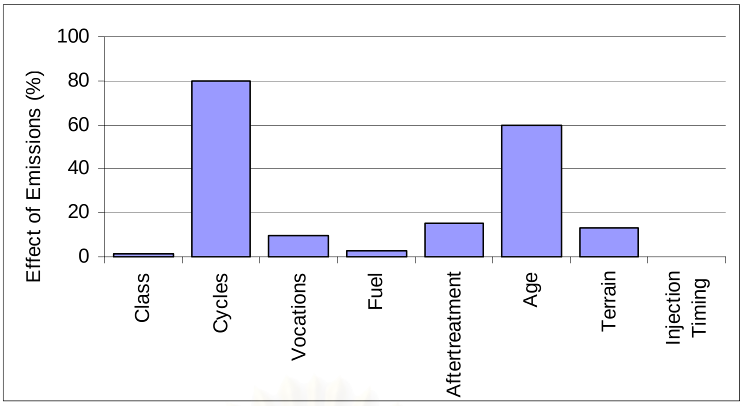
HDDV (Bus cycle)	Speed range (km/hr)	Average speed (km/hr)	Total time (second)
B1	0-6	4.9	1664
B2	6-12	9.2	1154
B3	12-20	15.3	577
B4	20-30	22.9	448
B5	30-50	36.1	377
B6	50-80	64.2	712
LDDV (LDT cycle)	Speed range (km/hr)	Average speed (km/hr)	Total time (second)
L1	0-10	7.8	1063
L2	10-20	14.6	823
L3	20-30	23.1	601
L4	30-40	33.9	706
L5	40-60	46.8	730
L6	60-90	72.6	724

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2542.

7) ลักษณะของพื้นถนน และพื้นที่ต่างๆ กัน มีผลต่อการปลดปล่อยไอเสีย พื้นที่ขรุขระ รถยนต์วิ่งยาก จะมีการปลดปล่อยไอเสียมาก เช่น มีการศึกษาสาร PAHs ริมถนนเขตเมืองเทียบกับนอกเมืองพบว่ามีความเข้มข้นเฉลี่ยต่างกัน 5.3 และ 8.5 เท่า ตามลำดับ (Lee, et al, 1995)

ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยไอเสียมากที่สุดคือ รูปแบบการขับขี่และอายุของเครื่องยนต์ เนื่องจากในแต่ละประเทศมีสภาพของพื้นที่ถนนแตกต่างกัน รวมถึงอายุของเครื่องยนต์ที่แตกต่างกันตามจำนวนของรถยนต์ในแต่ละประเทศ การศึกษารูปแบบการขับขี่ที่มีลักษณะเฉพาะของแต่ละสถานที่และการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนรถยนต์ ทำให้เกิดประโยชน์ในการศึกษาการปลดปล่อยไอเสียได้อย่างมากมาย ดังรูปที่ 2.14

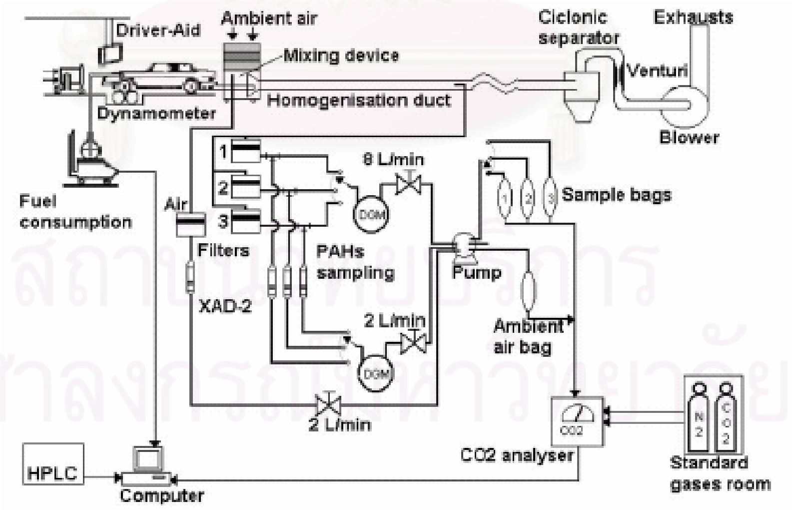
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.14 ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยไอเสีย (Clack, et al, 2002)

2.5.3 วิธีการทดสอบไอเสียจากรถยนต์

1) ทดสอบบนแท่นทดสอบ (Chassis Dynamometer Tests) โดยการขับรถบนแท่นทดสอบ เป็นระบบคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง เพื่อให้สามารถควบคุมสภาวะต่างๆ ให้ใกล้เคียงกับสภาวะที่กำหนดขึ้น เช่น ความเร็ว อัตราเร่ง อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น มีการทดสอบรถยนต์ดีเซล เพื่อศึกษาสารกลุ่ม PAHs โดยใช้แท่นทดสอบและเก็บตัวอย่างโดยระบบท่อเจือจางอากาศ (Dilution tunnel) และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS พบสารกลุ่ม nitro-PAHs และ oxy-PAHs (Sculeze, 1984) ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การทดสอบไอเสียแบบ Chassis Dynamometer Test (Abrantes, 2004)

การทดสอบไอเสียบนแท่นทดสอบสามารถแสดงรูปแบบการปลดปล่อยไอเสียได้หลายชนิด เนื่องจากมีการควบคุมสภาวะต่างๆ ให้เสมือนจริง ดังเช่น การศึกษาไอเสียจากรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ ซึ่งแบ่งรถออกเป็นหลายชนิด และมีการใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในการตรวจวัดสารมลพิษต่างๆ ดังตารางที่ 2.3

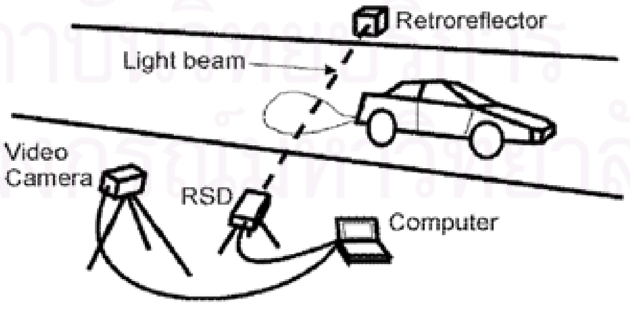
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบสารมลพิษที่ปลดปล่อยจากรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่

	CO_2 (g/km)	CO (g/km)	NO_x (g/km)	HC (g/km)	LLSP Mass (mg/km)	TEOM Mass (mg/km)	Filter mass (mg/km)	Ave Opacity (%)	Max Opacity (%)	Mass PM1.0 (mg/km)	Mass PM2.5 (mg/km)	Mass PM10 (mg/km)	FC (l/100 km)
Base Fuel	782.47	3.45	10.63	1.01	182.78	265.21	447.31	1.08	12.75	423.8	424.4	438.7	32.92
Euro 2	719.29	2.48	10.17	0.90	187.12	191.44	380.38	2.27	25.17	364.5	365.0	374.8	30.18
Euro 3	746.26	2.75	10.47	0.95	157.00	237.80	312.75	1.29	17.66	273.6	274.8	299.5	31.22
Euro 4	717.77	3.13	8.66	0.73	139.74	200.32	284.44	2.22	22.36	263.2	263.7	276.8	30.53
World Wide	691.68	2.81	8.40	0.73	114.01	184.21	283.16	1.60	20.79	257.2	257.9	274.0	29.60
CARB	774.93	2.63	8.57	0.84	128.93	198.99	299.57	1.78	19.41	267.2	268.3	287.9	31.56

ที่มา: Parson, 2003.

2) วัดโดยการทดสอบในอุโมงค์ (Tunnel method) ทำการทดสอบในสถานที่จำลองสภาวะมีลักษณะคล้ายอุโมงค์ลม เพื่อให้มีสภาวะเสมือนจริง และวิ่งบนแท่นทดสอบ และผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการในบางกรณีไม่สามารถวัดไอเสียเหมือนกับการตรวจวัดจากสถานที่จริงได้ (Miguel และคณะ, 1998)

3) การใช้รีโมทเซนซิ่ง (remote sensing) เป็นวิธีที่ง่ายแต่มีค่าใช้จ่ายสูง เพราะใช้เทคโนโลยีภาพถ่าย และการวิเคราะห์ชนิดของรถยนต์ และเก็บข้อมูลทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปจะได้ค่าตรวจวัดไอเสียออกมา ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การใช้ remote sensing ทดสอบการปลดปล่อยไอเสีย (Bishop and Stedman, 1996)

2.7 การศึกษาตัวคูณการปลดปล่อยมลพิษ (Emission Factors, EF)

ในเอกสาร AP-42 (U.S. EPA, 1995) แสดงความหมายของค่า EF คือ ค่ามวลของมลสารที่แสดงถึง ความสัมพันธ์ของปริมาณมลสารที่ถูกปลดปล่อยในบรรยากาศกับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยมลสารนั้น หรือหมายถึง ค่ามวลของมลสารที่ถูกปลดปล่อยออกมาในหน่วยน้ำหนักต่อหน่วยระยะทางที่เคลื่อนที่ต่อคัน EF จะแสดงในรูปของสมการหรือแบบจำลองการปลดปล่อย ซึ่งความสมบูรณ์และรายละเอียดของข้อมูลค่า EF ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้จากเอกสารที่มีการตีพิมพ์ ในบางกรณีอาจไม่มีข้อมูลค่า EF ที่จำเป็นต้องใช้ แสดงว่ามีข้อมูลไม่เพียงพอ ซึ่งในการหาค่า EF ของสารมลพิษจากไอเสียรถยนต์ในการกำหนดค่า EF ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ โดยเฉพาะรถยนต์ที่วิ่งอยู่ในประเทศไทยซึ่งมีลักษณะเฉพาะ จะหาค่า EF ที่เปรียบเทียบกับต่างประเทศได้ยาก และมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาค่า EFมากขึ้น ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่วิธีที่ถูกต้องที่สุดในการศึกษา แต่เป็นวิธีที่ใช้มากที่สุดเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำ ทำได้ง่ายและรวดเร็ว และเป็นวิธีที่ยอมรับให้ใช้ได้ ซึ่งต้องพิจารณาถึงขีดจำกัดด้านความถูกต้องของวิธีนี้ ซึ่งเมื่อมีการพัฒนาการศึกษาค่า EF ของสารมลพิษชนิดต่างๆ จากไอเสียรถยนต์ให้ครอบคลุมทุกประเภทแหล่งกำเนิดและมีความถูกต้องมากขึ้น เช่น รถยนต์เครื่องยนต์เบนซิน เครื่องยนต์ดีเซล รถใช้ก๊าซธรรมชาติ หรือ รถยนต์ชนิดอื่นๆ ซึ่งทำให้เกิดประโยชน์ในการศึกษาอย่างมากมาย ดังสมการที่ 2.3

สมการในการหาค่าตัวคูณการปลดปล่อยมลพิษ

$$EF_P = E_P / VKT \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2.3)$$

เมื่อ EF_P = ตัวคูณการปลดปล่อยมลพิษในหน่วยน้ำหนักต่อระยะทาง

(Emission Factor of pollutant, weight/distance)

VKT = ระยะทางที่เคลื่อนที่ในหน่วยกิโลเมตร

(Vehicle Kilometers traveled) และ

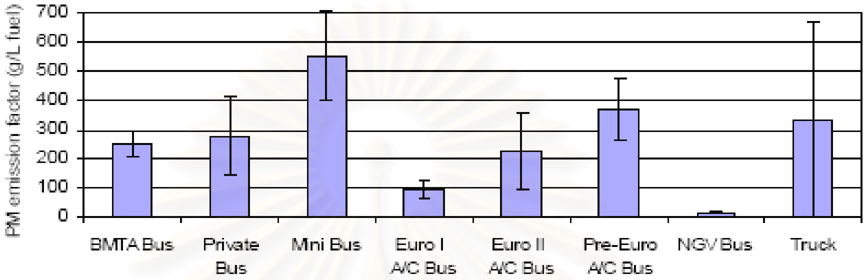
E_P = ค่าเฉลี่ยของมลพิษที่ถูกปลดปล่อยออกมาในหน่วยน้ำหนัก

(Total emission of pollutant in weight)

วิธีการศึกษาค่า EF มี 2 วิธี คือ วิธีวัดทางตรง (direct measurement) และ วิธีวัดทางอ้อม (indirect measurement) เป็นการตรวจวัดปริมาณมลพิษจากห้องปฏิบัติการ และการตรวจวัดปริมาณพิษจากสถานที่จริง ซึ่งนำผลการศึกษามาคำนวณและวิเคราะห์หาค่า EF สำหรับสารมลพิษนั้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) วิธีวัดทางตรง (direct measurement) เป็นการวัดมลพิษในระบบปิด โดยควบคุมสภาวะในการทดสอบต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความดัน รูปแบบการขับขี่ หรือปัจจัยต่างๆ ที่ต้องการหาลักษณะการปลดปล่อยมลพิษ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการทดสอบสูง เช่น ระบบตรวจวัดไอเสียที่ปริมาตรคงที่

(Constant Volume Sampler, CVS) เมื่อจำลองรูปแบบของการขับขี่รถยนต์บนถนนจริงๆ แล้วนำมาทดสอบโดยขับบนเครื่องทดสอบพร้อมกับการวัดปริมาณสารมลพิษชนิดต่างๆ อาทิเช่นฝุ่นละออง (PM) โดยหาน้ำหนักของฝุ่นละออง และหาความสัมพันธ์กับระยะทางที่หรือการใช้เชื้อเพลิง ก็สามารถนำผลมาใช้คำนวณค่า EF จากรถยนต์ชนิดต่างๆ อาทิเช่น รถยนต์ชนิดต่างกันจะมีค่า EF แตกต่างกัน เช่น รถประจำทาง มินิบัส รถบัส มีค่า EF สูงกว่า รถที่ผ่านมาตรฐานไอเสีย EURO-I และ EURO-II รวมถึง รถที่มีใช้เครื่องยนต์ระบบก๊าซ NGV ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ค่าเฉลี่ย EF จากชนิดรถยนต์ที่ต่างกัน (Thiansathit, 2004)

2) วิธีวัดทางอ้อม (indirect measurement) เป็นการวัดมลพิษโดยเลือกพื้นที่เก็บตัวอย่างที่มีความเฉพาะ เช่น บริเวณถนนที่เป็นอุโมงค์ปิด (close tunnel) โดยการติดตั้งอุปกรณ์ที่ปากทางเข้าและออก ทำการเก็บตัวอย่างข้อมูลต่างและสารมลพิษ เช่น ฝุ่นละออง ก๊าซไอเสีย ข้อมูลการจราจร ระยะทางของถนน สภาพอุตุนิยมวิทยา เป็นต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคำนวณค่า EF ซึ่งมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีวัดตรง แต่ไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกได้ เช่น สภาพอุตุนิยมวิทยา และค่า EF ที่ได้มีความเฉพาะเจาะจงในลักษณะจุดเก็บตัวอย่างที่เป็นอุโมงค์ ไม่สามารถนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวาง มีการศึกษาความเข้มข้นของสาร PAHs บริเวณอุโมงค์ในประเทศเยอรมัน โดยมีปริมาณยานพาหนะโดยเฉลี่ย 50,000 คัน ประกอบด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลร้อยละ 60 รถใช้น้ำมันดีเซลและรถบรรทุก ร้อยละ 20 พบว่าโดยทั่วไปมีความเข้มข้นเฉลี่ยระหว่าง 10-120 ng/m^3 มีค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs 2.1 – 23.2 ng/km (Kreis และคณะ, 2001)

2.8 สาร PAHs และคุณสมบัติทั่วไป

PAHs หรือ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons คือ กลุ่มของสารเคมีที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงแอโรมาติก (aromatic ring) ตั้งแต่ 2 วงเชื่อมต่อกัน PAHs ประกอบด้วยโครงสร้างหลักแตกต่างกัน และเป็นกลุ่มของสารเคมีที่เกิดจากการเผาไหม้ ไม่สมบูรณ์ของถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซ ขยะ และอินทรียวัตถุต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์หรือเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ PAHs มีการปนเปื้อนอยู่ในดิน น้ำ อากาศบริเวณต่างๆ ทั่วโลก มีความเป็นพิษต่อมนุษย์และเป็นสารก่อมะเร็งที่ร้ายแรง การป้องกันการเข้าสู่สิ่งแวดล้อมของสาร PAHs ที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ส่วนใหญ่ และเนื่องจากมีการทดลองสารมลพิษทางอากาศสารอื่นมาบ้างแล้ว แต่

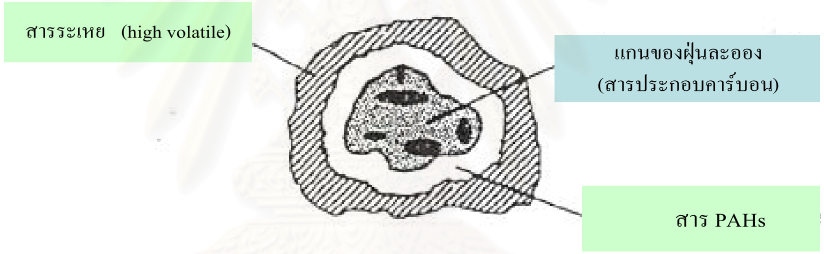
สาร PAHs นั้นมีลักษณะเป็นสารเฉพาะและยังไม่มีการศึกษาอย่างเพียงพอ จึงควรได้รับความสนใจและร่วมมือ เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นต่อสุขภาพอนามัย และเฝ้าระวังการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง

PAHs เป็นสารเคมีบริสุทธิ์ โดยทั่วไปมีสถานะเป็นของแข็งสีขาวหรือสีเหลืองเขียว มักจะอยู่รวมกันเป็นสารผสม ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เกิดขึ้นได้ในอากาศโดยรวมอยู่กับอนุภาคฝุ่นละออง หรือเกิดขึ้นได้ในดิน หรือตะกอนของแข็งที่ทับถมกัน ไม่ละลายน้ำ แต่ระเหยสู่อากาศได้ มีความเสถียรสูง สามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้ 1 เดือนถึง 1 ปี

กระบวนการที่เกิดขึ้นในบรรยากาศ ได้แก่ การควบแน่น (condensation) การดูดซับ (absobtion) สามารถแบ่ง PAHs ได้ 2 สถานะ ดังรูปที่ 2.18 คือ

1) สถานะก๊าซ (gas phase) เป็นสารระเหย อยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิ สูงกว่า 150 ˚C

2) สถานะฝุ่นละออง (particulate phase หรือ particle-bound PAHs, pPAHs) ซึ่งจะเกาะหรือดูดซับกับอนุภาคฝุ่นละออง



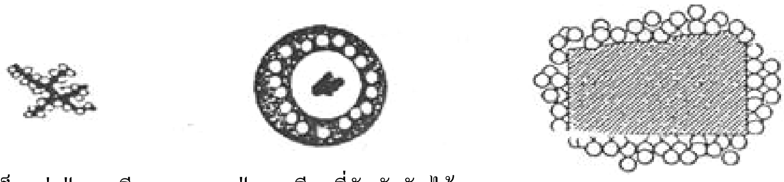
รูปที่ 2.18 องค์ประกอบของ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (Chetwittayachan, 2001)

ลักษณะอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ และการกระจายตัวในอากาศ สารPAHsจะเกาะอยู่บนอนุภาคที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ มีลักษณะโครงสร้างแบบชั้น (shell structure) และสาร PAHs จะถูกปกคลุมด้วยสารกลุ่ม high volatile อื่น อีกชั้นหนึ่ง สามารถจำแนกลักษณะของอนุภาคออกเป็น 3 ประเภท คือ

1) สาร PAHs ที่เกาะอยู่บนอนุภาคที่มีแกนเป็นธาตุคาร์บอน มีขนาดเล็กกว่า 0.1 µm

2) สาร PAHs ที่เกาะอยู่บนอนุภาคขนาดเล็ก หรือถูกดูดซับที่อนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 0.1-2 µm ห่อหุ้มด้วยสารประกอบในกลุ่ม high volatile

3) สาร PAHs ที่เข้าไปเกาะติดกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ (ขนาด 2-10 µm)



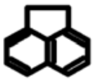
อนุภาคที่เล็กกว่าฝุ่นละเอียด	ฝุ่นละเอียดที่จับตัวกันได้	ฝุ่นหยาบมีลักษณะเป็นแผ่น
(< 0.1 μm)	(0.1-2.0 μm)	(2-10 μm)

รูปที่ 2.19 ขนาดของสาร PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (Chetwittayachan, 2001)

สาร PAHs สามารถก่อตัวเป็นสารต่าง ๆ ได้หลากหลายขึ้นอยู่กับจำนวนวงแอโรมาติก ที่อยู่ในโมเลกุล สามารถเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทางทั้งจากธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การซึมของน้ำมันดิบสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และดิน ไฟไหม้ป่า ภูเขาไฟระเบิด ซึ่งเหล่านี้ทำให้เกิดการปนเปื้อนโดยธรรมชาติ ส่วนการกระทำของมนุษย์ที่สำคัญ คือการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์จากรถยนต์ ซึ่งเป็นการเผาไหม้ในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด ทำให้สารประกอบอินทรีย์ของธาตุคาร์บอนไม่ถูกออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์จนหมด การเผาไหม้ชนิดไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิดสาร PAHs ได้แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่เผาไหม้ ซึ่งเป็นกิจกรรมที่สำคัญที่ปล่อยสาร PAHs ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน

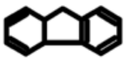
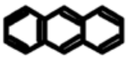
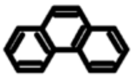
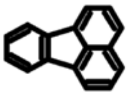
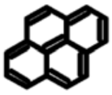
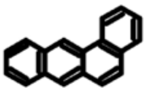
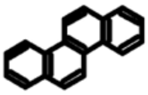
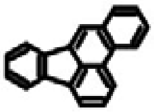
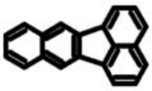
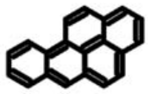
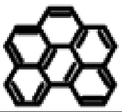
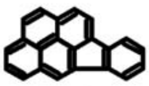
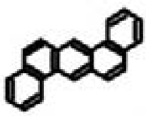
รถยนต์นับเป็นแหล่งปลดปล่อยสาร PAHs สู่สิ่งแวดล้อมที่สำคัญ เนื่องจากในปัจจุบันมีปริมาณรถยนต์เพิ่มมากขึ้นทุกปี พบสาร PAHs ประมาณร้อยละ 6-23 ถูกดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกว่า 1 μm สามารถแขวนลอยประมาณ 40 วัน และสามารถเคลื่อนที่เป็นระยะทางไกลๆ ได้ (Kreis , 2001) ปัจจัยหลักของปริมาณ PAHs ที่ปลดปล่อย คือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้สมบูรณ์จะมีการปลดปล่อย PAHs ออกมาน้อย ในทางตรงกันข้ามเครื่องยนต์ที่เก่าแล้วจะมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะมีการปล่อย PAHs ออกมามากกว่า โดยมีกลุ่มสาร PAHs ประมาณ 16 ชนิดจากไอเสียรถยนต์ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สาร PAHs จากไอเสียรถยนต์

สารประกอบ PAHs (PAHs compounds)	สูตรโมเลกุล (Formula)	มวลโมเลกุล (MW)	จุดเดือด (°C)	จุดหลอมเหลว (°C)	โครงสร้าง (Structure)
1. Naphthalene (Naph)	$C_{10}H_8$	128.17	218	80.2	
2. Acenaphthylene (Acy)	$C_{12}H_8$	152.20	280	92.5	
3. Acenaphtene (Ace)	$C_{12}H_{10}$	154.21	279	93.4	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 สาร PAHs จากไอเสียรถยนต์ (ต่อ)

4. Fluorene (Flu)	$C_{13}H_{10}$	166.22	295	115	
5. Antracene (Anth)	$C_{14}H_{10}$	178.23	340	215	
6. Phenantrene (Phe)	$C_{14}H_{10}$	178.23	340	99.2	
7. Fluorantene (Fla)	$C_{16}H_{10}$	202.26	384	108	
8. Pyrene (Pyr)	$C_{16}H_{10}$	202.26	404	151	
9. Benzo (a) antracene (BaA)	$C_{18}H_{12}$	228.29	435	167	
10. Crysene (Chr))	$C_{18}H_{12}$	228.29	448	258	
11. Benso (b) fluoranthene (BbF)	$C_{20}H_{12}$	252.32	--	168	
12. Benso (k) fluoranthene (BkF)	$C_{20}H_{12}$	252.32	480	217	
13. Benso (a) pyrene (BaP)	$C_{20}H_{12}$	252.32	495	177	
14. Benso (g,h,i) perylene (BghiP)	$C_{22}H_{12}$	276.34	--	278	
15. Indeno (1,2,3-cd) pyrene (I(1,2,3-cd)P)	$C_{22}H_{12}$	276.34	--	164	
16. Dibenz (a,h) antracene (DahA)	$C_{22}H_{14}$	278.35	524	270	

ที่มา: U.S. EPA, 1999.

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Abrantes (2003) ได้ทดสอบไอเสียจากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก จำนวน 4 คัน บนแท่นทดสอบ (chassis dynamometer) จากห้องปฏิบัติการยานพาหนะ โดยใช้รูปแบบการขับขี่ FTP-75 ดัดแปลงจาก ECE driving cycle เพื่อหาอัตราการปลดปล่อยสาร PAHs โดยทำการวิเคราะห์สาร PAHs ในสถานะฝุ่น (particle phase) และก๊าซ (gas phase) ด้วยเครื่อง HPLC พบว่าค่าอัตราการปลดปล่อยของสาร PAHs อยู่ระหว่าง 1.133-5.801 mg/km พบสาร PAHs 5 ชนิด คือ Naph, Phe, Flu, Pyr, และ Chr

Behrentz (2004) ทำการทดสอบวัดปริมาณไอเสียจำพวกก๊าซ N_2O รถยนต์เบนซินขนาดเล็กบนแท่นทดสอบ และวัดปริมาณ N_2O ด้วยเครื่อง FTIR spectroscopy จากรถยนต์ขนาดเล็กจำนวน 37 คัน ที่สถาบันค้นคว้าและวิจัยด้านมลภาวะอากาศ รัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา โดยใช้รูปแบบการขับขี่ (driving cycle) 2 รูปแบบ คือ Urban Driving Schedule และ the Unified cycle พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อย N_2O และ NO_X มีค่า $R = 0.45$ แต่ไม่ได้ทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ลดไอเสียก่อนทำการทดสอบ จากการทดสอบพบว่า ปัจจัยหลักในการปลดปล่อย N_2O คือ ชนิดของอุปกรณ์ลดไอเสีย รูปแบบการขับขี่ ชนิดของรถที่ทดสอบ และค่าเฉลี่ยของตัวคูณการปลดปล่อย N_2O ของรถทั้ง 37 คัน คือ 20±4 mg/km ค่าสูงสุดเท่ากับ 100 mg/km ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 mg/km และสัดส่วนของอัตราการปลดปล่อย N_2O/NO_X มีค่าเท่ากับ 0.095±0.035

Fromme (1998) ได้ทำการศึกษาสาร PAHs และสารประกอบคาร์บอน จากการเผาไหม้เครื่องยนต์ของยานพาหนะจากการจราจรและการเผาถ่านหินของรถรางในอุโมงค์ ในฤดูแล้งฝน ปี 1995 และฤดูใบไม้ผลิปี 1996 ตรวจวัดสาร PAHs และสารประกอบคาร์บอน จากรถยนต์ 16 คัน และรถราง 16 คัน ในช่วงเวลา 7.00-16.00 น. จากการเปรียบเทียบฤดูกาลที่แตกต่างกัน (แล้งฝน-ฝน) พบว่า ค่าเฉลี่ยรวมของสาร PAHs จากรถยนต์ เท่ากับ 10.2 และ 28.7 ng/m^3 พบ BaP เท่ากับ 1.0 และ 3.2 ng/m^3 และสารประกอบคาร์บอนมีค่า 14.1 และ 8.2 $\mu g/m^3$ ส่วนในรถรางพบ BaP เท่ากับ 0.7 และ 4.0 ng/m^3 และค่าเฉลี่ยรวมของสาร PAHs จากรถราง เท่ากับ 30.2 และ 67.5 ng/m^3 ส่วนสารประกอบคาร์บอนมีค่า 10.9 และ 6.9 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ และพบว่าสามารถเปรียบเทียบการปลดปล่อยระหว่างรถยนต์กับรถรางได้ โดยอธิบายจากค่าความเข้มข้นของสาร Flu และ Pyr และพบว่า สาร BaP ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในฤดูใบไม้ผลิมีค่าสูงกว่าฤดูแล้งฝนประมาณ 3-4 เท่า

Garivait และ Polprasert (1999) ศึกษาพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงของสาร PAHsในบรรยากาศของกรุงเทพมหานครในแนวระดับซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยแบ่งการศึกษาสาร PAHs เป็นชนิดฝุ่นละอองและก๊าซ โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง 8 ขนาด ด้วย

cascade impactor (Andersen low volume) และหลอดดูดซับซึ่งบรรจุสาร XAD-2 เพื่อเก็บก๊าซ PAHs สกัดสาร ด้วยวิธีอุลตร้าโซนิคและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC พบสาร PAHs 9 ชนิดได้แก่ Pyr, BaA, BeP, DBacA, BkF, BaP, DahA, BghiP และ 3MC พบว่าความร้อนมีผลต่อพฤติกรรมของสาร PAHs ในสถานะก๊าซ เพราะเขตศูนย์สูตรมีอุณหภูมิเฉลี่ย 35 °C พบสาร PAHs ที่มีมวลโมเลกุลต่ำกว่า 202 เท่านั้น แต่ไม่พบสาร PAHs ที่มีโมเลกุลมากกว่าเลย

Kawanaka (2003) ศึกษาขนาดและการกระจายตัวของสาร PAHs ทั้งหมด 9 ชนิด สาร 2-nitro-fluorene (2-NF) และสารก่อมะเร็ง โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ บริเวณจังหวัดไซตามะ ประเทศญี่ปุ่น เก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บฝุ่นละอองใช้ปริมาตรอากาศต่ำ ซึ่งมีความสามารถในการคัดขนาดฝุ่นได้แตกต่างกัน 12 ขนาด ได้แก่ <0.11, 0.11-0.19, 0.19-0.29, 0.29-0.48, 0.48-0.68, 0.68-1.2, 1.2-2.1, 2.1-3.5, 3.5,5.1, 5.1-7.6, 7.6-11.0 และ >11.0 μm วิเคราะห์ตัวอย่างสาร PAHs และ 2-NF ด้วยเครื่อง GC/MS และ GC/EI-MS พบว่าการกระจายตัวของฝุ่นมีลักษณะกราฟเป็น bimodal มีความเข้มข้นฝุ่นละอองสูงสุดที่ขนาด 0.48-0.68 และ 3.5-5.1 μm ในขณะที่ปริมาณทั้งหมดของสาร PAHs, 2-NF และสารก่อมะเร็งมีลักษณะกราฟเป็น unimodal พบว่าในอนุภาคมีสารประกอบทั้งหมด 87-95% คิดเป็นสารก่อมะเร็ง 88-100% และพบว่าปริมาณสาร PAHs และสาร 2-NF มีปริมาณต่อหน่วยมวลของฝุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อฝุ่นมีขนาดเล็กลง ซึ่งพบในฝุ่นขนาด 0.11-0.19 <0.11 μm

Kreis และคณะ (2001) วิเคราะห์ความเข้มข้นของสาร PAHs และ Oxy-PAHs จากบรรยากาศของเมือง Munich ประเทศเยอรมนี เก็บตัวอย่างบริเวณเมืองชั้นในกับบริเวณถนนปิดและการจราจรติดขัด เป็นเวลา 24 ชม. และคัดขนาดฝุ่นละออง 9 ขนาดด้วยเครื่องเก็บอากาศปริมาตรต่ำ (low-pressure cascade impactors) วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง HPLC พบสาร PAHs 7 ชนิด มีค่าเฉลี่ยรวม 1.24 ng/m^3 ในช่วงความเข้มข้นที่ 0.68-1.85 ng/m^3 ในบริเวณเขตเมืองชั้นใน ส่วนบริเวณที่เป็นถนนปิดและการจราจรติดขัดพบสาร PAHs เฉลี่ย 5.61 ng/m^3 ในช่วงความเข้มข้น 3.65-6.65 ng/m^3 และ 5.74 ng/m^3 ในช่วง 1.67-15.13 ng/m^3 การกระจายตัวของสาร PAHs ในบรรยากาศมีค่าระหว่าง 0.15-9.45 ng/m^3 (ค่าเฉลี่ย 2.4 ng/m^3) เป็นฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.06-0.13 μm ซึ่งเหมือนกันทุกจุดเก็บตัวอย่าง และในสภาวะลมสงบ พบฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นคือ 0.26-0.9 μm

Lee และคณะ (1995) ได้ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของสาร PAHs ในบรรยากาศที่มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรในบริเวณเขตเมือง จำนวน 18 ตัวอย่าง เปรียบเทียบกับปริมาณสาร PAHs ในบรรยากาศบริเวณและนอกเมือง จำนวน 12 ตัวอย่าง ในประเทศไต้หวัน โดยเก็บตัวอย่างสาร PAHs ทั้งก๊าซและอนุภาคฝุ่น พบว่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs จากการจราจรมี

ค่าเฉลี่ย 8,110 ng/m^3 ซึ่งมีค่าสูงกว่าบริเวณเขตเมืองและนอกเมือง 5.3 และ 8.5 เท่าตามลำดับ และพบว่า สัดส่วนของรถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการปลดปล่อยสาร PAHs สูงสุด โดยมีความเข้มข้นรวมเท่ากับ 7,341 mg/l

Mi และคณะ (1996) ได้ศึกษาการปลดปล่อยสาร PAHs จากยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์เบนซิน และเปรียบเทียบชนิดเชื้อเพลิงเบนซิน ระหว่างเบนซินไร้สารตะกั่ว (95-lead free gasoline, LFG) และเบนซินชนิดผสมสารตะกั่ว (leaded premium gasoline, LPG) เก็บตัวอย่างไอเสียโดยวิธี dynamometric test กำหนดสภาวะทดสอบเป็นสภาพไร้ภาระและระดับความเร็วเป็น 40, 80 และ 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่าปริมาณสาร PAHs จากไอเสียทั้งหมด 21 ชนิด ด้วยเครื่อง GC/MS พบค่า EF เฉลี่ยของสาร BaP ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง จากเครื่องยนต์ที่ใช้ LFG และ LPG มีค่าเท่ากับ 2.92 และ 2.47 ไมโครกรัมต่อกิโลเมตร ตามลำดับ

Miguel และคณะ (1998) ได้ศึกษาอัตราการปลดปล่อยสาร PAHs และ สารจำพวก black carbon จากยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซลและเบนซินบริเวณถนน ติดตั้งเครื่องมือและตรวจวัดสารดังกล่าว บริเวณแถบอ่าว San fransisco ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเก็บตัวอย่างรถบรรทุกดีเซล และรถยนต์เบนซิน พบว่า รถบรรทุกที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs และมีอัตราการปลดปล่อยสารดังกล่าวจากเขม่าควันมากกว่ารถยนต์ขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันเบนซิน

Staehelin และคณะ (1998) ได้ศึกษา EF ของสารมลพิษทางอากาศคือ สารกลุ่ม VOCs, total hydrocarbon, CO, NO_X, SO_2 และ PAHs บริเวณอุโมงค์ Gubrist เมือง Zurich ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ระหว่างวันที่ 20-26 พฤศจิกายนในปี 1993 จากยานพาหนะที่แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ light และ heavy duty diesel vehicles และวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบถดถอยอย่างง่าย (simple regression analysis) พบว่าค่า EF ของสาร PAHs จากยานพาหนะชนิด heavy duty diesel vehicles มีค่ามากกว่าชนิด light duty diesel vehicles ซึ่งการศึกษาความเข้มข้นของสาร PAHs ในบรรยากาศที่เป็นสารก่อมะเร็งและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

Tavares (2003) ศึกษาความเข้มข้นของสาร PAHs ในสถานะ gas (vapor phase) บริเวณสถานขนส่งองเมือง Londrina ซึ่งส่วนใหญ่เป็นรถโดยสารที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล เก็บตัวอย่างต่อเนื่อง 24 ชม. เป็นเวลา 14 วัน ในเดือน มกราคม ปี 2002 โดยใช้หลอดบรรจุสารเรซิน XAD-2 เป็นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างเพื่อนำไปสกัดและวิเคราะห์สารด้วยเครื่อง GC/FID และ GC/MS พบสาร PAHs 10 ชนิด ได้แก่ Naph, Acy, Ace, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA และ Chry พบว่า BaA มีความเข้มข้นต่ำสุด 1.4 ± 0.3 ng/m^3 ส่วน Phe มีค่าสูงสุดคือ 348.0 ± 32.7 ng/m^3 รองลงมาเป็น Flu (140.2 ± 17.3 ng/m^3) และ Naph (97.7 ± 10.3 ng/m^3) ตามลำดับ และพบว่าสาร PAHs ที่วงแอโร

มาติก 2-3 วง มีถึงร้อยละ 90.2 จากสาร PAHs ทั้ง 10 ชนิด และในวันอาทิตย์จะมีปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ต่ำกว่าวันอื่นซึ่งแปรผันตามจำนวนรถที่น้อยกว่าวันอื่นด้วย

Tsai และคณะ (2000) หาค่าตัวคูณการปลดปล่อยสารคาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนรวมและสารระเหย จากรถจักรยานยนต์สภาพใหม่จำนวน 7 คัน และสภาพใช้งานจำนวน 12 คัน มีทั้งแบบติดตั้งและไม่ติดตั้งอุปกรณ์ลดไอเสีย ทำการทดสอบบนแท่นทดสอบ ใช้รูปแบบการขับขี่ 5 รูปแบบ คือ idle, acceleration, cruise 30 km/hr, cruise 50 km/hr และ deceleration พบว่า คาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากรถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ มีค่าสูงกว่ารถ 4 จังหวะ การปลดปล่อยสารระเหยจากรถใช้งานมีค่าสูงกว่ารถใหม่ทั้ง 5 รูปแบบการขับขี่ ส่วนระ2 จังหวะมีค่า VOC สูงกว่ารถ 4 จังหวะในรูปแบบการขับขี่ชนิด idle และ deceleration โดยทำการคำนวณมวลที่ปลดปล่อยออกมาในขณะทดสอบ

Tsai และคณะ (2001) ศึกษาการได้รับสัมผัสสาร PAHs ที่เกิดจากฝุ่นละอองจากคนทำงานในโรงงานเผาถ่านหิน โดยใช้เครื่องดูดอากาศขนาดพกพาติดกับคนงานจำนวน 22 คน เพื่อเก็บตัวอย่างสาร PAHs ในรูปของฝุ่นละออง (pPAHs) และใช้สารเรซิน XAD-2 เก็บตัวอย่างสาร PAHs ในรูปก๊าซ ทำการวิเคราะห์สาร PAHs 21 ชนิด ด้วยเครื่อง GC/MS และเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองโดยการคัดขนาดด้วยเครื่อง MOUDI พบว่ากลุ่มคนทำงานมีการได้รับสัมผัสสาร PAHs ในระดับสูงเฉลี่ย 1.17 mg/m^3 ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 3.5 mg/m^3 สาร PAHs ในสถานะก๊าซพบได้ในกลุ่มตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะ สาร BaP และ Per ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มคล้ายกับสาร PAHs ในรูปฝุ่นละออง มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ถ่านหินและมีการปลดปล่อยในระหว่ากระบวนการ แต่สาร PAHs ในสถานะก๊าซอาจจะมีการปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการอื่น เช่น การเติมน้ำมันในระบบเผาไหม้ ซึ่งสาร PAHs ทั้ง 2 สถานะนั้นมีความสำคัญต่อการได้รับสัมผัสของคนงานในโรงงาน ส่วนการกระจายตัวของฝุ่นละออง (Size distribution) ทั้งฝุ่นละอองและสาร PAHs ที่ดูดซับบนฝุ่นละอองมีลักษณะเป็น แบบ bimodal และไม่สามารถทดสอบความแตกต่างทางสถิติได้ แต่สามารถบอกได้ว่า แนวโน้มของสาร pPAHs มีลักษณะเหมือนกับการปลดปล่อยฝุ่นละอองจากระบบ

Yao และคณะ (2003) ศึกษาถึงการกระจายตัว (distribution) และการเกิดรูป (formation) ของสารไอออนิกในบรรยากาศ โดยแยกเก็บตัวอย่างก๊าซและฝุ่นในบรรยากาศ บริเวณกรุงปักกิ่งประเทศจีน ในช่วงฤดูแล้งฝน ในปี 2001 และฤดูใบไม้ผลิ ในปี 2002 พบว่าการกระจายตัวและการเกิดรูปมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยทดสอบการกระจายตัวของ SO_4^{2-}, K^+, และ Ca^{2+} เป็นไอออนอ้างอิง ใช้สาร oxalate, malonic, และ succinic ซึ่งเป็นสารจำพวกกรดใช้ทดสอบหาการเกิดรูปของสารในอนุภาคฝุ่นละอองในบรรยากาศของกรุงปักกิ่งในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน พบว่าสาร

oxalate จะอยู่ในฝุ่นขนาด 0.7±0.1 μm และมีแนวโน้มเหมือนกับสาร sulfate และ succinic ส่วนสาร malonic พบในฝุ่นขนาด 0.8±0.2 μm และพบว่าในฤดูใบไม้ร่วงปริมาณสาร oxalate จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ฝุ่นขนาด 0.45±0.05 μm และมีความสัมพันธ์กับ sulfate ส่วน Ca^{2+} จะพบในฝุ่นหยาบ

Zhou และคณะ (2003) ทำการเก็บตัวอย่างสาร PAHs และคัดขนาดฝุ่นละออง 5 ขนาด (>7.0, 3.3-7.0, 2.0-3.3, 1.1-2.0 และ <1.1 μm) พบสาร PAHs อยู่ในช่วง 0.84-152 ng/m^3 มีค่าเฉลี่ย 116 ng/m^3 และในบริเวณเขตเมืองมีค่าสูงกว่าชานเมือง 1.1-6.6 เท่า สาร PAHs มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง ประมาณร้อยละ 68.4-84.7 พบว่าสาร PAHs ถูกดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดน้อยกว่า 2 μm และมีลักษณะการกระจายตัวแบบ bimodal ส่วนใหญ่เป็นสาร PAHs ที่มีวงแอโรมาติก 2-3 วง ส่วนสาร PAHs ที่มีวงแอโรมาติกตั้งแต่ 4 วงขึ้นไปมีการกระจายตัวแบบ unimodal แสดงว่าสาร PAHs ที่มีมวลโมเลกุลสูงจะพบในฝุ่นที่มีขนาดเล็ก และพบว่าโดยทั่วไปสาร PAHs เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านหิน ซึ่งมีปริมาณสูงในฤดูหนาว และในแต่ละฤดูกาลไอเสียจากรถยนต์เบนซินและดีเซลก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสาร PAHs

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สถานที่และการเก็บตัวอย่างไอเสียจากยานพาหนะ

ห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะ ฝ่ายมลพิษทางอากาศและเสียงจากยานพาหนะ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตั้งอยู่ที่บริเวณคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี ประกอบด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการวิเคราะห์ไอเสียจากยานพาหนะ 4 ประเภท คือ รถจักรยานยนต์ รถยนต์เบนซิน รถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก และรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ ซึ่งในการเก็บตัวอย่างจะเก็บที่ห้องทดสอบรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 3.1

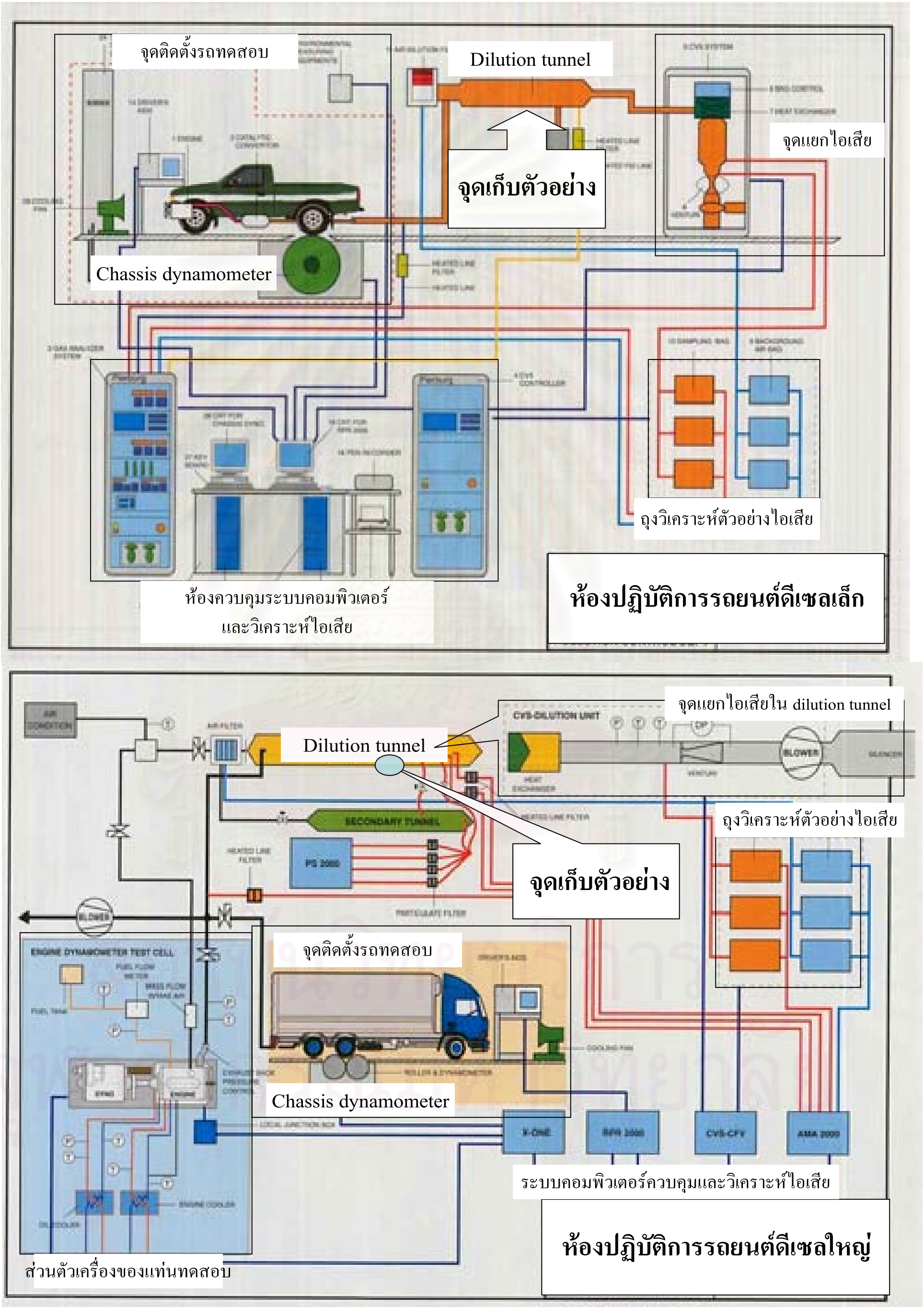
รูปที่ 3.1 ห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะชนิดดีเซลเล็กและดีเซลใหญ่

3.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการศึกษา

3.2.1 ระบบเก็บตัวอย่างไอเสียปริมาตรคงที่ (Constant Volume Sampler, CVS)

ระบบ CVS เป็นระบบที่ใช้เก็บตัวอย่างมลพิษมีการควบคุมสภาวะต่างๆ เป็นระบบที่มีปั๊มลมดูดอากาศที่เป็นไอเสียจากยานพาหนะเพื่อควบคุมความร้อน สามารถวิเคราะห์ไอเสียได้อย่างต่อเนื่องและแม่นยำ มีความสัมพันธ์ที่เหมาะสมกับการเจือจางไอเสีย มีอัตราการไหลของอากาศในระบบของรถดีเซลใหญ่และดีเซลเล็กเท่ากับ 90 และ 40 m^3/min ตามลำดับโดยมีการจำลองสภาวะการทำงานของยานพาหนะที่ใช้ในการทดสอบตามวิธีการเก็บตัวอย่างแบบวิธีวัดโดยตรง (direct measurement) หลังจากการเดินเครื่องยนต์ โดยจะทดสอบสภาวะที่จำลองสภาพการเดินรถในสภาพจริงบนแท่นทดสอบ (chassis dynamometer) และมีการเดินรถแบบครบรอบการขับขี่ (driving cycle) ซึ่งเป็นรูปแบบลักษณะการขับขี่ในพื้นที่นั้นๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งลักษณะการปลดปล่อยไอเสียที่แท้จริง ไอเสียจะถูกเก็บจากเครื่องยนต์ เมื่อไอเสียถูกเจือจางแล้วส่วนหนึ่งจะถูกวัดอัตราการระบายไอเสีย และส่วนหนึ่งจะนำไปวัดปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษทุกๆ ตัวในถุงเก็บตัวอย่าง (bag sampling) เนื่องจากระบบนี้วัดอัตราการระบายออกได้ และก็สามารถวัดความ

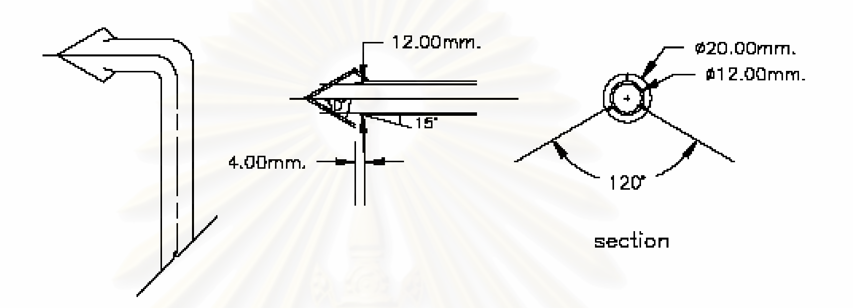
เข้มข้นของสารมลพิษต่างๆ ไปพร้อมๆ กัน จึงทำให้ทราบอัตราการระบายออกในหน่วยน้ำหนักต่อการเดินทางหรือต่อหน่วยเวลาได้ ซึ่งเราสามารถใช้แบบจำลองของการขับในถนนจริง แล้วขับบนเครื่องทดสอบพร้อมกับการตรวจวัดมลพิษในไอเสีย ก็จะทราบอัตราการปลดปล่อยมลพิษที่ใกล้เคียงกับอัตราการปลดปล่อยมลพิษจริง ห้องปฏิบัติการระบบ CVS แสดงในแผนภาพดังรูปที่ 3.2



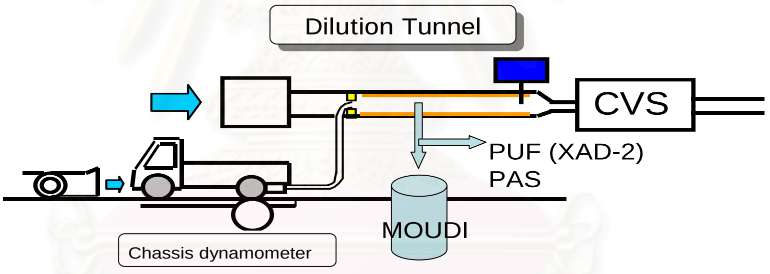
รูปที่ 3.2 ระบบการเก็บตัวอย่างห้องปฏิบัติการรถยนต์ดีเซลเล็กและดีเซลใหญ่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2542)

3.2.2 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้เก็บไอเสียจากระบบ CVS

ทำการเก็บตัวอย่างไอเสียจากระบบบริเวณ dilution tunnel โดยใช้ท่อเหล็ก(probe) ที่ดัดแปลงเพื่อเก็บตัวอย่าง โดยปลายท่อมีลักษณะเป็นรูปกรวยกลมสามารถอธิบายการเก็บไอเสียตามหลัก Iso kinetic ซึ่งความเร็ว (velocity) ในการชักตัวอย่างของระบบที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วในการเก็บตัวอย่างของอุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างจากระบบ โดยในท่อดูดไอเสียของระบบจะมีความเข้มข้นของมลสารที่ถูกเจือจางเท่ากัน เพื่อชักตัวอย่างไอเสียจากระบบ CVS แสดงดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 ท่อเหล็กอลูมิเนียมสำหรับตัวอย่างไอเสียจากระบบ (Worrarat, 2004)



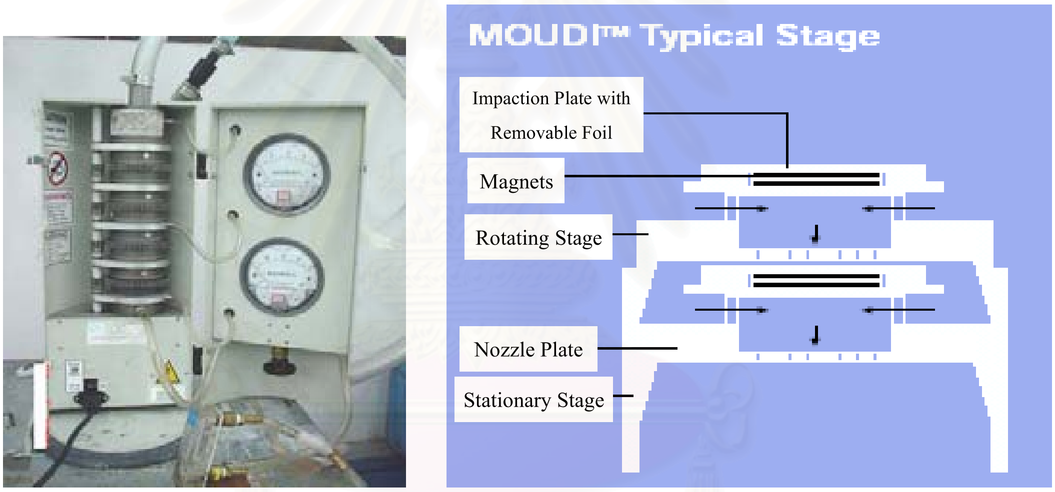
รูปที่ 3.4 การเก็บตัวอย่างไอเสียจากระบบ CVS

3.2.3 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

อุปกรณ์มีชื่อเรียกว่า MOUDI (Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถคัดขนาดของฝุ่นละอองได้ ใช้หลักการตกกระทบของวัตถุ (impaction)ผ่านแถบแม่เหล็ก ผ่านรูคัดขนาด (nozzle plate) และมีการหมุนชั้นต่างๆ (rotating stage) เพื่อทำให้ฝุ่นเป็นเนื้อเดียวกัน โดยอาศัยเครื่องปั๊มดูดอากาศผ่านตัวเครื่องที่มีการปรับค่าอัตราการไหลของอากาศที่ 30 ลิตรต่อนาที โดยมีทั้งหมด 10 ชั้น ซึ่งในแต่ละชั้นจะมีกระดาษกรองชนิด PTFE ขนาด 3.0 ไมครอน ตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 4 และขนาด 0.1 ไมครอน ตั้งแต่ชั้นที่ 5 ถึงชั้นที่ 9 ส่วนชั้นที่ 10 เป็นชั้นสุดท้ายใช้กระดาษกรองชนิด glass fiber สามารถคัดขนาดฝุ่นตั้งแต่ขนาดเล็กกว่า 0.18 ถึง มากกว่า 18 ไมครอน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และแสดงหลักการเก็บฝุ่นดังรูปที่ 3.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ชั้นขนาดต่างๆ ในการคัดแยกฝุ่นละออง

Class size	Size (μm)
Stage 1 pre-filter	>18
Stage 2	10 -18
Stage 3	5.6 -10
Stage 4	3.2-5.6
Stage 5	1.8-3.2
Stage 6	1.0-1.8
Stage 7	0.56-1.0
Stage 8	0.32-0.56
Stage 9	0.18-0.32
Stage10 after-filter	<0.18



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์คัดขนาดฝุ่นละออง (MOUDI)

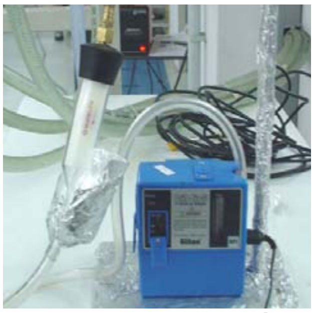
3.2.4 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างก๊าซ

อุปกรณ์เก็บก๊าซ (ดัดแปลงจากวิธีมาตรฐานของ EPA method TO-13A มีสาร XAD-2 เป็นสาร absorbent) โดยเก็บก๊าซผ่านเข้าอุปกรณ์ที่มีสาร XAD-2 เป็นตัวดูดซับไอเสียในขณะที่มีการเดินระบบการตรวจวัดมลพิษของห้องปฏิบัติการมีวัสดุและอุปกรณ์ดังนี้

1) Polyurethane foam (PUF) cartridges ซึ่งบรรจุสาร XAD-2 (Styrene-divinylbenzene polymer beads) รุ่น ORBO-1500 small PUF low volume (PUF/XAD-2/PUF) ของบริษัท Supelco ดังรูปที่ 3.6

2) เครื่องดูดอากาศ personal air sampler

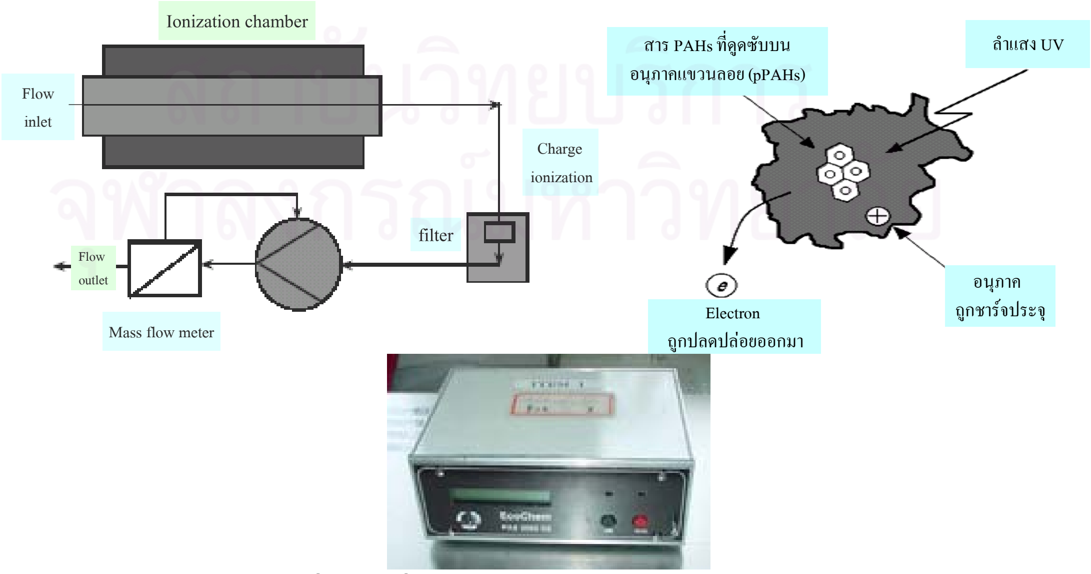
3) สายยางพลาสติก



รูปที่ 3.6 ชุดเก็บตัวอย่างหลอด PUF และเครื่อง personal air sampler

3.2.5 อุปกรณ์ตรวจวัด pPAHs ด้วยเครื่อง PAS

อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดสาร PAHs ชนิดต่างๆ เป็นปริมาณรวม คือ PAHs Monitor รุ่น PAS 2000CE โดยใช้หลักการ photoelectric aerosol sensor เพื่อวัดค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย ใช้สำหรับการตรวจวัดที่เวลาจริง (real time) สามารถวิเคราะห์อนุภาคทั้งหมดของ PAHs ที่มีวงอะโรมาติกตั้งแต่ 3 วงขึ้นไป ที่ดูดซับหรือยึดเกาะบนอนุภาคขนาดตั้งแต่เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 ไมครอน และมีอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องประมาณ 1 ลิตรต่อนาที โดยหลักการทำงานของเครื่อง คือ การวัดค่าการแตกตัวเป็นไอออนของอนุภาคโดยใช้พลังงานแสง (รูปที่ 3.7) โดยหลอดรังสี UV จะยิงลำแสงไปที่อนุภาคฝุ่น ส่งผลให้อนุภาคที่ดูดซับสาร PAHs ปล่อย photoelectron และอิเล็กตรอนออกมา อนุภาคที่ดูดซับ PAHs จะเกิดประจุบวก และไหลผ่านเข้าไปในส่วนของชั้นกรองฝุ่นละออง (filter) ส่วนอิเล็กตรอนจะถูกกำจัดออกไป ประจุบวกของอนุภาคจะรวมอยู่บนชั้นกรองและถูกวัดประจุไฟฟ้า โดยเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า สัญญาณที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้านี้ได้ถูกปรับเทียบ (calibrate) กับค่าความเข้มข้นทั้งหมดของสาร PAHs ดังนั้น ค่าที่วัดได้จึงแปรผลออกมาในรูปของความเข้มข้นทั้งหมดของสาร PAHs



รูปที่ 3.7 เครื่อง PAS 2000CE และหลักการทำงาน

3.2.6 เครื่อง Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) ใช้เทคนิคในการแยกสารด้วยวิธีโครมาโตกราฟี โดยการให้ความร้อนกับเตา และคอลัมน์ สารที่มีน้ำหนักเบาจะถูกแยกออกมาก่อน และถูกตรวจสอบไอออนของสารนั้นด้วยเครื่องแมสสเปคโตรมิเตอร์ ซึ่งให้ความไวในการตรวจวัดสูง ประกอบด้วยเครื่อง GC ติดตั้งคอลัมน์ ชนิด แคปิลลารี่ รุ่น CP-8944 และมีเครื่อง MS รุ่น CP 2200 เป็นดีเทคเตอร์ ผลิตโดยบริษัท Varian ของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้งานหลังการสกัดสาร PAHs เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณสาร

3.2.7 วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี ในการเตรียมการสกัดสาร PAHs

1) สารละลายมาตรฐานผสมของสาร PAHs 16 ชนิด (TCL Polynuclear Aromatic Hydrocarbon mix) ผลิตโดยบริษัท Supelco ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งประกอบด้วย

อะซีแนฟทีน	(Acenaphthene)
อะซีแนฟไทลีน	(Acenaphthylene)
แอนทราซีน	(Anthracene)
เบนโซ (เอ) แอนทราซีน	(Benzo (a) anthracene)
เบนโซ (เอ) ไพรีน	(Benzo (a) pyrene)
เบนโซ (บี) ฟลูออแรนทีน	(Benzo (b) fluoranthene)
เบนโซ (จี, เอช, ไอ) ไพรีน	(Benzo (g, h, i) pyrene)
เบนโซ (เค) ฟลูออแรนทีน	(Benzo (k) fluoranthene)
ไครซีน	(Chrysene)
ไดเบนซ์ (เอ, เอช) แอนทราซีน	(Dibenz (a, h) Anthracene)
ฟลูออแรนทีน	(Fluoranthene)
ฟลูออรีน	(Fluorene)
อินดีโน (1,2,3-ซี ดี) ไพรีน	**(Indeno (1,2,3–cd) pyrene)**
แนฟทาลีน	(Naphthalene)
ฟีแนนทรีน	(Phenanthrene)
ไพรีน	(Pyrene)

. 2) สาร Base-neutral surrogate spike mix ละลายผสม เมทิลีนคลอไรด์ ผลิตโดยบริษัท Supelco ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งประกอบด้วย

ไนโตรเบนซีน-ดี 5	(Nitrobenzene-d5)
พี-เทอฟีนิล-ดี14	(P-terphenyl-d14)
2-ฟลูออโรไบฟีนิล	(2-fluorobiphenyl)

3) สาร Semi-volatile Internal Standard mix ผลิตโดยบริษัท Supelco ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งประกอบด้วย

อะซีแนฟทีน-ดี10	(Acenaphthene-d10)
ไครซีน-ดี12	(Crysene-d12)
แนฟทาลีน-ดี8	(Naphthalene-d8)
เพอริลีน-ดี12	(Perylene-d12)
ฟีแนนทรีน-ดี10	(Phenanthrene-d10)
1,4 – ไดคลอโรเบนซีน –d4	(1,4-dichlorobenzene-d4)

4) สารตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane, DCM (CH_2Cl_2)) เกรดสำหรับการวิเคราะห์ ผลิตโดยบริษัท Labscan Asia Co. , Ltd

5) เครื่องแก้ว (ขวด flask, บิกเกอร์)

6) เครื่องแยกสาร Sonopuls Ultrasonic Homogenizer รุ่น UW 2070 ของบริษัท Bandelin electronic

7) ท่อ PVC ดัดแปลงมีจุดต่อสายยางเพื่อกระจายก๊าซไนโตรเจนในการระเหยสาร

8) ขวด vial ขนาด 2 ml

9) ขวด insert vial ขนาด 200 µl

10) ฝาปิด screw cap vial และ แผ่น septa ชนิด PTFE

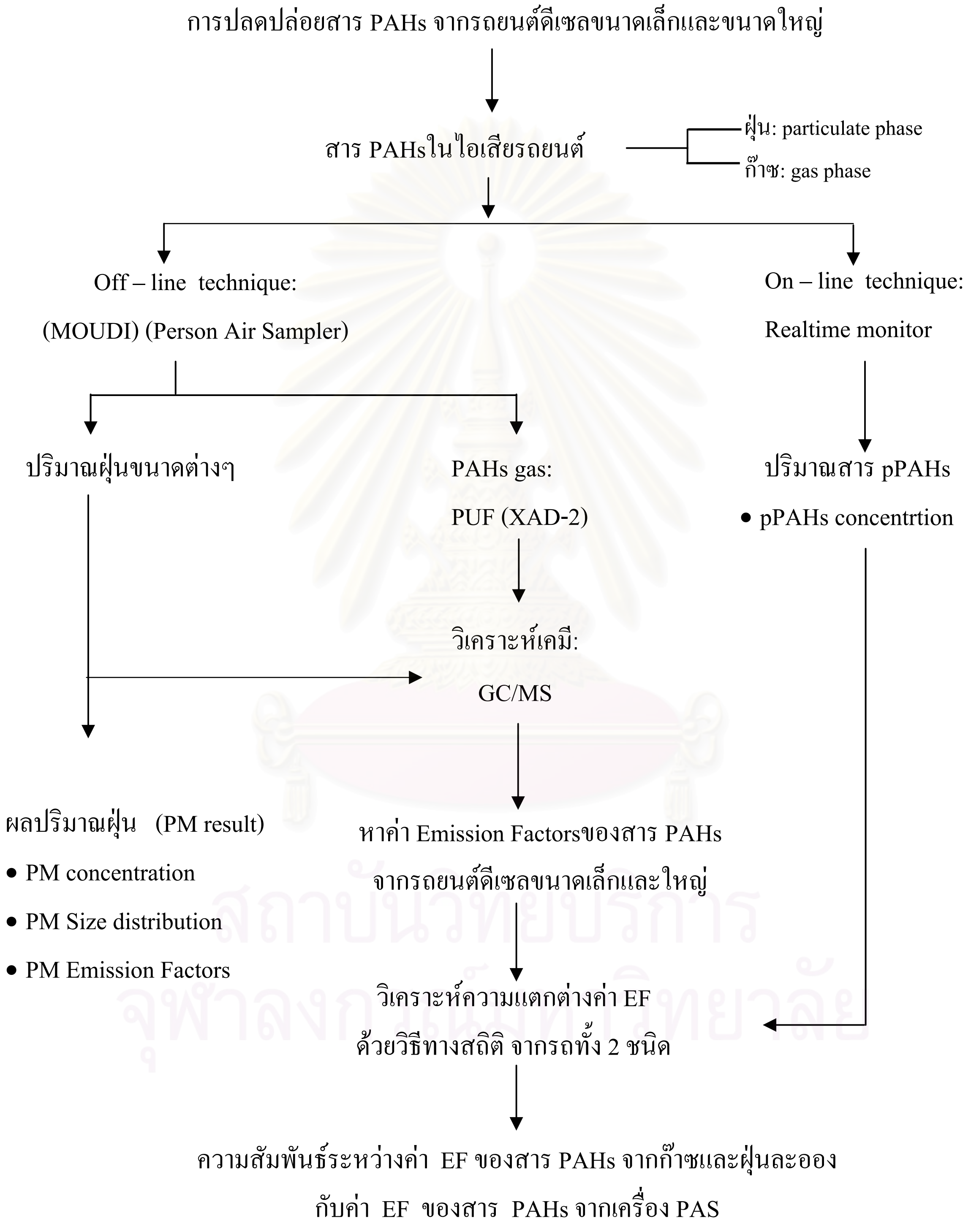
11) ก๊าซไนโตรเจนสำหรับระเหยสารละลาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 ขั้นดำเนินการศึกษา

3.3.1 ขั้นเตรียมการทดลอง

1) กำหนดแผนการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ในไอเสียรถยนต์ แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผนการเก็บตัวอย่างสาร PAHs ในไอเสียรถยนต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) กำหนดตัวอย่างและสภาวะจากการทดสอบระบบเก็บตัวอย่างเพื่อหาค่า EF ของสาร PAHs จากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก และรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ แบ่งเป็นรถยนต์ดีเซลใหญ่จำนวน 13 คัน และรถยนต์ดีเซลเล็กจำนวน 12 คัน และนำมาจัดกลุ่มในการทดสอบดังตารางที่ 3.2, 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ และจากการทดสอบตัวอย่างรถโดยควบคุมปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาตรอากาศ เป็นต้น จะได้ข้อมูลสภาวะที่ใช้ทดสอบจากระบบ CVS เช่น ระยะทางที่วิ่งได้ เวลาที่ใช้ทดสอบเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น ดังตารางที่ 3.5 และ 3.6

ตารางที่ 3.2 ชนิดรถยนต์ดีเซลใหญ่ (HDDV) ที่ทำการทดสอบ

วันที่ทดสอบ	ยี่ห้อรถ (brand)	อายุเครื่อง (engine age)	ขนาดเครื่องยนต์ (engine size, kw)	ระยะทาง (mileage, km)	น้ำหนัก (weight, kg)
21 ต.ค.47	ISUZU	15	160	944,697	8,020
22 ต.ค.47	HINO	16	168	nd	7,800
26 ต.ค.47	HINO	37	175	nd	8,900
27 ต.ค.47	ISUZU	15	160	68,930	7,200
29 ต.ค.47	HINO	1	241	66,964	10,200
8 พ.ย.47	HINO	16	168	650,565	7,800
9 พ.ย.47	HINO	16	168	197,532	7,900
11 พ.ย.47	ISUZU	2	160	292,239	7,800
20 พ.ย.47	BENZ	nd	150	32623	11,060
25 พ.ย.47	HINO	7	195	809,304	9,200
27 พ.ย.47	HINO	13	168	294,058	7,870
29 พ.ย.47	HINO	16	168	nd	7,900
20 ธ.ค.47	VOLVO	2	279	108,867	8,500

หมายเหตุ: nd = no data

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 ชนิดรถยนต์ดีเซลเล็ก (LDDV) ที่ทำการทดสอบ

วันที่ทดสอบ	ยี่ห้อรถ (brand)	อายุเครื่อง (engine age)	ขนาดเครื่องยนต์ (engine size, kw)	ระยะทาง (mileage, km)	น้ำหนัก (weight, kg)
1 พ.ย.47	TOYOTA	14	89	562,194	1,450
2 พ.ย.47	TOYOTA	8	nd	197,527	1,400
3 พ.ย.47	TOYOTA	11	89	292,805	1,850
4 พ.ย.47	TOYOTA	11	60	310,715	1,550
5 พ.ย.47	ISUZU	2	nd	44,400	1,650
15 พ.ย.47	TOYOTA	11	89	295,171	1,600
16 พ.ย.47	TOYOTA	8	89	209,452	1,100
18 พ.ย.47	ISUZU	3	nd	85,405	1,450
19 พ.ย. 47	ISUZU	9	90	396,002	1,650
9 ธ.ค.47	NISSAN	9	90	317,658	1,450
23 ธ.ค.47	TOYOTA	14	89	626,549	1,400
24 ธ.ค.47	ISUZU	4	nd	176,070	1,450

หมายเหตุ: nd = no data

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 การแบ่งกลุ่มรถยนต์ในการทดสอบตามเลขระยะทางและอายุเครื่องยนต์

รถยนต์ดีเซลใหญ่ (HDDV)	เลขระยะทาง	ยี่ห้อ	ปีที่ผลิต	อายุเครื่อง	รหัสตัวอย่าง
BUSA	944697	ISUZU	1989	15	BusA1
ระยะทาง (mileage) > 300,000 กม.	650565	HINO	1988	16	BusA2
	809304	HINO	1997	7	BusA3
BUSB	294058	HINO	1991	13	BusB1
ระยะทาง (mileage) < 300,000 กม.	292239	ISUZU	2002	2	BusB2
	197532	HINO	1988	16	BusB3
	68930	ISUZU	1989	15	BusB4
BUSC	-	HINO	1988	16	BusC1
ไม่มีเลขระยะทาง	-	HINO	1967	37	BusC2
	-	HINO	1988	16	BusC3
EURO-II	66964	HINO	2004	1	EURO-II
NGV	-	BENZ	-	-	NGV
รถบรรทุก (Truck)	108867	VOLVO	2002	2	Truck

รถยนต์ดีเซลเล็ก (LDDV)	เลขระยะทาง	ยี่ห้อ	ปีที่ผลิต	อายุเครื่อง	รหัสตัวอย่าง
ปิคอัพ (PUA)	317658	N.BIG M	1994	9	PUA1
ระยะทาง (mileage) > 300,000 กม.	396002	I.ADV	1995	9	PUA2
	562194	T. HILUX	1990	14	PUA3
	626549	T. HILUX	1990	14	PUA4
ปิคอัพ (PUB)	44400	DMAX	2003	2	PUB1
ระยะทาง (mileage) < 300,000 กม.	85405	I.DRAGON	2001	3	PUB2
	176070	I.DRAGON	2000	4	PUB3
	197527	T. HILUX	1996	8	PUB4
	209452	T. HILUX	1996	8	PUB5
รถตู้ (VAN)	292805	T.HIACE	1993	11	VAN1
	310715	T.HIACE	1993	11	VAN2
	295171	T.HIACE	1993	11	VAN3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) ข้อมูลที่ได้จากสภาวะในการทดสอบรถยนต์จากระบบ CVS และรูปแบบการขับขี่

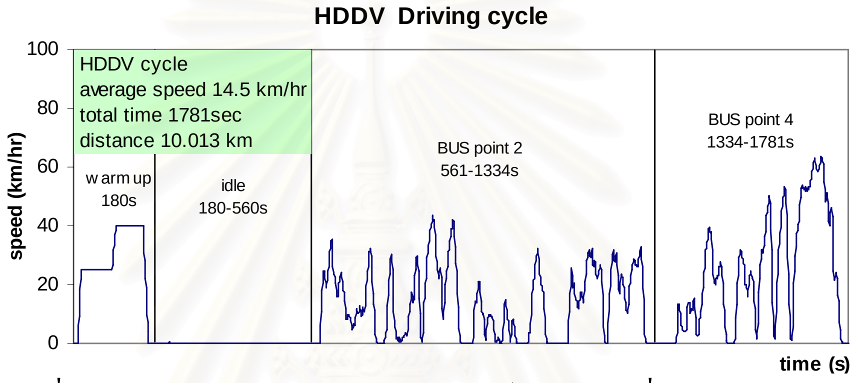
ตารางที่ 3.5 สภาวะในการทดสอบรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ (HDDV)

HDDV	อุณหภูมิ (ºC)	ความดันระบบ (kPa)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	Dilution Factor	ปริมาตรอากาศผสม (ลบ.ม.)	ระยะทางที่วิ่งได้ (กม.)	เวลา (นาที)
BusA1	24.8	1008.9	13.25	57.69	1197.36	5.410	29
BusA2	24.8	1014.2	18.80	77.96	1203.28	5.584	29
BusA3	24.0	1012.5	11.80	57.53	1197.62	5.801	30
BusB1	22.6	1014.2	10.25	63.70	1198.95	5.884	30
BusB2	24.3	1010.8	12.65	61.71	1197.85	5.548	30
BusB3	26.2	1010.8	14.35	55.26	1197.35	5.859	29
BusB4	24.5	1012.2	12.50	73.29	1201.50	5.840	29
BusC1	22.0	1011.2	10.20	56.77	1195.26	5.767	30
BusC2	25.5	1010.8	11.85	66.93	1199.90	5.580	30
BusC3	26.2	1009.5	13.00	56.64	1195.95	5.844	29
EURO-II	24.3	1010.4	13.35	55.14	1197.80	5.881	30
NGV	25.2	1012.3	12.05	60.33	1199.45	5.635	30
Truck	23.1	1008.6	10.20	62.65	1197.06	5.654	29

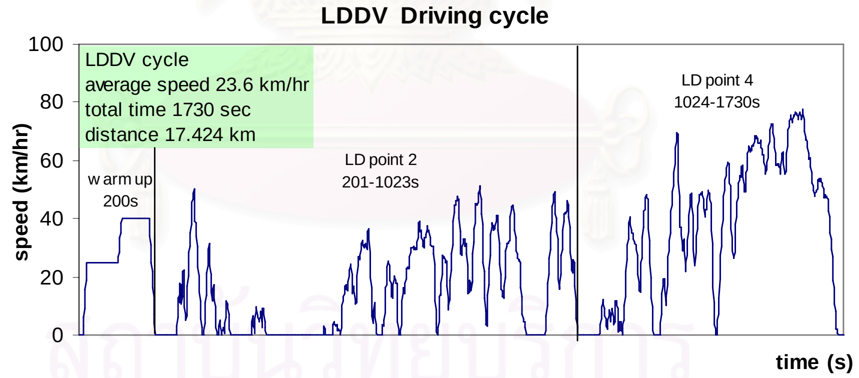
ตารางที่ 3.6 สภาวะในการทดสอบรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก (LDDV)

LDDV	อุณหภูมิ (ºC)	ความดันระบบ (kPa)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	Dilution Factor	ปริมาตรอากาศผสม (ลบ.ม.)	ระยะทางที่วิ่งได้ (กม.)	เวลา (นาที)
PUA1	22.75	1013.7	9.05	41.60	236.975	10.011	29
PUA2	24.25	1011.8	10.35	39.90	237.58	10.033	28
PUA3	22.30	1008.6	10.15	36.83	236.115	9.976	29
PUA4	22.70	1011.8	9.85	39.08	238.97	9.971	28
PUB1	23.55	1009.3	10.6	42.68	234.84	9.952	29
PUB2	23.70	1012.4	10.3	42.50	236.17	10.026	29
PUB3	23.25	1013.1	9.75	39.84	236.35	9.971	29
PUB4	24.45	1011.5	10.1	36.11	235.41	10.015	29
PUB5	25.10	1011.0	12.2	37.98	235.44	10.037	28
VAN1	23.80	1011.1	10.45	33.69	234.705	10.041	29
VAN2	24.30	1011.9	10.4	33.60	237.98	10.063	29
VAN3	24.70	1009.6	10.2	32.36	234.94	10.043	29

3) กำหนดรูปแบบการขับขี่ที่ใช้ทดสอบ จากรูปแบบการขับขี่ของประเทศไทยหรือ BKK driving cycle เพื่อศึกษาการปลดปล่อยมลพิษจริง โดยมีการดัดแปลงรูปแบบเพื่อให้เหมาะสมกับจำนวนตัวอย่าง และความสามารถในการทดสอบที่ต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูง ซึ่งคิดเป็นเวลารวมทั้งสิ้นประมาณ 30 นาทีต่อหนึ่งตัวอย่าง เลือกรูปแบบการขับขี่รถยนต์ดีเซลใหญ่ชุด BUS point 2 และ 4 กับรูปแบบการขับขี่รถยนต์ดีเซลเล็กชุด LD point 2 และ 4 จากรูปที่ 2.12 และ 2.13 ในการทดสอบจากห้องควบคุมระบบ และมีปัจจัยต่างๆ ของยานพาหนะที่ใช้ในการศึกษาคือ ระยะทางการวิ่ง อายุเครื่องยนต์ เป็นต้น แบ่งเป็นรถยนต์ดีเซลใหญ่กับรถบรรทุก และดีเซลเล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.9 และ 3.10 ตามลำดับ



รูปที่ 3.9 Bangkok driving cycle ของรถยนต์ดีเซลใหญ่ ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.10 Bangkok driving cycle ของรถยนต์ดีเซลเล็ก ที่ใช้ในการทดสอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) เตรียมกระดาษกรองชนิด PTFE และ glass fiber filter เพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างโดยเครื่อง MOUDI โดยผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดด้วยสารละลายอินทรีย์ และการทำให้แห้งในตู้ดูดความชื้น (dessicator) จนได้น้ำหนักคงที่ และชั่งน้ำหนักของกระดาษกรองก่อนการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียดทศนิยม 6 ตำแหน่ง (micro balance)

วัสดุและอุปกรณ์ในการเตรียมการเก็บตัวอย่าง

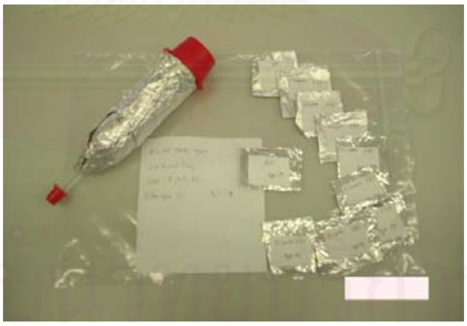
- กระดาษกรองชนิด PTFE ขนาด 3.0 ไมครอน และ 0.1 ไมครอน ขนาด 47 mm. สีขาว ยี่ห้อ Adventec
- กระดาษกรองชนิด glass fiber ขนาด 37 mm. ยี่ห้อ Adventec รุ่น GA-55
- สาร Acetone 2.5 L (Analytical Reagent Grade)

3.3.2 ขั้นดำเนินการศึกษา

1) ดำเนินการเก็บตัวอย่างจากไอเสียรถยนต์ โดยทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง ได้แก่ เครื่อง MOUDI และเครื่อง PAS ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง และเครื่อง personal air sampler กับหลอด PUF เพื่อเก็บตัวอย่างก๊าซ ในห้องปฏิบัติการรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กละขนาดใหญ่ ดังแสดงในภาคผนวก ก

2) ทำเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง MOUDI และ Personal Air Sampler (PUF cartridge) และตรวจวัดสาร PAHs ด้วยเครื่อง PAS จากจุดเก็บตัวอย่าง โดยสาร PAHs (particulate phase) จะได้จากกระดาษกรองที่เก็บโดยเครื่อง MOUDI และ PAHs (gas phase) ซึ่งจะดูดซับโดยสาร XAD-2 จากหลอด PUF และสาร PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (pPAHs) ที่เก็บตัวอย่างแบบ real time จะได้จากเครื่อง PAS

3) เก็บรักษาตัวอย่างก๊าซโดยแช่ตู้เย็นและเก็บตัวอย่างฝุ่นที่รวบรวมได้บนกระดาษกรองในตู้ดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักของกระดาษกรองเพื่อทราบน้ำหนักฝุ่นละอองที่เก็บมา ดังรูปที่ 3.11 และกำหนดชนิดพารามิเตอร์ในการศึกษาดังตารางที่ 3.7



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างฝุ่นละอองและก๊าซที่เก็บจากระบบตรวจวัดมลพิษ

ตารางที่ 3.7 พารามิเตอร์ในการเก็บตัวอย่างไอเสียเพื่อการวิเคราะห์

ชนิดอุปกรณ์	พารามิเตอร์ (parameter)	การวิเคราะห์
MOUDI	• PM mass concentration • PAHs concentration (particulate phase)	• PM concentration • PM Size distribution • PM Emission Factors • GC/MS
PUF (XAD-2)	• PAHs concentration (gas phase)	• GC/MS
PAS	• pPAHs (particulate phase)	• pPAHs concentration • pPAHs Emission Factors

4) การสกัดสาร PAHs จากตัวอย่างไอเสียรถยนต์ PAHs ที่อยู่ในรูปของฝุ่นละอองจะทำการสกัดออกจากกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง MOUDI ส่วน PAHs ที่อยู่ในรูปของก๊าซจะถูกดูดซับด้วยหลอด PUF ซึ่งบรรจุสาร XAD-2 เป็นตัวดูดซับ และทำการสกัดสารซึ่งดัดแปลงตาม Method TO-13A (US.EPA, 1999) ดังนี้

- ใส่สารละลาย internal standard และ surrogate standard ที่รู้ค่าความเข้มข้นลงในขวดสีชาขนาด 50 ml เติมสาร DCM (dichloromethane) 10 ml ตามด้วยตัวอย่างกระดาษกรองหรือตัวอย่างก๊าซ (อาจปรับปริมาตร DCM ตามปริมาณของสารดูดซับ เพื่อให้ปริมาณพอดีกัน)

- นำไปแยกสกัดสารด้วยเครื่อง ultrasonic เป็นเวลา 30 นาที หล่อเย็นด้วยน้ำแข็งเพื่อป้องกันความร้อน กรองสารละลายด้วย กระดาษกรอง (Iso-disc filter) ลงในขวดใสห่อด้วยฟลอยด์ เพื่อป้องกันแสง และนำขวดสีชาเดิม เติม DCM 5 ml เพื่อแยกสกัดสารซ้ำ ด้วยเครื่อง ultrasonic เป็นเวลาอีก 30 นาที แล้วกรองลงในขวดใสเดิม

- นำไประเหยแห้ง (evaporated) ด้วยก๊าซไนโตรเจนจนสารละลายเหลือปริมาณน้อย ใช้ไมโครปิเปตที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยสาร DCM ดูดสารละลายใส่ใน insert vial ซึ่งบรรจุในขวดสีชาขนาด 2 ml และนำไประเหยแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน ปิดฝาและนำไปแช่ตู้เย็น ดังรูปที่ 3.12

- วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง GC/MS โดยการเติมสาร DCM เพื่อปรับปริมาตรของสาร PAHs แล้วทำการวิเคราะห์สารเพื่อหาความเข้มข้นของสาร ดังรูปที่ 3.13

กระดาษกรอง (filter) และ PUF absorbent (XAD-2)

↓ ← เติม internal std + surrogate std.

Ultrasonic, 30 นาที

↓

กรองสารละลาย (สกัดซ้ำ → Ultrasonic, 30 นาที)

↓

ระเหยแห้งด้วยก๊าซ N_2

และปรับปริมาตรด้วย DCM

↓

วิเคราะห์ GC/MS

รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการสกัดสาร PAHs จากตัวอย่างไอเสีย

รูปที่ 3.13 เครื่อง GC/MS สำหรับวิเคราะห์สาร PAHs

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของสาร PAHs ด้วยเครื่อง GC/MS ซึ่งประกอบด้วยเครื่อง GC รุ่น CP-3800 ของบริษัท Varian มีชุดใส่ตัวอย่างแบบอัตโนมัติ (auto sampler) รุ่น CP-8400 และ MS รุ่น Saturn 2200 และกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องเพื่อวิเคราะห์สาร PAHs จากตัวอย่าง ดังตารางที่ 3.8

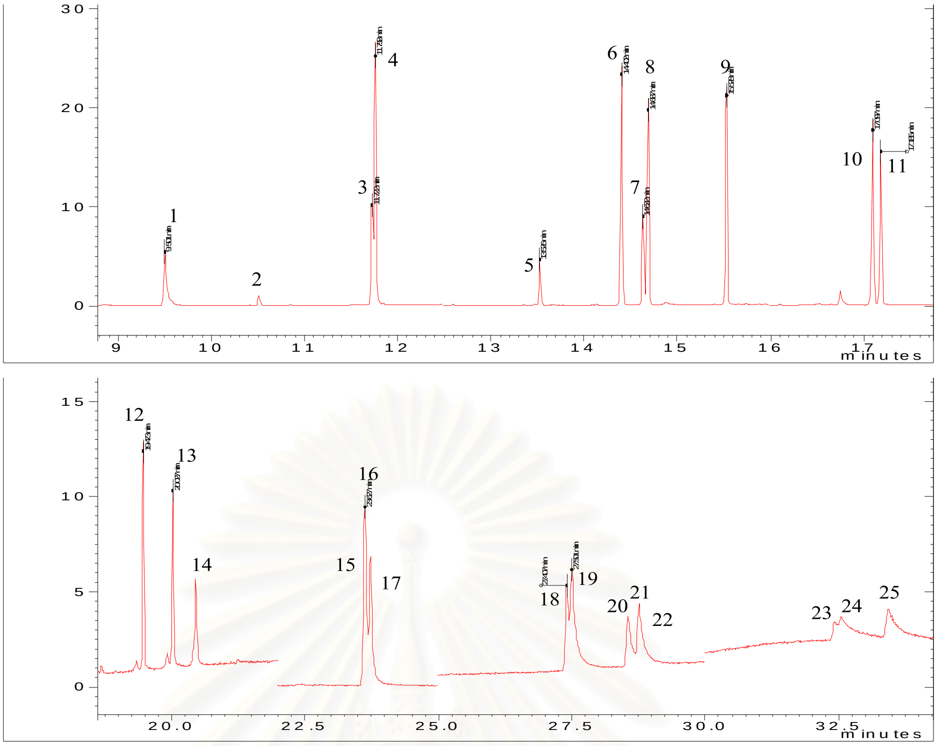
ตารางที่ 3.8 สภาวะการทำงานของเครื่อง GC/MS ในการวิเคราะห์สาร PAHs

GC	ชนิดของคอลัมน์	แคปิลลารี่ รุ่น CP-8944 ยาว 30 เมตร
	(column type)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก 0.25 และ 0.39 มิลลิเมตร
		ความหนาของฟิล์มเหลว 0.25 μm
	เฟสเคลื่อนที่	ใช้ก๊าซฮีเลียม (He) มีความบริสุทธิ์ 99.999 %
	(mobile phase)	อัตราการไหลของก๊าซ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที
	อุณหภูมิของอินเจคเตอร์	300 องศาเซลเซียส
	อุณหภูมิของทรานซเฟอร์ไลน์	260 องศาเซลเซียส
	โหมดการฉีดตัวอย่าง	ตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง 1 ไมโครลิตร แยกทิ้ง 1: 50 (split)
MS	ชนิดของตัววิเคราะห์มวลสาร	ไอออนแทรป (Ion trap)
	โหมดการแตกตัวเป็นไอออน	อิเล็คตรอนอิมแพค (EI^+)
	พลังงานของอิเล็กตรอนเพื่อทำให้มวลสารแตกตัว	70 eV
	การสแกนมวลแบบเลือกช่วงมวลสารตั้งแต่	50-300 AMU
	โหมดการบันทึกโครมาโตแกรมแบบไอออน	SIS (Selected Ion Spectrum)

กำหนดสภาวะการทำงานของเครื่อง GC/MS โดยทำการฉีดแบบอัตโนมัติด้วยสารละลายตัวอย่าง PAHs ที่สกัดแล้วเข้าสู่เครื่อง GC โดยผ่านอินเจคเตอร์ที่อุณหภูมิ 300 °C ปริมาณ 1 ไมโครลิตร เข้าสู่คอลัมน์ CP-8944 ซึ่งเคลือบด้วยสารละลายผสม diphenyl 5% และ dimethyl 95% มีความยาว 30 เมตร ที่สภาวะการแยกใช้อัตราการพาของก๊าซ He 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของคอลัมน์เริ่มต้นที่ 50°C นาน 5 นาที เพิ่มเป็น 230°C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 15°C ต่อนาที แล้วเปลี่ยนเป็น 300°ซ ด้วยอัตราการเพิ่ม 5°C เป็นเวลานาน 5 นาที สาร PAHs ต่างชนิดกันจะมีการกระจายตัวอยู่ระหว่างเฟสของเหลวที่เป็นฟิล์มเคลือบอยู่ภายในคอลัมน์ และเฟสที่เป็นก๊าซที่เป็นตัวพาด้วยอัตราที่ต่างกัน โดยมีอุณหภูมิของเตา GC เป็นปัจจัยช่วยหน่วง หรือเร่งการกระจายตัวของสาร ทำให้เกิดการแยกสารขึ้น สาร PAHs ที่ถูกหน่วงน้อยที่สุดจะถูกแยกออกมาจากคอลัมน์ก่อน และสารตัวอื่นที่ถูกหน่วงมากกว่าก็จะแยกออกตามมาตามลำดับ เมื่อสารเคลื่อนผ่านพ้นเครื่อง GC เข้าสู่ทรานซเฟอร์ไลน์ ระหว่างเครื่อง GC กับ MS ที่อุณหภูมิ 260°C เพื่อกันไม่ให้ไอของสารเกิดการควบแน่นเป็นของเหลว ซึ่งไอสารที่แยกจะผ่านเข้าสู่เครื่อง MS ซึ่งเป็นส่วนของ Ion trap

ทำหน้าที่วิเคราะห์มวลสารโดยการยิงอิเล็คตรอนพลังงานสูง (EI^+ 70 eV) ในสารตัวอย่างทำให้สารเกิดการแตกตัวเป็นแฟร็กเมนต์ไอออนที่ประจุบวกหนึ่ง และกักเก็บประจุเหล่านี้เอาไว้ ซึ่งจะครอบคลุมมวลสารตั้งแต่ช่วง 50-300 AMU ทำให้ได้แฟร็กเมนต์ไอออนทั้งหมดจากการสแกน 1 ครั้งตกลงสู่เครื่องตรวจวัดของส่วน MS และมีการควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมของเครื่องทำให้สามารถบันทึกผล และรายงานเป็นกราฟโครมาโตรแกรมที่แสดงปริมาณ และมวลของสารด้วยแมสสเปคตรัมของแต่ละสารได้ อีกทั้งยังสามารถใช้โหมดการบันทึกไอออนเฉพาะหรือ ไอออนเดี่ยว ได้คือ โหมด SIS (Selected Ion Spectrum) ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถใช้หาปริมาณสาร PAHs โดยการสแกนเฉพาะพีคของแฟร็กเมนต์ไอออน หรือแมสเปคตรัมของสาร PAHs ที่เราสนใจ แทนที่จะทำการสแกนตั้งแต่ช่วง 50- 300 AMU ซึ่งทำให้ผลการตรวจวัดแต่ละพีคดียิ่งขึ้น

ผลจากการหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้สารละลายผสมมาตรฐาน TCL PAHs mix ที่ประกอบด้วยสาร PAHs 16 ชนิด ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของสาร PAHs จากไอเสียรถยนต์ รวมถึง Internal standard 5 ชนิด และ surrogate standard 5 ชนิด จะได้สภาวะที่ใช้ในการฉีดตัวอย่างเป็นโครมาโตแกรมดังรูปที่ 3.10 และตารางที่ 3.3 แสดงเวลาที่พบสาร (Retention Time) และค่าความเข้มข้นต่ำสุด (Limit of Detection) ของสาร PAHs (ในสารละลายมาตรฐาน TCL PAHs mix) ที่เครื่อง GC/MS สามารถวิเคราะห์ได้



1 1,4-dichlorobenzene

2 Nitrobenzene-d5

3 Naphthalene-d8

4 Naphthalene

5 2-fluorobiphynyl

6 Acenaphthylene

7 Acenaphthene-d10

8 Acenaphthene

9 Fluorene

10 Phenanthrene-d10

11 Phenanthrene

12 Anthracene

13 Fluoranthene

14 Pyrene

15 P-terphenyl-d14

16 Benzo (a) anthracene

17 Chrysene-d12

18 Chrysene

19 Benzo (b) fluoranthene

20 Benzo (k) fluoranthene

21 Benzo (a) pyrene

22 Perylene-d12

23 Indeno (1,2,3 -cd) pyrene

24 Dibenz (a, h) Anthracene

25 Benzo (g, h, i) perrylene

รูปที่ 3.14 โครมาโตรแกรมของสาร PAHs 25 ชนิด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.9 เวลารีเทนชั่นและความเข้มข้นต่ำสุดของสาร PAHs 16 ชนิด Internal standard และ surrogate standard ที่สามารถวิเคราะห์ได้

สารละลายมาตรฐาน PAHs 16 ชนิด	น้ำหนักโมเลกุล	เวลารีเทนชั่น (นาที)	ความเข้มข้นต่ำสุด (ng/ml)	% recovery
Naphthalene	128	11.762	0.41	61.54
Acenaphthylene	152	14.402	0.31	50.92
Acenaphthene	154	14.691	0.13	58.50
Fluorene	166	15.528	0.24	63.50
Phenanthrene	178	17.104	0.01	74.53
Anthracene	178	17.183	0.02	77.58
Fluoranthene	202	19.457	0.07	85.37
Pyrene	202	20.026	0.05	87.76
Benzo (a) anthracene	228	23.616	0.04	104.43
Chrysene	228	23.74	0.04	107.90
Benzo (b) fluoranthene	252	27.416	0.02	114.38
Benzo (k) fluoranthene	252	27.506	0.05	124.71
Benzo (a) pyrene	252	28.588	0.06	91.44
Indeno (1,2,3 –cd) pyrene	276	32.471	14.47	62.67
Dibenz (a, h) Anthracene	279	32.571	14.29	70.47
Benzo (g, h, i) perrylene	276	33.459	10.64	85.33

Internal standard	น้ำหนักโมเลกุล	เวลารีเทนชั่น (นาที)
1,4 dichlorobenzene	136	9.501
Naphthalene d8	164	11.729
Acenaphthene d10	188	14.636
Phenanthrene d10	240	17.606
Chrysene d12	264	23.651

Surrogate standard	น้ำหนักโมเลกุล	เวลารีเทนชั่น (นาที)
Nitrobenzene-d5	128	10.514
2-fluorobiphynyl	172	13.524
P-terphenyl-d14	244	20.466

5) การวิเคราะห์ตัวอย่างไอเสียจากรถยนต์ดีเซลเล็กและดีเซลใหญ่

- คำนวณปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองที่ขนาดต่างๆ กัน ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ ($\mu g/m^3$) โดยคำนวณจากปริมาตรของอากาศตามมาตรฐานของ U.S. EPA (25 ^oC, 760 mmHg) ซึ่งคำนวณมาจากอัตราการไหลของอากาศ (flow rate) ผ่านเครื่อง MOUDI กับช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง (sampling time) ภายหลังจากการหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝุ่นแล้วจะสามารถคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละออง (U.S. EPA, 1999) ดังสมการที่ 3.1

$$PM_{concentration} = \frac{(W_F - W_i)\,x10^6\ \ x\,DF\,x F_{CVS}}{V_{MOUDI}} \quad \text{……….…………….(3.1)}$$

เมื่อ PM = ความเข้มข้นของฝุ่นละออง มีหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu g/m^3$)

W_i = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง, มิลลิกรัม (mg)

W_F = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง, มิลลิกรัม (mg)

DF = Dilution Factor คือ สัดส่วนการผสมอากาศจากระบบ CVS (ตารางที่ 3.5 และ 3.6)

F_{CVS} = อัตราการไหลของอากาศในระบบ CVS (m^3/min)

V_{MOUDI}= ปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านเครื่อง MOUDI (30 L/min x time (min), m^3)

- คำนวณการกระจายตัวของฝุ่นละออง (Particle Size Distribution, SD) ในชั้นขนาดต่างๆ จากเครื่อง MOUDI แสดงลักษณะความถี่การตกสะสม (Cumulative Frequency, CF) เพื่ออธิบายพฤติกรรมของฝุ่นละอองในชั้นต่างๆ คำนวณมาจากการแบ่งชั้น การนับจำนวนขนาดของฝุ่นละอองมาหาผลรวมในแต่ละชั้นแสดงผลเป็นกราฟลอการิทึม ดังสมการที่ 3.2

$$SD = n_N = \frac{dN}{dDP} = \frac{dCi}{d\log Dp} \quad \text{.............................(3.2)}$$

เมื่อ SD = การกระจายตัวของฝุ่นละออง

n_N= ชนิดปริมาณของฝุ่นละออง

Dp = เส้นผ่านศูนย์กลางของฝุ่นละออง (μm)

dDP = ส่วนต่างของขนาดในแต่ละชั้น

d logDP = log ขนาดชั้นบน- log ขนาดชั้นล่าง

- คำนวณปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ในตัวอย่างก๊าซและฝุ่นละอองจากการวิเคราะห์เคมีจากการสกัดสารและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS ในหน่วยนาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ng/m^3) โดยคำนวณจากปริมาตรอากาศที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง MOUDI ดังสมการที่ 3.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$[PAHs]_{ng/m^3} = (C_X)(DF)\left(\frac{PA_{sample}/PA_{Internal\ and\ Surr\ of\ sample}}{PA_{Standard}/PA_{\substack{Internal \\ or\ Surr\ standard}}}\right)\left(\frac{Vs}{Vinj}\right)\left(\frac{CF\,x10^3}{V_{Air\ sampling}}\right) \quad ....(3.3)$$

เมื่อ [PAHs] = ความเข้มข้นของสาร PAHs มีหน่วยเป็น นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ng/m^3)

C_X = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารมาตรฐาน PAHs 16 ชนิด, ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (μg/ml)

DF = Dilution Factor (จำนวนเท่าที่เจือจางมาจากสารผสมมาตรฐาน = 1/2000)

PA_{sample} = พื้นที่ใต้กราฟ (Peak Area) ของสารตัวอย่างจากเครื่อง GC/MS

$PA_{Internal\ or\ Surr\ sample}$ = พื้นที่ใต้กราฟของสารผสมมาตรฐาน Internal และ Surrogate ตัวอย่าง

$PA_{Internal\ or\ Surr\ standard}$ = พื้นที่ใต้กราฟของสารผสมมาตรฐาน Internal และ Surrogate มาตรฐาน

$PA_{Standard}$ = พื้นที่ใต้กราฟของสารผสมมาตรฐาน PAHs 16 ชนิด

Vinj = ปริมาตรสารที่ฉีด GC/MS

Vs = ปริมาตรของตัวอย่างที่เตรียมก่อนฉีด

$V_{Air\ sampling}$ = ปริมาตรอากาศจากการเก็บตัวอย่างรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กและใหญ่

CF = ค่าปรับเทียบอัตราการไหลอากาศในระบบ CVS กับอัตราการไหลอากาศจากเครื่อง MOUDI

6) การหาค่าตัวคูณการปลดปล่อยของฝุ่นละอองและสาร PAHs

- คำนวณค่า EF ของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากเครื่อง MOUDI ในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลเมตร (mg/km) โดยหาความสัมพันธ์กับระยะทางที่เคลื่อนที่ ดังสมการที่ 3.4

$$EF\ PM = \frac{mass\ of\ PM}{distance} \quad ....(3.4)$$

เมื่อ EF = ตัวคูณการปลดปล่อยฝุ่นละออง มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกิโลเมตร (mg/km)

mass of PM = มวลของฝุ่นละออง มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม (mg)

distance = ระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่ในหนึ่งรอบการขับขี่มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

- คำนวณตัวคูณการปลดปล่อยของสาร pPAHs ที่ตรวจวัดด้วยเครื่อง PAS จากห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสาร pPAHs ได้ทันทีแบบต่อเนื่องทุกๆ 30 วินาที และรายงานค่าในหน่วยนาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ และข้อมูลที่วัดจะถูกเก็บไว้ภายในเครื่อง สามารถนำข้อมูลที่ตรวจวัดนั้นวิเคราะห์ตัวคูณมลพิษของสาร PAHs และเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการเก็บด้วยเครื่อง MOUDI ดังสมการที่ 3.5

$$EF\ pPAHs = \frac{tatal\ mass}{distance} \quad ....(3.5)$$

เมื่อ Emission pPAHs = อัตราการปลดปล่อยสาร pPAHs มีหน่วยเป็น นาโนกรัมต่อระยะทาง (ng/km)

total mass = ผลรวมค่าที่บันทึกได้จาก PAS (ng/m^3) x ปริมาตรอากาศ (m^3)

distance = ระยะทาง (km)

- คำนวณตัวคูณการปลดปล่อยของสาร PAHs สามารถคำนวณได้โดยนำค่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง GC/MS มาหาความสัมพันธ์ของปริมาณสารกับความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะที่ทดสอบ ซึ่งสามารถรายงานผลของตัวคูณการปลดปล่อยของสาร PAHs เป็นไมโครกรัม (หรือ นาโนกรัม) ต่อระยะทางหนึ่งกิโลเมตร ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามชนิดรถ สภาพรถ ชนิดเครื่องยนต์ การทำงานของเครื่องยนต์ ที่ใช้เป็นปัจจัยในการทดสอบ ดังสมการที่ 3.6

$$EF\ PAHs = \frac{mass\ of\ PAHs}{distance} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3.6)$$

เมื่อ EF = ตัวคูณการปลดปล่อยสาร PAHs มีหน่วยเป็น นาโนกรัมต่อกิโลเมตร (ng/km)

mass of PAHs = มวลของสาร PAHs มีหน่วยเป็น นาโนกรัม (ng)

distance = ระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

3.4 ขั้นวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

3.6.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของยานพาหนะที่ศึกษาคือ ระยะทางการวิ่งของรถกับตัวคูณการปลดปล่อยของสาร PAHs ในการทดสอบต่างๆ กันจากยานพาหนะทั้ง 2 ชนิด

3.6.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสาร PAHs ในตัวอย่างก๊าซและฝุ่นละอองกับปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสาร pPAHs ที่ตรวจวัดด้วยเครื่อง PAS

3.6.3 วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตัวคูณการปลดปล่อยของสาร PAHs จากยานพาหนะทั้ง 2 ชนิด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

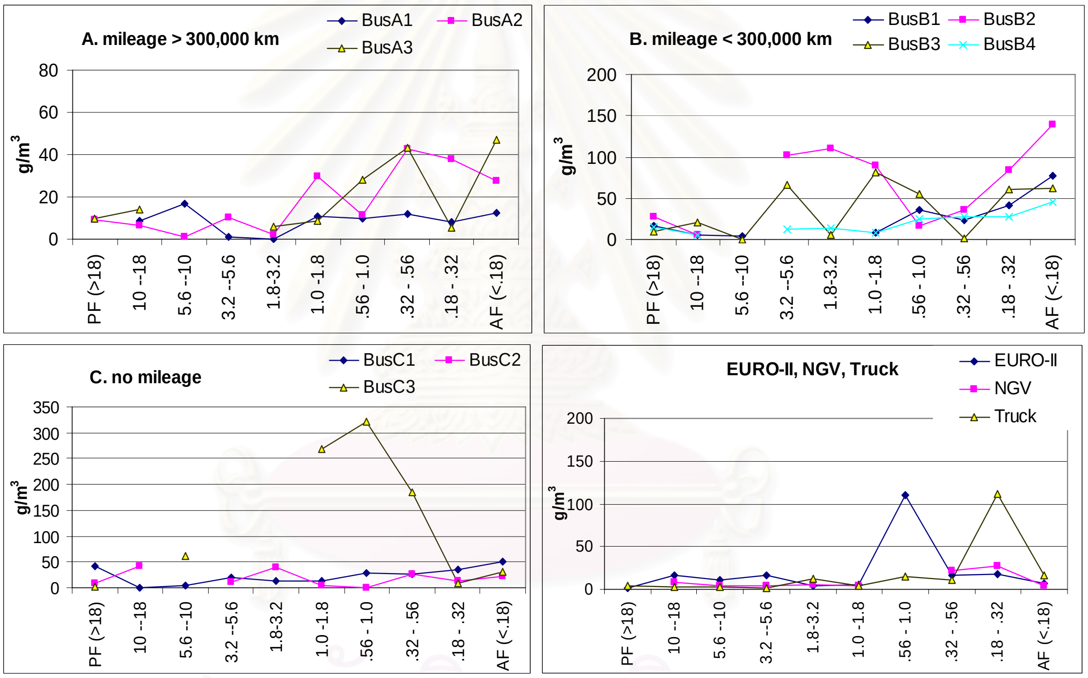
4.1 การพิจารณาข้อมูลเบื้องต้นของรถยนต์ที่ใช้ทดสอบ

การศึกษาตัวคูณการปลดปล่อยของสาร PAHs จากตัวอย่างรถยนต์ดีเซลใหญ่ (Heavy Duty Diesel Vehicles, HDDV) จำนวน 13 คัน และรถยนต์ดีเซลเล็ก (Light Duty Diesel Vehicles, LDDV) จำนวน 12 คัน โดยแบ่งกลุ่มตามระยะทางวิ่ง (mileage) และอายุเครื่องยนต์ (engine age) จากการทดสอบวัดปริมาณมลพิษบนแท่นทดสอบ (chassis dynamometer) จากระบบวัดไอเสียปริมาตรคงที่ หรือ CVS (Constant Volume Sampler) ที่ห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้แบ่งกลุ่มรถดีเซลใหญ่ คือรถโดยสารประจำทาง แบ่งออกเป็นกลุ่ม 4 กลุ่มคือ กลุ่มที่หนึ่ง (BUSA) มีเลขระยะทางมากกว่า 300,000 กม. กลุ่มที่สอง (BUSB) มีเลขระยะทางน้อยกว่า 300,000 กม. กลุ่มที่สาม (BUSC) ซึ่งไม่มีเลขระยะทางเนื่องจากมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ และกลุ่มที่สี่ เป็นกลุ่มรถชนิดอื่นคือ รถเครื่องยนต์ EURO-II รถใช้ก๊าซธรรมชาติ (NGV) และรถบรรทุก (Truck) ส่วนรถยนต์ดีเซลเล็กแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่หนึ่ง รถปิกอัพ (PUA) มีเลขระยะทางมากกว่า 300,000 กม. กลุ่มที่สอง (PUB) มีเลขระยะทางน้อยกว่า 300,000 กม. และกลุ่มที่สามคือ รถตู้ (VAN) จากตารางที่ 3.4 โดยผลการศึกษาแสดงสภาวะที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละตัวอย่างจากตารางที่ 3.5 และ 3.6 สามารถแบ่งผลการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่ง ผลการศึกษาคือ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง (PM concentrations, g/m^3) การกระจายตัวของฝุ่นขนาดตั้งแต่ 0.18-18 μm (Size Distribution, $\mu g/m^3$) ที่เก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง MOUDI ส่วนที่สองคือ สาร PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (particle bound PAHs, pPAHs) ที่วัดปริมาณสาร pPAHs ที่เวลาจริง (real time) จากการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง PAS 2000CE ในหน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (g/m^3) ส่วนที่สามคือ ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟีและแมสสเปคโตรเมทรี (GC/MS) เพื่อหาความเข้มข้นของสาร PAHs ในแต่ละขนาดตั้งแต่ขนาดน้อยกว่า 0.18 ถึง มากกว่า 18 μm และส่วนที่สี่ นำข้อมูลมาใช้คำนวณค่าตัวคูณการปลดปล่อย (Emission Factors, g/km) ของฝุ่นละอองและสาร PAHs จากรถยนต์ตัวอย่าง

4.2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ

ผลการศึกษาการคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละอองด้วยเครื่อง MOUDI ที่มีการคัดขนาดฝุ่นตั้งแต่ขนาดน้อยกว่า 0.18 ถึง มากกว่า 18 μm ที่จุดเก็บตัวอย่างจากระบบ CVS ของห้องปฏิบัติการรถยนต์ดีเซลใหญ่และดีเซลเล็ก สามารถแสดงผลความเข้มข้นของฝุ่นละอองในแต่ละขนาด ค่าเฉลี่ยในแต่ละขนาด ในหน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (g/m^3) แสดงในภาคผนวก ข และแสดงผลการศึกษาเป็นกราฟเปรียบเทียบฝุ่นในแต่ละขนาด ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ตามลำดับ

4.2.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากรถยนต์ดีเซลใหญ่ (HDDV)



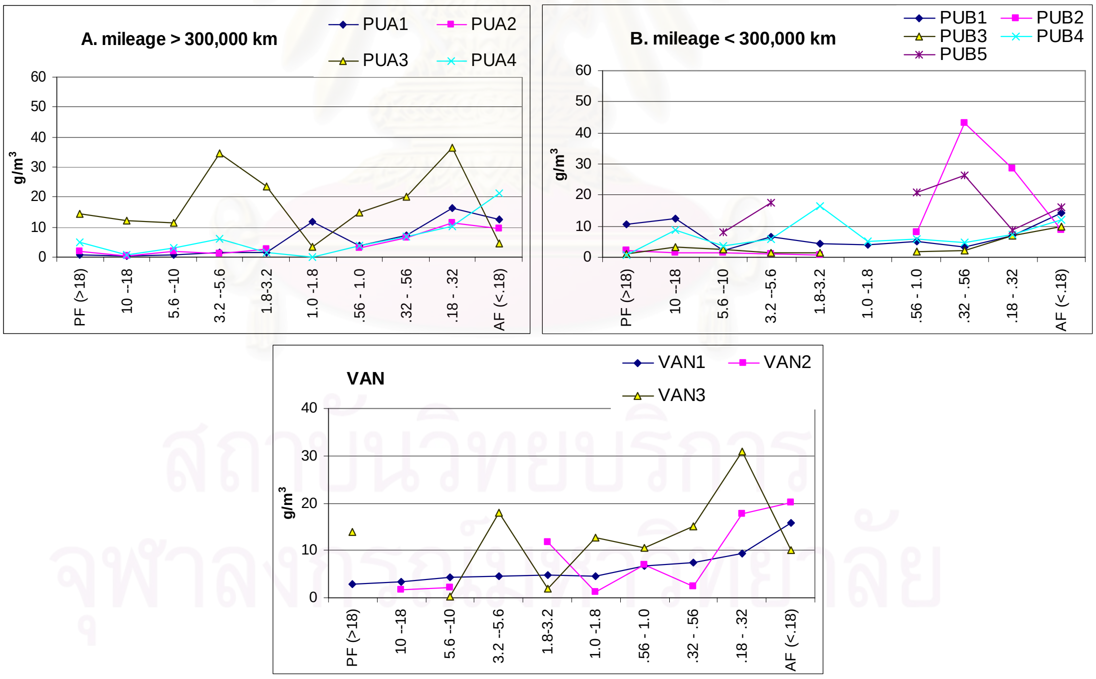
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบฝุ่นแต่ละขนาดของกลุ่มรถยนต์ดีเซลใหญ่

จากรูปที่ 4.1 พบว่าค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากทุกกลุ่มตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีขนาดฝุ่นเล็กลง เมื่อพิจารณารูปที่ 4.1 และตารางที่ ข-1 (ภาคผนวก ข) กลุ่ม BUSA ซึ่งมีเลขระยะทางมากกว่า 300,000 กม. พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองตั้งแต่ชั้นขนาด >18 ถึง <0.18 μm เท่ากับ 12.65, 19.84, 18.03, 11.35, 4.32, 42.97, 30.28, 68.87, 47.94 และ 55.91 g/m^3 ตามลำดับ มีผลรวมเฉลี่ยเท่ากับ 312.17 g/m^3 กลุ่มรถ BUSB ซึ่งมีเลขระยะทางน้อยกว่า 300,000 กม. เมื่อพิจารณาจากตารางที่ ข-2 มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีแนวโน้มคล้ายกับตัวอย่าง BUSA เท่ากับ 57.56, 33.36, 4.20, 171.40, 119.35, 181.87, 113.31, 68.12, 194.31 และ 289.91

g/m^3 ตามลำดับ มีผลรวมเฉลี่ยเท่ากับ 1,233.40 g/m^3 และในบางตัวอย่างเช่น BUSB2 ไม่สามารถคำนวณค่าความเข้มข้นได้ เพราะเมื่อชั่งกระดาษกรองโดยควบคุมสภาวะอุณหภูมิและความชื้นในห้องเครื่องชั่งพบว่า น้ำหนักของฝุ่นละอองมีค่าเท่ากับศูนย์หลังเก็บตัวอย่าง กลุ่มรถ BUSC ซึ่งไม่มีข้อมูลเลขระยะทาง พบว่ามีแนวโน้มของฝุ่นละอองคล้ายกับกลุ่ม BUSA และ BUSB มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในแต่ละขนาดเท่ากับ 50.61, 13.75, 24.31, 29.18, 53.98, 106.51, 136.63, 113.86, 50.58 และ 83.48 g/m^3 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 690.41 g/m^3 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยรวมพบว่า รถ BUSB มีการปลดปล่อยฝุ่นละอองสูงที่สุด รองลงมาเป็น กลุ่ม BUSC และ BUSA ตามลำดับ

กลุ่ม HDDV ชนิด EURO-II, NGV, Truck มีเพียงชนิดละ 1 ตัวอย่าง พบว่ามีแนวโน้มปริมาณฝุ่นละอองสูงขึ้นเมื่อมีขนาดเล็กลง มีค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองรวมเท่ากับ 204.82, 78.88 และ 179.09 g/m^3 ตามลำดับ ตัวอย่างรถ EURO-II และ Truck มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับ กลุ่ม BUSA ตัวอย่างรถ NGV มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองต่ำที่สุด เนื่องจากมีการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นเชื้อเพลิงต่างชนิดกัน มีการปลดปล่อยฝุ่นละอองน้อยกว่าชนิดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน

4.2.2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากรถยนต์ดีเซลเล็ก (LDDV)



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบฝุ่นแต่ละขนาดของกลุ่มรถยนต์ดีเซลเล็ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.2 พบว่า ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากทุกกลุ่มตัวอย่าง LDDV มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อขนาดฝุ่นละอองเล็กลง และมีความแปรปรวนของข้อมูลแต่น้อยกว่ากลุ่ม HDDV เนื่องจากระบบเก็บตัวอย่างของรถยนต์ดีเซลเล็กมีขนาดเล็กกว่า ทำให้การควบคุมสภาวะต่างๆ ใน

การทดสอบที่ง่ายกว่า กลุ่มรถ PUA ซึ่งมีเลขระยะทางมากกว่า 300,000 กม. มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองตั้งแต่ชั้นขนาด >18 ถึง <0.18 μm เท่ากับ 18.46, 13.04, 14.88, 38.92, 27.91, 15.29, 22.37, 35.52, 66.76 และ 31.82 g/m^3 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยรวม 284.96 g/m^3 กลุ่มรถ PUB ซึ่งมีเลขระยะทางน้อยกว่า 300,000 กม. พบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองเท่ากับ 14.17, 25.85, 11.21, 18.25, 22.94, 9.33, 25.04, 58.51, 51.28 และ 48.49 g/m^3 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยรวม 285.08 g/m^3 กลุ่มรถ VAN มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองเท่ากับ 7.53, 4.91, 6.67, 10.52, 17.13, 10.07, 17.27, 14.71, 37.44 และ 39.22 g/m^3 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยรวม 165.47 g/m^3 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยรวมจากกลุ่ม PUA, PUB และ VAN พบว่ากลุ่ม PUA และ PUB มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมใกล้เคียงกัน และมีค่าสูงกว่ากลุ่ม VAN

4.2.3 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่และขนาดเล็ก

จากผลการศึกษาโดยรวมในการคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ตั้งแต่ <0.18 ถึง >18 μm จากรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่และขนาดเล็กพบว่า ในกลุ่มรถยนต์ดีเซลใหญ่ซึ่งเป็นรถประจำทาง เมื่อพิจารณาจากการแบ่งกลุ่มตามเลขระยะทาง กลุ่ม BUSA มีเลขระยะทางมากกว่า 300,000 กม. กลุ่ม BUSB มีเลขระยะทางน้อยกว่า 300,000 กม. และกลุ่ม BUSC ซึ่งไม่มีเลขระยะทาง และยังมีกลุ่มที่มีเครื่องยนต์ชนิด EURO-II , NGV และรถบรรทุก (Truck) พบว่ากลุ่ม BUSB มีการปลดปล่อยฝุ่นละอองมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นรวมสูงสุด รองลงมาเป็นกลุ่ม BUSC และ BUSA ตามลำดับ ส่วนกลุ่มรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ซึ่งแบ่งเป็น กลุ่ม PUA มีเลขระยะทางมากกว่า 300,000 กม. กลุ่ม PUB มีเลขระยะทางน้อยกว่า 300,000 กม. และกลุ่ม VAN ซึ่งเป็นกลุ่มรถตู้ ซึ่งพบว่ากลุ่ม PUA และ PUB มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูงกว่ากลุ่ม VAN

ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นฝุ่นละอองในกลุ่ม HDDV กับกลุ่ม LDDV ทำการวิเคราะห์ข้อมูลดังแสดงในภาคผนวก ช โดยใช้สถิติ Independent-sample T-test ในการทดสอบหาความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากตัวอย่างรถทั้งสองชนิด (เนื่องจากข้อมูลมีการแจกแจงปกติ และเป็นอิสระต่อกัน) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ใช้ในการทดสอบที่ 0.05 ภายใต้สมมติฐานดังนี้

H_0: ค่า เฉลี่ยของฝุ่นละอองจากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กไม่แตกต่างกับดีเซลขนาดใหญ่

H_1: ค่า เฉลี่ยของฝุ่นละอองจากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กแตกต่างกับดีเซลขนาดใหญ่

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS for Window (แสดงในภาคผนวก ช) ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า Sig จากตารางวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 0.005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 จึงตัดสินใจยอมรับสมมติฐาน H_1 ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และสรุปได้

ว่า ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองจากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กน้อยกว่าดีเซลขนาดใหญ่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.1

สรุปจากการทดสอบทางสถิติพบว่า เมื่อนำค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากกลุ่ม HDDV และ LDDV มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่า รถยนต์ดีเซลเล็กมีการปลดปล่อยฝุ่นละอองน้อยกว่ากลุ่มดีเซลใหญ่ เมื่อพิจารณาในแต่ละกลุ่มพบว่า ไม่สามารถแบ่งเลขระยะทาง และอายุเครื่อง ในการหาความแตกต่างได้ เนื่องจากมีจำนวนตัวอย่างน้อย และมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองใกล้เคียงกัน และตัวอย่างรถ NGV ซึ่งใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกันมีการผลรวมปลดปล่อยฝุ่นละอองมีค่าต่ำสุด แสดงว่า ชนิดของเชื้อเพลิง มีผลต่อปริมาณการปลดปล่อยฝุ่นละอองขนาดต่างๆ

ตารางที่ 4.1 ปริมาณรวมของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากรถยนต์ดีเซลใหญ่และดีเซลเล็ก

ปริมาณรวมของฝุ่นละออง (g/m^3)	Heavy duty diesel vehicles (HDDV)							Light duty diesel vehicles (LDDV)			
	BUSA	BUSB	BUSC	EURO-II	NGV*	Truck	ค่าเฉลี่ย±SD	PUA	PUB	VAN	ค่าเฉลี่ย±SD
ขนาดของฝุ่นละออง											
>18	12.65	57.56	50.61	1.44	nd	3.70	25.19±7	18.46	14.17	7.53	13.39±3.50
10--18	19.84	33.36	13.75	15.89	8.38	3.17	17.20±6	13.04	25.85	4.91	14.60±5.65
5.6--10	18.03	4.20	24.31	10.90	3.81	2.77	12.04±5	14.88	11.21	6.67	10.92±2.11
3.2--5.6	11.35	171.40	29.18	16.41	4.45	1.32	45.93±21	38.92	18.25	10.52	22.56±9.68
1.8--3.2	4.32	119.35	53.98	3.68	5.21	11.89	38.64±20	27.91	22.94	17.13	22.66±5.40
1.0--1.8	42.97	181.87	106.51	5.38	3.94	3.70	68.09±26	15.29	9.33	10.07	11.56±3.25
0.56--1.0	30.28	113.31	136.63	109.90	nd	14.53	80.93±30	22.37	25.04	17.27	21.56±3.95
0.32--0.56	68.87	68.12	113.86	16.94	21.72	10.30	55.62±23	35.52	58.51	14.71	36.25±11.91
0.18--0.32	47.94	194.31	50.58	17.86	27.31	111.21	84.38±30	66.76	51.28	37.44	51.83±8.67
<0.18	55.91	289.91	83.48	6.43	4.06	16.51	90.45±21	31.82	48.49	39.22	39.84±8.36
total PM (g/m^3)	312.17	1233.40	662.91	204.82	78.88	179.09	518.45±244	284.96	285.08	165.47	245.17±56.02

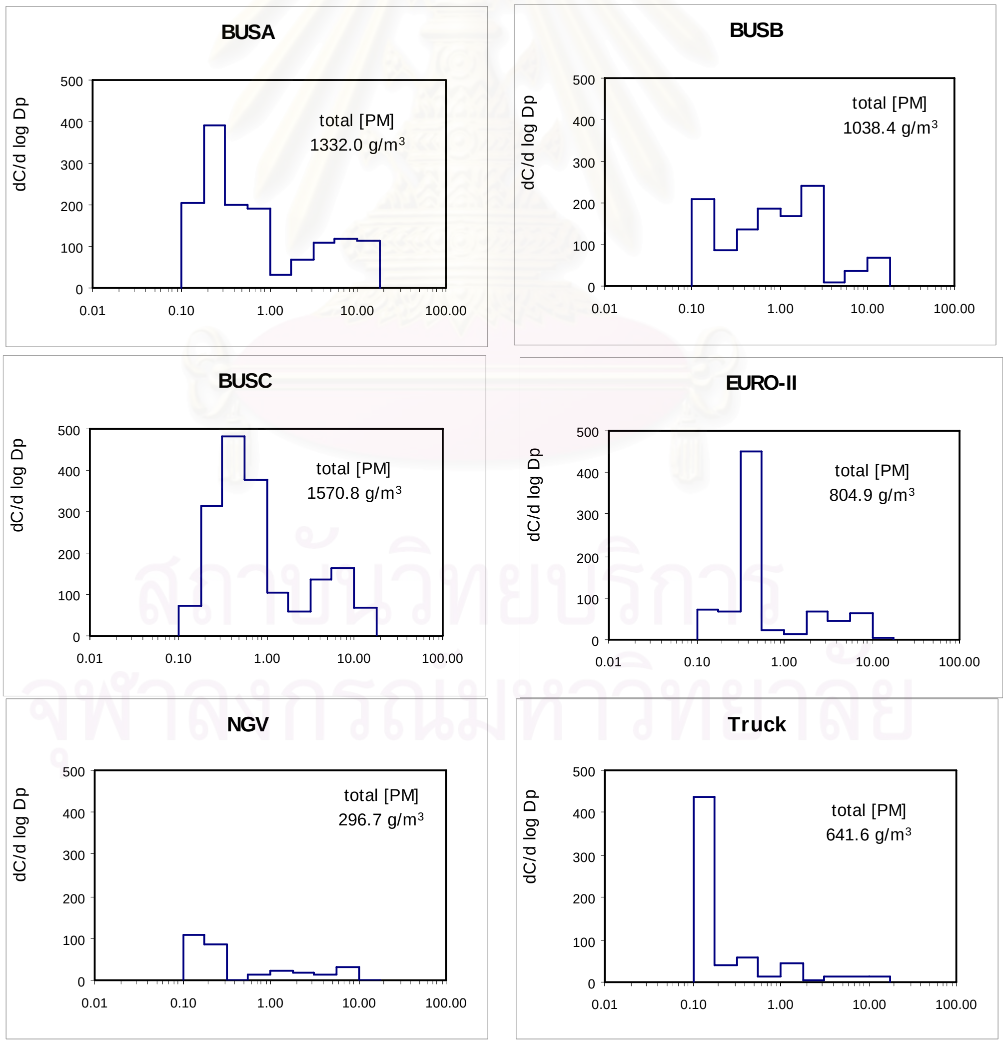
หมายเหตุ * ไม่คิดค่าเฉลี่ย

Thiansatit (2004) ได้ทำการศึกษาสารมลพิษต่างๆ จากรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่โดยใช้ระบบ CVS และใช้รูปแบบการขับขี่ BKK driving cycleโดยแบ่งกลุ่มชนิดรถออกเป็น รถมินิบัส 3 คัน รถโดยสารประจำทาง 7 คัน รถโดยสารเครื่องยนต์ EURO-II 7 คัน รถบรรทุก 3 คัน รถโดยสารใช้ก๊าซธรรมชาติ (NGV) 3 คัน พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมเท่ากับ 526, 299, 187, 281 และ 23 mg/m^3 ตามลำดับ และได้สรุปว่า รถมินิบัสและรถโดยสารประจำทางมีการปลดปล่อยฝุ่นละอองรวมสูงสุด แต่ไม่ได้ทดสอบความแตกต่างทางสถิติ และพบว่า การบำรุงรักษาเครื่องยนต์และอายุของเครื่องยนต์มีผลต่อการปลดปล่อยฝุ่นละออง

4.3 การกระจายตัว (Size Distribution, SD) ของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ

การวัดการกระจายตัวของฝุ่นละออง หรือ Size Distribution โดยการวัดขนาดการกระจายตัว และวัดการสะสมของฝุ่นละออง (cumulative) เพื่ออธิบายลักษณะพฤติกรรมของฝุ่นละอองในแต่ละขนาด ที่เก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง MOUDI ซึ่งมีการคัดขนาดตั้งแต่ >18, 10-18, 5.6-10, 3.2-5.6, 1.8-3.2, 1.0-1.8, 0.56-1.0, 0.32-0.56, 0.18-0.32 และ <0.18 ไมครอน (μm) ตามลำดับ สามารถแสดงเป็นกราฟลักษณะการกระจายตัวของฝุ่นละออง (SD) เพื่ออธิบายพฤติกรรมของฝุ่นละอองในแต่ละชั้นมีหน่วยเป็น $\mu g/m^3$ เช่น มีฝุ่นละอองกระจายตัวสูงสุดใน 1 ช่วง (unimodal) หรือ มีฝุ่นละอองกระจายตัว 2 ช่วง (bimodal) เป็นต้น และมีการอธิบายการสะสมฝุ่นละอองในแต่ละชั้น ในรูปแบบความถี่การสะสม (Cumulative Frequency, CF) มีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการดูแนวโน้มว่ามีฝุ่นอยู่ในขนาดไหนเป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในภาคผนวก ค แสดงไว้ดังนี้

4.3.1 กลุ่มรถยนต์ดีเซลใหญ่ (HDDV)



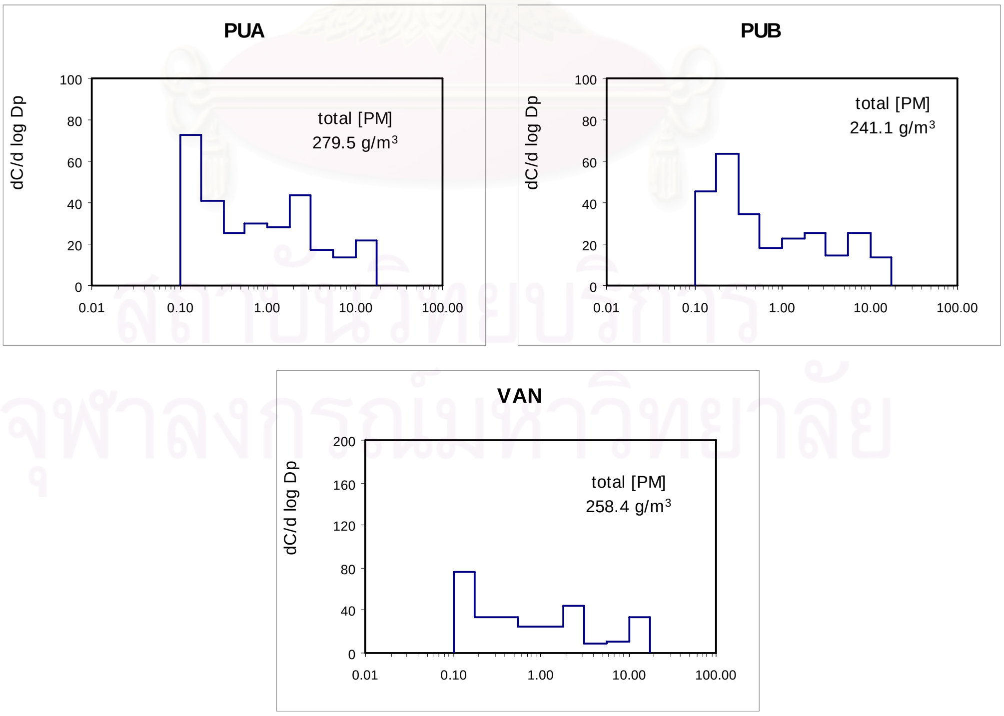
รูปที่ 4.3 size distribution ของกลุ่ม HDDV

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.3 BUSA พบว่า มีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคเป็นแบบ bimodal มีฝุ่นกระจายตัวสูงสุด ในชั้นขนาด 0.18-0.32 µm มีปริมาณความเข้มข้น 390.28 g/m^3 มีผลรวมฝุ่นละอองทุกขนาดเท่ากับ 1332.0 g/m^3 BUSB พบว่ามีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคเป็นแบบ bimodal ฝุ่นกระจายตัวมีค่าสูงสุด ในชั้นขนาด 0.1–018 µm และ 1.8-3.2 µm มีปริมาณความเข้มข้น 210.51 และ 240.28 g/m^3 และมีผลรวมฝุ่นละอองทุกขนาดเท่ากับ 1038.4 g/m^3 BUSC มีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคเป็นแบบ bimodal พบฝุ่นกระจายตัวมีค่าสูงสุด ในชั้นขนาด 0.32-0.56 µm มีปริมาณความเข้มข้น 482.25 g/m^3 และมีผลรวมฝุ่นละอองทุกขนาดเท่ากับ 1570.8 g/m^3

รถ EURO-II มีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคเป็นแบบ bimodal ฝุ่นมีกระจายตัวสูงสุดในชั้นขนาด 0.32–0.56 µm มีความเข้มข้น 452.17 g/m^3 และมีผลรวมฝุ่นละอองทุกขนาดเท่ากับ 804.9 g/m^3 รถ NGV มีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคเป็นแบบ bimodal พบฝุ่นกระจายตัวมีสูงสุดในชั้นขนาด 0.1–0.18 µm มีความเข้มข้น 106.98 g/m^3 และมีผลรวมทุกขนาดเท่ากับ 296.7 g/m^3 รถ Truck มีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคเป็นแบบ bimodal พบฝุ่นกระจายตัวสูงสุดในชั้นขนาด 0.1 – 0.18 µm มีความเข้มข้น 435.64 g/m^3 และมีผลรวมทุกขนาดเท่ากับ 641.6 g/m^3 โดยภาพรวมกลุ่มรถยนต์ดีเซลใหญ่ (HDDV) มีรูปแบบการกระจายตัวเป็นแบบ bimodal มีการกระจายตัวของฝุ่นละอองสูงสุดในชั้น 0.1-0.18 ถึง 0.32-0.56 µm

4.3.2 กลุ่มรถยนต์ดีเซลเล็ก (LDDV)



รูปที่ 4.4 size distribution ของรถกลุ่ม LDDV

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.4 PUA มีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคไม่ชัดเจน มีฝุ่นกระจายตัวสูงสุดในชั้นขนาด 0.1–0.18 µm และ 1.8-3.2 µm มีปริมาณความเข้มข้น 72.96 และ 43.36 g/m^3 ตามลำดับ มีผลรวมฝุ่นละอองทุกขนาดท่ากับ 279.5 g/m^3 PUB มีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคไม่ชัดเจน มีฝุ่นกระจายตัวสูงสุดในชั้นขนาด 0.18 – 0.32 µm มีปริมาณความเข้มข้น 63.75 g/m^3 และมีผลรวมฝุ่นละอองกับ 241.1 g/m^3 VAN มีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคไม่ชัดเจน มีฝุ่นกระจายตัวสูงสุดในชั้นขนาด 0.1–0.18 µm และ 1.8-3.2 µm มีปริมาณความเข้มข้น 75.88 และ 74.95 g/m^3 ตามลำดับ และมีผลรวมฝุ่นละอองเท่ากับ 258.4 g/m^3 โดยภาพรวมกลุ่มรถยนต์ดีเซลเล็ก (LDDV) มีรูปแบบการกระจายตัวไม่ชัดเจน โดยมีการกระจายตัวของฝุ่นละอองสูงสุดในชั้น 0.1-0.18 ถึง 1.8-3.2 µm แสดงว่ามีการกระจายตัวไม่แน่นอน และเป็นช่วงขนาดที่กว้างกว่ารถยนต์ชนิด HDDV

จากตารางที่ 4.2 ทำการคำนวณเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์การสะสมของฝุ่นละอองในแต่ละขนาดแบ่งเป็นชั้น 10 ชั้น ของรถยนต์ดีเซลใหญ่ ตั้งแต่ขนาด <0.18, 0.18-0.32, 0.32-0.56, 0.56-1.0, 1.0-1.8, 1.8-3.2, 3.2-5.6, 5.6-10, 10-18 และ >18 µm มีค่า 19, 31, 47, 60, 72, 78, 84, 88, 94 และ 100% ตามลำดับ และรถยนต์ดีเซลเล็ก มีค่า 19, 42, 56, 65, 70, 78, 86, 90, 95 และ 100% ตามลำดับ พบว่ากลุ่มรถยนต์ดีเซลใหญ่มีเปอร์เซ็นต์การสะสมฝุ่นละอองในแต่ละชั้นใกล้เคียงกับรถยนต์ดีเซลเล็ก

ตารางที่ 4.2 การตกสะสมของฝุ่นละอองในชั้นขนาดต่างๆ

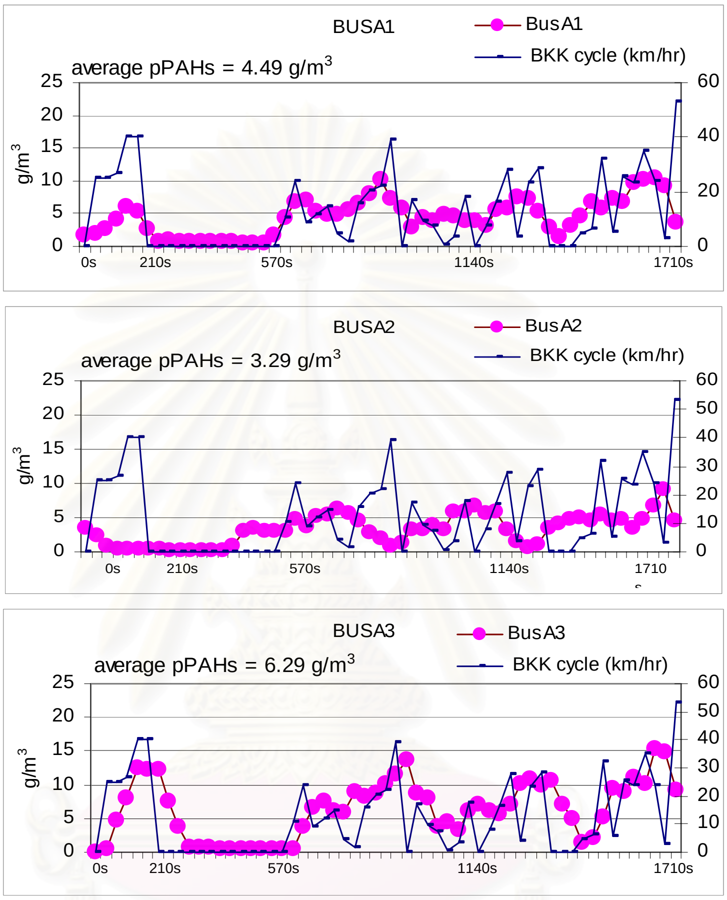
size range (µm)	AF (<.18)	.18 - .32	.32 - .56	.56 - 1.0	1.0 -1.8	1.8-3.2	3.2 --5.6	5.6 --10	10 --18	PF (>18)
HDDV CF	19	31	47	60	72	78	84	88	94	100
LDDV CF	19	42	56	65	70	78	86	90	95	100

4.4 การตรวจวัดสาร pPAHs ที่เวลาจริง (real time) จากเครื่อง PAS

จากการตรวจวัดสาร pPAHs จากเครื่อง PAS 2000CE ทำการเก็บตัวอย่างแบบ real-time จากห้องปฏิบัติการรถยนต์ดีเซลใหญ่และดีเซลเล็ก สามารถบันทึกข้อมูลต่อเนื่องได้ทุก ๆ 30 วินาที มาอธิบายลักษณะการปลดปล่อยไอเสียจากรถยนต์โดยเปรียบเทียบกับรูปแบบการขับขี่ที่ใช้ทดสอบ คือ BKK driving cycle ซึ่งเลือกระดับความเร็วทุกๆ 30 วินาที ที่ผ่านการหาค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ (moving averages) เพื่อสังเกตลักษณะสาร pPAHs ซึ่งเป็นสาร PAHs รวมหลายชนิด ได้ชัดเจนมากขึ้น การทดสอบโดยเริ่มจากวอร์มเครื่องยนต์ (warm up) ตั้งแต่วินาทีที่ 0-210 สตาร์ทเครื่องโดยไม่มีการเร่งเครื่อง (idle) ตั้งแต่วินาทีที่ 211-570 และเริ่มขับเคลื่อนตามรูปแบบการขับขี่ 2 ช่วง คือ ตั้งแต่วินาทีที่ 571-1140 และวินาทีที่ 1141-1710 ตามลำดับ โดยสามารถวัดค่าสาร pPAHs ได้ใน

หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (μg/m^3) ซึ่งแสดงผลการตรวจวัดเป็นกลุ่ม รถยนต์ดีเซลใหญ่และรถยนต์ดีเซลเล็ก ดังรูปที่ 4.5- 4.11

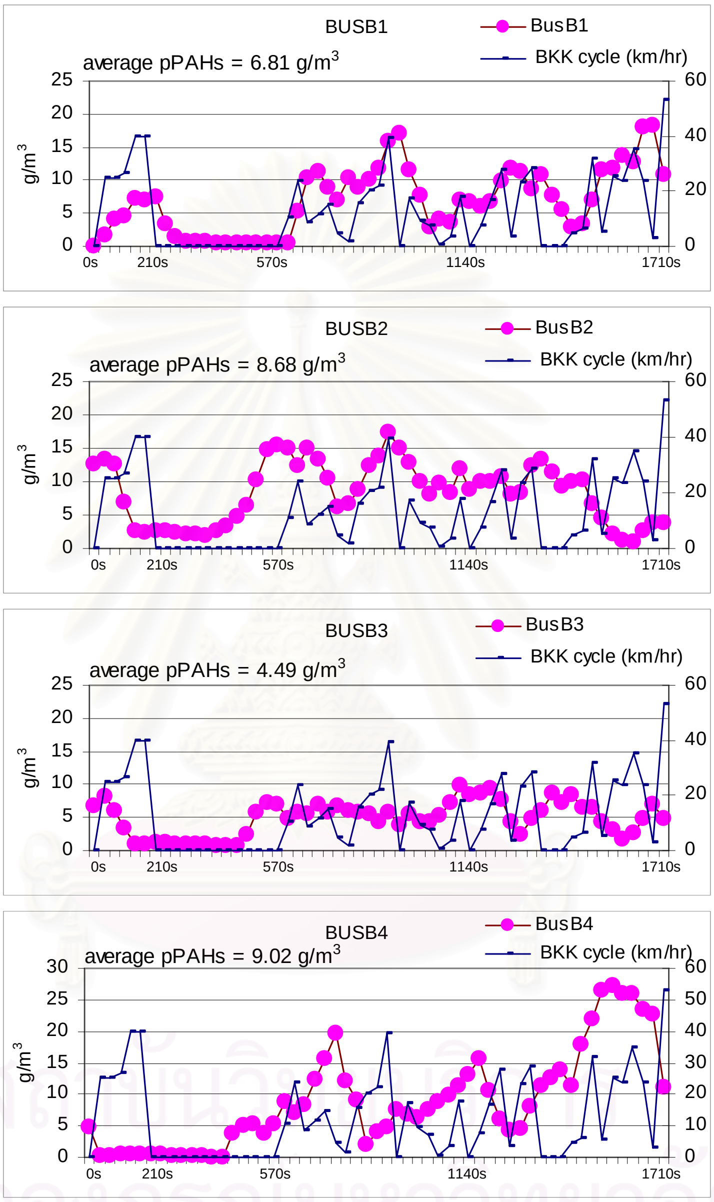
4.4.1 ผลการตรวจวัดสาร pPAHs จากกลุ่มรถยนต์ดีเซลใหญ่ (HDDV)



รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของสาร pPAHs เปรียบเทียบกับ BKK driving cycle
กลุ่ม HDDV ชนิด BUSA

จากรูปที่ 4.5 พบว่า แนวโน้มการปลดปล่อยสาร pPAHs มีการเพิ่ม-ลด ตามการเปลี่ยนแปลงของ BKK driving cycle เมื่อนำมาเปรียบเทียบเพื่อดูพฤติกรรมการปลดปล่อย มีลักษณะคล้ายกัน คือ ค่าความเข้มข้นของสาร pPAHs จะสูงขึ้นเมื่อมีการเร่งเครื่องเพื่อเพิ่มความเร็ว และจะลดลงเมื่อลดระดับความเร็ว แต่ลักษณะกราฟไม่สามารถบอกแนวโน้มที่ตรงกันได้ เพราะการเก็บตัวอย่างสาร pPAHs มีระยะห่างจากปลายท่อไอเสีย และการบันทึกค่าของเครื่อง PAS จะบันทึกทุก ๆ 30 วินาที ทำให้เกิดการล่าช้า (delay) ในการวัดค่าความเข้มข้นของสาร pPAHs ซึ่งเป็นข้อจำกัดของเครื่องมือทำให้ไม่สามารถเก็บตัวอย่างให้เครื่องมือสามารถวัดค่าได้ระดับวินาที (s) พบสาร pPAHs สูงสุดเมื่อมีการเพิ่มระดับความเร็ว และต่ำสุดในช่วงไม่มีการเร่งเครื่อง มีค่าเฉลี่ยของ

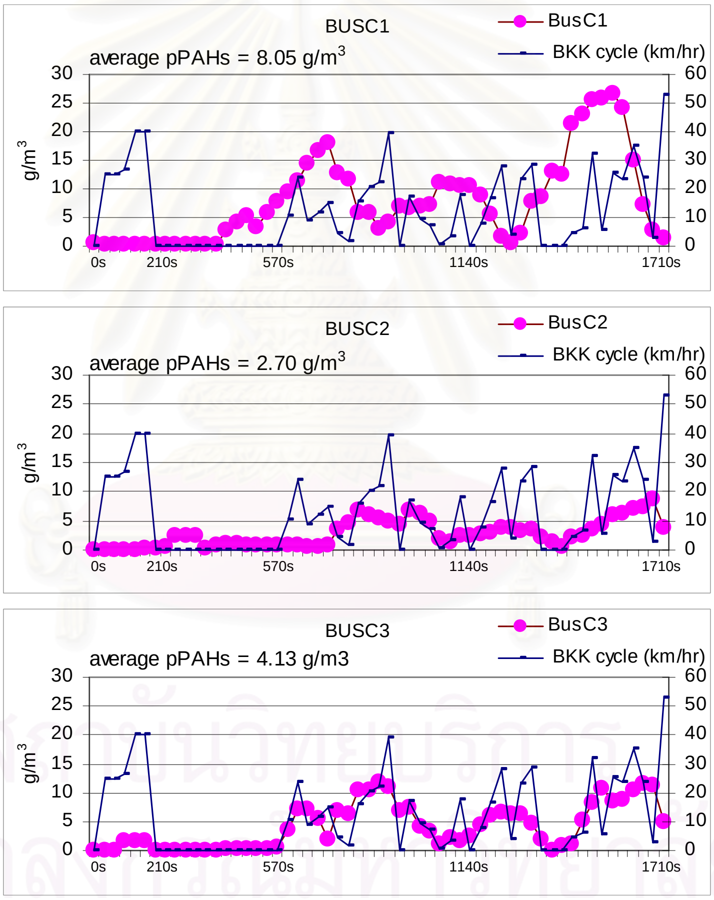
ความเข้มข้นของสาร pPAHs ตั้งแต่เริ่มจนหยุดการทดสอบจากตัวอย่าง BUSA1, BUSA2 และ BUSA3 เท่ากับ 4.49, 3.29 และ 6.29 g/m^3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของสาร pPAHs เปรียบเทียบกับ BKK driving cycle กลุ่ม HDDV ชนิด BUSB

จากรูปที่ 4.6 พบว่า แนวโน้มการปลดปล่อยสาร pPAHs มีการเพิ่ม-ลดตามการเปลี่ยนแปลงของ BKK driving cycle มีพฤติกรรมการปลดปล่อยของสาร pPAHs จะสูงขึ้นเมื่อมีการเร่งเครื่องเพื่อเพิ่มความเร็ว และจะลดลงเมื่อลดระดับความเร็ว แต่ตัวอย่าง BUSB2 BUSB3 และ BUSB4 มีสาร pPAHs เกิดขึ้นในช่วงวินาทีที่ไม่มีการเร่งเครื่อง อาจเป็นเพราะว่ามีไอเสียส่วนหนึ่ง

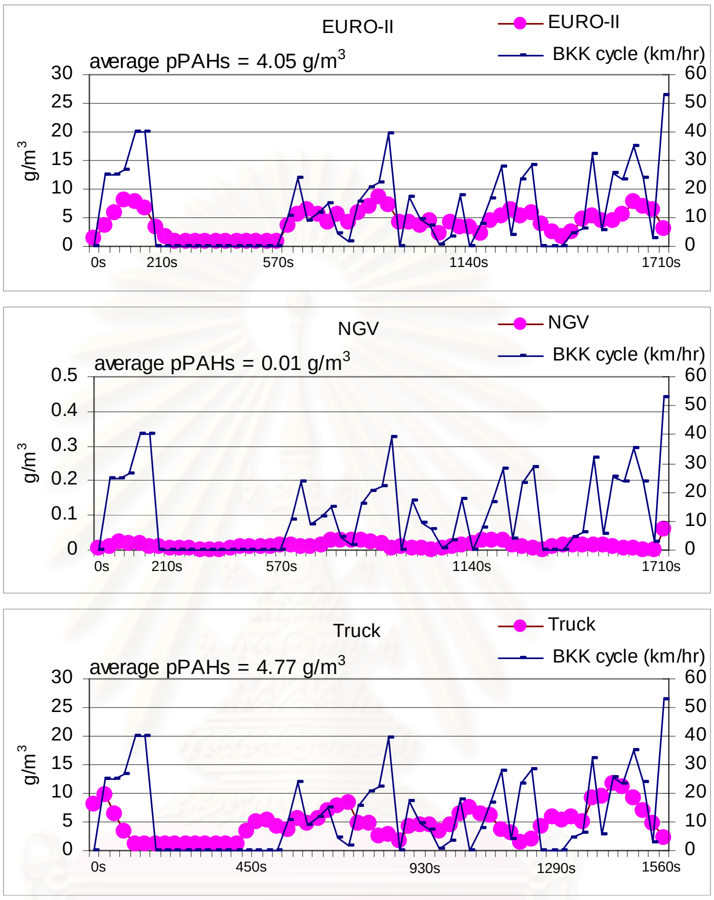
คงค้างอยู่ในระบบทำให้เครื่อง PAS เก็บข้อมูลและบันทึกไว้ โดยเฉพาะตัวอย่าง BUSB2 มีปริมาณสาร pPAHs ถูกปล่อยออกมาในช่วงเวลาที่มีการเร่งเครื่องยนต์ ซึ่งอาจเกิดจากระบบมีไอเสียรั่วไหลออกมา ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของสาร pPAHs ตั้งแต่เริ่มจนหยุดการทดสอบจากตัวอย่าง BUSB1, BUSB2, BUSB3 และ BUSB4 เท่ากับ 6.81, 8.68, 4.49 และ 9.02 g/m^3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว กลุ่ม BUSB ซึ่งมีเลขระยะทางน้อยกว่า 300,000 กม. มีการปลดปล่อยสาร pPAHs สูงกว่ากลุ่ม BUSA แต่เนื่องจากในกลุ่มมีการปลดปล่อยสาร pPAHs สูง และมีตัวอย่าง BUSB2 ซึ่งมีอายุเครื่องยนต์น้อย พบว่า อายุเครื่องยนต์ ไม่ใช่ปัจจัยที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยสาร pPAHs สูง แต่อาจเกิดจากการขาดการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ เนื่องจากมีเลขระยะทางน้อย มีการใช้งานตลอด



รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของสาร pPAHs เปรียบเทียบกับ BKK driving cycle กลุ่ม HDDV ชนิด BUSC

จากรูปที่ 4.7 กลุ่ม BUSC ซึ่งไม่มีเลขระยะทางเนื่องจากมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ใหม่ พบว่า ตัวอย่าง BUSC1 มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร pPAHs สูงสุด คือ 8.05 g/m^3 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม BUSA และกลุ่ม BUSB แล้วมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่ม BUSB แต่มากกว่ากลุ่ม BUSA แสดงว่าอายุเครื่องยนต์มีผลต่อการปลดปล่อยสาร pPAHs แต่เมื่อ พิจารณากับตัวอย่าง BUSC2 ซึ่งมีการ

ปลดปล่อยสาร pPAHs ต่ำที่สุดในกลุ่ม และ BUSC3 พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร pPAHs 2.70 และ 4.13 g/m^3 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่ากลุ่ม BUSB และใกล้เคียงกับกลุ่ม BUSA แสดงว่า อายุเครื่องยนต์ไม่มีผลต่อการปลดปล่อยสาร pPAHs

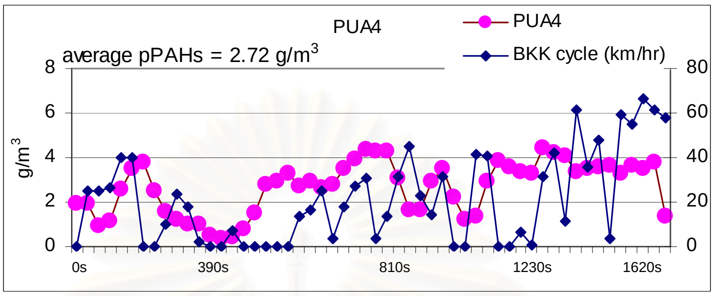


รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของสาร pPAHs เปรียบเทียบกับ BKK driving cycle กลุ่ม HDDV ชนิด EURO-II, NGV, Truck

จากรูปที่ 4.8 พบว่า ตัวอย่างรถทดสอบ EURO-II และ รถบรรทุก (Truck) มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร pPAHs คือ 4.05 และ 4.77 g/m^3 เมื่อพิจารณา รถ EURO-II เปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่าง BUSB คือ BUSB2 ซึ่งมีอายุเครื่องยนต์ใกล้เคียงกันแต่มีเลขระยะทางน้อยกว่า พบว่า มีการปลดปล่อยสาร pPAHs น้อยกว่า BUSB2 และตัวอย่าง BUSB4 ซึ่งมีระยะทางการวิ่งใกล้เคียงกันแต่มีอายุเครื่องน้อยกว่า พบว่ามีการปลดปล่อยสาร pPAHs น้อยกว่า แสดงว่า รถ EURO-II ซึ่งมีมาตรฐานไอเสียควบคุมมีการปลดปล่อยสาร pPAHs ออกมาน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอายุเครื่องยนต์และเลขระยะทาง ส่วนรถบรรทุกมีรูปแบบการขับขี่ที่ต่างออกไป เมื่อพิจาณาจากเลขระยะทางซึ่งสูงเมื่อเทียบกับอายุเครื่องยนต์พบว่ามีการปลดปล่อยสาร pPAHs สูง ส่วนตัวอย่างรถ NGV มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร pPAHs ต่ำสุด คือ 0.01 g/m^3 เนื่องจากชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้เป็น

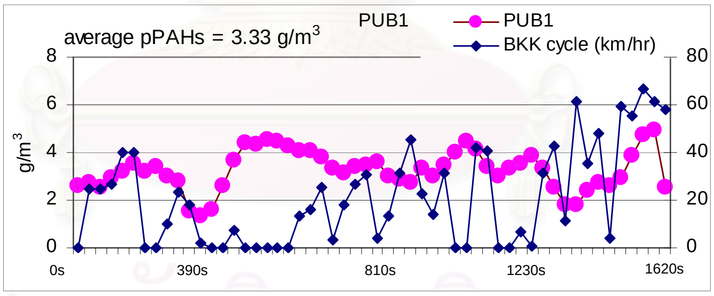
ก๊าซธรรมชาติอัด (Natural Gas Vehicles) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นแสดงว่าชนิดเชื้อเพลิงมีผลต่อการปลดปล่อยสาร pPAHs

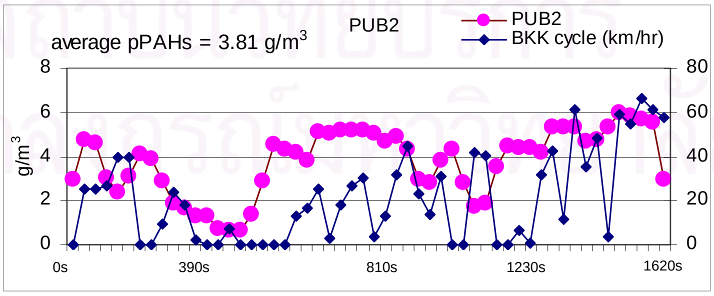
4.4.2 ผลการตรวจวัดสาร pPAHs จากกลุ่มรถยนต์ดีเซลเล็ก (LDDV)

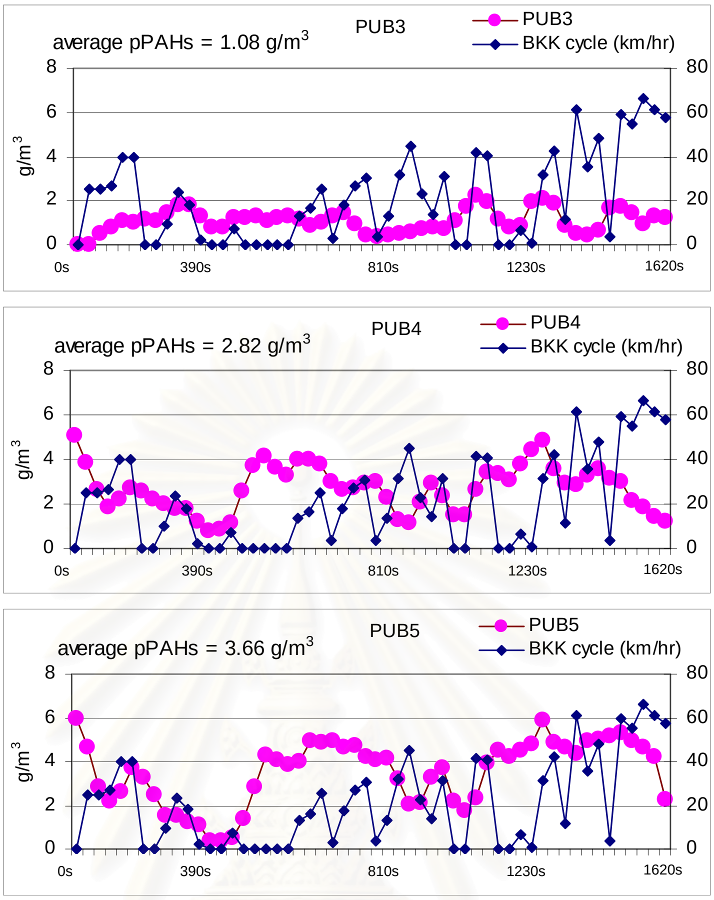


รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นของสาร pPAHs เปรียบเทียบกับ BKK driving cycle ชนิด PUA4

จากรูปที่ 4.9 กลุ่ม LDDV ชนิด PUA4 มีแนวโน้มเพิ่ม-ลดตามรูปแบบการขับขี่ มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร pPAHs จากตัวอย่าง PUA4 เท่ากับ 2.72 g/m^3 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่าง PUA1 PUA 2 และ PUA3 เกิดความผิดปกติระหว่างการเก็บตัวอย่าง คือ ไม่มีการบันทึกค่าตั้งแต่เริ่มเก็บตัวอย่างจากระบบจนจบเวลาในการทดสอบ ทำให้ไม่มีค่าตรวจวัดไม่สามารถนำเปรียบเทียบได้





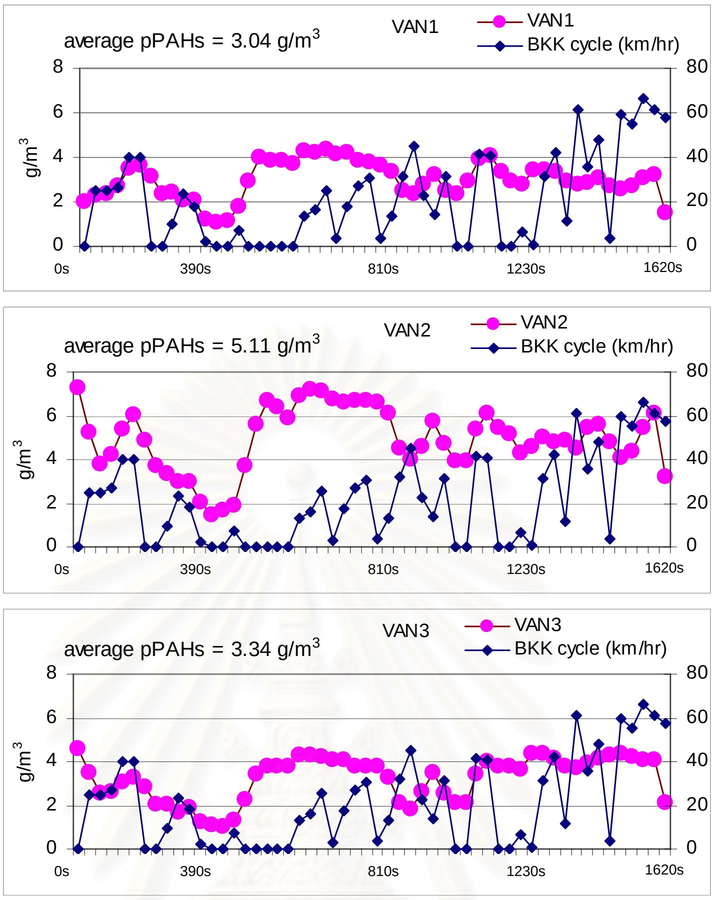


รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นของสาร pPAHs เปรียบเทียบกับ BKK driving cycle

กลุ่ม LDDV ชนิด PUB

จากรูปที่ 4.10 กลุ่ม PUB มีแนวโน้มการปลดปล่อยสาร pPAHs ขึ้น-ลง ตามรูปแบบการขับขี่ มีผลรวมสาร pPAHs จากตัวอย่าง PUB1, PUB2, PUB3, PUB4 และ PUB5 เท่ากับ 3.33, 3.81, 1.08, 2.82 และ 3.66 g/m^3 ตามลำดับ โดยภาพรวมพบว่ามีค่าผลรวมสูงกว่ากลุ่ม PUA มีเลขระยะทางและมีอายุเครื่องยนต์น้อยกว่า แสดงว่าเลขระยะทางและอายุเครื่องยนต์ที่สูงกว่าไม่มีผลต่อการปลดปล่อยสาร pPAHs แต่ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 ความเข้มข้นของสาร pPAHs เปรียบเทียบกับ BKK driving cycle กลุ่ม LDDV ชนิด VAN

จากรูปที่ 4.11 กลุ่มรถ VAN มีแนวโน้มการเพิ่ม-ลด ตามรูปแบบการขับขี่และเหมือนกันทุกตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร pPAHs จากตัวอย่าง VAN1, VAN2 และ VAN3 พบมีค่า 3.04, 5.11 และ 3.34 ตามลำดับ พบว่า มีอายุเครื่องยนต์เท่ากัน และมีเลขระยะทางใกล้เคียงกัน ซึ่งตัวอย่าง VAN2 มีเลขระยะทางมากกว่าประมาณ 20,000 กม. และมีการปลดปล่อยมากกว่า ตัวอย่างอื่น แสดงว่า เลขระยะทางมีผลต่อการปลดปล่อยสาร pPAHs ในกลุ่มรถ VAN

4.4.3 สาร pPAHs จากรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่และขนาดเล็ก

จากการตรวจวัดสาร pPAHs จากเครื่อง PAS 2000CE ทำการเก็บตัวอย่างแบบ real-time จากห้องปฏิบัติการรถยนต์ดีเซลใหญ่และดีเซลเล็ก อธิบายลักษณะการปลดปล่อยไอเสียโดยเปรียบเทียบกับรูปแบบการขับขี่ที่ใช้ทดสอบ คือ BKK driving cycle พบว่า สาร pPAHs แนวโน้มการเพิ่ม-ลด ตามรูปแบบการขับขี่ แต่ลักษณะกราฟไม่สามารถบอกแนวโน้มที่ตรงกันได้ เพราะการเก็บตัวอย่างที่มีระยะห่างจากปลายท่อไอเสีย และการบันทึกค่าของเครื่องมือที่เกิดการล่าช้า (delay) ในการวัดค่าความเข้มข้นของสาร pPAHs ซึ่งเป็นข้อจำกัดของเครื่องมือ โดยภาพรวมจากตารางที่

4.3 พบว่า รถยนต์ HDDV ชนิด BUSB มีการปลดปล่อยสาร pPAHs สูงสุดในกลุ่ม และ NGV มีการปลดปล่อยสาร pPAHs ต่ำสุด ส่วนรถยนต์ LDDV ชนิด VAN มีการปลดปล่อยสาร pPAHs สูงสุด ส่วนกลุ่ม PUA มีการปลดปล่อยสาร pPAHs ต่ำสุด เมื่อนำค่าเฉลี่ยของสาร pPAHs มาทดสอบข้อมูลทางสถิติเพื่อหาความแตกต่าง โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลดังแสดงในภาคผนวก ซ โดยใช้สถิติ Independent-sample T-test ในการทดสอบหาความแตกต่างกันของค่า เฉลี่ยของสาร pPAHs (เนื่องจากข้อมูลมีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระต่อกัน) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ใช้ในการทดสอบที่ 0.05 ภายใต้สมมติฐานดังนี้

H_0: ค่าเฉลี่ยของสาร pPAHs จากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กน้อยไม่แตกต่างกับดีเซลขนาดใหญ่

H_1: ค่าเฉลี่ยของสาร pPAHs จากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กแตกต่างกับดีเซลขนาดใหญ่

ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า Sig ของรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก (LDDV) มีค่าเท่ากับ 0.006 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 จึงตัดสินใจยอมรับสมมติฐาน H_1 ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของสาร pPAHs จากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กมีค่าน้อยกว่ารถยนต์ดีเซลใหญ่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งรถดีเซลใหญ่และดีเซลเล็กมีผลรวมของค่าเฉลี่ยของสารเท่ากับ 67.29 และ 28.93 g/m^3 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันประมาณ 2.3 เท่า

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นรวมและค่าเฉลี่ยของสาร pPAHs จากรถชนิด HDDV และ LDDV

HDDV	BusA1	BusA2	BusA3	BusB1	BusB2	BusB3	BusB4	BusC1	BusC2	BusC3	EURO-II	NGV	Truck	total (g/m^3)
average pPAHs (g/m^3)	4.49	3.29	6.29	6.81	8.68	4.99	9.02	8.05	2.70	4.13	4.05	0.01	4.77	67.29
LDDV	PUA1	PUA2	PUA3	PUA4	PUB1	PUB2	PUB3	PUB4	PUB5	VAN1	VAN2	VAN3	total (g/m^3)	
average pPAHs (g/m^3)	nd	nd	nd	2.72	3.33	3.81	1.08	2.82	3.66	3.04	5.11	3.34	28.93	

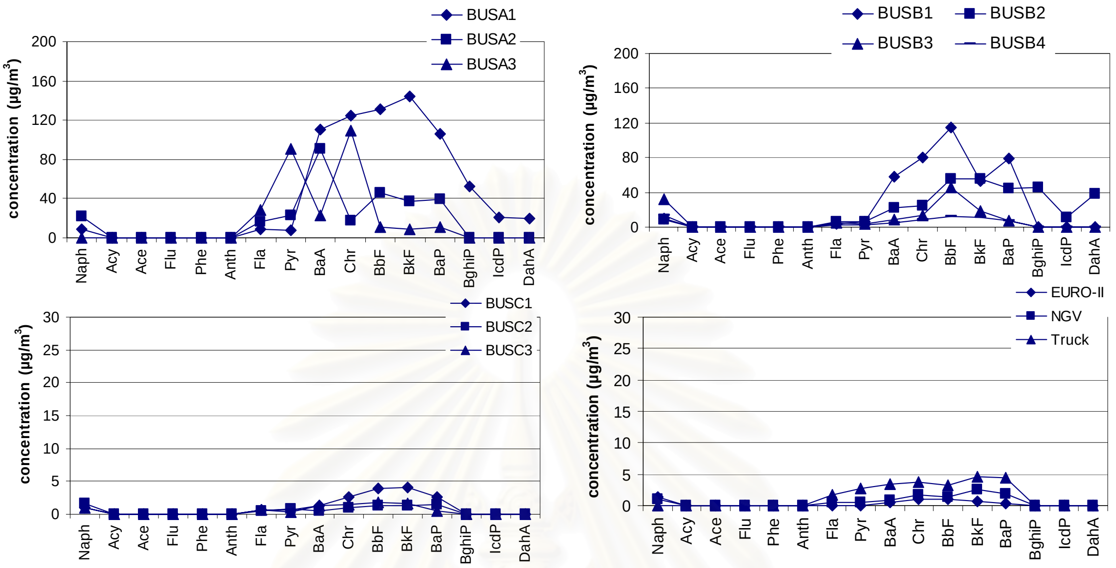
หมายเหตุ nd = non detected

4.5 ปริมาณสาร PAHs จากเครื่อง GC/MS

จากการการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่อง MOUDI ที่มีการคัดขนาดตั้งแต่ <0.1-18 μm และตัวอย่างก๊าซจากหลอด PUF ซึ่งบรรจุสารดูดซับ XAD-2 ผ่านกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายและวิเคราะห์ความเข้มข้นของสาร PAHs ด้วยเครื่อง GC/MS รายงานความเข้มข้นของสาร PAHs ได้ในหน่วยนาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ng/m^3) สามารถอธิบายแนวโน้มของสาร PAHs เปรียบเทียบกับขนาดต่างๆ ในสถานะฝุ่นละออง และสถานะก๊าซ ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างรถยนต์ดีเซลใหญ่และดีเซลเล็กได้ดังรูปที่ 4.12-4.38

4.5.1 สาร PAHs ในฝุ่นละอองที่เก็บด้วยเครื่อง MOUDI จากรถยนต์ดีเซลใหญ่

1) ฝุ่นละอองขนาด >18 μm (size range >18 μm)



รูปที่ 4.12 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด >18 μm กลุ่ม HDDV

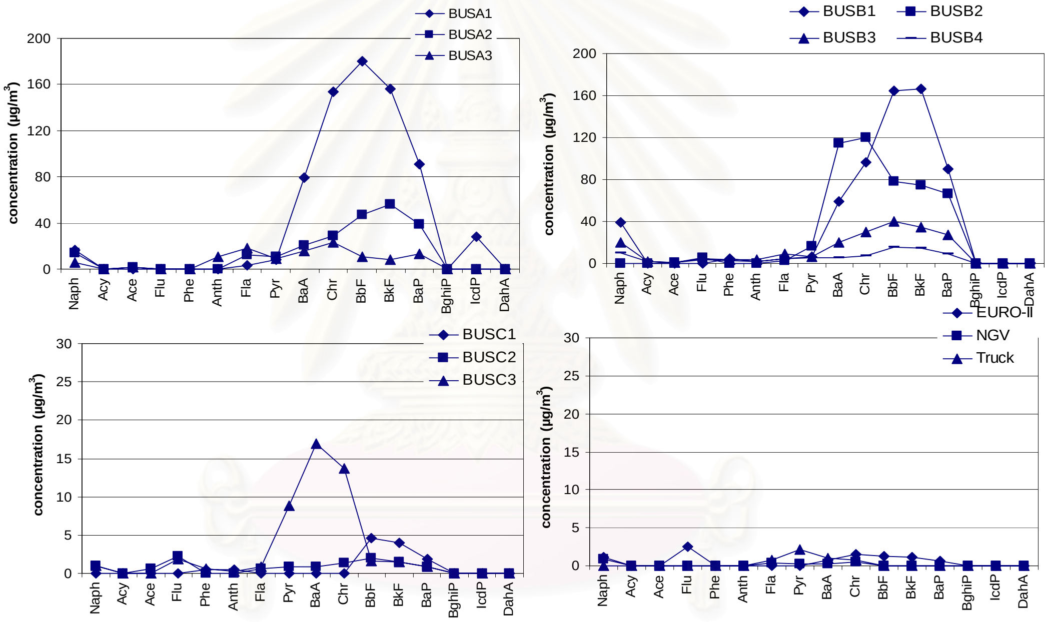
จากรูปที่ 4.12 พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ในฝุ่นขนาด >18 μm มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.4 พบว่าสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด ตั้งแต่ Acy จนถึงถึง Pyr ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ในบางตัวอย่าง เนื่องจากเป็นสาร PAHs ชนิดที่มีโมเลกุลต่ำ ตามคุณสมบัติทางเคมีจะเกิดการระเหยได้ง่ายเมื่อมีอุณหภูมิสูง แต่แตกต่างจาก Naph ซึ่งสามารถดูดซับบนกระดาษกรองได้ดี ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ และโดยภาพรวมสารPAHs ที่มีวงอะโรมาติก 3-6 วง และมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ Anth จนถึง BkF และ BaP จนถึง DahA โดยเมื่อพิจารณากลุ่ม BUSA มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1,307.9 μg/m^3 ส่วนตัวอย่าง BUSB, BUSC, EURO-II, NGV และ Truck มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 687.85, 33.97, 2.12, 3.64 และ 7.99 μg/m^3 จากตัวอย่าง EURO-II และ Truck มีการปลดปล่อยสาร PAHs ต่ำสุด ในกลุ่ม BUSA มีค่าผลรวมความเข้มข้นสูงสุด เมื่อพิจารณาจาก อายุเครื่องและเลขระยะทาง พบว่า อายุเครื่องยนต์และเลขระยะทางมีผลต่อการปลดปล่อยสาร PAHs ส่วนตัวอย่าง NGV มีการปลดปล่อยสาร PAHs ต่ำที่สุด เพราะมีการใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกัน

ตารางที่ 4.4 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด >18 μm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total ($\mu g/m^3$)
BUSA	30.41	nd	nd	nd	nd	nd	53.68	121.73	223.40	251.18	188.16	190.00	156.16	52.09	21.16	19.95	1307.90
BUSB	47.01	nd	nd	nd	nd	nd	12.03	12.67	70.23	95.12	171.21	103.53	104.07	34.44	8.63	28.80	687.75
BUSC	3.64	nd	nd	nd	nd	nd	1.82	1.76	3.12	5.00	7.00	7.03	4.61	nd	nd	nd	33.97
EURO-II	0.46	nd	nd	0.42	nd	nd	nd	nd	0.19	0.33	0.36	0.25	0.12	nd	nd	nd	2.12
NGV	0.34	nd	nd	nd	0.15	nd	0.19	0.16	0.30	0.56	0.48	0.85	0.60	nd	nd	nd	3.64
Truck	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.55	0.91	1.16	1.26	1.08	1.56	1.47	nd	nd	nd	7.99

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

2) ฝุ่นละอองขนาด 10-18 μm (size range 10-18 μm)



รูปที่ 4.13 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 10-18 μm กลุ่ม HDDV

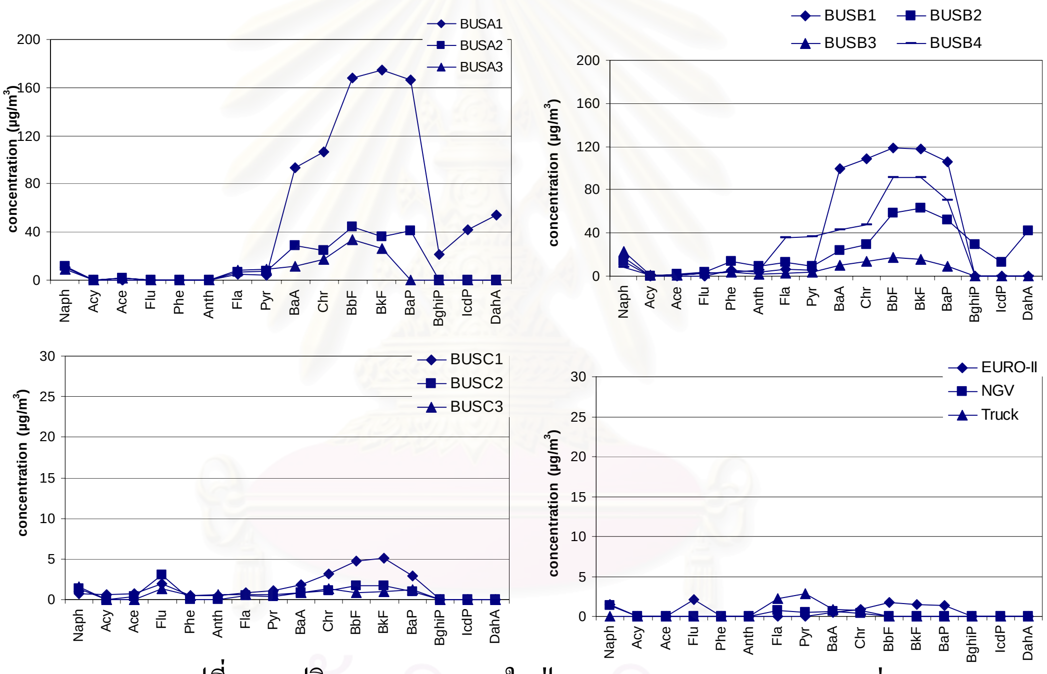
จากรูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.5 พบสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 10-18 μm มีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับชั้น >18 μm โดยภาพรวมสารPAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่นที่มีวงอะโรมาติก 3-6 วง ตั้งแต่ Anth จนถึง BaF และ BkF จนถึง DahA ในกลุ่ม BUSA BUSB สาร PAHs ที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น โครงสร้างซับซ้อนขึ้น และฝุ่นมีขนาดเล็กลงทำให้ถูกดูดซับบนฝุ่นละอองได้มากกว่าสาร PAHs ที่มีโมเลกุลต่ำกว่าซึ่งต้องการพื้นที่ผิวในการดูดซับเนื่องจากมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน จากผลการศึกษาพบว่า กลุ่ม BUSA มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มอื่น คือ 1049.84 $\mu g/m^3$ เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 3.5 และเปรียบเทียบกับตัวอย่างกลุ่มอื่นพบว่า เลขระยะทางและอายุเครื่องยนต์มีผลต่อการปลดปล่อยสาร PAHs

ตารางที่ 4.5 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 10-18 μm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total ($\mu g/m^3$)
BUSA	36.06	nd	nd	nd	nd	nd	34.40	28.47	115.80	205.24	238.38	220.33	142.90	nd	28.27	nd	1049.84
BUSB	51.73	nd	nd	nd	nd	nd	15.69	26.03	149.71	190.06	223.60	217.67	144.12	nd	nd	nd	1018.60
BUSC	2.04	nd	nd	nd	nd	nd	1.46	9.59	17.81	15.18	8.29	7.05	3.66	nd	nd	nd	65.07
EURO-II	3.41	nd	nd	7.56	nd	nd	nd	nd	2.08	4.57	3.67	3.24	1.74	nd	nd	nd	26.29
NGV	2.70	nd	nd	nd	nd	nd	0.98	0.92	0.71	1.51	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6.83
Truck	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2.35	6.40	2.97	2.11	nd	nd	nd	nd	nd	nd	13.84

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

3) ฝุ่นละอองขนาด 5.2-10 μm (size range 5.2-10 μm)



รูปที่ 4.14 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 5.2-10 μm กลุ่ม HDDV

จากรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.6 เมื่อมีการคัดขนาดที่เล็กลงในชั้น 5.2-10 μm และมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ BbF จนถึง DahA พบว่ากลุ่ม BUSA และ BUSB มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs เท่ากับ 1164.02 และ 1131.19 $\mu g/m^3$ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง แสดงว่า เมื่อมีการคัดขนาดฝุ่นละอองที่เล็กลง จะพบสาร PAHs ที่มีโมเลกุลสูงขึ้น แต่ไม่พบสาร PAHs ชนิด BghiP, I(1,2,3-cd)P และ DahA ในกลุ่ม BUSC, EURO-II, NGV และ Truck พบว่า กลุ่ม BUSC ซึ่งมีการปรับปรุงเครื่องยนต์ EURO-II และ Truck ซึ่งมีมาตรฐานไอเสียควบคุม และ NGV ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs

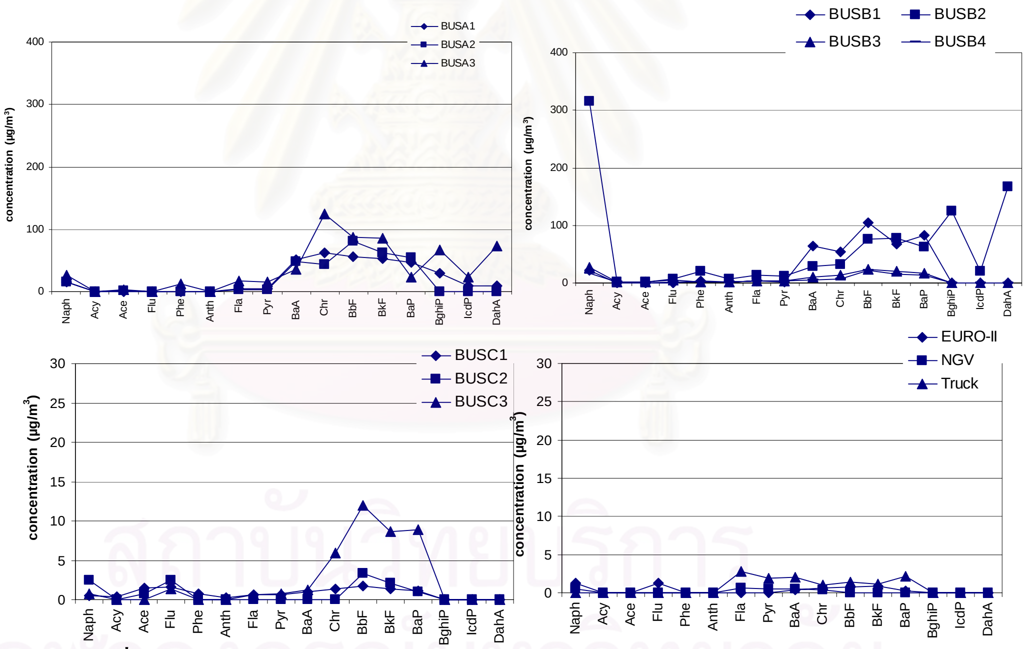
เท่ากับ 28.28, 10.55, 19.93 µg/m^3 ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มอื่น มีปริมาณฝุ่นละอองน้อยกว่า ทำให้สาร PAHs ดูดซับบนฝุ่นละอองน้อย

ตารางที่ 4.6 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 5.2-10 µm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total (µg/m^3)
BUSA	31.13	nd	3.83	nd	nd	nd	18.93	20.62	133.71	148.43	245.78	237.26	207.07	21.02	42.00	54.23	1164.02
BUSB	46.56	1.43	2.94	7.14	20.05	14.85	43.34	41.21	132.16	149.50	214.35	216.30	178.09	21.94	9.86	31.47	1131.19
BUSC	3.66	0.65	1.00	6.35	0.99	1.09	1.83	2.07	3.52	5.56	7.20	7.76	5.14	nd	nd	nd	46.82
EURO-II	4.46	nd	nd	6.27	nd	nd	nd	nd	1.60	2.45	5.03	4.36	4.11	nd	nd	nd	28.28
NGV	4.06	nd	nd	nd	nd	nd	2.16	1.55	1.74	1.05	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10.55
Truck	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6.51	8.60	2.60	2.22	nd	nd	nd	nd	nd	nd	19.93

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

4) ฝุ่นละอองขนาด 3.2-5.2 µm (size range 3.2-5.2 µm)



รูปที่ 4.15 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 3.2-5.2 µm กลุ่ม HDDV

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.15 และและตารางที่ 4.7 เมื่อมีการคัดขนาดที่เล็กลงในชั้น 3.2-5.2 µm โดยมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ Pyr จนถึง BaF และ BkF จนถึง DahA ในกลุ่ม BUSA และ BUSB มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs เท่ากับ 1255.08 และ 1200.89 µg/m^3 และในตัวอย่าง BUSB2 มีปริมาณสาร PAHs ชนิด Naph และ DahA สูง ทำให้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในตัวอย่าง BUSB สูงกว่า BUSA เมื่อพิจารณากับค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากรูปที่ 4.1 พบว่า มีปริมาณฝุ่นละอองสูงในชั้นนี้เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่น ทำให้ Naph และ DbhA สามารถดูด

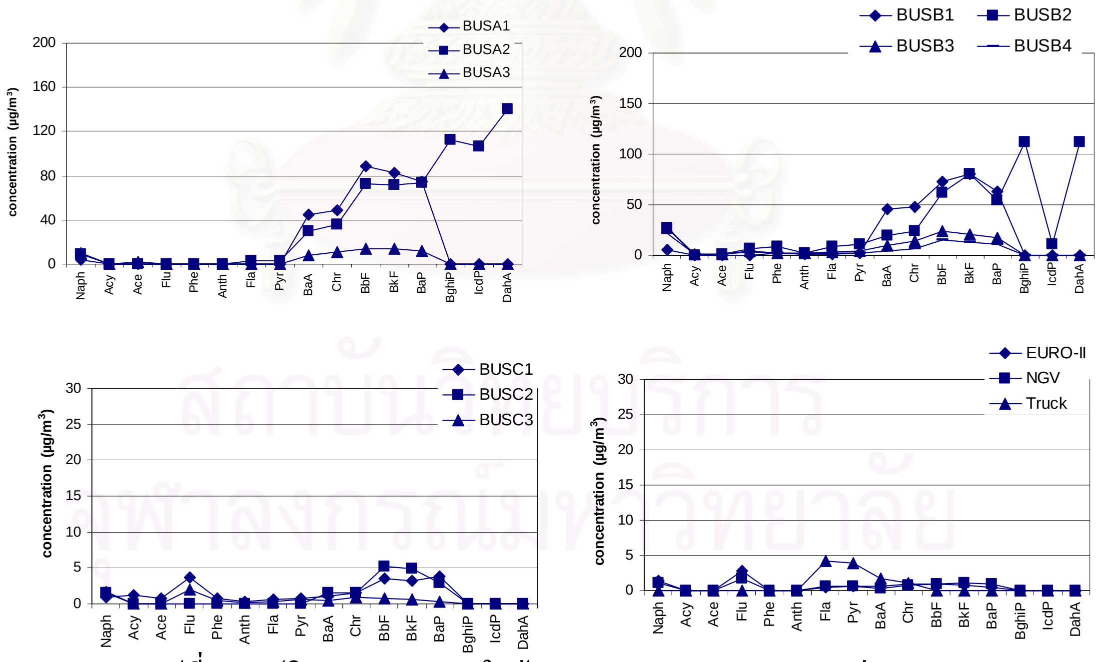
ซับบนฝุ่นละอองได้ดี ส่วนกลุ่ม BUSC โดยเฉพาะ BUSC3 มีปริมาณ Chr, BbF, BkF และ BaP สูง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากรูปที่ 4.1 พบว่ามีค่าความเข้มข้นสูงกว่าตัวอย่างอื่นแสดงว่าสาร PAHs ที่กล่าวมามีการดูดซับบนฝุ่นละอองมากกว่า และตัวอย่าง EURO-II, NGV และ Truck พบ Naph, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF และ BaP ในปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างอื่น

ตารางที่ 4.7 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 3.2-5.2 μm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total (μg/m^3)
BUSA	57.82	nd	4.77	nd	13.21	nd	25.32	23.86	136.69	231.56	223.92	201.23	123.42	96.98	32.86	83.43	1255.08
BUSB	286.95	3.76	3.20	10.12	21.09	8.89	17.64	16.61	80.64	80.10	170.13	135.30	131.50	94.20	15.25	125.51	1200.89
BUSC	3.72	0.43	2.27	5.42	0.71	0.23	1.16	1.37	2.17	7.33	17.02	12.08	11.01	nd	nd	nd	64.92
EURO-II	3.67	nd	nd	3.72	nd	nd	nd	nd	1.19	1.86	2.15	2.54	0.82	nd	nd	nd	15.95
NGV	1.57	nd	nd	nd	nd	nd	1.84	1.36	1.61	1.04	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7.42
Truck	nd	nd	nd	nd	nd	nd	8.40	5.89	6.23	3.10	4.35	3.24	6.36	nd	nd	nd	37.58

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

5) ฝุ่นละอองขนาด 1.8-3.2 μm (size range 1.8-3.2 μm)



รูปที่ 4.16 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 1.8-3.2 μm กลุ่ม HDDV

จากรูปที่ 4.16 และตารางที่ 4.8 เมื่อมีการคัดขนาดที่เล็กลงในชั้น 1.8-3.2 μm โดยมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ Pyr จนถึง BaF และ BkF จนถึง DahA ยกเว้น BUSA2 ซึ่งมีปริมาณ DahA สูง และพบว่ากลุ่ม BUSA และ BUSB มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs

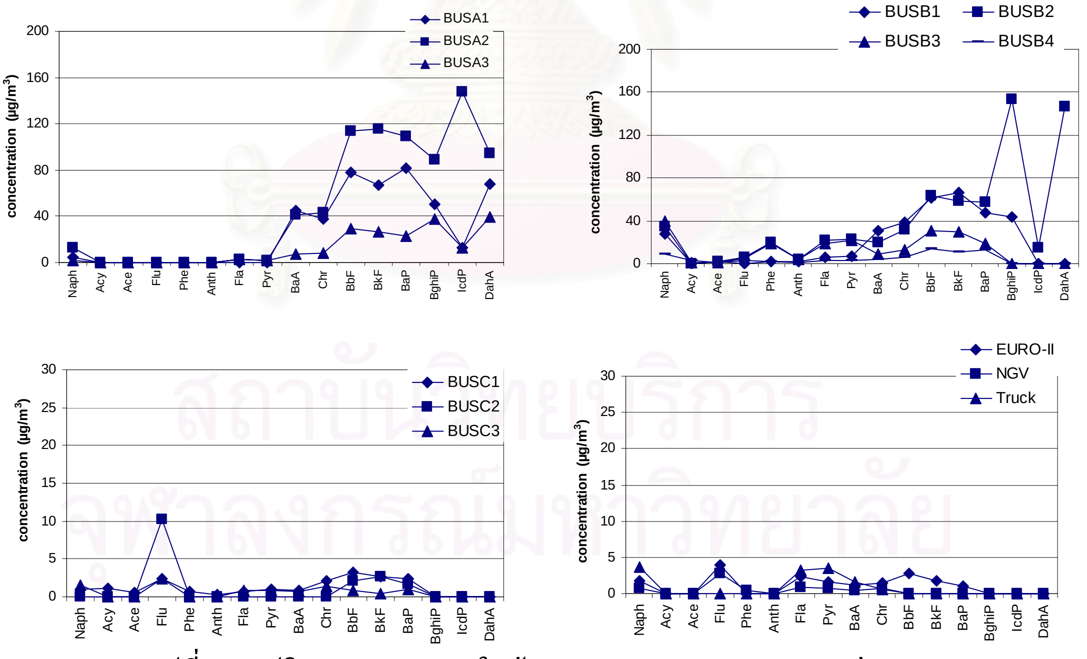
เท่ากับ 1070.55 และ 810.40 µg/m^3 พบว่าตัวอย่าง BUSA มีปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง น้อยกว่า แต่เมื่อพิจารณามีเลขระยะทางการวิ่งและอายุเครื่องยนต์ที่มากกว่ากลุ่ม BUSB พบว่า มีสาร PAHs ในกลุ่ม BUSA มากกว่า กลุ่ม BUSB แสดงว่า เลขระยะทางและอายุเครื่องยนต์มีมีความสัมพันธ์กับการปลดปล่อยสาร PAHs ส่วนกลุ่มตัวอย่าง EURO-II, NGV และ Truck พบ Naph, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF และ BaP ในปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างอื่น

ตารางที่ 4.8 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 1.8-3.2 µm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total (µg/m^3)
BUSA	22.18	nd	2.03	nd	nd	nd	3.00	2.74	81.98	95.63	175.12	168.25	160.69	112.73	106.23	139.97	1070.55
BUSB	60.73	2.24	2.72	11.11	10.74	4.93	12.51	15.27	59.39	68.92	130.95	145.77	108.75	83.92	8.25	84.22	810.40
BUSC	4.22	1.29	0.71	5.77	1.14	0.42	0.98	1.36	2.97	3.97	9.49	8.78	7.02	nd	nd	nd	48.12
EURO-II	4.43	nd	nd	8.53	nd	nd	1.61	1.84	2.09	2.69	2.66	2.44	1.52	nd	nd	nd	27.81
NGV	3.31	nd	nd	5.04	nd	nd	1.89	1.67	0.81	2.52	2.97	3.45	2.58	nd	nd	nd	24.23
Truck	nd	nd	nd	nd	nd	nd	12.65	11.93	5.01	3.49	nd	nd	nd	nd	nd	nd	33.08

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

6) ฝุ่นละอองขนาด 1.0-1.8 µm (size range 1.0-1.8 µm)



รูปที่ 4.17 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 1.0-1.8 µm กลุ่ม HDDV

จากรูปที่ 4.17 และตารางที่ 4.9 เมื่อมีการคัดขนาดที่เล็กลงในชั้น 1.0-1.8 µm โดยมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ Pyr จนถึง BkF และ BkF จนถึง DahA ในกลุ่ม BUSA และ BUSB มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs เท่ากับ 1404.72 และ 954.19 µg/m^3 และกลุ่ม BUSC,

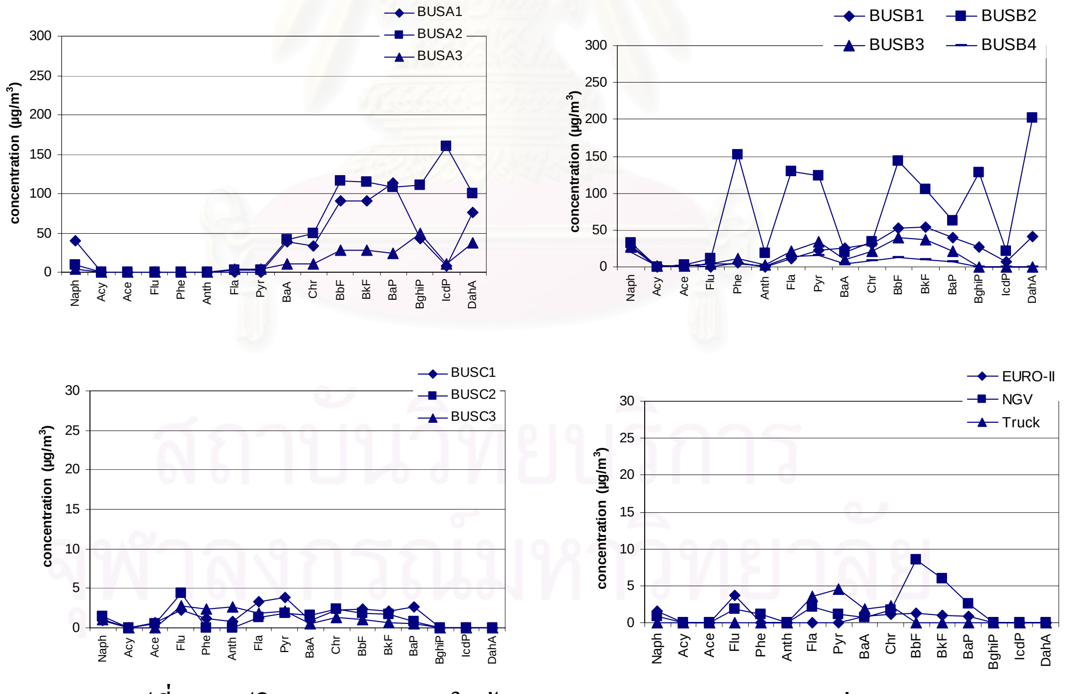
EURO-II, NGV และ Truck มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs เท่ากับ 45.03, 53.81, 20.01 และ 38.28 µg/m^3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแนวโน้มของสาร PAHs ในกลุ่ม BUSA และ BUSB พบว่า แนวโน้มของสาร PAHs ที่มีโมเลกุลสูงขึ้น และปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อมีการคัดขนาดที่เล็กลงและมีปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.9 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 1.0-1.8 µm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total (µg/m^3)
BUSA	19.55	nd	nd	nd	nd	nd	5.11	3.76	93.25	88.29	220.58	209.22	213.60	176.32	173.94	201.11	1404.72
BUSB	82.64	3.18	4.42	10.25	31.57	8.36	36.44	40.83	47.32	66.28	127.41	123.85	102.76	147.39	11.37	110.12	954.19
BUSC	2.52	1.12	0.58	14.99	0.68	0.22	1.43	1.76	1.58	3.41	6.01	5.76	4.96	nd	nd	nd	45.03
EURO-II	5.24	nd	nd	11.89	nd	nd	6.84	4.79	3.66	4.33	8.45	5.41	3.20	nd	nd	nd	53.81
NGV	2.16	nd	nd	8.53	1.49	0.00	2.47	1.99	1.32	2.05	nd	nd	nd	nd	nd	nd	20.01
Truck	11.06	nd	nd	nd	nd	nd	9.51	10.72	5.03	1.95	nd	nd	nd	nd	nd	nd	38.28

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

7) ฝุ่นละอองขนาด 0.56-1.0 µm (size range 0.56-1.0 µm)



รูปที่ 4.18 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.56-1.0 µm กลุ่ม HDDV

จากรูปที่ 4.18 และตารางที่ 4.10 เมื่อมีการคัดขนาดที่เล็กลงในชั้น 0.56-1.0 µm โดยมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่นตั้งแต่ Pyr จนถึง DahA ในกลุ่ม BUSA และ BUSB มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs เท่ากับ 1,559.79 และ 1,402.93 µg/m^3 และกลุ่ม BUSC, EURO-II, NGV และ

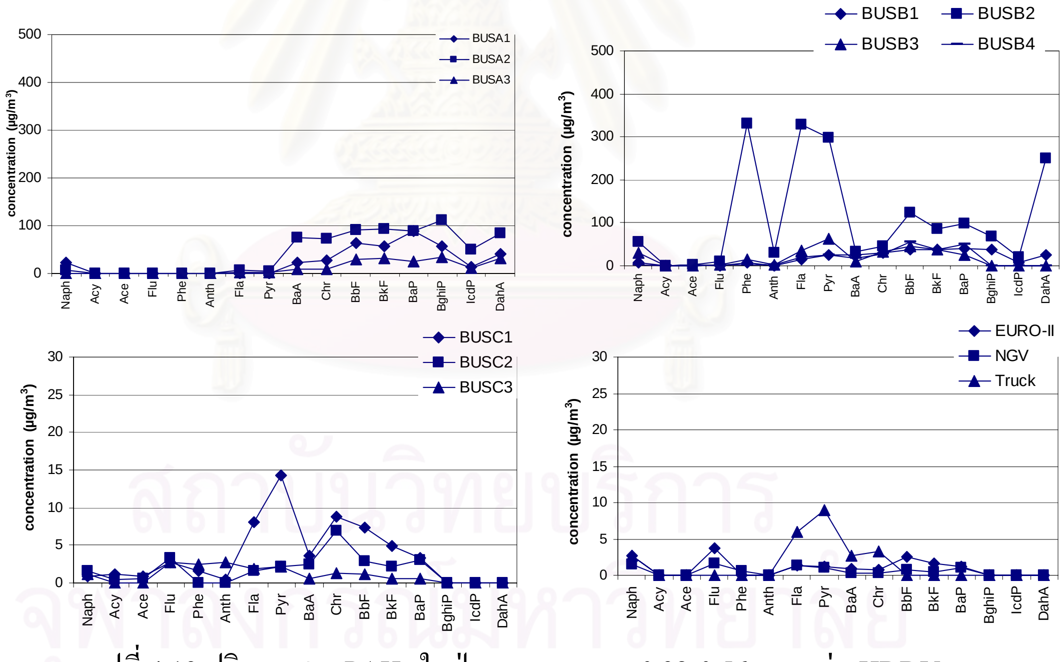
Truck มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs เท่ากับ 58.74, 30.42, 80.15 และ 36.95 μg/m^3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแนวโน้มของสาร PAHs ในกลุ่ม BUSA และ BUSB พบว่าแนวโน้มของสาร PAHs มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อมีการคัดขนาดฝุ่นละอองที่เล็กลง

ตารางที่ 4.10 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.56-1.0 μm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total (μg/m^3)
BUSA	52.74	nd	nd	nd	nd	nd	7.57	6.19	90.22	94.17	234.80	232.33	245.00	203.34	179.82	213.61	1559.79
BUSB	79.91	2.09	4.92	15.67	129.41	16.46	132.01	146.45	45.33	71.62	186.90	154.60	97.77	115.61	21.52	182.67	1402.93
BUSC	3.54	nd	1.22	9.45	3.59	3.43	6.46	7.86	3.19	6.03	5.44	4.51	4.02	nd	nd	nd	58.74
EURO-II	4.63	nd	nd	10.89	nd	nd	nd	nd	2.54	3.31	3.66	2.99	2.40	nd	nd	nd	30.42
NGV	2.63	nd	nd	5.48	3.41	nd	6.37	3.53	2.31	5.30	25.54	17.83	7.74	nd	nd	nd	80.15
Truck	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10.82	13.55	5.68	6.90	nd	nd	nd	nd	nd	nd	36.95

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

8) ฝุ่นละอองขนาด 0.32-0.56 μm (size range 0.32-0.56 μm)



รูปที่ 4.19 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.32-0.56 μm กลุ่ม HDDV

จากรูปที่ 4.19 และตารางที่ 4.11 เมื่อมีการคัดขนาดที่เล็กลงในชั้น 0.32-0.56 μm โดยมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ Pyr จนถึง DahA ในกลุ่ม BUSB มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs สูงสุดเท่ากับ 1975.31 μg/m^3 และกลุ่ม BUSA, BUSC, EURO-II, NGV และ Truck มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs เท่ากับ 1264.54, 102.22, 47.97, 26.90 และ 70.86 μg/m^3

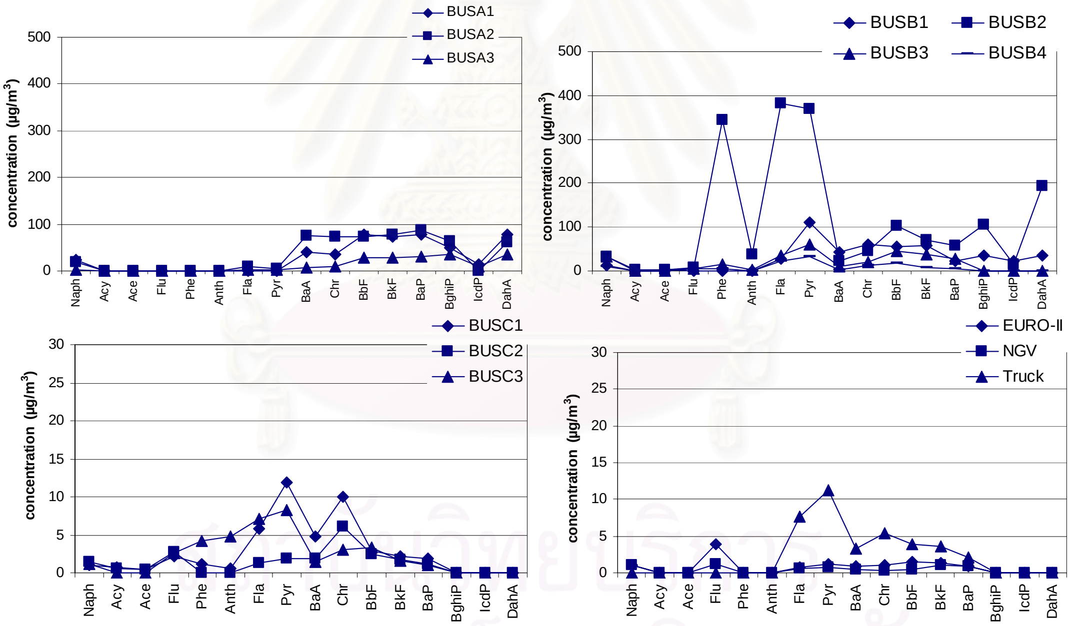
ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแนวโน้มของสาร PAHs พบว่าในกลุ่ม BUSA และ BUSB พบว่าแนวโน้มของสาร PAHs มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อมีการคัดขนาดฝุ่นละอองที่เล็กลง

ตารางที่ 4.11 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.32-0.56 μm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total ($\mu g/m^3$)
BUSA	29.94	nd	nd	nd	nd	nd	8.73	5.35	107.91	109.01	184.07	183.09	203.38	200.84	75.80	156.42	1264.54
BUSB	74.33	0.65	3.86	13.17	266.11	25.73	297.48	310.02	64.90	101.62	197.96	148.47	162.41	79.65	21.84	207.11	1975.31
BUSC	3.54	1.61	1.45	8.90	3.97	3.12	11.55	18.56	6.63	17.03	11.29	7.67	6.89	nd	nd	nd	102.22
EURO-II	8.21	nd	nd	10.99	nd	nd	4.08	3.50	2.71	2.26	7.70	4.72	3.79	nd	nd	nd	47.97
NGV	4.48	nd	nd	4.82	1.91	nd	4.04	3.17	1.03	0.95	2.20	1.34	2.97	nd	nd	nd	26.90
Truck	7.95	nd	nd	nd	nd	nd	18.02	26.96	7.88	10.05	nd	nd	nd	nd	nd	nd	70.86

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

9) ฝุ่นละอองขนาด 0.18-0.32 μm (size range 0.18-0.32 μm)



รูปที่ 4.20 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.18-0.32 μm กลุ่ม HDDV

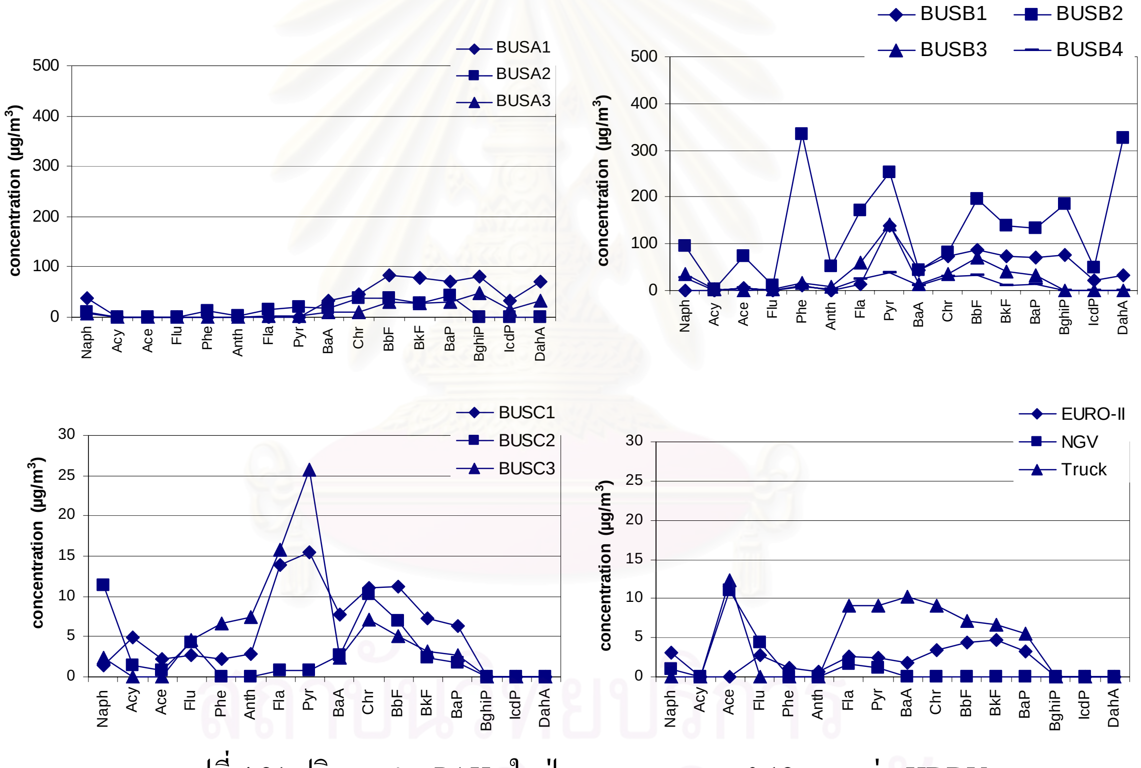
จากรูปที่ 4.20 และตารางที่ 4.12 เมื่อมีการคัดขนาดที่เล็กลงในชั้น 0.18-0.32 μm โดยมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ Pyr จนถึง DahA พบว่ากลุ่ม BUSA และ BUSB มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs เท่ากับ 1206.62 และ 2017.95 $\mu g/m^3$ และกลุ่ม BUSC, EURO-II, NGV และ Truck มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs เท่ากับ 106.07, 38.16, 19.96 และ 111.45 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแนวโน้มของสาร PAHs ในกลุ่ม BUSA และ BUSB พบว่าแนวโน้มของสาร PAHs มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อมีการคัดขนาดฝุ่นละอองที่เล็กลง

ตารางที่ 4.12 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.18-0.32 μm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total ($\mu g/m^3$)
BUSA	45.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.68	7.49	121.02	116.92	179.57	180.96	196.51	147.83	25.11	174.91	1206.62
BUSB	65.54	1.91	5.01	10.98	273.25	30.54	349.16	429.20	58.34	104.65	166.26	128.89	87.77	105.78	28.26	172.42	2017.95
BUSC	3.64	1.29	0.80	7.55	5.46	5.39	14.28	22.11	8.10	19.07	8.76	5.51	4.12	nd	nd	nd	106.07
EURO-II	3.33	nd	nd	11.84	nd	nd	2.33	3.66	2.49	3.29	4.50	4.04	2.69	nd	nd	nd	38.16
NGV	2.93	nd	nd	3.58	nd	nd	1.63	2.26	1.34	1.04	1.41	3.13	2.65	nd	nd	nd	19.96
Truck	nd	nd	nd	nd	nd	nd	23.11	33.58	10.10	16.10	11.66	10.58	6.31	nd	nd	nd	111.45

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

10) ฝุ่นละอองขนาด <0.18 μm (size range <0.18μm)



รูปที่ 4.21 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด <0.18 μm กลุ่ม HDDV

จากรูปที่ 4.21 และตารางที่ 4.13 เมื่อมีการคัดขนาดที่เล็กลงในชั้น <0.18 μm โดยมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ Pyr จนถึง DahA พบว่ากลุ่ม BUSA และ BUSB มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs เท่ากับ 973.80 และ 2589.88 $\mu g/m^3$ และกลุ่ม BUSC, EURO-II, NGV และ Truck มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs เท่ากับ 215.30, 89.51, 57.69, และ 207.20 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแนวโน้มของสาร PAHs ในกลุ่ม BUSA และ BUSB พบว่าแนวโน้มของสาร PAHs มีลักษณะคล้ายกับชั้นขนาดอื่น และเป็นชั้นสุดท้ายที่คัดขนาดฝุ่นละอองพบว่า มีปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองและสาร PAHs สูงสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

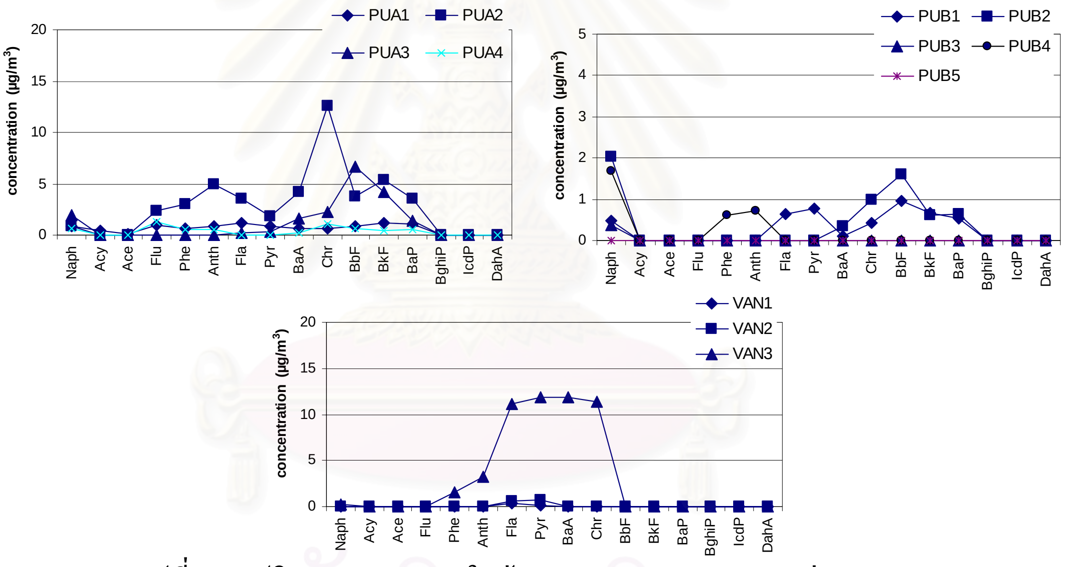
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด <0.18 μm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total ($\mu g/m^3$)
BUSA	54.62	nd	nd	nd	13.49	2.66	17.18	22.50	60.78	94.28	151.46	133.06	142.39	128.01	49.04	104.34	973.80
BUSB	117.22	2.66	63.53	11.31	277.50	46.72	201.32	427.21	84.60	166.61	289.20	198.93	187.26	195.36	51.50	268.94	2589.88
BUSC	15.16	6.26	2.91	11.53	8.84	10.19	30.63	41.86	12.72	28.46	23.23	12.76	10.75	nd	nd	nd	215.30
EURO-II	9.00	nd	nd	8.2605	3.2843	1.9462	7.78	7.31	5.25	10.00	13.10	14.09	9.50	nd	nd	nd	89.51
NGV	3.14	nd	33.219	13.234	nd	nd	4.64	3.46	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	57.69
Truck	0.00	nd	37.021	nd	nd	nd	27.16	27.34	30.89	27.20	21.42	19.79	16.38	nd	nd	nd	207.20

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

4.5.2 สาร PAHs ในฝุ่นละอองที่เก็บด้วยเครื่อง MOUDI จากรถยนต์ดีเซลเล็ก

1) ฝุ่นละอองขนาด >18 μm (size range >18 μm)



รูปที่ 4.22 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด >18 μm กลุ่ม LDDV

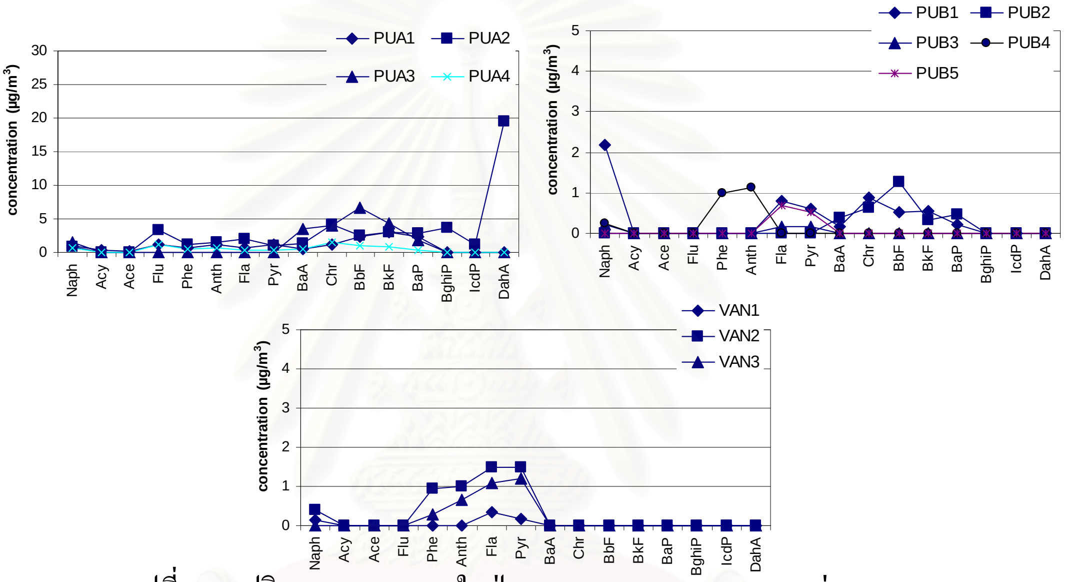
จากรูปที่ 4.22 และตารางที่ 4.14 เมื่อมีการคัดขนาดฝุ่นละอองในชั้น >18 μm โดยมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ Flu จนถึง DahA มีแนวโน้มเพิ่มลดไม่แน่นอน พบสาร PAHs 16 ชนิดจากกลุ่ม PUA มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 26.92 $\mu g/m^3$ ส่วนกลุ่ม PUB พบสาร PAHs บางชนิด เช่น Naph, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF และ BaP มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 3.81 $\mu g/m^3$ และกลุ่มรถ VAN พบสาร PAHs ชนิด Naph, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA และ Chr มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 23.52 $\mu g/m^3$ พบว่า กลุ่ม PUA และ VAN มีอายุเครื่องยนต์และเลขระยะทางสูงกว่ากลุ่ม PUB แสดงว่าอายุเครื่องยนต์และเลขระยะทางมีผลต่อการปลดปล่อยสาร PAHs

ตารางที่ 4.14 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด >18 μm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total (μg/m^3)
PUA	1.43	0.14	0.05	1.53	1.38	2.10	1.63	1.00	2.22	5.55	3.96	3.73	2.20	nd	nd	nd	26.92
PUB	1.21	nd	nd	nd	0.17	0.19	0.17	0.20	0.13	0.38	0.68	0.34	0.32	nd	nd	nd	3.81
VAN	0.13	nd	nd	nd	0.67	1.44	5.34	5.64	5.27	5.04	nd	nd	nd	nd	nd	nd	23.52

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

2) ฝุ่นละอองขนาด 10-18 μm (size range 10-18 μm)



รูปที่ 4.23 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 10-18 μm กลุ่ม LDDV

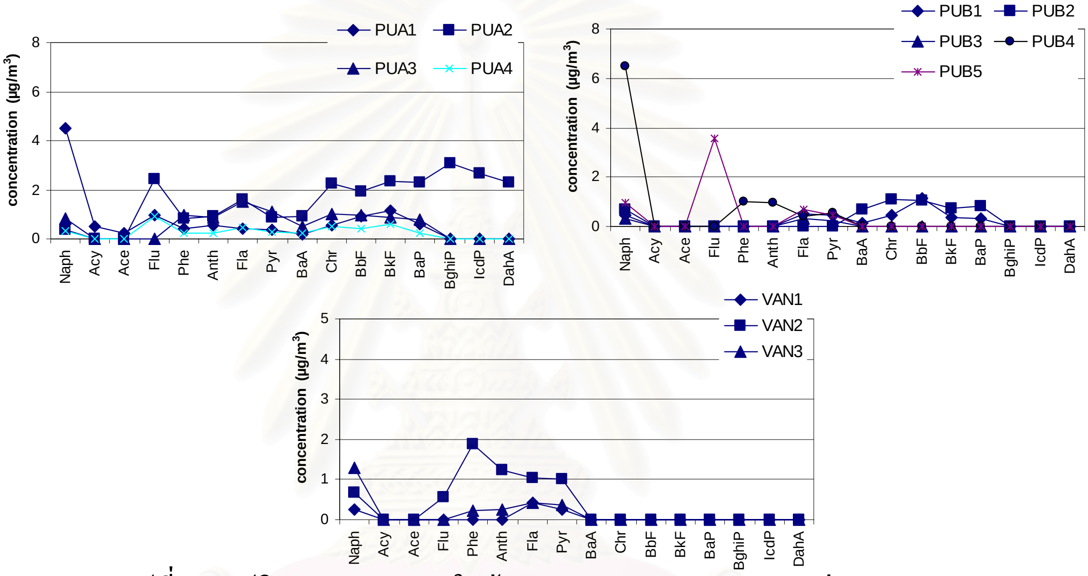
จากรูปที่ 4.23 และตารางที่ 4.15 เมื่อมีการคัดขนาดฝุ่นละอองในชั้น 10-18 μm โดยมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ Flu จนถึง DahA มีแนวโน้มเพิ่มลดไม่แน่นอน สาร PAHs 16 ชนิดจากกลุ่ม PUA มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 31.00 μg/m^3 ส่วนกลุ่ม PUB พบสาร PAHs บางชนิด เช่น Naph, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF และ BaP มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 3.50 μg/m^3 และกลุ่มรถ VAN พบสาร PAHs ชนิด Naph, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA และ Chr มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 4.09 μg/m^3 พบว่า กลุ่ม PUA มีลักษณะของสาร PAHs คล้ายกับชั้น >18 μm แต่กลุ่ม PUB2 และ VAN มีปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ที่ดูดซับบนฝุ่นละอองน้อยกว่า

ตารางที่ 4.15 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 10-18 µm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total (µg/m^3)
PUA	1.35	0.10	0.05	1.87	0.77	1.10	1.03	0.80	1.97	3.62	4.14	3.67	2.45	1.20	0.37	6.52	31.00
PUB	0.71	nd	nd	nd	0.27	0.30	0.45	0.35	0.14	0.40	0.48	0.23	0.18	nd	nd	nd	3.50
VAN	0.25	nd	nd	nd	0.55	0.73	1.30	1.27	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4.09

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

3) ฝุ่นละอองขนาด 5.2-10 µm (size range 5.2-10 µm)



รูปที่ 4.24 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 5.2-10 µm กลุ่ม LDDV

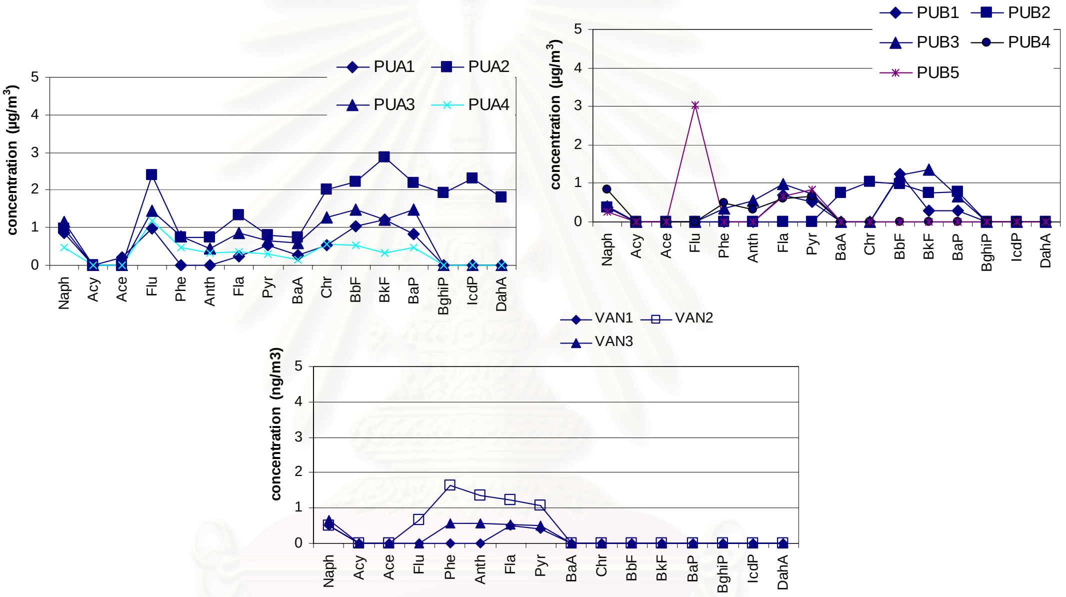
จากรูปที่ 4.24 และตารางที่ 4.16 เมื่อมีการคัดขนาดฝุ่นละอองในชั้น 5.2-10 µm โดยภาพรวมสารPAHs ที่มีวงอะโรมาติก 3-6 วง ตั้งแต่ Flu จนถึง DahA มีแนวโน้มขึ้นลงไม่แน่นอนและมีปริมาณลดลง พบสาร PAHs 16 ชนิดจากกลุ่ม PUA มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 14.60 ng/m^3 ส่วนกลุ่ม PUB พบสาร PAHs 10 ชนิด เช่น Naph, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF และ BaP มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 8.75 ng/m^3 และกลุ่มรถ VAN พบสาร PAHs 6 ชนิด Naph, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA และ Chr มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 3.20 ng/m^3 พบว่า กลุ่ม PUA มีลักษณะของสาร PAHs คล้ายกับชั้นที่มีการคัดขนาดใหญ่กว่าแต่มีปริมาณสาร PAHs น้อยกว่าเพราะมีปริมาณฝุ่นละอองน้อยกว่า

ตารางที่ 4.16 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 5.2-10 μm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total (μg/m^3)
PUA	2.01	0.17	0.07	1.45	0.83	0.86	1.32	0.88	0.62	1.45	1.41	1.65	1.32	1.02	0.89	0.76	16.72
PUB	2.37	nd	nd	0.95	0.27	0.25	0.53	0.45	0.22	0.42	0.58	0.29	0.31	nd	nd	nd	6.66
VAN	0.98	nd	nd	0.25	0.94	0.66	0.83	0.73	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4.39

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

4) ฝุ่นละอองขนาด 3.2-5.2 μm (size range 3.2-5.2 μm)



รูปที่ 4.25 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 3.2-5.2 μm กลุ่ม LDDV

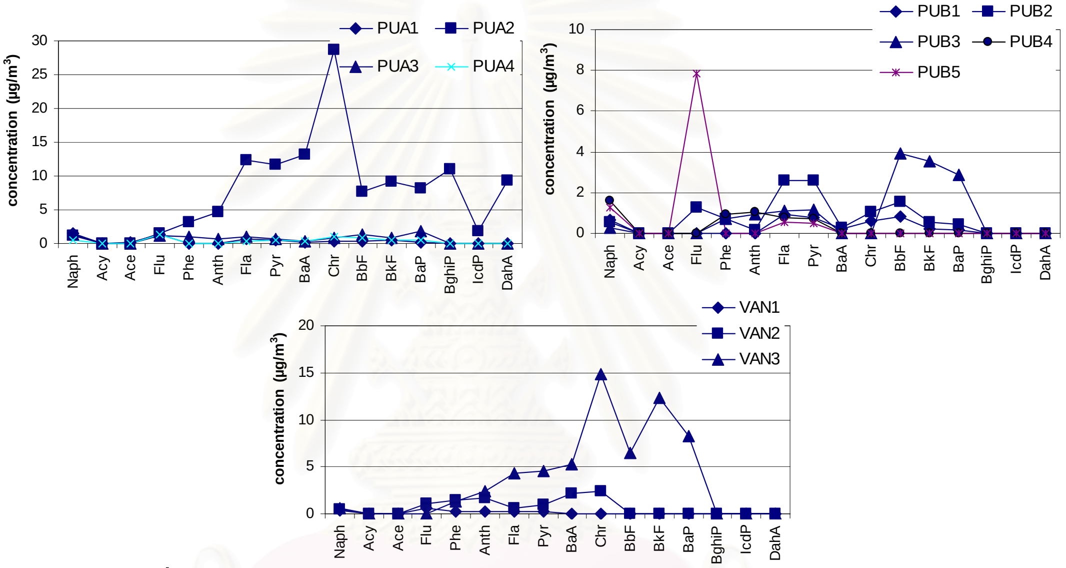
จากรูปที่ 4.25 และตารางที่ 4.17 เมื่อมีการคัดขนาดฝุ่นละอองในชั้น 3.2-5.2 μm โดยมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ Flu จนถึง DahA มีแนวโน้มเพิ่มลดไม่แน่นอน พบสาร PAHs 15 ชนิด ยกเว้น Acy จากกลุ่ม PUA มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 15.38 μg/m^3 ส่วนกลุ่ม PUB พบสาร PAHs 11 ชนิด เช่น Naph, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF และ BaP มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 5.89 μg/m^3 และกลุ่มรถ VAN พบสาร 8 PAHs ชนิด Naph, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA และ Chr มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 4.72 μg/m^3 พบว่า กลุ่ม PUA มีลักษณะของสาร PAHs คล้ายกับชั้นที่มีการคัดขนาดฝุ่นละอองใหญ่กว่า

ตารางที่ 4.17 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 3.2-5.2 μm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total ($\mu g/m^3$)
PUA	1.15	nd	0.07	2.00	0.66	0.50	0.92	0.76	0.58	1.46	1.75	1.88	1.65	0.64	0.77	0.61	15.38
PUB	0.60	nd	nd	0.81	0.22	0.23	0.80	0.73	0.20	0.28	0.91	0.64	0.47	nd	nd	nd	5.89
VAN	0.73	nd	nd	0.29	0.98	0.85	1.00	0.88	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4.72

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

5) ฝุ่นละอองขนาด 1.8-3.2 μm (size range 1.8-3.2 μm)



รูปที่ 4.26 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 1.8-3.2 μm กลุ่ม LDDV

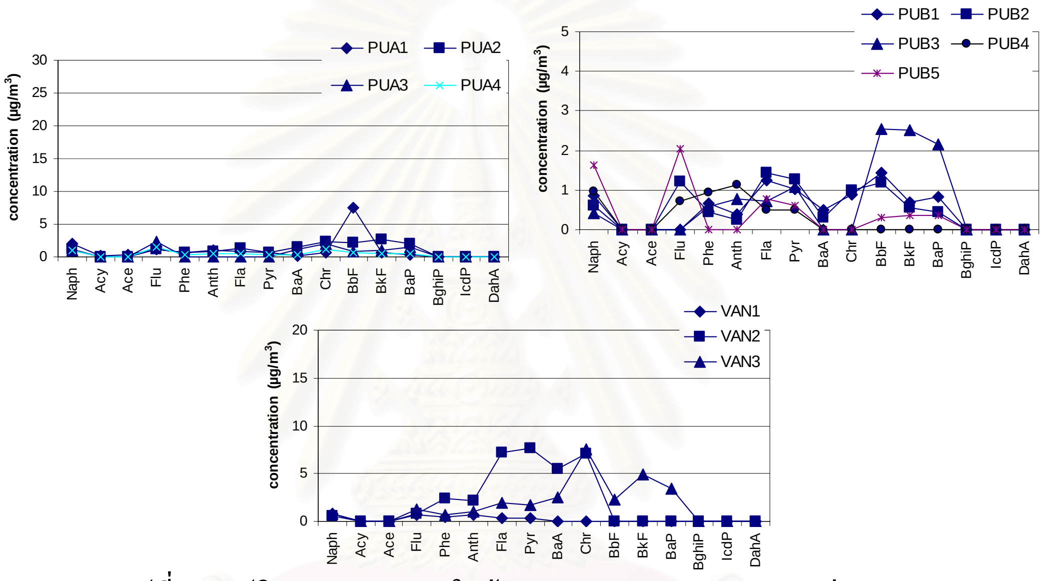
จากรูปที่ 4.26 และตารางที่ 4.18 เมื่อมีการคัดขนาดฝุ่นละอองในชั้น 1.8-3.2 μm โดยมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ Flu จนถึง DahA มีแนวโน้มเพิ่มลดไม่แน่นอน พบว่าตัวอย่าง PUA2 มีปริมาณสาร PAHs เพิ่มขึ้น พบสาร PAHs 15 ชนิด ยกเว้น Acy จากกลุ่ม PUA มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 48.72 $\mu g/m^3$ ส่วนกลุ่ม PUB พบสาร PAHs 11 ชนิด เช่น Naph, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF และ BaP มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 12.22 $\mu g/m^3$ และกลุ่มรถ VAN พบสาร PAHs 11 ชนิด Naph, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF และ BaP มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 32.47 $\mu g/m^3$ พบว่า กลุ่ม PUA PUB และ VAN มีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยรวมของสาร PAHs สูงขึ้น

ตารางที่ 4.18 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 1.8-3.2 μm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total ($\mu g/m^3$)
PUA	1.50	nd	0.08	1.77	1.41	1.82	4.73	4.46	4.64	10.23	3.43	3.67	3.58	3.68	0.59	3.13	48.72
PUB	1.17	nd	nd	2.43	0.62	0.56	1.60	1.52	0.13	0.43	1.68	1.15	0.93	nd	nd	nd	12.22
VAN	0.67	nd	nd	0.70	1.31	1.90	2.31	2.56	3.30	7.66	2.89	5.49	3.67	nd	nd	nd	32.47

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

6) ฝุ่นละอองขนาด 1.0-1.8 μm (size range 1.0-1.8 μm)



รูปที่ 4.27 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 1.0-1.8 μm กลุ่ม LDDV

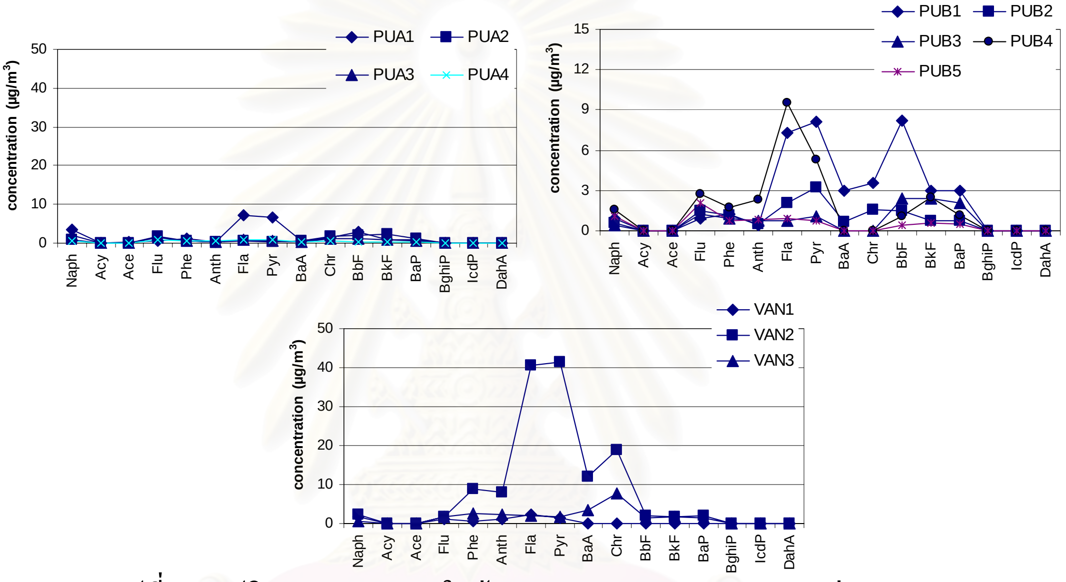
จากรูปที่ 4.27 และตารางที่ 4.19 เมื่อมีการคัดขนาดฝุ่นละอองในชั้น 1.0-1.8 μm โดยมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ Flu จนถึง DahA มีแนวโน้มเพิ่มลดไม่แน่นอน พบสาร PAHs 16 ชนิด จากกลุ่ม PUA มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 16.59 $\mu g/m^3$ ส่วนกลุ่ม PUB พบสาร PAHs 11 ชนิด เช่น Naph, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF และ BaP มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 10.33 $\mu g/m^3$ และกลุ่มรถ VAN พบสาร PAHs 11 ชนิด Naph, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF และ BaP มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 28.80 $\mu g/m^3$ พบว่าตัวอย่าง VAN มีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยรวมของสาร PAHs สูงขึ้น

ตารางที่ 4.19 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 1.0-1.8 μm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total (μg/m^3)
PUA	1.72	0.07	0.09	2.06	0.51	0.78	0.87	0.60	1.09	2.01	3.77	1.60	1.43	nd	nd	nd	16.59
PUB	1.19	nd	nd	1.06	0.69	0.67	1.25	1.19	0.22	0.50	1.45	1.10	1.00	nd	nd	nd	10.33
VAN	0.99	nd	nd	1.19	1.56	1.73	4.24	4.32	3.54	6.50	1.03	2.17	1.53	nd	nd	nd	28.80

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

7) ฝุ่นละอองขนาด 0.56-1.0 μm (size range 0.56-1.0 μm)



รูปที่ 4.28 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.56-1.0 μm กลุ่ม LDDV

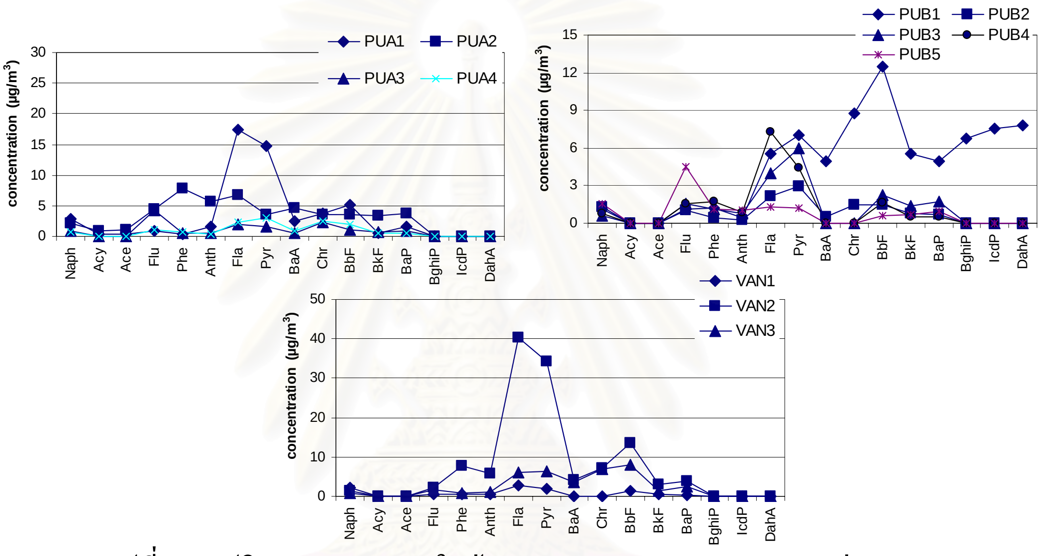
จากรูปที่ 4.28 และตารางที่ 4.20 เมื่อมีการคัดขนาดฝุ่นละอองในชั้น 0.56-1.0 μm มีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น โดยพบสาร PAHs 12 ชนิด คือ Naph, Ace, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF และ BkF จากกลุ่ม PUA มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 17.83 μg/m^3 ส่วนกลุ่ม PUB พบสาร PAHs 11 ชนิด เช่น Naph, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF และ BaP มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 27.15 μg/m^3 และกลุ่มรถ VAN พบสาร PAHs 11 ชนิด Naph, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF และ BaP มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 77.42 μg/m^3 พบว่าแนวโน้มของสาร PAHs กลุ่ม PUB และ VAN มีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยรวมของสาร PAHs สูงขึ้น

ตารางที่ 4.20 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.56-1.0 μm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total (μg/m^3)
PUA	2.29	nd	nd	1.51	0.87	0.49	3.14	2.78	0.60	1.66	2.02	1.48	1.00	nd	nd	nd	17.83
PUB	1.24	nd	nd	2.27	1.57	1.28	5.47	4.94	0.97	1.36	3.63	2.44	1.99	nd	nd	nd	27.15
VAN	2.02	nd	nd	2.02	5.26	5.09	20.10	19.77	6.90	11.78	1.44	1.52	1.52	nd	nd	nd	77.42

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

8) ฝุ่นละอองขนาด 0.32-0.56 μm (size range 0.32-0.56 μm)



รูปที่ 4.29 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.32-0.56 μm กลุ่ม LDDV

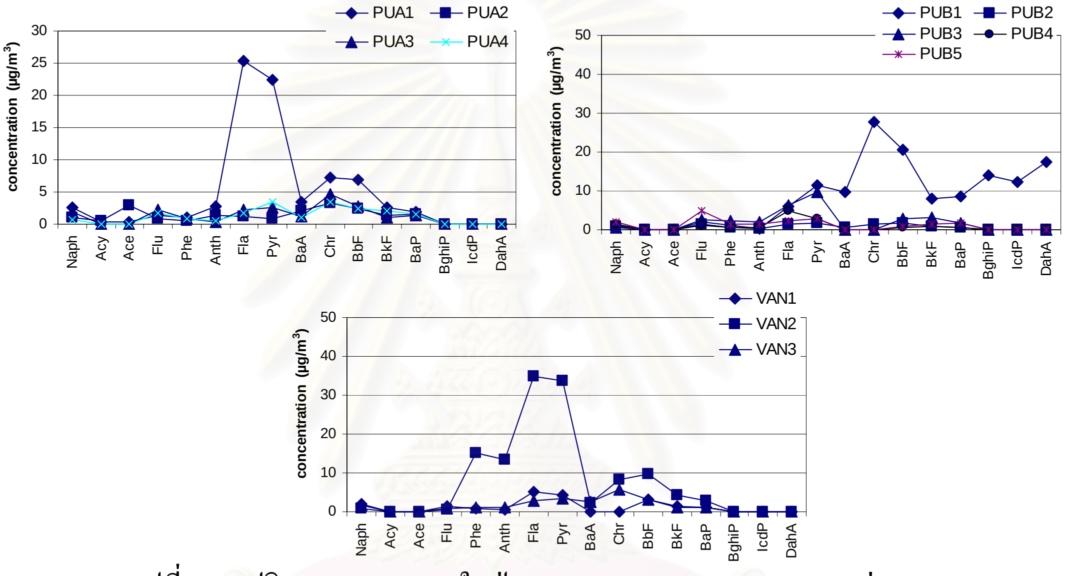
จากรูปที่ 4.29 และตารางที่ 4.21 เมื่อมีการคัดขนาดฝุ่นละอองในชั้น 0.32-0.56 μm โดยมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ Flu จนถึง DahA มีแนวโน้มเพิ่มลดไม่แน่นอน พบสาร PAHs 13 ชนิด คือ Naph, Acy, Ace, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF และ BaP จากกลุ่ม PUA มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 44.27 μg/m^3 ส่วนกลุ่ม PUB พบสาร PAHs 14 ชนิด เช่น Naph, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF, BaP, Bghip, I(1,2,3-cd)P และ DahA มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 37.33 μg/m^3 และกลุ่มรถ VAN พบสาร PAHs 11 ชนิด Naph, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF และ BaP มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 77.07 μg/m^3 พบว่าแนวโน้มของสาร PAHs กลุ่ม PUA มีสาร Bghip, I(1,2,3-cd)P และ DahA ที่มีโลเลกุลสูงหายไป ส่วนกลุ่ม PUB พบสาร PAHs ชนิด Bghip, I(1,2,3-cd)P และ DahA และกลุ่ม VAN มีค่าเฉลี่ยรวมของสาร PAHs สูงขึ้น

ตารางที่ 4.21 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.32-0.56 μm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total ($\mu g/m^3$)
PUA	2.20	0.40	0.42	3.56	3.19	2.70	9.39	7.68	2.85	4.05	3.93	1.68	2.21	nd	nd	nd	44.27
PUB	1.45	nd	nd	2.60	1.49	0.93	5.42	5.76	1.44	2.73	4.93	2.35	2.36	1.79	2.00	2.08	37.33
VAN	2.01	nd	nd	2.01	4.08	3.18	21.85	18.94	3.39	6.25	10.18	2.22	2.97	nd	nd	nd	77.07

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

9) ฝุ่นละอองขนาด 0.18-0.32 μm (size range 0.18-0.32 μm)



รูปที่ 4.30 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.18-0.32 μm กลุ่ม LDDV

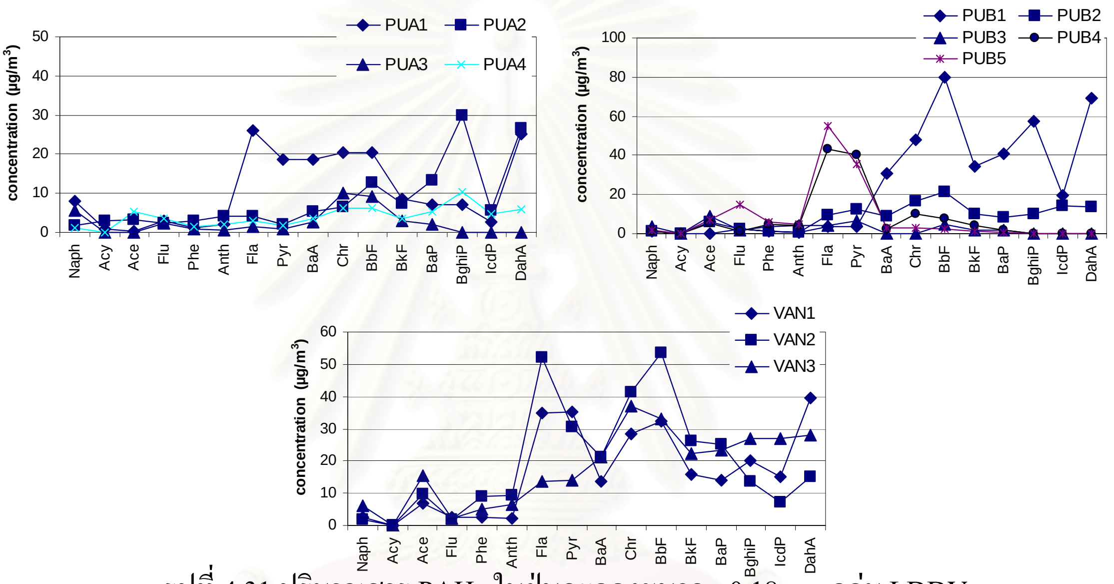
จากรูปที่ 4.30 และตารางที่ 4.22 เมื่อมีการคัดขนาดฝุ่นละอองในชั้น 0.18-0.32 μm โดยมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ Flu จนถึง DahA มีแนวโน้มเพิ่มลดไม่แน่นอน พบสาร PAHs 13 ชนิด คือ Naph, Acy, Ace, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF และ BaP จากกลุ่ม PUA มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 46.15 $\mu g/m^3$ ส่วนกลุ่ม PUB พบสาร PAHs 14 ชนิด เช่น Naph, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF, BaP, Bghip, I(1,2,3-cd)P และ DahA มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 57.35 $\mu g/m^3$ และกลุ่มรถ VAN พบสาร PAHs 11 ชนิด Naph, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF และ BaP มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 76.04 $\mu g/m^3$ พบว่าแนวโน้มของสาร PAHs กลุ่ม PUA PUB และ VAN มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยรวมของสาร PAHs สูงขึ้น

ตารางที่ 4.22 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด 0.18-0.32 µm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total ($\mu g/m^3$)
PUA	2.05	0.28	1.04	2.04	1.08	1.69	10.12	9.78	2.53	6.21	4.86	2.32	2.15	nd	nd	nd	46.15
PUB	1.54	nd	nd	3.16	1.62	1.27	5.63	7.57	2.74	7.76	7.16	3.79	3.51	3.70	3.26	4.62	57.35
VAN	2.01	nd	nd	1.42	7.59	6.70	19.02	18.38	2.24	6.21	7.12	3.01	2.35	nd	nd	nd	76.04

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

10) ฝุ่นละอองขนาด <0.18 µm (size range <0.18 µm)



รูปที่ 4.31 ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด <0.18 µm กลุ่ม LDDV

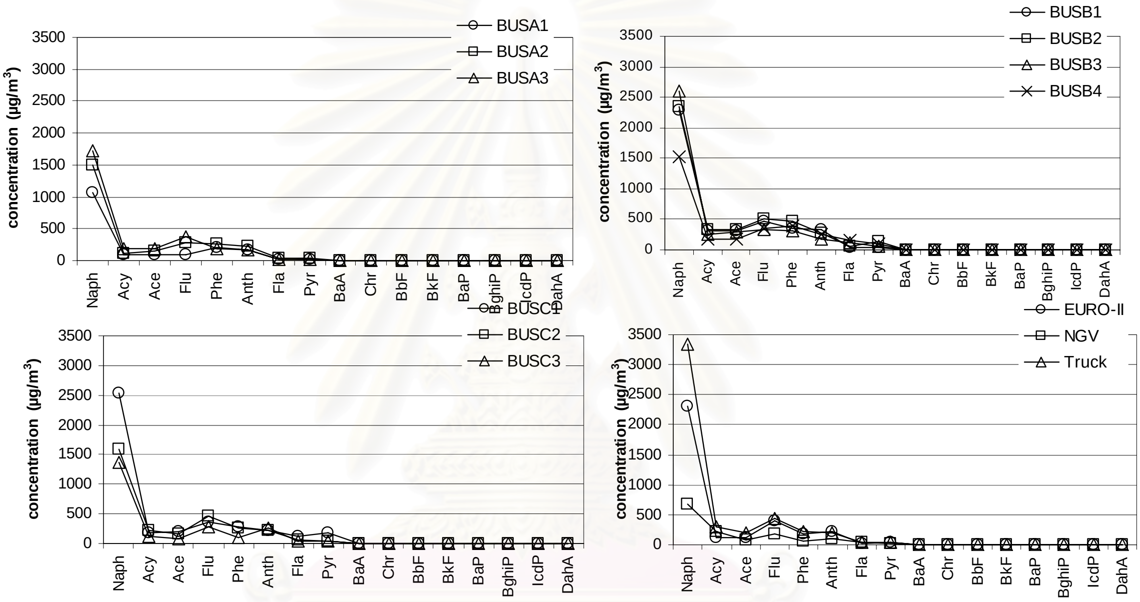
จากรูปที่ 4.31 และตารางที่ 4.23 เมื่อมีการคัดขนาดฝุ่นละอองในชั้น <0.18 µm โดยมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ Flu จนถึง DahA มีแนวโน้มเพิ่มลดไม่แน่นอน และมีปริมาณเพิ่มขึ้น พบสาร PAHs 16 ชนิด คือ Naph, Acy, Ace, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF, BaP Bghip, I(1,2,3-cd)P และ DahA จากกลุ่ม PUA มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 134.80 $\mu g/m^3$ ส่วนกลุ่ม PUB พบสาร PAHs 15 ชนิด เช่น Naph, Ace, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF, BaP, Bghip, I(1,2,3-cd)P และ DahA มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 221.54 $\mu g/m^3$ และกลุ่มรถ VAN พบสาร PAHs 15 ชนิด Naph, Ace, Flu, Phe, Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF, BaP, BghiP, I(1,2,3-cd)P และ DahA มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 384.28 $\mu g/m^3$ พบว่าแนวโน้มของสาร PAHs กลุ่ม PUA PUB และ VAN มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยรวมของสาร PAHs สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดอื่น

ตารางที่ 4.23 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาด <.0.1 μm

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total (μg/m3)
PUA	5.52	1.29	2.98	3.83	2.18	2.95	11.56	7.90	9.97	14.37	16.21	7.61	9.20	15.77	4.26	19.21	134.80
PUB	2.43	nd	7.23	5.95	4.42	3.60	30.82	26.31	12.15	20.64	30.94	13.75	14.18	17.98	9.03	22.11	221.54
VAN	4.59	nd	14.16	2.87	7.41	8.01	44.68	35.39	24.97	47.44	52.88	28.49	27.79	27.05	21.82	36.73	384.28

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

4.5.3 สาร PAHs ในสถานะก๊าซจากรถยนต์ดีเซลใหญ่



รูปที่ 4.32 ปริมาณสาร PAHs หลอด PUF ซึ่งบรรจุสาร XAD-2 กลุ่ม HDDV

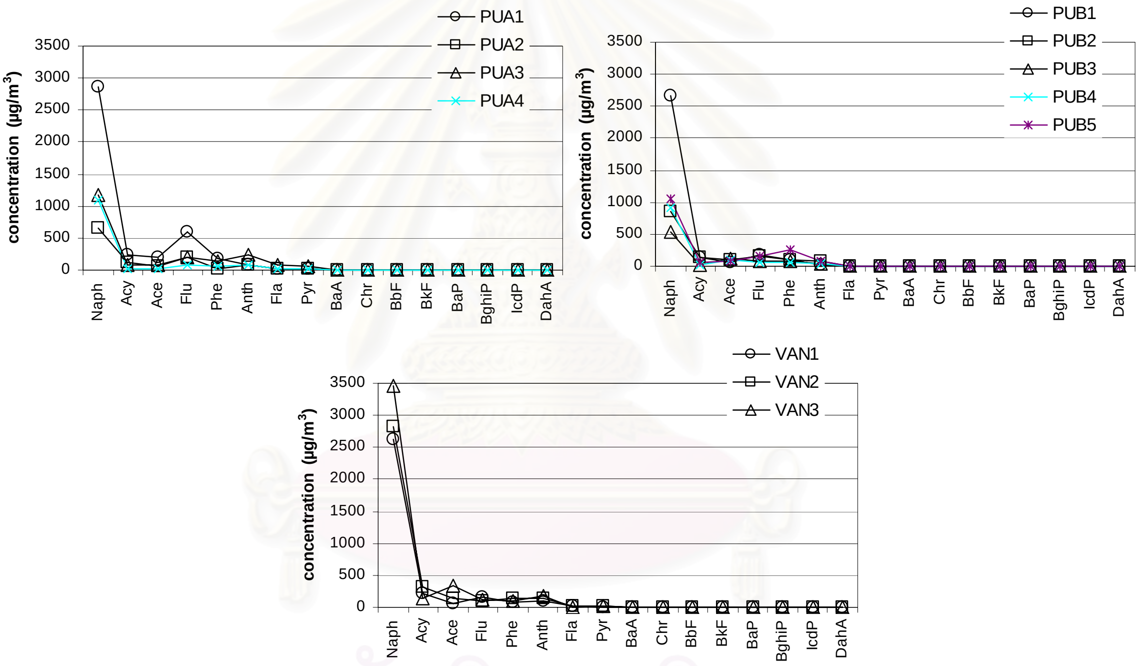
จากรูปที่ 4.32 และตารางที่ 4.24 โดยมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ Naph จนถึง Flu มีแนวโน้มปริมาณสาร Naph สูง เนื่องจากคุณสมบัติในการดูดซับสาร XAD-2 และมีปริมาณลดลงพบสาร PAHs 8 ชนิดจากกลุ่ม BUSA BUSB และ BUSC มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 2423.93, 3973.32 และ 3120.21 μg/m^3 ตามลำดับ พบสาร Naph, Acy, Ace, Flu, Phe, Anth, Fla และ Pyr จากกลุ่ม BUSB ซึ่งมีระยะทางการวิ่งน้อยกว่า 300,000 กม. มีค่าเฉลี่ยของปริมาณสาร PAHs สูงสุด รองลงมาเป็นกลุ่ม BUSC และ BUSA ส่วนตัวอย่าง EURO-II, NGV, และ Truck มีค่าเฉลี่ยของปริมาณสาร PAHs เท่ากับ 3402.39, 1358.75, 4771.16 μg/m^3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.24 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในสถานะก๊าซกลุ่ม HDDV

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total PAHs ($\mu g/m^3$)
BUSA	1432.89	137.39	144.22	252.77	219.44	183.67	24.98	28.56	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2423.93
BUSB	2192.39	267.11	281.59	418.45	382.71	257.28	93.90	79.89	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3973.32
BUSC	1826.09	178.34	145.60	366.35	212.45	234.36	72.69	84.34	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3120.21
EURO-II	2300.36	125.46	120.56	390.48	182.19	216.44	28.38	38.51	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3402.39
NGV	675.44	209.53	84.99	180.28	64.81	90.06	30.89	22.75	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1358.75
Truck	3337.59	301.33	201.56	440.50	220.36	195.41	38.04	36.36	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4771.16

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

4.5.4 สาร PAHs ในสถานะก๊าซจากรถยนต์ดีเซลเล็ก



รูปที่ 4.33 ปริมาณสาร PAHs หลอด PUF ซึ่งบรรจุสาร XAD-2 กลุ่ม LDDV

จากรูปที่ 4.33 และตารางที่ 4.25 โดยมีสาร PAHs ตัวหลักที่ปรากฏในฝุ่น ตั้งแต่ Naph จนถึง Flu มีแนวโน้มปริมาณสาร Naph สูง พบสาร PAHs 8 ชนิดจากกลุ่ม PUA พบสาร Naph, Acy, Ace, Flu, Phe, Anth, Fla และ Pyr มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 2195.39 $\mu g/m^3$ พบสาร PAHs 6 ชนิด Naph, Acy, Ace, Flu, Phe และ Anth มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 1679.14 $\mu g/m^3$ พบสาร PAHs 8 ชนิดจากกลุ่ม VAN พบสาร Naph, Acy, Ace, Flu, Phe, Anth, Fla และ Pyr มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 3776.55 $\mu g/m^3$ พบว่า กลุ่ม VAN มีค่าเฉลี่ยของปริมาณสาร PAHs สูงสุด รองลงมาเป็นกลุ่ม PUA และ PUB ตามลำดับ

ตารางที่ 4.25 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในสถานะก๊าซกลุ่ม LDDV

	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total PAHs ($\mu g/m^3$)
PUA	1442.50	113.33	92.16	270.94	100.91	119.92	30.50	25.12	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2195.39
PUB	1209.52	79.08	89.17	129.61	119.57	52.19	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1679.14
VAN	2970.89	229.81	174.51	129.62	106.97	136.26	15.84	12.65	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3776.55

หมายเหตุ nd = non detected (มีความเข้มข้นเท่ากับค่า LOD)

4.5.5 ความเข้มข้นรวมของสาร PAHs จากรถยนต์ดีเซลเล็กเล็กและดีเซลใหญ่

เมื่อนำค่าเฉลี่ยความเข้มข้นรวมของสาร PAHs ในสถานะฝุ่นและก๊าซจากกลุ่มตัวอย่างรถ HDDV และ LDDV มาเปรียบเทียบกันดังตารางที่ 4.26 เมื่อพิจารณาจากขนาดต่างๆ พบว่า สาร PAHs ในสถานะฝุ่นมีการกระจายตัวอยู่ทั่วทุกชั้น ซึ่งตัวอย่างกลุ่ม HDDV ชนิด BUSA และ BUSB มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อสาร PAHs และมีผลรวมสูงที่สุด ตัวอย่าง รถ NGV มีปริมาณน้อยที่สุด ส่วนในกลุ่ม LDDV ชนิด PUA มีปริมาณสูงสุด รองลงมา คือ VAN และ PUB ตามลำดับ ส่วนสาร PAHs ในสถานะก๊าซจากกลุ่ม HDDV โดยภาพรวมมีค่าสูงกว่ากลุ่ม LDDV และเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมพบว่า ปริมาณสาร PAHs สูงสุดของกลุ่ม LDDV มีค่าน้อยกว่าค่าสูงสุดของกลุ่ม HDDV ประมาณ 3.2 เท่า

ตารางที่ 4.26 เปรียบเทียบความเข้มข้นรวมของสาร PAHs จากรถ HDDV และ LDDV

ปริมาณรวมของสาร PAHs ($\mu g/m^3$)	Heavy duty diesel vehicles (HDDV)							Light duty diesel vehicles (LDDV)			
	BUSA	BUSB	BUSC	EURO-II	NGV*	Truck	ค่าเฉลี่ย±SD	PUA	PUB	VAN	ค่าเฉลี่ย±SD
pPAHs ในฝุ่นละออง											
>18	1307.90	687.75	33.97	2.12	3.64	7.99	407.95±82	26.92	3.81	23.52	18.08±12.48
10--18	1049.84	1018.60	65.07	26.29	6.83	13.84	434.73±48	31.00	3.50	4.09	12.87±5.71
5.6--10	1164.02	1131.19	46.82	28.28	10.55	19.93	478.50±61	16.72	6.66	4.39	9.26±5.17
3.2--5.6	1255.08	1200.89	64.92	15.95	7.42	37.58	514.88±51	15.38	5.89	4.72	8.66±5.15
1.8--3.2	1070.55	810.40	48.12	27.81	24.23	33.08	397.99±50	48.72	12.22	32.47	31.14±12.28
1.0--1.8	1404.72	954.19	45.03	53.81	20.01	38.28	499.21±64	16.59	10.33	28.80	18.58±6.39
0.56--1.0	1559.79	1402.93	58.74	30.42	80.15	36.95	617.76±79	17.83	27.15	77.42	40.80±10.05
0.32--0.56	1264.54	1975.31	102.22	47.97	26.90	70.86	692.18±84	44.27	37.33	77.07	52.89±11.23
0.18--0.32	1206.62	2017.95	106.07	38.16	19.96	111.45	636.05±85	46.15	57.35	76.04	59.85±15.10
<0.18	973.80	2589.88	215.30	89.51	57.69	207.20	815.14±52	84.46	171.69	216.16	157.44±56.99
total pPAHs ($\mu g/m^3$)	12256.85	13789.09	786.26	360.33	257.39	577.15	5553.94±841	348.05	335.93	544.69	409.56±107.19
PAHs ในก๊าซ ($\mu g/m^3$)	2423.93	3973.32	3120.21	3402.39	1358.75	4771.16	3538.20±887	2195.39	1679.14	3776.55	2550.36±992.86
total PAHs ($\mu g/m^3$)**	14680.78	17762.41	3906.47	3762.72	1616.14	5348.30	9092.14±628	2543.44	2015.07	4321.24	2959.92±1208.18

หมายเหตุ: *ไม่คิดค่าเฉลี่ย, **pPAHs + PAHs ในก๊าซ

4.6 การหาค่าตัวคูณการปลดปล่อยของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ และสาร PAHs ในฝุ่นละอองและก๊าซ

4.6.1 ตัวคูณการปลดปล่อยฝุ่นละอองขนาดต่างๆ

จากการหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองในหน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (g/m^3) ในหัวข้อที่ 4.2 สามารถนำมาค่าน้ำหนักฝุ่นละอองหลังจากการเก็บตัวอย่างก่อนการคำนวณเป็นความเข้มข้นมาคำนวณหาค่าตัวคูณการปลดปล่อยฝุ่นละออง จากสมการที่ 3.4 ในหัวข้อที่ 3.5 ในบทที่ 3 ดังนี้ และแสดงค่า EF จากรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่และขนาดเล็กดังตารางที่ 4.27

$$EF\ PM = \frac{mass\,of\ PM}{distance} \quad \text{.......................(4.1)}$$

เมื่อ EF = ตัวคูณการปลดปล่อยสาร PAHs มีหน่วยเป็น กรัมต่อกิโลเมตร (g/km)

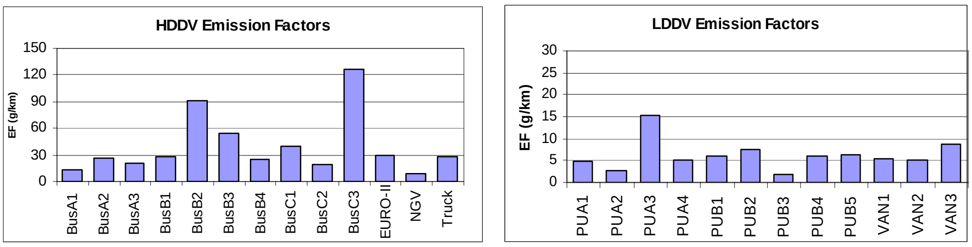
mass of PM = มวลของฝุ่นละออง มีหน่วยเป็น กรัม (g)

distance = ระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่ในหนึ่งรอบการขับขี่มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

ตารางที่ 4.27 ค่า EF จากรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่และขนาดเล็ก

EF ของสาร PAHs	Heavy duty diesel vehicles (HDDV)							Light duty diesel vehicles (LDDV)			
(g/km)	BUSA	BUSB	BUSC	EURO-II	NGV*	Truck	ค่าเฉลี่ย±SD	PUA	PUB	VAN	ค่าเฉลี่ย±SD
EF pPAHs ในฝุ่นละออง											
>18	6.42	17.32	17.24	0.48	nd	1.23	8.54±4	5.54	3.54	8.37	5.82±1.43
10--18	9.79	9.26	41.26	5.30	2.79	1.06	13.33±3	3.43	6.46	2.45	4.12±1.09
5.6--10	6.01	2.10	33.06	3.63	1.27	0.92	9.15±4	4.27	3.56	2.28	3.37±1.01
3.2--5.6	3.78	60.06	14.59	5.47	1.48	0.44	16.87±5	10.83	6.44	11.23	9.50±2.66
1.8--3.2	2.79	43.28	26.99	1.23	1.74	3.96	15.65±9	7.28	5.73	6.14	6.39±0.80
1.0--1.8	16.21	47.15	95.11	1.79	1.31	1.23	32.30±20	5.10	4.66	6.18	5.31±0.78
0.56--1.0	16.35	33.03	117.20	36.63	nd	4.84	41.61±24	6.27	8.35	8.08	7.57±1.13
0.32--0.56	32.51	22.10	78.83	5.65	7.24	3.43	28.50±11	10.18	15.93	8.23	11.45±4.00
0.18--0.32	17.21	53.74	18.68	5.95	9.10	37.07	26.53±9	18.62	11.63	19.37	16.54±4.27
<0.18	29.10	81.12	34.75	2.14	1.35	5.50	30.52±12	11.97	12.28	15.32	13.19±1.85
total EF pPAHs (g/km)	140.17	369.16	477.71	68.27	26.29	59.70	223.00±90	83.50	78.60	87.67	83.25±4.45

หมายเหตุ: *ไม่คิดค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4.34 ค่าเฉลี่ย EF ของฝุ่นละอองของรถยนต์ดีเซลใหญ่และดีเซลเล็ก

จากรูปที่ 4.34 และตารางที่ 4.28 พบว่า ค่า EF ของฝุ่นละอองจากกลุ่มรถยนต์ดีเซลใหญ่มีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มรถยนต์ดีเซลเล็ก พบค่า EF สูงสุดจากตัวอย่าง BUSC3 มีค่า 127.03 g/km รองลงมาคือ BUSB2 มีค่า 90.82 g/km และรถ NGV มีค่าต่ำสุดคือ 8.20 g/km รถยนต์ดีเซลใหญ่มีผลรวมค่าเฉลี่ย EF เท่ากับ 39.05 g/km พบว่า กลุ่ม BUSB ซึ่งมีเลขระยะทางน้อยกว่ามีค่าผลรวม EF สูงกว่า BUSA ส่วนค่า EF ของฝุ่นละอองจากกลุ่มรถยนต์ดีเซลเล็กพบว่า PUA3 มีค่า EF สูงสุดคือ 15.31 g/km มีผลรวมค่าเฉลี่ย EF เท่ากับ 6.27 g/km ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ กลุ่มรถยนต์ดีเซลใหญ่แล้วแตกต่างกันประมาณ 6.2 เท่า ทำการวิเคราะห์ข้อมูลดังแสดงในภาคผนวก จ โดยใช้สถิติ Independent-sample T-test ในการทดสอบหาความแตกต่างกันของค่า EF ของฝุ่นละออง (เนื่องจากข้อมูลมีการแจกแจงปกติ และเป็นอิสระต่อกัน) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ใช้ในการทดสอบที่ 0.05 ภายใต้สมมติฐานดังนี้

H_0: ค่า EF ของฝุ่นละอองจากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กไม่แตกต่างกับดีเซลขนาดใหญ่

H_1: ค่า EF ของฝุ่นละอองจากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กมีค่าแตกต่างกับดีเซลขนาดใหญ่

ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า Sig ของรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก (LDDV) มีค่าเท่ากับ 0.002 จึงตัดสินใจยอมรับสมมติฐาน H_1 ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และสรุปได้ว่าค่า EF ของรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กน้อยกว่าดีเซลใหญ่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลรวมค่าเฉลี่ย EF ของฝุ่นละอองจากรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่และดีเซลขนาดเล็กมีค่าเท่ากับ 39.05 และ 6.27 g/km ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกัน 6.22 เท่า

ตารางที่ 4.28 ค่าเฉลี่ย EF ของฝุ่นละอองจากรถยนต์ดีเซลใหญ่และดีเซลเล็ก

HDDV	BusA1	BusA2	BusA3	BusB1	BusB2	BusB3	BusB4	BusC1	BusC2	BusC3	EURO-II	NGV	Truck	Average EF
EF (g/km)	13.18	26.61	20.75	27.74	90.82	53.84	24.70	39.32	18.59	127.03	29.26	8.20	27.56	39.05
LDDV	PUA1	PUA2	PUA3	PUA4	PUB1	PUB2	PUB3	PUB4	PUB5	VAN1	VAN2	VAN3	Average EF	
EF (g/km)	4.90	2.63	15.31	5.12	6.08	7.65	1.84	6.13	6.25	5.53	5.20	8.62	6.27	

จากการศึกษาตัวคูณการปลดปล่อยฝุ่นละอองจากรถยนต์ดีเซลใหญ่และดีเซลเล็ก พบว่าการปลดปล่อยขึ้นอยู่กับรูปแบบการขับขี่และอายุเครื่องยนต์ (Clack et al, 2002) เนื่องจากในการทดสอบผลทางสถิติพบว่า รถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่มีค่า EF มากกว่าดีเซลขนาดเล็ก แต่ไม่สามารถใช้เลขระยะทางมาเปรียบเทียบได้ เนื่องจากมีจำนวนตัวอย่างน้อย และในการทดสอบได้มีการดัดแปลงรูปแบบการขับขี่ BKK driving cycle ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละพื้นที่ ให้ใช้เวลาสั้นลง เพียง 30 นาที เพื่อให้เหมาะสมกับการทดสอบเนื่องจากมีจำนวนตัวอย่าง และเวลาจำกัด ทำให้ไม่สามารถสรุปผลแนวโน้มของค่า EF ได้อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาค่า EF อื่นพบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มเวลาของรูปแบบการขับขี่จะมีการปลดปล่อยมลพิษสูงขึ้น และรูปแบบการขับขี่ที่ต่างกันทำให้มีการปลดปล่อยฝุ่นละอองต่างกัน ดังตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 เปรียบเทียบค่า EF ของฝุ่นละออง

รูปแบบการขับขี่	ชนิดรถทดสอบ	EF ของ $PM_{2.5}$	แหล่งที่มา
BKK driving cycle	รถโดยสารประจำทาง	72 g/km	Thiansatit (2004)
(2489 วินาที)	รถโดยสาร EURO-II	97 g/km	
	รถโดยสาร NGV	8 g/km	
	รถบรรทุก	107 g/km	
CUEDC driving cycle	รถปิกอัพ	$PM_{1.0}$ 712.8 mg/km	Parson (2002)
ของประเทศออสเตเรีย		$PM_{2.5}$ 713.3 mg/km	
		PM_{10} 731.3 mg/km	
	รถโดยสาร EURO-II	$PM_{1.0}$ 315.7 mg/km	
		$PM_{2.5}$ 316.4 mg/km	
		PM_{10} 340.1 mg/km	
	รถบรรทุก (Truck)	$PM_{1.0}$ 364.5 mg/km	
		$PM_{2.5}$ 365.0 mg/km	
		PM_{10} 374.8 mg/km	
FTP-75 driving cycle	รถปิกอัพ	1.452 g/km	Abrantes (2004)
ของประเทศสหรัฐอเมริกา	(อายุ 9 ปี วิ่ง 31182 km)		
	รถ VAN1	0.339 g/km	
	(อายุ 9 ปี วิ่ง 2831 km)		
	รถ VAN2	0.141 g/km	
	(อายุ 7 ปี วิ่ง 22888 km)		
	รถ VAN1	2.261 g/km	
	(อายุ 6 ปี วิ่ง 43697 km)		

4.6.2 ค่า EF ของรถยนต์ดีเซลใหญ่และดีเซลเล็กจากเครื่อง PAS

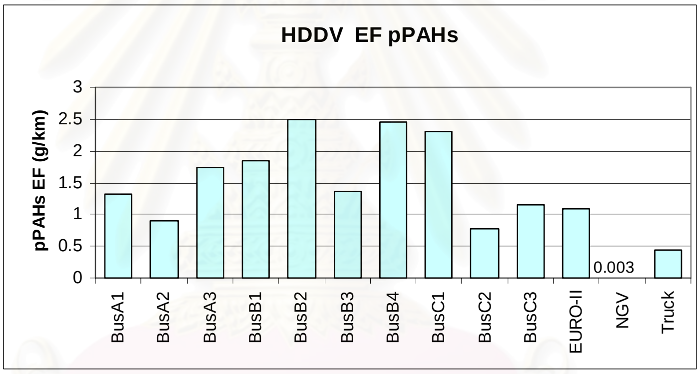
จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ เครื่อง PAS 2000CE สามารถตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นรวมทั้งหมดของสาร pPAHs ได้ทันทีและเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่องทุกๆ 30 วินาที และรายงานค่าในหน่วยนาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ และข้อมูลที่วัดจะถูกเก็บไว้ภายในเครื่อง สามารถนำข้อมูลที่ตรวจวัดนั้นวิเคราะห์ตัวคูณการปลดปล่อยโดยคำนวณค่าการปลดปล่อยจริง ดังสมการที่ 4.2

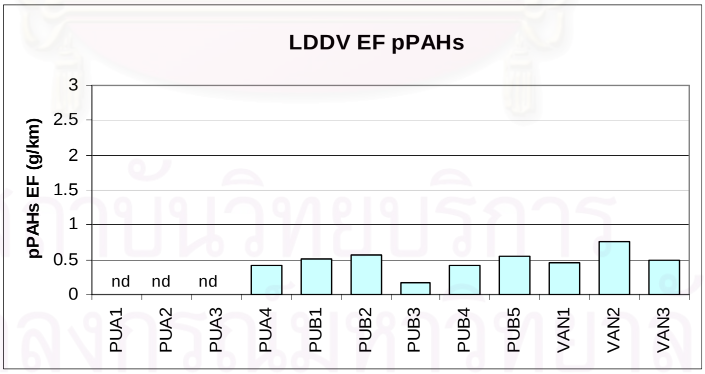
$$Emission\ pPAHs = \frac{tatal\ mass}{Distance} \quad \text{.........................(4.2)}$$

เมื่อ Emission pPAHs = อัตราการปลดปล่อยสาร pPAHs มีหน่วยเป็น กรัมต่อกิโลเมตร (g/km)

total mass = ผลรวมค่าที่บันทึกได้จาก PAS (g/m^3) x ปริมาตรอากาศ (m^3)

Distance = ระยะทาง (km)





รูปที่ 4.35 ค่า EF ของสาร pPAHs จากรถกลุ่ม HDDV และ LDDV

จากรูปที่ 4.35 เปรียบเทียบค่า EF จาก 4.30 พบว่าค่า EF ของ HDDV มีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่ม LDDV กลุ่มรถ HDDV ที่มีระยะทางการวิ่งน้อยกว่า 300,000 กม. มีปริมาณ pPAHs สูงกว่ากลุ่ม BUS A ที่วิ่งมากกว่า 300,000 กม. และกลุ่ม BUSC ที่ไม่มีข้อมูลเลขระยะทาง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากขาดการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ ถึงแม้ว่ารถยนต์ที่มีเลขระยะทางมากแต่มีการบำรุงรักษาตลอดจะทำให้การปลดปล่อยมลพิษน้อยกว่า ดังนั้นการปลดปล่อยมลพิษมีค่าต่ำกว่ากลุ่มรถที่มีระยะทาง

น้อยกว่า 300,000 km ซึ่งยังไม่มีการปรับแต่งหรือบำรุงรักษาเครื่องยนต์ ส่วนกลุ่มรถ LDDV มีการปลดปล่อยสาร pPAHs เป็นไปตามการแบ่งกลุ่มโดยที่กลุ่มที่มีระยะทางมากกว่า 300,000 km ต่ำกว่ากลุ่ม PUB ซึ่งมีเลขระยะทางน้อยกว่า 300,000 km อาจเป็นเพราะเมื่อเปรียบเทียบลักษณะการใช้งาน ซึ่งรถที่มีการใช้งานสูงมีเลขระยะทางมากแต่ขาดการบำรุงรักษาที่ดี ถึงแม้ว่าจะมีอายุเครื่องยนต์ที่ต่ำกว่า ก็สามารถปลดปล่อยมลพิษได้มากกว่า ส่วน LDDV ชนิด VAN มีค่า EF ใกล้เคียงกัน มีอายุเครื่องยนต์เท่ากัน มีระยะทางการวิ่งใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มของค่า EF สูงกว่ากลุ่ม PUA และ PUB เพราะเป็นรถต่างชนิดกัน เนื่องจากชนิดของเครื่องยนต์ที่แตกต่างกัน ระหว่างรถปิคอัพและรถตู้ ซึ่งถึงแม้ว่าจะมี driving cycle เหมือนกัน แต่ลักษณะการใช้งานที่ต่างกันทำให้อัตราการปลดปล่อยสาร pPAHs แตกต่างกันด้วย

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลดังแสดงในภาคผนวก ซ โดยใช้สถิติ Independent-sample T-test ในการทดสอบหาความแตกต่างกันของค่า EF ของสาร pPAHs ดังภาคผนวก ซ (เนื่องจากข้อมูลมีการแจกแจงปกติ และเป็นอิสระต่อกัน) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ใช้ในการทดสอบที่ 0.05 ภายใต้สมมติฐานดังนี้

H_0: ค่า EF ของสาร pPAHs จากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กไม่แตกต่างกับดีเซลขนาดใหญ่

H_1: ค่า EF ของสาร pPAHs จากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กมีค่าแตกต่างกับดีเซลขนาดใหญ่

ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า Sig ของรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก (LDDV) มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 จึงตัดสินใจยอมรับสมมติฐาน H_1 ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และสรุปได้ว่าค่า EF ของสาร pPAHs จากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กมีค่าน้อยกว่ารถยนต์ดีเซลใหญ่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งรถยนต์ดีเซลใหญ่และดีเซลเล็กมีค่าเฉลี่ย EF ของสาร pPAHs เท่ากับ 17.87 และ 4.36 g/m^3 ตามลำดับ แตกต่างกัน 4.09 เท่า

ตารางที่ 4.30 ค่า EF ของสาร pPAHs จากรถกลุ่ม HDDV และ LDDV

HDDV	BusA1	BusA2	BusA3	BusB1	BusB2	BusB3	BusB4	BusC1	BusC2	BusC3	EURO-II	NGV	Truck	total (g/km)
pPAHs EF (g/km)	1.32	0.90	1.73	1.85	2.50	1.36	2.46	2.30	0.77	1.14	1.10	0.003	0.43	17.87
LDDV	PUA1	PUA2	PUA3	PUA4	PUB1	PUB2	PUB3	PUB4	PUB5	VAN1	VAN2	VAN3	total (g/km)	
pPAHs EF (g/km)	nd	nd	nd	0.41	0.51	0.57	0.16	0.43	0.55	0.46	0.77	0.50	4.36	

หมายเหตุ nd = non detected

4.6.3 ค่า EF ของสาร PAHs จากรถยนต์ดีเซลใหญ่และดีเซลเล็ก

การศึกษาค่าตัวคูณการปลดปล่อยของสาร PAHs สามารถคำนวณได้โดยนำค่าความเข้มข้นที่คำนวณได้ มาหาความสัมพันธ์กับความเร็วในหนึ่งรอบของรูปแบบการขับขี่ ซึ่งสามารถรายงานผลของตัวคูณการปลดปล่อยของสาร PAHs ในหน่วย มิลลิกรัมต่อระยะการวิ่งหนึ่งกิโลเมตร (mg/km) ดังสมการที่ 4.3

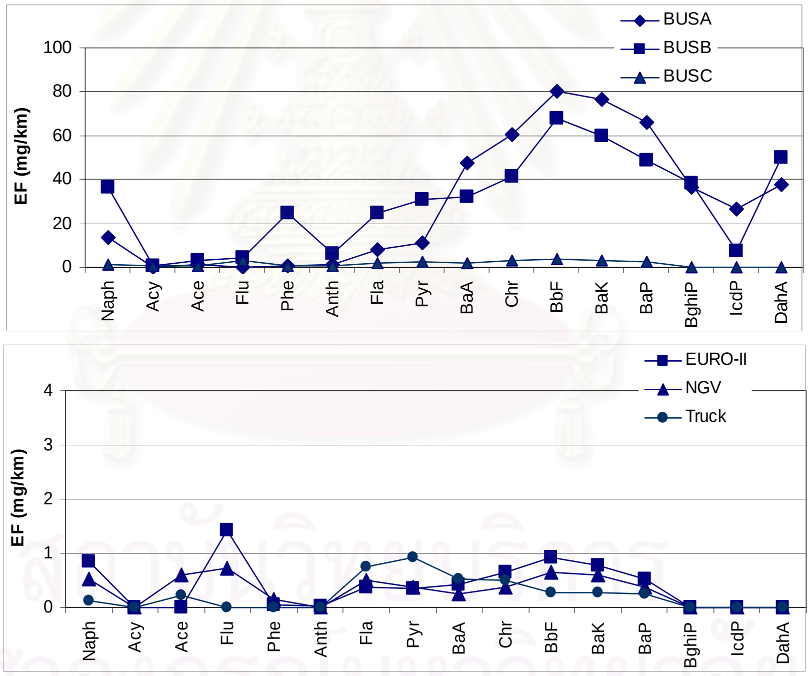
$$EF\ PAHs = \frac{mass\ of\ PAHs}{distance} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..(4.3)$$

เมื่อ EF = ตัวคูณการปลดปล่อยสาร PAHs มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกิโลเมตร (mg/km)

mass of PAHs = มวลของสาร PAHs มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม (mg)

distance = ระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่ในหนึ่งรอบการขับขี่มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

1) ค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs ในสถานะฝุ่นละอองจากรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่



รูปที่ 4.36 ค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs จากรถกลุ่ม HDDV

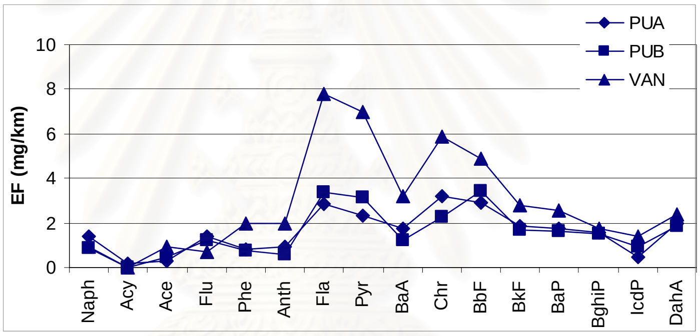
จากรูปที่ 4.36 และตารางที่ 4.31 พบว่าค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs ในกลุ่ม BUSA และ BUSB มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น กลุ่ม BUSB มีผลรวมของค่าเฉลี่ยสาร PAHs สูงสุดคือ 476.11 mg/km รองลงมาคือกลุ่ม BUSA มีผลรวมค่าเฉลี่ย EF เท่ากับ 467.15mg/km พบว่าในกลุ่ม BUSB และ BUSA สาร DahA มีค่าเฉลี่ยสูงสุดทั้งสองกลุ่มตัวอย่าง ส่วนกลุ่ม HDDV ชนิด BUSC, EURO-II, NGV, Truck มีแนวโน้มของค่า EF เท่ากับ 25.73, 9.46 , 7.13 6.76 mg/km ตามลำดับ และไม่มีค่า EF ของสาร PAHs 3 ตัวสุดท้าย

ตารางที่ 4.31 ค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs ในสถานะฝุ่นละอองจากกลุ่ม HDDV

HDDV	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total EF (mg/km)
BUSA	13.33	nd	0.94	nd	0.67	1.34	8.32	11.39	47.33	60.44	80.20	76.45	65.80	36.41	26.84	37.70	467.15
BUSB	36.51	0.92	2.78	4.35	24.40	5.99	24.42	30.82	32.25	41.20	68.04	59.63	49.06	38.17	7.23	50.31	476.11
BUSC	1.49	0.48	0.52	2.93	0.85	0.72	1.55	2.50	2.14	3.34	3.76	3.09	2.37	nd	nd	nd	25.73
EURO-II	0.86	nd	nd	1.42	0.06	0.03	0.38	0.36	0.43	0.64	0.92	0.78	0.52	nd	nd	nd	9.46
NGV	0.53	nd	0.59	0.72	0.14	nd	0.49	0.38	0.24	0.36	0.65	0.59	0.38	nd	nd	nd	7.13
Truck	0.11	nd	0.22	nd	nd	nd	0.74	0.92	0.52	0.51	0.28	0.29	0.25	nd	nd	nd	6.76

หมายเหตุ nd = non detected

2) ค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs ในสถานะฝุ่นละอองจากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก



รูปที่ 4.37 ค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs จากรถกลุ่ม HDDV

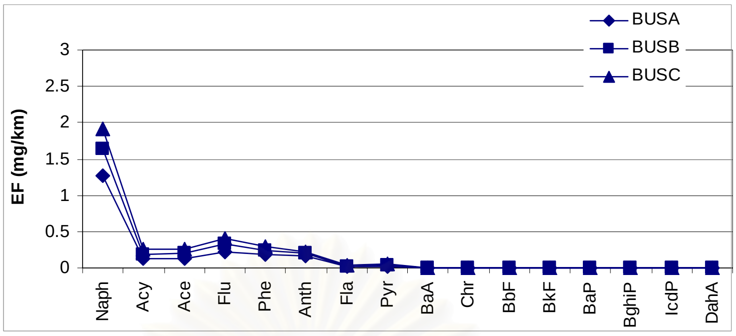
จากรูปที่ 4.37 และตารางที่ 4.33 พบว่าค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs ในกลุ่ม VAN มีผลรวมของค่าเฉลี่ยสาร PAHs สูงสุดคือ 46.15 mg/km รองลงมาคือกลุ่ม PUA มีผลรวมค่าเฉลี่ย EF เท่ากับ 25.74 mg/km และ PUB มีผลรวมค่าเฉลี่ย EF เท่ากับ 25.02 mg/km ตามลำดับ พบว่าแนวโน้มค่าเฉลี่ยของสาร PAHs พิ่มขึ้น สาร Fla และ Chr ในกลุ่ม VAN PUA และPUB มีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มอื่น และสาร Acy มีค่าต่ำสุด

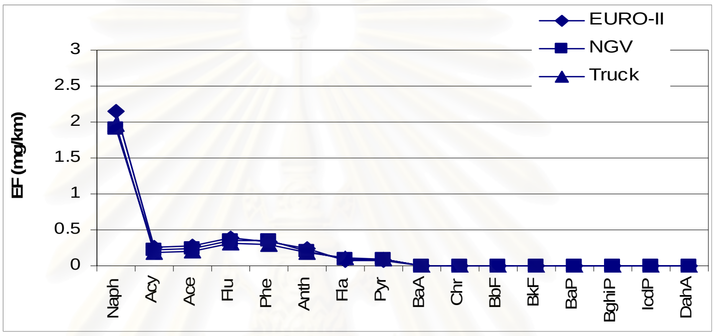
ตารางที่ 4.32 ค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs ในสถานะฝุ่นละอองจากกลุ่ม LDDV

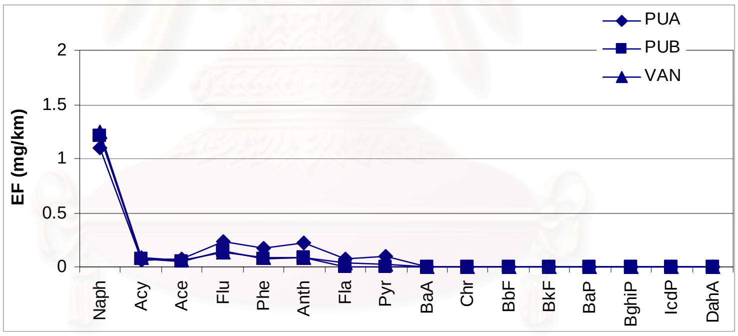
LDDV	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	total (mg/km)
PUA	1.37	0.16	0.31	1.38	0.82	0.95	2.87	2.35	1.73	3.22	2.92	1.87	1.73	1.59	0.49	2.00	25.74
PUB	0.90	nd	0.47	1.22	0.73	0.60	3.35	3.16	1.20	2.28	3.42	1.70	1.64	1.53	0.93	1.88	25.02
VAN	0.93	nd	0.92	0.70	1.96	1.96	7.81	6.98	3.21	5.89	4.89	2.78	2.58	1.75	1.41	2.38	46.15

หมายเหตุ nd = non detected

3) ค่า EF ของสาร PAHs ในสถานะก๊าซ จากรถยนต์ดีเซลใหญ่และดีเซลเล็ก







รูปที่ 4.38 ค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs ในสถานะก๊าซ

จากรูปที่ 4.38 และตารางที่ 4.33 พบว่าค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs จากกลุ่ม BUSA BUSB และ BUSC มีค่าเฉลี่ย EF เท่ากับ 2.14, 2.86 และ 3.44 mg/km ตามลำดับ ส่วนตัวอย่าง EURO-II, NGV, และ Truck มีค่าเฉลี่ย EF เท่ากับ 3.06, 1.22, 4.15 mg/km ตามลำดับ พบว่าสาร Naph มีแนวโน้มสูงสุดในทุกกลุ่มตัวอย่าง เนื่องจากคุณสมบัติในการดูดซับ และน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า

ในกลุ่ม LDDV กลุ่ม PUA มีผลรวมของค่าเฉลี่ย EF สูงสุดคือ 0.43 mg/km รองลงมาคือ กลุ่ม VAN มีผลรวมค่าเฉลี่ย EF เท่ากับ 0.33 mg/km และ PUB มีผลรวมค่าเฉลี่ย EF เท่ากับ 0.15 mg/km ตามลำดับ พบว่าสาร Naph ในกลุ่ม PUA PUB และ VAN มีค่าสูงกว่าสารอื่น

ตารางที่ 4.33 ค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs ในสถานะก๊าซจากกลุ่ม HDDV และ LDDV

HDDV	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	aver. PAHs (μg/km)
BUSA	1.26	0.12	0.13	0.22	0.19	0.16	0.02	0.03	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2137.63
BUSB	1.64	0.19	0.19	0.34	0.24	0.21	0.03	0.03	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2861.46
BUSC	1.91	0.25	0.25	0.41	0.30	0.23	0.04	0.06	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3442.59
EURO-II	2.15	0.26	0.28	0.39	0.34	0.23	0.07	0.07	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3785.56
NGV	1.91	0.22	0.24	0.35	0.34	0.21	0.10	0.08	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3455.65
Truck	1.96	0.18	0.20	0.31	0.29	0.19	0.12	0.10	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3338.84

LDDV	Naph	Acy	Ace	Flu	Phe	Anth	Fla	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	BghiP	IcdP	DahA	avar. PAHs (mg/km)
PUA	1.09	0.06	0.08	0.23	0.17	0.23	0.07	0.10	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	432.52
PUB	1.20	0.08	0.05	0.14	0.07	0.09	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	167.28
VAN	1.25	0.08	0.06	0.14	0.08	0.09	0.04	0.03	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	173.60

หมายเหตุ nd = non detected

4) ค่า EF ของสาร PAHs ในสถานะฝุ่นละอองและก๊าซจากรถยนต์ชนิด HDDV และ LDDV

จากผลการศึกษาในตารางที่ 4.32 การคำนวณค่า EF ของสาร PAHs ในสถานะฝุ่นละอองจากรถยนต์ชนิด HDDV และ LDDVโดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย EF ในแต่ละชนิดและกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ย EF PAHs รวมทั้ง 16 ชนิด จากรถยนต์ชนิด HDDV พบว่าค่า EF ของสาร PAHs จากตัวอย่าง BUSA และ BUSB มีแนวโน้มคล้ายกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้น และมีผลรวมสูงที่สุด ส่วนตัวอย่าง BUSC EURO-II NGV และ Truck มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าอย่างชัดเจน ส่วนรถชนิด LDDV จากตัวอย่าง PUA PUB และ VAN มีลักษณะและแนวโน้มค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ สาร PAHs มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นและค่าเฉลี่ย EF ในกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน

ผลการศึกษาค่า EF ของสาร PAHs ในสถานะก๊าซซึ่งมีแนวโน้มคล้ายกับความเข้มข้นของสาร PAHs พบว่าค่าเฉลี่ยในรถชนิด LDDV มีค่าสูงกว่า HDDV ในกลุ่ม PUA มีค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs สูงสุด ดังตารางที่ 4.34

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.34 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย EF สาร PAHs จากรถ HDDV และ LDDV

ปริมาณรวมของสาร PAHs	Heavy duty diesel vehicles (HDDV)							Light duty diesel vehicles (LDDV)			
(mg/km)	BUSA	BUSB	BUSC	EURO-II	NGV*	Truck	ค่าเฉลี่ย±SD	PUA	PUB	VAN	ค่าเฉลี่ย±SD
pPAHs ในฝุ่นละออง											
>18	69.28	38.34	13.27	0.97	1.74	1.30	24.63±9	2.04	0.25	1.52	1.27±0.52
10--18	55.91	54.16	16.14	1.34	0.36	0.25	25.56±8	1.97	0.23	0.26	0.82±0.23
5.6--10	61.37	57.97	14.43	1.44	0.56	0.36	27.12±10	1.06	0.43	0.28	0.59±0.21
3.2--5.6	64.22	63.24	24.01	0.81	0.40	0.68	30.59±12	0.98	0.38	0.31	0.56±0.37
1.8--3.2	54.64	42.34	27.34	1.42	1.29	0.60	25.27±14	3.07	0.79	2.10	1.99±1.44
1.0--1.8	71.87	49.86	29.08	2.74	1.07	0.69	30.85±11	1.06	0.67	1.86	1.20±0.61
0.56--1.0	79.96	73.90	29.54	1.55	4.27	0.67	37.13±18	1.15	1.76	5.01	2.64±1.07
0.32--0.56	64.71	104.24	38.10	2.45	1.43	1.28	42.16±14	2.83	2.43	4.99	3.41±1.38
0.18--0.32	62.15	106.58	39.65	1.95	1.06	2.01	42.47±14	2.97	3.73	4.92	3.87±0.98
<0.18	50.89	136.29	125.36	4.57	3.07	3.75	64.17±24	8.61	14.36	24.89	15.95±6.25
total pPAHs (mg/km)	635.00	726.92	356.92	19.25	15.25	11.59	349.94±134	25.74	25.02	46.15	32.31±11.00
PAHs ในก๊าซ (mg/km)	2.14	2.86	3.44	3.79	3.46	3.34	3.11±1	0.43	0.17	0.17	0.26±0.15
total PAHs (mg/km)**	637.14	729.78	360.36	23.03	18.71	14.93	353.05±134	26.18	25.19	46.33	32.57±11.93

หมายเหตุ: *ไม่คิดค่าเฉลี่ย, **pPAHs + PAHs ในก๊าซ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

1) ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากทุกกลุ่มตัวอย่างทั้งรถยนต์ดีเซลเล็กและดีเซลใหญ่มีปริมาณสูงสุดเมื่อฝุ่นมีขนาดน้อยกว่า 0.18 ไมครอน เมื่อทดสอบความแตกต่างกันทางสถิติพบว่ารถยนต์ดีเซลเล็กมีปริมาณการปลดปล่อยฝุ่นละอองน้อยกว่ารถยนต์ดีเซลใหญ่อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นรวมทุกขนาดเท่ากับ 245.17±56.02 และ 518.45 ±244.0 g/m^3 ตามลำดับ

2) กลุ่มรถยนต์ดีเซลใหญ่ (HDDV) มีรูปแบบการกระจายตัวเป็นแบบ bimodal มีการกระจายตัวของฝุ่นละอองปริมาณสูงในชั้นที่มีขนาดระหว่าง 0.1-1.0 และ 0.32-10 μm มีเปอร์เซ็นต์การสะสมของฝุ่นละอองในแต่ละขนาด ตั้งแต่ <0.18, 0.18-0.32, 0.32-0.56, 0.56-1.0, 1.0-1.8, 1.8-3.2, 3.2-5.6, 5.6-10, 10-18 และ >18 μm เท่ากับ 19, 31, 47, 60, 72, 78, 84, 88, 94 และ 100% ตามลำดับ สำหรับกลุ่มรถยนต์ดีเซลเล็ก (LDDV) มีการกระจายตัวของฝุ่นละอองปรากฏอยู่ในทุกๆ ชั้นใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่สามารถสรุปรูปแบบของการกระจายตัวได้อย่างชัดเจน มีเปอร์เซ็นต์การสะสมของฝุ่นละอองในแต่ละขนาดตั้งแต่ <0.18, 0.18-0.32, 0.32-0.56, 0.56-1.0, 1.0-1.8, 1.8-3.2, 3.2-5.6, 5.6-10, 10-18 และ >18 μm เท่ากับ 19, 42, 56, 65, 70, 78, 86, 90, 95 และ 100% ตามลำดับ

3) ปริมาณสาร pPAHs ที่ตรวจวัดได้ ณ เวลาทดสอบจริง โดยเครื่อง PAS 2000CE จากรถยนต์ดีเซลใหญ่และรถยนต์ดีเซลเล็ก พบว่า มีแนวโน้มการเพิ่ม-ลดของปริมาณที่ปลดปล่อยตามสภาวะการเร่งและลดความเร็วของรถยนต์ตามรูปแบบการขับขี่ ตัวอย่างรถ NGV มีผลรวมสาร pPAHs ต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสาร pPAHs ที่ปลดปล่อยจากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กมีปริมาณต่ำกว่ารถยนต์ดีเซลใหญ่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีผลรวมของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร pPAHs เท่ากับ 28.93 และ 67.29 g/m^3 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันประมาณ 2.3 เท่า

4) ชนิดของสาร PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่น (pPAHs) ที่ปลดปล่อยจากรถยนต์ดีเซลเล็กและดีเซลใหญ่เป็นหลักได้แก่ Anth, Fla, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF, BaP, BghiP, IcdP และ DahA ส่วนสาร PAHs หลักที่ปรากฏในสถานะก๊าซที่ปลดปล่อยจากรถยนต์ดีเซลทั้งสองชนิดเป็น PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ได้แก่ Naph, Acy, Ace, Flu, Phe, Anth, Fla และ Pyr ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร PAHs ที่ปรากฏในสถานะต่างๆ เป็นดังนี้

- สาร pPAHs ในสถานะฝุ่นละอองที่ปลดปล่อยจากกลุ่มรถยนต์ดีเซลเล็กและดีเซลใหญ่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 409.56±107.19 และ 5,553.94±841.0 μg/m^3 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- สาร PAHs ในสถานะก๊าซที่ปลดปล่อยจากกลุ่มรถยนต์ดีเซลเล็กและดีเซลใหญ่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,550.26±992.86 และ 3,538.20±887.0 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ

- ค่าเฉลี่ยของสาร PAHs รวมทั้งก๊าซและฝุ่นละอองจากกลุ่มรถยนต์ดีเซลเล็กและดีเซลใหญ่มีค่าเท่ากับ 2959.92±1208.18 และ 9092.14±628.0 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ

5) ค่าตัวคูณการปลดปล่อย (EF) ของฝุ่นละออง ของรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กมีค่าน้อยกว่ารถยนต์ดีเซลใหญ่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าเฉลี่ย EF ของฝุ่นละอองรวมทุกขนาดจากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กและดีเซลขนาดใหญ่มีค่าเท่ากับ 83.25±4.45 และ 223.00±90 g/km ตามลำดับ

6) ค่าตัวคูณการปลดปล่อย (EF) ของสาร pPAHs จากเครื่อง PAS 2000CE พบว่า รถชนิด HDDV มีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่ม LDDV และจากการทดสอบความแตกต่างทางสถิติ สรุปได้ว่าค่า EF ของสาร pPAHs จากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กน้อยกว่ารถยนต์ดีเซลใหญ่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า EF ของสาร pPAHs เท่ากับ 4.36 และ 17.87 g/km ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกัน 4.09 เท่า

7) ค่าตัวคูณการปลดปล่อย (EF) ของสาร PAHs ในสถานะก๊าซและฝุ่นละอองที่ปลดปล่อยจากรถยนต์ดีเซลเล็กและดีเซลใหญ่ แบ่งชนิดค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs ได้ดังนี้

- สาร pPAHs ในสถานะฝุ่นละอองที่ปลดปล่อยจากกลุ่มรถยนต์ดีเซลเล็กและดีเซลใหญ่มีค่าเฉลี่ย EF เท่ากับ 32.31±11.0 และ 349.94±134.0 mg/km ตามลำดับ

- สาร PAHs ในสถานะก๊าซจากกลุ่มรถยนต์ดีเซลเล็กและดีเซลใหญ่มีค่าเฉลี่ย EF เท่ากับ 0.26±0.15 และ 3.11±1.0 mg/km ตามลำดับ

- ค่าเฉลี่ย EF ของสาร PAHs รวมทั้งก๊าซและฝุ่นละอองจากกลุ่มรถยนต์ดีเซลเล็กและดีเซลใหญ่มีค่าเท่ากับ 32.57±11.93 และ 353.05±134.0 mg/km ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีจำนวนรถทดสอบที่หลากหลายและเก็บข้อมูลมากขึ้น เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ให้ผลการทดลองที่ดีขึ้น ซึ่งทำให้สามารถสรุป ชนิด และลักษณะในการปลดปล่อยมลพิษจากยานพาหนะชนิดต่างๆ เพื่อทำให้มีข้อมูลที่ถูกต้อง แต่เนื่องจากปัจจัยในเรื่องของเวลาในการเก็บจนถึงการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้เวลานาน และงบประมาณที่ใช้ศึกษา ทำให้ไม่สามารถควบคุม และจำกัดปัจจัยเหล่านี้ได้

2) การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาความเข้มข้นของสาร PAHs ในสถานะก๊าซและฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดชนิดรถยนต์ ซึ่งเป็นสารมลพิษในอากาศชนิดหนึ่ง จึงควรมีการศึกษาสารมลพิษชนิดอื่นๆ ที่มีแหล่งกำเนิดประเภทเดียวกัน

3) ค่า EF ของสาร PAHs มีการศึกษาเฉพาะจากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ จึงควรมีการศึกษาตัวคูณการปลดปล่อยมลสารชนิดอื่นๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ทำให้เกิดประโยชน์และใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษามลภาวะทางอากาศ

4) ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยไอเสียคือ ระยะทางการวิ่ง และรูปแบบการขับขี่ ซึ่งยังไม่เพียงพอ เพราะถึงแม้ว่า รถที่มีระยะทางวิ่งมาก หรือ ไม่สามารถระบุเลขระยะทางการวิ่ง หากมีการบำรุงรักษาเครื่องยนต์แล้วทำให้การปลดปล่อยไอเสียลดลง และยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับสภาพรถที่ขาดการบำรุงรักษาหรือยังไม่ถึงกำหนดในการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ซึ่งอาจเป็นปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการปลดปล่อยไอเสีย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กมลนารี ลายคราม. 2546. การพัฒนาแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร บริเวณริมถนนในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ขนส่งทางบก, กรม. 2545. จำนวนยานพาหนะที่จดทะเบียนในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงคมนาคม.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2542. ห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะ. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2543. พีเอเอช (PAH). กรุงเทพมหานคร: กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2546. มะเร็งปอดคร่าชาวกรุง. คลินิกไอเสีย 6 (มิถุนายน-สิงหาคม): 4-5.

นพภาพร พานิช และแสงสันต์ พานิช. 2544. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านคุณภาพอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พูลพร แสงบางปลา. 2537. ไอเสียจากเครื่องยนต์และการควบคุม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไพลิน ใบผกา. 2546. การเคลื่อนที่และการกระจายตัวของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยภายในอาคารพาณิชย์บริเวณสถานีรถไฟฟ้าพระโขนง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ นิตยา มหาผล และธีระ เกรอต. 2543. มลภาวะอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วนิดา จีนศาสตร์ และปาจรีย์ ทองสนิท. 2001. สารประกอบโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในเขตกรุงเทพมหานคร. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ภาษาอังกฤษ

Abrantes, R.D. 2004. Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons from light-duty diesel vehicles exhaust. Atmospheric Environment 38: 1631-1640.

Behrentz, E. 2004. Measurements of nitrous oxide emissions from light-duty motor vehicles: a pilot study. Atmospheric Environment 38: 4291-4303.

Bishop, G.A. and Stedman, D.H. 1996. Measuring the Emissions of Passing Cars. Accounts of Chemical Research. 29: 489-495.

Chan, L.Y. and Kwok, W.S. 2000. Vertical dispersion of suspended particulate in urban area of Honkong. Atmospheric Environmental 34: 4009-4412.

Chetwittayachan, T. 2001. Temporal Variation of Particle-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (pPAHs) Concentration and Risk Assessment of Their Possible Human Exposure in Urban Air Environmental. Doctoral Thesis, The University of Tokyo, Japan.

Chuang, J.C., Callahan, P.J., Menton, R.G. and Gordon, S.M. 1995. Monitoring methods for polycyclic aromatic hydrocarbons and their distribution in housedust and track-in soil. Environment Science & Technology 29: 494-500.

Clack, N.N., Justin, M.K., Atkinson, C.M. and Nine, R.D. 2002. Factors Affecting Heavy-Duty Diesel Vehicle Emission. J. Air and Waste Management Assoc. 52: 84-94.

Fromme, H. 1998. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and diesel engine emission (elemental carbon) inside a car and a subway train. The Science of the Total Environment 217: 165-173.

Garivait, H. and Polprasert, C. 1999. Airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in Bangkok urban air I. characterization and quantification. Polycyclic Aromatic Compounds 13: 313-327.

Kawanaka, Y. and Matsumoto, E. 2004. Size distributions of mutagenic compounds and mutagenicity in atmospheric particulate matter collected with a low-pressure cascade impactor. Atmospheric Environment 38: 2125-2132.

Kreis, J.S. 2001. Occurrence of particle-associated polycyclic aromatic compounds in ambient air of the city of Munich. Atmospheric Environment 35: S71-S81.

Lee, W.J., Wang Y.F., Lin, T.C. and Chen, Y.Y. 1995. PAH characteristics in the ambient air of traffic-source. The Science of the Total Environment 159: 185-200.

Marjamäki, M. and Keskinen, J. 2001. Characterisation of exhaust Particulate Emission from Road Vehicles. European Commission. England.

Miguel, A.H., Kirchstetter, T.W. and Harly, R.A. 1998. On-road emission of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons and black carbon from gasoline and diesel vehicles. Environment Science & Technology 32: 3091-3099.

Parsons Australia Pty Ltd. 2003. Technical Report No. 1: Toxic Emissions from Diesel Vehicles in Australia. Department of the Environment and Heritage. Australia.

Reynolds, A.W. 2000. Development of an emissions inventory model for mobile sources. Transportation Research Part D 5: 77-101.

Schuleze. 1984. Identification of Nitrated Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in diesel Particle Extracts by Negative Ion Chemical Ionization an Tandem Mass Spectrometry. Chromatographia. 19: 391-397.

Tavares, Jr., M. 2004. Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons from diesel engine in a bus station, Londrina, Brazil. Atmospheric Environment 38: 5039-5044.

Tsai, J.H., Hsu, Y.C. and Weng, H.C. 2000. Air pollutant emission factors from new and in-use motorcycles. Atmospheric Environment 34: 4747-4754.

U.S. Environmental Protection Agency. 1999. Health Assesment Document For Diesel Engine Exhaust. United States Environmental Protection Agency. United State.

Venkataraman, C., Lioy, P.J. and Friedlander, S.K. 1994. Size dristribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Element carbon. Environment Science & Technology 28: 555-562.

Warapetcharayut, P. and Paw-armart, I. 2003. Emission Factor Development in Thailand. Automotive Air Pollution Section. Thailand.

World Bank. 2002. Air pollution data. Thailand Environment Monitor 2002. Thailand.

Thiansathit, W. 2004. Source characterization for air pollution emission from polluting heavy-duty diesel vehicles in Bangkok, Thailand. School of Environment, Resources and Development, Asian Institute of Technology.

Yao X., Lau P.S. and Fang, M. 2003. Size distributions and formation of ionic species in atmospheric particulate pollutants in Beijing, China: 2-dicarboxylic acids. Atmospheric Environment 37: 3001-3007.

Zhou, J., Wang, T., Huang Y., Mao, T. and Zhoung, N. 2005. Size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban and suburban sites of Beijing, China. 112:1142-1151.

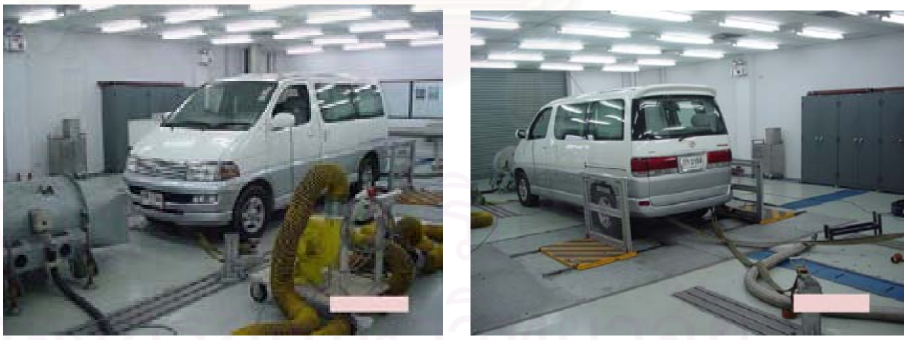
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะและจุดเก็บตัวอย่าง

รูปที่ ก-1 ห้องควบคุมและการทดสอบรถยนต์ดีเซลใหญ่บนแท่นทดสอบ



รูปที่ ก-2 การทดสอบรถยนต์ดีเซลเล็กบนแท่นทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

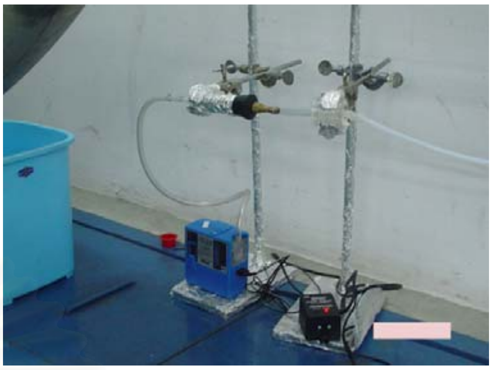
รถยนต์ดีเซลใหญ่ รถยนต์ดีเซลเล็ก

รูปที่ ก-3 จุดเก็บตัวอย่างรถยนต์ดีเซ,ใหญ่และดีเซลเล็กจากระบบ CVS

รถยนต์ดีเซลใหญ่ รถยนต์ดีเซลเล็ก

รูปที่ ก-4 การติดตั้งอุปกณ์เก็บตัวอย่างเครื่อง MOUDI, PAS

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รถยนต์ดีเซลใหญ่ รถยนต์ดีเซลเล็ก

รูปที่ ก-5 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง เครื่อง personal air sampler และหลอด PUF

รูปที่ ก-6 ห้องควบคุมสภาวะสำหรับชั่งกระดาษกรอง และ เครื่องชั่งไมโครบาลานซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่างๆ

ตารางที่ ข-1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ค่าเฉลี่ยแต่ละขนาดและ ค่าเฉลี่ยแต่ละคัน ค่าตัวคูณการปลดปล่อยฝุ่นละออง ในกลุ่มรถยนต์ดีเซลใหญ่ที่มีระยะทางการวิ่งมากกว่า 300,000 กม.

size range (µm)	PF (>18)	10 --18	5.6 --10	3.2 --5.6	1.8-3.2	1.0 -1.8	.56 - 1.0	.32 - .56	.18 - .32	AF (<.18)	total (g/m^3)	SD (g/m^3)
BUSA1	nd	8.59	16.80	1.154	0.13	10.64	9.62	11.67	8.08	12.56	79.23	5.30
BUSA2	9.35	6.49	1.24	10.197	2.16	29.51	11.28	42.87	38.01	27.66	178.76	15.24
BUSA3	9.92	14.28	nd	nd	6.08	8.46	28.17	42.98	5.55	47.08	162.53	16.89
size average (g/m^3)	12.65	19.84	18.03	11.35	4.32	42.97	30.28	68.87	47.94	55.91	312.17	26.17
SD (g/m^3)	0.40	4.03	11.00	6.39	3.03	11.57	10.26	18.05	18.05	17.30		

ตารางที่ ข-2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ค่าเฉลี่ยแต่ละขนาดและ ค่าเฉลี่ยแต่ละคัน ค่าตัวคูณการปลดปล่อยฝุ่นละออง ในกลุ่มรถยนต์ดีเซลใหญ่ที่มีระยะทางการวิ่งน้อยกว่า 300,000 กม.

size range (µm)	PF (>18)	10 --18	5.6 --10	3.2 --5.6	1.8-3.2	1.0 -1.8	.56 - 1.0	.32 - .56	.18 - .32	AF (<.18)	total (g/m^3)	SD (g/m^3)
BUSB1	16.69	5.13	3.51	nd	nd	8.49	36.03	24.02	42.03	77.03	212.93	24.78
BUSB2	27.34	6.12	nd	102.35	110.94	90.11	16.28	35.68	84.38	139.46	612.64	47.55
BUSB3	9.61	20.90	0.69	66.12	4.91	81.03	54.74	1.67	61.02	61.90	362.59	31.45
BUSB4	15.63	4.89	nd	11.73	14.01	8.96	25.08	27.04	27.52	46.09	180.94	12.68
size average (g/m^3)	57.56	33.36	4.20	171.40	119.35	181.87	113.31	68.12	194.31	289.91	1233.40	106.94
SD (g/m^3)	7.37	7.78	2.00	45.61	58.77	44.52	16.58	14.49	24.60	40.89		

ตารางที่ ข-3 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ค่าเฉลี่ยแต่ละขนาดและ ค่าเฉลี่ยแต่ละคัน ค่าตัวคูณการปลดปล่อยฝุ่นละอองในกลุ่มรถยนต์ดีเซลใหญ่ที่มีระยะทางไม่ข้อมูลระยะทางการวิ่ง

size range (µm)	PF (>18)	10 --18	5.6 --10	3.2 --5.6	1.8-3.2	1.0 -1.8	.56 - 1.0	.32 - .56	.18 - .32	AF (<.18)	total (g/m^3)	SD (g/m^3)
BUSC1	40.83	nd	3.41	18.91	13.92	13.52	28.10	26.78	35.19	51.20	231.86	16.34
BUSC2	9.23	41.26	nd	10.28	40.06	3.57	1.04	25.77	12.66	21.89	165.77	14.84
BUSC3	1.64	nd	62.70	nd	nd	268.22	322.47	183.95	8.20	31.16	878.35	131.99
size avrage (g/m^3)	50.61	13.75	24.31	29.18	53.98	106.51	136.63	113.86	50.58	83.48	690.41	75.18
SD (g/m^3)	20.78	19.45	41.92	6.10	18.49	150.01	178.28	91.03	14.47	14.98		

ตารางที่ ข-4 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ค่าเฉลี่ยแต่ละขนาดและ ค่าเฉลี่ยแต่ละคัน ค่าตัวคูณการปลดปล่อยฝุ่นละอองในกลุ่มรถยนต์ดีเซลใหญ่ชนิดเครื่องยนต์ EURO-II ใช้ก๊าซธรรมชาติ (NGV) และรถบรรทุก

cut point (µm)	PF (>18)	10 --18	5.6 --10	3.2 --5.6	1.8-3.2	1.0 -1.8	.56 - 1.0	.32 - .56	.18 - .32	AF (<.18)	PM total (g/m^3)	SD (g/m^3)
EURO-II	1.44	15.89	10.90	16.41	3.68	5.38	109.90	16.94	17.86	6.43	204.82	32.00
NGV	nd	8.38	3.81	4.45	5.21	3.94	nd	21.72	27.31	4.06	78.88	9.29
Truck	3.70	3.17	2.77	1.32	11.89	3.70	14.53	10.30	111.21	16.51	179.09	33.23

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

114

ตารางที่ ข-5 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ค่าเฉลี่ยแต่ละขนาดและ ค่าเฉลี่ยแต่ละคัน
ค่าตัวคูณการปลดปล่อยฝุ่นละอองในกลุ่มรถยนต์ดีเซลเล็กชนิดปิกอัพที่มีระยะทางการวิ่งมากกว่า 300,000 กม.

size range (µm)	PF (>18)	10 --18	5.6 --10	3.2 --5.6	1.8-3.2	1.0 -1.8	.56 - 1.0	.32 - .56	.18 - .32	AF (<.18)	total (g/m^3)	SD (g/m^3)
PUA1	0.90	0.41	0.82	1.63	1.35	11.94	3.63	7.05	16.39	12.39	56.50	5.91
PUA2	1.83	0.33	2.04	1.26	2.49	nd	2.93	6.52	11.21	9.62	38.24	3.91
PUA3	14.49	12.08	11.29	34.55	23.67	3.35	14.90	20.21	36.58	4.44	175.55	11.33
PUA4	4.94	0.92	2.95	5.90	1.63	0.00	3.63	6.94	10.33	21.45	58.69	6.28
size avrage (g/m^3)	18.46	13.04	14.88	38.92	27.91	15.29	22.37	35.52	66.76	31.82	284.96	22.72
SD (g/m^3)	6.21	5.77	4.76	15.95	10.93	6.16	5.76	6.69	12.26	7.12		

ตารางที่ ข-6 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ค่าเฉลี่ยแต่ละขนาดและ ค่าเฉลี่ยแต่ละคัน
ค่าตัวคูณการปลดปล่อยฝุ่นละอองในกลุ่มรถยนต์ดีเซลเล็กชนิดปิกอัพที่มีระยะทางการวิ่งน้อยกว่า 300,000 กม.

size range (µm)	PF (>18)	10 --18	5.6 --10	3.2 --5.6	1.8-3.2	1.0 -1.8	.56 - 1.0	.32 - .56	.18 - .32	AF (<.18)	total (g/m^3)	SD (g/m^3)
PUB1	10.64	12.34	2.14	6.41	4.49	4.05	5.06	3.18	7.02	14.21	69.54	4.10
PUB2	2.04	1.35	1.52	1.22	0.61	nd	7.90	43.08	28.36	8.82	94.88	15.04
PUB3	0.94	3.46	2.40	1.30	1.38	nd	1.91	2.28	6.88	10.01	30.57	3.06
PUB4	0.55	8.71	3.51	5.83	16.46	5.28	5.98	4.69	7.31	12.21	70.51	4.52
PUB5	nd	nd	8.23	17.46	nd	nd	20.92	26.43	8.62	16.18	97.83	7.06
size avrage (g/m^3)	14.17	25.85	11.21	18.25	22.94	9.33	25.04	58.51	51.28	48.49	285.08	28.13
SD (g/m^3)	4.77	4.99	2.71	6.63	7.34	0.86	7.35	18.18	9.37	3.00		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

115

ตารางที่ ข-7 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ค่าเฉลี่ยแต่ละขนาดและ ค่าเฉลี่ยแต่ละคัน ค่าตัวคูณการปลดปล่อยฝุ่นละอองในกลุ่มรถยนต์ดีเซลเล็กชนิดรถตู้

size range (µm)	PF (>18)	10 --18	5.6 --10	3.2 --5.6	1.8-3.2	1.0 -1.8	.56 - 1.0	.32 - .56	.18 - .32	AF (<.18)	total (g/m^3)	SD (g/m^3)
VAN1	2.93	3.34	4.41	4.54	4.75	4.65	6.71	7.37	9.40	15.73	63.83	3.83
VAN2	nd	1.57	2.18	nd	11.73	1.18	7.06	2.35	17.70	20.10	63.88	7.64
VAN3	13.82	nd	0.26	17.92	1.95	12.73	10.48	14.98	31.01	10.15	113.31	9.02
size avrage (g/m^3)	7.53	4.91	6.67	10.52	17.13	10.07	17.27	14.71	37.44	39.22	165.47	14.48
SD (g/m^3)	7.70	1.25	2.07	9.46	5.04	5.93	2.08	6.36	10.90	4.99		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การกระจายตัวและการสะสมของฝุ่นในแต่ละขนาดจากเครื่อง MOUDI

ตารางที่ ค-1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองในขนาดต่างๆ (g/m^3) จากการคำนวณการกระจายตัวของรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่

size (μm)	0.1--0.18	0.18--0.32	0.32--0.56	0.56--1.0	1.0--1.8	1.8--3.2	3.2--5.6	5.6--10	10--18	total
BusA1	31.64	46.69	39.56	42.26	0.50	4.62	69.11	34.11	nd	268.50
BusA2	148.89	171.58	46.41	117.19	8.47	40.81	5.09	25.77	36.62	600.83
BusA3	21.76	172.00	115.90	33.61	23.83	nd	nd	56.72	38.85	462.68
BusB1	164.65	96.11	148.23	33.73	nd	nd	14.46	20.35	65.40	542.94
BusB2	330.53	142.78	66.97	357.83	434.59	409.58	nd	24.30	107.12	1873.71
BusB3	239.04	6.67	225.24	321.80	19.22	264.62	2.83	82.98	37.66	1200.06
BusB4	107.82	108.19	103.20	35.57	54.87	46.93	nd	19.40	61.25	537.23
BusC1	137.84	107.19	115.60	53.70	54.52	75.66	14.05	nd	159.95	718.51
BusC2	49.59	103.11	4.29	14.20	156.95	41.13	nd	163.83	36.17	569.27
BusC3	32.12	736.15	1326.84	1065.17	nd	nd	258.00	nd	6.42	3424.71
EURO-II	69.95	67.78	452.17	21.38	14.40	65.68	44.84	63.09	5.66	804.95
NGV	106.98	86.93	nd	15.64	20.40	17.79	15.68	33.29	nd	296.72
Truck	435.64	41.23	59.78	14.69	46.57	5.29	11.41	12.59	14.49	641.67

หมายเหตุ: nd = no data

ตารางที่ ค-2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองในขนาดต่างๆ (g/m^3) จากการคำนวณการกระจายตัวของรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

size (μm)	0.1--0.18	0.18--0.32	0.32--0.56	0.56--1.0	1.0--1.8	1.8--3.2	3.2--5.6	5.6--10	10--18	total
PUA1	40.45	27.76	14.93	nd	6.40	23.61	12.14	3.64	19.37	148.31
PUA2	143.29	80.87	61.32	13.30	92.73	138.25	46.45	47.97	56.76	680.94
PUA3	43.91	26.10	12.08	nd	9.74	5.06	8.39	1.30	7.19	113.76
PUA4	64.19	28.22	14.93	47.43	5.27	6.53	3.35	1.62	3.51	175.05
PUB1	33.75	105.76	86.07	nd	nd	69.89	33.85	nd	nd	329.32
PUB2	28.62	18.75	24.59	20.95	64.47	23.33	14.42	34.58	2.17	231.89
PUB3	26.95	9.12	7.87	nd	5.42	5.21	9.88	13.74	3.67	81.87
PUB4	111.08	172.39	32.52	nd	2.38	4.87	6.25	5.35	8.00	342.83
PUB5	27.50	12.74	20.81	16.10	17.59	25.65	8.79	49.00	41.68	219.86
VAN1	36.82	29.48	27.62	18.46	18.61	18.19	18.13	13.26	11.46	192.03
VAN2	69.35	9.42	29.06	4.68	45.95	nd	8.97	6.23	nd	173.66
VAN3	121.49	59.94	43.13	50.55	7.64	71.72	1.09	nd	54.14	409.70

หมายเหตุ: nd = no data

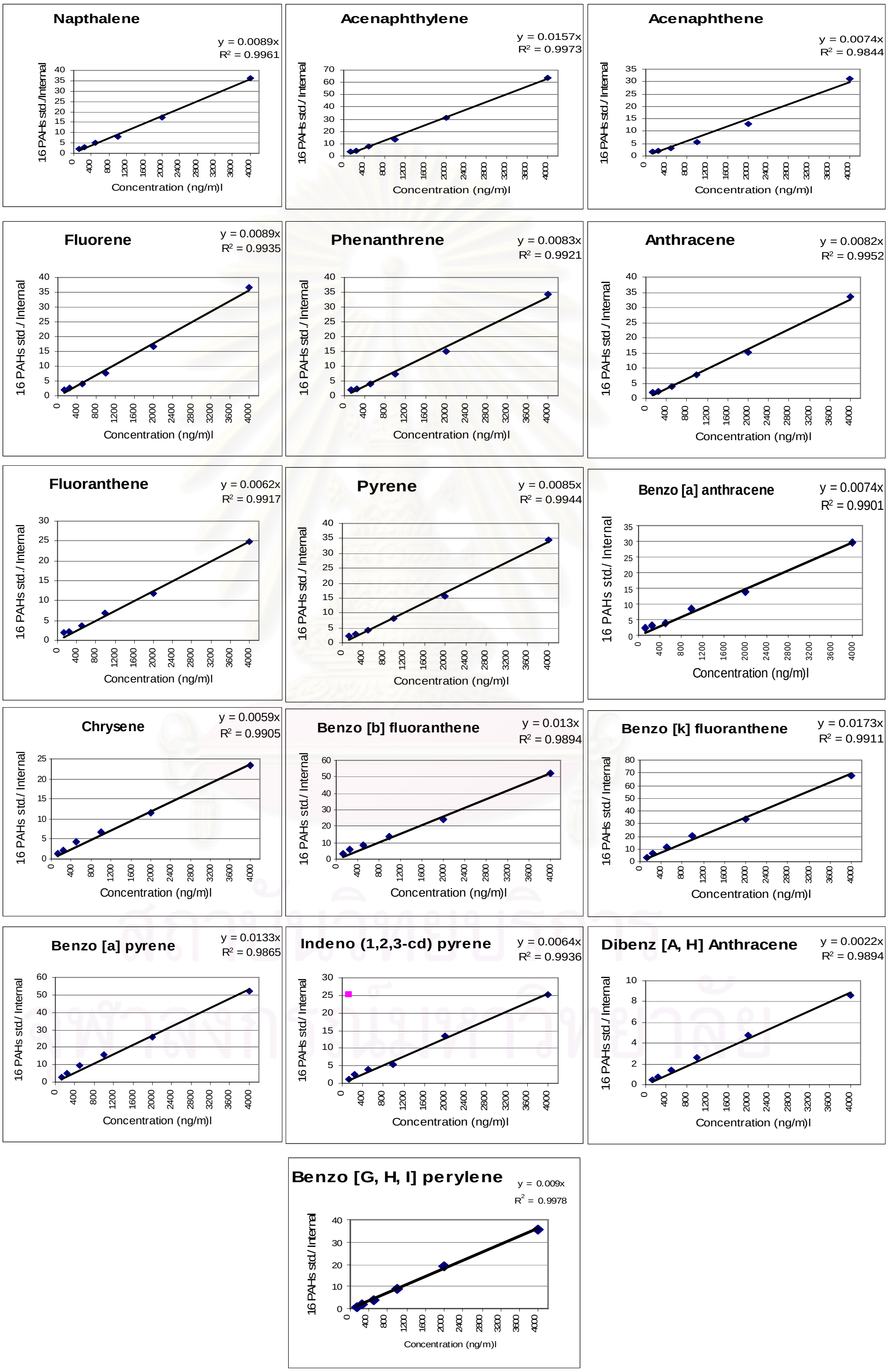
ตารางที่ ค-4 เปอร์เซ็นต์การตกสะสมของฝุ่นละอองในชั้นต่างๆ ของรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่และดีเซลขนาดเล็ก

size range (μm)	AF (<.18)	.18 - .32	.32 - .56	.56 - 1.0	1.0 -1.8	1.8-3.2	3.2 --5.6	5.6 --10	10 --18	PF (>18)
BusA1	16	26	41	53	66	67	68	89	100	100
BusA2	15	37	61	67	84	85	90	91	95	100
BusA3	29	32	59	76	81	85	85	85	94	100
BusB1	36	56	67	84	88	88	88	90	92	100
BusB2	23	37	42	45	60	78	95	95	96	100
BusB3	17	34	34	49	72	73	91	92	97	100
BusB4	25	41	56	69	74	82	89	89	91	100
BusC1	22	37	49	61	67	73	81	82	82	100
BusC2	13	21	36	37	39	63	70	70	94	100
BusC3	4	4	25	62	93	93	93	100	100	100
EURO-II	3	12	20	74	76	78	86	92	99	100
Truck	9	71	77	85	87	94	95	96	98	100
BUSA average	20	32	53	65	77	79	81	88	96	100
BUSB average	25	42	50	62	74	80	91	91	94	100
BUSC average	13	21	37	53	66	76	81	84	92	100
HDDV CF avr.	19	31	47	60	72	78	84	88	94	100

size range (μm)	AF (<.18)	.18 - .32	.32 - .56	.56 - 1.0	1.0 -1.8	1.8-3.2	3.2 --5.6	5.6 --10	10 --18	PF (>18)
PUA1	10	54	66	72	72	75	85	90	92	100
PUA2	3	23	35	43	45	59	78	85	92	100
PUA3	25	54	72	79	79	86	89	94	95	100
PUA4	22	51	63	70	91	93	96	98	98	100
PUB1	17	25	52	74	74	74	92	100	100	100
PUB2	17	28	34	43	50	74	82	87	99	100
PUB3	33	55	63	69	69	74	78	86	97	100
PUB4	9	39	85	93	93	94	95	96	98	100
PUB5	20	31	35	42	48	55	64	67	85	100
VAN1	25	39	51	61	69	76	83	90	95	100
VAN2	31	59	63	74	76	94	94	98	100	100
VAN3	9	36	50	59	70	72	88	88	88	100
PUA average	15	46	59	66	72	78	87	92	94	100
PUB average	19	36	54	64	67	74	82	87	96	100
VAN average	22	45	54	65	72	81	88	92	94	100
LDDV CF avr.	19	42	56	65	70	78	86	90	95	100

ภาคผนวก ง

กราฟมาตรฐานของสาร PAHs 16 ชนิด



ภาคผนวก จ

ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย EF ของฝุ่นละอองจากรถยนต์ดีเซลเล็กและดีเซลใหญ่

Vehicle group 1 = HDDV จำนวน 12 คัน (ยกเว้น NGV)

Vehicle group 2 = LDDV จำนวน 12 คัน

T-Test

Group Statistics

	GROUP	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
VEHICLES	1.00	12	41.6167	33.97806	9.80862
	2.00	12	6.2717	3.39747	.98077

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
VEHICLES	Equal variances assu	11.802	.002	3.586	22	.002	35.3450	9.85753	4.90173	5.78827
	Equal variances not assumed			3.586	11.220	.004	35.3450	9.85753	3.70049	6.98951

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ

ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองระหว่าง HDDVกับ LDDV

Vehicle group 1 = HDDV จำนวน 12 คัน (ยกเว้น NGV)

Vehicle group 2 = LDDV จำนวน 12 คัน

T-Test

Group Statistics

	GROUP	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
VEHICLES	1.00	12	287.4592	230.55170	66.55454
	2.00	12	77.7775	38.88654	11.22558

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
VEHICLES	Equal variances assume	9.351	.006	3.107	22	.005	209.6817	67.49460	69.70644	349.6569
	Equal variances not assumed			3.107	11.625	.009	209.6817	67.49460	62.09624	357.2671

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช

1) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร pPAHs ระหว่าง HDDV และ LDDV

vehicle group 1 = HDDV 12 คัน (ยกเว้น NGV)

vehicle group 2 = LDDV 9 คัน (ยกเว้น PUA1, PUA2 และ PUA3)

T-Test

Group Statistics

	GROUP	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
VEHICLES	1.00	12	5.6058	2.12619	.61378
	2.00	9	3.2122	1.07015	.35672

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
VEHICLES	Equal variances assumed	7.635	.012	3.083	19	.006	2.3936	.77632	.76876	4.01846
	Equal variances not assumed			3.372	17.017	.004	2.3936	.70991	.89594	3.89128

2) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย EF ของสาร pPAHs ระหว่าง HDDV และ LDDV

T-Test

Group Statistics

	GROUP	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
VEHICLE	1.00	12	1.4883	.68189	.19685
	2.00	9	.4845	.16027	.05342

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
VEHICLE	Equal variances assumed	15.104	.001	4.302	19	.000	1.0039	.23334	.51548	1.49225
	Equal variances not assumed			4.922	12.586	.000	1.0039	.20397	.56175	1.44599

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสุทธิชานน์ นิลฤทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 6 มิถุนายน พ.ศ. 2523 อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนอนุบาลสุรินทร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนสุรวิทยาคาร อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป จากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษาหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมในปี 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย