

ผลกระทบของน้ำมันไบโอดีเซลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก
และการลดปริมาณเขม่าควันดำจากรถยนต์ดีเซล

Impact of Biodiesel on Diesel Vehicle Thermal Efficiency
and Soot Reduction



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Impact of Biodiesel on Diesel Vehicle Thermal Efficiency
and Soot Reduction



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2566

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลกระทบของน้ำมันไบโอดีเซลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการลดปริมาณเขม่าควันดำ
จากรถยนต์ดีเซล

Impact of Biodiesel on Diesel Vehicle Thermal Efficiency and Soot Reduction

ผู้จัดทำ

- | | | | |
|-------------|-----------------|--------------|----------|
| 1. นายณภัทร | ปาละวณิชกุล | รหัสประจำตัว | 63010282 |
| 2. นายธัญญะ | งามประเสริฐโสภณ | รหัสประจำตัว | 63010456 |
| 3. นายสรวิศ | มลวิสัย | รหัสประจำตัว | 63010949 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ปรีชา การินทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของน้ำมันไบโอดีเซลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการลดปริมาณเขม่าควันดำจากรถยนต์ดีเซล

นายณภัทร	पालะวัธนะกุล	63010282
นายธัญญะ	งามประเสริฐโสภณ	63010456
นายสรวิศ	มลวิสัย	63010949
รศ.ดร.ปรีชา	การินทร์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2566		

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (Brake thermal efficiency) และการลดเขม่าที่เกิดขึ้นจากการสันดาปของเครื่องยนต์ดีเซล จากการใช้ น้ำมันไบโอดีเซล B100 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล B7 เพื่อเป็นการลดปัญหามลภาวะทางอากาศที่เกิดจาก PM2.5 และลดปัญหาภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect) การใช้พลังงานทางเลือกจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากพืชช่วยลดปัญหาโลกร้อนจากกระบวนการเติบโตของต้นปาล์มที่สามารถลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) โดยจากการศึกษาพบว่ารถยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific fuel consumption) ที่มากกว่ารถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 เนื่องจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล B100 มีค่าความร้อน (Calorific value) ที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล B7 อย่างไรก็ตามรถยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 มีอัตราการใช้พลังงานจำเพาะเบรก (Brake specific energy consumption) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (Brake thermal efficiency) ที่ใกล้เคียงกันกับรถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 นอกเหนือจากนั้นยังพบว่าการใช้ น้ำมันไบโอดีเซล B100 สามารถลดเขม่าที่เกิดขึ้นจากการสันดาปของเครื่องยนต์ได้เนื่องจากอะตอมของออกซิเจนในโมเลกุลของน้ำมันไบโอดีเซล B100 ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่มีปริมาณเขม่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญประมาณร้อยละ 50 นอกจากนี้ความยาวเฉลี่ยของผลึกกราฟไฟต์ของน้ำมันไบโอดีเซล B100 มีขนาดสั้นกว่าน้ำมันดีเซล B7 13.7% โดยมีความยาวสูงสุด 3.062 nm ในขณะที่ความยาวสูงสุดของผลึกกราฟไฟต์ของน้ำมันดีเซล B7 มีค่า 4.296 nm และความหนาแน่นของเขม่าของน้ำมันไบโอดีเซล B100 คือ 2.09 g/cm³ มีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซล B7 ที่มีความหนาแน่นของเขม่าเท่ากับ 2.25 g/cm³ ประมาณ 7%

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล B100, อนุภาคเขม่า, ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก, เครื่องยนต์ดีเซล, โครงสร้างนาโน

Impact of Biodiesel on Diesel Vehicle Thermal Efficiency and Soot Reduction

Napat	Palavathanakul	63010282
Thanya	Ngamprasertsophon	63010456
Sorrawit	Monwisai	63010949
Assoc.Prof.Dr.Preechar	Karin	Advisor
Year 2566		

ABSTRACT

The objective of this research is to study the effect on brake thermal efficiency and the reduction of soot generated from the combustion of diesel engines. By using biodiesel B100 compared to standard diesel B7 to reduce air pollution problems caused by PM2.5 and the greenhouse effect problem, using alternative energy from biofuels produced from plants helps reduce global warming problems from the growing process of palm trees, which can reduce the amount of carbon dioxide through photosynthesis. The study found that cars using biodiesel B100 have a higher brake specific fuel consumption than cars using diesel B7 because biodiesel B100 has a lower calorific value than diesel B7 fuel. However, cars using biodiesel B100 have brake specific energy consumption and brake thermal efficiency that are similar to those of cars using diesel B7 fuel. It was also found that using biodiesel B100 can reduce soot caused by engine combustion. This is because the oxygen atoms in the biodiesel molecule contribute to more complete combustion. The amount of soot was reduced by approximately 50 percent. The average fringe length of biodiesel B100 is 13.7% shorter than that of diesel B7. The longest fringe length of diesel B7 and biodiesel B100 are 4.296 nm and 3.062 nm respectively. The soot density of biodiesel B100 is 2.09 g/cm³, which is approximately 7% less than that of diesel B7, which has a soot density of 2.25 g/cm³.

Keywords: Biodiesel, Particular matter, Brake Thermal Efficiency, Nanostructure

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือของ รศ. ดร.ปรีชา การินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา ทั้งในด้านวิชาการ แนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆเสมอมา จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ และขอบพระคุณเจ้าหน้าที่สาขาที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เพื่อเป็นการอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

กราบขอบพระคุณบิดา มารดาที่เป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษาและเอาใจใส่เป็นอย่างดีเสมอมา ตลอดจนค่าใช้จ่ายเพื่อการสนับสนุนในการศึกษาอย่างเต็มที่ รวมถึงญาติ พี่น้อง และเพื่อนๆ ที่ให้การช่วยเหลือ และให้กำลังใจเสมอมา

นายณภัทร	ปาละวัธนะกุล
นายธัญญะ	งามประเสริฐโสภณ
นายสรวิศ	มลวิสัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	1
1.3 สมมติฐานการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (Brake Thermal Efficiency).....	4
2.1.1 Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)	4
2.1.2 Brake Specific Energy Consumption (BSEC).....	4
2.1.3 Brake Thermal Efficiency (BTE).....	4
2.2 เครื่องยนต์ดีเซลระบบรางร่วมแบบหัวฉีดตรง (Direct Injection Common Rail Diesel Engine).....	5
2.3 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuels).....	5
2.4 เขม่า (Soot).....	7
2.4.1 การก่อตัวของเขม่า (Soot formation).....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 องค์ประกอบของเขม่า (Composition of soot).....	7
2.4.2 เกล็ดและผลึกคาร์บอน (Platelet and crystallite of carbon).....	8
2.5 อนุภาคฝุ่น (Particulate matters, PMs).....	9
2.6 ผลกระทบของอนุภาคฝุ่น PM2.5 ต่อสุขภาพของมนุษย์.....	11
2.7 มาตรฐานการปล่อยมลพิษอนุภาคฝุ่นของไอเสียเครื่องยนต์ (Engine's particulate matters emission standards).....	11
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.8.1 Experimental investigation of the effect of ethanol and and bio-diesel blended diesel fuels on combustion behavior and emission characteristics of common rail direct injection diesel engine	13
2.8.2 Influence of ethanol-biodiesel blends on diesel engines combustion behavior and particulate matter physicochemical characteristics	13
2.8.3 An extensive analysis of biodiesel blend combustion characteristics under a wide range of thermal conditions of a cooperative fuel research engine	14
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย	15
3.1 เครื่องยนต์.....	15
3.2 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ.....	16
3.3 วิธีดำเนินการทดสอบรถยนต์.....	17
3.3.1 ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	17
3.3.2 ณ กรมควบคุมมลพิษ	21
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล และแสดงผลข้อมูล.....	24
3.4.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก	24
3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณของเขม่า และก๊าซไอเสีย	24
3.4.3 การวิเคราะห์การปล่อยไอเสียแบบเรียลไทม์	24
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	25
4.1 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์	25
4.1.1 อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Consumption rate).....	25
4.1.2 อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption).....	25
4.1.3 อัตราการใช้พลังงาน (Energy Consumption rate).....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเบรก (Brake Specific Energy Consumption).....	27
4.1.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจำเพาะเบรก (Brake Thermal Efficiency)	27
4.1.6 อุณหภูมิท่อไอเสีย (Exhaust Temperature).....	28
4.2 วิเคราะห์การปล่อยก๊าซไอเสียและอนุภาคเขม่า.....	29
4.3 สัณฐานวิทยาของเขม่า (Soot morphology).....	36
4.4 วิเคราะห์โครงสร้างของเขม่าในระดับนาโน (Soot analysis at nanostructure level)	40
4.5 การลดปริมาณอนุภาคเขม่าของรถยนต์จากชั้นบรรยากาศของกรุงเทพฯ (Reduction of diesel-vehicle PM from Bangkok's atmosphere).....	42
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	43
บรรณานุกรม.....	44
ภาคผนวก.....	49
ภาคผนวก ก โปรแกรม Matlab การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องยนต์.....	50

สารบัญรูปภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 การกระจายตัวของอนุภาคของไอเสียรถยนต์ ทั้งด้านปริมาณและจำนวน	8
รูปที่ 2.2 โครงสร้างย่อยของอนุภาคเขม่า.....	8
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเขม่าดีเซลในระดับไมโครเมตร	9
รูปที่ 2.4 ความเข้มของเขม่าจาก ก) น้ำมันดีเซล และ ข) น้ำมันไบโอดีเซล ที่เงื่อนไขการทดสอบเดียวกัน	10
รูปที่ 2.5 มาตรฐานการปล่อยมลพิษไอเสียจากรถยนต์	11
รูปที่ 3.1 เครื่องยนต์ดีเซล 2KD-FTV	15
รูปที่ 3.2 แผนภาพจำลองการทดสอบรถยนต์ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า.....	17
รูปที่ 3.3 ชุดทดสอบสมรรถนะและประสิทธิภาพรถยนต์ (Chassis dynamometer) พร้อมทั้งวัดปริมาณอนุภาคเขม่าในไอเสีย ให้สามารถลดปริมาณมลพิษอนุภาคเขม่าได้ เมื่อเทียบกับ B7 และ B100 ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยียานยนต์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	18
รูปที่ 3.4 เครื่องวัดควันดำและกระดาศกรอง	18
รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียรถยนต์รุ่น AVL DITEST GAS 1000	19
รูปที่ 3.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) ...	20
รูปที่ 3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM)	20
รูปที่ 3.8 แผนภาพจำลองการทดสอบรถยนต์ ณ กรมควบคุมมลพิษ.....	21
รูปที่ 3.9 New European Driving Cycle.....	21
รูปที่ 3.10 การทดสอบเพื่อหาปริมาณของอนุภาคฝุ่นที่ถูกปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมัน B7 และ B100 ณ ห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะ กรมควบคุมมลพิษ	22
รูปที่ 3.11 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียรถยนต์รุ่น AVL AMA i60 SII	22
รูปที่ 3.12 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียรถยนต์รุ่น AVL PSS i60 SII.....	23
รูปที่ 3.13 เครื่องเก็บตัวอย่างปริมาตรคงที่รุ่น AVL CVS i60 SII	23
รูปที่ 3.14 เครื่องนับอนุภาค (Particle counter) รุ่น AVL Particle counter	24

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 4.1 อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Consumption rate)	25
รูปที่ 4.2 อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงเบรก (Brake Specific Fuel Consumption)	26
รูปที่ 4.3 อัตราการใช้พลังงาน (Energy Consumption rate)	26
รูปที่ 4.4 อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเบรก (Brake Specific Energy Consumption)	27
รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจำเพาะเบรก (Brake Thermal Efficiency).....	28
รูปที่ 4.6 อุณหภูมิท่อไอเสีย (Exhaust Temperature).....	28
รูปที่ 4.7 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 โดยวัดค่าแบบ Real-time.....	29
รูปที่ 4.8 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 ในช่วงการขับขึ้นเมืองและบนทางด่วน	29
รูปที่ 4.9 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 โดยวัดค่าแบบ Real-time.....	30
รูปที่ 4.10 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 ในช่วงการขับขึ้นเมืองและบนทางด่วน	30
รูปที่ 4.11 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 โดยวัดค่าแบบ Real-time.....	31
รูปที่ 4.12 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 ในช่วงการขับขึ้นเมืองและบนทางด่วน	31
รูปที่ 4.13 ปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 โดยวัดค่าแบบ Real-time	32
รูปที่ 4.14 ปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 ในช่วงการขับขึ้นเมืองและบนทางด่วน	32
รูปที่ 4.15 ค่าความทึบแสงจากรถยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 โดยวัดค่าแบบ Real-time.....	33
รูปที่ 4.16 ค่าความทึบแสงจากรถยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 ในช่วงการขับขึ้นเมืองและบนทางด่วน	33
รูปที่ 4.17 จำนวนของอนุภาคจากรถยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 โดยวัดค่าแบบ Real-time.....	34
รูปที่ 4.18 จำนวนของอนุภาคจากรถยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 ในช่วงการขับขึ้นเมืองและบนทางด่วน	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 4.19	น้ำหนักของอนุภาคจากกรดยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 ในช่วงการขับขี่ในเมืองและบนทางด่วน	35
รูปที่ 4.20	ก) กระจกกรองเขม่าที่ใช้กับน้ำมันดีเซล B7, ข) SEM image of B7, ค) กระจกกรองเขม่าที่ใช้กับน้ำมันไบโอดีเซล B100 และ ง) SEM image of B100	37
รูปที่ 4.21	ภาพถ่ายอนุภาคเดี่ยวของเขม่าจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ก) น้ำมันดีเซล B7 และ ข) น้ำมันไบโอดีเซล B100	38
รูปที่ 4.22	EDS Spectra of ก) B7 และ ข) B100 at 1500 rpm and 160 Nm	39
รูปที่ 4.23	EDS Spectra of ก) B7 และ ข) B100 at 2500 rpm and 160 Nm	39
รูปที่ 4.24	แสดงขั้นตอนในการประมวลผลภาพตั้งแต่การกำหนดบริเวณ เปลี่ยนเป็นภาพขาวดำและทำให้กลายเป็นภาพโครงร่าง ของ ก) น้ำมันดีเซล B7 และ ข) น้ำมันไบโอดีเซล B100	41
รูปที่ 4.25	สัดส่วนของ PM _{2.5} ในชั้นบรรยากาศกรุงเทพ	42
รูปที่ 4.26	แสดงปริมาณของ PM _{2.5} จากกรดยนต์ดีเซลที่จะลดลงหากใช้น้ำมันไบโอดีเซล	42

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบธาตุของเขม่า	7
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง	10
ตารางที่ 2.3 ปัญหาสุขภาพที่เกิดจาก PM 2.5.....	12
ตารางที่ 2.4 ค่าการวิเคราะห์โครงสร้างนาโนของเขม่า น้ำมันดีเซล B7 และน้ำมันไบโอดีเซล B100 14	14
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของรถกระบะเครื่องยนต์ดีเซล 2KD-FTV	15
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ	16
ตารางที่ 3.3 ความแม่นยำและช่วงการวัดของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย AVL.....	19
ตารางที่ 4.1 SEM images of fuels in various magnifications	37
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างนาโนของเขม่า	41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

แหล่งพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ในปัจจุบันนั้นเป็นพลังงานที่มาจากเผาไหม้ (Combustion) ของเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuels) เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon compounds) การเผาไหม้ของไฮโดรคาร์บอนก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) ซึ่งส่งผลให้เกิดสภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect) การใช้พลังงานทางเลือกจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากพืชช่วยลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศได้จากการกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) นอกจากนี้การเผาไหม้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่สมบูรณ์ก็ทำให้เกิดเขม่าที่เป็นต้นเหตุของมลภาวะทางอากาศในเมืองใหญ่ การใช้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถช่วยลดปัญหามลภาวะทางอากาศได้จากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าการใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐาน

ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลกระทบทางประสิทธิภาพทางความร้อนเบรก (Brake Thermal Efficiency) และการลดเขม่าที่เกิดขึ้นจากการสันดาปของเครื่องยนต์ดีเซล จากการใช้ น้ำมันไบโอดีเซล B100 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล B7 รวมถึงศึกษาโครงสร้างของเขม่าในระดับนาโนเมตร (Soot nanostructure)

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 ต่อประสิทธิภาพความร้อนเบรก (Brake Thermal Efficiency) และการลดปริมาณเขม่าในรถยนต์ดีเซลเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ น้ำมันดีเซล B7
2. เพื่อศึกษาความแตกต่างในลักษณะโครงสร้างระดับนาโนเมตรของเขม่าและความหนาแน่นของคาร์บอนในน้ำมันไบโอดีเซล B100 และน้ำมันดีเซล B7

1.3 สมมติฐานการศึกษา

ปริมาณเขม่าควันดำของรถยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซล B100 ควรจะมีปริมาณที่น้อยกว่าเขม่าของรถยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 เนื่องจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล B100 มีส่วนประกอบของออกซิเจน (O_2) ที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล B7 ทำให้เกิดการเผาไหม้ของไฮโดรคาร์บอนที่สมบูรณ์มากกว่า โดยที่น้ำมันไบโอดีเซล B100 จะไม่มีผลกระทบกับประสิทธิภาพทางความร้อนเบรก (Brake Thermal Efficiency) ของเครื่องยนต์

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ใช้รถยนต์กระบะเครื่องยนต์ดีเซล 2KD-FTV
2. ใช้เชื้อเพลิง B7 และ B100
3. สถานที่ทดสอบ, เงื่อนไข และจุดประสงค์

3.1 ทดสอบ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทดสอบบนชุดทดสอบสมรรถนะรถยนต์ (Chassis dynamometer) ทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1500, 2000 และ 2500 รอบต่อนาที แต่ละความเร็วรอบจะทดสอบ 4 แรงบิดของเครื่องยนต์ คงที่ 84, 112, 140 และ 160 นิวตันเมตร ดังนั้นจึงมี 12 เงื่อนไขในการทดสอบของเครื่องยนต์ เพื่อหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก

3.2 ทดสอบ ณ กรมควบคุมมลพิษ ทดสอบบนชุดทดสอบสมรรถนะรถยนต์ (Chassis dynamometer) โดยกำหนดเงื่อนไขการทดสอบตาม NEDC (New European driving cycles) เพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียจากรถยนต์

4. โครงสร้างไมโคร (Microstructure), โครงสร้างนาโน (Nanostructure) และองค์ประกอบธาตุ ถูกวิเคราะห์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy SEM), กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy TEM), เทคนิคสเปกโทรเมตรีของรังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน (SEM-EDS) และโปรแกรม ImageJ

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง เครื่องทดสอบสมรรถนะรถยนต์ เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียและเครื่องเก็บวัดเขม่า ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. วัดค่าอัตราการไหลของน้ำมัน ปริมาณก๊าซไอเสียและความเข้มข้นของเขม่า และเก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม Arduino ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. ศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางความร้อนเบรกของเครื่องยนต์ด้วยโปรแกรม MATLAB
4. วัดค่าปริมาณและน้ำหนักของ PM2.5 อัตราการปล่อยก๊าซไอเสียและเก็บข้อมูล ณ กรมควบคุมมลพิษ
5. ศึกษาและวิเคราะห์ปริมาณและน้ำหนักของ PM2.5 และอัตราการปล่อยก๊าซไอเสียด้วยโปรแกรม Origin
6. นำกระดาษกรองเขม่าไปส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ศึกษาและวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเขม่าด้วยโปรแกรม ImageJ
8. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาสาเหตุและสรุปผล

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงผลกระทบในด้านประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกและการปล่อยก๊าซไอเสียจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล B7
2. ทราบถึงโครงสร้างของเขม่าในระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรของน้ำมันไบโอดีเซล B100 เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล B7
3. ได้เรียนรู้และสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยไปพัฒนาวิธีการลดการปล่อยเขม่าจากรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (Brake Thermal Efficiency)

2.1.1 Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)

อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกหรือ Brake Specific Fuel Consumption (BSFC) เป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการใช้เชื้อเพลิงและกำลังของการเบรกสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$BSFC = \frac{\dot{m}_f}{\dot{W}_b} \quad (2.1)$$

\dot{m}_f คืออัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงมีหน่วยเป็นกรัมต่อชั่วโมง (g/h) และ \dot{W}_b คือกำลังของการเบรกหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW) และ BSFC จะมีหน่วยเป็นกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง (g/kW·h)

2.1.2 Brake Specific Energy Consumption (BSEC)

อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเบรกหรือ Brake Specific Energy Consumption (BSEC) เป็นค่าของพลังงานที่ใช้เพื่อเปรียบเทียบกับกำลังการเบรก โดย BSEC สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$BSEC = \frac{\dot{m}_f \cdot Q_{LHV}}{\dot{W}_b} \quad (2.2)$$

Q_{LHV} คือค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Calorific Value) มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg)

2.1.3 Brake Thermal Efficiency (BTE)

ประสิทธิภาพทางความร้อนเบรกหรือ Brake Thermal Efficiency (BTE) เป็นค่าแสดงประสิทธิภาพทางความร้อนจากการสันดาปเป็นพลังงานกล โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$BTE = \frac{\dot{W}_b}{\dot{Q}_{in}} \quad (2.3)$$

\dot{W}_b คือกำลังของการเบรกมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW) และ \dot{Q}_{in} คืออัตราการไหลของพลังงานที่ได้จากการสันดาปภายใน สามารถคำนวณได้จากผลคูณของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW)

2.2 เครื่องยนต์ดีเซลระบบรางร่วมแบบหัวฉีดตรง (Direct Injection Common Rail Diesel Engine)

เครื่องยนต์ (Engine) เป็นกลไกที่แปลงพลังงานเคมีจากเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนเป็นพลังงานกลไกโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภทคือเครื่องยนต์สันดาปภายนอก (External combustion engine) และเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal combustion engine) โดยเครื่องยนต์สันดาปภายในจะสร้างพลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนภายในเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นที่นิยมในภาคการขนส่งในปัจจุบัน โดยเฉพาะในเครื่องยนต์เบนซิน และเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระบบการจุดระเบิดแบบอัด เนื่องจากมีความทนทาน ไม่ซับซ้อน ได้อัตราส่วนของกำลังต่อน้ำหนักที่สูง และต้นทุนต่ำ [12]

โดยงานวิจัยฉบับนี้จะเน้นที่เครื่องยนต์ดีเซลเป็นหลัก เนื่องจากกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้การบีบอัดตัวของอากาศภายในสภาวะแรงดันและอุณหภูมิที่สูง ทำให้มีโอกาสเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จนก่อให้เกิดแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO) และเขม่าขนาดเล็กจากการเผาไหม้มากกว่าเครื่องยนต์เบนซิน อย่างไรก็ตามเครื่องยนต์ดีเซลยังมีการใช้กันอยู่ในปัจจุบันเนื่องจากกำลังที่สูง และยังมีประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูงกว่าเครื่องยนต์เบนซิน เนื่องจากอัตราการบีบอัดที่สูงและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่สูงกว่าน้ำมันเบนซิน โดยในปัจจุบันมีการเพิ่มความเข้มงวด และการกำหนดมาตรฐานการปล่อยไอเสียของรถ โดยเฉพาะรถประเภทเครื่องยนต์ดีเซลมากขึ้น ซึ่งการลดปริมาณไอเสียและเขม่าสามารถทำได้โดยผ่านวิธีการหลักๆดังนี้

- การใช้เชื้อเพลิงที่มีปริมาณออกซิเจนที่สูง (Pre-combustion method)
- การควบคุมการสันดาปของเครื่องยนต์ เช่นการควบคุมระบบหัวฉีด การตั้งแรงอัดของลูกสูบ หรือการใช้เครื่องยนต์ HCCI อื่นๆ เป็นต้น
- การบำบัดหลังการเผาไหม้ (Post-combustion method) โดยการใช้อุปกรณ์ดักจับฝุ่นหรือเขม่าขนาดเล็ก เช่น Diesel Oxidation Catalyst (DOC) และ Diesel Particulate Filter (DPF) เป็นต้น

โดยในงานวิจัยฉบับนี้จะศึกษาการลดปริมาณไอเสียและเขม่าของเครื่องยนต์ดีเซลโดยการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ นั่นคือน้ำมันไบโอดีเซล B100 ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐาน

2.3 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuels)

เชื้อเพลิงชีวภาพ (biofuels) เป็นพลังงานทางเลือกที่ผลิตจากชีวมวล เช่น ปาล์ม หรืออ้อย เป็นต้น อาจผลิตจากของเสียชีวภาพ เช่น น้ำมันที่ใช้แล้วหรือมูลสัตว์ โดยทั่วไปสามารถแยกเชื้อเพลิงชีวภาพออกเป็น 3 กลุ่มคือ ก๊าซเช่น ไบโอก๊าซ ของเหลวเช่น ไบโอดีเซลหรือเอทานอล และของแข็งเช่น ไม้ หรือพืชบางชนิดที่สามารถนำไปผลิตเป็นพลังงานความร้อนได้ โดยที่เชื้อเพลิงชีวภาพกลุ่มของเหลว มีประโยชน์หลายประการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความสะอาดในการขนส่ง การเก็บรักษา รวมไปถึงการนำกลับมาใช้ [1]
- ความสามารถในการลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก และอนุภาคขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงปิโตรเคมี [2]
- สามารถเป็นแหล่งพลังงานสำรองเพื่อเป็นความมั่นคง และเสถียรภาพทางเศรษฐกิจของประเทศ [3]
- เป็นการเพิ่มมูลค่าทางการตลาดของผลผลิตทางการเกษตรของเกษตรกร [4]

ปัจจุบันสามารถแบ่งเชื้อเพลิงชีวภาพออกเป็นสามรุ่น ตามประเภทของวัสดุอาหารชีวภาพ โดยรุ่นแรกจะถูกสร้างจากพืชอาหารโดยตรงเช่นมันสำปะหลัง, ถั่วเหลือง, อ้อย, ข้าวโพด, ข้าวสาลี และน้ำมันพืชเป็นต้น [5], [6] รุ่นที่ 2 จะต่างจากรุ่นแรกโดยที่จะผลิตจากวัสดุอาหารที่ไม่สามารถบริโภคได้ หรือไม่เป็นที่นิยมในการบริโภคเช่น เมล็ดพืช, หญ้าสัตว์, หญ้าอินเดีย, น้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว และขยะมูลฝอยที่เป็นของเสียจากการบำบัดน้ำประปา [7], [8] ส่วนรุ่นที่ 3 รุ่นนี้มีการพัฒนาและวิจัยอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงในอนาคต โดยสามารถผลิตได้จากการนำสาหร่ายขนาดเล็กและขนาดใหญ่ (micro and macro algae) มาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิง อย่างไรก็ตามการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยใช้วิธีนี้จำเป็นต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมาก และยังต้องการสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดย Yang et al. ได้คำนวณทรัพยากรในการผลิตไบโอดีเซล 1 กิโลกรัมจำเป็นต้องใช้น้ำถึง 3,726 กิโลกรัม ไนโตรเจน 0.33 กิโลกรัม และฟอสฟอรัส 0.71 กิโลกรัมในการเลี้ยงสาหร่าย [9]

เชื้อเพลิงชีวภาพ 2 รุ่นคือรุ่นที่ 1 และ 2 ถูกใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันโดยเฉพาะในการผลิตเป็นไบโอดีเซล (Biodiesel) [10] โดยส่วนใหญ่จะใช้น้ำมันที่ทิ้งกินได้และไม่ได้ในการผลิตเป็นกรดไขมัน โดยสามารถนำมาใช้ผสมกับเชื้อเพลิงดีเซลปกติได้เนื่องจากมีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีคล้ายกัน นอกจากนี้ไบโอดีเซลยังสามารถลดการเกิดเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้จากการสันดาปของเครื่องยนต์ เนื่องจากไบโอดีเซลมีส่วนประกอบของออกซิเจน (O_2) ที่มากกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐาน ซึ่งช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น [10], [11] และไบโอดีเซลจากพืชยังเป็นเชื้อเพลิงที่มีความเป็นกลางทางคาร์บอน ซึ่งเป็นการลดปัญหาภาวะเรือนกระจกอีกด้วย โดยในประเทศไทยไบโอดีเซลถูกผลิตจากน้ำมันปาล์มด้วยการใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification Process) คือการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในน้ำมันปาล์มให้เปลี่ยนเป็นกรด

ไขมันในน้ำมันดีเซลด้วยแอลกอฮอล์ อย่างไรก็ตามต้นทุนการผลิตของไบโอดีเซลด้วยวิธีนี้มีราคาสูง โดยเฉพาะราคาของวัตถุดิบประเภทน้ำมัน โดยตามปกติที่น้ำมันพืชจะมีราคาสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 10% – 15% ปัจจุบันจึงนิยมใช้น้ำมันไบโอดีเซลมาผสมกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนการผลิต และช่วยการลดการเกิดมลภาวะทางอากาศ

2.4 เเขม่า (Soot)

2.4.1 การก่อตัวของเเขม่า (Soot formation)

ในกระบวนการเผาไหม้ (Combustion) โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนภายในเชื้อเพลิงจะเกิดการแตกตัว โมเลกุลที่แตกตัวของไฮโดรคาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับอะตอมของออกซิเจน (O_2) เพื่อผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไอน้ำ (H_2O) อย่างไรก็ตามหากระดับออกซิเจนที่จะใช้ในกระบวนการเผาไหม้ไม่เพียงพอ อะตอมของคาร์บอนจะรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้นเรียกว่าเเขม่าดัง [14]

2.4.2 องค์ประกอบของเเขม่า (Composition of soot)

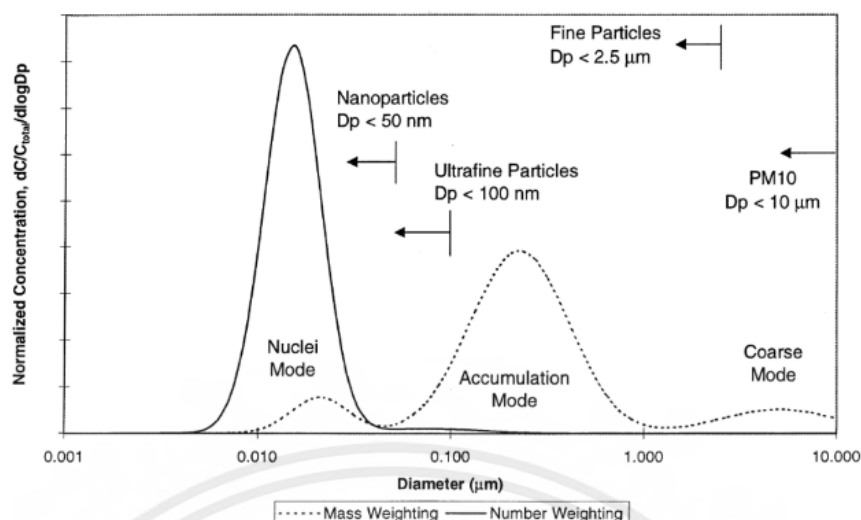
เเขม่าเป็นสิ่งที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนที่ไม่สมบูรณ์ มีองค์ประกอบหลักคือธาตุคาร์บอน (Carbon) และมีส่วนผสมของไฮโดรเจน, ไนโตรเจน, ออกซิเจน, กำมะถันอยู่บ้างเล็กน้อย [15] แสดงในตารางที่ 2.1 [16]

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบธาตุของเเขม่า

Element	C	H	N	O	S
Virgin soot	83.5	1.04	0.24	10.5	1.13
Degassed soot	83.8	0.85	0.22	10.7	0.10

2.4.3 โครงสร้างของเเขม่า (Structure of soot)

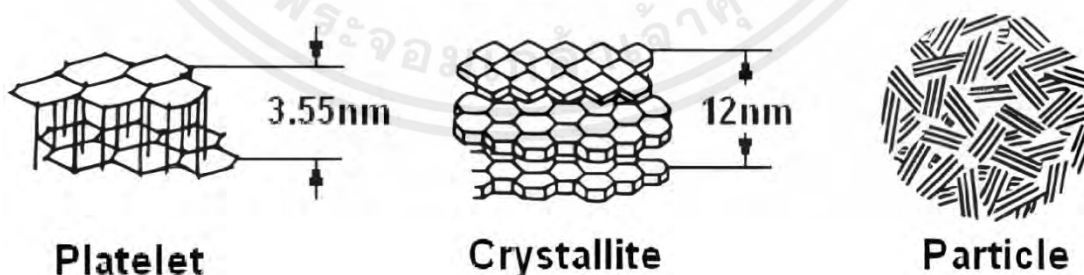
จากการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscopy, TEM) พบว่ากลุ่มอนุภาคเเขม่าถูกพบว่ามีลักษณะคล้ายสัร้อยคอมมีขนาดประมาณ 100 ไมโครเมตร โดยกลุ่มอนุภาคของเเขม่าประกอบไปด้วยอนุภาคเเขม่าที่มีขนาดเล็กและมีรูปร่างใกล้เคียงกับทรงกลม [16] ในหนึ่งกลุ่มอนุภาคเเขม่าอาจมีอนุภาคเเขม่าทรงกลมถึง 4000 อัน โดยแต่ละอันมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณตั้ง 10-80 นาโนเมตร แต่ส่วนใหญ่จะมีขนาดอยู่ที่ 15-50 นาโนเมตร [17] อนุภาคเเขม่าทรงกลมเหล่านี้เรียกว่า อนุภาคเดี่ยวปฐมภูมิระดับนาโน (Primary single nanoparticle) [18] เมื่อเครื่องยนต์มีเปอร์เซ็นต์การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้นขนาดของอนุภาคกลุ่มมีโอกาสที่จะขยายใหญ่ขึ้น หากการขยายมีขนาดไม่เกิน 2,500 นาโนเมตร จะเรียกว่า PM_{2.5} (Particulate matter 2.5) และถ้าไม่เกิน 10,000 นาโนเมตร จะเรียกว่า PM₁₀ (Particulate matter 10) ดังแสดงใน รูปที่ 2.1 [19]



รูปที่ 1.1 การกระจายตัวของอนุภาคของไอเสียรถยนต์ ทั้งด้านปริมาณและจำนวน

2.4.2 เกล็ดและผลึกคาร์บอน (Platelet and crystallite of carbon)

จากการศึกษาพื้นผิวของอนุภาคเดี่ยวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) พบว่าในอนุภาคประกอบไปด้วยผลึกเขม่าที่เรียงซ้อนกันจนมีรูปร่างเป็นทรงกลม [20] การใช้เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffraction) สามารถบ่งชี้ว่าคาร์บอนอะตอมของอนุภาคเดี่ยวเรียงตัวกันเป็นรูปหกเหลี่ยมโดยทั่วไปสิ่งนี้ถูกเรียกว่าเกล็ดคาร์บอน (Carbon platelets) จะถูกเรียงตัวซ้อนกันเป็นชั้นๆทำให้เกิดเป็นผลึกคาร์บอน (Carbon crystallite) ภายในหนึ่งผลึกจะประกอบด้วยเกล็ดคาร์บอนประมาณ 2-5 ชั้นโดยมีระยะห่างระหว่างชั้นจะอยู่ที่ 3.55 นาโนเมตร และผลึกคาร์บอนมีความหนาประมาณ 12 นาโนเมตร แสดงใน รูปที่ 2.2 [21] ในหนึ่งอนุภาคเดี่ยวจะมีผลึกคาร์บอนประมาณ 10^3 ผลึกเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ โดยมีระนาบขนานไปกับพื้นผิวอนุภาค การขยับของโครงสร้างโมเลกุลที่มีอะตอมอยู่ 5 และ 7 อะตอม (Five- and seven-member rings) ทำให้พื้นผิวของอนุภาคไม่ราบเรียบ

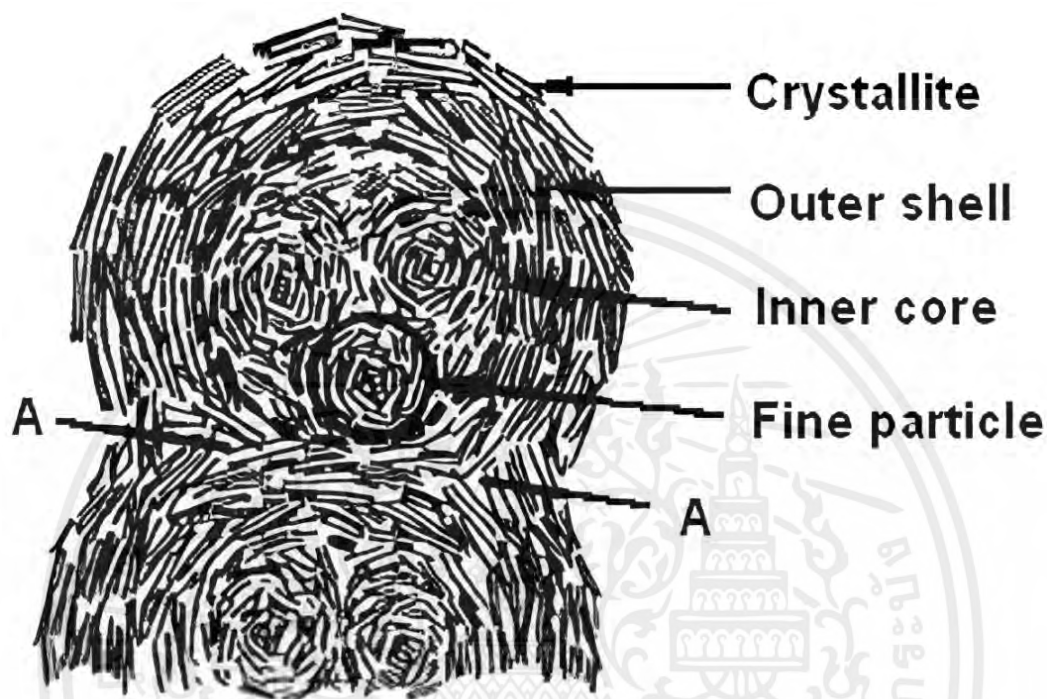


รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอนุภาคเขม่า

เมื่อวิเคราะห์ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านความละเอียดสูง (High resolution transmission electron microscopy, HRTEM) สามารถแบ่งโครงสร้างของอนุภาคเขม่าเดี่ยวออกเป็นสองส่วนคือโซนเนื้อเปลือกนอก (outer shell) และโซนใจกลางด้านใน (inner

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

core) แสดงใน **รูปที่ 2.3** [22] พบว่าโซนเนื้อเปลือกนอกมีผลึกกราฟิตขนาดใหญ่ที่เรียงตัวกันอย่างแข็งแรง ในขณะที่บริเวณใจกลางของอนุภาคเดี่ยวมีผลึกกราฟิตขนาดเล็กที่เรียงตัวกันไม่เป็นระเบียบ บางอนุภาคเดี่ยวปฐมภูมิระดับนาโน (Primary single nanoparticle) จะประกอบด้วยใจกลางส่วนในมากกว่าหนึ่งอัน [23]

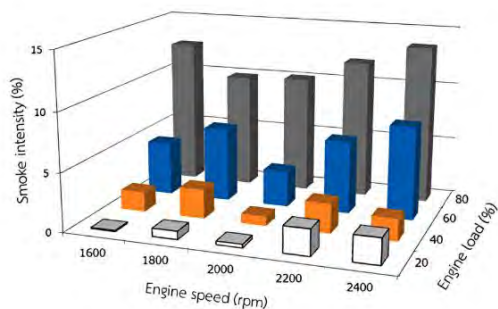


รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเขม่าดีเซล

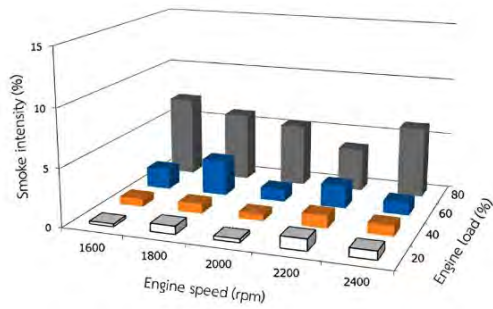
2.5 อนุภาคฝุ่น (Particulate matters, PMs)

ความเข้มของอนุภาคฝุ่นถูกวัดได้จากเครื่องวัดความเข้มข้นเขม่า (Smoke intensity) และขนาดของอนุภาคเดี่ยวถูกวิเคราะห์จากภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนด้วยการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ พบว่าความเข้มของเขม่าและขนาดอนุภาคเดี่ยวเขม่าของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลได้รับผลกระทบโดยตรงจากความเร็วรอบเครื่องยนต์ (Engine speed) และภาระเครื่องยนต์ (Engine load) โดยความเข้มของอนุภาคฝุ่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซลมีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 50% แสดงใน **รูปที่ 2.4** ในขณะที่ขนาดเฉลี่ยของเขม่าเดี่ยวนาโนของ น้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลมีค่าประมาณ 32 และ 34 นาโนเมตร การที่ปริมาณและขนาดของเขม่าจากไบโอดีเซลลดลงเกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นเป็นผลมาจากคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่มีอะตอมของออกซิเจนในโมเลกุล [24] ดังแสดงใน **ตารางที่ 2.2**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก)



ข)

รูปที่ 2.4 ความเข้มของเขม่าจาก ก)น้ำมันดีเซล และ ข)น้ำมันไบโอดีเซล ที่เงื่อนไขการทดสอบเดียวกัน

ตารางที่ 2.2 สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

Fuel properties	Diesel B7	Diesel B10	Diesel B20	Biodiesel B100	Ethanol E100
Chemical formula	$C_{12}H_{28}$	-	-	$C_{14.9}H_{29.9}O_{1.9}$	C_2H_5OH
Carbon (%mass)	85.1	84.6	82.6	74.5	52.2
Hydrogen (%mass)	14.0	13.5	13.4	12.5	13.0
Oxygen (%mass)	0.9	1.9	4.0	13.0	34.8
Auto ignition temperature (°c)	288	-	-	294	365
Calorific value (KJ/Kg)	46,180	45,630	44,950	39,525	28,329
Heat of vaporization (KJ/Kg)	250	-	-	300	840
Viscosity at 40 °c (mm ² /s)	3.0	3.0	3.1	4.5	1.2
Density at 25 °c (kg/m ³)	844.8	835	827	875.3	789.0
Stoichiometric air fuel ratio	14.7	-	-	12.3	9.0
Distillation (°c)					
T10	214.3	180	177.4	336.2	77.8
T30	250.3	-	-	339.7	77.9
T50	281.5	-	-	341.4	77.9
T70	312.5	-	-	345.4	78.0
T90	352.3	344.2	348.4	352.3	78.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ผลกระทบของอนุภาคฝุ่น PM2.5 ต่อสุขภาพของมนุษย์

งานวิจัยด้านระบาดวิทยาและพิษวิทยาจำนวนมากได้มองว่าอนุภาคฝุ่น PM2.5 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมครอน นั้นเป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ โดยส่วนใหญ่จะถูกดูดซึมผ่านทางระบบทางเดินหายใจ ผ่านเข้าไปในปอดและกระแสเลือด จากข้อมูลล่าสุดอนุภาคฝุ่น PM2.5 ก่อให้เกิดการตายประมาณ 4 ล้านคนทั่วโลกจากโรคหัวใจ, การติดเชื้อในทางเดินหายใจ, โรคปอดเรื้อรัง, โรคมะเร็ง, การคลอดก่อนกำหนดและโรคอื่นๆดังแสดงใน ตารางที่ 2.3 [25-44]

2.7 มาตรฐานการปล่อยมลพิษอนุภาคฝุ่นของไอเสียเครื่องยนต์ (Engine's particulate matters emission standards)

จากการที่ปริมาณมลพิษอนุภาคฝุ่น PM2.5 ส่วนใหญ่นั้นมาจากไอเสียเครื่องยนต์ ยกตัวอย่างสภาพอากาศของกรุงเทพฯที่มีปริมาณ PM2.5 จากเครื่องยนต์ดีเซลสูงถึง 43.7% [45] ทำให้สหภาพยุโรปกำหนดมาตรฐานการปล่อยมลพิษไอเสียจากรถยนต์แต่ละประเภทดัง รูปที่ 2.5

European emission standards for passenger cars (Category M), ^[a] g/km											
Tier	Date (type approval)	Date (first registration)	CO	THC	NMHC	NH ₃	NO _x	HC+NO _x	PM	PN [# /km]	Brake PM ₁₀ ^[b]
Diesel											
Euro 1 ^[c]	July 1992	January 1993	2.72 (3.16)	—	—	—	—	0.97 (1.13)	0.14 (0.18)	—	—
Euro 2	January 1996	January 1997	1.0	—	—	—	—	0.7	0.08	—	—
Euro 3	January 2000	January 2001	0.66	—	—	—	0.500	0.56	0.05	—	—
Euro 4	January 2005	January 2006	0.50	—	—	—	0.250	0.30	0.025	—	—
Euro 5a	September 2009	January 2011	0.50	—	—	—	0.180	0.230	0.005	—	—
Euro 5b	September 2011	January 2013	0.50	—	—	—	0.180	0.230	0.0045	6 × 10 ¹¹	—
Euro 6b	September 2014	September 2015	0.50	—	—	—	0.080	0.170	0.0045	6 × 10 ¹¹	—
Euro 6c	—	September 2018	0.50	—	—	—	0.080	0.170	0.0045	6 × 10 ¹¹	—
Euro 6d-Temp	September 2017	September 2019	0.50	—	—	—	0.080	0.170	0.0045	6 × 10 ¹¹	—
Euro 6d	January 2020	January 2021	0.50	—	—	—	0.080	0.170	0.0045	6 × 10 ¹¹	—
Euro 6e	September 2023	September 2024	0.50	—	—	—	0.080	0.170	0.0045	6 × 10 ¹¹	—

https://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards

รูปที่ 2.5 มาตรฐานการปล่อยมลพิษไอเสียจากรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ปัญหาสุขภาพที่เกิดจาก PM 2.5

Exposure	System Affected	Health Effects
Short term	Cardiovascular	Increased rates of myocardial infarction and ischemia in those at-risk Exacerbation of cardiac failure
	Respiratory	Increased incidence of arrhythmia Increased incidence of deep vein thrombosis Increased incidence of stroke Increased wheeze Exacerbation of asthma Exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease Bronchiolitis and other respiratory infections Increased incidence of emergency department visits
Long term	Cardiovascular	Increased rates of myocardial infarction Accelerated development of atherosclerosis Increased blood coagulability
	Respiratory	Increase in systemic inflammatory markers. Increased incidence of pneumonia Increased incidence of lung cancer Impaired lung development in children Development of new asthma
	Reproductive	Increased incidence of preterm birth Increased incidence of low birth weight
	Brain	Increased risk of Alzheimer's Increased risk of Parkinson's Increased risk of neurodegenerative diseases

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 Experimental investigation of the effect of ethanol and bio-diesel blended diesel fuels on combustion behavior and emission characteristics of common rail direct injection diesel engine [13]

การทดลองทดสอบเชื้อเพลิงทั้งหมด 10 ชนิดบนเครื่องยนต์ดีเซลระบบรางร่วมแบบหัวฉีดตรง เครื่องยนต์ที่ทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซลสี่สูบ ขนาด 3 ลิตร ที่ฉีดตรง เครื่องยนต์ไม่ได้ถูกปรับเปลี่ยนในการทดลอง การผสมเชื้อเพลิงที่ทดสอบเป็นดีเซล B10 (10% ปริมาณไบโอดีเซลกับ 90% ปริมาณดีเซล), ดีเซล B20 (20% ปริมาณไบโอดีเซลกับ 80% ปริมาณดีเซล), ดีเซล B100 (100% ไบโอดีเซล), ดีเซล B10E5 (5% น้ำหนักเอทานอลกับ 95% น้ำหนัก B10), ดีเซล B10E10 (10% น้ำหนักเอทานอลกับ 90% น้ำหนัก B10), ดีเซล B20E5 (5% น้ำหนักเอทานอลกับ 95% น้ำหนัก B20), ดีเซล B20E10 (10% น้ำหนักเอทานอลกับ 90% น้ำหนัก B20), ดีเซล B20E20 (20% น้ำหนักเอทานอลกับ 80% น้ำหนัก B20), ดีเซล B100E5 (5% น้ำหนักเอทานอลกับ 95% น้ำหนัก B100) และดีเซล B100E10 (10% น้ำหนักเอทานอลกับ 90% น้ำหนัก B100) การทดลองดำเนินการภายใต้สามความเร็วของเครื่องยนต์คือ 1000 รอบต่อนาที 1500 รอบต่อนาที และ 2000 รอบต่อนาที ที่สอดคล้องกับทอร์คคงที่ของเครื่องยนต์ 4 ระดับคือ 56 Nm, 84 Nm, 112 Nm, และ 140 Nm

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า แรงดันการเผาผลาญและอัตราการปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงชนิดผสมทั้งไบโอดีเซล-เอทานอล-ดีเซลมีค่าสูงกว่า ปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมารวมกันของเชื้อเพลิงที่ผสมเอทานอลมีค่าสูงกว่าสำหรับเชื้อเพลิงที่ผสมเอทานอล อย่างไรก็ตามระยะเวลาการเผาไหม้สั้นลงการบริโภคเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเมื่อมีเอทานอลและไบโอดีเซลเข้าไปในเชื้อเพลิงผสมในขณะเดียวกัน ไม่มีความสูญเสียของประสิทธิภาพความร้อนของเบรก อัตราส่วนเทียบเท่าอากาศเพิ่มขึ้นเมื่อมีเอทานอลและไบโอดีเซลเข้าไปในเชื้อเพลิงที่ผสม อุณหภูมิของของเสียที่มาจากเชื้อเพลิงที่ผสมมีค่าสูงกว่าของเชื้อเพลิงที่ผสม สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนว่าการปล่อยออกมาของอนุภาคสามารถลดลงได้ในขณะที่การปล่อยออกมาของออกซิเจนไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มร้อยละของเอทานอลและไบโอดีเซล ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อเอทานอลถูกเพิ่มเข้าไปในเชื้อเพลิงดีเซล อนุภาคเขม่าที่ถูกปล่อยออกมาจะสามารถถูกออกซิเดชันได้ง่ายกว่า และขนาดของกลุ่มอนุภาคจะเล็กลงเนื่องจากการเพิ่มปริมาณโมเลกุลของออกซิเจนในน้ำมันเชื้อเพลิง

2.8.2 Influence of ethanol-biodiesel blends on diesel engines combustion behavior and particulate matter physicochemical characteristics [46]

การทดลองเชื้อเพลิง 4 ชนิดได้แก่ น้ำมันดีเซล B7, น้ำมันไบโอดีเซล B100 และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล BE10 และ BE20 บนเครื่องยนต์ดีเซลระบบรางร่วม 1 สูบและ 4 สูบ แบบหัวฉีดตรง โดยแต่ละเครื่องยนต์มีเงื่อนไขการทดสอบที่แตกต่างกัน ความเข้มข้นของเขม่าที่ติดบนกระดาดกรอง

ถูกวัดด้วยเครื่องวัดความเข้มเขม่ารุ่น Okuda DSM-240 และถูกนำไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยการประมวลผลภาพ

การวิเคราะห์จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านความละเอียดสูง จากการวิเคราะห์เกล็ดคาร์บอนในพื้นที่ 100 ตารางนาโนเมตรพบว่าความยาวเฉลี่ยของแผ่นคาร์บอนกราฟีนของน้ำมันไบโอดีเซล B100 มีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซล B7 อยู่ 0.1 นาโนเมตร และมีความยาวรวมน้อยกว่าประมาณ 19 นาโนเมตร ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาความหนาแน่นของจำนวนอะตอมคาร์บอน (Carbon atom density) และความหนาแน่นในทางวิศวกรรมของคาร์บอน (Carbon density) ในเขม่าของน้ำมันไบโอดีเซล B100 ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล B7 ประมาณ 11 อะตอมต่อลูกบาศก์นาโนเมตร และ 0.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตาม ตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าการวิเคราะห์โครงสร้างนาโนของเขม่าจากน้ำมันดีเซล B7 และน้ำมันไบโอดีเซล B100

Items	B7	B100
Interplanar spacing (nm)	0.39	0.38
Longest fringe length (nm)	5.2	4.6
Average fringe length (nm)	1.45	1.35
Total crystallite length (nm/100 nm ²)	227	208
Total carbon atoms (atom/100 nm ³)	17,695	14,700
Carbon atom density (atom/nm ³)	102	91
Soot density (g/cm ³)	2.01	1.82

2.8.3 An extensive analysis of biodiesel blend combustion characteristics under a wide range of thermal conditions of a cooperative fuel research engine [47]

การทดลองเชื้อเพลิง 6 ชนิด ได้แก่ B0, B10, B20, B40, B60, B100 บนเครื่องยนต์ Cooperative Fuel Research หรือ CFR ที่ทำงานภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิต่างๆ เมื่อเริ่มฉีดเชื้อเพลิงในการศึกษานี้ ใช้เครื่องยนต์ทดสอบซีเทนมาตรฐาน CFR-F5 และได้มีการปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบลักษณะการเผาไหม้พร้อมกับการวัดค่าซีเทนของเชื้อเพลิงในการทดลอง

ผลทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าซีเทนของน้ำมันไบโอดีเซล B100 สูงกว่าน้ำมันดีเซล B0 เกือบ 30% ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณออกซิเจนในเชื้อเพลิงไบโอดีเซล และการเปลี่ยนแปลงโพลของเครื่องยนต์มีผลน้อยที่สุดต่อการเผาไหม้แบบผสมล่วงหน้า นอกจากนี้จากค่าซีเทนที่สูงของน้ำมันไบโอดีเซล B100 ยังส่งผลให้เกิด Auto-ignites ได้ถึง 3 องศาของมุมเพลลาข้อเหวี่ยงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล B0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องยนต์

รถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบคือรถกระบะเครื่องยนต์ดีเซล 2KD-FTV คุณสมบัติของเครื่องยนต์นี้ได้ระบุไว้ใน ตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องยนต์ดีเซล 2KD-FTV

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของรถกระบะเครื่องยนต์ดีเซล 2KD-FTV

คุณสมบัติ	รายละเอียด
ประเภทยานพาหนะ	Light-duty vehicle
น้ำหนักยานพาหนะ	1590 kg
โมเดลเครื่องยนต์	2KD-FTV, 4 cylinder in-line
ระบบการให้เชื้อเพลิง	Common rail direct injection
ระบบปรับอากาศ	Turbocharged
ปริมาตรกระบอกสูบ	2.5 L
ความกว้างกระบอกสูบ x ระยะชัก	92.0 mm x 93.8 mm
อัตราส่วนกำลังอัด	18.5: 1
กำลังสูงสุด	75kw @ 3600 rpm
แรงบิดสูงสุด	260 Nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบเชื้อเพลิงทั้งหมด 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซล B7 และน้ำมันไบโอดีเซล B100 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงทั้ง 2 ถูกแสดงใน ตารางที่ 3.2 ค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซล B100 กว่าน้ำมัน B7 อย่างไรก็ตามน้ำมันไบโอดีเซลมีส่วนประกอบของคาร์บอนที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐาน แต่มีปริมาณของออกซิเจนที่สูงกว่า ทำให้สามารถเผาไหม้ได้สมบูรณ์กว่า อุณหภูมิในการกลั่นของไบโอดีเซลมีช่วงที่ค่อนข้างแคบโดยเริ่มจาก 336.2 °C และสูงสุดที่ 351.2 °C

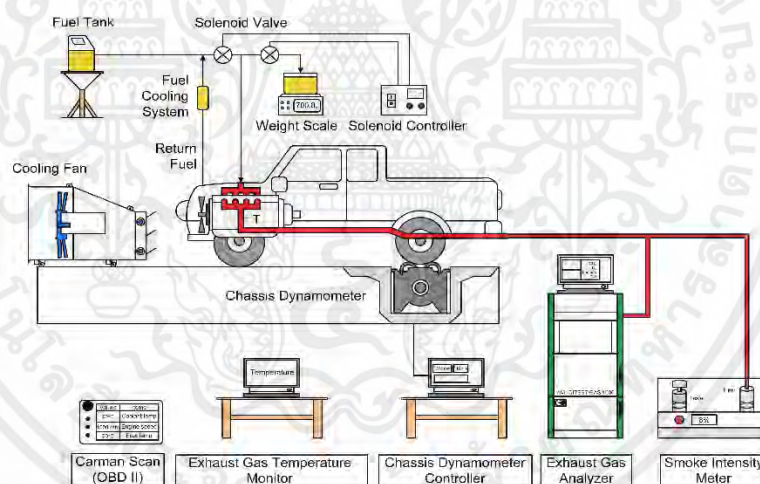
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ

Fuel Properties	Unit	B7	B100
Chemical formula	-	C ₁₂ H ₂₈	C ₁₂ H ₂₅ O ₂
Carbon	%mass	85.1	74.5
Hydrogen	%mass	14.0	12.5
Oxygen	% mass	0.9	13.0
Viscosity @40°C	mm ² /s	3.0	4.5
Density @25°C	kg/m ³	844.8	875.3
Bulk Modulus	MPa	1282	1482
Calorific value	MJ/kg	45.5	37.41
Heat of vaporization	kJ/kg	250	300
Cetane Number		55	70
Auto ignition	°C	288	294
Flash Point	°C	65	184.5
Stoichiometric		14.7	12.3
Distillation (°C) T	T10	214.3	336.2
	T30	250.3	339.7
	T50	281.5	341.4
	T70	312.5	345.5
	T90	352.3	351.2

3.3 วิธีดำเนินการทดสอบรถยนต์

3.3.1 ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

แผนภาพแสดงการทดสอบของเครื่องทดสอบสมรรถนะรถยนต์ที่ใช้ในการทดลองแสดงใน รูปที่ 3.2 รถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลระบบวางร่วมแบบหัวฉีดตรงถูกนำมาใช้ในการทดลอง กำลัง จากเครื่องยนต์ถูกส่งผ่านเพลาลูกเบี้ยวไปยังเครื่องทดสอบสมรรถนะรถยนต์ ในการทดลองนี้ เครื่องยนต์ถูกควบคุมที่ภาระคงที่ 84, 112, 140 และ 160 นิวตันเมตร ความเร็วของเครื่องยนต์ถูกตั้ง ค่าที่ 1500, 2000 และ 2400 รอบต่อนาทีตามลำดับ โดยการทดสอบมีจุดประสงค์ไปที่การคำนวณค่า อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง, อัตราการใช้พลังงานจำเพาะและประสิทธิภาพเชิงความร้อนจำเพาะเบรกของรถยนต์และปริมาณของเขม่าที่ปล่อยออกมา อัตราการใช้น้ำมันถูกวัดโดยเครื่องชั่งน้ำหนักจำนวน 3 ครั้งเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยในหน่วยของกรัมต่อวินาที เป็นเวลา 30 วินาทีต่อเงื่อนไข สำหรับการวัด ความเข้มข้นของเขม่าที่ปล่อยออกมาถูกวัดโดยเครื่องวัดเขม่า (smoke intensity meter) การวัดควันถูกดำเนินการสองครั้งในแต่ละเงื่อนไข ก๊าซที่ออกจากเครื่องยนต์เช่น CO, CO₂ และ NO ได้ถูกวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียของ AVL การทดสอบและเก็บข้อมูลของก๊าซถูกบันทึกไว้ 90 วินาทีต่อการทดสอบ



รูปที่ 3.2 แผนภาพจำลองการทดสอบรถยนต์ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

อุปกรณ์การทดสอบ

1. เครื่องทดสอบสมรรถนะรถยนต์ประเภท Chassis dynamometer

นำรถยนต์ไปติดตั้งบนอุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะของรถยนต์ Chassis dynamometer เพื่อหาอัตราการใช้เชื้อเพลิงและค่าความร้อนจำเพาะเบรก ทำการกำหนดภาระและความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ โดยทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1500, 2000 และ 2500 รอบต่อนาที และแรงบิดของเครื่องยนต์คงที่ 84, 112, 140 และ 160 นิวตันเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ชุดทดสอบสมรรถนะและประสิทธิภาพพรถยนต์ (Chassis dynamometer) พร้อมทั้งวัดปริมาณอนุภาคเขม่าในไอเสีย ให้สามารถลดปริมาณมลพิษอนุภาคเขม่าได้ เมื่อเทียบกับ B7 และ B100 ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยียานยนต์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. เครื่องวัดควันดำและกระดาษกรอง

ควันจากรถยนต์ที่ถูกปล่อยออกมาถูกเก็บรวบรวมบนกระดาษกรอง โดยใช้เครื่องวัดควันดำรุ่น "Okuda DSM-240" ของบริษัท BOSCH แสดงใน รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ประกอบด้วยปั๊มดูดควันและเครื่องวัดการสะท้อนแสง (Reflectometer light) เริ่มต้นโดยการวางกระดาษกรองใหม่ที่เครื่องวัดการสะท้อนแสงและปรับค่าแสดงผลให้เป็นศูนย์ จากนั้นอนุภาค (PMs) จะถูกเก็บรวบรวมบนกระดาษกรองด้วยปั๊มดูดควัน กระดาษกรองที่มีอนุภาคแล้วจะถูกวัดใหม่ที่เครื่องวัดการสะท้อนแสง และแสดงจำนวนเปอร์เซ็นต์ของแสงที่ถูกบล็อกโดยอนุภาคที่เก็บรวมไว้ ค่าเปอร์เซ็นต์ที่สูงขึ้นจะแสดงถึงระดับควันหรือสารอนุภาคที่สูงขึ้นในแก๊สหรือควัน ขั้นตอนเหล่านี้ถูกทำซ้ำสองครั้งในหนึ่งเงื่อนไขการทำงานของเครื่องยนต์



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดควันดำและกระดาษกรอง

3. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียรถยนต์

ปริมาณก๊าซไอเสียของรถยนต์ได้นำมาวิเคราะห์ที่เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (Exhaust gases analyzer) รุ่น "AVL DITESI GAS 1000" แสดงใน รูปที่ 3.5 ที่เชื่อมต่อกับท่อไอเสีย เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียนี้สามารถวัดปริมาณก๊าซไอเสียของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), ไฮโดรคาร์บอน (HC), ไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) และออกซิเจน (O₂) ได้ ความแม่นยำและช่วงการวัดของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย AVL ถูกระบุใน ตารางที่ 3.3 นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนเทียบเท่าของอากาศและเชื้อเพลิง (Lambda) ได้ โดยคำนวณย้อนกลับจากค่า CO, CO₂, HC และ O₂



รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียรถยนต์รุ่น AVL DITEST GAS 1000

ตารางที่ 3.3 ความแม่นยำและช่วงการวัดของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย AVL

ก๊าซไอเสีย	ขีดจำกัดในการวัด	ความละเอียด	ความแม่นยำ
CO	0~15 %vol	0.01 %vol	< 10.0 % vol.: ± 0,02% vol., ± 3% o.M. ≥10.0 % vol: ± 5 % o.M
CO ₂	0~20 %vol	0.01 %vol	< 16.0 % vol.: ± 0, 3 % vol., ± 3 % o.M. ≥ 16.0 % vol: ± 5 % o.M.
HC	0~30,000 ppm vol	≤2.000: 1 ppm vol	< 2000 ppm vol.: ±4 ppm vol., ±3% o. M. ≥ 5000 ppm vol.: ±5% o. M. ≥10000 ppm vol.: ±10% o. M
O ₂	0~25 %vol	0.01 %vol	± 0,02 % vol. ± 1 % o. M.
NO	0~5,000 ppm vol	1 ppm vol	± 5 ppm vol. ± 1 % o. M.
Lambda	0~9.999	0.001	Calculated from CO, CO ₂ , HC, O ₂

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เขม่ารถยนต์ได้รับการวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อประเมินขนาดของอนุภาคฝุ่น (PMs) ด้วยกำลังขยาย 2500 และ 10000 เท่า



รูปที่ 3.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM)

5. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

เขม่ารถยนต์ได้รับการวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านด้วยกำลังขยาย 800k จากนั้นจะนำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ในโปรแกรม ImageJ เพื่อศึกษาโครงสร้าง ขนาด ระยะห่างระหว่างระนาบ และการวิเคราะห์ความยาวขอบของอนุภาคฝุ่น รวมถึงวิเคราะห์จำนวนและความหนาแน่นของอะตอมคาร์บอน



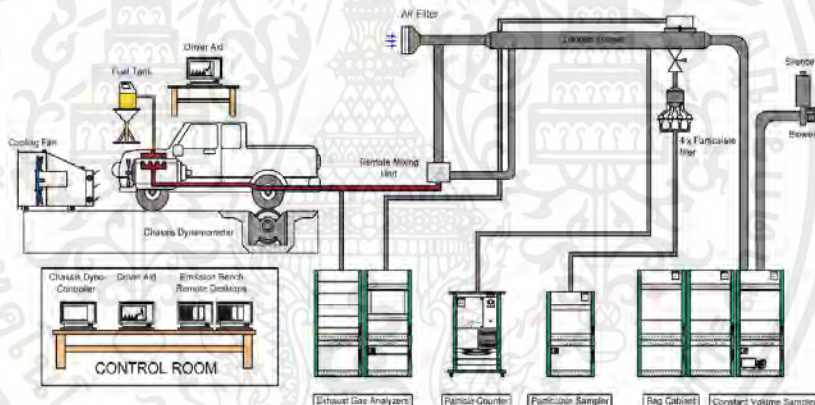
รูปที่ 3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

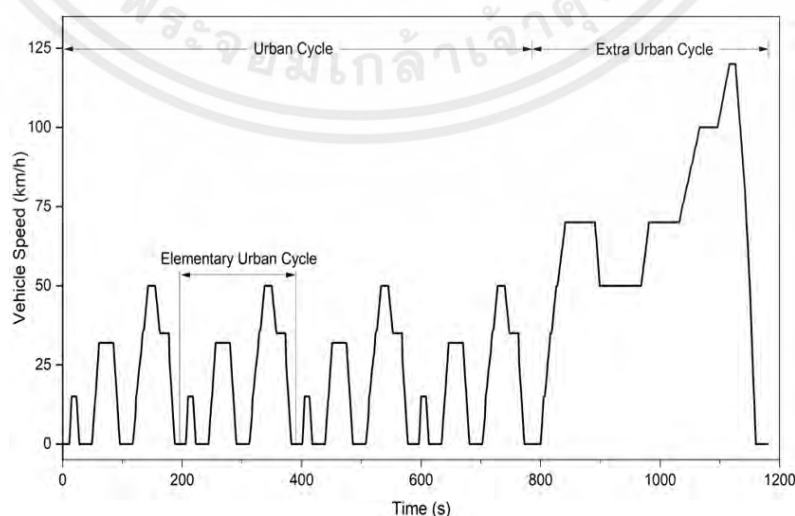
3.3.2 ณ กรมควบคุมมลพิษ

แผนภาพแสดงการทดสอบของเครื่องทดสอบสมรรถนะรถยนต์ที่ใช้ในการทดลองแสดงในรูปที่ 3.8 รถยนต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นคันเดียวกับที่ใช้ทดลองที่ห้องปฏิบัติการทดสอบของสถาบันกำลังจากเครื่องยนต์ถูกส่งผ่านเพลาลงไปยังเครื่องทดสอบสมรรถนะรถยนต์ ในการทดลองนี้รถยนต์ได้ทำการทดสอบตามมาตรฐานการวัดระยะทางของทางยุโรป (New European Driving Cycle) ที่ครอบคลุมช่วงการขับขี่ในเมือง (Urban cycle) และทางด่วน (Extra urban cycle) ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐานยูโร 4 ดังแสดงใน รูปที่ 3.9 แกนตั้งแสดงความเร็วของรถทดสอบมีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/h) แกนนอนแสดงถึงระยะเวลาในการขับรถยนต์หน่วยเป็นวินาที โดยการทดสอบมีจุดประสงค์ไปที่การหาค่าการปล่อยก๊าซไอเสีย, ค่าความทึบแสง, จำนวนและน้ำหนักของอนุภาค

การปล่อยก๊าซไอเสียเช่น CO, CO₂, HC และ NO_x ถูกวัดโดยด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียของ AVL CVS i60 สำหรับการวัดความเข้มข้นของเขม่าที่ปล่อยออกมาถูกวัดโดยเครื่องวัดเขม่าและจำนวนของอนุภาคถูกนับด้วยเครื่องนับอนุภาค (Particle counter) และการวัดน้ำหนักของอนุภาคทำการวัดโดยการชั่งน้ำหนักของกระดาษกรองก่อนและหลังการทดสอบ



รูปที่ 3.8 แผนภาพจำลองการทดสอบรถยนต์ ณ กรมควบคุมมลพิษ



รูปที่ 3.9 New European Driving Cycle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์การทดสอบ

1. เครื่องทดสอบสมรรถนะรถยนต์ประเภท Chassis dynamometer

นำรถยนต์ไปติดตั้งบนอุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะของรถยนต์ Chassis dynamometer เพื่อทดสอบตามมาตรฐานการวัดระยะทางของทางยุโรป (New European Driving Cycle) ที่ครอบคลุมช่วงการขับขี่ในเมืองและทางด่วน



รูปที่ 3.10 การทดสอบเพื่อหาปริมาณของอนุภาคฝุ่นที่ถูกปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมัน B7 และ B100 ณ ห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะ กรมควบคุมมลพิษ

2. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียรถยนต์

ปริมาณก๊าซไอเสียของรถยนต์ได้นำมาวิเคราะห์ที่เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (Exhaust gases analyzer) รุ่น "AVL AMA i60 SII" ที่เชื่อมต่อกับท่อไอเสีย เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียนี้ สามารถวัดปริมาณก๊าซไอเสียของไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด (THC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และไนโตรเจนออกไซด์ (NOX) ได้



รูปที่ 3.11 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียรถยนต์รุ่น AVL AMA i60 SII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาค

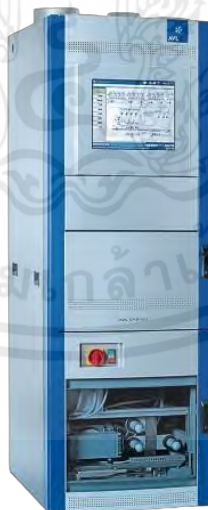
เครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคแบบไหลเต็มรูปแบบรุ่น “AVL PSS i60 SII” ใช้ในการรวบรวมอนุภาคขนาดเล็กในก๊าซไอเสียเจือจางสำหรับการวิเคราะห์แบบกราฟิเมตริก



รูปที่ 3.12 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียรถยนต์รุ่น AVL PSS i60 SII

4. เครื่องเก็บตัวอย่างปริมาตรคงที่

ก๊าซไอเสียจะถูกเจือจางด้วยอากาศโดยรอบที่ผ่านการกรองแล้วใกล้กับทางออกของท่อส่วนท้าย จากนั้นจึงผสมเป็นเนื้อเดียวกันในอุโมงค์เจือจางเพื่อตรวจวัดอนุภาค ในระหว่างแต่ละช่วงของรอบการทดสอบ ก๊าซไอเสียจะถูกเติมตามสัดส่วนกับอัตราการไหลหลักของ CVS การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะถูกคำนวณด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างปริมาตรคงที่รุ่น “AVL CVS i60 SII” โดยใช้ความเข้มข้นของก๊าซในถุงและอัตราการไหลสะสมของไอเสียที่เจือจาง



รูปที่ 3.13 เครื่องเก็บตัวอย่างปริมาตรคงที่รุ่น AVL CVS i60 SII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องนับอนุภาค

จำนวนของอนุภาคถูกนับด้วยเครื่องนับอนุภาค (Particle counter) รุ่น “AVL Particle counter” ออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับการวัดแบบเจือจางด้วยตัวอย่างที่นำมาจากอุโมงค์เจือจาง



รูปที่ 3.14 เครื่องนับอนุภาค (Particle counter) รุ่น AVL Particle counter

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล และแสดงผลข้อมูล

3.4.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก

นำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอน 3.3.1 ไปคำนวณและวิเคราะห์โดยใช้สมการ (2.1), (2.2) และ (2.3) เพื่อหาค่าอัตราการใช้พลังงานจำเพาะเบรก (BSFC) อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเบรก (BSEC) และ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) ตามลำดับด้วยโปรแกรม MATLAB โดยจะแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของแผนภูมิแท่ง (Bar Chart)

3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณของเขม่า และก๊าซไอเสีย

นำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอน 3.3.2 ไปวิเคราะห์และแสดงผลในรูปแบบแผนภูมิเส้น (Bar Chart) ด้วยโปรแกรม Origin

3.4.3 การวิเคราะห์การปล่อยไอเสียแบบเรียลไทม์

นำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอน 3.3.2 ไปวิเคราะห์และแสดงผลในรูปแบบแผนภูมิเส้น (Line Chart) ด้วยโปรแกรม Origin เพื่อดูอัตราการปล่อย

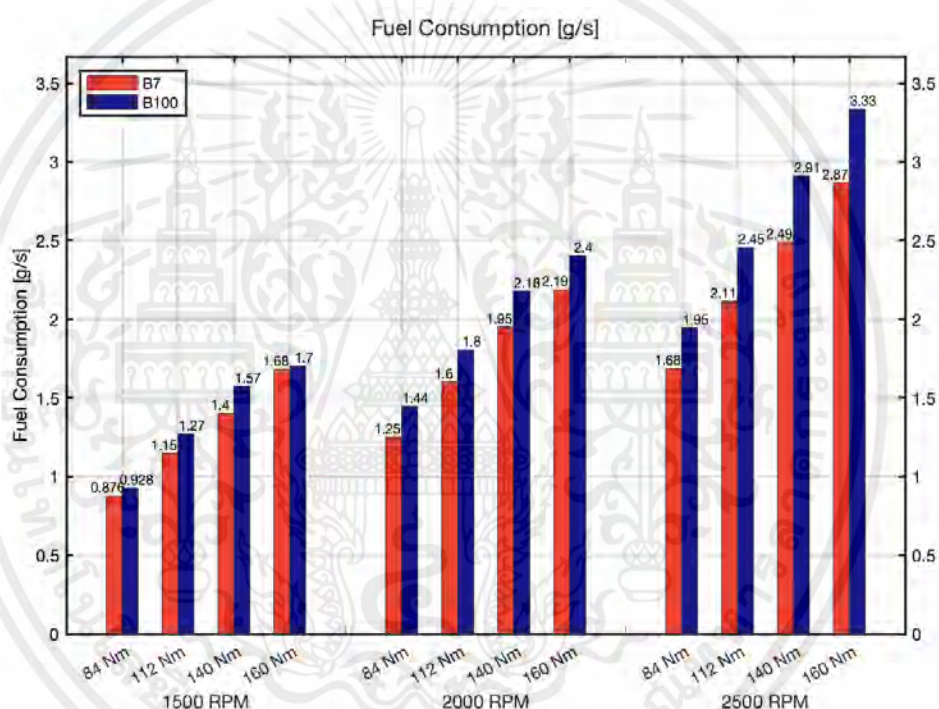
บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

4.1.1 อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Consumption rate)

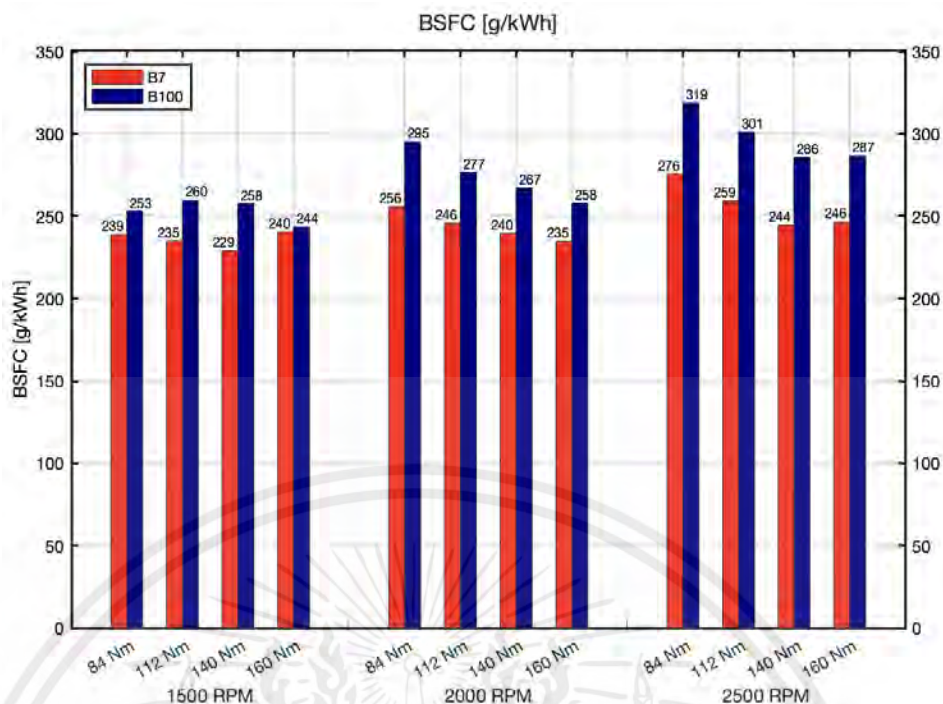
ผลการวัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงใน รูปที่ 4.1 พบว่ารถยนต์มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้นเมื่อกำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ที่สภาวะเดียวกันรถยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 มีอัตราการการใช้เชื้อเพลิงมากกว่ารถยนต์ เนื่องจากไบโอดีเซล B100 มีค่าความร้อน (Calorific Value) น้อยกว่าน้ำมันดีเซล B7 ซึ่งทำให้เครื่องยนต์ต้องใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 ที่มากขึ้นเพื่อให้ได้พลังงานจากการสันดาปเทียบเท่ากับการสันดาปจากน้ำมันดีเซล B7



รูปที่ 4.1 อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Consumption rate)

4.1.2 อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption)

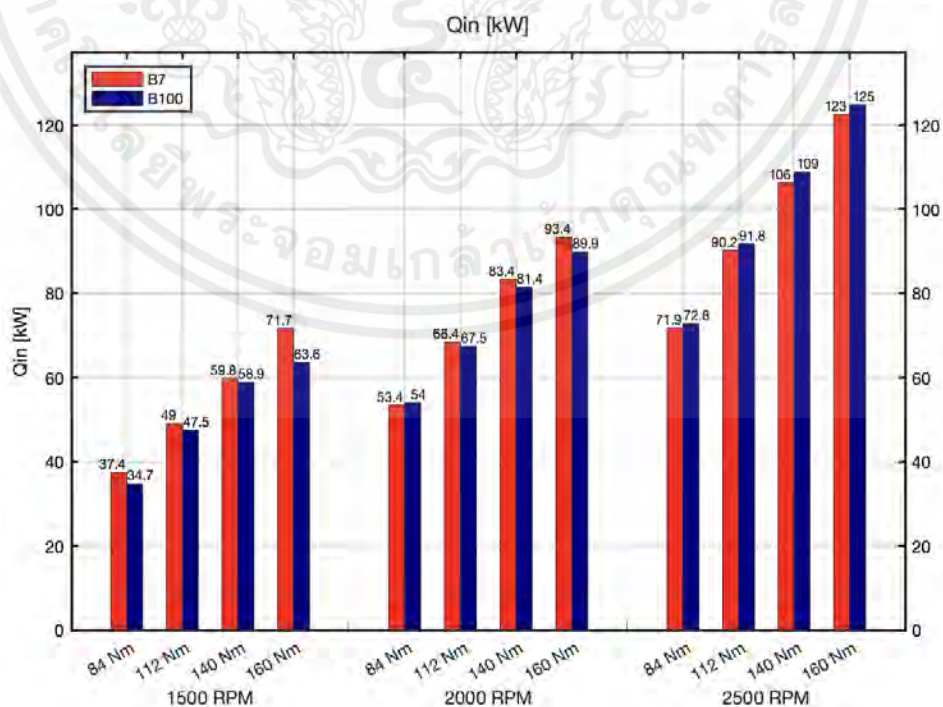
อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption, BSFC) เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่อกำลังของรถยนต์ โดยจากผลการวิเคราะห์ใน รูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าที่สภาวะรอบเครื่องยนต์เดียวกันและโหลดเพิ่มขึ้น รถยนต์มีแนวโน้มที่จะใช้น้ำมันเชื้อเพลิงลดลง และที่สภาวะเดียวกันรถยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 มีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกมากกว่ารถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการใช้น้ำมัน (หัวข้อ 4.1.1)



รูปที่ 4.2 อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเบรก (Brake Specific Fuel Consumption)

4.1.3 อัตราการใช้พลังงาน (Energy Consumption rate)

ผลการวิเคราะห์ที่อัตราการใช้พลังงานใน รูปที่ 4.3 พบว่ารถยนต์มีอัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังของเครื่องเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง อย่างไรก็ตามที่สภาวะเดียวกันรถยนต์ที่ใช้น้ำมันทั้งสองประเภทมีอัตราการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกันโดยแตกต่างกันประมาณ 3.3% ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากความผิดพลาดในการวัดของผู้วิจัย (Human Error)

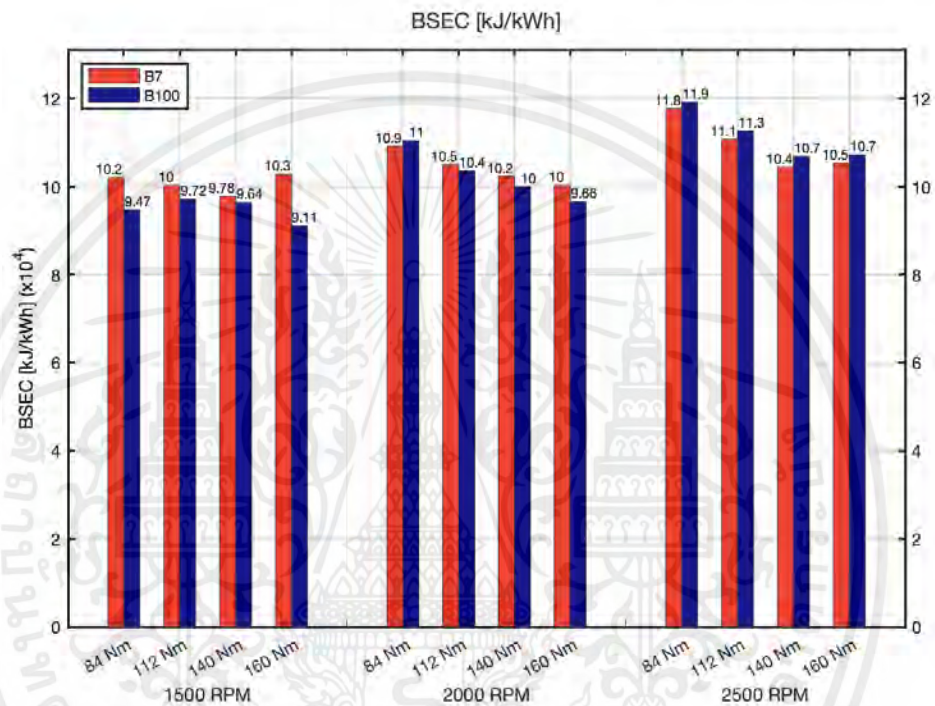


รูปที่ 4.3 อัตราการใช้พลังงาน (Energy Consumption rate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเบรก (Brake Specific Energy Consumption)

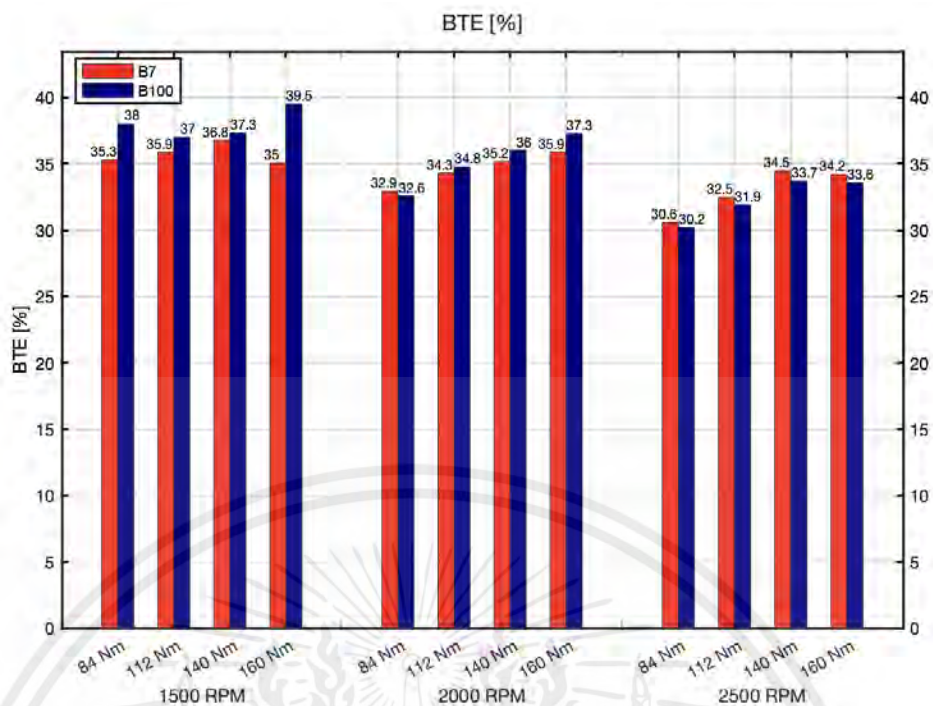
อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเบรก (Brake Specific Energy Consumption, BSEC) เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงอัตราการใช้พลังงานต่อกำลังของกำลังของเครื่องยนต์ โดยจากผลการวิเคราะห์ใน **รูปที่ 4.4** แสดงให้เห็นว่าที่สภาวะรอบเครื่องยนต์คงที่และโหลดเพิ่มขึ้น รถยนต์มีแนวโน้มในการใช้พลังงานที่ลดลง และที่สภาวะเดียวกันรถยนต์ที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 2 ประเภทมีอัตราการใช้พลังงานจำเพาะเบรกใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (**หัวข้อ 4.1.2**) และอัตราการใช้พลังงาน (**หัวข้อ 4.1.3**) ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเบรก (Brake Specific Energy Consumption)

4.1.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจำเพาะเบรก (Brake Thermal Efficiency)

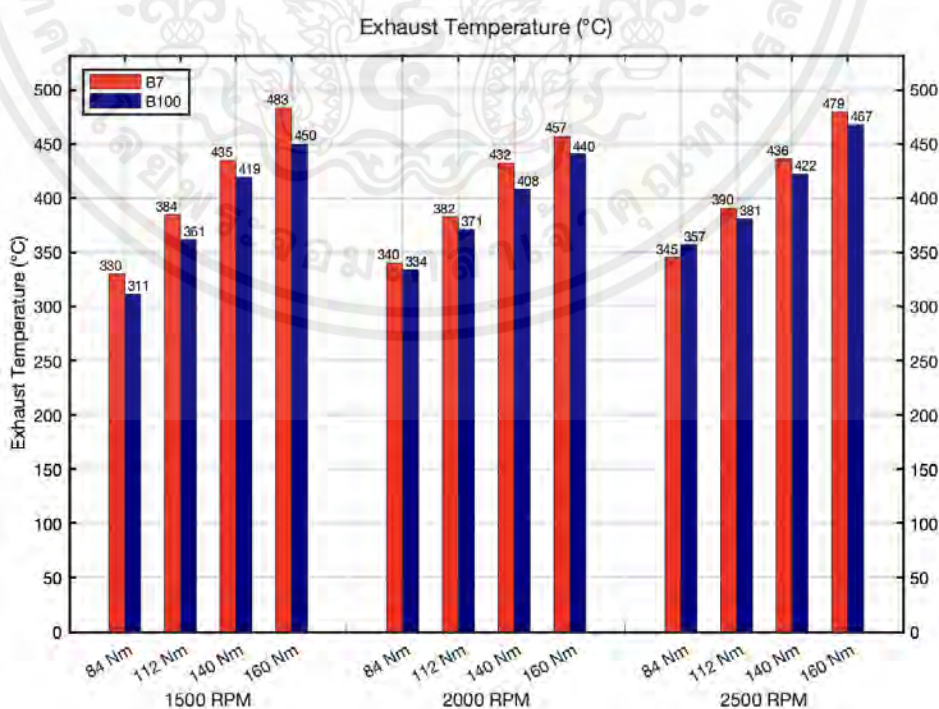
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (Brake Thermal Efficiency, BTE) เป็นพารามิเตอร์หลักในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ โดยจากผลการวิเคราะห์ใน **รูปที่ 4.5** แสดงให้เห็นว่ารถยนต์ที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 2 ประเภทมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกที่ใกล้เคียงกันซึ่งเกิดจากอัตราการใช้พลังงาน (**หัวข้อ 4.1.3**) ที่ใกล้เคียงกัน ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเบรกของรถยนต์ที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 2 ประเภทนี้สามารถยืนยันได้ว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจำเพาะเบรก (Brake Thermal Efficiency)

4.1.6 อุณหภูมิท่อไอเสีย (Exhaust Temperature)

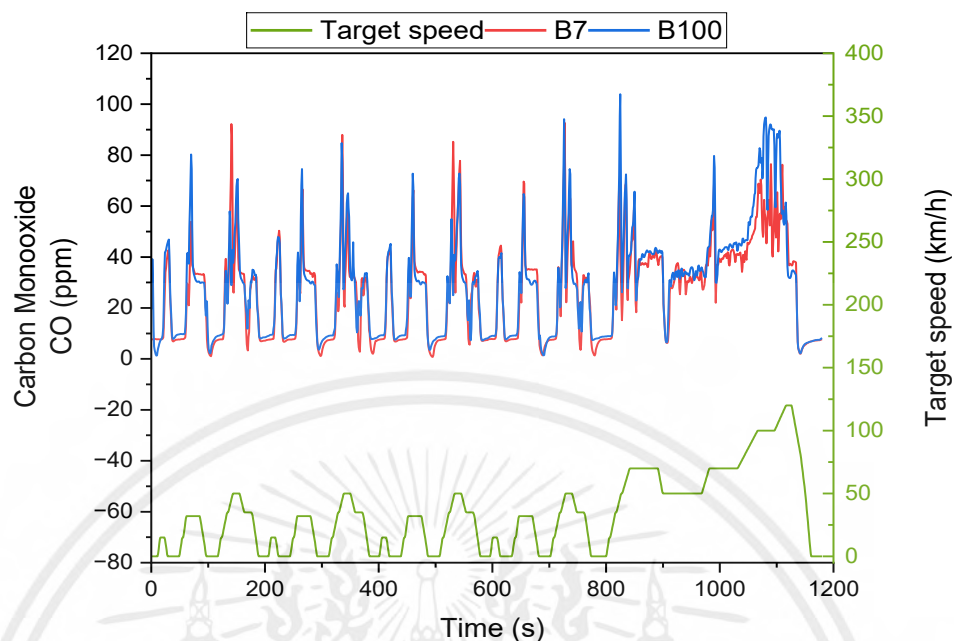
ผลการวัดอุณหภูมิท่อไอเสีย (Exhaust Temperature) แสดงใน รูปที่ 4.6 ให้เห็นว่ารถยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 มีอุณหภูมิที่ไอเสียที่น้อยกว่ารถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 ซึ่งเกิดจากการที่น้ำมันไบโอดีเซล B100 มีความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Heat of vaporization) ที่มากกว่า และมีค่าความร้อน (Calorific Value) ที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซล B7 ตามลำดับ



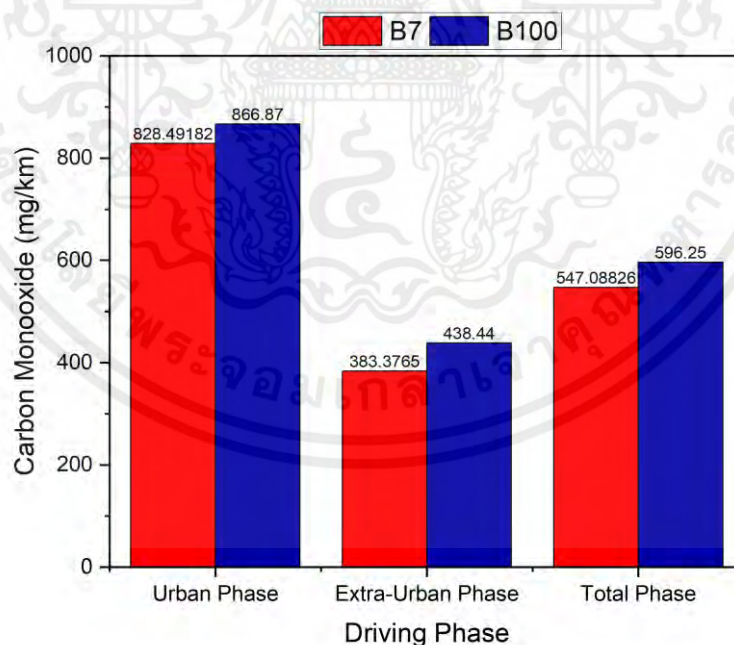
รูปที่ 4.6 อุณหภูมิท่อไอเสีย (Exhaust Temperature)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิเคราะห์การปล่อยก๊าซไอเสียและอนุภาคเขม่า

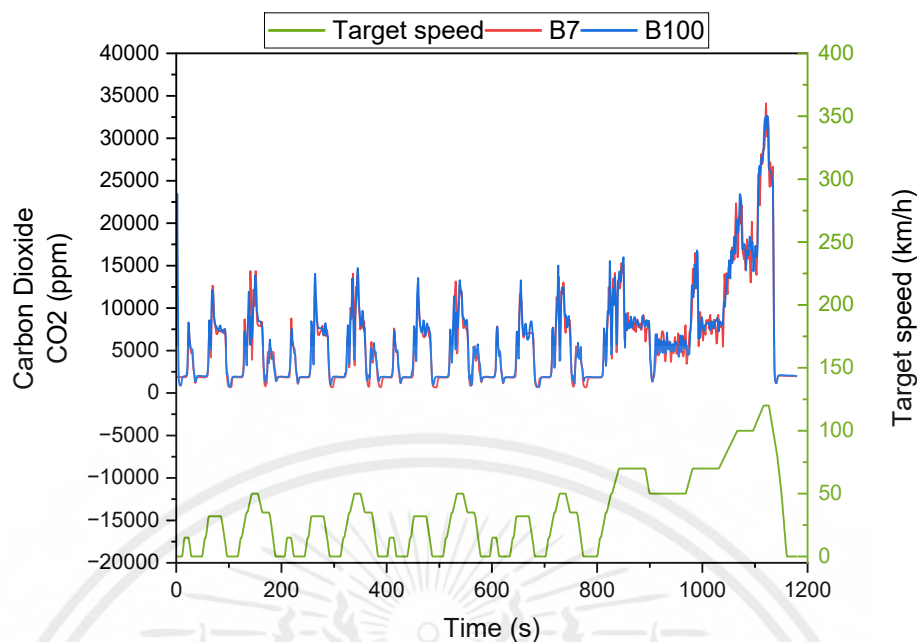


รูปที่ 4.7 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่อยออกจากรถยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 โดยวัดค่าแบบ Real-time

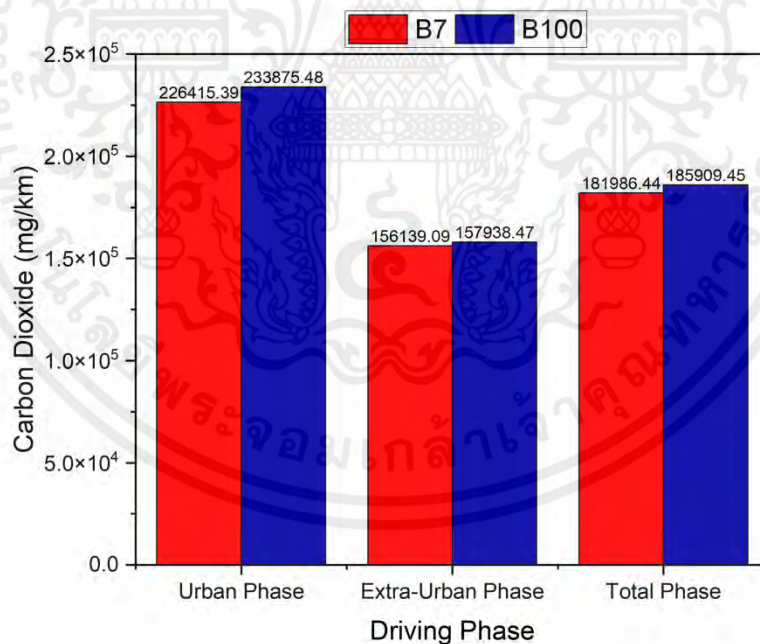


รูปที่ 4.8 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่อยออกจากรถยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 ในช่วงการขับขี่ในเมืองและบนทางด่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

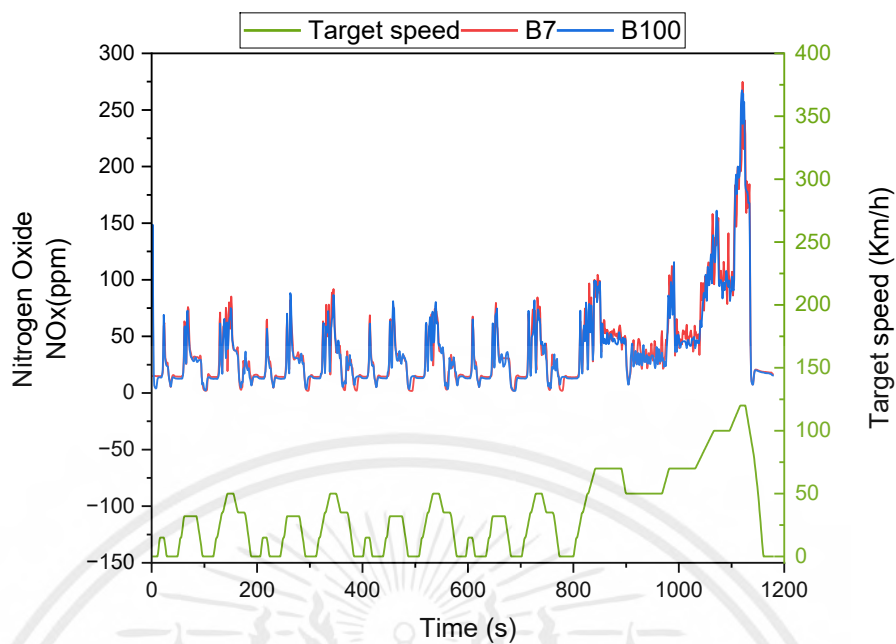


รูปที่ 4.9 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกจากรถยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 โดยวัดค่าแบบ Real-time

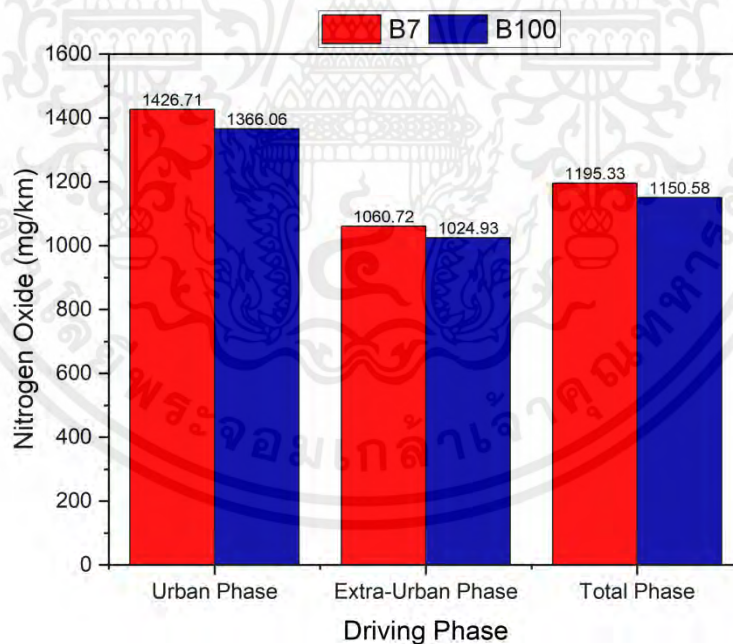


รูปที่ 4.10 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกจากรถยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 ในช่วงการขับขี่ในเมืองและบนทางด่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

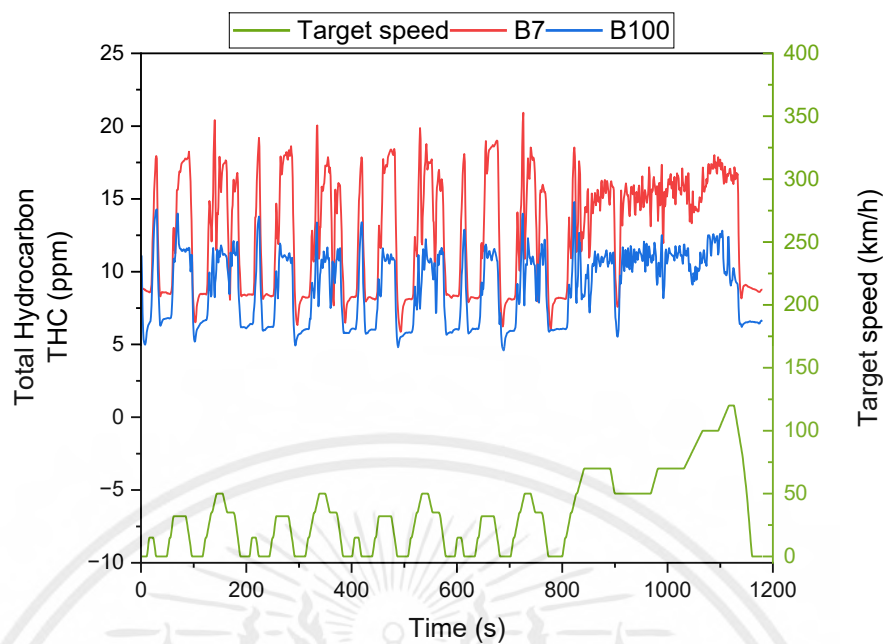


รูปที่ 4.11 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อยออกจากรถยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 และน้ำมันไบโอดีเซล B100 โดยวัดค่าแบบ Real-time

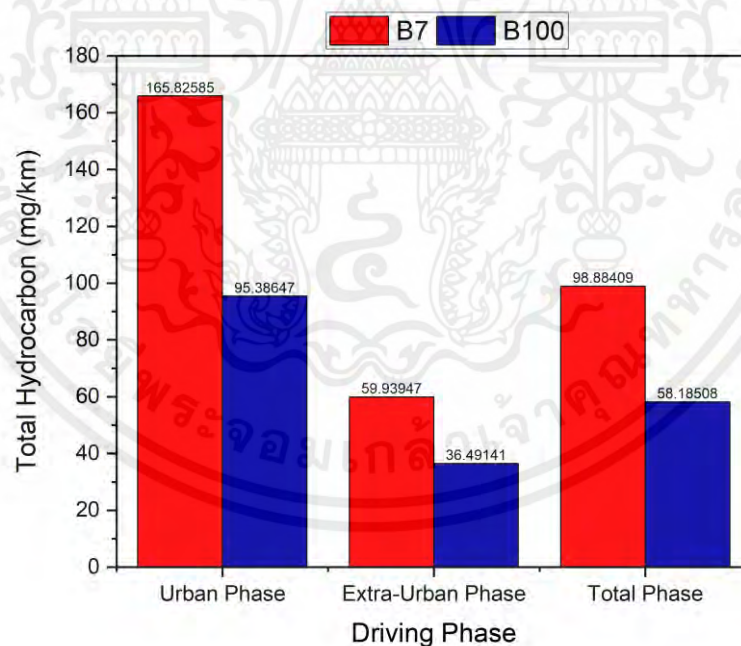


รูปที่ 4.12 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อยออกจากรถยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 และน้ำมันไบโอดีเซล B100 ในช่วงการขับขี่ในเมืองและบนทางด่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

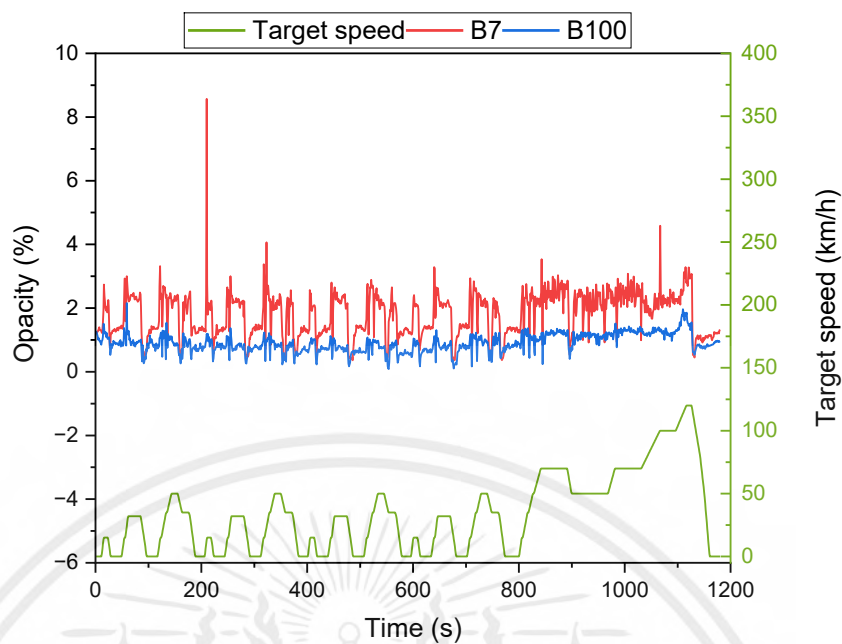


รูปที่ 4.13 ปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 และน้ำมันไบโอดีเซล B100 โดยวัดค่าแบบ Real-time

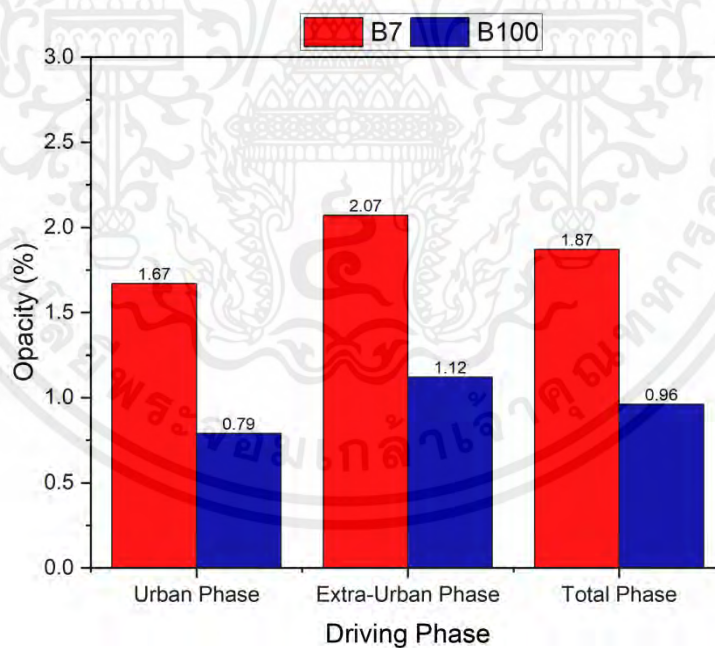


รูปที่ 4.14 ปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 และน้ำมันไบโอดีเซล B100 ในช่วงการขับขี่ในเมืองและบนทางด่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

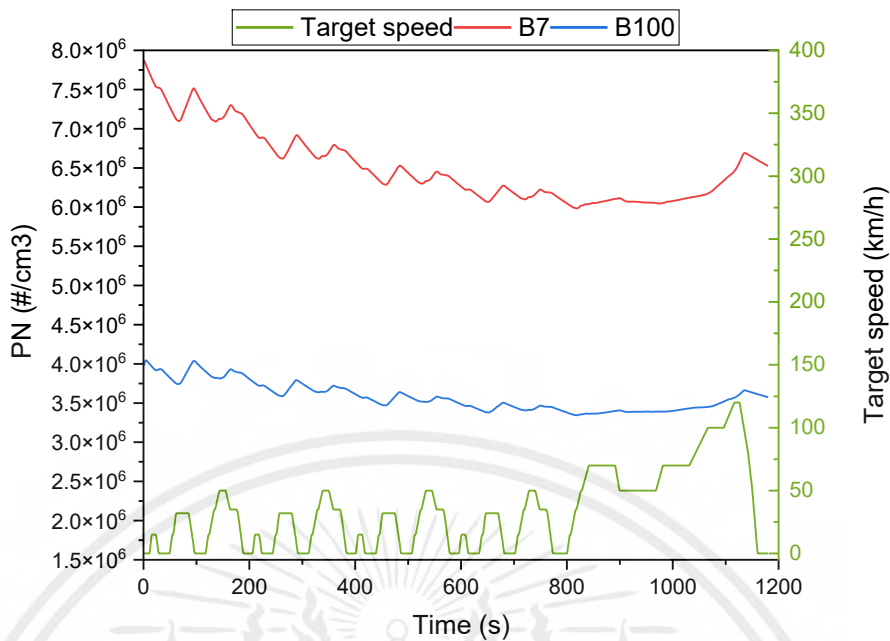


รูปที่ 4.15 ค่าความทึบแสงจากรถยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 โดยวัดค่าแบบ Real-time

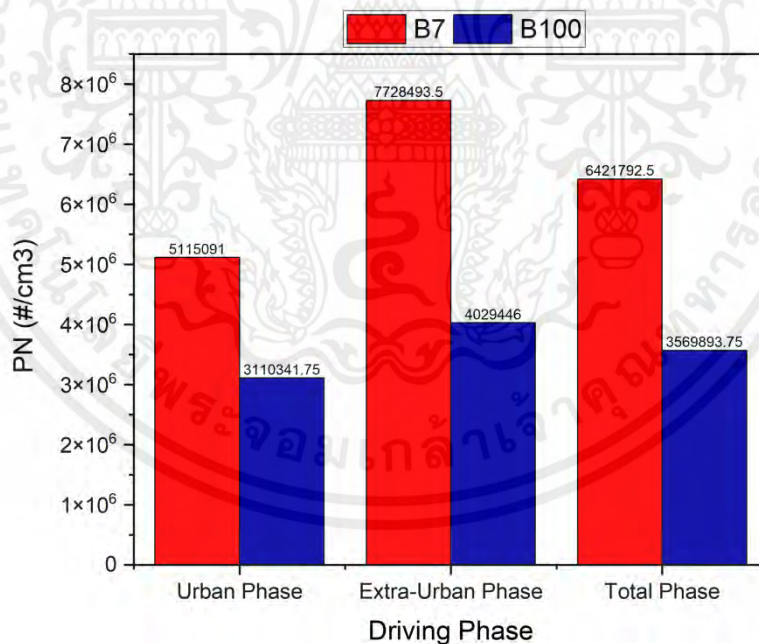


รูปที่ 4.16 ค่าความทึบแสงจากรถยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 ในช่วงการขับในเมืองและบนทางด่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

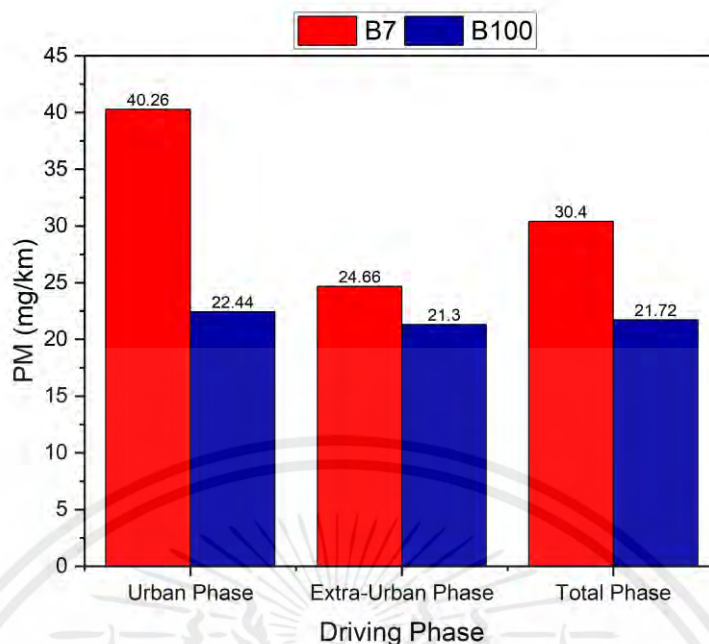


รูปที่ 4.17 จำนวนของอนุภาคจากรถยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 โดยวัดค่าแบบ Real-time



รูปที่ 4.18 จำนวนของอนุภาคจากรถยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 ในช่วงการขับขี่ในเมืองและบนทางด่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 น้ำหนักของอนุภาคจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันดีเซล B7 และ น้ำมันไบโอดีเซล B100 ในช่วงการขับขี่ในเมืองและบนทางด่วน

รูปที่ 4.7 และ รูปที่ 4.8 แสดงผลการวัดค่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO) ในท่อไอเสียรถยนต์ แบบ Real-time และค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงการทดสอบ สาเหตุที่ทำให้ CO ของน้ำมันไบโอดีเซล B100 มีค่าที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล B7 อยู่ 9% นั้นเกิดจากคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล B100 ที่มีค่าความเป็นกรด (Acid value) ที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล B7

รูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.10 แสดงผลการวัดค่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากท่อไอเสียของรถยนต์แบบ Real-time และค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงการทดสอบ พบว่าค่า CO₂ จากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซล B100 มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล B7 ประมาณ 2% เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซล B100 มีค่าของออกซิเจนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล B7 ทำให้การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซล B100 มีการสันดาปที่สมบูรณ์กว่า ส่งผลถึงการปล่อย CO₂ ที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจาก CO₂ เป็นก๊าซหลักที่เกิดจากการสันดาปของเครื่องยนต์

รูปที่ 4.11 และ รูปที่ 4.12 แสดงผลการวัดค่าของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ในท่อไอเสียรถยนต์แบบ Real-time และค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงการทดสอบ โดยปริมาณของ NO_x ที่ปล่อยจากรถยนต์ที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซล B100 มีค่าที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล B7 อยู่ 3.74% การที่ NO_x ลดลงนั้นเกิดจากการที่อุณหภูมิที่ปล่อยออกมาจากห้องเผาไหม้ของน้ำมันไบโอดีเซล B100 มีค่าที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล B7 เป็นเพราะคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล B100 มีค่าความระเหยกลายเป็นไอ (Heat of vaporization) ที่สูงกว่าทำให้ น้ำมันไบโอดีเซล B100 ต้องดูดซับพลังงานความร้อนที่มากกว่าน้ำมันดีเซล B7 ในการที่จะระเหยกลายเป็นไอ

รูปที่ 4.13 และ รูปที่ 4.14 แสดงค่าของไฮโดรคาร์บอน (HC) จากท่อไอเสียของรถยนต์แบบ Real-time และค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงการทดสอบ การใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 สามารถลดปริมาณการปล่อย HC ประมาณ 41% เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล B7 เนื่องจากปริมาณของออกซิเจนที่อยู่ในโมเลกุลของน้ำมันไบโอดีเซล B100 สูงกว่าน้ำมันดีเซล B7 ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า

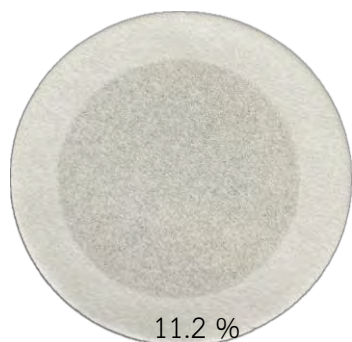
รูปที่ 4.15 และ รูปที่ 4.16 แสดงผลการวัดค่ามลพิษอนุภาคเขม่าควันดำในไอเสียรถยนต์แบบ Real-time และค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงการทดสอบ โดยปริมาณอนุภาคเขม่าควันดำมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 โดยมีค่าเขม่าควันดำน้อยกว่าน้ำมันดีเซล B7 ประมาณ 48.6% การที่ค่าความทึบแสงลดลงบ่งบอกถึงปริมาณของอนุภาคเขม่าที่ลดลงเช่นกัน

รูปที่ 4.17 และ รูปที่ 4.18 แสดงผลการวัดจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate number, PN) แบบ Real-time และค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่าจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PN) กรณีใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 จำนวนของอนุภาคลดลง 44.4% เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล B7 เพราะน้ำมันไบโอดีเซล B100 มีออกซิเจนที่มากกว่าทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

รูปที่ 4.19 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดน้ำหนักของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate matter, PM) ซึ่งเป็นน้ำหนักรวมของเขม่าควันดำทุกขนาดอ้างอิงตามมาตรฐานยูโร 4 จากผลการทดสอบพบว่าปริมาณอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM) **ตารางที่ 4.1** แสดงภาพ SEM ที่กำลังขยาย 2,500 และ 10,000 เท่า ซึ่งแสดงถึงการเปรียบเทียบของปริมาณเขม่าและขนาดของเขม่าที่ได้จากการวัดปริมาณเขม่าบนแผ่นกรองของน้ำมันที่ใช้ทดสอบที่แตกต่างกัน

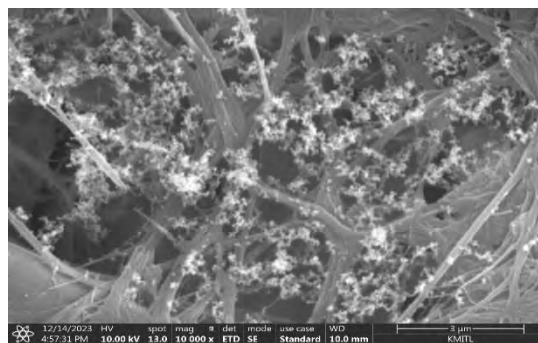
4.3 ลักษณะวิทยาของเขม่า (Soot morphology)

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า ของกระดาดรูป **รูปที่ 4.20** การกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่เกาะเป็นกลุ่มและขนาดเฉลี่ยถูกนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม ImageJ เพื่อวัดขนาดอนุภาคที่รวมตัวกันขนาดเฉลี่ยของกลุ่มอนุภาคเขม่าของน้ำมันดีเซล B7, และน้ำมันไบโอดีเซล B100 คือ 0.16 μm และ 0.05 μm ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่าขนาดของกลุ่มเขม่าที่เกาะตามเส้นใยของกระดาดกรองจากน้ำมันไบโอดีเซล B100 มีขนาดเล็กกว่าน้ำมันดีเซล B7 เนื่องจากไบโอดีเซลมีปริมาณคาร์บอนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณออกซิเจนที่จะใช้สำหรับการออกซิเดชันของเขม่า **ตารางที่ 4.1** แสดงภาพ SEM ที่กำลังขยาย 2,500 และ 10,000 เท่า ซึ่งแสดง ถึงการเปรียบเทียบของปริมาณเขม่า และขนาดของเขม่าที่ได้จากการวัดปริมาณเขม่าบนแผ่นกรองของน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบที่แตกต่างกัน



11.2 %

ก)

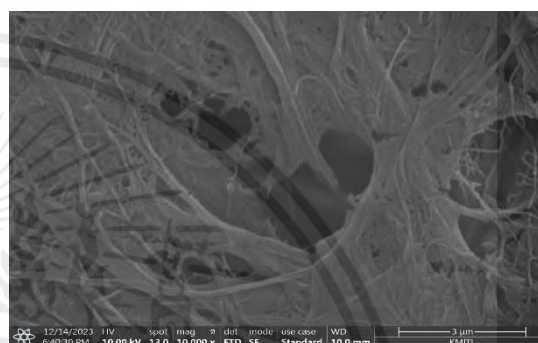


ข)



2.5 %

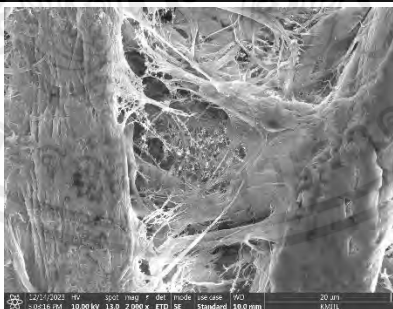
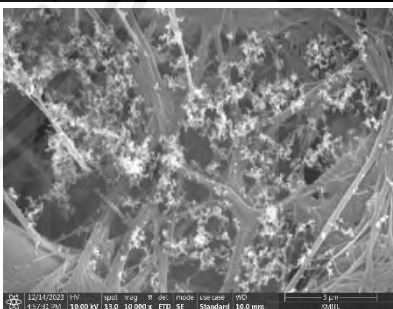
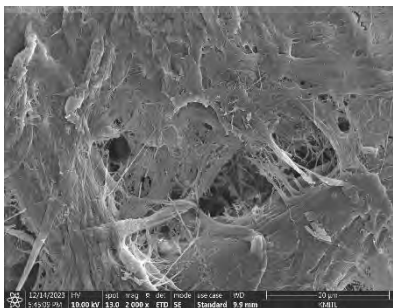
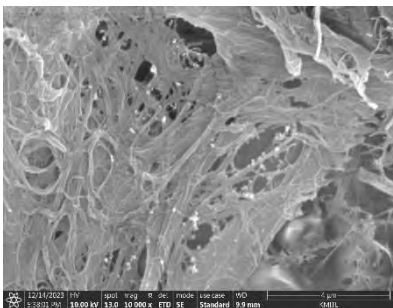
ค)



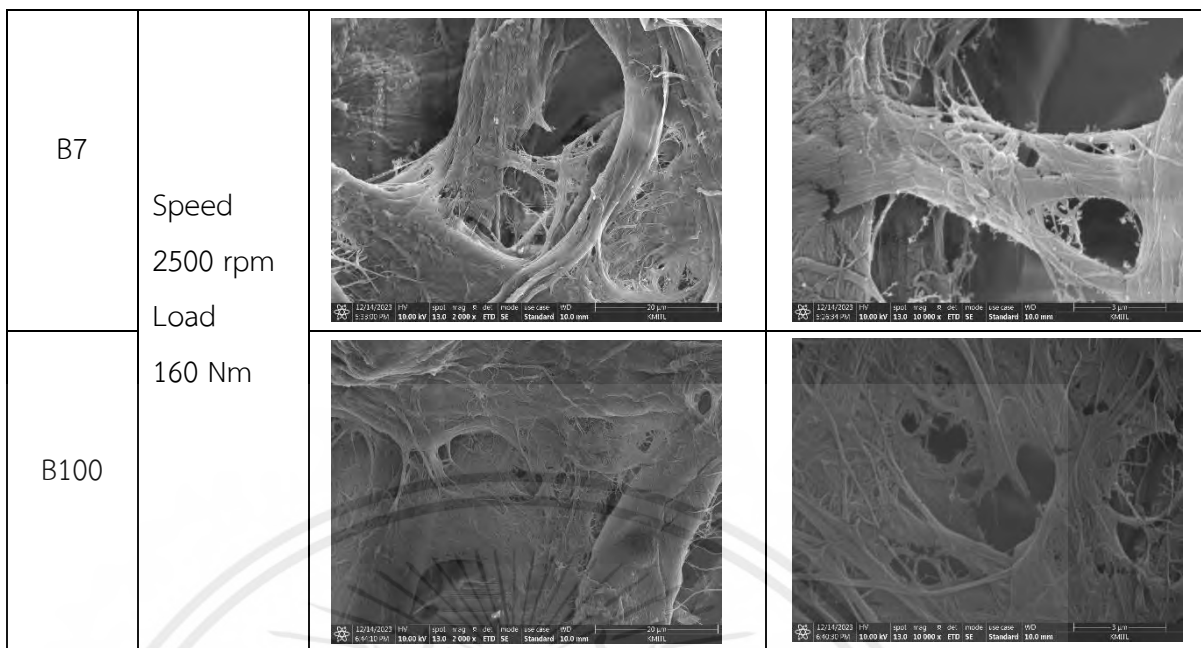
ง)

รูปที่ 4.20 ก) กระดาษกรองเขม่าที่ใช้กับน้ำมันดีเซล B7, ข) SEM image of B7, ค) กระดาษกรองเขม่าที่ใช้กับน้ำมันไบโอดีเซล B100 และ ง) SEM image of B100

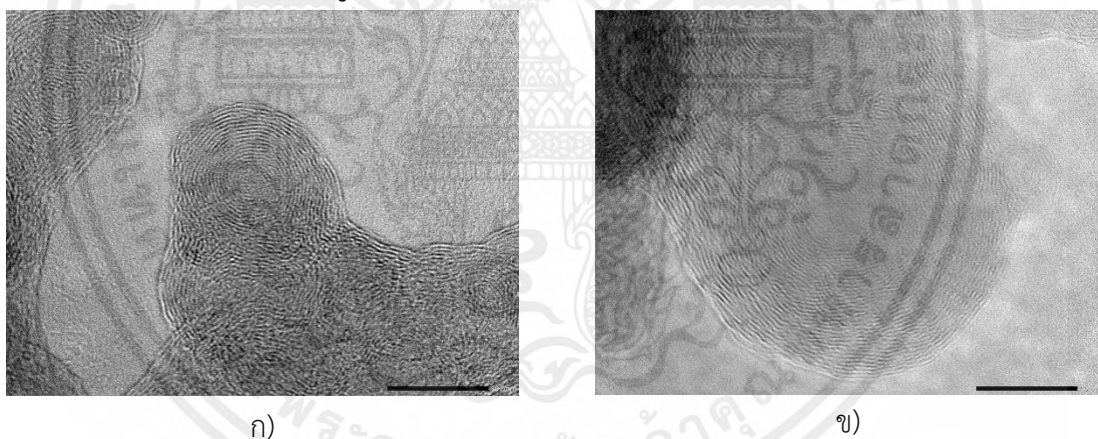
ตารางที่ 4.1 SEM images of fuels in various magnifications

Fuels	Conditions	2500x magnification	10000x magnification
B7	Speed 1500 rpm Load 160 Nm		
B100			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



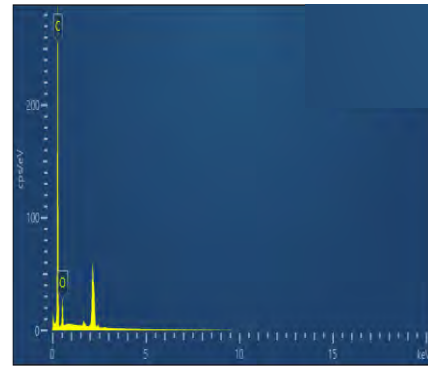
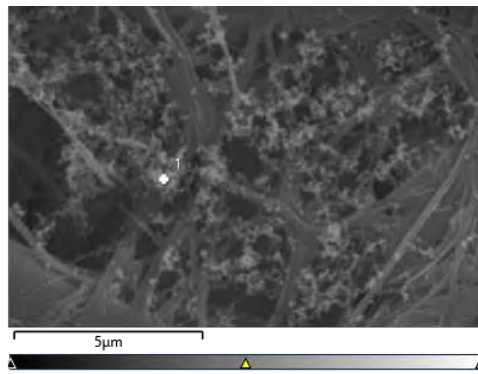
โครงสร้างของอนุภาคเดี่ยวในระดับนาโนเมตรถูกนำมาศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ที่กำลังขยาย 800,000 เท่า จากการวิเคราะห์ด้วยการประมวลผลภาพสามารถแสดงให้เห็นว่าอนุภาค ระดับนาโนของเขม่าควันดำนั้นประกอบด้วยเส้นโค้งที่ราบเรียบซึ่งคล้ายคลึงกับโครงสร้างผลึกของคาร์บอนดังรูปที่ 4.21



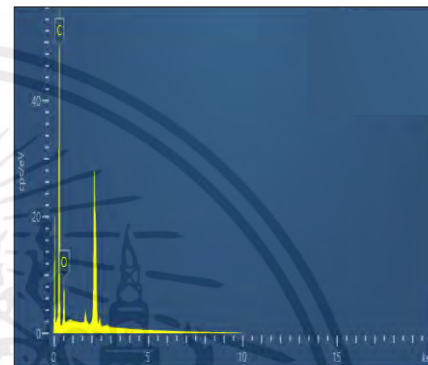
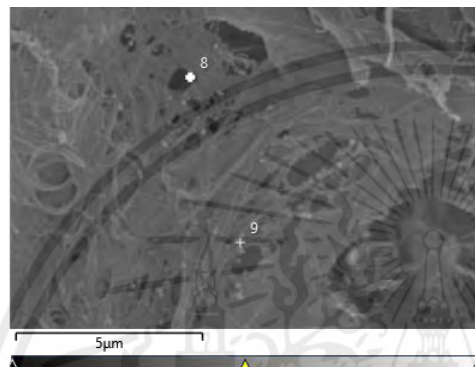
รูปที่ 4.21 ภาพถ่ายอนุภาคเดี่ยวของเขม่าจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)

ก) น้ำมันดีเซล B7 และ ข) น้ำมันไบโอดีเซล B100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

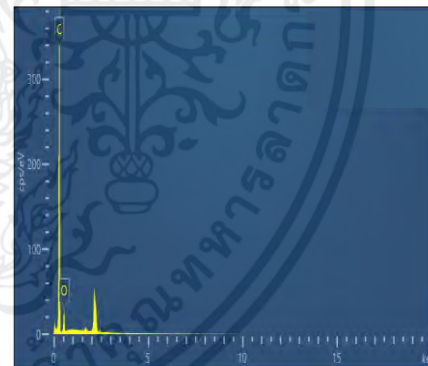
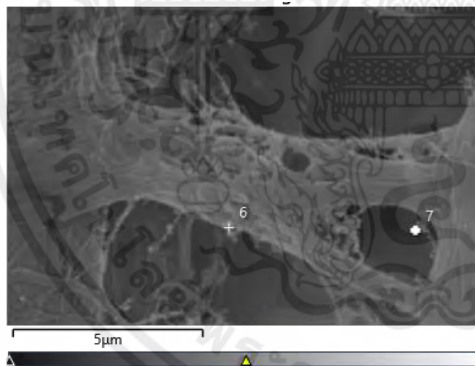


ก)

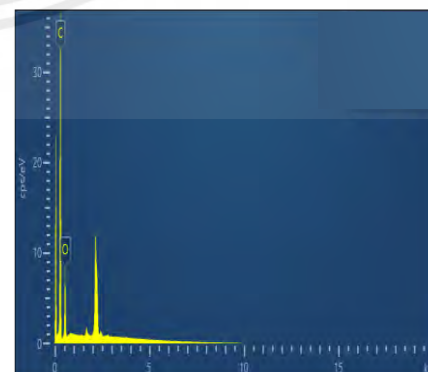
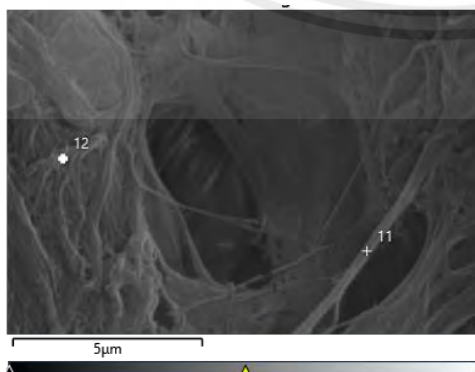


ข)

รูปที่ 4.22 EDS Spectra of ก) B7 และ ข) B100 at 1500 rpm and 160 Nm



ก)



ข)

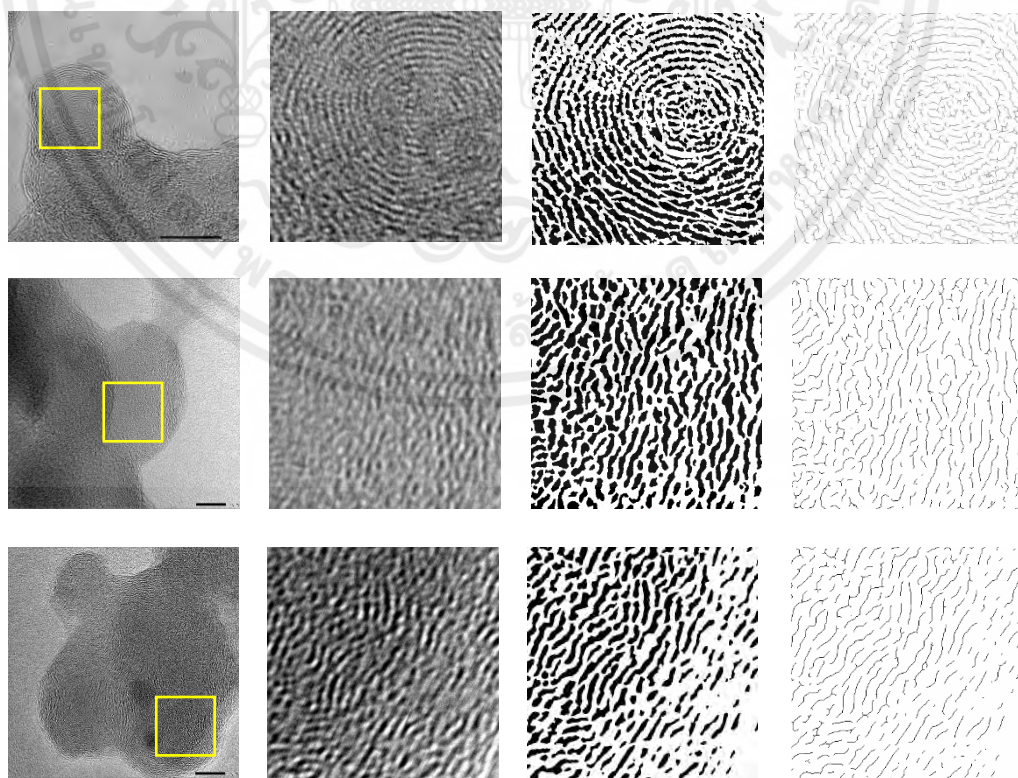
รูปที่ 4.23 EDS Spectra of ก) B7 และ ข) B100 at 2500 rpm and 160 Nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.22 และ รูปที่ 4.23 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเขม่าที่ติดอยู่กับกระดาษกรองด้วยเทคนิคสเปกโทรเมตรีของรังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน (SEM-EDS) จากเทคนิคนี้สามารถพิสูจน์ได้ว่าเขม่าจากรถยนต์มีส่วนประกอบหลักคือคาร์บอนและ และเมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเขม่าระหว่างน้ำมันไบโอดีเซล B100 กับน้ำมันดีเซล B7 จะเห็นได้ชัดเจนว่าปริมาณของคาร์บอนในเขม่าลดลงอย่างมากเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 นี้ส่งผลถึงปริมาณอนุภาคเขม่าที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 ก็จะมีค่าลดลงอย่างมากเช่นกันเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล B7

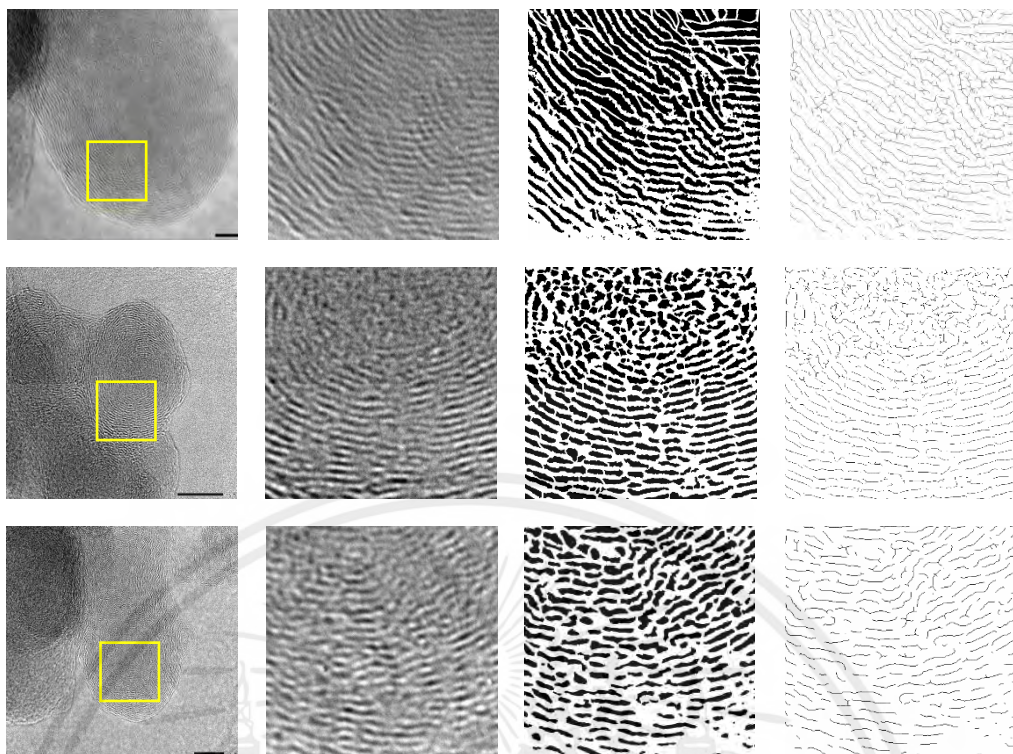
4.4 วิเคราะห์โครงสร้างของเขม่าในระดับนาโน (Soot analysis at nanostructure level)

การวิเคราะห์โครงสร้างในระดับนาโนเมตรมีวัตถุประสงค์ในการศึกษา ความยาวขอบเฉลี่ย (Average fringe length), ความยาวรวมผลึก (Total crystallite length), ความหนาแน่น (Carbon atom density) ของเกล็ดคาร์บอน และ ความหนาแน่นในทางวิศวกรรมของเขม่า (Soot density) ดำเนินการโดยกำหนดพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาด 100 ตารางนาโนเมตรในบริเวณอนุภาคเดี่ยวใช้วิธีการประมวลผลภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ในการประเมินความแตกต่างในโครงสร้างของอนุภาคเขม่าโดยบริเวณที่เลือกจะถูกเปลี่ยนเป็นรูปภาพขาวดำและสุดท้ายจะถูกเปลี่ยนให้การเป็นรูปโครงร่าง (Skeletonize image) ตามรูปที่ 4.24



ก) น้ำมันดีเซล B7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข) น้ำมันไบโอดีเซล B100

รูปที่ 4.21 แสดงขั้นตอนในการประมวลผลภาพตั้งแต่การกำหนดบริเวณ เปลี่ยนเป็นภาพขาวดำและทำให้กลายเป็นภาพโครงร่าง ของ ก) น้ำมันดีเซล B7 และ ข) น้ำมันไบโอดีเซล B100

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างนาโนของเขม่า

Item	B7	B100
Interplanar spacing (nm)	0.39	0.38
Longest fringe length (nm)	4.296	3.062
Average fringe length (nm)	0.665	0.575
Total crystallite length (nm/100 nm ²)	209.35	189.361
Total carbon atoms (atom/100 nm ³)	16103.84	14949.55
Carbon atom density (atom/nm ³)	113.04	105.21
Soot density (g/cm ³)	2.25	2.09

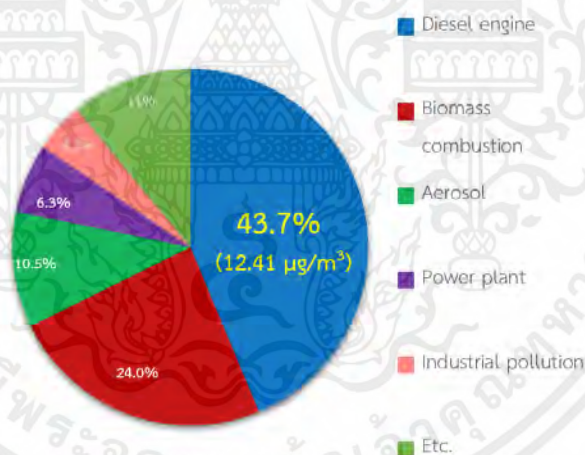
จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์เกล็ดคาร์บอนในพื้นที่ 100 ตารางนาโนเมตร พบว่าความยาวขอบเฉลี่ยของแผ่นคาร์บอนกราฟีนความยาวรวมของผลึกกราฟิต์ของน้ำมันไบโอดีเซล B100 มีขนาดสั้นกว่าน้ำมันดีเซล B7 13.7% และ 9.5% ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาความหนาแน่นของจำนวนอะตอมคาร์บอน (Carbon atom

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

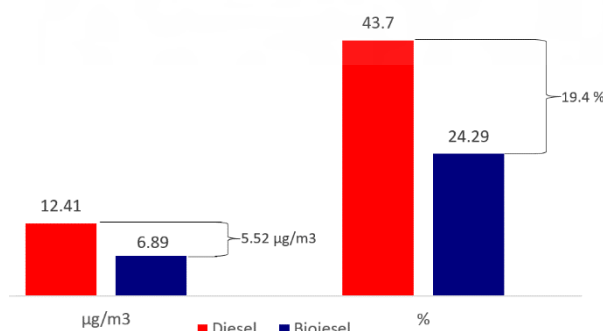
density) และความหนาแน่นในทางวิศวกรรมของเขม่า (Soot density) ในเขม่าพบว่าค่าของน้ำมันดีเซล B7 สูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซล B100 ประมาณ 6.9% และ 7% ตามลำดับ ดังที่แสดงใน ตารางที่ 4.2 จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าความหนาแน่นของคาร์บอนนั้นน้อยลงเป็นผลจากคุณสมบัติ น้ำมันไบโอดีเซล B100 ที่มีอะตอมของออกซิเจนในโมเลกุล ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ช่วยส่งผลโดยตรงต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น

4.5 การลดปริมาณอนุภาคเขม่าของรถยนต์จากชั้นบรรยากาศของกรุงเทพฯ (Reduction of diesel-vehicle PM from Bangkok's atmosphere)

คุณภาพอากาศโลกในปี 2566 จาก Thailand AQI ค่าเฉลี่ยของ PM_{2.5} ในกรุงเทพฯ จะอยู่ที่ 28.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ สาเหตุที่มาของ PM_{2.5} ในกรุงเทพฯ 43.7% นั้นเกิดจากไอเสียรถยนต์คิดเป็น 12.41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ดัง รูปที่ 4.25 จากผลการทดลอง ณ กรมควบคุมมลพิษพิสูจน์ได้ว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 สามารถลด PM_{2.5} ได้ถึง 5.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เทียบกับน้ำมันดีเซล B7 หากรถยนต์ดีเซลทุกคันใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 จะสามารถลดการปล่อย PM_{2.5} ลงจาก 12.41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เป็น 6.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ หรือเทียบเท่ากับการลดปริมาณของ PM_{2.5} จากรถยนต์ดีเซลในชั้นบรรยากาศกรุงเทพฯ จาก 43.7% เป็น 24.29% แสดงใน รูปที่ 4.26



รูปที่ 4.25 สัดส่วนของ PM_{2.5} ในชั้นบรรยากาศกรุงเทพฯ



รูปที่ 4.26 แสดงปริมาณของ PM_{2.5} จากรถยนต์ดีเซลที่จะลดลงหากใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของรถยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 มีค่าที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล B7 เป็นเหตุมาจากการมีค่าความร้อน (Calorific value) ที่ต่ำกว่าแต่ในขณะเดียวกันประสิทธิภาพทางความร้อนเบรก (Brake thermal efficiency) ของน้ำมันไบโอดีเซล B100 และน้ำมันดีเซล B7 มีค่าต่างกันเพียง 1% ทำให้สรุปได้ว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก

จากผลการทดสอบใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 กับรถยนต์บนแท่นทดสอบรถยนต์ (Chassis dynamometer) พบว่าค่าความทึบแสงเฉลี่ย (Opacity) ลดลง 48.6% และปริมาณ (Particulate mass) และจำนวน (Particulate number) ของอนุภาคฝุ่นได้ลดลง 28% และ 44% ตามลำดับเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล B7 และเมื่อศึกษาโครงสร้างระดับนาโนของอนุภาคเขม่า (Soot nanostructure) พบว่าค่าความยาวขอบสูงสุด (Longest fringe length), ความยาวรวมผลึก (Total crystallite length), ความหนาแน่น (Carbon atom density) ของเกล็ดคาร์บอน และความหนาแน่นของเขม่าในทางวิศวกรรม (Soot density) ของน้ำมันไบโอดีเซล B100 มีค่า 3.062 nm, 189.361 nm/100 nm², 105.21 atom/nm³ และ 2.09 g/cm³ ตามลำดับซึ่งมีค่าน้อยกว่าของน้ำมันดีเซล B7 อยู่ 13.7%, 9.5% 6.9% และ 7% ตามลำดับซึ่งมีค่า 4.296 nm, 209.35 nm/100 nm², 113.04 atom/nm³ และ 2.25 g/cm³ ตามลำดับ

นอกจากนี้สามารถกล่าวได้ว่าถ้ารถยนต์ดีเซลทุกคันในกรุงเทพฯ เปลี่ยนไปใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 แทนน้ำมันดีเซล B7 สามารถจะทำให้ PM_{2.5} ในกรุงเทพฯ ที่เกิดจากดีเซลลดลงได้ 5.51 µg/m³ หรือเท่ากับ 19.4%

บรรณานุกรม

- [1] J. Hill, "Environmental Costs and Benefits of Transportation Biofuel Production from Food-and Lignocellulose-Based Energy Crops: A Review," in Sustainable Agriculture, Springer Netherlands, 2009, p. 125–139.
- [2] M. Grahn, C. Azar and K. Lindgren, "The role of biofuels for transportation in CO₂ emission reduction scenarios with global versus regional carbon caps," Biomass and Bioenergy, vol.33, p. 3,60-371, March 2009.
- [3] H. Koptz, "Build a biomass energy Market," Nature, vol. 494, p. 29-31, February 2013.
- [4] M. Balat and M. Balat, "Political, economic and environment impacts of biomass-based hydrogen," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 34, p. 2589-3603, May 2009.
- [5] A. K. Azad, M. G. Rasul, M. M. K. Khan. S. C. Sharma and M. A. Hazrat, "Prospect of biofuels as an alternative transport fuel in Australia," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 43, p. 331-351, March 2015
- [6] C. Jin, M. Yao, H. Liu, C.-f. F. Lee and J. Ji, "Progress in the production and application of n-butanol as a biofuel," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, p. 4080-4106, October 2011.
- [7] S. K. Bhatia, S.-H. Kim, J.-J. Yoon and Y.-H. Yang, "Current status and strategies for second generation biofuel production using microbial systems," Energy Conversion and Management, vol. 148, p. 1142-1156, September 2017.
- [8] S. N. Naik, V. V. Goud, P. K. Rout and A. K. Dalai, "Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 14, p. 578-597, February 2010
- [9] J. Yang, M. Xu, X. Xhang, Q. Hu, M. Sommerfeld and Y. Chen, "Life-cycle analysis on biodiesel production from microalgae: Water footprint and nutrients balance," Bioresource Technology, vol. 102, p. 159-165, January 2011.
- [10] I. M. Atadashi, M. K. Aroua and A. A. Aziz, "High quality biodiesel and its diesel engine application: A review," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 14, p. 1999-2008, September 2010

- [11] W. G. Wang, D. W. Lyons, N. N. Clark, M. Gautam and P. M. Norton, “Emissions from Nine Heavy Trucks Fueled by Diesel Blend without Engine Modification,” *Environment Science & Technology*, vol. 34, p. 933-939, February 2000.
- [12] J. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals 2E*, McGraw Hill Professional, 2018
- [13] Phyoo Wai, “Experimental Investigation of the effect of ethanol and bio-diesel blended diesel fuels on combustion behavior and emission characteristics of common rail direct injection diesel engine, (Master of engineering KMUTL, 2023), p 32-35
- [14] H. Bockhorn, *Soot Formation in Combustion* (Ed: H. Bockhorn), Springer Series in Chemical Physics, Vol. 59, Springer, Berlin 1994.
- [15] Jun Xi and Bei-Jing Zhong, “Soot in Diesel Combustion Systems”, *Chemical Engineering & Technology*, 2006
- [16] F. Marcucilli, P. Gilot, B. R. Stanmore, G. Prado, 25th Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, Philadelphia, July– August 1994
- [17] P. L. Walker, L. G. Austin, S. P. Nandi, *Chemistry and Physics of Carbon* (Ed: P. L. Walker), Marcel Dekker, New York 1966.
- [18] P. Eastwood, “Particle Emissions from Vehicles.”, SAE Order No. R-389, SAE International, 2008
- [19] D.B. Kittelson, “Engines and Nanoparticles: A Review.”, *Journal of Aerosol Science*, Vol. 29, pp. **575-588, 1998.**
- [20] B. S. Haynes, H. G. Wagner, *Prog. Energ. Combust.* 1981, 7, 229.
- [21] I. Glassman, *Combustion*, 3rd ed., Academic Press, Inc., San Diego 1996
- [22] T. Ishiguro, Y. Takatori, K. Akihama, *Combust. Flame* 1997, 108, 231
- [23] R.L. Vander Wal, A. Yezerets, **N.W. Currier, D.H. Kim and C.H. Wang**, “**HRTEM Study of Diesel Soot Collected from Diesel Particulate Filters.**”, *Carbon*, Vol. **45**, pp. **70-77, 2007.**
- [24] P. Karin, J. Boonsakda, K. Siricholathum, E. Saenkhumvong, C. Charoenphonphanich and K. Hanamura, “Morphology and Oxidation Kinetics of CI Engine's Biodiesel Particulate Matters on Cordierite Diesel Particulate Filters using TGA.”, *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 18(1), pp. 31-40, 2017a.

- [25] Prakash Thangavel, Duckshin Park, and Young-Chul Lee, “Recent Insights into Particulate Matter (PM2.5)-Mediated Toxicity in Humans”, *Int J Environ Res Public Health*, Vol19(12), 7511, 2022
- [26] Luo R., Dai H., Zhang Y., Wang P., Zhou Y., Li J., Zhou M., Qiao L., Ma Y., Zhu S., et al. Association of short-term exposure to source-specific PM2.5 with the cardiovascular response during pregnancy in the Shanghai MCPC study. *Sci. Total Environ.* 2021;775:145725.
- [27] Renzi M., Stafoggia M., Michelozzi P., Davoli M., Forastiere F., Solimini A.G. Short-term exposure to PM2.5 and risk of venous thromboembolism: A case-crossover study. *Thromb. Res.* 2020;190:52–57.
- [28] Wyatt L.H., Weaver A.M., Moyer J., Schwartz J.D., Di Q., Diaz-Sanchez D., Cascio W.E., Ward-Caviness C.K. Short-term PM2.5 exposure and early-readmission risk: A retrospective cohort study in North Carolina heart failure patients. *Am. Heart J.* 2022;248:130–138.
- [29] Pini L., Giordani J., Gardini G., Concoreggi C., Pini A., Perger E., Vizzardi E., Di Bona D., Cappelli C., Ciarfaglia M., et al. Emergency department admission and hospitalization for COPD exacerbation and particulate matter short-term exposure in Brescia, a highly polluted town in northern Italy. *Respir. Med.* 2021;179:106334.
- [30] Sun B., Song J., Wang Y., Jiang J., An Z., Li J., Zhang Y., Wang G., Li H., Alexis N.E., et al. Associations of short-term PM2.5 exposures with nasal oxidative stress, inflammation and lung function impairment and modification by GSTT1-null genotype: A panel study of the retired adults. *Environ. Pollut.* 2021;285:117215.
- [31] Lei R., Zhu F., Cheng H., Liu J., Shen C., Zhang C. Short-term effect of PM2.5/O3 on non-accidental and respiratory deaths in highly polluted area of China. *Atmos. Pollut. Res.* 2019;10:1412–1419.
- [32] Zhang Y., Ding Z., Xiang Q., Wang W., Huang L., Mao F. Short-term effects of ambient PM1 and PM2.5 air pollution on hospital admission for respiratory diseases: Case-crossover evidence from Shenzhen, China. *Int. J. Hyg. Environ. Health.* 2020;224:113418.
- [33] Chen T., Chen F., Wang K., Ma X., Wei X., Wang W., Huang P., Yang D., Xia Z., Zhao Z. Acute respiratory response to individual particle exposure (PM1.0, PM2.5 and PM10) in the elderly with and without chronic respiratory diseases. *Environ. Pollut.* 2021;271:116329.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [34] McGuinn L.A., Schneider A., McGarrah R.W., Ward-Caviness C., Neas L.M., Di Q., Schwartz J., Hauser E.R., Kraus W.E., Cascio W.E., et al. Association of long-term PM2.5 exposure with traditional and novel lipid measures related to cardiovascular disease risk. *Environ. Int.* 2019;122:193–200.
- [35] Chuang K.-J., Lin L.-Y., Ho K.-F., Su C.-T. Traffic-related PM2.5 exposure and its cardiovascular effects among healthy commuters in Taipei, Taiwan. *Atmos. Environ. X.* 2020;7:100084.
- [36] Xie G., Sun L., Yang W., Wang R., Shang L., Yang L., Qi C., Xin J., Yue J., Chung M.C. Maternal exposure to PM2.5 was linked to elevated risk of stillbirth. *Chemosphere.* 2021;283:131169.
- [37] Ren J., Li B., Yu D., Liu J., Ma Z. Approaches to prevent the patients with chronic airway diseases from exacerbation in the haze weather. *J. Thorac. Dis.* 2016;8:E1–E7.
- [38] Kim H.J., Choi M.G., Park M.K., Seo Y.R. Predictive and Prognostic Biomarkers of Respiratory Diseases due to Particulate Matter Exposure. *J. Cancer Prev.* 2017;22:6–15.
- [39] Zhao C., Wang Y., Su Z., Pu W., Niu M., Song S., Wei L., Ding Y., Xu L., Tian M., et al. Respiratory exposure to PM2.5 soluble extract disrupts mucosal barrier function and promotes the development of experimental asthma. *Sci. Total Environ.* 2020;730:139145.
- [40] Liu G., Li Y., Zhou J., Xu J., Yang B. PM2.5 deregulated microRNA and inflammatory microenvironment in lung injury. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2022;91:103832.
- [41] Zhou Y., Ma J., Wang B., Liu Y., Xiao L., Ye Z., Fan L., Wang D., Mu G., Chen W. Long-term effect of personal PM2.5 exposure on lung function: A panel study in China. *J. Hazard. Mater.* 2020;393:122457.
- [42] Luo F., Guo H., Yu H., Li Y., Feng Y., Wang Y. PM2.5 organic extract mediates inflammation through the ER β pathway to contribute to lung carcinogenesis in vitro and vivo. *Chemosphere.* 2020;263:127867.
- [43] Cristaldi A., Fiore M., Conti G.O., Pulvirenti E., Favara C., Grasso A., Copat C., Ferrante M. Possible association between PM2.5 and neurodegenerative diseases: A systematic review. *Environ. Res.* 2022;208:112581.

- [44] Wang Y., Li C., Zhang X., Kang X., Li Y., Zhang W., Chen Y., Liu Y., Wang W., Ge M., et al. Exposure to PM2.5 aggravates Parkinson's disease via inhibition of autophagy and mitophagy pathway. *Toxicology*. 2021;456:152770.
- [45] C. ChooChuay, S. Pongpiachan, D. Tipmanee, O. Suttinun, W. Deelaman, Q. Wang, L. Xing, G. Li, Y. Han, J. Palakun and J. Cao, "Impacts of PM2.5 sources on variations in particulate chemical compounds in ambient air of Bangkok, Thailand.", *Atmospheric Pollution Research*, Vol. 11(9), pp. 1657-1667, 2020.
- [46] Karin, Preechar, et al. "Influence of ethanol-biodiesel blends on diesel engines combustion behavior and particulate matter physicochemical characteristics." *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 6 (2022): 100249.
- [47] Nguyen, Vu H., et al. "An extensive analysis of biodiesel blend combustion characteristics under a wide-range of thermal conditions of a cooperative fuel research engine." *Sustainability* 12.18 (2020): 7666.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรม Matlab การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องยนต์

ก 1. ฟังก์ชันหลัก (Main Function)

Setting the constant (Fuel Properties)

```
fuel = ["B7";"B100"];
CalorificValue = [42.72;37.41];
fuelprop = table(fuel, CalorificValue);
Case = ["B7" "B7 with DPF" "B100" "B100 with DPF"];
```

Import file

```
RawData = importfile("<File Path>", "Fuel Consumption", [2, Inf]);
RawData.BrakePower = pi() * RawData.RPM .* RawData.Torque / (30 * 1000);
RawData.Properties.VariableNames(4:2:6) = ["B7withDPF" "B100withDPF"];
```

Analysis of Fuel

-> using by typing "Condition.(fuel)" to show Fuel table
 Condition = FuelAnalysation(RawData, fuelprop);

Table of Properties

-> using by typing "Properties.(properties)" to show Properties table
 Properties = PropAnalysation(Condition);

Bar plot of Fuel Consumption

```
tile = ft_bar(Properties.FuelConsum, "Fuel Consumption [g/s]");
tile2 = ft_bar(Properties.Qin, "Qin [kW]");
tile3 = ft_bar(Properties.BSFC, "BSFC [g/kWh]");
tile4 = ft_bar(Properties.BSEC, "BSEC [kJ/kWh]");
tile5 = ft_bar(Properties.BTE, "BTE [%]");
```

ก 2. “importfile” Function

```
function RawDataS1 = importfile(workbookFile, sheetName, dataLines)

% If no sheet is specified, read first sheet
if nargin == 1 || isempty(sheetName)
    sheetName = 1;
end

% If row start and end points are not specified, define defaults
if nargin <= 2
    dataLines = [1, Inf];
end

%% Set up the Import Options and import the data
opts = spreadsheetImportOptions("NumVariables", 6);

% Specify sheet and range
opts.Sheet = sheetName;
opts.DataRange = dataLines(1, :);

% Specify column names and types
opts.VariableNames = [<Variable names>];
opts.VariableTypes = [<Variable types>];

% Specify variable properties
opts = setvaropts(opts, ["RPM", "Torque", "EmptyFieldRule", "auto"]);

% Import the data
RawDataS1 = readtable(workbookFile, opts, "UseExcel", false);

for idx = 2:size(dataLines, 1)
    opts.DataRange = dataLines(idx, :);
```

ก 3. “FuelAnalysation” Function

```
function Con = FuelAnalysation(RawData, fuelprop)
    Con.B7 = FuelAnalys(RawData, fuelprop.CalorificValue(1), "B7");
    Con.B7DPF = FuelAnalys(RawData, fuelprop.CalorificValue(1),
        "B7withDPF");
    Con.B100 = FuelAnalys(RawData, fuelprop.CalorificValue(2), "B100");
    Con.B100DPF = FuelAnalys(RawData, fuelprop.CalorificValue(2),
        "B100withDPF");
end

function NewTable = FuelAnalys(RawData, fuelprop, fuel)
    NewTable = table(RawData.RPM, RawData.Torque, RawData.BrakePower,
        RawData.(fuel));
    NewTable.Properties.VariableNames =
        [RawData.Properties.VariableNames(1:2) "Brake Power [kW]" "Fuel consumption [g/s]"];
    NewTable.("Qin [kW]") = NewTable.("Fuel consumption [g/s]") *
        fuelprop;
    NewTable.("BSFC [g/kWh]") = NewTable.("Fuel consumption [g/s]") ./
        NewTable.("Brake Power [kW]") * 3600;
    NewTable.("BSEC [kJ/kWh]") = NewTable.("BSFC [g/kWh]") * fuelprop;
    NewTable.("BTE [%]") = NewTable.("Brake Power [kW]") ./
        NewTable.("Qin [kW]") * 100;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 4. “PropAnalysation” Function

```
function Properties = PropAnalysation(Fuel)
    Properties.FuelConsum = Property(Fuel, "Fuel consumption [g/s]");
    Properties.Qin = Property(Fuel, "Qin [kW]");
    Properties.BSFC = Property(Fuel, "BSFC [g/kWh]");
    Properties.BSEC = Property(Fuel, "BSEC [kJ/kWh]");
    Properties.BTE = Property(Fuel, "BTE [%]");
end

function NewTable = Property(Fuel, prop)
    NewTable = table(Fuel.B7.RPM, Fuel.B7.Torque, Fuel.B7.(prop),
    Fuel.B100.(prop));
    NewTable.Properties.VariableNames = ["RPM" "Torque" "B7" "B100"];
```

ก 5. “ft_bar” Function

```
function t = ft_bar(Table, prop)
    torque_values = ["84 Nm", "112 Nm", "140 Nm", "160 Nm"];
    x = [1-0.25 1+0.25 2-0.25 2+0.25 3-0.25 3+0.25 4-0.25 4+0.25];
    rpm_values = [1500, 2000, 2500];
    Ary = table2array(Table);
    ylim = max(max(Ary(:,3:end)));
    t = tiledlayout(1, 3, 'TileSpacing', 'none');
    for i = 1:3
        nexttile;
        if i == 1
            T = Table{1:4, 3:end};
        elseif i == 2
            T = Table{5:8, 3:end};
        else
            T = Table{9:12, 3:end};
        end
        y_label = prop ;
        if prop == "BSEC [kJ/kWh]"
            T = T/1000;
            if i == 1
                ylim = ylim/1000;
            end
            y_label = y_label + " (x10^4)";
        end
        y_txt = [T(1, :) T(2, :) T(3, :) T(4, :)];
        txt = strsplit(sprintf('%.3g\n', y_txt(:)), '\n');
        b_plot = bar(T, 1, 'hist');
        %change Color of Bar plot
        b_plot(1).FaceColor = '#EA3323';
        b_plot(2).FaceColor = '#00007E';
        %texting above the bar
        text(x, y_txt, txt(1:length(x)), 'HorizontalAlignment',
        'center', 'VerticalAlignment', 'bottom', 'FontSize', 8);
        xtick_positions = 1:(length(torque_values) * 2);
```

```

if i == 1
    yyaxis right
    ax = gca();
    ax.YAxis(2).Color = 'none';
    yyaxis left
    ylabel(y_label);
    ax.YLim = [0 (ylim + 0.1 * ylim)];
    legend(Table.Properties.VariableNames(3:end), "Location",
           "northwest");

elseif i== 3
    yyaxis left
    ax = gca();
    ax.YLim = [0 (ylim + 0.1 * ylim)];
    ax.YAxis(1).Visible = "off";
    yyaxis right
    ax.YLim = [0 (ylim + 0.1 * ylim)];
    ax.YAxis(2).Color = 'black';
else
    ax = gca();
    ax.YAxis.Visible = "off";
    ax.YLim = [0 (ylim + 0.1 * ylim)];
end
ax.LineWidth = 1.5;
grid on

```

ก 6. โปรแกรมวิเคราะห์อุณหภูมิท่อไอเสีย

```

EmiPMs = importfile(<File Path>, "Opacity", [3, Inf])
EmiPMs = removevars(EmiPMs, ["B7CeO2_300DOCPt_300PDF" "B10"]);
EmiPMs(13 : end, :) = [];
EmiPMs.Properties.VariableNames = ["RPM" "Torque" "B7" "B100"]
tile = ft_bar(EmiPMs, "Exhaust Temperature (°C)");

```