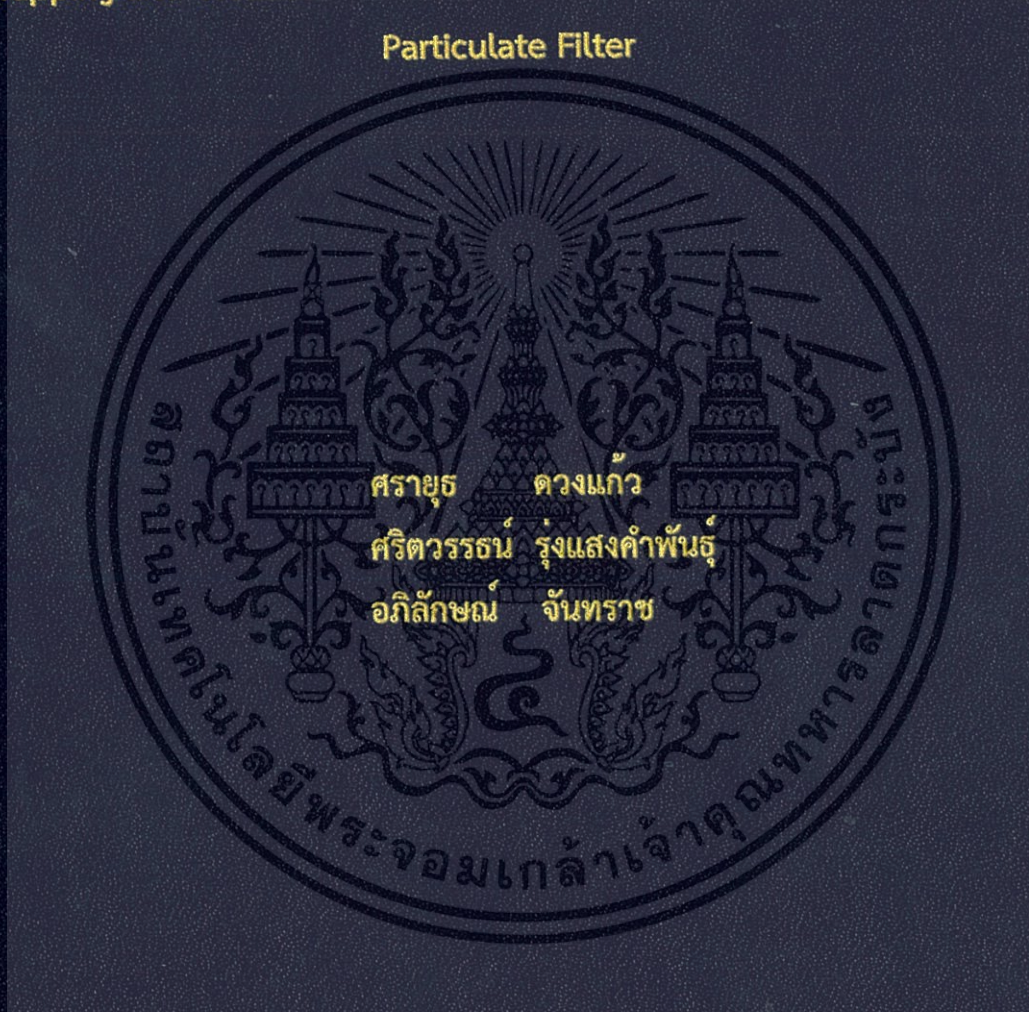


การดักกรองและออกซิเดชันมลพิษอนุภาคมลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงดีเซล

และ

ไบโอดีเซลด้วยอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาค

Trapping and Oxidation of Diesel and Biodiesel Particle Emissions by
Particulate Filter



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การดักกรองและออกซิเดชันมลพิษอนุภาคมลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงดีเซล
และ

ไบโอดีเซลด้วยอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาค

Trapping and Oxidation of Diesel and Biodiesel Particle Emissions by
Particulate Filter



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Trapping and Oxidation of Diesel and Biodiesel Particle Emissions by
Particulate Filter



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

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2557
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การดักกรองและออกซิเดชันมลพิษอนุภาคเขม่าจากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลด้วย
อุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาค

Trapping and Oxidation of Diesel and Biodiesel Particle Emissions by
Particulate Filter

ผู้จัดทำ

- | | | |
|-------------------|-----------------|-----------------------|
| 1. นาย ศรายุทธ | ดวงแก้ว | รหัสประจำตัว 54011252 |
| 2. นาย ศริตวรธรณ์ | รุ่งแสงคำพันธ์ุ | รหัสประจำตัว 54011254 |
| 3. นาย อภิลักษณ์ | จันทราช | รหัสประจำตัว 54011492 |



Pracha Karinth

(ดร. ปรีชา การินทร์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดักกรองและออกซิเดชันมลพิษอนุภาคมลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลด้วย
อุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาค

นาย ศรายุธ	ดวงแก้ว	54011252
นาย ศริตวรธรณ์	รุ่งแสงคำพันธ์ุ	54011254
นาย อภิลักษณ์	จันทราช	54011492
ดร. ปรีชา	การินทร์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557		

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการศึกษาเกี่ยวกับมลพิษอนุภาคของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล ซึ่งทดสอบด้วยชุดทดลองที่ออกแบบและสร้างขึ้นซึ่งสามารถดักและกำจัดมลพิษอนุภาคไอเสีย โดยใช้อุปกรณ์กำจัดมลพิษอนุภาคแบบไหลผ่าน (Diesel Particulate Filter , DPF) เพื่อมีความมุ่งหมายที่จะต้องการลดปริมาณมลพิษอนุภาคจากเครื่องยนต์ดีเซล โดยเปรียบเทียบปริมาณ มลพิษอนุภาค และปฏิกิริยาทางเคมีของมลพิษอนุภาคจากดีเซลและไบโอดีเซล ซึ่งวัดค่าจากปริมาณความดันตกคร่อมระหว่างขาเข้าและขาออกของตัวอุปกรณ์ตามปริมาณมลพิษที่สะสมภายในตัวกรอง ซึ่งอัตราการปล่อยมลพิษอนุภาคของดีเซลมีค่าโดยประมาณเป็นสองเท่าของไบโอดีเซล รวมถึงการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่มีผลต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันในการสลายมลพิษอนุภาคซึ่งมีการเปรียบเทียบปริมาณ O_2 ที่ 10%, 15% และ 20% ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ซึ่งเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล และถ้าเทียบที่เชื้อเพลิงเดียวกัน ปริมาณ O_2 21 % ส่งผลต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Trapping and Oxidation of Diesel and Biodiesel Particle Emissions by Particulate Filter

Sarayut	Duangkaew	54011252
Sarittawat	Rungsaengkhamphan	54011254
Apiluck	Jantarach	54011492
Dr.Preechar	Karin	Advisor
Year 2014		

ABSTRACT

This project would like to study about particulate matter from diesel and bio-diesel. Designed experiment to trap and eliminate particulate matter. By using a Partial-flow Diesel Particulate Filter (DPF) to reduce particulate matter from diesel engine. By comparing quantity and chemical reaction composition of particulate matter by measures pressure drop between the input and output of the device by the amount of particulate matter that accumulate in the filter. Emission rate of diesel is double compare to biodiesel. Including comparing the amount of oxygen that affects the oxidation reaction at O₂ 10%, 15% and 20% at a temperature of 600 Celsius. The biodiesel fuel has oxidation reaction rate higher than diesel. By compared to the same amount of fuel at O₂ 21% is the highest oxidation rate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ดร. ปรีชา การินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา และผศ.ดร.จินดา เจริญพรพานิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และชมรมยานยนต์พระจอมเกล้าลาดกระบัง ที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้ และขอบคุณพีเบิร์ด พีตีบ พีทิง พีคัง พีน็อต พีวิท และพีป.โทชมรมยานยนต์พระจอมเกล้าลาดกระบังที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำความรู้ด้านต่างๆในการทำโครงการ

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



นายศรายุทธ ดวงแก้ว
นายศรিতววรรณ รุ่งแสงคำพันธ์
นายอภิสิทธิ์ จันทราช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IIIจะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานในงานวิจัย	5
2.1 มลพิษไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล	5
2.1.1 ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO _x)	5
2.1.2 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	5
2.1.3 ไฮโดรคาร์บอน (HC)	6
2.1.4 อนุภาคของแข็ง (Particulates)	6
2.2 เครื่องดักกรองมลพิษอนุภาคเครื่องยนต์ดีเซล (Diesel particulate filter : DPF)	9
2.2.1 เครื่องดักกรองชนิดรังผึ้งเซรามิก (Ceramic monoliths)	9
2.2.2 เครื่องดักกรองชนิดโฟมเซรามิก (Ceramic foam)	10
2.2.3 เครื่องดักกรองชนิดแผ่นใยเซรามิกหรือไฟเบอร์ (Ceramic fiber mat)	10
2.3 หลักการพื้นฐานการดักกรองมลพิษอนุภาค	11
2.3.1 การกรองขั้นพื้นฐาน	12
2.4 เชื้อเพลิงไบโอดีเซล	12
2.4.1 ประเภทของไบโอดีเซล	12
2.5 เครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (Thermo-Gravimetric Analysis: TGA)	13
2.5.1 เครื่องชั่ง (Balance)	15
2.5.2 เตาเผา (Furnace)	16
2.5.3 โปรแกรมเมอร์ (Programmer)	17
2.5.4 ตัวอย่าง (Sample)	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 การปรับมาตรฐานอุณหภูมิ (Temperature Calibration).....	17
2.6 การคำนวณพลังงานก่อกัมมันต์ของมลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซล.....	18
2.7 ความดันตกคร่อม (Pressure Drop).....	19
2.7.1 แบบจำลองความดันตกคร่อมที่เกิดในเครื่องดักกรองอนุภาค (DPF).....	20
บทที่ 3 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง.....	21
3.1 เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก	21
3.2 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง.....	22
3.3 อุปกรณ์การทดลอง.....	22
3.3.1 อุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาค.....	22
3.3.2 เซนเซอร์วัดความดัน (Pressure sensor).....	23
3.3.3 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple).....	23
3.3.4 ปั๊มดูดแบบสุญญากาศ (Vacuum Pump).....	24
3.3.5 เตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace).....	25
3.3.6 สวิตช์วัดอัตราการไหลดิจิทัล (Digital flow switch)	26
3.4 การดักและการสลایมลพิษอนุภาค.....	27
3.4.1 แผนภาพการดักมลพิษอนุภาคและการฟื้นฟูตัวกรองมลพิษอนุภาค	27
3.4.2 การออกแบบชุดทดลอง	29
3.5 การวิเคราะห์มลพิษอนุภาคโดยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อนจากคาร์บอน เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซล.....	31
3.6 การทำงานของชุดทดลอง	32
3.6.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	32
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	33
4.1 อัตราการปล่อยมลพิษอนุภาคของดีเซลและไบโอดีเซล	33
4.2 การศึกษาการดักกรองมลพิษอนุภาคของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล	34
4.3 กระบวนการรีเจนเนอเรชั่น.....	35
4.3.1 กระบวนการออกซิเดชั่น	36
4.4 สมบัติทางเคมีของมลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (Thermo-gravimetric analysis).....	38
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ปัญหาและแนวทางแก้ไข ปัญหา และข้อเสนอแนะ	40
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	40
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไขปัญหา.....	41
5.3 ข้อเสนอแนะ	41
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และวางอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ในการทดลอง	21
ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล	22
ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาค (DPF).....	23
ตารางที่ 3.4 สมรรถนะของปั๊มสุญญากาศ.....	24
ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของเตาเผาอุณหภูมิสูง.....	25
ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติของ Flow switch.....	26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การเกิด NO_x ต่ออัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิง	5
รูปที่ 2.2 การเกิด CO ต่ออัตราส่วนการให้อากาศ	6
รูปที่ 2.3 การรวมตัวเกาะกันเป็นก้อนของมลพิษอนุภาค	6
รูปที่ 2.4 ลักษณะของมลพิษอนุภาค	8
รูปที่ 2.5 การเกิดมลพิษอนุภาคในไอเสียดยนต์ที่ความดันต่างๆของเชื้อเพลิง	8
รูปที่ 2.6 แสดงการติดตั้งเครื่องดักกรองอนุภาคเข้ากับเครื่องยนต์ดีเซล	9
รูปที่ 2.7 แสดงการติดตั้งเครื่องดักกรองชนิดรังผึ้งเซรามิค	10
รูปที่ 2.8 ลักษณะของเครื่องดักกรองชนิดโฟมเซรามิค	10
รูปที่ 2.9 ลักษณะของเครื่องดักกรองชนิดแผ่นใยเซรามิค	11
รูปที่ 2.10 กลไกการเคลื่อนตัวของมลพิษอนุภาค	11
รูปที่ 2.11 แสดงมลพิษอนุภาคของแก๊สไอเสียถูกดักจับด้วยกลไกต่างๆ	12
รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของกระบวนการคาร์บอนนิวตรอนของไบโอดีเซล	13
รูปที่ 2.13 เครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน	14
รูปที่ 2.14 แผนภาพไดอะแกรมของระบบเครื่องชั่งเชิงความร้อน	14
รูปที่ 2.15 แผนภาพแสดง Microbalance: A, lamp; B, Shutter; C, Photocells	15
รูปที่ 2.16 การจัดเรียงเครื่องชั่งความร้อนที่แสดงถึงเตาเผา (ทึบแสง) ตำแหน่งสารตัวอย่างและที่วาง สาร (a) และ (c) เป็นแบบแขวน, (b) เป็นแบบตั้ง, (d) เป็นแบบแนวนอน ตำแหน่งแม่เหล็กสำหรับ ปรับมาตรฐานที่จุดคูรีแสดงในรูป (c)	15
รูปที่ 2.17 ไดอะแกรมแสดงเครื่องชั่งความร้อนขนาดเล็กๆแบบสมมาตร	16
รูปที่ 2.18 ไดอะแกรมของเครื่องชั่งความร้อนขนาดเล็กๆที่แขวนในสนามแม่เหล็ก	16
รูปที่ 2.19 เส้นเคิร์ฟแสดงจุดคูรีที่ได้จากการจัดเรียงอุปกรณ์ในรูปที่ 2.18 เมื่อเลือกใช้โลหะนิเกิลจะ ให้ค่า T_1 351.4 °C, T_2 352.8 °C, T_3 354.4 °C, T_2 คือค่าที่ใช้ปรับมาตรฐาน ณ จุดคูรี	18
รูปที่ 2.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln - 1PMs \text{nd} PMs dt$ กับ $1/T$	19

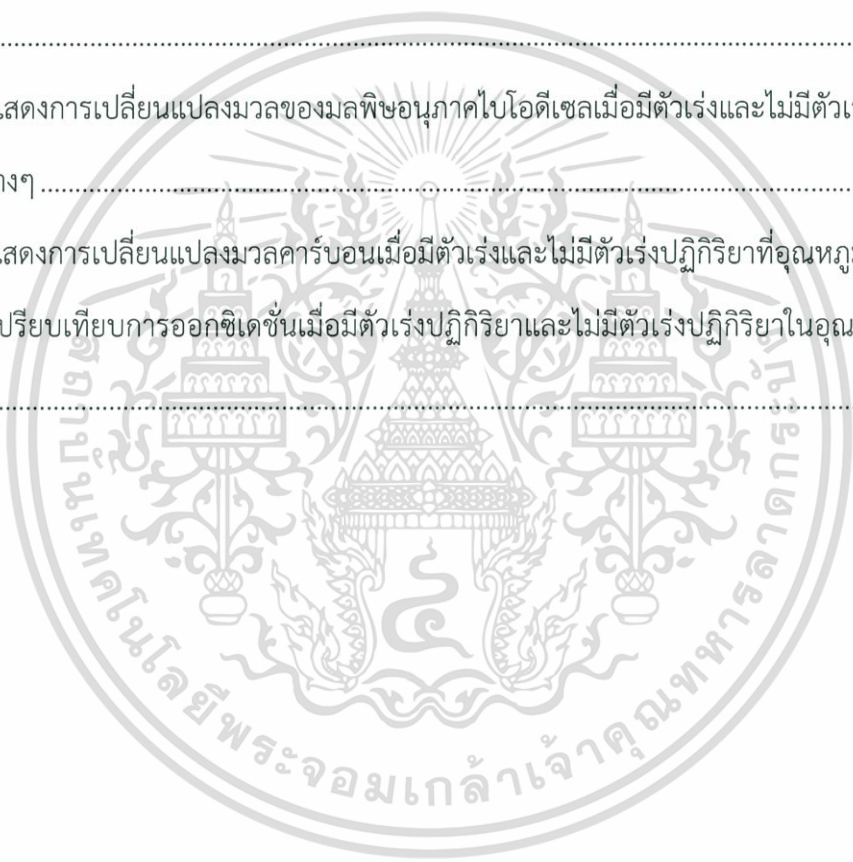
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VII อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.21 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดความดันตกคร่อม.....	20
รูปที่ 2.22 กราฟความดันตกคร่อม	20
รูปที่ 3.1 เครื่องยนต์ Yanmar รุ่น TF 120 Di.....	21
รูปที่ 3.2 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่รอบต่างๆ	21
รูปที่ 3.3 (ก)เชื้อเพลิงดีเซล (B4-5) และ(ข)ไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลอง (B100).....	22
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคแบบไหลผ่านบางส่วน.....	23
รูปที่ 3.5 เซนเซอร์วัดความดันยี่ห้อ Free scale Semiconductor รุ่น mpx5050dp.....	23
รูปที่ 3.6 เทอร์โมคัปเปิล.....	24
รูปที่ 3.7 ป้อนดูดสูญญากาศ.....	25
รูปที่ 3.8 เตาเผาอุณหภูมิสูง.....	26
รูปที่ 3.9 Flow switch รุ่น PFM725S-N01-E.....	26
รูปที่ 3.10 แผนผังชุดอุปกรณ์ทดลองการดักมลพิษอนุภาค.....	27
รูปที่ 3.11 แผนผังชุดทดลองการสลายมลพิษอนุภาค.....	28
รูปที่ 3.12 ชุดอุปกรณ์ทดลองการดักมลพิษอนุภาค.....	28
รูปที่ 3.13 ท่อสแตนเลส.....	29
รูปที่ 3.14 ที่ยึดตัวกรองมลพิษอนุภาค.....	29
รูปที่ 3.15 ที่ยึดตัวกรองที่บรรจุตัวกรองมลพิษอนุภาค.....	29
รูปที่ 3.16 ภาพแยกชิ้นส่วนตัวกรองมลพิษอนุภาค.....	30
รูปที่ 3.17 ตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล	30
รูปที่ 3.18 เตาเผาอุณหภูมิสูงที่มีท่อสแตนเลสภายในบรรจุตัวกรองมลพิษอนุภาค.....	30
รูปที่ 3.19 มลพิษอนุภาคที่ได้จากทดลอง (ก) ดีเซล (ข) ไบโอดีเซล.....	31
รูปที่ 3.20 ตัวกรองมลพิษอนุภาค (ค) มี Catalyst (ง) ไม่มี Catalyst.....	31
รูปที่ 4.1 อัตราการปล่อยมลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซลแบบ Partial Flow.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 การดักมลพิษอนุภาคดีเซลและไปโอดีเซล.....	34
รูปที่ 4.3 กระบวนการรีเจนเนอเรชั่นของมลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงดีเซล	35
รูปที่ 4.4 กระบวนการรีเจนเนอเรชั่นของมลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงไปโอดีเซล.....	35
รูปที่ 4.5 แสดงอัตราการเกิดออกซิเดชันในมลพิษอนุภาคที่มาจากเชื้อเพลิงดีเซล.....	36
รูปที่ 4.6 แสดงอัตราการเกิดออกซิเดชันในมลพิษอนุภาคที่มาจากเชื้อเพลิงไปโอดีเซล	36
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของมลพิษอนุภาคจากไปโอดีเซลและดีเซล	37
รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงมวลของมลพิษอนุภาคดีเซลเมื่อมีตัวเร่งและไม่มีตัวเร่งที่อุณหภูมิ ต่างๆ	38
รูปที่ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงมวลของมลพิษอนุภาคไปโอดีเซลเมื่อมีตัวเร่งและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิต่างๆ	38
รูปที่ 4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงมวลคาร์บอนเมื่อมีตัวเร่งและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ	39
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบการออกซิเดชันเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาในอุณหภูมิต่างๆ	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IX๕ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

เนื่องจากปัญหามลพิษเครื่องยนต์ดีเซลที่ปล่อยออกมาพร้อมไอเสีย ส่งผลกระทบต่อปัญหาสุขภาพของมนุษย์ รวมทั้งสร้างมลภาวะให้กับสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุนี้ประเทศไทยจึงออกกฎหมายกำหนดให้รถยนต์ดีเซลขนาดเล็กใช้มาตรฐานมลพิษระดับ 7 หรือเทียบเท่า EURO4 โดยมีปริมาณมลพิษอนุภาค (PM) ไม่เกิน 0.025 g/km และในอนาคตประเทศไทยมีแผนการปรับระดับมาตรฐานเป็นระดับ 8 หรือเทียบเท่า EURO5 โดยกำหนดให้ปริมาณมลพิษไม่เกิน 0.005 g/km ดังนั้นเราจึงมีการใช้ตัวกรองมลพิษอนุภาค (Diesel Particulate Filter) มาช่วยในการดักจับและบรรเทามลพิษที่เกิดขึ้นได้

ซึ่งมลพิษอนุภาคจากเครื่องยนต์ดีเซล (PM) คือ มลภาวะที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่สามารถสร้างมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ ดังนั้นต้องกำจัดมลพิษออกจากไอเสียก่อนที่จะปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ โดยมลพิษอนุภาคจะประกอบไปด้วย อนุภาคคาร์บอน สารประกอบคาร์บอนอื่นๆ ซัลเฟต ไนโตรเจนออกไซด์ และโลหะหนักอื่นๆ ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีมาช่วยในการลดมลพิษอนุภาคออกจากไอเสีย เช่น การพัฒนาเครื่องยนต์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น การปรับปรุงคุณภาพของน้ำมัน เช่น ไบโอดีเซล ซึ่งข้อดีของ ไบโอดีเซลคือ มีสารตะกั่ว และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอโรมาติกที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล และประกอบด้วยโมเลกุลของออกซิเจน ทำให้เป็นการเพิ่มออกซิเจนในโมเลกุลทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น และมีเทคโนโลยีที่กำลังพัฒนาอยู่อย่างต่อเนื่อง คือ การดักจับมลพิษอนุภาคด้วยตัวกรองมลพิษอนุภาค (DPF) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงมากถึง 90% ขึ้นไป [1] ดังนั้นในการศึกษาการทดลอง วัสดุที่นำมาใช้ในการดักจับมลพิษอนุภาคได้เกือบทั้งหมดแล้วเมื่อปริมาณมลพิษอนุภาคที่มีมากขึ้น ยังสามารถศึกษาจากกราฟความดันที่ทำการทดลองได้ และได้ทำการใช้ความร้อนจากไอเสียในการกำจัดมลพิษอนุภาคให้กลายเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ และ ออกซิเจน โดยอาศัยหลักการของการออกซิเดชัน โดยใช้อุณหภูมิที่สูง จากการให้ความร้อนของเตาเผา ซึ่งเป็นการกำจัดมลพิษอนุภาคอีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาอัตราการปล่อยมลพิษอนุภาคจากเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กโดยใช้น้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล
2. ศึกษาผลกระทบของปริมาณแก๊สออกซิเจนที่มีต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของมลพิษอนุภาคจากเครื่องยนต์ดีเซลเล็กโดยใช้น้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลโดยวิธีซึ่งน้ำหนักเชิงความร้อน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาคุณสมบัติของมลพิษอนุภาคที่เกิดจากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล และศึกษาเวลาที่ไต่จากการดักจับปริมาณมลพิษอนุภาคที่เท่ากันเพื่อเปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเชื้อเพลิงดีเซล (B5) และ เชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B100) โดยใช้อุปกรณ์การดักกรองมลพิษอนุภาคแบบไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลผ่านบางส่วนที่สภาวะไหล 80 % และเปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ 10% 15% และ 21% โดยการใช้เตาเผาอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิคงที่ที่ 600 องศาเซลเซียส

1.4 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดักกรองมลพิษอนุภาคนั้นในปัจจุบันมีจำนวนมาก ซึ่งจะพูดถึงอุปกรณ์และเชื้อเพลิงที่มีอยู่ในปัจจุบัน ดังนี้

Andrew P.E. York, Timothy C. Watling (2015) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสนามการไหลของแก๊สไอเสียของเชื้อเพลิงดีเซลโดยใช้การถ่ายภาพโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Resonance Imaging.) โดยใช้ตัวกรองมลพิษอนุภาค(Diesel Particulate Filter: DPF) หลังจากนั้นกำจัดมลพิษอนุภาคหลังจากการเพิ่มภาระไหลให้กับเครื่องยนต์และวัดอัตราการไหลของความดันระหว่างทางเข้าและทางออกเพื่อศึกษาเวลาที่มลพิษอนุภาคจะไม่สามารถไหลผ่านตัวกรองได้ โดยการเปลี่ยนแปลงความยาวของช่องตัวกรองมลพิษอนุภาค [18]

Preechar KARIN (2010) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดมลพิษอนุภาค (Particulate Matter: PM) ที่ถูกปล่อยมาพร้อมกับไอเสีย (Exhaust gas) จากเปลวของการเผาไหม้แบบแพร่ (Diffusion Flame) เช่น เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine) เครื่องยนต์จีดีไอ (Gasoline Direction Engine) โดยการศึกษาโครงสร้างของมลพิษอนุภาคในระดับไมโครและนาโนสเกล โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทรานสมิสชัน (Transmission Electron Microscope: TEM) และการศึกษาถึงการกำจัดมลพิษอนุภาคโดยการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างมลพิษอนุภาคกับออกซิเจน ตามหลักการของอุปกรณ์กำจัดอนุภาคมลพิษอนุภาค (Diesel Particulate Filter: DPF) การวิเคราะห์หาค่าพลังงานกระตุ้น (Apparent Activation Energy) ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สออกซิเจนกับมลพิษอนุภาคที่มีส่วนประกอบหลักคือคาร์บอน [21]

Industrial Center. The Hong Kong Polytechnic University (2002) ได้ศึกษาวิธีในการออกแบบเครื่องดักกรองมลพิษอนุภาค สำหรับลดการแพร่กระจายของมลพิษอนุภาค จากแก๊สไอเสียของยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลัง เช่น ในรถแท็กซี่ รถประจำทางมินิบัส และรถแวน โดยการศึกษาการดักกรองจากไส้กรองที่สร้างขึ้น และความดันตกคร่อมที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าเทคนิคดังกล่าวสามารถดักกรองมลพิษอนุภาคจากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ได้ทั้งหมด 30 เปอร์เซ็นต์ [11]

ยุทธนา ส่องแสงจันทร์และ ทรงธรรม เหล่าสุวรรณ ได้ศึกษาเรื่องโครงสร้างระดับนาโนเมตรของมลพิษอนุภาค โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทรานสมิสชัน (Transmission Electron Microscope, TEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (Scanning Electron Microscope, SEM) และทำการวัดขนาดเฉลี่ย ทั้งอนุภาคเดี่ยวและอนุภาคกลุ่มของมลพิษอนุภาคที่ได้จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ไบโอดีเซลและดีเซล รวมไปถึงมลพิษอนุภาคที่ได้จากการเผาไหม้ของตะเกียงที่ใช้น้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล [19]

สมชาย จันทวานา (2535) ได้ศึกษาถึงผลกระทบของการซ่อมบำรุง เครื่องยนต์และคุณภาพของน้ำมันดีเซล ต่อสมรรถนะและปริมาณมลพิษอนุภาคที่ปล่อยออกมากับไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล ได้กระทำโดยการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กบนไดนาโมมิเตอร์ที่สภาวะการทำงานต่างๆก่อนและหลังการซ่อมบำรุง และน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับการทดสอบก่อนการซ่อมบำรุงเป็นน้ำมันดีเซลค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีอุณหภูมิกลั่น 317 °C และ 357 °C ส่วนหลังการซ่อมบำรุงใช้น้ำมันดีเซลสองชนิดคือชนิดที่มีอุณหภูมิกลั่นที่ 317 °C และ 357 °C ตามลำดับ ทั้งนี้จากการเปรียบเทียบ

ผลการทดสอบในรูปของ Output Power, Specific Fuel Consumption, ปริมาณของ CO, HC, NOX, SO₂ และควันดำ ที่สภาวะการทำงานต่างๆก่อนและหลังการซ่อมบำรุง และผลกระทบของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติต่างกัน จากการทดลองพบว่า ถ้าหากเครื่องยนต์ทำงานที่ EQR สูงกว่า 0.8 (EQR คือ Equivalence Ratio) ไม่ว่าจะใช้น้ำมัน D317 หรือ D357 ก็ตามยังไม่สามารถขจัดปัญหาควันดำที่ออกมากับไอเสียได้ทั้งหมด トラバドที่เครื่องยนต์ยังทำงานที่สภาวะเกินพิกัด [6]

Gulijk และคณะ (2001) ได้ศึกษาถึงการเลือกการพัฒนาตัวอุปกรณ์สำหรับดักกรองมลพิษอนุภาคเครื่องยนต์ดีเซล โดยพิจารณาถึงพลังงานและความดันแตกต่าง ที่ตัวเครื่องดักกรองซึ่งในเครื่องดักกรองแบบนี้จะแบ่งการไหลของแก๊สออกมามากกว่า 2 ส่วน ที่ทำให้เกิดความดันแตกต่างของแก๊สไอเสีย และใช้ CFD คำนวณหาขนาดแผ่นตะแกรงที่จะรองรับมลพิษอนุภาค พบว่าการดักกรองมลพิษอนุภาค และความดันตกคร่อม ตลอดจนการดักกรองซึ่งอยู่ในค่าที่สามารถยอมรับได้ [10]

Mayer และคณะ (1993) ได้ศึกษาวิธีการออกแบบเครื่องดักกรองมลพิษอนุภาคแบบตาข่าย โดยใช้เส้นใยเซรามิกเป็นโครงหลักตาข่าย มีความยืดหยุ่นในระดับปานกลาง และมีลักษณะของผิวหน้าเป็นแบบพิเศษ มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยฉับพลัน โดยปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ความยืดหยุ่นของเส้นใยไฟเบอร์ ความพรุนของผิวหน้า ความแตกต่างของความดัน ความแตกต่างของอุณหภูมิ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย ความยาวของเครื่องดักกรอง พบว่าการจัดวางของเส้นใยที่เป็นรูปขดกันหอย และความแตกต่างความดันมีความเหมาะสมที่ใช้เป็นเครื่องดักกรองมลพิษอนุภาคจากไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล [16]

Mayer และ Buck (1992) ได้ทำการศึกษาถึงแนวความคิดใหม่ เกี่ยวกับเส้นใยเซรามิกไฟเบอร์สำหรับดักกรองมลพิษอนุภาคจากเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากมลพิษอนุภาคของไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลจะเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องออกกฎหมายควบคุม ให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ซึ่งวัสดุที่นำมาทำเป็นไส้กรองประกอบด้วยวัสดุ 2 ชนิด คือเซรามิกไฟเบอร์จาก Mullite Polycrystal และ เซรามิกไฟเบอร์จาก SiO₂ ในการผลิตไส้กรองด้วยการนำแผ่นเซรามิกไฟเบอร์ไปพันรอบแท่งทรงกระบอก แล้วให้แก๊สไอเสียวิ่งผ่านเข้าไปในแท่งทรงกระบอกและผ่านไฟเบอร์และเส้นใยดังกล่าวจะเป็นตัวดักกรองอนุภาคเอาไว้ และปล่อยให้แก๊สไหลผ่านไส้กรองไปได้ซึ่งจากการทดสอบสามารถดักกรองอนุภาคได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ [17]

B.R. Stanmore, J.F. Brilhac, P.Gilot (2001) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกลไกของการออกซิเดชันของมลพิษอนุภาคและการหาพลังงานก่อกัมมันต์จากสมการ Arrhenius plot ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของการออกซิเดชันคาร์บอนเปลี่ยนจากสารตั้งต้นเป็นสารผลิตภัณฑ์ได้แก่ ไอน้ำคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งการออกซิเดชันของมลพิษอนุภาคคาร์บอนเกิดจากออกซิเจนจะเข้าไปสัมผัสพื้นผิวทรงกลมของมลพิษอนุภาคเกิดการเปลี่ยนจากคาร์บอนของแข็งกลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ [9]

P. Karin and K.Hanamura ได้ทำการศึกษาเรื่องการดักและเผาไหม้มลพิษอนุภาคบนตัวกรองมลพิษอนุภาคดีเซลซึ่งได้ทำการเตรียมตัวกรองมลพิษอนุภาคดีเซลให้มีขนาดกว้าง 5 mm ยาว 5 mm และหนา 7 mm มีแผ่นแก้ววางบนตัวกรองมลพิษอนุภาคดีเซลเพื่อใช้ในการศึกษาการมอดิฟิเคชันการดักมลพิษอนุภาคและเผาไหม้มลพิษอนุภาคบนตัวกรองมลพิษอนุภาคดีเซลจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิงดีเซลที่ใช้เป็นแบบทั่วไปอ้างอิงตามมาตรฐานเชื้อเพลิง (JIS K2204 No.2) ในงานวิจัยนี้ใช้ตะเกียงเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษอนุภาค ส่วนเหตุผลที่ใช้ตะเกียงเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษอนุภาคเพราะต้องการตัดพารามิเตอร์ เช่นไอน้ำและไฮโดรคาร์บอนเพราะตัวที่หม่อมลพิษอนุภาคที่อุณหภูมิคงที่ได้แก่ 525, 550, 575, 600, 625 และ 650 °C ตามลำดับ ในระหว่างที่เผาหม่อมลพิษอนุภาคได้ทำการวัดแก๊ส CO และ CO₂ ที่ถูกปลดปล่อยออกมาในการทำปฏิกิริยาการเผาหม่อมลพิษอนุภาคโดยใช้เครื่องวัดแก๊สในการทดลอง (Gas Analyzer) บนตัวกรองมลพิษอนุภาคดีเซลซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เปรียบเทียบ 2 ชนิดคือ ตัวกรองมลพิษอนุภาคดีเซลแบบทั่วไปมีรูพรุนประมาณ 11 μm และตัวกรองมลพิษอนุภาคดีเซลแบบมีชั้น Membrane (Diesel Particulate Membrane Filter : DPMF) มีรูพรุน 0.5 μm ในส่วนของการวิเคราะห์หม่อมลพิษอนุภาคทางกายภาพได้แก่ ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด เพื่อศึกษาอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก่อนจากการทดลองพบว่าขนาดโดยเฉลี่ยของมลพิษอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก่อนประมาณ 100 ถึง 300 nm และใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน เพื่อศึกษาอนุภาคแบบเดี่ยวซึ่งได้ขนาดของอนุภาคแบบเดี่ยวประมาณ 20 ถึง 60 nm และได้วิเคราะห์หาขนาดเฉลี่ยของผิวนิวเคลียสคาร์บอนยาวประมาณ 3-5 nm หนาประมาณ 1 nm และทำการเผาหม่อมลพิษอนุภาคโดยนำไปทดสอบด้วยเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน ด้วยวิธีอุณหภูมิคงที่และอุณหภูมิไม่คงที่ เพื่อคำนวณหาพลังงานกระตุ้นในการสลายมลพิษอนุภาค ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้พลังงานกระตุ้นเพื่อสลายมลพิษอนุภาคบนตัวกรองมลพิษอนุภาคดีเซลแบบทั่วไป 130 ± 40 kJ/mol และสำหรับตัวกรองมลพิษอนุภาคแบบมีชั้น Membrane ประมาณ 84 ± 13 kJ/mol ซึ่งตัวกรองมลพิษอนุภาคแบบมีชั้น Membrane ใช้พลังงานกระตุ้นสลายมลพิษอนุภาคลดลง 36% แปรเหล่านี้ซับซ้อนและยุ่งยากแก่การวิเคราะห์และจำลองตะเกียงให้เป็นเครื่องยนต์สมัยใหม่ ความเร็วที่ใช้ในการควบคุมในการไหลเข้าผ่านตัวกรองมลพิษอนุภาคดีเซลซึ่งกำหนดคงที่ประมาณ 12 cm/s อุณหภูมิใช้ในการดักมลพิษอนุภาคกำหนดอุณหภูมิคงที่ 200 °C และในการเผาหม่อมลพิษอนุภาคโดยให้อุณหภูมิการเผาไหม้เริ่มจาก 200 °C จนถึง 600 °C ซึ่งกำหนดเงื่อนไขคล้ายกับสภาวะใช้งานจริง อุณหภูมิแก๊สร้อนประกอบด้วยไนโตรเจน 93% และออกซิเจน 7% ใช้ฮีเตอร์ขดลวดเป็นตัวให้อุณหภูมิความร้อนแก่อากาศอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา[20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

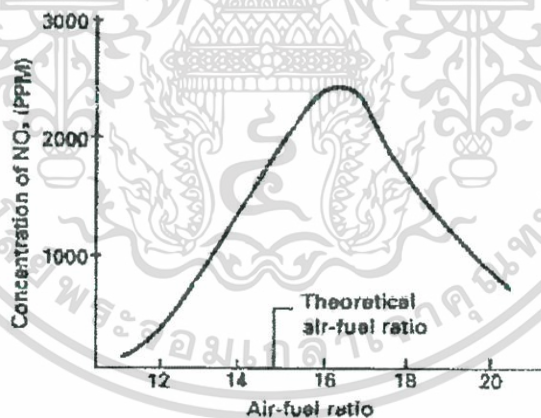
ทฤษฎีพื้นฐานในงานวิจัย

2.1 มลพิษไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล

ไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้ ประเภทที่หนึ่งส่วนที่เป็นแก๊ส คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_x) ประเภทที่สองส่วนที่เป็นอนุภาค คือ ฝุ่นละอองทั้งของเหลวและของแข็งและของแข็ง เช่น มลพิษอนุภาค(PM)มลพิษแต่ละชนิดสามารถอธิบายรายละเอียดดังนี้

2.1.1 ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_x)

ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล อัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงกับอุณหภูมินั้น มีการแปรเปลี่ยนกันค่อนข้างซับซ้อน แต่โดยทั่วไปการเกิด NO_x นั้นเกิดขึ้นที่การสันดาปที่สมบูรณ์ ในช่วงดังกล่าวจะทำให้อุณหภูมิที่สูงมากและค่อนข้างนานตามไดอะแกรมการเผาไหม้ดังนั้น NO_x จึงเกิดช่วงนี้มากดังรูปที่ 2.1 เป็นการยากที่จะบอกว่าไนโตรเจนออกไซด์ เกิดมากน้อยเพียงใดและเกิดขึ้นที่บริเวณใดบ้าง ภายในกระบอกสูบเครื่องยนต์ โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิเกิน 2,000เคลวิน ไนโตรเจนออกไซด์จะเกิดมากถ้าการเผาไหม้สมบูรณ์ ปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์ ก็คือ อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ และอัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงในการเผาไหม้

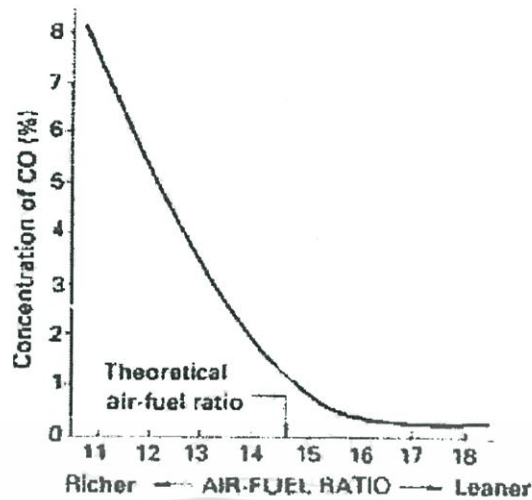


รูปที่ 2.1 การเกิด NO_x ต่ออัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิง

2.1.2 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

คาร์บอนมอนอกไซด์ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์ เนื่องจากออกซิเจนไม่เพียงพอ เช่น เกิดจากอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงหนา เป็นต้น โดยทางทฤษฎีแล้ว แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ไม่ควรเกิดถ้าส่วนผสมบางแต่โดยความเป็นจริงแล้วแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดขึ้นได้แม้ส่วนผสมบาง เนื่องจากโดยทั่วไปของเครื่องยนต์ดีเซล จะมีอัตราส่วนอากาศที่มากกว่าอยู่แล้วประมาณ 1-20 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เกิดขึ้นจึงน้อยดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การเกิด CO ต่ออัตราส่วนการให้อากาศ

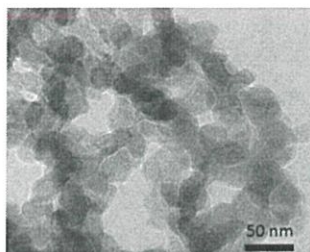
2.1.3 ไฮโดรคาร์บอน (HC)

เครื่องยนต์ดีเซลจะปล่อย แก๊สไฮโดรคาร์บอนออกมาน้อย เนื่องด้วยเหตุผลหลายประการซึ่งในการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงส่วนใหญ่จะเผาไหม้ได้สมบูรณ์ แต่ก็อาจจะมีน้ำมันบางส่วนไม่เผาไหม้ในบางจังหวะการทำงาน สารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ได้เผาไหม้ จะออกมาในรูปแก๊สปนอยู่ในไอเสีย เครื่องยนต์ดีเซลจะมีอัตราอากาศที่มากกว่าอยู่แล้วประมาณ 1-20 เปอร์เซ็นต์ แต่ปริมาณไฮโดรคาร์บอนจะเพิ่มขึ้นจากสาเหตุอื่นๆได้อีก คือ

1. อุณหภูมิต่ำ แก๊สที่อยู่ในห้องเผาไหม้กับส่วนที่เป็นโลหะจะมีอุณหภูมิต่ำทำให้เปลวไฟมีอุณหภูมิต่ำลง จึงไม่เกิดการเผาไหม้
2. กำลังอัดกระบอกสูบต่ำ อาจเกิดขึ้นในขณะที่ซัปรดเข้าหรือช่วงที่จะเบรกรถ
3. ส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงที่หนาเกินไป ทำให้มี HC ที่ติดค้างไม่ได้ทำปฏิกิริยากับ O_2

2.1.4 อนุภาคของแข็ง (Particulates)

ไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลจะมีมลพิษอนุภาคปนอยู่ด้วยซึ่งเกิดขึ้นที่บริเวณไอตีมีความเข้มข้นสูงภายในกระบอกสูบขณะเกิดการสันดาป ซึ่งเรามองเห็นในรูปควันดำจากท่อไอเสีย พร้อมกับส่งกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ต่อสิ่งแวดล้อมด้วย มลพิษอนุภาคในไอเสียนี้อาจมีความเข้มข้นสูงสุดเมื่อเครื่องยนต์มีโหลดสูงสุด ที่สภาวะนี้เชื้อเพลิงจะถูกฉีดด้วยอัตราสูงเพื่อให้เครื่องยนต์ให้กำลังสูงสุด ไอตีจึงมีความเข้มข้นมากและความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูง ซึ่งเราสังเกตได้จากควันดำที่ออกมาจากปลายท่อไอเสียของรถบรรทุกหรือหัวรถจักรซึ่งกำลังเร่งขึ้นทางชันหรือขณะออกรถ



รูปที่ 2.3 การรวมตัวเกาะกันเป็นก้อนของมลพิษอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เฉพาะการศึกษาร่วมกันเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรวมตัวเกาะกันเป็นก้อนของมลพิษอนุภาคจำนวนมากโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 nm ถึง 80nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ nm}$) ดังรูป 2.3 โดยส่วนใหญ่มีขนาด 15-30 nm คาร์บอนเม็ดกลมในสถานะของแข็งเหล่านี้ดูดซับไฮโดรคาร์บอนและสารประกอบอื่นๆไว้ที่ผิว มลพิษอนุภาคเหล่านี้เกิดในย่านที่ไอติ้ซึมภายในห้องเผาไหม้ซึ่งไม่มีออกซิเจนเพียงพอในการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์



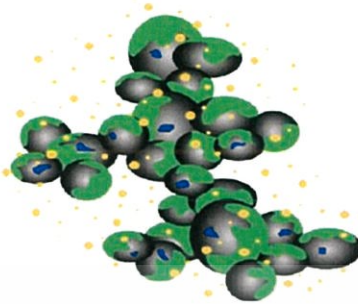
แต่หลังจากคาร์บอนเหล่านี้จะถูกแก๊สซึ่งไหลปั่นป่วนในห้องเผาไหม้คลุกเคล้าให้ผสมกับออกซิเจนส่วนที่เหลือและทำปฏิกิริยากันจนกลายเป็น CO_2



ไม่ต่ำกว่า 90% ของมลพิษอนุภาคจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนดังกล่าวมาแล้วจึงเหลือส่วนที่ปนออกมาในไอเสียน้อยมาก หากเครื่องยนต์ดีเซลใช้ไอตีความเข้มข้นแบบสตอยคิโอมेटริกแทนไอตีจากปริมาณมลพิษอนุภาคในไอเสียนั้นจะสูงกว่านี้มาก และจะสูงเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้อย่างมากด้วยประมาณ 25 % หรือต่ำกว่านั้นของคาร์บอนในมลพิษอนุภาคเกิดจากสารประกอบในน้ำมันหล่อลื่นซึ่งระเหยและทำปฏิกิริยาระหว่างการสันดาป ส่วนที่เหลือเป็นคาร์บอนจากเชื้อเพลิงประมาณ 0.2-0.5% ของเชื้อเพลิงที่ใช้ เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลมีอัตราส่วนการอัดสูง จึงมีการขยายตัวของแก๊สสูงเช่นเดียวกันในขณะทำงาน อุณหภูมิของแก๊สที่ขยายตัวนี้ค่อนข้างต่ำ สารประกอบที่มีจุดเดือดสูงในเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่นจึงกลั่นตัวเป็นของเหลวจับที่ผิวของมลพิษอนุภาค เราเรียกปริมาณของสารนี้ที่ผิวของมลพิษอนุภาคว่า เศษสารอินทรีย์ละลายได้ (solution organic fraction) หรือ SOF ดังรูปที่ 2.4 โดยมีปริมาณขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในกระบอกสูบ เมื่อเครื่องยนต์มีโหลดต่ำ อุณหภูมิภายในกระบอกสูบจะลดลงและอาจเหลือเพียง 200 องศาเซลเซียส ในช่วงปลายของจังหวะทำงาน และช่วงที่ไอเสียถูกระบายในสภาวะดังกล่าว SOF อาจมีปริมาณสูงถึง 50% ของปริมาณมลพิษอนุภาคทั้งหมด แต่ในสภาวะอื่นของเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิภายในกระบอกสูบสูง และเกิดการกลั่นเป็นของเหลวได้ยาก ปริมาณ SOF อาจต่ำเพียง 3% ของปริมาณมลพิษอนุภาคทั้งหมด SOF นี้ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและไฮโดรเจน SO_2 NO NO_2 นอกนั้นเป็นธาตุอื่นในปริมาณน้อยมากเช่น กำมะถัน สังกะสี ฟอสฟอรัส แคลเซียม เหล็ก ซิลิคอน และโครเมียม เชื้อเพลิงดีเซลมีกำมะถัน แคลเซียม เหล็ก ซิลิคอน และโครเมียมผสมอยู่ ส่วนน้ำมันหล่อลื่นมีสังกะสีฟอสฟอรัส และแคลเซียมปนอยู่ด้วย [1-5]

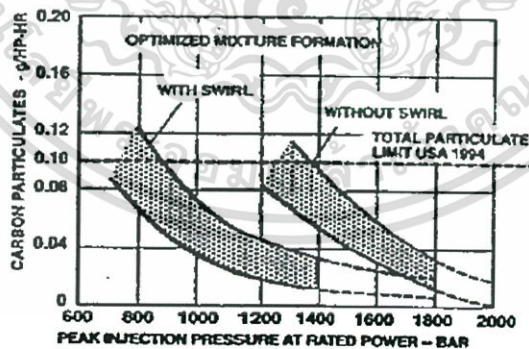
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

● = มลพิษอนุภาค ● = สารประกอบไฮโดรคาร์บอนและซัลเฟต
 ● = อินทรีย์สาร ● = ซี้เก๊า



รูปที่ 2.4 ลักษณะของมลพิษอนุภาค

มลพิษอนุภาค(PM) อนุภาคของสารพวกนี้ จะถูกขับออกมาจากเครื่องยนต์ภายใต้การทำงานต่างๆ มลพิษอนุภาคในที่นี้จะมีลักษณะเป็นอนุภาคเล็กๆของคาร์บอน ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงพวกไฮโดรคาร์บอน โดยมีออกซิเจนไม่เพียงพอ อาจพิจารณาการเกิดขึ้นของมลพิษอนุภาค จากลักษณะละอองเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปในอากาศที่หมุนวนในกระบอกสูบ ละอองเชื้อเพลิงจะถูกการหมุนวนของอากาศ (Air swirling) พัดจนทำให้เกิดการกระจายตัวของเชื้อเพลิงกับอากาศ ซึ่งมีปริมาณแกนกลางของละออง (Spray core) ปลายละออง (Spray tail) บริเวณส่วนผสมที่บางที่ติดไฟได้ (Lean flame region : LEF) บริเวณส่วนผสมที่ไม่ติดไฟ (Lean flame out region : LFOR) พบว่าบริเวณส่วนผสมที่บางที่ไม่ติดไฟ จะมีส่วนเชื้อเพลิงกับอากาศที่ทำให้เกิดการเผาไหม้บางส่วนซึ่งจะทำให้เกิดมลพิษอนุภาคได้มากที่สุดอย่างไรก็ตามในส่วนปลายละออง และส่วนแกนกลางของละอองก็ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ได้เช่นกัน



รูปที่ 2.5 การเกิดมลพิษอนุภาคในไอเสียรถยนต์ที่ความดันต่างๆของเชื้อเพลิง

มลพิษอนุภาคในไอเสียรถยนต์สามารถลดได้ด้วยรูปแบบของเครื่องยนต์และสภาวะการใช้งานต่างๆ แต่ก็ยังมีผลเสียด้านอื่นๆตามมาด้วยเสมอ หากเพิ่มช่วงเวลาที่เกิดการสันดาปให้ยาวนานขึ้นโดยอาศัยรูปร่างของห้องเผาไหม้ และจังหวะการฉีดเชื้อเพลิง ก็จะสามารถลดจำนวนมลพิษอนุภาคลงได้เนื่องจากมลพิษอนุภาคที่เกิดขึ้นมีเวลาเพิ่มขึ้นในการผสมกับออกซิเจนและถูกเผาไหม้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ช่วงเวลาของการสันดาปที่เพิ่มขึ้นทำให้

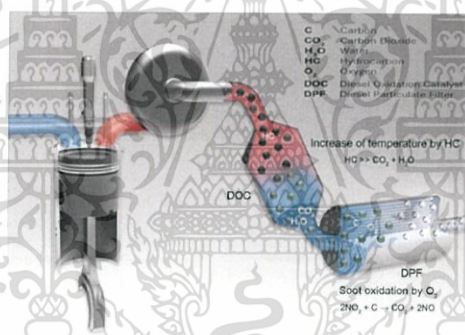
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิในกระบอกสูบสูงขึ้นและเพิ่มปริมาณ NO_x ตามไปด้วย สำหรับเครื่องยนต์ส่วนใหญ่ การออกแบบและควบคุมยังไม่เพียงพอสำหรับการลดมลพิษอนุภาคให้อยู่ในระดับปลอดภัย

2.2 เครื่องดักกรองมลพิษอนุภาคเครื่องยนต์ดีเซล (Diesel particulate filter : DPF)

มลพิษอนุภาคที่ออกมาจากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลสามารถควบคุมได้โดยใช้เครื่องกรองหรือเครื่องดักกรองมลพิษอนุภาค ซึ่งจะต้องมีลักษณะพิเศษคือต้องทนอุณหภูมิสูงของไอเสียได้และสามารถทำความสะอาดตัวเองได้ ตามปกติจะกระทำโดยการออกซิไดซ์อนุภาคมลพิษอนุภาคที่สะสมอยู่ในเครื่องดักกรองมลพิษอนุภาค แต่วิธีการนี้มีความยุ่งยากหลายประการคือ [14]

- ประการที่หนึ่ง เครื่องดักกรองอนุภาคแม้จะสะอาดแต่ก็ไปเพิ่มความดันในระบบไอเสีย
- ประการที่สอง ความดันนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อเครื่องดักกรองเก็บมลพิษอนุภาคไว้มากขึ้น
- ประการที่สาม ภายใต้สภาวะการทำงานปกติของเครื่องยนต์ดีเซล มลพิษอนุภาคที่เก็บสะสมไว้จะไม่สามารถจุดระเบิดและออกซิไดซ์ได้เอง
- ประการที่สี่ เมื่อเกิดการจุดระเบิดของมลพิษอนุภาค กระบวนการเผาไหม้จะต้องถูกควบคุมอย่างใกล้ชิดเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไป และไม่ให้เครื่องดักกรองเกิดความเสียหาย



รูปที่ 2.6 แสดงการติดตั้งเครื่องดักกรองอนุภาคเข้ากับเครื่องยนต์ดีเซล

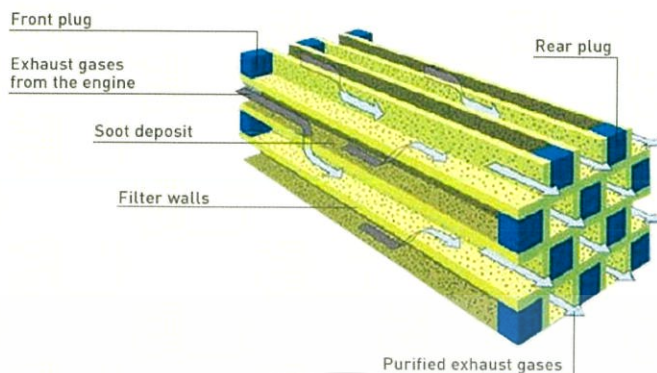
เครื่องดักกรองอนุภาคมีหลายชนิด เช่นชนิดรังผึ้งเซรามิก (Ceramic monoliths) ชนิดตะแกรงลวดเคลือบอะลูมินา (Alumina-coated mesh) ชนิดโฟมเซรามิก (Ceramic foam) และแผ่นใยเซรามิก (Ceramic fiber mat) เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดจะมีการสูญเสียความดันและประสิทธิภาพการกรองแตกต่างกันในแต่ละชนิด

2.2.1 เครื่องดักกรองชนิดรังผึ้งเซรามิก (Ceramic monoliths)

ด้านหนึ่งของช่อง (Cell) ถูกปิดไว้ที่ปลายทางเข้าและอีกด้านหนึ่งของช่องถูกปิดไว้ที่ปลายทางออกสลับกัน ทำให้ไอเสียที่มีมลพิษอนุภาคถูกบังคับให้ไหลผ่านผนังของช่องที่เป็นเซรามิกซึ่งมีรูพรุน ด้านนอกของรังผึ้งถูกหุ้มไว้ด้วยฉนวนและเครื่องดักกรองถูกติดตั้งไว้ใกล้กับเครื่องยนต์เพื่อรักษาอุณหภูมิของเครื่องดักกรองให้สูงไว้เท่าที่จะเป็นไปได้ เมื่อเครื่องดักกรองมีมลพิษอนุภาคสะสมไว้มากขึ้น ความดันตกคร่อมก็จะเพิ่มเข้ามาทำให้ต้องมีการฉีดเชื้อเพลิงเข้ามากขึ้น เพื่อชดเชยกำลังที่สูญเสียไป ส่งผลให้อุณหภูมิของไอเสียสูงขึ้น ซึ่งผลสุดท้ายก็จะทำให้เกิดการจุดระเบิดของมลพิษอนุภาคโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการออกซิไดซ์มลพิษอนุภาคนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของเครื่องดักกรอง ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

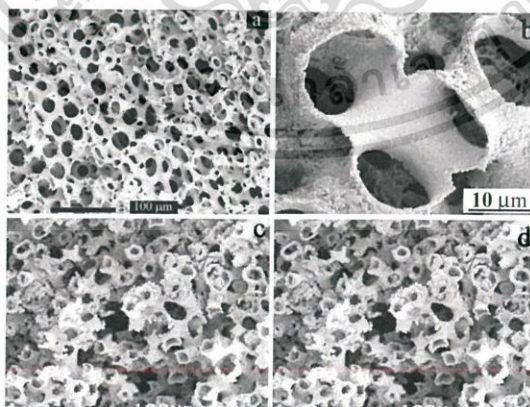
เครื่องดักกรองชนิดนี้จะลดมลพิษอนุภาคที่ออกมาจากเครื่องยนต์ดีเซลได้ถึงร้อยละ 70 หรือมากกว่า ดูลักษณะการทำงานได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการติดตั้งเครื่องดักกรองชนิดรังผึ้งเซรามิก

2.2.2 เครื่องดักกรองชนิดโฟมเซรามิก (Ceramic foam)

เครื่องดักกรองมลพิษอนุภาคชนิดนี้ ขนาดของเม็ดโฟมจะต้องมีขนาดเล็กเพียงพอที่จะดักกรองมลพิษอนุภาคของไอเสีย เมื่อนำเม็ดโฟมเซรามิกบรรจุลงในเสื้อเครื่องดักกรองจะต้องมีช่องหรือรูพรุนเพื่อให้มลพิษอนุภาคไหลผ่านช่องระหว่างเม็ดโฟมเซรามิกและในขณะที่เดียวกันก็จะทำให้เม็ดโฟมเซรามิกจับหรือสะสมมลพิษอนุภาคไว้รอบๆเม็ดโฟม ส่วนไอเสียที่ผ่านการดักกรองไหลต่อไปตามท่อไอเสียและออกสู่อากาศต่อไป ทั้งนี้สำหรับการติดตั้งเครื่องดักกรองจะต้องอยู่ใกล้กับเครื่องยนต์เพื่อรักษาอุณหภูมิให้สูงในระดับหนึ่งที่จะเป็นได้ เมื่อเครื่องดักกรองมีมลพิษอนุภาคสะสมไว้มากขึ้น ความดันตกคร่อมก็จะเพิ่มขึ้นทำให้ต้องมีการฉีดเชื้อเพลิงเข้ามากขึ้น เพื่อชดเชยกำลังที่สูญเสียไป ซึ่งผลสุดท้ายก็จะทำให้เกิดการจุดระเบิดของมลพิษอนุภาคโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการออกซิไดซ์มลพิษอนุภาคนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของเครื่องดักกรอง ลักษณะของเครื่องดักกรองชนิดโฟมเซรามิกดังรูปที่ 2.8

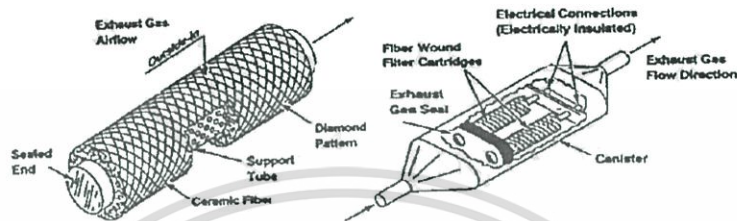


รูปที่ 2.8 ลักษณะของเครื่องดักกรองชนิดโฟมเซรามิก

2.2.3 เครื่องดักกรองชนิดแผ่นใยเซรามิกหรือไฟเบอร์ (Ceramic fiber mat)

เครื่องดักกรองมลพิษอนุภาคชนิดนี้ จะนำแผ่นใยเซรามิกหรือไฟเบอร์มาวางซ้อนกันเป็นชั้นๆ ซึ่งจะทำให้ไอเสียที่ไหลผ่านเครื่องดักกรองชนิดนี้ จะนำแผ่นใยเซรามิกหรือไฟเบอร์มาวางซ้อนกันเป็นเอกลักษณะเป็นใยที่เรียงกันเป็นชั้นๆ ซึ่งจะทำให้ไอเสียที่ไหลผ่านเครื่องดักกรองชนิดนี้ จะนำแผ่นใยเซรามิกหรือไฟเบอร์มาวางซ้อนกันเป็นชั้นๆ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

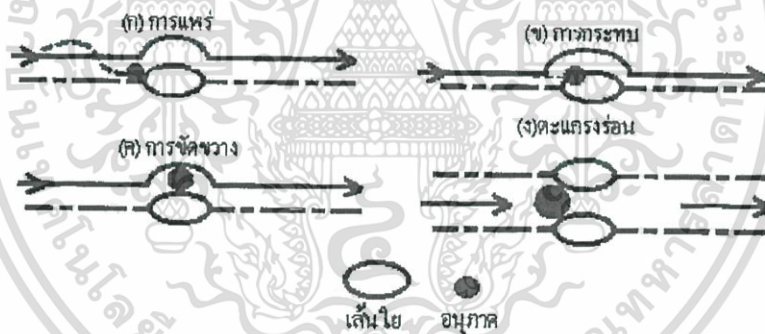
ชั้นๆ ซึ่งจะทำให้ไอเสียที่ไหลผ่านเครื่องดักกรองชนิดนี้ จะถูกดักกรองมลพิษอนุภาคตามขนาดของรูพรุนหรือช่องของเครื่องดักกรอง ส่วนไอเสียที่ผ่านจากเครื่องดักกรอง ก็จะไหลตามท่อและออกสู่บรรยากาศต่อไปเมื่อเครื่องดักกรองสะสมมลพิษอนุภาคไว้มากขึ้น ความดันตกคร่อมก็จะเพิ่มขึ้นทำให้ต้องมีการฉีดเชื้อเพลิงเข้ามากขึ้น เพื่อชดเชยกำลังที่สูญเสียไป ซึ่งผลสุดท้ายก็จะทำให้เกิดการจุดระเบิดของมลพิษอนุภาคโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการออกซิโดซิมลพิษอนุภาคนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของเครื่องดักกรอง ลักษณะของเครื่องดักกรองชนิดโพลีเมอร์เซรามิคดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะของเครื่องดักกรองชนิดแผ่นโพลีเมอร์เซรามิค

2.3 หลักการพื้นฐานการดักกรองมลพิษอนุภาค

กลไกการเคลื่อนตัวของอนุภาค อนุภาคจะถูกจับหรือเกาะติดกับเส้นใยวัสดุไส้กรองโดยกลไกที่สำคัญ 4 กลไก คือ การกระทบ การแพร่ การขัดขวาง และตะแกรงร่อน ดังที่แสดงไว้ในรูป 2.10



รูปที่ 2.10 กลไกการเคลื่อนตัวของมลพิษอนุภาค

การแพร่ (Diffusion) การแพร่ของอนุภาคเป็นแบบ บราวเนียน (Brownian movement) ซึ่งเกิดจากการชนกันระหว่างอนุภาคทำให้อนุภาคเคลื่อนที่แบบมีทิศทางไม่แน่นอน จนไปชนกับเส้นใยของกระดาษกรอง การแพร่แบบบราวเนียน (Brownian movement) นี้จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลง ดังนั้นกลไกการแพร่จะช่วยกำจัดอนุภาคขนาดเล็ก แสดงดังในรูป 2.10 (ก)

การกระทบ (Impaction) เกิดเมื่ออนุภาคไม่สามารถหักหลบสิ่งกีดขวางได้ทันเนื่องจากแรงเฉื่อย ทำให้ตัวอนุภาคเองหลุดออกจากเส้นกระแสอากาศ จึงชนและฝังติดกับสิ่งกีดขวางนั้นเพราะโมเมนตัมของอนุภาค กลไกส่วนใหญ่เกิดกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และมีความเร็วสูง แสดงดังในรูปที่ 2.10 (ข)

การขัดขวาง (Interception) การไหลของอากาศเมื่อผ่านเส้นใยกระดาษกรอง เส้นกระแสของอากาศจะไหลโค้งรอบเส้นใย อนุภาคที่ปะปนมากับอากาศอาจไหลตามเส้นกระแสผ่านไปหรืออาจหลุดออกจากเส้นกระแสติดกับเส้นใยก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเส้นกระแสกับเส้นใย ถ้าระยะนี้มีค่าเท่ากับเอกสาร์นี่เป็นเอกสาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รัศมีของอนุภาค อนุภาคจะติดกับเส้นใยเพราะแรงวันเดอร์วาลส์ (Van Der Waals forces) แรงวันเดอร์วาลส์เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลและจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างโมเลกุลน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ค)

ตะแกรงร่อน (Sieve) เกิดเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่กว่ารูตะแกรงร่อนซึ่งทำให้ไม่สามารถผ่านไป ความเร็วของอนุภาคนี้คำนวณได้จากระยะทางที่อนุภาคเจาะทะลุเข้ามาในรูตะแกรงร่อนจนถึงจุดหยุดนิ่ง และเนื่องจากอนุภาคส่วนใหญ่มีรูปร่างที่ไม่ราบเรียบ จึงเกิดการขัดกันตรงขอบตะแกรงร่อน ทำให้รูของตะแกรงร่อนมีขนาดเล็กลงไปอีก ซึ่งทำให้สามารถจับอนุภาคที่เล็กลงไปได้อีก ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ง)

2.3.1 การกรองชั้นพื้นฐาน

การกรองเป็นวิธีการที่สามารถกำจัดสิ่งเจือปนที่มีอนุภาคเป็นของแข็ง โดยนำวัสดุที่มีรูพรุนมา ขวางการไหลของแก๊สไอเสีย ซึ่งจะยอมให้แก๊สไอเสียผ่านแต่มลพิษอนุภาคหรือมลพิษอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนนั้นจะถูกดักกรองไว้ด้านหน้าของไส้กรอง ส่วนอนุภาคขนาดเล็กกว่าจะถูกดักด้วย กลไกอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยวัสดุไส้กรองที่นิยมใช้มีด้วยกันสองแบบ คือแบบที่หนึ่งเป็นความหนาแน่นของเส้นใย (Packed filter) ซึ่งมีเส้นใยหยาบสานกันหลวมๆ แล้วอัดเป็นแผ่นเพิ่มความหนา มีลักษณะเช่นเดียวกับที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศ ไส้กรองแบบเหมาะกับแก๊สที่มีความสกปรกไม่มากนัก ส่วนแบบที่สองมีกระดาษกรอง หรืออาจจะเป็นเส้นใยชั้นเดียวทอเป็นผืนผ้า (Single layer filter) เหมาะสำหรับการกรองอนุภาคหรือฝุ่นที่มีความละเอียดมากออกจากแก๊สที่สกปรก เส้นใยที่ใช้ อาจเป็น เส้นใยแก้วหรือเส้นใยเซรามิก



รูปที่ 2.11 แสดงมลพิษอนุภาคของแก๊สไอเสียถูกดักจับด้วยกลไกต่างๆ

2.4 เชื้อเพลิงไบโอดีเซล

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำมันพืชชนิดต่างๆ หรือน้ำมันสัตว์มาสกัดเอาไขมันและสิ่งสกปรกออก (Degumming) จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการทางเคมีโดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เอทานอล หรือเมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจาก Triglycerides เป็น Organic Acid Esters เรียกว่าไบโอดีเซล และได้กลีเซอรอล เป็นผลพลอยได้ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรม ยา สบู่และเครื่องสำอาง ฯลฯ วัตถุประสงค์ของกระบวนการดังกล่าวคือ ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันในเรื่องความหนืดให้เหมาะสมกับการใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลและเพิ่มค่า cetane number [3,8]

2.4.1 ประเภทของไบโอดีเซล

สามารถแบ่งตามประเภทของน้ำมันได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.1 น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์

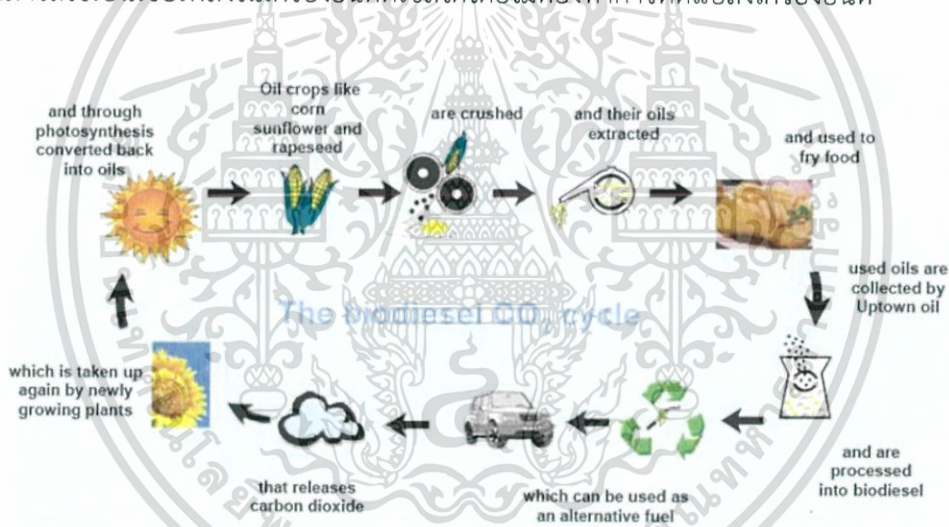
ไบโอดีเซลประเภทน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ หมายถึงน้ำมันพืชแท้ๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมูซึ่งสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องผสม เติมน้ำมันหรือไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน

2.4.1.2 ไบโอดีเซลแบบผสม

เป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืช หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์กับน้ำมันกาดหรือน้ำมันดีเซล ทำให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลโหมมากที่สุด ตัวอย่างเช่น โคโคดีเซล (Coco-diesel) ที่ อ.ทับสะแก ประจวบคีรีขันธ์ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันกาด หรือปาล์มดีเซล (Palm-diesel) เป็นการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล

2.4.1.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

เป็นไบโอดีเซลที่แท้จริงที่ต่างประเทศใช้กันทั่วไป สำหรับไบโอดีเซลประเภทนี้ต้องผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่าทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ทำให้ไดเอสเทอร์โดยจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น เมทิลเอสเทอร์ หรือเอทิลเอสเทอร์ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่กลั่นจากน้ำมันปิโตรเลียมสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์



รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของกระบวนการคาร์บอนนิวตรอนของไบโอดีเซล

2.5 เครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (Thermo-Gravimetric Analysis: TGA)

เทอร์โมกราวิเมทรี (Thermogravimetry) เป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจสอบมวลของสารตัวอย่างเทียบกับเวลา หรืออุณหภูมิ โดยการตั้งโปรแกรมอุณหภูมิให้แก่สารตัวอย่างนั้นในบรรยากาศเฉพาะตัว ส่วนใหญ่เรียกว่า การวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (Thermo-gravimetric analysis: TGA) ใช้อุปกรณ์ที่สำคัญคือเครื่องชั่งสารเชิงความร้อน หรือเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน ถ้าต้องการระบุขั้นตอนของเส้นเคิร์ฟ TG ก็ใช้วิธีลากเส้นแบบอนุพันธ์ซึ่งเป็นเทคนิคที่ช่วยเพิ่มความถูกต้องแม่นยำในการตรวจวัดและให้ข้อมูลการวิเคราะห์ในแง่จลพลศาสตร์ ณ อุณหภูมิต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เทคนิคนี้มักเรียกว่า “เดริเวทิฟ เทอร์โมกราวิเมทริก อะนาไลซิส” (Derivative thermo-gravimetric analysis: DTG) ซึ่งหมายถึง การพล็อตอัตราการสูญเสียมวลเทียบกับเวลา

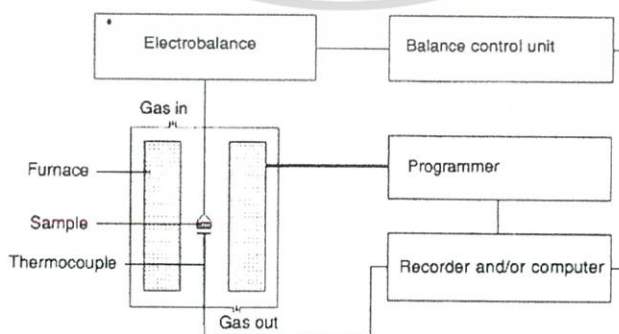
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางานเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อนใช้วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุเมื่อได้รับความร้อนโดยการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง เทคนิคนี้เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับแก๊สหรือระเหยของน้ำและใช้ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างจะถูกวางบนจานขนาดเล็กซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง โดยที่ทั้งหมดจะอยู่ในเตาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ บรรยากาศภายในอาจจะเป็นแก๊สเฉื่อยหรือแก๊สที่มีความว่องไวเช่น อากาศหรือออกซิเจน โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไปจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด โดยน้ำหนักที่หายไปนั้นเกิดขึ้นจากการระเหย การย่อยสลายหรือการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ [5]

รูปที่ 2.13 เครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน

อุปกรณ์และเครื่องมือ

- (1) เครื่องชั่งไฟฟ้าและระบบควบคุม (Electro Balance and Controller)
- (2) เตาเผาและเครื่องวัดอุณหภูมิ (Furnace and Temperature Sensor)
- (3) โปรแกรมเมอร์ หรือคอมพิวเตอร์
- (4) เครื่องบันทึกสัญญาณ เครื่องพิมพ์ผล หรือเครื่องเก็บข้อมูล

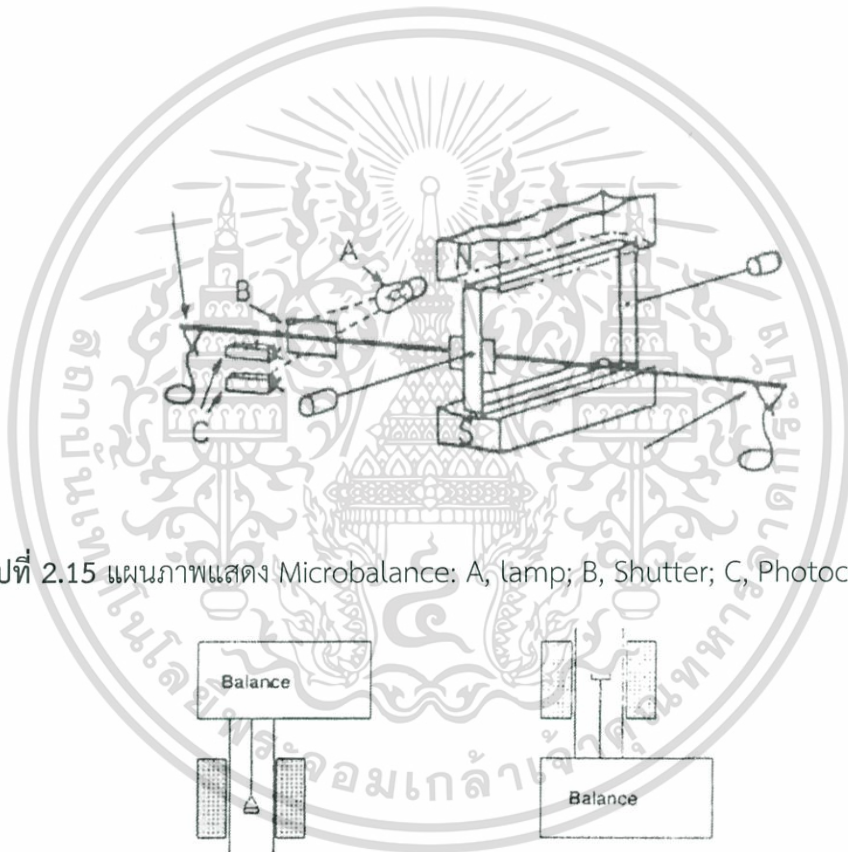


รูปที่ 2.14 แผนภาพไดอะแกรมของระบบเครื่องชั่งเชิงความร้อน

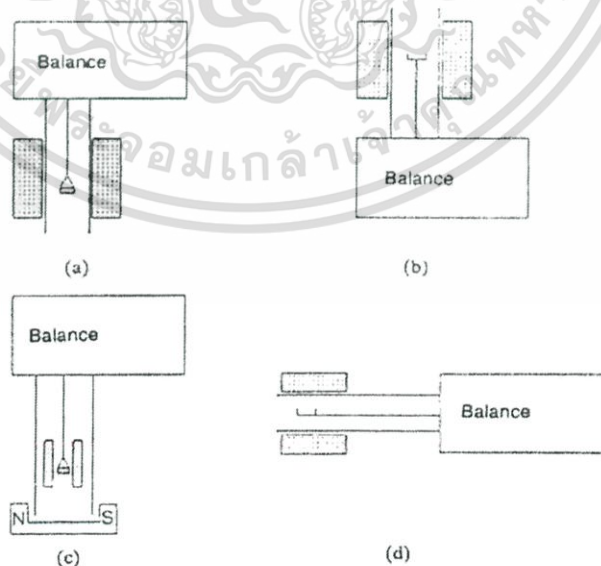
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 เครื่องชั่ง (Balance)

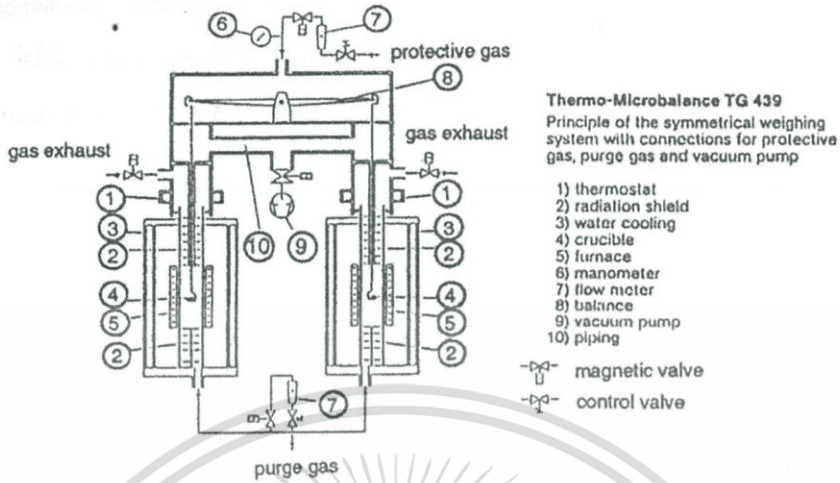
รูปที่ 2.14 แสดงถึงเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กๆ ซึ่งมีคานน้ำหนักแขวนอยู่ในสนามแม่เหล็ก ตรวจสอบตำแหน่งแขนเครื่องชั่งด้วยเซ็นเซอร์ทางแสง (Optical sensor) ถ้ามีการเพิ่มหรือลดน้ำหนัก จะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ให้แก่ขดลวดอยู่นั้น ขยับเคลื่อนแขนเครื่องชั่งเข้าสู่ตำแหน่งเดิม เครื่องชั่งนี้ให้ค่ารีโซลูชันสูงถึง 1 ไมโครกรัมหรือดีกว่า ใช้สารตัวอย่างหนัก 2-3 mg จนกระทั่ง 30 g หลีกเลี่ยงการสั่นสะเทือนถ้าต้องการความไวสูงๆ การจัดเรียงเครื่องชั่งและเตาเผาแสดงในรูปที่ 2.14 โดยแสดงให้เห็นถึงรูปทรงเรขาคณิตของการวางตำแหน่งต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง



รูปที่ 2.15 แผนภาพแสดง Microbalance: A, lamp; B, Shutter; C, Photocells



รูปที่ 2.16 การจัดเรียงเครื่องชั่งความร้อนที่แสดงถึงเตาเผา (ที่บัสแสง) ตำแหน่งสารตัวอย่างและที่วางสาร (a) และ (c) เป็นแบบแขวน, (b) เป็นแบบตั้ง, (d) เป็นแบบแนวนอน ตำแหน่งแม่เหล็กสำหรับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ ปรับมาตรฐานที่จุดคูรีแสดงในรูป (c) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 โดอะแกรมแสดงเครื่องชั่งความร้อนขนาดเล็กๆแบบสมมาตร



รูปที่ 2.18 โดอะแกรมของเครื่องชั่งความร้อนขนาดเล็กๆที่แขวนในสนามแม่เหล็ก

2.5.2 เตาเผา (Furnace)

โดยทั่วไปแล้ว เลือกใช้เตาเผาที่ใช้กระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งให้ความร้อน แม้ว่าอาจเลือกใช้คลื่นอินฟราเรด (Infrared) หรือไมโครเวฟ (Microwave) ก็ตาม ลักษณะสำคัญของเตาเผา คือ

2.5.2.1 เตาเผาควรมีบริเวณที่มีอุณหภูมิสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นส่วนที่ยาวพอครอบคลุมบริเวณสารตัวอย่างและที่วางภาชนะ และควรเลือกใช้กับตัวอย่างและที่วางภาชนะขนาดเล็กๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.2 ความร้อนจากเตาเผาต้องไม่รบกวนกลไกของเครื่องชั่งไฟฟ้า โดยมีฉนวนกันกลางระหว่างเตาเผากับเครื่องชั่ง เพื่อลดการส่งผ่านความร้อน

2.5.2.3 เตาเผาควรให้การตอบสนอง (Response) รวดเร็ว และมีช่วงปรับอัตราการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ ควรเพิ่มอุณหภูมิได้สูงพอควร หรือควรทำให้เย็นลงได้อย่างรวดเร็วในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวนมากๆ

2.5.2.4 เตาเผาทำด้วยอุปกรณ์เดียวกับทุกช่วงอุณหภูมิที่ใช้ เช่น ใช้แท่งเซรามิก/อะลูมินา/มุลไลต์ผสมกันหรือใช้แก้วซิลิกาวางอยู่รอบๆ สารตัวอย่างหรือเตาเผากับสารตัวอย่าง

2.5.3 โปรแกรมเมอร์ (Programmer)

ในการใช้เทอร์โมคัปเปิลหรือคู่ควบคุมความร้อน (Thermocouple) สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิของเตาเผา นั้น โดยทั่วไปแล้วเลือกใช้คู่โลหะ Pt-Pt/Rh 13% วัดอุณหภูมิได้สูงถึง 1600°C ชนิดนี้ค่อนข้างเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ให้ผลลัพธ์ค่อนข้างต่ำประมาณ $8-12\ \mu\text{V/K}$ หรือใช้โครเมล-อะลูเมล ซึ่งวัดได้ประมาณ 1100°C ตอบสนองได้สูงกว่า คือประมาณ $40\ \mu\text{V/K}$ แต่จะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกว่า โดยส่งสัญญาณจากเตาเผาหรือระบบควบคุมไปยังโปรแกรมเมอร์ แล้วเทียบอุณหภูมิได้ตามต้องการ ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไป ระบบจะตอบสนองโดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เตาเผามากขึ้น และถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปก็จะค่อยๆ ปรับลดกำลังไฟฟ้าลง มีการกำหนดเวลาตอบสนองของหน่วยควบคุมและเตาเผาให้อยู่ในกรอบของความต่างอุณหภูมิ หรือช่วงพร่องความร้อนของเครื่องมือ แล้วจึงกำหนดช่วงของอัตราการเพิ่มความร้อนให้เหมาะสมต่อไป ถ้าใช้โปรแกรมควบคุมแบบที่มีเวลาตอบสนองอย่างช้าๆ กับเตาเผาขนาดใหญ่ อาจใช้อัตราการเพิ่มความร้อนต่ำกว่า $10\ \text{K/min}$ ได้ ขณะที่เตาเผาขนาดเล็กและใช้ระบบควบคุมเร็วขึ้นจะช่วยเพิ่มอัตราการเพิ่มความร้อนได้สูงถึง $100\ \text{K/min}$

2.5.4 ตัวอย่าง (Sample)

เครื่อง TG ใช้วิเคราะห์สารตัวอย่างที่เป็นของแข็งเป็นส่วนใหญ่ ถ้าเป็นสารบริสุทธิ์หรือสารประกอบที่เป็นเนื้อเดียวกันก็วิเคราะห์ได้ผลค่อนข้างง่าย แต่ถ้าสารตัวอย่างนั้นมีปริมาณมากๆ ซึ่งอาจแตกต่างกันบ้างในส่วนต่างๆ ของตัวอย่าง ก็จะมีปัญหายุ่งยากมากขึ้น อาจเลือกใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบรูปกรวยและภาคตัดเสี้ยว $\frac{1}{4}$ ถ้าสารตัวอย่างนั้นผ่านการบดละเอียดมาแล้ว ทำให้ผลวิเคราะห์หามีค่าซ้ำที่ดีและเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยไปบ้างเพียงเล็กน้อยแต่มักพบอยู่เสมอว่า ยังมีความแตกต่างกันระหว่างสารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ที่อยู่มากพอสมควรเช่น บางส่วนมีความพรุนสูง หรือถูกออกซิไดส์ได้ง่าย หรือความชื้นสูงกว่าส่วนอื่นๆ โดยรวมผลึกของสารตัวอย่างที่แสดงพฤติกรรมต่างจากสารตัวอย่างที่เป็นผงละเอียด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ที่เกี่ยวข้องกับพื้นผิวบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา การเตรียมสารตัวอย่างให้มีลักษณะผงละเอียดได้ยากก็อาจเป็นพวกเทอร์โมพลาสติก เป็นต้น

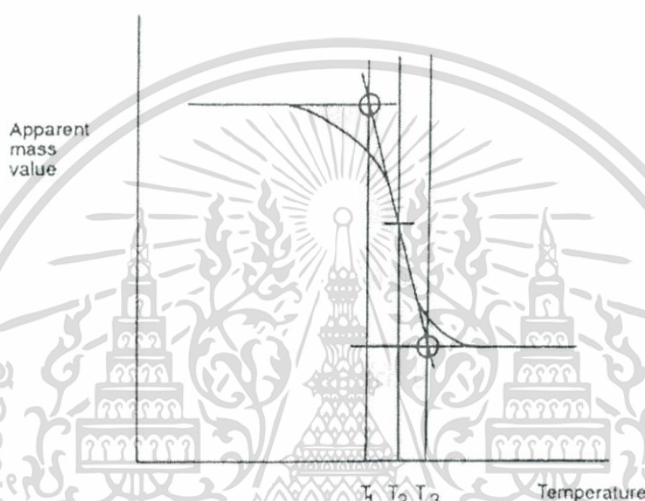
2.5.5 การปรับมาตรฐานอุณหภูมิ (Temperature Calibration)

ปกติแล้วจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเดียวกันวัดอุณหภูมิที่สารตัวอย่างและที่เตาเผา อาจมีช่วงพร่องความร้อนอยู่บ้าง ทั้งนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ (ไม่ใช่แบบการให้อุณหภูมิคงที่) ชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น บรรยากาศในเตาเผา อัตราการให้ความร้อน และรูปร่างของระบบ โดยเลือกใช้วัสดุต่างๆ เพื่อนำมาใช้ปรับอุณหภูมิมาตรฐานของเครื่องชั่งเชิงความร้อนได้แก่ โลหะและโลหะเจือ ทั้งนี้เนื่องจากกะวากโลหะจะมีสมบัติความเป็นแม่เหล็กที่อุณหภูมิต่างๆ จึงมีโอกาสสูญเสียความเป็นแม่เหล็กได้ และจะหมดสภาพแม่เหล็กเมื่อถึงจุดคูรี ดังแสดงในรูปที่ 2.17 สำหรับวิธีการปรับค่ามาตรฐานอุณหภูมิของเครื่องมือวิเคราะห์เชิงความร้อน มีดังต่อไปนี้

2.5.5.1 ใส่วัสดุแม่เหล็กลงในภาชนะใส่สารตัวอย่างซึ่งมีแท่งแม่เหล็กวางอยู่ด้านล่าง แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อวัสดุนั้นจะทำให้มวลมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อทำการวิเคราะห์ TG ในบรรยากาศ N_2 แรงแม่เหล็กจะหายไปทันที ณ จุดคูรี นอกจากนี้อาจใช้อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลาง หรือที่ยอดพีกของเส้นเคิร์ฟ DTG ก็ได้เป็นตัวกำหนดจุดปรับค่ามาตรฐานโดยอาศัยวัสดุตามมาตรฐานของ NIST

2.5.5.2 วิธีปรับค่ามาตรฐาน ให้ใช้เส้นลวดที่เป็นวัสดุซึ่งมีความบริสุทธิ์สูงๆ และทราบค่า T_m วางให้สัมผัสกับภาชนะใส่สารตัวอย่าง ลวดเส้นนี้จะหลุดออกเมื่อเกิดการหลอมเหลว

2.5.5.3 เลือกใช้ปฏิกิริยาที่ทราบแน่ชัดว่าให้อุณหภูมิพีกของ DTG ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการใช้อุปกรณ์อื่นได้ปรับค่ามาตรฐานมาแล้ว



รูปที่ 2.19 เส้นเคิร์ฟแสดงจุดคูรีที่ได้จากการจัดเรียงอุปกรณ์ในรูปที่ 2.18 เมื่อเลือกใช้โลหะนิกเกิลจะให้ค่า T_1 351.4 °C, T_2 352.8 °C, T_3 354.4 °C, T_2 คือค่าที่ใช้ปรับมาตรฐาน ณ จุดคูรี

2.6 การคำนวณพลังงานก่อกัมมันต์ของมลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซล

การเกิดปฏิกิริยาเคมีของการสลายมลพิษอนุภาคถูกศึกษาโดยใช้เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์โดยวิธีซึ่งนำหนักเชิงความร้อน (Thermo-gravimetric Analysis: TGA) [2,4,7]



อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในสมการที่ 2.3 สามารถคำนวณจากเส้นโค้งของกราฟ TGA ขึ้นอยู่กับ ปฏิกิริยาเคมีในสมการที่ 2.4

$$-\frac{d[PMs]}{dt} = [PMs]^n [O_2]^m \quad (2.4)$$

เมื่อ [PM] คือมวลของมลพิษอนุภาค, t คือเวลา, k คือค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาเคมี, n และ m คือ อัตราส่วนโมล (Reaction order) ของคาร์บอนและออกซิเจนตามลำดับ สำหรับงานวิจัยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

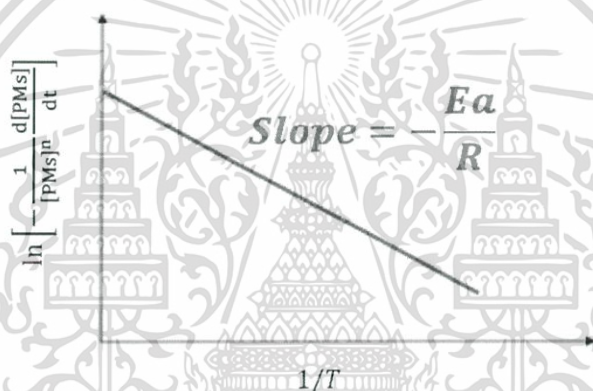
นี้สมมติให้ n เท่ากับ 1 เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ ค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยาเคมีถูกอธิบายโดยสมการที่ 2.5

$$k = Ae^{-\frac{Ea}{RT}} \quad (2.5)$$

เมื่อ A คือค่าคงที่พรีเอกโพแนนเชียล, Ea คือพลังงานกระตุ้น, R คือค่าคงที่ของแก๊ส

$$\ln \left[-\frac{1}{[PMS]^n} \frac{d[PMS]}{dt} \right] = -\frac{Ea}{R} \frac{1}{T} + (\ln A + m \ln [O_2]) \quad (2.6)$$

ค่า Ea สามารถคำนวณจากการพล็อตกราฟอาร์เรเนียสในสมการที่ 2.7[3] โดยนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln \left[-\frac{1}{[PMS]^n} \frac{d[PMS]}{dt} \right]$ กับ $\frac{1}{T}$ ความชันของกราฟคือ $-\frac{Ea}{R}$ ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln \left[-\frac{1}{[PMS]^n} \frac{d[PMS]}{dt} \right]$ กับ $\frac{1}{T}$

2.7 ความดันตกคร่อม (Pressure Drop)

การคำนวณหาความดันตกคร่อมของเครื่องดักกรองอนุภาคนั้นเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งในการทดลองเนื่องจากความดันตกคร่อมมีผลต่อการศึกษาการใช้เครื่องดักกรองอนุภาคในเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล โดยการคำนวณหาความดันตกคร่อมนั้นจะใช้สมการแบร์นูลีในการคำนวณดังสมการ

เมื่อ $\frac{P}{\rho g}$ คือ เฮดเนื่องจากความดัน (Pressure Head)

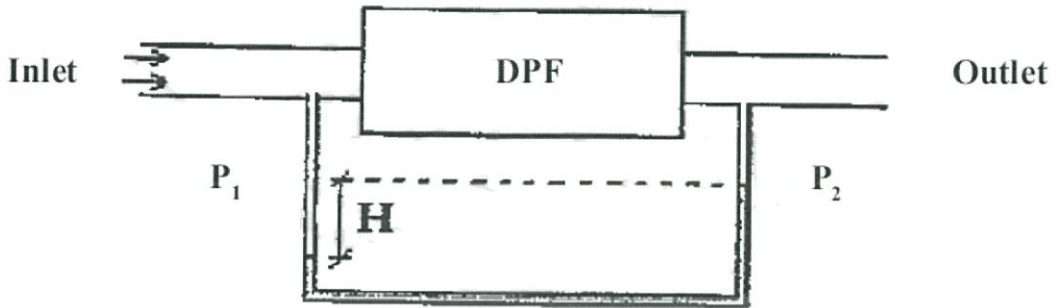
$\frac{v^2}{2g}$ คือ เฮดเนื่องจากความเร็ว (Velocity Head)

Z คือ เฮดเนื่องจากความสูง (Elevation Head)

H คือ เฮดรวมสำหรับการไหล (Total Head)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดความดันตกคร่อมทำการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดค่าความดันที่ขาเข้าและขาออกของอุปกรณ์ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดความดันตกคร่อม

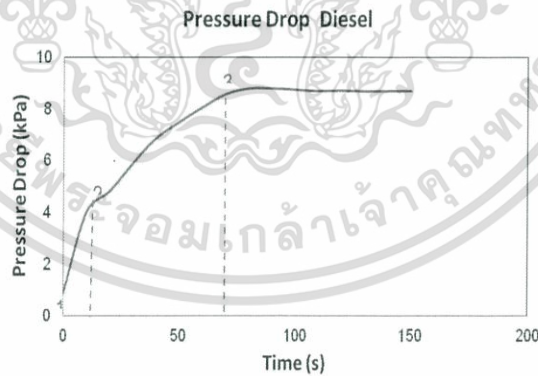
$$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} \quad (2.7)$$

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = H \quad (2.8)$$

$$\Delta P = \rho g H \quad (2.9)$$

2.7.1 แบบจำลองความดันตกคร่อมที่เกิดในเครื่องดักกรองอนุภาค (DPF)

ในการเกิดความดันตกคร่อมในเครื่องดักกรองอนุภาคความดันตกคร่อมกับการสะสมอนุภาคมลพิษอนุภาคเทียบกับเวลาจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 กราฟความดันตกคร่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

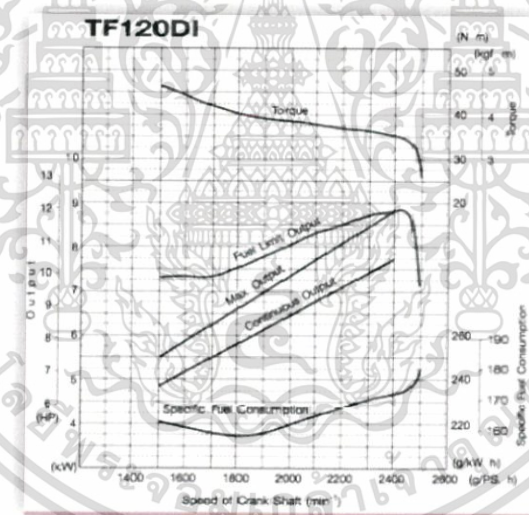
อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

3.1 เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

ในการทดลองนี้เลือกใช้เครื่องยนต์ดีเซลเล็กเพราะประหยัดเชื้อเพลิงมากกว่าเครื่องยนต์ใหญ่ และสามารถควบคุมการทำงานได้ง่ายกว่าเครื่องยนต์ดีเซลใหญ่เป็นเครื่องที่ทางห้องทดลองมีอยู่แล้ว



รูปที่ 3.1 เครื่องยนต์ Yanmar รุ่น TF 120 Di



รูปที่ 3.2 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่รอบต่างๆ

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ในการทดลอง

Brand	Yanmar
Fuel	Diesel direct injection
Model	TF 120 Di
Displacement	638 cc
Max output	8.8 kw/2400rpm
Compression ratio	16.1:1
Number of Cylinder	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง

เชื้อเพลิงดีเซล (B4-5) ตามมาตรฐาน มอก. 2155-2546 นำมาเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B100) ตามมาตรฐาน มอก. 2313-2549 32



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.3 (ก)เชื้อเพลิงดีเซล (B4-5) และ(ข)ไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลอง (B100)

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

Properties / Fuels	Diesel	Biodiesel
Density (kg/m ³)	844.78	847.73
Heat of combustion (MJ/m ³)	140,000	130,000
Cetane Number	48	55
Viscosity (centistokes)	3.0	5.7
Flash point C	64	70
Chemical formula	C ₁₄ H _{26.18}	C _{18.96} H _{35.29} O ₂
Carbon fraction	82	78
Heating value (kJ/kg)	46,800	39,550

3.3 อุปกรณ์การทดลอง

3.3.1 อุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาค

การทดลองได้ใช้ทำการศึกษ อุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคแบบไหลผ่านบางส่วน แบบที่เป็นเซรามิก ประเภทคอร์เดียไรท์ ชื่อทางเคมีว่า “แมกนีเซียมอลูมิเนียมซิลิเกต” เปอร์เซ็นต์ความพรุน 55% ขนาดที่ใช้ในการทดลองคือเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.2 cm. ความหนา 7 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคแบบไหลผ่านบางส่วน

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาค (DPF)

ชนิด	เซรามิก คอร์เดียไรท์
ความหนาของผนัง	300 ไมโครเมตร
ความพรุน	52 %
ขนาดเฉลี่ยของรู	10 – 50 ไมโครเมตร
ความหนาแน่นของเซลล์	300 เซลล์ต่อตารางนิ้ว

3.3.2 เซนเซอร์วัดความดัน (Pressure sensor)

เนื่องจากการทดลองนี้ใช้เครื่องยนต์ดีเซลในการทดลองการใช้น้ำมันดีเซลไม่สามารถเก็บผลการทดลองได้ตลอดเวลาและค่าความดันตกคร่อมที่อ่านได้จะไม่เที่ยงตรง ดังนั้นเพื่อให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือมากที่สุดจึงนำเซนเซอร์วัดความดันเพื่อใช้วัดความดันตกคร่อมระหว่างทางเข้าและทางออกของชุดอุปกรณ์ทดลองการดักมลพิษอนุภาคโดยเก็บค่าความดันตกคร่อมเพื่อนำค่าไปวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.5 เซนเซอร์วัดความดันยี่ห้อ Free scale Semiconductor รุ่น mpx5050dp

3.3.3 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เทอร์โมคัปเปิล คืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัวนำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยให้เปิดไว้ เรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกัน ก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง



รูปที่ 3.6 เทอร์โมคัปเปิล

3.3.4 ปั๊มดูดแบบสุญญากาศ (Vacuum Pump)

ในการทดลองเพื่อจำลองให้อากาศภายในท่อมีความเร็วใกล้เคียงกับท่อไอเสียทำให้จำเป็นที่จะต้องใช้ปั๊มแบบสุญญากาศดูดอากาศภายในท่อ

ตารางที่ 3.4 สมรรถนะของปั๊มสุญญากาศ

Max air flow ¹	~18 U/min
Max vacuum pressure	~620 mmHg
Pressure display	analog gauge
Weight	3.5 kg / 7.7 lbs
Dimensions	30 cm x 16.5 cm x 19 cm
Electrical requirements	110-120V 60Hz or 220-240V 50Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Accessories	800 ml collection canister ² microbial filter intermediate tubing suction tubing
Approvals	CE and US FDA 510(k)



รูปที่ 3.7 ปุ่มดูดสุญญากาศ

3.3.5 เตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace)

เตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace) เป็นอุปกรณ์ทำความร้อน ที่มีหลักการพื้นฐานคือ เมื่อกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูง ลวดตัวนำจะร้อนและถ่ายเทความร้อนให้กับโหลดท่อนอุณหภูมิได้ถึง 1200 °C

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของเตาเผาอุณหภูมิสูง

Brand	CARBOLITE
Model	HST12/300/3216P1
Max Temperature	Split Tube furnace 1200 °C
Diameter Tube	20-110 mm.
Heating element	Resistance wire heating element
Heated length	300 mm.
Temperature sensor	NiCrSi/NiSiMg (Type N thermocouple)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 เต้าเผาอุณหภูมิสูง

3.3.6 สวิตซ์วัดอัตราการไหลดิจิทัล (Digital flow switch)

Flow switch (เครื่องวัดอัตราการไหล) เป็นเครื่องมือวัดการไหลของของไหลในหน่วย L/min มีการแสดงผลในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล ส่งสัญญาณมาในรูปแบบความต่างศักย์ไฟฟ้า



รูปที่ 3.9 Flow switch รุ่น PFM725S-N01-E

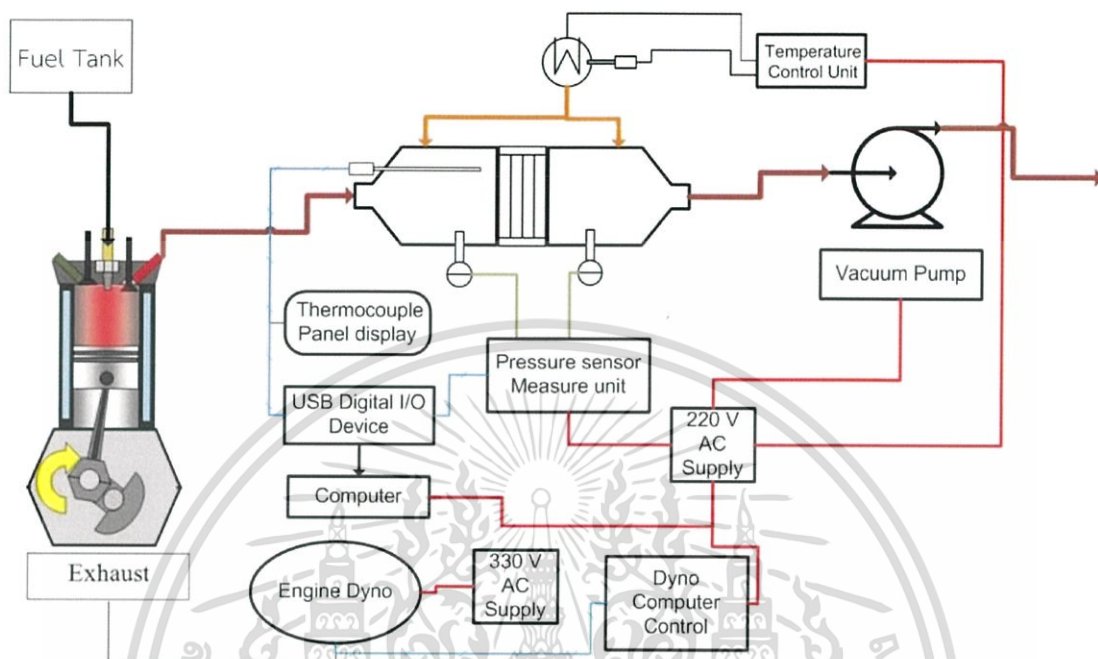
ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติของ Flow switch

Model	Gas ratio		Rated flow range	Displayable range	Settable range	Max. analog output	
	Ar	CO2				Voltage (Vmax)	Current (Imax)
PFM725	92%	8%	0.5 to 25.0 l/min	0.5 to 26.3 l/min	0 to 26.3 l/min	5.00 V	3.00 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

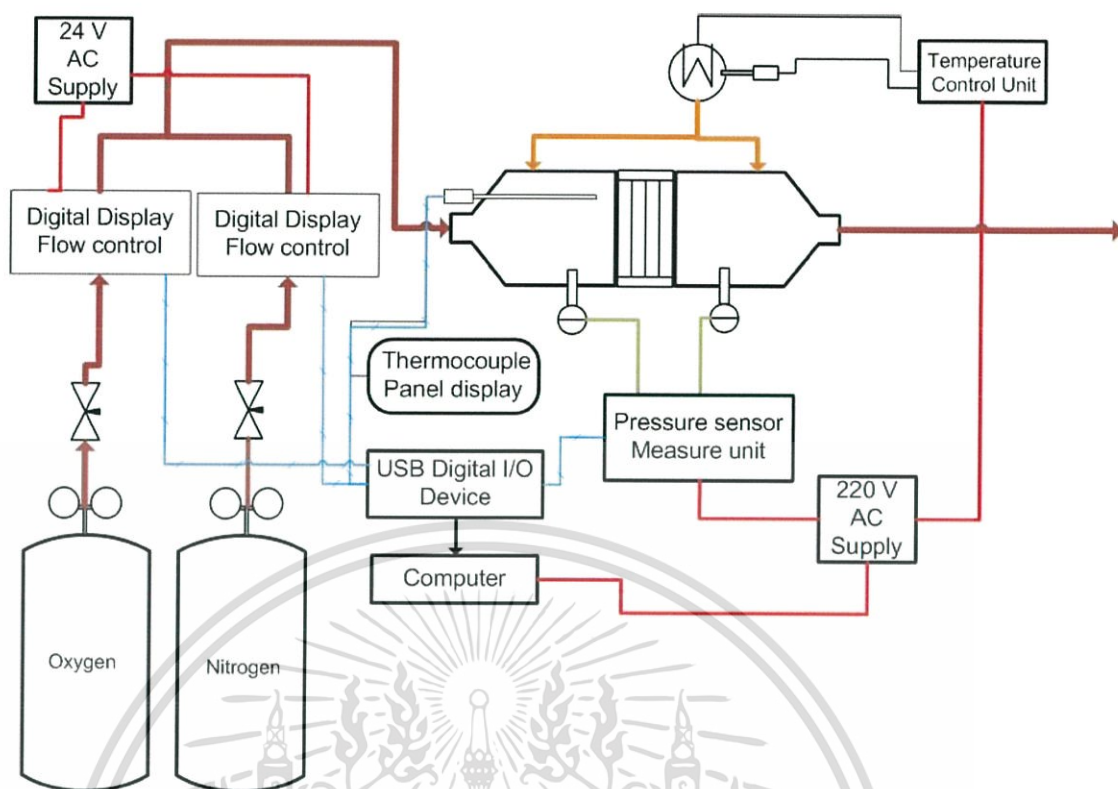
3.4 การดักและการสลายมลพิษอนุภาค

3.4.1 แผนภาพการดักมลพิษอนุภาคและการฟื้นฟูตัวกรองมลพิษอนุภาค

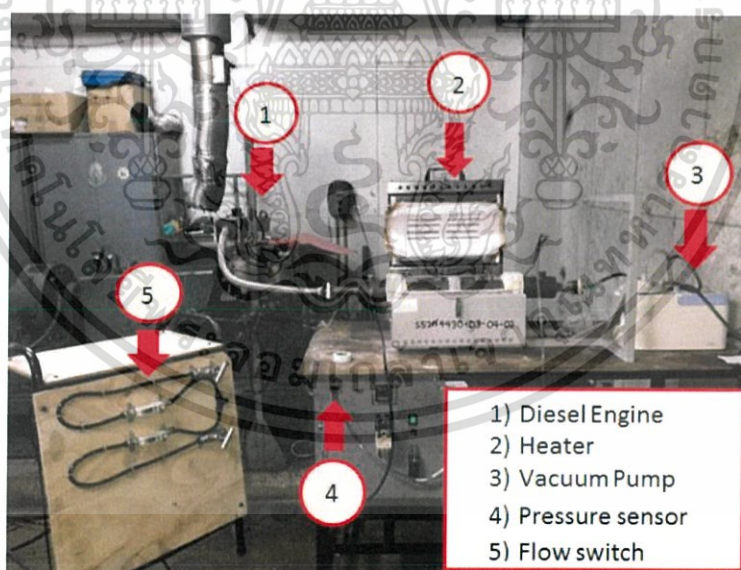


รูปที่ 3.10 แผนผังชุดอุปกรณ์ทดลองการดักมลพิษอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แผนผังชุดทดลองการสลายมลพิษอนุภาค



รูปที่ 3.12 ชุดอุปกรณ์ทดลองการดักมลพิษอนุภาค

จากรูปที่ 3.12 แสดงแผนผังการทำงานของชุดทดลองการดักมลพิษอนุภาค โดยมีหลักการ
ทำงานของคือใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กสร้างมลพิษอนุภาคจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซล
และไปโอดีเซลจากนั้นปิดทางออกไอเสียให้ไหลออกบางส่วนและอีกส่วนไหลไปตามท่อเหล็กที่ได้ติดตั้ง
ไว้เข้าไปที่ชุดทดลองโดยผ่านเตาเผาซึ่งภายในบรรจุอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคชนิดเซรามิกเอาไว้ ไอ
เสียจะไหลผ่านและถูกดักไว้ โดยระหว่างการทดลองจะทำการเก็บค่าความดันตกคร่อมระหว่าง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางเข้าและทางออกของชุดทดลองเพื่อหาระยะเวลาที่ตัวกรองมลพิษอนุภาคอุดตันอีกทั้งทำการเก็บค่าอุณหภูมิของไอเสียด้วยซึ่งรายละเอียดของอุปกรณ์มีดังต่อไปนี้

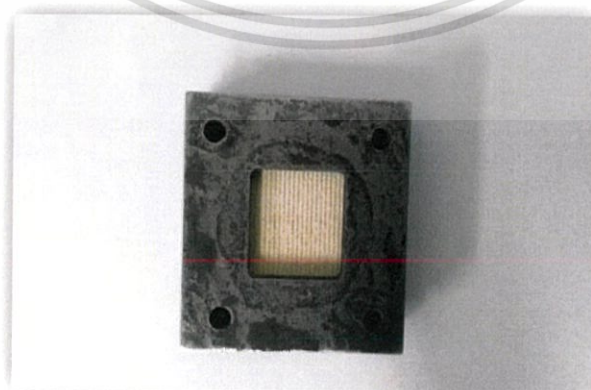
3.4.2 การออกแบบชุดทดลอง



รูปที่ 3.13 ทอสแตนเลส

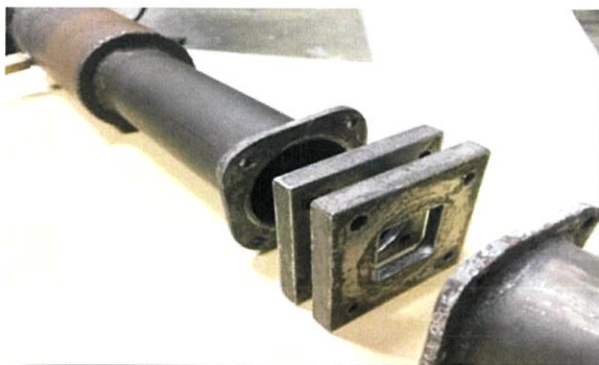


รูปที่ 3.14 ที่ยึดตัวกรองมลพิษอนุภาค



รูปที่ 3.15 ที่ยึดตัวกรองที่บรรจุตัวกรองมลพิษอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 ภาพแยกชิ้นส่วนตัวกรองมลพิษอนุภาค



รูปที่ 3.17 ตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล



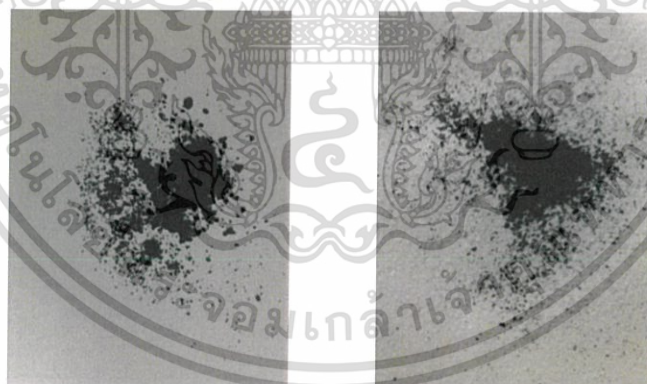
รูปที่ 3.18 เตาเผาอุณหภูมิสูงที่มีท่อสแตนเลสภายในบรรจุตัวกรองมลพิษอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวิเคราะห์มลพิษอนุภาคโดยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน จากคาร์บอนเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

ในการศึกษามลพิษอนุภาคโดยการวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างมลพิษอนุภาคกับ ออกซิเจนสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องทดสอบการลดลงของน้ำหนักระหว่างการทำปฏิกิริยาเคมี ขณะเพิ่มอุณหภูมิ (Thermo-gravimetric analysis: TGA) โดยใช้คาร์บอน มลพิษอนุภาคดีเซล และ มลพิษไบโอดีเซลบดผสมกับตัวกรองอนุภาคมลพิษอนุภาคที่มี catalytic และไม่มี catalytic ที่เก็บ จากการทดสอบที่สภาวะไหล 80% ที่ 2400 รอบต่อนาที ซึ่งใช้มลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซล ประมาณ 5 mg

การวิเคราะห์มลพิษอนุภาคโดยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อนจะทำการ ทดลองด้วยวิธีอุณหภูมิคงที่ (Isothermal) โดยใช้วิธีอุณหภูมิไม่คงที่สำหรับแยกสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอนกับคาร์บอนออกจากกัน และวิธีอุณหภูมิคงที่สำหรับคาร์บอนเพียงอย่างเดียวสภาวะที่ ใช้ในการทดลองวิธีอุณหภูมิไม่คงที่จะควบคุมภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในอัตรา 30 °C ต่อนาที จากอุณหภูมิ 30 °C ถึง 500 °C และคงอุณหภูมิที่ 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยจะทำการทดลองที่ อุณหภูมิ 500 °C, 550 °C และ 600 °C ตามลำดับ และใช้อากาศ 100% ในการทำปฏิกิริยา มีวิธีการ ทดลองคือ นำมลพิษอนุภาคไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน เพื่อ ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาเคมีของมลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซล หลังจากนั้นนำมลพิษอนุภาคดีเซล และไบโอดีเซลไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของมลพิษอนุภาคซึ่งได้แก่ ส่วนที่เป็นความชื้น ส่วนของไฮโดรคาร์บอน และส่วนที่เป็นคาร์บอนเพื่อแยกสารประกอบต่างๆของมลพิษอนุภาค



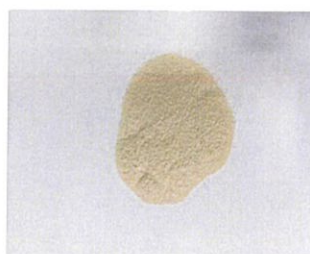
(ก)

(ข)

รูปที่ 3.19 มลพิษอนุภาคที่ได้จากทดลอง (ก) ดีเซล (ข) ไบโอดีเซล



(ค)



(ง)

รูปที่ 3.20 ตัวกรองมลพิษอนุภาค (ค) มี Catalyst (ง) ไม่มี Catalyst

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การทำงานของชุดทดลอง

การทดลองเริ่มจากการเตรียมตัวกรองมลพิษอนุภาคยึดติดกับอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคซึ่งต่อจากท่อไอเสีย ติดตั้งเข้ากับเตาเผาอุณหภูมิสูง ติดเครื่องยนต์ให้ทำงานประมาณ 10 นาที จากนั้นปรับโหลดเครื่องยนต์ที่ 80% และปรับรอบเครื่องยนต์ไปที่ 2400 รอบต่อนาที เมื่อรอบเครื่องยนต์คงที่แล้วเปิดปั๊มดูดไอเสีย ไอเสียจะวิ่งผ่านท่อเข้าไปยังตัวกรองมลพิษอนุภาค เริ่มจับเวลาและวัดค่าความดันตกคร่อมด้วยเซนเซอร์วัดความดัน เซนเซอร์วัดความดันจะเก็บค่าตลอดเวลาทุกวินาที ในขณะที่ไอเสียผ่านตัวกรองมลพิษอนุภาคจะถูกกรองไว้ที่ตัวกรอง และเมื่อค่าความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าคงที่ก็จะหยุดเก็บผลการทดลองเพราะหากค่าความดันตกคร่อมคงที่แล้วนั้นหมายความว่าสิ้นสุดความสามารถของเครื่องมือวัด และยังหมายถึงว่าตัวกรองมลพิษอนุภาคนั้นอุดตันแล้ว ทำกระบวนการที่กล่าวมาซ้ำอีก 2 ครั้งเพื่อดูความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง และทำการทดลองแบบเดิมแต่เปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงเป็นไบโอดีเซล หลังจากนั้นทำการกระบวนการสลายมลพิษอนุภาคที่ตัวกรองโดยการให้ความร้อนที่เตาเผาโดยให้อุณหภูมิภายในอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคประมาณ 200 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยแก๊สไนโตรเจนเข้าไปในอุปกรณ์พร้อมจับเวลาและวัดความดันตกคร่อม ค่าความดันจะค่อยๆ ลดลง จนอุณหภูมิในอุปกรณ์ถึง 600 องศาเซลเซียสจึงปล่อยแก๊สออกซิเจนที่ปริมาณ 10%, 15%, 21% และเก็บค่าความดันจนเริ่มคงที่แล้วหยุดเก็บผล เพราะแสดงว่าตัวกรองมลพิษอนุภาคสะอาดแล้ว

3.6.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. เตรียมเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล (B100)
2. เตรียมตัวกรองมลพิษอนุภาคชนิดเซรามิค
3. ติดตั้งท่อสแตนเลสที่มีตัวกรองมลพิษอนุภาคอยู่ในลงในเตาเผาอุณหภูมิสูงและเตรียมเตาเผาอุณหภูมิสูงให้อุณหภูมิภายในอุปกรณ์ทดลองประมาณ 200 องศาเซลเซียส
4. ติดเครื่องยนต์ปรับโหลดเครื่องยนต์ที่ 80% ปรับรอบเครื่องยนต์ให้อยู่ที่ 2400 รอบต่อนาที
5. เก็บผลค่าความดันตกคร่อมและระยะเวลาที่ตัวกรองอุดตัน
6. เมื่อความดันตกคร่อมเริ่มคงที่ หยุดเก็บผลการทดลอง
7. เปลี่ยนท่อเพื่อปล่อยแก๊สไนโตรเจนเข้าไปในอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคและเริ่มเก็บค่าความดันตกคร่อมกับอุณหภูมิ
8. ให้ความร้อนที่เตาเผาขึ้นไปเรื่อยๆจนมีอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเริ่มปล่อยแก๊สออกซิเจน 10% เก็บผลค่าความดันตกคร่อมที่ลดลงและระยะเวลาที่มลพิษอนุภาคสลายตัว
9. ทำการทดลองซ้ำที่สภาวะเดิมเปลี่ยนออกซิเจนเป็น 15% และ 21%
10. เปลี่ยนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองเป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซลแล้วทำการทดลองเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล
11. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้

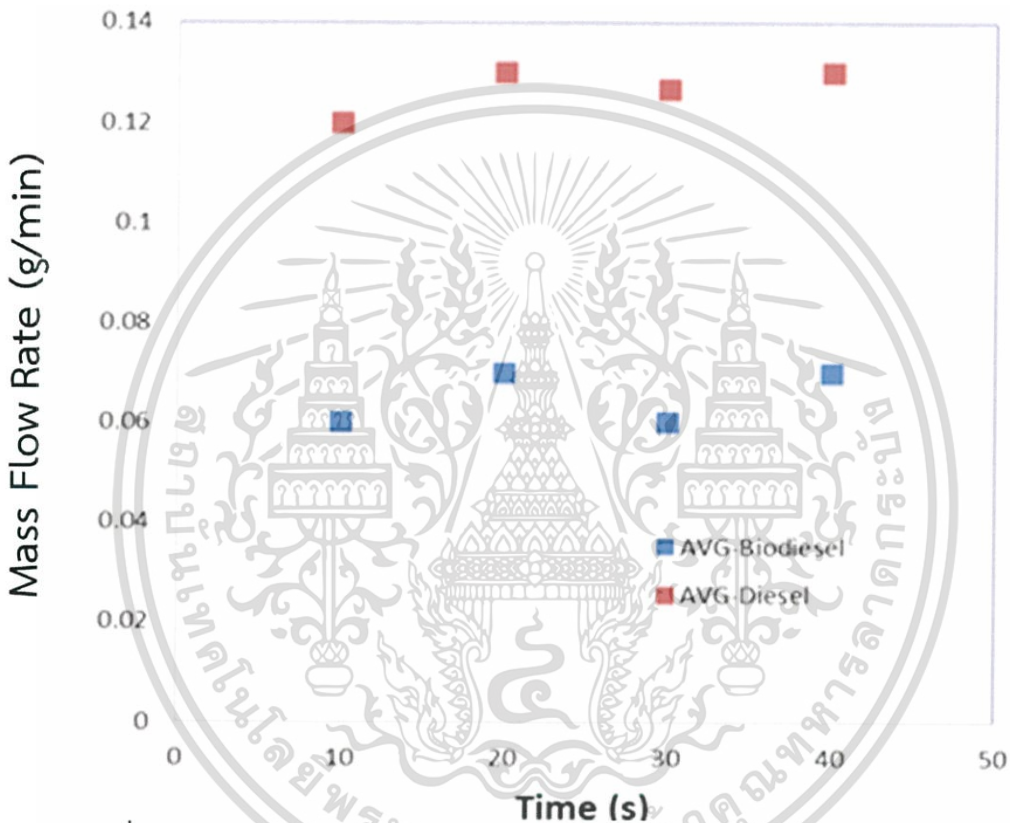
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 อัตราการปล่อยมลพิษอนุภาคของดีเซลและไบโอดีเซล

การทดสอบนี้ใช้ฟิลเตอร์กรองอากาศเป็นตัวกรองมลพิษอนุภาคเพื่อทดสอบหาอัตราการปล่อยมลพิษอนุภาค โดยทำแบบ Partial คือ มีส่วนหนึ่งปล่อยสู่อากาศและส่วนหนึ่งนำมาเพื่อทดสอบที่สภาวะ load 80% ผลของการทดสอบเป็นดังรูป 4.1

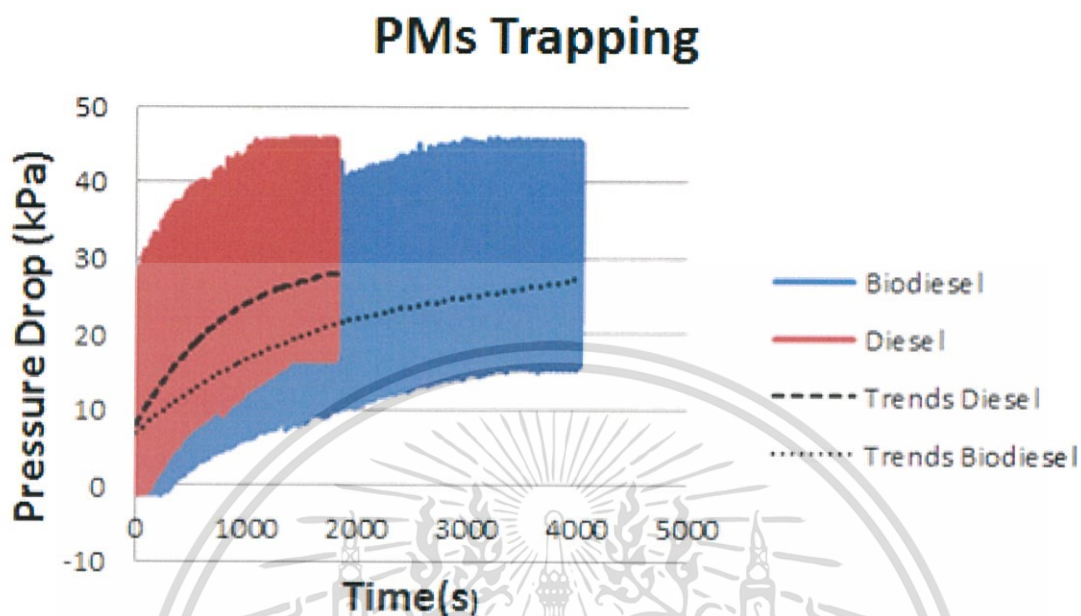


รูปที่ 4.1 อัตราการปล่อยมลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซลแบบ Partial Flow

จากรูปที่ 4.1 ได้อัตราการไหลของมวลมลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงดีเซลมีค่าประมาณ 0.12 – 0.13 g/min และอัตราการไหลของมลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีค่าประมาณ 0.06 – 0.07 g/min จะเห็นได้ว่าอัตราการปล่อยมลพิษอนุภาคของเชื้อเพลิงดีเซลมีค่าประมาณ 2 เท่าของการปล่อยมลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล หมายความว่าถ้าเทียบกันเฉพาะเวลาใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยกว่า เป็นเพราะกระบวนการเผาไหม้ไบโอดีเซลทำได้ดีกว่าดีเซลเนื่องจากไนโมเลกุลของไบโอดีเซลมีออกซิเจนอะตอมอยู่การเผาไหม้จึงสมบูรณ์กว่าขั้นตอนการทดลอง

4.2 การศึกษาการดักกรองมลพิษอนุภาคของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

จากการดักอนุภาคมลพิษด้วยตัวกรองอนุภาคมลพิษ การทดสอบการดักอนุภาคมลพิษที่ load 80%

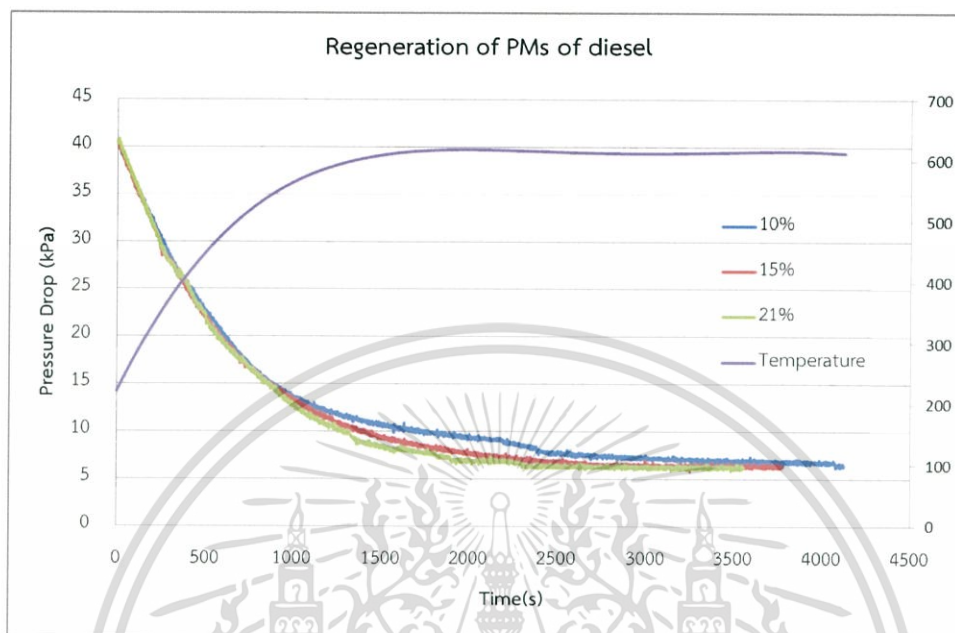


รูปที่ 4.2 การดักมลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซล

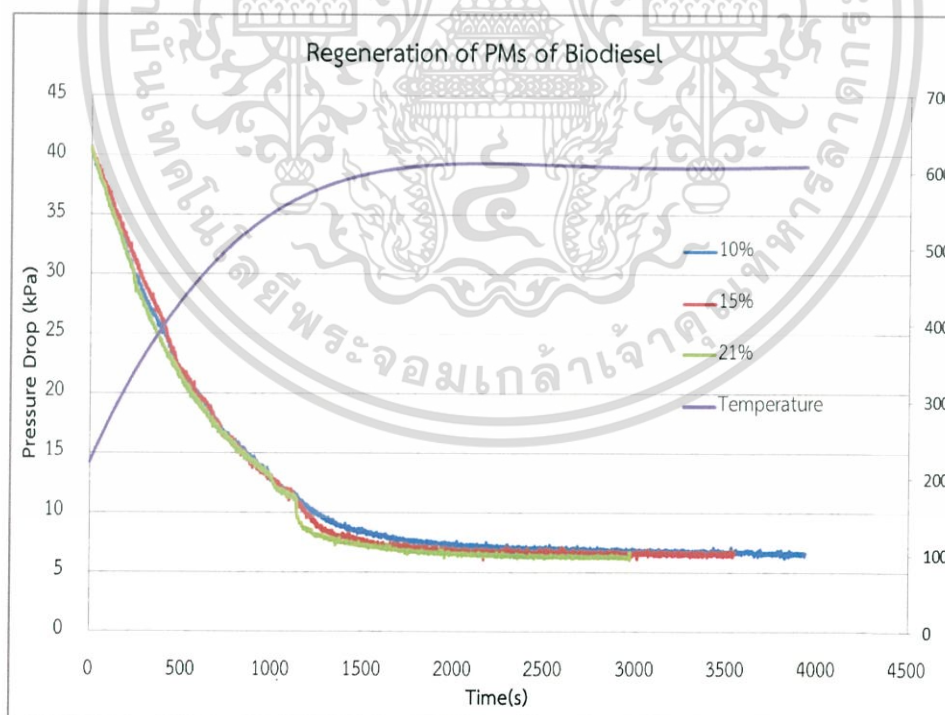
จากรูป 4.2 จะเห็นว่าค่าของความดันตกคร่อมที่มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าคงที่มีค่าประมาณ 45.0 kPa ของทั้งมลพิษที่ได้จากดีเซล และไบโอดีเซล อุปกรณ์การดักมลพิษอนุภาคดีเซล(DPF) ใช้เวลาในการดักมลพิษอนุภาคเป็นเวลา 1500 วินาทีโดยประมาณ ในขณะที่ใช้เวลาในการดักมลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล 3000 วินาทีโดยประมาณ จากผลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปริมาณมลพิษอนุภาคที่ได้จากเชื้อเพลิงดีเซลมีค่าเป็น 2 เท่าโดยประมาณซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ 1 ที่ค่า อัตราการไหลของมวลมลพิษอนุภาคของไบโอดีเซลมีน้อยกว่า 2 เท่าของมลพิษอนุภาคดีเซล

4.3 กระบวนการรีเจนเนอเรชั่น

การสลายมลพิษอนุภาคโดยอาศัยการออกซิเดชั่นระหว่างมลพิษอนุภาคและออกซิเจนที่ปริมาณต่างๆ ดังนี้ 10% 15% และ 21%



รูปที่ 4.3 กระบวนการรีเจนเนอเรชั่นของมลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงดีเซล

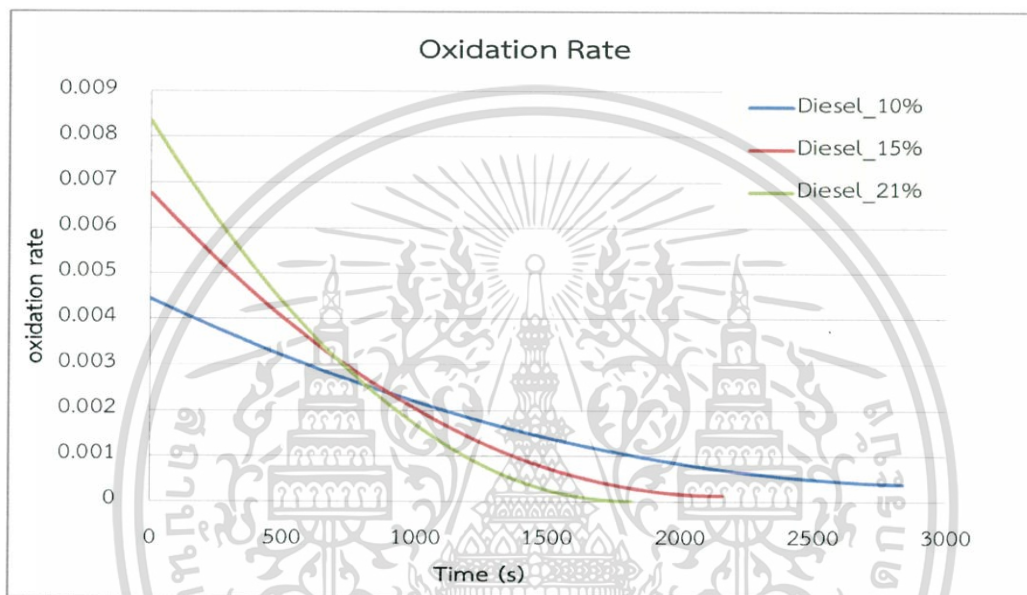


รูปที่ 4.4 กระบวนการรีเจนเนอเรชั่นของมลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

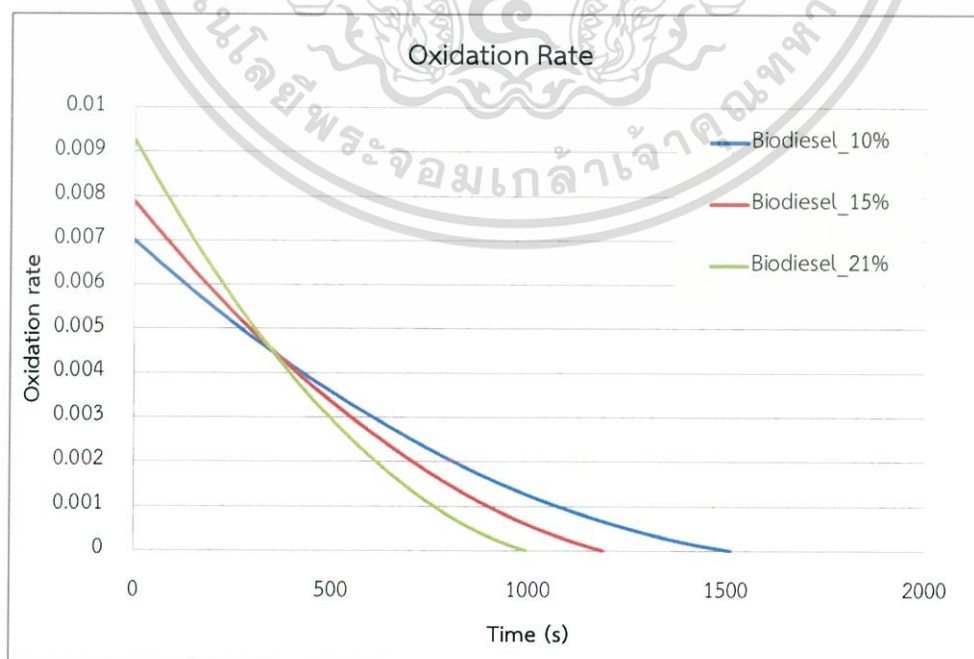
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 ในช่วงอุณหภูมิ 200 – 600 องศาเซลเซียสความดันตกคร่อมระหว่างทางเข้าและทางออกอุปกรณ์ดักมลพิษอนุภาคดีเซล มีค่าลดลงเรื่อยๆจนเกือบคงที่ และที่ 600 องศาเซลเซียสและคงที่ พบว่ากระบวนการรีเจนเนอเรชั่นของมลพิษอนุภาคดีเซลและไปโอดีเซล ปริมาณออกซิเจน 21% เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วที่สุด นับจากตอนปล่อยแก๊สออกซิเจนเข้าระบบจนถึงเมื่อผลต่างความดันนั้นคงที่ ที่ปริมาณออกซิเจน 15% และ 10% เกิดปฏิกิริยาช้ากว่าตามลำดับ นั้นแสดงให้เห็นว่ากระบวนการรีเจนเนอเรชั่นจำเป็นต้องมีออกซิเจน และถ้ามีปริมาณมากขึ้นก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เร็วขึ้น

4.3.1 กระบวนการออกซิเดชั่น



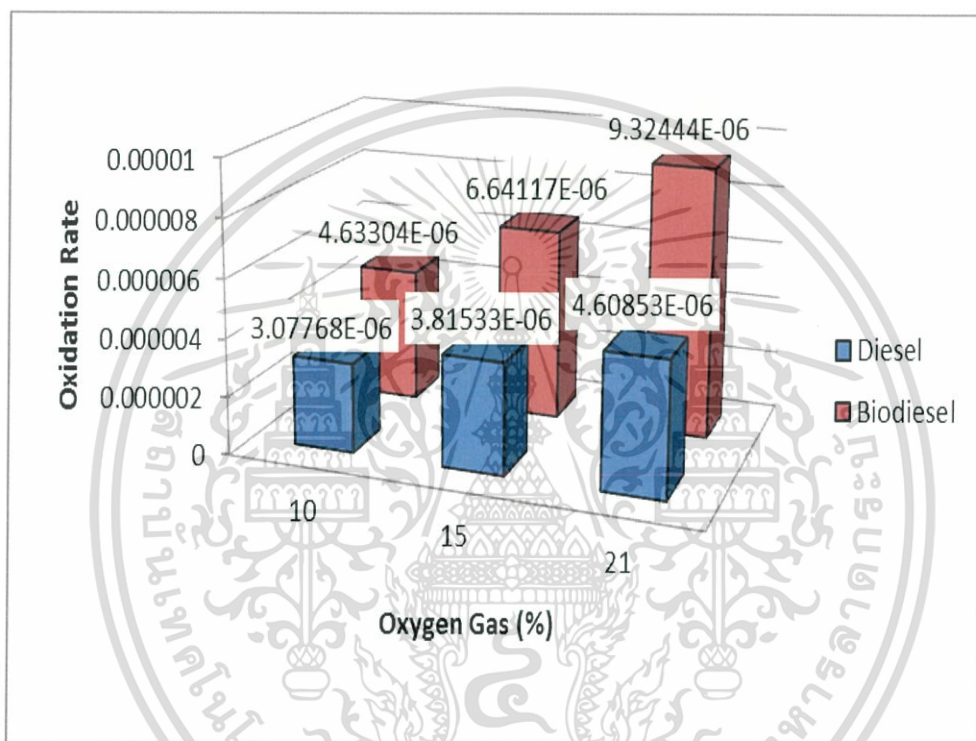
รูปที่ 4.5 แสดงอัตราการเกิดออกซิเดชั่นในมลพิษอนุภาคที่มาจากเชื้อเพลิงดีเซล



รูปที่ 4.6 แสดงอัตราการเกิดออกซิเดชั่นในมลพิษอนุภาคที่มาจากเชื้อเพลิงไปโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.5 และ 4.6 อัตราการเกิดออกซิเดชันเกิดขึ้นสูงที่สุดเมื่อออกซิเจน 21% ตามด้วย 15% และ 10% ตามลำดับ จากนั้นอัตราการลดลงเรื่อยๆ โดยเฉพาะช่วงทำอัตราการผลิตปฏิกิริยาดำมาก อันเนื่องมาจากการวิเคราะห์ทางเคมีของมลพิษอนุภาคนั้น มลพิษอนุภาคเป็นสารประกอบที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่หลากหลายทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่คงที่ มีส่วนที่ออกซิไดซ์ได้อย่างรวดเร็ว และมีส่วนน้อยที่ออกซิไดซ์ช้า นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการเกิดออกซิเดชันที่ 21% ออกซิเจนนั้นสิ้นสุดกระบวนการเร็วที่สุด ตามด้วย 15% และ 10% ตามลำดับ เป็นการสิ้นสุดทุกกระบวนการใน DPF เตรียมพร้อมกับการใช้งานครั้งต่อไป

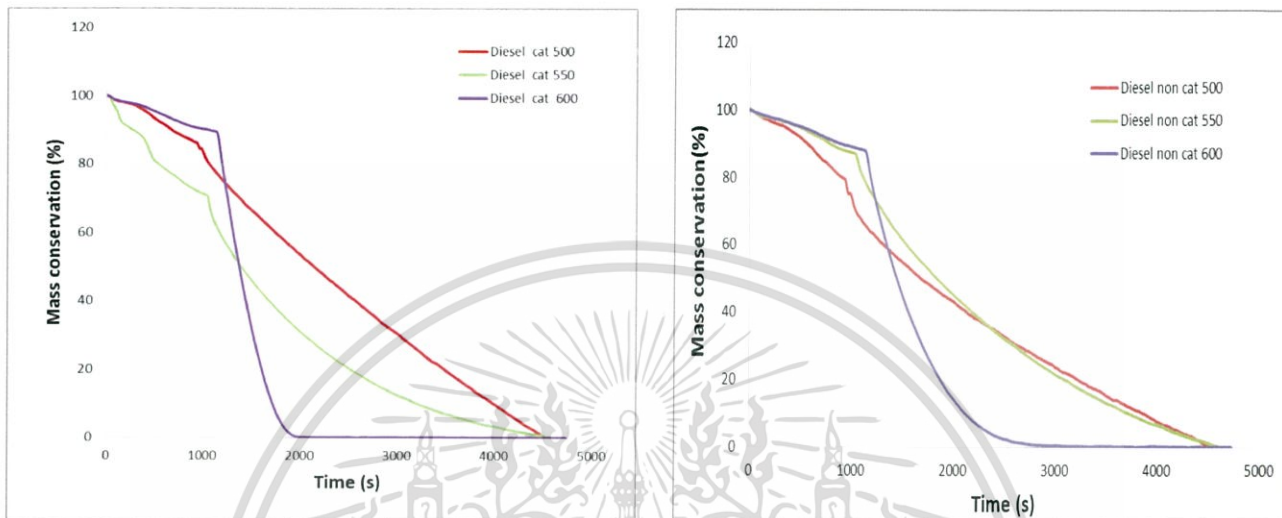


รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของมลพิษอนุภาคจากไบโอดีเซลและดีเซล

จากรูป 4.7 พบว่าอัตราการเกิดออกซิเดชันของมลพิษอนุภาคที่ได้จากไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าอัตราการเกิดออกซิเดชันของมลพิษอนุภาคที่ได้จากดีเซลในทุกๆ ปริมาณออกซิเจน นั้นแสดงให้เห็นว่ามลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีขนาดเล็กกว่ามลพิษอนุภาคจากดีเซล ขนาดเล็กกว่าการเกิดออกซิเดชันได้ง่าย ปริมาณมลพิษอนุภาคต้องเท่ากันเพราะใช้เวลาดักเป็น 2 เท่า

4.4 สมบัติทางเคมีของมลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (Thermo-gravimetric analysis)

ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนของมลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยใช้การวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักและอุณหภูมิ

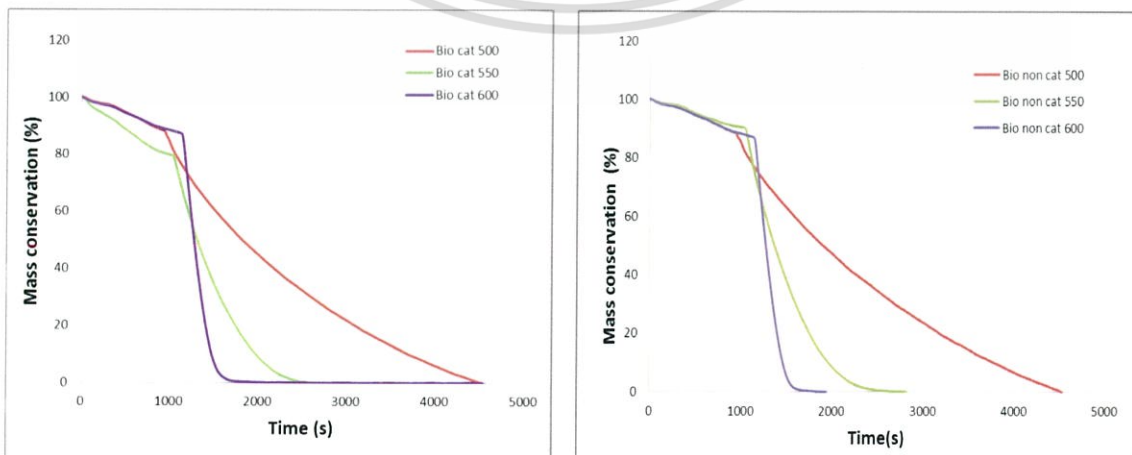


ก. DPF with catalytic

ข. DPF with non-catalytic

รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงมวลของมลพิษอนุภาคดีเซลเมื่อมีตัวเร่งและไม่มีตัวเร่งที่อุณหภูมิต่างๆ

จากรูป 4.8 พบว่าการเปลี่ยนมวลที่อุณหภูมิที่ 500 และ 550 C มีการเปลี่ยนแปลงมวลจาก 100% - 0% ใช้เวลาประมาณ 4500 วินาที ในทั้งที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ในขณะที่อุณหภูมิ 600 C ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงมวลใช้เวลา 2000 วินาทีโดยประมาณ ในขณะที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาใช้เวลา 2500 วินาที จะเห็นว่าจากผลข้างต้นที่อุณหภูมิ 500 และ 550 C ใช้เวลาใกล้เคียงกันทั้งมีตัวเร่งและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ในขณะที่ 600 C มีการเปลี่ยนแปลงที่สูงกว่าที่อุณหภูมิและเปรียบเทียบมีตัวเร่งและไม่มีตัวเร่ง พบว่ามีตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนแปลงมวลสูงกว่าไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

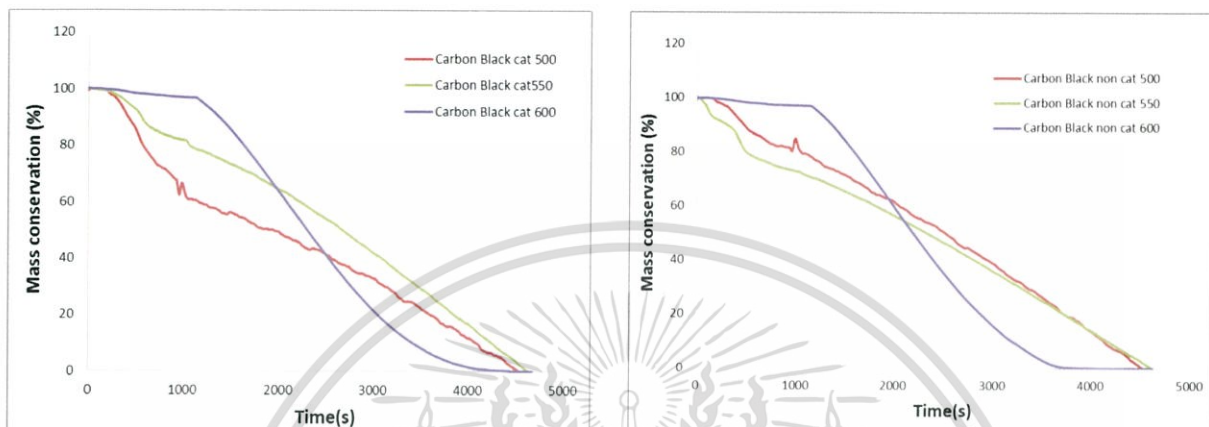


ก. DPF with catalytic

ข. DPF with non-catalytic

รูปที่ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงมวลของมลพิษอนุภาคไบโอดีเซลเมื่อมีตัวเร่งและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ

จากรูปที่ 4.9 พบว่าที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 500 C การเปลี่ยนแปลงมวลลดจาก 100% ถึง 0% ใช้เวลา 4800 วินาที ที่อุณหภูมิ 550 C ใช้เวลาประมาณ 2500 วินาที และที่ 600 C ใช้เวลา 1800 วินาที เมื่อไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการทดลองระบุว่าที่อุณหภูมิต่างๆ การเปลี่ยนแปลงมวลใช้เวลาอยู่ที่ 4900 วินาที 2600 วินาที และ 1900 วินาทีตามลำดับ ต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อดูจากอุณหภูมิพบว่าที่ 600 C ใช้เวลาเร็วที่สุด ตามด้วย 550 C และ 500 C ตามลำดับ

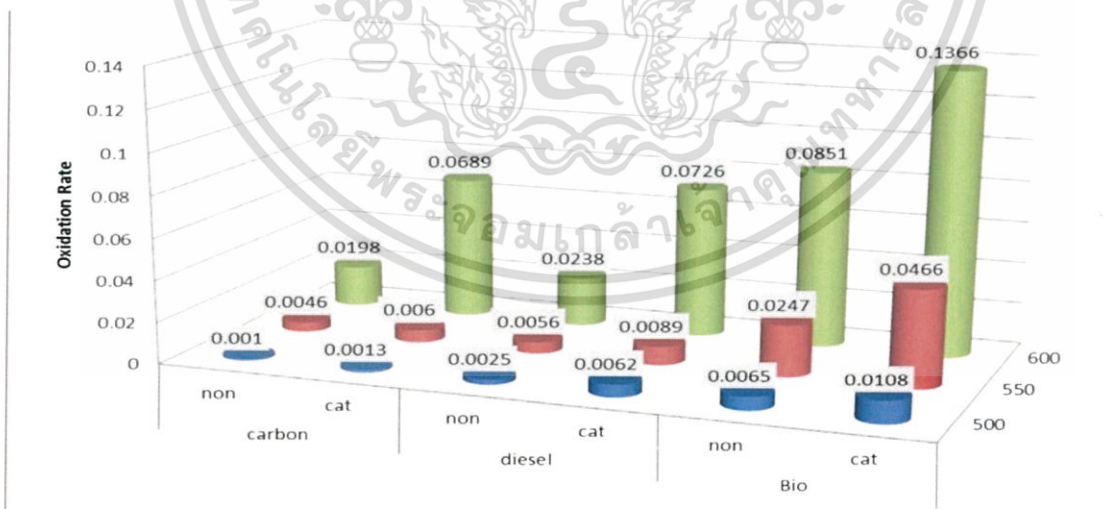


ก. DPF with catalytic

ข. DPF with non-catalytic

รูปที่ 4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงมวลคาร์บอนเมื่อมีตัวเร่งและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ

จากรูป 4.10 พบว่าเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงไม่ต่างกันมากที่ 500 C และ 550 C ใช้เวลาประมาณ 4800 และ 4900 วินาที ขณะที่ 600 C อยู่ที่ 4000 วินาที



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบการออกซิเดชันเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาในอุณหภูมิต่างๆ

จากรูป 4.11 พบว่าการออกซิเดชันของไบโอดีเซลสูงที่สุดในทุกๆ อุณหภูมิตามมาด้วย ดีเซลและคาร์บอนตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิ 500 และ 550 C การออกซิเดชันที่ 550 C สูงกว่าแต่ไม่มาก แต่ในขณะที่ 600 C มีค่าสูงที่สุดในทุกๆ เชื้อเพลิง และการมีตัวเร่งปฏิกิริยามีการออกซิเดชันสูงกว่าไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง ปัญหาและแนวทางแก้ไขปัญหา และ ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. น้ำมันไบโอดีเซลปล่อยมลพิษอนุภาคน้อยกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 2 เท่า เพราะว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลเผาไหม้ได้ดีกว่าเพราะ น้ำมันไบโอดีเซลมีอะตอมของออกซิเจนจึงเผาไหม้ได้ดีกว่า

3. จากการทดลองรีเจนเนอเรชั่น ไบโอดีเซลสามารถสลายมลพิษอนุภาคได้เร็วกว่าในทุกๆ ปริมาณของออกซิเจนนั้นเป็นเพราะว่า มลพิษอนุภาคจากไบโอดีเซลมีขนาดเล็กกว่าและมีอะตอมออกซิเจนประกอบอยู่จึงทำให้เกิดการออกซิไดซ์กับออกซิเจนในแก๊สได้ดีกว่ามลพิษอนุภาคจากดีเซลที่มีขนาดใหญ่กว่า

4. จากการวิเคราะห์โดยการชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (TGA) ที่อุณหภูมิสูง 600°C มีการสลายมวลของมลพิษอนุภาคได้มากที่สุดและดีที่สุด ในขณะที่ 500 และ 550°C การสลายไม่ต่างกันมากนักเป็นที่ 600°C มีพลังงานก่อกัมมันต์ สูงที่สุดจึงเป็นค่าที่เหมาะสม

5. เปรียบเทียบการการสลายที่มีตัวเร่งและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถสลายมลพิษอนุภาคได้เร็วโดยเฉพาะในไบโอดีเซลที่มีการสลายค่อนข้างเร็วกว่ามลพิษอนุภาคชนิดอื่นนั้นอาจจะเพราะขนาดที่เล็กกว่าและมีเปอร์เซ็นต์ไฮโดรคาร์บอนที่สูงกว่าการสลายตัวจึงทำได้ง่ายกว่า

สรุปเชื้อเพลิงไบโอดีเซลสามารถช่วยลดมลพิษที่ปล่อยจากไอเสียได้ดีกว่าเชื้อเพลิงดีเซล ในขณะที่อุปกรณ์ดักมลพิษอนุภาคดีเซล (DPF) มีความสามารถสูงในการกำจัดมลพิษอนุภาคในส่วนที่เป็น ไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอน ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงมาก เมื่อรวมเข้ากับตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถลดเวลากระบวนการเผาได้ก็จะทำให้ประหยัดพลังงานมากขึ้น เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจึงเป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงดีเซล และอุปกรณ์ดักมลพิษอนุภาคเหมาะที่จะนำมาใช้เพื่อรองรับมาตรฐานไอเสียที่สูงขึ้นเพื่ออนุรักษ์พลังงานและลดปัญหามลพิษในอนาคต

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไขปัญหา

จากการทดลองการดักกรองมลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลเกิดปัญหามีชั้นระหว่างการทดลองและได้แสดงแนวทางแก้ไขปัญหาเพื่อพัฒนาการทดลอง ดังต่อไปนี้

1. เกิดรอยรั่วบริเวณที่รอยต่อระหว่างเคสที่ติดตั้งตัวกรองมลพิษอนุภาคและท่อที่ต่อจากท่อไอเสียเครื่องยนต์ทำให้ความดันไม่เพิ่มขณะเก็บผลการทดลอง

แนวทางแก้ไขปัญหา: ใช้กาวประเก็นทนความร้อน ในการปิดรอยรั่วของท่อและเคสที่ติดตั้งตัวกรองมลพิษอนุภาค

2. อุณหภูมิภายในอุปกรณ์ทดลองที่ติดตั้งตัวกรองมลพิษอนุภาคไม่ถึงที่ต้องการ เนื่องจากอากาศที่ผ่านอุปกรณ์ในเตาเผาอุณหภูมิสูงไหลเร็วเกินไป

แนวทางแก้ไขปัญหา: ปรับอัตราการไหลของอากาศให้ช้าลง

3. สายสัญญาณที่เก็บค่าการทดลองหลุดระหว่างเก็บข้อมูล

แนวทางแก้ไขปัญหา: ต่อกับปลั๊กสายสัญญาณให้แน่น ถาวรพร้อมทั้งตรวจสอบอุปกรณ์ทุกครั้งก่อนเก็บค่าผลการทดลอง

4. อัตราการไหลของแก๊สที่ปล่อยออกมาตอนสลายมลพิษอนุภาคมีการแกว่งน้อยลงเพิ่มขึ้น

แนวทางแก้ไขปัญหา: ต้องมีคนคอยดูแล สังเกตการณ์ควบคุมอัตราการไหลให้ได้ค่าที่ต้องการตลอดเวลา

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองดักกรองมลพิษอนุภาคจากน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลมีข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาการทดลอง ดังต่อไปนี้

1. ในระหว่างการทดสอบควรสวมหน้ากากกรองมลพิษเพื่อป้องกันมลพิษอนุภาคและแก๊สที่เป็นอันตรายจากไอเสียเข้าสู่ร่างกายเป็นอันตรายต่อสุขภาพผู้ทดลอง

2. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของมลพิษอนุภาคจากน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีซึ่งน้ำหนักเชิงความร้อนควรทำหลายครั้งเพื่อจะได้มีข้อมูลนำมาใช้วิเคราะห์อย่างเพียงพอและน่าเชื่อถือ

3. ควรเลือกใช้เหล็กที่หนาทำหน้าแปลนและเคสสำหรับติดตั้งตัวกรองมลพิษอนุภาค เพราะจะได้ประกบกันสนิท ไม่เกิดรอยรั่วมาก

4. เลือกท่อ ข้อต่ออ่อนทนความร้อนให้มีขนาดใกล้เคียงกันเพื่อง่ายต่อการประกอบชิ้นงาน และช่วยป้องกันการรั่วของระบบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ทรงธรรม เหล่าสุวรรณ, ปรีชากรินทร์และจินดาเจริญพรพาณิชย์ (2555). จลนพลศาสตร์เคมีของการออกซิไดซ์มลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8, จังหวัดมหาสารคาม
- [2] ทิพา ภรณ์ ศรีธีรรัตน์. จลนพลศาสตร์เคมี. โครงการผลิตตำรา คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2554.
บัณฑิต สาขาวิศวกรรม เคมี. คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าพระบุรี. 2543.
- [3] พิสมัย เจนวนิชปัญญากุล. “บบไบโอดีเซล:พลังงานทางเลือก” , วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่16ฉบับที่ 3 ก.ย. -ธ.ค. 2544
- [4] ภมรมาศ อ่อนอิมสิน. "การเผาไหม้มลพิษอนุภาคจากเครื่องยนต์ดีเซลบนเครื่องกรองที่ทาจากโลหะทองแดง." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรม เคมี. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าพระบุรี. 2548.
- [5] รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย. “การวิเคราะห์เชิงความร้อนและแคลอรีเมตรี” มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2553
- [6] สมชาย จันทวนา, “มลพิษในไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล”. วารสารการประชุมสัมมนาวิชาการ .
- [7] สิริกร ดุพัสกุล. "การเผาไหม้มลพิษอนุภาคจากเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร
- [8] http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/enenv1051pn_ch2.pdf น้ำมันไบโอดีเซล
- [9] B.R. Stanmore, J.F. Brilhac, P. Gilot, The oxidation of soot : a review of experiments, mechanisms and models, Carbon 39, pp.2247-2268, 2001.
- [10] Gulijk C. Van., Heiswolf J.J, Makkee M., Moulijn J.A. DDiesel Exhaust Aftertreatment, Selection and development of a reactor for diesel particulate filtration., Pp.1705 ; 1712, 2001.
- [11] Hong Kong Polytechnic University. “Particulate Trap”, แหล่งที่มา <http://www.Industrial Centre ; The Hong Kong Polytechnic University.ac.th>, 23 มกราคม 2546
- [12] J.B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamental, McGraw-Hill series in mechanical Engineering, Singapore, 1998.
- [13] Johnson, J.H, Baglay, S.T., Gratz, L.D. and Leddy, D.G. Diesel Exhaust Aftertreatment, A Review of Diesel Particulate Control Technology and Emissions Effects 1992 Horning Memorial Award Lecture, Pp 1- 35, 1994
- [14] Kalogiron M., Samaras Z. (2009). Athermogravimetric kinetic study of uncatalyzed diesel soot oxidation, *J Therm Anal Calorim*, vol. 98, 2009, pp. 215-224.
- [15] Michel Ambrogio, Guido Saracco, Vito specchia, DDiesel Exhaust Aftertreatment Combining filtration and catalytic combustion in particulate traps for diesel exhaust treatment, Pp.1613 ; 1621, 2001.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] Mayer., Buck A. and Bressler H. *_Diesel Exhaust Aftertreatment_*, The Knitted Particulate Trap : Field Experience and Development Progress, SAE 930362, 1993.
- [17] Mayer., Buck A. Diesel Exhaust Aftertreatment, Knitted Ceramic Fiber ; A New Concept for Particulate Traps, 1992.
- [18] Nicholas P. Ramskill, Lynn F. Gladden, Andrew J. Sederman , Visualization of the Gas Flow Field within a Diesel Particulate Filter Using Magnetic Resonance Imaging., Department of Chemical Engineering and Biotechnology, U niversity of Cambridge, Cambridge, CB2 3RA, UK, JSAE 20159001 paper (2015)
- [19] P.Karin, Y. Songsaengchan, S. Laosuwan, Chinda Chareonphonphanich, Nanostructure of Renewable Oxygenated Fuels Particulate Matter. The 4th AUN/SEED-Net Regional Conference, Vietnam, 2012.
- [20] P. Karin and K.Hanamura. Particulate Matter Trapping and Oxidation on a Diesel Particulate Filter. The First TSME International Conference on Mechanical Engineering, TSME, ACE002, 20-22 October. Ubon Ratchathani, Thailand. 2010.
- [21] P. Karin, *Microscopic Visualization and Characterization of Particulate Matter Trapping and Oxidation in Diesel Particulate Filters and Membrane Filters*. Doctor thesis, Tokyo Institute of Technology, Japan, 2010.

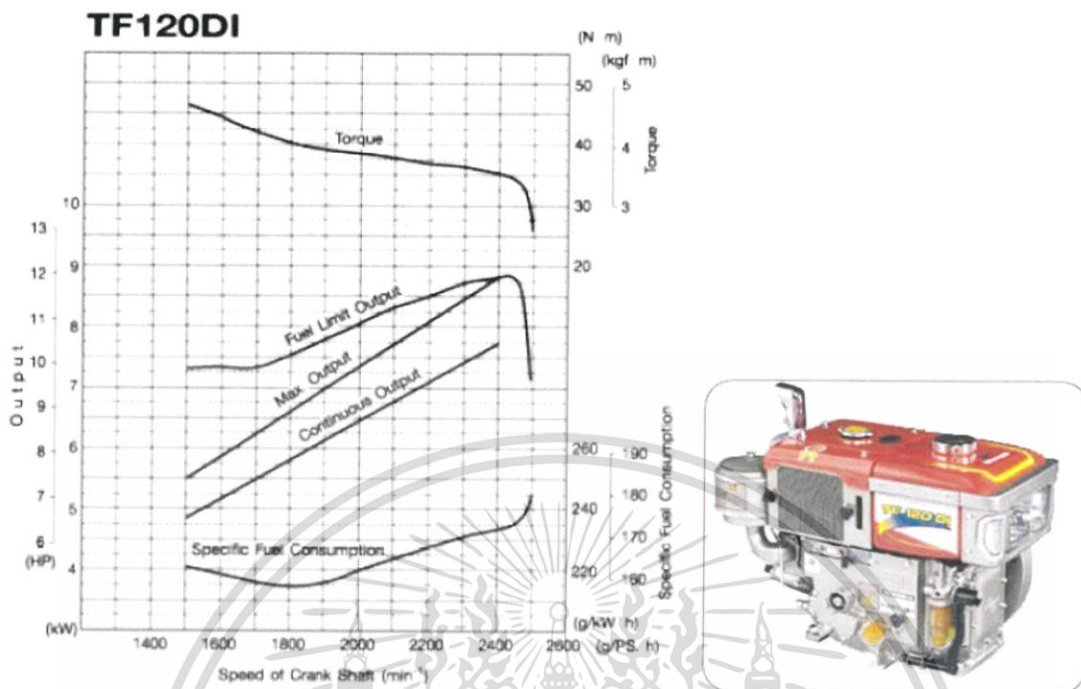


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-1: คุณสมบัติเครื่องยนต์ดีเซล

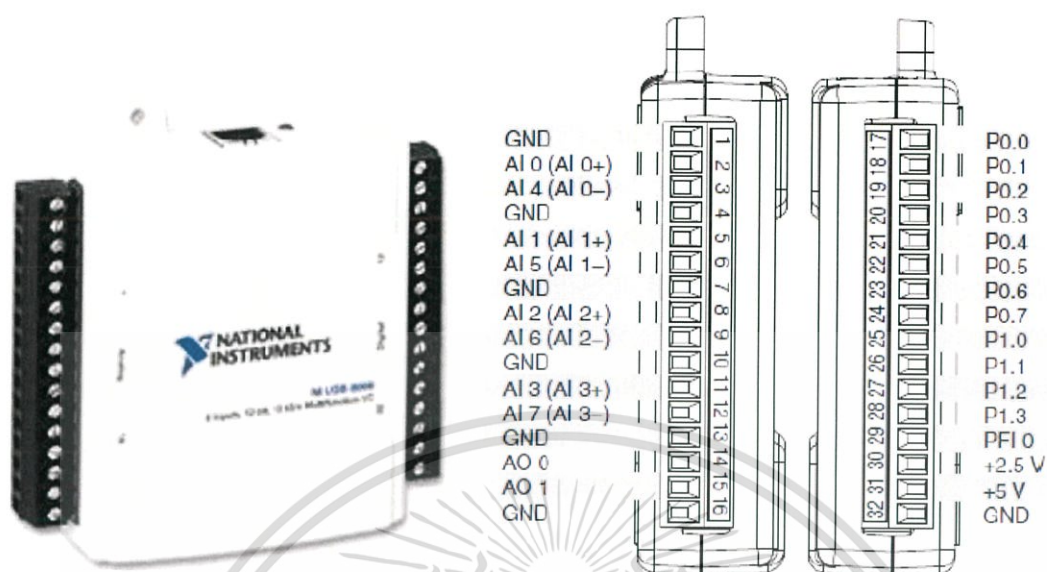


ข้อมูลจำเพาะเครื่องยนต์

รุ่น	หน่วย	TF80DI-L	TF80DI-H	TF90DI-L	TF90DI-H	TF110DI-L	TF110DI-Y	TF110DI-H	TF120DI-L	TF120DI-Y	TF120DI-H
แบบ		เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ (แบบอื่น ระบายความร้อนด้วยน้ำ)									
ระบบห้องเผาไหม้		ไดเร็กอินเจกชัน									
จำนวนสูบ		1									
ความไต่ระบอบสูบ x ช่วงชัก	มม.	80 x 87	80 x 87	85 x 87	85 x 87	88 x 96	88 x 96	88 x 96	92 x 96	92 x 96	92 x 96
ปริมาตรระบอบสูบ	ลิตร	0.437	0.437	0.493	0.493	0.583	0.583	0.583	0.638	0.638	0.638
กำลังม้าต่อเนื่อง	แรงม้า / รอบต่อนาที	7.0 / 2400	7.0 / 2400	8.0 / 2400	8.0 / 2400	9.8 / 2400	9.8 / 2400	9.8 / 2400	10.5 / 2400	10.5 / 2400	10.5 / 2400
	กิโลวัตต์ / รอบต่อนาที	5.1 / 2400	5.1 / 2400	5.9 / 2400	5.9 / 2400	7.2 / 2400	7.2 / 2400	7.2 / 2400	7.7 / 2400	7.7 / 2400	7.7 / 2400
กำลังม้าสูงสุด	แรงม้า / รอบต่อนาที	8.0 / 2400	8.0 / 2400	9.0 / 2400	9.0 / 2400	11.0 / 2400	11.0 / 2400	11.0 / 2400	12.0 / 2400	12.0 / 2400	12.0 / 2400
	กิโลวัตต์ / รอบต่อนาที	5.9 / 2400	5.9 / 2400	6.6 / 2400	6.6 / 2400	8.1 / 2400	8.1 / 2400	8.1 / 2400	8.8 / 2400	8.8 / 2400	8.8 / 2400
ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	กรัม / แรงม้า-ชม.	177									
อัตราส่วนกำลังอัด		16.8 : 1	16.8 : 1	16.6 : 1	16.6 : 1	16.3 : 1	16.3 : 1	16.3 : 1	16.1 : 1	16.1 : 1	16.1 : 1
ตำแหน่งส่งกำลัง		ชุดเกียร์ข้าง									
ทิศทางการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง		ทวนเข็มนาฬิกา ด้านล้อช่วยแรง									
น้ำมันเชื้อเพลิง		ดีเซลหมุนเร็ว									
บีมน้ำมันเชื้อเพลิง		บีมน็อยซ์									
จังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	องศา	20 องศาก่อนจุดศูนย์ตายบน								19 องศาก่อนจุดศูนย์ตายบน	
แรงดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	กก. / ตร.ซม.									200	
ความจุถังน้ำมันเชื้อเพลิง	ลิตร	10.6								11.0	
ระบบหล่อลื่น		ใช้แรงดันบีบเข้าระบบหล่อลื่นด้วยปั๊มโรตารี่ มีชุดควบคุมแรงดัน									
ชนิดของน้ำมันหล่อลื่น		SAE เบอร์ 40 มาตรฐาน API CD / SF									
ความจุของอ่างน้ำมันหล่อลื่น	ลิตร	2.2								2.8	
ระบบระบายความร้อน		หม้อน้ำรังผึ้ง	หม้อต้ม	หม้อน้ำรังผึ้ง	หม้อต้ม	หม้อน้ำรังผึ้ง	หม้อน้ำรังผึ้ง	หม้อต้ม	หม้อน้ำรังผึ้ง	หม้อน้ำรังผึ้ง	หม้อต้ม
ความจุน้ำระบายความร้อน	ลิตร	1.6	9.4	1.6	9.4	2.1	2.1	11.8	2.1	2.1	11.8
การติดเครื่องยนต์		ใช้เพียงทศ มีอหนุน									
ขนาดเครื่องยนต์	ความยาว	มม. 676.5								มม. 704.0	
	ความกว้าง	มม. 339.5								มม. 355.5	
	ความสูง	มม. 524.0								มม. 549.0	
น้ำหนักตัวเปล่าของเครื่องยนต์	กก.	87.5	84.0	88.5	85.0	104.5	104.5	101.5	105.5	105.5	102.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

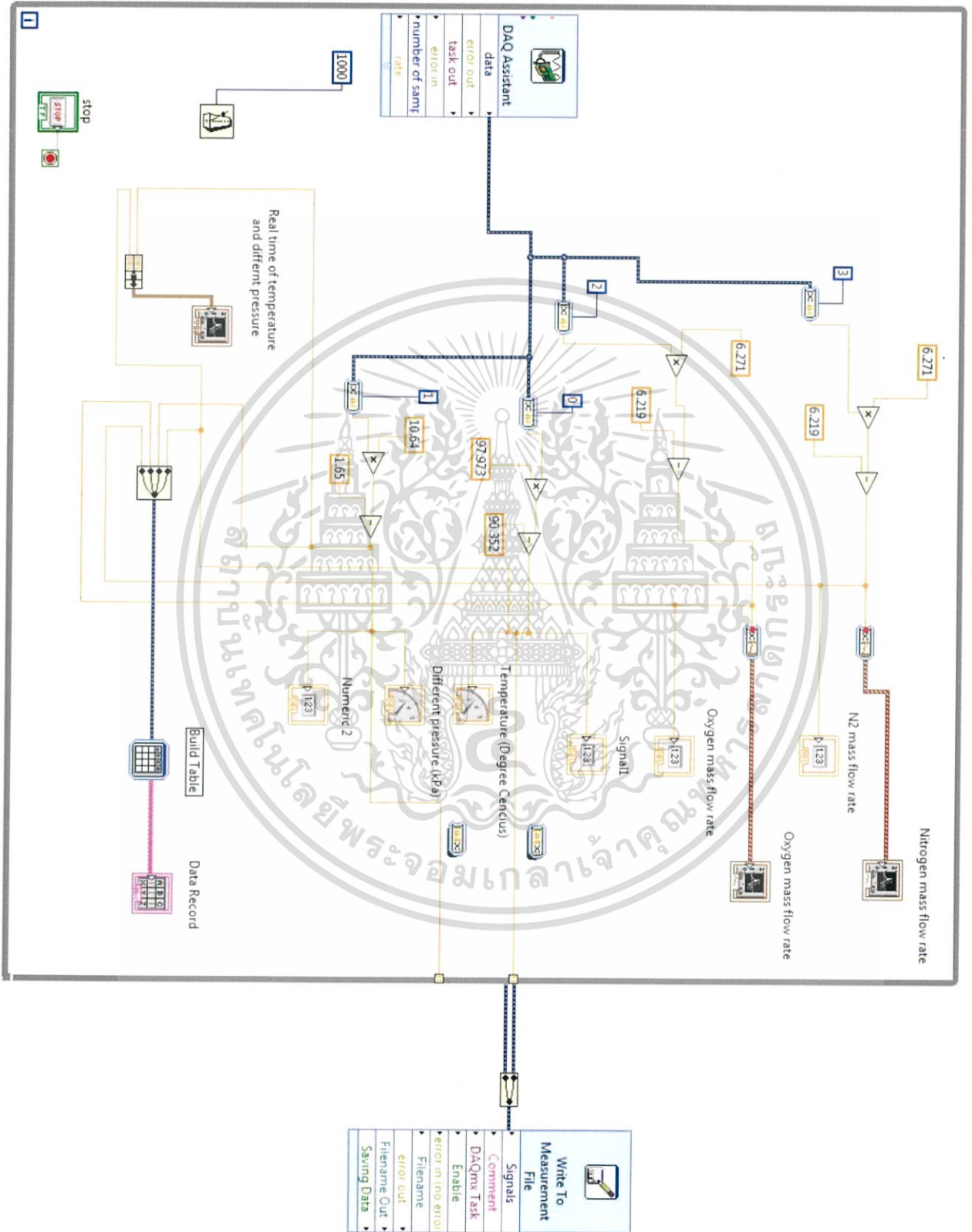
n-2: Data Acquisition



Signal Name	Reference	Direction	Description
GND			Ground —The reference point for the single-ended analog input measurements, analog output voltages, digital signals, +5 VDC supply, and +2.5 VDC at the I/O connector, and the bias current return point for differential mode measurements.
AI <0..7>	Varies	Input	Analog Input Channels 0 to 7 —For single-ended measurements, each signal is an analog input voltage channel. For differential measurements, AI 0 and AI 4 are the positive and negative inputs of differential analog input channel 0. The following signal pairs also form differential input channels: AI<1, 5>, AI<2, 6>, and AI<3, 7>. Refer to the <i>Analog Input</i> section for more information.
AO <0, 1>	GND	Output	Analog Output Channels 0 and 1 —Supplies the voltage output of AO channel 0 or AO channel 1. Refer to the <i>Analog Output</i> section for more information.
P0 <0..7>	GND	Input or Output	Port 0 Digital I/O Channels 0 to 7 —You can individually configure each signal as an input or output. Refer to the <i>Digital I/O</i> section for more information.
P1.<0..3>	GND	Input or Output	Port 1 Digital I/O Channels 0 to 3 —You can individually configure each signal as an input or output. Refer to the <i>Digital I/O</i> section for more information.
PFI 0	GND	Input	PFI 0 —This pin is configurable as either a digital trigger or an event counter input. Refer to the <i>PFI 0</i> section for more information.
+2.5 V	GND	Output	+2.5 V External Reference —Provides a reference for wrap-back testing. Refer to the <i>+2.5 V External Reference</i> section for more information.
+5 V	GND	Output	+5 V Power Source —Provides +5 V power up to 200 mA. Refer to the <i>+5 V Power Source</i> section for more information.

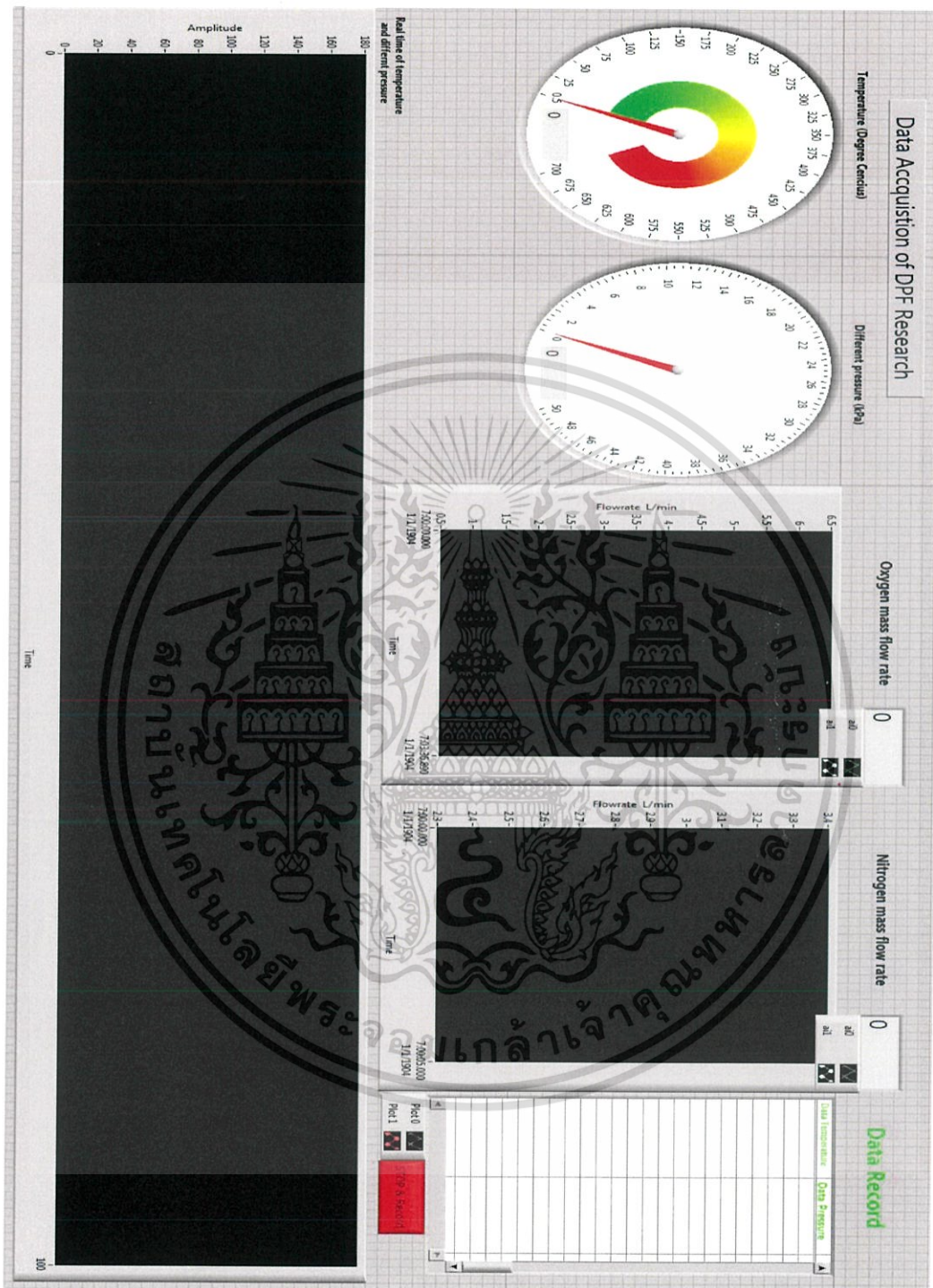
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-3: โปรแกรม Labview



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-4: Pressure sensor screen



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

n-5: Pressure sensor

Pressure

Operating Characteristics

Table 1. Operating Characteristics ($V_S = 5.0$ Vdc, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted, $P_1 > P_2$ Decoupling circuit shown in Figure 4 required to meet electrical specifications.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range ⁽¹⁾	P_{OP}	0	—	50	kPa
Supply Voltage ⁽²⁾	V_S	4.75	5.0	5.25	Vdc
Supply Current	I_o	—	7.0	10	mAdc
Minimum Pressure Offset ⁽³⁾ @ $V_S = 5.0$ Volts	V_{off}	0.088	0.2	0.313	Vdc
Full Scale Output ⁽⁴⁾ @ $V_S = 5.0$ Volts	V_{FSO}	4.587	4.7	4.813	Vdc
Full Scale Span ⁽⁵⁾ @ $V_S = 5.0$ Volts	V_{FSS}	—	4.5	—	Vdc
Accuracy ⁽⁶⁾	—	—	—	± 2.5	% V_{FSS}
Sensitivity	V/P	—	90	—	mV/kPa
Response Time ⁽⁷⁾	t_R	—	1.0	—	ms
Output Source Current at Full Scale Output	I_{o_s}	—	0.1	—	mAdc
Warm-Up Time ⁽⁸⁾	—	—	20	—	ms
Offset Stability ⁽⁹⁾	—	—	± 0.5	—	% V_{FSS}

1. 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi

2. Device is ratiometric within this specified excitation range

3. Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure

4. Full Scale Output (V_{FSO}) is defined as the output voltage at the maximum or full rated pressure

5. Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure

6. Accuracy (error budget) consists of the following

Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure over the specified pressure range

Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied

Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure at 25°C

TcSpan: Output deviation over the temperature range of 0° to 85°C , relative to 25°C

TcOffset: Output deviation with minimum pressure applied, over the temperature range of 0° to 85°C , relative to 25°C

Variation from Nominal: The variation from nominal values, for Offset or Full Scale Span, as a percent of V_{FSS} at 25°C

7. Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure

8. Warm-up Time is defined as the time required for the product to meet the specified output voltage after the Pressure has been stabilized

9. Offset Stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-6: Flow switch รุ่น PFM725S-N01-E

		PFM710	PFM725	PFM750	PFM711
Applicable fluid		Dry air, N ₂ , Ar, CO ₂ (Air quality grade is JIS B8392.1-1, 1.2 to 1.6.2 and ISO8573.1-1, 1.2)			
Rated flow range (Flow rate range)	Dry air, N ₂ ,	0.2 to 10 //min	0.5 to 25 //min	1 to 50 //min	2 to 100 //min
	CO ₂	0.2 to 5 //min	0.5 to 12.5 //min	1 to 25 //min	2 to 50 //min
Displayable range Note 1)	Dry air, N ₂ ,	0.2 to 10.5 //min	0.5 to 26.3 //min	1 to 52.5 //min	2 to 105 //min
	CO ₂	0.2 to 5.2 //min	0.5 to 13.1 //min	1 to 26.2 //min	2 to 52 //min
Settable range Note 1)	Dry air, N ₂ ,	0 to 10.5 //min	0 to 26.3 //min	0 to 52.5 //min	0 to 105 //min
	CO ₂	0 to 5.2 //min	0 to 13.1 //min	0 to 26.2 //min	0 to 52 //min
Minimum unit setting Note 2)		0.01 //min	0.1 //min	0.1 //min	0.1 //min
Accumulated pulse flow rate exchange		0.1 //pulse	0.1 //pulse	0.1 //pulse	1
Indication unit Note 3)		Real-time flow rate //min, CFM x 10 ⁻² Accumulated			
Linearity		Display accuracy: ±3%F.S. or less (Fluid: Dry air) Analog output accuracy: ±5%F.S. or			
Repeatability		±1%F.S. or less (Fluid: Dry air) Analog output accuracy:			
Pressure characteristics		±5%F.S. or less (based on 0.35 MPa)			
Temperature characteristics		±2%F.S. (15 to 35°C) ±5%F.S. (0 to 50°C)			
Operating pressure range		-100 kPa to 750 kPa			
Rated pressure range		-70 kPa to 750 kPa			
Proof pressure		1 MPa			
Accumulated flow range		Max. 999999 / Note 4)			
Switch output		NPN or PNP open collector output			
Maximum load current		80 mA			
Maximum applied		28 VDC (at NPN output)			
Internal voltage drop		NPN output: 1 V or less (at 80 mA) PNP output: 1.5 V or less (at 80 mA)			
Response time		1 s (50 ms, 0.5 s, 2 s can be selected.)			
Output protection		Short-circuit protection, Overcurrent			
Accumulated pulse output		NPN or PNP open collector output (Same as switch output)			
Analog output Note 5)	Response	1.5 s or less (90%)			
	Voltage output	Voltage output: 1 to 5 V Output			
	Current output	Current output: 4 to 20 mA Max. load impedance: 600 Ω, Min. load impedance: 50 Ω			
Hysteresis Note 6)	Hysteresis mode	Variable			
	Window comparator	Variable			
External input		No-voltage input (Reed or Solid state) Input 30 ms or more			
Display method		3-digit, 7-segment LED 2-color display (Red/Green) Renewed cycle: 10 times/sec			
Status LED's		OUT1: Illuminates when output is turned ON (Green). OUT2: Illuminates when output is turned ON			
Power supply voltage		24 VDC ± 10%			
Current consumption		55 mA or less			
Environmental resistance	Enclosure	IP40			
	Operating fluid	0 to 50°C (with no freezing and condensation)			
	Operating temperature	Operating: 0 to 50°C Stored: -10 to 60°C (with no freezing and condensation)			
	Operating humidity	Operating, Stored: 35 to 85%R.H. (with no			
	Withstand voltage	1000 VAC for 1 min. between external terminal and			
	Insulation resistance	50 MΩ or more (500 VDC Mega) between external terminal and case			
	Vibration resistance	Without orifice: 10 to 500 Hz with a 1.5 mm amplitude or 98 m/s ² acceleration, in each X, Y, Z direction for 2 hrs, whichever is smaller. With orifice: 10 to 150 Hz with a 1.5 mm amplitude or 19.6 m/s ² acceleration, in each X, Y, Z direction for 2 hrs,			
Impact resistance	490 m/s ² in X, Y, Z directions 3 times each				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-7: Vacuum Pump ยี่ห้อ Cliq DV-30

Max air flow ¹	~18 l/min
Max vacuum pressure	~620 mmHg
Pressure display	analog gauge
Weight	3.5 kg / 7.7 lbs
Dimensions	30 cm x 16.5 cm x 19 cm
Electrical requirements	110-120V 60Hz or 220-240V 50Hz
Accessories	800 ml collection canister ² microbial filter intermediate tubing suction tubing
Approvals	CE and US FDA 510(k)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-1: น้ำมันดีเซล

รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน
เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล
พ.ศ. ๒๕๕๖

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	น้ำมันดีเซล		วิธีทดสอบ ^๗
			หมุนเร็ว	หมุนช้า	
๑	ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ ๑๕.๖/๑๕.๖ องศาเซลเซียส (Specific Gravity at ๑๕.๖/๑๕.๖ °C)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	๐.๘๑ ๐.๘๗	- ๐.๗๒๐	ASTM D ๑๒๙๘
๒	จำนวนซีเทน (Cetane Number) หรือ ดัชนีซีเทน (Calculated Cetane Index)	ไม่ต่ำกว่า	๕๐	๔๕	ASTM D ๖๑๓
๓	ความหนืด (Viscosity, ๓.๑ ณ อุณหภูมิ ๔๐ องศาเซลเซียส (at ๔๐ °C) หรือ ๓.๒ ณ อุณหภูมิ ๕๐ องศาเซลเซียส (at ๕๐ °C)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	๓.๘ ๔.๑	- ๘.๐	ASTM D ๔๔๕
๔	จุดไหลเท (Pour Point, องศาเซลเซียส °C)	ไม่สูงกว่า	๑๐	๑๖	ASTM D ๙๗
๕	กำมะถัน (Sulphur, ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๐๐๕	๑.๕	ASTM D ๒๖๒๒
๖	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)	ไม่สูงกว่า	หมายเลข ๑	-	ASTM D ๑๓๐
๗	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Stability, g/m ³)	ไม่สูงกว่า	๒๕	-	ASTM D ๒๒๗๔
๘	กากถ่าน (Carbon Residue, ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๐๕	-	ASTM D ๑๘๘
๙	น้ำและตะกอน (Water and Sediment, %vol.)	ไม่สูงกว่า	๐.๐๕	๐.๓	ASTM D ๒๗๐๔
๑๐	เถ้า (Ash, %wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๐๑	๐.๐๒	ASTM D ๔๘๒
๑๑	จุดวาบไฟ (Flash Point, องศาเซลเซียส °C)	ไม่ต่ำกว่า	๕๒	๕๒	ASTM D ๙๓

(ต่อ -๒-)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	น้ำมันดีเซล		วิธีทดสอบ ^๑
			หมุนเร็ว	หมุนช้า	
๑๒	การกลั่น (Distillation, อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละเก้าสิบ (๙๐% recovered) องศาเซลเซียส (°C)	ไม่สูงกว่า	๓๕๗	-	ASTM D ๘๖
๑๓	โพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, ร้อยละโดยน้ำหนัก (% wt.)	ไม่สูงกว่า	๑๑	-	ASTM D ๒๕๒๕
๑๔	สี (Colour)				
๑๔.๑	ชนิดของสี (Hue)		เหลือง	น้ำตาล	
๑๔.๒	ความเข้มของสี (Intensity)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	-	๕.๕	ASTM D ๑๕๐๐
๑๕	ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ ของกรดไขมัน (Methyl Ester of Fatty Acids, ร้อยละโดยปริมาตร (%vol.)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	๕.๐	๗.๕	EN ๑๕๐๗๘
๑๖	คุณสมบัติการหล่อลื่น รอยขีดข่วน (Lubricity , Wear Scar ไมโครเมตร (µm)	ไม่สูงกว่า	๕	-	CEC F - ๐๖ - ๙๖
๑๗	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additives)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน			

หมายเหตุ ๑/ วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้ายนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-2: น้ำมันไบโอดีเซล

เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน

พ.ศ. ๒๕๕๒

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ ¹¹
1	เมทิลเอสเตอร์ (Methyl Ester, ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่ต่ำกว่า 96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °ซ (Density at 15 °C, กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร kg/m ³)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า 860 900	ASTM D 1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °ซ (Viscosity at 40 °C, เซนติสโตกส์ cSt)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า 3.5 5.0	ASTM D 445
4	จุดวาบไฟ (Flash Point, องศาเซลเซียส °C)	ไม่ต่ำกว่า 120	ASTM D 93
5	กำมะถัน (Sulphur, ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTM D 2622
6	กากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) (Carbon Residue , on 10 % distillation residue, %wt)	ไม่สูงกว่า 0.30	ASTM D 4530
7	จำนวนซีเทน (Cetane Number)	ไม่ต่ำกว่า 51	ASTM D 613
8	เถ้าซัลเฟต (Sulphated Ash, ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า 0.02	ASTM D 874
9	น้ำ (Water, ร้อยละโดยน้ำหนัก wt.)	ไม่สูงกว่า 0.050	EN ISO 12937
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (Total Contaminate, ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า 0.0024	EN 12662
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)	ไม่สูงกว่า หมายเลข 1	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (Oxidation Stability at 110 °C, ชั่วโมง hours)	ไม่ต่ำกว่า 10	EN 14112

(ต่อ-2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการ	ข้อกำหนด	ขีดจำกัด	อัตราสูงสุด	วิธีทดสอบ ^{1/}	
13	ค่าความเป็นกรด (Acid Value ,	มิลลิกรัมไปดัสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม <i>mg KOH/g</i>)	ไม่สูงกว่า	0.50	ASTM D 664
14	ค่าไอโอดีน (Iodine Value ,	กรัมไอโอดีน/ 100 กรัม <i>g Iodine / 100 g</i>)	ไม่สูงกว่า	120	EN 14111
15	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ (Linolenic Acid Methyl Ester ,	ร้อยละโดยน้ำหนัก <i>%wt.</i>)	ไม่สูงกว่า	12.0	EN 14103
16	เมทานอล (Methanol,	ร้อยละโดยน้ำหนัก <i>%wt.</i>)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14110
17	โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride	ร้อยละโดยน้ำหนัก <i>%wt.</i>)	ไม่สูงกว่า	0.80	EN 14105
18	ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride ,	ร้อยละโดยน้ำหนัก <i>%wt.</i>)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
19	ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride ,	ร้อยละโดยน้ำหนัก <i>%wt.</i>)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
20	กลีเซอรินอิสระ (Free glycerin ,	ร้อยละโดยน้ำหนัก <i>%wt.</i>)	ไม่สูงกว่า	0.02	EN 14105
21	กลีเซอรินทั้งหมด (Total glycerin,	ร้อยละโดยน้ำหนัก <i>%wt.</i>)	ไม่สูงกว่า	0.25	EN 14105
22	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโปแตสเซียม) (Group I metals (Na+K),	มิลลิกรัม/กิโลกรัม <i>mg/kg</i>)	ไม่สูงกว่า	5.0	EN 14108 และ EN 14109
	โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม) (Group II metals (Ca+Mg),	มิลลิกรัม/กิโลกรัม <i>mg/kg</i>)	ไม่สูงกว่า	5.0	pr EN 14538
23	ฟอสฟอรัส (Phosphorus,	ร้อยละโดยน้ำหนัก <i>%wt.</i>)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 4951
24	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)		ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดี กรมธุรกิจพลังงาน		

หมายเหตุ 1/ วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้ายนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-1: มาตรฐานรถยนต์ขนาดเล็กที่ใช้เครื่องยนต์แบบจุดระเบิดด้วยการอัดในประเทศไทย

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ ๔๓๕๔ (พ.ศ. ๒๕๕๔)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. ๒๕๑๑

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

รถยนต์ขนาดเล็กที่ใช้เครื่องยนต์แบบจุดระเบิดด้วยการอัด เฉพาะด้านความปลอดภัย
สารมลพิษจากเครื่องยนต์ ระดับที่ 7

หน่วยเป็น g/km

ประเภทรถยนต์	มวลอ้างอิง (kg)	คาร์บอน มอนอกไซด์	ออกไซด์ ของไนโตรเจน	ไฮโดรคาร์บอนรวม กับออกไซด์ ของไนโตรเจน	สารมลพิษ อนุภาค
รถยนต์นั่ง มวลเต็มอัตราบรรทุกไม่เกิน 2 500 kg		0.50	0.25	0.30	0.025
รถยนต์นั่งมวลเต็มอัตราบรรทุกเกิน 2 500 kg หรือรถยนต์บรรทุกและรถยนต์นั่งที่คิดแปลงมา จากรถยนต์บรรทุกที่มีมวลเต็มอัตราบรรทุกไม่ เกิน 3 500 kg	ไม่เกิน 1 305	0.50	0.25	0.30	0.025
	เกิน 1 305 แต่ไม่เกิน 1 760	0.63	0.33	0.39	0.04
	เกิน 1 760	0.74	0.39	0.46	0.06

ค-2: มาตรฐานรถยนต์ขนาดเล็กที่ใช้เครื่องยนต์แบบจุดระเบิดด้วยการอัดในยุโรป

มาตรฐาน	เริ่มบังคับใช้ (ค.ศ.)	ปริมาณไอเสียตามชนิดเครื่องยนต์									
		CO		HC		NO _x		HC+NO _x		PM	
		เบนซิน	ดีเซล	เบนซิน	ดีเซล	เบนซิน	ดีเซล	เบนซิน	ดีเซล	เบนซิน	ดีเซล
Euro 1	1992	2.72	2.72	-	-	-	-	0.97	0.97	-	0.14
Euro 2	1996	2.2	1.0	-	-	-	-	0.5	0.7	-	0.08
Euro 3	2000	2.3	0.64	0.2	-	0.15	0.5	-	0.56	-	0.05
Euro 4	2005	1.0	0.5	0.1	-	0.08	0.25	-	0.3	-	0.025
Euro 5 (ขนาดค)	2009	1.0	0.5	0.1	-	0.06	0.18	-	0.23	0.005**	0.005
Euro 6 (ขนาดค)	2014	1.0	0.5	0.1	-	0.06	0.08	-	0.17	0.005**	0.005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้