

การศึกษาเชิงเปรียบเทียบคุณสมบัติของเขม่าจากการเผาด้วยเปลวไฟแบบ  
แพร่ระหว่างเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

COMPARATIVE STUDY OF PARTICULATE MATTER CHARACTERIZATION  
UNDER DIFFUSION FLAME BETWEEN DIESEL AND BIODIESEL FUELS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-EN-M-030-053

การศึกษาเชิงเปรียบเทียบคุณสมบัติของเขม่าจากการเผาด้วยเปลวไฟแบบ  
แพร่ระหว่างเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล  
COMPARATIVE STUDY OF PARTICULATE MATTER CHARACTERIZATION  
UNDER DIFFUSION FLAME BETWEEN DIESEL AND BIODIESEL FUELS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ KMITL-2013-EN-M-030-053 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARATIVE STUDY OF PARTICULATE MATTER CHARACTERIZATION  
UNDER DIFFUSION FLAME BETWEEN DIESEL AND BIODIESEL FUELS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2013

KMITL-2013-EN-M-030-053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2013**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเชิงเปรียบเทียบคุณลักษณะของเขม่าจากการเผาด้วยเปลวไฟแบบแพร่ระหว่างเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

Thesis Title Comparative Study of Particulate Matter Characterization Under Diffusion Flame between Diesel and Biodiesel Fuels

นักศึกษา ว่าที่ร้อยตรี ทรงธรรม เหล่าสุวรรณ

รหัสประจำตัว 52610532

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม) ดร.ปรีชา การินทร์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2013-EN-M-030-053

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จรรูวัตร	เจริญสุข	
ดร.เอกพจน์	ตันตราภิวัดน์	
รศ.ดร.คณิต	วัฒนวิเชียร	
ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์	พิมสาร	
ผศ.ดร.จินดา	เจริญพรพาณิชย์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2556 เวลา 10.00-12.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาวันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2556 ยินดีด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาเชิงเปรียบเทียบคุณลักษณะของเขม่าจากการเผาด้วยเปลวไฟแบบแพร่ระหว่างเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

นักศึกษา

ว่าที่ร้อยตรี ทรงธรรม เหล่าสุวรรณ

รหัสนักศึกษา

52610532

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

พ.ศ.

2556

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร.ปรีชา การินทร์

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการลดสารละอองธูรีโดยใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลซึ่งมีออกซิเจนในตัวเอง งานวิจัยนี้แบ่งเป็นสามส่วน ส่วนแรก ศึกษาคุณสมบัติทางกายของสารละอองธูรีเช่น ขนาดของสารละอองธูรีแบบเดี่ยวและสารละอองธูรีแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบผ่านกราดและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ซึ่งจากผลการทดลองหาขนาดของสารละอองธูรีของดีเซลและไบโอดีเซลมีค่าเฉลี่ยประมาณ 240-280 nm และ 200-240 nm ตามลำดับ ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซลแบบเดี่ยวมีค่าเฉลี่ยประมาณ 50-60 nm และ 30-40 nm ตามลำดับ ส่วนที่สองศึกษาจลนพลศาสตร์การเผาไหม้ของสารละอองธูรีดีเซลและไบโอดีเซลโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีซึ่งน้ำหนักเชิงความร้อน และส่วนที่สามศึกษากระบวนการตกและกระบวนการเผาไหม้สารละอองธูรีบนตัวกรองละอองธูรีดีเซล ระหว่างที่ทำการตกสารละอองธูรีไบโอดีเซลซึ่งความดันตกคร่อมระหว่างทางเข้าและทางออกของตัวกรองละอองธูรีดีเซลซึ่งใช้เวลาในการตกยาวกว่าสารละอองธูรีดีเซลประมาณสองเท่า สำหรับกระบวนการรีเจนเนอเรชั่นของตัวกรองละอองธูรีดีเซลของการเผาไหม้สารละอองธูรีไบโอดีเซลใช้เวลาในการเผาไหม้เร็วกว่าสารละอองธูรีดีเซลสองเท่า จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการออกแบบและสร้างตัวกรองละอองธูรีดีเซลสำหรับยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลซึ่งควรที่จะพัฒนาตัวกรองละอองธูรีดีเซลเพื่อให้ผ่านมาตรฐานการควบคุมมลพิษจากไอเสียของประเทศไทย ซึ่งจะบังคับใช้ในอนาคตอันใกล้

<b>Thesis Title</b>	COMPARATIVE STUDY OF PARTICULATE MATTERS CHARACTERIZATION UNDER DIFFUSION FLAME BETWEEN DIESEL AND BIODIESEL FUELS
<b>Student</b>	Acting Second Lieutenant. Songtam Laosuwan
<b>Student ID.</b>	52610532
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Mechanical Engineering
<b>Year</b>	2013
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr.Chinda Chareonphonphanich
<b>Thesis Co-Advisor</b>	Dr. Preechar Karin

### ABSTRACT

This research project studies the reduction of Particulate Matter (PM) by using bio-oxygenated fuel. The present paper consists of three main parts. The first part studies on the physical properties of diesel and biodiesel PM such as primary size distribution and agglomerated size distribution by using scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM). The average agglomerated sizes of diesel and biodiesel PM are approximately 240-280 nm and 200-240 nm, respectively. The average primary sizes of diesel and biodiesel PM are approximately 50-60 nm and 30-40 nm, respectively. The second part studies particulate matter oxidation kinetics by using Thermo-gravimetric analysis (TGA). The third part studies on diesel and biodiesel PM trapping and oxidation process inside Diesel Particulate Filter (DPF). During trapping process of biodiesel combustion, pressure drop between inlet and outlet of DPF wall was approximately two times higher than that of diesel. For DPF regeneration process, pressure drop of DPF wall during biodiesel PM oxidation (regeneration process) was approximately two times faster than that of diesel. The results show the useful information for future designing of the DPF configuration for diesel and biodiesel vehicles which should be improved to match with the higher level of Thailand emission regulation in the near future.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.จินดา เจริญพร พานิชย์ และ ดร.ปรีชา การินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะในการแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้ และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ในแผนเพิ่ม ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ระดับอุดมศึกษา สำนักนโยบายและแผนพลังงาน (EPPO) กระทรวง พลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2554

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า คุนทหารลาดกระบัง ระดับปริญญาโท ประจำปีงบประมาณ 2555

ขอขอบคุณทาง Prof.Dr.Hanamura Katsunori, Tokyo Institute of Technology ที่ได้ ให้คำแนะนำในการวิจัยและ Isuzu Motors Limited (Japan) ที่ได้ให้การสนับสนุน ตัวกรองละออง ธุลีดีเซล (Diesel Particulate Filter : DPF)

ขอขอบคุณ ดร.นงศ์ ชลคุป ดร.มานิตา ทองรุ่ง และ คุณธีรพงษ์ บ่ายเที่ยง ตลอดจน เจ้าหน้าที่ ห้องปฏิบัติการวิจัยเชื้อเพลิงชีวภาพ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ได้ให้การ สนับสนุนเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและคำแนะนำต่างๆในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท ไทยโตไคคาร์บอนโปรดักท์ ที่ได้ให้การสนับสนุนตัวอย่างผงคาร์บอน แบล็ค N 330 และผงคาร์บอนแบล็ค N 550 ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ในชมรมยานยนต์ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์และสถานที่ ทดสอบโดยเฉพาะ คุณวิทวัส อิมเอิบ คุณประทาน ศรีชัย คุณปิยบุตร อ่อนมัน คุณพิศาล มูลคำคา คุณนเร็นศ ชัยธานี คุณวรโรจน์ วุ่นแป้น คุณยุทธนา ส่องแสงจันทร์ คุณพัฒน์นิต น้อมธงไทย นาย ปริญญา กันภัย คุณวาทัญญู ไพโรจน์ เรือเอกปิจิราวุธ เวียงจินดา คุณโอฬาร คุณสมบัติกุล คุณกาหลง บัวนาค คุณสุพจน์ เสนาพันธ์ศิริ คุณอริวัฒน์ บุตรमारศรี คุณกิตติพงษ์ สร้อยทอง คุณกิติคุณ อ่ำพันธ์ุ คุณธนันท์ แสงกระจ่าง คุณกฤษดา ศิริมงคล คุณกานตน์ท์ ลู่ทางเจริญ คุณเกรียงไกร ช่างเหล็ก คุณการันต์ กาฬภักดี คุณกิตติศักดิ์ หนูนโธสง คุณธนภัทร อารยะวงศ์ และน้องๆทุกคนในชมรมยาน ยนต์ที่ไม่ได้กล่าวถึง ใน ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ คุณกนกวรรณ ธรรมกิจ ที่เป็นผู้อยู่เบื้องหลังและเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัย จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้และ ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ว่าที่ร้อยตรีทรงธรรม เหล่าสุวรรณ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	4
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานในงานวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.2 เชื้อเพลิงไบโอดีเซล.....	17
2.3 การเผาไหม้สารละอองธัญ.....	18
2.4 การลดปริมาณสารละอองธัญ.....	20
2.5 ตัวกรองละอองธัญดีเซลในไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล.....	21
2.5.1 ข้อดีและข้อเสียของตัวกรองละอองธัญดีเซล.....	22
2.5.2 ตัวกรองละอองธัญดีเซลไหลผ่านทุกส่วนชนิดรังผึ้ง.....	22
2.5.3 ตัวกรองละอองธัญดีเซลไหลผ่านทุกส่วนชนิดโฟมเซรามิค.....	23
2.5.4 ตัวกรองละอองธัญดีเซลแบบไหลผ่านบางส่วนชนิดแผ่นใยเซรามิค.....	23
2.6 หลักการพื้นฐานของการดักกรองสารละอองธัญ.....	24
2.6.1 กลไกการเคลื่อนตัวของสารละอองธัญ.....	24
2.6.2 การกรองสารละอองธัญของก๊าซไอเสียขั้นพื้นฐาน.....	25
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการดักกรองสารละอองธัญ.....	26
2.8 ความดันตกคร่อม.....	26
2.9 ทฤษฎีหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	27
2.9.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ.....	28
2.9.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.....	29
2.10 เครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีซึ่งน้ำหนักเชิงความร้อน.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11 การตรวจสอบชนิดและปริมาณธาตุด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานรังสีเอกซ์.....	32
2.12 เครื่องวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน .....	32
2.13 การศึกษาองค์ประกอบของสารประกอบโดยใช้วิธีการกลั่นตัวของเชื้อเพลิง.....	34
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการในการวิจัย .....</b>	<b>35</b>
3.1 แนวคิดในการวิจัย .....	35
3.2 ตัวอย่างของเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ใช้ทดลอง.....	35
3.2.1 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิง .....	35
3.3 วิธีการศึกษาปริมาณสารละลายของธูลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล .....	37
3.3.1 การเตรียมอุปกรณ์ในการถ่ายภาพด้วยวิธีซูรีเรน .....	37
3.4 วิธีการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของสารละลายของธูลีของเปลวไฟแบบแพร่ .....	40
3.4.1 วิธีการเก็บตัวอย่างและวิธีการวัดขนาดสารละลายของธูลีอนุภาคแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่.....	40
3.4.2 วิธีการเก็บตัวอย่างและวิธีการวัดขนาดสารละลายของธูลีอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่อนุภาค.....	44
3.5 วิธีการศึกษาจลนพลศาสตร์ทางเคมีของการเผาไหม้สารละลายของธูลีของเปลวไฟแบบแพร่ ...	46
3.5.1 วิธีการวิเคราะห์สารละลายของธูลีโดยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน .....	47
3.5.2 วิธีการทดลองของเครื่องมือวิเคราะห์โดยใช้วิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน .....	47
3.6 วิธีการศึกษาคุณลักษณะของตัวกรองละลายของธูลีดีเซล.....	48
3.6.1 วิธีการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวกรองละลายของธูลีดีเซล .....	48
3.6.2 วิธีการวัดค่าความพรุนของตัวกรองละลายของธูลีดีเซลด้วยวิธีแทนที่น้ำ.....	50
3.7 วิธีการศึกษากระบวนการดักสารละลายของธูลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลบนตัวกรองละลายของธูลีดีเซลแบบไหลผ่านทุกส่วน.....	51
3.7.1 ระบบให้ความร้อนแก่ท่อ .....	52
3.7.2 ระบบการควบคุมความเร็วที่ไหลผ่านตัวกรองละลายของธูลีดีเซล .....	54
3.7.3 ระบบการควบคุมวัดความดันตกคร่อมและอุณหภูมิของตัวกรองละลายของธูลีดีเซล.....	57
3.7.4 วิธีการทดลอง.....	64
3.7.5 แบบจำลองความดันตกคร่อมที่เกิดในตัวกรองละลายของธูลีดีเซล .....	64

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.8 วิธีการศึกษากระบวนการรีเจนเนอเรชันของตัวกรองละอองธูดีซีเซล .....	65
3.8.1 วิธีการศึกษาหาจลนพลศาสตร์เคมีของการเผาไหม้ของสารละอองธูดีโดยตัวกรอง สารละอองธูดีซีเซล ที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี .....	65
3.8.2 วิธีการศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการรีเจนเนอเรชันของตัวกรอง สารละอองธูดีซีเซล .....	66
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง .....	69
4.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล .....	69
4.1.1 คุณลักษณะการกลั่นตัวของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล .....	69
4.2 ปริมาณของสารละอองธูดีจากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล .....	69
4.3 คุณสมบัติทางกายภาพของสารละอองธูดีจากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซล และไบโอดีเซล .....	69
4.3.1 ขนาดของสารละอองธูดีแบบเดี่ยวจากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซล และไบโอดีเซล .....	71
4.3.2 ขนาดของสารละอองธูดีแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเชื้อเพลิงดีเซลและ ไบโอดีเซล .....	77
4.4 จลนพลศาสตร์ทางเคมีของการเผาไหม้สารละอองธูดีเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิง ดีเซลและไบโอดีเซล .....	80
4.4.1 การวิเคราะห์หาพลังงานกระตุ้นในการสลายสารละอองธูดีโดยเครื่องมือวิเคราะห์ โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อนจะทำการทดลองด้วยวิธีอุณหภูมิคงที่ .....	80
4.4.2 การวิเคราะห์หาพลังงานกระตุ้นในการสลายสารละอองธูดีโดยเครื่องมือวิเคราะห์ โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อนจะทำการทดลองด้วยวิธีอุณหภูมิคงที่ .....	85
4.5 คุณลักษณะของตัวกรองละอองธูดีซีเซล .....	86
4.5.1 คุณสมบัติทางกายภาพของตัวกรองละอองธูดีซีเซล .....	86
4.6 พฤติกรรมการดักสารละอองธูดีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล ....	89
4.7 พฤติกรรมการเผาไหม้สารละอองธูดีของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและ ไบโอดีเซล .....	90
4.7.1 พฤติกรรมการเผาไหม้ของสารละอองธูดีผสมกับผงเซรามิกของตัวกรองสาร ละอองธูดีซีเซล .....	90
4.7.2 พฤติกรรมกรรีเจนเนอเรชันของตัวกรองละอองธูดีซีเซลบนชุดทดลอง .....	94
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....	96
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	96
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	99

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	100
ภาคผนวก .....	103
ภาคผนวก ก ผลการทดลองในส่วนวิเคราะห์กับสารละลายออร์ดูรีจากเครื่องยนต์.....	104
ภาคผนวก ข ข้อมูลวิเคราะห์กราฟด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนัก เชิงความร้อน .....	115
ภาคผนวก ค คุณสมบัติเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล.....	141
ภาคผนวก ง คุณสมบัติการกลั่นตัวของเชื้อเพลิง .....	144
ภาคผนวก จ ข้อมูลวิเคราะห์สารละลายออร์ดูรีด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน... และไนโตรเจน.....	148
ภาคผนวก ฉ คุณสมบัติของคาร์บอนแบล็ค N 330 และคาร์บอนแบล็ค N 550.....	151
ภาคผนวก ช ผลงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่.....	154
ภาคผนวก ซ คำศัพท์ที่แปลมาจากศัพท์บัญญัติราชบัณฑิตยสถาน.....	193
ประวัติผู้เขียน .....	195

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	28
3.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้.....	36
3.2 ตารางสมรรถนะของปั๊มสุญญากาศ.....	56
4.1 ผลงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารละอองธูสทีกับออกซิเจน.....	86
4.2 ค่าทดสอบความพรุนของตัวกรองละอองธูสทีเซล (การแทนที่น้ำ).....	86
4.3 ตารางแสดงคุณสมบัติทั่วไปของตัวกรองละอองธูสที.....	88



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบหลักและโครงสร้างของอนุภาคไอเสียของเครื่องยนต์.....	6
2.2 มวลของขนาดอนุภาคของไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลแบบทั่วไปและจำนวนน้ำหนัก.....	7
2.3 ขนาดสารละอองธุลี และจำนวนสารละอองธุลีของเครื่องยนต์ที่ 1500 รอบที่โหลด (a) no load (b) 50% load (c) 80% load ที่ใช้เชื้อเพลิง ดีเซล (B0), ไบโอดีเซล (B5) และ ไบโอดีเซล (B100).....	8
2.4 ขนาดจำนวนอนุภาคที่ค่า (a) BMEP = 0.10 MPa และ (b) BMEP = 0.26 MPa.....	9
2.5 ขนาดจำนวนอนุภาคที่ค่า (a) BMEP = 0.51 MPa และ (b) BMEP = 0.77 MPa.....	9
2.6 (a) อัตราการปฏิกิริยาของคาร์บอนกับการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอน และ (b) กราฟ Arrhenius สำหรับการออกซิเดชันของคาร์บอนที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี .....	10
2.7 (a) อัตราการทำปฏิกิริยาเคมีของกับการเปลี่ยนแปลงของสารละอองธุลีดีเซลที่ไม่มีสารเร่ง ปฏิกิริยาและ (b) พลังงานกระตุ้นที่ใช้สลายสารละอองธุลีกับการเปลี่ยนแปลงของการออกซิไดส์ สารละอองธุลีที่มีสารเร่งและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี.....	10
2.8 กราฟ Arrhenius plots ที่มีค่า Error bars ของการทดลองที่อุณหภูมิต่างๆซึ่งรูปสัญลักษณ์ สามเหลี่ยมแสดงถึงกรณีอุณหภูมิคงที่และรูปสัญลักษณ์วงกลมกรณีอุณหภูมิไม่คงที่ของ (a) สารละอองธุลีดีเซล และ (b) สารละอองธุลีแบบสังเคราะห์ Printex U.....	11
2.9 กราฟ Arrhenius plot ของค่า ln rate ของคาร์บอนเปรียบเทียบกับ 1/T.....	11
2.10 กราฟเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (TGA) (การลดลงของมวลสารละออง ธุลี) และ DSC (การปล่อยความร้อน) ของสารละอองธุลีบนตัวกรองละอองธุลีดีเซลจาก เครื่องยนต์ที่ปรับโหลดที่อุณหภูมิไอเสียที่แตกต่างกันผ่านของตัวกรองละอองธุลีดีเซล ซึ่งเติมสาร Additive 50 ppm Ce-doped ในเชื้อเพลิงดีเซล .....	12
2.11 การวิเคราะห์ด้วยวิธี อุณหภูมิไม่คงที่ของสารละอองธุลีต่างๆจากการปรับภาระโหลดที่ใช้ เชื้อเพลิงดีเซลที่ผสมสารเร่ง Ce-doped ปริมาณ 50 ppm.....	13
2.12 ความดันตกคร่อมกับอัตราการไหลที่แตกต่างกันของสารละอองธุลีของ (a) CDPF ชนิดที่ 1 (0.64g/L) และ (b) CDPF ชนิดที่ 2 (1.07 g/L).....	14
2.13 ปรากฏการณ์ทำปฏิกิริยาเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาไหม้สารละอองธุลีสำหรับอุปกรณ์ กำจัดสารละอองธุลีคอร์ติไรท์และซิลิกอนคาร์ไบด์ที่อุณหภูมิเข้า 867 °C และ 700 °C ....	15
2.14 (a) พื้นที่หน้าตัดของ DPF ชนิด A และ (b) พื้นผิวของผนัง DPF ชนิด A สำหรับกระบวนการ เผาไหม้สารละอองธุลี.....	16
2.15 หลักการทำงานของกระบวนการคาร์บอนนิเวตรอนของไบโอดีเซล.....	18
2.16 กระบวนการทางกายภาพและทางเคมีของการเกิดสารละอองธุลีในเครื่องยนต์.....	18
2.17 โครงสร้างของอนุภาคคาร์บอน.....	19

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.18 กระบวนการทางกายภาคและทางเคมีของการเกิดสารละอองรูทีลิตีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล .....	19
2.19 วิธีลดปริมาณการปล่อยสารละอองรูทีลิตีออกสู่บรรยากาศ.....	21
2.20 แนวทางการใช้สารที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	21
2.21 แสดงทิศทางของไอเสียไหลผ่านตัวกรองละอองรูทีลิตีเซลชนิดไหลผ่านทุกส่วน.....	22
2.22 ลักษณะของตัวกรองละอองรูทีลิตีเซลไหลผ่านทุกส่วนชนิดโพรเซรามิค.....	23
2.23 ลักษณะของเครื่องตัดกรองชนิดแผ่นใยเซรามิค.....	24
2.24 กลไกการเคลื่อนตัวของสารละอองรูทีลิตี.....	24
2.25 แสดงสารละอองรูทีลิตีของก๊าซไอเสียถูกดักจับด้วยกลไกต่างๆ.....	25
2.26 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดความดันตกคร่อม.....	27
2.27 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ.....	28
2.28 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ.....	29
2.29 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.....	30
2.30 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.....	31
2.31 เครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน.....	32
2.32 หลักการทำงานของเครื่องรังสีเอ็กซ์.....	32
2.33 เครื่องมือวิเคราะห์สารละอองรูทีลิตีด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนของบริษัท Perkin Elmer.....	33
2.34 แผนผังการทำงานของเครื่องมือ.....	34
3.1 แสดงถึงเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้.....	35
3.2 การถ่ายภาพด้วยเทคนิคซูรีเรนของสารละอองรูทีลิตีเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล และไบโอดีเซล.....	37
3.3 ชุดกำเนิดแสง.....	38
3.4 กระจกโค้ง.....	38
3.5 ชุดใบมีดตัดแสง.....	39
3.6 กล้องถ่ายรูปแบบทั่วไป ยี่ห้อ Canon รุ่น EOS 400D เลนส์ 50 f 1.8.....	39
3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ.....	40
3.8 เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.....	41
3.9 สารละอองรูทีลิตีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล.....	41
3.10 วิธีการวัดขนาดของสารละอองรูทีลิตีอนุภาคแบบเดี่ยว.....	41
3.11 ภาพถ่ายการวัดขนาดของสารละอองรูทีลิตีอนุภาคแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของ เชื้อเพลิงดีเซล.....	42
3.12 ภาพถ่ายการวัดขนาดของสารละอองรูทีลิตีอนุภาคแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิง ไบโอดีเซล.....	42

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 ภาพถ่ายการวัดขนาดของสารละอองธูรีอนุภาคแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซล.....	43
3.14 ภาพถ่ายการวัดขนาดของสารละอองธูรีอนุภาคแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล.....	43
3.15 กระดาษกรองสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล.....	44
3.16 วิธีการวัดขนาดของสารละอองธูรีอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน.....	44
3.17 ภาพถ่ายของการวัดขนาดของสารละอองธูรีอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซล.....	45
3.18 ภาพถ่ายของการวัดขนาดของสารละอองธูรีอนุภาคแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล.....	45
3.19 เครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (Thermo-Gravimetric Analysis: TGA).....	47
3.20 ตัวกรองละอองธูรีดีเซล (ซ้าย) แบบที่มีสารเร่งปฏิกิริยาและ (ขวา) ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยา.....	48
3.21 การเตรียมชิ้นงานของอุปกรณ์ที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีที่มีสารเร่ง (ซ้าย) และอุปกรณ์จัดสารละอองธูรีไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี (ขวา).....	49
3.22 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบผ่านกราด.....	49
3.23 การวัดค่าความพรุนของตัวกรองละอองธูรีดีเซล.....	50
3.24 แผนภาพแสดงถึงชุดทดลองกระบวนการดักสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล.....	51
3.25 รูปทดลองจริงที่สร้างขึ้นของกระบวนการดักสารละอองธูรี.....	51
3.26 แผนภาพแสดงการออกแบบระบบให้ความร้อนแก่ตัวกรองละอองธูรีดีเซล.....	53
3.27 แสดงถึงฮีตเตอร์แบบแผ่นประกบเป็นขดลวดให้ความร้อนรวม 1600 watt.....	54
3.28 แสดงความเร็วต่างๆที่เกิดขึ้นในตัวกรองละอองธูรีดีเซล.....	55
3.29 แบบจำลองความเร็วที่ไหลผ่านตัวกรองละอองธูรีดีเซล.....	55
3.30 บีมคูตแบบสุญญากาศที่ใช้ในการทดลอง.....	56
3.31 ถังกรองผ่านน้ำ.....	57
3.32 แสดงถึงอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบในระบบควบคุมความดันตกคร่อมและอุณหภูมิ.....	57
3.33 มานอมิเตอร์.....	58
3.34 Differential Pressure sensor ใช้วัดความดันตกคร่อม.....	58
3.35 แรงดันต่างศักย์ไฟฟ้าขาออกเปรียบเทียบกับความดันตกคร่อม.....	59
3.36 หน้าตาของโปรแกรมที่ใช้เก็บข้อมูล.....	59
3.37 การ์ดเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ รุ่น Ni 6009 USB.....	60
3.38 ตาชั่งน้ำหนัก.....	60
3.39 (ซ้าย) ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลและ (ขวา) เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เนาไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.40 ชุดควบคุมอุณหภูมิ.....	61
3.41 แหล่งกำเนิดสารละลายของรูทีลจากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล.....	62
3.42 (ซ้าย) ลักษณะเปลวตะเกียงและ (ขวา) การกำหนดความยาวไส้ตะเกียงที่ทดลอง.....	62
3.43 เครื่องวัดควันดำของกระต๊ากกรองที่นำมาใช้วัดค่าประสิทธิภาพการกรอง.....	63
3.44 แบบจำลองแนวคิดของความดันตกคร่อมในระหว่างการดักอนุภาค.....	64
3.45 การนำสารละลายรูทีลดีเซลและไบโอดีเซลผสมกับผงเซรามิค.....	65
3.46 การออกแบบความยาวท่อเปรียบกับอุณหภูมิผนังของท่อไอเสีย.....	66
3.47 ความต้านทานของระบบเพื่อคำนวณหาความร้อนสูญเสียแก่ระบบ.....	67
3.48 ความร้อนสูญเสียแก่ระบบของฮีตเตอร์ในระบบรีเจนเนอเรชั่น.....	67
3.49 แผนผังการทดลองของระบบรีเจนเนอเรชั่นของตัวกรองละลายรูทีลดีเซล.....	68
4.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล.....	69
4.2 ภาพถ่ายเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและดีเซลด้วยกล้องถ่ายภาพแบบทั่วไป.....	70
4.3 ภาพถ่ายเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและดีเซลด้วยวิธีซูชิเรน.....	70
4.4 ภาพถ่ายของสารละลายรูทีลแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซล.....	72
4.5 ภาพถ่ายของสารละลายรูทีลแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล.....	73
4.6 สารละลายรูทีลแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซล.....	74
4.7 สารละลายรูทีลแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล.....	75
4.8 ขนาดเฉลี่ยสารละลายรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่แบบอนุภาคเดี่ยวจากภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ.....	76
4.9 ขนาดเฉลี่ยสารละลายรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่แบบอนุภาคเดี่ยวจากภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.....	76
4.10 สารละลายรูทีลแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนจากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซล.....	78
4.11 สารละลายรูทีลแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนจากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล.....	79
4.12 ขนาดเฉลี่ยของสารละลายรูทีลแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล.....	80
4.13 การลดลงของน้ำหนักของสารละลายรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล ไบโอดีเซล และคาร์บอนแบล็ค N 330.....	81
4.14 อัตราการลดลงของสารละลายรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล ไบโอดีเซล และคาร์บอนแบล็ค N 330.....	81
4.15 ส่วนประกอบของสารละลายรูทีล โดยประมาณจากกราฟเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีซึ่งน้ำหนักทางความร้อน (TGA).....	82
4.16 ส่วนประกอบทางเคมีของของสารละลายรูทีลชนิดต่างๆ.....	83

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 การคำนวณหาเศษส่วนโมลของคาร์บอน (n).....	83
4.18 พลังงานกระตุ้นของการสลายสารละอองธูรีแต่ละชนิด.....	84
4.19 การคำนวณหาพจน์โอกาสที่เกิดปฏิกิริยาเคมี.....	84
4.20 กราฟ Ln conversion rate ของสารละอองธูรีดีเซลและไบโอดีเซลโดยวิธีอุณหภูมิคงที่.....	85
4.21 รูปถ่ายตัวกรองละอองธูรีดีเซลที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและตัวกรองละอองธูรีดีเซล ที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี.....	87
4.22 กราฟแสดงองค์ประกอบของตัวกรองละอองธูรีดีเซลแบบไม่มีสารเร่งปฏิกิริยา.....	88
4.23 กราฟแสดงองค์ประกอบของตัวกรองละอองธูรีดีเซลแบบไม่มีสารเร่งปฏิกิริยา.....	88
4.24 ความดันตกคร่อมของสารละอองธูรีดีเซลและไบโอดีเซลที่อุณหภูมิ 200 °C.....	89
4.25 การลดลงของน้ำหนักของสารละอองธูรีบดผสมผงเซรามิกแต่ละชนิด.....	91
4.26 อัตราการลดลงของสารละอองธูรีบดผสมผงเซรามิกแต่ละชนิด.....	91
4.27 พลังงานกระตุ้นของสารละอองธูรีบดผสมผงเซรามิกแต่ละชนิด.....	92
4.28 การคำนวณหาพจน์โอกาสสารละอองธูรีที่เกิดปฏิกิริยาเคมี.....	92
4.29 ความดันตกคร่อมของการดักสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล และไบโอดีเซล.....	95
4.30 ความดันตกคร่อมของการสลายสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล และไบโอดีเซล.....	95

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการขาดแคลนพลังงานและภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาสำคัญของประชาคมโลกของเรา เพื่อที่จะแก้ปัญหาเหล่านี้ เครื่องยนต์ประสิทธิภาพสูงควรที่จะถูกพัฒนาและใช้อย่างกว้างขวาง เป็นที่ทราบกันดีว่าในจำนวนเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในนั้นเครื่องยนต์ดีเซลมีประสิทธิภาพความร้อนสูงสุด แต่สารละอองธุลี (Particulate Matter หรือ PM) ที่มีปริมาณมากจำเป็นจะต้องถูกกำจัดออกจากก๊าซไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อป้องกันสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ เช่น มะเร็งปอด [1-2] สารละอองธุลีจากเครื่องยนต์ดีเซลมีโครงสร้างทางกายภาพและเคมีที่ซับซ้อนมาก ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนแรกเป็นของแข็ง (Solid Organic Fraction : SOL) มีส่วนประกอบหลักคือคาร์บอน (Carbon) และเถ้าโลหะ (Metallic Ash) ซึ่งมาจากสาร Additive ในเชื้อเพลิงชนิดนั้น และส่วนที่สองเป็นของเหลว (Soluble Organic Fraction : SOF) มีส่วนประกอบหลักคือไฮโดรคาร์บอน สารละอองธุลีเกาะกันแบบเดี่ยว (Primary Particle) มีขนาดประมาณ 20-80 นาโนเมตร (Ultrafine Particle) และจะเกาะกันเป็นกลุ่มๆ (Accumulated Particle) ขนาดประมาณ 100-300 นาโนเมตร (Fine Particle) ด้วยแรงไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากการปล่อยอิเล็กตรอน (Thermionic Emission) และจับอิเล็กตรอน (Electron Capture) ของโมเลกุลคาร์บอน ซึ่งเกิดขึ้นที่สภาวะอุณหภูมิสูงระหว่างเกิดการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ ปัจจุบันการนำกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ (Scanning Electron Microscope : SEM) และแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope : TEM) มาใช้ในงานวิจัยทำให้สามารถเข้าใจและวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพของสารละอองธุลีได้มากขึ้น ทำให้สามารถออกแบบระบบกำจัดสารละอองธุลีได้ดีขึ้นเรื่อยๆ แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงที่กว้างมากขึ้นอยู่กับภาระการทำงานของเครื่องยนต์และคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด [3-5]

เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine : ICE) เป็นกลจักรความร้อน (Heat Engine) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมี (Chemical Energy) ที่มีอยู่ในโมเลกุลของเชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานความร้อน (Thermal Energy) โดยอาศัยการเผาไหม้ (Combustion) ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reaction) ระหว่างโมเลกุลของออกซิเจน (Oxygen) ที่ได้จากอากาศกับโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon Compound) ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง การทำปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลสารตั้งต้น (Reactants) สองชนิดข้างต้นจะทำให้เกิดการคายพลังงานภายใน (Internal Energy) ที่เป็นพลังงานเคมีออกมาในรูปของความร้อน เรียกการทำปฏิกิริยาเคมีแบบนี้ว่าปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Reaction) พลังงานความร้อนที่ได้รับระหว่างการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) จะทำให้อัตราการเคลื่อนที่ของโมเลกุล (Molecular Dynamics)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของก๊าซในห้องเผาไหม้มากขึ้น แรงที่โมเลกุลของก๊าซกระทำกับพื้นที่ผนังห้องเผาไหม้หรือความดันใน ห้องเผาไหม้นั้นจะสูงขึ้นมากตามไปด้วย เครื่องยนต์สันดาปภายใน สามารถเปลี่ยนแรงที่โมเลกุลของ ก๊าซกระทำกับผนังห้องเผาไหม้เป็นพลังงานกล (Mechanical Energy) โดยใช้กลไกทางวิศวกรรม โดยส่วนใหญ่เครื่องยนต์สันดาปภายในจะเป็นเครื่องยนต์แบบลูกสูบ (Reciprocating Engines) กล่าวคือ จะมีลูกสูบ (Pistons) วิ่งไปกลับในกระบอกสูบ (Cylinders) ภายในห้องเผาไหม้ ผิวหน้าของ ลูกสูบจะทำหน้าที่รับแรงกระทำจากโมเลกุลของก๊าซดังกล่าว จึงเกิดการเคลื่อนที่ของลูกสูบซึ่งเป็น พลังงานกล (Mechanical Energy) โดยมีกลไกต่อไปยังระบบขับเคลื่อนยานยนต์

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon Compound) มีพลังงานภายในที่สูงจึงถูกนำมาใช้ เป็นแหล่งพลังงานหลักในสังคมโลกปัจจุบัน น้ำมันดิบ (Crude Oil) เป็นเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon Fuel) หลักสำหรับยานยนต์ โดยจะถูกนำไปผ่านกระบวนการกลั่นเพื่อให้ได้เชื้อเพลิง ไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ เช่น น้ำมันเบนซิน (Gasoline) ซึ่งจะมีค่าออกเทน (Octane) สูงทนต่อการ จุดระเบิดด้วยตัวเอง (Detonation) ได้ดี จึงสามารถถูกออกแบบให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับอากาศ ก่อนเข้าห้องเผาไหม้ที่ท่อไอดี (Port Injection) ของเครื่องยนต์เบนซิน จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (Spark Ignition Gasoline Engine) ซึ่งทำงานตามวัฏจักรออตโต้ (Otto Cycle) และมีอัตราส่วนการ อัด (Compression Ratio) ประมาณ 9-10:1 เครื่องยนต์เบนซินจะมีข้อดีคือสามารถควบคุมส่วนผสม ออกซิเจนในอากาศกับเชื้อเพลิงโดยเป็นเนื้อเดียวกันทั้งห้องเผาไหม้ได้ทำให้มลพิษจากการเผาไหม้ซึ่งมี ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์ เช่น มลพิษคาร์บอนไดออกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO<sub>x</sub>) และ สารละอองธุลี สามารถถูกกำจัดได้ด้วยเทคโนโลยีหลังการ เผาไหม้ แคทตาไลติกคอนเวอร์เตอร์สามทาง (After Treatment Technology : Catalytic Converter) ได้โดยไม่ยากนักเพราะแทบไม่มีปริมาณออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้เลย ในทาง ตรงกันข้าม น้ำมันดีเซล (Diesel Fuel) ถูกออกแบบให้ฉีดเข้าห้องเผาไหม้โดยตรง (Direct Injection) หลังจากอัดอากาศในห้องเผาไหม้จนได้อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสมตามหลักการของวัฏจักรดีเซล (Diesel Cycle) ของเครื่องยนต์ดีเซล จะถูกจุดระเบิดด้วยการอัด (Compression Ignition Engine) ที่มีอัตราส่วนการอัดสูงถึง 15-22:1 ดังนั้นจะเห็นว่าเครื่องยนต์ดีเซลมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง กว่าเครื่องยนต์เบนซินแต่ก็มีข้อเสีย คือ การปล่อยมลพิษออกไซด์ของไนโตรเจนและสารละอองธุลีจะ อยู่ในอัตราส่วนที่สูงมาก จึงไม่สามารถกำจัดมลพิษดังกล่าวได้โดยใช้เพียงเทคโนโลยีหลังการเผาไหม้ ชนิดเดียวกับเครื่องยนต์เบนซินเพราะมีข้อจำกัดเรื่องสัดส่วนของปริมาณออกซิเจนที่เหลือจากการเผา ไหม้มีค่าสูงเกินไป จำเป็นต้องเพิ่มเทคโนโลยีหลังการเผาไหม้เฉพาะมลพิษสองประเภทดังกล่าว (After Treatment Technology: Diesel Particulate Filter (DPF), Selective Catalytic Converter (SCR)) ซึ่งจะเห็นว่าปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบประสิทธิภาพสูงและ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาสามด้านปัจจุบัน เทคโนโลยีนี้ถูกนำมาใช้กับ ประเทศที่มีกฎหมายมลพิษเข้มงวดมากๆ เช่น สหภาพยุโรป ญี่ปุ่น และอเมริกา เป็นต้น สำหรับ ประเทศไทยก็ควรที่จะนำมาใช้ให้เร็วที่สุดเพื่อแก้ปัญหาสุขภาพของประชาชนในเขตเมืองใหญ่ๆ โดยทั่วไป ตัวกรองละอองธุลีดีเซลจะเป็นวัสดุพรุน (Porous Media) ที่ผลิตจากเซรามิก เช่น ซิลิคอน คาร์ไบด์ (SiC) และคอร์ดีไรท์ (Cordierite) ถูกติดตั้งไว้ที่ท่อไอเสีย ก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์จะไหล ผ่านวัสดุพรุนนี้ได้ ในขณะที่เดียวกันสารละอองธุลีจะถูกดักไว้ด้วยวัสดุพรุนดังกล่าว ซึ่งขบวนการนี้ เรียกว่าขบวนการดักสารละอองธุลี (Trapping Process) และหลังจากสารละอองธุลีถูกดักจนสะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันมากพอที่จะทำให้ความดันในท่อไอเสียสูงขึ้นจนมีผลกระทบกับการทำงานของเครื่องยนต์ สารละลายของรูทีเล่านั้นก็จำเป็นที่จะต้องถูกสลาย โดยการเพิ่มอุณหภูมิไอเสียให้สูงขึ้นถึงจุดที่สารละลายของรูทีเลสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ คือประมาณ 600 °C ซึ่งคาร์บอนในสถานะของแข็งจะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเรียกว่าขบวนการรีเจนเนอเรชัน (DPF Regeneration Process) โดยทำให้ตัวกรองละลายของรูทีเลสามารถกลับมาใช้ได้ใหม่และช่วยลดมลพิษจากไอเสียสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่งหลัก ประกอบด้วย เทคโนโลยีก่อนการเผาไหม้ (Pre-Treatment Technology) เทคโนโลยีการควบคุมการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ (Engine Combustion Control Technology) และเทคโนโลยีหลังการเผาไหม้ (After-Treatment Technology) เพื่อแก้ไขปัญหามลพิษที่เกิดจากไอเสียและเพื่อให้ผ่านมาตรฐานที่แต่ละประเทศกำหนดเพื่อลดสารละลายของรูทีเลจึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งตัวกรองละลายของรูทีเลทำหน้าที่กำจัดสารละลายของรูทีเล ได้รับการออกแบบพัฒนาจนสามารถนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในบริษัทผู้ผลิตรถยนต์

ปัจจุบันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทน (Renewable Energy) อีกทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพของประเทศไทย ทั้งยังมีข้อดีสองประการหลัก คือ ลดอัตราการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพราะการสังเคราะห์แสงของพืชทำให้เกิดการครบวัฏจักรของคาร์บอนหรือเรียกว่าคาร์บอนนิวตรอน (Carbon Neutral) กล่าวคือคาร์บอนไม่มีการเกิดขึ้นหรือสร้างใหม่แต่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นรูปอื่นแบบครบวัฏจักร เป็นผลโดยตรงให้การใช้ไบโอดีเซลแทนดีเซลสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของปัญหาโลกร้อนในปัจจุบัน ข้อดีอีกอย่างของไบโอดีเซลคือเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนอยู่ในตัวมันเอง (Oxygenate Fuel) ออกซิเจนบรรจุภายในโมเลกุลของเชื้อเพลิงสามารถช่วยให้เผาไหม้สมบูรณ์ได้ดียิ่งขึ้น [7]

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Property) ของสารละลายของรูทีเลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลได้แก่ขนาดของสารละลายของรูทีเลอนุภาคแบบเดี่ยวและสารละลายของรูทีเลอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี (Chemical Property) ของสารละลายของรูทีเลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล เช่น พลังงานกระตุ้นที่ใช้ในการสลายสารละลายของรูทีเลของเปลวไฟแบบแพร่
3. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการดับและสลายสารละลายของรูทีเลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลด้วยตัวกรองละลายของรูทีเล

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1. สารละลายของรูทีเลจากเปลวไฟแบบแพร่ของไบโอดีเซลมีขนาดอนุภาคแบบกันเป็นกลุ่มก้อนน้อยกว่าสารละลายของรูทีเลจากเปลวไฟแบบแพร่ของดีเซลเพราะว่าไบโอดีเซลมีออกซิเจนในตัวเองสามารถช่วยในการเผาไหม้ได้กว่า
2. ในการดับสารละลายของรูทีเลจากเปลวไฟแบบแพร่ของดีเซลมีปริมาณมากกว่าสารละลายของรูทีเลจากเปลวไฟแบบแพร่ของไบโอดีเซลในตัวกรองละลายของรูทีเลเพราะสารละลายของรูทีเลมีความเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอนมากกว่าไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ตัวกรองละอองธูดีเซลทำหน้าที่กำจัดสารละอองธูดีเซล ซึ่งได้รับการออกแบบพัฒนาจนสามารถนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ในปัจจุบัน เทคโนโลยีนี้ถูกนำมาใช้กับประเทศที่มีกฎหมายมลพิษเข้มงวดมากๆ เช่น EURO 5 เป็นต้น

ข้อดีของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลคือเป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) และเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนอะตอมอยู่ในโมเลกุลของตัวมันเอง (Oxygenate Fuel) การสังเคราะห์แสงของพืชสามารถพิจารณาว่าไบโอดีเซลเป็นคาร์บอนนิวตรอน (Carbon Neutron) หมายความว่าคาร์บอนไม่มีการเกิดขึ้นหรือสร้างใหม่แต่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นรูปอื่นได้ เป็นผลให้การใช้ไบโอดีเซลแทนดีเซลสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพราะไบโอดีเซลได้มาจากน้ำมันจากพืช ออกซิเจนในโมเลกุลของเชื้อเพลิงสามารถช่วยให้เผาไหม้สมบูรณ์ได้ดียิ่งขึ้น งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการทำกระบวนการดักสารละอองธูดีเซลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลบนตัวกรองละอองธูดีเซลแบบทั่วไปและการออกซิเดชันสารละอองธูดีเซลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

## 1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ถูกแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีสารละอองธูดีเซลจากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลโดยทางกายภาพศึกษาอนุภาคที่เกาะกันเป็นกลุ่มก้อน จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลด้วยภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง และกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องผ่านสำหรับศึกษามลอนุภาคแต่ละอนุภาคที่เป็นกลุ่มก้อนเดี่ยว และคุณลักษณะทางเคมี ศึกษาจลนพลศาสตร์ทางเคมีของการทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับสารละอองธูดีเซลของแข็ง โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีซึ่งน้ำหนักเชิงความร้อน (Thermo-Gravimetric Analysis : TGA) เครื่องวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน (CHN Analysis) วิเคราะห์อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reaction) ระหว่างสารละอองธูดีเซลกับออกซิเจนเพื่อเปลี่ยนจากอนุภาคของแข็งให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ในขบวนการสลายสารละอองธูดีเซล ภายในสภาวะที่อุณหภูมิและความดันที่ควบคุม เพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าพลังงานกระตุ้นในการสลายสารละอองธูดีเซล (Apparent Activation Energy :  $E_a$ ) ที่จำเป็นต้องใช้ในการทำปฏิกิริยาเคมีนั้นๆ

ส่วนที่สองศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการณ์การดักสารละอองธูดีเซลจากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและดีเซลในตัวกรองละอองธูดีเซลที่มีและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี โดยการวัดค่าความดันตกคร่อมของตัวกรองละอองธูดีเซลซึ่งเป็นค่าบ่งบอกการถึงการสะสมของสารละอองธูดีเซลในตัวกรองละอองธูดีเซลและพฤติกรรมการณ์การออกซิเดชันของสารละอองธูดีเซลจากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและดีเซลในตัวกรองละอองธูดีเซลในตัวกรองละอองธูดีเซลที่มีสารเร่ง และไม่มีสารเร่ง โดยการวัดค่าความดันตกคร่อมซึ่งเป็นค่าบ่งบอกการถึงการสลายของสารละอองธูดีเซลในตัวกรองละอองธูดีเซล

## 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย ขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องไปโอดีเซล ตัวกรองละอองธูไลดีเซล

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัย แนวคิดในการวิจัย ตัวอย่างของเชื้อเพลิงดีเซลและไปโอดีเซลที่ใช้ทดลอง วิธีการหาปริมาณ

บทที่ 4 กล่าวถึงคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีสารละอองธูไลจากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไปโอดีเซลโดยทางกายภาพศึกษาอนุภาคที่เกาะกันเป็นกลุ่มก้อน คุณลักษณะทางเคมี ศึกษาจลนพลศาสตร์ทางเคมีของการทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับสารละอองธูไลของแข็ง วิธีการตรวจสอบชนิดและปริมาณธาตุ วิเคราะห์อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี พฤติกรรมการดักสารละอองธูไลจากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไปโอดีเซลและดีเซลในตัวกรองละอองธูไลดีเซลที่มีและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี

บทที่ 5 ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นข้อมูลพื้นฐานจากการศึกษาและทดสอบข้างต้น จะสามารถนำไปเป็นเพื่อเป็นข้อกำหนดในการออกแบบและเลือกใช้ตัวกรองละอองธูไลดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงไปโอดีเซลและดีเซลในประเทศไทยสามารถสรุปเป็นข้อๆได้ดังต่อไปนี้

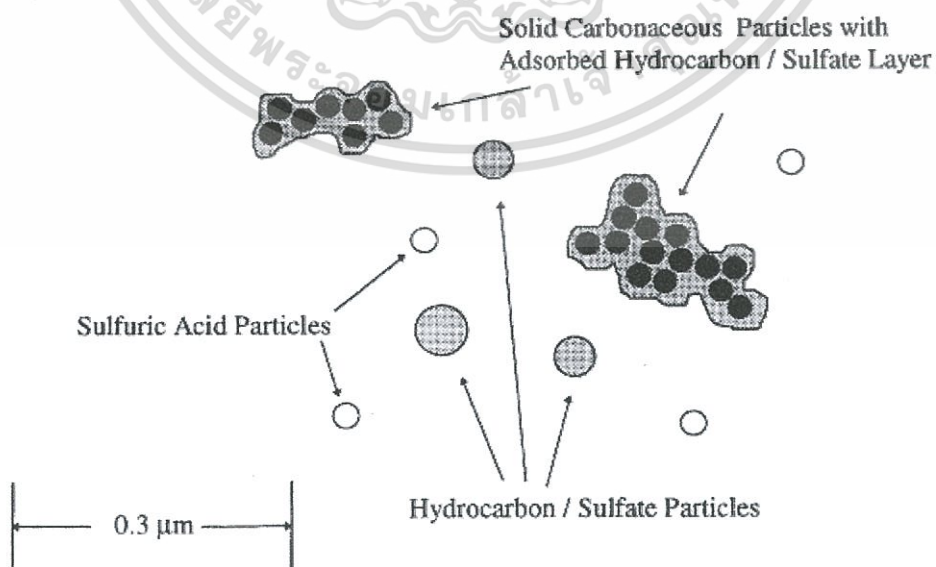
1. ผลงานวิจัยที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนามาตรฐานไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลในประเทศไทย
2. ช่วยลดปัญหามลพิษของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไปโอดีเซล
3. เป็นชุดทดสอบเพื่อใช้ในการศึกษาตัวกรองละอองธูไลดีเซล

## บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการลดสารละอองธูรีจากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลด้วยตัวกรองละอองธูรีดีเซลได้ทำการศึกษาดังต่อไปนี้

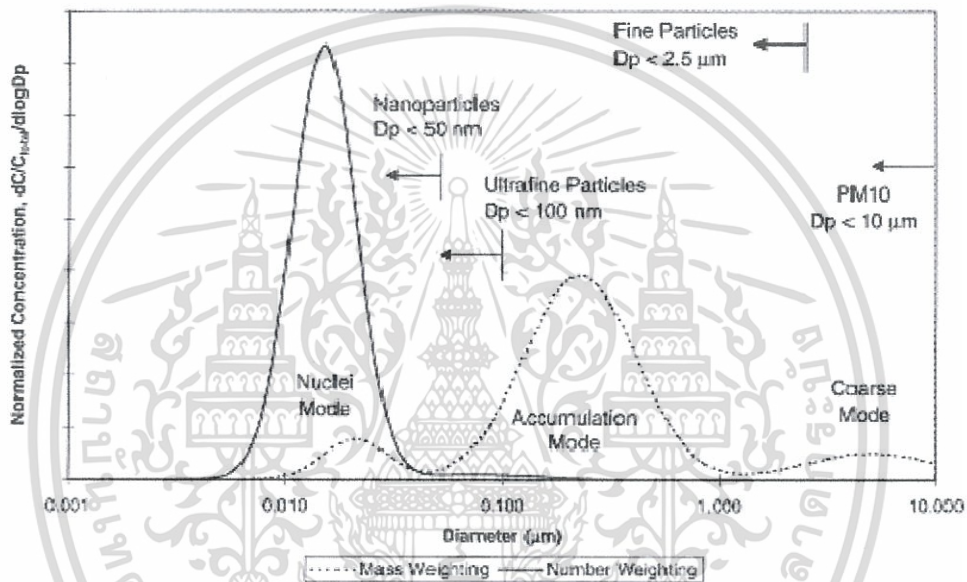
David B. Kittelson [1] ได้ทำการศึกษารื่องอนุภาคของสารละอองธูรีขนาดเล็กระดับนาโนสเกลและเครื่องยนต์ จากการศึกษาพบว่าส่วนประกอบหลักของสารละอองธูรีจากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลคือคาร์บอนของแข็งที่เกาะกันเป็นกลุ่มก้อน เถ้าโลหะ ไอระเหยและส่วนประกอบของกำมะถันตามรูปที่ 2.1 ส่วนประกอบหลักและโครงสร้างของอนุภาคไอเสียของเครื่องยนต์ อธิบายได้ว่าอนุภาคคาร์บอนของแข็งก่อมาจากการเผาไหม้ที่บริเวณอากาศบางซึ่งทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจนกลายเป็นสารละอองธูรี (Particulate Matter : PM) จากงานวิจัยสามารถอธิบายองค์ประกอบหลักของสารละอองธูรีประกอบด้วย น้ำมันหล่อลื่นเผาไหม้ไม่หมด (Unburnt Oil) 25% เชื้อเพลิงเผาไหม้ไม่หมด (Unburnt Fuel) 7% คาร์บอนของแข็ง (Carbon) 41% เถ้าและอื่นๆ (Ash and Other) 13% กำมะถันและน้ำ (Sulfate and Water) 14% และรูปที่ 2.2 มวลของขนาดอนุภาคของไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลแบบทั่วไปและจำนวนน้ำหนักแสดงถึงจำนวนขนาดของอนุภาคเปรียบเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคซึ่งสามารถเรียกช่วงหมวดอนุภาคที่เกาะกันเป็นกลุ่มก้อน (Accumulation Mode) อยู่ในช่วงเส้นผ่านศูนย์กลาง 100-300 nm เป็นช่วงที่มีอนุภาคคาร์บอนของแข็งเกาะกันเป็นจำนวนมาก ส่วนหมวดของอนุภาคแบบเดี่ยว (Nuclei Mode) ประกอบไปด้วยอนุภาคอยู่ในช่วงเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-50 nm



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบหลักและโครงสร้างของสารละอองธูรีจากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล [1]

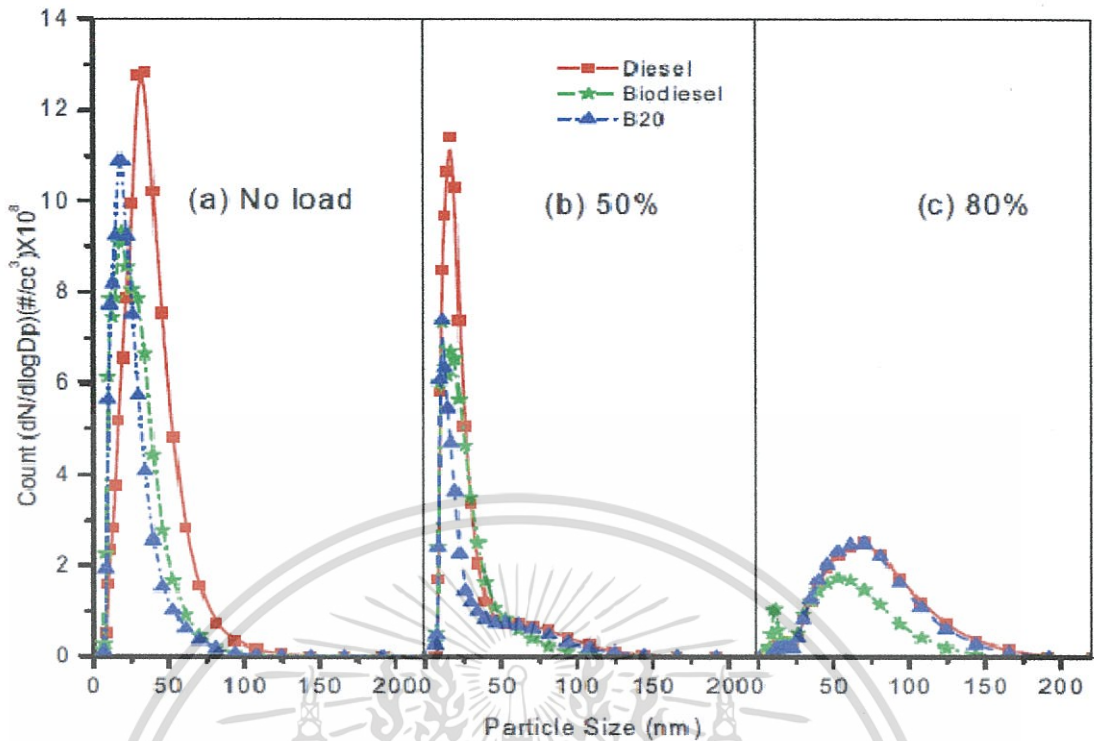
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งประกอบไปด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและสารประกอบกำมะถันและมีส่วนที่เป็นคาร์บอนของแข็งและโลหะปนมาด้วย ซึ่งช่วงอนุภาคเดี่ยว (Nuclei Mode) คิดเป็น 1-20% ของมวลของอนุภาคและมากกว่า 90% ของจำนวนอนุภาค ส่วนหมวดที่อนุภาคปกคลุมกันหนา (Coarse Mode) ประกอบด้วย 5-20% ของมวลอนุภาค สามารถแบ่งขนาดจากอนุภาคสู่อากาศ (Atmospheric Particles: PM10), เส้นผ่านศูนย์กลาง,  $D < 10 \mu\text{m}$  หมวดอนุภาคปกคลุมกันหนา (Fine Particles),  $D < 2.5 \mu\text{m}$  หมวดอนุภาคเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน (Ultrafine Particles),  $D < 0.10 \mu\text{m}$  และอนุภาคแบบเดี่ยว (Nano-particles)  $D < 0.05 \mu\text{m}$  หรือ 50 nm



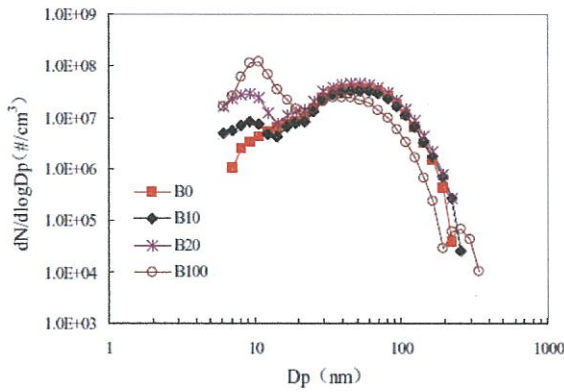
รูปที่ 2.2 มวลของขนาดอนุภาคของไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลแบบทั่วไปและจำนวนน้ำหนัก [1]

Dhananjay Kumer Srivastava และ Avinash Kumer Agarwal [2] ได้ทำการศึกษางานวิจัยเรื่องลักษณะสารละอองธูลีของเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยการอัดด้วยเชื้อเพลิงไบโอดีเซลซึ่งจากการศึกษาได้ทำการหาขนาดของสารละอองธูลีโดยใช้วิธีเครื่องวัดขนาดอนุภาคไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล (Engine Exhaust Particle Sizer : EEPS) ซึ่งสามารถวัดขนาดอนุภาคได้ในช่วง 5.6 ถึง 560 nm จากรูปที่ 2.3 พบว่าจำนวนของสารละอองธูลีดีเซลอยู่ในช่วง 29.4-34 nm ซึ่งมีจำนวน  $12.8 \times 10^8$  Particle/cc<sup>3</sup> ซึ่งใหญ่กว่าสารละอองธูลีไบโอดีเซลอยู่ในช่วง 16.5-19.1 nm ซึ่งมีจำนวน  $9.23 \times 10^8$  Particle/cc<sup>3</sup> เหตุผลที่จำนวนของสารละอองธูลีไบโอดีเซลเล็กกว่าเนื่องจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนในตัวเองช่วยทำให้เผาไหม้สมบูรณ์ซึ่งทำให้โอกาสออกซิเจนเข้าสัมผัสสัดส่วนของพื้นที่ผิวส่วนปริมาตรมากกว่าเชื้อเพลิงดีเซลทำให้อนุภาคถูกเผาซ้ำส่งผลให้ขนาดอนุภาคไบโอดีเซลเล็กกว่าอนุภาคดีเซล

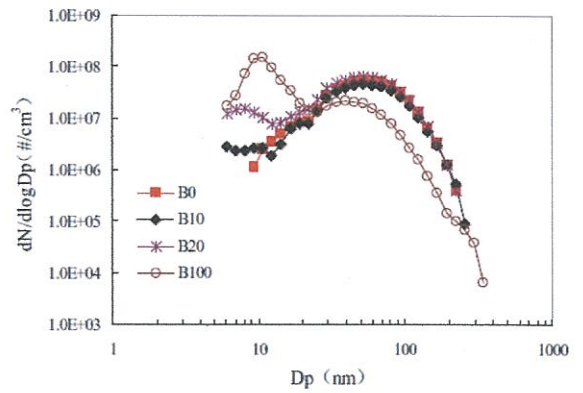


รูปที่ 2.3 ขนาดสารละอองธุลีและจำนวนสารละอองธุลีของเครื่องยนต์ที่ 1500 รอบที่โหลด (a) no load (b) 50% load (c) 80% load ที่ใช้เชื้อเพลิง ดีเซล (B0), ไบโอดีเซล (B5) และ ไบโอดีเซล (B100) [2]

Pi-qiang Tan, Zhi-yuan Hu, Di-ming Lou และ Bo Li [3] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับจำนวนอนุภาคและขนาดของสารละอองธุลีจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผลิตจากสบู่ดำจากการศึกษาได้หาขนาดของสารละอองธุลีแบบเดี่ยว (Primary Particle Size) และแบบอนุภาคเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน (Accumulation Particle Size) ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลจากเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูง (Common-rail Fuel System) ซึ่งในการวัดอนุภาคโดยใช้เครื่องทดสอบ Engine Exhaust Particle Sizer (EEPS) จากผลการทดลองในรูปที่ 2.4 ขนาดจำนวนอนุภาคที่ค่า (a) BMEP = 0.10 MPa และ (b) BMEP = 0.26 MPa และ รูปที่ 2.5 ขนาดจำนวนอนุภาคที่ค่า (a) BMEP = 0.51 MPa และ (b) BMEP = 0.77 MPa ที่รอบเครื่องยนต์ 2000 rpm ช่วงขนาดของอนุภาคแบบเดี่ยว 6 ถึง 11 nm และอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน 39 ถึง nm จากวิจัยนี้พบว่าจำนวนอนุภาคของไบโอดีเซลน้อยกว่าดีเซลเพราะว่าไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนในตัวเองทำให้เผาไหม้ได้สมบูรณ์กว่าและมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคดีเซล

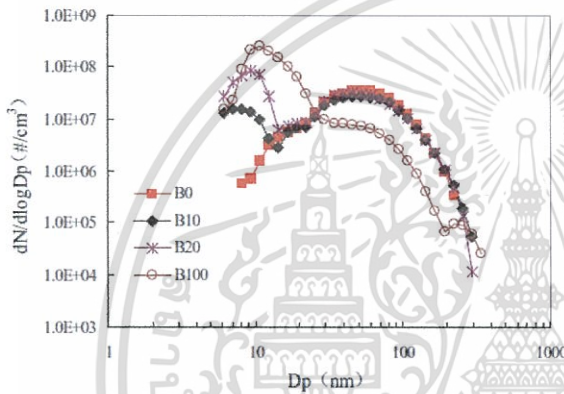


(a) BMEP = 0.10 MPa

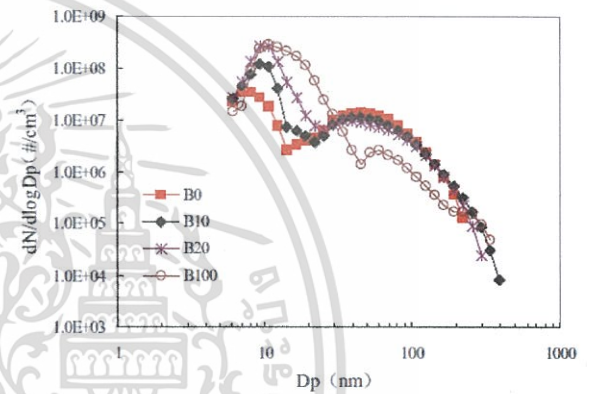


(b) BMEP = 0.26 MPa

รูปที่ 2.4 ขนาดจำนวนอนุภาคที่ค่า (a) BMEP = 0.10 MPa และ (b) BMEP = 0.26 MPa [3]



(a) BMEP = 0.51 MPa



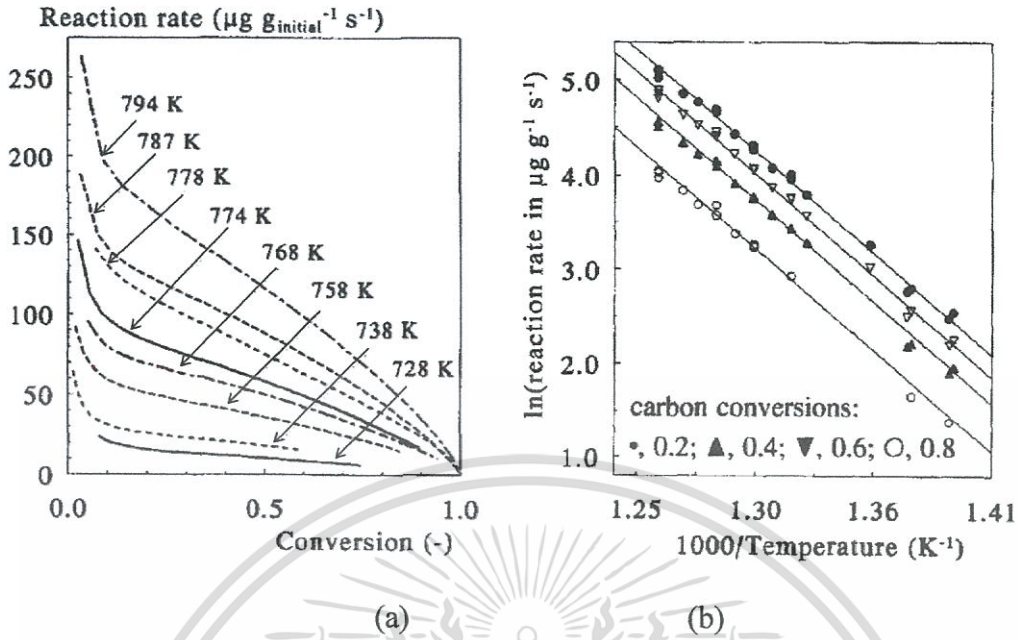
(b) BMEP = 0.77 MPa

รูปที่ 2.5 ขนาดจำนวนอนุภาคที่ค่า (a) BMEP = 0.51 MPa และ (b) BMEP = 0.77 MPa [3]

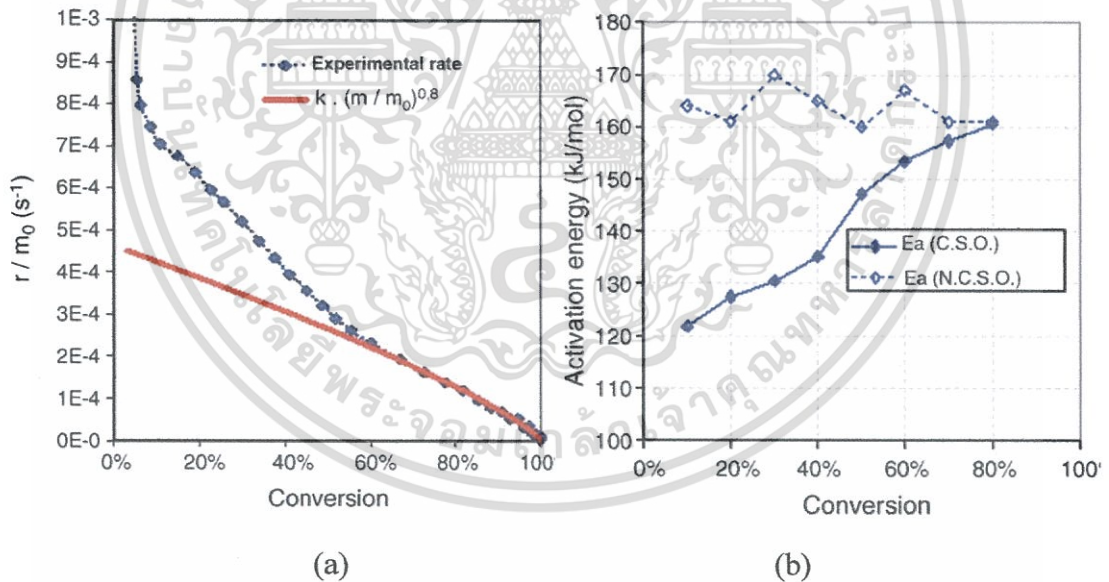
John P. a.Neeft, T.Xander Nijhuis, Erik Smalman, Michiel Makkee และ Jacob A. Moulijn [4] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับจลนพลศาสตร์ทางเคมีของสารละลายรูติติเซลซึ่งใช้ สารละลายรูติติเซล Printex-U เป็นสารละลายรูติติเซลมาจาก Degussa AG สามารถคำนวณค่า  $n$  ลำดับของคาร์บอนเท่ากับ 0.73 (อ้างอิงตามทฤษฎีของ Shrinking-core model) มีค่า  $2/3$  มีค่าใกล้เคียงตามทฤษฎี จากการพบว่าพลังงานกระตุ้นที่ใช้ในการสลายสารละลายรูติติเซล ประมาณ 168 kJ/mol โดยใช้ออกซิเจน 10% ตามรูปที่ 2.6

Pierre Darcy, Patrick Da Costa, Henry Mellotte, Jean-Michel Trichard, Gerald Djega-Mariadassou [5] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับจลนพลศาสตร์ของสารละลายรูติติเซลที่ไม่ผสมและผสม สารเร่งปฏิกิริยาเคมี ซึ่งสารเร่งปฏิกิริยาเคมีในงานวิจัยนี้คือ Ceria-zirconia และค่าที่ได้จากผลทดลองมีค่าเท่ากับ 0.5 มีค่าใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎีของ Shrinking-core model มีค่าเท่ากับ  $2/3$  จากการทดลองพบว่าค่าพลังงานกระตุ้นของสารละลายรูติติเซลที่มีสารเร่งปฏิกิริยามีค่า 120 kJ/mol และพลังงานกระตุ้นของสารละลายรูติติเซลที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีมีค่าเท่ากับ 165 kJ/mol เนื่องจากสารเร่งปฏิกิริยาเคมีทำให้โอกาสออกซิเจนทำการออกซิไดส์กับสารละลายรูติติเซลได้ดีกว่าดังแสดงตามรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



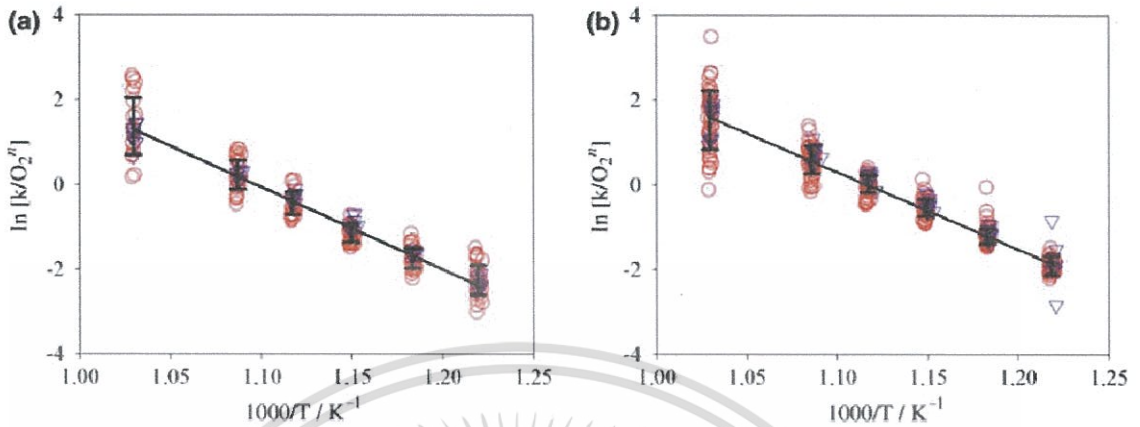
รูปที่ 2.6 (a) อัตราการปฏิกิริยาของคาร์บอนกับการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอน และ (b) กราฟ Arrhenius สำหรับการออกซิเดชันของคาร์บอนที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี [4]



รูปที่ 2.7 (a) อัตราการทำปฏิกิริยาเคมีของการเปลี่ยนแปลงของสารละอองธูลีดีเซลที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาและ (b) พลังงานกระตุ้นที่ใช้สลายสารละอองธูลีดีเซลกับการเปลี่ยนแปลงของการออกซิเดชันสารละอองธูลีดีเซลที่มีสารเร่งและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี [5]

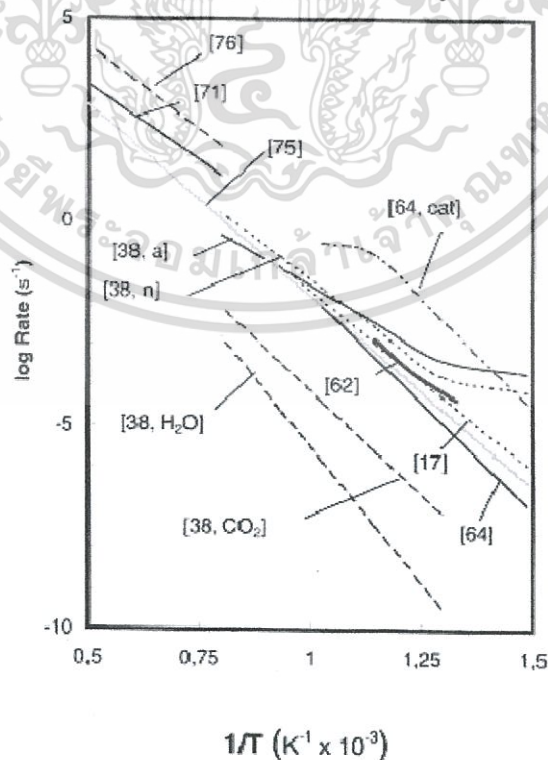
Maria Kalogirou, Zissis Samaras [6] ได้ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ของสารละอองธูลีดีเซลเปรียบเทียบกับสารละอองธูลีดีเซล Printex U แบบสังเคราะห์ ในกรณีที่ปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอนที่พบว่ามีค่าพลังงานกระตุ้นที่ใช้สลายสารละอองธูลีดีเซลมีค่า 185.50 kJ/mol และสารละอองธูลีดีเซล Printex U มีค่า 180.15 kJ/mol ในกรณีที่ปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอนที่พบว่ามีค่าพลังงานกระตุ้นที่ใช้สลายสารละอองธูลีดีเซลมีค่าแตกต่างกันเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า 191.02 kJ/mol และสารละอองธูรี Printex U มีค่า 182 kJ/mol ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากตามรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กราฟ Arrhenius plots ที่มีค่า Error bars ของการทดลองที่อุณหภูมิต่างๆซึ่งรูปสัญลักษณ์สามเหลี่ยมแสดงถึงกรณีอุณหภูมิกงที่และรูปสัญลักษณ์วงกลมกรณีอุณหภูมิมืดกของ (a) สารละอองธูรีดีเซล และ (b) สารละอองธูรีแบบสังเคราะห์ Printex U [6]

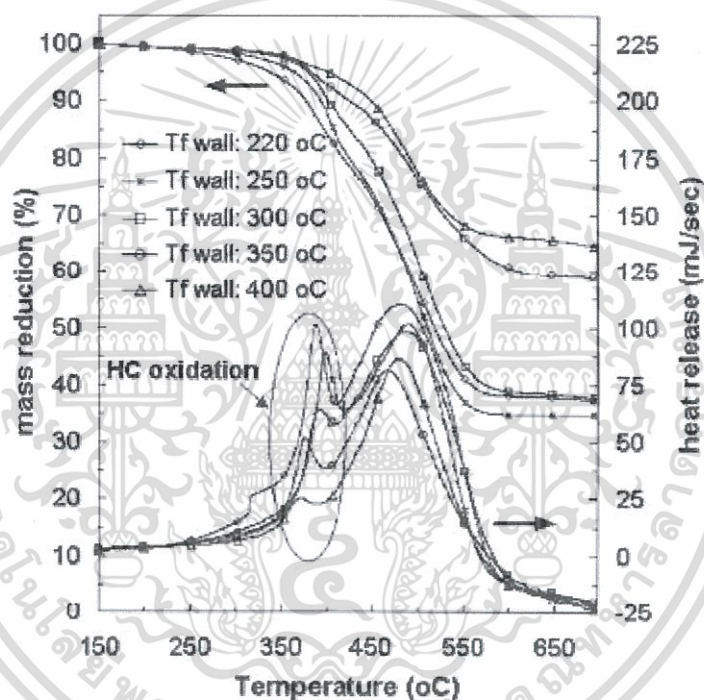
B.R. Stanmore, J.F. Brilhac, P.Gilot [7] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกลไกของการออกซิเดชันของสารละอองธูรีจากรูปที่ 2.9 แสดงถึงกราฟ Arrhenius plot ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของการออกซิไดส์คาร์บอนเปลี่ยนจากสารตั้งต้นเป็นสารผลิตภัณฑ์ได้แก่ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งการออกซิไดส์ของสารละอองธูรีคาร์บอนเกิดจากออกซิเจนเข้าไปสัมผัสพื้นผิวทรงกลมของสารละอองธูรีเกิดการเปลี่ยนจากคาร์บอนของแข็งกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ



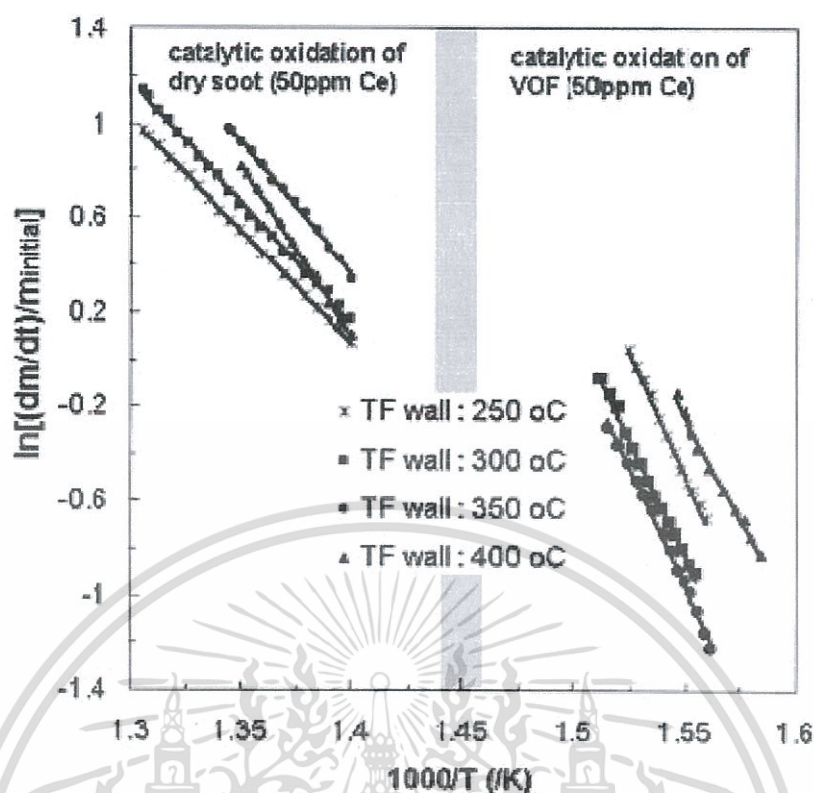
รูปที่ 2.9 กราฟ Arrhenius plot ของค่า ln rate ของคาร์บอนเปรียบเทียบกับ 1/T [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G.A. Stratakis, A.M. Stamatelos [8] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกลไกการออกซิไดส์ที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีของสารละอองธูปบนตัวกรองละอองธูปดีเซลในช่วงอุณหภูมิ 200 ถึง 400 °C สารเร่งและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและเปรียบเทียบเชื้อเพลิงที่เติมสาร Additive (Cerium : Ce) และไม่เติมสาร Additive ซึ่งได้ศึกษาการออกซิไดส์ไฮโดรคาร์บอนที่เป็นพวกสารโระระเหย (Volatile hydrocarbons adsorbed) และการออกซิไดส์คาร์บอน โดยใช้วิธีทดสอบโดยเครื่องมือ Thermogravimetric และ Differential scanning calorimetry analysis (TGA-DSC) ซึ่งพลังงานกระตุ้นที่ใช้สลาย VOF ประมาณ 190 kJ/mol และพลังงานกระตุ้นที่ใช้สลายไฮโดรคาร์บอนประมาณ 80-130 kJ/mol โดยใช้สารเติมแต่ง Additive Ce ในช่วงอุณหภูมิ 420- 490 °C ตามรูปที่ 2.10 และรูปที่ 2.11

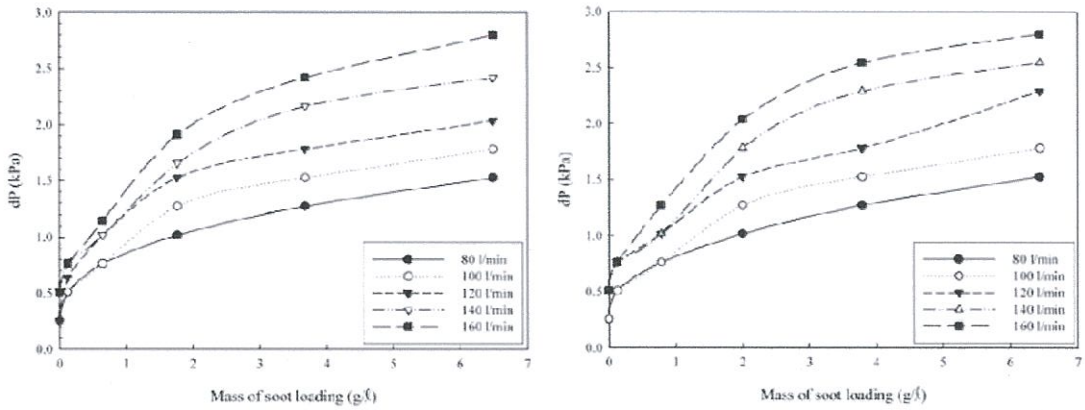


รูปที่ 2.10 กราฟเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (TGA) (การลดลงของมวลสารละอองธูป) และ DSC (การปล่อยความร้อน) ของสารละอองธูปบนตัวกรองละอองธูปดีเซลจากเครื่องยนต์ที่ปรับโหลดที่อุณหภูมิไอเสียที่แตกต่างกันผ่านของตัวกรองละอองธูปดีเซลซึ่งเติมสาร Additive 50 ppm Ce-dropped ในเชื้อเพลิงดีเซล [8]



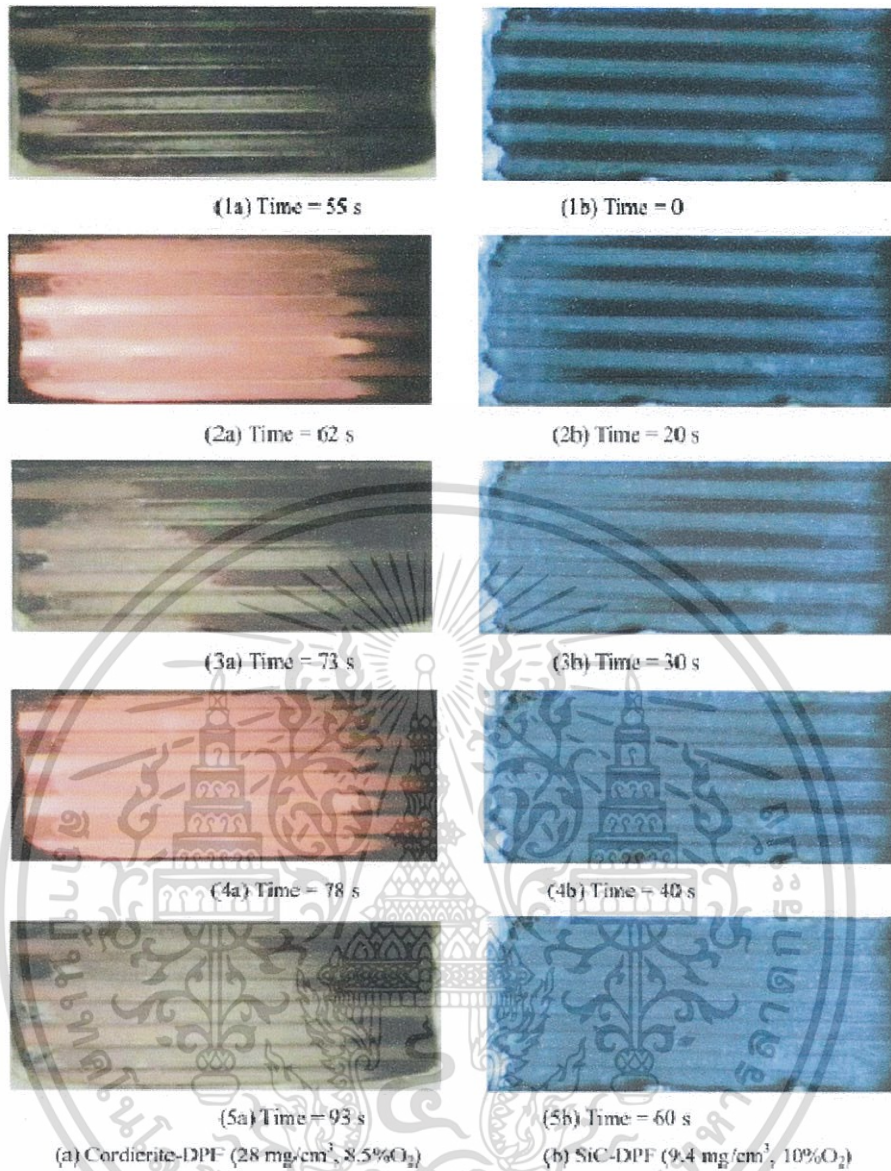
รูปที่ 2.11 การวิเคราะห์ด้วยวิธี อุณหภูมิไม่คงที่ของสารละอองธูลีต่างๆจากการปรับภาวะไหลที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่ผสมสารเร่ง Ce-doped ปริมาณ 50 ppm กราฟ Arrhenius plots ได้แบ่งออกเป็น 2 ช่วงซึ่งฝั่งซ้ายมือเป็นสารละอองธูลีคาร์บอนที่ถูกออกซิไดส์และฝั่งขวามือเป็น VOF ที่ถูกออกซิไดส์ที่อุณหภูมิ 250, 300, 350, 400 °C [8]

Y. S. Cho, D.S. Kin and Y. J. Park [9] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการดักสารละอองธูลีที่อัตราการไหลแตกต่างกันบนตัวกรองละอองธูลีดีเซลที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี 2 ชนิดคือ ชนิดที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี 0.64 g/l และ 1.07 g/l โดยกำหนดค่า อัตราการไหลของสารละอองธูลี Printex-U (มาจาก Degussa AG) จากรูปที่ 2.12 พบว่าลักษณะพฤติกรรมการดักสารละอองธูลีภายใต้เงื่อนไขอัตราการไหลที่ต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าอัตราการไหลที่ 160 l/min ความดันตกคร่อมจะมากที่สุดประมาณ 2.7 kPa และที่อัตราการไหล 80 l/min ความดันตกคร่อมจะประมาณ 1.3 kPa จะมีค่าใกล้เคียงกันของตัวกรองละอองธูลีดีเซลทั้งสองชนิด เป็นเพราะอัตราการไหลที่ผลต่อการที่จำนวนสารละอองธูลีที่ปล่อยออกมาเข้าสู่สมที่ปริมาตรของรูพรุนและพื้นที่ผิวของตัวกรองละอองธูลีดีเซลซึ่งปริมาณของสารละอองธูลีตามอัตราการไหลกำหนดเงื่อนไขภายใต้สภาวะการขับที่จริง



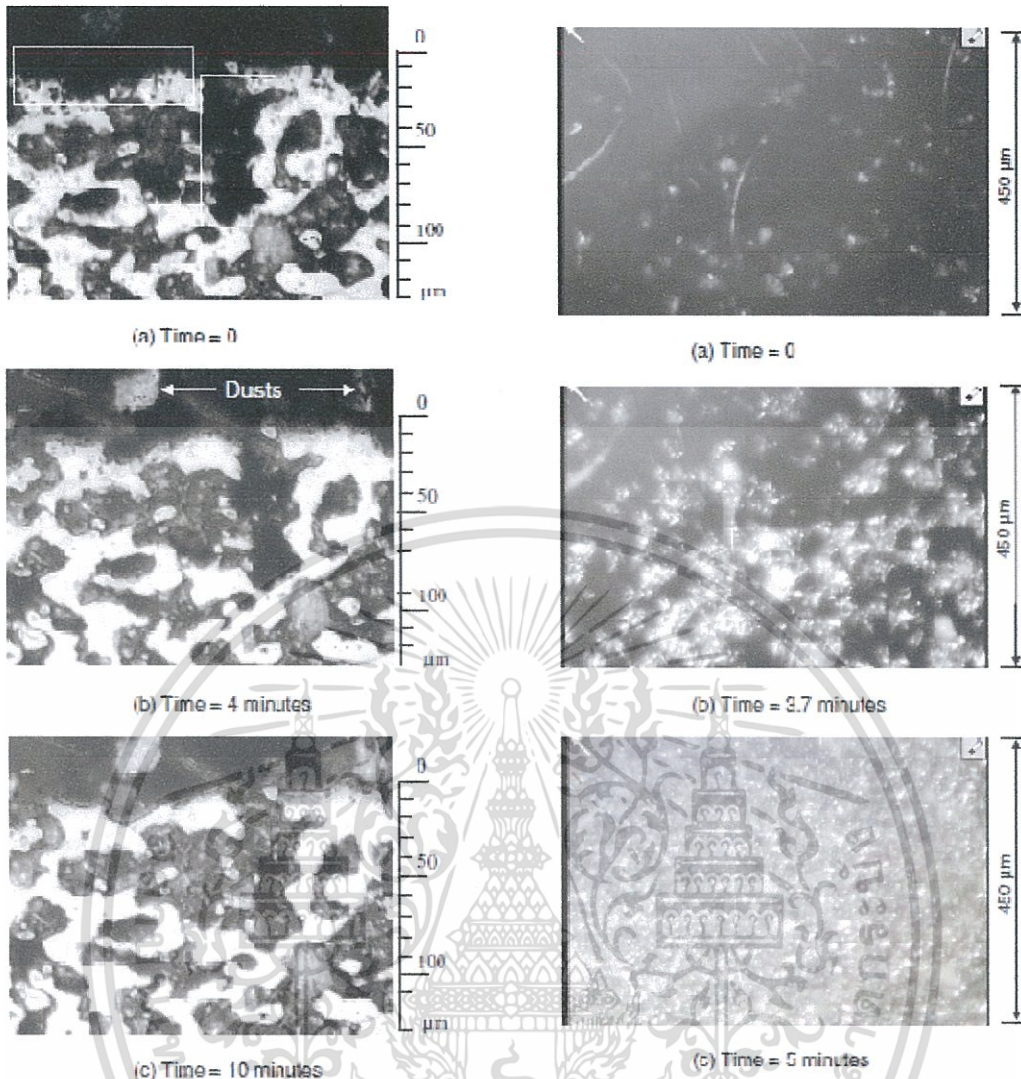
รูปที่ 2.12 ความดันตกคร่อมกับอัตราการไหลที่แตกต่างกันของสารละอองธุลีของ (a) CDPF ชนิดที่ 1 (0.64g/l) และ (b) CDPF ชนิดที่ 2 (1.07 g/l) [9]

K. Hanamura, T. Suzuki, T. Tanaka and Y. Miyari [10] ได้ทำการวิจัยเรื่องการมองปรากฏการณ์การเผาไหม้สารละอองธุลีบนตัวกรองละอองธุลีดีเซล จากงานวิจัยนี้จากรูปที่ 2.13 พบว่าพฤติกรรมการเผาไหม้ของสารละอองธุลีบนตัวกรองละอองธุลีดีเซลชนิดคอร์ติโรท์และซิลิกอนคาร์ไบด์มีอุณหภูมิเผาไหม้แตกต่างกันซึ่งพฤติกรรมการดักสารละอองธุลีจะไม่ฝังเข้าไปในรูพรุนมากแต่จะเกาะกันเป็นก้อนเหนื่อรูพรุนจนเป็นชั้นที่เรียกว่าก้อนสารละอองธุลี (Soot Cake) และกระบวนการเผาไหม้สารละอองธุลีบนตัวกรองละอองธุลีดีเซล (Regeneration Process) สารละอองธุลีจะถูกเผาไหม้กลายเป็นก๊าซออกสู่ชั้นบรรยากาศ



รูปที่ 2.13 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาไหม้สารละอองธูปบนตัวกรองละอองธูปดีเซลชนิดคอร์ดีไรท์และซิลิกอนคาร์ไบด์ที่อุณหภูมิเข้า  $867 \text{ }^{\circ}\text{C}$  และ  $700 \text{ }^{\circ}\text{C}$  [10]

P. Karin, L. Cui, P. Rubio, T. Tsuruta and K. Hanamura [11] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการมองอนุภาคสารละอองธูปของกระบวนการดักและกระบวนการเผาไหม้สารละอองธูปในรูปทรงสี่เหลี่ยมในผนังตัวกรองละอองธูปจากรูปที่ 2.14 พบว่าตัวกรองละอองธูปดีเซลถูกตัดเป็นชิ้นเล็กและมีกระจกแผ่นใสติดตั้งสำหรับมองผ่านด้วยจุลทรรศน์แบบมองที่ผนังและพื้นผิวของตัวกรองละอองธูปดีเซลสำหรับอุณหภูมิการดักสารละอองธูปอยู่ที่  $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิสำหรับกระบวนการเผาไหม้สารละอองธูปอยู่ที่  $620 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ส่วนพื้นที่หน้าตัดของตัวกรองละอองธูปดีเซลใช้เวลาในการเผาไหม้ 10 นาที และส่วนของพื้นผิวของตัวกรองละอองธูปดีเซลใช้เวลา 5 นาที



(a) พื้นที่หน้าตัดของ DPF ชนิด A

(b) พื้นผิวของผนัง DPF ชนิด A

รูปที่ 2.14 (a) พื้นที่หน้าตัดของตัวกรองละอองธูดีเซล ชนิด A และ (b) พื้นผิวของผนังตัวกรองละอองธูดีเซลชนิด A สำหรับกระบวนการเผาไหม้สารละอองธูดี [11]

P. Karin and K.Hanamura [12] ได้ทำการศึกษาเรื่องการดักและเผาไหม้สารละอองธูดีบนตัวกรองละอองธูดีดีเซล ซึ่งได้ทำการเตรียมตัวกรองละอองธูดีดีเซลให้มีขนาดกว้าง 5 mm ยาว 5 mm และหนา 7 mm มีแผ่นแก้ววางบนตัวกรองละอองธูดีดีเซลเพื่อใช้ในการศึกษาการมองพฤติกรรมการดักสารละอองธูดีและเผาไหม้สารละอองธูดีบนตัวกรองละอองธูดีดีเซลจากเชื้อเพลิงดีเซลที่ใช้เป็นแบบทั่วไปอ้างอิงตามมาตรฐานเชื้อเพลิง (JIS K2204 No.2) ในงานวิจัยนี้ใช้ตะเกียงเป็นแหล่งกำเนิดสารละอองธูดี ส่วนเหตุผลที่ใช้ตะเกียงเป็นแหล่งกำเนิดสารละอองธูดีเพราะต้องการตัดพารามิเตอร์ เช่น ไอน้ำและไฮโดรคาร์บอนเพราะตัวไหม้สารละอองธูดีที่อุณหภูมิคงที่ได้แก่ 525, 550, 575, 600, 625 และ 650 °C ตามลำดับ ในระหว่างที่เผาไหม้สารละอองธูดีได้ทำการวัดก๊าซ CO และ CO<sub>2</sub> ที่ถูกปลดปล่อยออกมาในการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้สารละอองธูดีโดยใช้เครื่องวัดก๊าซในการทดลอง (Gas Analyzer) บนตัวกรองละอองธูดีดีเซลซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เปรียบเทียบ 2 ชนิดคือ ตัวกรองละอองธูดีดีเซลแบบทั่วไปมีรูพรุนประมาณ 11 μm และตัวกรองละอองธูดีดีเซลแบบมีชั้น Membrane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Diesel Particulate Membrane Filter : DPMF) มีรูพรุน  $0.5 \mu\text{m}$  ในส่วนของการวิเคราะห์สารละลายของรูติทางกายภาพได้แก่ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) เพื่อศึกษาอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนจากการทดลองพบว่าขนาดโดยเฉลี่ยของสารละลายของรูติแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนประมาณ 100 ถึง 300 nm และใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope : TEM) เพื่อศึกษาอนุภาคแบบเดี่ยวซึ่งได้ขนาดของอนุภาคแบบเดี่ยวประมาณ 20 ถึง 60 nm และได้วิเคราะห์หาขนาดเฉลี่ยของผิวการ์บอนยาวประมาณ 3-5 nm หนาประมาณ 1 nm และทำการเผาไหม้สารละลายของรูติโดยนำไปทดสอบด้วยเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (Thermo-gravimetric Analysis: TGA) ด้วยวิธีอุณหภูมิคงที่และอุณหภูมิไม่คงที่ เพื่อคำนวณหาพลังงานกระตุ้นในการสลายสารละลายของรูติ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้พลังงานกระตุ้นเพื่อสลายสารละลายของรูติบนตัวกรองละลายรูติดีเซลแบบทั่วไป  $130 \pm 40 \text{ kJ/mol}$  และสำหรับตัวกรองละลายรูติแบบมีชั้น Membrane ประมาณ  $84 \pm 13 \text{ kJ/mol}$  ซึ่งตัวกรองละลายรูติแบบมีชั้น Membrane ใช้พลังงานกระตุ้นสลายสารละลายของรูติลดลง 36% แปรเหล่านี้ซับซ้อนและยุ่งยากแก่การวิเคราะห์และจำลองตะเกียงให้เป็นเครื่องยนต์สมัยใหม่ ความเร็วที่ใช้ในการควบคุมในการไหลเข้าผ่านตัวกรองละลายรูติดีเซลซึ่งกำหนดคงที่ประมาณ  $12 \text{ cm/s}$  อุณหภูมิใช้ในการดักสารละลายของรูติกำหนดอุณหภูมิคงที่  $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$  และในการเผาไหม้สารละลายของรูติโดยให้อุณหภูมิการเผาไหม้เริ่มจาก  $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$  จนถึง  $600 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ซึ่งกำหนดเงื่อนไขคล้ายกับสภาวะใช้งานจริง อุณหภูมิก๊าซร้อนประกอบด้วยไนโตรเจน 93% และออกซิเจน 7% ใช้ฮีทเตอร์ขดลวดเป็นตัวให้อุณหภูมิความร้อนแก่อากาศ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้

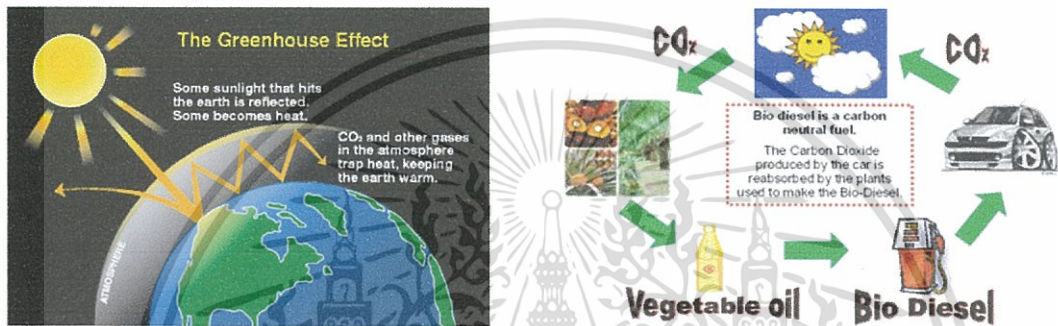
ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านนี้จะเป็แนวทางในงานวิจัยนี้ซึ่งมุ่งศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของสารละลายของรูติ พฤติกรรมการดักและเผาสารละลายของรูติด้วยตัวกรองละลายรูติดีเซล เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาตัวกรองละลายรูติดีเซลเพื่อให้ผ่านมาตรฐานมลพิษสำหรับรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กใช้มาตรฐานมลพิษระดับ 7 หรือเทียบเท่า EURO 4 โดยมีปริมาณสารละลายของรูติไม่เกิน  $0.025 \text{ g/km}$  และในอนาคตประเทศไทยมีแผนการปรับระดับมาตรฐานเป็นระดับ 8 หรือเทียบเท่า EURO 5 โดยกำหนดให้ปริมาณสารละลายของรูติต้องไม่เกิน  $0.005 \text{ g/km}$  ซึ่งในอนาคตอันใกล้ประเทศไทยจะถูกบังคับใช้เพื่อลดมลพิษเพื่อแก้ไขลดปัญหาการเกิดโรคมะเร็งปอดและปัญหาสิ่งแวดล้อมจากมลพิษไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล

## 2.2 เชื้อเพลิงไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (Biodiesel) [13] คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากน้ำมันพืชและสัตว์ที่ผ่านกระบวนการทางเคมี เกิดเป็นสารที่เรียกว่า เมทิลเอสเทอร์ หรือเอทิลเอสเทอร์ ซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซลที่กลั่นจากปิโตรเลียม สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้ดี โดยไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ ซึ่งไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) นั่นคือ การนำเอาน้ำมันพืชหรือสัตว์ที่มีกรดไขมันไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้เอสเทอร์ โดยจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ไบโอดีเซลชนิดเอสเทอร์นี้มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงเชื้อเพลิงดีเซลมากที่สุด ซึ่งข้อดีของไบโอดีเซลมีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

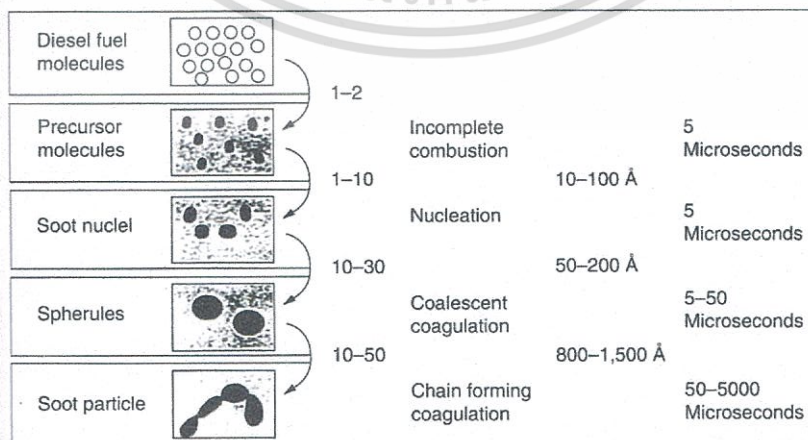
1. สามารถลดการนำเข้าเชื้อเพลิงดีเซลเพราะเป็นเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากพืชในประเทศ ซึ่งเป็นการสร้างความมั่นคงทางพลังงาน ความมั่นคงของภาคเกษตรกรรม เพิ่มการสร้างงานและรายได้ในภาคส่วนที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะเกษตรกรภายในประเทศได้
2. สามารถลดมลพิษจากการเผาไหม้ เช่น สารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารละอองธัญลี และ คาร์บอนมอนอกไซด์ เพราะมีส่วนประกอบของออกซิเจนในโมเลกุลของเชื้อเพลิง ทำให้มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและสุขภาพน้อยลงเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล
3. สามารถลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ที่มีผลโดยตรงต่อสภาวะโลกร้อน เนื่องจากการใช้คาร์บอนที่มีอยู่และหมุนเวียนแบบครบกระบวนการ(Carbon Neutral) ดังแสดงใน ภาพที่ 2.15



รูปที่ 2.15 หลักการทำงานของกระบวนการคาร์บอนนิวตรอนของไบโอดีเซล [14]

### 2.3 การเกิดสารละอองธัญลี

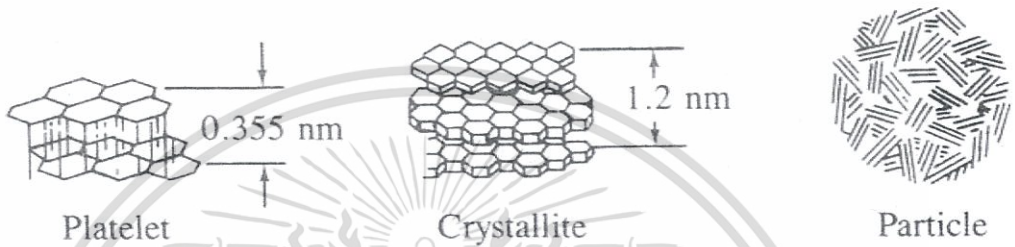
การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงและไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันหล่อลื่นซึ่งอาจจะเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $\text{CO}$ ) เนื่องมาจากการเกิดกระบวนการการออกซิเดชันบางส่วน (Partial Oxidation) การที่มีปริมาณของออกซิเจนไม่เพียงพอในการเผาไหม้ในช่วงบริเวณที่เป็นเปลวไฟแบบแพร่ (Diffusion Flame) สารไฮโดรคาร์บอนในเชื้อเพลิงจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างเคมี (Chemical Transformation) และเมื่อสัดส่วนระหว่างไฮโดรเจนต่อคาร์บอนของมีนลดลง จะก่อให้เกิดการก่อตัวเป็นโมเลกุลเริ่มต้นของสารละอองธัญลี (Soot Precursor) และกลายเป็น Soot Nuclei [15-17]



รูปที่ 2.16 กระบวนการทางกายภาพและทางเคมีของการเกิดสารละอองธัญลีในเครื่องยนต์ [17]

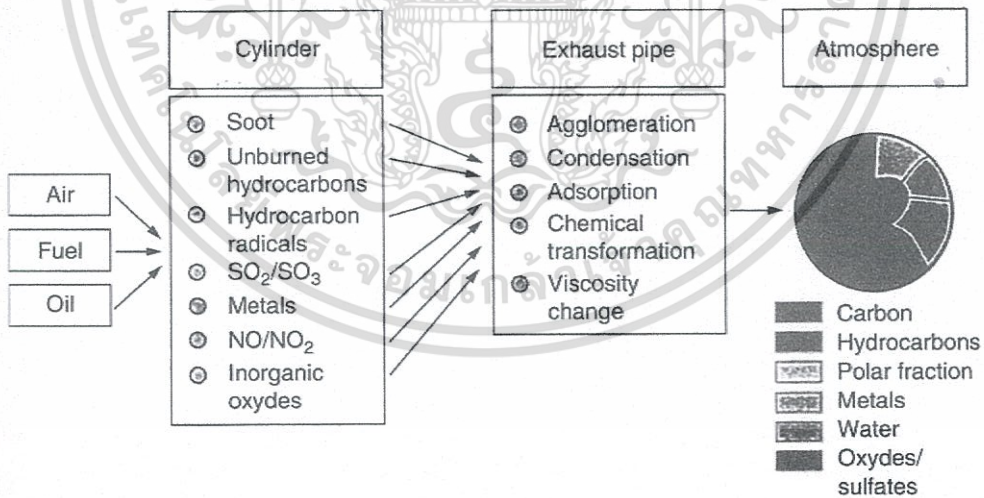
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.16 Soot Nuclei ได้เริ่มจับตัวรวมกันและก่อตัวขึ้นเป็นสารละอองธูรีคาร์บอน (Soot Spherule) ซึ่งจะจับตัวรวมกันแบบต่อเนื่องจนในที่สุดก็กลายเป็นสารละอองธูรีที่สมบูรณ์ และหากมีปริมาณของออกซิเจนที่มากเพียงพอในเปลวไฟ ส่วนที่เป็นสารละอองธูรีก็สามารถเผาไหม้ได้อีก ลักษณะของสารละอองธูรีที่เกิดขึ้นเป็นทรงกลม จะมีการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนเป็นแผ่นๆ (Platelets) แบบ Hexagonal Face-centered โดยมีช่องว่างระหว่างแผ่นประมาณ 0.355 อดังสโตม ซึ่งจะมีขนาดใหญ่กว่าแกรไฟต์เล็กน้อย และในแต่ละแผ่นจะมีการจัดเรียงซ้อนกันเป็นชั้น (Layers) ในแต่ละชั้นจะมีการจัดเรียงชั้นประมาณ 2-5 ชั้น และสารละอองธูรีที่เป็นทรงกลมนี้จะประกอบด้วยผนังประมาณ 100 ผนัง ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของอนุภาคคาร์บอน [17]

และปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ดีเซลนั้นก็สามารถที่จะส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพในท่อไอเสีย (Tail Pipe) ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 กระบวนการทางกายภาพและทางเคมีของการเกิดสารละอองธูรีดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การลดปริมาณสารละอองธูรี

ในการลดปริมาณสารละอองธูรีของแข็ง [15-18] สามารถทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

1. การออกแบบเครื่องยนต์และคุณสมบัติของเชื้อเพลิง
2. การใช้วิธีการกรอง (Filtering Devices)

เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งช่วยในการลดปริมาณของสารละอองธูรี ที่ปล่อยออกมาทางท่อไอเสีย แต่วิธีการนี้เมื่อใช้ไประยะเวลาหนึ่งจะเกิดการอุดตันที่ตัวกรองละอองธูรีดีเซล ดังนั้นจึงต้องมีการรีเจนเนอเรชั่นของตัวกรองละอองธูรีดีเซล (Regeneration Process)

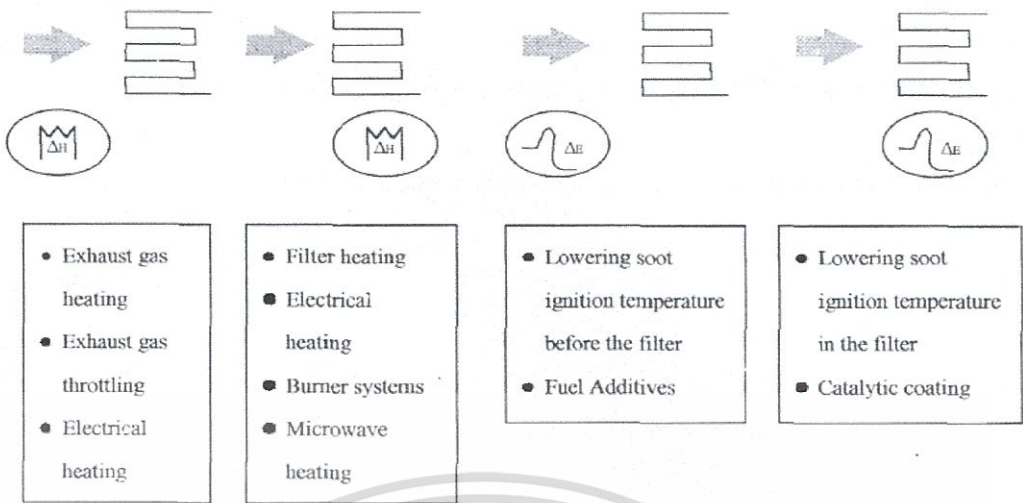
จากรูปที่ 2.19 เราสามารถแบ่งวิธีการรีเจนเนอเรชั่น (Regenerate Filter) ของตัวกรองละอองธูรีดีเซลได้ 2 วิธีหลักๆคือ

1. การใช้ความร้อน จะมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะ คือ การเพิ่มหรือให้ความร้อนกับไอเสียก่อนที่จะเข้าตัวกรองละอองธูรีดีเซล หรือการให้ความร้อนกับตัวกรองละอองธูรีดีเซล เช่น การฉีด Post Injection ในเครื่องยนต์ดีเซลแบบวางร่วม ซึ่งเป็นการให้ความร้อนนั้น สามารถที่จะทำได้หลายวิธีเช่น การให้ความร้อนแบบใช้ไฟฟ้า (Electrical Heating) กับไอเสียก่อนที่จะเข้าสู่ตัวกรองละอองธูรีดีเซล หรือ การติดตั้งระบบหัวเผา (Burner Systems) ในส่วนที่เป็นตัวกรองละอองธูรีดีเซล เป็นต้น แต่ปัญหาของวิธีเหล่านี้ก็คือ ความซับซ้อนของระบบและราคาที่สูง นอกจากนี้ความแตกต่างของอุณหภูมิที่อาจเกิดขึ้นภายในตัวกรองละอองธูรีดีเซลจะส่งผลให้เกิดการขยายตัวของวัสดุที่ไม่เท่ากันและก่อให้เกิดความเค้นยึดขึ้น (Tensile Stress) ให้ความคงทนของตัวกรองละอองธูรีดีเซลลดลง
2. การใช้สารที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อลดอุณหภูมิจุดติดไฟของสารละอองธูรี หมายความว่าอุณหภูมิที่ทำให้สารละอองธูรีเริ่มเกิดการเผาไหม้ ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยานี้จะมีใช้กันอยู่ 2 รูปแบบ คือ

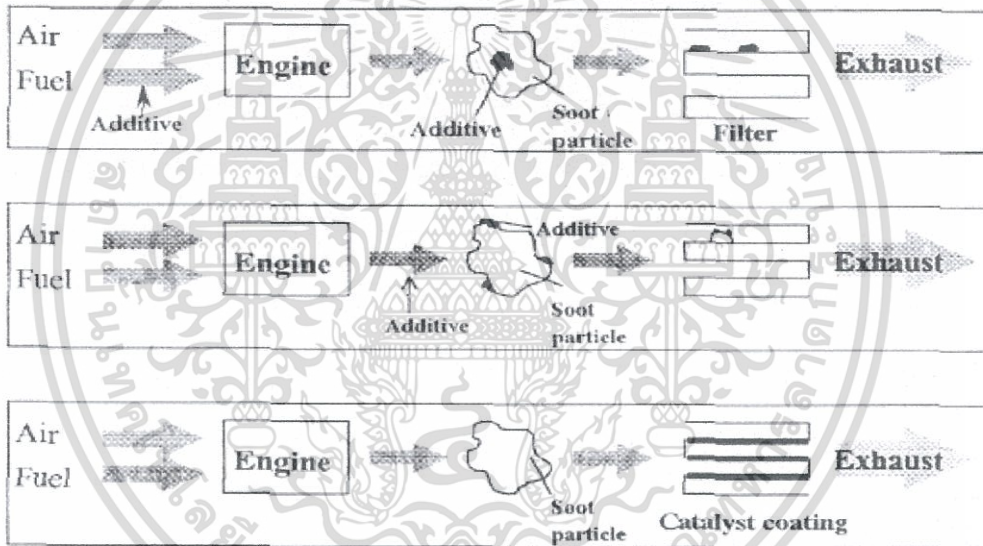
2.1. เป็นสารเติมแต่งคุณภาพในเชื้อเพลิง (Fuel Additive)

2.2. เป็นสารเคลือบที่ตัวกรองละอองธูรีดีเซล (Catalytic Coating)

ซึ่งเป็นการใช้สารที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้น สามารถที่จะทำได้ 3 แนวทางด้วยกัน ดังรูปที่ 2.20 โดยในแนวทางที่ 1 นั้น จะเป็นการเติมสารลดปริมาณการเกิดสารละอองธูรีในเชื้อเพลิงที่เติมในเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นวิธีการที่แต่ละบริษัทผู้ผลิตเชื้อเพลิงได้มีการใช้กันอยู่แล้ว ส่วนในแนวทางที่ 2 จะเป็นการเติมสารที่จะช่วยให้สารละอองธูรีเกิดการเผาไหม้ในช่วงระหว่างที่ไอเสียออกมาจากเครื่องยนต์และก่อนที่ไอเสียนั้นจะเข้าสู่ตัวกรองละอองธูรีดีเซล แต่แนวทางนี้ก็จะมีความยากในด้านการที่จะทำให้สารเติมแต่ง (Additive) นั้นกระจายจับกับอนุภาคสารละอองธูรีได้ทั่วถึง และโอกาสของกา รั่วออกมาสู่บรรยากาศของสารเติมแต่งนั้นก็ยังมีสูง ส่วนในแนวทางที่ 3 เป็นการเคลือบสารเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้สารละอองธูรีข้างในตัวตัวกรองละอองธูรีดีเซล



รูปที่ 2.19 วิธีลดปริมาณการปล่อยสารละอองธู้ออกสู่บรรยากาศ [22-23]



รูปที่ 2.20 แนวทางการใช้สารที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [22-23]

### 2.5 ตัวกรองละอองธูดีเซลในไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Particulate Filter : DPF)

สารละอองธูที่ออกมาจากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลสามารถควบคุมได้โดยใช้ตัวกรองละอองธูดีเซล ซึ่งจะต้องมีลักษณะพิเศษคือต้องทนอุณหภูมิสูงของไอเสียได้และสามารถทำความสะอาดตัวเองได้ ตามปกติจะกระทำโดยการออกซิไดซ์สารละอองธูที่สะสมอยู่ในตัวกรองละอองธูดีเซล ซึ่งเรียกว่าระบบรีเจนเนอเรชั่นตัวกรองละอองธูดีเซล (Regeneration Process) [17] ตัวกรองละอองธูดีเซลมีหลายชนิด เช่นชนิดรังผึ้งเซรามิก (Ceramic Monoliths) ชนิดตะแกรงลวดเคลือบอะลูมินา (Alumina-coated Mesh) ชนิดโฟมเซรามิก (Ceramic Foam) และแผ่นใยเซรามิก (Ceramic Fiber Mat) เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดจะมีการสูญเสียความดันและประสิทธิภาพการกรองแตกต่างกันในแต่ละชนิด

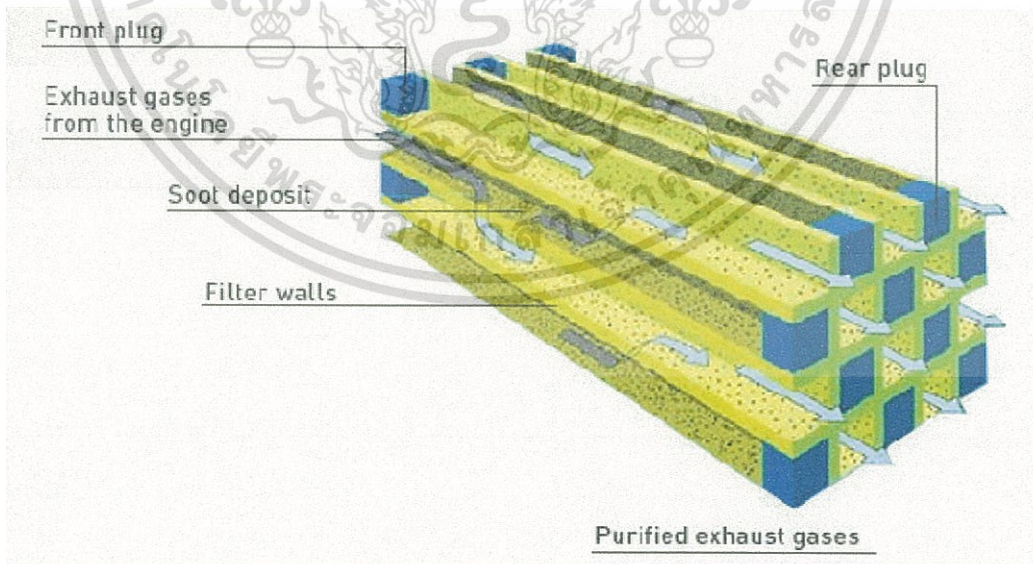
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1 ข้อดีและข้อเสียของตัวกรองละอองธูรีตีเซล

1. ตัวกรองละอองธูรีตีเซลแม้จะสะอาดแต่ก็ไปเพิ่มความดันในระบบไอเสีย
2. ความดันนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อตัวกรองละอองธูรีตีเซลดักเก็บสารละอองธูรีตีไว้มากขึ้น
3. ภายใต้สภาวะการทำงานปกติของเครื่องยนต์ดีเซล สารละอองธูรีตีที่เก็บสะสมไว้จะไม่สามารถติดไฟและออกซิไดซ์ได้เองเนื่องจากอุณหภูมิของไอเสียไม่เพียงพอทำให้สารละอองธูรีตีเกิดการออกซิเดชันได้
4. เมื่อเกิดการออกซิไดซ์ของสารละอองธูรีตี กระบวนการเผาไหม้จะต้องถูกควบคุมอย่างใกล้ชิดเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไป และไม่ทำให้ตัวกรองละอองธูรีตีเซลเกิดความเสียหายได้ [17]

### 2.5.2 ตัวกรองละอองธูรีตีเซลไหลผ่านทุกส่วนชนิดรังผึ้ง (Ceramic Monoliths or Full Flow Diesel Particulate Filter : DPF)

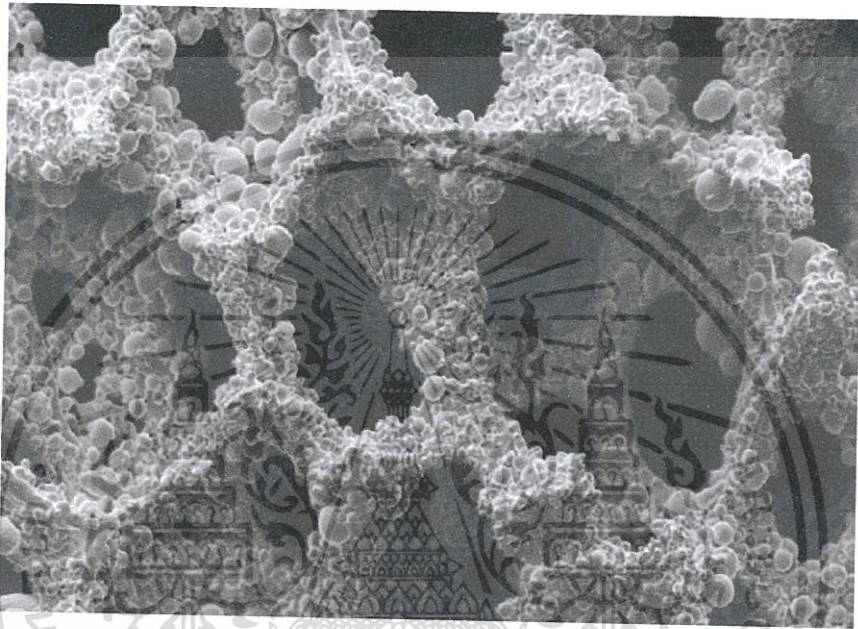
ด้านหนึ่งของช่อง (Cell) ถูกปิดไว้ที่ปลายทางเข้าและอีกด้านหนึ่งของช่องถูกปิดไว้ที่ปลายทางออกสลับกัน ทำให้ไอเสียที่มีสารละอองธูรีตีถูกบังคับให้ไหลผ่านผนังของช่องที่เป็นเซรามิกซึ่งมีรูพรุน ด้านนอกของรังผึ้งถูกหุ้มไว้ด้วยฉนวนและตัวกรองละอองธูรีตีเซลถูกติดตั้งไว้ใกล้กับเครื่องยนต์เพื่อรักษาอุณหภูมิของตัวกรองละอองธูรีตีเซลให้สูงไว้เท่าที่จะเป็นไปได้ เมื่อตัวกรองละอองธูรีตีเซลมีสารละอองธูรีตีสะสมไว้มากขึ้น ความดันตกคร่อมก็จะเพิ่มเข้ามาทำให้ต้องมีการฉีดเชื้อเพลิงเข้ามามากขึ้นเพื่อชดเชยกำลังที่สูญเสียไป ส่งผลให้อุณหภูมิของไอเสียสูงขึ้น ซึ่งผลสุดท้ายก็จะทำให้เกิดการจุดระเบิดของสารละอองธูรีตีโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการออกซิไดซ์สารละอองธูรีตีนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของตัวกรองละอองธูรีตีเซล ซึ่งตัวกรองละอองธูรีตีเซลชนิดนี้จะลดสารละอองธูรีตีที่ออกมากับเครื่องยนต์ดีเซลได้ถึงร้อยละ 70 หรือมากกว่า คุณสมบัติการทำงานได้ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงทิศทางการไหลของไอเสียไหลผ่านตัวกรองละอองธูรีตีเซลชนิดไหลผ่านทุกส่วน

### 2.5.3 ตัวกรองละอองธูสดีเซลไหลผ่านทุกส่วนชนิดโฟมเซรามิก (Ceramic Foam)

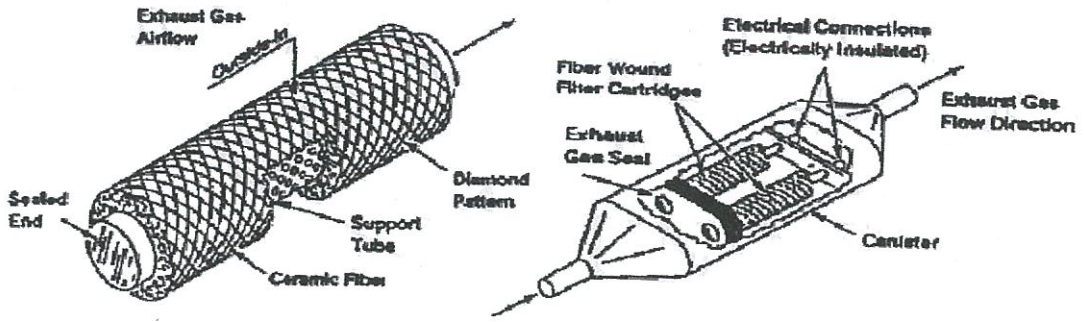
ตัวกรองละอองธูสดีเซลชนิดนี้ ขนาดของเม็ดโฟมจะต้องมีขนาดเล็กเพียงพอที่จะดักกรองสารละอองธูสของไอเสีย เมื่อนำเม็ดโฟมเซรามิกบรรจุลงในตัวกรองละอองธูสดีเซลจะต้องมีช่องหรือรูพรุนเพื่อให้สารละอองธูสไหลผ่านช่องระหว่างเม็ดโฟมเซรามิกและในขณะเดียวกันก็จะทำให้เม็ดโฟมเซรามิกจับหรือสะสมสารละอองธูสไว้รอบๆเม็ดโฟม ส่วนไอเสียที่ผ่านการดักกรองไหลต่อไปตามท่อไอเสียและออกสู่บรรยากาศต่อไป ทั้งนี้สำหรับการติดตั้งตัวกรองละอองธูสดีเซลจะต้องอยู่ใกล้กับเครื่องยนต์เพื่อรักษาอุณหภูมิให้สูงในระดับหนึ่งที่จะเป็นได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ลักษณะของตัวกรองละอองธูสดีเซลไหลผ่านทุกส่วนชนิดโฟมเซรามิก

### 2.5.4 ตัวกรองละอองธูสดีเซลไหลผ่านบางส่วนชนิดแผ่นใยเซรามิกหรือไฟเบอร์ (Ceramic Fiber Mat or Partial Flow Diesel Particulate Filter)

ตัวกรองละอองธูสดีเซลชนิดนี้ จะนำแผ่นใยเซรามิกหรือไฟเบอร์มาวางซ้อนกันเป็นชั้นๆ ซึ่งจะทำให้ไอเสียที่ไหลผ่านตัวกรองละอองธูสดีเซลชนิดนี้ จะนำแผ่นใยเซรามิกหรือไฟเบอร์มาวางซ้อนกันเป็นชั้นๆ ซึ่งจะทำให้ไอเสียที่ไหลผ่านตัวกรองละอองธูสดีเซล จะถูกดักกรองสารละอองธูสตามขนาดของรูพรุนหรือช่องของตัวกรองละอองธูสดีเซลจากไอเสียที่ผ่านเข้าตัวกรองละอองธูสดีเซล ก็จะไหลตามท่อและออกสู่บรรยากาศต่อไป ลักษณะของตัวดักกรองชนิดนี้ดังรูปที่ 2.23

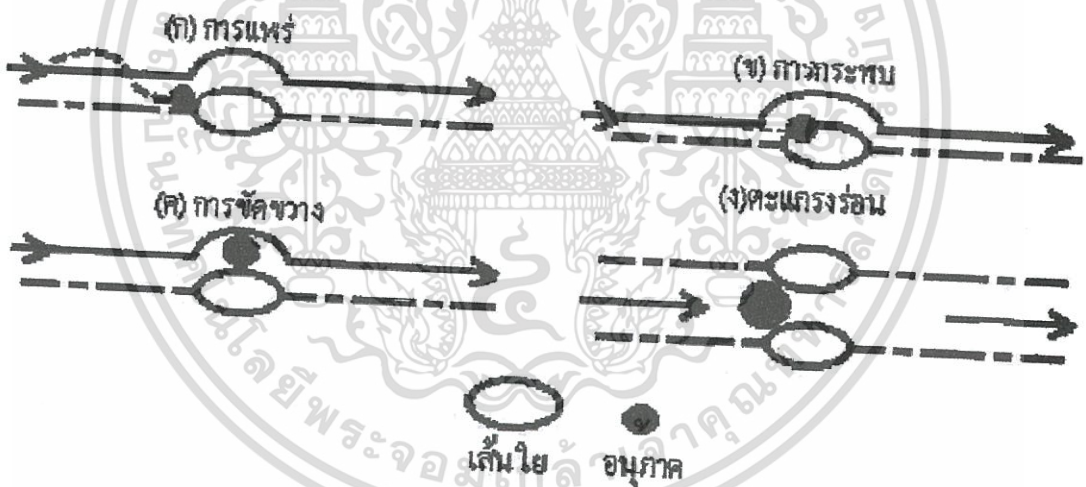


รูปที่ 2.23 ลักษณะของตัวดักกรองสารละอองรูเล็ดเซลชนิดแผ่นใยเซรามิก [20]

## 2.6 หลักการพื้นฐานการดักกรองสารละอองรูเล็ด [20]

### 2.6.1 กลไกการเคลื่อนตัวของสารละอองรูเล็ด

กลไกการเคลื่อนที่ของสารละอองรูเล็ดจะถูกจับหรือเกาะติดกับวัสดุพรมของตัวกรองละอองรูเล็ดเซลโดยกลไกที่สำคัญ 4 กลไก คือ การกระทบ การแพร่ การขัดขวาง และตะแกรงร่อน ดังที่แสดงไว้ในรูป 2.24 ซึ่งมีกลไกการทำงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.24 กลไกการเคลื่อนตัวของสารละอองรูเล็ด [20]

1. การแพร่ (Diffusion) การแพร่ของสารละอองรูเล็ดเป็นแบบบราวเนียน (Brownian Movement) ซึ่งเกิดจากการชนกันระหว่างสารละอองรูเล็ดทำให้สารละอองรูเล็ดเคลื่อนที่แบบมีทิศทางไม่แน่นอน จนไปชนกับผนังวัสดุพรมของตัวกรองละอองรูเล็ดเซล การแพร่แบบบราวเนียน (Brownian Movement) นี้จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นเมื่อสารละอองรูเล็ดมีขนาดเล็กลง ดังนั้นกลไกการแพร่จะช่วยดักกรองสารละอองรูเล็ดขนาดเล็ก แสดงดังในรูป 2.24 (ก)

2. การกระทบ (Impaction) เกิดเมื่อสารละอองรูเล็ดไม่สามารถหักหลบสิ่งกีดขวางได้ทันเนื่องจากแรงเฉื่อย ทำให้สารละอองรูเล็ดเองหลุดออกจากเส้นกระแสอากาศ จึงชนและฝังติดกับสิ่งกีดขวางนั้นเพราะแรงกระแทกของสารละอองรูเล็ด กลไกส่วนใหญ่เกิดกับสารละอองรูเล็ดที่มีขนาดใหญ่และมีความเร็วสูง แสดงดังในรูปที่ 2.24 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การขัดขวาง (Interception) การไหลของอากาศเมื่อผ่านผนังความพรุนของตัวกรองละอองรูลิตีเซล เส้นกระแสการไหลของอากาศจะไหลโค้งรอบวัสดุพรุน อนุภาคที่ปะปนมากับอากาศอาจไหลตามเส้นกระแสผ่านไปหรืออาจหลุดออกจากเส้นกระแสติดกับวัสดุพรุนก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเส้นกระแสกับวัสดุพรุน ถ้าระยะนี้มีค่าเท่ากับรัศมีของสารละอองรูลิตีเซล ซึ่งสารละอองรูลิตีเซลจะติดกับวัสดุพรุนเพราะแรงวันเดอร์วาล์ว (Van Der Waals Forces) แรงวันเดอร์วาล์วเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลและจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างโมเลกุลน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 2.24 (ค)

4. ตะแกรงร่อน (Sieve) เกิดเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่กว่ารูวัสดุพรุนของตัวกรองละอองรูลิตีเซลซึ่งทำให้ไม่สามารถผ่านไปได้ ความเร็วของอนุภาคนั้นคำนวณได้จากระยะทางที่อนุภาคเจาะทะลุเข้ามาในรูวัสดุพรุนของตัวกรองละอองรูลิตีเซลจนถึงจุดหยุดนิ่ง และเนื่องจากสารละอองรูลิตีเซลส่วนใหญ่มีรูปร่างที่ไม่ราบเรียบ จึงเกิดการขัดกันตรงขอบวัสดุพรุน ทำให้รูของวัสดุพรุนมีขนาดเล็กกลง ซึ่งทำให้สามารถจับสารละอองรูลิตีเซลที่เล็กลงไปได้อีก ดังแสดงในรูปที่ 2.24 (ง)

### 2.6.2 การกรองสารละอองรูลิตีเซลของก๊าซไอเสียขั้นพื้นฐาน

การกรองเป็นวิธีการที่สามารถกำจัดสิ่งเจือปนที่มีอนุภาคเป็นของแข็ง โดยนำวัสดุที่มีรูพรุนมาขวางการไหลของก๊าซไอเสีย ซึ่งจะยอมให้ก๊าซไอเสียผ่านแต่สารละอองรูลิตีเซลที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนนั้น จะถูกดักกรองไว้ด้านหน้าของตัวกรองละอองรูลิตีเซล ส่วนสารละอองรูลิตีเซลขนาดเล็กกว่าจะถูกดักด้วยกลไกอื่นๆดังแสดงในรูปที่ 2.25 โดยตัวกรองละอองรูลิตีเซลที่นิยมใช้มีด้วยกันสองแบบ คือแบบที่หนึ่งเป็นความหนาแน่นของวัสดุพรุน (Packed Filter) ซึ่งมีเนื้อวัสดุพรุนหยาบสานกันหลวมๆแล้วอัดเป็นแผ่นเพิ่มความหนา ใส่กรองแบบเหมาะกับก๊าซที่มีความสกปรกไม่มากนัก ส่วนแบบที่สอง วัสดุพรุนหรืออาจจะเป็นเนื้อขึ้นเดียวทอเป็นผืนผ้า (Single Layer Filter) เหมาะสำหรับการกรองสารละอองรูลิตีเซลหรือออกจากก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล



รูปที่ 2.25 แสดงสารละอองรูลิตีเซลของก๊าซไอเสียถูกดักจับด้วยกลไกต่างๆ [20]

## 2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการดักกรองสารละลายของรูทีเซล

ปัจจัยที่มีผลต่อการดักกรองอนุภาคมลสารของเครื่องยนต์ดีเซล ได้แก่

1. ความหนาแน่นของอนุภาค
2. ความหนาแน่นของเครื่องดักกรอง
3. ความเร็ว และความดันตกคร่อมของก๊าซไอเสียก่อนเข้าเครื่องดักกรอง
4. ขนาดและลักษณะทางกายภาพของเครื่องดักกรอง

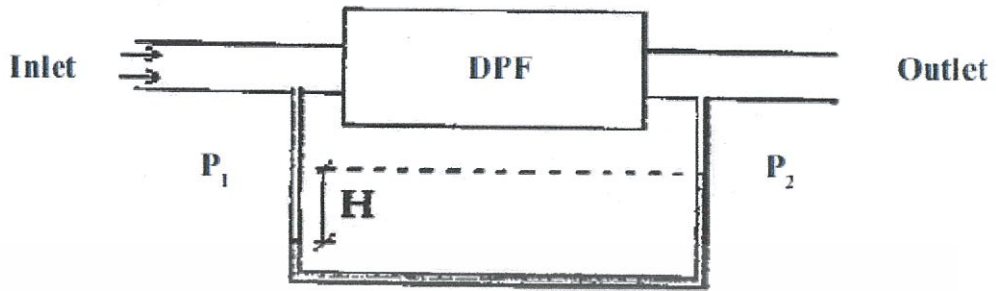
## 2.8 ความดันตกคร่อม (Pressure Drop)

การคำนวณหาความดันตกคร่อมของตัวกรองละลายของรูทีเซลระหว่างขาเข้าและขาออกของตัวกรองละลายรูทีเซลนั้นเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งในการทดลองเนื่องจากความดันตกคร่อมมีผลต่อการศึกษาการใช้ตัวกรองละลายของรูทีเซลในเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล โดยการคำนวณหาค่าความดันตกคร่อมนั้นจะใช้สมการเบอร์นูลีในการคำนวณดังสมการ

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z = H \quad (2.1)$$

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)

การวัดความดันตกคร่อมทำการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดค่าความดันที่ขาเข้าและขาออกของอุปกรณ์ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดความดันตกคร่อม  
จากสมการ (2.1) จะได้ว่า

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho g} \quad (2.2)$$

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = H \quad (2.3)$$

$$\Delta P = \rho g H \quad (2.4)$$

ซึ่ง  $\Delta P$  คือความดันตกคร่อมระหว่างขาเข้าและขาออกของตัวกรองละอองจุลชีพ (kPa)

## 2.9 ทฤษฎีหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูงในการตรวจสอบวัตถุแทนแสงธรรมดา เนื่องจากความยาวคลื่นของลำอนุภาคอิเล็กตรอนนั้นสั้นกว่าความยาวคลื่นแสง 100,000 เท่า ทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสามารถให้ประสิทธิภาพของกำลังขยาย และการแจกแจงรายละเอียดได้เหนือกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโดยสามารถแยกรายละเอียดของวัตถุที่เล็กขนาด 10 อังสตรอม หรือ 0.1 นาโนเมตร (กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงจะแจกแจงรายละเอียดได้ประมาณ 0.2 ไมโครเมตร) จึงทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีกำลังขยายสูงมากถึง 500,000 เท่า แสดงดังแสดงตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ความสามารถของอุปกรณ์ (Capability)	กล้องจุลทรรศน์แบบแสง	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ (SEM)	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)
Source of illumination	Visible light	Electron beam	Electron beam
การแจกแจงรายละเอียดสูงสุด (Best resolution)	200 nm	3-6 nm	0.2 nm
กำลังขยาย (Magnification)	10 – 1,000X	20-150,000X	500-500,000X
ระยะชัดลึก (Depth of field)	0.002-0.05 mm	0.003-1mm	0.004-006mm
ชนิดของเลนส์	แก้ว(Glass)	Electromagnetic	Electromagnetic
ลักษณะของภาพ	ภาพ 2 มิติ	ภาพ 3 มิติ	ภาพ 2 มิติ
สภาวะ	บรรยากาศ	สุญญากาศ	สุญญากาศ

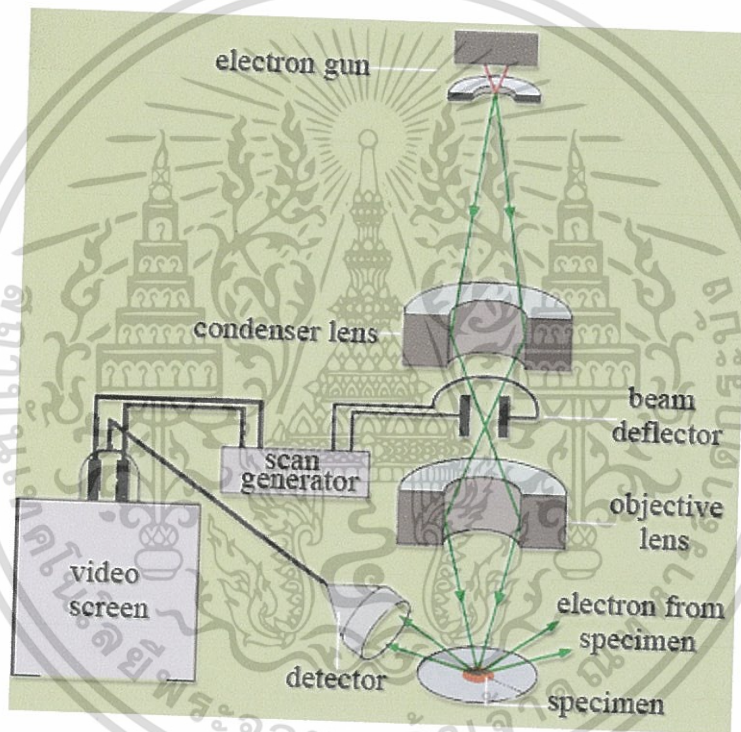
### 2.9.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ (Scanning Electron Microscope : SEM)



รูปที่ 2.27 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.27 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ (Scanning Electron Microscope : SEM) [25-27] และรูปที่ 2.28 หลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ (Video Screen) ได้เลย

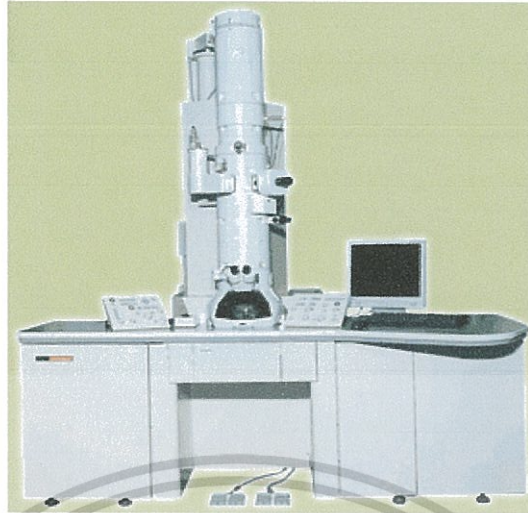


รูปที่ 2.28 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ

### 2.9.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope : TEM)

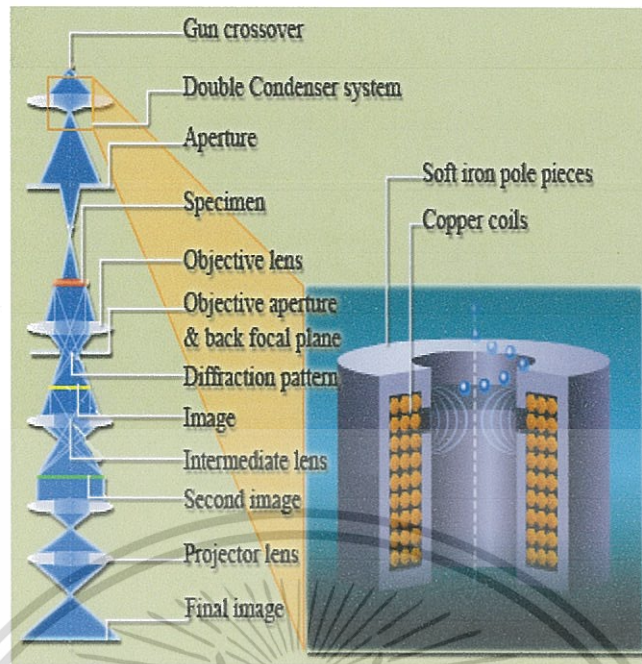
รูปที่ 2.29 เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษาตัวอย่างชนิดบาง ซึ่งเตรียมขึ้นโดยวิธีพิเศษเพื่อให้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนผ่านทะลุได้ การสร้างภาพจากกล้องประเภทนี้จะทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนั่นเอง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) [28] เหมาะสำหรับศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่าง เช่น องค์ประกอบภายในเซลล์ ลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์ ผนังเซลล์ เป็นต้น ซึ่งจะให้รายละเอียดสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีกำลังขยายและประสิทธิภาพในการแจกแจงรายละเอียดสูงมาก (กำลังขยายสูงสุดประมาณ 0.1นาโนเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

รูปที่ 2.30 หลักการทำงานของเครื่อง TEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser Lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างที่จะศึกษา (Specimen) ไป ซึ่งตัวอย่างที่จะศึกษาจะต้องมีลักษณะที่แบนและบางมาก (บ่อยครั้งที่พบว่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1 - 100 นาโนเมตร) จากนั้นจะเกิดการกระเจิงอนุภาคขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนทะลุผ่านตัวอย่างไป และอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนี้ก็จะถูกปรับโฟกัสของภาพโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) ซึ่งเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่ขยายภาพให้ได้รายละเอียดมากที่สุด จากนั้นจะได้รับการขยายด้วยเลนส์ทอดภาพไปสู่จอรับ (Projector Lens) และปรับโฟกัสของลำอนุภาคอิเล็กตรอนให้ยาวพอดีที่จะปรากฏบนฉากเรืองแสงสุดท้ายจะเกิดการสร้างภาพขึ้นมาได้



รูปที่ 2.30 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

## 2.10 เครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (Thermo-gravimetric Analysis: TGA)

รูปที่ 2.31 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน [29] ใช้วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุเมื่อได้รับความร้อนโดยการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง เทคนิคนี้เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับก๊าซหรือระเหยของน้ำและใช้ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างจะถูกวางบนจานขนาดเล็กซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง โดยที่ทั้งหมดจะอยู่ในเตาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ บรรยากาศภายในอาจจะเป็นก๊าซเฉื่อยหรือก๊าซที่มีความว่องไวเช่น อากาศหรือออกซิเจน โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไปจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด โดยน้ำหนักที่หายไปนั้นเกิดขึ้นจากการระเหย การย่อยสลายหรือการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ

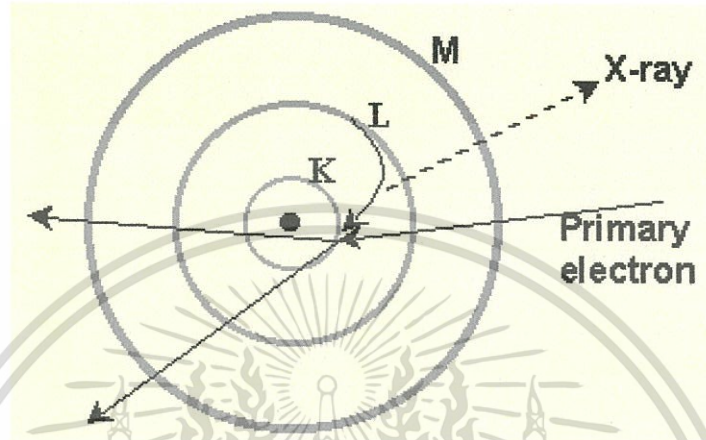


รูปที่ 2.31 เครื่องมือวิเคราะห์ด้วยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน [29]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11 การตรวจสอบชนิดและปริมาณธาตุด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์

การตรวจสอบชนิดและปริมาณธาตุด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (Energy Dispersive X-ray Analysis: EDX) [31] มีหลักการทำงานโดยการกระเจิงของอิเล็กตรอนในชิ้นงาน แล้วปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา ซึ่งรังสีเอกซ์ที่ปล่อยออกมานั้นเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละธาตุที่ปล่อยออกมา



รูปที่ 2.32 หลักการทำงานของรังสีเอกซ์ [31]

การชนของอิเล็กตรอนตั้งต้น จะเข้าไปชนอิเล็กตรอนภายในวงให้หลุดออกไปจากอะตอมจึงเกิดสถานะที่ถูกกระตุ้นคือไม่เสถียรจึงมีความพยายามทำให้เกิดการเสถียร โดยการที่อิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงานวงนอกจะเข้าไปแทนที่ โดยกระโดดลงไปแทนที่ช่องว่างที่อิเล็กตรอนวงในหลุดออกไปแล้วทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ (X-ray Photon) ซึ่งมีพลังงานเท่ากับความแตกต่างของอิเล็กตรอนจากระดับชั้นพลังงานที่เข้ามาแทนที่กันดังรูป 2.32 และผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยหลักการนี้จะแสดงในรูปของกราฟระหว่างระดับพลังงานและจำนวนอิเล็กตรอนที่ปลดปล่อยออกมา ทำให้สามารถวิเคราะห์ชิ้นงานได้ว่ามีองค์ประกอบของธาตุใดบ้างและมีปริมาณเป็นสัดส่วนเท่าใด [31]

## 2.12 เครื่องวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน (CHN Analyzer)

หลักการในการวิเคราะห์ของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ซึ่งมีหลักการทำงานดังต่อไปนี้ เครื่องวิเคราะห์ธาตุคาร์บอนไฮโดรเจน และไนโตรเจน (CHN Analyzer) [32] หรืออาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เครื่องวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ (Organic Elemental Analyzer) เป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้หาปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ต่างๆ ในเครื่องมือบางรุ่นสามารถใช้วิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟอร์ (S) ได้ด้วย

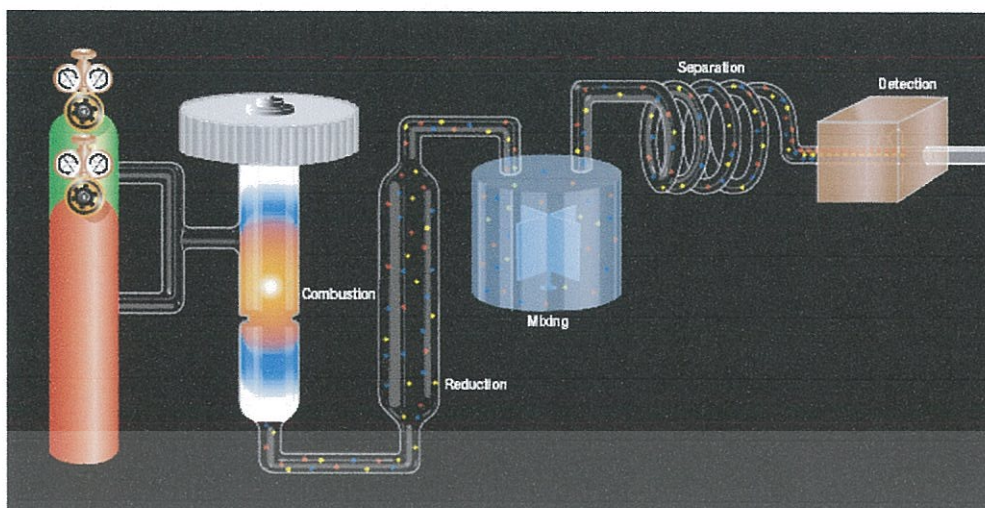
หลักการทำงานของเครื่องมือในการหาปริมาณธาตุเหล่านี้อาศัยการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว (Flash Combustion) เพื่อเปลี่ยนธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในตัวอย่างไปเป็นแก๊สที่สัมพันธ์กับธาตุนั้นๆ อย่างมีสัดส่วนที่แน่นอน เช่น ธาตุไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแก๊สไนโตรเจน ( $N_2$ ) ธาตุคาร์บอนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) และธาตุไฮโดรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นไอน้ำ ( $H_2O$ ) จากนั้นจึงแยกแก๊สผสมออกจากกันเพื่อหาปริมาณแก๊สแต่ละชนิดต่อไป

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเครื่องทดสอบรุ่น 2400 CHN Elemental Analyzer ของบริษัท Perkin Elmer มีลักษณะของเครื่องมือแสดงดังรูป 2.33 และแผนผังการทำงานดังรูป 2.34 เครื่องมือมีหลักการวิเคราะห์คล้าย ๆ กันกับที่กล่าวมาข้างต้น ในการวิเคราะห์ตัวอย่างปริมาณประมาณ 2-3 มิลลิกรัมจะถูกบรรจุในแคปซูลดีบุกและนำไปวางในระบบสุ่มตัวอย่างอัตโนมัติ จากนั้นจะถูกนำไปหย่อนลงใน Reaction Chamber ที่มีออกซิเจนมากเกินพอ ที่อุณหภูมิประมาณ  $990^{\circ}\text{C}$  ซึ่งอาจจะเกิดแก๊สต่าง ๆ รวมทั้งเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ขึ้นบ้างแม้จะมีออกซิเจนมากเกินพอ และจะเกิดออกซิเดชันโดยสมบูรณ์เมื่อผ่านไปยังคอลัมน์ที่บรรจุทังสเตนไดรอกไซด์ ซึ่งใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะให้แก๊สผสม  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{NO}_x$  รวมทั้ง  $\text{O}_2$  ที่เกินพอเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะไหลผ่าน Silica Tube ที่บรรจุด้วยผงโลหะทองแดง (Copper Granules) ซึ่งบริเวณนี้จะมีอุณหภูมิ  $500^{\circ}\text{C}$  ซึ่ง  $\text{O}_2$  ที่เหลือเข้ามาจะถูกจับไว้ และ  $\text{NO}_x$  จะถูกเปลี่ยนไปเป็น  $\text{N}_2$  จากนั้นอาจมีคอลัมน์สำหรับจับ  $\text{SO}_2$  และแก๊สเฮไลด์ ก่อนที่แก๊สผสมจะถูกพาโดยแก๊สฮีเลียมไปยัง Chamber ที่ควบคุมปริมาตรและความดัน และจะถูกนำไปผ่านการแยกด้วยระบบ Zone Chromatography ซึ่งจะให้สัญญาณออกมาในรูปขั้นบันได (Staircase) ดังรูป 4 ความสูงของขั้นบันไดจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของแก๊สต่าง ๆ ที่ถูกแยกออกมา จึงสามารถหาปริมาณได้โดยเทียบกับสารมาตรฐาน โดยมี Detection Limit สำหรับกรณีใช้สารตัวอย่าง 2-3 มิลลิกรัม อยู่ที่ประมาณ 0.05 w% (~500 ppm) โดยมีความคลาดเคลื่อนประมาณ  $\pm 0.02$  w%



รูป 2.33 เครื่องมือวิเคราะห์สารละลายของซูลิด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจนและไนโตรเจน ของบริษัท Perkin Elmer



รูป 2.34 แผนผังการทำงานของเครื่องมือ

## 2.13 การศึกษาองค์ประกอบของสารประกอบโดยใช้วิธีการกลั่นตัวของเชื้อเพลิง (Distillation)

### 1. ความสำคัญในการใช้ศึกษาคุณสมบัติการกลั่นสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

1.1 วิธีพื้นฐานในการหาช่วงการกลั่นของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมด้วยการกลั่น [33] เป็นวิธีที่ใช้กันมานานในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม มันเป็นหนึ่งในวิธีทดสอบที่เก่าที่สุดโดย ASTM Committee D02 กำหนด เมื่อวิธีการทดสอบนี้ถูกใช้มาเป็นเวลานาน ทำให้ได้ข้อมูลจำนวนมากและมีประสบการณ์ในการนำมาช่วยในการประเมินในส่วนของผลิตภัณฑ์และปรับกระบวนการผลิต

1.2 ค่า Volatility เป็นคุณลักษณะที่สำคัญของ Hydrocarbon ที่บ่งบอกถึง ความปลอดภัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นคุณสมบัติในการจำแนกกระหว่างความเป็น เชื้อเพลิง และตัวทำละลาย Boiling Range ให้ข้อมูลเกี่ยวกับ องค์ประกอบ คุณสมบัติ การจัดเก็บ และการใช้งาน การทดสอบหา Volatility เป็นข้อหลัก เพื่อหาแนวโน้มของ Hydrocarbon Mixture ที่อาจก่อให้เกิดการระเบิดของไอระเหย

1.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การกลั่น เป็นคุณลักษณะสำคัญในการพิจารณาของทั้ง Automotive และ Aviation Gasolines ในแง่ของ การติดเครื่อง การ Warm Up และแนวโน้มการเกิด Vapour Lock ขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่อุณหภูมิสูง หรือ บินในระดับสูง หรือทั้ง 2 กรณี การที่องค์ประกอบ มีจุดเดือดสูงในเชื้อเพลิงเหล่านี้หรือเชื้อเพลิงอื่น ๆ มีนัยสำคัญต่ออัตราการเกิด Solid Combustion Deposits

1.4 อัตราการระเหย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการนำไปใช้ประโยชน์ในส่วนของตัวทำละลาย หลายชนิดโดยเฉพาะใช้ในงานสี

1.5 ผลที่ได้จากการกลั่น มักถูกนำไปใช้ในการกำหนด Specification of Petroleum Product ที่ตกลงกันทางการค้าและทางกฎหมาย และการนำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการกลั่นในหอกลั่นแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีดำเนินการวิจัย (Research Methodology)

### 3.1 แนวคิดในการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการตกและการรีเจนเนอเรชันของตัวกรองละอองธูรีดีเซลจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและดีเซล โดยแบ่งแนวคิดในการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

1. แนวคิดของการศึกษาขนาดของสารละอองธูรีดีเซลแบบอนุภาคเดี่ยวและแบบอนุภาคเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลจากภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจและกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่านเพื่อวิเคราะห์การสลายสารละอองธูรีดีในการทำปฏิกิริยาเคมี [10-12]

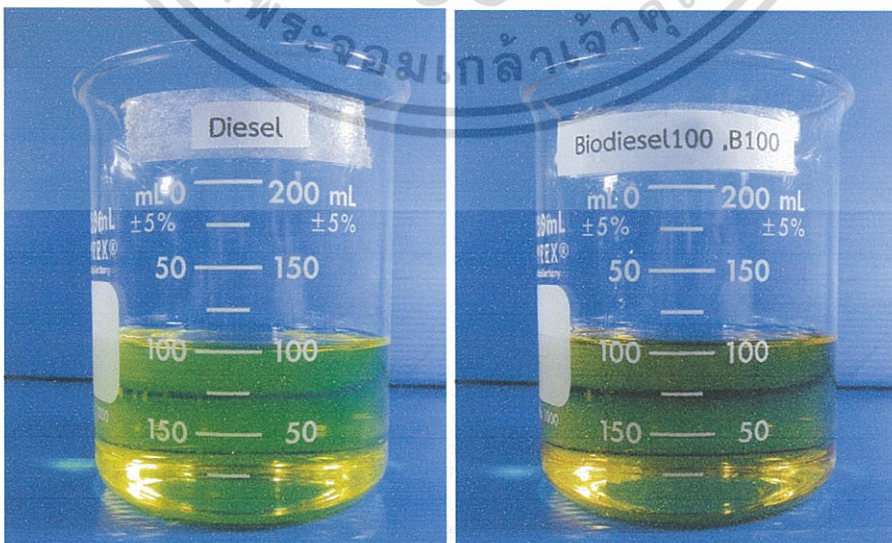
2. แนวคิดในการศึกษาการออกซิไดส์ของสารละอองธูรีดีโดยนำไปทดสอบด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีซึ่งน้ำหนักเชิงความร้อนหลังจากนั้นนำสารละอองธูรีดีเซลและไบโอดีเซลบดผสมผงเซรามิก

แล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีซึ่งน้ำหนักทางความร้อนเพื่อจำลองการออกซิไดส์สารละอองธูรีดีภายใต้สภาวะการทำงานของเครื่องยนต์จริง [22-23]

3. แนวคิดในการออกแบบสร้างชุดทดลองเริ่มต้นกำหนดค่าความเร็วที่ใช้ในตัวกรองละอองธูรีดีเซล เริ่มจากการกำหนดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 3000 rpm และใช้ความจุเครื่องยนต์ที่ปริมาตร 3,000 CC โดยสามารถคำนวณความเร็วไอเสียที่ไหลผ่านตัวกรองละอองธูรีดีเซล 11.31 cm/s หลังจากนั้นทำการสร้างระบบการดักสารละอองธูรีดีโดยควบคุมอุณหภูมิไอเสีย 200 °C อ้างอิงตามสภาพการทำงาน of เครื่องยนต์จริงและสร้างระบบรีเจนเนอเรชันของตัวกรองละอองธูรีดีเซลโดยควบคุมอุณหภูมิไอเสีย 550 °C [10-12]

### 3.2 ตัวอย่างของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิง



รูปที่ 3.1 แสดงถึง (ซ้าย) เชื้อเพลิงดีเซลและ (ขวา) ไบโอดีเซลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด ได้แก่ ดีเซลล้นวน (B0) ซึ่งทดสอบโดย บริษัท ปตท.จำกัด มหาชน และไบโอดีเซล (B100) ที่ผลิตและจำหน่ายตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 2313-2549) ซึ่งผลิตมาจากน้ำมันปาล์มโอลีน นำมาจากบริษัทน้ำมันพีชปทุม ค่าคุณสมบัติทางกายภาพของทั้งสองเชื้อเพลิงได้แสดงดังตารางที่ 3.1 เชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยการนำเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลส่งไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติการกลั่นของเชื้อเพลิงดีเซลโดยใช้มาตรฐาน ASTM D 86 ในการทดสอบและสำหรับเชื้อเพลิงไบโอดีเซลใช้มาตรฐาน ASTM D1160 ในการทดสอบ โดยส่งเชื้อเพลิงดังกล่าวไปวิเคราะห์ที่ฝ่ายวิเคราะห์คุณภาพ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ซึ่งผลการทดลองจะนำเสนอในบทที่ 4

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้

ลำดับ	คุณสมบัติ	ดีเซล (B0)		ไบโอดีเซล (B100)		หน่วย
		วิธีการทดสอบ	ค่าวิเคราะห์	วิธีการทดสอบ	ค่าวิเคราะห์	
1	Flash Point °C	ASTM D 93	68.0	ASTM D 93	184.5	°C
2	Kinematic Viscosity @ 40 °C	ASTM D 445	3.199	ASTM D 445	4.5	mm <sup>2</sup> /sec
3	Water	ASTM D 2709	<0.005	EN ISO 12937	0.028	%wt
4	Lower Heating Value	ASTM D 240	43.0	ASTM D 240	38.20	MJ/kg
5	Cetan Number	ASTM D 976	57.72	ASTM D 6890	68.2	-

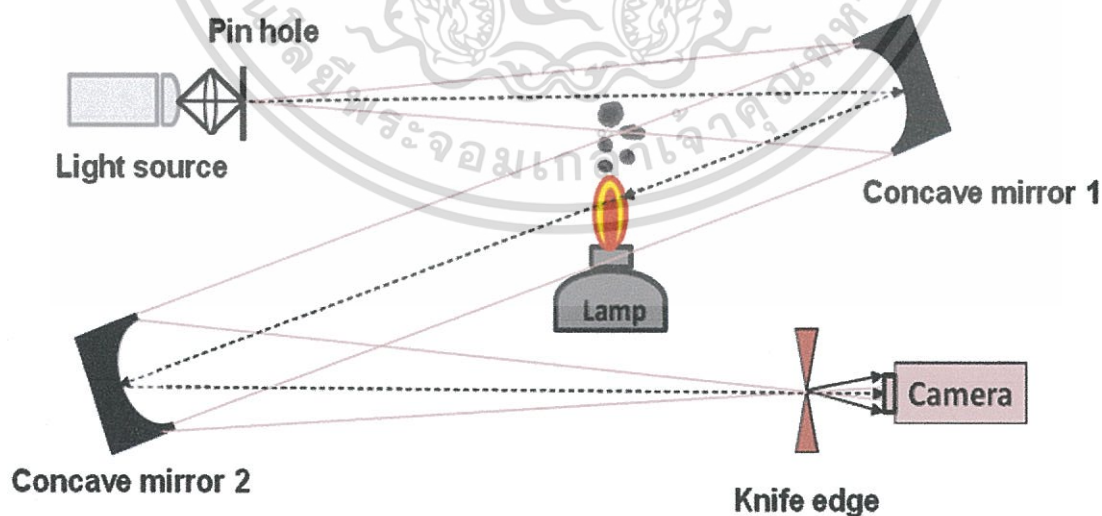
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีการศึกษาปริมาณสารละลายของรูลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

ในการดำเนินการศึกษาปริมาณของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลโดยใช้การถ่ายภาพด้วยวิธีซูรีเรน (Schlieren Photography Technique) สามารถวิเคราะห์จากความเข้มของเปลวไฟแบบแพร่ซึ่งบ่งบอกถึงความแตกต่างของปริมาณสารละลายรูลีได้ซึ่งจะนำเสนอในบทที่ 4 ซึ่งข้อดีของระบบการถ่ายภาพด้วยวิธีซูรีเรนคือการเห็นภาพความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างกระจกโค้งตัวที่ 1 (Concave Mirror 1) และกระจกโค้งตัวที่ 2 (Concave Mirror 2) โดยการหักเหของแสงที่ของเปลวไฟแบบแพร่

#### 3.3.1 การเตรียมอุปกรณ์ในการถ่ายภาพด้วยวิธีซูรีเรน

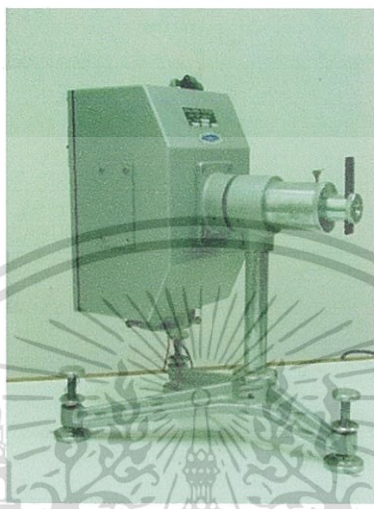
จากรูปที่ 3.2 การถ่ายภาพด้วยเทคนิคซูรีเรนของสารละลายรูลีเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล ซึ่งการเตรียมอุปกรณ์ถ่ายภาพแบบซูรีเรนซึ่งมีหลักการทำงานเริ่มจากแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเลือกใช้หลอดไฟซีนอนได้กำเนิดแสงออกมา ลำแสงนี้จะถูกควบผ่านเลนส์และผ่านการปรับแสงที่ผ่าน จากนั้นลำแสงจะถูกส่งไปกระทบกระจกโค้งตัวที่ 1 จากนั้นลำแสงจะหักเหผ่านชุดทดสอบซึ่งเป็นเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลจากตะเกียง แล้วสะท้อนไปยังกระจกโค้งตัวที่ 2 เพื่อให้ลำแสงหักเหไปยังที่ตำแหน่งโฟกัสซึ่งจะถูกตัดแสงด้วยใบมีดตัดแสง แล้วส่งลำแสงนั้นไปกระทบกับหน้าเลนส์ของกล้องถ่ายภาพแบบทั่วไป ซึ่งรายละเอียดของตะเกียงที่ใช้ทดสอบ ซึ่งจะกล่าวอธิบายในหัวข้อ 3.7.3 ระบบการควบคุมวัดความดันตกคร่อมและอุณหภูมิของตัวกรองละลายรูลีดีเซล เนื่องใจในการถ่ายภาพเปลวไฟของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลได้ถ่ายภาพตอนที่ความสูงของเปลวไฟเผาไหม้สมบูรณ์ซึ่งเปรียบเทียบกับที่ใช้พลังงานที่เท่ากันของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล ซึ่งอุปกรณ์ของเทคนิคการถ่ายภาพแบบซูรีเรนประกอบไปด้วย



รูปที่ 3.2 การถ่ายภาพด้วยเทคนิคซูรีเรนของสารละลายรูลีเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

### 1. ชุดกำเนิดแสง (Light Source)

ชุดกำเนิดแสงนี้เป็นชุดที่ทำให้เกิดแสงสว่างในการทดลองและภายในชุดกำเนิดแสงประกอบไปด้วยหลอดไฟซีนอน (Xenon Lamp HID) ความสว่างแสงขนาด 6,000 K ซึ่งจะได้แสงขาวนวลและบัลลาสต์ขนาด 100 watt จากนั้นแสงถูกควบคุมผ่านเลนส์ผ่านชุดรูตัดแสง (Pin hole) ในการเลือกขนาดความเข้มของแสงที่จะส่งไปกระทบกระจกเงาระนาบตัวที่ 1



รูปที่ 3.3 ชุดกำเนิดแสง (Light Source)

### 2. กระจกโค้ง (Concave mirror)

กระจกโค้งที่ใช้เป็นกระจกโค้ง 2 บาน ใช้ในการหักเหของแสงซึ่ง มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 180 mm ระยะโฟกัส 1,800 mm

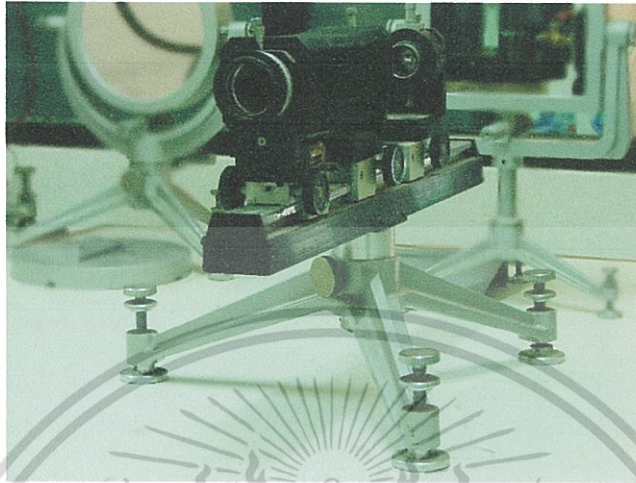


รูปที่ 3.4 กระจกโค้ง (Concave mirror)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ชุดใบมีดตัดแสง (Knife Edge System)

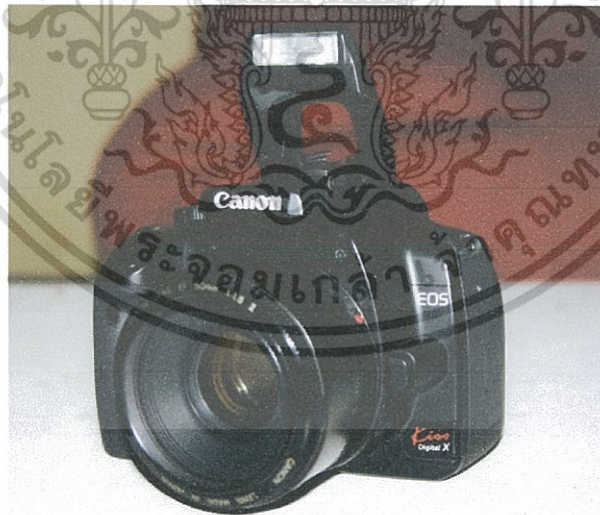
ชุดใบมีดตัดแสงนี้มีหน้าที่ตัดแสงส่วนเกินที่ตำแหน่งโฟกัสหลังกระจกโค้งตัวที่ 2 เพื่อจะได้เห็นภาพชัดยิ่งขึ้น หากเป็นการถ่ายภาพแบบซาโตว์กราฟจะไม่ใช้ชุดใบมีดตัดแสง



รูปที่ 3.5 ชุดใบมีดตัดแสง (Knife edge)

### 4. กล้องถ่ายรูปแบบทั่วไป (Conventional Camera)

กล้องถ่ายรูปใช้ถ่ายภาพพฤติกรรมการเผาไหม้สารละอองธูรีจากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล



รูปที่ 3.6 กล้องถ่ายรูปแบบทั่วไป ยี่ห้อ Canon รุ่น EOS 400D เลนส์ 50 f 1.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 วิธีการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่

#### 3.4.1 วิธีการเก็บตัวอย่างและวิธีการวัดขนาดสารละอองธุลีอนุภาคแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่

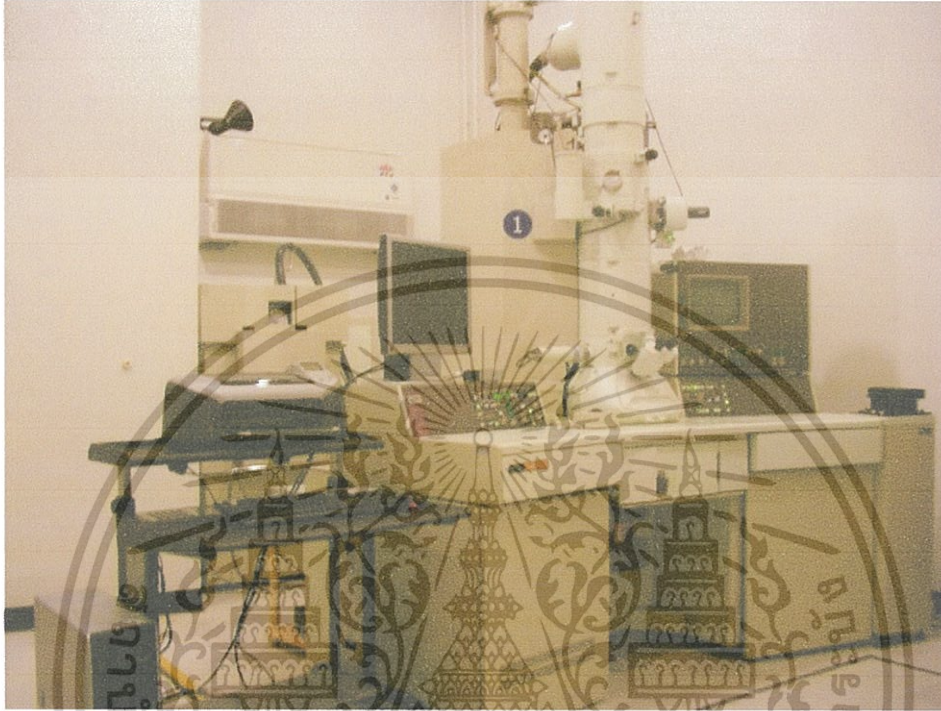
ในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของสารละอองธุลีอนุภาคแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล โดยแบ่งออกเป็นการทำงานขนาดอนุภาคสารละอองธุลีแบบเดี่ยว (Primary Particle) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ รุ่น Hitachi รุ่น s 4700 ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และหาขนาดสารละอองธุลีอนุภาคแบบเดี่ยว โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ รุ่น JEOL JEM-2010 ดังแสดงในรูปที่ 3.8 สำหรับการเตรียมการทดลองสำหรับการหาขนาดของสารละอองธุลีแบบเดี่ยว ตัวแปรควบคุมในการทดลองได้แก่ ความยาวไส้ตะเกียงที่เท่ากัน ปริมาณของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลที่เท่ากัน ความสูงไส้ตะเกียงเพื่อให้พื้นที่ในการเผาไหม้ของเปลวไฟแบบแพร่เหมือนกัน ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลด้วยกรวยดักสารละอองธุลีโดยการควบคุมโดยการชั่งน้ำหนักของปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไป ทำการเก็บสารละอองธุลีของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลโดยทำการจุดและดับตะเกียงทุกๆ 10 วินาที เพื่อควบคุมความสูงของไส้ตะเกียงและเปรียบเทียบเชื้อเพลิงที่พลังงานเท่ากัน หลังจากนั้นทำการเก็บสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลให้มีน้ำหนัก 0.5 g เพื่อที่ปริมาณน้ำหนักของสารละอองธุลีที่เพียงพอในการนำไปทดสอบในส่วนของขนาดและการทำปฏิกิริยาเคมีของสารละอองธุลี ตามรูปที่ 3.9 แสดงถึงสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล หลังจากนั้นเตรียมตัวอย่างสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลในภาชนะขวดพลาสติกแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน หลังจากเตรียมชิ้นงานเสร็จทำการการถ่ายภาพและทำการวัดขนาดของสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลจำนวน 20 ภาพ โดยใช้วิธีเทียบสเกลของขนาดวัดความยาว (x) และความกว้าง (y) บวกกันหาค่าเฉลี่ยของขนาดสารละอองธุลีอนุภาคแบบเดี่ยว  $(x+y)/2$  ซึ่งทำการวัดสารละอองธุลีอนุภาคแบบเดี่ยวจำนวน 100 ก้อน โดยเลือกภาพก่อนสารละอองธุลีที่ชัดที่สามารถวัดได้แล้วทำการวัดหาค่าเฉลี่ยจากจำนวนก้อนสารละอองธุลีทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.10



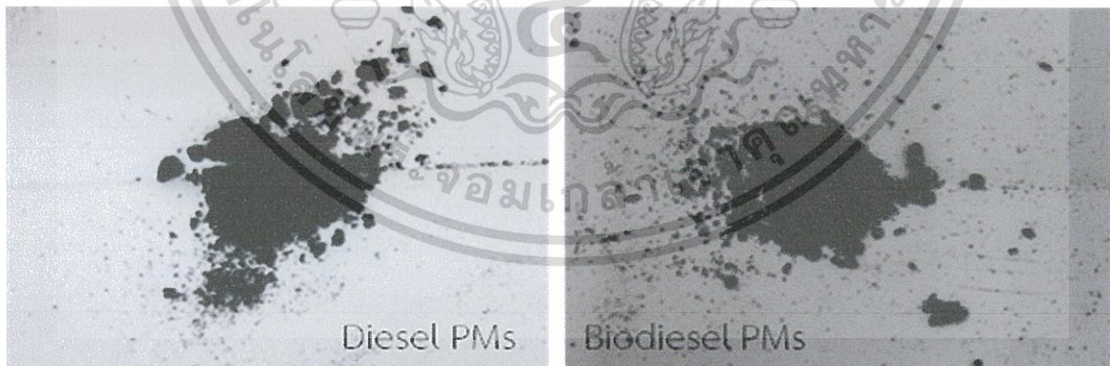
รูปที่ 3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12 ภาพถ่ายของวิธีการวัดขนาดของสารละอองธูลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ ส่วนรูปที่ 3.13 และรูปที่ 3.14 แสดงภาพถ่ายการวัดขนาดสารละอองธูลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน



รูปที่ 3.8 เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

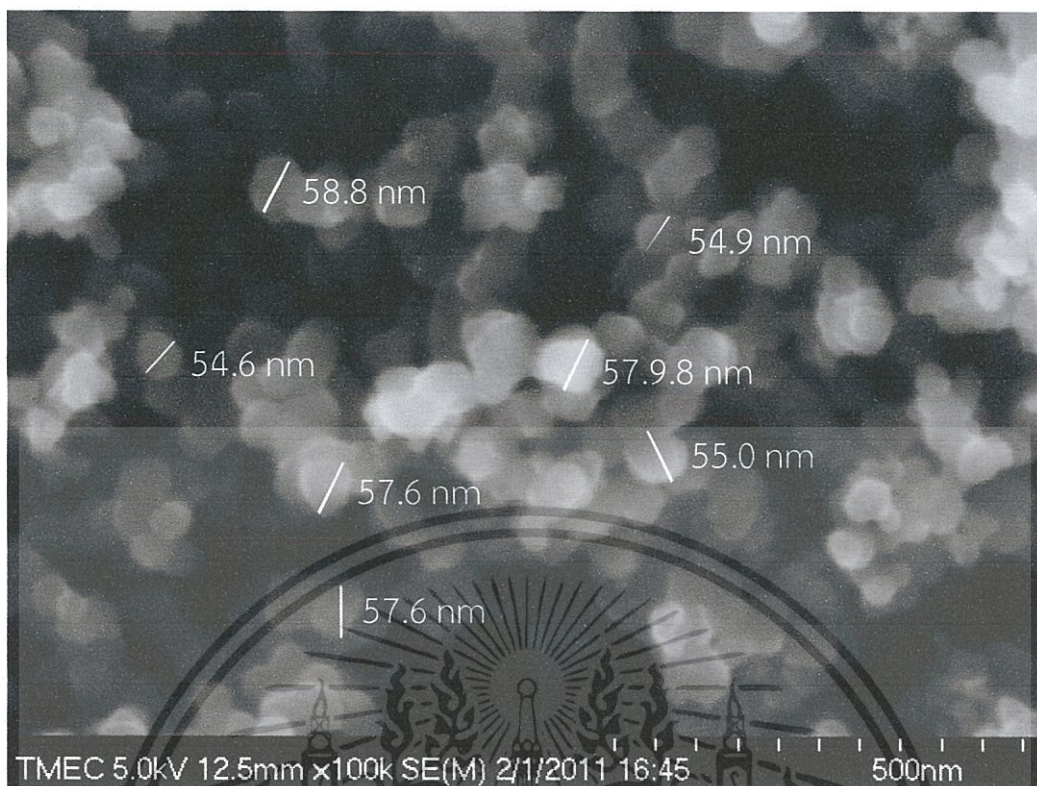


รูปที่ 3.9 สารละอองธูลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

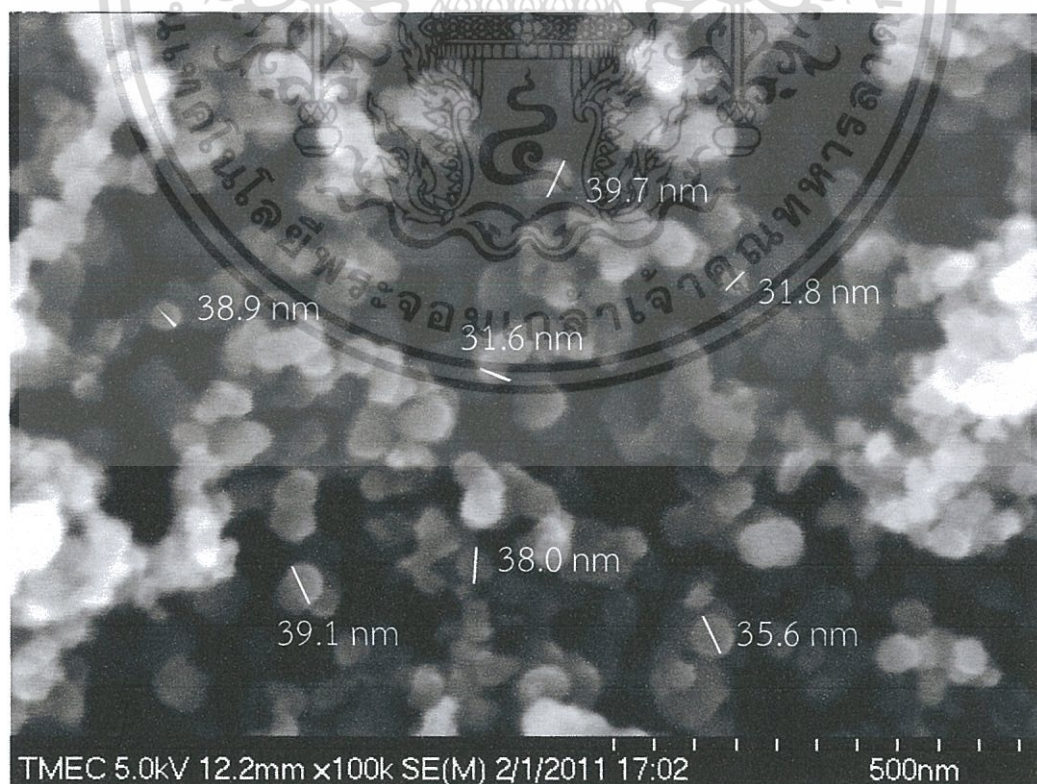


$$(X+Y)/2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 3.10 วิธีการวัดขนาดของสารละอองธูลีอนุภาคแบบเดี่ยว ้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

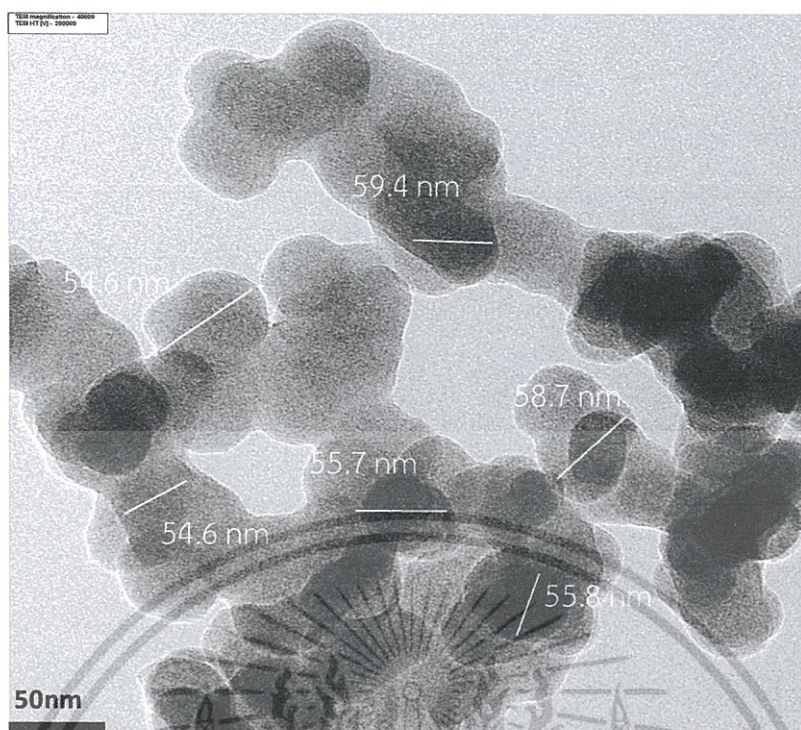


รูปที่ 3.11 ภาพถ่ายการวัดขนาดของสารละอองรูกลีอนุภาคแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซล

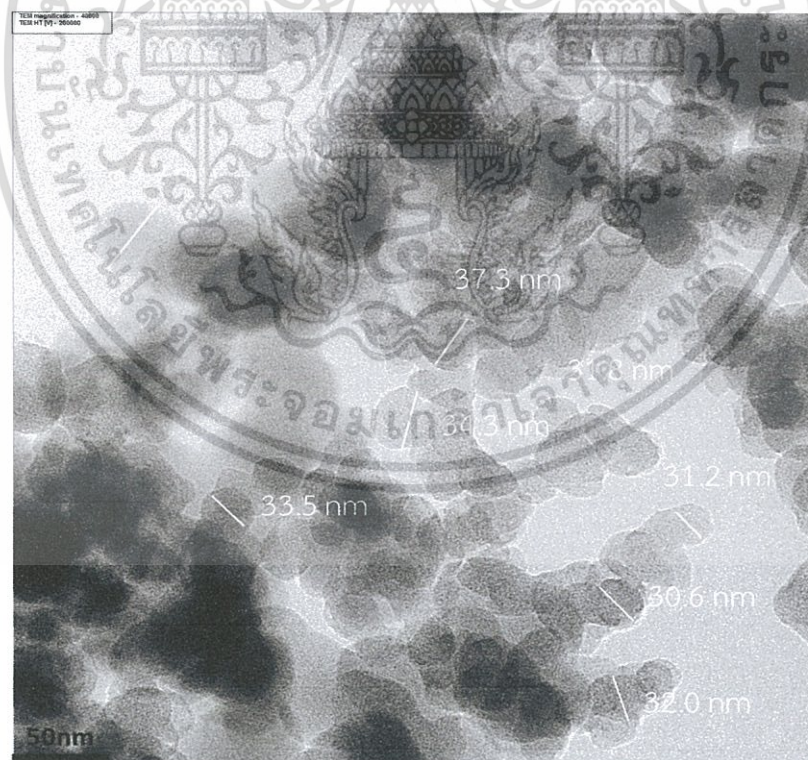


รูปที่ 3.12 ภาพถ่ายการวัดขนาดของสารละอองรูกลีอนุภาคแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของ

เชื้อเพลิงไบโอดีเซลนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ภาพถ่ายการวัดขนาดของสารละอองรูกลีอนูภาคแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซล



รูปที่ 3.14 ภาพถ่ายการวัดขนาดของสารละอองรูกลีอนูภาคแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

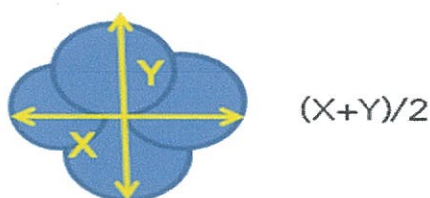
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 วิธีการเก็บตัวอย่างและวิธีการวัดขนาดสารละอองธัญธูปแบบเกะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่

ในการศึกษาขนาดสารละอองธัญธูปแบบเกะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลได้เตรียมชิ้นงานเป็นกระดาษกรองวัดควินดำ ซึ่งทำการดักสารละอองธัญธูปของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลเพื่อหาขนาดของสารละอองธัญธูปแบบเกะกันเป็นกลุ่มก้อน ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง เริ่มต้นเก็บตัวอย่างโดยนำกระดาษกรองมาดักสารละอองธัญธูปของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลในชุดทดลองตามหัวข้อที่ 3.7 กระบวนการดักสารละอองธัญธูปของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลบนตัวกรองธัญธูปดีเซลแบบไหลผ่านทุกส่วน เวลาดักสารละอองธัญธูปด้วยกระดาษใช้เวลาดัก 1-2 วินาที ซึ่งควบคุมปริมาณสารละอองธัญธูปจากเปลวไฟแบบแพร่ด้วยเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลให้มีปริมาณการปล่อยสารละอองธัญธูปด้วยพลังงานที่เท่ากัน ส่วนรูปที่ 3.15 แสดงตัวอย่างกระดาษวัดควินดำของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล หลังจากนั้นนำกระดาษกรองสารละอองธัญธูปของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ (SEM) หลังจากได้ภาพถ่ายเรียบร้อยแล้วต่อมาทำการวัดขนาดของสารละอองธัญธูปแบบเกะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล โดยใช้วิธีเทียบสเกลของขนาดโดยวิธีวัดความยาว ( $x$ ) และความกว้าง ( $y$ ) แล้วนำมาบวกกันแล้วหาค่าเฉลี่ยของขนาดสารละอองธัญธูปอนุภาคแบบเกะกันเป็นกลุ่มก้อน  $(x+y)/2$  ซึ่งทำการวัดสารละอองธัญธูปอนุภาคแบบเดี่ยวจำนวน 100 ก้อน โดยเลือกภาพก้อนสารละอองธัญธูปที่ชัดที่สามารถวัดได้แล้วทำการวัดหาค่าเฉลี่ยจากจำนวนก้อนสารละอองธัญธูปทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.16 ส่วนรูปที่ 3.17 แสดงวิธีการวัดสารละอองธัญธูปของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลด้วยภาพถ่ายรูปของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ และรูปที่ 3.18 แสดงวิธีการวัดสารละอองธัญธูปของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลด้วยภาพถ่ายรูปของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ

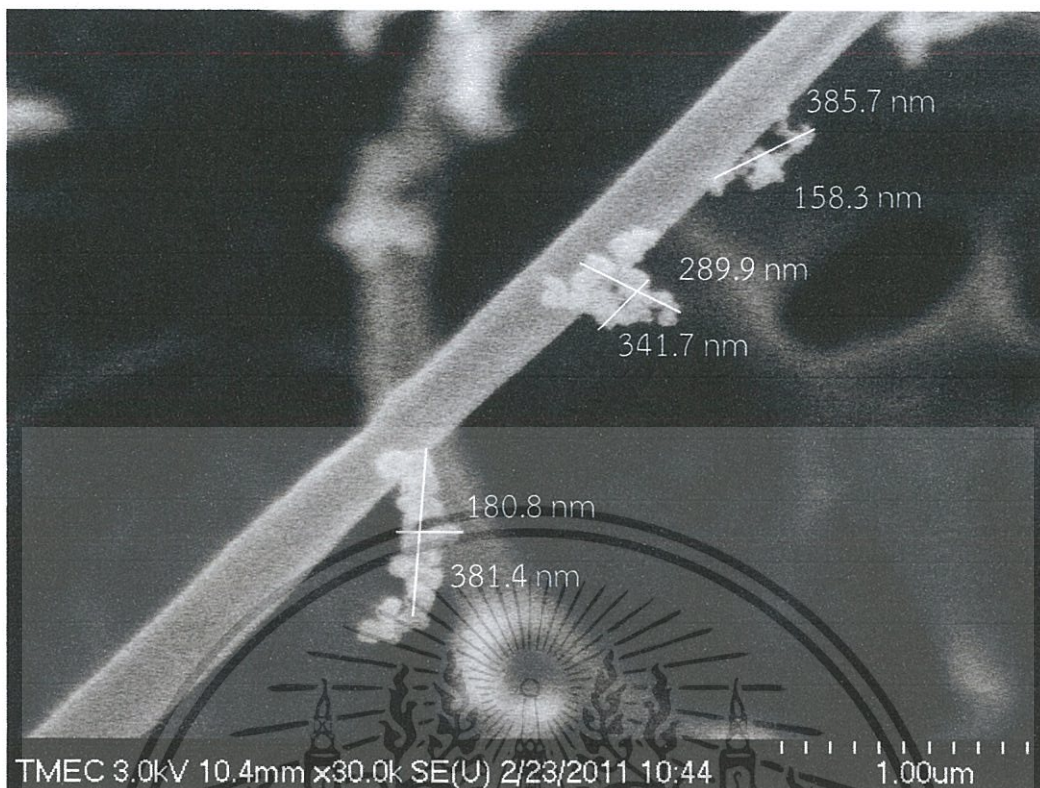


รูปที่ 3.15 กระดาษกรองสารละอองธัญธูปของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล



รูปที่ 3.16 วิธีการวัดขนาดของสารละอองธัญธูปอนุภาคแบบเกะกันเป็นกลุ่มก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 ภาพถ่ายของการวัดขนาดของสารละอองรูทึบอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซล



รูปที่ 3.18 ภาพถ่ายของการวัดขนาดของสารละอองรูทึบอนุภาคแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 วิธีการศึกษาจลนพลศาสตร์เคมีของการเผาไหม้สารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่

ในการศึกษาจลนพลศาสตร์เคมีของการเผาไหม้ของสารละอองธูรีโดยการวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารละอองธูรีกับออกซิเจนสามารถทำได้โดยใช้เครื่องทดสอบการลดลงของน้ำหนักระหว่างการทำปฏิกิริยาเคมีขณะเพิ่มอุณหภูมิ (Thermo-Gravimetric Analysis: TGA) ดังแสดงในรูปที่ 3.19 โดยใช้สารละอองธูรีดีเซลและไบโอดีเซลที่ทำการเก็บมาอ้างอิงตามหัวข้อ 3.4 ซึ่งในการทดสอบนี้ใช้น้ำหนักของสารละอองธูรีดีเซลและไบโอดีเซลประมาณ 3-5 mg ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้แบ่งการทดลอง 2 วิธีได้แก่ วิธีการทดลองแบบอุณหภูมิไม่คงที่ (Non-Isothermal Method) ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในอัตรา  $10^{\circ}\text{C}$  ต่อนาที จากอุณหภูมิ  $25^{\circ}\text{C}$  ถึง  $800^{\circ}\text{C}$  โดยใช้ ออกซิเจน 100% และวิธีอุณหภูมิคงที่ (Isothermal) โดยใช้วิธีอุณหภูมิไม่คงที่สำหรับแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกับคาร์บอนออกจากกัน และวิธีอุณหภูมิคงที่สำหรับคาร์บอนเพียงอย่างเดียว และนำสารละอองธูรีแต่ละชนิดนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน (CHN Analyzer)



อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีใน สมการที่ 3.1 สามารถคำนวณตาม สมการที่ 3.2

$$-\frac{d[\text{PM}]}{dt} = k[\text{PM}]^n [\text{O}_2]^m \quad (3.2)$$

เมื่อ [PM] คือ มวลของสารละอองธูรี (g)

t คือ เวลา (s)

k คือ ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาเคมี

n คือ ลำดับการเกิดปฏิกิริยาเคมี (Reaction Order) ของคาร์บอน

m คือ ลำดับการเกิดปฏิกิริยาเคมี (Reaction Order) ออกซิเจน

ค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยาเคมีถูกอธิบายโดย สมการที่ 3.3

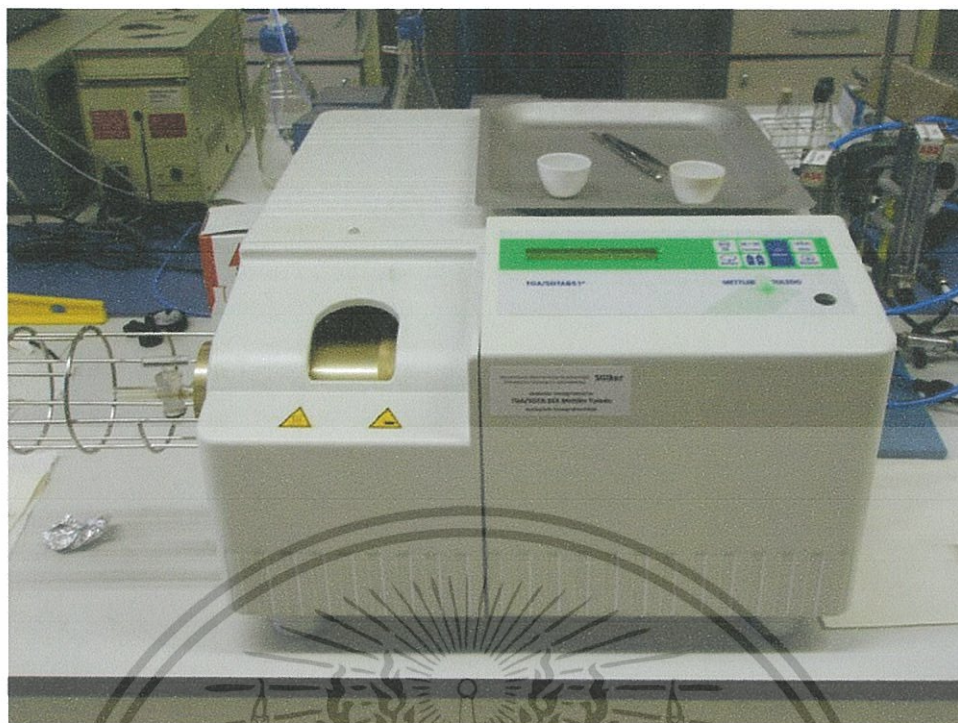
$$k = A e^{-E_a/RT} \quad (3.3)$$

เมื่อ A ค่าคงที่พรีเอกโพเนนเชียล  $E_a$  คือพลังงานกระตุ้น และ R คือค่าคงที่ของก๊าซ โดยค่าพลังงานกระตุ้น สามารถคำนวณใน สมการที่ 3.4

$$\ln \left[ \frac{-1}{[\text{PM}]^n} \frac{d[\text{PM}]}{dt} \right] = -\frac{E_a}{RT} + (\ln A + m \ln [\text{O}_2]) \quad (3.4)$$

ค่า  $E_a$  สามารถคำนวณจากการเขียนกราฟ Arrhenius Plot ในสมการที่ 3.4 สำหรับงานวิจัยนี้สมมติให้ n เท่ากับ 1 เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ในการคำนวณหาพลังงานกระตุ้น [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 เครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (Thermo-Gravimetric Analysis: TGA)

### 3.5.1 วิธีการวิเคราะห์สารละลายของรูทีโดยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน

วิธีการวิเคราะห์สารละลายของรูทีโดยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อนจะทำการทดลองด้วยวิธีอุณหภูมิไม่คงที่ (Non-Isothermal) และวิธีอุณหภูมิคงที่ (Isothermal) โดยใช้วิธีอุณหภูมิไม่คงที่สำหรับแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกับคาร์บอนออกจากกัน และวิธีอุณหภูมิคงที่สำหรับคาร์บอนเพียงอย่างเดียวสภาวะที่ใช้ในการทดลองวิธีอุณหภูมิไม่คงที่จะควบคุมภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในอัตรา  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ต่อนาที จากอุณหภูมิ  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ถึง  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  และใช้ออกซิเจน  $100\%$  ในการทำปฏิกิริยาและวิธีอุณหภูมิคงที่ ช่วงแรกก่อนที่อุณหภูมิจะคงที่จะควบคุมภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในอัตรา  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  ต่อนาที จากอุณหภูมิ  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ถึง  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  และคงอุณหภูมิที่  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมงโดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$   $500\text{ }^{\circ}\text{C}$   $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  และ  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ และใช้ออกซิเจน  $100\%$  ในการทำปฏิกิริยา

### 3.5.2 วิธีการทดลองของเครื่องมือวิเคราะห์โดยใช้วิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน

วิธีการทดลองนำสารละลายของรูทีไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน เพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารละลายของรูทีดีเซลและไบโอดีเซล หลังจากนั้นนำสารละลายของรูทีดีเซลและไบโอดีเซลไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของสารละลายของรูทีซึ่งได้แก่ ส่วนที่เป็นความชื้น ส่วนของไฮโดรคาร์บอน และส่วนที่เป็นคาร์บอนเพื่อแยกสารประกอบต่างๆของสารละลายของรูที สุดท้ายนำสารละลายของรูทีดีเซลและไบโอดีเซลไปวิเคราะห์หาค่าพลังงานกระตุ้น (Apparent Activation Energy :  $E_a$ ) ที่ใช้เปลี่ยนจากสารละลายของรูทีของแข็งกลายเป็นก๊าซ

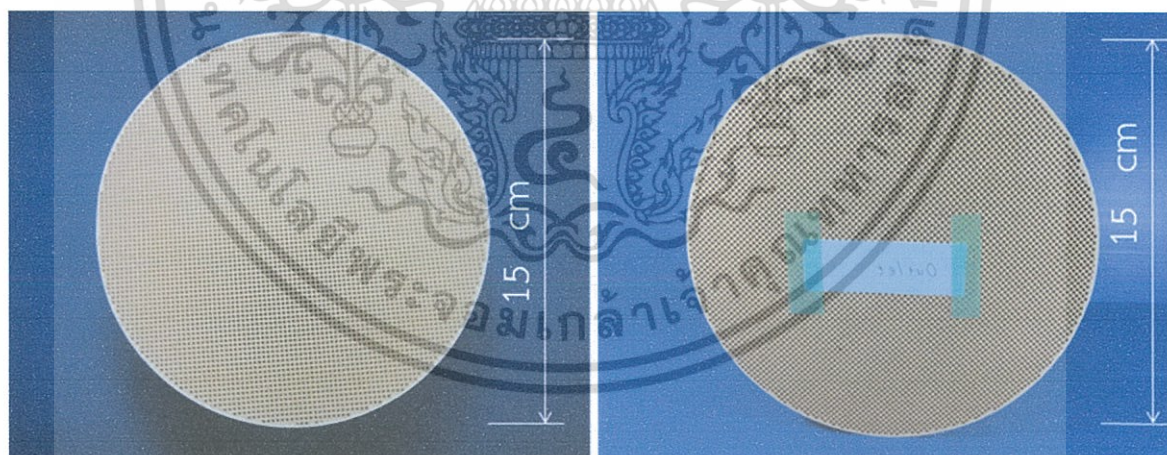
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 วิธีการศึกษาคุณลักษณะของตัวกรองละอองธูรีดีเซล

#### 3.6.1 วิธีการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวกรองละอองธูรีดีเซล

ตัวกรองละอองธูรีดีเซลที่ใช้ทดสอบเป็นชนิดเซรามิกชนิดคอร์เดียไรท์ ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ) อ่านว่า Magnesium-alumina silicate ซึ่งตัวกรองละอองธูรีดีเซล 2 ชนิด ดังรูปที่ 3.20 คือ ตัวกรองละอองธูรีดีเซลที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี (Non-Catalytic Diesel Particulate Matter: NDPF) และตัวกรองละอองธูรีดีเซลที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี (Catalytic diesel Particulate Matter : CDPF) ซึ่งมีคุณสมบัติพื้นฐานดังต่อไปนี้ ความหนาของผนังตัวกรองละอองธูรีดีเซล ( Wall thickness) 12 mm และมีความหนาของเซลล์ (Cell density) 300 cpsi ในการศึกษาครั้งนี้รูปที่ 3.21 แสดงการเตรียมชิ้นงานโดยทำการตัดชิ้นงานให้มีขนาดเล็กขนาดพื้นที่จตุรัสขนาด กว้าง 2 มิลลิเมตร ยาว 2 มิลลิเมตร หลังการนั้นนำชิ้นงานสองชิ้นดังกล่าวไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6301F ดังที่แสดงในรูปที่ 3.22 เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวกรองละอองธูรีดีเซลจากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล และหาขนาดรูพรุนเฉลี่ยของตัวกรองละอองธูรีดีเซลเพื่อในข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์พฤติกรรมการดักสารละอองธูรีและพฤติกรรมการรีเจนเนอเรชั่นของตัวกรองละอองธูรีดีเซล

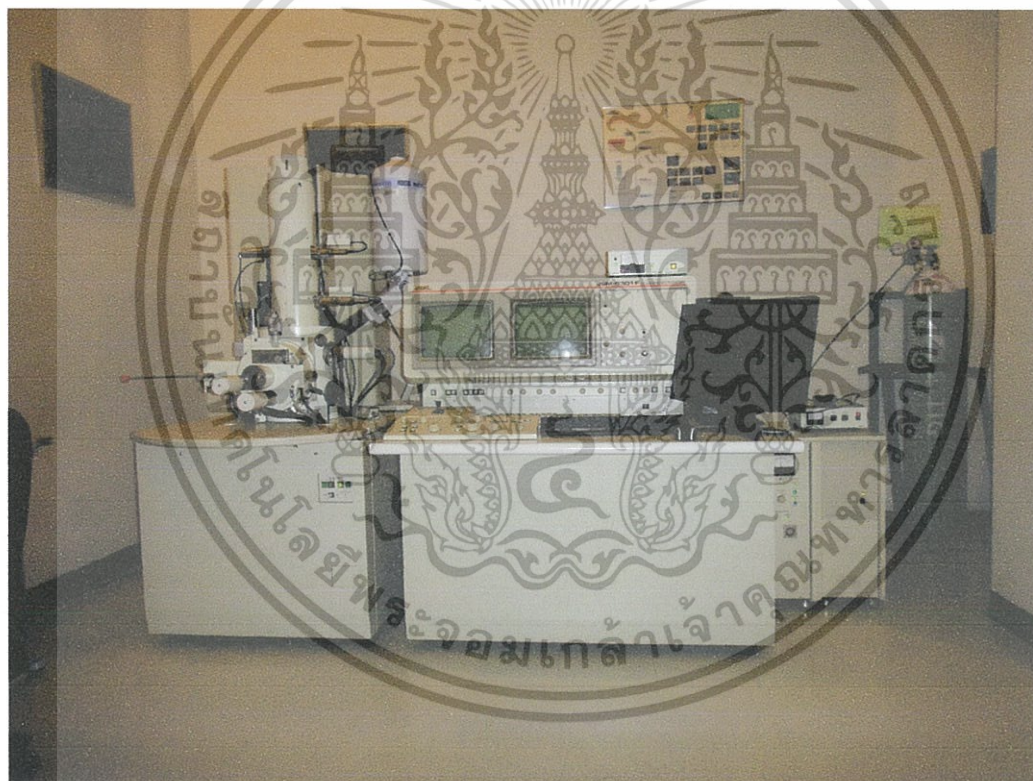
ในส่วนของคุณสมบัติทางเคมีของตัวกรองละอองธูรีดีเซลโดยการตรวจสอบชนิดและปริมาณธาตุด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอ็กซ์ (Energy dispersive X-ray analysis: EDX) เพื่อวิเคราะห์หาส่วนประกอบหลักของตัวกรองละอองธูรีดีเซลที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี



รูปที่ 3.20 ตัวกรองละอองธูรีดีเซล (ซ้าย) แบบที่มีสารเร่งปฏิกิริยาและ (ขวา) ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 3.21 การเตรียมชิ้นงานของตัวกรองละอองธูดีเซล(ซ้าย) ที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี และ (ขวา) ตัวกรองละอองธูดีเซลไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี



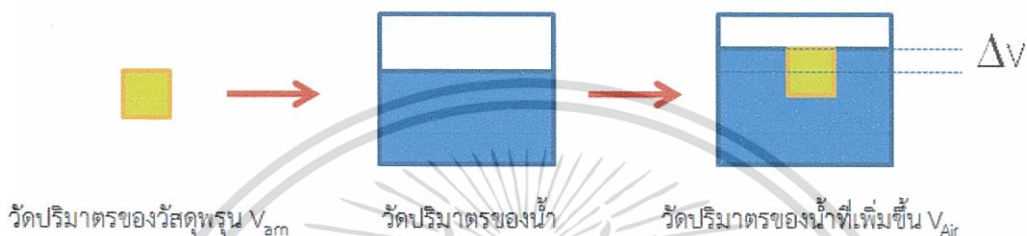
รูปที่ 3.22 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.2 วิธีการวัดค่าความพรุนของตัวกรองละเอียดด้วยวิธีแทนที่น้ำ

ในการวัดค่าความพรุนของวัสดุทดลองสามารถทำได้หลายวิธีแต่ที่นิยมทำกันมากคือ วิธีการแทนที่น้ำ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานวัดค่าความพรุนโดยวิธีการแทนที่น้ำ ตามรูปที่ 2.23 ดังนี้

1. ทำการวัดปริมาตรของวัสดุทดลอง  $V_{am}$
2. ทำการวัดปริมาตรของน้ำ  $V_{water}$
3. นำวัสดุทดลองมาใส่ในน้ำแล้วทำการวัดปริมาตรน้ำที่เพิ่มขึ้นมาแล้วหาค่า  $\Delta V$
4. แทนค่าลงในสมการเพื่อหาค่าความพรุน



รูปที่ 3.23 การวัดค่าความพรุนของตัวกรองละเอียด

สมการการหาค่าความพรุน

$$V_{am} = V_m + V_{air} \quad (3.5)$$

$$\Delta V = V_m \quad (3.6)$$

$$\text{Porosity (\%)} = \frac{V_m}{V_{am}} \times 10 \quad (3.7)$$

เมื่อ Porosity (%) คือ ความพรุนของวัสดุทดลอง (%)

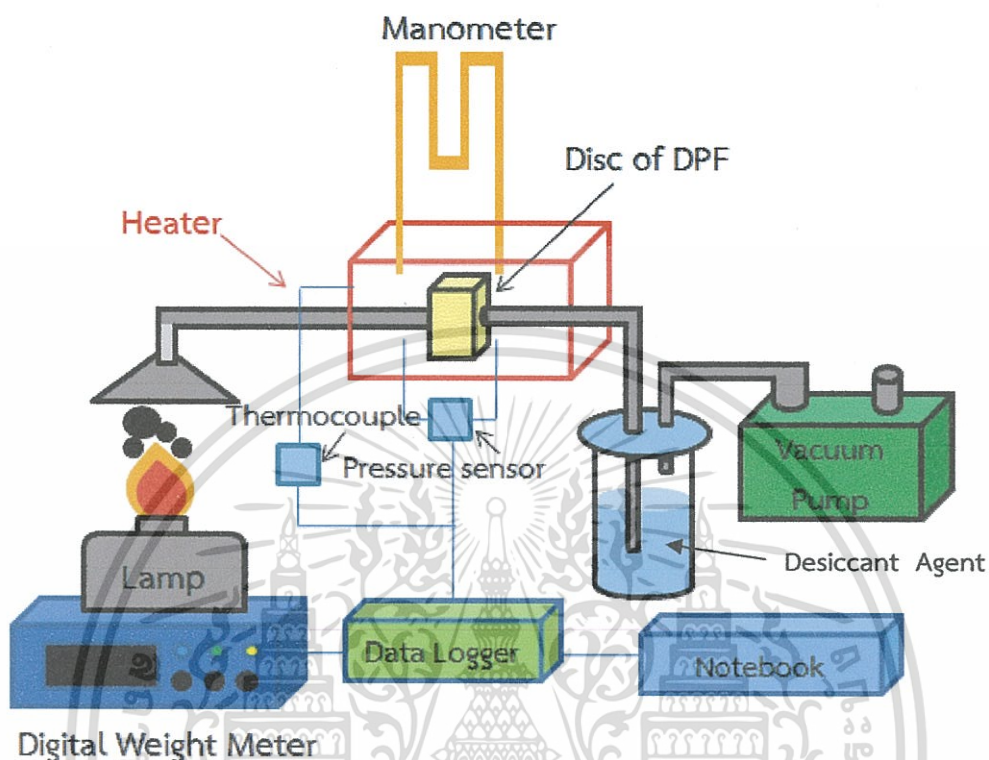
$V_{am}$  คือ ปริมาตรของตัวกรองละเอียดที่มีอากาศผสมกับวัสดุพรุน

$V_m$  คือ ปริมาตรของตัวกรองละเอียดที่ไม่มีอากาศผสมอยู่

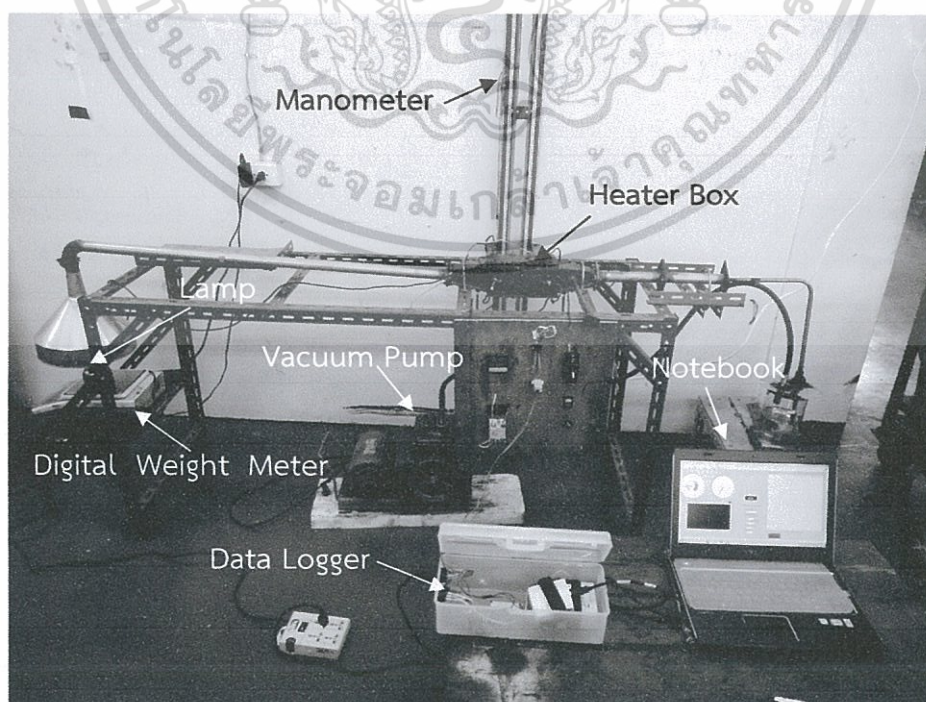
$V_{air}$  คือ ปริมาตรของอากาศที่แทรกตัวอยู่ในวัสดุทดลอง

$V_{water}$  คือ ปริมาตรน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำวัสดุทดลองแทนที่ลงในน้ำ

### 3.7 วิธีการศึกษากระบวนการดักสารละอองธูปของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลบนตัวกรองละอองธูปดีเซลแบบไหลผ่านทุกส่วน



รูปที่ 3.24 แผนภาพแสดงถึงชุดทดลองกระบวนการดักสารละอองธูปของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล



รูปที่ 3.25 รูปทดลองจริงที่สร้างขึ้นของกระบวนการดักสารละอองธูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาพฤติกรรมการดักสารละอองธูปบนตัวกรองละอองธูปดีเซลนั้น เนื่องจากสารละอองธูปที่ได้จากเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (Compression Ignition Engine) มีความซับซ้อนซึ่งค่อนข้างที่จะในการวิเคราะห์ ดังนั้นเราต้องการที่จะได้ผลการทดลองที่รวดเร็วจึงได้ใช้สารละอองธูปที่เกิดจากตะเกียงในการทดลองเพราะในการทดลองครั้งนี้ต้องการที่จะลดตัวแปร ได้แก่ ความชื้น (Moisture) และไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ที่หลงเหลือจากเผาไหม้ (Hydrocarbon) เป็นการลดสิ่งเจือปนในสารละอองธูป (Particulate Matter: PM) จำเป็นที่จะต้องออกแบบและเลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรง รับความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นได้ ไม่รั่วซึมเนื่องจากความดันตกคร่อมมีผลสำคัญมากในการศึกษา ในการทดลองแนวคิดสำคัญในการออกแบบคือ การสร้างชุดทดสอบให้มีความเร็วของสารละอองธูปของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลที่ได้เผาไหม้จากตะเกียงให้มีความเร็วของไอเสียใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ทดลองภายใต้สภาวะใช้งานจริง ซึ่งในที่นี่เราได้ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ 38 mm อ้างอิงตามขนาดท่อไอเสีย และใช้ปั๊มสุญญากาศแบบดูดสารละอองธูปของเปลวไฟแบบแพร่จากของตะเกียงเพื่อจำลองให้เหมือนกับการคายไอเสียของเครื่องยนต์ วิธีดำเนินการทดลองจากรูปที่ 3.24 แสดงถึงแผนผังอุปกรณ์การทดลองโดยรวม ซึ่งหลักการทำงานของอุปกรณ์การทดลองนี้คือ การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น ได้แก่ ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของอากาศในท่อซึ่งมีสองอุณหภูมิคือ 25 °C ควบคุมภายในท่อให้มีอุณหภูมิ 200 °C โดยใช้ฮีตเตอร์แบบแผ่นประกบติดกับผนังของกล่องทั้งสี่ด้านทำให้เกิดการนำความร้อนผ่านโลหะที่ใช้ทำกล่องใส่ตัวกรองละอองธูปดีเซลเพื่อจำลองให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับไอเสียที่ออกมาจากเครื่องยนต์ และเป็นการจัดไอน้ำในอากาศ มีชุดควบคุมเพื่อควบคุมอุณหภูมิ และทำการวัดความดันตกคร่อมทั้งแบบใช้มานอมิเตอร์และเซนเซอร์วัดความดัน แล้วบันทึกจนได้ค่าความดันตกคร่อมสูงสุด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.25 ดังรายละเอียดของการทดลองพฤติกรรมการดักสารละอองธูปบนตัวกรองละอองธูปดีเซลแบ่งได้หลายหัวข้อดังต่อไปนี้

### 3.7.1 ระบบให้ความร้อนแก่ท่อไอเสีย

สำหรับระบบการให้ความร้อนแก่ท่อไอเสียของอุปกรณ์ทดลอง ซึ่งทำการออกแบบโดยให้ความร้อนจากผนังด้านนอก ซึ่งเกิดจากการนำความร้อนผ่านโลหะจากผนังห้องเผาไหม้ด้านนอกเข้ามายังผนังด้านในเพื่อเป็นการกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นของสารละอองธูปจากไอเสียของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล ซึ่งทำการออกแบบเป็นแบบกล่องเพื่อให้อุณหภูมิของตัวกรองละอองธูปดีเซลเท่ากับ 200 °C ซึ่งได้ออกแบบตามรูปที่ 3.26

โดยที่  $\Delta Q$  คือ ค่าความร้อนที่ให้กับระบบ (watt)

$\dot{m}$  คือ ค่าอัตราการไหลของมวลอากาศ (kg/s)

$\rho$  คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศ (kg/m<sup>3</sup>)

$u$  คือ ค่าความเร็วของอากาศ (m/s)

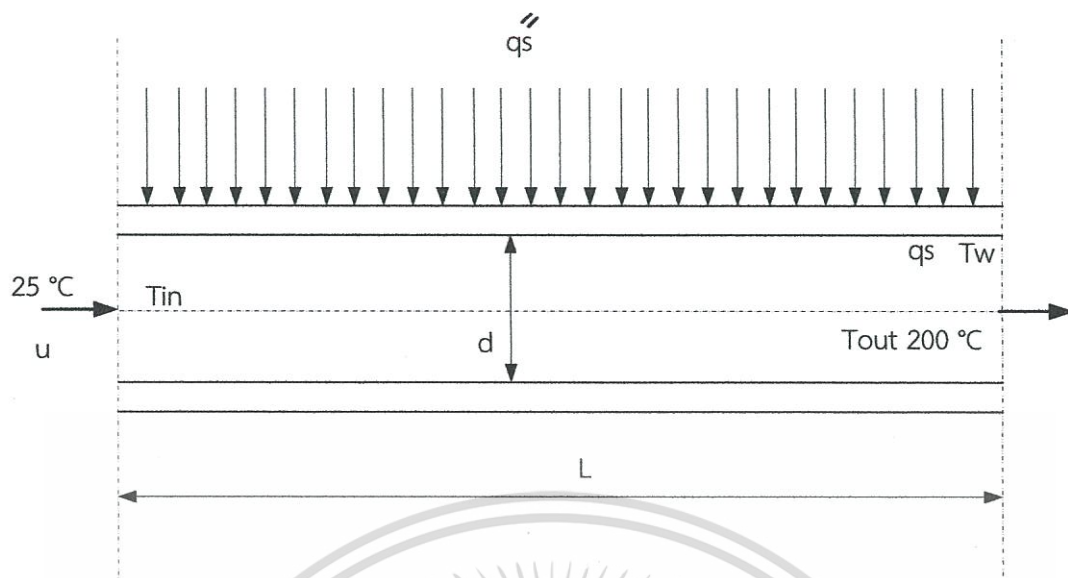
$q_w$  คือ ค่าความร้อนของผนังท่อต่อพื้นที่ (watt/m<sup>2</sup>)

$T_w$  คือ ค่าอุณหภูมิของผนังท่อ (°C)

$d$  คือ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)

$L$  คือ ค่าความยาวท่อ (m)

$k$  คือ ค่าการนำความร้อนของอากาศ (watt/m. °C)



รูปที่ 3.26 แผนภาพแสดงการออกแบบระบบให้ความร้อนแก่ตัวกรองละอองรูสตีตีเซล

ในการออกแบบระบบให้ความร้อนในชุดทดลองนี้ใช้ได้

$$\Delta Q = \dot{m} C_p (T_{b2} - T_{b1}) \quad (3.12)$$

- ค่าความหนาแน่นอากาศมีค่า  $0.436556 \text{ kg/m}^3$
- ความเร็วภายในท่อ  $Q=0.00083 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $A=4 \times 0.05 \times 0.05 = 0.01 \text{ m}^2$
- แทนค่าจะได้ความเร็ว  $u = 0.083 \text{ m/s}$

$$\dot{m} = \rho A u \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= (0.436556)(0.01)(0.332) \\ &= 0.001449 \text{ Kg/s} \end{aligned}$$

แทนค่าในสมการ 3.12

$$\Delta Q = 0.001449 \times 1.09852 \times (473 - 298) = 0.27 \text{ Watt}$$

$$\text{จาก } \Delta Q = q_w 4abl \quad (3.14)$$

กำหนดความยาวในการของฮีตเตอร์แบบแผ่น = 0.5 m. แทนในสมการ 3.14 จะได้

$$q_w = \frac{0.27}{(4 \times 0.04 \times 0.04) \times (0.5)}$$

$$q_w = 87.071 \text{ watt/m}^2$$

หา  $T_w$  จาก

$$T_w = \left( \frac{(q_w) d}{K (Nu)} \right) + T_{b2} \quad (3.15)$$

แทนค่าในสมการ 3.15

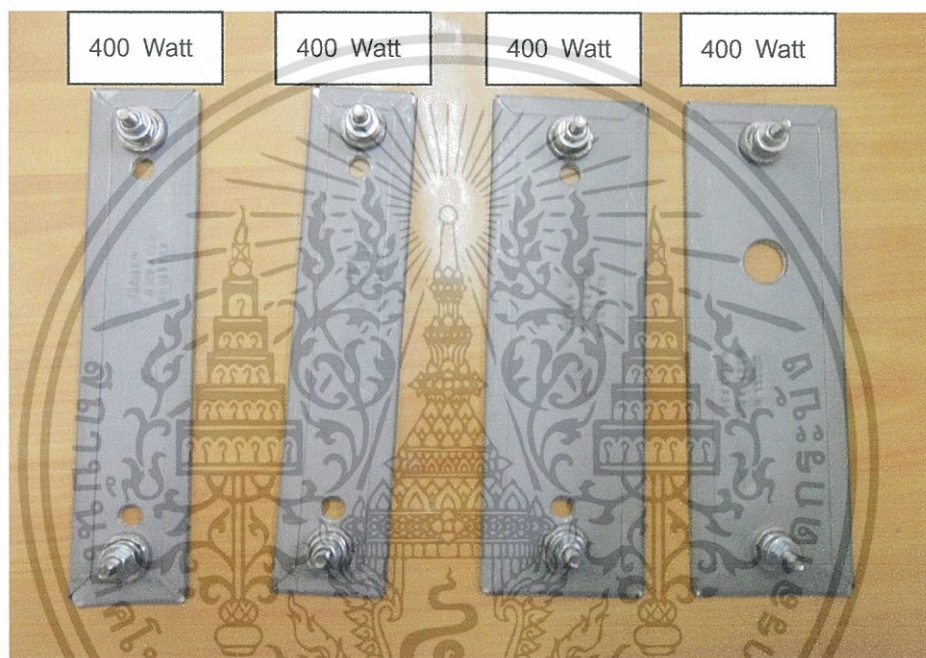
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_w = \left( \frac{(87.07)(0.5)}{(0.0315)(3.60)} \right) + 373$$

$$T_w = 584.056 \text{ K}$$

$$T_w = 310.90 \text{ } ^\circ\text{C}$$

จากการคำนวณออกแบบอุณหภูมิการดักสารละอองรูลิตีเซลและไบโอดีเซล 87 watt ซึ่งฮีตเตอร์ที่ทำการออกแบบสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิ 200 °C ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้ถูกใช้ฮีตเตอร์แบบแผ่นจำนวน 4 แผ่น แผ่นละ 400 watt รวมจำนวนทั้งหมด 1600 watt เพื่อลดเวลาในการให้ความร้อนของฮีตเตอร์ตามรูปที่ 3.27

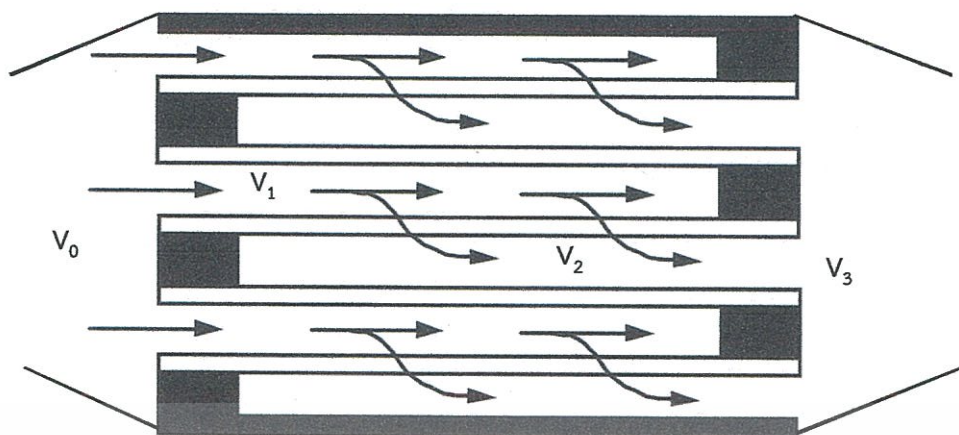


รูปที่ 3.27 แสดงถึงฮีตเตอร์แบบแผ่นประกบเป็นขดลวดให้ความร้อนรวม 1600 watt

### 3.7.2 ระบบการควบคุมความเร็วที่ไหลผ่านตัวกรองละอองรูลิตีเซล

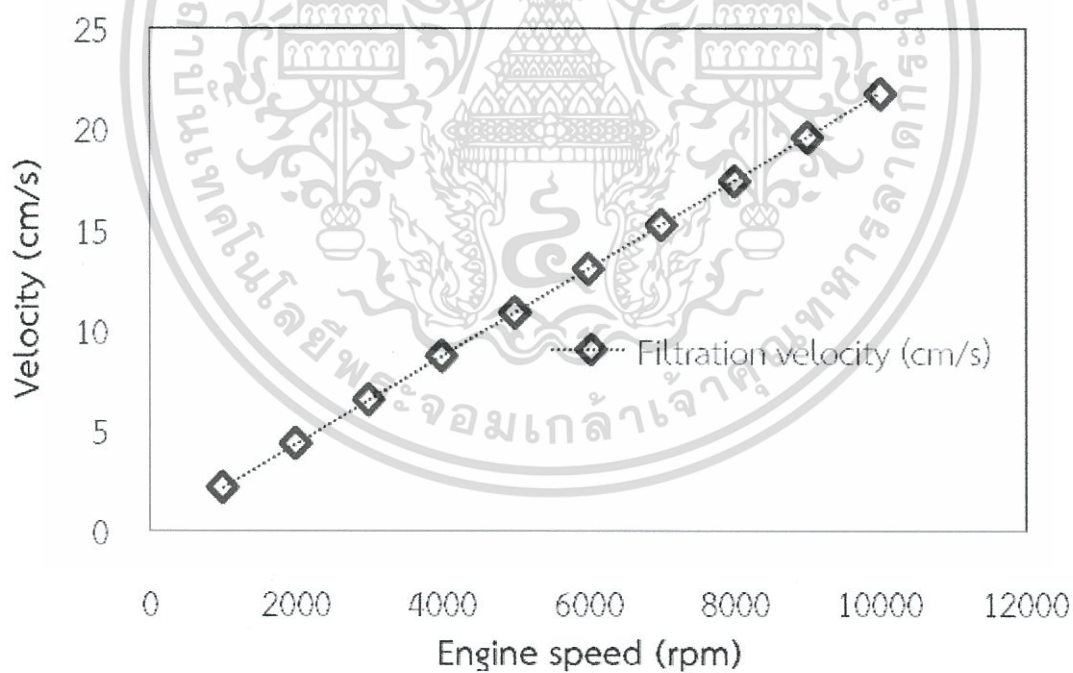
#### 1. ความเร็วในเครื่องดักกรองอนุภาค

จากลักษณะทางกายภาพของเครื่องดักกรองอนุภาคเครื่องยนต์ดีเซลเราสามารถแบ่งความเร็วในท่อไอเสียทั้งระบบได้ 4 ลักษณะดังรูปที่ 3.28 ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้คำนวณความเร็วที่ไหลผ่านตัวกรองละอองรูลิตีเซลดังรูปที่ 3.29 ซึ่งกำหนดความเร็วที่ไหลผ่านตัวกรองละอองรูลิตีเซลเท่ากับ 11.31 cm/s ซึ่งอยู่ในช่วงของรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในระบบการควบคุมความเร็วที่ไหลผ่านตัวกรองละอองรูลิตีเซลมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.28 แสดงความเร็วต่างๆที่เกิดขึ้นในตัวกรองละอองรูสตีเซลล์ [11]

- $V_0$  คือ ความเร็วก่อนเข้าตัวดักกรองอนุภาค
- $V_1$  คือ ความเร็วขณะเข้ารูพอร์นของตัวกรองละอองรูสตีเซลล์
- $V_2$  คือ ความเร็วที่ผ่านรูพอร์นของผนังตัวกรอง
- $V_3$  คือ ความเร็วที่หลังออกจากตัวดักกรองอนุภาค



รูปที่ 3.29 แบบจำลองความเร็วที่ไหลผ่านตัวกรองละอองรูสตีเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. บั๊มดูดแบบสุญญากาศ (Vacuum Pump)

ในการทดลองเพื่อจำลองให้อากาศภายในท่อมีความเร็วใกล้เคียงกับท่อไอเสียทำให้จำเป็นที่จะต้องใช้บั๊มดูดแบบสุญญากาศดูดอากาศภายในท่อเพื่อให้ไอเสียไหลผ่านตัวกรองละอองรูลิตีเซล บั๊มสุญญากาศที่เรานำมาใช้เป็นบั๊มแบบโรตารี ทำงานโดยการทำให้เกิดสุญญากาศแก่อากาศโดยอาศัยการหมุนของแผ่นโรตารี ซึ่งหมุนเพื่อทำให้เกิดความดันด้านดูดต่ำกว่าความดันบรรยากาศดังรูปที่ 3.30 บั๊มที่นำมาใช้มีคุณสมบัติดังนี้

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงคุณสมบัติของบั๊มดูดแบบสุญญากาศ

ยี่ห้อ	Nakabo
รุ่น	A-S 50
ความเร็วรอบ	750 รอบต่อนาที
อัตราการไหล	50 ลิตรต่อนาที

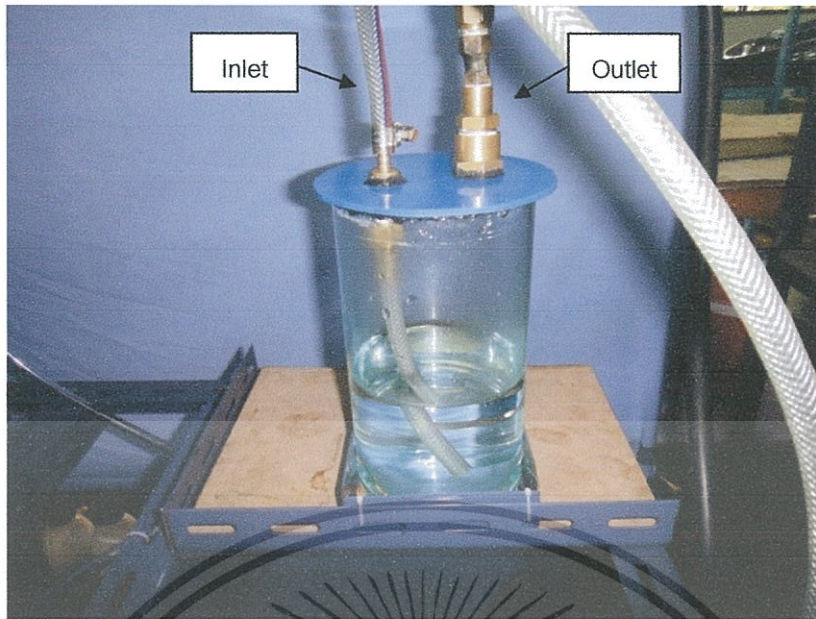


รูปที่ 3.30 บั๊มดูดแบบสุญญากาศที่ใช้ในการทดลอง

## 3. ถังกรองผ่านน้ำ

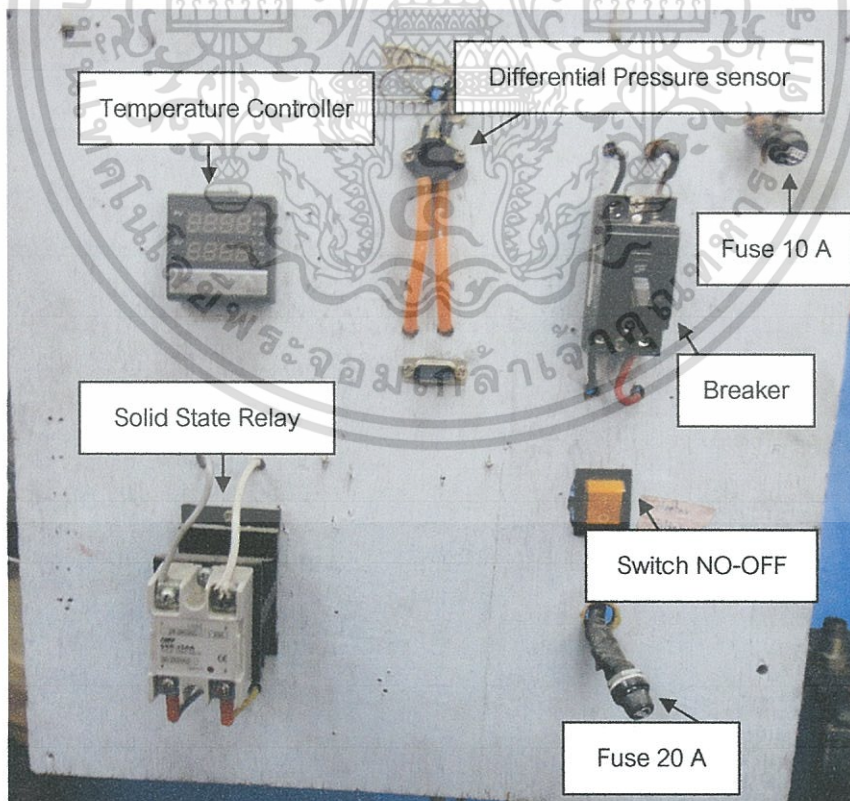
เนื่องจากบั๊มดูดแบบสุญญากาศไม่สามารถดูดอากาศที่มีสิ่งเจือปนและอากาศที่อุณหภูมิสูงเข้า บั๊มได้โดยตรงซึ่งในการทดลองอาจมีอนุภาคสารละอองรูลิตีเซลหลุดรอดเข้าไปภายในบั๊มทำให้บั๊มมีอายุการใช้งานสั้นลง เพื่อแก้ไขเพื่อไม่ให้มีปัญหานี้เกิดขึ้นจึงได้มีการออกแบบถังกรองผ่านน้ำมาใช้ดักกรองอนุภาคที่หลุดรอดเข้าไปภายในตัวบั๊มดูดแบบสุญญากาศ ซึ่งไม่มีผลต่ออัตราการไหลของเสียผ่านตัวกรองละอองรูลิตีเซล ดังรูปที่ 3.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 ถังกรองผ่านน้ำ

3.7.3 ระบบการควบคุมวัดความดันตกคร่อมและอุณหภูมิของตัวกรองละอองรูเล็ก  
 ในหัวข้อนี้จากรูปที่ 3.32 แสดงถึงอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบในระบบควบคุมความดันตกคร่อมและ  
 อุณหภูมิซึ่งระบบควบคุมความดันตกคร่อมใช้อุปกรณ์ในการทดลองดังต่อไปนี้

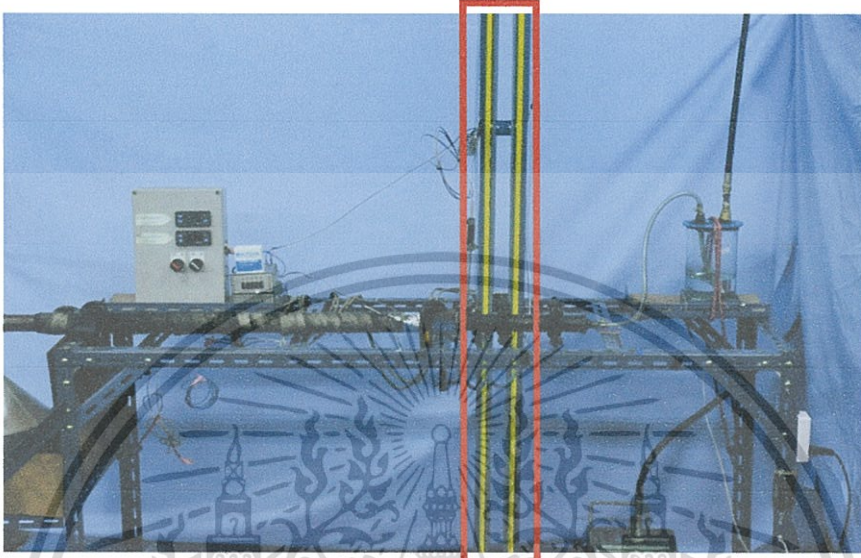


รูปที่ 3.32 แสดงถึงอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบในระบบควบคุมความดันตกคร่อมและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1. มานอมิเตอร์

ใช้วัดค่าความดันตกคร่อมในเครื่องดักกรองอนุภาค มีลักษณะเป็นหลอดแก้วรูปตัวยู ซึ่งปลายข้างหนึ่งต่อเข้าก่อนหน้าเครื่องดักกรองและปลายอีกข้างหนึ่งต่อเข้าหลังเครื่องดักกรอง ในที่นี้สามารถวัดค่าได้สูงสุด  $H = 2$  เมตร หรือ  $20$  kPa ใช้ของเหลวที่บรรจุเป็นน้ำกลั่น ดังแสดงในรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 มานอมิเตอร์

### 2. เซ็นเซอร์วัดความดันตกคร่อม



รูปที่ 3.34 Differential Pressure sensor ใช้วัดความดันตกคร่อม

ในการวัดความดันตกคร่อมโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความดันตกคร่อมของตัวกรองละอองรูสลิติเซลได้เลือกใช้เซ็นเซอร์ที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้า  $0$  ถึง  $5$  Volt ซึ่งมีช่วงในการดัน  $0$  ถึง  $50$  kPa ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมและความต่างศักย์ทางไฟฟ้าอยู่ในรูปที่ 3.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



#### 4. การ์ดเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Acquisition Card)



รูปที่ 3.37 การ์ดเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ รุ่น Ni 6009 USB

รูปที่ 3.37 การ์ดที่ใช้รวบรวมข้อมูลข้อมูล รุ่น Ni 6009 USB (14 pin) ซึ่งมี AI resolution 14 bits, อัตราในการเก็บข้อมูล (Sample rate) เท่ากับ 48 kS/s , มี 8 ช่องสำหรับ single-ended analog input (AI) และมี 12 digital input/output (DIO) channels ช่วง  $\pm 10$  volt สำหรับ Analog output range ซึ่งใช้ในการรับส่งค่าสัญญาณของเซนเซอร์ผ่านเข้า Data logger

#### 5. ตาชั่งน้ำหนัก ( Digital Weight Meter)



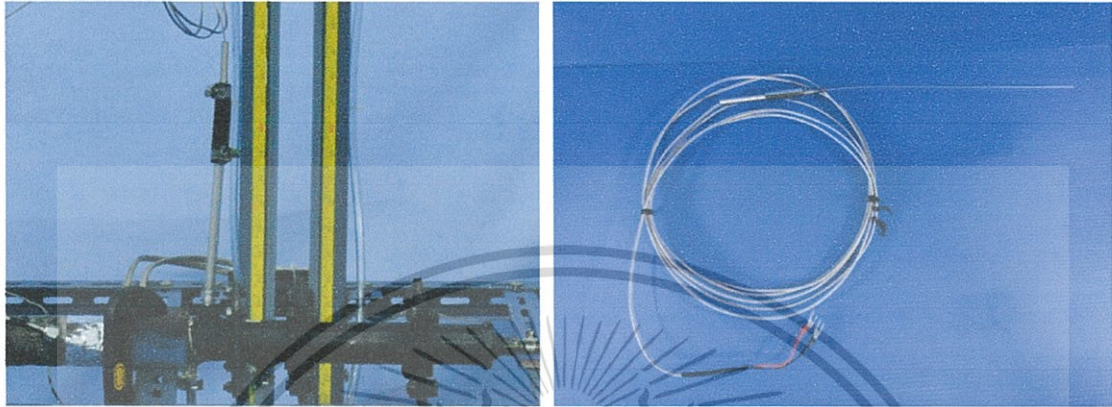
รูปที่ 3.38 ตาชั่งน้ำหนัก

จากรูปที่ 3.38 ตาชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ AND ความละเอียดในการวัด 0.01 g พิกัดในการกัก 3100 g ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ตาชั่งน้ำหนักในการเก็บค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพื่อนำไปเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองพลังงานในการเปรียบสารถือดีเซลและไบโอดีเซล และส่งสัญญาณ Output ไปยัง Data Acquisition Card เพื่อเก็บข้อมูลใน Data logger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

รูปที่ 3.39 เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K ซึ่งจากการทดลองนี้ได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่ตรงกึ่งกลางของท่อไอเสียเพื่อวัดอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลอยู่ในช่วง 25 ถึง 800 °C



รูปที่ 3.39 (ซ้าย) ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลและ (ขวา) เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K

## 7. ชุดควบคุมอุณหภูมิ

ในการทดลองที่อุณหภูมิ 100 และ 200 °C เพื่อที่จะควบคุมให้อุณหภูมิภายในห้องมีอุณหภูมิที่ 200 °C ต้องมีการใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิมาใช้ ในที่นี้เป็นเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบ On - Off คือ จะทำงานเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ และสามารถตัดเมื่ออุณหภูมิได้ตามที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 3.40

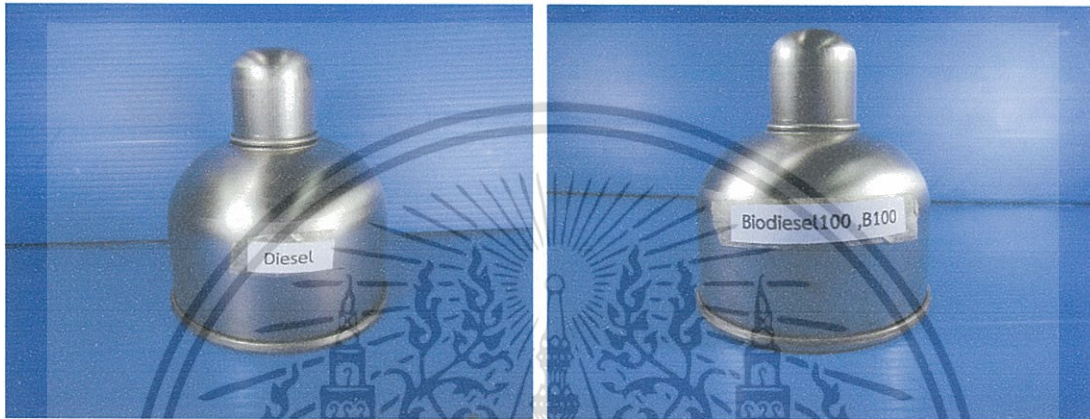


รูปที่ 3.40 ชุดควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8. ตะเกียงและไส้ตะเกียง

รูปที่ 3.41 ตะเกียงที่ใช้เป็นตัวผลิตสารละอองจุลินทรีย์ดีเซลและไบโอดีเซลในการทดลองเพื่อที่จะควบคุมให้การจุดเชื้อเพลิงได้สารละอองจุลินทรีย์แต่ละครั้งมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด จึงทำการกำหนดปริมาตรที่ใช้ในการเริ่มต้นทดลองให้มีค่าเท่ากันทุกครั้ง และกำหนดไส้ตะเกียงเริ่มต้นให้มีค่า 15 cm ในการทดลองทุกครั้ง โดยมีระยะปลายไส้ยาวออกมาจากตะเกียง 1 cm เมื่อทำการวัดค่าแต่ละครั้ง ทุกๆการทดลองไส้ต้องยาว 1 cm เพื่อให้ได้ความหนาแน่นสารละอองจุลินทรีย์เท่ากันทุกครั้งในการทดลอง ดังรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.41 ตะเกียงที่ใช้เป็นตัวผลิตสารละอองจุลินทรีย์จากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล



รูปที่ 3.42 (ซ้าย) ลักษณะเปลวไฟตะเกียงและ (ขวา) การกำหนดความยาวไส้ตะเกียงที่ทดลอง

### 9. เครื่องวัดประสิทธิภาพควันท้า

ในการทดลองมีการวัดค่าประสิทธิภาพควันท้าเพื่อวัดประสิทธิภาพการดักกรองของเครื่องดักกรองชนิดต่างๆ ในการทดลองได้ใช้กระดาษกรองมาวัดค่าประสิทธิภาพการกรองแล้วนำไปอ่านค่าที่เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์ควันท้า เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์ควันท้าที่นำมาใช้ยี่ห้อ Okuda รุ่น DSM-240 No. เอกส 1008 กระดาษกรองที่ใช้ยี่ห้อ Kitchal ขนาด 4.5 cm แสดงดังรูปที่ 3.43 วัตถุประสงค์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



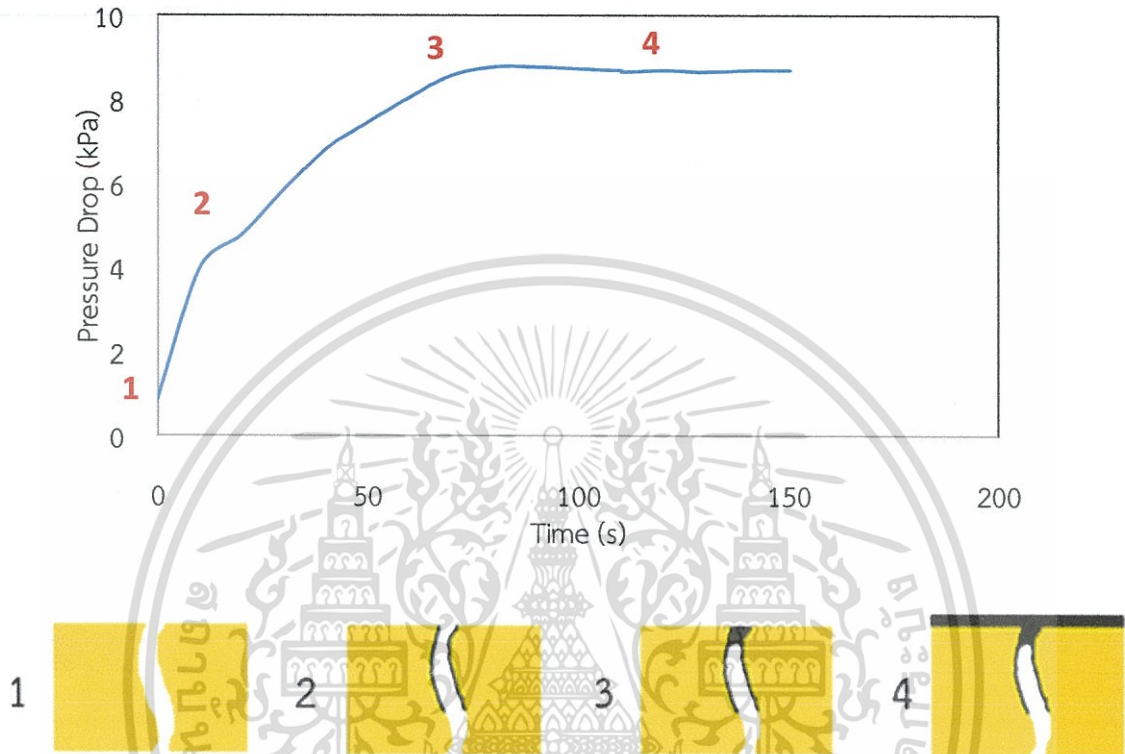
รูปที่ 3.43 เครื่องวัดควันดำของกระดาษกรองที่นำมาใช้วัดค่าประสิทธิภาพการกรอง

### 3.7.4 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนในการทดลองของหัวข้อวิธีการศึกษากระบวนการดักสารละอองธูลีของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลบนตัวกรองละอองธูลีดีเซลแบบไหลผ่านทุกส่วนมีดังนี้ สำหรับตัวกรองละอองธูลีดีเซลทำการเตรียมชิ้นงานให้เป็นแบบแผ่นกว้าง 5 cm และยาว 5 cmหนา 5 mm ทำการประกบด้วยแผ่นปะเก็นทนความร้อนประกอบเข้าที่อุปกรณ์ทดลอง หลังจากนั้นทำการเปิดฮีตเตอร์ควบคุมอุณหภูมิ 200 °C ข้อกำหนดในการทดลองคือความดันเริ่มต้นของชุดทดลองนี้มีค่าความดันตกคร่อมเนื่องจากตัวกรองละอองธูลีมีค่า 2 kPa และทำการดักสารละอองธูลีของเปลวไฟแบบแพร่ ความดันตกคร่อมจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณของสารละอองธูลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลเข้าไปสะสมที่ตัวกรองละอองธูลีดีเซลจนกระทั่งความดันตกคร่อมของตัวกรองละอองธูลีมีค่า 8.5 kPa หลังจากได้อุณหภูมิอากาศที่ควบคุมได้ทำการจุดตะเกียงเพื่อปล่อยสารละอองธูลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล ระหว่างนั้นบันทึกค่าการทดลองจากเครื่องชั่งน้ำหนักเข้าสู่ตัวบันทึกข้อมูลและทำการทดลองวัดค่าความดันตกคร่อมจากมานอมิเตอร์ เนื่องจากการวัดค่ามานอมิเตอร์เก็บค่าการทดลองแบบทีละจุด ดังนั้นจึงทำการเก็บค่าความดันตกคร่อมจากเซ็นเซอร์วัดความดันซึ่งจะได้ข้อมูลแบบตลอดเวลา (Real Time) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลและเป็นการตรวจสอบข้อกำหนดในการทดลองด้วย

### 3.7.5 แบบจำลองความดันตกคร่อมที่เกิดในตัวกรองละอองธูไลดีเซล

ในการทดลองหาความดันตกคร่อมระหว่างขาเข้าและขาออกของตัวกรองละอองธูไลดีเซลในกระบวนการดักสารละอองธูไลดีของเปลวไฟแบบแพร่ได้กำหนดความดันตกคร่อมในตัวกรองละอองธูไลดีเซล ซึ่งเกิดจากการสะสมสารละอองธูไลดีเทียบกับเวลาจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 แบบจำลองแนวคิดของความดันตกคร่อมในระหว่างการดักอนุภาค

หมายเลขที่ 1 คือ ลักษณะของรูพรุนที่สะอาด

หมายเลขที่ 2 คือ ลักษณะของรูพรุนที่เริ่มมีสารละอองธูไลดีเข้ามาจับในรูพรุน ความดันตกคร่อมจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ

หมายเลขที่ 3 คือ ลักษณะของรูพรุนที่มีสารละอองธูไลดีปิดรูพรุน ความดันตกคร่อมจะเพิ่มขึ้นรวดเร็ว

หมายเลขที่ 4 คือ ลักษณะของรูพรุนที่สารละอองธูไลดีเต็มรูพรุนและเริ่มจับที่ผิวหน้าวัสดุ ทดลองเรียกอนุภาคที่จับตัวกันว่า Soot Cake ความดันตกคร่อมจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆและคงที่

### 3.8 วิธีการศึกษากระบวนการรีเจนเนอเรชันของตัวกรองละอองธูรีดีเซล

3.8.1 วิธีการศึกษาหาจลนพลศาสตร์เคมีของการเผาไหม้ของสารละอองธูรีโดยตัวกรองละอองธูรีดีเซลที่มีสารเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Diesel Particulate Filter: CDPF) และไม่มีสารเร่งปฏิกิริยา (Non-Catalytic Diesel Particulate Filter: NDPF)

ในการทดลองนี้ได้กำหนดสถานะที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีอุณหภูมิไม่คงที่จะควบคุมภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในอัตรา  $10^{\circ}\text{C}$  ต่อนาที จากอุณหภูมิ  $25^{\circ}\text{C}$  ถึง  $800^{\circ}\text{C}$  และใช้ออกซิเจน 100% ในการทำปฏิกิริยาเคมี

ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างและทดลองขั้นตอนแรกนำผงสารละอองธูรีดีเซลผสมกับผงของตัวกรองละอองธูรีดีเซลที่บดละเอียดแล้ว ผสมกันในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก มาบดให้เข้ากัน จะใช้เวลาในการบดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยสารละอองธูรีดีเซลผสมกับตัวกรองละอองธูรีดีเซลแบบมีสารเร่งและผสมกับแบบไม่มีสารเร่ง ตามลำดับ แล้วทำในทำนองเดียวกันกับสารละอองธูรีไบโอดีเซล หลังจากนั้นนำสารละอองธูรีที่ผสมเรียบร้อยแล้วไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน ปริมาณที่ไซดทดลอง 3-5 mg เพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารละอองธูรีดีเซลและไบโอดีเซลและหาค่าพลังงานกระตุ้น เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างมีสารเร่งปฏิกิริยาและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 3.45

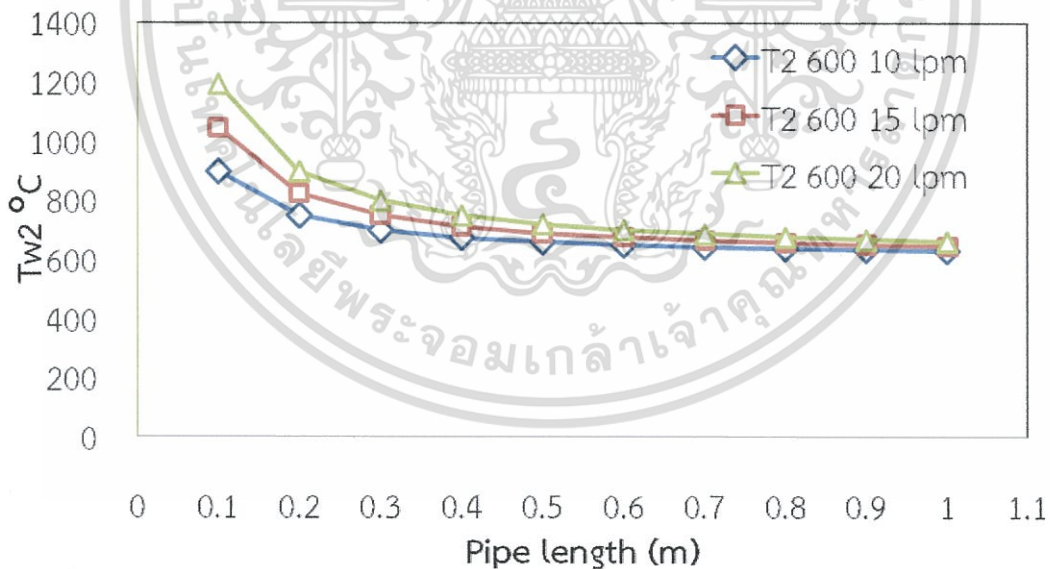


รูปที่ 3.45 การนำสารละอองธูรีดีเซลและไบโอดีเซลบดผสมกับผงเซรามิก

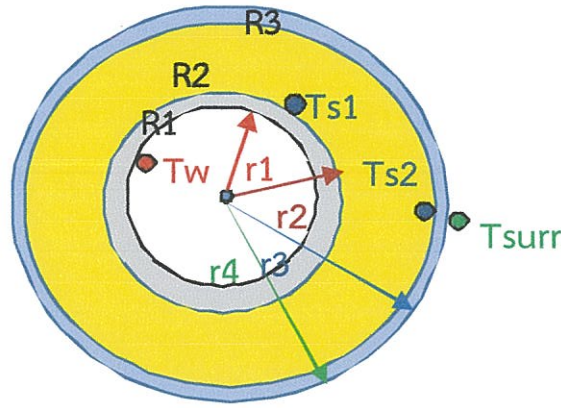
### 3.8.2 วิธีการศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการรีเจนเนอเรชันของตัวกรองละอองธูปธูปติเซล

#### 1. การออกแบบระบบให้ความร้อนของกระบวนการการรีเจนเนอเรชันของตัวกรองละอองธูปธูปติเซล

ในการศึกษาพฤติกรรมการรีเจนเนอเรชันของสารละอองธูปธูปติเซล ได้ทำการออกแบบและสร้างชุดทดลองหลังจากที่ทำการดักสารละอองธูปธูปติเซลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลบนตัวกรองละอองธูปธูปติเซลเรียบร้อยแล้ว ซึ่งรูปที่ 3.46 แสดงถึงทำการออกแบบความยาวท่อที่ให้ความร้อนผนังในท่อ คำนวณอ้างอิงตามสมการที่ 3.12-15 ซึ่งในการทดลองนี้เลือกความยาวท่อ 50 cm เพราะเป็นค่าความยาวที่ทำให้อุณหภูมิผิวท่อกว้างมีอุณหภูมิ  $750^{\circ}\text{C}$  และทำให้อุณหภูมิกว้างในท่อกว้างมีค่าประมาณ  $550^{\circ}\text{C}$  ที่อัตราการไหลของอากาศ 15 lpm ซึ่งวัดมาจาก Flow meter ซึ่งฮีตเตอร์ในการออกแบบครั้งนี้เลือกใช้จำนวน 350 watt สำหรับเพิ่มอุณหภูมิจาก  $25^{\circ}\text{C}$  เป็น  $100^{\circ}\text{C}$  หลังจากนั้นใช้ฮีตเตอร์ 1600 watt เพิ่มอุณหภูมิจาก  $100^{\circ}\text{C}$  เป็น  $400^{\circ}\text{C}$  หลังจากนั้นใช้ฮีตเตอร์เพิ่มอุณหภูมิจาก  $400^{\circ}\text{C}$  เป็น  $550^{\circ}\text{C}$  ซึ่งในการออกแบบและสร้างได้ทำการคำนวณหาความร้อนสูญเสียแก่ระบบ ซึ่งรูปที่ 3.47 แสดงถึงแผนผังความต้านทานของระบบความร้อนโดยคำนวณค่าการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนใยแก้ว ( $k$ ) =  $0.032\text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$  ในรูปที่ 3.18 แสดงค่าความร้อนสูญเสียมีค่า 276 watt ที่อัตราการไหล 15 lpm ได้ทำการแก้ไขปัญหาโดยการหุ้มฉนวนกันความร้อนใยแก้วเพื่อป้องกันปัญหาการสูญเสียความร้อนแก่ระบบและสามารถทำให้ชุดทดลองควบคุมอุณหภูมิในระบบรีเจนเนอเรชันของตัวสารละอองธูปธูปติเซลที่อุณหภูมิ  $550^{\circ}\text{C}$  หลังจากได้ทำการออกแบบเรียบร้อยแล้วก็ทำการสร้างอุปกรณ์ทดลองต่อไป



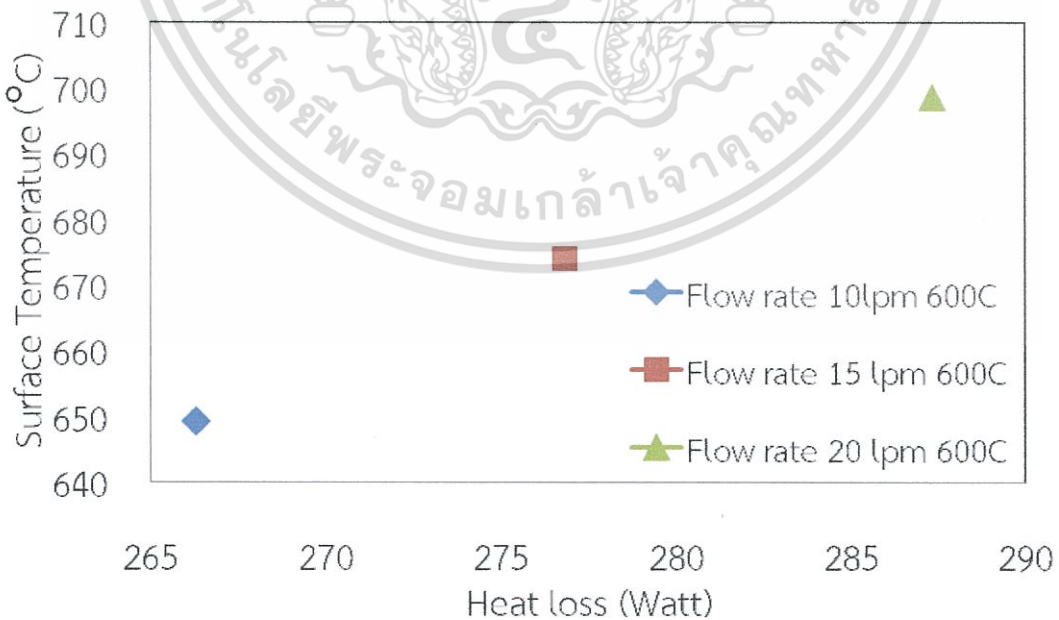
รูปที่ 3.46 การออกแบบความยาวท่อเปรียบกับอุณหภูมิผนังของท่อไอเสีย



รูปที่ 3.47 ความต้านทานของระบบเพื่อคำนวณหาความร้อนสูญเสียแก่ระบบ

โดยที่

- $T_w$  คือ อุณหภูมิของด้านในพื้นผิวท่อ (°C)
- $T_{s1}$  คือ อุณหภูมิของด้านนอกพื้นผิวท่อ (°C)
- $T_{s1}$  คือ อุณหภูมิของด้านนอกพื้นผิวท่อ (°C)
- $T_{s2}$  คือ อุณหภูมิของด้านในพื้นผิวสแตนเลส (°C)
- $T_{surr}$  คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (°C)

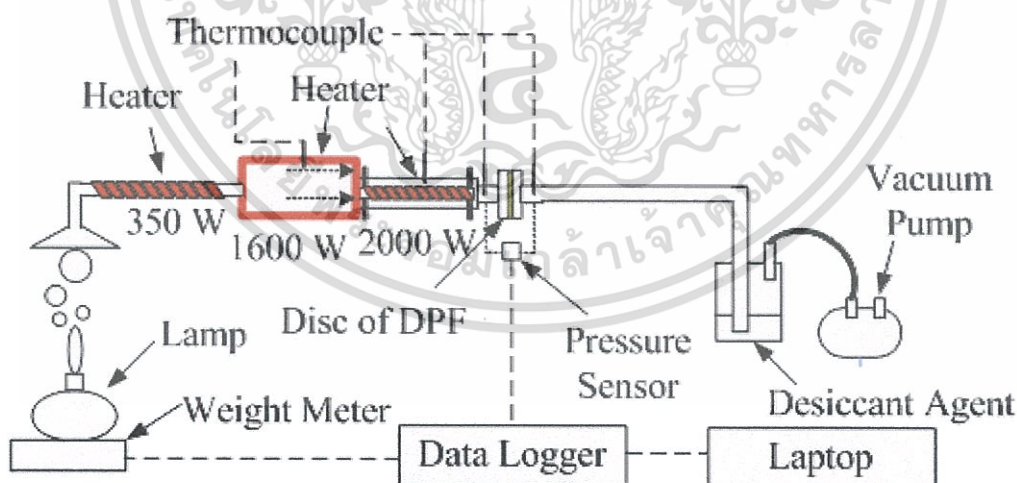


รูปที่ 3.48 ความร้อนสูญเสียแก่ระบบของฮีตเตอร์ในระบบรีเจนเนอเรชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. วิธีการทดลองของกระบวนการรีเจนเนอเรชั่นของตัวกรองละอองธูไลต์เซล

ในวิธีการทดลองกระบวนการรีเจนเนอเรชั่นของตัวกรองละอองธูไลต์เซล ในการเตรียมตัวกรองละอองธูไลต์เซลได้ตัดมีความยาว 4.5 cm ความยาว 4.5 cm และความหนา 5 mm เป็นแบบแผ่นหลังจากนั้นใช้ปะเก็นประกอบสองฝั่งทากาวปะเก็นประกอบเข้าที่ชุดทดลอง หลังจากนั้นทำการทดลองด้วยกระบวนการดักสารละอองธูไลต์ของเปลวไฟแบบแพร่ ซึ่งในการทดลองนี้อุณหภูมิในการดักสารละอองธูไลต์มีค่าคงที่ 200 °C ค่าความดันตกคร่อมของตัวกรองละอองธูไลต์เซลเริ่มต้นโดยที่ไม่มีสารละอองธูไลต์สะสมมีค่าเท่ากับ 5 kPa ซึ่งมีค่าแตกต่างจากการทดลองของกระบวนการดักสารละอองธูไลต์ของเปลวไฟแบบแพร่บนตัวกรองละอองธูไลต์เซลเนื่องจากในการทดลองของกระบวนการรีเจนเนอเรชั่นได้มีลดขนาดท่อและใช้ในความยาวท่อ 50 cm ซึ่งข้อกำหนดในการทำทดลองครั้งนี้โดยการจุดตะเกียงเพื่อเก็บค่าความดันตกคร่อมของตัวกรองละอองธูไลต์เซล สารละอองธูไลต์ของเปลวไฟแบบแพร่ค่อยๆเข้าไปสะสมที่ตัวกรองละอองธูไลต์เซล จนกระทั่งค่าความดันตกคร่อมค่าประมาณ 20 kPa ซึ่งค่าความดันตกคร่อมนี้ขึ้นกับปั๊มดูดแบบสุญญากาศซึ่งเป็นขีดจำกัดของอุปกรณ์ หลังจากนั้นเปิดฮีตเตอร์เพิ่มอุณหภูมิทางเข้าของอากาศในท่อไอเสียในชุดทดลองให้อุณหภูมิภายในกึ่งกลางจาก 200 °C ไปถึงอุณหภูมิสำหรับกระบวนการรีเจนเนอเรชั่นของตัวกรองละอองธูไลต์เซลที่ 550 °C ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ออกซิเจนประมาณ 21 % ซึ่งเป็นความดันบรรยากาศ หลังจากนั้นทำการวัดค่าความดันตกคร่อมระหว่างขาเข้าและขาออกของสารละอองธูไลต์ของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบนตัวกรองละอองธูไลต์เซลแบบที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีจนกระทั่งลดลงเท่ากับค่าเริ่มต้น 5 kPa ซึ่งค่าความดันตกคร่อมจะบ่งบอกถึงการสลายของสารละอองธูไลต์ที่อยู่ในตัวกรองละอองธูไลต์เซลบนอุปกรณ์ทดลอง ซึ่งทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลและเป็นการตรวจสอบข้อกำหนดในการทดลองด้วยดังแสดงในรูปที่ 3.49



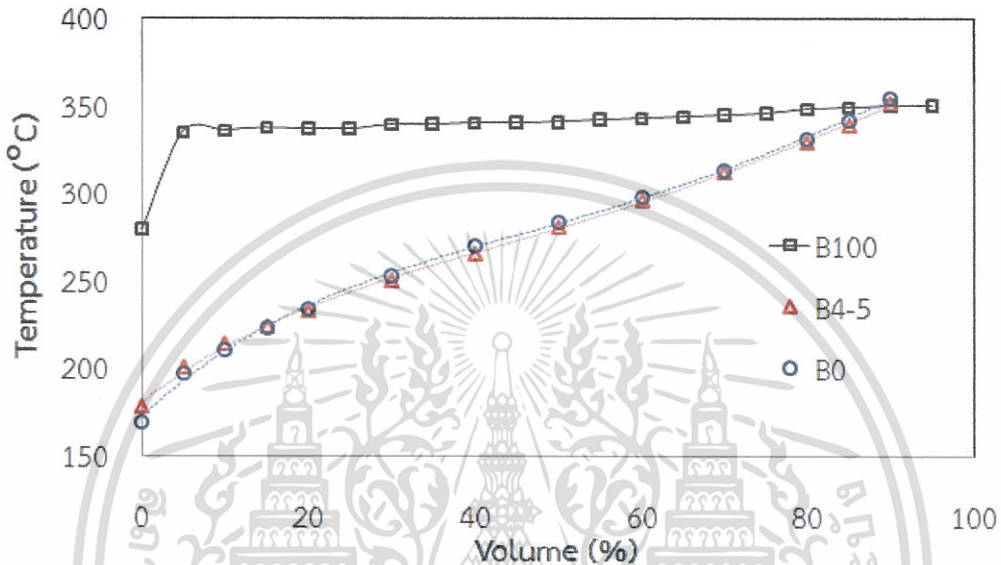
รูปที่ 3.49 แผนผังการทดลองของระบบรีเจนเนอเรชั่นของตัวกรองละอองธูไลต์เซล

## บทที่ 4

# ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

### 4.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

#### 4.1.1 คุณลักษณะการกลั่นตัวของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล



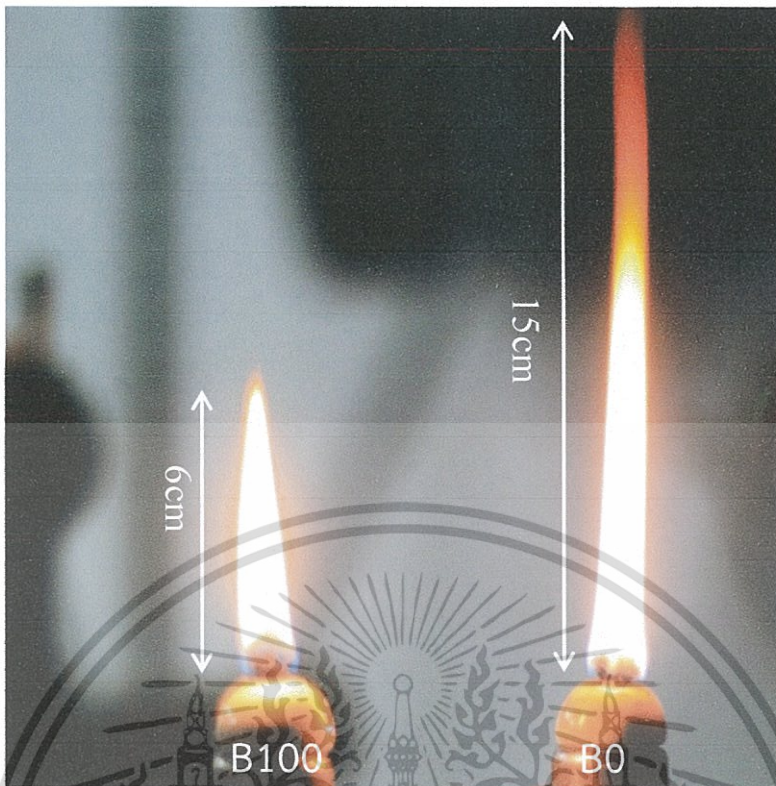
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

จากผลการทดลอง รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติการกลั่นตัวของเชื้อเพลิงดีเซลที่ผลิตมาจากน้ำมันดิบมีส่วนประกอบของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนหลายชนิดและไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์มากพบว่าเชื้อเพลิงดีเซลมีองค์ประกอบทางเคมีหลายโมเลกุลช่วงอุณหภูมิค่าใดค่าหนึ่งมีลักษณะไม่คงที่ ซึ่งในทางตรงกันข้ามไบโอดีเซลจะมีโมเลกุลเดียวซึ่งสามารถระเหยตัวได้พร้อมกันที่ค่าอุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง ซึ่งเป็นข้อดีของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลทำให้สารระเหยออกจากรถยนต์ลดลง

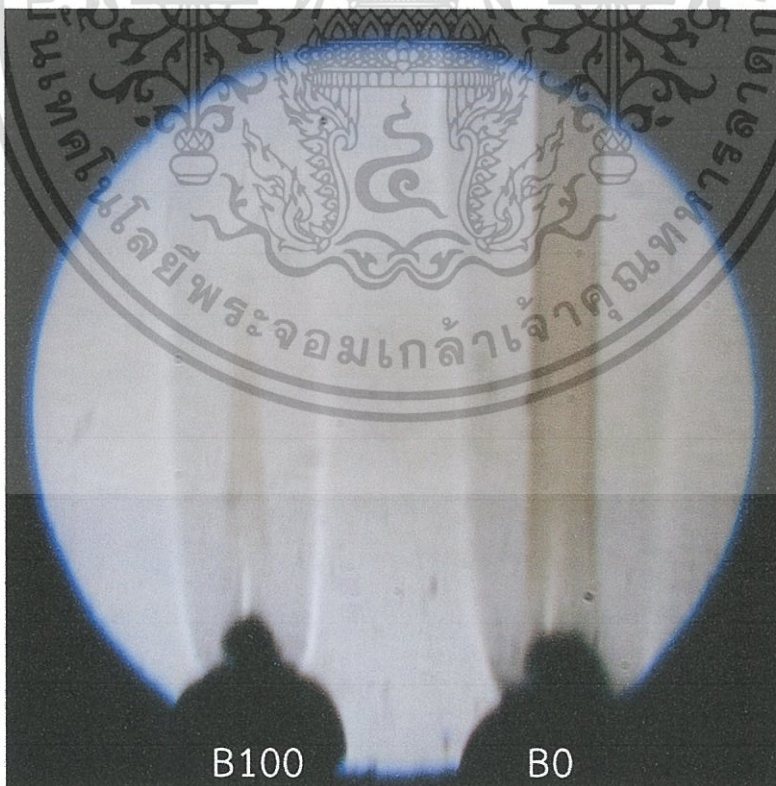
#### 4.2 ปริมาณของสารระเหยของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลจากกล้องถ่ายภาพแบบทั่วไป จากการทดลองนี้พบว่าสารระเหยออกจากรถยนต์ได้ถูกผลิตแหล่งกำเนิดจากตะเกียง จากภาพสามารถอธิบายได้ว่าเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลสูงกว่าเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล อาจจะเป็นเพราะว่าไบโอดีเซลมีออกซิเจนในตัวเองช่วยให้เปลวไฟเผาไหม้สมบูรณ์กว่าและแกนกลางของเปลวไฟดีเซลมีลักษณะดำกว่าไบโอดีเซลซึ่งเป็นเพราะเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนอยู่ในตัวเอง

รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลด้วยเทคนิคถ่ายภาพแบบวีธีซูรีเรน จากภาพสามารถอธิบายได้ว่าแกนกลางของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีลักษณะดำกว่าแกนกลางของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล มันเป็นเพราะว่าไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนในตัวเอง ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ได้ดีกว่า



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B100) และดีเซล (B0) ด้วยกล้องถ่ายรูปแบบทั่วไป



รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B100) และดีเซล (B0) ด้วยวิธีลูซิเรน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

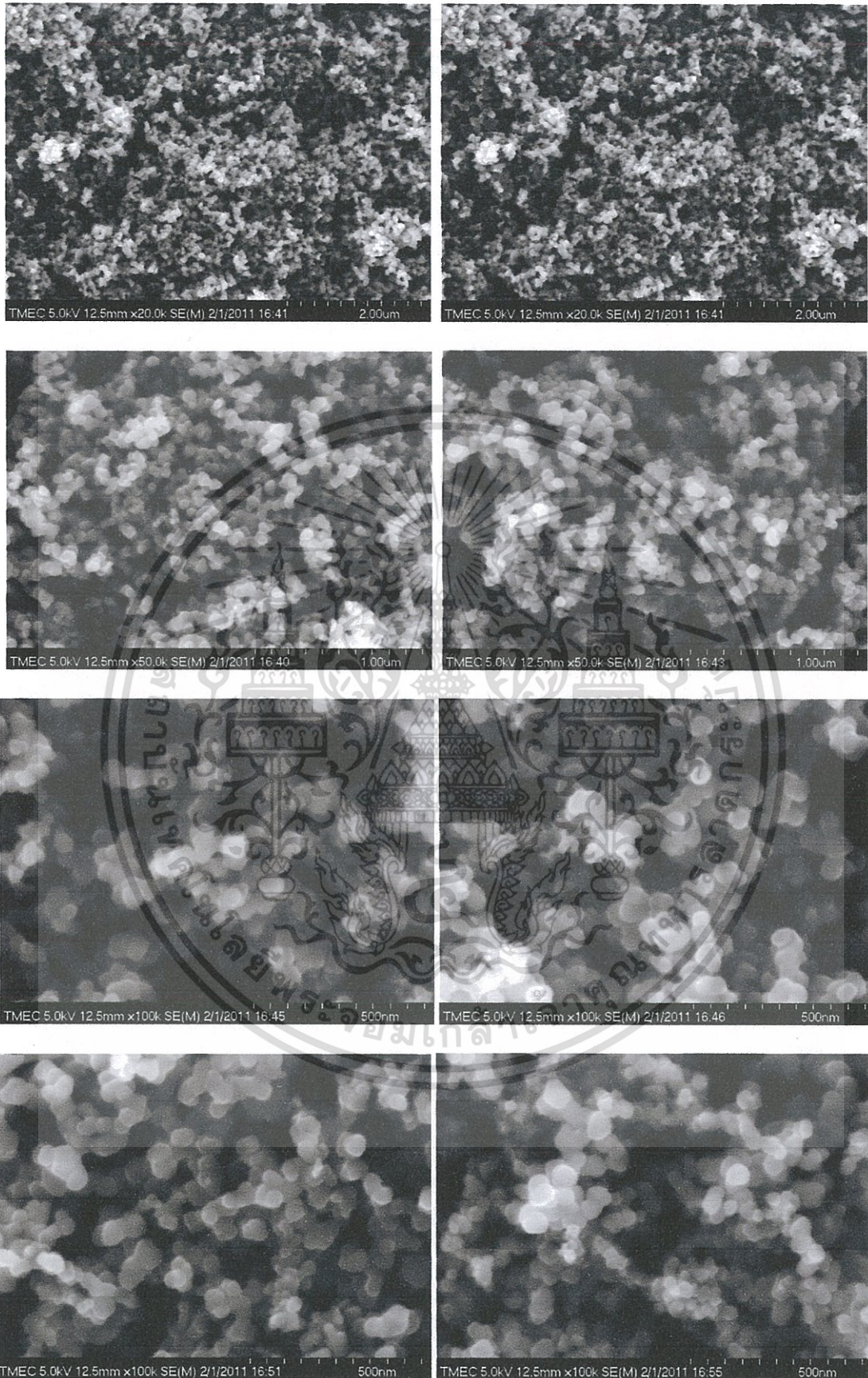
### 4.3 คุณสมบัติทางกายภาพของสารละอองธัญของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

#### 4.3.1 ขนาดของสารละอองธัญอนุภาคแบบเดี่ยวจากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

จากรูปถ่ายรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 เป็นภาพถ่ายของสารละอองธัญอนุภาคแบบอนุภาคเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ (Scanning Electron Microscope : SEM) จากภาพถ่ายกล้อง SEM สารละอองธัญของดีเซลมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคไบโอดีเซล จากรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 เป็นภาพถ่ายของสารละอองธัญอนุภาคแบบอนุภาคเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope: TEM) จากภาพถ่ายพบว่าขนาดของสารละอองธัญดีเซลใหญ่กว่าสารละอองธัญไบโอดีเซลซึ่งเหมือนกับรูปถ่ายสารละอองธัญของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ

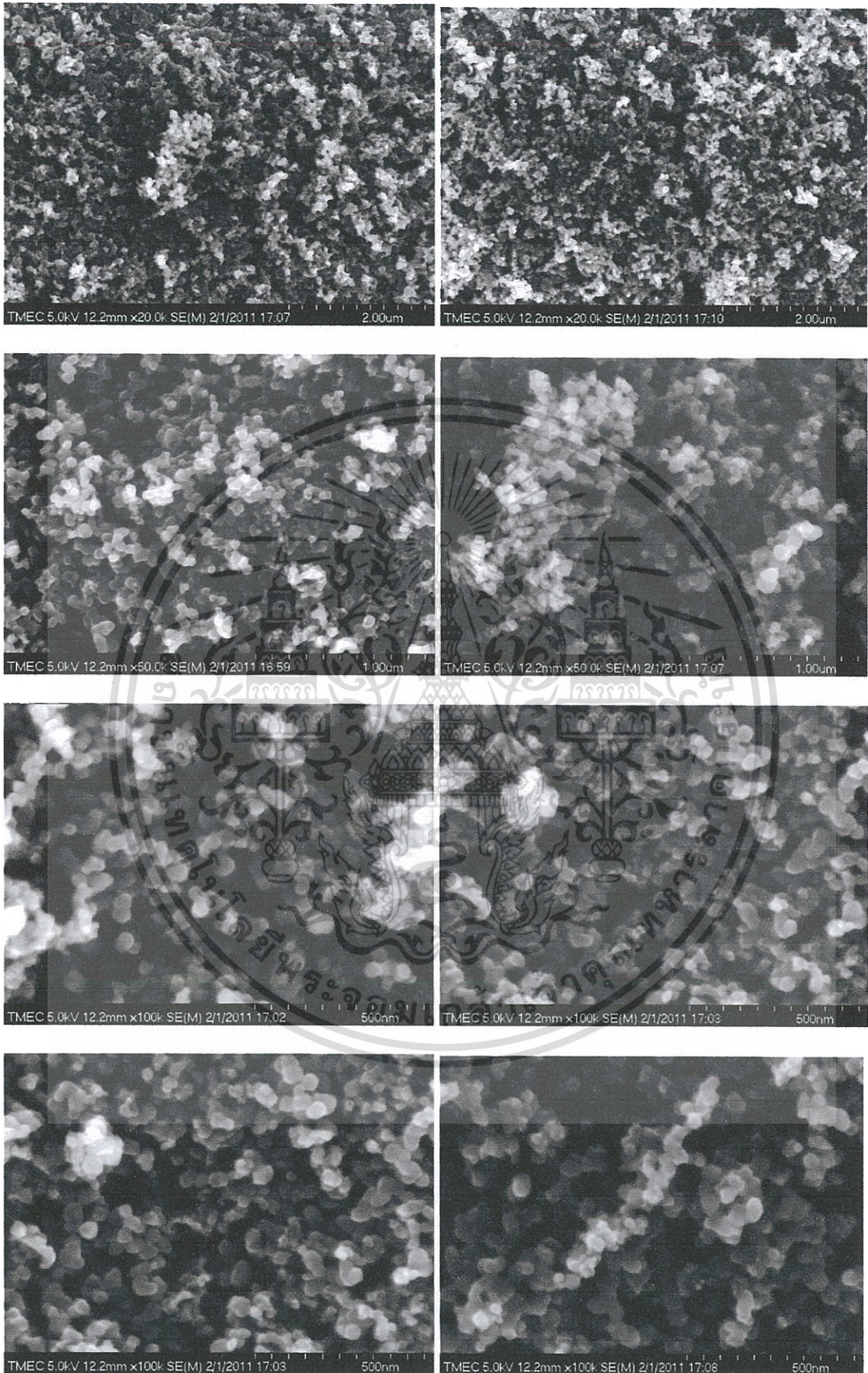
จากรูปที่ 4.8 เป็นการเปรียบเทียบขนาดของสารละอองธัญดีเซลและไบโอดีเซลจากภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ จากผลการทดลองพบว่าขนาดของสารละอองธัญดีเซลจากเปลวไฟแบบแพร่มีขนาดใหญ่กว่าสารละอองธัญไบโอดีเซล ซึ่งขนาดของสารละอองธัญของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีขนาดอนุภาคเดี่ยว 51-60 nm และสารละอองธัญของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีขนาดอนุภาคเดี่ยว 31-40 nm เหตุผลที่ขนาดของสารละอองธัญของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีขนาดใหญ่กว่าสารละอองธัญของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล อาจจะเป็นเพราะว่าสารละอองธัญของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีอะตอมของออกซิเจนในตัวเองช่วยให้เผาไหม้สมบูรณ์กว่าทำให้อุณหภูมิในการเผาไหม้สูงกว่าคาดว่าผิวพื้นของสารละอองธัญของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าทำจึงเหตุผลให้ไบโอดีเซลมีขนาดเล็กกว่าและดีเซลมีอัตราส่วนของคาร์บอนโดยน้ำหนักมากกว่าไบโอดีเซลทำให้สารละอองธัญโดยเผาไหม้ทำให้มีขนาดใหญ่กว่า ในทำนองเดียวกันสารละอองธัญของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีขนาดเล็กและซ้อนทับกันหนาแน่นกว่าสารละอองธัญของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลเพราะเมื่อเปรียบเทียบกลุ่มอนุภาคเท่ากันสารละอองธัญของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีความหนาแน่นมากกว่าย่อมมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของมวลและความหนาแน่น

จากรูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบของขนาดโดยเฉลี่ยของสารละอองธัญของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านจากรูปพบว่าขนาดสารละอองธัญของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีขนาดแบบอนุภาคเดี่ยวประมาณ 51-60 nm ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าสารละอองธัญของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลซึ่งมีขนาดแบบอนุภาคเดี่ยว 31-40 nm ซึ่งสอดคล้องกับขนาดอนุภาคเดี่ยวที่วัดมาจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

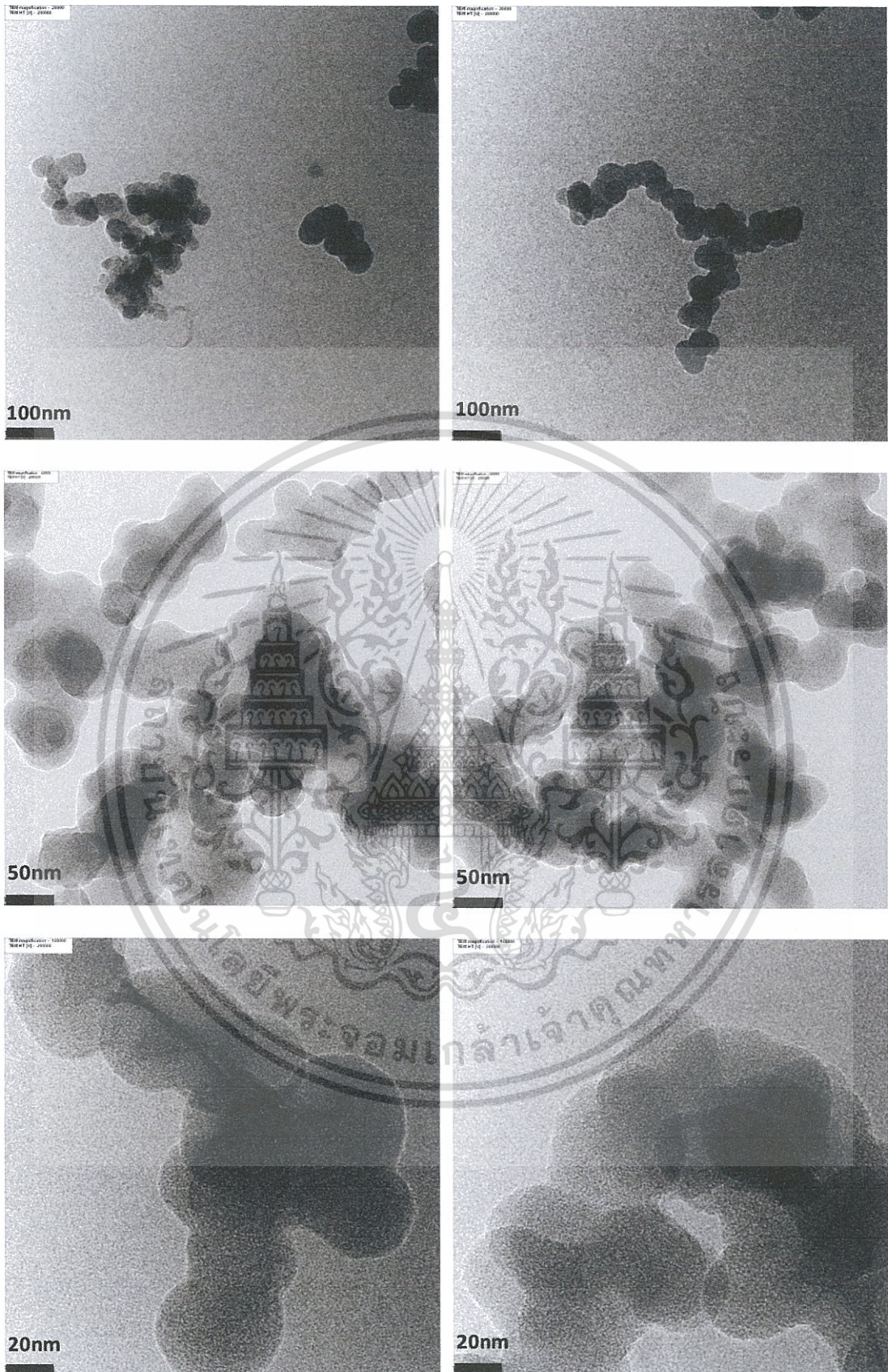


**รูปที่ 4.4** ภาพถ่ายของสารระอองรูสี่เหลี่ยมแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

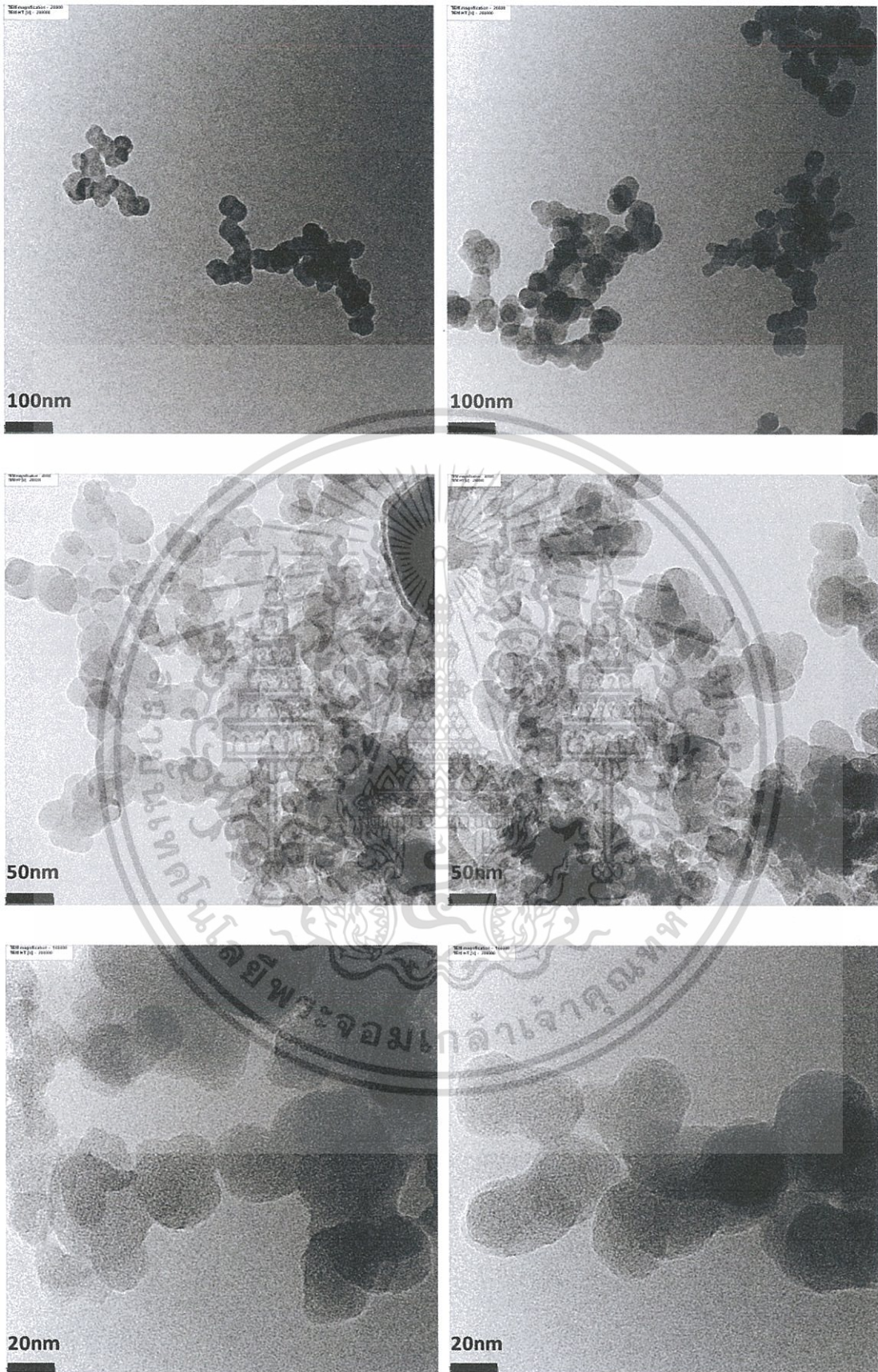


**รูปที่ 4.5** ภาพถ่ายของสารละอองรูเลียนภาคแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



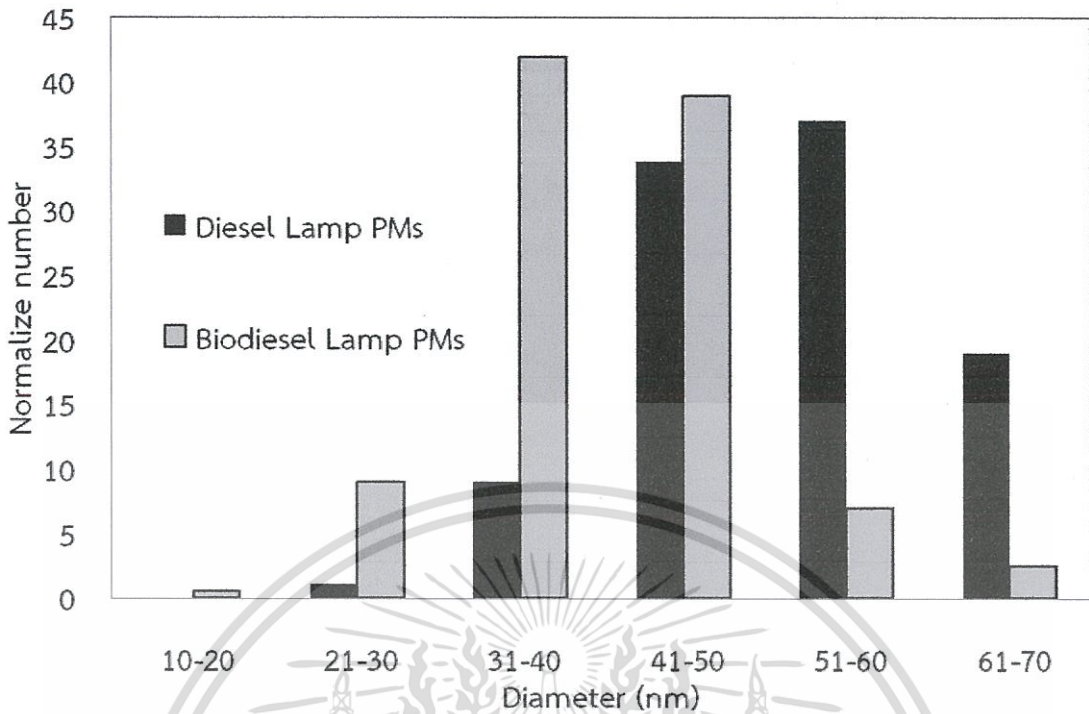
รูปที่ 4.6 สารละอองรู็อนุภาคแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

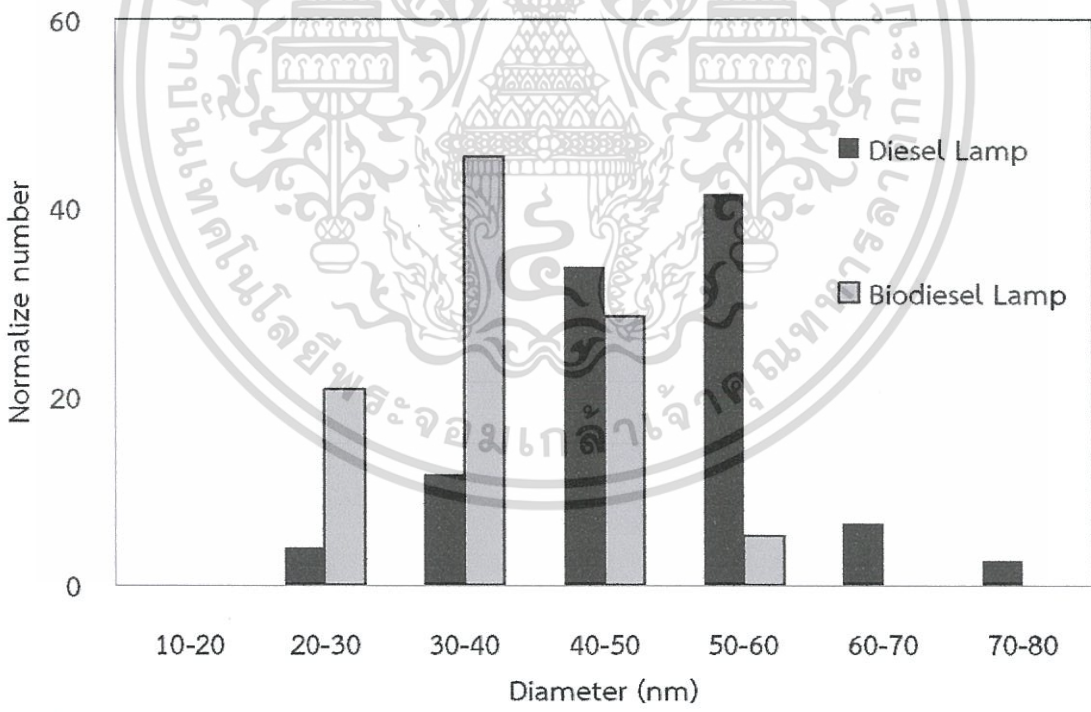


รูปที่ 4.7 สารละลายออสติโอนภาคแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ขนาดเฉลี่ยสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่แบบอนุภาคเดี่ยวจากภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ

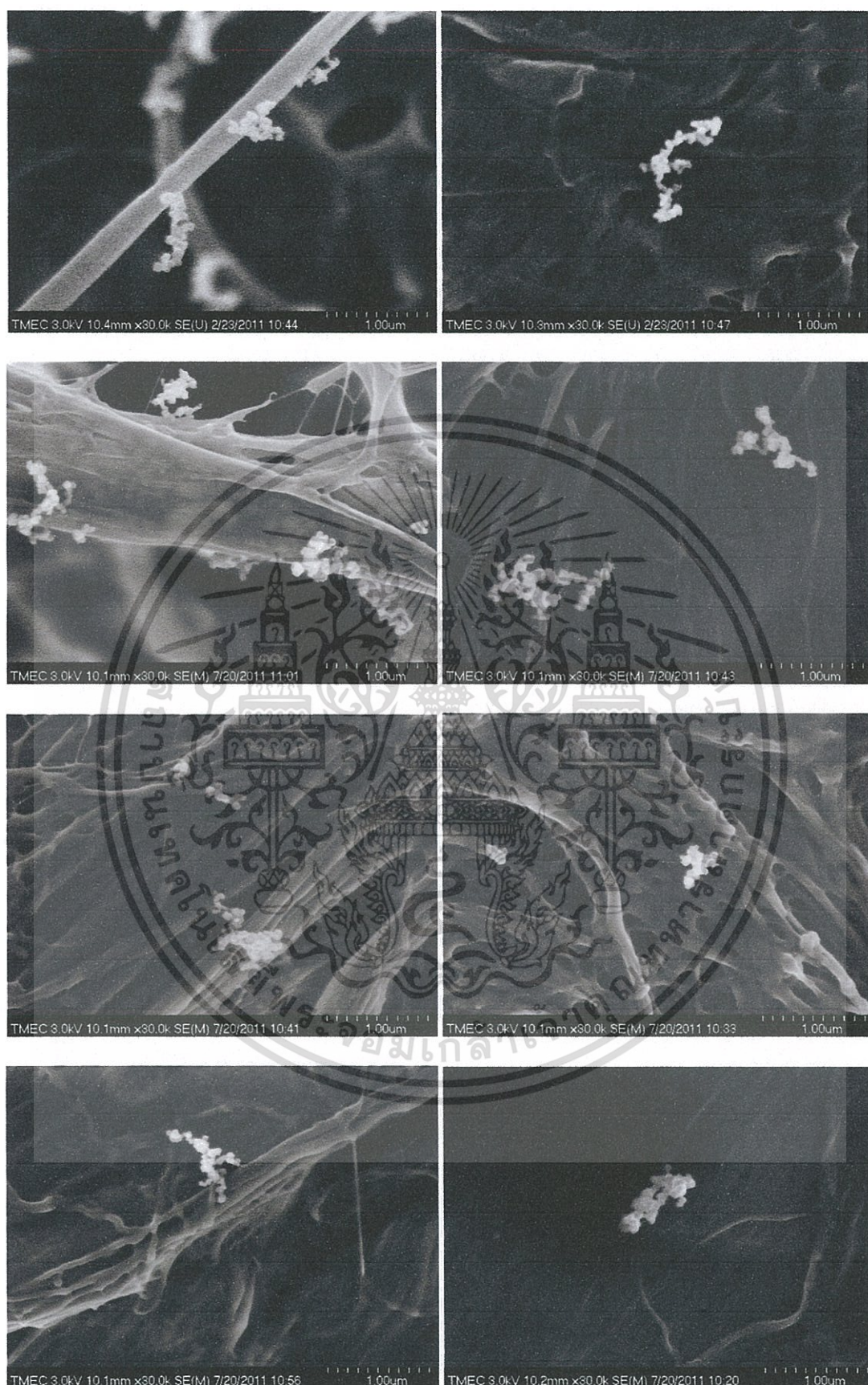


รูปที่ 4.9 ขนาดเฉลี่ยสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่แบบอนุภาคเดี่ยวจากภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

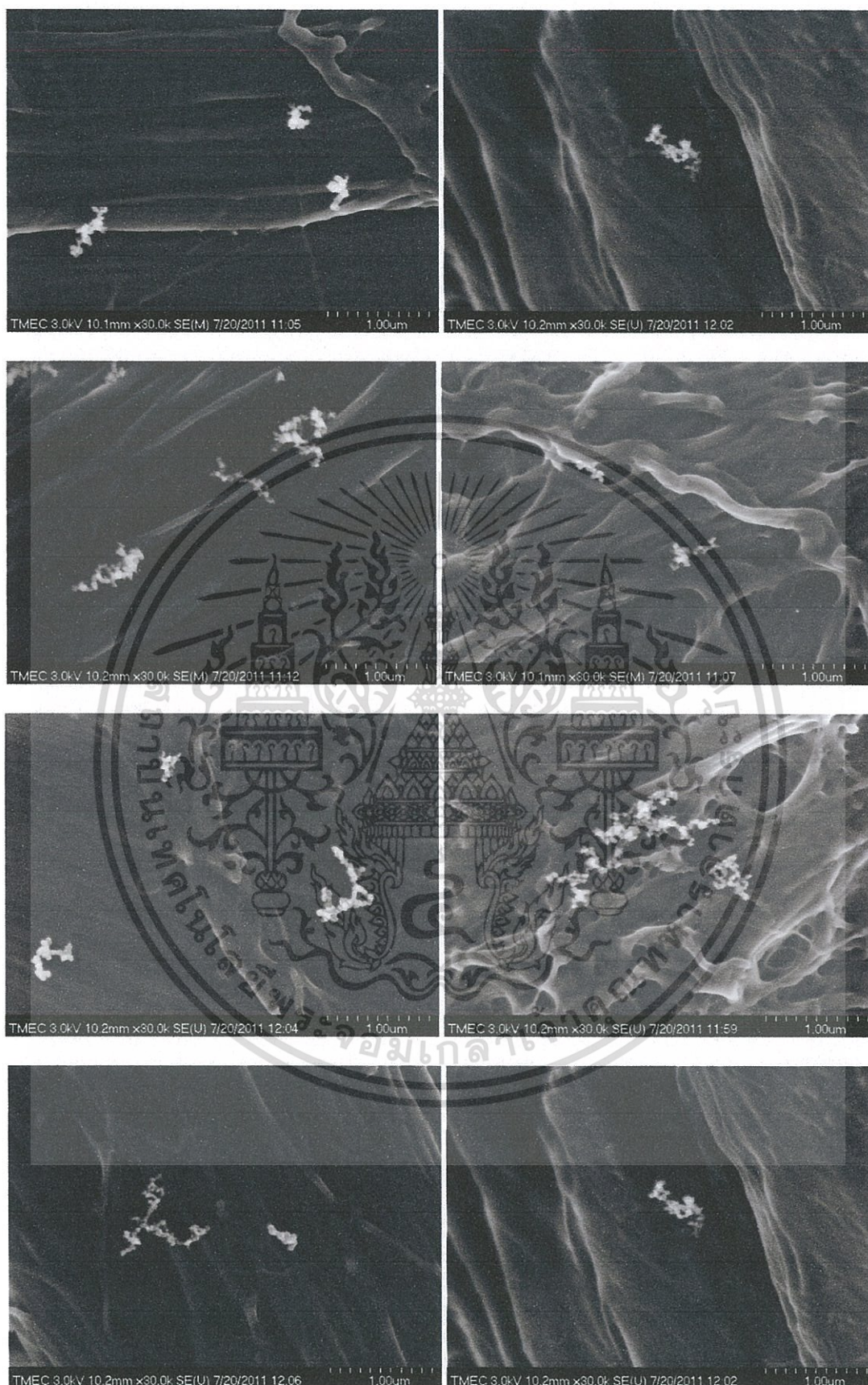
#### 4.3.2 ขนาดของสารละอองธัญธูปอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 เป็นภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ (Scanning Electron Microscope : SEM) ของสารละอองธัญธูปอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลตามลำดับ จากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ พบว่าสารละอองธัญธูปอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนมีขนาดใหญ่กว่าสารละอองธัญธูปไบโอดีเซลซึ่งแสดงว่าขนาดของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีขนาดเล็กกว่าและซ้อนกันหนาแน่นกว่าสารละอองธัญธูปของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลเมื่อเปรียบเทียบที่มวลของสารละอองธัญธูปอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนเท่ากัน ดังนั้นสารละอองธัญธูปอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลย่อมมีความหนาแน่นมากกว่า จากรูปที่ 4.12 เป็นกราฟขนาดเฉลี่ยของสารละอองธัญธูปอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล จากผลการทดลองพบว่าขนาดเฉลี่ยของสารละอองธัญธูปอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีขนาดใหญ่กว่าไบโอดีเซล ขนาดเฉลี่ยของสารละอองธัญธูปของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนมีค่า 240-280 nm และ 180-240 nm ตามลำดับ อาจจะเป็นเพราะว่าคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล ในทำนองเดียวกันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีอะตอมของออกซิเจนในตัวเองช่วยให้เผาไหม้สมบูรณ์กว่าทำให้ขนาดเล็กกว่าและเชื้อเพลิงดีเซลมีอัตราส่วนของคาร์บอนโดยน้ำหนักมากกว่าไบโอดีเซลทำให้สารละอองธัญธูปโดยเผาไหม้ทำให้มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งจากผลการทดลองวัดหาขนาดของสารละอองธัญธูปของเปลวไฟแบบแพร่แบบดีเซลและไบโอดีเซลมีความสัมพันธ์แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลและแรงไฟฟ้าสถิตย์ซึ่งควรที่จะศึกษาในเชิงลึกต่อไป



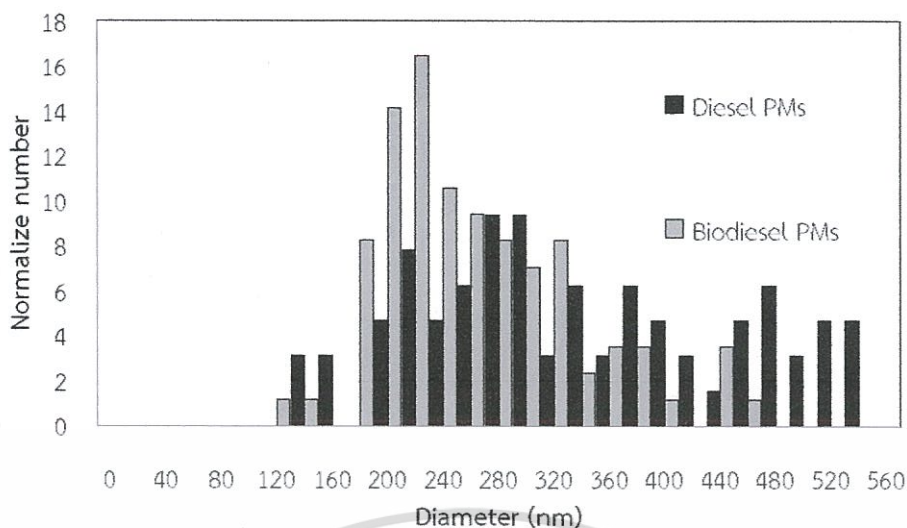
รูปที่ 4.10 สารละอองรูโกลักษณะแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนจากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 สารละลายออสติโอนภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



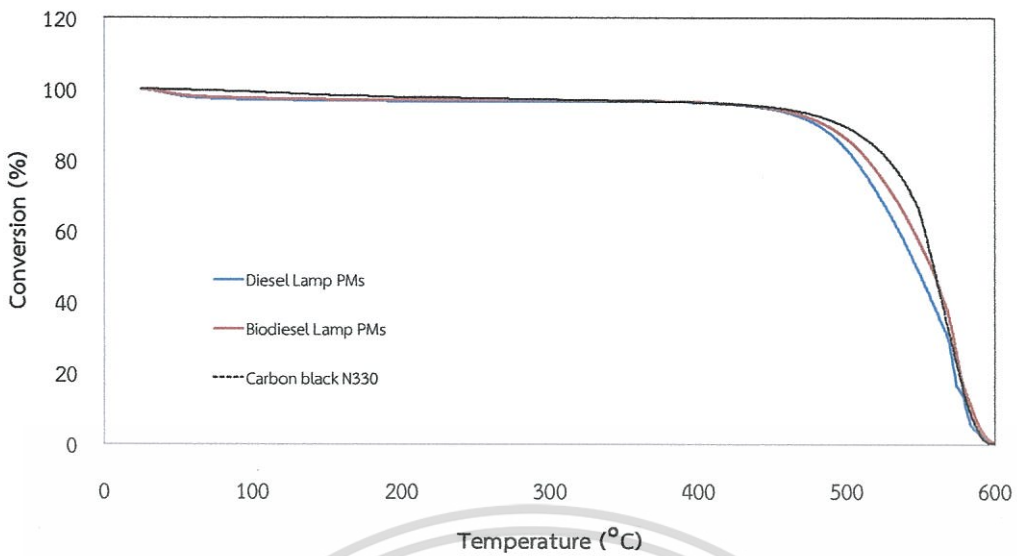
รูปที่ 4.12 ขนาดเฉลี่ยของสารละอองรฐลีอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

#### 4.4 จลนพลศาสตร์ทางเคมีของการเผาไหม้สารละอองรฐลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

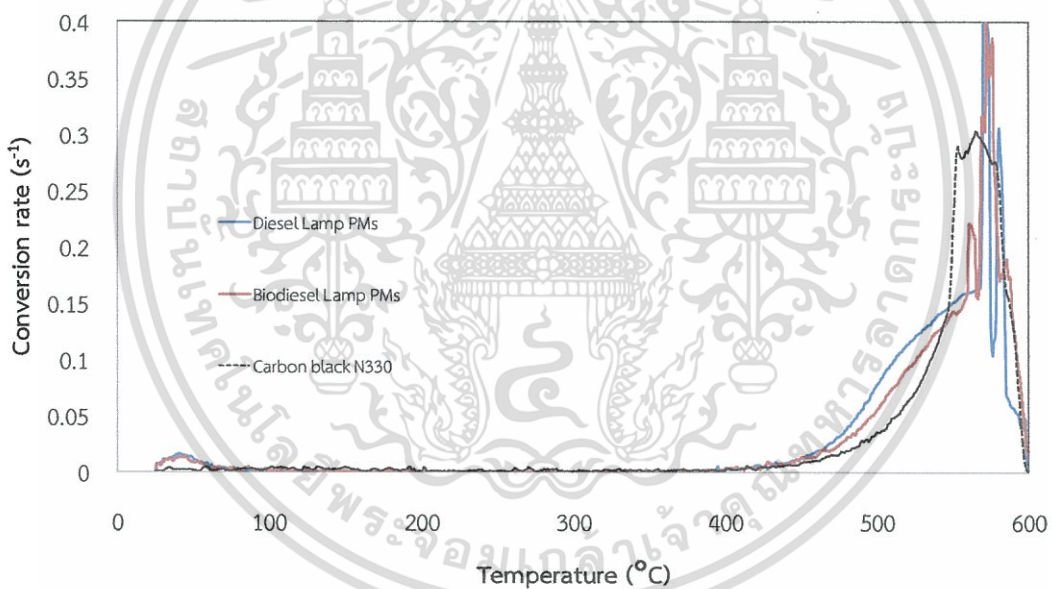
##### 4.4.1 การวิเคราะห์หาพลังงานกระตุ้นในการสลายสารละอองรฐลีโดยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อนทำการทดลองด้วยวิธีอุณหภูมิไม่คงที่ (Non-Isothermal Method)

จากรูปที่ 4.13 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์การลดลงของน้ำหนักของสารละอองรฐลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากเครื่องมือวิเคราะห์ทางความร้อนโดยใช้วิธีชั่งโดยน้ำหนัก (TGA) ซึ่งข้อมูลนี้ตัดช่วงอุณหภูมิ 25 °C ถึง 600 °C เนื่องจากที่อุณหภูมิ 600 °C สารละอองรฐลีคาร์บอนไปถูกออกซิไดส์ไปเรียบร้อยแล้วส่วนกราฟด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (TGA) สามารถเปิดดูกราฟวิเคราะห์ข้อมูลในภาคผนวกซึ่งกราฟวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิการออกซิไดส์สารละอองรฐลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อดีเซลและไบโอดีเซลช่วงอุณหภูมิ 25 °C ถึง 800 °C จากผลการทดลองจะเห็นว่าน้ำหนักของสารละอองรฐลีลดลงสามช่วง ช่วงแรกเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 100 °C น้ำหนักลดลงประมาณ 1-10% ซึ่งแสดงถึงการลดลงของน้ำหนักจากการระเหยของน้ำนั่นเอง หลังจากนั้นน้ำหนักของสารละอองรฐลีค่อยๆลดลงอีกประมาณ 10-40% ในช่วงที่สอง จากอุณหภูมิประมาณ 100 °C ถึง 400 °C ซึ่งแสดงถึงสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหรือเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ได้ถูกออกซิไดส์และช่วงสุดท้ายน้ำหนักสารละอองรฐลีที่เหลือประมาณ 40-60% ลดลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ 500 °C ถึง 600 °C ซึ่งแสดงเป็นการแสดงถึงการลดลงเนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจนรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่า สารละอองรฐลีทั้งสองชนิดสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ ภายใต้อุณหภูมิ 550 °C ถึง 600 °C จากผลการทดลองพบว่าสารละอองรฐลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลจะทำการออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าสารละอองรฐลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล และคาร์บอนแบล็ค N 330 ตามลำดับคาดว่าสารละอองรฐลีของเปลวไฟแบบแพร่ซึ่งการออกซิไดส์สารละอองรฐลีมีลักษณะใกล้เคียงคาร์บอนแบล็ค N 330 ซึ่งคาร์บอนแบล็คมีลักษณะเป็นคาร์บอนบริสุทธิ์ใช้เป็นตัวแทนเปรียบเทียบการออกซิไดส์สารละอองรฐลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



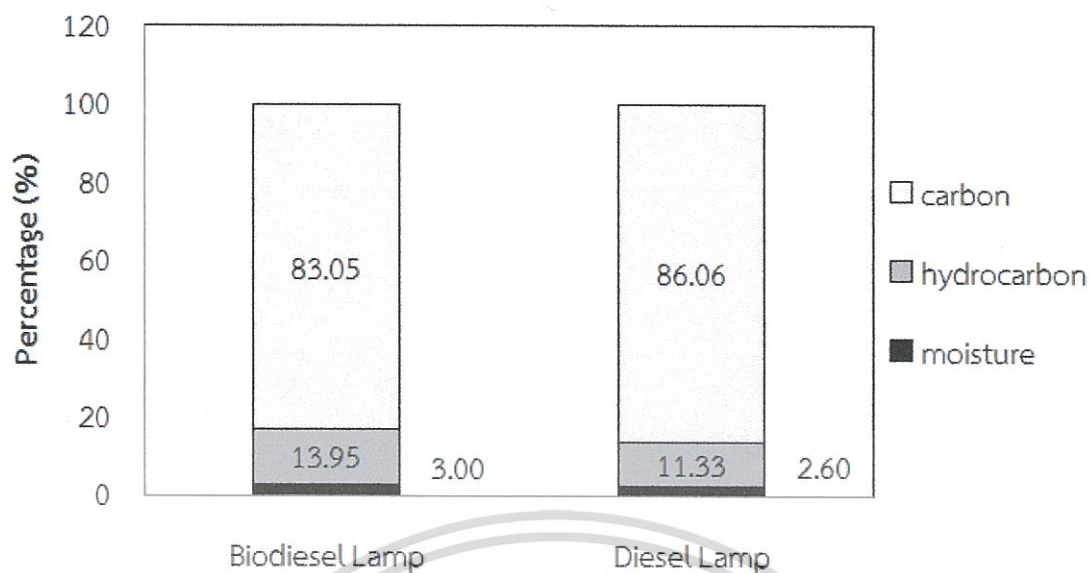
รูปที่ 4.13 การลดลงของน้ำหนักของสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล ไบโอดีเซลและคาร์บอนแบล็ค N 330



รูปที่ 4.14 อัตราการลดลงของสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล ไบโอดีเซลและคาร์บอนแบล็ค N330

รูปที่ 4.14 แสดงถึงอัตราการลดลงของสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล และคาร์บอนแบล็ค N 330 พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 200-400 °C สารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลออกซิไดส์ได้เร็วกว่าสารละอองธุลีไบโอดีเซล และ คาร์บอนแบล็ค N 330 ตามลำดับ ส่วนเหตุผลที่สอดคล้องตามที่กล่าวมาข้างต้น จากรูปที่ 4.15 เป็นการเปรียบเทียบสัดส่วนประกอบหลักของสารละอองธุลี แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นไอน้ำ ส่วนประกอบไฮโดรคาร์บอนและ คาร์บอน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ส่วนองค์ประกอบคิดเป็นเปอร์เซ็นต์มาจากรูปที่

4.13 เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

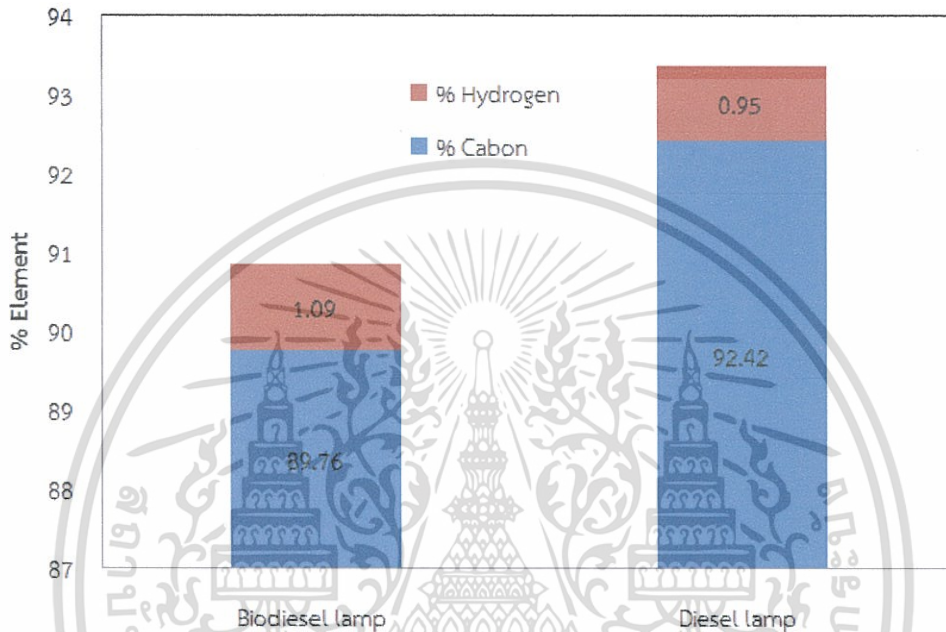


รูปที่ 4.15 ส่วนประกอบของสารระเหยของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล โดยประมาณจากกราฟ เครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักทางความร้อน (TGA)

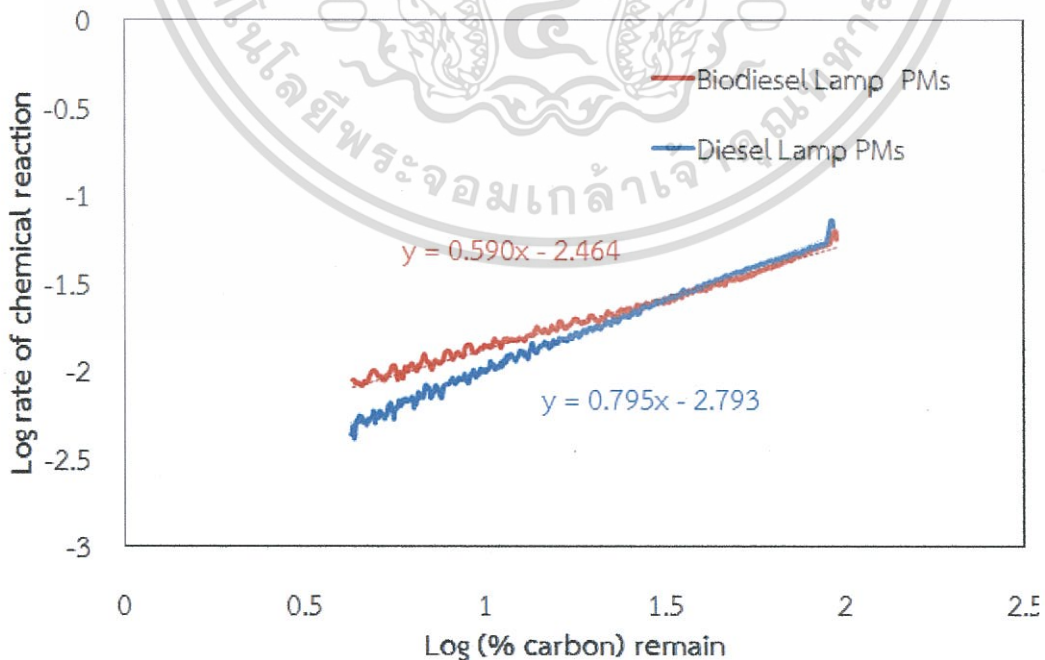
จากรูปที่ 4.15 จากผลการทดลองพบว่าส่วนของคาร์บอนในสารระเหยของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลมีค่าเท่ากับ 86.06 % และ 83.05 % ตามลำดับ ซึ่งค่าคาร์บอนของสารระเหยของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีค่ามากกว่าเชื้อเพลิงไบโอดีเซลอาจจะเป็นเพราะว่าสารระเหยของไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนในตัวเองช่วยให้เผาไหม้สมบูรณ์ซึ่งทำให้ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนในสารระเหยของเปลวไฟแบบแพร่ลดลง ในรูปที่ 4.16 เป็นการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของธาตุคาร์บอนและไฮโดรคาร์บอนจากเครื่องวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจน (CHN Analyzer) เพื่อยืนยันความถูกต้องจากผลการทดลองของรูปที่ 4.15 จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนและไฮโดรคาร์บอนของสารระเหยของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีค่าเท่ากับ 92.42 % 0.95 % 89.76 และ 1.09 % ตามลำดับค่าเปอร์เซ็นต์มีทิศทางไปในทางเดียวกันกับข้อมูลของรูปที่ 4.15 จากรูปที่ 4.17 เป็นการคำนวณหาเศษส่วนโมลของคาร์บอน (ค่า n) จากกราฟพบว่าสารระเหยของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีค่าสัดส่วนโมลของคาร์บอนมากกว่าไบโอดีเซลซึ่งแสดงว่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของสารระเหยของไบโอดีเซลมีโอกาที่ออกซิเจนจะทำปฏิกิริยาได้ดีกว่าดีเซลในกรณีที่เป็นเปลวไฟแบบแพร่จากตะเกียงสามารถที่จะวิเคราะห์ได้ว่าสารระเหยของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลสามารถออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าสารระเหยจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล จากรูปที่ 4.18 เป็นกราฟเปรียบเทียบพลังงานกระตุ้นของสารระเหยของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล และ คาร์บอนแบล็ค N 330 จากกราฟพบว่าพลังงานกระตุ้นในแต่ละช่วงอุณหภูมิการออกซิไดส์สารระเหยของ 400-425 °C จนถึง 475-500 °C สารระเหยของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลใช้พลังงานต่ำกว่า และช่วงอุณหภูมิ 500-525 °C และ 525-550 °C สารระเหยของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลใช้พลังงานในการออกซิไดส์สารระเหยต่ำกว่า และรูปที่ 4.19 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบส่วนทางกายภาพเป็นโอกาสที่ออกซิเจนทำปฏิกิริยากับสารระเหย จากการวิเคราะห์พบว่า ในแต่ละช่วงอุณหภูมิการออกซิไดส์สารระเหยของ 400-425 °C จนถึง 475-500 °C สารระเหยของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลค่าพจน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอกาสที่ออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารละอองธุลีมีค่าต่ำกว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล และช่วงอุณหภูมิ 500-525 °C และ 525-550 °C สารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลค่าพจน์โอกาสที่ออกซิเจนทำปฏิกิริยาเคมีกับสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่า ซึ่งมีค่าแตกต่างกัน แม้ว่าพลังงานกระตุ้นของสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่ของไบโอดีเซลมีพลังงานกระตุ้นต่ำกว่าดีเซล แต่สารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าไบโอดีเซลเนื่องจากพจน์ทางกายภาพ  $\text{LnA} + m\text{LnO}_2$  มีค่ามากกว่านั่นเอง

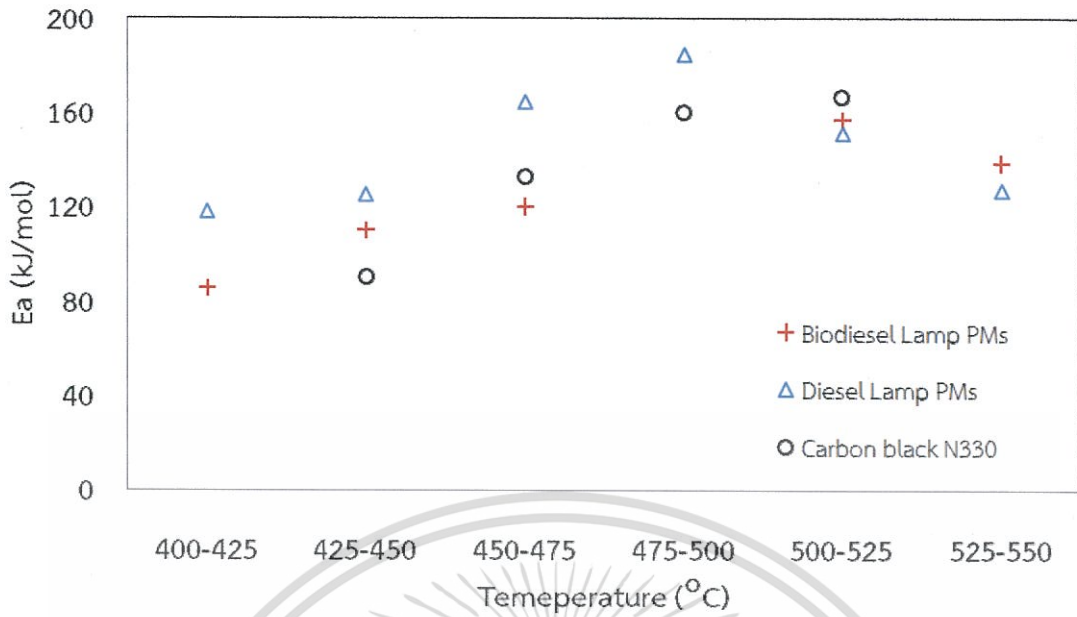


รูปที่ 4.16 ส่วนประกอบทางเคมีของของสารละอองธุลีชนิดต่างๆ

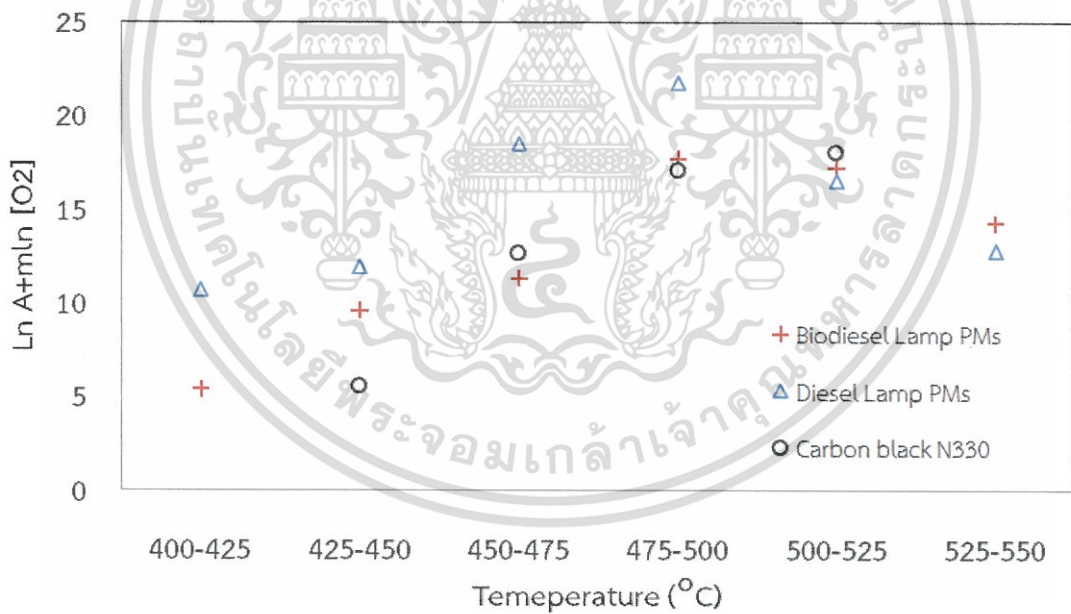


รูปที่ 4.17 การคำนวณหาเศษส่วนโมลของคาร์บอน (n)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



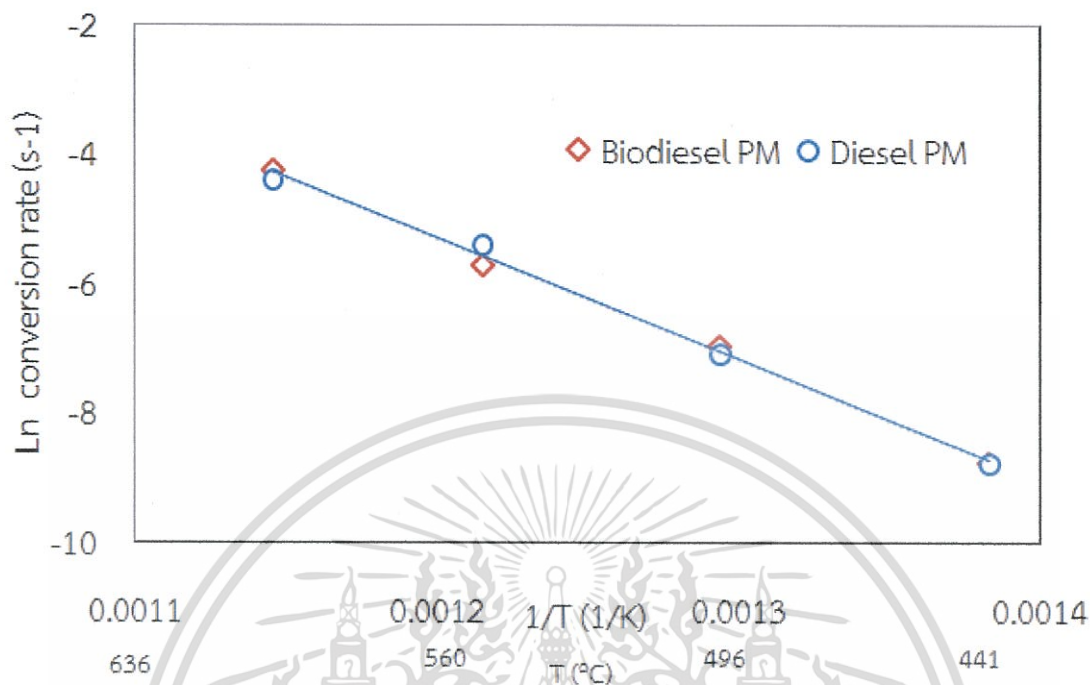
รูปที่ 4.18 พลังงานกระตุ้นของการสลายสารละอองรูถั่วแต่ละชนิด



รูปที่ 4.19 การคำนวณหาพจน์โอกาสที่เกิดปฏิกิริยาเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2 การวิเคราะห์หาพลังงานกระตุ้นในการสลายสารละอองธูรีโดยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อนจะทำการทดลองด้วยวิธีอุณหภูมิกคงที่ (Isothermal Method)



รูปที่ 4.20 กราฟ Ln conversion rate ของสารละอองธูรีดีเซลและไบโอดีเซลโดยวิธีอุณหภูมิกคงที่

จากรูปที่ 4.20 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า Ln conversion rate กับ  $1/T$  ซึ่งสามารถคำนวณหาพลังงานกระตุ้นในการสลายสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลโดยใช้วิธีอุณหภูมิกคงที่ (Isothermal Method) ได้แก่ค่าของอุณหภูมิก 400 °C 450 °C 500 °C และ 550 °C อ้างอิงตามสมการที่ 3.1-3.4 อยู่ในบทที่ 3 ซึ่งผลการทดลองกราฟ เครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (TGA) ทดลองด้วยวิธีอุณหภูมิกคงที่สามารถดูได้ในภาคผนวก ข. ในวิธีอุณหภูมิกคงที่วิเคราะห์หาค่าพลังงานกระตุ้นในการสลายสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลในส่วนที่เป็นคาร์บอนเท่านั้น

ตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงผลการคำนวณพลังงานกระตุ้นในการสลายสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล จากการวิเคราะห์พบว่าในการทดสอบด้วยวิธีอุณหภูมิกคงที่ อุณหภูมิช่วง 405-485 °C คาดว่าเป็นช่วงการออกซิไดส์ของไฮโดรคาร์บอนของสารละอองธูรีไบโอดีเซลมีค่า 138.7 kJ/mol และดีเซลมีค่า 152.3 kJ/mol เนื่องจากไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีออกซิเจนในตัวเอง ช่วยให้ง่ายแก่การออกซิไดส์ ทำให้ค่าพลังงานกระตุ้นของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่านั่นเอง ส่วนในวิธีทดลองด้วยวิธีอุณหภูมิกคงที่ ช่วงอุณหภูมิ 450-600 °C เป็นช่วงการออกซิไดส์ของคาร์บอนซึ่งค่าพลังงานกระตุ้นในการสลายสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลมีค่า 155.9 และ 155.6 kJ/mol ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเหมือนกันเนื่องจากเป็นคาร์บอนเหมือนกัน

#### ตารางที่ 4.1 พลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารละอองธูรีกับออกซิเจน

Particulate Matter Type	Ea (kJ/mol)	
	HC Oxidation (Non-Isothermal)	Carbon Oxidation (Isothermal)
	405-485 °C	450-600 °C
Biodiesel Lamp's PMs	138.7	155.6
Diesel Lamp's PMs	152.3	155.9

#### 4.5 คุณลักษณะของตัวกรองละอองธูรีดีเซล

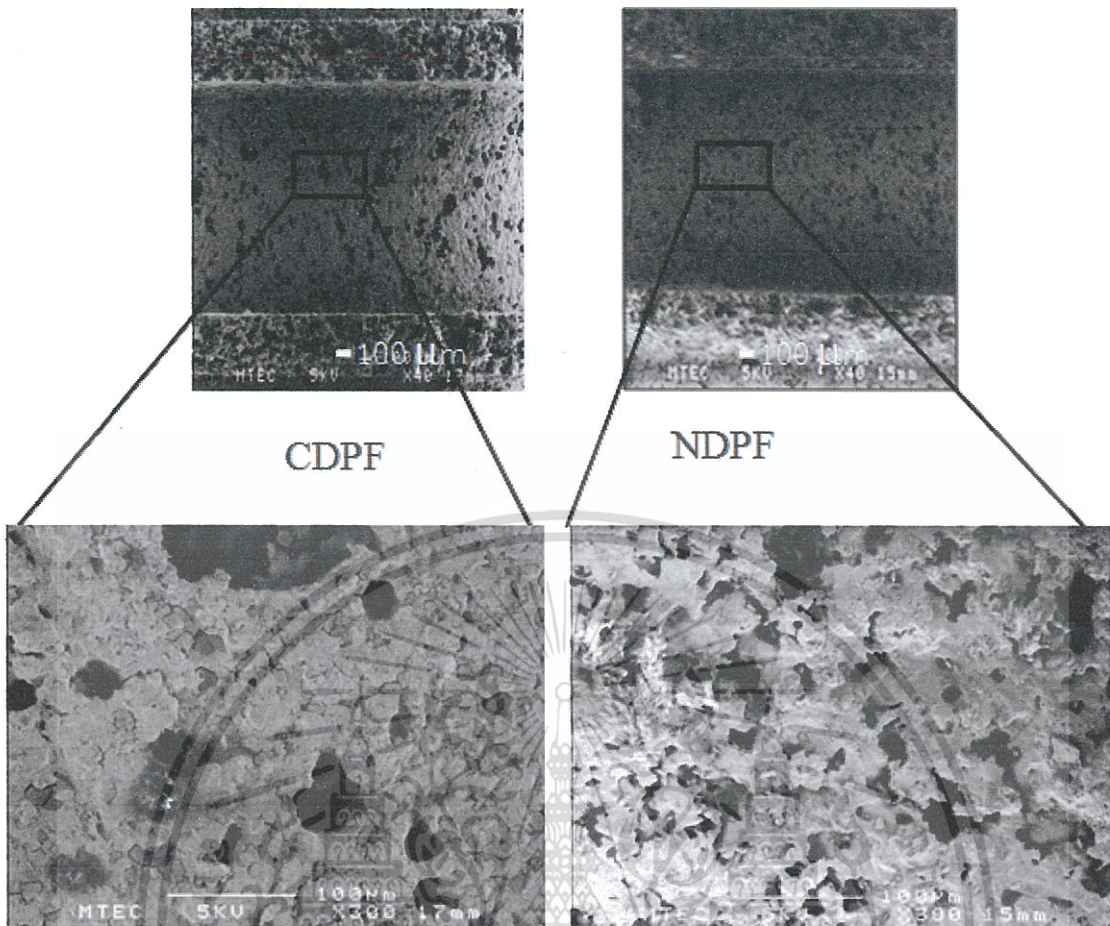
##### 4.5.1 คุณสมบัติทางกายภาพของตัวกรองละอองธูรีดีเซล

จากตารางที่ 4.2 เป็นการคำนวณหาค่าความพรุนของตัวกรองละอองธูรีดีเซลซึ่งจากการทดลองพบว่าความพรุนของตัวกรองละอองธูรีดีเซลมีค่าประมาณ 53.4 % เนื่องจากตัวกรองละอองธูรีดีเซลทำมาจากเซรามิกส์ชนิดคอร์เดียไรท์ และ จากรูปที่ 4.21 เป็นภาพถ่ายของตัวกรองละอองธูรีดีเซลที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี ได้ทำการวัดหาขนาดรูพรุนด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจ (SEM) พบว่ารูของวัสดุพรุนอยู่ในช่วงประมาณ 10-50  $\mu\text{m}$  ส่วนการตรวจสอบชนิดและปริมาณธาตุด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอ็กซ์ (Energy X-ray Analysis: EDX) เป็นการทดสอบค่าองค์ประกอบของธาตุในตัวกรองละอองธูรีดีเซลที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีพบว่าสารเร่งปฏิกิริยาเคมีที่พบได้แก่ Fe และ Ce ดังแสดงในรูปที่ 4.22 สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุของตัวกรองละอองธูรีดีเซลที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและรูปที่ 4.23 สำหรับวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของตัวกรองละอองธูรีดีเซลที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี และตารางที่ 4.3 เป็นข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวกรองละอองธูรีดีเซลเพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการดักสารละอองธูรีและการออกซิไดส์สารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลบนตัวกรองละอองธูรีดีเซล

ตารางที่ 4.2 ค่าทดสอบความพรุนของตัวกรองละอองธูรีดีเซล (การแทนที่น้ำ)

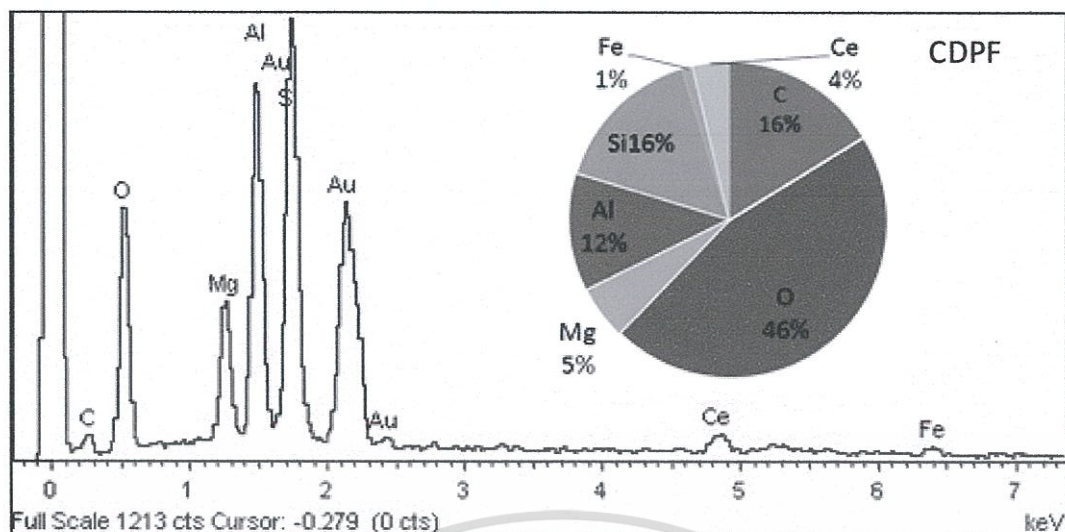
การทดลองครั้งที่	ปริมาตร	ปริมาตรน้ำที่เพิ่มขึ้น $V_{air}$	ความพรุน %
1	$7.65 \times 10^{-7} \text{ m}^3$	$3.6 \times 10^{-7} \text{ m}^3$	52.9
2	$7.65 \times 10^{-7} \text{ m}^3$	$3.5 \times 10^{-7} \text{ m}^3$	54.2
3	$7.65 \times 10^{-7} \text{ m}^3$	$3.6 \times 10^{-7} \text{ m}^3$	52.9
ค่าเฉลี่ย			53.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

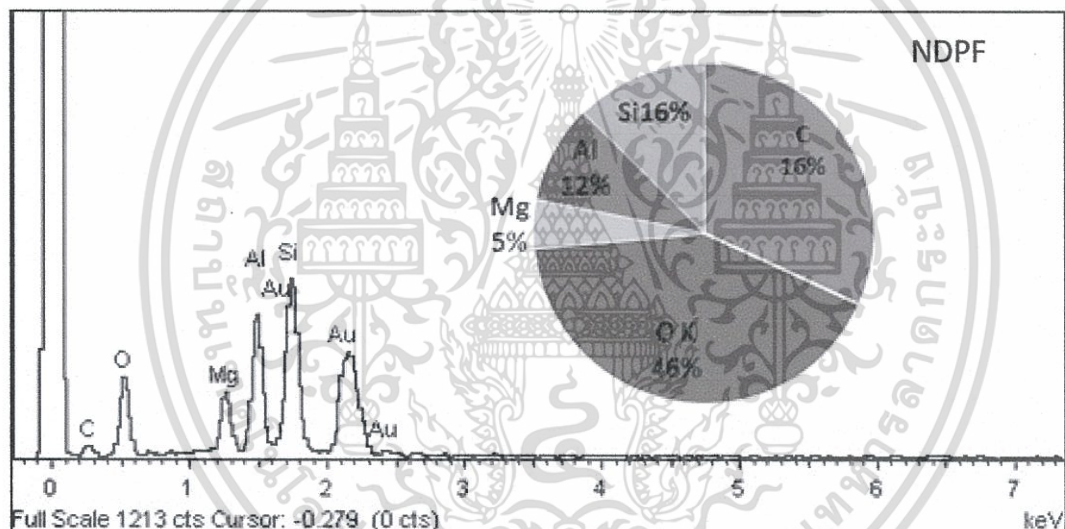


รูปที่ 4.21 รูปถ่ายตัวกรองละเอียดเซลที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและตัวกรองละเอียดเซลที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงองค์ประกอบของตัวกรองละอองรูดีซีเซลแบบมีสารเร่งปฏิกิริยา



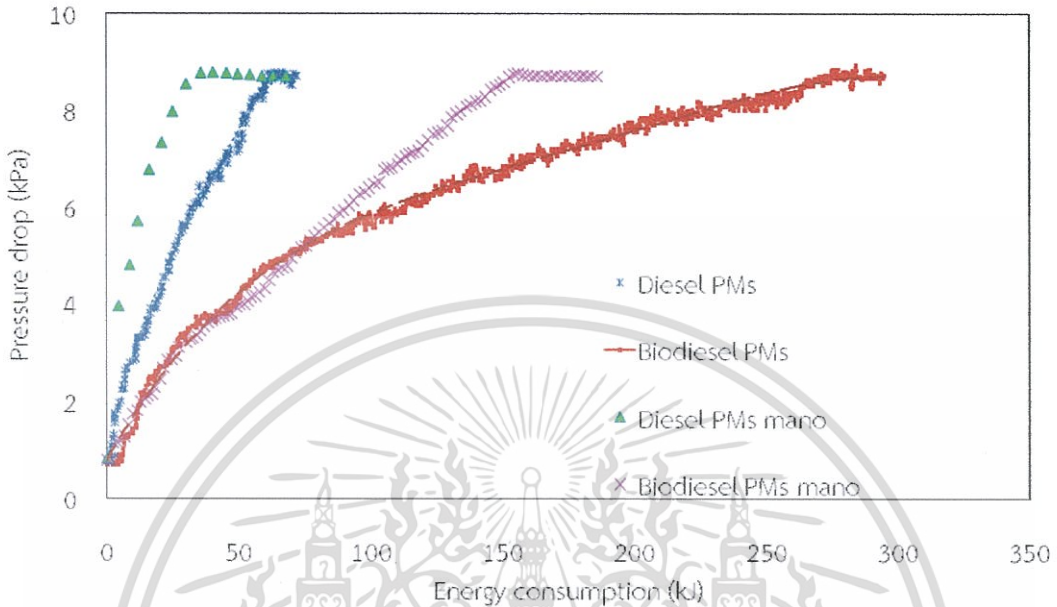
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงองค์ประกอบของตัวกรองละอองรูดีซีเซลแบบไม่มีสารเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงคุณสมบัติทั่วไปของตัวกรองละอองรูดีซีเซล

Catalyst	Non	Ce, Fe
Wall thickness (millimeter)	12	12
Porosity (%)	53.4%	53.4%
Range of pore size (micron)	10-50	10-50
Cell density (cps)	300	300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 พฤติกรรมการดักสารละอองรู่ลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล



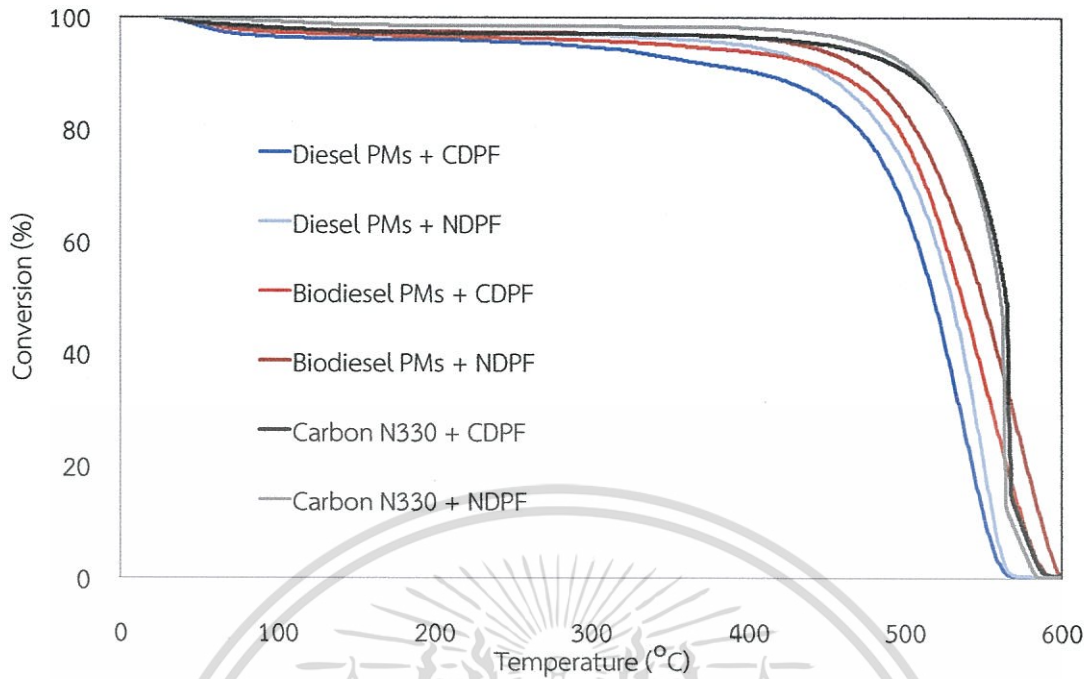
รูปที่ 4.24 ความดันตกคร่อมของสารละอองรู่ลีดีเซลและไบโอดีเซลที่อุณหภูมิ 200 °C

รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมกับความสิ้นเปลืองพลังงานที่อุณหภูมิการดักคงที่ 200 °C โดยใช้มานอมิเตอร์ และเซ็นเซอร์วัดความดันตกคร่อม ความสิ้นเปลืองพลังงานคิดคำนวณมาจากผลต่างของน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ใช้ไปคูณกับค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Lower Heating Value) จากผลการทดลองพบว่าปริมาณสารละอองรู่ลีวัดด้วยมานอมิเตอร์และเซ็นเซอร์วัดความดันมีค่าไม่เท่ากันเนื่องจากไส้ตะเกียงที่วัดด้วยวิธีมานอมิเตอร์มีขนาดเล็กกว่าจึงส่งผลให้ปริมาณของสารละอองรู่ลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลเร็วมากสารละอองรู่ลีไบโอดีเซลที่ความดันสูงสุด 8.5 kPa เป็นค่าความดันตกคร่อมสูงสุดที่อุปกรณ์ทดลองนี้ทำได้ นอกจากนี้จากการทดลองดังกล่าวพบว่าสารละอองรู่ลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีปริมาณสารละอองรู่ลีมากกว่าไบโอดีเซล 2 เท่า ภายใต้ตัวกรองละอองรู่ลีดีเซลเดียวกัน ซึ่งหมายความว่าตัวกรองละอองรู่ลีดีเซลแบบทั่วไปสามารถทำการดักสารละอองรู่ลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลได้แม้ว่าขนาดของสารละอองรู่ลีอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 180-240 nm และขนาดของรูพรุนของตัวกรองละอองรู่ลีดีเซลมีค่า 10000-50000 nm สามารถอธิบายได้ว่าขนาดของสารละอองรู่ลีของเปลวไฟแบบแพร่มีขนาดเล็กกว่าขนาดรูพรุนของตัวกรองละอองรู่ลีดีเซลประมาณ 50-200 เท่า สามารถทำการดักสารละอองรู่ลีอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลได้

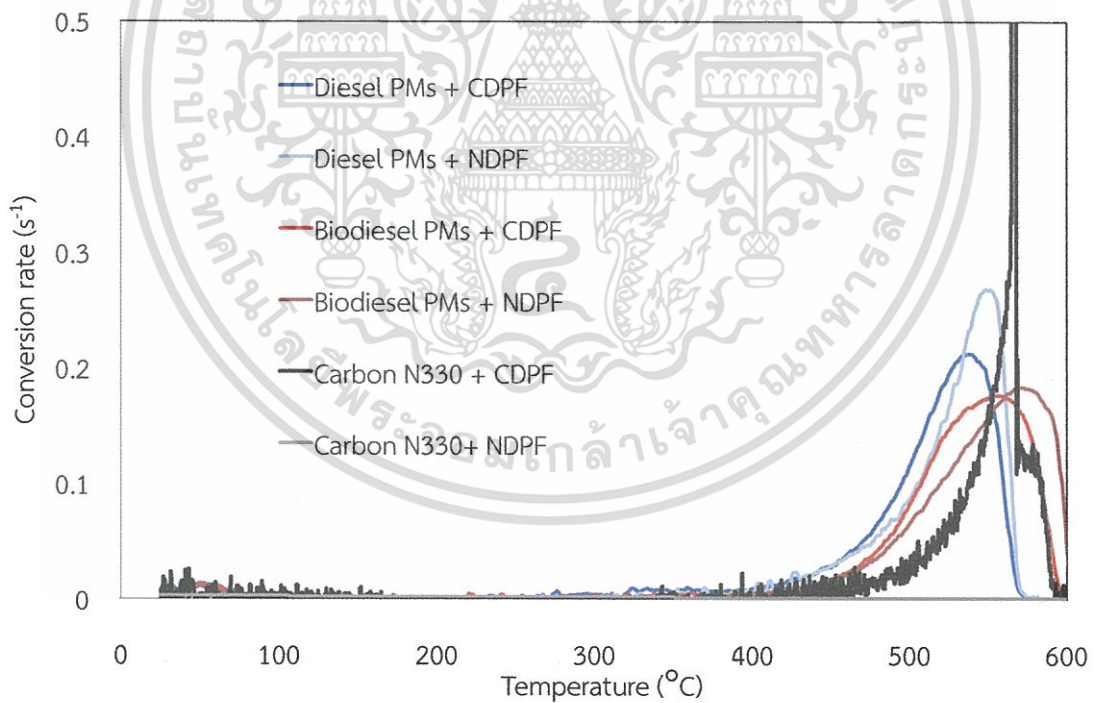
## 4.7 พฤติกรรมการเผาไหม้สารละอองธูไลของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล (Regeneration Process of Diesel Particulate Filter)

### 4.7.1 พฤติกรรมการเผาไหม้ของสารละอองธูไลบดผสมกับผงเซรามิกของตัวกรองละอองธูไลดีเซล

จากรูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของน้ำหนักของสารละอองธูไลบดผสมผงเซรามิกแต่ละชนิด เครื่องมือวิเคราะห์ทางความร้อนโดยใช้วิธีชั่งโดยน้ำหนัก (TGA) ซึ่งข้อมูลนี้ตัดช่วงอุณหภูมิ 25 °C ถึง 600 °C เนื่องจากที่อุณหภูมิ 600 °C สารละอองธูไลคาร์บอนไปถูกออกซิไดส์ไปเรียบร้อยแล้วจะเหลือในส่วนของผงเซรามิกของตัวกรองละอองธูไลดีเซล ส่วนกราฟด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (TGA) สามารถเปิดดูกราฟวิเคราะห์ข้อมูลในภาคผนวก ข. ซึ่งกราฟวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิการออกซิไดส์สารละอองธูไลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลช่วงอุณหภูมิ 25 °C ถึง 800 °C จากผลการทดลองพบว่าการลดลงสารละอองธูไลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลที่บดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีสามารถออกซิไดส์ได้ดีกว่าสารละอองธูไลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลที่บดผสมผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาสารละอองธูไลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่บดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี สารละอองธูไลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่บดผสมผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี สารละอองธูไลของคาร์บอนแบล็ค N 330 ที่บดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและสารละอองธูไลของคาร์บอนแบล็ค N 330 ที่บดผสมผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี ตามลำดับ สามารถอธิบายได้ว่าสารละอองธูไลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลทำปฏิกิริยากับออกซิเจนช้ากว่าเพราะว่าสารละอองธูไลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีโครงสร้างทางกายภาพซับซ้อนกว่าสารละอองธูไลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล เพราะเมื่อวิเคราะห์จากภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจพบว่าสารละอองธูไลอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีขนาดเล็กและซับซ้อนหนาแน่นกว่าสารละอองธูไลอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล ส่วนคาร์บอนแบล็ค N 330 บดผสมผงเซรามิกที่ออกซิไดส์ยากที่สุดเพราะส่วนใหญ่มีส่วนประกอบของคาร์บอนบริสุทธิ์ เมื่อเปรียบเทียบสารละอองธูไลแต่ละชนิดซึ่งบดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีพบว่ามีอุณหภูมิแตกต่างกันประมาณ 15 °C รูปที่ 4.26 เป็นกราฟเปรียบเทียบอัตราการลดลงของสารละอองธูไลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล สารละอองธูไลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล และคาร์บอนแบล็ค N 330 ซึ่งบดผสมกับผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีพบว่าในช่วงอุณหภูมิ 350-600 °C สารละอองธูไลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่าสารละอองธูไลเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล สารละอองธูไลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล และ คาร์บอนแบล็ค N 330 ตามลำดับ ส่วนเหตุผลก็สอดคล้องตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



รูปที่ 4.25 การลดลงของน้ำหนักของสารละอองรูลิปดผสมผงเซรามิกแต่ละชนิด

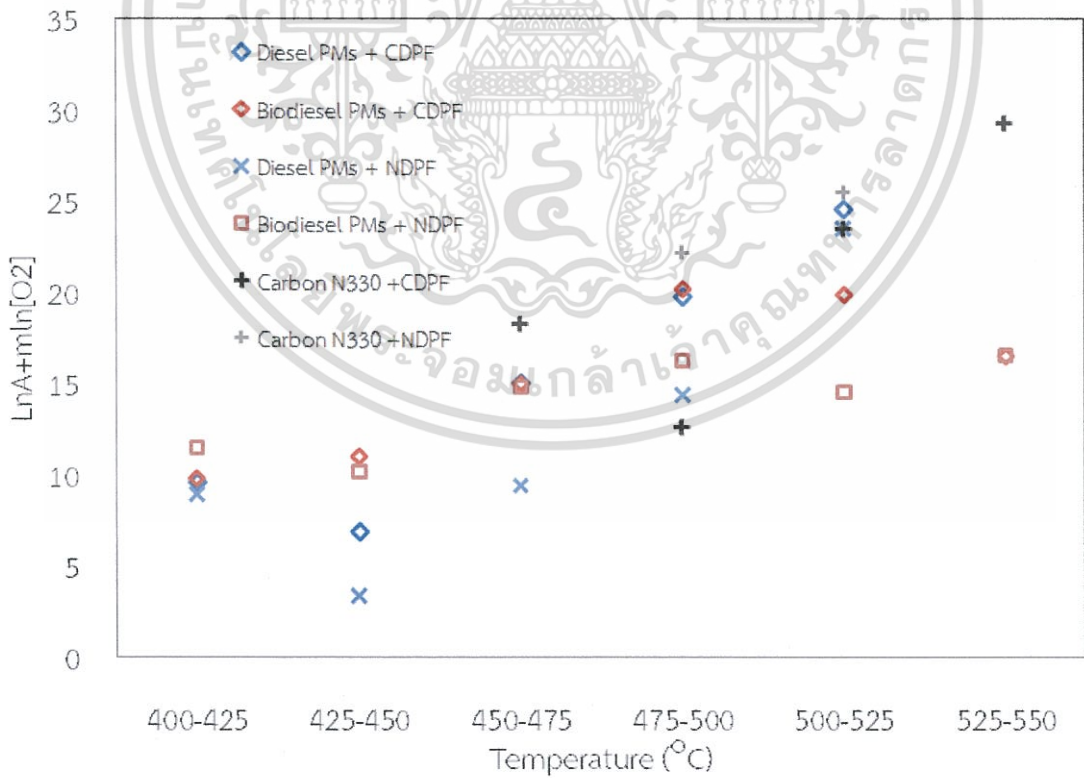


รูปที่ 4.26 อัตราการลดลงของสารละอองรูลิปดผสมผงเซรามิกแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 พลังงานกระตุ้นของสารละอองรูเล็กผสมผงเซรามิกแต่ละชนิด



รูปที่ 4.28 การคำนวณหาพจน์โอกาสสารละอองรูเล็กที่เกิดปฏิกิริยาเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.27 เป็นกราฟแสดงค่าพลังงานกระตุ้นของการสลายสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล ไบโอดีเซล และ คาร์บอนแบล็ค N 330 ซึ่งบดผสมกับผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี จากกราฟพบว่าพลังงานกระตุ้นในแต่ละช่วงอุณหภูมิการออกซิไดส์สารละลายของรูทีล 400-425 °C และ 425-450 °C พบว่าสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลบดผสมผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีใช้พลังงานกระตุ้นในการสลายสารละลายของรูทีลต่ำกว่าสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลบดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี และสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลตามลำดับ และช่วงอุณหภูมิ 450-475 °C พบว่าค่าพลังงานกระตุ้นในการสลายสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลบดผสมผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีใช้พลังงานกระตุ้นต่ำกว่าสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลที่บดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี และคาร์บอนแบล็ค N 330 บดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี ตามลำดับ ช่วงอุณหภูมิ 475-500 °C พบว่าสารละลายของรูทีลของคาร์บอนแบล็ค N 330 บดผสมกับผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีใช้พลังงานกระตุ้นในการสลายสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลบดผสมผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี สารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบดผสมกับผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี สารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี และช่วงอุณหภูมิ 500-525 °C พบว่าสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบดผสมผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีใช้พลังงานกระตุ้นในการสลายต่ำกว่าสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี สารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลบดผสมผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี สารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลบดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยา คาร์บอนแบล็ค N 330 บดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและคาร์บอนแบล็ค N 330 บดผสมผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี ตามลำดับ และ ช่วงอุณหภูมิ 525-550 °C พลังงานที่ใช้สลายสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีต่ำกว่าสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบดผสมผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและคาร์บอนแบล็ค N 330 บดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี ตามลำดับในแต่ละช่วงอุณหภูมิพลังงานกระตุ้นที่ใช้ในการสลายสารละลายของรูทีลมีค่าแตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่สามารถออกซิไดส์ได้เร็วกว่าคาร์บอนแบล็ค N 330 ตามลำดับ ในกรณีบดผสมที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีพบว่า สารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลสามารถเผาไหม้สารละลายของรูทีลได้เร็วกว่าสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล และคาร์บอนแบล็คตามลำดับ ส่วนการเปรียบเทียบกับสารละลายของรูทีลที่บดผสมกับผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีซึ่งพบว่าสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลที่บดผสมกับผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีสามารถเผาไหม้สารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นเพราะจากการคำนวณค่าโมลของคาร์บอนซึ่งคือโอกาสที่ออกซิเจนเข้าไปสัมผัสพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของทรงกลมของสารละลายของรูทีลมีค่ามากกว่าโดยค่า  $n$  ของสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีค่า 0.795 และค่า  $n$  ของสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีค่า 0.59 ซึ่งแม้ว่าค่าพลังงานกระตุ้นของสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าสารละลายของรูทีลของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล

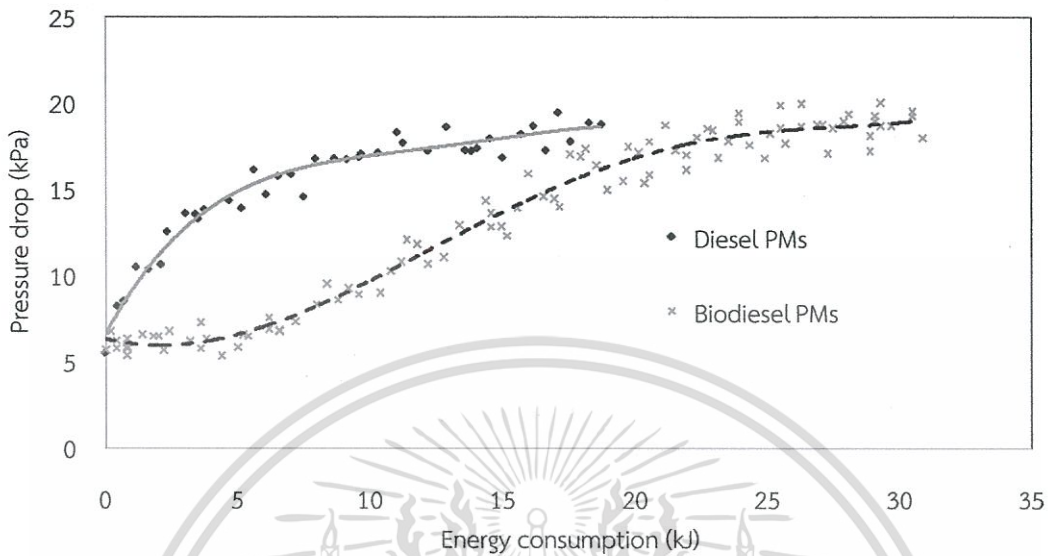
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.28 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบส่วนทางกายภาพเป็นโอกาสที่ออกซิเจนทำปฏิกิริยากับสารละอองธุลี จากการวิเคราะห์พบว่า ในแต่ละช่วงอุณหภูมิการออกซิไดส์สารละอองธุลี 400-425 °C จนถึง 475-500 °C สารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลบดผสมผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีซึ่งมีค่าพจน์โอกาสที่ออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีค่าต่ำกว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี และไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบดผสมผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี ตามลำดับ และช่วงอุณหภูมิ 500-525 °C พบว่า สารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบดผสมผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีซึ่งมีค่าพจน์โอกาสที่ออกซิเจนทำปฏิกิริยาเคมีการสารละอองธุลีมีค่าต่ำกว่าไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี คาร์บอนแบล็ค N 330 บดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี สารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลบดผสมผงเซรามิกที่มีและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและคาร์บอนแบล็ค N 330 บดผสมผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี ตามลำดับ

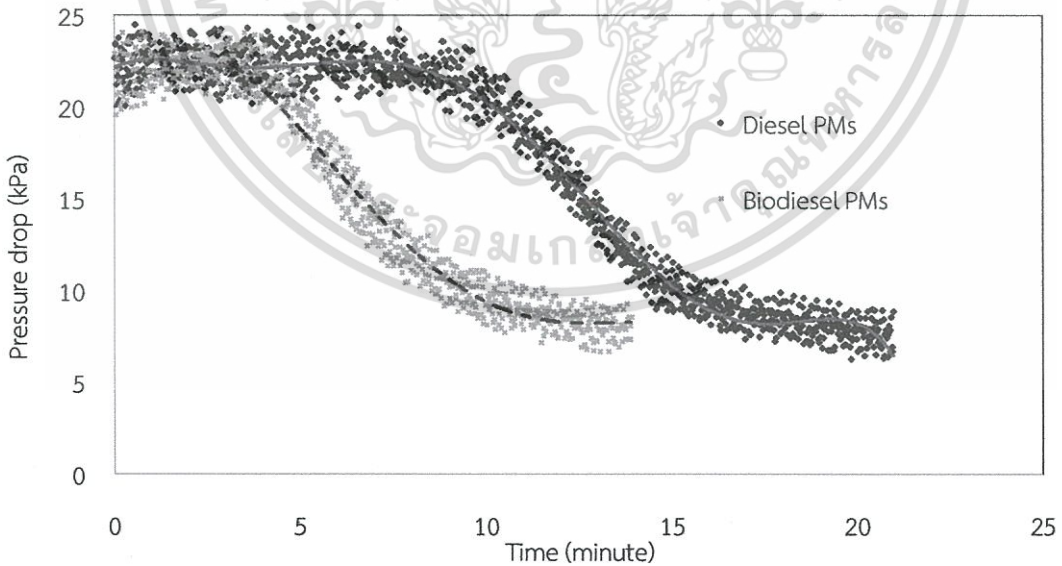
#### 4.7.2 พฤติกรรมการรีเจนเนอเรชันของตัวกรองละอองธุลีดีเซลบนชุดทดลอง

จากรูปที่ 4.29 เป็นกราฟแสดงพฤติกรรมการดักสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลบนตัวกรองละอองธุลีดีเซลที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี ในการทดลองนี้ควบคุมอุณหภูมิในการดักที่ 200 °C จากผลการทดลองนี้ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจะใช้ระยะเวลาในการดักนานกว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล เป็นเพราะว่าเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีออกซิเจนในตัวเองช่วยในการเผาไหม้ได้สมบูรณ์ทำให้ปริมาณของสารละอองธุลีลดลง ในการทดลองนี้ค่าความดันตกคร่อมจะขึ้นสูงสุดที่ประมาณ 20 kPa ขึ้นอยู่กับขีดจำกัดของอุปกรณ์ทดลองโดยปกติค่าความดันตกคร่อมประมาณ 50 kPa จำเป็นต้องใช้ระบบรีเจนเนอเรชันเพื่อป้องกันไม่ให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลง [5-11] และรูปที่ 4.30 เป็นกระบวนการรีเจนเนอเรชันของตัวกรองละอองธุลีดีเซลสามารถวิเคราะห์ได้สารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลสามารถเผาไหม้ได้เร็วกว่าสารละอองธุลีดีเซลประมาณ 2 เท่าภายใต้ตัวกรองละอองธุลีดีเซลเดียวกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าตัวกรองละอองธุลีดีเซลแบบทั่วไปสามารถใช้ในกระบวนการดักสารละอองธุลีและรีเจนเนอเรชันของตัวกรองละอองธุลีดีเซลได้ ซึ่งข้อมูลตรงกันข้ามกับการวิเคราะห์เชิงความร้อนโดยใช้ตาชั่งน้ำหนัก ซึ่งเหตุผลเนื่องมาจากผลกระทบของปฏิกิริยาการคายความร้อนของสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ในกรณีที่เป็นการสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากตะเกียง และอีกเหตุผลหนึ่งเป็นเพราะอากาศที่ไหลผ่านสารละอองธุลีเป็นการไหลแบบบังคับ (Force Flow) ที่มีความรุนแรงมากพอที่จะแทรกซึมเข้าไประหว่างสารละอองธุลีก้อนเดียวในกลุ่มสารละอองธุลีที่ซ้อนทับกันได้อย่างดีทำให้โอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยามีค่าสูงขึ้นหรือค่า  $n$  มีค่าสูงมากขึ้นนั่นเอง ในทางตรงกันข้ามเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (TGA) เป็นการทดสอบที่ให้ออกซิเจนแพร่เข้าไปทำปฏิกิริยาโดยอาศัยหลักการแพร่ โดยธรรมชาติซึ่งโอกาสที่จะสามารถแทรกผ่านระหว่างอนุภาคได้ต่ำมาก ดังนั้นจึงเห็นได้ชัดว่าในกรณีสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลซึ่งกลุ่มอนุภาคซ้อนทับกันแบบหนาแน่นมากกว่าจะสลายได้ยากกว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ความดันตกคร่อมของการดักสารละอองรูลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล



รูปที่ 4.30 ความดันตกคร่อมของการสลายสารละอองรูลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพฤติกรรมการดักและออกซิเดชันของสารละอองธูปไบโอดีเซลบนตัวกรอง ละอองธูปดีเซล จากผลการทดลองแบ่งออกเป็นสามส่วนซึ่งส่วนที่หนึ่งศึกษาเกี่ยวกับการศึกษา คุณสมบัติทางกายภาพของสารละอองธูป เช่นขนาดของสารละอองธูปแบบเดี่ยว (Primary Particle Size) และสารละอองธูปแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน (Agglomerated Particle Size) ในส่วนที่หนึ่ง สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1.1 ขนาดของสารละอองธูปแบบเดี่ยวของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล มีขนาดใหญ่กว่าคาร์บอนแบล็ค N 330 และสารละอองธูปของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ตามลำดับ ซึ่งขนาดของสารละอองธูปดีเซลมีขนาด 51-60 nm คาร์บอนแบล็ค N 330 มีขนาด ประมาณ 41-50 nm และสารละอองธูปไบโอดีเซลมีขนาดสารละอองธูป 31-40 nm เหตุผลที่ขนาด ของสารละอองธูปของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีขนาดใหญ่กว่าไบโอดีเซล เพราะว่าไบโอ ดีเซลมีอะตอมของออกซิเจนในตัวเองช่วยให้เผาไหม้สมบูรณ์กว่าทำให้อุณหภูมิในการเผาไหม้สูงกว่า เนื่องจากผิวพื้นของสารละอองธูปไบโอดีเซลถูกเผาไหม้ได้ง่ายกว่าจึงเป็นเหตุผลให้ไบโอดีเซลมีขนาด เล็กกว่าและดีเซลมีอัตราส่วนของคาร์บอนโดยน้ำหนักมากกว่าไบโอดีเซลทำให้สารละอองธูปโดยเผา ช้ำทำให้มีขนาดใหญ่กว่า

1.2 ขนาดเฉลี่ยของสารละอองธูปของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล ซึ่งมีขนาดใหญ่ กว่าไบโอดีเซลแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนซึ่งขนาดสารละอองธูปของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิง ดีเซลและไบโอดีเซลมีค่าประมาณ 240-280 nm และ 180-240 nm ตามลำดับ เหตุผลที่ขนาดของ สารละอองธูปดีเซลมีขนาดใหญ่กว่าไบโอดีเซลเป็นเพราะว่าไบโอดีเซลมีอะตอมของออกซิเจนในตัวเอง ช่วยให้เผาไหม้สมบูรณ์กว่าและดีเซลมีอัตราส่วนของคาร์บอนโดยน้ำหนักมากกว่าไบโอดีเซลทำให้สาร ละอองธูปโดยเผาซ้ำทำให้มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งขนาดของสารละอองธูปดีเซลและไบโอดีเซลมี ความสัมพันธ์แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลและแรงไฟฟ้าสถิตย์ซึ่งควรที่จะศึกษาในเชิงลึกต่อไป

ส่วนที่สองเป็นการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของสารละอองธูปโดยการศึกษาการออกซิไดส์สาร ละอองธูปคือการที่สารละอองธูปถูกไหม้โดยการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเปลี่ยนจากคาร์บอนของแข็ง กลายเป็นก๊าซซึ่งสามารถคำนวณหาพลังงานกระตุ้นที่ใช้ในการสลายสารละอองธูปจากผลการทดลอง ในส่วนที่สองสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

2.1 สารละอองธูปของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลสามารถออกซิไดส์ ได้ง่ายกว่าคาร์บอนแบล็ค N 330 จากการทดลองพบว่าสารละอองธูปของเปลวไฟแบบแพร่ซึ่งมีการ เผาไหม้สารละอองธูปมีลักษณะใกล้เคียงคาร์บอนแบล็ค N 330 เพราะว่าสารละอองธูปของเปลวไฟ แบบแพร่เป็นการเผาไหม้อากาศเกินทำให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนถูกเผาไปหมดและสารละอองธูปของ เปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลจะออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

2.2 ปริมาณคาร์บอนในสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีมากกว่าของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลอาจจะเป็นเพราะว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนในตัวเองช่วยให้เผาไหม้สมบูรณ์ ทำให้ปริมาณสารละอองธุลีลดลงซึ่งสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีค่าสัดส่วนโอกาสของคาร์บอนที่สัมผัสออกซิเจนมากกว่าไบโอดีเซลซึ่งแสดงว่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีโอกาสที่ออกซิเจนมาทำปฏิกิริยาได้ดีกว่าเชื้อเพลิงดีเซลในกรณีที่เป็นเปลวไฟแบบแพร่จากตะเกียงสามารถที่จะวิเคราะห์ได้ว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลสามารถเผาไหม้ได้ง่ายกว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

2.3 พลังงานกระตุ้นในการสลายสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีพลังงานกระตุ้นต่ำกว่าดีเซล แต่สารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าไบโอดีเซลเนื่องจากพจน์  $\text{Ln}A+m\text{ln}O_2$  มีค่ามากกว่า จากการวิเคราะห์พบว่าการทดสอบด้วยวิธีอุณหภูมิคงที่ อุณหภูมิช่วง 405-485 °C คาดว่าเป็นช่วงไฮโดรคาร์บอนจากสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีค่า 138.7 kJ/mol และดีเซลมีค่า 152.3 kJ/mol เนื่องจากไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีออกซิเจนในตัวเองช่วยให้ง่ายแก่การออกซิไดส์ ทำให้ค่าพลังงานกระตุ้นของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่านั่นเอง ส่วนในวิธีทดลองด้วยวิธีอุณหภูมิคงที่ ช่วงอุณหภูมิ 450-600 °C เป็นช่วงการออกซิไดส์คาร์บอนในสารละอองธุลีซึ่งค่าพลังงานกระตุ้นของสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลมีค่า 155.9 และ 155.7 KJ/mol ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเหมือนกันเนื่องจากเป็นคาร์บอนเหมือนกัน

ส่วนที่สามเป็นการศึกษากระบวนการตกและเผาไหม้สารละอองธุลีบนตัวกรองละอองธุลีดีเซลซึ่งทำการออกแบบสร้างชุดทดลองอ้างอิงตามเงื่อนไขภายใต้สภาวะการใช้งานจริงของรถยนต์จากการทดลองในส่วนที่สามสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

3.1 กระบวนการตกสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลไบโอดีเซลบนตัวกรองละอองธุลีดีเซล ซึ่งค่าความดันตกคร่อมของสารละอองธุลีดีเซลและไบโอดีเซลที่อุณหภูมิการตกสารละอองธุลีที่ 200 °C โดยใช้มาตรวัดพบว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลใช้ระยะเวลาในการตกสารละอองธุลียาวนานกว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล ประมาณ 2 เท่าภายใต้ตัวกรองละอองธุลีดีเซลเดียวกัน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการใช้เซ็นเซอร์วัดความดันตกคร่อม ซึ่งหมายความว่าตัวกรองละอองธุลีดีเซลแบบทั่วไปสามารถทำการตกสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลได้แม้ว่าขนาดของสารละอองธุลีอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 180-240 nm และขนาดของรูพรุนของตัวกรองละอองธุลีดีเซลมีค่า 10000-50000 nm สามารถอธิบายได้ว่าขนาดของสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่มีขนาดเล็กกว่าขนาดรูพรุนของตัวกรองละอองธุลีดีเซลประมาณ 50-200 เท่า สามารถทำการตกสารละอองธุลีอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลได้

3.2 การลดลงสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลที่บดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีสามารถออกซิไดส์ได้ดีกว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลที่บดผสมผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

ที่บดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี สารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่บดผสมผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี สารละอองธุลีของคาร์บอนแบล็ค N 330 ที่บดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและสารละอองธุลีของคาร์บอนแบล็ค N 330 ที่บดผสมผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี ตามลำดับ สามารถอธิบายได้ว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลทำปฏิกิริยากับออกซิเจนช้ากว่าเพราะว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีโครงสร้างทางกายภาพซับซ้อนกว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล เพราะเมื่อวิเคราะห์จากภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดตรวจพบว่าสารละอองธุลีอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีขนาดเล็กและซับซ้อนหนาแน่นกว่าสารละอองธุลีอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล ส่วนคาร์บอนแบล็ค N 330 บดผสมผงเซรามิกที่ออกซิไดส์ยากที่สุดเพราะส่วนใหญ่มีส่วนประกอบของคาร์บอนบริสุทธิ์ เมื่อเปรียบเทียบสารละอองธุลีแต่ละชนิดซึ่งบดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีพบว่ามีอุณหภูมิแตกต่างกันประมาณ 15 °C

3.3 ในกรณีบดผสมที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีพบว่า สารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลสามารถออกซิไดส์สารละอองธุลีได้เร็วกว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและคาร์บอนแบล็ค ตามลำดับ ส่วนการเปรียบเทียบกับสารละอองธุลีที่บดผสมกับผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีซึ่งพบว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลที่บดผสมกับผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีสามารถเผาไหม้สารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นเพราะจากการคำนวณค่าโมล ของคาร์บอนซึ่งคือโอกาสที่ออกซิเจนเข้าไปสัมผัสพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของทรงกลมของสารละอองธุลีมีค่ามากกว่าโดยค่า  $n$  ของสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีค่า 0.795 และค่า  $n$  ของสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีค่า 0.59 ซึ่งแม้ว่าค่าพลังงานกระตุ้นของสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล

3.4 กระบวนการรีเจนเนอเรชันของตัวกรองละอองธุลีดีเซลสามารถวิเคราะห์ได้สารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลสามารถออกซิไดส์ได้เร็วกว่าสารละอองธุลีดีเซลประมาณ 2 เท่าภายใต้ตัวกรองละอองธุลีดีเซลเดียวกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าตัวกรองละอองธุลีดีเซลแบบทั่วไปสามารถใช้ในกระบวนการดักสารละอองธุลีและรีเจนเนอเรชันของตัวกรองละอองธุลีดีเซลได้ ซึ่งข้อมูลตรงกันข้ามกับการวิเคราะห์เชิงความร้อนโดยใช้ตาชั่งน้ำหนัก ซึ่งเหตุผลเนื่องมาจากผลกระทบของปฏิกิริยาการคายความร้อนของสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ในกรณีที่เป็นสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากตะเกียง และอีกเหตุผลหนึ่งเป็นเพราะอากาศที่ไหลผ่านสารละอองธุลีเป็นการไหลแบบบังคับ (Force Flow) ที่มีความรุนแรงมากพอที่จะแทรกซึมเข้าไประหว่างสารละอองธุลีก้อนเดียวในกลุ่มสารละอองธุลีที่ซ้อนทับกันได้อย่างดีทำให้โอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยามีค่าสูงขึ้นหรือค่า  $n$  มีค่าสูงมากขึ้นนั่นเอง ในทางตรงกันข้าม เครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (TGA) เป็นการทดสอบที่ให้ออกซิเจนแพร่เข้าไปทำปฏิกิริยาโดยอาศัยหลักการแพร่โดยธรรมชาติซึ่งโอกาสที่จะสามารถแทรกผ่านระหว่างอนุภาคได้ต่ำมาก ดังนั้นจึงเห็นได้ชัดว่าในกรณีสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลซึ่งกลุ่มอนุภาคซ้อนทับกันแบบหนาแน่นมากกว่าจะสลายได้ยากกว่าสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองในการดักสารละอองธูรีจากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล ควรที่จะศึกษาลักษณะการมองเห็นการไหลของพฤติกรรมการกรองสารละอองธูรีดีเซลและไบโอดีเซลซึ่งทำให้เข้าใจถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นมากขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องมีงบประมาณที่มากสำหรับการวิจัยต่อไป และควรศึกษาการจำลองพฤติกรรมการดักและรีเจนเนอเรชั่นของตัวกรองละอองธูรีดีเซลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาตัวกรองละอองธูรีดีเซลสำหรับประยุกต์ใช้ในประเทศไทย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] David B. Kittelson. Engines and nanoparticles: A review. *J. Aerosol Sct.* Vol. 29, No. 5/6, pp. 575-5888. Great Britain. 1997.
- [2] Dhananjay Kumer Srivastava, Avinash Kumer Agarwal, Particulate Characterization of biodiesel fuelled compression Ignition Engine, SAE International, 2009-28-0018. United States of America. 2009.
- [3] Pi-qiang Tan, Zhi-yuan Hu, Di-ming Lou, Bo Li. Particle Number and Size Distribution from a Diesel Engine with Jatropha Biodiesel Fuel, SAE International. 2009-01-2726. United States of America. 2009.
- [4] John P. a.Neeft, T.Xander Nijhuis, Erik Smalman, Michiel Makkee and Jacob A. Moulijn, Kinetics of the oxidation of diesel soot, *Fuel* Vol.76, No. 12, pp. 1129-1136, 1997.
- [5] Pierre Darcy, Patrick Da Costa, Henry Mellotte, Jean-Michel Trichard, Gerald Djega-Mariadassou, Kinetics of catalyzed and non-catalyzed oxidation of soot from a diesel engine, *Catalysis today* 119, Science direct, pp.252-256, 2007.
- [6] Maria Kalogirou, Zissis Samaras, A thermo-gravimetric kinetic study of uncatalyzed diesel soot oxidation, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, October, Volume 98, Issue1, pp.215-224, 2009.
- [7] 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.
- [8] G.A. Stratakis, A.M. Stamatelos, Thermogravimetric analysis of soot emitted by a modern diesel engine run on cataly-doped fuel, *Combustion and flame* 132, pp.157-169, 2003.
- [9] Y. S. Cho, D.S. Kin and Y. J. Park, Pressure drop and heat transfer of Catalyzed diesel particulate filters due to changes in soot loading and flow rate, *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 9, No. 4, pp. 391-396, 2008.
- [10] K. Hanamura, T. Suzuki, T. Tanaka and Y. Miyari. Visualization of Combustion Phenomena in Regeneration of Diesel Particulate Filter. *SAE Technical paper*. 2003-01-0836, 2003.
- [11] P. Karin, L. Cui, P. Rubio, T. Tsuruta and K. Hanamura. Microscopic Visualization of PM Trapping and Regeneration in Micro-Structural Pores of a DPF Wall. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*. SAE International. Vol.2 No.1. pp.661-669. 2009.

- [12] 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.
- [13] พิสมัย เจนวนิชปัญญากุล. ไบโอดีเซล: พลังงานทางเลือก. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 16, ฉบับที่ 3, ก.ย. -ธ.ค. 2544.
- [14] P. Karin, Lecture Material of M.Eng.(Automotive Engineering). KMITL. 2011.
- [15] เจษฎา ตัณฑเสรฐฐี, เครื่องยนต์สันดาปภายใน. กรุงเทพฯ : เพียร์สัน เอ็นดูเคชั่น อินดูไชน่า. 2546.
- [16] Willard W. Pulkrabek, Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine. 2nd edition, United States of America. Person Prentice hall. 1997.
- [17] Ronald M. Heck, Robert J. Farrauto, Suresh T. Gulati, Catalytic Air Pollution Control : Commercial Technology, Third edition, Canada, John Wiley& Sons. 2009.
- [18] Heywood, J. B., Internal Combustion Engine Fundamental, McGraw-Hill series in mechanical engineering, Singapore. 1998.
- [19] John P.A. Neeft, Michiel Makkee, Jacob A. Moulijn. Diesel particulate emission control. Fuel Processing Technology. October, PP 1-69. 1997
- [20] Grigorios C. Koltsakis and Anastaios M. Stamatelos. Catalytic automotive exhaust after treatment. Prog. Energy Combustion. Sci Vol. 23. PP.1-39. 1997.
- [21] ทิพาภรณ์ ศรีธัญรัตน์. จลนพลศาสตร์เคมี. โครงการผลิตตำรา คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2554.
- [22] สิริกร ดุพัสกุล. "การเผาไหม้เข้ามาจากเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม เคมี. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณบุรี. 2543.
- [23] ภมรมาศ อ่อนอิมสิน. "การเผาไหม้เข้ามาจากเครื่องยนต์ดีเซลบนเครื่องกรองที่ทำจากโลหะทองแดง." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม เคมี. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณบุรี. 2548.
- [24] บริษัท ไทยไดโกลคาร์บอนโปรดักท์ จำกัด. รายละเอียดผลิตภัณฑ์คาร์บอนแบล็ค. 2011.
- [25] ปัญญา ชันธุ์สุวรรณ.. Microstructure study of cast iron using Light Optical Microscope. MatSLab. Mechanical engineering department, KMITL. 2553
- [26] ปัญญา ชันธุ์สุวรรณ. กล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง (Light Optical Microscope for Metallography. MatSLab, Mechanical engineering department, KMITL. 2553.

- [27] บัญชา ธนบุญสมบัติ, ศุภกัญญา คำมณี. จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง ประตูลู่ โลกระดับจุลภาค, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC). กรุงเทพฯ . สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2544.
- [28] ชัยชญา ธนชยานนท์, สิทธิสุนทร สุโพธิณะ, จุรีรัตน์ ประสาร, John T.H.Pearce, วิลาสินี วุฒิธิรสกล. การประยุกต์ TEM ในงานด้านวัสดุศาสตร์และวิศวกรรม. ศูนย์ เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC). กรุงเทพฯ. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2546.
- [29] ศักดิ์สิทธิ์ จันทรไทย. การวิเคราะห์เชิงความร้อนด้วยและแคลอริเมทรี. ขอนแก่น. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2553.
- [30] Stephan R. Turns. An Introduction to Combustion : Concepts and Applications. 2nd Edition. Singsapore. McGraw-Hill series in mechanical engineering. 2000.
- [31] [www.microscopic.center.sci.buu.ac.th/images/website/EM.pdf](http://www.microscopic.center.sci.buu.ac.th/images/website/EM.pdf)
- [32] [www.chem.science.cmu.ac.th/.../434%20-%20CHN%20%20%](http://www.chem.science.cmu.ac.th/.../434%20-%20CHN%20%20%)
- [33] [www.agro.cmu.ac.th/e\\_books/604303/.../Lab11-distillation.pdf](http://www.agro.cmu.ac.th/e_books/604303/.../Lab11-distillation.pdf)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

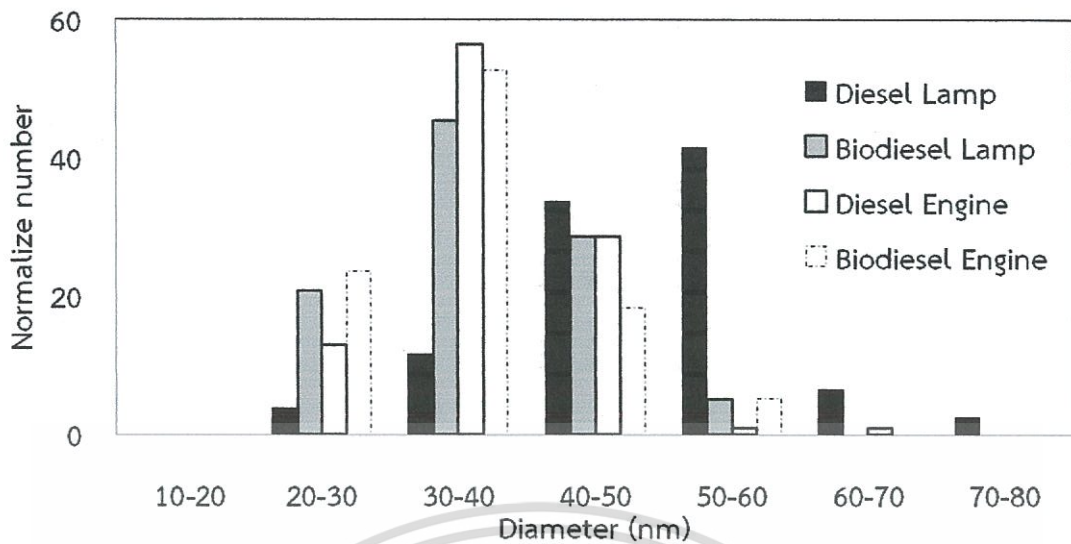


## ภาคผนวก

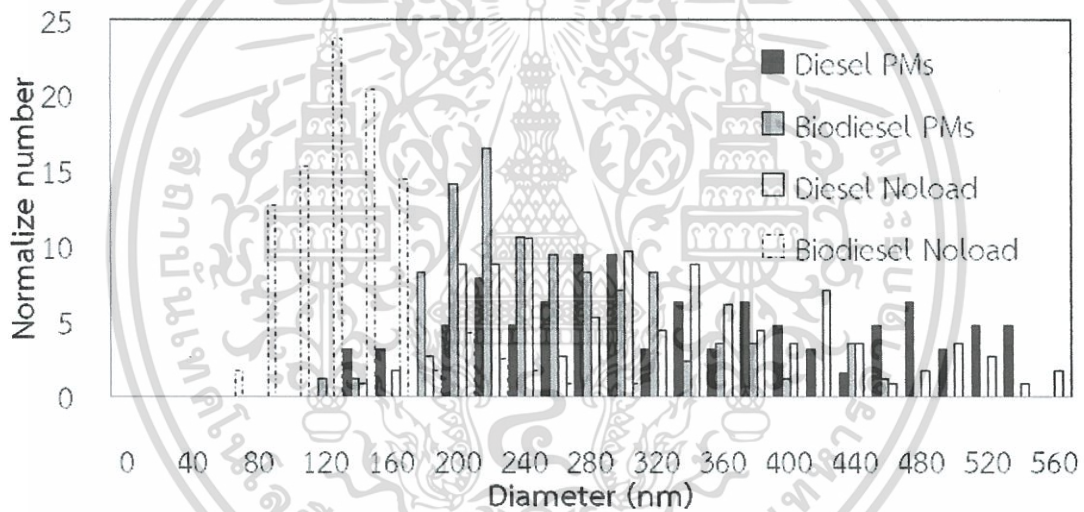
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 ขนาดจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) โดยเฉลี่ยของสารละอองธูดีเซล ไบโอดีเซลและ คาร์บอนแบล็ค N 330



รูปที่ ก.2 ขนาดเฉลี่ยของสารละอองธูอินภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

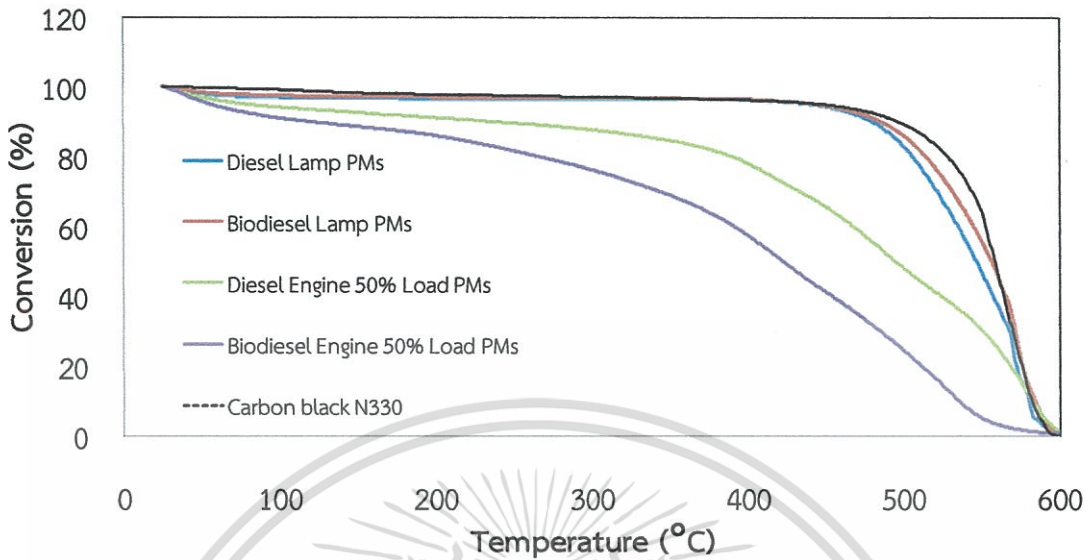
จากรูปที่ ก.1 การเปรียบเทียบของขนาดโดยเฉลี่ยของสารละอองธูของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลดีเซลกับสารละอองธูจากเครื่องยนต์ดีเซลและไบโอดีเซล จากกราฟพบว่าขนาดสารละอองธูอินภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีขนาดประมาณ 51-60 nm ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าสารละอองธูแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและสารละอองธูจากเครื่องยนต์ดีเซลและไบโอดีเซล เป็นเพราะว่าเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีอะตอมของออกซิเจนในตัวเองช่วยให้เผาไหม้สมบูรณ์กว่าทำให้อุณหภูมิในการเผาไหม้สูงกว่าคาดว่าผิวพื้นของสารละอองธูไบโอดีเซลถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าทำจึงเป็นเหตุผลให้ไบโอดีเซลมีขนาดเล็กกว่าและเชื้อเพลิงดีเซลมีอัตราส่วนของคาร์บอนโดยน้ำหนักมากกว่าไบโอดีเซลทำให้สารละอองธูโดยเผาไหม้ทำให้มีขนาดใหญ่กว่าซึ่งทั้งสามชนิดมีขนาดใกล้เคียงกันประมาณ 31-40 nm ซึ่งอาจจะเกิดจากคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล เหตุผลที่ขนาดของสารละอองธูเครื่องยนต์ดีเซลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีขนาดใกล้เคียงสารละอองธัญพืชเครื่องยนต์ไบโอดีเซล อาจจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ซึ่งควรที่จะศึกษาในเชิงลึกต่อไป

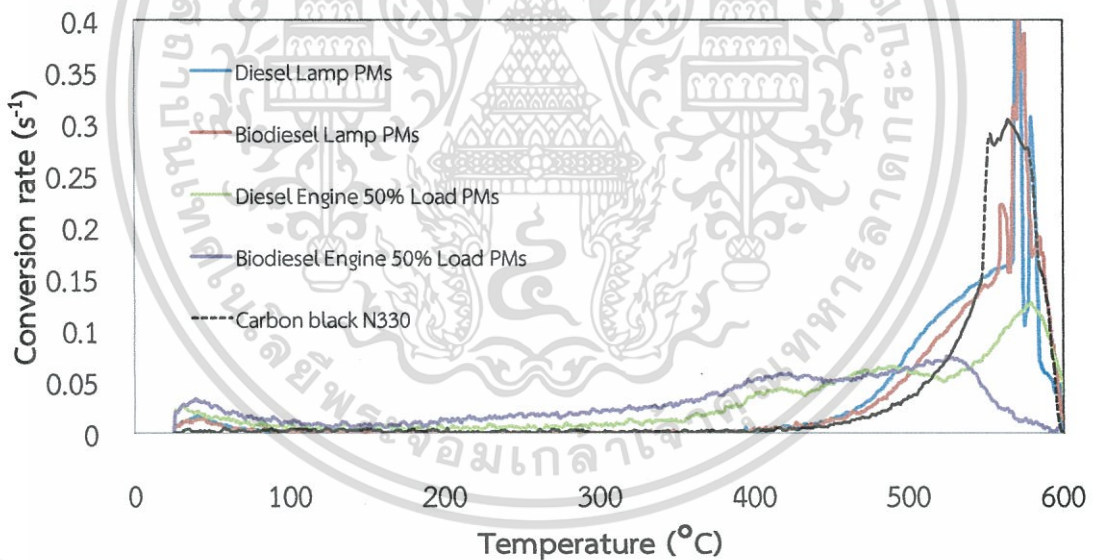
จากรูปที่ ก.2 เป็นกราฟขนาดเฉลี่ยของสารละอองธัญพืชของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับขนาดสารละอองธัญพืชจากเครื่องยนต์ดีเซลและไบโอดีเซล จากผลการทดลองพบว่าขนาดเฉลี่ยของสารละอองธัญพืชของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีขนาดใหญ่กว่าไบโอดีเซล ขนาดเฉลี่ยของสารละอองธัญพืชของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและสารละอองธัญพืชของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลแบบอนุภาคเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนมีขนาด 240-280 nm และ 180-240 nm ตามลำดับ อาจจะเป็นเพราะว่าคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและพฤติกรรมของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ส่วนขนาดเฉลี่ยของสารละอองธัญพืชของเครื่องยนต์ดีเซลใหญ่กว่าสารละอองธัญพืชของเครื่องยนต์ไบโอดีเซล ซึ่งขนาดเฉลี่ยของสารละอองธัญพืชของเครื่องยนต์ดีเซลและไบโอดีเซลแบบเกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อนมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 200-240 nm และ 130-160 nm ตามลำดับ เหตุผลที่ขนาดของสารละอองธัญพืชจากเครื่องยนต์ดีเซลมีขนาดใหญ่กว่าสารละอองธัญพืชจากเครื่องยนต์ไบโอดีเซล เป็นเพราะว่าไบโอดีเซลมีอะตอมของออกซิเจนในตัวเองช่วยให้เผาไหม้สมบูรณ์กว่าและดีเซลมีอัตราส่วนของคาร์บอนโดยน้ำหนักมากกว่าไบโอดีเซลทำให้สารละอองธัญพืชโดยเผาไหม้ทำให้มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งจากการทดลองขนาดของสารละอองธัญพืชดีเซลและไบโอดีเซลมีความสัมพันธ์แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลและแรงไฟฟ้าสถิตย์ซึ่งควรที่จะศึกษาในเชิงลึกต่อไป

จากรูปที่ ก.3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์การลดลงของน้ำหนักของสารละอองธัญพืชจากเปลวไฟแบบแพร่ของเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากเครื่องมือวิเคราะห์ทางความร้อนโดยใช้วิธีชั่งโดยน้ำหนัก (TGA) จะเห็นว่าน้ำหนักของสารละอองธัญพืชลดลงสามช่วง ช่วงแรกเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 100 °C น้ำหนักลดลงประมาณ 1-10% ซึ่งน่าจะแสดงถึงการลดลงของน้ำหนักจากการระเหยของน้ำนั่นเอง หลังจากนั้นน้ำหนักของสารละอองธัญพืชค่อยๆลดลงอีกประมาณ 10-40% ในช่วงที่สอง จากอุณหภูมิประมาณ 100 °C ถึง 400 °C ซึ่งแสดงถึงสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหรือเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ได้ถูกออกซิไดซ์และช่วงสุดท้ายน้ำหนักสารละอองธัญพืชที่เหลือประมาณ 40-60% ลดลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ 500 °C ถึง 600 °C ซึ่งแสดงเป็นการแสดงถึงการลดลงเนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจนรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่า สารละอองธัญพืชทั้งสองชนิดสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ ภายใต้อุณหภูมิ 550 °C ถึง 600 °C จากผลการทดลองพบว่าสารละอองธัญพืชของเครื่องยนต์จะทำการออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าสารละอองธัญพืชของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล และคาร์บอนแบล็ค N 330 ตามลำดับคาดว่าสารละอองธัญพืชของเปลวไฟแบบแพร่ซึ่งการออกซิไดส์สารละอองธัญพืชมีลักษณะใกล้เคียงคาร์บอนแบล็ค N 330 ซึ่งคาร์บอนแบล็ค n 330 มีลักษณะเป็นคาร์บอนบริสุทธิ์ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบการออกซิไดส์สารละอองธัญพืช และเมื่อทำการเปรียบเทียบสารละอองธัญพืชระหว่างเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลพบว่าในสารละอองธัญพืชของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลจะออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ซึ่งในทางตรงกันข้าม สารละอองธัญพืชของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงไบโอดีเซลออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าเชื้อเพลิงดีเซลคาดว่าไบโอดีเซลมีส่วนประกอบของไฮโดรคาร์บอนที่หลงเหลือมาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงซึ่งในไฮโดรคาร์บอนของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีส่วนประกอบของออกซิเจน (Oxygenated fuel) ส่งผลให้ออกซิไดส์ได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



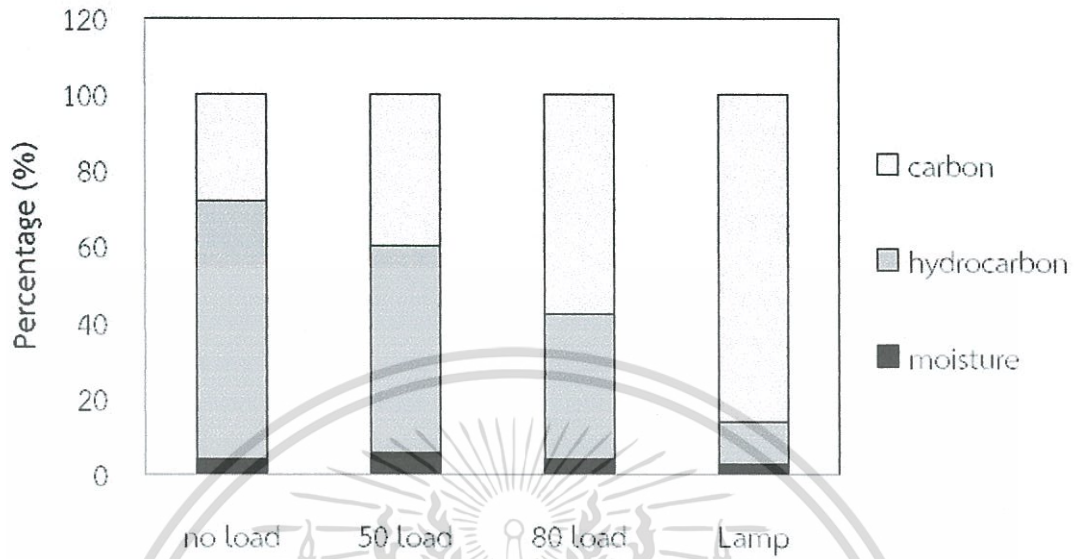
รูปที่ ก.3 การลดลงของน้ำหนักของสารละอองธุลีแต่ละชนิด



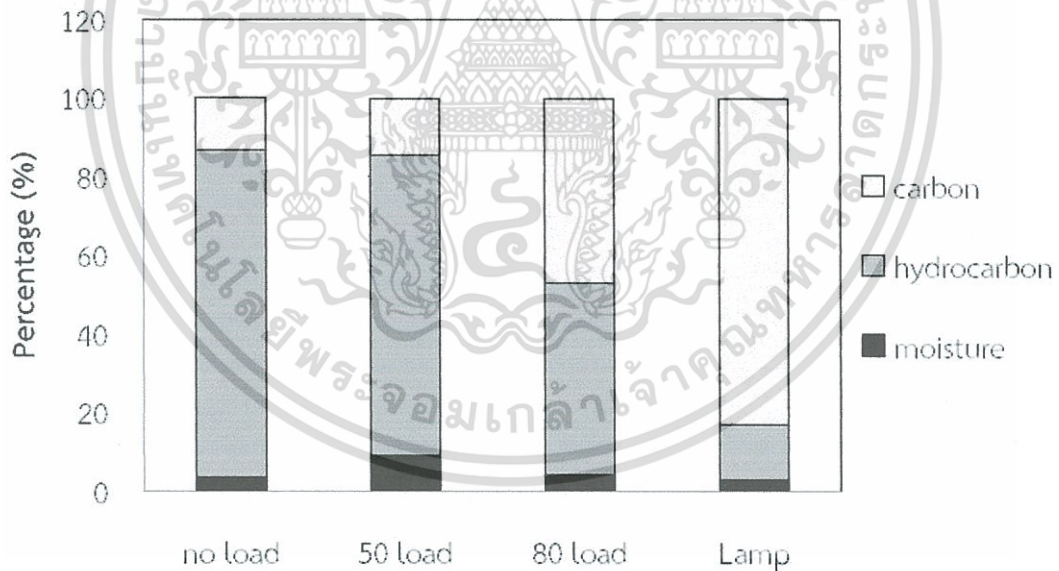
รูปที่ ก.4 อัตราการลดลงของสารละอองธุลีแต่ละชนิด

จากรูปที่ ก.4 แสดงถึงอัตราการลดลงของสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล สารละอองธุลีจากเครื่องยนต์ดีเซลและไบโอดีเซลและคาร์บอนแบล็ค N 330 พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 200-400 °C สารละอองธุลีของเครื่องยนต์จากเชื้อเพลิงดีเซลไบโอดีเซลออกซิไดส์ได้เร็วกว่าสารละอองธุลีของเครื่องยนต์จากเชื้อเพลิงดีเซล เปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล และ คาร์บอนแบล็ค N 330 ตามลำดับ ส่วนเหตุผลที่สอดคล้องตามที่กล่าวมาข้างต้น จากรูปที่ ก.5 เป็นการเปรียบเทียบสัดส่วนประกอบหลักของสารละอองธุลี แบ่ง

ออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นไอน้ำ ส่วนประกอบไฮโดรคาร์บอนและ คาร์บอน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ส่วนองค์ประกอบคิดเป็นเปอร์เซ็นต์มาจากรูปที่ ก.3



(a) Diesel Particulate Matters



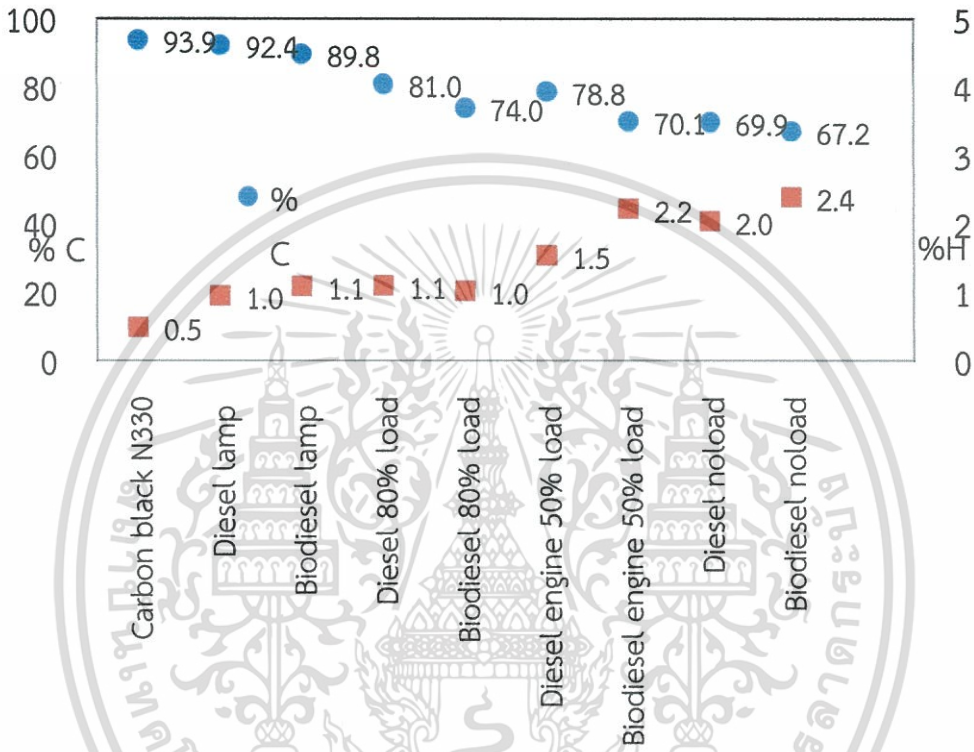
(b) Biodiesel Particulate Matters

รูปที่ ก.5 ส่วนประกอบของสารละอองธุลี โดยประมาณจาก TGA

จากรูปที่ ก.5 ผลการทดลองพบว่าส่วนของคาร์บอนในสารละอองธุลีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีมากกว่าเชื้อเพลิงไบโอดีเซลอาจจะเป็นเพราะว่าสารละอองธุลีไบโอดีเซลเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

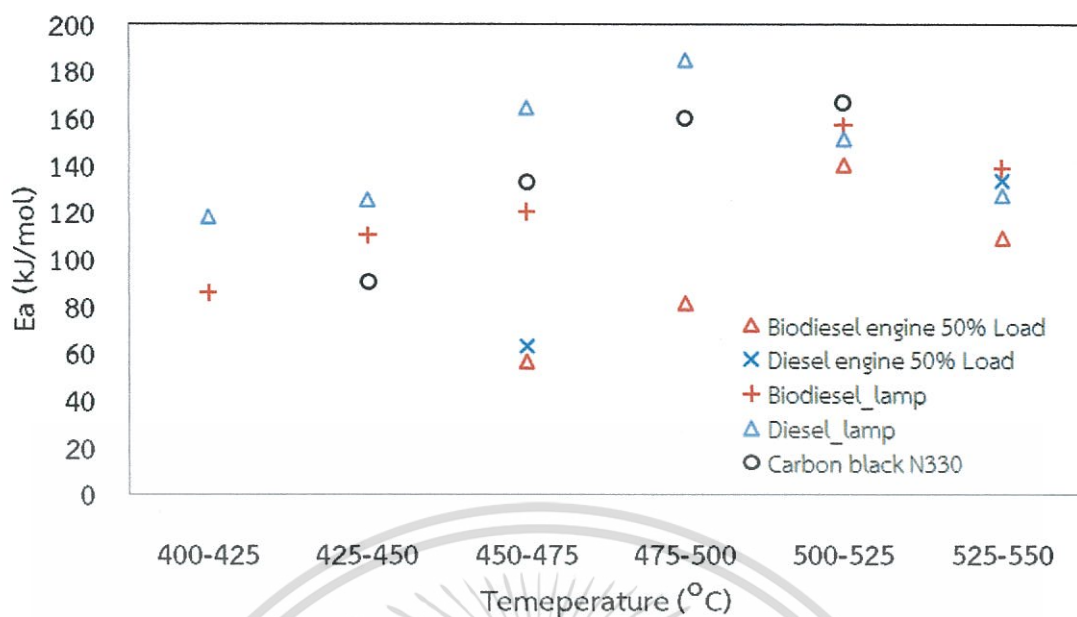
เชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนในตัวเองช่วยให้เผาไหม้สมบูรณ์ ในส่วนของเครื่องยนต์ที่รอบต่างสารละอองธูรีของเครื่องยนต์จากเชื้อเพลิงดีเซลจะมีสัดส่วนคาร์บอนมากกว่าเชื้อเพลิงไบโอดีเซล อาจเป็นเพราะองค์ประกอบในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ซึ่งมีเวลาในการเผาไหม้อย่างรวดเร็วและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงเอง

ในรูปที่ ก.6 เป็นการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีของธาตุคาร์บอนและไฮโดรคาร์บอน เพื่อยืนยันความถูกต้องจากผลการวิเคราะห์ในรูปที่ ก.5 จากการวิเคราะห์ผลพบว่าสัดส่วนของคาร์บอนและไฮโดรคาร์บอนมีทิศทางไปในทางเดียวกัน

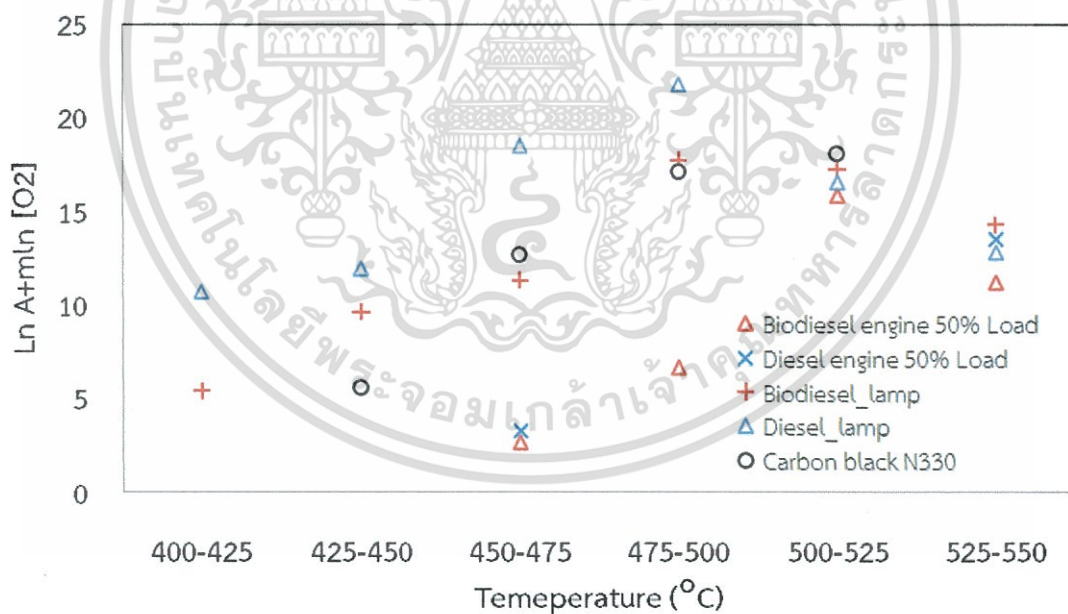


รูปที่ ก.6 ส่วนประกอบทางเคมีของของสารละอองธูรีชนิดต่างๆ

จากรูปที่ ก.7 เป็นกราฟเปรียบเทียบพลังงานกระตุ้นของสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล สารละอองธูรีของเครื่องยนต์จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล และ คาร์บอนแบล็ค N 330 จากกราฟพบว่าพลังงานกระตุ้นในแต่ละช่วงอุณหภูมิสารละอองธูรีมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่าพลังงานกระตุ้นของคาร์บอนแบล็คมีค่ามากกว่าสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่ และสารละอองธูรีของเครื่องยนต์ตามลำดับ และรูปที่ ก.8 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบส่วนทางกายภาพเป็นโอกาสที่ออกซิเจนทำปฏิกิริยากับสารละอองธูรี จากการวิเคราะห์พบว่า แม้ว่าพลังงานกระตุ้นของสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่ของไบโอดีเซลมีพลังงานกระตุ้นต่ำกว่าดีเซล แต่สารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าไบโอดีเซลเนื่องจากพจน์  $\text{LnA} + m\text{InO}_2$  มีค่ามากกว่า ส่วนในส่วนของเครื่องยนต์ สารละอองธูรีไบโอดีเซลมีพลังงานกระตุ้นต่ำกว่าและออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าสารละอองธูรีดีเซล เนื่องจากสารละอองธูรีไบโอดีเซลในเครื่องยนต์มีส่วนประกอบไฮโดรคาร์บอนมากกว่าช่วยให้การออกซิไดส์ได้ง่ายขึ้น



รูปที่ ก.7 พลังงานกระตุ้นของสารละอองธุลีแต่ละชนิด



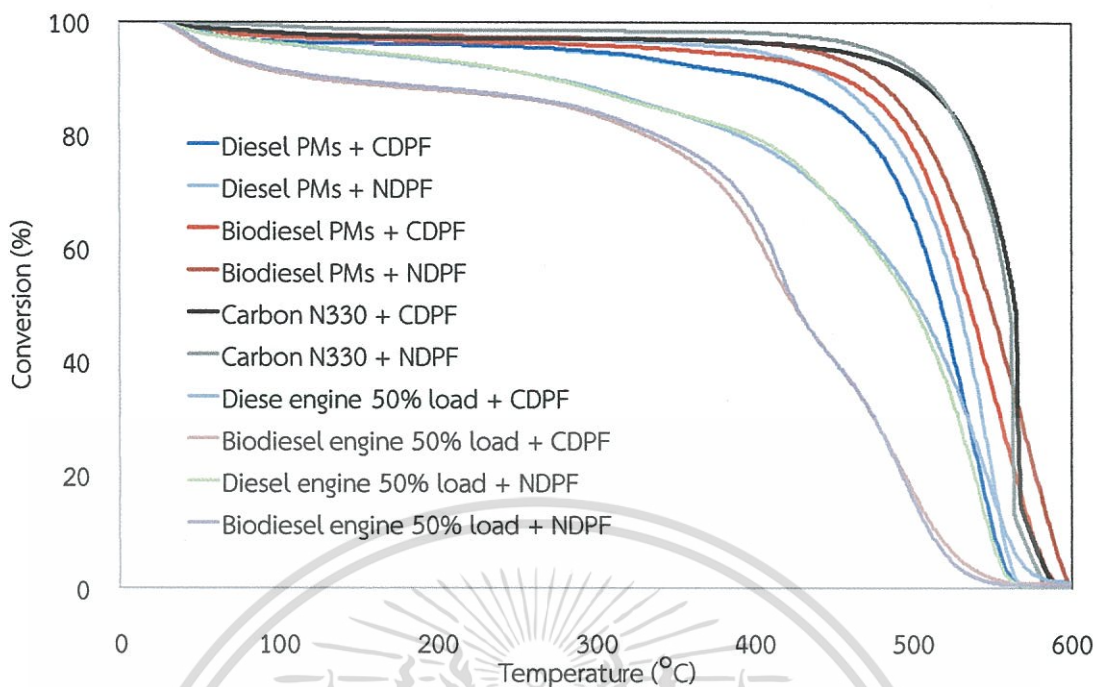
รูปที่ ก.8 การคำนวณหาพจน์โอกาสที่เกิดปฏิกิริยาเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

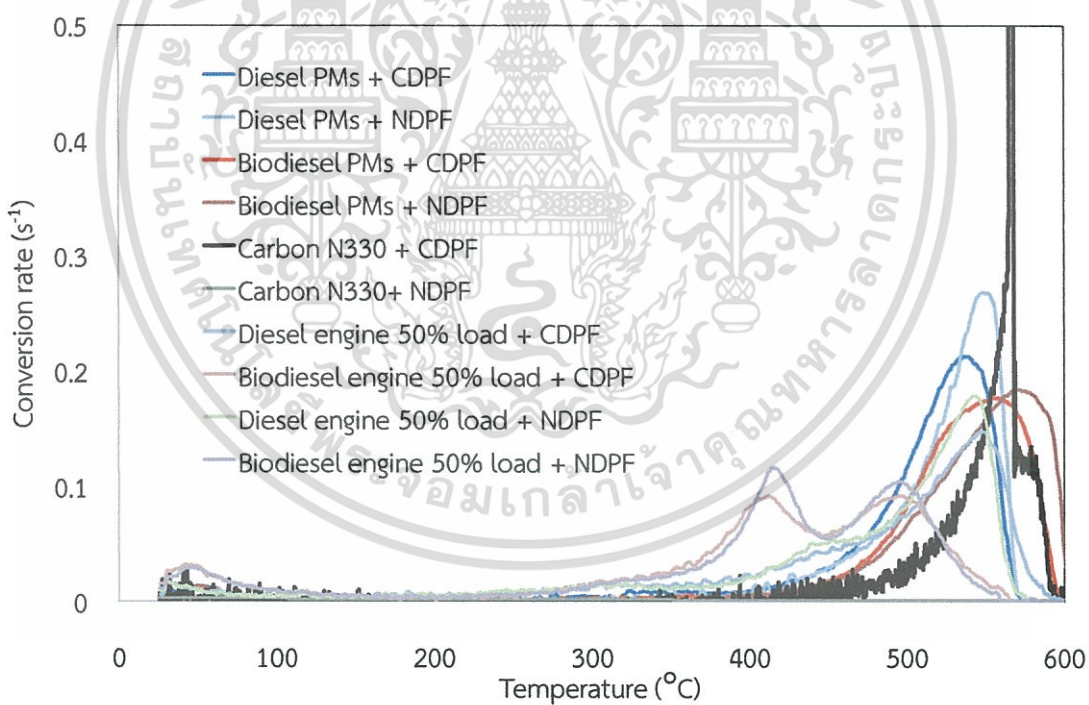
รูปที่ ก.9 กราฟแสดงถึงการลดลงของน้ำหนักของสารละอองธูไลต์ผสมผงเซรามิกแต่ละชนิด จากผลการทดลองพบว่าอัตราการลดลงสารละอองธูไลต์ของเปลวไฟแบบแพร่มากกว่าสารละอองธูไลต์ของเครื่องยนต์ และคาร์บอนแบล็ค N 300 ซึ่งบดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี ตามลำดับ เนื่องจากสารละอองธูไลต์ของเครื่องยนต์ที่บดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีมีส่วนประกอบของไฮโดรคาร์บอนมากกว่าสารละอองธูไลต์ของเปลวไฟแบบแพร่ซึ่งช่วยทำให้เกิดการออกซิไดส์ได้ง่ายกว่า ซึ่งคาร์บอนแบล็ค N 330 บดผสมผงเซรามิกเพื่อเป็นข้อมูลของคาร์บอนบริสุทธิ์ เมื่อเปรียบเทียบสารละอองธูไลต์แต่ละชนิดซึ่งบดผสมผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีพบว่ามีความแตกต่างประมาณ  $15^{\circ}\text{C}$  และพบว่าเมื่อสารละอองธูไลต์ของเครื่องยนต์จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าสารละอองธูไลต์จากเชื้อเพลิงดีเซลซึ่งเหตุผลจะคล้ายกับในหัวข้อการออกซิไดส์สารละอองธูไลต์อย่างเดียว เป็นเพราะว่าในเครื่องยนต์รอบสูงและภาระโหลดสูงระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงจะสั้นส่งผลทำให้มีส่วนผสมไฮโดรคาร์บอนซึ่งในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนในตัวเองช่วยทำให้การออกซิไดส์ได้ง่ายขึ้น

รูปที่ ก.10 เป็นกราฟเปรียบเทียบอัตราการลดลงของสารละอองธูไลต์ของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล สารละอองธูไลต์ของเครื่องยนต์จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลและคาร์บอนแบล็ค N 330 ซึ่งบดผสมกับผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีพบว่าในช่วงอุณหภูมิ  $350-600^{\circ}\text{C}$  สารละอองธูไลต์ของเครื่องยนต์จากเชื้อเพลิงดีเซลไบโอดีเซลทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่าสารละอองธูไลต์ของเครื่องยนต์จากเชื้อเพลิงดีเซล เปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล และ คาร์บอนแบล็ค N 330 ตามลำดับ ส่วนเหตุผลก็สอดคล้องตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



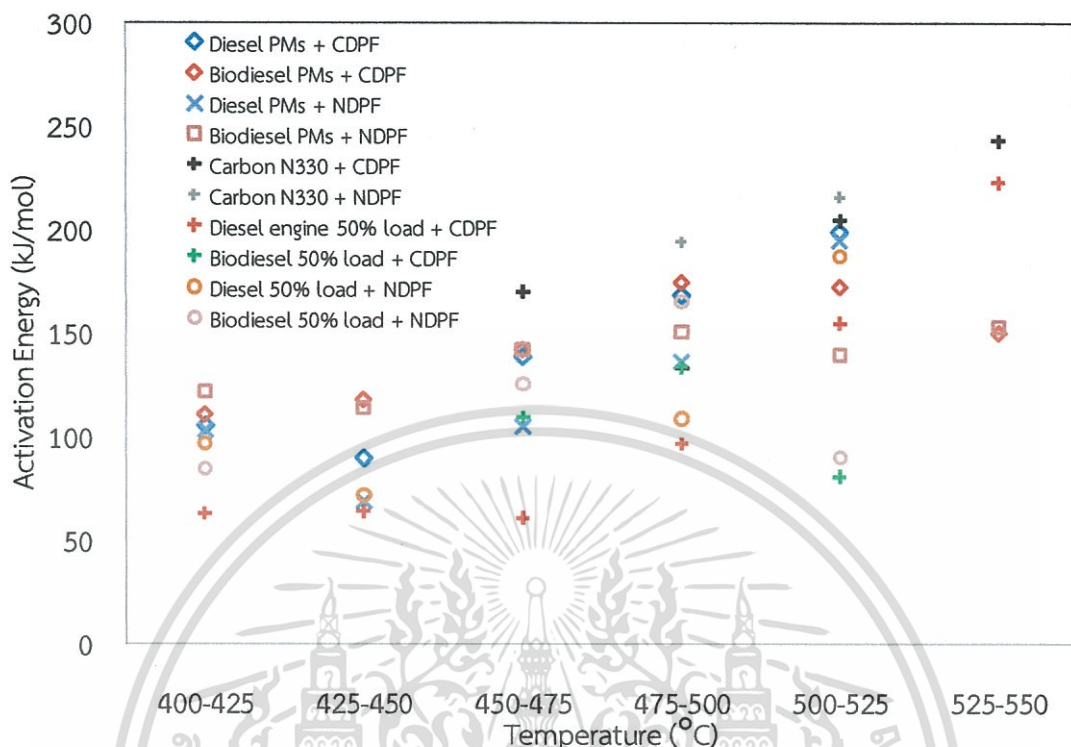


รูปที่ ก.9 การลดลงของน้ำหนักของสารละอองธูปสืบผสมผงเซรามิกแต่ละชนิด

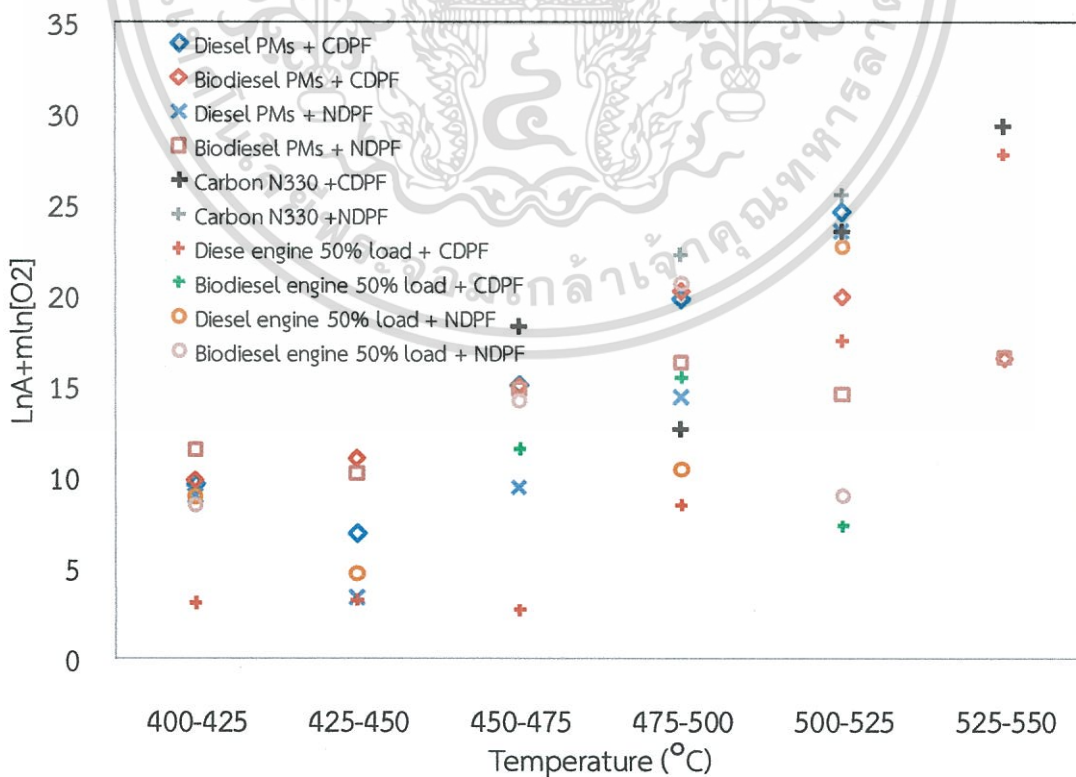


รูปที่ ก.10 อัตราการลดลงของสารละอองธูปสืบผสมผงเซรามิกแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.11 พลังงานกระตุ้นของสารละอองธูปดิบผสมผงเซรามิคแต่ละชนิด



รูปที่ ก.12 การคำนวณหาพจน์โอกาสสารละอองธูปที่เกิดปฏิกิริยาเคมี

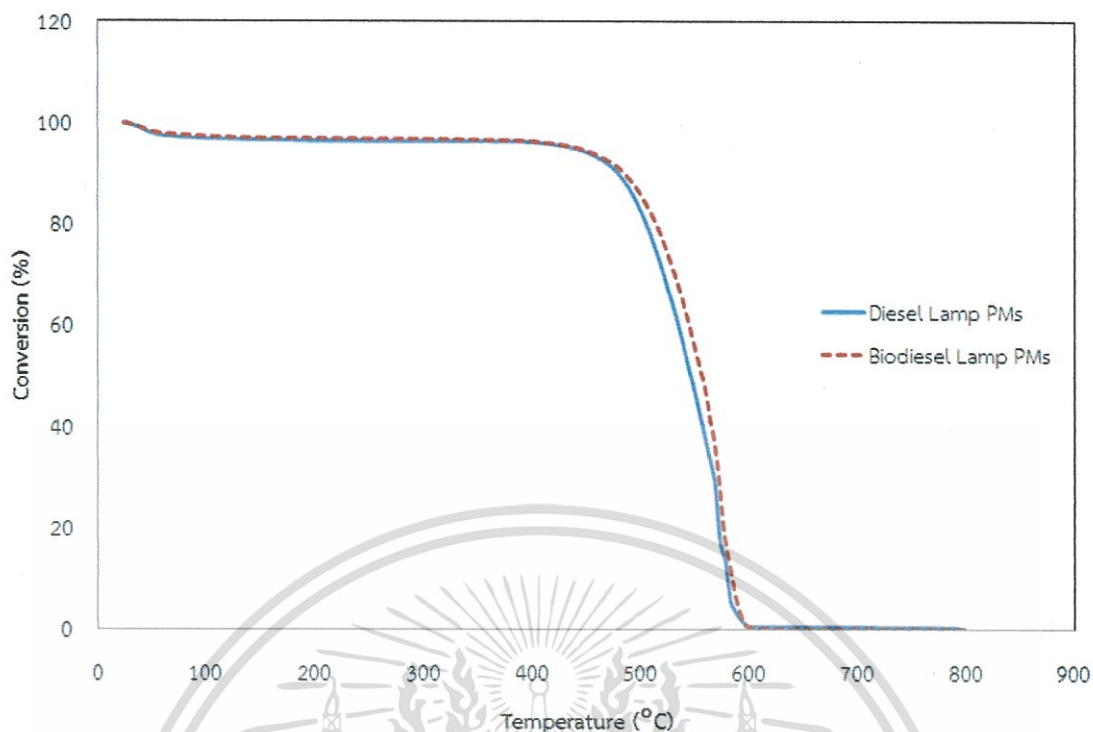
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ ก.11 เป็นกราฟแสดงพลังงานกระตุ้นในการสลายสารละอองธูรีแต่ละชนิดซึ่งบดผสมกับผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีและที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี จากผลการทดลองสารละอองธูรีเครื่องยนต์สามารถออกซิไดส์สารละอองธูรีได้เร็วกว่าสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่และคาร์บอนแบล็ค N 330 ตามลำดับ ในกรณีบดผสมที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีพบว่า สารละอองธูรีของเครื่องจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลสามารถเผาไหม้สารละอองธูรีได้เร็วกว่าสารละอองธูรีของเครื่องยนต์จากเชื้อเพลิงดีเซล สารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลสามารถเผาไหม้สารละอองธูรีได้เร็วกว่าสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล และคาร์บอนแบล็คตามลำดับ ส่วนเหตุผลเหมือนกับการเผาไหม้สารละอองธูรีเพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้อง ส่วนเปรียบเทียบกับสารละอองธูรีที่บดผสมกับผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีซึ่งพบว่าสารละอองธูรีของเครื่องยนต์จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่บดผสมกับผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีสามารถเผาไหม้สารละอองธูรีได้ง่ายกว่าสารละอองธูรีของเครื่องยนต์จากเชื้อเพลิงดีเซลที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมี และสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลที่บดผสมกับผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีสามารถเผาไหม้สารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นเพราะจากการคำนวณค่าโมลของคาร์บอนซึ่งคือโอกาสที่ออกซิเจนเข้าไปสัมผัสพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของทรงกลมของสารละอองธูรีมีค่ามากกว่าโดยค่า  $n$  ของสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีค่า 0.795 และค่า  $n$  ของสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีค่า 0.59 ซึ่งแม้ว่าค่าพลังงานกระตุ้นของสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซล และจากรูปที่ ก.12 การคำนวณหาพจน์โอกาสของสารละอองธูรีที่เกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งพบว่าค่าโอกาสสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลมีค่ามากกว่าสารละอองธูรีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลดังนั้นสามารถที่จะสรุปได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารละอองธูรีจำเป็นต้องคิดคำนวณจากค่าทางเคมีและค่าทางกายภาพประกอบกัน ส่วนคาร์บอน N330 บดผสมกับผงเซรามิกที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีสามารถเผาไหม้มลพิษได้เร็วกว่าคาร์บอน N 330 บดผสมกับผงเซรามิกที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาเคมีซึ่งคาร์บอนแบล็ค N 330 ใช้เป็นค่าอ้างอิงของการคำนวณค่าพลังงานกระตุ้นของคาร์บอนบริสุทธิ์ และค่าของโอกาสสารละอองธูรีที่เกิดปฏิกิริยาเคมี

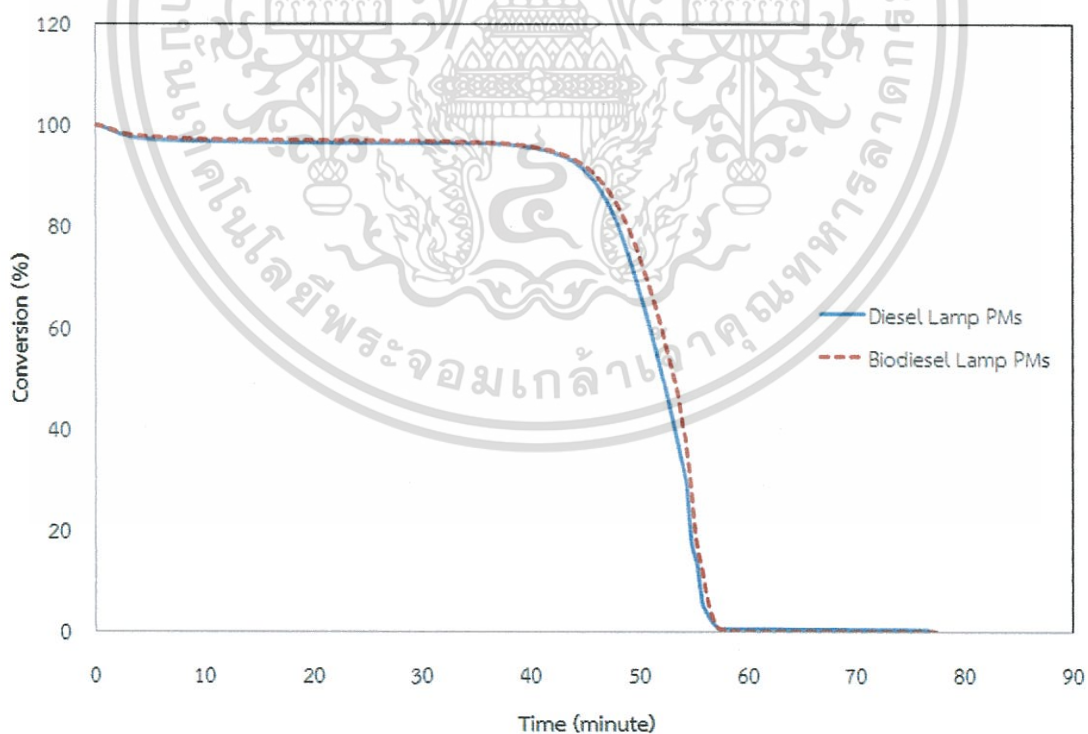


ภาคผนวก ข.  
ข้อมูลวิเคราะห์กราฟด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (TGA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

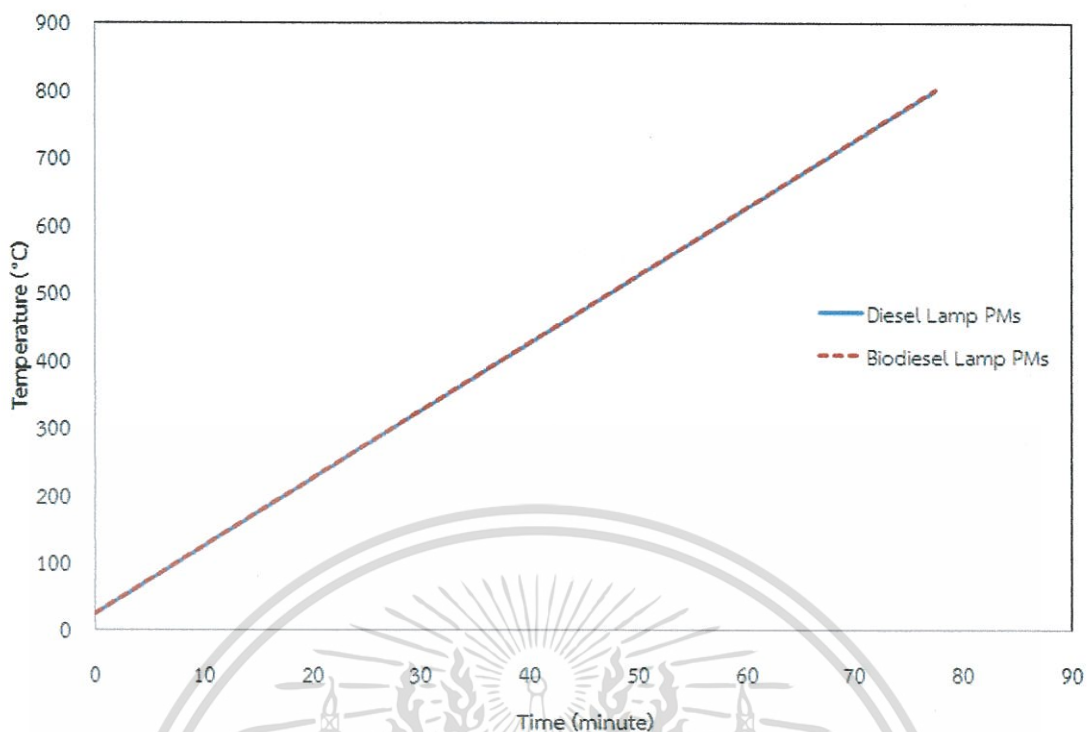


รูปที่ ข.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ลดลงเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ



รูปที่ ข.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสารละลายองฐลีที่ลดลงเทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทียบกับเวลา

จากรูปที่ ข.1 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ลดลงเปรียบเทียบกับเวลาซึ่งในการทดลองนี้ได้กำหนดอัตราให้ความร้อน ซึ่งในรูปที่ ข.2 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเปรียบเทียบกับเวลา และในรูปที่ ข.3 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเปรียบเทียบกับเวลาซึ่งแสดงได้ว่าในการทดลองนี้ใช้อัตราการให้ความร้อนคงที่  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  สามารถที่จะเปรียบเทียบสารถีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล ในภาคผนวก ข. แสดงกราฟ TGA ของสารถีของเปลวไฟแบบแพร่จากเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลที่ทดสอบด้วยวิธีอุณหภูมิไม่คงที่ (Non-Isothermal Method) และทดสอบด้วยวิธีอุณหภูมิกคงที่ (Isothermal Method)

MTEC NO. 1248/54

## รายงานผลการวิเคราะห์

วันที่รายงาน	:	2 มีนาคม 2554
ตัวอย่างจาก	:	นายทรงธรรม เหล่าสุวรรณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ช.ฉลองกรุง 1 ถ.ฉลองกรุง แขวงลำป่าทวี เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ โทรศัพท์: 087 2258156 โทรสาร: -
ทดสอบโดย	:	ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน หน่วยวิจัยลักษณะเฉพาะของวัสดุ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
วันที่รับตัวอย่าง	:	3 กุมภาพันธ์ 2554
วันที่วิเคราะห์	:	21 กุมภาพันธ์ - 2 มีนาคม 2554
ตัวอย่างที่ส่งมาวิเคราะห์	:	จำนวน 2 ตัวอย่าง ดังนี้ 1. Biodiesel 2. Diesel
การรับส่งตัวอย่าง	:	ไม่มีข้อมูลระบุจากผู้ส่งตัวอย่าง
จุดประสงค์ในการวิเคราะห์	:	หาโปรไฟล์น้ำหนักขององค์ประกอบในตัวอย่าง
เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ	:	Mettler Toledo TGA/SDTA 851°
เทคนิคในการทดสอบ	:	Thermogravimetric Analysis (TGA)
สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์	:	ระบุโดยลูกค้า เพิ่มอุณหภูมิจาก 25°C ถึง 800°C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 10°C/min ทดสอบภายใต้บรรยากาศออกซิเจน
ผลการวิเคราะห์และการแปลผล:	:	ดังเอกสารแนบที่ 1-2
เอกสารแนบ:	:	เอกสารแนบที่ 1: TGA เทอร์โมแกรมของ "Biodiesel" เอกสารแนบที่ 2: TGA เทอร์โมแกรมของ "Diesel"

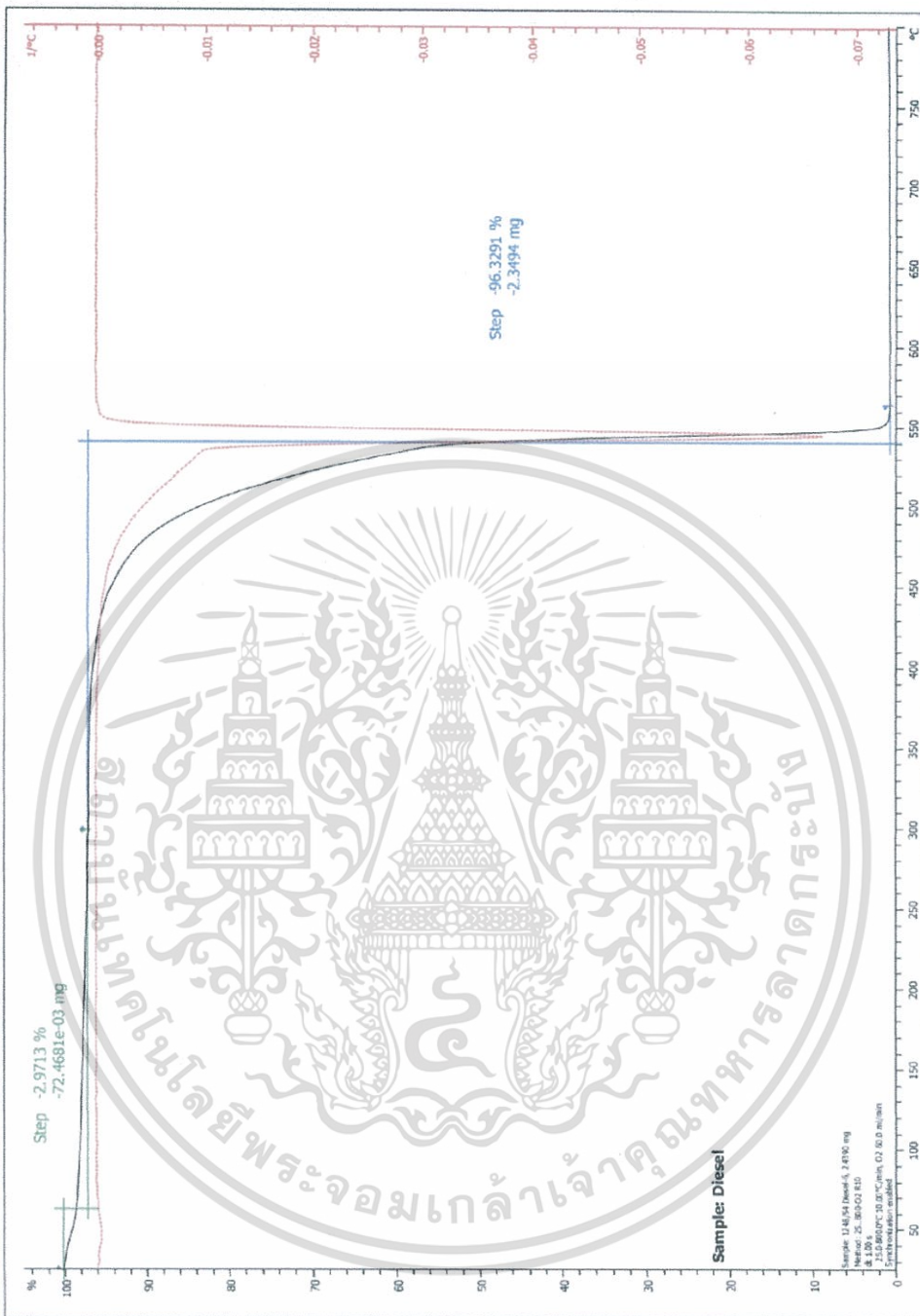
MTEC No. 1248/54

1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



STAR<sup>®</sup> SW 9.30

Not signed

DEMO Version



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MTEC NO. 3044/54

## รายงานผลการวิเคราะห์

วันที่รายงาน	:	4 ตุลาคม 2554
ตัวอย่างจาก	:	ดร. ปรีชา ทวีรินทร์ วิทยาลัยนานาชาติ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง ลาดกระบัง กทม. 10520 โทรศัพท์: 087 2258156 โทรสาร: -
ทดสอบโดย	:	ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน หน่วยวิจัยลักษณะเฉพาะของวัสดุ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
วันที่รับตัวอย่าง	:	22 กรกฎาคม 2554
วันที่วิเคราะห์	:	30 สิงหาคม - 4 ตุลาคม 2554
ตัวอย่างที่ส่งมาวิเคราะห์	:	จำนวน 2 ตัวอย่าง ดังนี้ 1. เซมาดีเซล 2. เซมาไบโอดีเซล
การหีบขังตัวอย่าง	:	ไม่มีข้อมูลระบุจากหีบขังตัวอย่าง
จุดประสงค์ในการวิเคราะห์	:	หาเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบไม่พลอย
เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ	:	Mettler Toledo TGA/SDTA 851
เทคนิคในการทดสอบ	:	Thermogravimetric Analysis (TGA)
สถานะที่ใช้ในการวิเคราะห์	:	ระบุโดยลูกค้า
	:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. เพิ่มอุณหภูมิจาก 30°C ถึง 450°C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 40°C/min ทดสอบภายใต้บรรยากาศออกซิเจน แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง</li> <li>2. เพิ่มอุณหภูมิจาก 30°C ถึง 500°C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 40°C/min ทดสอบภายใต้บรรยากาศออกซิเจน แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง</li> <li>3. เพิ่มอุณหภูมิจาก 30°C ถึง 550°C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 40°C/min ทดสอบภายใต้บรรยากาศออกซิเจน แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง</li> <li>4. เพิ่มอุณหภูมิจาก 30°C ถึง 600°C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 40°C/min ทดสอบภายใต้บรรยากาศออกซิเจน แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง</li> </ol>

MTEC No. 3044/54

1/2

5. เพิ่มอุณหภูมิจาก 30°C ถึง 650°C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 40°C/min ทดสอบภายใต้บรรยากาศออกซิเจน แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 650°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

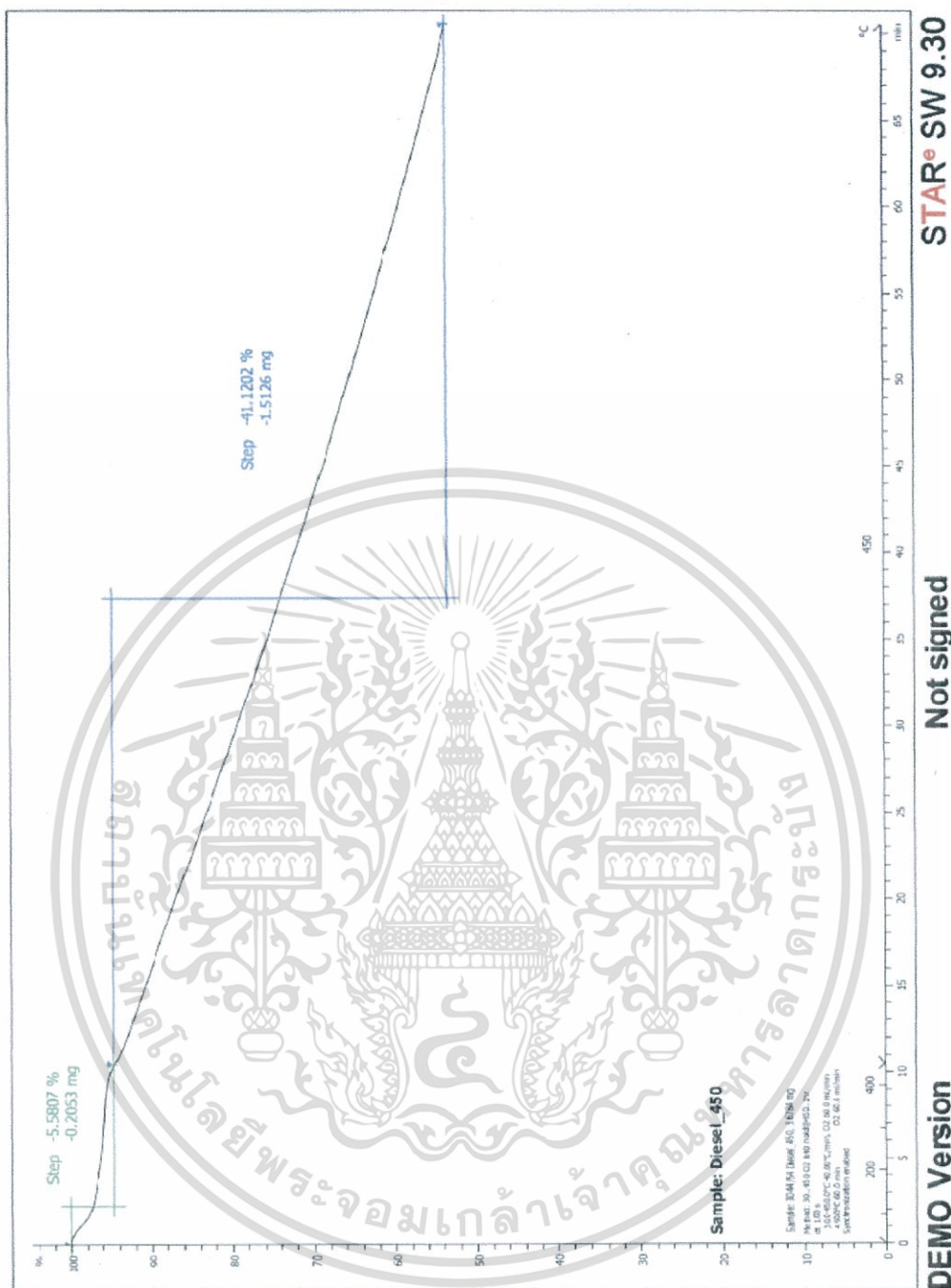
**ผลการวิเคราะห์และการแปลผล:** ดังเอกสารแนบที่ 1-10

**เอกสารแนบ:**

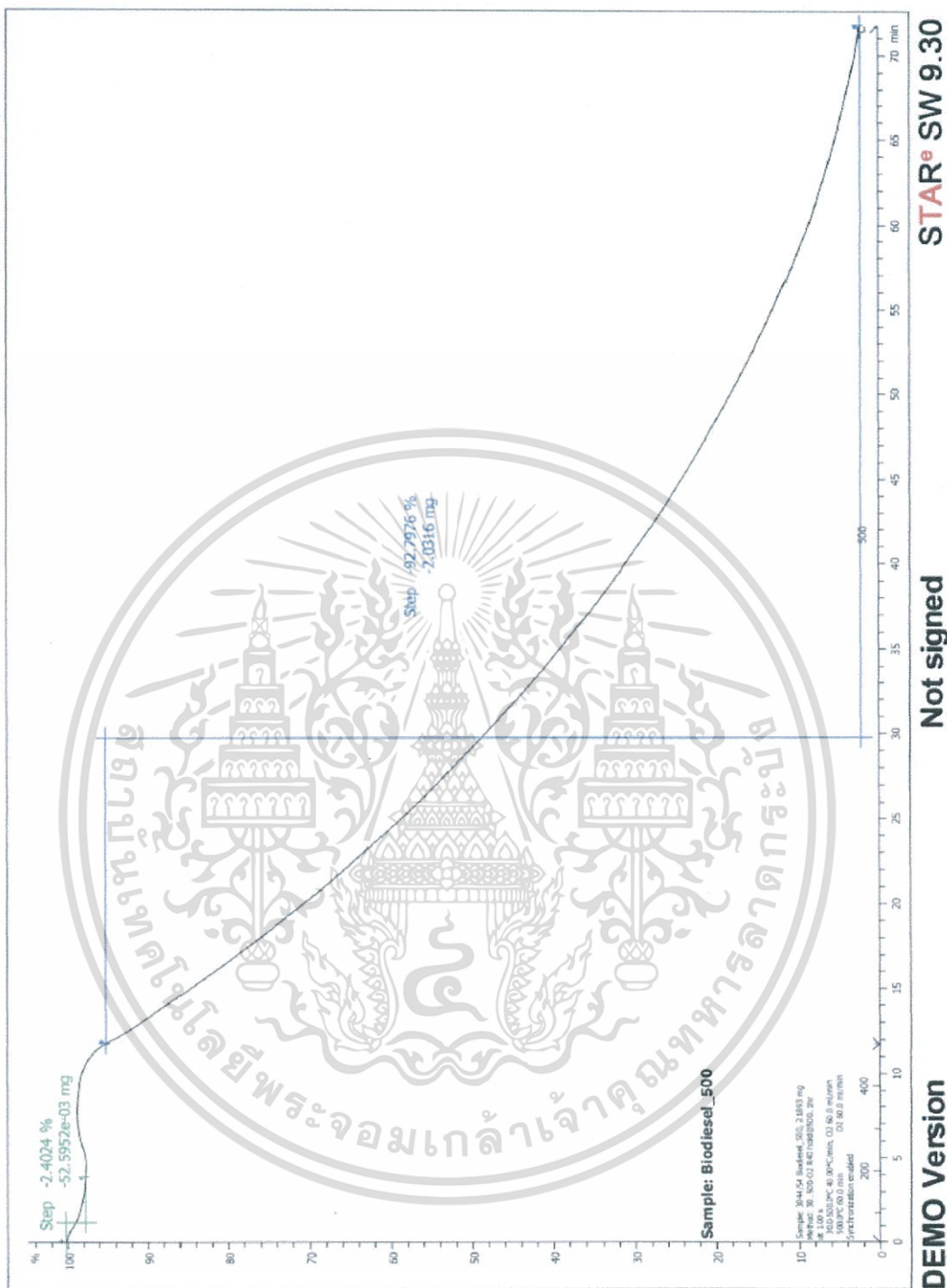
- เอกสารแนบที่ 1: TGA เทอร์โมแกรมของ "Biodiesel\_450"
- เอกสารแนบที่ 2: TGA เทอร์โมแกรมของ "Diesel\_450"
- เอกสารแนบที่ 3: TGA เทอร์โมแกรมของ "Biodiesel\_500"
- เอกสารแนบที่ 4: TGA เทอร์โมแกรมของ "Diesel\_500"
- เอกสารแนบที่ 5: TGA เทอร์โมแกรมของ "Biodiesel\_550"
- เอกสารแนบที่ 6: TGA เทอร์โมแกรมของ "Diesel\_550"
- เอกสารแนบที่ 7: TGA เทอร์โมแกรมของ "Biodiesel\_600"
- เอกสารแนบที่ 8: TGA เทอร์โมแกรมของ "Diesel\_600"
- เอกสารแนบที่ 9: TGA เทอร์โมแกรมของ "Biodiesel\_650"
- เอกสารแนบที่ 10: TGA เทอร์โมแกรมของ "Diesel\_650"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

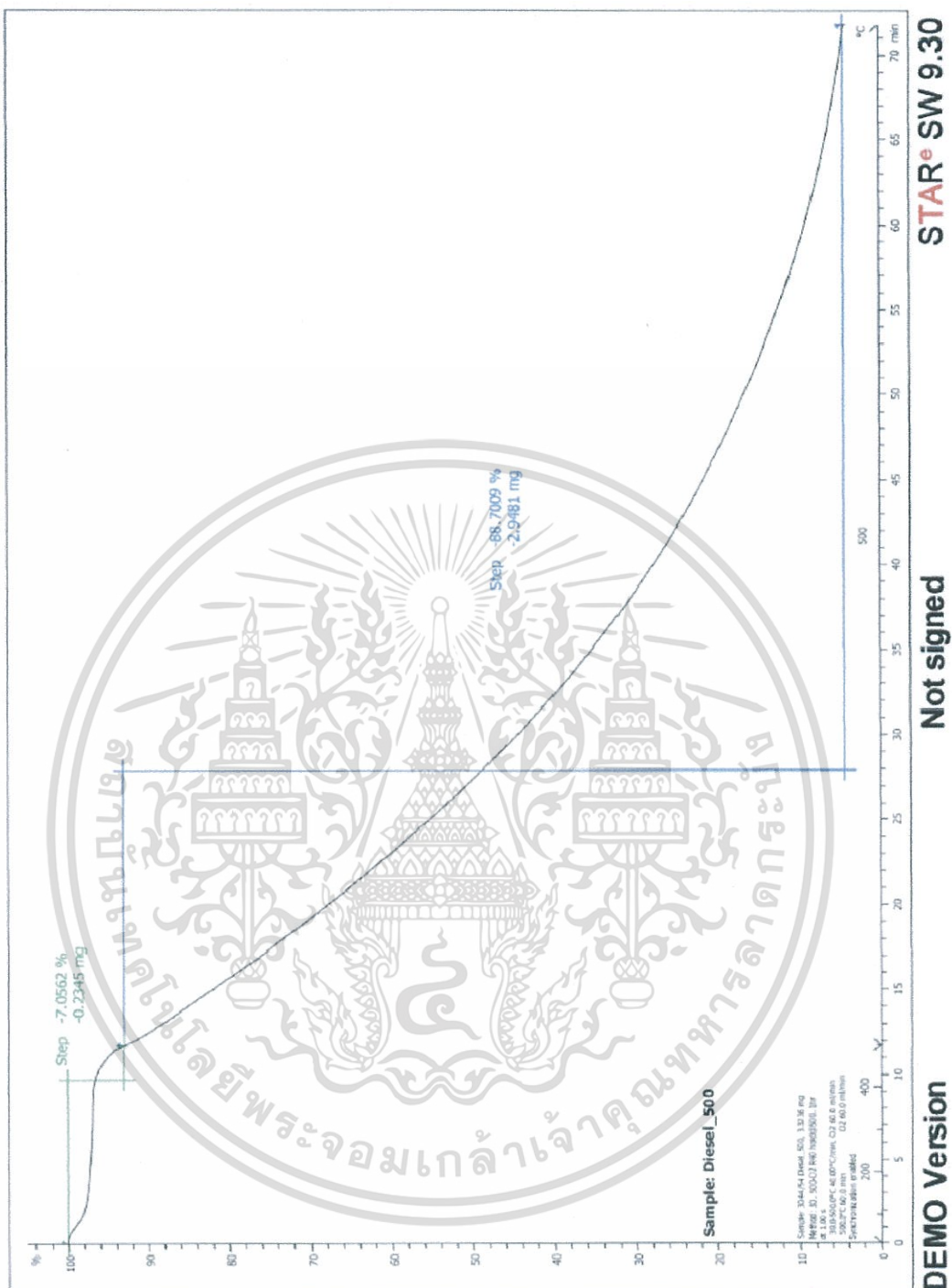




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





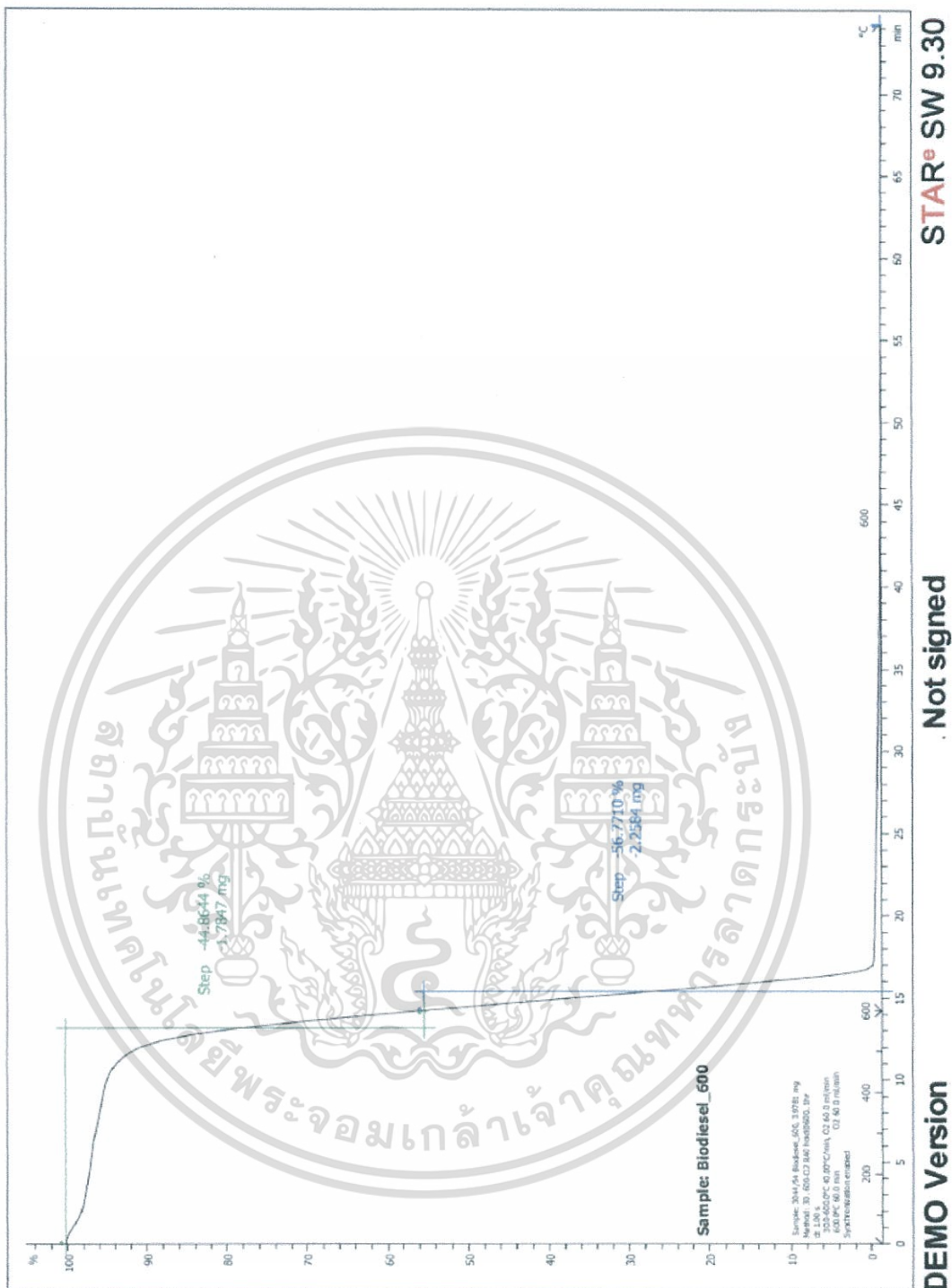
STAR® SW 9.30

Not signed

DEMO Version



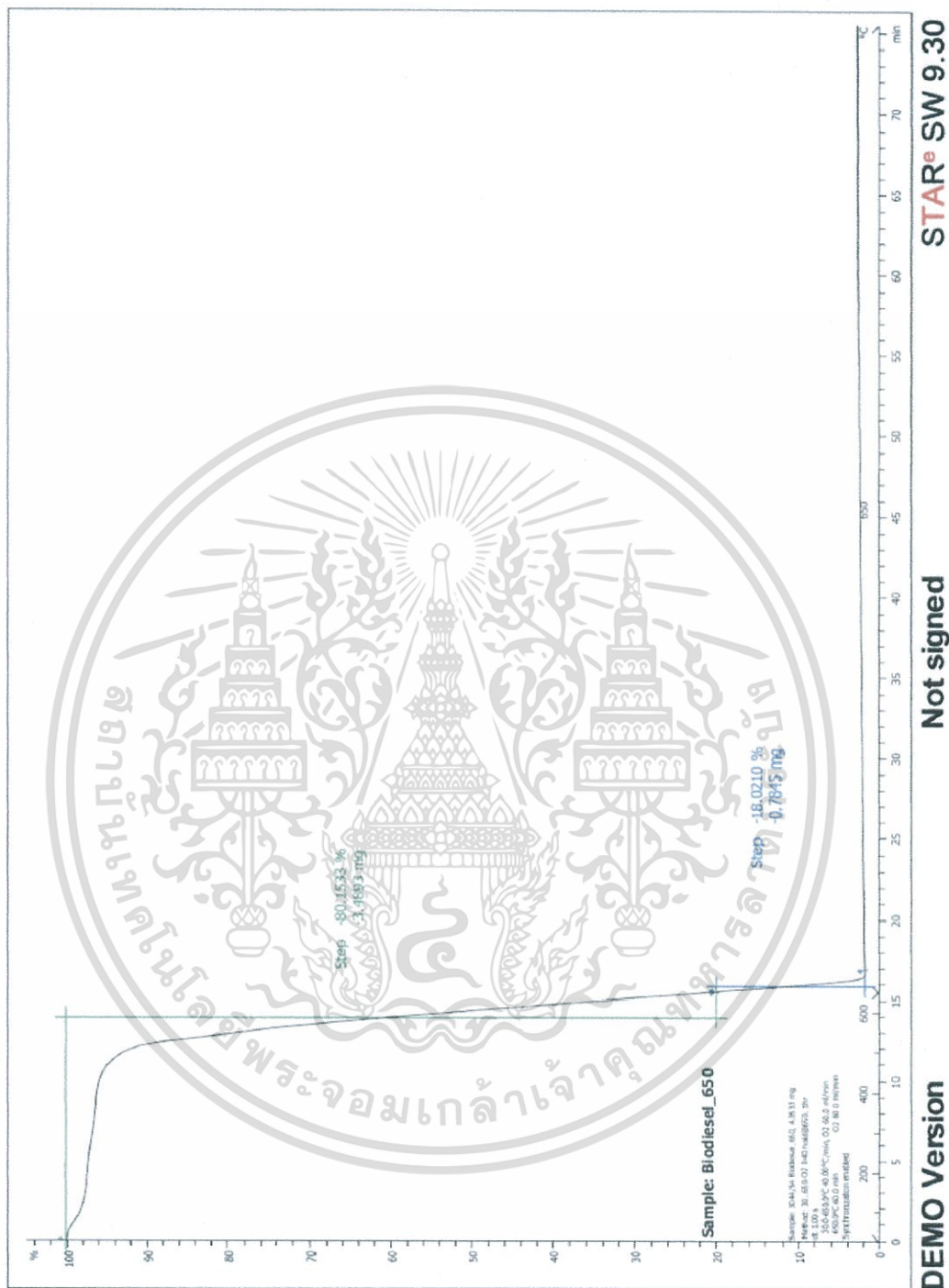
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MTEC NO. 0671/55

## รายงานผลการวิเคราะห์

วันที่รายงาน	:	28 กุมภาพันธ์ 2555
ตัวอย่างจาก	:	นายทรงธรรม เหล่าสุวรรณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โทรศัพท์: 087 2258026 โทรสาร: -
ทดสอบโดย	:	ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน หน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีการวิเคราะห์ทดสอบวัสดุ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
วันที่รับตัวอย่าง	:	21 กุมภาพันธ์ 2555
วันที่วิเคราะห์	:	27-28 กุมภาพันธ์ 2555
ตัวอย่างที่ส่งมาวิเคราะห์	:	“เขม่าดีเซลไม่ไอดีเซล” จำนวน 6 ตัวอย่าง ดังนี้ 1. Biodiesel+CDPF 2. Biodiesel+NDPF 3. Diesel+CDPF 4. Diesel+NDPF 5. Carbon black N 550 6. PM Diesel
การขึ้นตัวอย่าง	:	ไม่มีข้อมูลระบุจากผู้ส่งตัวอย่าง
จุดประสงค์ในการวิเคราะห์	:	หาเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบในตัวอย่าง
เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ	:	Mettler Toledo TGA/SDTA 851
เทคนิคในการทดสอบ	:	Thermogravimetric Analysis (TGA)
สถานะที่ใช้ในการวิเคราะห์	:	ระบุโดยลูกค้า 1. (ตัวอย่างที่ 1-5) เติมอุณหภูมิจาก 25°C ถึง 800°C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 10°C/min ทดสอบภายใต้บรรยากาศออกซิเจน 2. (ตัวอย่างที่ 6) เติมอุณหภูมิจาก 30°C ถึง 400°C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 40°C/min และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทดสอบภายใต้บรรยากาศออกซิเจน

ผลการวิเคราะห์และการแปลผล: สังกะสารแนบที่ 1-6

**เอกสารแนบ:**

- เอกสารแนบที่ 1 : TGA เทอร์โมแกรมของ "Biodiesel+CDPF"
- เอกสารแนบที่ 2 : TGA เทอร์โมแกรมของ "Biodiesel+NDPF"
- เอกสารแนบที่ 3 : TGA เทอร์โมแกรมของ "Diesel-CDPF"
- เอกสารแนบที่ 4 : TGA เทอร์โมแกรมของ "Diesel-NDPF"
- เอกสารแนบที่ 5 : TGA เทอร์โมแกรมของ "Carbon black N-550"
- เอกสารแนบที่ 6 : TGA เทอร์โมแกรมของ "PM Diesel"



MTEC No. 0671/55

2/2

**MTEC**  
a member of NSTDA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



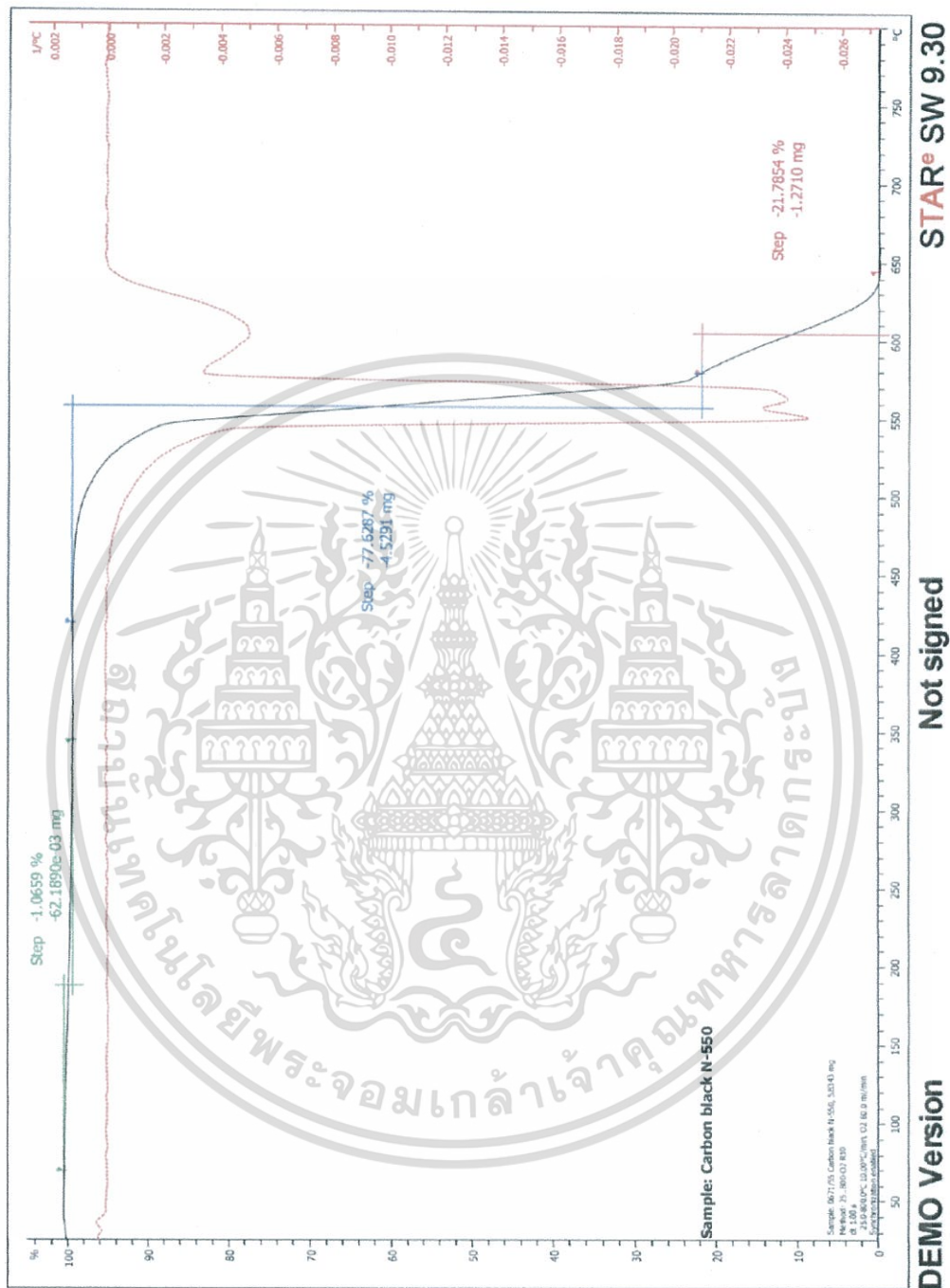
STAR® SW 9.30

Not signed

DEMO Version



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



STAR<sup>®</sup> SW 9.30

Not signed

DEMO Version



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


**PTT PUBLIC COMPANY LIMITED**

 QUALITY ANALYSIS DEPARTMENT, SUPPLY AND TERMINAL OPERATIONS, OIL BUSINESS UNIT  
 555 ARDNARONG RD., KLONGTOEY, BANGKOK 10260, THAILAND  
 TEL. +66(0)2239-7148 FAX. +66(0)2239-7149 WWW.PTTPLC.COM


Page 1 of 1

**Certificate of Analysis**
**Product : High Speed Diesel**

<b>Certificate No.</b> : T-12/17148	<b>Received Date</b> : 23 Jul 2012
<b>Sample Lab No.</b> : OP-HSD-1217635	<b>Date of Test</b> : 23 Jul 2012
<b>Customer/Supplier</b> : Phrakhanong Oil Terminal, PTT PLC.	<b>Date of Sampling</b> : 23 Jul 2012
<b>Sample Location</b> : Depot : Phrakhanong Oil Terminal, Tank No. : TA 12	<b>Sample Condition</b> : Normal
<b>Batch No.</b> : TA 12/12/0051	
<b>Product Source</b> : Ship- AMPAR-1, Refinery- REF-T,	

Test Item	Test Method	Limit	Result
* 1. Appearance	Visual	Clear & Bright	Clear & Bright
* 2. Calculated Cetane Index	ASTM D 976-06	Min. 47	57.72
* 3. API Gravity @60 °F, Upper, °API	ASTM D 4052-09	Report	39.2
* 4. Specific Gravity 15.6/15.6°C, Upper	ASTM D 4052-09	0.81-0.87	0.8289
* 5. API Gravity @60 °F, Lower, °API	ASTM D 4052-09	Report	39.2
* 6. Specific Gravity 15.6/15.6°C, Lower	ASTM D 4052-09	0.81-0.87	0.8289
7. Flash Point (P.M.), °C	ASTM D 93-10 (Procedure A)	Min. 52	68.0
8. Kinematic Viscosity at 40°C, mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 445-09	1.8-4.1	3.199
9. Pour Point, °C	In-house method based on ASTM D 5950-02 (Reapproved 2007)	Max. 10	0
* 10. Sulfur Content, mg/kg	ASTM D 2622-08	Max. 50	28.9
11. Distillation :Initial Boiling Point, °C	ASTM D 86-07a	Report	169.0
12. Distillation :10 %vol. Recovered, °C	ASTM D 86-07a	Report	209.3
13. Distillation :50 %vol. Recovered, °C	ASTM D 86-07a	Report	282.8
14. Distillation :90 %vol. Recovered, °C	ASTM D 86-07a	Max. 357	355.1
* 15. Water and Sediment, % vol.	ASTM D 2709-96 (Reapproved 2006)	Max. 0.05	<0.005
* 16. ASTM Color	ASTM D 1500-07	Max. 4.0	L1.0
* 17. Electrical Conductivity, Upper, pS/m	ASTM D 2624-09	Min. 50	0@27.0°C
* 18. Electrical Conductivity, Lower, pS/m	ASTM D 2624-09	Min. 50	0@27.0°C
* 19. Electrical Conductivity, Average, pS/m	ASTM D 2624-09	Min. 50	0@27.0°C

Remark : \* Test marked "Not TISI Accredited" in this Certificate are not included in the TISI Accreditation Schedule for our Laboratory.

Approved by :	Witthaya Yungkone
	( Witthaya Yungkone )
Position Title :	Product Quality Control Officer
Date of Issue :	25 Jul 2012

(This certificate relates only to the sample tested. Reproduction of it or any of its constituent part is not permitted without the consent of Quality Control Division manager.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บริษัท น้ำมันพืชปทุม จำกัด  
PATUM VEGETABLE OIL CO.,LTD.

แบบฟอร์ม ใบแจ้งผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซล

### CERTIFICATE OF ANALYSIS


Reference material for Fatty Acid Methyl Ester

Attention : KMITL  
Product Name : Biodiesel (Fatty Acid Methyl Ester)  
Date of Delivery : July 19, 2012  
Remark : Sample should be stored out of direct sunlight, and preferably at or below 30 °C

#### ANALYSIS RESULT

	Test Parameter	Limitation	Test Method	Result
1	Methyl Ester, %wt	96.5 Min	EN 14103	97.9
2	Density at 30°C, kg/m <sup>3</sup>	860 – 900	ASTM D 1298	864.1
	Density at 15°C, kg/m <sup>3</sup>			874.3**
3	Viscosity at 40°C, cSt	3.5 – 5.0	ASTM D 445	4.5
4	Flash Point, °C	120 Min	ASTM D 93	184.5
5	Sulphur Content, %wt	0.0010 Max	ASTM D 5453 *	< 0.0001
6	Carbon Residue, on 10% distillation residue, %wt	0.30 Max	ASTM D 4530 *	< 0.10
7	Cetane Number	51 Min	ASTM D 6890-10a *	68.2
8	Sulphated Ash, %wt	0.02 Max	ASTM D 874 *	< 0.001
9	Water, %wt	0.05 Max	EN ISO 17937	0.028
10	Total Contaminate, %wt	0.0024 Max	EN 12662 *	0.0003
11	Copper Strip Corrosion, %wt	1a	ASTM D 130 *	1a
12	Oxidation Stability at 110°C, hr.	10 Min	EN 14112	26.3
13	Acid Value, mgKOH/g	0.50 Max	ASTM D 664	0.10
14	Iodine Value, gI <sub>2</sub> /100 g	120 Max	EN 14111	51.5
15	Linolenic Acid Methyl Ester, %wt	12.0 Max	EN 14103	0.18
16	Methanol, %wt	0.20 Max	EN 14110	0.03
17	Monoglyceride, %wt	0.80 Max	EN 14105	0.31
18	Diglyceride, %wt	0.20 Max	EN 14105	0.05
19	Triglyceride, %wt	0.20 Max	EN 14105	0.01
20	Free Glycerin, %wt	0.02 Max	EN 14105	0.00
21	Total Glycerin, %wt	0.25 Max	EN 14105	0.09
22	Group I metals, mg/kg	5.0 Max	EN 14538 *	0.39
	Group II metals, mg/kg	5.0 Max	EN 14538 *	0.69
23	Phosphorus, %wt	0.0010 Max	ASTM D 4951 *	< 0.00001
24	Additive	Report		No
25	Appearance	Clear	Visual	Clear
26	Cloud Point, °C	16.0 Max	ASTM D 2500	14.0

Remark\*: Test results was conducted by Intertek, Thailand (Test Date: 15/03/2012)  
\*\* : Test results was converted by table 53B.

Tested by :  Approved by :   
(Quality Control Officer) (Quality Control Supervisor)

QUALITY CONTROL OLEOCHEMICAL – LABORATORY SECTION

OFF: 1/8 CHARANSITTWONGS RD. SOI 55 BANGPLAD BANGKOK 10700 THAILAND. TELEX: 62431 PATUM TH  
TEL: 66 (02) 434-8384-7 FAX: 66 (02) 433-6423  
FAC: TEL: 65 (02) 581-5211, 581-5763, 581-2348 FAX: 66 (02) 581-6407

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**PTT PUBLIC COMPANY LIMITED**  
 QUALITY ANALYSIS DEPARTMENT, SUPPLY AND TERMINAL OPERATIONS, OIL BUSINESS  
 555 ARDNARONG RD., KLONGTOEY, BANGKOK 10260, THAILAND  
 TEL. +66(0)2239-7148 FAX. +66(0)2239-7149 WWW.PTTPLC.COM

Page 1 of 1

**Certificate of Analysis****Product : Biodiesel (B100)**

**Certificate No.** : T-12/19649  
**Sample Lab No.** : OP-BIO-1218938  
**Customer/Supplier** : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ช. ฉลองกรุง1 แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กทม. 10520  
**Sample Location** : --  
**Batch No.** : --  
**Product Source** : --

**Received Date** : 06 Aug 2012  
**Date of Test** : 06 Aug 2012  
**Date of Sampling** : 01 Aug 2012  
**Sample Condition** : Normal

Test Item	Test Method	Limit	Result
1. Distillation : 90% vol. Recovered, °C	ASTM D 1160-03	-	351.2

Approved by :

*Phurita*  
 (Phurita Pothisuk)  
 Team Leader

Position Title :

Date of Issue :

22 Aug 2012

(This certificate relates only to the sample tested. Reproduction of it or any of its constituent part is not permitted without the consent of Quality Control Division manager)



**PTT PUBLIC COMPANY LIMITED**  
 QUALITY ANALYSIS DEPARTMENT, SUPPLY AND TERMINAL OPERATIONS, OIL BUSINESS  
 555 ARDNARONG RD., KLONGTOEY, BANGKOK 10260, THAILAND  
 TEL. +66(0)2239-7148 FAX. +66(0)2239-7149 WWW.PTTPLC.COM

Page 1 of 1

**Certificate of Analysis****Product : Diesel**

**Certificate No.** : T-12/19650  
**Sample Lab No.** : OP-HSD-1218939  
**Customer/Supplier** : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ช. ฉลองกรุง1 แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กทม. 10520  
**Sample Location** : --  
**Batch No.** : --  
**Product Source** : --

**Received Date** : 06 Aug 2012  
**Date of Test** : 06 Aug 2012  
**Date of Sampling** : 01 Aug 2012  
**Sample Condition** : Normal

Test Item	Test Method	Limit	Result
1. Distillation : Initial Boiling Point, °C	ASTM D 86-07a	-	166.2
2. Distillation : 10 %vol. Recovered, °C	ASTM D 86-07a	-	207.2
3. Distillation : 50 %vol. Recovered, °C	ASTM D 86-07a	-	287.1
4. Distillation : 90 %vol. Recovered, °C	ASTM D 86-07a	-	353.1

Approved by :

*Phurita*  
 (Phurita Pothisuk)  
 Team Leader

Position Title :

Date of Issue :

22 Aug 2012

(This certificate relates only to the sample tested. Reproduction of it or any of its constituent part is not permitted without the consent of Quality Control Division manager)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PTT PUBLIC COMPANY			Print-Date : 11/9/2012 14:08	
Herzog MP 626 - HDA 627/628			Unit Number : 2 - Software - Version : HDA 1.0E	
Sample number : OP-HSD-1217635				
Sample Description : TA-12 PKN				
Date of Measurement: 23/7/2012 10:49:10				
Dist. Standard : ASTM D 86 - G4				
Dist. Group : 4				
Thermometer : 8C/8F				
Measurement Program : HSD ASTM D86 H6				
Condensor Temperature Start : 50 °C Temperature Delta : 0 °C Temperature End : 50 °C		Receiver 25 °C 0 °C 25 °C		Initial Heat Temperature 1 : 650 °C Initial Heat Temperature 2 : 640 °C Initial Heat Switchtime : 180 s Distillation Rate : 4.5 ml/min Follow Heat Curve : no
Distillation end detection : max. Temperature DE temperature decrease : 2 °C Dry point detection : without Dry point delay : 0 s			Last correction at : 93 vol. % Last correction - value : -2 % Max. Time after FBP : 0 min	
Corrections of temperatures : barometric corr. acc. D-86 Barometric Pressure : 1006.0 hPa Distillation Residue : 0.0 ml Recovery : 0.0 vol % (observed :0.0 vol %) Distillation Loss : 0.0 ml (observed :0.0 ml ) Stop Point : - ml / -- °C				
Boiling Range : -2147483817.2 °C				
Volume	Dist. rate	Dist. temp.	Barom. corr.	Evap. corr.
IBP	473.0 s	168.9 °C	169.2 °C	-
5 %	68.0 s	197.4 °C	197.7 °C	-
10 %	4.4 ml/min	210.4 °C	210.7 °C	-
15 %	4.5 ml/min	223.2 °C	223.5 °C	-
20 %	4.5 ml/min	233.7 °C	234.0 °C	-
30 %	4.6 ml/min	252.8 °C	253.1 °C	-
40 %	4.6 ml/min	269.7 °C	270.0 °C	-
50 %	4.6 ml/min	283.4 °C	283.8 °C	-
60 %	4.7 ml/min	297.6 °C	298.0 °C	-
70 %	5.0 ml/min	313.1 °C	313.5 °C	-
80 %	4.3 ml/min	331.4 °C	331.8 °C	-
85 %	4.3 ml/min	342.2 °C	342.6 °C	-
90 %	4.5 ml/min	354.4 °C	354.8 °C	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## i-Fischer Dist D-1160 CC

-----  
CRUDE OIL DISTILLATION ACC. TO ASTM D 1160

PRODUCT : B-100  
 SAMPLE-ID. : OP\_BIO\_1218938  
 OPERATOR : Ptt

DATE : 8/10/2012  
 TIME : 9:29:16 AM

CHARGE : 200 ml  
 AT RECEIVER TEMP. : 60 °C  
 RELATIVE DENSITY : 874.6 Kg/m<sup>3</sup>  
 AT TEMP. : 15.0 °C  
 WEIGHT : 168.64 g

DISTILLATION RATE : 7 ml/min

Vol. [%]	AET [°C]	ACT [°C]	Dist.-Rate [ml/min]	Vol. [ml]	Flask-Temp. [°C]	Vacuum [mmHg]
0.0	280.1	127.9	0.0	0	179.6	5.02
5.0	335.4	172.9	4.2	10	179.8	5.02
10.0	336.2	173.7	6.4	20	180.2	5.05
15.0	337.9	174.6	6.9	30	181.1	4.93
20.0	337.5	174.8	6.8	40	181.1	5.05
25.0	338.5	175.3	7.5	50	181.4	4.97
30.0	339.7	176.2	6.4	60	181.4	4.97
35.0	340.4	176.7	6.9	70	182.5	4.94
40.0	340.6	177.2	6.6	80	182.2	5.01
45.0	340.9	177.5	7.5	90	182.6	5.04
50.0	341.4	178.0	7.0	100	182.8	5.06
55.0	342.7	178.8	6.5	110	183.4	4.98
60.0	343.5	179.5	6.8	120	183.9	4.99
65.0	344.2	180.2	7.7	130	184.7	5.02
70.0	345.4	181.2	6.6	140	185.3	5.01
75.0	346.7	182.3	6.8	150	185.9	5.02
80.0	348.3	183.4	6.9	160	186.9	4.99
85.0	349.7	184.6	6.9	170	187.9	4.99
90.0	351.2	185.9	7.1	180	189.6	5.00
95.0	351.2	185.9	7.0	180	189.6	5.00

IBP = 280.1 °C AET  
 EBP = 351.2 °C AET

DIST. END BY DISTILLED VOLUME

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารเลขที่ 3 ชั้น 3 จุฬาลงกรณ์ 62 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330 โทร. (662) 218-8032 218-8101 โทรสาร (662) 218-8032, 254-0211  
 SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH EQUIPMENT CENTRE CHULALONGKORN UNIVERSITY  
 CHULALONGKORN SOI 62 PHAYA-THAI ROAD PHATHUMWAN BANGKOK 10330 THAILAND TEL. (662) 218-8032, 218-8101 FAX: (662) 218-8032, 254-0211

รายงานเลขที่ 880/2555

หน้า 1/2

### รายงานผลการวิเคราะห์

ตัวอย่าง เขม่าจากเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลที่ภาระโหลด 0%, 50% และ 80%

ใบส่งตัวอย่าง รหัส S553362

เจ้าของตัวอย่าง นายทรงธรรม เหล่าสุวรรณ  
 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วัตถุประสงค์ วิเคราะห์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน

เครื่องมือวิเคราะห์ CHNS/O ANALYZER ( PE2400 Series II)

วิธีวิเคราะห์ Gaseous products freed by pyrolysis in high-purity oxygen and were chromatographically separated by frontal analysis with quantitatively detected by thermal conductivity detector.

วันที่วิเคราะห์ 17 ตุลาคม 2555

ผลวิเคราะห์

ตัวอย่างที่	ชื่อตัวอย่าง		%C	%H	%N
1	Carbon Black N330	(1)	93.80	0.34	0.15
		(2)	94.20	0.55	0.17
		(3)	93.71	0.57	0.21
		เฉลี่ย	93.90	0.49	0.18
2	Diesel Lamp	(1)	92.40	0.98	0.10
		(2)	92.65	0.85	0.05
		(3)	92.22	1.01	0.20
		เฉลี่ย	92.42	0.95	0.12
3	Diesel Noload	(1)	70.02	2.10	0.39
		(2)	69.85	1.80	0.51
		(3)	69.70	2.23	0.64
		เฉลี่ย	69.86	2.04	0.51

อป/พล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

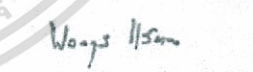
ตัวอย่างที่	ชื่อตัวอย่าง		%C	%H	%N
4	Diesel 50% load	(1)	78.77	1.71	0.13
		(2)	78.96	1.30	0.39
		(3)	78.63	1.61	0.56
		เฉลี่ย	78.79	1.54	0.36
5	Diesel 2400_80%	(1)	80.99	0.90	0.49
		(2)	81.07	1.39	0.25
		(3)	80.94	1.01	0.65
		เฉลี่ย	81.00	1.10	0.46
6	Biodiesel Lamp	(1)	89.79	1.05	0.46
		(2)	89.90	0.93	0.67
		(3)	89.58	1.28	0.64
		เฉลี่ย	89.76	1.09	0.59
7	Biodiesel Noload	(1)	67.27	2.24	0.46
		(2)	67.34	2.47	0.28
		(3)	67.00	2.46	0.70
		เฉลี่ย	67.20	2.39	0.48
8	Biodiesel 50% load	(1)	70.03	2.36	0.41
		(2)	70.41	2.11	0.48
		(3)	69.90	2.18	0.58
		เฉลี่ย	70.11	2.22	0.42
9	Biodiesel 2400_80%	(1)	74.14	1.02	0.33
		(2)	73.98	1.09	0.28
		(3)	73.84	0.94	0.33
		เฉลี่ย	73.99	1.02	0.31

  
(นางสาวอัมพร อิงปรัดต์แก้ว)

ผู้วิเคราะห์

  
(นางสุนันท์ รุ่งนิภาบุญนึ่ง)

หัวหน้าฝ่ายวิเคราะห์

  
(รศ.ดร. พงกฤษณ์ แสงวงษ์)

รักษาการแทน

ผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือฯ

หมายเหตุ ผลการทดสอบที่ได้รับนี้เป็นผลการทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ทำการทดสอบจากศูนย์เครื่องมือวิจัย  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเท่านั้น

อป/พส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### Analytical Data of Sample

Date : 26/5/2011  
 Consignee : สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 Grade : N-330

Test	Unit	Method	Typical Values	Results
Iodine Adsorption Number	mg/g	ASTM D1510	82	81
DBP Adsorption Number	ml/100g	D2414	102	100
Sieve Residue:				
: Screen Size 500 $\mu$ m (No. 35)	%	D1514	0.001 max	0.0000
: Screen Size 45 $\mu$ m (No. 325)	%	D1514	0.1 max	0.0082
Heating Loss	%	D1509	2.5 max	1.84

Dr. Niyakom Y.  
 Head of Laboratory

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### Analytical Data of Sample

Date : 27/5/2011  
 Consignee : สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 Grade : N-550

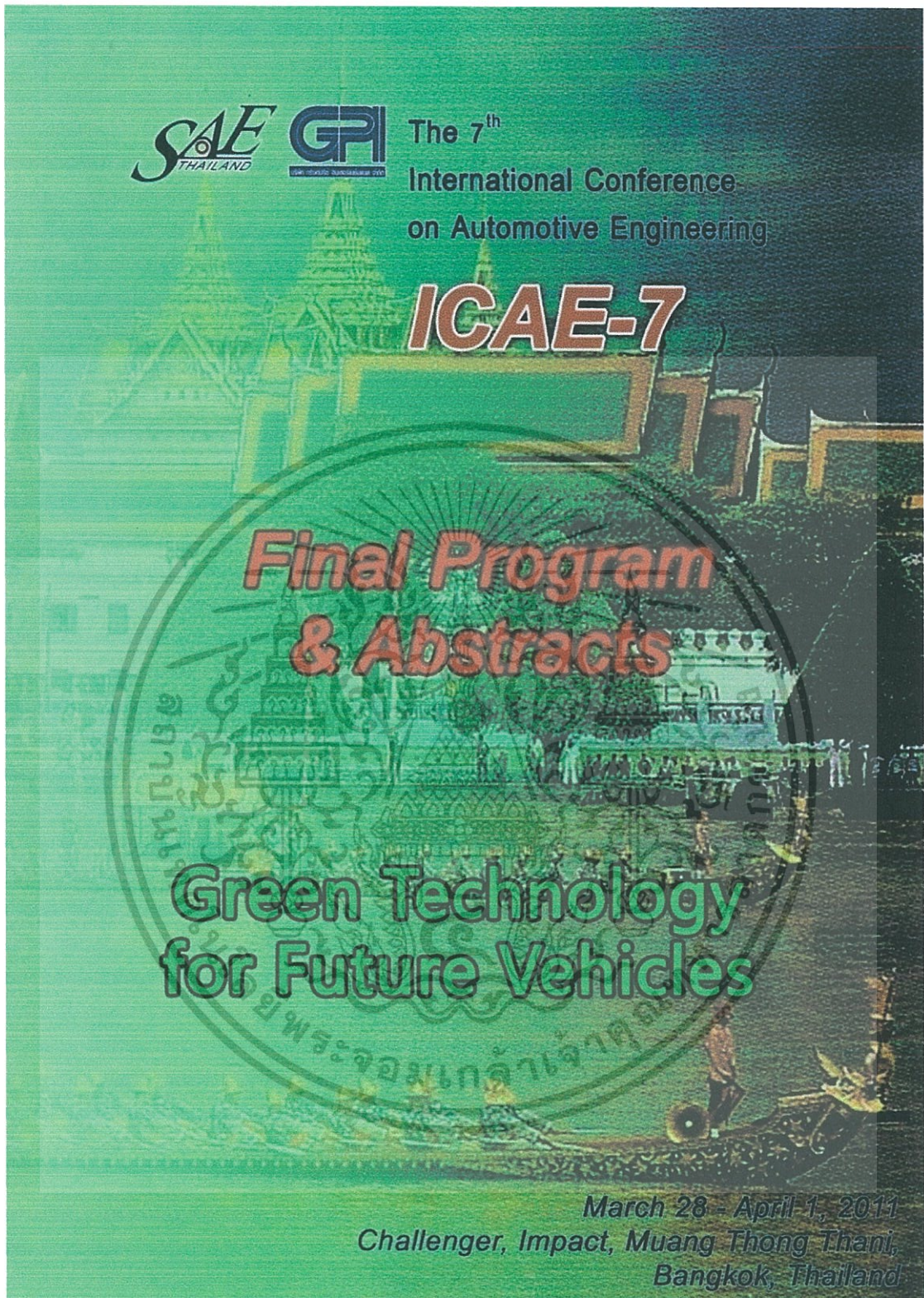
Test	Unit	Method	Typical Values	Results
Iodine Adsorption Number	mg/g	ASTM D1510	43	42
DBP Absorption Number	ml/100g	D2414	121	123
Sieve Residue:				
: Screen Size 500 $\mu$ m (No.35)	%	D1514	0.001 max	0.0000
: Screen Size 45 $\mu$ m (No.325)	%	D1514	0.1 max	0.0012
Heating Loss	%	D1509	1.5 max	0.16

for Miyakom Y.  
 Head of Laboratory

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ข.**  
**ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่**

- ภาคผนวก ข.1 :** The 7<sup>th</sup> International Conference of Automotive Engineer (ICAE-7), TSAE, 28-29 March, Bangkok, Thailand, 2011.
- ภาคผนวก ข.2 :** The 2<sup>nd</sup> TSME International Conference on Mechanical Engineering (2<sup>nd</sup> TSME-ICoME), 19-21 October, Krabi, Thailand, 2011.
- ภาคผนวก ข.3 :** การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8 (E-nett-8), AP-34, จังหวัดมหาสารคาม, วันที่ 2-4 พฤษภาคม พ.ศ. 2555
- ภาคผนวก ข.4 :** The 2012 JSAE Annual Congress (Spring), JSAE, 23-25 May, Yokohama, Japan, 2012.
- ภาคผนวก ข.5 :** The 2<sup>nd</sup> International Conference on Automotive Technology, Engine and Alternative Fuels (ICAEF 2012), Dec4-5, Ho Chi Minh City, Vietnam, 2012.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Study on Diesel and Biodiesel Particulate Matter Trapping inside a Diesel Particulate Filter

Songtam Laosuwan<sup>1</sup>, Preechar Karin<sup>2</sup>, Chinda Charoenphonphanich<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

<sup>2</sup> International College, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

### ABSTRACT

The present paper consists of two main parts. The first part is study about the physical properties of diesel and biodiesel particulate matters (PMs), such as nano-structure, micro-structure and size distribution, by using scanning electron microscope (SEM).

The second part is study about particulate trapping behavior using a single wall of a full flow cordierite diesel particulate filter (DPF). The concentration of diesel particulate matter, superficial velocity and temperature of fluid were controlled during pressure drop impact and filtration efficiency measurements. In addition, particulate matter emitted from biodiesel was evaluated in the same conditions as diesel particulate matter for comparing and better understanding.

The pressure drop during trapping process shows two main regions. The first region is the depth filtration, particulate trapped inside the wall of filter. The second region is the soot cake layer. Similarly, the filtration efficiency was also shows the results that strongly related to the depth filtration and soot cake layer regions. Moreover, the low quantity of particulate matter emitted from the combustion of biodiesel shows an important advantage.

The results show the useful information for future designing of the DPF configuration for diesel and biodiesel vehicles which should be improved to match with the higher level of Thailand emission regulation (Thai industrial standard or TIS) than the present regulation, in the near future.

### INTRODUCTION

Among internal combustion engines, diesel engines have the highest thermal efficiency for a given output power. Therefore, the global warming and energy consumption problems should be improved by increasing amount of diesel passenger cars. However, particulate matter (PM) and oxides of nitrogen (NO<sub>x</sub>) must be removed from the exhaust gas emitted from diesel engines to protect the environment and human health.

Diesel particulate matter consist of a solid fraction (SOL) and a soluble organic fraction (SOF). Primary particles composed of solid carbon and metallic ash, are coated with SOF and sulfate. The mean diameter of primary and agglomerated particles is usually in the range of 20-60 nm and 60-200 nm, respectively. The composition of particles from a diesel engine is widely depending on the operating conditions and fuel composition [1-5].

Although particulates trapping and oxidation processes involve complex behaviors, very few information is available to aid in understanding such phenomena. Therefore, macro-scale and microscopic visualization of diesel particulates trapping behavior and active regeneration inside the conventional and developing DPFs have been investigated successfully to aid in better understanding and future designing of an ideal DPF configuration, as shown [6-8].

The objective of the present research is study about physical properties and trapping behaviors of diesel and biodiesel particulates. The results would be useful for study in possibility of particulate reduction for both retrofit vehicle and new vehicles in Thailand,

The 7<sup>th</sup> International Conference on Automotive Engineering (ICAE-7)

March 28 – April 1, 2011, Challenger, Impact, Muang Thong Thani, Bangkok, Thailand

especially Bangkok and big cities in South East Asia regions, to reduce the air pollution problem and match with high level of emission regulation, which will be published in a few years.

## EXPERIMENTAL SETUP

Figure 1 shows a schematic diagram of the experimental set up for diesel and biodiesel particulate matter trapping inside a diesel particulate filter. The wall flow DPF, made of ceramic material (cordierite), was cut into cross section of  $4.7 \times 4.7 \text{ mm}^2$  and thickness of 3 mm. A disc of DPF wall was installed in to the exhaust pipe, which was controlled the constant temperature of approximately  $100^\circ\text{C}$  by electric heater to avoid the impact of water condensation on inside the exhaust system. The particulate matters emitted from the diesel diffusion flame were introduced into the exhaust pipe by using a vacuum pump, which installed at the outlet of the system. The constant rate of the energy consumption was controlled by the fuel consumption rate.

During trapping process, pressure drop between inlet and outlet of DPF sample was measured by using a manometer to study in the impact on fluid flow inside the exhaust pipe and to estimate the quantities of diesel and biodiesel particulates. In the same time, the particulate matters which passing through the DPF was collected by paper filter to compare the filtration efficiency. Particulates collected on the paper filters of each time step were compared with a clean paper filter by using a smoke meter.

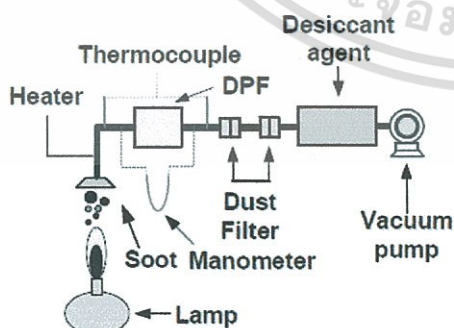


Figure 1 Experimental setup for diesel and biodiesel particulate matters trapping inside the diesel particulate filters.

Table 1 Properties of fuel

(From Department of Energy Business)

Properties / Fuels	Diesel	Biodiesel
Density (lbs/gal)	7.05	7.3
Heat of combustion (BTU/gal)	140,000	130,000
Cetane Number	48	55
Viscosity centistokes	3.0	5.7
Flash point C	64	70
Chemical formula	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}$	$\text{RCOOCH}_3$
Carbon fraction	82	78
Heating value (kJ/kg)	46,800	39,550



Figure 2 Images of black smoke emitted from diffusion flames of (a) diesel fuel combustion and (b) biodiesel fuel combustion.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The 7<sup>th</sup> International Conference on Automotive Engineering (ICAE-7)

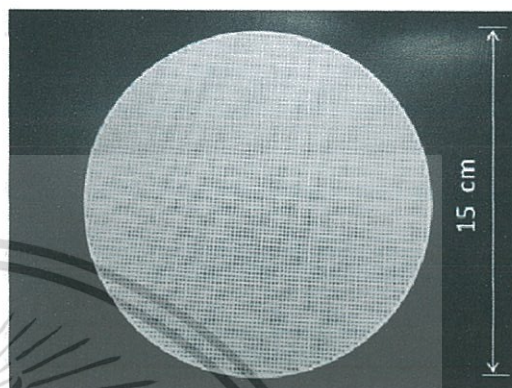
March 28 – April 1, 2011, Challenger, Impact, Muang Thong Thani, Bangkok, Thailand

Table 1 shows the properties of diesel and biodiesel fuels. The carbon fraction of diesel (82) is higher than that of biodiesel (78). It might be that high carbon fraction plays an important role in high soot emitted quantity of diesel fuel diffusion flame. Figure 2 shows the much amount of black regions at the upper of diesel diffusion flame, whereas only few of such color could be observed for biodiesel diffusion flame.

Table 2 shows the properties of a conventional diesel particulate filter without catalyst. The porosity of DPF wall is approximately 52 %, cell density of 300 cps and wall thickness of 1.2 mm. Figure 3 (a) shows an optical image of inlet channel of a whole size DPF. Figure 3 (b) shows a microscopic image of DPF wall surface's microstructure. The micro structural pores of the wall were about 20 to 50 microns, as shown at the center of Fig.3 (b). At the beginning of trapping process, the particulates will be collected inside such micro structural pores. After the surface pore filled up, soot cake will be growth with time.

Table 2 Specification of DPF

Catalyst	Non
Wall thickness	1.2 mm
Porosity (%)	52
Material	Cordierite
Cell density (cps)	300



(a) Diesel particulate filter



(b) DPF by Microscope scale 30x

Figure 3 Images of diesel particulate filter (DPF), (a) optical image of a whole size DPF inlet side and (b) microscopic image of DPF wall's porous structure.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

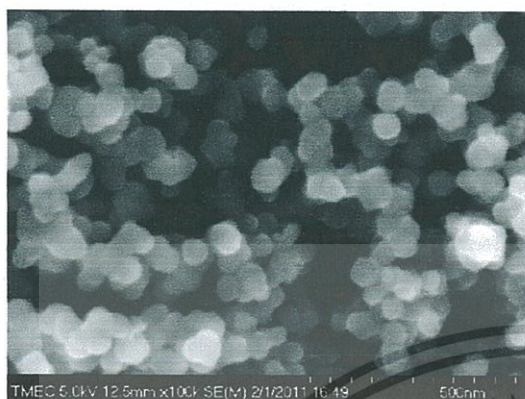
Figure 4 shows SEM images of (a) diesel particulate matters and (b) biodiesel particulate matters collected from the exhaust gases of diffusion flame combustion. It was clearly observed the homogeneous size of primary particles. In the present study, the size of biodiesel primary particle was smaller than that of diesel. The size of primary particle might be strongly depended on related energies such as, electrostatics, drag and Brownian forces. The physical properties should be study in more details in the next step.

Figure 5 shows SEM images of (a) diesel particulates and (b) biodiesel particulates that captured by paper filter after passing the exhaust pipe without DPF, in a few seconds, to study about the agglomerated size of particulates. The agglomerated of particulates of diesel and biodiesel were approximately 100-500nm. The size of agglomerated particle might be also strongly depended on related energies, electronics, electrostatics and all of mechanical forces.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The 7<sup>th</sup> International Conference on Automotive Engineering (ICAE-7)

March 28 – April 1, 2011, Challenger, Impact, Muang Thong Thani, Bangkok, Thailand



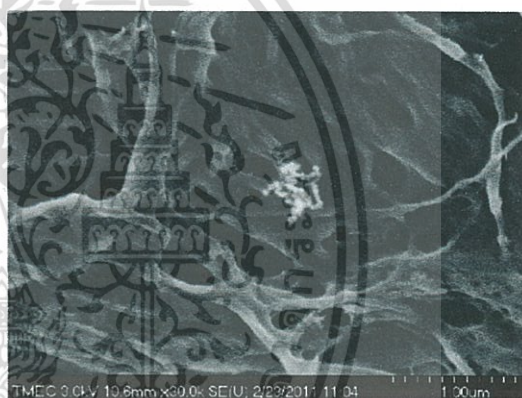
(a) diesel particulate matter



(a) diesel particulate matter



(b) biodiesel particulate matter



(b) biodiesel particulate matter

Figure 4 SEM images of (a) diesel particulate matter and (b) biodiesel particulate matter for primary particle study.

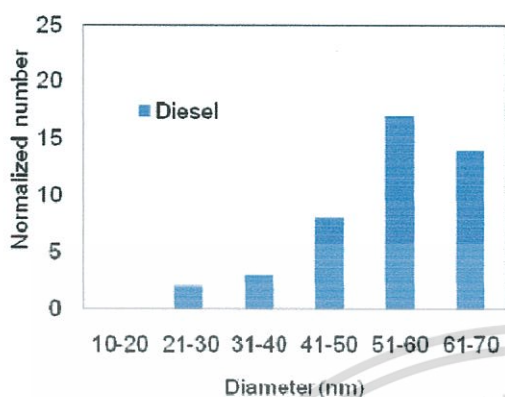
Figure 5 SEM images of (a) diesel particulate matter and (b) biodiesel particulate matter for agglomeration study.

Figure 6 shows size distribution of primary particles of (a) diesel particulate matters and (b) biodiesel particulate matters by using SEM images as shown in Fig. 4. The average primary particles size were approximately 50-60 nm and 30-40 nm for diesel and biodiesel particulates, respectively. The size of primary particle might be strongly depended on related energies and chemical properties, oxygen and carbon contents. The physical and chemical properties should be study in more detail for better understanding in the combustion behavior and formation of particulate matters of each hydrocarbon fuel.

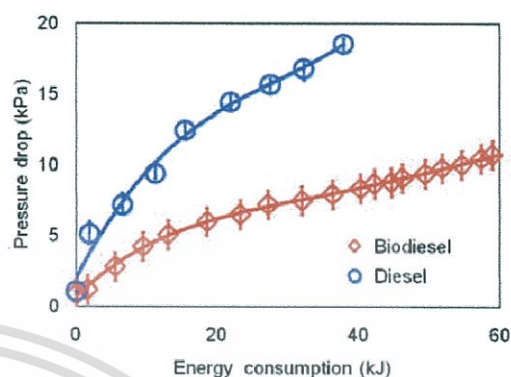
Figure 7 (a) shows the comparison of pressure drop during the trapping process at the same energy consumption rate. As indicate in this graph, diesel particulates have a higher pressure drop than biodiesel particulates at a given energy input. Pressure drop of DPF wall during diesel particulate matters trapping was approximately 6 times higher than that of biodiesel particulate matter. Therefore, the apparent amount of diesel particulate matter could be also assumed to be 6 times higher than that of biodiesel. However, the actual concentrations should be measure by using high technology device in the next step.

The 7<sup>th</sup> International Conference on Automotive Engineering (ICAE-7)

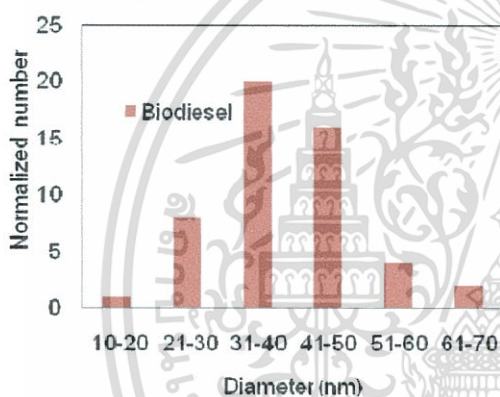
March 28 – April 1, 2011, Challenger, Impact, Muang Thong Thani, Bangkok, Thailand



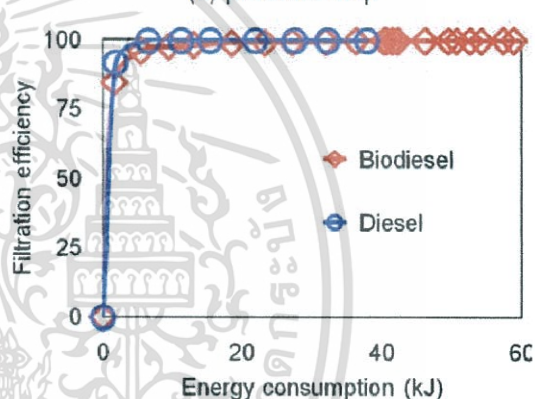
(a) diesel particulate matter



(a) pressure drop



(b) biodiesel diesel particulate matter



(b) filtration efficiency

Figure 6 Size distributions of (a) diesel and (b) biodiesel primary particles from SEM images as shown in Fig.4.

Figure 7 Comparison of (a) pressure drops and (b) filtration efficiencies with the energy consumptions, during trapping process.

Figure 7 (b) shows the filtration efficiency comparison between diesel and biodiesel particulate matters trapping. As indicate in this graph, filtration efficiency of diesel particulate matter increased faster than that of biodiesel particulate matter. It might be expected that a large size of primary particle and very high concentration of particulate emitted from the diesel diffusion flame were affected on trapping behavior. That affect should be research in more detail to clarify such behavior for better understanding.

## CONCLUSION

Particulate matter size distributions of diesel and biodiesel soot emitted from diffusion flame were investigated.

- (1) The average primary particle sizes of diesel particulate matter (50-60nm) was larger than that of biodiesel particulate matter (30-40 nm). The biodiesel has more amount of oxygen content than diesel that can oxidize with particulate matter in combustion.

## The 7<sup>th</sup> International Conference on Automotive Engineering (ICAE-7)

March 28 – April 1, 2011, Challenger, Impact, Muang Thong Thani, Bangkok, Thailand

- (2) It is a possible reason and an advantage of biodiesel fuel that should be study in the next step.
- (3) The quantity of biodiesel particulate matter was less than that of diesel at the same energy consumption or same load. It might be expected that the carbon fraction in biodiesel is less than that in diesel, resulting in the biodiesel particulate matter emitted is lower.

In trapping process, pressure drop and filtration efficiency were also successfully investigated.

- (4) The quantity of diesel particulate matter emitted was more than biodiesel. Moreover, the diesel primary particle size was larger than biodiesel too. Therefore, pressure drop of diesel particulate matter during trapping is higher than that of biodiesel fuel.
- (5) At the beginning of trapping process, the filtration efficiency of diesel particulate matter was increase faster than that of biodiesel. It might be expected that micro channel inside surface pores of the DPF wall were blocked rapidly by high concentration and large size of diesel particulate matter, resulting in high filtration efficiency. On the other hand, the same behavior of biodiesel particulate trapping occurred not too fast. However, after the micro channel inside the DPF surface pores were closed the filtration efficiency of both fuel were very high.

Consequently, the conventional DPF may be possible to use for biodiesel vehicle because of low particulate matter quantity. Moreover, trapping duration time and energy consumption of regeneration process can be also reduced by using bio-fuel. However, DPF regeneration behavior should be investigate in detail for better understanding and future designing of the DPF configurations.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors gratefully acknowledge supports from Prof.Dr.Hanamura Katsunori and Nakamura Keisuke (Tokyo Tech.). The authors are grateful to Asst.Prof.Dr.Panya Kansuwan (KMITL) for SEM operation support and Wannu Wunphean (Thailand Automotive Institute) for microscopic visualization support.

## REFERENCES

- [1] Heywood, J. B. (1998). *Internal Combustion Engine Fundamental*, McGraw-Hill series in mechanical engineering, Singapore.
- [2] Smith, O. I. (1981). *Fundamentals of soot formation in flames with application to diesel engine particulate emissions*, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 7, pp.275-291.
- [3] Maricq, M. M. (2007). Review Chemical Characterization of particulate emissions from diesel engine: A review, Journal of Aerosol Science, Vol.38, pp.1079-1118.
- [4] Kittelson, D. B. (1998). Engines and nanoparticles: A review, Journal of Aerosol Science, Vol.29, pp.575-588.
- [5] Majewski, W. A. and Khair, M. K. (2006). *Diesel Emissions and Their Control*, SAE Order No.R-303, SAE International, Warrendale USA.
- [6] Hanamura, K. Karin, P. Cui, L. Rubio, P. Tsuruta, T. Tanaka, T. and Suzuki, T. (2009). Micro- and macroscopic visualization of particulate matter trapping and regeneration processes in wall-flow diesel particulate filters, International Journal of Engine research, Professional Engineering Publishing, Vol.10, No.5/2009, pp.305-321.
- [7] Karin, P. Cui, L. Rubio, P. Tsuruta, T and Hanamura, K. (2009). Microscopic Visualization of PM Trapping and Regeneration in Micro-Structural Pores of a DPF Wall, SAE International Journal of Fuels and Lubricants, SAE International, Vol.2, No.1, pp.661-669.
- [8] Karin, P. and Hanamura, K. (2010). Particulate Matter Trapping and Oxidation on Catalyst- Membrane, SAE International Journal of Fuels and Lubricants, SAE International, Vol.3, No.1, pp.368-379.

# BOOK OF ABSTRACTS



## The 2<sup>nd</sup> TSME International Conference on Mechanical Engineering (TSME-ICoME 2011)

Sheraton Krabi Beach Resort, Krabi, Thailand

October 19-21, 2011

Organizer :



**The Thai Society of Mechanical Engineers**

Co-sponsored by :



Institution of  
**MECHANICAL  
ENGINEERS**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## **AEC: Alternative Energy and Combustion**

### **Thermo-gravimetric Analysis of Biodiesel Diffusion Flame's Particulate Matter**

Songtam Laosuwan<sup>1</sup>, Preechar Karin<sup>2</sup> and Chinda Charoenphonphanich<sup>1</sup>  
Katsunori Hanamura<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520

<sup>2</sup> International College, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
Bangkok, Thailand 10520

<sup>3</sup> Department of Mechanical and Control Engineering, Tokyo Institute of Technology, Japan

\* Corresponding Author: Tel: 02 326 4729, Fax: 02 737 2580,

E-mail: [songtam@hotmail.com](mailto:songtam@hotmail.com)

#### **Abstract**

The problem of particulate emissions from diesel engine can be reduced in many ways, for example: engine design, development of fuel additives and using the diesel particulate filter (DPF). This research has two parts. First is studied about the physical properties of diesel (B0) and bio-diesel (B100) particulate matter (PM), such as nanostructure, microstructure and size distribution by using a scanning electron microscope (SEM) and transmission electron microscope (TEM). The primary and agglomerated size distribution of each particulate matter can be estimated by using the image of TEM and SEM. The primary sizes of diesel and biodiesel particulate matter are approximately 50-60 nm and 40-50 nm, respectively. Oxygen content inside bio-fuel may be affected to biodiesel particulate combustion. Second, chemical kinetics of particulate matter oxidation are studied by using Thermo-gravimetric analysis (TGA). The apparent activation energies of diesel and biodiesel PM oxidation in the first stage (hydrocarbon) are approximately 133 and 96 kJ/mol. In the second stage (carbon), apparent activation energies of diesel and biodiesel PM are approximately 176 and 158 kJ/mol, respectively. Because of oxygen content inside unburned fuel and nanostructure may be affected to biodiesel particulate combustion, resulting in low apparent activation energy.

**Key words:** Emissions, Particulate matter, Apparent Activation Energy, Thermo-gravimetric analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 1. Introduction

Nowadays, energy consumption and global warming problems are mainly issue of our community. In order to overcome such problems, high efficiency engines should be widely used. Among internal combustion engines, diesel engines have the highest thermal efficiency. However, particulate matters (PMs) must be removed from exhaust gases that are emitted by diesel engines to protect the environment and human health (lung cancer).

Diesel particulate matter consists of a solid fraction (SOL) and a soluble organic fraction (SOF). Primary particles composed of solid carbon and metallic ash, are coated with SOF and sulfate. The mean diameter of primary and agglomerated particles is usually in the range of 20-60 nm and 60-200 nm, respectively. The composition of particles from a diesel engine is widely depending on the operating conditions and fuel composition [1-5].

The advantages of biodiesel are renewable energy and oxygenate fuel. Photosynthesis of plants can be considered biodiesel is carbon neutral. As a result, biodiesel can reduce emitted CO<sub>2</sub> because it is derived from vegetable oil. The oxygen contained within molecule of fuel can promote complete combustion.

This research studies about oxidation of diesel and biodiesel particulates. The oxidation temperature, chemical reaction rate and

activation energy are successfully explained in this paper.

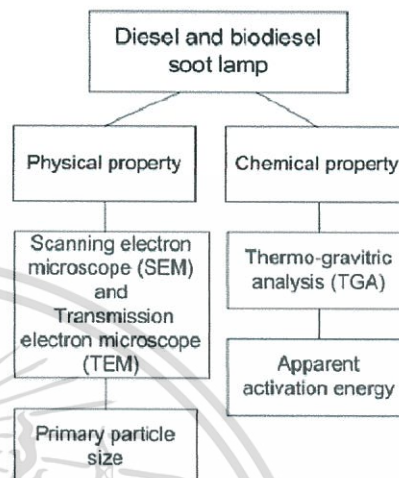


Fig. 1 Experimental procedure

Table 1 Properties of diesel and biodiesel fuel  
(From Department of Energy Business)

Properties / Fuels	Diesel	Biodiesel
Density (kg/m <sup>3</sup> )	844.78	847.73
Heat of combustion (MJ/m <sup>3</sup> )	140,000	130,000
Cetane Number	48	55
Viscosity (centistokes)	3.0	5.7
Flash point °C	64	70
Chemical formula	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub>	RCOOCH <sub>3</sub>
Carbon fraction	82	78
Heating value (kJ/kg)	46,800	39,550



## 2. Experimental setup

### 2.1 Experimental procedure

Figure 1 shows a schematic diagram of the experimental procedure for investigation of chemical and physical properties of diesel and biodiesel diffusion flame particulate matters. Particulates were generated by diesel and biodiesel lamps. This research separated in two parts. The first is studying about diesel and biodiesel primary particle size by the TEM and SEM images. Second, chemical kinetics of particulate matter oxidation are studied by using Thermo-gravimetric analysis (TGA).

Table 1 shows the properties of diesel and biodiesel fuels. The carbon fraction of diesel (82) is higher than that of biodiesel (78). It might be that high carbon fraction plays an important role in high soot emitted quantity of diesel fuel diffusion flame.

### 2.2 Diesel and biodiesel diffusion flames

Figure 2 shows diesel diffusion flame and biodiesel diffusion flame by Schlieren method. It can explain core of diesel diffusion flame darker than that of biodiesel. It may be biodiesel is oxygenated fuel and some chemical properties of biodiesel fuel.

According to the previous study, the result shows biodiesel particulate matter is approximately 30 percent of diesel particulates [7]. Figure 3 shows diesel diffusion flame longer than that of biodiesel because it may be diesel has carbon content more than biodiesel and

biodiesel has oxygen content can promote complete combustion.

Figure 4 shows SEM and TEM images of (a) diesel particulate matters and (b) biodiesel particulate matters collected from diffusion flame combustion. The average primary particles sizes



Fig. 2 Biodiesel (left) and diesel (right) captured by Schlieren method

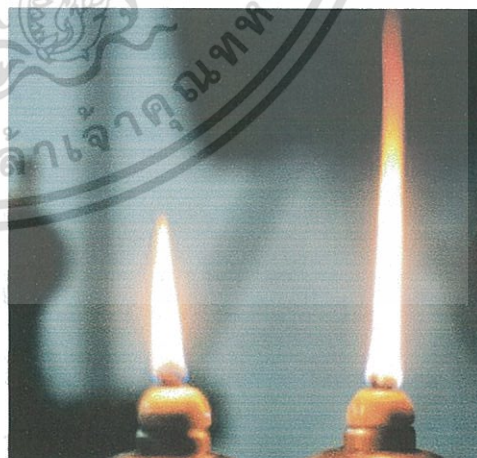
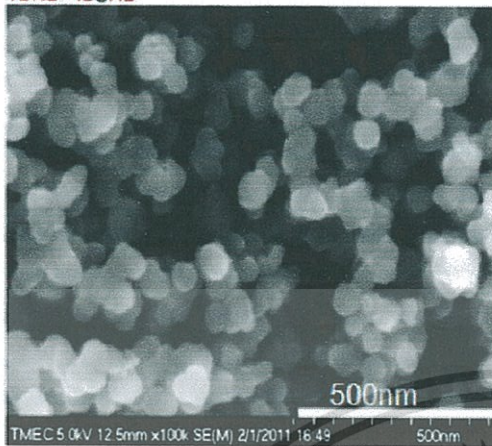
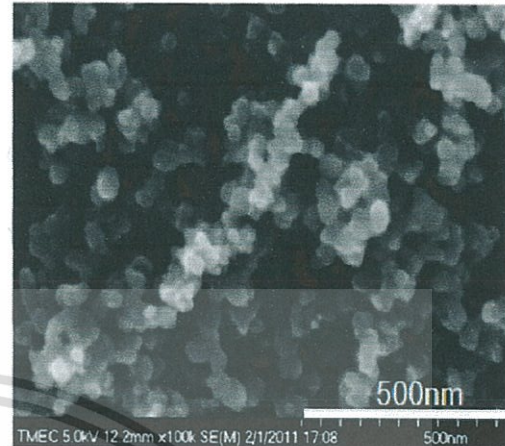


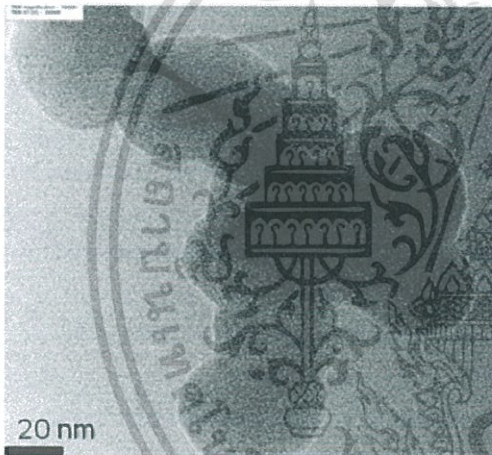
Fig. 3 Biodiesel (left) and diesel (right) diffusion flame by conventional digital camera.



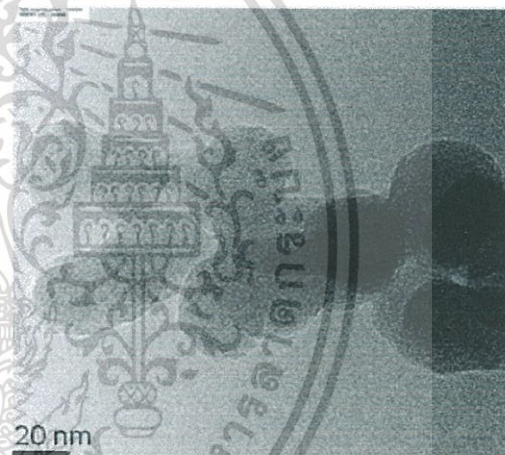
(a) SEM image of diesel PM [7]



(c) SEM image of biodiesel PM [7]



(b) TEM image of diesel PM



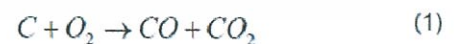
(d) TEM image of biodiesel PM

Fig. 4 TEM and SEM [7] images of (a and b) diesel particulate matter and (c and d) biodiesel particulate matter for primary particle study.

are approximately 50-60 nm and 40-50 nm for diesel and biodiesel particulates, respectively. It may be discussed that low concentrations of biodiesel particle have more opportunity to contact with oxygen, in the air and molecule of fuel itself in combustion flame.

### 2.3 Thermo-gravimetric analysis

Chemical kinetics of particulate matter oxidation is studied by using Thermo-gravimetric analysis (TGA).



The chemical reaction rate in eq.1 can calculate from the TGA curve based on the chemical kinetic in eq.2

$$-\frac{d[C]}{dt} = -k[C]^m [O_2]^n \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



where  $C$  is particulate matter mass,  $t$  is time,  $k$  is specific rate constant,  $m$ ,  $n$  are the reaction order. The dependence of the specific rate constant  $k$  is expressed by eq.3

$$k = Ae^{-E_a/RT} \quad (3)$$

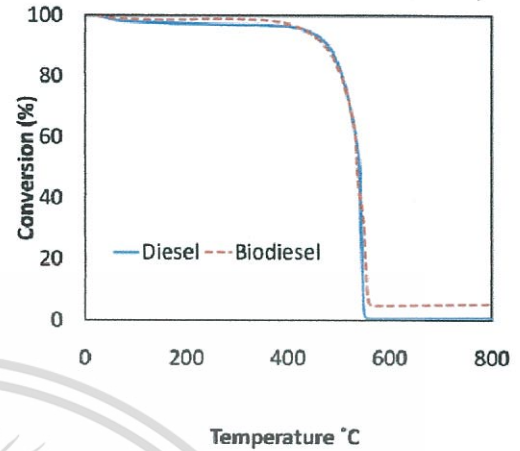
where  $A$  is the frequency factor,  $E_a$  is the activation energy,  $R$  is the gas constant. The apparent activation energy can be calculated by eq.4 [6].

$$\ln \left[ \frac{-1}{[C]^n} \frac{d[C]}{dt} \right] = -\frac{E}{RT} + (\ln A + m \ln [O_2]) \quad (4)$$

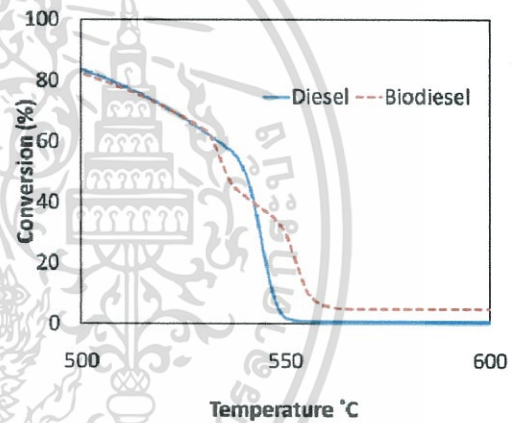
### 3. Results and discussions

Figure 5 shows TGA curve of (a) diesel and biodiesel particulate matter emitted from diffusion flame. Test condition starts from temperature of 25 °C to 800 °C with oxygen. For temperature 25 °C to 100 °C is considered that evaporation of moisture. After that 100 °C to 400 °C is assumed to be unburned fuel oxidation. Then 400 °C to 600 °C is assumed to be some hydrocarbons and carbon oxidation, as shown in Fig. (5b). Finally, above 600 °C biodiesel has ash more than that diesel. It means the unburned additive of biodiesel more than diesel. The oxidation rate of biodiesel is faster than that of diesel. It may be biodiesel has oxygen content.

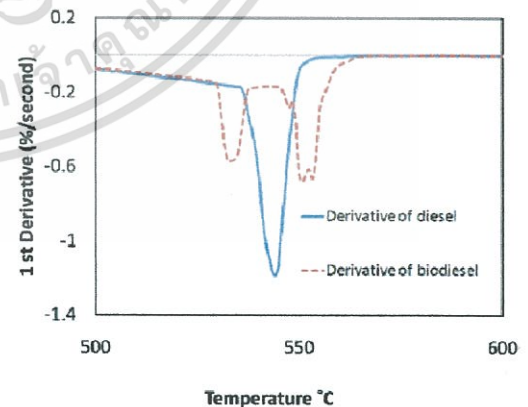
Figure (5c) shows derivative of particulate matter oxidation. Biodiesel has 2 peaks, the first



(a) Conversion of diesel and biodiesel PMs



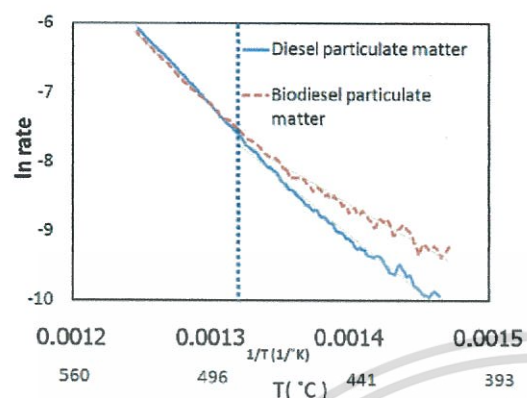
(b) Conversion of diesel and biodiesel PMs



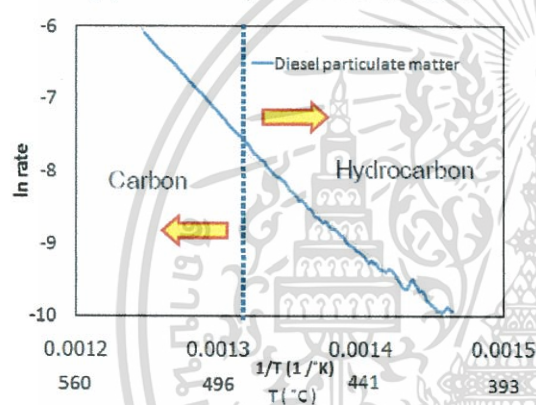
(c) Derivative of diesel and biodiesel PMs

Fig. 5 TGA curves of (a and b) and (c) derivative of diesel and biodiesel PMs oxidation.

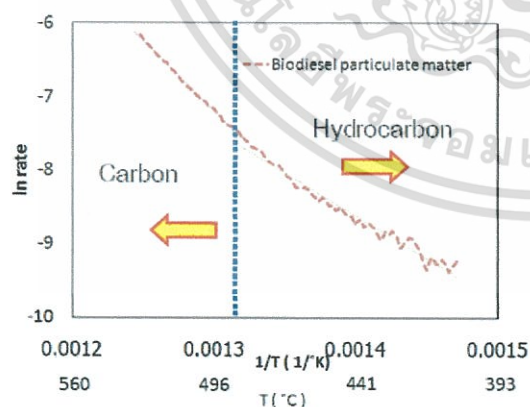
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Arrhenius plot of PMs oxidation



(b) Arrhenius plot of diesel PM oxidation



(c) Arrhenius plot of biodiesel PM oxidation

Fig. 6 Arrhenius plot of (a) diesel versus biodiesel PMs (b) diesel PM (c) biodiesel PM oxidation.

is may be hydrocarbon oxidation and second is may be carbon oxidation. Whereas diesel has only 1 peak and have peak of length longer than that of biodiesel. It may be diesel have carbon content more than that of biodiesel.

Figure 6 shows apparent activation energies of (a) diesel and biodiesel PM oxidation in temperature of 406 °C to 484 °C is assumed to be hydrocarbon oxidation that can calculate apparent activation energies of 158 and 96 kJ/mol for (b) diesel and (c) biodiesel, respectively. Temperature of 485 °C to 530 °C is assumed to be carbon oxidation. The apparent activation energies are 176 and 133 kJ/mol for diesel and biodiesel, respectively. Table 2 summarizes the apparent activation energy of each PM oxidation.

Table 2 Apparent activation energy calculated from oxidation rate of each PM.

PM Type	$E_a$ (kJ/mol)	
	406-484 °C	485-530 °C
Diesel	158	176
Biodiesel	96	133

#### 4. Conclusion

(1) Primary particle size of biodiesel particulate matter smaller than that of diesel particulate. It may be biodiesel has oxygen content within fuel molecule. It can be oxidized better than that of diesel particulate matter.

(2) Apparent activation energies of particulates oxidation are divided into two groups, unburned hydrocarbon and solid carbon.

(3) Apparent activation energy of diesel unburned hydrocarbon is higher than that of



biodiesel because unburned biodiesel hydrocarbon composes of oxygen atom within itself. On the other hand, apparent activation energy of diesel and biodiesel solid carbon are not significantly different because it is carbon.

(4) The results of this research can be used for base of designing and developing the particulate filtration system. The biodiesel may consume much filtration duration than that of diesel fuel. Therefore the engine back pressure from filter system may be decrease and also reduces the filter regeneration energy.

### 5. References

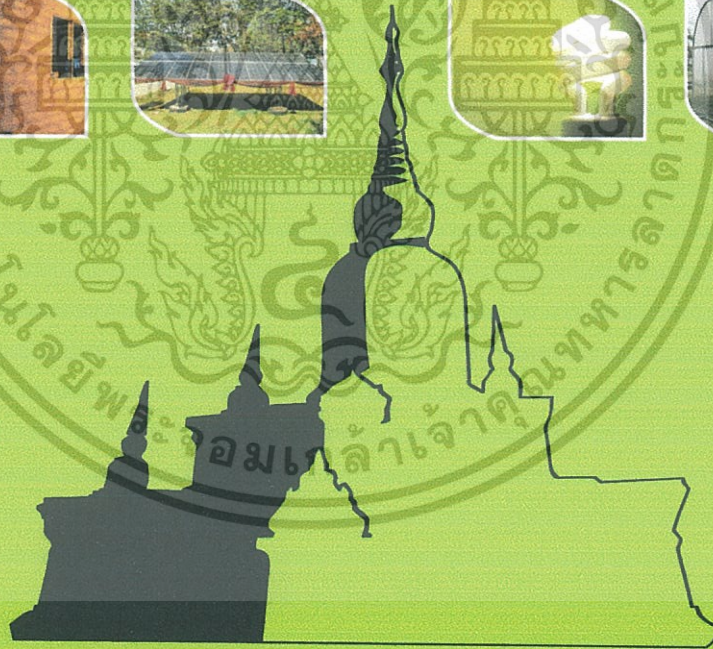
- [1] Heywood, J. B. (1998). Internal Combustion Engine Fundamental, McGraw-Hill series in mechanical engineering, Singapore.
- [2] Smith, O. I. (1981). Fundamentals of soot formation in flames with application to diesel engine particulate emissions, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 7, pp.275-291.
- [3] Maricq, M. M. (2007). Review Chemical Characterization of particulate emissions from diesel engine: A review, Journal of Aerosol Science, Vol.38, pp.1079-1118.
- [4] Kittelson, D. B. (1998). Engines and nanoparticles: A review, Journal of Aerosol Science, Vol.29, pp.575-588.
- [5] Majewski, W. A. and Khair, M. K. (2006). Diesel Emissions and Their Control, SAE Order No.R-303, SAE International. Warrendale USA.
- [6] P. Karin and K.Hanamura, "Particulate Matter Trapping and Oxidation on a Diesel Particulate Matter" The First TSME International Conference on Mechanical Engineering, TSME, ACE002, 20-22 October, Ubon Ratchathani, Thailand, 2010.
- [7] S.Laosuwan, P.Karin, C.Charoenpompanich "Study on Diesel and Biodiesel Particulate Matter Trapping inside a Diesel Particulate Filter", The 7<sup>th</sup> International Conference of Automotive Engineer (ICAE-7)

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8  
The 8<sup>th</sup> Conference on Energy Network of Thailand; E-NETT 8



คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พลังงานและนวัตกรรมสีเขียวเพื่ออนาคตอาเซียน  
Green Energy and Innovations for ASEAN's Future



วันที่ 2-4 พฤษภาคม 2555 โรงแรมตักสิลา จังหวัดมหาสารคาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## จลนพลศาสตร์เคมีของการออกซิไดส์มลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล Chemical Kinetics of Biodiesel Particulate Matter Oxidation

ทรงธรรม เหล่าสุวรรณ<sup>1\*</sup>, ปรีชา การินทร์<sup>2</sup> และ จินดา เจริญพรพาณิชย์<sup>1</sup>

<sup>1</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

\*ผู้ติดต่อ Email: song\_tam@hotmail.com, โทร 087-225-8156, โทรสาร 02-329-8352

<sup>2</sup> วิทยาลัยนานาชาติ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยของการลดมลพิษอนุภาค (Particulate Matter : PM) จากการเผาไหม้โดยใช้เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีออกซิเจนในตัวเอง ซึ่งงานวิจัยนี้ มุ่งศึกษาถึงจลนพลศาสตร์เคมีของการออกซิไดส์มลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซล เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานของการออกแบบอุปกรณ์กำจัดมลพิษอนุภาค การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของมลพิษอนุภาคได้ถูกศึกษาโดยใช้เครื่องมือซึ่งนำหนักเชิงความร้อน (Thermo-Gravimetric Analysis : TGA) จากการศึกษาพบว่ามลพิษอนุภาคน่าจะมีส่วนประกอบหลัก คือ น้ำ ไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ คาร์บอน และ ซี้เก่าจากส่วนผสมของเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังพบว่าพลังงานกระตุ้นในการออกซิไดส์มลพิษอนุภาคที่ต่างชนิดเชื้อเพลิงกันมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งน่าจะขึ้นอยู่กับส่วนผสมของเชื้อเพลิงและอุณหภูมิของการเผาไหม้ในเปลวไฟของเชื้อเพลิง อุณหภูมิของการออกซิไดส์มลพิษอนุภาคในผงเซรามิกส์ของอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคที่มีสารเร่งปฏิกิริยาพบว่าลดลง  $15^{\circ}\text{C}$  เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่มีสารเร่งปฏิกิริยา

**คำหลัก:** เปลวไฟแบบแพร่, ไบโอดีเซล, มลพิษอนุภาค, จลนพลศาสตร์เคมี

### Abstract

This paper describes a part of an ongoing research project in reduction of Particulate Matter (PM) by using bio-oxygenated fuels. The present research is focus on chemical kinetics of diesel and biodiesel particulate matter oxidation for better understanding and future design of Diesel Particulate Filter (DPF) configurations. Particulate matter oxidation behavior was investigated by using Thermo-gravimetric Analysis (TGA). The composition of particulate matter might be consisted of water, unburned hydrocarbon, carbon and ash from fuel consistent. In addition, the apparent activation energies of particulate matter oxidation are different depend on fuel type of particulate matter due to fuel component and flame temperature of flame each fuel. The oxidation temperature of particulate matter inside powder of conventional catalyzed-DPF is  $15^{\circ}\text{C}$  lower than that of Noncatalyzed-DPF.

**Keywords:** Diffusion Flame, Biodiesel, Particulate Matter, Chemical Kinetics

ENETT8-AP34

1/8



## 1. บทนำ

การเพิ่มปริมาณการใช้เครื่องยนต์ดีเซลก็เป็นทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงเหลว (Liquid Fuel) ที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ เพราะว่าเครื่องยนต์ดีเซลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์สันดาปภายในชนิดอื่นที่ใช้ในปัจจุบัน เมื่อเปรียบเทียบกับภาวะไหลเดียวกัน อย่างไรก็ตาม มลพิษอนุภาคจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ดีเซลต้องถูกกำจัดออกจากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อแก้ไขปัญหาภาวะแวดล้อมเป็นพิษ (Air Pollution) และปัญหาสุขภาพของมนุษย์ เช่น โรคมะเร็งในปอด เป็นต้น

มลพิษอนุภาคจากเครื่องยนต์ดีเซลประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนแรกเป็นของแข็ง (Solid organic fraction: SOL) มีส่วนประกอบหลักคือคาร์บอน (Carbon) และขี้เถ้าของโลหะ (Metallic Ash) และส่วนที่สองเป็นของเหลว (Soluble Organic Fraction: SOF) มีส่วนประกอบหลักคือไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ซึ่งคาร์บอนและขี้เถ้าของโลหะถูกปกคลุมด้วยไฮโดรคาร์บอนเหลว

กล้องจุลทรรศน์แบบสแกนนิ่ง (Scanning Electron Microscopy: SEM) และกล้องจุลทรรศน์แบบทรานสมิชชัน (Transmission Electron Microscopy: TEM) ใช้ศึกษาโครงสร้างในระดับนาโนสเกลของมลพิษอนุภาคแบบเดี่ยว จากการศึกษาพบว่า ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของอนุภาคแบบเดี่ยว (Primary Particle) มีค่าประมาณ 20-80 nm และอนุภาคแบบเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน (Agglomerate Particle) ประมาณ 80-300 nm [1-7]

อุปกรณ์กำจัดมลพิษอนุภาค (Diesel Particulate Filter) ทำหน้าที่ในการดักมลพิษอนุภาคและสลายมลพิษอนุภาค โดยทั่วไปอุปกรณ์กำจัดมลพิษอนุภาคทำจากวัสดุเซรามิกส์ เช่น คอร์ดิไรท์ (Cordierite) และซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ซึ่งประกอบด้วยช่องสี่เหลี่ยมหลายช่องเปิดและปิด

สลับกันในแต่ละด้าน ไอเสียถูกบังคับไหลผ่านช่องผนังมีรูพรุนระดับไมครอนสเกล ซึ่งใช้ดักมลพิษอนุภาค นอกจากนี้มลพิษที่ถูกสะสมต้องถูกออกซิไดส์เพื่อสลายมลพิษอนุภาคในอุปกรณ์กำจัดมลพิษอนุภาค และลดความดันที่เพิ่มสูงขึ้นในท่อไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล [8-10]

ปัจจุบันเชื้อเพลิงดีเซลคือเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและเชื้อเพลิงทดแทน เช่น ไบโอดีเซล เป็นทางเลือกหนึ่งที่ถูกใช้แทนเชื้อเพลิงดีเซล รัฐบาลไทยได้สนับสนุนคนไทยเลือกใช้ไบโอดีเซลเพราะประเทศไทยสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ในประเทศจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันสบู่ดำ เป็นต้น ข้อดีของไบโอดีเซลคือมีค่ากำมะถันน้อยและมีโมเลกุลของออกซิเจนซึ่งช่วยให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ ซึ่งเป็นผลให้ไบโอดีเซลปล่อยมลพิษอนุภาคน้อยกว่าและขนาดเล็กกว่ามลพิษอนุภาคของเชื้อเพลิงดีเซล

นอกจากนี้ไบโอดีเซลเป็นคาร์บอนนิวทรัล (Carbon Neutral) เนื่องจากไบโอดีเซลผลิตมาจากพืชซึ่งพืชใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง ดังนั้นไบโอดีเซลถือว่าสามารถลดการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อนได้ [11-18]

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของมลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซลเพื่อวิเคราะห์ถึงการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างมลพิษอนุภาคกับออกซิเจนโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ด้วยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (TGA) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำจัดมลพิษอนุภาคที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดมะเร็งในปอดและเป็นข้อมูลในการเลือกใช้อุปกรณ์กำจัดมลพิษอนุภาคสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลและไบโอดีเซลในประเทศไทยในอนาคตอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ



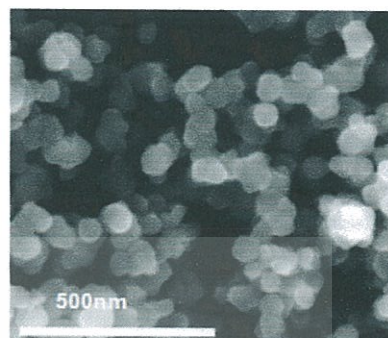
## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 เปลวไฟแบบแพร่ของดีเซลและไบโอดีเซล

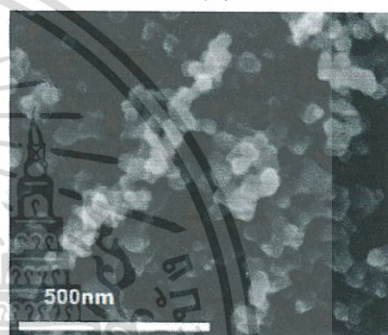
เชื้อเพลิงดีเซล (B0) ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 2155-2546) และ ไบโอดีเซล (B100) ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 2313-2549) ที่ผลิตมาจากน้ำมันปาล์มโอลีน ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในการวิจัยนี้ ผลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซลที่ถูกกำเนิดจากเปลวไฟแบบแพร่ของตะเกียงดีเซลและไบโอดีเซลถูกใช้เป็นมลพิษอนุภาคตัวอย่างในการวิเคราะห์

รูปที่ 1 ภาพถ่ายของเปลวไฟของแพร่ของมลพิษอนุภาคไบโอดีเซลและดีเซล ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพแบบซูริเรน จากรูปเกกกลางของไบโอดีเซลมีออกซิเจนในตัวเองช่วยให้ได้สมบรูณ์ขึ้นทำให้เปลวไฟของไบโอดีเซลสั้นกว่าและสีจางกว่าเปลวไฟดีเซลอย่างชัดเจน

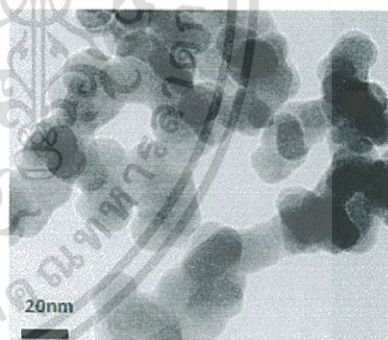
รูปที่ 2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (Scanning Electron Microscope: SEM) จากเปลวไฟแบบแพร่ของ (ก) มลพิษอนุภาคดีเซล และ (ข) มลพิษอนุภาคไบโอดีเซล และภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบทรานสมิชชัน (Transmission Electron Microscope: TEM) จากเปลวไฟแบบแพร่ของ (ค) มลพิษอนุภาคดีเซลและ (ง) มลพิษอนุภาคไบโอดีเซล ขนาดอนุภาคแบบเดี่ยวโดย



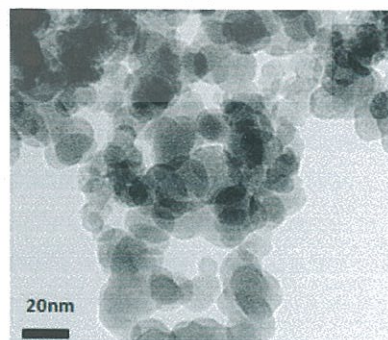
(ก)



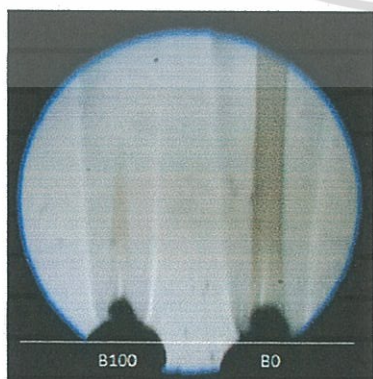
(ข)



(ค)



(ง)



รูปที่ 1 เปลวไฟแบบแพร่ของดีเซลและไบโอดีเซล  
ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพแบบซูริเรน [16-17]

รูปที่ 2 ภาพถ่ายมลพิษอนุภาค (ก) (ค) ดีเซล และ (ข) (ง) ไบโอดีเซล ด้วย SEM และ TEM [16-17]



เฉลี่ยของดีเซลมีขนาดประมาณ 50-60 nm และไบโอดีเซลมีขนาดประมาณ 40-50 nm มลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงดีเซลมีขนาดใหญ่กว่าไบโอดีเซลซึ่งอาจจะเป็นเพราะไบโอดีเซลมีออกซิเจนในตัวเองช่วยให้เผาไหม้ได้สมบูรณ์กว่าดีเซล ซึ่งต้องทำการศึกษาในเชิงลึกในอนาคตต่อไปเพื่อให้เข้าใจถูกต้องมากขึ้น

ในงานวิจัยนี้ คาร์บอนแบลค (Carbon Black) ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อนเพื่อใช้ในการอ้างอิงและเปรียบเทียบกับมลพิษดีเซลและไบโอดีเซลดังกล่าวด้วย

## 2.2 การออกซิไดส์ของมลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซล

ในการออกซิไดส์ของมลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซลด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักเชิงความร้อน (TGA) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือการศึกษาอัตราการปฏิกิริยาเคมีของมลพิษอนุภาคจากเปลวไฟแบบแพร่ของดีเซล ไบโอดีเซล และ คาร์บอนแบลค (N-550) ส่วนที่ 2 ศึกษาเกี่ยวกับการออกซิไดส์ของมลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซล บดผสมกับผงเซรามิกส์ของอุปกรณ์กำจัดมลพิษอนุภาคแบบมีสารเร่งและไม่มีสารเร่ง โดยบดที่อัตราส่วนของน้ำหนักมลพิษอนุภาคกับผงเซรามิกส์ที่อัตราส่วนหนึ่งต่อหนึ่ง

ในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาด้วยวิธีการทดลองแบบอุณหภูมิตั้งที่ (Non-isothermal Method) ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิตั้งที่เพิ่มขึ้นในอัตรา 10 °C ต่อนาที จากอุณหภูมิตั้งที่ 25 °C ถึง 800 °C โดยใช้ ออกซิเจน 100%



อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีใน สมการที่ 1 สามารถคำนวณตาม สมการที่ 2

$$-\frac{d[\text{PM}]}{dt} = k[\text{PM}]^n [\text{O}_2]^m \quad (2)$$

เมื่อ [PM] คือมวลของมลพิษอนุภาค t คือเวลา k คือค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาเคมี n และ m คือลำดับการเกิดปฏิกิริยาเคมี (Reaction Order) ของคาร์บอนและออกซิเจนตามลำดับ ค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยาเคมีถูกอธิบายโดย สมการที่ 3

$$k = A e^{-E_a/RT} \quad (3)$$

เมื่อ A ค่าคงที่พรีเอกโพเนนเชียล  $E_a$  คือพลังงานกระตุ้น และ R คือค่าคงที่ของก๊าซ โดยค่าพลังงานกระตุ้น สามารถคำนวณใน สมการที่ 4

$$\ln \left[ \frac{-1}{[\text{PM}]^n} \frac{d[\text{PM}]}{dt} \right] = -\frac{E_a}{RT} + (\ln A + m \ln [\text{O}_2]) \quad (4)$$

ค่า  $E_a$  สามารถคำนวณจากการพล็อตกราฟอาร์เรย์เลียส ใน สมการที่ 4 สำหรับงานวิจัยนี้สมมติให้ n เท่ากับ 1 เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ [13]

## 3. ผลการทดลอง

รูปที่ 3 แสดงการลดลงของน้ำหนักของมลพิษอนุภาคดีเซลที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 °C ถึง 800 °C พบว่าน้ำหนักลดลงสามช่วง ช่วงแรกเกิดขึ้นที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 °C ถึง 200 °C น้ำหนักที่ลดลงของมลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซลประมาณ 5 % ส่วนคาร์บอนแบลคมีน้ำหนักลดลงประมาณ 1 % ซึ่งน่าจะแสดงถึงการลดลงของน้ำหนักเนื่องจากการระเหยของน้ำ

ในช่วงที่สองจากอุณหภูมิตั้งที่ประมาณ 200 ถึง 500 °C ซึ่งแสดงถึงสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหรือเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ได้ถูกออกซิไดส์ซึ่งมี

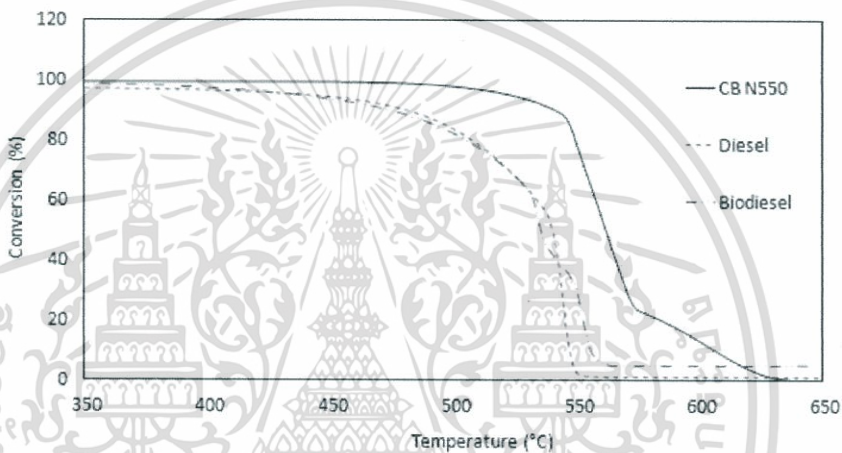


น้ำหนักมลพิษอนุภาคของดีเซลและไบโอดีเซลลดลง  
ประมาณ 15 % คาร์บอนแบลคลดลง 3 %

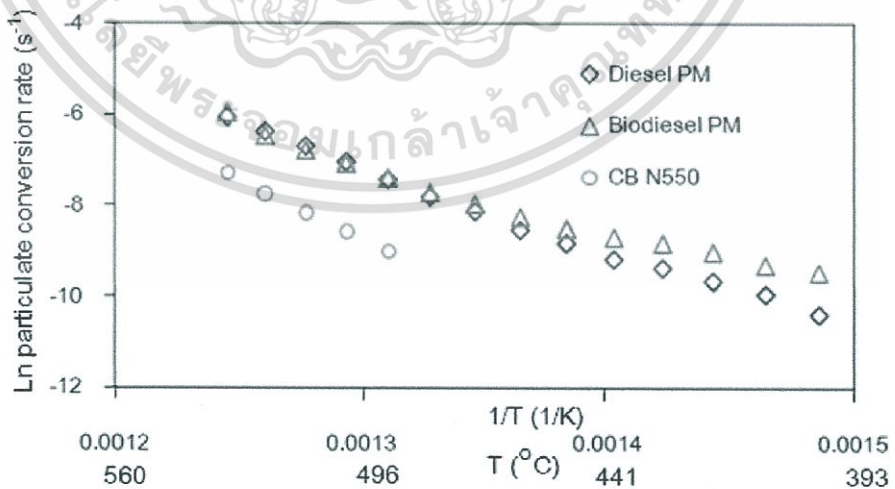
ในช่วงสุดท้ายที่อุณหภูมิประมาณ 500 °C  
ถึง 600 °C ซึ่งเป็นการแสดงถึงการลดลงเนื่องจากการ  
ทำปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจน น้ำหนัก  
มลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซลประมาณ 80%  
ส่วนคาร์บอนแบลคที่เหลือทั้งหมด 95% ต่างลดลง

อย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่า มลพิษอนุภาคทั้งสอง  
ชนิดสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ ภายใต้  
อุณหภูมิ 550 °C ถึง 600 °C

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองครั้งนี้ พบว่า  
ซีเต้าจากไบโอดีเซลเหลืออยู่มากกว่าดีเซล



รูปที่ 3 อัตราการลดลงของน้ำหนักของมลพิษอนุภาคดีเซล มลพิษอนุภาคไบโอดีเซล และ คาร์บอนแบลค



รูปที่ 4 พลังงานกระตุ้นของการออกซิไดส์ของมลพิษอนุภาคดีเซล ไบโอดีเซล และคาร์บอนแบลค

ENETT8-AP34

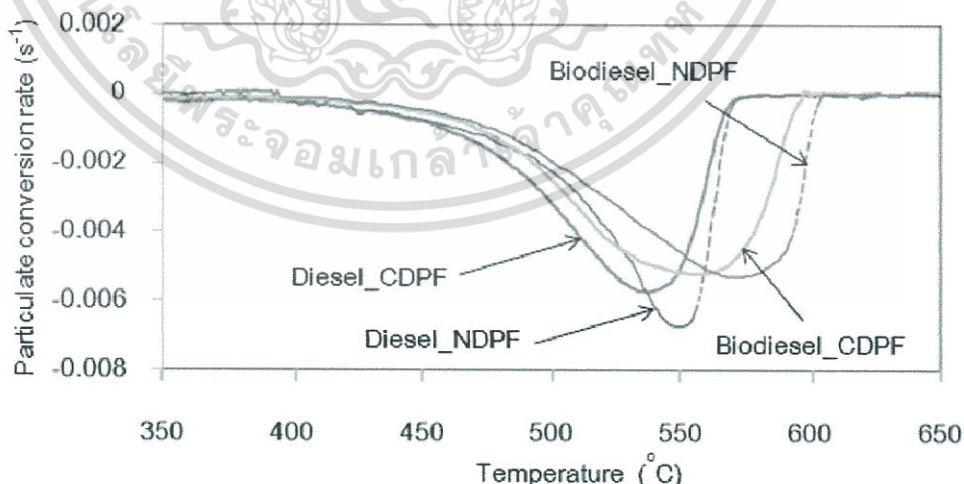


รูปที่ 4 แสดงผลการพรอดกราฟอาร์รี่เนี่ยส ซึ่งสามารถประมาณ ค่าพลังงานกระตุ้นของการออกซิไดส์มลพิษอนุภาคดีเซล ไบโอดีเซล และคาร์บอนแบลค ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 400 °C ถึง 450 °C พบว่าค่าพลังงานกระตุ้นการออกซิไดส์ของไฮโดรคาร์บอนไบโอดีเซลและดีเซลเท่ากับ 79 kJ/mol และ 120 kJ/mol ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 450 °C ถึง 500 °C พบว่ามีค่าเท่ากับ 131 kJ/mol และ 165 kJ/mol ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 500 °C ถึง 550 °C พบว่ามีค่าเท่ากับ 183 kJ/mol และ 189 kJ/mol ตามลำดับ ส่วนคาร์บอนแบลค มีค่าพลังงานกระตุ้นการออกซิไดส์คาร์บอนเท่ากับ 215 kJ/mol ดังที่แสดงในตารางที่ 1

รูปที่ 5 แสดงอัตราการลดลงของน้ำหนักของมลพิษอนุภาคดีเซลและมลพิษอนุภาคไบโอดีเซลบดผสมผงเซรามิกส์ของอุปกรณ์กำจัดมลพิษอนุภาคที่มีสารเร่งและไม่มีสารเร่ง จากการทดลอง พบว่า มลพิษอนุภาคสามารถออกซิไดส์ในผงเซรามิกส์ที่มีสารเร่งได้เร็วกว่าไม่มีสารเร่งประมาณ 15 °C

รูปที่ 6 แสดงพลังงานกระตุ้นของการออกซิไดส์มลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซลบดผสมกับผงเซรามิกส์ที่มีสารเร่งและไม่มีสารเร่ง จากผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 400 °C ถึง 550 °C ค่าพลังงานกระตุ้นของการออกซิไดส์ไบโอดีเซลและไบโอดีเซลบนสารเร่งมีค่า 117.3 kJ/mol และ 122.4 kJ/mol ตามลำดับ ส่วนในกรณีที่ไม่มีสารเร่งพบว่ามีค่าประมาณ 129.7 kJ/mol และ 126.7 kJ/mol สำหรับมลพิษอนุภาคไบโอดีเซลและดีเซล ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

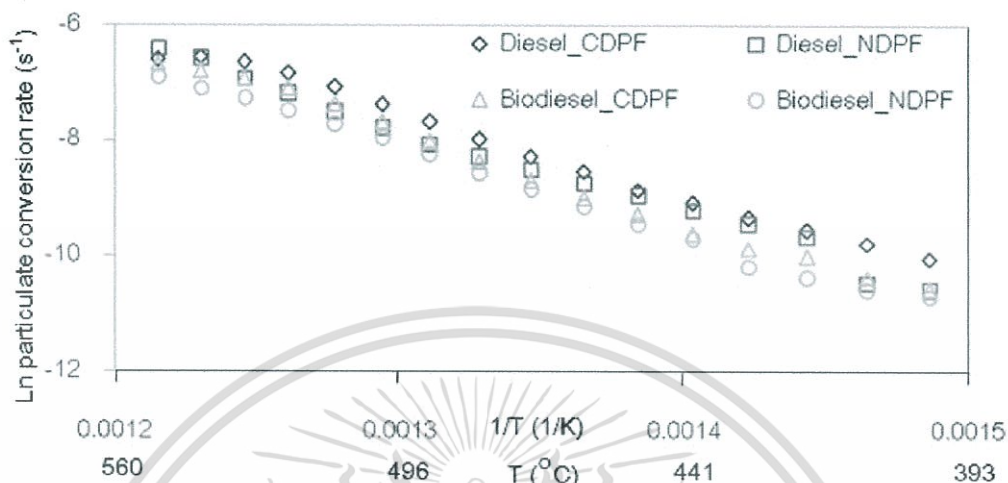
มลพิษอนุภาคไบโอดีเซลใช้พลังงานกระตุ้นในการออกซิไดส์ในช่วงแรกต่ำกว่ามลพิษอนุภาคดีเซล อาจเป็นเพราะมลพิษอนุภาคไบโอดีเซลมีอะตอมของออกซิเจนรวมอยู่ข้างในโมเลกุลของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล แต่ที่อุณหภูมิสูงขึ้นมลพิษอนุภาคไบโอดีเซลกลับเผาไหม้ได้ยากขึ้น ซึ่งน่าสนใจและควรได้รับการศึกษาในเชิงลึกมากขึ้น



รูปที่ 5 อัตราลดลงของน้ำหนักของมลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซลบดผสมกับผงเซรามิกส์

ENETT8-AP34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 พลังงานกระตุ้นของการออกซิไดส์ของมลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซลบนผลสมกับผงเซรามิกส์

ตารางที่ 1 พลังงานกระตุ้นของการออกซิไดส์มลพิษอนุภาคในกรณีไม่ผสมผงเซรามิกส์

PM Type	E <sub>a</sub> (kJ/mol)		
	400-450 °C	450-500 °C	500-550 °C
Biodiesel PMs	79	131	183
Diesel PMs	120	165	189
Carbon black	-	-	215

ตารางที่ 2 พลังงานกระตุ้นของการออกซิไดส์มลพิษอนุภาคในกรณีผสมผงเซรามิกส์

DPF Type	E <sub>a</sub> (kJ/mol)	
	400-550 °C	
	Diesel PMs	Biodiesel PMs
Catalyzed-DPF	122.4	117.2
Noncatalyzed-DPF	126.7	129.7

#### 4. สรุปผลการทดลอง

มลพิษอนุภาคมีส่วนประกอบหลัก คือ น้ำเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ คาร์บอน และ ซีเถ้า ประมาณ 2, 15, 80 และ 3% ตามลำดับ

มลพิษอนุภาคดีเซลและไบโอดีเซลสามารถออกซิไดส์ได้หมดที่อุณหภูมิประมาณ 550-600 °C และยังพบว่าอนุภาคไบโอดีเซลสามารถออกซิไดส์ได้ดีกว่าดีเซลในช่วงอุณหภูมิต่ำ อาจจะเป็นเพราะไบโอดีเซลที่เหลือจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ซึ่งมีออกซิเจนในตัวเองสามารถช่วยให้มลพิษอนุภาคไบโอดีเซลเผาไหม้ได้ดีขึ้น

มลพิษอนุภาคไบโอดีเซลเผาไหม้ได้ยากกว่าดีเซลเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อาจจะเป็นเพราะมีตัวแปรทางกายภาพ เช่น ขนาดของมลพิษอนุภาค อุณหภูมิในเปลวไฟของเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันอาจทำให้การจัดเรียงตัวและความแข็งแรงภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุลคาร์บอนในมลพิษอนุภาคต่างกันได้ ซึ่งจำเป็นจะต้องศึกษาในเชิงลึกต่อไป

ENETT8-AP34



### 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งขอขอบคุณ กองทุนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผน (EPPO) กระทรวงพลังงาน สำหรับการให้ทุนอุดหนุนการวิจัยระดับอุดมศึกษา (แผนเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน)

### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] J.B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamental, McGraw-Hill series in mechanical engineering, Singapore, 1998.
- [2] O.I. Smith, Fundamentals of soot formation in flames with application to diesel engine particulate emissions, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 7, pp.275-291, 1981.
- [3] M.M. Maricq, Review Chemical Characterization of particulate emissions from diesel engine: A review, Journal of Aerosol Science, Vol.38, pp.1079-1118, 2007.
- [4] D.B. Kittelson, Engines and nanoparticles: A review, Journal of Aerosol Science, Vol.29, pp.575-588, 1998.
- [5] Majewski, W.A. and Khair, M.K., Diesel Emissions and Their Control, SAE Order No.R-303, SAE International, Warrendale USA, 2006.
- [6] Ishiguro, T. Takatori, Y. and Akihama, K., Microstructure of Diesel Soot Particles Probed by Electron Microscopy: First Observation of Inner Core and Outer Shell, Combustion and Flame, 108, pp.231-234, 1997.
- [7] R.A. Vander Wal, A. Yezerets, Currier, N.W. Kim, D.H. and Wang, C.H., HRTEM Study of diesel soot collected from diesel particulate filters, Carbon, 45, pp.70-77, 2007.
- [8] Konstandopoulos, A.G. Kostoglou, M. Vlachos, N. and Kladopoulos, E., Progress in Diesel Particulate Filter Simulation, SAE Technical paper, 2005-01-0946, 2005.
- [9] Konstandopoulos, K.G. Zarvalis, D. Kladopoulou E. and Dolios, L., A multi-reactor assembly for screening of diesel particulate filters, SAE Technical paper, 2006-01-0874, 2006.
- [10] Tushima, S. Nakamura, I. Sakashita, S. Hirai, S. and Kitayama, D., Lattice Boltzmann simulation on particle transport and captured behaviors in a 3d-reconstructed micro porous DPF, SAE Technical paper, 2010-01-0534, 2010.
- [11] Stratakis G.A., Stamatelos A.M. (2003). Thermogravimetric analysis of soot emitted by a modern diesel engine run on catalyst-doped fuel, Combustion and Flame, vol. 132, 2003, pp.157-169.
- [12] John P.A. Neeft, T. Xander Nijhuis, Erik Smakman, Michiel Makkee, Jacob A. Moulijn. (1997). Kinetics of the oxidation of diesel soot, Fuel, vol. 76, 1997, pp. 1129-1136.
- [13] Karin P., Hanamura K. (2010). Particulate Matter Trapping and Oxidation on a Diesel Particulate. TSME-ICOME, 2010.
- [14] Kalogiron M., Samaras Z. (2009). A thermogravimetric kinetic study of uncatalyzed diesel soot oxidation, J Therm Anal Calorim, vol. 98, 2009, pp. 215-224.
- [15] Kalogiron M., Samaras Z. (2010). Soot oxidation kinetics from TG experiments, J Therm Anal Calorim, vol. 99, 2010, pp. 1005-101.
- [16] S. Laosuwan, P. Karin and C. Charoenpompanich, "Thermo-gravimetric Analysis of Biodiesel Diffusion Flame's Particulate Matter", The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering (The 2<sup>nd</sup> TSME-ICOME), 19-21 October, Krabi-Thailand, 2011.
- [17] P.Karin, Y. Songsaengchan, S. Laosuwan, Chinda Charoenphonphanich, "Nanostructure of Renewable Oxygenated Fuels Particulate Matter" The 4th AUN/SEED-Net Regional Conference, 10-11 January, HCMUT, Vietnam, 2012.
- [18] S. Laosuwan, P. Karin and C. Charoenpompanich, "Study on Diesel and Biodiesel Particulate Matter Trapping inside a Diesel Particulate Filter", The 7<sup>th</sup> International Conference of Automotive Engineer (ICAE-7), TSAE, 28-29 March, Bangkok-Thailand, 2011.

**JSAE Annual Congress (Spring)**  
In PACIFICO YOKOHAMA

Outline	Program	General Information for Participants	Important Dates for Presentations	Guidance for Speaker	Hotel Accommodation	Access
---------	---------	--------------------------------------	-----------------------------------	----------------------	---------------------	--------

**2012 JSAE Annual Congress (Spring) in PACIFICO YOKOHAMA**

Period: **Wednesday, May 23 to Friday, May 25, 2012**  
 Venue: PACIFICO YOKOHAMA  
 Sponsor: Society of Automotive Engineers of Japan, Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 249-20125359 Oxidation Kinetics of Biodiesel Particulate Matters by Using Thermogravimetric Analysis

S. Laosuan<sup>1)</sup>, P. Karin<sup>2)</sup>,  
C. Charoenphonphanich<sup>1)</sup> and K. Hanamura<sup>3)</sup>

1) King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Faculty of Engineering, Bangkok, 10520, Thailand

(Email: kkpreech@kmitl.ac.th)

2) King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, International College, Bangkok, 10520, Thailand

3) Tokyo Institute of Technology, Department of Mechanical and Control Engineering

2-12-1-11-24 O-okayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8552, Japan

Presented at the JSAE Annual Congress on May, 24, 2012

**ABSTRACT:** Particulate matters (PMs) must be removed from the exhaust gas emitted from compression ignition (CI) and direct injection spark ignition (DISI) engines to protect the environment and human health. The problem of particulate emissions from diesel engine can be reduced in many ways, for example: modern engine, fuel additives, Diesel Particulate Filter (DPF) and oxygenated fuel development. The present research has three parts. First, study of quantity and trapping behavior of diesel and biodiesel particulate matter by using conventional DPF. Second, particulate matter oxidation kinetics by using Thermo-gravimetric analysis (TGA). Third, particulate matter oxidation kinetics on the conventional catalyzed and noncatalyzed-DPFs by TGA. The apparent activation energies of diesel PM, biodiesel PM and carbon black oxidation in temperature of 400 °C to 550 °C are approximately 109.8, 145.7 and 254.5 kJ/mol, respectively. Particulate matter might be consist of approximately 5-10% hydrocarbon, 85-90 % carbon and 5% of ash. In addition, the oxidation temperature of particulate matter inside powder of conventional catalyzed-DPF are 15 °C lower than that of noncatalyzed-DPF.

**KEY WORDS:** (Standardized) heat engine, compression ignition engine, harmful emissions (Free) Biodiesel, Particulate matter [A1]

### 1. INTRODUCTION

Among internal combustion engines, diesel engines have the highest thermal efficiency. However, particulate matters (PMs) must be removed from exhaust gases that are emitted by diesel engines to protect the environment and human health; therefore, regulation of vehicle emissions has become increasingly strict. Diesel particulate matters consist of a solid fraction (SOL) and a soluble organic fraction (SOF). Primary particles, composed of carbon and metallic ash, are coated with SOF and sulphate. The nanostructures of primary soot particles have been characterized using scanning electron microscopy (SEM) to understand them in detail. The mean diameter of the primary and agglomerated particles is usually in the range of 20–80 nm and 80–300 nm, respectively [1–7].

Diesel particulate filters (DPFs) play an important role in particulate trapping and oxidation. A DPF is generally made of ceramic materials, such as cordierite or silicon carbide, consisting of many rectangular channels with alternate channels blocked using cement at each end. The exhaust gas is forced to flow through a channel wall having numerous micron-scale pores that trap the PM. Furthermore,

the collected PM must be oxidized to regenerate the DPF and reduce the back pressure on the diesel engine [8–13].

The problem of particle emissions from diesel engine should be reduced by development of high efficiency engine, after-treatment and pre-treatment technologies. The use of renewable oxygenated fuels is nowadays a widespread means to reduce regulated pollutant emissions produced by internal combustion engines, as well as to reduce the green house gas. The objective of the present research is to study diesel and biodiesel particulate matter oxidation. The present report has three parts. First, study of quantity and trapping behavior of diesel and biodiesel particulate matter by using conventional DPF. Second, particulate matter oxidation kinetics by using Thermo-gravimetric analysis (TGA). Third, particulate matter oxidation kinetics on the conventional catalyzed and noncatalyzed-DPFs by TGA.

The report successfully described usefull information of diesel and biodiesel particulate matter oxidation behaviors for better understanding and future design of DPF configuration for diesel and biodiesel blens engine application in Thailand and Asian countries.

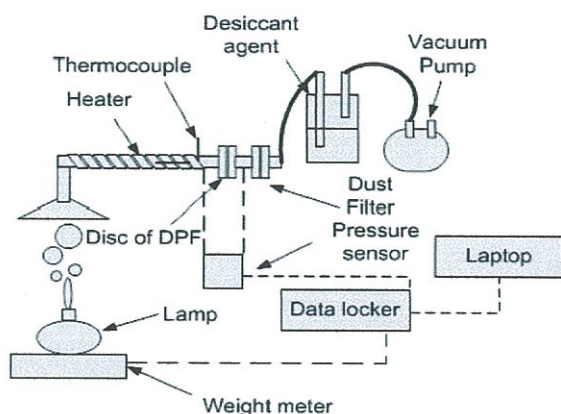


Fig. 1 Experimental Setup for PMs Trapping Process

## 2. EXPERIMENTAL SETUP

### 2.1 Particulate Matter Trapping

Biodiesel is produced from palm-olein (biodiesel (B100) fuel of TIS 2313-2549) was used and compared with the results of commercial grade diesel (conventional diesel (B0) fuel of TIS 2155-2546). The carbon fraction of diesel and biodiesel are 82 and 78, respectively. Diesel and biodiesel diffusion flame particulate matters were generated by diesel and biodiesel lamps. Fig. 1 shows a schematic diagram of the experimental set up for diesel and biodiesel particulate matter trapping inside a diesel particulate filter. The wall flow DPF, made of ceramic material (cordierite), was cut into cross section of 6 x 6 cm<sup>2</sup> and thickness of 3 mm. A disc of DPF wall was installed in to the exhaust pipe, which was controlled the constant temperature of approximately 200 °C by electric heater to avoid the impact of water condensation on inside the exhaust system. The particulate matters emitted from the diesel and biodiesel diffusion flame were introduced into the exhaust pipe by using a vacuum pump, which installed at the outlet of the system. The constant rate of the energy consumption was controlled by the fuel consumption rate. During trapping process, pressure drop between inlet and outlet of DPF sample was measured by using pressure sensor to study in the impact on fluid flow inside the exhaust pipe and to estimate the quantities of diesel and biodiesel particulates.

### 2.2 Particulate Matter Oxidation

The chemical kinetics of particulate matter oxidation have two parts. First, the study chemical reaction of diesel particulate matter, biodiesel particulate matter and carbon black N-550. Second, the study chemical reaction of particulate matter with catalyzed Diesel Particulate Filter (CDPF) and particulate matter with noncatalyzed Diesel Particulate Filter (NDPF) in

weight ratio of 1:1. Non-isothermal method was used to investigate oxidation kinetics and apparent activation energy of each unburned hydrocarbon (oxygenated and fossil) under the condition of temperature increasing rate of 10 °C per minute from 25 °C to 800 °C with 100% oxygen atmosphere. Chemical kinetics of particulate matter oxidation is studied by using Thermo-gravimetric analysis (TGA).



The chemical reaction rate in Eq.1 can calculate from the TGA curve based on the chemical kinetic in Eq.2

$$\frac{d[\text{PM}]}{dt} = k[\text{PM}]^n [\text{O}_2]^m \quad (2)$$

Where C is particulate matter mass, t is time, k is rate constant of chemical reactions, m, n are the reaction order. The dependence of the specific rate constant of chemical reactions k is expressed by Eq.3.

$$k = A e^{-E_a/RT} \quad (3)$$

Where A is the frequency factor, E<sub>a</sub> is the activation energy, R is the gas constant. The apparent activation energy can be calculated by Eq.4.

$$\ln \left[ \frac{-1}{[\text{PM}]^n} \frac{d[\text{PM}]}{dt} \right] = -\frac{E_a}{RT} + (\ln A + m \ln [\text{O}_2]) \quad (4)$$

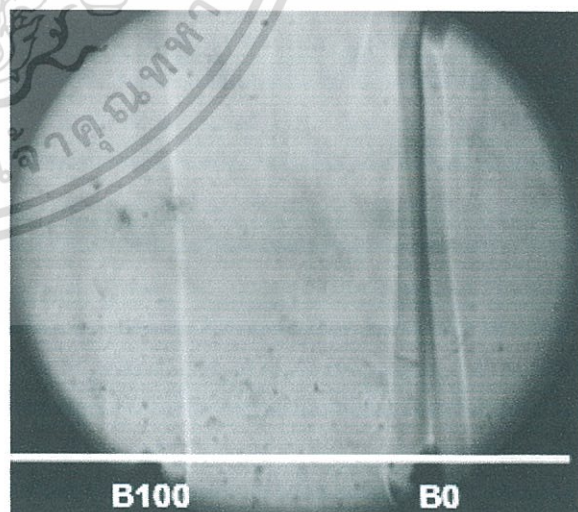


Fig. 2 Biodiesel and Diesel Diffusion Flame

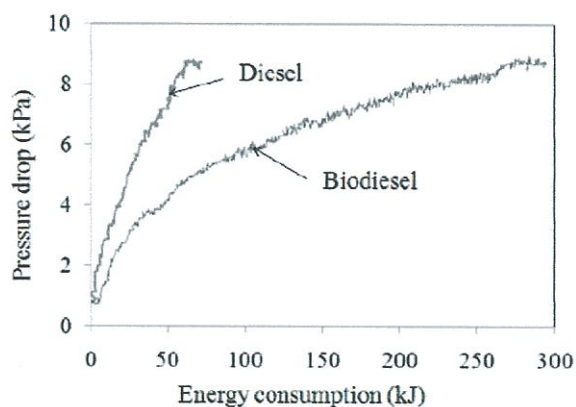


Fig. 3 Pressure Drop of Particulate Matter Trapping

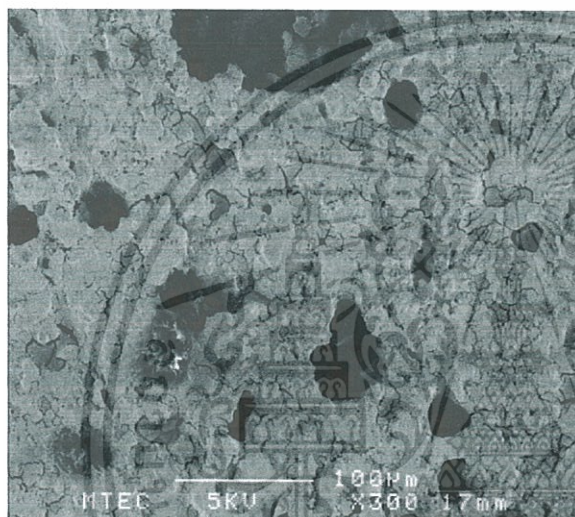


Fig. 4 Porous Structure of Diesel Particulate Filter by SEM

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 Diesel and Biodiesel Particulate Matter Quantity

Fig. 2 shows diesel and biodiesel diffusion flames by Schlieren method. The soot particle is formed in the fuel spray cores, in which the rich fuel is contained, whereas the fuel vapor is heated by mixing with hot burned gases in the flame regions. Diesel and biodiesel diffusion flames by the center of biodiesel diffusion flame was lighter than that of diesel because oxygen atoms inside an oxygenated fuel molecule might promote more complete combustion behavior.

Fig. 3 shows the comparison of pressure drop between inlet and outlet of DPF disc (Fig. 4) during diesel and biodiesel particulate matter trapping. As indicate in this graph, diesel particulates have a higher energy than biodiesel particulates at the same pressure drop of diesel and biodiesel particulate matter. Diesel particulate matters was approximately four to five times

higher than that of biodiesel particulate matter. However, exact value of each PM quantities should be measured by high technology in the next step of this research.

#### 3.2 Diesel and Biodiesel Particulate Matter Size

Fig. 5 shows SEM images of (a) diesel and (b) biodiesel particulate matter collected from the exhaust gases of diffusion flame. It was clearly observed the homogeneous size of primary particles. In the present study, the size of biodiesel primary particle was smaller than that of diesel. The diesel and biodiesel diffusion flame single particle sizes are approximately 50-60 nm and 30-40 nm, respectively. In addition, the physical properties should be study in more details in the next step.

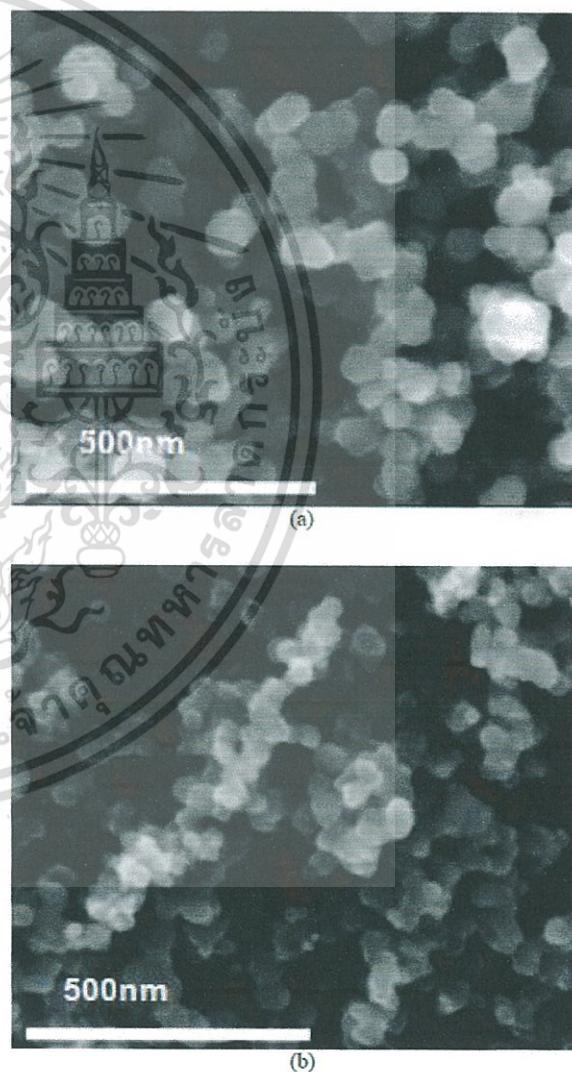


Fig. 5 SEM images of (a) Diesel and (b) Biodiesel PMs

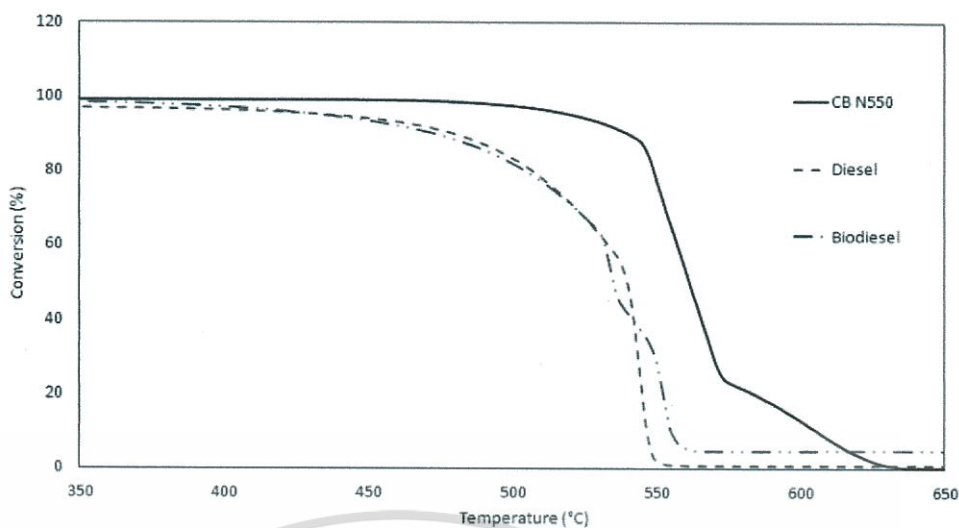


Fig. 6 Mass conversion of Diesel and Biodiesel particulate matter oxidation

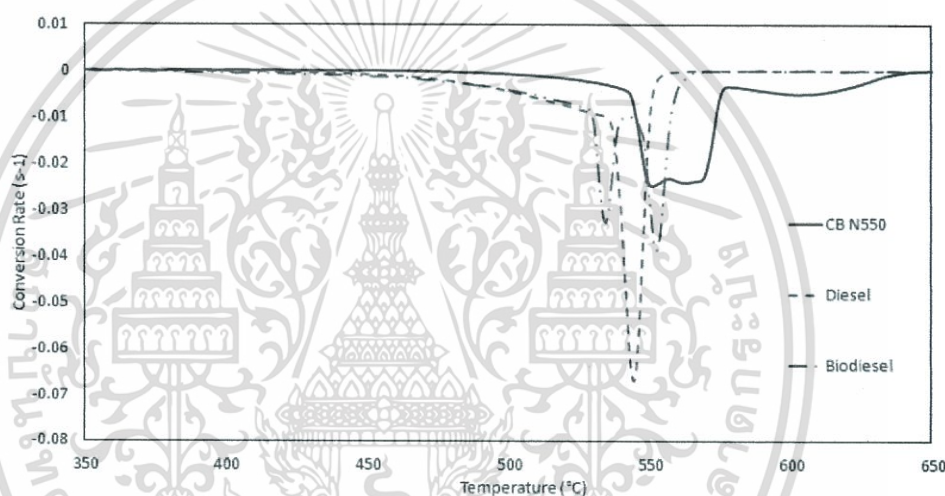


Fig. 7 Mass conversion rate of Diesel and Biodiesel particulate matter oxidation

### 3.3 Oxidation Kinetics of Particulate Matter

Fig. 6 shows diesel, biodiesel particulate matters emitted from diffusion flame and carbon black conversion by using TGA. For temperature 25 °C to 100 °C is considered that evaporation of moisture. In this range, the weight of diesel and biodiesel PM is decreased 2-4 % and carbon black is decreased 1-2 %. After that, 100 °C to 400 °C is assumed to be unburned fuel oxidation. In this range, the weight of diesel and biodiesel PM is decreased 8-14 % and carbon black is decreased 2-4 %. Then, 400 °C to 600 °C is assumed to be some hydrocarbons and carbon oxidation. In this range, the weight of diesel and biodiesel PM is decreased 1-80 % and carbon black is decreased 1-95 %. It was clearly observed that diesel and biodiesel particulate matters can be oxidized at lower temperature compared to that of carbon black.

Fig. 7 shows conversion rate of diesel, biodiesel particulate matter and carbon black oxidation. Some of biodiesel particulate matter can be oxidized at temperature of around 520 °C as shown in the first peak. Remaining biodiesel particulate matter can be oxidized at the temperature of approximately 560 °C while diesel particulate matter oxidized at the temperature of approximately 540 °C. It was clearly observed that carbon black can be oxidized at the temperature of over 550 °C. The different of oxidation temperature might be strongly depend on the carbon structure inside each particle. The temperature inside complete combustion diffusion flame of oxygenated fuel may be release much amount of heat around each particle resulting in some of biodiesel particulate matter oxidized at higher temperature.

Table 1. Apparent activation energy of PMs oxidation.

PM Type	$E_a$ (kJ/mol)
	400-550 ( $^{\circ}$ C)
Biodiesel PMs	109.8
Diesel PMs	145.7
Carbon black	254.5

The average apparent activation energies of biodiesel, diesel particulate matters and carbon black oxidation in temperature of 400  $^{\circ}$ C to 550  $^{\circ}$ C are approximately 109.8, 145.7 and 254.5 kJ/mol, respectively as shown in Table 1.

### 3.4 Characterization of Conventional DPFs

Figs. 8 (a) and (b) show component of element of catalyzed-DPF and noncatalyzed-DPF by using SEM-EDX. Ce and Fe are two elements of oxidation catalytic in the conventional catalyzed-DPF. Fig. 9 shows the results of particulate matters oxidized with catalyzed and noncatalyzed DPF powders. It was clearly observed that diesel and biodiesel particulate matters couldn't be oxidized on catalyzed-DPF by approximately 15  $^{\circ}$ C lower than that of noncatalyzed DPF. The average apparent activation energies of biodiesel and diesel particulate matters oxidation with catalyzed and noncatalyzed-DPFs in temperature of 400  $^{\circ}$ C to 550  $^{\circ}$ C are approximately 117.2, 129.7, 122.4 and 126.7 kJ/mol, respectively as shown in Table 2.

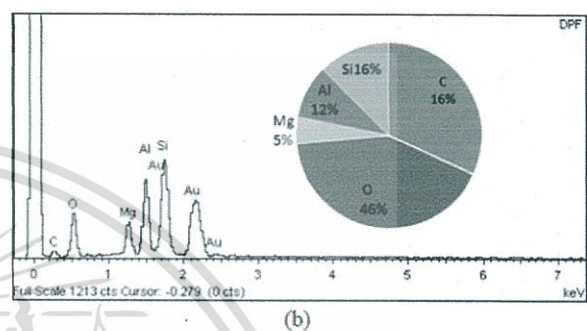
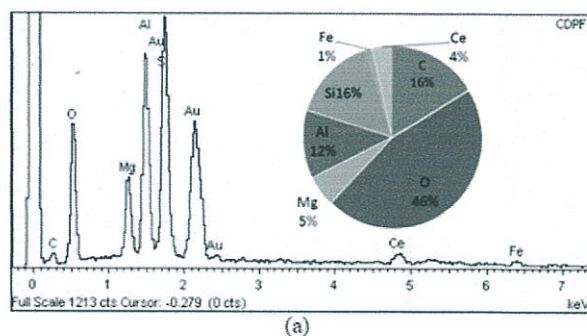


Fig. 8 Chemical Composition of (a) Catalyzed-DPF and (b) Noncatalyzed-DPF by using SEM-EDX.

Table 2. Apparent activation energy of PMs oxidation.

DPF Type	$E_a$ (kJ/mol)	
	400-550 ( $^{\circ}$ C)	
	Diesel PMs	Biodiesel PMs
Catalyzed-DPF	122.4	117.2
Noncatalyzed-DPF	126.7	129.7

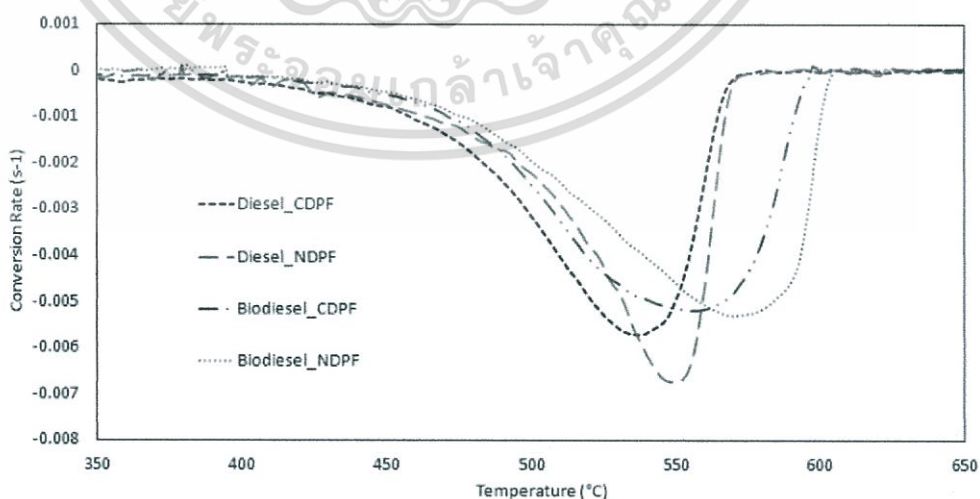


Fig. 8 Mass conversion rate of Diesel and Biodiesel particulate matter oxidation in DPFs Powder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. CONCLUSION

(1) Diesel particulate matter was approximately 4.4 times higher than that of biodiesel particulate matter. It might be expected that oxygen atom in biodiesel molecule promote more complete combustion and carbon fraction in biodiesel is less than that in diesel, resulting in the biodiesel particulate matter emitted is lower.

(2) Oxidation behavior of diesel, biodiesel particulate matter and carbon black are analyzed by thermo-gravimetric analysis. Biodiesel particulate matter is easier to oxidize than diesel particulate matter and carbon black. Moreover, the apparent activation energy of biodiesel particulate matter oxidation is lower than that of diesel particulate matter and carbon black. Because of oxygen atom included inside biofuel molecule promote low activation energy.

(3) Oxidation behavior of diesel, biodiesel particulate matter with catalyzed and noncatalyzed-DPF are analyzed by thermo-gravimetric analysis. It was clearly observed that diesel and biodiesel particulate matters couldn't be oxidized on catalyzed-DPF at lower temperature and lower apparent activation energy.

This paper would be one of based data for design and optimization of ideal DPF configurations in Thailand.

#### ACKNOWLEDGMENTS

The authors gratefully acknowledge the financial support from The Energy Policy and Planning Office (EPPO), Ministry of Energy (Thailand) and DPF samples support from Isuzu Motors Limited (Japan).

#### REFERENCES

- (1) J.B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamental, McGraw-Hill series in mechanical engineering, Singapore, 1998.
- (2) O.I. Smith, Fundamentals of soot formation in flames with application to diesel engine particulate emissions, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 7, pp.275-291, 1981.
- (3) M.M. Maricq, Review Chemical Characterization of particulate emissions from diesel engine: A review, Journal of Aerosol Science, Vol.38, pp.1079-1118, 2007.
- (4) D.B. Kittelson, Engines and nanoparticles: A review, Journal of Aerosol Science, Vol.29, pp.575-588, 1998.
- (5) Majewski, W.A. and Khair, M.K., Diesel Emissions and Their Control, SAE Order No.R-303, SAE International, Warrendale USA, 2006.
- (6) Ishiguro, T. Takatori, Y. and Akihama, K., Microstructure of Diesel Soot Particles Probed by Electron Microscopy: First Observation of Inner Core and Outer Shell, Combustion and Flame, 108, pp.231-234, 1997.
- (7) R.A. Vander Wal, A. Yezerets, Currier, N.W. Kim, D.H. and Wang, C.H., HRTEM Study of diesel soot collected from diesel particulate filters, Carbon, 45, pp.70-77, 2007.
- (8) Konstandopoulos, A.G. Kostoglou, M. Vlachos, N. and Kladopoulos, E., Progress in Diesel Particulate Filter Simulation, SAE Technical paper, 2005-01-0946, 2005.
- (9) Konstandopoulos, K.G. Zarvalis, D. Kladopoulou E. and Dolios, L., A multi-reactor assembly for screening of diesel particulate filters, SAE Technical paper, 2006-01-0874, 2006.
- (10) Tushima, S. Nakamura, I. Sakashita, S. Hirai, S. and Kitayama, D., Lattice Boltzmann simulation on particle transport and captured behaviors in a 3d-reconstructed micro porous DPF, SAE Technical paper, 2010-01-0534, 2010.
- (11) S. Laosuwan, P. Karin and C. Charoenponpanich, "Thermo-gravimetric Analysis of Biodiesel Diffusion Flame's Particulate Matter", The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering (The 2<sup>nd</sup> TSME-ICoME), 19-21 October, Krabi-Thailand, 2011.
- (12) P.Karin, Y. Songsaengchan, S. Laosuwan, Chinda Chareonphonphanich, "Nanostructure of Renewable Oxygenated Fuels Particulate Matter" The 4th AUN/SEED-Net Regional Conference, 10-11 January, HCMUT, Vietnam, 2012.
- (13) S. Laosuwan, P. Karin and C. Charoenponpanich, "Study on Diesel and Biodiesel Particulate Matter Trapping inside a Diesel Particulate Filter", The 7<sup>th</sup> International Conference of Automotive Engineer (ICAE-7), TSAE, 28-29 March, Bangkok-Thailand, 2011.

THE 2<sup>nd</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMOTIVE  
TECHNOLOGY, ENGINE AND ALTERNATIVE FUELS  
- ICAEF2012 -

"Joint Together for Sustainable Development"

Ho Chi Minh City, Vietnam  
December 4-5, 2012

## Proceedings



Jointly organized by:

Energy Council of Vietnam National University-HCM City  
Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam



Vietnam National University -  
Ho Chi Minh City Publishing House

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Investigation of Biodiesel Diffusion Flame Particulate Matters

Songtam Laosuwan<sup>1\*</sup>, Preechar Karin<sup>2</sup>, Chinda Charoenphonphanich<sup>1</sup> and  
 Katsunori Hanamura<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, <sup>2</sup>International College, King Mongkut's Institute of Technology  
 Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520

<sup>3</sup>Department of Mechanical and Control Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan

\* Corresponding Author: Tel: +66 2 326 4729, Fax: +66 2 737 2580,

E-mail: [song\\_tam@hotmail.com](mailto:song_tam@hotmail.com)

### Abstract

*This paper describes a part of an ongoing research project in reduction of Particulate Matters (PMs) by using bio-oxygenated fuel. The present paper consists of two main parts. The first part is study on the physical properties of diesel and biodiesel PMs such as primary size distribution and agglomerated size distribution by using scanning electron microscopy (SEM). The average agglomerated size of diesel and biodiesel PMs are approximately 240-280 nm and 200-240 nm, respectively. The average primary size of diesel and biodiesel PMs are approximately 50-60 nm and 30-40 nm, respectively. The second part is study on diesel and biodiesel PMs trapping and oxidation process inside Diesel Particulate Filter (DPF). During trapping process of biodiesel combustion, pressure drop between inlet and outlet of DPF wall was approximately two times higher than that of diesel. For DPF regeneration process, pressure drop of DPF wall during biodiesel PMs oxidation (regeneration process) was approximately two times faster than that of diesel. The results show the useful information for future designing of the DPF configuration for diesel and biodiesel vehicles which should be improved to match with the higher level of Thailand emission regulation in the near future.*

**Keywords:** *biodiesel fuel, particulate matters, diesel particulate filter.*

### 1. Introduction

Nowadays, energy consumption and global warming problems are mainly issue of our community. Diesel engines have the highest thermal efficiency. However, particulate matters must be removed from exhaust gas to protect the environment and human health (lung cancer) [1-5].

Diesel particulate filters (DPFs) play an important role in particulate trapping and oxidation. A DPF is generally made of ceramic materials, such as cordierite or silicon carbide, consisting of many rectangular channels with alternate channels blocked using cement at each end. The exhaust gas is forced to flow through a channel wall having numerous micron-scale pores that trap the PMs. Furthermore, the collected PMs must be

oxidized to regenerate the DPF and reduce the back pressure on the diesel engine [6-13].

### 2. Experimental Setup

Biodiesel fuel derived from palm-olein (biodiesel (B100) fuel of TIS 2313-2549) was used and compared with the results of commercial grade diesel (conventional diesel (B4-5)) fuel. Biodiesel and diesel fuel were used in the present research to generate particulate matter emitted from the diffusion flame combustion of lamp which the lamp energy consumption of approximately 0.24 g/s. The diesel and biodiesel particle emissions were investigated the primary and accumulated particle size by using a scanning electron microscopy (FE-SEM: Hitachi S-4700).

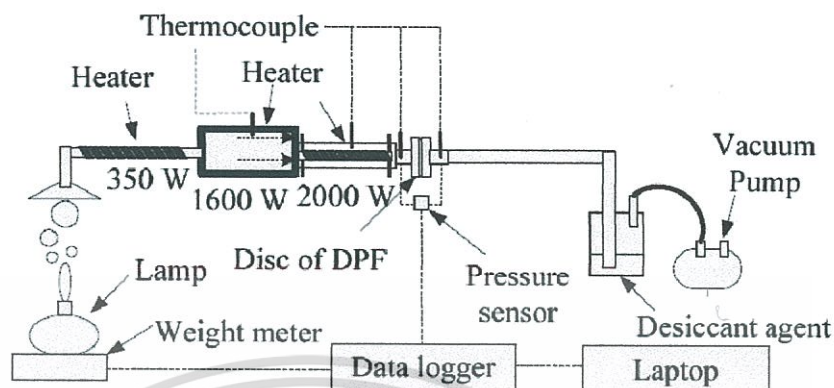


Figure 1. Experimental setup for diesel and biodiesel particulate matters (PMs) trapping and oxidation processes inside the diesel particulate filter (DPF).

Figure 1 shows a schematic diagram of the experimental set up for diesel and biodiesel PMs trapping and oxidation (DPF regeneration process) processes inside a diesel particulate filter (DPF). The wall flow DPF, made of ceramic material (cordierite), was cut into cross section of  $4.5 \times 4.5 \text{ mm}^2$  and thickness of 5 mm. A disc of DPF wall was installed in to the exhaust pipe, which was controlled the constant temperature of approximately  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  by electric heater. The velocity of inlet gas traveling through a disc of DPF wall was fixed at approximately 2.46 cm/s. The particulate matters emitted from the diesel and biodiesel diffusion flame were introduced into the exhaust pipe by using a vacuum pump, which were controlled the constant gas flow and constant temperature based on the actual vehicle condition. The constant rate of the energy consumption was also controlled by the fuel consumption rate.

During trapping process, pressure drop between inlet and outlet of DPF sample was real time measured by using a pressure sensor to study the quantities of diesel and biodiesel PMs. During regeneration process, after the lamp was stopped, a high temperature working gas was produced by electric heater was used to regenerate the disc of DPF. The inlet temperature of approximately  $550\text{-}560 \text{ }^\circ\text{C}$  and an oxygen concentration of approximately 21 % were used for the present research experimental setup.

The conventional DPF without catalyst was used in the present study. The porosity of DPF wall is approximately 52 %, cell density of 300 cell per square inch (cpsi) and wall thickness of 1.2 mm.

Figure 2 shows a SEM image of DPF wall surface's microstructure. The micro-structural pores of the wall were about 10 to 50 microns, as shown at the black color of DPF's surface. At the beginning of trapping process, the particulates will be collected inside such micro-structural pores. After the surface pore filled up, soot cake will be growth with time.

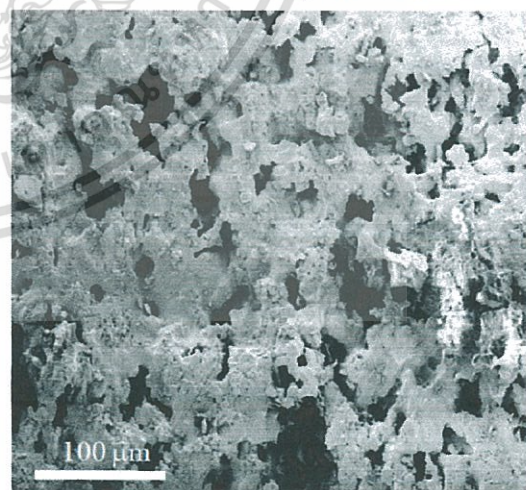


Figure 2. SEM image of the conventional DPF wall surface's porous structure.

### 3. Results and Discussions

#### 3.1 Structure of diesel and biodiesel PMs

Figure 3 shows biodiesel and diesel diffusion flames image by Schlieren method. The core of biodiesel diffusion flame was lighter than that of diesel, where particle emissions are formed at the center of diffusion flame. The low PMs of biodiesel flame could be considered that biodiesel have oxygen atoms inside an oxygenated fuel molecule might promote more complete combustion.

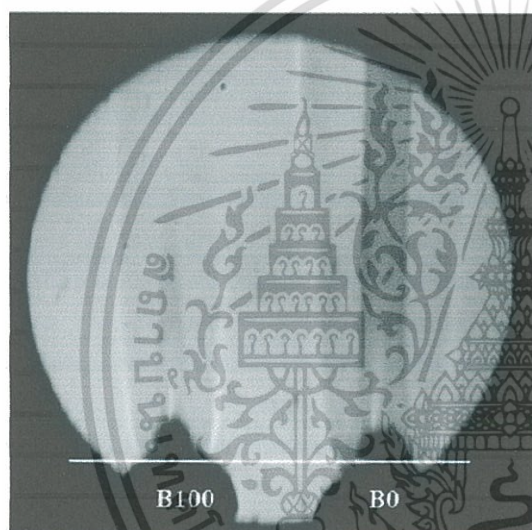


Figure 3. Images of biodiesel (B100) and diesel (B0) diffusion flame by Schlieren method [9].

#### 3.2 Size of diesel and biodiesel PMs

Figure 4 shows SEM images of (a) diesel PMs and (b) biodiesel PMs that captured by paper filter after passing in the exhaust pipe without DPF, in few seconds. The agglomerated size of biodiesel PMs was smaller than that of diesel. The normalized of diesel and biodiesel PMs size distributions were estimated from 100 particles. The average agglomerated particles size of biodiesel were approximately 200-240 nm and diesel were 240-280 nm which were shown in Fig.5.

Figure 6 shows SEM images (a) diesel PMs and (b) biodiesel primary particle of PMs collected from exhaust gases by metal net. It was clearly observed that the primary size of biodiesel PMs was smaller than that of diesel. The normalized size distribution of diesel and biodiesel PMs were estimated from 100 particles. The average primary particles size of biodiesel were 30-40 nm and diesel were 50-60 nm which were shown in Fig.7. The size of agglomerated and primary particles might be strongly related to electrostatics forces, drag and Brownian forces [6-7] which should be study more details in the next step.

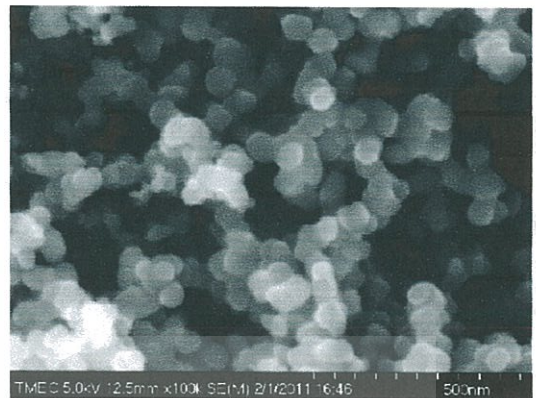
#### 3.3 Trapping and regeneration processes

Figure 8 shows the comparison of pressure drop during the trapping process at the same energy consumption. During trapping process, pressure drop of DPF wall during diesel PMs trapping was approximately two times higher than that of biodiesel due to bio-oxygenated fuel of biodiesel can promote more complete combustion. This is the main important and advantage point of biodiesel for reduction of particle emissions in the conventional ground vehicle application.

Figure 9 shows comparison of pressure drop of diesel and biodiesel PMs with time, during DPF regeneration process or PMs oxidation process. Pressure drop of DPF wall during biodiesel PMs oxidation was approximately two times faster than that of diesel. First, it might be expected that biodiesel PMs agglomerated size smaller than diesel which biodiesel can be easier to oxidize than diesel particulate matter. Second, oxygen atom included inside unburned biodiesel fuel molecule promoted low apparent activation energy of PMs oxidation [14] and some reason is effective from exothermic reaction of different PMs sources which should be studied in more details in next step.



(a) Diesel PMs



(a) Diesel PMs



(b) Biodiesel PMs



(b) Biodiesel PMs

Figure 4. SEM images of (a) diesel and (b) biodiesel agglomerate particle or fine particle.

Figure 6. SEM images of (a) diesel and (b) biodiesel primary particle or ultrafine particle.

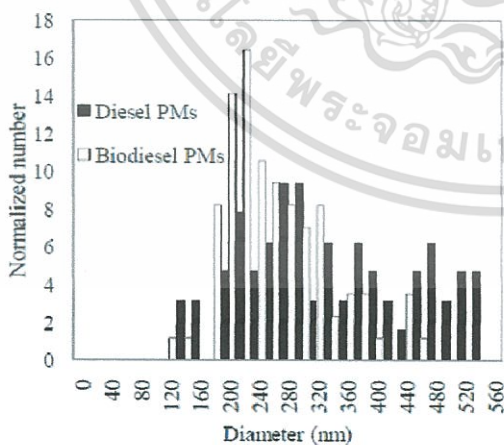


Figure 5. Agglomerated size distributions of biodiesel and diesel PMs by SEM images as shown in Fig.4.

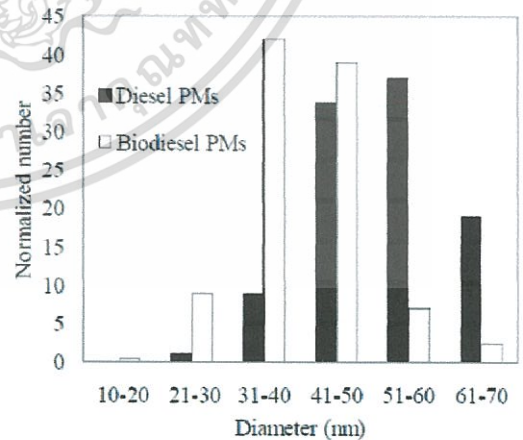


Figure 7. Primary size distributions of biodiesel and diesel PMs by SEM images as shown in Fig. 6.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

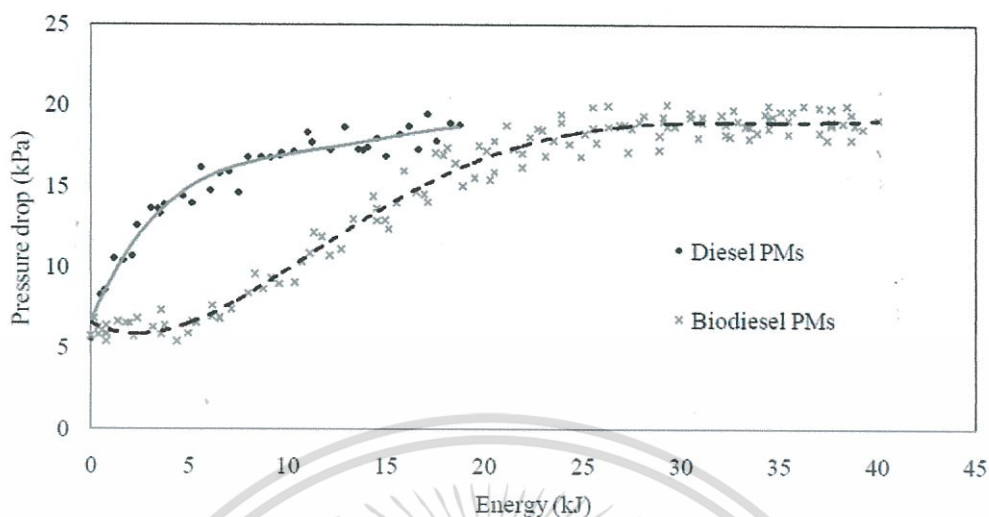


Figure 8. Comparison of pressure drops of diesel and biodiesel PMs with respect to the energy consumptions during trapping process in temperature of 200 °C.

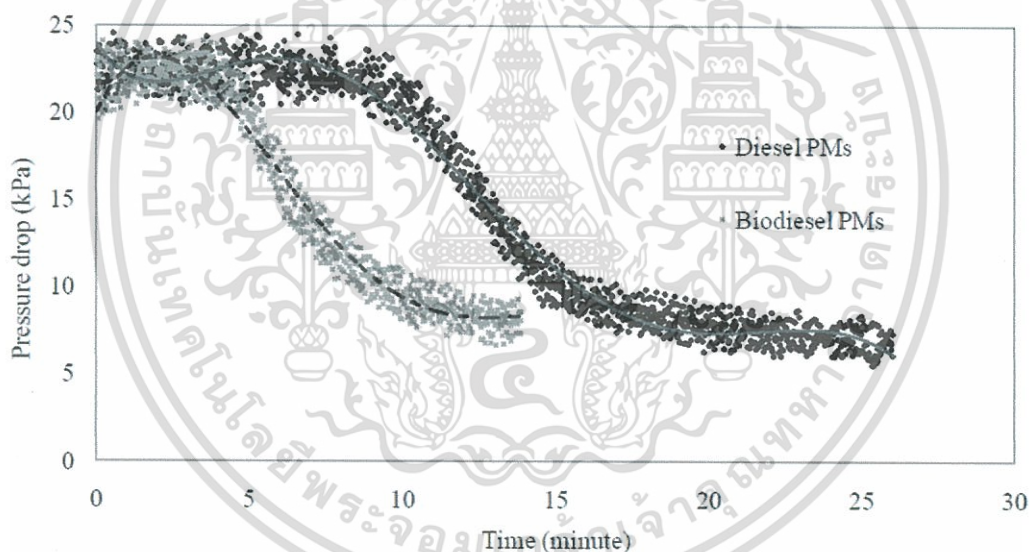


Figure 9. Comparison of pressure drops of diesel and biodiesel PMs with respect to time during regeneration process in temperature of 550-560 °C.

#### 4. Conclusion

The primary and agglomerate particle size of diesel PMs is larger than that of biodiesel due to the lower concentration of biodiesel carbon elements. The biodiesel carbon elements are readily oxidized with more available oxygen, in combustion flame due to biodiesel is the

oxygenated fuel so oxygen molecules in biodiesel can promote complete combustion. During trapping process, the quantity of biodiesel PMs emitted from diffusion flame was approximately two times lower than that of diesel. Therefore, the conventional diesel particulate filters can be used for about two times.

During regeneration process, biodiesel PMs is approximately two times oxidized faster than diesel particulate matter. It might be expected that biodiesel have oxygen atom included inside unburned biodiesel fuel molecule promoted more complete combustion.

The report successfully described useful information of diesel and biodiesel PMs trapping and oxidation behaviors for better understanding and future design of DPF configuration for diesel and biodiesel blends engine application in Thailand and Asian countries

## 5. ACKNOWLEDGMENTS

The authors gratefully acknowledge the financial support from The Energy Policy and Planning Office (EPPO), Ministry of Energy (Thailand). The authors are grateful to Tokyo Institute of Technology (Japan) for the DPF samples support.

## REFERENCES

[1] J.B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamental, McGraw-Hill series in mechanical engineering*, Singapore, 1998.

[2] O.I. Smith, Fundamentals of soot formation in flames with application to diesel engine particulate emissions. *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 7, pp.275-291, 1981.

[3] M.M. Maricq, Review Chemical Characterization of particulate emissions from diesel engine: *A review, Journal of Aerosol Science*, Vol.38, pp.1079-1118, 2007.

[4] D.B. Kittelson, Engines and nanoparticles: *A review, Journal of Aerosol Science*, Vol.29, pp.575-588, 1998.

[5] P. Karin, P. and K. Hanamura, Particulate Matter Trapping and Oxidation on Catalyst-Membrane, *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, SAE International, Vol.3, No.1, pp.368-379, 2010.

[6] P. Karin, and K. Hanamura, Particulate Matter Trapping and Oxidation on a Diesel Particulate Filter, *The First TSME International Conference on Mechanical Engineering*, 20-22 October, Ubon Ratchatani-Thailand, 2010.

[7] H. Oki, P. Karin, and K. Hanamura, Visualization of Oxidation of Soot Nanoparticles Trapped on a Diesel Particulate Membrane Filter, *SAE International Journal of Engine*, SAE International, 2011-01-0602, 2010.

[8] S. Laosuwan, P. Karin and C. Charoenponpanich, "Study on Diesel and Biodiesel Particulate Matter Trapping inside a Diesel Particulate Filter", *The 7th International Conference of Automotive Engineer (ICAE-7)*, TSAE, 28-29 March, Bangkok-Thailand, 2011.

[9] S. Laosuwan, P. Karin and C. Charoenponpanich, "Thermo-gravimetric Analysis of Biodiesel Diffusion Flame's Particulate Matter", *The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering (The 2nd TSME-ICoME)*, 19-21 October, Krabi-Thailand, 2011.

[10] Y. Songsaengchan, C. Chareonphonphanich, P. Karin, N. Chollacoop, M. Thongroon, K. Hanamura, "Physical Characterization of Biodiesel Particulate Matter by STEM", *The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering (The 2nd TSME-ICoME)*, 19-21 October, Krabi-Thailand, 2011.

[11] P.Karin, K. Hanamura and C. Chareonphonphanich, "Nanostructures and Oxidation Kinetics of Diesel Particulate Matters", *The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering (The 2nd TSME-ICoME)*, 19-21 October, Krabi-Thailand, 2011.

[12] S. Laosuwan, P. Karin, C. Chareonphonphanich and K. Hanamura, "Oxidation Kinetics of Biodiesel Particulate Matters by Using Thermogravimetric Analysis", *2012 JSAE Annual Congress (Spring)*, JSAE, 23-25 May, Yokohama-Japan, 2012.

[13] Y. Songsaengchan, M. Thongroon, P. Karin, N. Chollacoop, C. Chareonphonphanich and K. Hanamura, "Nanostructure Investigation of Biodiesel Particulate Matter", *2012 JSAE Annual Congress (Spring)*, JSAE, 23-25 May, Yokohama-Japan, 2012.

[14] P. Karin, Y. Songsaengchan, S. Laosuwan and C. Chareonphonphanich, "Nanostructure of Renewable Oxygenated Fuels Particulate Matter", *The 4<sup>th</sup> AUN/SEED-Net RC MeAe 2012*, 10-11 Jan, HCMUT Vietnam, 2012.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ศัพท์บัญญัติราชบัณฑิตยสถาน

พบข้อมูลตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดจำนวน ๑ ระเบียบ

ศัพท์	ศัพท์บัญญัติ	สาขาวิชา : ปรับปรุง
particulate filtration	การกรองละอองธุลี	ปรับอากาศ ๗ มี.ค. ๒๕๔๕
ก่อนนำไปใช้ โปรดตรวจสอบกับ เอกสารหรือหนังสืออีกครั้ง		

Particulate Matter : สารละอองธุลี

### ศัพท์บัญญัติราชบัณฑิตยสถาน

พบข้อมูลตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดจำนวน ๑ ระเบียบ

ศัพท์	ศัพท์บัญญัติ	สาขาวิชา : ปรับปรุง
scanning rate	อัตราการกวาดตรวจ	คอมพิวเตอร์ ๑๔ มี.ย. ๒๕๔๔
ก่อนนำไปใช้ โปรดตรวจสอบกับ เอกสารหรือหนังสืออีกครั้ง		

Scanning Electron Microscope : กล้องจุลทรรศน์แบบกวาดตรวจ

### ศัพท์บัญญัติราชบัณฑิตยสถาน

พบข้อมูลตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดจำนวน ๑ ระเบียบ

ศัพท์	ศัพท์บัญญัติ	สาขาวิชา : ปรับปรุง
ash	๑. เถ้า ๒. เถ้าธุลีสูงเขาไฟ	ธรณีวิทยา ๑๕ มี.ค. ๒๕๔๖
ก่อนนำไปใช้ โปรดตรวจสอบกับ เอกสารหรือหนังสืออีกครั้ง		

Metallic Ash : เถ้าโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล ว่าที่ร้อยตรี ทรงธรรม เหล่าสุวรรณ  
วัน เดือน ปีเกิด 1 กันยายน 2525 ที่อุดรธานี  
ที่อยู่ 26 แยก 16 ซอยรามคำแหง 166 ถนนรามคำแหง แขวงมีนบุรี เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร 10510

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2544-2548

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ. วิศวกรรมเครื่องกล)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติจังหวัดสกลนคร

พ.ศ. 2552-2556

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม. วิศวกรรมเครื่องกล)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ทุนวิจัย

พ.ศ. 2554-2556

กองทุนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผน (EPPO)

กระทรวงพลังงานสำหรับการให้ทุนอุดหนุนการวิจัยระดับอุดมศึกษา

(แผนเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน)

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. S. Laosuwan, P. Karin and C. Charoenpompanich, "Study on Diesel and Biodiesel Particulate Matter Trapping inside a Diesel Particulate Filter", The 7<sup>th</sup> International Conference of Automotive Engineer (ICAE-7), TSAE, 28-29 March, Bangkok-Thailand, 2011.
2. S. Laosuwan, P. Karin and C. Charoenpompanich, "Thermo-gravimetric Analysis of Biodiesel Diffusion Flame's Particulate Matter", Second TSME International Conference on Mechanical Engineering (2<sup>nd</sup> TSME-ICoME), 19-21 October, Krabi-Thailand, 2011.
3. P. Karin, Y. Songsaengchan, S. Laosuwan and C. Chareonphonphanich, "Nanostructure of Renewable Oxygenated Fuels Particulate Matter", The 4<sup>th</sup> AUN/SEED-Net RC MeAe 2012, Jan10-11 HCMUT Vietnam, 2012.
4. Y. Songsaengchan, P. Karin, S. Laosuwan and C. Chareonphonphanich, "Physical and Chemical Characterization of Bio-Oxygenated Particulate Matter", The 8<sup>th</sup> International Conference of Automotive Engineer (ICAE-8), TSAE, 2-6 April, Bangkok-Thailand, 2012.
5. ทรงธรรม เหล่าสุวรรณ, ปรีชา การินทร์ และ จินดา เจริญพรพาณิชย์, จลนพลศาสตร์เคมีของการออกซิโดสล์มลพิษอนุภาคจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซล, การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8, AP-34, จังหวัด มหาสารคาม วันที่ 2-4 พฤษภาคม พ.ศ. 2555.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูถาดเินหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน (ต่อ)

6. S. Laosuwan, P. Karin, C. Chareonphonphanich and K. Hanamura, "Oxidation Kinetics of Biodiesel Particulate Matters by Using Thermogravimetric Analysis", 2012 JSAE Annual Congress (Spring), JSAE, 23-25 May, Yokohama-Japan, 2012.
7. S. Laosuwan, P. Karin, C. Chareonphonphanich and K. Hanamura, "Investigation of Biodiesel Diffusion Flame Particulate Matters", The 2<sup>nd</sup> International Conference on Automotive Technology, Engine and Alternative Fuels, Dec4-5, HCMUT Vietnam, 2012
8. P. Karin, Y. Songsaengchan, S. Laosuwan, C. Charoenphonphanich, N. Chollacoop and K. Hanamura. Nanostructure of Renewable Oxygenated Fuels Particulate Matter. ASEAN Engineering Journal, AUN/SEET-Net, Part A: Vol.1, No.1.
9. P. Karin, Y. Songsaengchan, S. Laosuwan, C. Charoenphonphanich, N.Chollacoop, K. Hanamura. Nanostructure Investigation of Particle Emission by Using TEM Image Processing Method. 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, Ubon ratchathani, Thailand, December 5-8. 2012
10. P. Karin, Y. Songsaengchan, S. Laosuwan, C. Charoenphonphanich, N. Chollacoop and K. Hanamura. . Nanostructure Investigation of Particle Emission by Using TEM Image Processing Method. Energy Procedia, Elsevier; 2013 (In Progress).
11. P. Karin, Y. Songsaengchan, S. Laosuwan, C. Charoenphonphanich, N. Chollacoop and K. Hanamura. Chemical Characterization of Biodiesel Particle Emission. Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology. Bangkok, February 12 – 13, 2013