



การศึกษาการผลิตและการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติก
ในเครื่องยนต์ดีเซล



ชุมสันติ แสันทวีสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอู่บลราชธานี
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอู่บลราชธานี



STUDY PRODUCTION AND USE WASTE PLASTIC OIL
IN DIESEL ENGINE

CHUMSUNTI SANTAWEESUK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
MAJOR IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2016
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การศึกษาการผลิตและการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกในเครื่องยนต์ดีเซล

ผู้วิจัย นายชุมสันติ แสนทวีสุข

คณะกรรมการสอบ

รองศาสตราจารย์ ดร.รัชพล สันติวารากร	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำไพศักดิ์ ทิบุญมา	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2559

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง “การศึกษาการผลิตและการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกในเครื่องยนต์ดีเซล” สำเร็จลุล่วงไปด้วยความอนุเคราะห์และความเมตตากรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.รัชพล สันติวรกร ประธานกรรมการสอบ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำไพศักดิ์ ทีบุญมา กรรมการสอบ ผู้ศึกษาใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่สนับสนุนทุนในการศึกษา เทศบาลเมืองวารินชำราบ อำเภовารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ที่สนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ในการทดลอง แผนกวิชาเครื่องกล วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัวอันเป็นที่รัก พี่น้องชาวคณะ วิศวกรรมศาสตร์ และตลอดจนผู้มีพระคุณที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ไม่สามารถกล่าวได้หมด ผู้ศึกษารู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและกำลังใจอันดีเยี่ยมจากทุกท่าน จึงขอกราบขอบพระคุณ ณ โอกาสนี้

ชุมสันติ แสนทวีสุข
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : การศึกษาการผลิตและการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกในเครื่องยนต์ดีเซล
 ผู้วิจัย : ชุมสันติ แสันทวีสุข
 ชื่อปริญญา : ปรัชญาคุณภักดิ์
 สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
 อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์
 คำสำคัญ : น้ำมันจากขยะพลาสติก, เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัด, ไฟโลโรซิส, หลุมฝังกลบขยะเทศบาล

วิทยานิพนธ์ เรื่องการศึกษาการผลิตและการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกในเครื่องยนต์ดีเซล ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกให้ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล โดยศึกษาการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกในบ่อฝังกลบ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย เทศบาลเมืองวารินชำราบ อำเภовารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์การไฟโลโรซิสแบบไม่ต่อเนื่อง ระดับห้องปฏิบัติการ ขนาด 5 กิโลกรัม พลาสติกต่อรอบการผลิต ทดสอบสมบัติทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้เทียบกับน้ำมันดีเซลทั่วไป ทดสอบสมรรถนะและการปล่อยก๊าซไอเสีย CO/CO₂/NO_x/HC ของเครื่องยนต์เทียบกับน้ำมันดีเซลทั่วไป โดยใช้เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัด ยี่ห่อคูโบต้า ขนาด 14 แรงม้า แบบฉีดตรง 1 สูบ เป็นเครื่องยนต์ในการทดสอบ และมีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขยะพลาสติกแต่ละชนิดมีส่วนใกล้เคียงกัน อุปกรณ์ที่ใช้เหมาะสมกับกระบวนการไฟโลโรซิส แบบ Conventional โดยสามารถเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ร้อยละ 66-72 และพบน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกที่ผลิตได้เมื่อนำไปกลั่นแยกด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่า 250°C จะมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไป การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกจะได้น้ำมันเฉลี่ย 4.5 ลิตรต่อครั้ง ราคาน้ำมันจากขยะพลาสติกเฉลี่ยต่อลิตรที่ 30.74 บาท

การทดสอบเครื่องยนต์ที่ค่าแรงบิดสูงสุด อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าน้ำมันจากพลาสติก ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลต่ำกว่าน้ำมันจากขยะพลาสติก อุณหภูมิก๊าซไอเสียโดยเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกจะสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล การปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล การทดสอบเครื่องยนต์ที่กำลังงานสูงสุด พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าน้ำมันจากพลาสติก ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าน้ำมันจากขยะพลาสติก อุณหภูมิก๊าซไอเสียโดยเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกจะสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล การปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล การเพิ่มแรงดันหัวฉีดสามารถช่วยให้มลพิษของไอเสียจากการใช้น้ำมันจากพลาสติกลดลงได้

ABSTRACT

TITLE : STUDY PRODUCTION AND USE WASTE PLASTIC OIL
IN DIESEL ENGINE

AUTHOR : CHUMSUNTI SANTAWEESUK

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : MECHANICAL ENGINEERING

ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR ADUN JANYALERTADUN, PhD

KEYWORDS : WASTE PLASTIC, CI ENGINE, PYROLYSIS, MUNICIPAL LANDFILL

This research aimed to study the production of liquid fuel to replace diesel fuel from the conversion of waste plastic from landfill. The waste disposal unit at Warinchamrab Municipality in Ubon Ratchathani was designed and constructed as a non-continuous pyrolysis process which achieved a production capacity of 5 kg of plastic per production cycle. Other study objectives included a comparison of the characteristics of chemical fuel and diesel fuel, and a study of the engine performances and exhaust gas emissions of CO/CO₂/NO_x/HC comparable to those of diesel engines by the use of a CI engine, a KUBOTA 14 HP direct injection engine, and a single cylinder engine. It was found that the equipment used for this experiment was suitable for conventional pyrolysis, and test results revealed that 66 to 72% of the waste plastic became liquid fuel. The characteristics of the fuel from the waste plastic were comparable to those of diesel fuel. The average amount of fuel produced from the waste plastic was 4.5 liters per time, and the average price of this fuel was 30.74 baht per liter. It was found that the maximum torque engine which had brake-specific fuel consumption using diesel fuel had higher brake-specific fuel consumption and lower brake thermal efficiency than the engine using fuel from waste plastic. The average temperature of the exhaust gases of the waste plastic fuel engine was higher than that of the engine using diesel, and the exhaust gas emissions of the engine using waste plastic fuel were higher than those of the engine using diesel. The experimental test of maximum power engine showed that the rate of brake-specific fuel consumption of the engine using diesel fuel had a lower average than waste plastic fuel engine. The brake thermal efficiency of the engine using diesel was higher than the waste plastic fuel engine, and the average temperature of the exhaust of the engine using fuel from waste plastic was higher than when using diesel. The exhaust gas emissions of the engine using waste plastic

fuel were higher than the engine using diesel. The nozzle pressure allowed a reduction of exhaust gas emission from the engine using waste plastic fuel.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษาวิทยานิพนธ์	3
1.5 ประโยชน์ของงานวิจัย	3
บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ปีโตรเลียม	4
2.2 การกลั่นน้ำมันดิบ	5
2.3 กระบวนการไพโรไลซิส	10
2.4 พลาสติก	13
2.5 การทดสอบเครื่องยนต์	18
2.6 การวิเคราะห์หาคัดคุมทุน	28
บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
3.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้พลังงานทดแทนเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์	31
3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการผลิตและการใช้เชื้อเพลิงจากกระบวนการไพโรไลซิส	34
3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการไพโรไลซิสพลาสติก	40
3.4 งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์	42
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ	
4.1 ออกแบบและสร้างชุดไพโรไลซิสขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน	54
4.2 การผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกเพื่อใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์	65
4.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิง	68
4.4 อุปกรณ์ในการทดสอบการใช้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัด	73
4.5 การทดสอบเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัด	77
4.6 การวิเคราะห์หาคัดคุมทุน	78

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	
5.1 การผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก	79
5.2 การทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกที่ค่าแรงบิดสูงสุด	87
5.3 การทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกที่ค่ากำลังงานสูงสุด	93
5.4 การทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกที่แรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน	99
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	
6.1 สรุปผลการศึกษาการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก	103
6.2 ข้อเสนอแนะ	104
เอกสารอ้างอิง	105
ภาคผนวก	111
ประวัติผู้วิจัย	133

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันดิบ	7
2.2	สมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน	7
2.3	สภาวะของกระบวนการไพโรไลซิสแบบต่าง ๆ	10
3.1	สรุปรงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้พลังงานทดแทนเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์	48
3.2	สรุปรงานวิจัยที่เกี่ยวกับการผลิตและการใช้น้ำมันจากกระบวนการไพโรไลซิส	50
3.3	สรุปรงานวิจัยที่เกี่ยวกับการไพโรไลซิสพลาสติก	51
3.4	สรุปรงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์	52
4.1	Interpolate หาค่า c เฉลี่ย	56
4.2	สมบัติของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ	74
4.3	สมบัติของเครื่องวิเคราะห์ไอเสีย HM5000 4/5 Gas Analyzer	75
5.1	สมบัติของเชื้อเพลิงเหลวจากขยะพลาสติกเทียบกับน้ำมันดีเซล	83
5.2	รายการต้นทุนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก	86
ข.1	ผลการไพโรไลซิสพลาสติก PP	115
ข.2	ผลการไพโรไลซิสพลาสติก LDPE	116
ข.3	ผลการไพโรไลซิสพลาสติก HDPE	117
ข.4	ผลการไพโรไลซิสพลาสติกผสม	118
ข.5	ผลการทดสอบกำลังงานและการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที	119
ข.6	ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที	120
ข.7	ผลการทดสอบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที	121
ข.8	ผลการทดสอบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดรออกไซด์ของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที	122
ข.9	ผลการทดสอบปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที	123
ข.10	ผลการทดสอบอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที	124
ข.11	ผลการทดสอบปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที	125
ข.12	ผลการทดสอบกำลังงานและการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที	126

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.13	ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที	127
ข.14	ผลการทดสอบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที	128
ข.15	ผลการทดสอบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที	129
ข.16	ผลการทดสอบปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที	130
ข.17	ผลการทดสอบอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที	131
ข.18	ผลการทดสอบปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที	132

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ผังแสดงกรรมวิธีการกลั่นน้ำมันและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่น	6
2.2	สัญลักษณ์สำหรับพลาสติกกรีไซเคิล	16
2.3	กลไกการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ	24
2.4	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ HC, CO และ NO ในไอเสียของเครื่องยนต์	26
2.5	กลไกการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง	27
2.6	ตัวอย่างแผนภูมิการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	30
3.1	ไดอะแกรมการจัดสิ่งปลอมปนและการกลั่นน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	36
3.2	ไดอะแกรมการทดสอบเครื่องยนต์เบนซินของ Orhan Arpa	37
3.3	ไดอะแกรมการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลของ Orhan Arpa	37
3.4	ผังลำดับขั้นการไฟโพลีโรซีของรถยนต์เก่าของ S.Murugana	38
3.5	ผังลำดับขั้นการกลั่นน้ำมันที่ได้จากการไฟโพลีโรซีของรถยนต์เก่าของ S.Murugana	38
3.6	อุปกรณ์การไฟโพลีโรซีของ S.Murugana	39
3.7	ไดอะแกรมการทดสอบเครื่องยนต์ของ S.Murugana	39
3.8	ไดอะแกรมการไฟโพลีโรซีของ Cumali Ilkilic	40
3.9	ผังการทดสอบเครื่องยนต์ของ Cumali Ilkilic	40
3.10	ผังการทดสอบเครื่องยนต์ของ M.Mani	44
3.11	ผังการทดสอบเครื่องยนต์ของ Pouya Mohammadi	44
3.12	ผังกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลสังเคราะห์	46
3.13	ผังการทดสอบเครื่องยนต์ของ คณิต วัฒนวิเชียร	46
4.1	หน้าตัดของสายพานลิ้มมาตรฐาน	56
4.2	ค่าขนาดมาตรฐานของสายพานรูปลิ้มใช้แบบ A	56
4.3	แบบชุดไฟโพลีโรซีน้ำมันจากขยะพลาสติก	62
4.4	ภาพหน้าตัดแบบชุดไฟโพลีโรซีน้ำมันจากขยะพลาสติก	63
4.5	ถังปฏิกรณ์ไฟโพลีโรซีส ฝาถังปฏิกรณ์และการติดตั้งหัวน็อตยึดฝา	63
4.6	ฝาครอบถังด้านบนและฝาครอบถังด้านล่าง	63
4.7	หัวเตาแก๊สเหล็กแรงดันสูง ขนาดปริมาณความร้อน 25 kw.	64
4.8	ถังเก็บน้ำมันและถังดักแก๊สที่หลีกเลี่ยงการควบแน่น	64
4.9	ชุดไฟโพลีโรซีน้ำมันจากขยะพลาสติกขนาด 5 กิโลกรัมพลาสติก	64
4.10	พลาสติกที่ล้างสะอาดซึ่งให้ได้ 5 kg ด้วยเครื่องดีจิตอล	66
4.11	บรรจุพลาสติกจำนวน 5 kg เข้าไปในเตาปฏิกรณ์	66
4.12	เติมน้ำในถังหล่อเย็นประมาณ 200 ลิตรและเติมน้ำในถังดักแก๊สประมาณ 5 ลิตร	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.13	จุดไฟหัวแก๊สเพื่อให้ความร้อนแก่ถังปฏิกรณ์และปรับตู้ควบคุม	66
4.14	น้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสที่ช่วงอุณหภูมิ 250-400 องศาเซลเซียส	67
4.15	ชุดหอกลั่นลำดับส่วน	67
4.16	น้ำมันที่ได้จากการกลั่นช่วงอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส	67
4.17	ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์หาจุดวาบไฟและจุดติดไฟ	68
4.18	อุปกรณ์วิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะ	69
4.19	เครื่อง Automatic Bomb Calorimeter	70
4.20	อุปกรณ์วิเคราะห์อุณหภูมิการกลั่น	71
4.21	Nomograph for Calculated Cetane index	72
4.22	อุปกรณ์วิเคราะห์ค่าความหนืด	72
4.23	ไดอะแกรมการทดสอบเครื่องยนต์	73
4.24	เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดยี่ห้อคูโบต้ารุ่น RT140 ที่ใช้ในการทดสอบ	73
4.25	อุปกรณ์วัดรอบการทำงานของเครื่องยนต์	74
4.26	เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ HIOKI รุ่น 8421-51	74
4.27	เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย	75
4.28	กระเปาะวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	75
4.29	ชุดแผงไฟสำหรับเป็นภาระโหลดให้กับไดนาโมมิเตอร์	76
4.30	โวลต์มิเตอร์สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าของไดนาโมมิเตอร์	76
4.31	แอมป์มิเตอร์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าของไดนาโมมิเตอร์	76
5.1	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสพลาสติก	80
5.2	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิในเตาปฏิกรณ์กับเวลาในการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก	81
5.3	ความสัมพันธ์ของปริมาณเชื้อเพลิงเหลวกับเวลาในการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก	81
5.4	สัดส่วนของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการกลั่นน้ำมันในช่วงอุณหภูมิการกลั่นต่าง ๆ	82
5.5	แผนภูมิจุดคุ้มทุนในการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก	86
5.6	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ค่าแรงบิดสูงสุด	87
5.7	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกที่ค่าแรงบิดสูงสุด	88
5.8	อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ค่าแรงบิดสูงสุด	89
5.9	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) ที่ค่าแรงบิดสูงสุด	90
5.10	ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ที่ค่าแรงบิดสูงสุด	91
5.11	ปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่ค่าแรงบิดสูงสุด	92

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
5.12	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) ที่ค่ากำลังงานสูงสุด	93
5.13	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกที่ค่ากำลังงานสูงสุด	94
5.14	อุณหภูมิไอเสียที่ค่ากำลังงานสูงสุด	95
5.15	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) ที่ค่ากำลังงานสูงสุด	96
5.16	ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO _x) ที่ค่ากำลังงานสูงสุด	97
5.17	ปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) ที่ค่ากำลังงานสูงสุด	98
5.18	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ค่าแรงดันหัวฉีดต่างกัน	99
5.19	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่แรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน	100
5.20	อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่แรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน	101
5.21	ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่แรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน	101
5.22	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่แรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน	102
5.23	ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่แรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน	102

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันปัญหาขยะพลาสติกมีการเพิ่มปริมาณมากขึ้นอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นในอนาคต ก่อให้เกิดปัญหาหลายอย่างตามมา เพราะพลาสติกไม่ย่อยสลายทางชีวภาพ ไม่กลับสู่ธรรมชาติ แม้จะแตกสลายมีขนาดเล็กลง แต่ยังคงใช้เวลาในการย่อยสลาย รวมทั้งเศษที่เหลืออยู่ยังเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ซึ่งถ้าจะกำจัดด้วยการเผาหรือฝังกลบก็จะก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อม ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ได้ร่วมเป็นที่ปรึกษา ของเทศบาลเมืองวารินชำราบ ในโครงการต่าง ๆ โดยเฉพาะการจัดการขยะมูลฝอยให้เกิดประโยชน์ในด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เทศบาลเมืองวารินชำราบ ได้ดำเนินการก่อสร้างระบบกำจัดขยะมูลฝอย ระยะที่ 1 ในปี 2540-2542 ระยะที่ 2 ในปี 2549 และระยะที่ 3 ในปี 2551 โดยก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยและเปิดให้บริการ ดำเนินการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) มาอย่างต่อเนื่องและได้มีหน่วยงานราชการส่วนท้องถิ่นและผู้ประกอบการค้าเอกชนมาใช้บริการร่วมด้วย โดยในปี 2549-2553 ปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มมากขึ้นเท่าตัว จากการจัดเก็บข้อมูลชั่งน้ำหนักขยะมูลฝอยที่ได้ดำเนินการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล 3 ปีย้อนหลัง พบว่ามีปริมาณน้ำหนักขยะมูลฝอยเฉลี่ย ประมาณ 134-136 ตันต่อวัน จากการที่ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์องค์ประกอบขยะพบว่า ส่วนใหญ่มักเป็นขยะอินทรีย์ เศษอาหาร ร้อยละ 40 ขยะพวกบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ เศษพลาสติกร้อยละ 16 ขวดแก้วร้อยละ 13 โฟมร้อยละ 2 ยางและหนังร้อยละ 2 เศษผ้าร้อยละ 4 เศษกระดาษร้อยละ 6 โลหะและอลูมิเนียมร้อยละ 1 และอื่น ๆ อีกร้อยละ 16 เป็นต้น [1] โดยส่วนใหญ่เป็นทั้งขยะมูลฝอยที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติและขยะมูลฝอยที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ การกำจัดขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลเหล่านี้ เทศบาลเมืองวารินชำราบ เป็นหน่วยงานที่ดูแลรับผิดชอบในการฝังกลบขยะมูลฝอย ได้จัดทำกิจกรรมนำร่องในการลดปริมาณขยะโดยการคัดแยกขยะอินทรีย์นำไปทำปุ๋ยหมัก การคัดแยกขยะพลาสติกมาแปรรูปหลอมเม็ด การคัดแยกขยะรีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ซึ่งสามารถลดปริมาณขยะในการฝังกลบขยะได้ นอกจากนี้ภายในบ่อฝังกลบได้วางระบบระบายก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปใช้ก๊าซเชื้อเพลิงได้อีก ในปีงบประมาณ 2551 ได้รับงบประมาณในการก่อสร้างโรงงานแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันโดยการรื้อบ่อฝังกลบที่เต็มแล้วมาคัดแยกขยะพลาสติกนำไปแปรรูปเป็นน้ำมัน จะช่วยให้สามารถหมุนเวียนนำบ่อฝังกลบมาใช้ได้อีก เพราะพื้นที่ในการรองรับขยะมูลฝอยจะไม่เพียงพอในอนาคต ยังช่วยลดปริมาณขยะมูลฝอยที่ต้องนำไป ฝังกลบและมีวัตถุประสงค์เป็นขยะพลาสติกในการป้อนโรงงานเพื่อผลิตเป็นน้ำมัน รวมทั้งเพื่อเป็นการป้องกันปัญหาอันอาจเกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของท้องถิ่น ทางศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มีแนวคิดว่าหากมีการศึกษาวิจัย โดยน้ำมันที่ได้มาผ่านกระบวนการวิเคราะห์ทางเคมี (Chemical Analysis) และกระบวนการกลั่นที่ได้

มาตรฐาน (Distillation) แล้วจะสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ทั่วไป จะทำให้เกิดประโยชน์ในเชิงพาณิชย์และมีผลทางด้านบวกต่อสังคมได้มากขึ้น ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงสนใจการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยสามารถแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน เพื่อใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงในรูปแบบการผลิตเป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะ หรือเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนประเภทอื่นอีกด้วย ในปี พ.ศ.2553 หลุมฝังกลบของเทศบาลเมืองวารินชำราบมีขยะที่ต้องฝังกลบประมาณ 125-130 ตันต่อวัน ในจำนวนนี้เป็นขยะพลาสติก 16.5% หรือ ประมาณ 21.45 ตัน ขยะพลาสติกดังกล่าวประกอบไปด้วยพลาสติกชนิด PP และ PE [1,2] ประกอบด้วย ถุงพลาสติกประเภทถุงร้อน (PP) ถุงเหนียว (LDPE) ถุงหิ้ว (HDPE) โดยจุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้เพื่อ ศึกษาการแปรรูปขยะพลาสติกเหล่านี้เป็นเชื้อเพลิงและการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกในเครื่องยนต์ดีเซล

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกให้ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล

1.2.2 เพื่อออกแบบและสร้างชุดไพโรไลซิสขยะพลาสติก

1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสขยะพลาสติก

1.2.4 เพื่อทดสอบผลกระทบของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก

1.2.5 เพื่อศึกษาผลกระทบทางอากาศของไอเสียเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก

1.2.6 เพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกในบ่อฝังกลบ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย เทศบาลเมืองวารินชำราบ ต.เมืองศรีโค อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี

1.3.2 ออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์การไพโรไลซิสแบบไม่ต่อเนื่อง ระดับห้องปฏิบัติการ ขนาด 5 กิโลกรัมพลาสติกต่อรอบการผลิต จำนวน 1 ชุด

1.3.3 ใช้ผลผลิตจากการแปรรูปขยะพลาสติก ที่มีคุณลักษณะคล้ายน้ำมันดิบ (Light Crude Oil) มาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการกลั่นแยกเป็นน้ำมันที่ใช้ในการศึกษา

1.3.4 ทดสอบสมบัติทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้เทียบกับน้ำมันดีเซลทั่วไป โดยใช้มาตรฐานตามที่กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน กำหนดไว้ ได้แก่ ค่าความร้อน ความหนืด ความถ่วงจำเพาะ ค่าดัชนีซีเทรน จุดวาบไฟ และอุณหภูมิการกลั่น เป็นตัวเปรียบเทียบ

1.3.5 ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยทดสอบ กำลังงานของเครื่องยนต์ อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน อุณหภูมิไอเสียและการปล่อยก๊าซไอเสีย HC/NO_x/CO/CO₂ เทียบกับน้ำมันดีเซลทั่วไป

1.3.6 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ เป็นเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัด ยี่ห้อคูโบต้า ขนาด 14 แรงม้า แบบฉีดตรง 1 สูบ ระบายความร้อนด้วยน้ำ

1.3.7 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก

1.4 ขั้นตอนการศึกษาวิทยานิพนธ์

1.4.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.4.1.1 รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.1.2 รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1.4.2 สร้างชุดโพลีโรซีสขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงระดับห้องปฏิบัติการเพื่อแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

1.4.3 กลั่นแยกน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยการกลั่นแบบลำดับส่วนใช้อุณหภูมิในการแยกตามมาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิง และใช้ผลผลิตที่กลั่นได้ในช่วงอุณหภูมิที่ 250-340 °C ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันดีเซล

1.4.4 ทดสอบสมบัติของน้ำมันจากขยะพลาสติกเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลทั่วไป

1.4.5 สร้างชุดทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัด ยี่ห้อคูโบต้า ขนาด 14 แรงม้า แบบฉีดตรง 1 สูบ ระบายความร้อนด้วยน้ำ

1.4.6 ทดสอบเครื่องยนต์ในด้านสมรรถนะและมลพิษโดยใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิง

1.4.7 ปรับปรุงคุณภาพน้ำมันโดยการผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ และปรับแต่งเครื่องยนต์เพื่อให้สามารถนำน้ำมันจากขยะพลาสติกไปใช้กับเครื่องยนต์ได้อาทิเช่น หาอัตราส่วนผสมของน้ำมันที่เหมาะสม การปรับแต่งหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

1.4.8 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

1.4.9 เขียนรายงานการศึกษา

1.5 ประโยชน์ของงานวิจัย

1.5.1 ได้ทราบถึงขั้นตอนในการแปรรูปน้ำมันจากขยะพลาสติกเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซล

1.5.2 ได้ทราบถึงผลกระทบและวิธีการแก้ไขเครื่องยนต์เพื่อลดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันจากขยะพลาสติก

บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปิโตรเลียม [3]

ปิโตรเลียม เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไป เพราะปิโตรเลียมมีบทบาทที่สำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศต่าง ๆ เป็นอย่างมาก หากประเทศใดมีทรัพยากรปิโตรเลียมมาก ประเทศนั้น ๆ จะมีความมั่นคงทางเศรษฐกิจ เพราะพลังงานจากปิโตรเลียมเป็นรูปแบบพลังงานที่ช่วยการเคลื่อนที่ของมนุษย์ได้อย่างกว้างขวางที่สุด และยังช่วยตอบสนองความต้องการพลังงานของโลกได้ นอกจากนี้เรายังสามารถผลิตสินค้าอีกนับร้อยชนิดได้ ทั้งจากปิโตรเลียมและสารเคมี ปิโตรเลียมมีส่วนช่วยให้เรามีความเป็นอยู่ที่ดีในหลายวิธีทางและอุตสาหกรรมปิโตรเลียมยังแสวงหาวิธีที่ดีกว่าในการผลิต และเปลี่ยนสภาพของปิโตรเลียม เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ ปิโตรเลียม มาจากภาษาละตินสองคำคือ Petra ซึ่งแปลว่า หิน และ Oleum ที่แปลว่า น้ำมัน เมื่อนำคำทั้งสองมารวมกันก็จะแปลว่า Petroleum ซึ่งอาจแปลว่าน้ำมันที่ได้จากหิน แต่ความหมายของปิโตรเลียมที่ใช้ในปัจจุบันจะหมายถึง น้ำมันดิบ (Crude Oil) ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซธรรมชาติเหลว และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติและอยู่ในสภาพอิสระ ไม่ว่าจะมีส่วนประกอบเป็นของแข็ง หนืด ของเหลว หรือก๊าซ โดยทั่วไปแล้วปิโตรเลียมจะประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน และไนโตรเจน ปิโตรเลียม คือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นทั้งของแข็ง ของเหลวและแก๊ส ภายใต้ความดันพื้นผิวและสภาพอุณหภูมิไฮโดรคาร์บอนที่เบากว่าอย่างมีเทน อีเทน โพรเพน และบิวเทน อยู่ในสถานะแก๊ส ขณะที่เพนเทนและไฮโดรคาร์บอนที่หนักกว่าอยู่ในรูปของเหลวหรือของแข็ง อย่างไรก็ตาม ภายใต้แองก์เก็บน้ำมันใต้พิภพ สัดส่วนของแก๊ส ของเหลวและของแข็งขึ้นอยู่กับสภาพใต้พิภพ มีแก๊สธรรมชาติละลายอยู่บ้าง เพราะความดันที่พื้นผิวน้อยกว่าใต้พิภพ

น้ำมันดิบ คือสารประกอบของไฮโดรคาร์บอนกับสารเคมีอื่น ๆ เช่น สารประกอบซิลเฟออร์ ไนโตรเจน และออกซิเจน โดยการที่จะนำสารต่าง ๆ เหล่านี้ไปใช้ได้ จะต้องถูกแยกออกจากกัน กระบวนการแยกเรียกว่าการกลั่น (Refining) น้ำมันดิบที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ของโลกหรือแม้แต่ความลึกที่แตกต่างกันของน้ำมันหลุมเดียวกันก็จะมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและสารประกอบอื่น ๆ ที่แตกต่างกัน นักวิทยาศาสตร์เชื่อกันว่าเมื่อสัตว์และพืชต่าง ๆ ตาย พวกมันจะถูกชะล้างโดยน้ำฝนและไหลจมลงสู่ก้นทะเลและทะเลสาบต่าง ๆ ซึ่งจะถูกทับถมโดยชั้นของตะกอนต่าง ๆ กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นก่อนที่ซากเหล่านี้จะสามารถย่อยสลายไปในอากาศ แบคทีเรียซึ่งมีชีวิตอยู่ได้โดยไม่ใช้ออกซิเจนจะย่อยสลายให้กลายเป็นน้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติ โดยมีกระบวนการทางเคมีที่เกี่ยวข้องกันระหว่างซากสิ่งมีชีวิต เกลือที่อยู่ในดินโคลนและน้ำที่อยู่รอบ ๆ โดยทั่วไปน้ำมันดิบจะมีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาล มีกลิ่นคล้ายน้ำมันเชื้อเพลิงสำเร็จรูป หรือบางชนิดจะมีกลิ่นของสารอื่นผสมอยู่ เช่น กลิ่นกำมะถันและกลิ่นไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น ความหนืดของน้ำมันดิบก็แตกต่างกันไป ตั้งแต่เป็นของเหลวเหมือนน้ำจนถึงความหนืดคล้ายกับยางมะตอย ค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าประมาณ 0.80–0.97 ที่อุณหภูมิ 15.6°C ซึ่งเบากว่าน้ำ

2.2 การกลั่นน้ำมันดิบ [3]

การกลั่นน้ำมันดิบ หมายถึงการแปรสภาพน้ำมันดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปต่าง ๆ ตามต้องการ เพื่อความสะดวกและเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ เช่น ได้ก๊าซหุงต้ม น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันเครื่องบิน น้ำมันเตา น้ำมันหล่อลื่น จาระบี ยางมะตอย รวมทั้งเคมีภัณฑ์ต่าง ๆ กระบวนการกลั่นน้ำมันของแต่ละโรงกลั่นน้ำมันอาจแตกต่างกันบ้าง ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น คุณสมบัติของน้ำมันดิบที่นำมากลั่น ชนิด และคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ต้องการสำหรับกระบวนการกลั่นน้ำมันเชื้อเพลิงคือ การแยกน้ำมันดิบออกเป็นส่วนต่าง ๆ ที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกัน แล้วผ่านน้ำมันเหล่านี้เข้ากระบวนการต่าง ๆ และแปรสภาพเพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน และบางครั้งจำเป็นต้องเติมสารเคมีลงไปเพื่อเพิ่มคุณภาพน้ำมันโดยทั่วไปแล้วการกลั่นน้ำมันเชื้อเพลิงจะประกอบด้วยกระบวนการที่สำคัญคือการกลั่นหรือการแยก (Separation) การแปรรูปหรือการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมี (Conversion) การปรับปรุงคุณภาพ (Treating) การผสม (Blending)

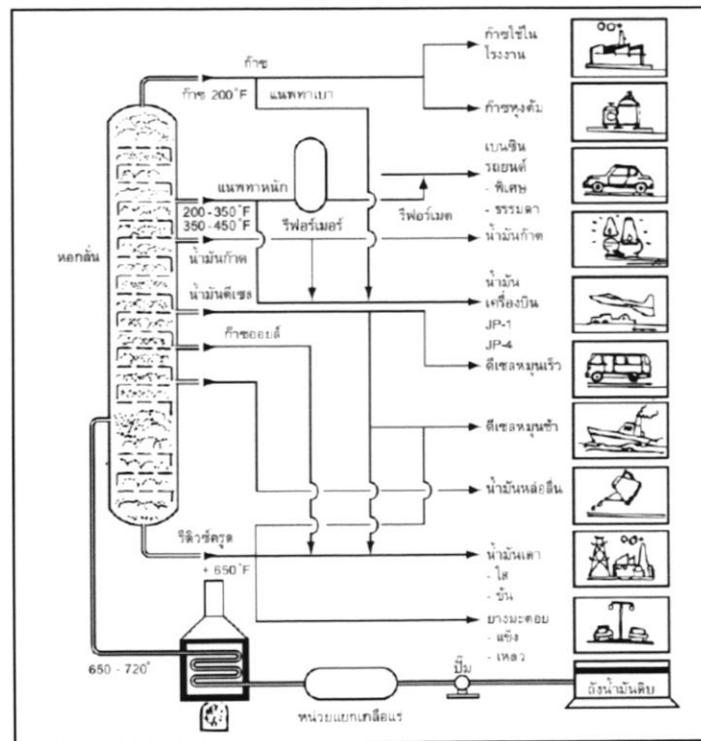
2.2.1 การกลั่นหรือการแยก

กระบวนการแยกน้ำมันดิบคือ การแยกส่วนประกอบของน้ำมันดิบทางด้านกายภาพ ส่วนใหญ่จะแยกโดยวิธีการกลั่นลำดับส่วน (Fractional Distillation) ซึ่งหมายถึงการเอาน้ำมันดิบมากลั่นในหอกลั่นบรรยากาศ น้ำมันดิบจะถูกแยกตัวออกเป็นน้ำสำเร็จรูปต่าง ๆ ที่มีช่วงจุดเดือดต่างกัน และหอกลั่นน้ำมันที่ทำหน้าที่แยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันดิบตามจุดเดือดต่าง ๆ จะมีอยู่ 2 แบบใหญ่ ๆ คือ หอกลั่นบรรยากาศ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ซึ่งเหมาะในการกลั่นแยกน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีจุดเดือดต่ำ และหอกลั่นสุญญากาศ เหมาะกับการกลั่นน้ำมันที่มีจุดเดือดสูง เช่น ผลิตภัณฑ์น้ำมันหล่อลื่น การกลั่นลำดับส่วนนี้เป็นวิธีแบบพื้นฐานของการกลั่นน้ำมัน โดยหลักว่าจุดเดือดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดต่าง ๆ ที่รวมกันอยู่ในน้ำมันดิบ จะมีระดับแตกต่างกันตั้งแต่ -157°C ขึ้นไปกระทั่งหลายร้อยองศาเซลเซียส ด้วยคุณสมบัติอันนี้เองทำให้สามารถแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดต่าง ๆ ที่รวมตัวอยู่ในน้ำมันดิบออกมาด้วยการให้น้ำมันดิบกลั่นตัวที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันดิบ

การกลั่นแยกน้ำมันเป็นส่วนต่าง ๆ จึงอาศัยหลักการที่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ กลายเป็นไอได้เร็วหรือช้าต่างกัน โมเลกุลของน้ำมันที่มีไฮโดรคาร์บอนสั้นสามารถระเหยได้เร็วหรือกลายเป็นไอได้เร็วกว่าโมเลกุลที่มีไฮโดรคาร์บอนยาว หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ มีจุดเดือดต่ำกว่า ในตารางที่ 2.2 ซึ่งแสดงถึงสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ปิโตรเลียม อีเทอร์ (Petroleum Ether) เป็นของเหลว ใช้เป็นตัวทำละลายที่ใช้ในห้องทดลองวิทยาศาสตร์และในงานอุตสาหกรรม ส่วนที่มีจุดเดือดสูงขึ้นและกลั่นออกมาเรียกว่า แนพทา (Naphtha) ส่วนนี้เป็นส่วนที่จะนำไปใช้ผลิตน้ำมันเบนซินต่อไปได้ หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงในที่จุดบูหรี่หรือที่เรียกว่าไฟแช็ค

ในการกลั่นลำดับส่วน น้ำมันดิบจะถูกส่งผ่านเข้าไปในท่อเหล็กที่เรียงแบบแถวอยู่ในเตาเผาและมีความร้อนประมาณ $315\text{--}371^{\circ}\text{C}$ หลังจากนั้นน้ำมันดิบที่ร้อนรวมทั้งไอร้อนจะไหลผ่านไปที่หอกลั่นบรรยากาศ ไอร้อนที่ลอยไปบนหอกลั่นเมื่อได้รับความเย็นก็จะกลั่นตัวกลับเป็นของเหลวบนถาด (Tray) ที่เรียงกันเป็นชั้น ๆ หลายสิบชั้นในหอกลั่น ไอร้อนจะกลั่นตัวเป็นของเหลวในถาดชั้นใด ขึ้นอยู่กับชั้นช่วงจุดเดือดของน้ำมันส่วนนั้นดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งจะแสดงถึงช่วงจุดเดือดของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ชั้นบนสุดของหอกลั่นซึ่งมีอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดจะได้ก๊าซรอง ๆ ลงมาซึ่งอุณหภูมิ

สูงขึ้นจะเป็นส่วนประกอบของน้ำมันแก๊สโซลีน น้ำมันก๊าด และน้ำมันดีเซล ตามลำดับ ส่วนน้ำมันที่กัน
 หกกลั่นจะนำไปผ่านกรรมวิธีอื่นเพื่อแยกเป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ส่วนที่เหลือก็จะจะเป็นน้ำมันเตาและ
 ยางมะตอยส่วนต่าง ๆ ของน้ำมันดิบที่แยกออกมาเรียกว่า ผลิตภัณฑ์โดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ส่วน
 อื่น ๆ ของปิโตรเลียมที่นำมากลั่นจะได้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่น แล้วยังมีส่วนที่เป็นโมเลกุล
 ใหญ่หรือซับซ้อนยิ่งกว่าส่วนที่น้ำมันหล่อลื่น และจะไม่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เช่น ปิโตรลาตัม
 (Petrolatum) หรือปิโตรเลียมเจลลี่ (Petroleum Jelly) ซึ่งมีลักษณะครึ่งเหลวครึ่งแข็งสามารถ
 นำไปใช้ผสมในยาจำพวกขี้ผึ้งหรือครีมใช้ทาแผล ทาผิว ชื่อดังกล่าวนี้อาจจะไม่ค่อยรู้จัก แต่จะคุ้นกับคำ
 ว่า วาสลีน (Vaseline) มากกว่า (คำว่าวาสลีนเป็นชื่อทางการค้า) ผลิตภัณฑ์ส่วนสุดท้ายของ
 ปิโตรเลียมที่ขึ้นอยู่กัประภทของน้ำมันดิบที่นำมากลั่น เพราะน้ำมันดิบบางชนิดเมื่อกลั่นแล้วส่วนที่
 เหลืออาจจะได้เฉพาะคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ เรียกน้ำมันดิบชนิดนี้ว่า ปิโตรเลียมโค้ก (Petroleum
 Coke) หรือบางชนิดอาจจะได้ของแข็งอ่อน ๆ ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน
 ที่มีขนาดใหญ่่มาก รวมทั้งมีโมเลกุลชนิดอื่น ๆ อยู่ด้วย เรียกน้ำมันดิบชนิดนี้ว่า ปิโตรเลียมแอสฟัลต์
 (Petroleum Asphalt) หรือที่เรียกว่ายางมะตอย



ภาพที่ 2.1 ผังแสดงกรรมวิธีการกลั่นน้ำมันและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่น [3]

ตารางที่ 2.1 สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันดิบ [3]

องค์ประกอบต่าง ๆ	จุดเดือด (°C)	สถานะ	จำนวนคาร์บอนอะตอม ในโมเลกุล
ก๊าซปิโตรเลียม	ต่ำกว่า 30	ก๊าซ	1 - 4
น้ำมันเบนซิน	0 - 65	ของเหลว	5 - 6
แก๊พทา	65 - 170	ของเหลว	6 - 10
น้ำมันก๊าด	170 - 250	ของเหลว	10 - 14
น้ำมันดีเซล	250 - 340	ของเหลว	14 - 19
น้ำมันหล่อลื่น	340 - 500	ของเหลว	19 - 35
ไข	340 - 500	ของแข็ง	19 - 35
น้ำมันเตา	สูงกว่า 500	ของเหลว	มากกว่า 35
บิทูเมน	สูงกว่า 500	ของแข็ง	มากกว่า 35

ตารางที่ 2.2 สมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน [3]

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน	สูตรโมเลกุล	จุดเดือดปกติ (°F)	ความถ่วงจำเพาะ (60/60°F)
มีเทน (Methane)	CH ₄	-259	0.55*
อีเทน (Ethane)	C ₂ H ₆	-128	1.03*
โพรเพน (Propane)	C ₃ H ₈	-44	1.52*
นอร์มัลบิวเทน (n butane)	C ₄ H ₁₀	+31	2.00*
นอร์มัลเพนเทน (n pentane)	C ₅ H ₁₂	97	0.631
นอร์มัลเฮกเซน (n hexane)	C ₆ H ₁₄	156	0.664
นอร์มัลเฮปเทน (n heptane)	C ₇ H ₁₆	209	0.688
นอร์มัลออกเทน (n octane)	C ₈ H ₁₈	258	0.707
นอร์มัลโนเนน (n nonane)	C ₉ H ₂₀	303	0.722
นอร์มัลดีเคน (n-decane)	C ₁₀ H ₂₂	345	0.734
นอร์มัลอันดีเคน (n-undecane)	C ₁₁ H ₂₄	384	0.744
นอร์มัลโดดีเคน (n-dodecane)	C ₁₂ H ₂₆	421	0.753
นอร์มัลไตรดีเคน (n-tridecane)	C ₁₃ H ₂₈	453	0.757

*คือความถ่วงจำเพาะเมื่อเทียบกับอากาศ 1.00

2.2.2 การแปรรูปหรือการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมี

เป็นกระบวนการทางเคมีที่ต้องการเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันด้วยการแปลงโมเลกุลของน้ำมัน เช่น การแปรรูปหรือเปลี่ยน น้ำมันหนักให้แตกตัวเป็นน้ำมันที่เบา ซึ่งมีคุณภาพค่าที่ดีกว่า และทำให้คุณภาพของน้ำมันเหมาะสมกับความต้องการในการใช้ประโยชน์ ผลผลิตที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนอาจจะมีปริมาณไม่เท่ากับปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ต้องใช้ เช่น น้ำมันแก๊สโซลีนหรือที่เรียกว่า น้ำมันเบนซินนั้น อาจได้จากกรรมวิธีการกลั่นลำดับส่วน แต่ปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการ จึงต้องหาทางผลิตน้ำมันเบนซินให้มากขึ้นด้วยกรรมวิธีนี้ หลักพื้นฐานของกรรมวิธีนี้คือ การทำให้โมเลกุลของน้ำมันหรือเนฟทาแตกตัว เรียกวิธีการนี้ว่า วิธีการแยกสลาย (cracking) เช่น วิธีการแยกสลายด้วยความร้อน (Thermal cracking) และวิธีการแยกสลายด้วยสารเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cracking) หรือเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของน้ำมันหนักให้ได้โมเลกุลที่เบากว่าและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน (Polymerization) นอกจากนี้ยังมีวิธีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นอีกหลายวิธี เช่น วิธีอัลติเลชั่น Alkylation และวิธีไอโซเมอไรเซชัน (Isomerization) เป็นกระบวนการที่ทำให้สารไฮโดรคาร์บอนมีค่าออกเทนต่ำกลายเป็นสารที่มีค่าออกเทนสูงได้ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับเปลี่ยนน้ำมันเบนซิน และวิธีปฏิรูปด้วยสารเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Refoming) เป็นวิธีการใช้การจัดรูปโมเลกุลของปิโตรเลียมใหม่ โดยให้มีค่าออกเทนสูงขึ้น เป็นต้น หลักการพื้นฐานมีดังต่อไปนี้คือ

2.2.2.1 วิธีการแยกสลายหรือการแตกตัว (Cracking) เป็นวิธีการแยกสลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลใหญ่ หนัก และมีคุณภาพต่ำ ใช้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลเล็กลง เบา และมีคุณภาพสูง เพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้ปริมาณของน้ำมันแก๊สโซลีนมากขึ้น โดยอาศัยการใช้ความร้อน สารเร่งปฏิกิริยา หรือใช้ไฮโดรเจน ดังนี้

1) การแยกสลายโดยใช้ความร้อน เป็นวิธีที่นิยมใช้ในสมัยแรก ๆ ปัจจุบันไม่นิยมใช้เนื่องจากต้องใช้ความร้อนสูงถึง 538°C และแรงดันประมาณ 350-1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว วิธีนี้จะใช้สำหรับแยกสลายน้ำมันเตา ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจะเป็นก๊าซ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทโอลิฟิน และน้ำมันเบนซินซึ่งมีพวกละอระโระแมตสูง สำหรับปริมาณน้ำเบนซินที่ได้จะประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ และเป็นชนิดที่มีค่าออกเทนนมเบอร์ 65-70 และน้ำมันเตาชนิดชนิดต่ำ

2) การแยกสลายโดยใช้สารเร่งปฏิกิริยา วิธีนี้นิยมใช้แยกสลายพวกน้ำมันดีเซลและน้ำมันหนักโดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาพวกซิลิกาและอะลูมินาที่เป็นผงละเอียด หรืออาจใช้เป็นพวกดินเหนียวธรรมชาติ เช่น เบนซินโทไนต์ (Bentonite) และเกาลิน Kaolin หรือพวกดินเหนียวสังเคราะห์ ซึ่งมีธาตุอะลูมิเนียมสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีคือ น้ำมันเบนซินที่มีค่าออกเทนนมเบอร์สูง คือมากกว่า 90 และก๊าซไฮโดรคาร์บอนประเภทโอลิฟินซึ่งนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

3) การแยกสลายโดยใช้ไฮโดรเจน วิธีนี้เป็นวิธีที่ใหม่ที่สุด โดยการเพิ่มไฮโดรเจนไปในขณะที่กำลังแยกสลายน้ำมันดีเซลและน้ำมันเตาให้เป็นน้ำมันเบนซินและน้ำมันก๊าดสำหรับเครื่องบินเจ็ต โดยการใช้ไฮโดรเจนและสารเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิประมาณ $260-420^{\circ}\text{C}$ ภายใต้ความดัน 200 บรรยากาศ

2.2.2.2 วิธีการปฏิรูปหรือการเปลี่ยนสภาพ (Reforming) เป็นวิธีการเปลี่ยนสภาพสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันแก๊สโซลีนหรือน้ำมันเบนซินที่มีค่าออกเทนต่ำ ให้มีค่าออกเทนสูงขึ้น เพื่อให้ปริมาณน้ำมันเบนซินมากขึ้น โดยอาศัยความร้อนหรือสารเร่งปฏิกิริยาหรือการเติมไฮโดรเจน ซึ่งจะทำให้โครงสร้างเปลี่ยนจากชนิดห่วงโซ่ตรงไปเป็นชนิดห่วงโซ่แยก และเปลี่ยนเป็นอะโรเมติก

1) การปฏิรูปโดยใช้ความร้อน เป็นวิธีการที่ใช้ความร้อนสูงประมาณ 560°C ไปเปลี่ยนลักษณะโครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันเบนซินที่มีค่าออกเทนต่ำ ให้เป็นพวกที่มีค่าออกเทนสูงขึ้นเป็นประมาณนัมเบอร์ 80

2) การปฏิรูปโดยใช้สารเร่งปฏิกิริยา เป็นวิธีการที่ใช้ไฮโดรเจนและสารปฏิกิริยาพวกแพลตตินัม บนอะลูมินา ภายใต้อุณหภูมิประมาณ 450–530°C ที่ความดันประมาณ 500–700 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งจะทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนกลุ่มแนฟทีนและนอร์มัลพาราฟินซึ่งมีค่าออกเทนต่ำ เปลี่ยนไปเป็นกลุ่มอะโรแมติกที่มีค่าออกเทนสูง และโครงสร้างแบบห่วงโซ่ตรง จะถูกจัดเรียงตัวออกเป็นแบบห่วงโซ่แยก ทำให้ได้ปริมาณน้ำมันเบนซินออกมาประมาณ 85–90 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าออกเทนประมาณ 85–95

3) การปฏิรูปโดยใช้ไฮโดรเจน เป็นวิธีการใช้ไฮโดรเจนและสารเร่งปฏิกิริยาพวกโมลิบดีนัม บนอะลูมินา ภายใต้อุณหภูมิ 480–540°C ที่ความดันประมาณ 200–300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ก็จะทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนกลุ่มแนฟทีนและนอร์มัลพาราฟินเปลี่ยนไปเป็นกลุ่มอะโรแมติกได้ ทำให้ได้ปริมาณน้ำมันเบนซินประมาณ 75–80 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าออกเทนสูงถึง 80–85

2.2.2.3 วิธีการไอโซเมอไรเซชัน เป็นกรรมวิธีในการเปลี่ยนโครงสร้างของโมเลกุลจากชนิดห่วงโซ่ตรงไปเป็นห่วงโซ่แยกแบบไอโซเมอร์ โดยการใช้สารเร่งปฏิกิริยาเพื่อปรับปรุงและเพิ่มคุณภาพของน้ำมันเบนซินให้มีค่าออกเทนสูง

2.2.2.4 วิธีการอัลคิลเลชัน เป็นกรรมวิธีที่ใช้ในการเปลี่ยนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นก๊าซให้เป็นน้ำมันเบนซินที่มีค่าออกเทนสูง โดยการรวมโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกลุ่มโอลิฟินที่มีจำนวนคาร์บอน 3 ถึง 5 ตัวเข้าไปในกลุ่มไอโซพาราฟิน และใช้สารเร่งปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นกรด ก็จะทำให้ไอโซพาราฟินมีโมเลกุลใหญ่ขึ้น และมีค่าออกเทนสูงขึ้นได้ ตัวอย่างเช่น ไอโซออกเทนที่มีค่าออกเทน 100 จะได้จากการรวมตัวของบิวทิลีนและไอโซบิวเทน เป็นต้น

2.2.2.5 วิธีการโพลีเมอร์ไรเซชัน เป็นกรรมวิธีที่ใช้ในการเปลี่ยนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกโอลิฟินก๊าซให้เป็นน้ำมันเบนซินที่มีค่าออกเทนสูง โดยใช้กรรมวิธีใช้สารเร่งปฏิกิริยา

2.2.3 การปรับปรุงคุณภาพ ผลลัพธ์ที่ได้จากกรรมวิธีการกลั่นลำดับส่วนและการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมี ส่วนใหญ่ยังมีคุณภาพยังไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน เพราะอาจมีสิ่งไม่พึงประสงค์เจือปนอยู่ในน้ำมันดิบ หรืออาจเกิดจากกรรมวิธีทั้งสองดังกล่าว เช่น มีกำมะถัน เกลือ และสารแปลกปลอมต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต้องกำจัดออกด้วยกรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพก่อนกรรมวิธีปรับปรุงคุณภาพโดยการกำจัดกำมะถันออกจากน้ำมัน โดยการใช้ก๊าซไฮโดรเจนทำปฏิกิริยากับสาร

กำมะถันในน้ำมัน และใช้สารเร่งปฏิกิริยาเข้าช่วยเพื่อเปลี่ยนสารกำมะถันให้เป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แล้วกำจัดออกจากน้ำมันอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ง่ายกว่าการกำจัดกำมะถันออกจากน้ำมันโดยตรง นอกจากนี้กรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพยังช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้มีสีและกลิ่นถูกต้องตามมาตรฐานอีกด้วย

2.2.4 การผสม คือ การนำน้ำมันชนิดต่าง ๆ ที่ผ่านกรรมวิธีดังกล่าวมาแล้วข้างต้นมาผสมผสานตามสัดส่วนที่เหมาะสม เช่น น้ำมันเบนซิน และน้ำมันเครื่องบินไอพ่น เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปตามมาตรฐานที่กำหนด นอกจากนี้ยังมีการเติมสารเคมีบางอย่างลงไป เช่น ในน้ำมันแก๊สโซลีน จะเติมสารต้านการน็อคของเครื่องยนต์ สารป้องกันการรวมตัวของน้ำมันกับออกซิเจน และสารขจัดคราบเขม่า เป็นต้น

2.3 กระบวนการไพโรไลซิส [4]

กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) คือ กระบวนการที่ทำให้สารแตกตัวหรือสลายตัว โดยใช้ความร้อน ที่อุณหภูมิประมาณ 200-1000 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจน หรือมีปริมาณออกซิเจนน้อยมาก กระบวนการนี้จะเปลี่ยนสารให้เป็นโมเลกุลเล็ก ๆ สำหรับพลาสติกของแข็งที่เป็นโมเลกุลยาวจะถูกเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ประกอบไปด้วย ส่วนที่เป็นก๊าซ (Gas) ได้แก่ ไฮโดรเจน มีเทน และไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลต่ำ ส่วนที่เป็นของเหลว (Liquid) ได้แก่ โมโนเมอร์ น้ำมัน และสารอินทรีย์ที่เป็นไฮโดรคาร์บอน และ ส่วนที่เป็นของแข็ง (Solid) ได้แก่ ถ่านคาร์บอน (Char) และขี้เถ้า (Ash) อัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ เช่น เวลา อุณหภูมิ สภาวะต่าง ๆ ในกระบวนการไพโรไลซิสได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.3 สภาวะของกระบวนการไพโรไลซิสแบบต่าง ๆ [4]

Pyrolysis Poces	Residence Time	Heating Rate	Final Temperature(°C)	Products
Carbonization	Days	Very low	400	Charcoal
Conventional	5-30 min	Low	600	Char, bio-oil, gas
Fast	<2 s	Very high	~500	Bio-oil
Flash	<1 s	High	<650	Bio-oil, chemicals, gas
Ultra-rapid	<0.5 s	Very high	~1000	Chemicals, gas
Vacuum	2-30 s	Medium	400	Bio-oil
Hydropyrolysis	<10 s	High	<500	Bio-oil
Methano-pyrolysis	<10 s	High	>700	Chemicals

2.3.1 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการไพโรไลซิส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส มีความแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นมีลักษณะอนุกรมที่ซับซ้อนทำให้ได้สารประกอบเชิงซ้อนพวกก๊าซเชื้อเพลิง ของเหลวและกากของแข็งชนิดต่าง ๆ ซึ่งสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเคมีต่าง ๆ ได้

2.3.1.1 ขั้นตอนเริ่มต้น (Initiation step) ซึ่งเป็นการแตกตัวของพันธะที่เชื่อมระหว่างคาร์บอน 2 ตัว ที่อุณหภูมิสูง การแตกตัวของพันธะนี้ เรียกว่า ฮอมอไลซิส (Homolysis) ทำให้โมเลกุลหนึ่ง ๆ แตกออกเป็น 2 ส่วนที่มีอิเล็กตรอนที่ยังไม่จับคู่ (Unpaired electron) อยู่ส่วนละ 1 ตัว ทั้งสองส่วนนี้ถูกเรียกว่า อนุมูลอิสระ (Free radicals) ของโมเลกุลนั้น ๆ

2.3.1.2 ขั้นตอนการแตกตัวอย่างต่อเนื่อง (Depropagation steps) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่เกิดการแตกตัวของพันธะที่เชื่อมระหว่างคาร์บอน 2 ตัว ณ ตำแหน่งที่สอง นับจากตรงคาร์บอนที่มีอิเล็กตรอนที่ยังไม่จับคู่อยู่ การแตกตัวตรงตำแหน่งนี้จะเกิดขึ้นไปเรื่อย ๆ แบบสุ่มจนกระทั่งโมเลกุลมีขนาดเล็กลงเรื่อย ๆ จนไม่สามารถแตกตัวได้อีก ในขณะเดียวกันโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงนี้ อาจจะสามารถเข้ามารวมกันได้ เป็นโมเลกุล ใหม่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ การเข้ามารวมของโมเลกุลในลักษณะนี้ เรียกว่า ปฏิกริยาการถ่ายโอนสายโซ่ (Chain Transfer Reactions) ซึ่งเกิดจากการแลกเปลี่ยนไฮโดรเจน (Hydride Transfer) จากสายโซ่หนึ่งไปยังอีกสายโซ่หนึ่ง

2.3.1.3 ขั้นตอนการสิ้นสุด (Termination step) จะเกิดขึ้นเมื่อมีการถ่ายโอนโปรตอนระหว่างอนุมูลอิสระ 2 ตัว แล้วทำให้อนุมูลทั้งสองตัวนั้นกลายเป็นโมเลกุลสมบูรณ์ และมีพันธะคู่เกิดขึ้นตรงจุดที่ให้โปรตอนของอนุมูลอิสระนั้น ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดแอลคีนเกิดขึ้น

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิส

2.3.2.1 ส่วนประกอบของวัสดุ (Composition of material) เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส

2.3.2.2 อุณหภูมิ (Temperature) เป็นตัวแปรสำคัญที่มีส่วนกระทบถึงส่วนประกอบและปริมาณของผลิตภัณฑ์ในแต่ละช่วงอุณหภูมิจะมีผลิตภัณฑ์ที่ปล่อยออกมาไม่เท่ากัน

2.3.2.3 อัตราการให้ความร้อน (Heating speed) ปริมาณสารจะลดลง เมื่อมีการเพิ่มอัตราการให้ความร้อน

2.3.2.4 ความดัน (Pressure) ภายใต้สภาวะการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิกงที่ จะได้ปริมาณก๊าซเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความดันสูง ๆ จะลดปริมาณผลิตภัณฑ์ ในขณะที่ความดันต่ำ ๆ จะเพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์และจะมีการผลิตก๊าซไฮโดรคาร์บอน ที่มีขนาดเบาออกมา

2.3.2.5 ขนาดของวัสดุ (Particle size) โดยทั่วไป วัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าจึงมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นได้มากกว่าวัสดุที่มีขนาดใหญ่ กล่าวคือ ในกรณีที่วัสดุมีขนาดใหญ่การให้ความร้อนจะช้ากว่า เพราะฉะนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยก็จะต่ำกว่าวัสดุที่มีขนาดเล็ก การกระจายอุณหภูมิก็จะไม่สม่ำเสมอและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะน้อยกว่า

2.3.2.6 อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ (Heating rate) อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิมิมีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิส ที่อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะมีแนวโน้มทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซมีปริมาณสูงขึ้น แต่ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและกากของแข็ง (Solid Char) มีปริมาณลดลง

2.3.2.7 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic agent) การเพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์ เป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอะตอมของคาร์บอนกับไฮโดรเจน (Carbon-Hydrogen reaction) เพื่อที่จะนำไปสู่การผลิตมีเทน สามารถทำได้โดยการสร้างกระบวนการไพโรไลซิสภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจน กระบวนการนี้ เรียกว่า “ไฮโดรไพโรไลซิส” การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้อีกประมาณร้อยละ 10

2.3.3 ข้อดีของการใช้กระบวนการไพโรไลซิสกับขยะพลาสติก

2.3.3.1 ใช้พลังงานในกระบวนการค่อนข้างต่ำ และสามารถนำผลิตภัณฑ์ที่ได้กลับมาใช้เป็นพลังงานในกระบวนการได้

2.3.3.2 สามารถใช้ได้กับขยะพลาสติกที่นำไปรีไซเคิลแบบอื่น ๆ ได้ เช่น ยางรถยนต์ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีสารลดการติดไฟและโลหะหนักอยู่มาก

2.3.3.3 เป็นกระบวนการที่เกิดการออกซิเดชันน้อยมาก จึงสามารถดึงองค์ประกอบที่เป็นโลหะหนักออกมาได้ภายหลังจากกระบวนการไพโรไลซิส

2.3.3.4 เนื่องจากเป็นระบบปิด จึงมีความปลอดภัยต่อสภาวะแวดล้อมค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงสามารถตั้งอยู่ในบริเวณชุมชนได้ เพื่อลดค่าขนส่ง

2.3.3.5 เป็นกระบวนการที่ไม่ต้องใช้อากาศหรือส่วนผสมของก๊าซไฮโดรเจน ทำให้ไม่ต้องกังวลเรื่องความดันที่เพิ่มขึ้น

2.3.3.6 สามารถลดปริมาณขยะหรือของเสียได้มากกว่าร้อยละ 90 และกากที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส สามารถใช้เป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่มีความสามารถในการดูดซับได้ดี หรือสามารถนำไปผ่านกระบวนการทำให้กลายเป็นก๊าซต่าง ๆ ได้

2.3.3.7 สามารถเปลี่ยนขยะพลาสติกไปเป็นผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงซึ่งจัดว่าเป็นพลังงานบริสุทธิ์อยู่ในรูปของก๊าซ น้ำมัน ถ่าน ที่ใช้งานได้สะดวกและมีปริมาณกำมะถันค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ทางเคมีที่มีประโยชน์ได้มากมายหลายชนิด

2.3.4 ข้อเสียของกระบวนการไพโรไลซิส

2.3.4.1 ถ้าต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติจำเป็นต้องมีขั้นตอนการบำบัด และกระบวนการแยก ก่อนที่จะผ่านเข้าสู่กระบวนการทางความร้อน อุณหภูมิการหลอมตัวของผลิตภัณฑ์

2.3.4.2 ความสกปรกของสารที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไป หรือปริมาณสารที่ต้องการลดลง

2.3.4.3 เกิดปัญหาเกี่ยวกับการฟุ้งกระจายของอนุภาคที่เป็นผงละเอียด ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการระเหยกกลายเป็นไอ

2.3.4.4 วัสดุบางประเภทอาจเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการดักจับ ซึ่งจะทำให้เกิดการกีดกันการปฏิกรณ์ในกระบวนการได้

2.4 พลาสติก [5]

พลาสติก คำว่า Plastics มีรากศัพท์มาจากภาษากรีกคำว่า plastikos ซึ่งแปลว่า สามารถหลอมให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ พลาสติกสามารถแบ่งออกได้ตามสมบัติการหลอมขึ้นรูปได้ 2 ประเภท คือ เทอร์มอพลาสติก (thermoplastics) เป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมาหลอมขึ้นรูปใช้ใหม่ได้อีก หลังจากผ่านการหลอมเพื่อขึ้นรูปแล้ว และเทอร์มอเซตติง (thermosettings) เป็นพลาสติกที่ไม่สามารถนำกลับมาหลอมขึ้นรูปใช้ใหม่ได้อีก หลังจากผ่านการหลอมเพื่อขึ้นรูปครั้งแรกแล้ว เนื่องจากจะเกิดโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบเชื่อมไขว้หรือร่างแห เมื่อให้ความร้อนสูง ๆ โพลีเมอร์ชนิดนี้จะไม่เกิดการหลอม แต่อาจจะเกิดการสลายตัวของโพลีเมอร์ โพลีเมอร์สามารถเปลี่ยนสถานะได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความดัน ซึ่งมีอยู่ 3 สถานะด้วยกันคือ สถานะคล้ายแก้ว สถานะคล้ายยาง และสถานะหลอม โดยจะมีอุณหภูมิที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสถานะอยู่ 2 อุณหภูมิคือ อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และอุณหภูมิการหลอมตัวของผลึก (T_m) พลาสติกแต่ละชนิดมีลักษณะและคุณสมบัติดังต่อไปนี้

2.4.1 เทอร์มอพลาสติก เป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมาขึ้นรูปใช้ใหม่ได้ หรือนิยมเรียกว่าเป็นพลาสติกแปรใช้ใหม่ (recycle plastics) ซึ่งมีสัญลักษณ์ดังแสดงในภาพที่ 2.2 สำหรับเทอร์มอพลาสติกที่มีการใช้งานมากมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.4.1.1 โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate: PET) โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต เป็นพอลิเอสเทอร์ชนิดหนึ่ง PET สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) กับ ไดเมทิลเทเรฟทาเลต (dimethyl terephthalate) แล้วได้อิโอลิโกเมอร์ (oligomer) โดยจะได้ CH_3OH (Methanol) เป็นผลผลิต จากนั้นทำการลดความดันของระบบ โอลิโกเมอร์จะเกิดการควบแน่นแล้วปลดปล่อยเอทิลีนไกลคอลออกมา ได้ผลผลิตเป็น PET ที่เป็นพอลิเอสเทอร์ลักษณะแข็ง ไม่มีสี และมีความเป็นผลึกสูง มีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วประมาณ 80°C และอุณหภูมิการหลอมตัวของผลึกประมาณ 265°C มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.3 PET มีสมบัติที่จะเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดีที่อุณหภูมิห้องและสามารถละลายได้ใน nitrobenzene chlorophenol phenol และ กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) PET ใช้ในการทำชิ้นส่วนที่ต้องการความแข็งแรงในเครื่องจักรและเครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น กันชน เนื่องจาก PET มีความใส เป็นตัวกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี จึงนิยมใช้ทำขวดบรรจุภัณฑ์อัดลม ขวด บรรจุ น้ำมันพืช และขวดบรรจุของเหลวต่าง ๆ นอกจากนี้ยังใช้ทำฟิล์มถ่ายรูป เนื้อเทปคาสเซต และเนื้อเทปวีดีโอ การใช้งานที่สำคัญของ PET อีกอย่างคือการใช้ในการทำเป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่สำคัญชนิดหนึ่งด้วย สำหรับทำพรมและผลิตภัณฑ์สิ่งทออื่น ๆ ผลิตภัณฑ์จาก recycle PET นิยมใช้ทำขวดน้ำ ภาชนะบรรจุภัณฑ์ยา ล้างจาน โตะ สำหรับปิกนิก รองเท้าบูต รั้วบ้านและเฟอร์นิเจอร์ในสวน เป็นต้น

2.4.1.2. โพลีเอทิลีน (Polyethylene: PE) โพลีเอทิลีนเป็นพอลิโอเลฟิน (polyolefins) ชนิดหนึ่งมีสูตรโครงสร้างทางเคมีและการเตรียมได้จากพอลิเมอไรเซชันแบบรวมตัวของเอทิลีน มอนอเมอร์ PE สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามช่วงความถ่วงจำเพาะ คือ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) มีค่าความถ่วงจำเพาะในช่วง 0.910-0.925 มีค่า อุณหภูมิการหลอมตัวของผลึก ประมาณ 110°C โดยมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบมีกิ่งก้านหรือสาขา (branch polymers) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (medium density polyethylene, MDPE)

มีค่าความถ่วงจำเพาะในช่วง 0.926-0.940 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) มีค่าความถ่วงจำเพาะในช่วง 0.941-0.965 มีค่า อุณหภูมิการหลอมตัวของผลึก ประมาณ 135°C โดยมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบเชิงเส้น (linear polymer) PE ไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ ที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่า 100°C จะสามารถละลายได้ในตัวทำละลายพวกไฮโดรคาร์บอนและไฮโดรจิเนเตตไฮโดรคาร์บอน เช่น toluene sylene และ dichloro-ethylene พอลิเอทิลีนที่มีการผลิตและใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ LDPE และ HDPE โดย LDPE นิยมใช้กันมากในรูปฟิล์มพลาสติก เนื่องจากสมบัติที่เหนียว ยืดหยุ่นและใส และการที่ LDPE นิยมใช้กันมากในรูปฟิล์มพลาสติก เนื่องจากสมบัติที่เหนียว ยืดหยุ่นและใส และการที่ LDPE มีจุดหลอมเหลวต่ำ จึงมักใช้เป็นฟิล์มด้านในของภาชนะบรรจุที่ต้องมีการฉีกด้วยความร้อน จึงใช้ทำถุงบรรจุขนมปัง อาหารแช่แข็ง ถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น หลอดกาแฟ และของเล่นพลาสติกต่าง ๆ เป็นต้น ผลิตภัณฑ์จาก recycle LDPE ใช้ทำถังขยะและฟิล์มพลาสติกเป็นต้น HDPE มีความแข็งแรงมากกว่า LDPE และมีลักษณะโปร่งแสงหรือขุ่น นิยมใช้ทำ ขวดน้ำ ท่อพลาสติก ถังน้ำมันเครื่อง ตะกร้า ถังขยะสีดำ และถุงพลาสติกชนิดร้อน เป็นต้น ผลิตภัณฑ์จาก recycle HDPE ใช้ทำภาชนะใส่อาหารสัตว์ ม้านั่ง และขวดใส่น้ำยาซักผ้า เป็นต้น

2.4.1.3 พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride: PVC) PVC สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน แบบรวมตัวของไวนิลคลอไรด์ (vinyl chloride) มอนอเมอร์ PVC เป็นพอลิเมอร์ที่แข็ง เปราะ ไม่มีสี มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.4 มีค่า อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ประมาณ 80°C และค่า อุณหภูมิการหลอมตัวของผลึก ประมาณ 212°C มีลักษณะการเรียงตัวแบบอะแทกติก ทำให้ไม่ตกผลึก ไม่ติดไฟ ทนต่อสารเคมีสามารถละลายได้ใน tetrahydrofuran cyclohexanone nitrobenzene metylethylketone และ cyclopentanone เนื่องจาก PVC มีสมบัติแข็งแต่เปราะ และสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกความร้อนหรือแสงแดด ดังนั้น ก่อนนำ PVC ไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องมีการเติมสารอื่น ๆ ลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติบางอย่าง สารที่เติมลงไปนี้เรียกว่า สารเติมแต่ง (additive agents) เช่น พลาสติกไซเซอร์ (plasticizers) เพื่อให้ PVC มีความนิ่มขึ้น แอนติออกซิแดนต์ (antioxidants) และสารคงสภาพต่อแสงอัลตราไวโอเลต (ultra violet light stabilizers) เพื่อให้ต้านทานต่อการสลายตัวจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและจากแสงอัลตราไวโอเลตตามลำดับ เป็นต้น PVC นิยมใช้ทำเป็น ท่อน้ำ ข้อต่อท่อรอบประตู-หน้าต่าง ผนังเทียม สายยาง เบาะรถยนต์ เสื้อกันฝน ฉนวนหุ้มสายไฟ ขวดพลาสติก เป็นต้น สำหรับ recycle PVC ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ ภาชนะบรรจุ และเครื่องเล่นในสนาม เป็นต้น อย่างไรก็ตาม PVC ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ทำภาชนะบรรจุอาหารเนื่องจาก PVC ต้องมีการเติมสารเติมแต่งจำนวนมากก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งสารเหล่านี้อาจหลุดออกมาปะปนกับอาหารที่บรรจุอยู่ ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้

2.4.1.4 พอลิพรอพอลีน (Polypropylene: PP) พอลิพรอพอลีนเป็นพอลิโอเลฟินชนิดหนึ่งเตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบรวมตัว โดยการที่จะเตรียมให้ได้น้ำหนักโมเลกุลสูงจะใช้พอลิเมอไรเซชันแบบโคออร์ดิเนชันที่มีตัวเร่ง ซีเกลอร์-นัตตา ทำให้ได้โมเลกุล ที่มีโครงสร้างแบบไอโซแทกติก เป็นส่วนใหญ่ PP เป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะแข็งแรง เหนียว ทนต่อสารเคมี น้ำมันและความร้อน มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.905 มีค่า อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ประมาณ -20°C มีค่า อุณหภูมิการหลอมตัวของผลึกประมาณ 170°C จึงสามารถใช้งานได้ถึง 140°C สมบัติการ

ละลายของ PP คล้ายกับของ PE คือไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายใด ๆ ที่อุณหภูมิห้อง แต่จะละลายได้ในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนและคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน ที่อุณหภูมิสูงกว่า 80°C PP ทนต่อกรดและเบสเป็นอย่างดี แต่ PP ก็ทนต่อความร้อน แสง และตัวออกซิไดซ์ได้น้อยกว่า PE เพราะโซ่ของ PP มีไฮโดรเจนอะตอมที่เกิดพันธะกับ tertiary carbon ดังนั้นจึงต้องมีการเติม สารเติมแต่งประเภทแอนติออกซิแดนต์ และสารคงสภาพต่อแสงอัลตราไวโอเล็ตก่อนนำไปใช้งาน PP นิยมใช้ทำชิ้นส่วนรถยนต์ ตู้วิทยุ หรือโทรทัศน์ อุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้านและขวดใส่เครื่องปรุงอาหารเป็นต้น สำหรับ recycle PP ใช้ทำแปรงทำความสะอาด อุปกรณ์ตัด/ขูดน้ำแข็งและกรวยสำหรับน้ำมัน เป็นต้น

2.4.1.5 พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) พอลิสไตรีนส่วนใหญ่ถูกเตรียมโดยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบรวมตัว ที่มีจุดว่องไวเป็นอนุคลิอัสระจากสไตรีน (styrene) มอนอเมอร์ PS จะมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบอะแทกติก เป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน หรือไม่มีความเป็นผลึกเลย จะมีลักษณะแข็ง ใส เปราะและแตกหักง่าย ทนต่อแรงกระแทกได้ต่ำ PS มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.05 และมีค่า อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ประมาณ 100°C มีค่า อุณหภูมิหลอมไหล ประมาณ 240°C สามารถละลายได้ใน toluene benzene chloroform และ carbon tetrachloride PS ที่มีโครงสร้างแบบ ไอโซแทกติก ก็สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบโคออร์ดิเนชันที่มีตัวเร่ง ซีเกลอร์-นัตตา แต่มีสมบัติใกล้เคียงกับอะแทกติก PS ดังนั้นจึงไม่นิยมผลิตไอโซแทกติก PS เมื่อทำการเติมสารเติมแต่งบางชนิดลงไปทำให้ PS สามารถนำไปทำชิ้นส่วนตู้เย็น ชิ้นส่วนภายในรถยนต์ ไม้บรรทัดพลาสติก ด้ามปากกา ลูกกลิ้ง กล่อมเทปคาสเซท/วิดีโอ/ซีดี และขวดพลาสติก เป็นต้น สำหรับ recycle PS ใช้ทำถาดใส่ไข่ ถาดใส่เครื่องเขียน และโครงป้ายทะเบียนรถยนต์ เป็นต้น

2.4.1.6 พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Poly methyl methacrylate: PMMA) พอลิเมทิลเมทาคริเลต สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบรวมตัวของเมทิลเมทาคริเลต (methyl methacrylate) มอนอเมอร์ PMMA เป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะโปร่งใสเหมือนแก้ว มีความเหนียวและแข็งแรงทนทานมาก มีค่า อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ประมาณ 105°C และมีค่า อุณหภูมิหลอมไหล สูงกว่า 200°C มีความถ่วงจำเพาะ 1.19 สามารถละลายได้ใน toluene benzene chloroform และ ethyl acetate เนื่องจาก PMMA มีความใสมากจึงใช้ทำส่วนประกอบรถยนต์ เช่น พลาสติกหุ้มไฟท้าย ไฟหน้า ไฟเลี้ยวและหน้าปัดเข็มต่าง ๆ ในรถยนต์ ใช้ทำเลนส์ โคมไฟ หน้าต่างเครื่องบิน หน้าปัดนาฬิกา ป้ายร้านค้า และป้ายโฆษณา เป็นต้น

2.4.1.7 พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate: PC) พอลิคาร์บอเนตเป็นพอลิเอสเทอร์ชนิดหนึ่ง สามารถทำการเตรียมได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมคือ เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่าง ฟอสจีน (phosgene) กับ บิสฟีนอล เอ (bisphenol A) ในระบบที่มีเมทิลีนคลอไรด์ (CH_2Cl_2) กับน้ำ และมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกำจัดไฮโดรเจนคลอไรด์ที่เกิดขึ้น ให้กลายเป็น NaCl พอลิคาร์บอเนต PC มีลักษณะแข็งมาก โปร่งใส มีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ประมาณ 145°C และ อุณหภูมิหลอมไหลประมาณ 250°C มีความถ่วงจำเพาะ 1.20 สามารถละลายได้ใน chloroform methylene chloride และ cis-1,2-dichloroethylene PC เป็นพอลิเมอร์ที่มีราคาค่อนข้างแพง จึงมีการใช้งานจำกัด ได้แก่ ใช้แทน PMMA เมื่อต้องการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ๆ ใช้ในอุตสาหกรรม เครื่องใช้ไฟฟ้าและ

อิเล็กทรอนิกส์ ใช้ทำชิ้นส่วนของแบตเตอรี่ ฝาครอบพิวส์ไฟฟ้า ทำกระจกหน้าหมวกนักบินอวกาศ และขวดนมเด็กเล็ก เป็นต้น

2.4.1.8 โคพอลิเมอร์อะคริโลไนไตรล์-บิวตะไดอีน-สไตรีน (Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, ABS) ABS การเตรียม ABS มี 2 วิธี คือ เบลนดิง (blending) โดยการผสมลาเทกซ์ของ styreneacrylonitrile copolymer เข้ากับ acrylonitrile-butadiene copolymer และกราฟติง (grafting) ของสไตรีนและ อะคริโลไนไตรล์บนพอลิบิวตะไดอีนที่อยู่ในรูปแบบลาเทกซ์ ABS มีสมบัติแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของผสม แต่โดยทั่วไปจะทนแรงกระแทกได้ดีกว่า และจุดอ่อนตัวที่สูงกว่า PS ABS เป็นพอลิเมอร์ที่มีความทึบแสง มีความเหนียวและแข็ง จึงใช้ทำตัวถังรถ พวงมาลัยรถ ชิ้นส่วนตู้เย็น โครงพัดลม หมวกกันน็อค และสวิตช์ไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งสัญลักษณ์ของพลาสติกแต่ละชนิดได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.2

<p>RECYCLE PLASTICS</p>	 PE-LD POLYETHYLENE LOW DENSITY (โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ)
 PET POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเรต)	 PP POLYPROPYLENE (โพลีโพรพิลีน)
 PE-HD POLYETHYLENE HIGH DENSITY (โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง)	 PS POLYSTYRENE (โพลีสไตรีน)
 PVC POLYVINYL CHLORIDE (โพลีไวนิลคลอไรด์)	 OTHER เเรซินอื่น

ภาพที่ 2.2 สัญลักษณ์สำหรับพลาสติกรีไซเคิล [5]

2.4.2 เทอร์โมเซตติง (thermosetting)

เทอร์โมเซตติง เป็นพลาสติกที่ไม่สามารถนำกลับมาหลอมใช้ใหม่ได้ เนื่องจากมีโครงสร้างแบบเชื่อมไขว้หรือร่างแห จะทำการเตรียมได้โดยทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่นของมอนอเมอร์ 2 ชนิด เทอร์โมเซตติงที่มีการใช้งานกันมากมีดังต่อไปนี้

2.4.2.1 ฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ (Phenol formaldehyde: PF) PF อาจเรียกสั้น ๆ ว่า ฟีนอลิก (phenolic) และรู้จักกันในชื่อทางการค้าว่า เบกเกิลไลท์ (Bakelite) ถูกค้นพบโดย Leo Hendrik Bakelite ได้ทำการจดทะเบียนลิขสิทธิ์ ในปี ค.ศ. 1909 PF เตรียมได้จากปฏิกิริยาของ ฟีนอล (phenol) กับฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde) แบบควบแน่น PF มีลักษณะแข็งมาก ไม่ยืดหยุ่น ไม่หลอมและไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ ทั้งสิ้น มีความถ่วงจำเพาะ 1.25-1.55 รับแรงดึงได้พอสมควร แต่ทนแรงอัดได้ดีมาก ทนแรงบิดงอได้น้อย ปกติ PF จะมีสีเข้ม เช่น สีน้ำตาลแก่ และสีดำเท่านั้น แต่ปัจจุบันสามารถผลิตเป็นสีต่าง ๆ ได้ทั้งทึบแสงและโปร่งแสง PF ทนความร้อนได้ถึง 200°C จึงนิยมใช้ทำด้ามจับมือ หูหม้อ กระจก ฝาครอบจานจ่ายรถยนต์ และถาดบรรจุสารเคมี เป็นต้น

2.4.2.2 เมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ (Melamine-formaldehyde: MF) MF เป็นอะมิโนพลาสติก (aminoplastics) ชนิดหนึ่ง เตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่นระหว่าง เมลามีน (melamine) กับฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde) MF เป็นเทอร์โมเซตติงที่ทนความร้อนได้สูงถึง 110°C มีความแข็งแรงมาก ด้านทานการขีดข่วนได้ดี มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.42-1.52 นิยมใช้ทำถ้วยชามพลาสติก เฟอร์นิเจอร์ และวัสดุปิดผิวโต๊ะ (formica)

2.4.2.3 ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde: UF) UF สามารถเตรียมได้โดยการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันระหว่างยูเรีย (urea) กับฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde) จนเกิดของผสมของเมทิลอลยูเรีย (methylolurea) ของผสมเมทิลยูเรียที่เกิดขึ้น สามารถทำปฏิกิริยาควบแน่นต่อไปภายใต้สภาวะกรด เมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ จะได้ ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีโครงสร้างแบบร่างแห โดยทั่วไป UF จะมีสมบัติคล้าย MF มาก แต่ UF มีความทนความร้อนและน้ำได้น้อยกว่า MF จึงมีลักษณะการใช้งานคล้ายคลึงกัน โดย UF ใช้ทำถ้วยชามพลาสติกที่มีราคาถูกกว่าถ้วยชาม MF นอกจากนี้ยังใช้ทำสวิตช์ ปลั๊กไฟ เป็นต้น

2.4.2.4 พอลิยูรีเทน (Polyurethane: PUR) PUR เป็นพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่าง ไดไอโซไซยาเนต (diisocyanate) กับสารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิล เช่น ไดออล (diol) ถ้าใช้สารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่า 2 หมู่ (polyol) จะทำให้ได้พอลิยูรีเทนที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบเชื่อมไขว้หรือร่างแห ซึ่งเป็นเทอร์โมเซตติง PUR ใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ ได้แก่ ใช้เป็นโฟม (foams) สารยืดหยุ่น (elastomers) กาว (adhesives) พลาสติก (plastics) และเส้นใย (fibers) PUR ที่ใช้ประโยชน์ด้านพลาสติก ได้แก่ ทำไม้แกะสลักเทียม หนังสือพิมพ์ เฟอร์นิเจอร์หุ้มพวงมาลัยรถยนต์ เป็นต้น สำหรับการใส่ PUR เป็นโฟมจะมี 2 แบบ คือ

- 1) โฟมพอลิยูรีเทนอ่อน หรือยืดหยุ่น (flexible PUR foam) โดยจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นสารช่วยให้เกิดโฟม (foaming agent) ทำให้ได้โฟมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์เปิด (opened-cell structure) มีการเกิดการเชื่อมขวางน้อย นิยมใช้ทำเบาะเก้าอี้ เบาะรถยนต์ ที่นอน หมอน เป็นต้น

2) โฟมพอลิยูรีเทนแข็ง หรือไม่ยืดหยุ่น (rigid PUR foam) โดยจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) หรือสารประเภทคลอโรฟลูออโรคาร์บอนเป็นตัวทำให้เกิดโฟม (foaming agent) ทำให้ได้โฟมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์ปิด (closed-cell structure) มีการเกิดการเชื่อมขวางสูงมาก นิยมใช้ทำเป็นฉนวน เช่น โฟมใช้กับตู้เย็น กระจกน้ำแข็ง ทำกล่องโฟมบรรจุอาหาร ใช้กันของแตกเสียหายระหว่างขนส่ง และเป็นส่วนประกอบของเรือเพื่อลดน้ำหนักของเรือ เป็นต้น

นอกจากเทอร์โมเซตติงที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีเทอร์โมเซตติงที่ใช้เป็นพลาสติกชนิดอื่น ๆ อีก ได้แก่ อีพอกซี (epoxy: EP) ใช้ทำภาชนะคุณภาพดี ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตไฟเบอร์กลาสชนิดดีที่ใช้ทำชิ้นส่วนเฮลิคอปเตอร์ เครื่องบิน และรถยนต์ เป็นต้น และซิลิโคน (silicones) ที่เป็นของแข็งใช้ทำปะเก็น และใช้ทางการแพทย์ เช่น ทำหลอดเลือดเทียม ลิ้นหัวใจเทียม เป็นต้น

2.5 การทดสอบเครื่องยนต์

2.5.1 ไดนามิเตอร์สำหรับระบบทดสอบเครื่องยนต์ [6]

ไดนามิเตอร์ถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบทดสอบเครื่องยนต์ซึ่งจะทำหน้าที่เบรกเพื่อต้านการหมุนหรือเป็นโหลดทางกลให้กับเครื่องยนต์ที่จะนำมาทดสอบ โดยที่จะสามารถแสดงค่าแรงบิดและความเร็ว ณ ขณะที่ทำการเบรคนั้นได้ หากแบ่งตามทิศทางการไหลของพลังงานแล้ว ไดนามิเตอร์แบ่งได้สองชนิดคือ Driving Dynamometers คือไดนามิเตอร์ที่ออกแรงขับโหลด เช่น โหลดที่เป็นปั๊ม หรือโหลดที่เป็นคอมเพรสเซอร์ เป็นต้น และ Absorption Dynamometers คือไดนามิเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นโหลดของอุปกรณ์ที่จะนำมาทดสอบ เช่น มอเตอร์หรือเครื่องยนต์ ไดนามิเตอร์ที่แบ่งตามหลักการทำงานมี 5 ชนิด ดังนี้

2.5.1.1 ไดนามิเตอร์แบบ Water Brake ไดนามิเตอร์ชนิดนี้ถือเป็นแบบดั้งเดิมที่มีหลักการง่าย ๆ แต่ได้ผลในระดับหนึ่ง โดยไดนามิเตอร์ชนิดนี้จะใช้หลักการการคัปปลิงแบบหนืด (Viscous Coupling) โดยที่มันจะมีส่วนประกอบหลักคือโรเตอร์แบบใบพัดที่ไปปั่นน้ำทำให้เกิดความหนืด เมื่อเกิดความหนืดก็จะหมายความว่าเกิดการเบรก โดยแรงบิดที่ใช้เบรกจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ หมายความว่าถ้าปริมาณน้ำมากจะทำให้แรงหนืดสูง และแรงบิดที่ใช้เบรกก็จะมากขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน ไดนามิเตอร์แบบ Water Brake นี้จะให้กำลังสูง โดยที่เราสามารถสร้างได้ในขนาดกำลังที่สูงในขณะที่มีราคาถูกกว่าแบบอื่น ๆ และยังมีความเฉื่อยต่ำอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากคุณสมบัติของน้ำทำให้การควบคุมไดนามิเตอร์แบบ Water Brake นี้กระทำได้ค่อนข้างยาก และมันยังต้องการการดูแลรักษาอย่างดี นอกจากนั้นมันไม่สามารถสร้างแรงบิดพิกัดที่ความเร็วศูนย์หรือความเร็วต่ำ ๆ ได้ ข้อเสียอีกอย่างของไดนามิเตอร์แบบนี้ก็คือการที่มันทำงานได้เพียง Absorption Mode เท่านั้น หรือพูดง่าย ๆ ว่ามันไม่สามารถออกแรงหมุนเพื่อขับโหลดชนิดอื่น ๆ ได้เลย นอกจากนี้ข้อเสียที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการที่มันไม่สามารถจ่ายพลังงานที่เบรกคืนสู่แหล่งจ่ายได้ นั่นหมายความว่าเราจะสูญเสียพลังงานในการทดสอบไปอย่างสิ้นเชิง เช่นเราใช้ไดนามิเตอร์แบบ Water Brake ในการเบรกเครื่องยนต์ขนาด 100 กิโลวัตต์ (ประมาณ 133 แรงม้า) นั่นหมายความว่าเราต้องสูญเสียพลังงานขนาดประมาณ 100 กิโลวัตต์ไปโดยปริยาย และหากยังเป็นทดสอบในระยะยาว พลังงานที่เกิดขึ้นนี้จะมีค่ามหาศาล ซึ่งเราก็ต้องระบายความร้อนที่เกิดจากการทดสอบนี้ให้ทันอีกด้วย

2.5.1.2 ไดนาโมมิเตอร์แบบ Eddy Current Brake ไดนาโมมิเตอร์แบบนี้อาศัยหลักการทางไฟฟ้า โดยใช้หลักการของ Eddy Current ที่จะเหนี่ยวนำขึ้นในแผ่นโลหะที่หมุนได้โดยใช้สนามแม่เหล็ก และจะทำให้แผ่นโลหะนี้เกิดการสูญเสียแบบ Eddy Current ทำให้แผ่นโลหะไม่สามารถหมุนได้อย่างอิสระ หรือพุดง่าย ๆ ก็คือมันจะถูกหน่วงหรือเบรกให้หมุนช้าลงนั่นเอง โดยแรงบิดที่เบรกจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มสนามแม่เหล็ก ซึ่งความเข้มสนามแม่เหล็กแปรผันตรงกับกระแสที่จ่ายให้ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก ดังนั้นเราสามารถควบคุมแรงบิดที่ใช้ในการเบรกได้จากกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดนั่นเอง ด้วยความที่ใช้หลักการทางไฟฟ้า ทำให้เราสามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำ และเนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่าย ไม่ซับซ้อน จึงทำให้ไม่ต้องการการดูแลรักษามากนัก และสามารถให้มีขนาดใหญ่ ๆ ได้ แต่อย่างไรก็ตามไดนาโมมิเตอร์ชนิดนี้จะมีราคาแพง และมีราคาค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน และมันไม่สามารถควบคุมให้สร้างแรงบิดที่พิกัดที่ความเร็วศูนย์หรือความเร็วต่ำ ๆ ได้ นอกจากนี้ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งของไดนาโมมิเตอร์แบบ Eddy Current Brake นี้จะเหมือนกับไดนาโมมิเตอร์แบบ Water Brake ก็คือการทำงานได้เพียง Absorption Mode เท่านั้น และการที่ไม่สามารถจ่ายพลังงานที่ใช้ในการเบรกคืนสู่แหล่งจ่ายได้ นั้นจะหมายความว่าเราจะสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการเบรกไปอย่างสิ้นเชิง และนอกจากนี้ยังต้องหาทางระบายพลังงานที่เกิดขึ้นจากการเบรก ซึ่งจะกลายเป็นพลังงานความร้อนให้ทันทั่วทั้งอีกด้วย

2.5.1.3 ไดนาโมมิเตอร์แบบ Hysteresis Brake ไดนาโมมิเตอร์นี้อาศัยหลักการทางไฟฟ้า เหมือนกับไดนาโมมิเตอร์แบบ Eddy Current Brake โดยมันจะอาศัยหลักการของ Hysteresis Loss ของเหล็กเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ ทำให้เกิดการเบรก โดยส่วนประกอบที่สำคัญจะประกอบไปด้วยโรเตอร์รูปถ้วย และขดลวดที่จะสร้างสนามแม่เหล็กกระแสสลับ เพื่อทำให้เกิด Hysteresis Loss ที่โรเตอร์ จากหลักการดังกล่าวข้างต้น เราจะสามารถควบคุมแรงบิดที่ใช้เบรกได้โดยการควบคุมความเข้มและความถี่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ไดนาโมมิเตอร์แบบ Hysteresis Brake นี้สามารถคุมได้ง่ายเช่นเดียวกับไดนาโมมิเตอร์แบบ Eddy Current Brake แต่จะมีขนาดกำลังที่เล็กกว่ามาก โดยขนาดใหญ่ที่สุดจะอยู่ในช่วง 4-5 กิโลวัตต์เท่านั้น ส่วนข้อเสียของไดนาโมมิเตอร์แบบนี้จะคล้าย ๆ กับไดนาโมมิเตอร์แบบ Eddy Current Brake คือไม่สามารถเบรกที่ความเร็วต่ำ ๆ ได้ ทำงานได้เพียง Absorption Mode เท่านั้น และไม่สามารถจ่ายพลังงานที่ใช้ในการเบรกคืนสู่แหล่งจ่ายได้

2.5.1.4 ไดนาโมมิเตอร์แบบ DC คือระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4-Quadrants หรือ 2-Quadrants โดยถ้าเป็นระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4-Quadrants จะทำให้ไดนาโมมิเตอร์แบบ DC ทำงานได้ทั้งสองทิศทางการหมุน แต่ถ้าเป็นระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟตรงแบบ 2-Quadrants จะทำให้ไดนาโมมิเตอร์แบบ DC ทำงานได้เพียงทิศทางเดียว ไดนาโมมิเตอร์แบบ DC มีข้อดีที่สามารถทำงานได้ทั้ง Absorption Mode และ Driving Mode โดยแรงบิดที่ใช้ในการเบรกหรือที่ใช้ในการขับเคลื่อนจะขึ้นอยู่กับกระแสอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟตรง ดังนั้นจึงเป็นเรื่องง่ายและแม่นยำที่จะควบคุมแรงบิดของไดนาโมมิเตอร์แบบ DC และนอกจากนี้การตอบสนองต่อคำสั่งยังอยู่ในขั้นดีอีกด้วย ข้อดีที่สำคัญของไดนาโมมิเตอร์แบบ DC คือสามารถจ่ายพลังงานที่ใช้ในการเบรกคืนสู่แหล่งจ่ายได้ อันเนื่องมาจากการใช้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ที่สามารถให้พลังงานไหลกลับทางได้ หมายความว่าแม้พลังงานที่ใช้ในการเบรกจะมหาศาลแค่ไหน เราก็ไม่จำเป็นต้องทิ้งไปในรูปของความร้อน เราไม่จำเป็นต้องจัดหาอุปกรณ์ที่จะระบายพลังงานความร้อน

แต่ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่าพลังงานในการเบรกจะสามารถจ่ายคืนแหล่งจ่ายได้ทั้งหมดร้อยละ 100 นั้น เป็นเพราะตัวไดนาโมมิเตอร์แบบ DC ที่ประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรถับเคลื่อน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีการสูญเสียภายในตัวของมันเอง แต่พลังงานสูญเสียเหล่านี้มีค่าไม่สูงนัก โดยตัวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 80 และตัวจับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงจะมีประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 95 ข้อดีอีกข้อหนึ่งที่ไม่สามารถหาได้จากไดนาโมมิเตอร์ แบบที่ผ่าน ๆ มาแล้วนั่นคือสามารถจะให้แรงบิดที่พิกัดที่ความเร็วต่ำ ๆ จนถึงความเร็วเท่ากับศูนย์ได้ ไดนาโมมิเตอร์แบบ DC จะสามารถล็อกมอเตอร์ที่จะทำการทดสอบหรือเครื่องยนต์ที่จะทำการทดสอบ ให้หยุดนิ่งโดยให้แรงบิดเท่ากับค่าที่พิกัดได้

2.5.1.5 ไดนาโมมิเตอร์แบบ AC คือระบบจับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยจะ ประกอบไปด้วยวงจรถับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ มอเตอร์ อาจจะเป็นได้ทั้งมอเตอร์เหนี่ยวนำหรือมอเตอร์เซอร์โว ในขณะที่มอเตอร์เซอร์โวมินขนาดที่เล็กกว่าใน กำลังที่เท่ากัน แต่ก็มีราคาที่สูงกว่ามาก ทำให้ไดนาโมมิเตอร์แบบ AC จะใช้มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำเสีย เป็นส่วนใหญ่ เช่นเดียวกับไดนาโมมิเตอร์แบบ DC ที่ทำงานได้ทั้ง Absorption Mode และ Driving Mode ไดนาโมมิเตอร์แบบ AC ก็ทำงานได้ทั้งสอง Modes เช่นเดียวกัน และด้วยเทคโนโลยีที่เป็นไป อย่างรวดเร็วของไมโครโปรเซสเซอร์ทำให้การควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไปอย่าง ง่ายดายไม่ต่างอะไรจากการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นไปได้ยากมากใน สมัยก่อน เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยเฉพาะมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำนั้นมีแบบจำลอง (Model) ที่ยุ่งยากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมากมาย จำเป็นต้องอาศัยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ที่ยุ่งยากเพื่อให้การควบคุมเป็นไปอย่างเที่ยงตรงและแม่นยำ ซึ่งเทคโนโลยีด้านสารกึ่งตัวนำที่ทำให้ ไมโครโปรเซสเซอร์มีความเร็วในการประมวลผลที่เร็วขึ้นมากทำให้การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นไปอย่างง่ายดาย แต่อย่างไรก็ตาม หากเราต้องการที่จะให้มีการจ่ายพลังงานคืนสู่แหล่งจ่ายในช่วง ที่ไดนาโมมิเตอร์กำลังเบรกก็เป็นสิ่งที่เป็นไปได้โดยการใช้วงจรรีจกกระแสแบบวิธีสวิตซ์ (Switched-mode Rectifiers) ที่ให้พลังงานไหลได้สองทางแทนที่วงจรรีจกกระแสที่ใช้ไดโอด โดยวงจรรีจก กระแสแบบวิธีสวิตซ์นี้มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งคือ PWM Rectifiers ข้อดีของการใช้วงจรรีจกกระแสแบบ วิธีสวิตซ์นั้นนอกจากจะทำให้พลังงานไหลกลับทางได้แล้วยังทำให้ฮาร์มอนิกของกระแสด้านเข้าที่เกิดขึ้น มีค่าต่ำมากและตัวประกอบกำลังด้านเข้ามีค่าใกล้เคียงหนึ่งอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีอีกวิธีหนึ่งในการทำให้ พลังงานไหลกลับคืนสู่แหล่งจ่ายได้ ก็คือการใช้วงจรรีจกกระแสที่ใช้ SCR ต่อกับวงจรรีจก กระแสแบบที่ใช้ไดโอด วงจรรีจกกระแสที่ให้พลังงานไหลกลับทางได้นี้มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า Active Front End การจ่ายพลังงานคืนสู่แหล่งจ่ายจะเหมือนกับไดนาโมมิเตอร์แบบ DC ด้วยเทคโนโลยีด้านการ ควบคุมมอเตอร์กระแสสลับเช่นการควบคุมแบบเวกเตอร์ทำให้ ไดนาโมมิเตอร์แบบ AC สามารถสร้าง แรงบิดสำหรับเบรกที่ค่าพิกัดได้แม้แต่ที่ความเร็วต่ำ ๆ หรือความเร็วศูนย์

2.5.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ [7, 8]

2.5.2.1 การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล อากาศจะถูกอัดในกระบอกสูบจนกระทั่งมีอุณหภูมิสูงพอ ก่อนที่ลูกสูบจะถึงจุดศูนย์ตายบน น้ำมันดีเซลจะถูกฉีดออกจากหัวฉีดด้วยความดันและความเร็วสูง ทำให้น้ำมันกระจายเป็นฝอยละออง เนื่องจากว่าไม่มีแหล่งให้ความร้อนจากภายนอก อากาศต้องถูกอัดตัวจนร้อนเพื่อที่จะทำให้อิอน้ำมันติดไฟได้เอง กล่าวคือน้ำมันดีเซลที่ออกจากปั๊มหัวฉีดแรงดันประมาณ $100-200 \text{ kg/cm}^3$ จะพุ่งเป็นลำเข้าไปในห้องเผาไหม้ซึ่งมีความดันประมาณ $30-40 \text{ kg/cm}^3$ และอุณหภูมิประมาณ $450-550^\circ\text{C}$ ความร้อนจากอากาศในห้องเผาไหม้ที่ถ่ายเทกับละอองน้ำมันทำให้ละอองน้ำมันกลายเป็นไอ ส่วนอากาศที่ถ่ายเทความร้อนออกก็จะเย็นลง ความร้อนที่ถ่ายเทมาเป็นช่วง ๆ นี้ถ้าไม่มากพอที่จะทำให้ไอของน้ำมันถึงจุดติดไฟ การเผาไหม้ก็จะไม่เกิดขึ้น เมื่อเกิดการระเบิดขึ้นการเผาไหม้จะเสร็จสิ้นเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับความเร็วของหัวฉีดของน้ำมัน ดังนั้นการวิ่งหัวฉีดของน้ำมันจึงมีความสำคัญต่อการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วงดังนี้ ช่วงที่ 1 คือช่วงจุดไฟล่าช้า (Ignition Delay) คือ ช่วงเวลาที่เริ่มฉีดน้ำมันจนถึงจุดที่เริ่มติดไฟ ช่วงนี้มีความสำคัญมากต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ ช่วงจุดไฟล่าช้าการเผาไหม้จะนิ่มนวลและ NO_x จากไอเสียจะน้อย ช่วงจุดไฟล่าช้าขึ้นอยู่กับ Cetane Number ของเชื้อเพลิง อุณหภูมิความดันของการอัดและการหมุนเวียนของก๊าซในกระบอกสูบ ช่วงที่ 2 คือช่วงความดันขึ้นเร็ว (Rapid Pressure Rise Period) คือ ช่วงเวลาที่เริ่มติดไฟจนถึงความดันสูงสุด ถ้าอัตราความดัน (dP/dt) ขึ้นเร็วเกินไปจะทำให้เครื่องน็อกและเกิดการสั่น กำลังของเครื่องจะตกจะมีสารมลพิษในไอเสียมาก ช่วงที่ 3 คือช่วงการเผาไหม้ลาม (Combustion Propagation) ความจริงการเผาไหม้นั้นเกิดขึ้นในช่วงที่ 2 แล้วแต่ในช่วงนั้นการเผาไหม้ลามจะเกิดอย่างรวดเร็วมากสำหรับในช่วงที่ 3 การลามจะค่อยสม่ำเสมอขึ้นแล้วจะช้าลง ทั้งนี้เพราะเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้ามาอยู่เรื่อย ๆ จะระเหยและดึงความร้อนออกจากกระบอกสูบ เชื้อเพลิงที่ระเหยจะกระจายไปทั่วกระบอกสูบและผสมกับอากาศและติดไฟต่อไป แต่การติดไฟที่สมบูรณ์จะใช้เวลานานขึ้น และช่วงที่ 4 คือช่วง Blow-down หรือหลังการเผาไหม้ ช่วงนี้น้ำมันหยุดฉีดแล้วแต่การเผาไหม้ยังลามต่อไป เชื้อเพลิงที่กระจายไปรอบ ๆ กระบอกสูบที่ขาด O_2 และสารอนุภาคของแข็งที่เกิดก็จะลามติดไฟอย่างช้า ๆ แม้ว่าลิ้นที่หัวฉีดจะปิดแล้วแต่ก็จะเกิดน้ำมันรั่วออกมาเนื่องจากความดันที่ค้างในท่อน้ำมันส่วนของน้ำมันที่รั่วนี้บางที่เรียกว่า การฉีดตกค้าง (Secondary Injection) จะไม่สามารถเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ได้ซึ่งจะทำให้เกิดควันดำและ HC ในไอเสียที่ออกมา

2.5.2.2 กำลังเบรกและแรงบิด

กำลังเบรก (brake power, P_b) เป็นกำลังที่วัดได้ที่เพลลาข้อเหวี่ยงหรือที่ล้อตุนกำลังของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่นำไปใช้งานได้นั่นเองหรือการนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า การวัดกำลังเบรกจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่าไดนาโมมิเตอร์ (dynamoter) ซึ่งมีอยู่หลายชนิด โดยจะวัดออกมาในรูปของทอร์คและรอบการหมุนของเครื่องยนต์

$$P_b = \frac{IV}{1000} \quad (2.1)$$

โดยที่

P_b คือ กำลังเบรก (kW)

I คือ กระแสไฟฟ้า (Amp)

V คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Volt)

หรือ

$$P_b = \frac{2\pi Tn}{1000} \quad (2.2)$$

โดยที่

T คือ แรงบิด (N·m)

n คือ รอบเครื่องยนต์ (rev/s)

2.5.2.3 แรงม้า เมื่อทราบกำลังเบรกที่ได้ก็สามารถคำนวณหาแรงม้าได้จาก

$$Bhp = \frac{P_b}{746} \times 1000 \quad (2.3)$$

โดยที่

B_{hp} คือ แรงม้าเบรก (hp)

2.5.2.4 การใช้พลังงานเชื้อเพลิงจำเพาะ ในการเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) เพื่อให้เห็นถึงการสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ต่อกำลังที่ได้ เพราะเชื้อเพลิงน้ำมันเบนซิน ก๊าซหุงต้มและก๊าซชีวภาพได้ใช้เป็นเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้จะมีหน่วยอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้การเปรียบเทียบกันได้ของทั้ง 3 เชื้อเพลิง จึงได้ใช้การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมาใช้ในการเปรียบเทียบ

$$SEC = \frac{\dot{m}_f \times Q_{HV}}{P_b} \quad (2.4)$$

โดยที่

SEC คือ การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kW-h)

Q_{HV} คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (MJ/kg)

2.5.2.5 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะและประสิทธิภาพทางความร้อน ในการทดสอบเครื่องยนต์ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะถูกวัดเป็นอัตราการไหลของมวล ซึ่งเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบได้จึงกำหนดในภาพของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (specific fuel consumption, sfc) ซึ่งเป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังที่ให้ออกมาและเป็นการวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตงานออกมา

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad (2.5)$$

โดยที่

sfc คือ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (g/(kW·h))

\dot{m}_f คือ อัตราการไหลของมวล (g/h)

ค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะยิ่งต่ำก็ยิ่งดี และโดยทั่วไปแล้วจะคำนวณในภาพของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (brake specific fuel consumption, bsfc) คือ เป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังเบรกที่ให้ออกมา ค่า bsfc ที่ดีที่สุดสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟจะมีค่าประมาณ 75 $\mu\text{g}/\text{J}$ ซึ่งเท่ากับ 270 g/(kW·h) สำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ค่า bsfc ที่ดีที่สุดจะต่ำกว่า และสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดขนาดใหญ่อาจมีค่าต่ำกว่า 55 $\mu\text{g}/\text{J}$ หรือ 200 g/(kW·h) เนื่องจากค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเป็นค่าที่มีหน่วย ทำให้ไม่สะดวกในการนำไปใช้ จึงได้มีการกำหนดค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในภาพของค่าที่ไม่มีหน่วยขึ้น ซึ่งก็คืออัตราส่วนระหว่างงานที่ได้ต่อวัฏจักรกับพลังงานเชื้อเพลิงที่ใส่เข้าไปต่อวัฏจักร โดยพลังงานเชื้อเพลิงที่สามารถปล่อยออกมาจากการเผาไหม้จะหาได้จากมวลของเชื้อเพลิงที่ส่งเข้าไปในเครื่องยนต์ต่อวัฏจักรคูณด้วยค่าความร้อนของเชื้อเพลิง อัตราส่วนดังกล่าวนี้เรียกว่า ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง (fuel conversion efficiency, η_f)

$$\eta_f = \frac{W_c}{\dot{m}_f Q_{HV}} = \frac{(P n_R / N)}{(\dot{m}_f n_R / N) Q_{HV}} = \frac{P}{\dot{m}_f Q_{HV}} \quad (2.6)$$

เมื่อแทนค่า P/\dot{m}_f จากสมการ (2.5) ในสมการ (2.6) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง η_f และ sfc คือ

$$\eta_f = \frac{1}{sfc Q_{HV}} \quad (2.7)$$

โดยที่ในหน่วยเอสไอ sfc : mg/J และ Q_{HV} : MJ/kg หรือ

$$\eta_f = \frac{3600}{sfc Q_{HV}} \quad (2.8)$$

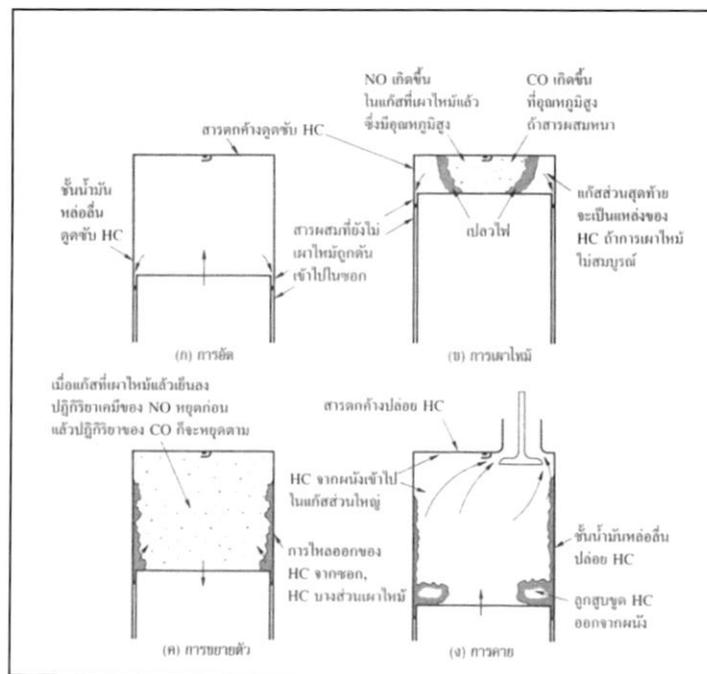
โดยที่ sfc มีหน่วยเป็น g/kW-h และ Q_{HV} มีหน่วยเป็น MJ/kg

2.5.3 มลพิษของไอเสีย และการควบคุม [8]

เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในทั้งเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟและจุดระเบิดด้วยกำลังอัดถือได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่สำคัญในเมืองและมีส่วนทำให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อน เกิดฝนกรด หมอกปกคลุมวัน กลิ่น รวมทั้งปัญหาระบบทางเดินหายใจและสุขภาพของมนุษย์ มลพิษที่ออกมาจากเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในส่วนใหญ่เป็นมลพิษที่ออกมากับไอเสียซึ่งเกิดจากสาเหตุที่สำคัญ คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ การออกซิเดชันของไนโตรเจนในอากาศ และความไม่บริสุทธิ์ของเชื้อเพลิงและอากาศ สำหรับมลพิษที่สำคัญที่ออกมากับไอเสียก็คือออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) สารระลอก ปริมาณและการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟและเครื่องยนต์ดีเซลจะแตกต่างกันอยู่บ้างดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.5.3.1 ปริมาณและการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟโดยทั่วไปประกอบด้วยสารที่ถือว่าเป็นมลพิษคือ ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ส่วนใหญ่เป็นไนตริกออกไซด์ (NO) และมีไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) อยู่ในปริมาณเล็กน้อย คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และสารประกอบอินทรีย์ซึ่งได้แก่ ไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้หรือเผาไหม้ไปบางส่วน (HC) โดยปริมาณสัมพัทธ์ของมลพิษแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับ การออกแบบเครื่องยนต์และสภาวะการทำงาน แต่โดยทั่วไปก็จะอยู่ในระดับต่อไปนี้

- 1) NO_x อยู่ในช่วง 500 ppm ถึง 1000 ppm หรือ 20 g/kg fuel
- 2) CO อยู่ในช่วงร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 2 หรือ 200 g/kg fuel
- 3) HC ประมาณ 3000 ppm หรือ 25 g/kg fuel

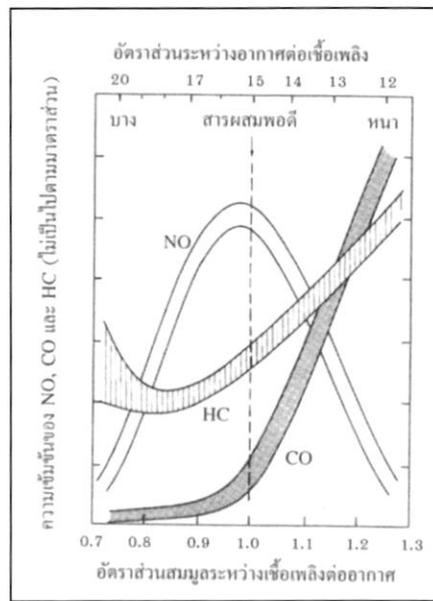


ภาพที่ 2.3 กลไกการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ [8]

กลไกที่ทำให้เกิดมลพิษในกระบอกสูบของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟได้แสดงไว้ในภาพ 2.3 โดยแสดงกระบวนการที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงของวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ คือ ช่วงการอัด การเผาไหม้ การขยายตัว และการคาย ซึ่งกลไกการเกิดมลพิษแต่ละชนิดนั้นพอสรุปได้ คือ ไนตริกออกไซด์ เกิดขึ้นในแก๊สที่เผาไหม้แล้วซึ่งมีอุณหภูมิสูงที่อยู่ข้างหลังเปลวไฟ โดยปฏิกิริยาเคมีของไนโตรเจนและออกซิเจน ซึ่งไม่อยู่ในสภาวะสมดุลเคมี อัตราการเกิด NO จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของแก๊สที่เผาไหม้แล้วสูงขึ้น เมื่อแก๊สที่เผาไหม้แล้วเย็นลงในจังหวะขยายตัว ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับ NO ก็จะหยุดและเหลือความเข้มข้นของ NO ไว้สูงกว่าระดับที่สอดคล้องกับสมดุลที่สภาวะของการคายไอเสีย สำหรับคาร์บอนมอนอกไซด์นั้นจะเกิดขึ้นในระหว่างการเผาไหม้เช่นกัน โดยเกิดขึ้นเมื่อสารผสมหนา ทำให้มีออกซิเจนไม่เพียงพอที่จะเผาไหม้คาร์บอนทั้งหมดในเชื้อเพลิงให้เป็น CO₂ และเกิดขึ้นในแก๊สที่เผาไหม้แล้วซึ่งมีอุณหภูมิสูงแม้ว่าจะเป็นการเผาไหม้สารผสมที่บางก็ตาม โดยเกิดขึ้นจากการแตกตัวของ CO₂ เป็นหลัก หลังจากนั้นในจังหวะขยายตัว กระบวนการออกซิเดชันของ CO ก็จะหยุดเมื่ออุณหภูมิของแก๊สที่เผาไหม้แล้วลดลง ส่วนการเกิดไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้จะมาจากแหล่งต่าง ๆ หลายแหล่ง แหล่งแรกมาจากการไหลเข้าและออกจากชอกหรือส่วนแคบ ๆ ที่ต่อเข้ากับห้องเผาไหม้ ซึ่งชอกที่ใหญ่ที่สุดก็คือ ชอกระหว่างลูกสูบ แหวนลูกสูบ และผนังกระบอกสูบ ในช่วงการอัดและเผาไหม้ ความดันกระบอกสูบที่เพิ่มขึ้นจะดันให้แก๊สบางส่วนในกระบอกสูบเข้าไปในชอก และแก๊สที่อยู่ในชอกนี้ส่วนใหญ่จะไม่ถูกเผาไหม้ในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นเนื่องจากทางเข้าของชอกเหล่านี้แคบเกินกว่าที่เปลวไฟจะเข้าไปได้ โดยแก๊สที่อยู่ในชอกจะไหลออกจากชอกในช่วงหลังของกระบวนการขยายตัวและในช่วงกระบวนการคาย แหล่งที่สองที่เป็นไปได้ก็คือผนังของห้องเผาไหม้ เมื่อเปลวไฟดับในขณะที่ไปใกล้ผนังก็จะเหลือชั้นที่ติดกับผนังซึ่งมีสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศที่ยังไม่เผาไหม้และเผาไหม้บางส่วน แหล่งที่สามของไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้ก็คือฟิล์มหรือชั้นบาง ๆ ของน้ำมันหล่อลื่นที่เหลืออยู่บนผนังกระบอกสูบ ลูกสูบ และอาจเหลืออยู่บนฝาสูบด้วย ชั้นของน้ำมันหล่อลื่นเหล่านี้สามารถดูดซับและปล่อยไฮโดรคาร์บอนได้ก่อนและหลังการเผาไหม้ตามลำดับ เป็นผลให้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนที่ถูกดูดซับไว้ก่อนการเผาไหม้นั้นไม่ถูกเผาไหม้ในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น และหลังจากกระบวนการเผาไหม้ ไอเชื้อเพลิงในแก๊สที่เผาไหม้แล้วจะหมดไป ทำให้ไอเชื้อเพลิงที่ถูกดูดซับไว้ในชั้นของน้ำมันหล่อลื่นถูกปล่อยออกมา แม้ว่าไอเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยออกมาในช่วงการขยายตัวจะผสมกับแก๊สที่เผาไหม้แล้วที่มีอุณหภูมิสูงและถูกออกซิไดส์ แต่บางส่วนที่อยู่ในชั้นขอบนอกที่เย็นหรือที่ผสมกับแก๊สที่เย็นก็จะไม่ถูกออกซิไดส์อย่างเต็มที่ แหล่งสุดท้ายของไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟก็คือการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ที่เกิดมาจากการดับของเปลวไฟก่อนที่เปลวไฟด้านหน้าทั้งหมดไปถึงผนัง ซึ่งมักจะเกิดขึ้นในช่วงการเปลี่ยนแปลงการทำงานของเครื่องยนต์ คือ เมื่ออัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิง จังหวะการจุดระเบิด และส่วนของไอเสียที่นำกลับมาใช้อีก อาจไม่สอดคล้องกัน ทำให้อัตราการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นช้ามาก

มลพิษที่ออกมาจากไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว ตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งก็คืออัตราส่วนสมมูลระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศ (ϕ) ภาพ 2.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ NO, CO และ HC ในไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟทั่วไปกับอัตราส่วนสมมูลระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศ โดยเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟตามปกติจะทำงานด้วยสารผสมใกล้เคียงกับสารผสมพอดีหรือด้วยสารผสมที่หนาเล็กน้อย เพื่อให้การ

ทำงานราบรื่นและเชื่อถือได้ ภาพ 2.4 แสดงว่าเมื่อสารผสมบางจะให้ปริมาณมลพิษออกมาต่ำกว่า จนกระทั่งคุณภาพของการเผาไหม้ไม่ดี คือเมื่อความเข้มข้นของ HC สูงโต่งขึ้น ซึ่งในขณะนั้นการทำงานของเครื่องยนต์ก็จะไม่ราบเรียบ นอกจากนี้ จะเห็นว่ารูปร่างของกราฟเหล่านี้ไม่อยู่ในรูปแบบเดียวกันซึ่งแสดงถึงความยุ่งยากในการควบคุม

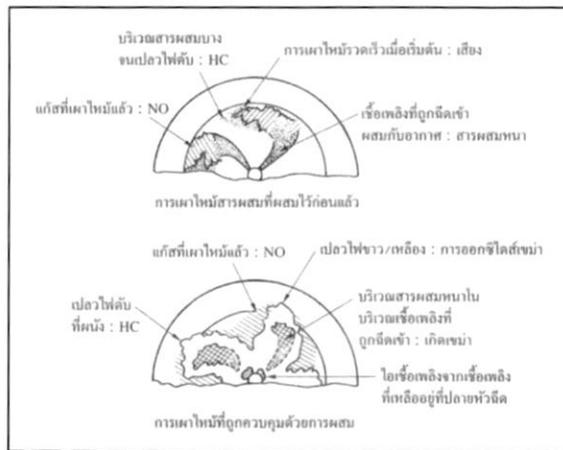


ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ HC, CO และ NO ในไอเสียของเครื่องยนต์ [8]

2.5.3.2 ปริมาณและการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์ดีเซล ไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล โดยทั่วไปประกอบด้วยสารที่ถือว่าเป็นมลพิษคล้าย ๆ กับของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ แต่ปริมาณของมลพิษบางตัวจะแตกต่างจากเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟโดยในไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลนั้นความเข้มข้นของ NO_x จะใกล้เคียงกับในไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ส่วนไฮโดรคาร์บอนที่ออกมากับไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลจะต่ำกว่าในไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟประมาณ 5 เท่า ซึ่งไฮโดรคาร์บอนในไอเสียนี้อาจควบแน่นเกิดเป็นควันขาวในช่วงการติดและอุ่นเครื่องได้ นอกจากนี้ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนบางชนิดในไอเสียยังเป็นแหล่งของกลิ่นไอเสียอีกด้วย สำหรับ CO ที่ออกมากับไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลนั้นน้อยมาก ทั้งนี้ เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลตามปกติแล้วจะทำงานด้วยสารผสมบาง แต่ในไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลจะมีสารละอองที่เป็นอนุภาคขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ $0.1 \mu\text{m}$) ราวร้อยละ 0.2 ถึงร้อยละ 0.5 ของมวลเชื้อเพลิง สารละอองนี้ประกอบด้วยเขม่าเป็นส่วนใหญ่และมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ถูกดูดซับไว้ด้วยบ้าง

การเกิดมลพิษในเครื่องยนต์ดีเซลจะขึ้นอยู่กับการกระจายเชื้อเพลิงและลักษณะของการกระจายที่แปรผันกับเวลาอันเนื่องจากการผสม ทั้งนี้ เนื่องจากในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบก่อนการเผาไหม้เริ่มต้นเล็กน้อย การกระจายของเชื้อเพลิงจึงไม่สม่ำเสมอ ภาพ 2.5 แสดงส่วนต่าง ๆ ของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปและเปลวไฟที่มีผลต่อการเกิด NO , ไฮโดรคาร์บอนที่

ยังไม่เผาไหม้และเขม่า ในช่วงการเผาไหม้สารผสมที่ผสมไว้ก่อนแล้วและในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมด้วยการผสมในเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่มีการไหลวน ซึ่งจะพบว่า NO เกิดขึ้นในบริเวณแก๊สที่เผาไหม้แล้วที่มีอุณหภูมิสูงเหมือนกับการเกิด NO ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ แต่ในเครื่องยนต์ดีเซลการกระจายของอุณหภูมิและอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศภายในบริเวณแก๊สที่เผาไหม้แล้วไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นอัตราการเกิดจะสูงสุดในบริเวณสารผสมที่ใกล้สารผสมพอดี เขม่าจะเกิดขึ้นในบริเวณแกนของสเปรย์ที่มีเชื้อเพลิงซึ่งยังไม่เผาไหม้ แล้วเขม่าก็จะถูกออกซิไดซ์ในบริเวณเปลวไฟเมื่อไปสัมผัสกับออกซิเจน ทำให้เปลวไฟมีลักษณะเป็นสีเหลืองสว่าง ส่วนไฮโดรคาร์บอนและอัลดีไฮด์ (aldehyde) จะเกิดในบริเวณที่เปลวไฟดับทั้งที่ผนังและในบริเวณที่ซึ่งถูกเจือจางด้วยอากาศมากเกินไปจนการเผาไหม้ไม่สามารถเริ่มหรือเกิดต่อไปจนสมบูรณ์ได้นอกจากนี้ ไอเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงที่เหลืออยู่ที่ปลายหัวฉีด ในช่วงหลังของการเผาไหม้ก็จะเป็นแหล่งของไฮโดรคาร์บอนอีกแหล่งหนึ่ง สำหรับเสียงที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นจะถูกควบคุมโดยส่วนแรกของกระบวนการเผาไหม้ซึ่งมีการปล่อยความร้อนที่รวดเร็วทันทีหลังช่วงล่าช้าในการจุดระเบิด โดยพยายามไม่ให้มีการเผาไหม้ของสารผสมที่เกิดขึ้นพร้อมกันทันทีในปริมาณที่มากเกินไป



ภาพที่ 2.5 กลไกการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง [8]

2.6 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน [9]

จุดคุ้มทุนหรือจุดเท่าทุน คือ จุดซึ่งรายได้จากการลงทุนคุ้มกับค่าลงทุน หรืออีกนัยหนึ่งหมายถึง จุดที่แสดงค่าใช้จ่ายกับรายรับเท่ากัน ซึ่งมีความหมายว่าเป็นจุดซึ่งมีกำไรเป็นศูนย์นั่นเอง การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุน (Cost) รายได้ (Revenue) และผลกำไร (Profit) ซึ่งผันแปรไปตามความเปลี่ยนแปลงของปริมาณการผลิต (Volume) บางทีเราก็เรียกว่าการวิเคราะห์ต้นทุน-ปริมาณผลิต-ผลกำไร (Cost-Volume-Profit Analysis) การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางเศรษฐศาสตร์ของสถานะต่าง ๆ ในระยะสั้น และข้อมูลจะต้องค่อนข้างแน่นอนเพื่อการตัดสินใจที่ถูกต้อง ผลของการวิเคราะห์จะใช้ได้เมื่อเงื่อนไขและสภาพการณ์ต่าง ๆ ยังไม่เปลี่ยนแปลง การสร้างแผนภูมิ (Chart) สำหรับการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนจะสามารถทำให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของกำไรและปริมาณการผลิตอย่างชัดเจน และเป็นประโยชน์สำหรับการกำหนดนโยบายการผลิตและการควบคุมค่าใช้จ่าย

2.6.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

2.6.1.1 วิเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมของต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เพื่อจะได้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายซึ่งแปรผันไปตามปริมาณเพิ่มขึ้นหรือลดลงของผลผลิต เช่น ถ้าผลิต 1,000 หน่วย มีค่าใช้จ่ายรวม 1,000 บาท ถ้าผลิต 2,000 หน่วย มีค่าใช้จ่ายรวม 2,000 บาท และค่าใช้จ่ายจะเป็น 3,000 บาท ถ้าผลิตถึง 3,000 หน่วย แสดงว่าค่าใช้จ่ายมีความผันแปรโดยตรงกับปริมาณการผลิต

ถ้า $N =$ ปริมาณการผลิต

$C =$ ค่าใช้จ่าย

$C \propto N$

$C = KN$

ในกรณีนี้ $K = 1$ บาทต่อหน่วย ค่าใช้จ่ายไม่จำเป็นต้องแปรผันโดยตรงกับปริมาณการผลิต เช่น อาจวิเคราะห์ได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$C = 0.1N^2 + 0.4N + 3 \quad (2.9)$$

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเพื่อแสดงความสัมพันธ์กับปริมาณการผลิต ทำให้เกิดความจำเป็นต้องแยกชนิดของค่าใช้จ่ายเป็นค่าใช้จ่ายคงที่หรือต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) และค่าใช้จ่ายตัวแปร ตาม (Variable Cost) การเข้าใจพฤติกรรมของต้นทุนในลักษณะนี้จึงมีความสัมพันธ์ไม่น้อย

2.6.1.2 ศึกษารายได้ (Revenue) ที่เกิดจากการขายผลิตภัณฑ์ ซึ่งโดยมากจะผันแปรโดยตรงกับปริมาณการขาย ถ้าจำนวนที่ผลิตได้ทั้งหมดสามารถจัดขายเป็นรายได้ทั้งหมด รายได้ก็จะผันแปรโดยตรงกับปริมาณการผลิตเช่นกัน

ถ้า $R =$ รายได้

$R \propto N$

$R = pN$

$p =$ ราคาขายผลิตภัณฑ์ต่อหน่วย (Price)

รายได้ไม่จำเป็นจะแปรผันโดยกับจำนวนการผลิตหรือปริมาณการขายเสมอไปเพราะราคาของผลิตภัณฑ์ไม่คงที่เสมอไป บางครั้งราคาแปรผันตามจำนวนการขายได้ เช่น ถ้าขายได้จำนวนมากขึ้นราคาอาจจะลดลง ในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนใด ๆ จึงอาจจะมีราคาได้หลาย ๆ ค่า

2.6.1.3 เมื่อได้รายละเอียดของค่าใช้จ่ายและรายได้ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณการผลิตแล้ว นำมาวิเคราะห์ร่วมกันเพื่อคำนวณหาผลกำไรจากค่าของรายได้ลบค่าใช้จ่าย

ถ้า $P =$ ผลกำไร (Profit)

$$P = R - C$$

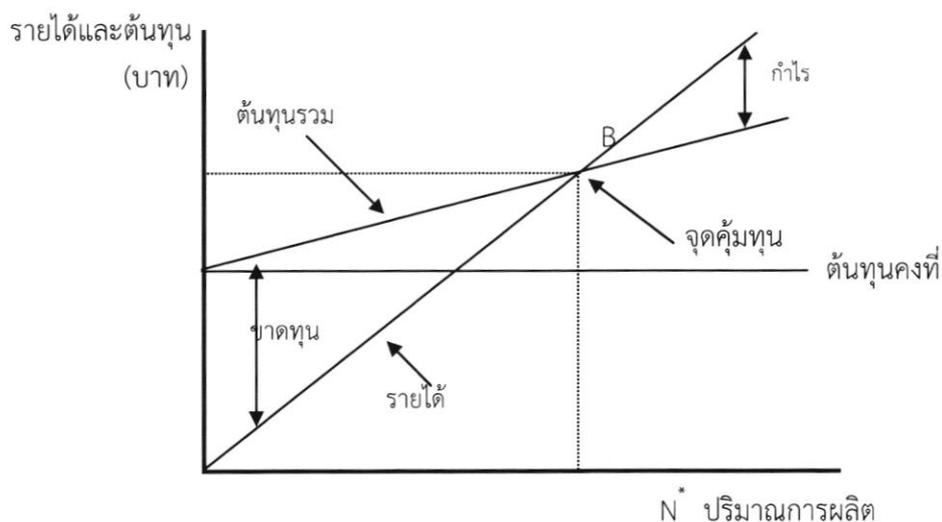
จุดคุ้มทุน คือ จุดซึ่งค่าใช้จ่ายเท่ากับรายรับหรือกำไรเป็นศูนย์

$$P = 0 \quad \text{หรือ} \quad R = C$$

2.6.1.4 สร้างแผนภูมิแสดงจุดคุ้มทุนซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์ที่ได้ผลการวิเคราะห์ที่เกิดประโยชน์ต่าง ๆ เช่น ช่วยให้สามารถกำหนดเงื่อนไขในการควบคุมค่าใช้จ่าย ช่วยให้สามารถลดค่าใช้จ่ายบางอย่างได้ เช่น สามารถพิจารณาลดค่าใช้จ่ายจากส่วนของค่าใช้จ่ายคงที่หรือจากส่วนของค่าใช้จ่ายแปรผัน ช่วยให้สามารถกำหนดจำนวนขายหรือราคาที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลตามเป้าหมาย ช่วยให้สามารถวางแผนงานการผลิตได้อย่างเหมาะสมและช่วยให้สามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้องยิ่งขึ้น

2.6.2 แผนภูมิของจุดคุ้มทุน (Break-even Chart)

ในการเขียนแผนภูมิของจุดคุ้มทุน จะใช้ระนาบประกอบด้วยแกนในแนวนอนแทนปริมาณการผลิต และแกนในแนวตั้งแทนค่าใช้จ่ายและรายได้ จำนวนที่เป็นค่าใช้จ่ายสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนคงที่กับส่วนที่เป็นต้นทุนแปรผัน ตัวอย่างของส่วนที่เป็นต้นทุนคงที่ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร ค่าดอกเบี้ยการลงทุน ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ในโรงงาน ฯลฯ ซึ่งจะ เป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่แปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการผลิต หมายความว่า จะเป็นค่าใช้จ่ายซึ่งยังคงมีอยู่ไม่ว่าจะผลิตมากน้อยเพียงใด โดยมากจะเขียนเป็นเส้นตรงในแนวนอนเหนือแกนนอนขึ้นมาตามจำนวนเงินต้นทุนคงที่ ส่วนค่าใช้จ่ายแปรผันได้แก่พวกค่าแรงงานโดยตรงและค่าวัสดุโดยตรง ซึ่ง จะแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงปริมาณการผลิตและเขียนเส้นตรงมีแนวสูงขึ้นไปตามปริมาณที่มากขึ้นในแนวนอน ส่วนเส้นรายได้จะแปรผันตามสัดส่วนกับปริมาณการขาย โดยจะเขียนเป็นเส้นตรงมีแนวสูงขึ้นไปตามปริมาณการผลิตที่มากขึ้น เมื่อจัดเส้นทั้งสองชนิดเข้าในแผนภูมิเดียวกันจะเกิดจุดคุ้มทุนตรงจุดตัดระหว่างเส้นตรงของรายได้และเส้นตรงของค่าใช้จ่ายรวม ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างแผนภูมิการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน [9]

จากภาพที่ 2.6 แผนภูมิของจุดคุ้มทุนแสดงจุดตัดของรายได้และต้นทุนซึ่งสามารถอ่านค่า N^* เป็นปริมาณการผลิตที่จุดคุ้มทุนโดยมีสมการค่าใช้จ่ายและรายรับดังนี้

$$\begin{aligned}
 C &= F + N \cdot V \\
 F &= \text{ต้นทุนคงที่} \\
 V &= \text{ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย} \\
 R &= N \cdot p \\
 \text{ณ จุดคุ้มทุน } R &= C \\
 N \cdot p &= F + N \cdot V \\
 N^* &= \frac{F}{p - v} \quad (2.10)
 \end{aligned}$$

ปริมาณ N^* แสดงระดับปริมาณ ณ จุดคุ้มทุนซึ่งแทนความหมายได้ดังนี้

- (1) จำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตหรือขาย
- (2) ปริมาณการขายที่คิดเป็นจำนวนเงิน
- (3) ปริมาณเป็นอัตราร้อยละของการผลิตเต็มตามสมรรถภาพ

ค่า $p-v$ เรียกว่า ส่วนผลให้ต่อหน่วย (Marginal Contribution) เป็นผลต่างของราคาผลิตภัณฑ์และต้นทุนแปรผันต่อหน่วย ส่วนปริมาณการผลิตที่มากกว่าค่า N^* จะแสดงในแผนภูมิซึ่งมีค่า $R > C$ แสดงว่าเป็นส่วนซึ่งกำไร และส่วนปริมาณการผลิตที่น้อยกว่า N^* จะแสดงการขาดทุนเพราะ $R < C$

2.6.3 ค่าเสื่อมราคา (Depreciation) [10]

2.6.3.1 ค่าเสื่อมราคา (Depreciation) หมายถึง การปันส่วนมูลค่าเสื่อมสภาพของสินทรัพย์ อย่างมีระบบตลอดอายุการใช้งานที่ได้ประมาณไว้ การคิดค่าเสื่อมราคาก็คือการนำต้นทุนของสินทรัพย์นั้นมาจัดสรรเฉลี่ยเป็นค่าใช้จ่ายตามอายุการใช้งาน หรือประโยชน์ที่จะได้รับนั่นเองสินทรัพย์ที่คิดค่าเสื่อมราคา ได้แก่ อาคาร เครื่องจักร เครื่องตกแต่ง อุปกรณ์สำนักงาน และ รถยนต์ยกเว้น ที่ดิน เพราะที่ดินมีอายุการใช้งานไม่จำกัด

2.6.3.2 ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าเสื่อมราคา คือ

- 1) ราคาทุนของสินทรัพย์
- 2) อายุการใช้งาน
- 3) ราคาซาก

2.6.3.3 วิธีการคำนวณค่าเสื่อมราคามีดังนี้

1) วิธีเส้นตรง (Straight-Line Method) เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกที่สุดเพราะจะแบ่งราคาทุนหลังจากหักราคาซากของสินทรัพย์นั้น เป็นค่าเสื่อมราคาประจำปี ในจำนวนที่เท่า ๆ กัน ตลอดอายุการใช้งาน

2) วิธีชั่วโมงการทำงาน (Working-Hours Method) วิธีนี้จะเฉลี่ยตามชั่วโมงการทำงาน ดังนั้นค่าเสื่อมจะขึ้นอยู่กับชั่วโมงการทำงานในแต่ละปีว่าใช้ชั่วโมงการทำงานมากหรือน้อย

3) คำนวณตามผลผลิต (Productive-output Method) วิธีนี้จะคำนวณราคาตามหน่วยของผลผลิต

4) วิธีลดลงทุกปี (Reducing-Charge Method) การคิดค่าเสื่อมราคาวิธีนี้การคำนวณราคาในอัตราเร่ง คือปีแรกกิจการจะได้รับผลประโยชน์มากกว่าปีหลัง ๆ ทำให้ค่าเสื่อมราคาในปีแรก ๆ สูงกว่าปีหลัง

ในงานวิจัยนี้จะทำการคิดค่าเสื่อมราคาในอัตราเปลี่ยนแปลงตามชั่วโมงการทำงานหรือตามจำนวนผลผลิต (Services Hours or Productive Output Method) วิธีที่เหมาะสมสำหรับทรัพย์สินที่มีราคาลดลงเนื่องจากการใช้งานมากกว่าจะลดลงตามระยะเวลา เช่น เครื่องจักรเครื่องหนึ่งซื้อเข้ามาใช้งานมีราคา 230,000 บาท ประมาณว่าจะผลิตสินค้าได้ทั้งสิ้น 100,000 หน่วย และมีค่าซาก 30,000 บาท ถ้าในปีแรกเครื่องจักรสามารถผลิตได้ 22,000 หน่วย ปีที่ 2 ผลิตได้ 21,000 หน่วย การคิดค่าเสื่อมราคาในแต่ละปีจะเป็นดังนี้

$$\begin{aligned}\text{ค่าเสื่อมราคาต่อหน่วยผลผลิต} &= (\text{ราคาทุน} - \text{ราคาซาก}) / \text{จำนวนหน่วยที่จะผลิตสินค้าได้} \\ &= (230,000 - 30,000) / 100,000 \\ &= 2 \text{ บาท}\end{aligned}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร} = \text{จำนวนหน่วยที่ผลิตในปีนั้น} \times \text{ค่าเสื่อมราคาต่อหน่วยผลผลิต}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรปีที่ 1} &= 22,000 \times 2 \\ &= 44,000 \text{ บาท}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรปีที่ 2} &= 21,000 \times 2 \\ &= 42,000 \text{ บาท}\end{aligned}$$

บทที่ 3 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้พลังงานทดแทนเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์

M. Pugazhivadivu and K. Jeyachandran (2005) [11] ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานและการปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันพืชเก่าเป็นเชื้อเพลิง โดยการอุ่นน้ำมันก่อนการใช้งาน น้ำมันพืชที่ใช้แล้วไม่สามารถกินได้ และถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล แต่เนื่องจากน้ำมันดังกล่าวมีความหนืดสูงจึงต้องให้ความร้อนเพื่อให้ความหนืดลดลง โดยสมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้วที่พิจารณาเช่น ความหนืด ความหนาแน่น ค่าความร้อน และจุดวาบไฟ ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความหนืดของน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่ใช้ในการทดสอบต้องใช้อุณหภูมิ 135°C เพื่อลดความหนืดลงมาให้เท่ากับน้ำมันดีเซลที่ 30°C ประสิทธิภาพการทำงานและการปล่อยไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวที่ได้ทำการทดสอบโดยใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (โดยไม่ต้องอุ่น) และน้ำมันพืชใช้แล้วที่ได้รับการอุ่น จะแตกต่างกันทั้งสองอุณหภูมิเข้า 75 และ 135°C ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบและค่า CO และควันดำของไอเสียลดลงเมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้วที่ทำการอุ่น โดยข้อสรุปผลการทดสอบของการทดลองใช้น้ำมันพืชใช้แล้วที่อุ่นถึง 135°C สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลได้สำหรับการทำงานระยะเวลาสั้น ๆ

Cherng-Yuan Lin and Hsiu-An Lin (2006) [12] ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานและการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตโดยกระบวนการ Peroxidation ในการศึกษาใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตโดยเทคนิคการทำปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องโดยใช้กระบวนการ Peroxidation น้ำมันเชื้อเพลิง 4 ประเภทคือเชื้อเพลิงดีเซล ไบโอดีเซลที่มีและไม่มีกระบวนการ Peroxidation และไบโอดีเซลผสมดีเซลเชิงพาณิชย์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการศึกษาโดยใช้มาตรฐาน ASTM ฉบับ 2D ในการเปรียบเทียบสมบัติเชื้อเพลิง สมรรถนะของเครื่องยนต์และการปล่อยไอเสีย ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิก๊าซไอเสีย อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และอัตราส่วนสมดุลเพิ่มขึ้นตามอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเบรก ดัชนีการปล่อยก๊าซ CO₂, CO และ NO_x ลดลงตามอัตราการเพิ่มความเร็วยานของเครื่องยนต์ น้ำมันไบโอดีเซลทั้งสามชนิดแสดงให้เห็นอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงขึ้น ในขณะที่ดัชนีการปล่อย CO และ CO₂ รวมทั้งอุณหภูมิของไอเสียต่ำกว่า เมื่อเทียบกับดีเซลมาตรฐาน ASTM ฉบับ 2D พบว่าไบโอดีเซลมีปริมาณออกซิเจนตามสัดส่วนน้ำหนักของการอิมัลชันตัวพ่นระคาร์บอน อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเบรกที่สูงกว่าไบโอดีเซลที่ไม่ได้ผลิตโดยกระบวนการ peroxidation ในขณะที่ในเวลาเดียวกันประสิทธิภาพเชิงความร้อน อัตราส่วนสมดุลและดัชนีการปล่อย CO₂, CO และ NO_x พบว่ามี การลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตไบโอดีเซลที่มีการเพิ่มของกระบวนการ Peroxidation มีความเท่าเทียมกันต่ำสุดและอัตราการปล่อยดัชนีของ CO₂, CO และ NO_x ในทั้งสี่เชื้อเพลิงที่ทำการทดสอบ ดังนั้นกระบวนการ Peroxidation สามารถนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง และลดการปล่อยก๊าซไอเสียเมื่อมีการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

Murat Karabektas et al. (2008) [13] ศึกษาผลกระทบของการอุ่นน้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ดฝ้ายในสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล ภายใต้การอุ่นน้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ดฝ้ายที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ในการที่จะลดความหนืดน้ำมันเมล็ดฝ้ายโดยใช้เมทิลแอลกอฮอล์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการทดสอบที่สภาวะโหลดเต็มรูปแบบในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว สี่จังหวะ แบบฉีดตรง อุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันแตกต่างกันคือ 30, 60, 90 และ 120°C ข้อมูลที่ถูกนำมาใช้สำหรับการประเมินคือการใช้พลังงานเบรกและประสิทธิภาพเชิงความร้อนร่วมกับการปล่อย CO และ NO_x ผลการศึกษาพบว่า การอุ่นน้ำมันมาถึง 90°C จะนำไปสู่ผลกระทบที่ดีต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการปล่อย CO แต่ทำให้เกิดการปล่อย NO_x ที่สูงขึ้น และการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยของการใช้พลังงานเบรกที่อุณหภูมิ 90°C แต่เมื่ออุ่นน้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ดฝ้ายถึง 120°C การใช้พลังงานเบรกจะลดลงอย่างมาก สังเกตได้จากการรั่วไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากการลดลงของความหนืดน้ำมันเชื้อเพลิง ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าการอุ่นน้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ดฝ้ายที่ 90°C สามารถนำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลได้โดยไม่ต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์

Mustafa Canakci et al (2009) [14] ศึกษาการเผาไหม้ของการอุ่นน้ำมันดอกทานตะวันดิบเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลไคร้กอินเจ็คชั่น โดยการใช้น้ำมันดอกทานตะวันดิบในการทดสอบสมบัติการเผาไหม้และการปลดปล่อยก๊าซไอเสียเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป ในเครื่องยนต์สูบเดียวแบบไคร้กอินเจ็คชั่น ความดันก๊าซในกระบอกสูบและการปล่อยความร้อนของน้ำมันดอกทานตะวันดิบอุ่นที่ 75°C มีความคล้ายคลึงกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป ความล่าช้าในการจุดระเบิดของน้ำมันดอกทานตะวันดิบนานกว่าและจุดเริ่มต้นของระยะเวลาการฉีดล่วงหน้าเร็วกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป ความแตกต่างในแรงบิดเฉลี่ยลดลงร้อยละ 1.36 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเบรกเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 5 ในสัดส่วนที่แตกต่างกับค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.06 ซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่าการปล่อย CO₂ และควันทาร์ร้อยละ 2.05 และ 4.66 ลดลงตามลำดับแต่ไม่ได้มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในการปล่อยก๊าซไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 34 อย่างมีนัยสำคัญ คาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.77 ผลที่ได้ไม่ได้มีนัยสำคัญทางสถิติ น้ำมันดอกทานตะวันดิบไม่ได้มีผลกระทบเชิงลบใด ๆ ต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์และการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ในการทดลองชั่วระยะเวลาสั้น ๆ

Huseyin Aydina and Hasan Bayindirb (2010) [15] ศึกษาสมรรถนะและวิเคราะห์การปล่อยไอเสียของน้ำมันเมทิลเอสเตอร์จากเมล็ดฝ้ายในเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้ น้ำมันเมทิลเอสเตอร์จากเมล็ดฝ้าย (CSOME) ผสมกับน้ำมันดีเซลหมายเลข D2 โดยปริมาตรร้อยละ 5 (B5), 20 (B20), 50 (B50), 75 (B75) และ CSOME (B100) ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว แบบฉีดตรงระบายความร้อนด้วยอากาศ การทดสอบผลกระทบของการผสมน้ำมันเมทิลเอสเตอร์จากเมล็ดฝ้าย กับน้ำมันดีเซลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์และการปล่อยไอเสีย ได้ทดสอบที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์และภาระโหลดเต็มกำลัง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการผสมน้ำมันเมทิลเอสเตอร์จากเมล็ดฝ้ายร้อยละ 5 สามารถเพิ่มแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบปานกลางและสูง แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันเมทิลเอสเตอร์จากเมล็ดฝ้ายร้อยละ 5 ร้อยละ 20 และน้ำมันดีเซล ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการผสมน้ำมันเมทิลเอสเตอร์จากเมล็ดฝ้ายเล็กน้อย สามารถใช้แทนน้ำมันดีเซลได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์

Huseyin Aydina and Cumali Ilkilicb (2010) [16] ศึกษาผลของการผสมเอทานอลกับไบโอดีเซลที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์และการปล่อยไอเสีย โดยใช้เอทานอลเป็นสารเติมแต่ง ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งาน การเพิ่มอัตราส่วนร้อยละที่สูงขึ้นของไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล ผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเชิงพาณิชย์ โดยใช้ไบโอดีเซลร้อยละ 20 และเชื้อเพลิงดีเซลร้อยละ 80 เรียกว่า B20 และไบโอดีเซลร้อยละ 80 และเอทานอลร้อยละ 20 เรียกว่า BE20 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยวสี่จังหวะแบบฉีดตรง ศึกษาผลกระทบของเชื้อเพลิงในแรงบิดเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ประสิทธิภาพเชิงความร้อน อุณหภูมิไอเสียและการปล่อยก๊าซ CO, CO₂, NO_x และ SO₂ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ ได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นด้วยการใช้ BE20 เมื่อเทียบกับ B20 และการปล่อยก๊าซไอเสียสำหรับน้ำมัน BE20 ลดลงอย่างเห็นได้ชัด

Bhupendra Singh Chauhan et al. (2010) [17] ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานและการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดกลางที่ใช้น้ำมันสบูดำจากการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมัน การใช้น้ำมันพืชโดยตรงยังพบปัญหาเนื่องจากมีความหนืดสูง จุดมุ่งหมายของการศึกษาคือการลดความหนืดของน้ำมันด้วยความร้อนจากก๊าซไอเสียก่อนที่จะป้อนไปยังเครื่องยนต์ ศึกษาผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์และการปล่อยมลพิษ โดยใช้อุปกรณ์ทดสอบเครื่องยนต์ ควบคู่กับการออกแบบอย่างเหมาะสมของเปลือกและท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ที่มีการจัดบายพาสไอเสียเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์มีค่าต่ำ และการใช้พลังงานจำเพาะเบรกสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง มีผลในการเพิ่มขึ้นและการลดลงของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ และการใช้พลังงานจำเพาะเบรก การปล่อย NO_x จากน้ำมันสบูดำในระหว่างช่วงการทดสอบมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล การปล่อยมลพิษจากน้ำมันสบูดำจะสูงกว่าน้ำมันดีเซล แต่ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันสบูดำทำให้การปล่อยมลพิษมีแนวโน้มลดลง จึงพอสรุปได้ว่าการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่ออุ่นน้ำมันสบูดำสามารถใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงได้ดีสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลในอนาคตอันใกล้ อุณหภูมิน้ำมันสบูดำที่เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงอยู่ที่ 80°C เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพเชิงความร้อน การใช้พลังงานจำเพาะเบรก และการปล่อยมลพิษ

G.R. Kannan and R. Anand (2012) [18] ศึกษาผลของความดันการฉีดและระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลโดเรคอินเจคชั่นที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชใช้แล้วผ่านกระบวนการ Transesterification ถูกปรับให้เหมาะสมโดยใช้วิธีการตอบสนองพื้นผิว ทดสอบภายใต้ผลของความดันการฉีดและระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง การปล่อยก๊าซไอเสียและลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว สี่จังหวะ แบบฉีดตรง ที่ความเร็วคงที่ 1500 รอบต่อนาที การปรับแรงดันการฉีดและระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงพบว่าผลกระทบโดยรวมของความดันที่สูงขึ้นของการฉีด 280 บาร์ และระยะเวลาการฉีดที่ 25.5 องศา ก่อนจุดศูนย์กลางบนของลูกสูบ มีผลกระทบที่สำคัญต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก ความดันก๊าซในกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ และยังพบว่าไนโตรเจนออกไซด์ และการปล่อยควันดำลดลงกว่าเดิม

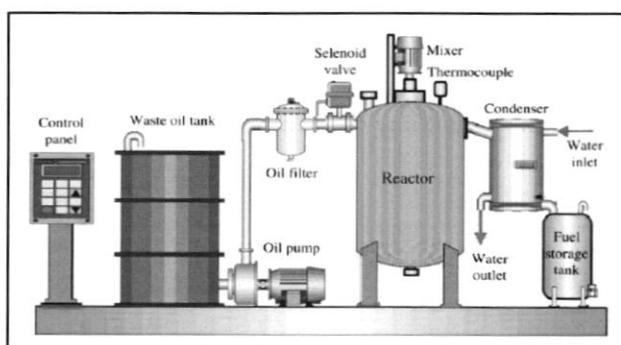
3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการผลิตและการใช้เชื้อเพลิงจากกระบวนการไพโรไลซิส

Orhan Arpa et al. (2009) [19] ได้ศึกษาการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลจากน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ที่ใช้แล้วโดยวิธีการกลั่นแบบ pyrolytic ซึ่งจุดมุ่งหมายของการศึกษา คือการได้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลจากน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ที่ใช้แล้วโดยวิธีการกลั่นแบบ pyrolytic ดังแสดงในภาพที่ 3.1 ซึ่งสามารถที่จะใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยการนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วมาเก็บไว้ในถังและทำให้บริสุทธิ์ จากสารปนเปื้อนเช่น ผุ่น เขม่าคาร์บอน อนุภาคโลหะหนัก วัสดุประเภทยางและสิ่งสกปรกอื่น ๆ โดยวิธีการการกรอง รวมถึงศึกษาผลของสารเติมแต่ง โซเดียมคาร์บอเนต (NaCO_3), ซีโอไลท์ และ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ต่อความหนาแน่น, ความหนืด, จุดวาบไฟ, กำมะถัน, ค่าความร้อนและอุณหภูมิของการกลั่น ทำการผสมในอัตราส่วนร้อยละ 2, 4, 6, 8 และ 10 ในน้ำมันตัวอย่างก่อนเข้าสู่กระบวนการกลั่นแบบ pyrolytic และสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงที่ผลิตเช่น ความหนาแน่น จุดวาบไฟ ความหนืดปริมาณกำมะถัน ค่าความร้อนและอุณหภูมิการกลั่น จากผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วน CaO ร้อยละ 2 มีผลสูงสุดในการลดปริมาณกำมะถันของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วและมีอุณหภูมิการกลั่นที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่ได้รับประมาณร้อยละ 60

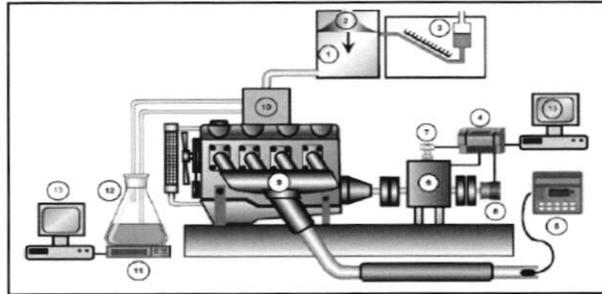
Orhan Arpa et al. (2009) [20] ได้มีการทดลองใช้น้ำมันเบนซิน (GLF) ที่ได้รับจากการกลั่นน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์และการปล่อยไอเสีย ดังแสดงในภาพที่ 3.2 ในการศึกษาใช้น้ำมันเบนซิน (GLF) ที่ได้จากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (WLO) โดยใช้วิธีการกลั่นแบบ pyrolytic เชื้อเพลิงถูกแยกออกเป็นสองส่วนซึ่งเป็นเชื้อเพลิงเบาร้อยละ 20 และเชื้อเพลิงหนักร้อยละ 60 จาก WLO ที่เหลืออยู่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก น้ำมันเชื้อเพลิงเบนซิน (GLF) ได้ถูกนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ดังแสดงในภาพที่ 3.2 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าน้ำมัน GLF มีผลกระทบเชิงบวกต่อ กำลังงานเบรก ประสิทธิภาพเชิงความร้อน อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ น้ำมัน GLF ยังทำให้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิไอเสียเพิ่มขึ้น แต่สามารถลดปริมาณไฮโดรคาร์บอน (HC) ในไอเสียได้

Orhan Arpa et al. (2010) [21] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของน้ำมันดีเซลที่ได้จากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์และการปล่อยไอเสีย โดยศึกษาผลกระทบของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล (DLF) ต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์และการปล่อยมลพิษของไอเสีย ดังแสดงในภาพที่ 3.3 มีการทดสอบเชื้อเพลิง DLF ที่ผลิตจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ซึ่งได้มีการทำให้บริสุทธิ์จากฝุ่นละออง เขม่าคาร์บอนหนัก อนุภาคโลหะ วัสดุประเภทยางและสิ่งสกปรกอื่น ๆ ระบบการผลิตเชื้อเพลิง DLF ประกอบด้วยถังเก็บน้ำมัน ตัวกรอง เครื่องปฏิกรณ์ ป้อนน้ำมัน ถังเก็บผลิตภัณฑ์ ตัวควบคุมอุณหภูมิและแผงควบคุม การออกแบบและผลิต DLF ผลิตโดยใช้ระบบและการประยุกต์ใช้วิธีการกลั่นแบบ pyrolytic การทดสอบสมบัติของน้ำมันเช่น ความหนาแน่น ความหนืด จุดวาบไฟ ค่าความร้อน ปริมาณกำมะถัน การกลั่นของกลุ่มตัวอย่าง DLF จะดำเนินการโดยใช้อุปกรณ์ทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ การทดสอบสมรรถนะการทำงานและคุณลักษณะการปล่อยไอเสีย ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง DLF จะดำเนินการโดยใช้เครื่องมือทดสอบสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล เชื้อเพลิง DLF สามารถใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ ทั้งในแง่ของสมรรถนะของเครื่องยนต์ เชื้อเพลิง DLF ยังช่วยเพิ่มแรงบิด ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะลงอีกด้วย

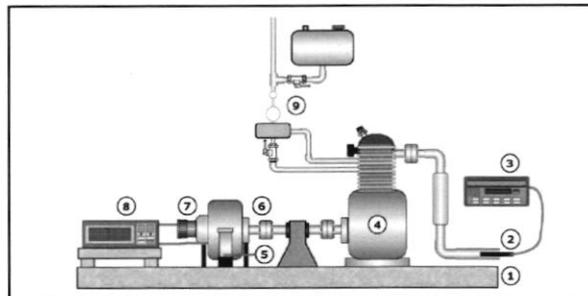
Orhan Arpa et al. (2013) [22] ได้ศึกษาการกำจัดกำมะถันจากน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และการใช้ประโยชน์ในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์และการปล่อยไอเสีย ในการศึกษาการกำจัดกำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล (DLF) ที่ผลิตจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและผลกระทบของน้ำมันเชื้อเพลิงต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์และการปล่อยมลพิษ ประการแรก DLF ถูกผลิตโดยใช้ระบบการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงและการประยุกต์ใช้วิธีการกลั่นแบบ pyrolytic หลังจากนั้นทำการผลิต DLF ด้วยวิธีการ oxidative desulfurization (ODS) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เพื่อลดปริมาณของกำมะถันใน DLF ระดับกำมะถัน DLF ลดลงจาก 3500 ppm เป็น 420 ppm หลังจากการประยุกต์ใช้วิธีการ ODS และพบว่าอุณหภูมิมีผลสำคัญในการลดลงของปริมาณกำมะถันของ DLF ประการที่สองการทดสอบคุณลักษณะเช่นความหนาแน่น ความหนืด ค่าความร้อน จุดวาบไฟ กำมะถัน และการทดสอบอุณหภูมิการกลั่นน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับเป็นน้ำมันดีเซลกำมะถันต่ำ (LSDLF) สุดท้ายเชื้อเพลิงดีเซล LSDLF และน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเชิงพาณิชย์ทั่วไป ถูกนำมาใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อทดสอบผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และการปล่อยก๊าซ แสดงให้เห็นว่าแรงบิด ความดันเฉลี่ยในการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสำหรับเชื้อเพลิงดีเซล LSDLF สูงขึ้นกว่าเชื้อเพลิงดีเซลเชิงพาณิชย์เล็กน้อย ในขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ อุณหภูมิไอเสียและการปล่อยไอเสีย SO_2 , CO และ NO_x จะต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซลเชิงพาณิชย์ สรุปได้ว่า LSDLF สามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่เกิดปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ ทั้งในส่วนของสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิง อุณหภูมิการกลั่นและประสิทธิภาพการทำงาน



ภาพที่ 3.1 ไตอะแกรมการขจัดสิ่งปลอมปนและการกลั่นน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว [19]



ภาพที่ 3.2 ไดอะแกรมการทดสอบเครื่องยนต์เบนซินของ Orhan Arpa [20]

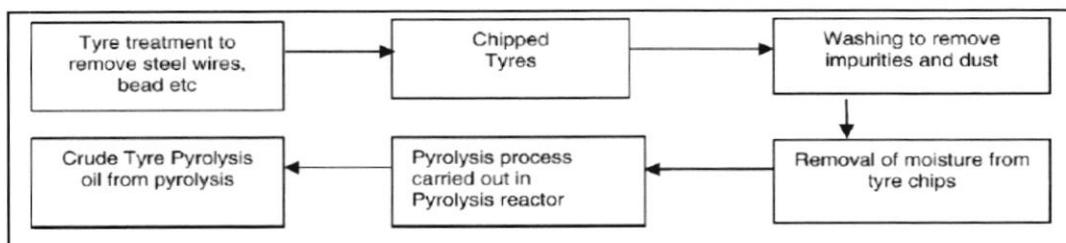


ภาพที่ 3.3 ไดอะแกรมการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลของ Orhan Arpa [21]

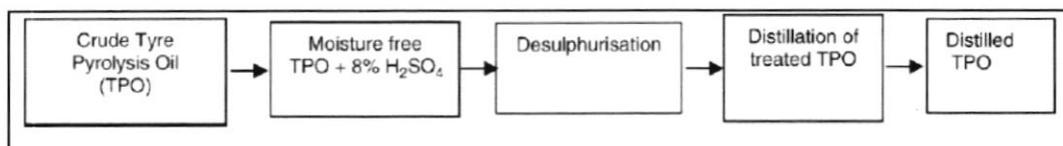
S. Murugana et al. (2007) [23] ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ การปล่อยก๊าซไอเสียและการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง ที่ใช้น้ำมันจากการไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่าผสมกับน้ำมันดีเซล โดยนำน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่า (TPO) ตามขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 3.4 มาผ่านกระบวนการกลั่นแบบสูญญากาศ ตามขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 3.5 แล้วผสมกับน้ำมันดีเซล (DTPO-DF) เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล สี่จังหวะแบบฉีดตรง สูบเดี่ยว ระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ใด ๆ พบว่าเครื่องยนต์สามารถใช้งานได้ดีเมื่อผสมน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่า (TPO) ที่อัตราส่วนร้อยละ 90 แต่ไม่สามารถใช้งานได้ดีเมื่อใช้ในอัตราส่วนร้อยละ 100 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกเพิ่มขึ้นตามร้อยละของการผสม DTPO แต่น้อยกว่า DF ประมาณร้อยละ 3 ไอเสีย NO_x ต่ำลงประมาณร้อยละ 21 สำหรับ DTPO80 และร้อยละ 18 สำหรับ DTPO90 ซึ่งลดลงกว่าการใช้งาน DF แต่ HC และ CO มีค่าสูงกว่า DF อาจจะเป็นเพราะไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวใน DTPO คว้นดำสูงขึ้นเมื่อเทียบกับ DF ความล่าช้าในการจุดระเบิดเพิ่มขึ้นอีก $2-2.5^\circ\text{CA}$ สำหรับการผสม DTPO-DF เมื่อเทียบกับ DF ที่ภาระโหลดเต็ม แรงดันในกระบอกสูงสุดมีค่าสูงขึ้นกว่า DF ประมาณ 1.6 บาร์และ 2 บาร์ DTPO80 และ DTPO90 ตามลำดับ อัตราการปล่อยความร้อนและการเพิ่มขึ้นของความดันใน DTPO-DF จะลดลงเมื่อเทียบ DF อาจมีสาเหตุมาจากความล่าช้าในการเผาไหม้ของ DTPO-DF

S. Murugana et al. (2008) [24] ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ การปล่อยก๊าซไอเสียและการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง โดยใช้เชื้อเพลิงจากการไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่าผสมกับน้ำมันดีเซลในการทดสอบ โดยนำน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่า (TPO) ซึ่งมีขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 3.4 มาผ่านกระบวนการกลั่นแบบสุญญากาศ ซึ่งมีขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 3.5 ผสมกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สี่จังหวะสูบเดียวระบายความร้อนด้วยอากาศโดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ ผลที่ได้เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล (DF) แสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์สามารถทำงานได้ดีด้วยการผสม DTPO ร้อยละ 90 และน้ำมันดีเซลร้อยละ 10

S. Murugana et al. (2008) [25] ใช้ น้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่ากับเครื่องยนต์ดีเซล โดยทดสอบการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์ และลักษณะการเผาไหม้ในกระบอกสูบเครื่องยนต์ดีเซลไตรีคอินเจ็คชั่น เชื้อเพลิงที่ใช้มีการผสมน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่า (TPO) 10%, 30% และ 50% กับน้ำมันดีเซล (DF) การศึกษาพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงผสม TPO-DF เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของการผสมผสานและการลดลงของความเข้มข้นของ DF สำหรับ NO_x , HC, CO, และการปล่อยควันพบว่าสูงขึ้นในภาวะโหลดที่สูงขึ้น ความดันสูงสุดในกระบอกสูบเพิ่มขึ้นจาก 71 ถึง 74 บาร์ ความล่าช้าในการเผาไหม้นานกว่าการใช้น้ำมันเซลเพียงอย่างเดียว โดยสรุปได้ว่าเป็นไปได้ที่จะใช้น้ำมันไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่าในเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในอนาคต

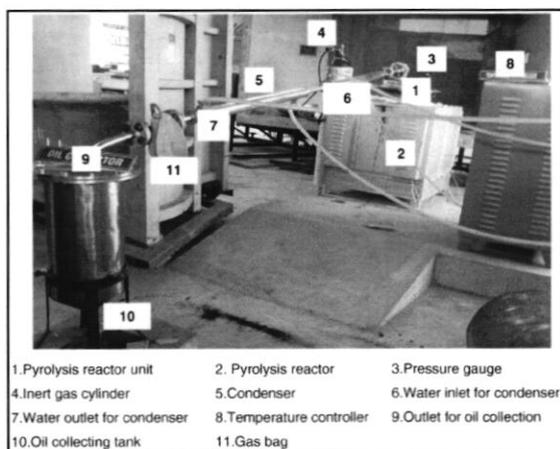


ภาพที่ 3.4 ผังลำดับขั้นการไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่าของ S. Murugana [23, 24]

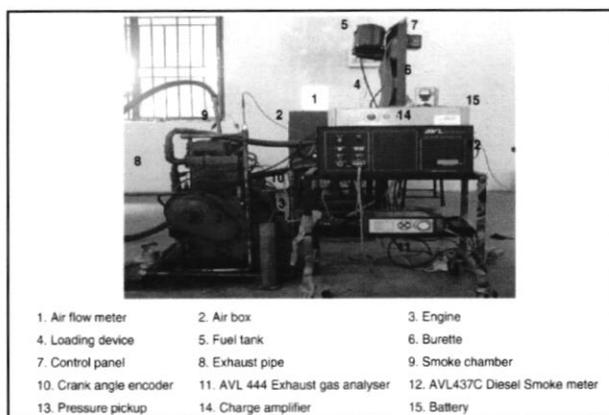


ภาพที่ 3.5 ผังการกลั่นน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่าของ S. Murugana [23, 24]

S. Murugana et al. (2008) [26] ศึกษาการผสมน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่ากับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 20 (TPO20) ถึงร้อยละ 70 (TPO70) โดยปริมาตร โดยนำน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่า (TPO) ตามขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 3.6 มาผ่านกระบวนการกลั่นแบบสุญญากาศ แล้วผสมกับน้ำมันดีเซล (DTPO-DF) เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล สี่จังหวะ แบบฉีดตรง สูบเดี่ยว ระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยไม่ต้องตัดแปลงเครื่องยนต์ใด ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.7 ผลการศึกษาพบว่า สามารถทำการผสมน้ำมันจากการไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่าได้ถึงร้อยละ 70 (TPO70) กับน้ำมันดีเซล โดยพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะต่ำเมื่อเทียบกับการทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ปริมาณควันจะสูงกว่า และค่าไอเสีย HC และ CO ที่ปล่อยออกมาตายนั้นอาจเป็นผลมาจากความหนืดที่สูงและการระเหยการเป็นไอที่ต่ำกว่าดีเซล ไม่พบว่ามีสารก่อมะเร็งในระบบหัวฉีดหลังจากเครื่องยนต์ใช้น้ำมันที่มีการผสม TPO-RF

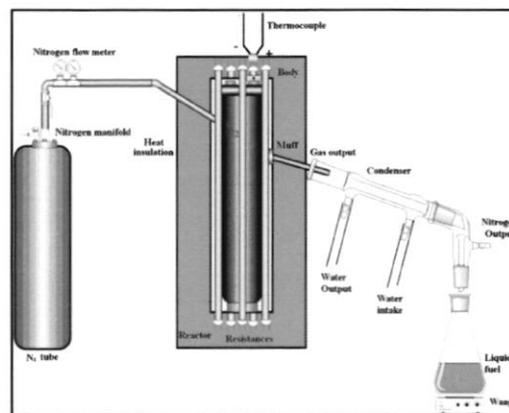


ภาพที่ 3.6 อุปกรณ์การไพโรไลซิสของ S. Murugana [26]

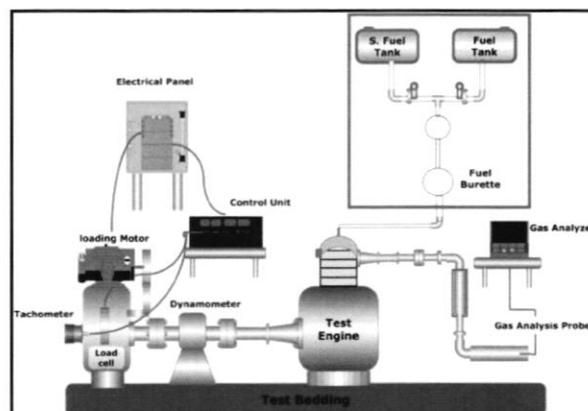


ภาพที่ 3.7 ไดอะแกรมการทดสอบเครื่องยนต์ของ S. Murugana [27]

Cumali Ilklic and Huseyin Aydin [27] ศึกษาการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากยางรถยนต์เก่าโดยกระบวนการไพโรไลซิสที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยาและนำมาประยุกต์ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล การไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่าภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีไนโตรเจน (N_2) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังแสดงในภาพที่ 3.8 ปริมาณกำมะถันของของเหลวที่ได้นั้นลดลงเมื่อใช้ $Ca(OH)_2$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นำเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่า (TF) ผสมกับน้ำมันดีเซลร้อยละ 5 (TF5), 10 (TF10), 15 (TF15), 25 (TF25), 35 (TF35), 50 (TF50) และ 75 (TF75) โดยน้ำหนัก และ TF100 ทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ ดังแสดงในภาพที่ 3.9 เช่น กำลังของเครื่องยนต์ แรงบิดเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ อุณหภูมิไอเสีย และการปล่อยก๊าซไอเสีย เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และควินดำที่เกิดขึ้น เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล สรุปได้ว่าการผสมน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวที่ TF5, TF10, TF25 และ TF35 สามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ แต่การผสม TF50, TF75 และ TF100 ทำให้ค่าการปล่อยมลพิษ CO , HC , SO_2 และควินดำ มีปริมาณสูง



ภาพที่ 3.8 ไดอะแกรมการไพโรไลซิสของ Cumali Ilklic [27]



ภาพที่ 3.9 ผังการทดสอบเครื่องยนต์ของ Cumali Ilklic [27]

Stefano Frigo (2013) [28] ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากการไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่าและ การใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซล ผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบแตกตัว thermo-mechanical cracking ที่อุณหภูมิปานกลาง 300-500 องศาเซลเซียส การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมัน เชื้อเพลิง pyrolytic ด้วยวิธีการตามมาตรฐาน ASTM เช่น ความหนาแน่น ความหนืด ค่าความร้อน และจุดวาบไฟ เทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล พบว่าเชื้อเพลิงเหลวจากการไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่ามีปริมาณ กำมะถันสูงซึ่งมีนัยสำคัญและค่าซีเทนต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซล นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์อื่น ๆ จาก การไพโรไลซิส เช่น ก๊าซและของแข็ง ถูกนำมาวิเคราะห์ผลผลิตและส่วนประกอบ เพื่อเป็นปัจจัยใน การคำนึงถึงศักยภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่ ใช้เครื่องยนต์ดีเซล ขนาด 440 ซี.ซี. สิบเดียว โดยใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงเหลวจากการไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซล TPO-Diesel : TPO20 และ TPO40 ทดสอบ ประสิทธิภาพและสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบและภาระโหลดของเครื่องยนต์ที่ แตกต่างกัน พบว่าการใช้ TPO20 ไม่มีความแตกต่างในแง่ของแรงบิด, กำลังงาน, อัตราการสิ้นเปลือง น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะและการปล่อยก๊าซไอเสีย เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลทั่วไป ขณะที่การใช้ งาน TPO40 นำไปสู่ลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ไม่ดีนัก การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นหลังจาก การทดสอบเครื่องยนต์พบการปนเปื้อนในระดับหนึ่ง การทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่าอนุภาค สารพิษคล้ายกันและไม่มีผลต่อการกัดกร่อนสำหรับน้ำมันดีเซลและ TPO ผสมดีเซล

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการไพโรไลซิสพลาสติก

Ayhan Demirbas (2004) [29] ได้ทำการศึกษาการไพโรไลซิสขยะพลาสติกจากเทศบาลสำหรับ ใช้ทดแทนน้ำมันแก๊สโซลีน โดยเป็นการไพโรไลซิสที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ขยะพลาสติกสามประเภทที่ นำมาทดลองคือ polystyrene (PS), polyethylene (PE) และ polypropylene (PP) ภายใต้ เงื่อนไขการไพโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา พลาสติกจะแตกตัวออกเป็นสามส่วน คือ แก๊ส ของเหลวและกากของแข็ง ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวจะมีองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอนและจุดเดือด ที่สูง เพื่อให้ได้น้ำมันที่มีไฮโดรคาร์บอนอยู่ในช่วงของแก๊สโซลีนนั้นจะต้องทำการกลั่นแยกผลิตภัณฑ์ ออกซึ่งจะพบว่าขยะพลาสติก polystyrene (PS) ให้ผลผลิตที่เป็นของเหลวสูง และ ขยะพลาสติก polyethylene (PE) และ polypropylene (PP) ให้ผลผลิตที่เป็นแก๊สสูง

Kyong-Hwan Lee (2007) [30] ได้ศึกษาการไพโรไลซิสขยะพลาสติกจากเทศบาล (MPW) ใน ประเทศเกาหลีใต้ ที่คัดแยกความแตกต่างตามความถ่วงจำเพาะของพลาสติก คือ ความถ่วงจำเพาะ น้อยกว่า 1 (MPW ต่ำ), ความถ่วงจำเพาะ 1-1.1 (MPW ปานกลาง) และความถ่วงจำเพาะ 1.1-1.2 (MPW สูง) ทำการไพโรไลซิสในสภาวะไม่มีออกซิเจนที่ 400 องศาเซลเซียส พบว่าผลผลิตที่เป็น ของเหลวมีค่าแตกต่างกันคือ ค่า MPW ปานกลาง ให้ค่าผลผลิตร้อยละ 90 ค่า MPW ต่ำ ให้ผลผลิต ร้อยละ 81 และค่า MPW สูง ให้ค่าผลผลิตร้อยละ 76 MPW ปานกลางให้ผลผลิตเฉลี่ยของเหลวสูงสุด แต่ก๊าซและสารตกค้างต่ำสุด สมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของพลาสติกทั้งสาม ประเภทไม่มีความแตกต่างกันมากนัก จำนวนคาร์บอนของของเหลวที่ได้จากพลาสติกทั้งสามชนิด แสดงให้เห็นว่าการกระจายจำนวนคาร์บอนคล้ายกัน สรุปได้ว่าลักษณะที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์ที่ เป็นของเหลวของพลาสติกแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับสารเคมีที่แตกต่างกันและโครงสร้างของพลาสติกแต่ละ ชนิดที่มีอยู่ใน MPW

D.S. Achiliasa et al. (2007) [31] ศึกษาสมบัติทางเคมีของขยะพลาสติกรีไซเคิลที่ทำจากพลาสติก LDPE, HDPE และ PP บนพื้นฐานของการไพโรไลซิสพลาสติกรีไซเคิล ที่ใช้สารละลายที่แตกต่างกันและไม่ใช้สารละลาย โดยมีการตรวจสอบจำนวนเงินค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการผลิตที่ร้อยละน้ำหนักที่แตกต่างกันและอุณหภูมิที่ใช้ วัตถุประสงค์ในการผลิตได้แก่ บรรจุภัณฑ์, ถุง, ท่อ, ถังจากร้านอาหารค้าปลีก โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโพลิเมอร์ทุกชนิดมากขึ้นกว่าร้อยละ 90 การวิเคราะห์ก๊าซและน้ำมันที่ได้ แสดงให้เห็นว่า การไพโรไลซิสทำให้องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนที่มีศักยภาพที่ดีที่จะนำกลับมาใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตพลาสติกใหม่หรือการกลั่นเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของถุงพลาสติกที่ทำจากเม็ดพลาสติก LDPE จะได้ของเหลวที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในช่วงของน้ำมันแก๊สโซลีนในเชิงพาณิชย์

Mohammad Nahid Siddiqui and Halim Hamid Redhwi (2009) [32] ศึกษาการไพโรไลซิสพลาสติกผสมสำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่ของผลิตภัณฑ์ที่ยังมีประโยชน์ ซึ่งใช้กระบวนการไพโรไลซิสโดยการให้ความร้อน และสารเร่งปฏิกิริยาของพลาสติก PS, LDPE, HDPE, PP และ PET ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กที่ทำจากสแตนเลสขนาด 25 cm³ อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 430-440°C ภายใต้ความดันก๊าซ N₂ ที่ 5.5-6.0 MPa เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และใช้พลาสติก PS ในอัตราส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 ปริมาณของ PS ที่ได้รับแตกต่างกันพบว่าการเกิดปฏิกิริยาที่อัตราส่วน 1:1 ให้ผลตอบแทนที่ดีที่สุดในรูปแบบของน้ำมันเชื้อเพลิง การกลั่นแยกส่วนที่ละลายน้ำได้แสดงให้เห็นว่าไม่พบที่จุดเดือดต่ำ และพบได้เพียงเล็กน้อยหลังจากที่จุดเดือด 96°C อาจเกิดจากการระเหยขององค์ประกอบสารระเหยที่สูงขึ้น ในส่วนของการไพโรไลซิสน้ำมันเบา (LCO) มีอัตราส่วนการคืนสภาพต่ำกว่าน้ำมันหนัก (HCO) จากการใช้เทคนิค GC ระบุชื่อสารประกอบบางอย่างที่สำคัญที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวแสดงให้เห็นประโยชน์และความเป็นไปได้ของกระบวนการไพโรไลซิสพลาสติกผสมจะสามารถใช้เป็นพลังงานทางเลือกได้

Brajendra K. Sharma et al. (2014) [33] ศึกษาการผลิต คุณลักษณะและสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลจากการไพโรไลซิสขยะจากถุงพลาสติกร้านขายของชำ โดยการไพโรไลซิสใช้ถุงพลาสติกจากร้านขายของชำซึ่งเป็นพลาสติกประเภท HDPE จากนั้นนำมากลั่นตามช่วงอุณหภูมิมาตรฐานส่งผลให้ได้ส่วนผสมของเหลวที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเฉลี่ยประกอบด้วย aliphatic paraffinic ร้อยละ 96.8 olefinic aliphatic ร้อยละ 2.6 และ aromatic ร้อยละ 0.6 และมีช่วงจุดเดือดตรงกับน้ำมันปิโตรเลียมดีเซลธรรมดาเบอร์ 1 ที่ 190-290°C และเบอร์ 2 ที่ 290-340°C เปรียบเทียบสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D975 และ EN 590 พบว่าผลิตภัณฑ์ดีเซลสังเคราะห์อยู่ในข้อกำหนดตามมาตรฐานทั้งหมด ยกเว้นความหนาแน่น 802 kg/m³ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าซีเทนที่มีค่า 73.4 และการหล่อลื่น 198 ไมครอน ที่ 60°C สมบัติการเป็นเชื้อเพลิงอื่น ๆ รวมถึงความหนืด ที่ 40°C อยู่ที่ 2.96 mm²/s จุดไหลเท 4.7°C จุดวาบไฟของ 81.5°C และค่าพลังงาน 46.16 MJ/kg โดยสรุปแล้วสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหลวที่ผลิตจากการไพโรไลซิสขยะพลาสติกจากถุงพลาสติกร้านขายของชำ มีจุดเดือดช่วงที่เหมาะสมที่จะเป็นส่วนประกอบในการผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลธรรมดา

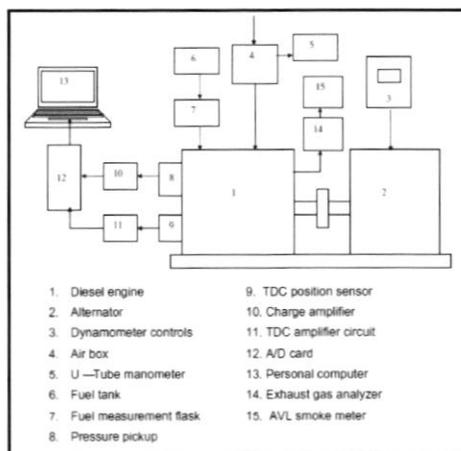
3.4 งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์

M. Mani et al (2009) [34] ศึกษาสมรรถนะ, การปล่อยก๊าซไอเสียและการเผาไหม้ ของเครื่องยนต์ดีเซลไตรีกอินเจกชันแบบสูบเดี่ยว ระบายความร้อนด้วยอากาศ ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงร้อยละ 100 โดยไม่มีการปรับปรุงเครื่องยนต์ดังแสดงในผังการทดสอบเครื่องยนต์ดังภาพที่ 3.10 จากการศึกษาพบว่าช่วงระยะเวลาการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกจะยาวกว่าน้ำมันดีเซล 2.5 องศา ค่า NO_x ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร้อยละ 25 ค่า CO เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ค่าควันดำลดลงร้อยละ 40 เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าร้อยละ 75 ของกำลังงาน

M. Mani et al (2009) [35] ได้ศึกษาแนวทางของการปรับตั้งเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่มีผลต่อสมรรถนะ ก๊าซไอเสียและการเผาไหม้ ของเครื่องยนต์ดีเซลไตรีกอินเจกชันแบบสูบเดี่ยว ระบายความร้อนด้วยอากาศ ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงร้อยละ 100 โดยได้ทำการปรับตั้งองศาการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดใหม่ที่ 23, 20, 17 และ 14 องศา ก่อนจุดศูนย์ตายบนของลูกสูบ เพื่อเปรียบเทียบกับองศาการฉีดเชื้อเพลิงแบบเดิม จากผลการทดสอบพบว่าค่า NO_x ลดลงทุกภาวะโหลดที่กระทำ ค่า CO ลดลงสูงสุดร้อยละ 25 ค่า HC ลดลงประมาณร้อยละ 30 และค่าความเข้มข้นของไอเสียเพิ่มขึ้นร้อยละ 35

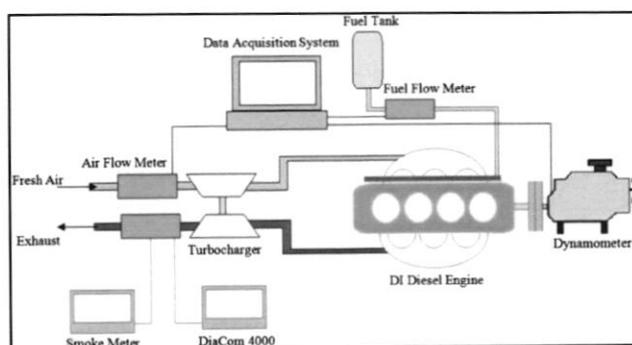
M. Mani et al (2009) [36] ได้ทำการศึกษาทดลองใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกในเครื่องยนต์ดีเซลไตรีกอินเจกชันแบบสูบเดี่ยว เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการนำไอเสียนกลับมาหมุนเวียนใช้ในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล โดยใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกร้อยละ 100 จากผลการทดลองพบว่าค่าไนโตรเจนออกไซด์มีค่าสูงสำหรับเครื่องยนต์ที่ไม่ได้นำไอเสียกลับมาใช้ และเครื่องยนต์มีการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ลดลงเมื่อนำไอเสียนกลับมาหมุนเวียนโดยการนำไอเสียกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ที่ร้อยละ 20 เป็นค่าที่เหมาะสมและให้ค่า NO_x , CO, HC ลดลง ในขณะที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกเพิ่มขึ้น

M. Mani et al (2010) [37] ศึกษาลักษณะเฉพาะและผลกระทบของการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกผสมน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัด สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากขยะพลาสติกที่ได้นำมาวิเคราะห์พบว่ามีสมบัติคล้ายกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล น้ำมันจากขยะพลาสติก (WPO) ได้รับการทดสอบการเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลและลักษณะการปฏิบัติงานได้รับการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการทำงานกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล (DF) เป็นที่สังเกตว่าเครื่องยนต์สามารถทำงานกับน้ำมันจากขยะพลาสติกร้อยละ 100 และสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) สูงขึ้นประมาณร้อยละ 25 และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 สำหรับการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล (DF) ไฮโดรคาร์บอนสูงชันประมาณ ร้อยละ 15 ก๊าซไอเสียเพิ่มขึ้นร้อยละ 40 ที่ภาระโหลดเต็มกำลังเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล (DF) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นร้อยละ 80 ของภาระโหลดเต็มกำลัง และอุณหภูมิไอเสียมีค่าสูงที่ภาระโหลดทั้งหมดเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล (DF)



ภาพที่ 3.10 ผังการทดสอบเครื่องยนต์ของ M. Mani [34]

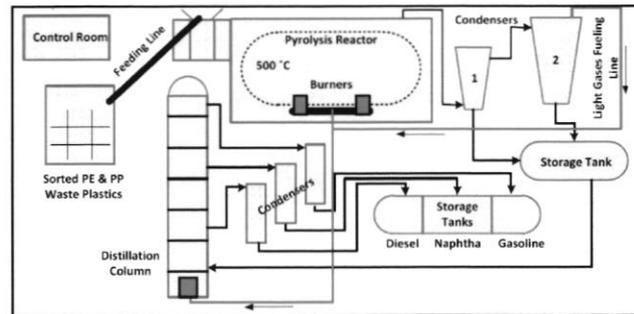
Pouya Mohammadi et al. (2012) [38] ศึกษาสมรรถนะและลักษณะการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดที่ใช้ น้ำมันดีเซลกับขยะพลาสติกที่ละลายในไบโอดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่ได้เปรียบหลายอย่าง อีกทั้งยังมีลักษณะทางชีวภาพเป็นตัวทำละลาย และเป็นไปได้ที่จะใช้สำหรับเป็นสารละลายในการนำพลังงานจากพลาสติกโพลีเอสเตอร์อิน (EPS) มาใช้ประโยชน์ ในการศึกษาได้คำนึงถึงต้นทุนต่อการผลิตสูงสุดมูลค่าการละลายตัวในไบโอดีเซล และองค์ประกอบของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นเนื้อเดียวกันด้วย รวมถึงการผสมไบโอดีเซล (B5) ที่มีเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ โดยใช้ น้ำมันดีเซล ไบโอดีเซล ไบโอดีเซลที่มีพลาสติกละลายในอัตราร้อยละ 25, 50 และ 75 ในการทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลจุดระเบิดด้วยการอัด การวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของจำนวนต้นทุนต่อการผลิตที่ 1.15 ดอลลาร์ต่อลิตร นำไปสู่การลดการปล่อยก๊าซอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง NO_x อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังพบว่าการผสม B5 ที่ 50 กรัม/ลิตร ในไบโอดีเซลก็มีข้อได้เปรียบอย่างมากในระดับของสมรรถนะและการปล่อยก๊าซไอเสีย แม้ว่ากำลังงานเบรกจะมีการลดลงร้อยละ 3.6 และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกลดลงร้อยละ 8.5 แต่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกได้ร้อยละ 9.8 นอกจากนี้ CO , CO_2 , NO_x และเขม่าไอเสียลดลง ซึ่งส่วนสำคัญในการปล่อยไอเสียอีกด้วย



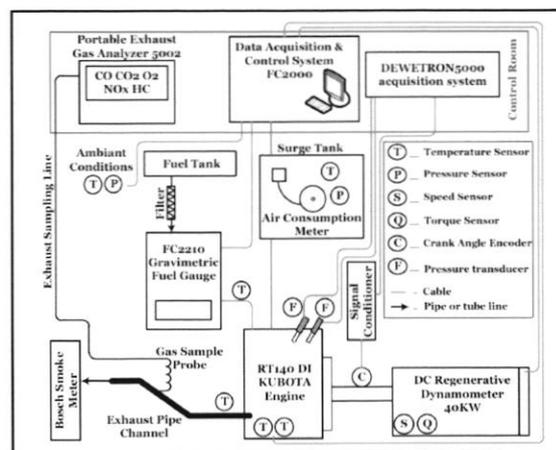
ภาพที่ 3.11 ผังการทดสอบเครื่องยนต์ของ Pouya Mohammadi [38]

Sachin Kumar (2013) [39] ศึกษาสมรรถนะและวิเคราะห์การปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัด ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากการไพโรไลซิสขยะพลาสติก HDPE แบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาผสมกับน้ำมันดีเซล ศึกษาเกี่ยวกับการปฏิบัติงานและวิเคราะห์การปล่อยไอเสีย ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัด ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากการไพโรไลซิสขยะพลาสติก HDPE แบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาผสมกับน้ำมันดีเซล ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัด กับภาระโหลดที่แตกต่างกัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกที่สภาวะโหลดต่าง ๆ ทั้งหมดจะลดลงเมื่อเทียบกับที่ใช้น้ำมันดีเซล อุณหภูมิไอเสียมีการเพิ่มขึ้นตามภาระโหลดของเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรก (BSFC) เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการผสมของ WPO และลดลงตามการเพิ่มขึ้นของภาระเครื่องยนต์ การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการใช้เครื่องยนต์ที่กำลังงานเบรกที่เพิ่มขึ้นสำหรับทุกการผสมน้ำมันเชื้อเพลิง การปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของส่วนผสมน้ำมันพลาสติก การปล่อยก๊าซไฮโดรคาร์บอน ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของภาระโหลดของเครื่องยนต์ และเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นในสัดส่วนอัตราร้อยละที่สูงขึ้นของน้ำมันขยะพลาสติกที่ใช้ในการผสม

คณิต วัฒนวิเชียร และอรุวรรณ กรรณิกา (2557) [40] ศึกษาเชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติก ในรูปแบบของการแปรรูป และผลการใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล เพื่อศึกษาศักยภาพของขยะพลาสติกสำหรับเป็นแนวทางการแปรรูปขยะพลาสติกชุมชนจากหลุมฝังกลบเพื่อนำผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงสังเคราะห์จากขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบไม่ต่อเนื่องดังแสดงในภาพที่ 3.12 มาประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลดังผังการทดสอบเครื่องยนต์ในภาพที่ 3.13 จากการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกมีค่าความร้อน ค่าดัชนีซีเทน ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด และจุดวาบไฟสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลเล็กน้อย เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกสามารถสร้างกำลังที่ภาระสูงสุดได้มากกว่าเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลเล็กน้อย แต่มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าที่สภาวะภาระโหลดสูงสุด การปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลตลอดช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์โดยมีผลต่างเป็นร้อยละ 50.0, 40.6 และ 76.1 ที่ความเร็วรอบ 1400, 1700 และ 2100 รอบ/นาที ตามลำดับ และมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนน้อยกว่าเชื้อเพลิงดีเซล ในขณะที่การปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าใกล้เคียงกัน จากการเปรียบเทียบพบการทำงานที่ภาระบางส่วนของทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์และการทำงานที่ภาระสูงสุดของความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 และ 1700 rpm เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกและเชื้อเพลิงดีเซลมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของความดันในห้องเผาไหม้ไม่แตกต่างกัน ผลการวิเคราะห์การเผาไหม้โดยใช้ข้อมูลความดันในห้องเผาไหม้พบว่า น้ำมันสังเคราะห์จากขยะพลาสติกซึ่งมีค่าเลขซีเทนสูงกว่าจะมีช่วงการหน่วงของการเผาไหม้ สั้นกว่าน้ำมันดีเซลในทุกสภาวะการทดสอบ และมีค่าความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้ สูงกว่าน้ำมันดีเซล สามารถนำเชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกไปใช้ได้โดยไม่ต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ แต่หากมีการปรับแต่งตัวแปรการทำงาน เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติกจะสามารถให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นและสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลได้อย่างสมบูรณ์ขึ้น



ภาพที่ 3.12 ผังกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลสังเคราะห์ [40]



ภาพที่ 3.13 ผังการทดสอบเครื่องยนต์ของ คณิต วัฒนวิเชียร [40]

J. Devaraj et al. (2015) [41] ศึกษาประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซไอเสีย การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกไพโรไลซิสผสมกับ diethyl ether ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสของขยะพลาสติกสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่มีการปรับเปลี่ยนใด ๆ กับเครื่องยนต์ น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบเครื่องยนต์ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากการไพโรไลซิสขยะพลาสติกผสมกับ diethyl ether ร้อยละ 5 และ 10 นำมาทดสอบการใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว แบบฉีดตรง ระบายความร้อนด้วยน้ำ และหาประสิทธิภาพการทำงาน การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและลักษณะการเผาไหม้ ผลการทดสอบพบการลดลงของระดับก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงจากการไพโรไลซิสขยะพลาสติก ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงจากการไพโรไลซิสขยะพลาสติกบริสุทธิ์และน้ำมันดีเซล คำนวณค่าต่าง ๆ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ และ ไนโตรเจนออกไซด์ ลดลงเมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากการไพโรไลซิสขยะพลาสติกผสมกับ diethyl ether อาจเป็นไปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของออกซิเจนช่วยให้กระบวนการเผาไหม้ดีขึ้นและลดการปล่อยมลพิษ การทดสอบยังพบว่าการผสม diethyl ether กับน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกช่วยเพิ่มค่าซีเทนขึ้นซึ่งจะทำให้ดีกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

จากงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาเบื้องต้นพอสรุปได้ว่ามีการศึกษาการรีไซเคิลหรือการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากพลาสติกชนิดต่าง ๆ หรือการแปรรูปขยะพลาสติกในหลายรูปแบบวิธีการ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำขยะพลาสติกจากหลุมฝังกลบของเทศบาลเมืองวารินชำราบ อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี เพื่อใช้เป็นวัสดุในการวิจัย ในปี พ.ศ.2553 หลุมฝังกลบของเทศบาลเมืองวารินชำราบมีขยะที่ต้องฝังกลบประมาณ 125-130 ตันต่อวัน ในจำนวนนี้เป็นขยะพลาสติกร้อยละ 16.5 หรือประมาณ 21.45 ตัน ขยะพลาสติกดังกล่าวประกอบไปด้วยพลาสติกชนิด PP และ PE [1,2] ซึ่งก็คือถุงพลาสติกประเภท ถุงร้อน (PP) ถุงเหนียว (LDPE) ถุงหิ้ว (HDPE) ในการดำเนินงานจะนำตัวอย่างขยะพลาสติกจากหลุมฝังกลบแล้วทำการล้างทำความสะอาด พร้อมทั้งคัดแยกประเภทของพลาสติกเพื่อความสะอาดในการวิจัย จากนั้นนำขยะพลาสติกแต่ละชนิด แยกเป็นประเภท PP, LDPE, HDPE และผสมในอัตราส่วนที่เท่ากันโดยน้ำหนัก (Mix) เข้าเครื่องปฏิกรณ์ขนาด 5 กิโลกรัมพลาสติกที่ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกชนิดดังกล่าวให้ได้เชื้อเพลิงเหลวซึ่งมีลักษณะคล้ายน้ำมันดิบและทำการกลั่นแยกด้วยอุปกรณ์การกลั่นลำดับส่วน เพื่อให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิงตามอนุกรมการกลั่น ตามอนุกรมของเชื้อเพลิงทั่วไปตามท้องตลาด โดยใช้อนุกรมเป็นตัวแยกประเภทของเชื้อเพลิง

ตารางที่ 3.1 สรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้พลังงานทดแทนเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์

ชื่อผู้แต่ง	หัวข้อเรื่อง	เชื้อเพลิงที่ศึกษา	ลักษณะการศึกษา	เทคนิคที่ใช้
M. Pugazhavadivu และ K. Jeyachandran (2005)	ประสิทธิภาพการทำงานและการปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันพืชเก่าเป็นเชื้อเพลิง	น้ำมันพืชใช้แล้ว	สมรรถนะและการปล่อยมลพิษ	น้ำมัน
Cherng-Yuan Lin และ Hsiu-An Lin (2005)	ประสิทธิภาพการทำงานและการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตโดยกระบวนการ Peroxidation	ไบโอดีเซล	การผลิต สมรรถนะและการปล่อยมลพิษ	ผสม
Murat Karabektas และคณะ (2008)	ผลกระทบของการอุ่นน้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ดฝ้ายในสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล	ไบโอดีเซลจากเมล็ดฝ้าย	สมรรถนะและการปล่อยมลพิษ	น้ำมัน
Mustafa Canakci และคณะ (2008)	การเผาไหม้ของการอุ่นน้ำมันดอกทานตะวันดิบเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลไคโรเกินเจ็ดชั้น	น้ำมันดอกทานตะวันดิบ	ลักษณะการเผาไหม้	น้ำมัน
Huseyin Aydina และ Hasan Bayindirb (2009)	สมรรถนะและวิเคราะห์การปล่อยไอเสียของน้ำมันเมทิลเอสเทอร์จากเมล็ดฝ้ายในเครื่องยนต์ดีเซล	ไบโอดีเซลจากเมล็ดฝ้าย	สมรรถนะและการปล่อยมลพิษ	ผสมดีเซล

ตารางที่ 3.1 สรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้พลังงานทดแทนเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ (ต่อ)

ชื่อผู้แต่ง	หัวข้อเรื่อง	ชื่อเพลิงที่ศึกษา	ลักษณะการศึกษา	เทคนิคที่ใช้
Huseyin Aydina และ Cumali Ilkilicb (2010)	ผลของการผสมเอทานอลกับไบโอดีเซลที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์และการปล่อยไอเสีย	เอทานอลผสมกับไบโอดีเซล	ประสิทธิภาพการทำงานและ การปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล	ผสม
Bhupendra Singh Chauhan และคณะ (2010)	ประสิทธิภาพการทำงานและการปล่อยไอเสียของการใช้น้ำมันสบู่ดำใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดกลาง	น้ำมันสบู่ดำ	ประสิทธิภาพการทำงานและการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล	น้ำมัน
G.R. Kannan และ R. Anand (2012)	ผลของความถี่ในการฉีดและระยะเวลาในการฉีดเครื่องยนต์ดีเซลไคร้คอินเจคชั่นที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันพีซีซีแล้ว	ไบโอดีเซลจากน้ำมันพีซีซีแล้ว	สมรรถนะของเครื่องยนต์ การปล่อยก๊าซไอเสียและการเผาไหม้	เพิ่มความถี่ในการฉีดเชื้อเพลิงและระยะเวลาในการฉีด

ตารางที่ 3.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการผลิตและการใช้น้ำมันจากกระบวนการไพโรไลซิส

ชื่อผู้แต่ง	หัวข้อเรื่อง	ชื่อเพลิงที่ศึกษา	ลักษณะการศึกษา	เทคนิคที่ใช้
Orhan Arpa และคณะ (2009-2013)	ศึกษาการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมือนดีเซลจากน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ที่ใช้แล้วโดยวิธีการกลั่น pyrolytic	น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว	สมรรถนะของเครื่องยนต์ การปล่อยก๊าซไอเสียและการเผาไหม้	การกลั่น pyrolytic
S. Murugana และคณะ (2007-2008)	สมรรถนะของเครื่องยนต์ การปล่อยก๊าซไอเสีย และการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลไดเรคอินเจคชั่นที่ใช้น้ำมันจากไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่าผสมน้ำมันดีเซล	น้ำมันจากการไพโรไลซิสยางรถยนต์เก่าผสมน้ำมันดีเซล	สมรรถนะของเครื่องยนต์ การปล่อยก๊าซไอเสียและการเผาไหม้	ผสมน้ำมันดีเซล
Cumali Ilklic และ Huseyin Aydin (2011)	การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากยางรถยนต์เก่าโดยการไพโรไลซิสที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยาและนำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องยนต์ดีเซล	ยางรถยนต์เก่า	สมรรถนะของเครื่องยนต์ การปล่อยก๊าซไอเสียและการเผาไหม้	ไพโรไลซิสใช้สารเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 3.3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการโพลีเอทิลีนพลาสติก

ชื่อผู้แต่ง	หัวข้อเรื่อง	เชื้อเพลิงที่ศึกษา	ลักษณะการศึกษา	เทคนิคที่ใช้
Ayhan Demirbas (2004)	การโพลีเอทิลีนพลาสติกจากเทศบาลสำหรับใช้แทนน้ำมันแก๊สโซลีนโดยการโพลีเอทิลีนที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	ขยะพลาสติกที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้มีสามประเภทคือ PS PE และ (PP)	โพลีเอทิลีนที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา PS PE และ PP	โพลีเอทิลีนที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา
Kyong-Hwan Lee (2006)	การโพลีเอทิลีนพลาสติกจากเทศบาล (MPW) ในประเทศเกาหลีใต้ที่คัดแยกความแตกต่างตามความกว้างจำเพาะของพลาสติก	เชื้อเพลิงจากกาารโพลีเอทิลีนพลาสติก	โพลีเอทิลีนพลาสติกจากเทศบาล (MPW) ในประเทศเกาหลีใต้	แยกความแตกต่างตามความกว้างจำเพาะ
D.S. Achilias และคณะ (2007)	สมบัติทางเคมีของขยะพลาสติกกรีเซเคิลที่ทำจากพลาสติก LDPE, HDPE และ PP	เชื้อเพลิงจากการโพลีเอทิลีนพลาสติก LDPE, HDPE และ PP	ศึกษาสมบัติทางเคมี	แยกพลาสติก LDPE, HDPE และ PP
Mohammad Nahid Siddiquia และ Halim Hamid Redhwib (2009)	การโพลีเอทิลีนพลาสติกผสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์	เชื้อเพลิงจากการโพลีเอทิลีนพลาสติก	โพลีเอทิลีนพลาสติกผสม	โพลีเอทิลีน
Brajendra K. Sharma และคณะ (2014)	การผลิต คุณลักษณะและสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกจากการโพลีเอทิลีนขยะจากถุงพลาสติกบ้านขายของชำ	เชื้อเพลิงจากการโพลีเอทิลีนพลาสติก	การโพลีเอทิลีนขยะจากถุงพลาสติกบ้านขายของชำ	โพลีเอทิลีน

ตารางที่ 3.4 สรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์

ชื่อผู้แต่ง	หัวข้อเรื่อง	เชื้อเพลิงที่ศึกษา	ลักษณะการศึกษา	เทคนิคที่ใช้
M. Mani และคณะ (2009-2010)	สมรรถนะ การปล่อยก๊าซไอเสียและการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลไตรีกอินเจกชั่นแบบสูบลูบเดียว ระบายความร้อนด้วยอากาศ ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิง	เชื้อเพลิงจากกาการ ไพโรไลซิสขยะ พลาสติก	ทดสอบเครื่องยนต์สูบลูบเดียวโดยใช้เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก	ไพโรไลซิสแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา
	การปรับตั้งเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่มีผลต่อสมรรถนะ ก๊าซไอเสียและการเผาไหม้ ของเครื่องยนต์ดีเซลไตรีกอินเจกชั่นแบบสูบลูบเดียวที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิง	เชื้อเพลิงจากกาการ ไพโรไลซิสขยะ พลาสติก	ทดสอบเครื่องยนต์สูบลูบเดียวโดยใช้เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก	ปรับตั้งเวลาการฉีดเชื้อเพลิง
	ศึกษาทดลองใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกในเครื่องยนต์ดีเซลไตรีกอินเจกชั่นแบบสูบลูบเดียวกับการนำไอเสียกลับมาหมุนเวียนใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล	เชื้อเพลิงจากกาการ ไพโรไลซิสขยะ พลาสติก	ทดสอบเครื่องยนต์สูบลูบเดียวโดยใช้เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก	การนำไอเสียกลับมาหมุนเวียน
	ลักษณะเฉพาะและผลกระทบของการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกและการผสมน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัด	เชื้อเพลิงจากกาการ ไพโรไลซิสขยะ พลาสติก	ทดสอบเครื่องยนต์สูบลูบเดียวโดยใช้เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก	ผสมน้ำมันดีเซล

ตารางที่ 3.4 สรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ (ต่อ)

ชื่อผู้แต่ง	หัวข้อเรื่อง	เชื้อเพลิงที่ศึกษา	ลักษณะการศึกษา	เทคนิคที่ใช้
Pouya Mohammadi และคณะ (2012)	สมรรถนะและลักษณะการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดที่ใช้น้ำมันดีเซลกับขยะพอลิเมอร์ที่ละลายในไบโอดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง	เชื้อเพลิงจากการไพโรไลซิสขยะพอลิเมอร์ที่ละลายในไบโอดีเซล	ทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงจากพอลิเมอร์ที่ละลายในไบโอดีเซล	ละลายพอลิเมอร์ในไบโอดีเซล
Sachin Kumar (2013)	สมรรถนะและการวิเคราะห์การปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติก HDPE ที่ได้จากการไพโรไลซิสแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ผสมกับน้ำมันดีเซล	เชื้อเพลิงจากการไพโรไลซิสขยะพลาสติก HDPE	ทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก HDPE	ไพโรไลซิสแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา
คณิต วัฒนวิเชียร และ อรวรรณ กรรณิกา (2014)	เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติก ในรูปแบบของการแปรรูป และผลการใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล	เชื้อเพลิงจากการไพโรไลซิสขยะพลาสติก	ทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก	การกลั่นหลังการไพโรไลซิส
J. Devaraj และคณะ (2015)	ทดสอบประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซไอเสียและลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกไพโรไลซิสผสมกับ diethyl ether ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล	เชื้อเพลิงจากการไพโรไลซิสขยะพลาสติกผสม diethyl ether	ทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกผสมกับ diethyl ether 5% และ 10%	ผสมกับ diethyl ether 5% และ 10%

บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

การศึกษาและพัฒนาการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกในเครื่องยนต์ดีเซล ผู้วิจัยได้ศึกษารวบรวมข้อมูลในส่วนขององค์ประกอบของขยะพลาสติก รวมถึงชนิดของพลาสติก ลำดับกระบวนการตั้งแต่การนำพลาสติกกลับมาจากบ่อฝังกลบ จนถึงการนำพลาสติกไปผ่านกระบวนการแปรรูปให้เป็นเชื้อเพลิง วิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง และการนำไปใช้กับเครื่องยนต์ ตลอดจนวิเคราะห์การใช้งานในเครื่องยนต์ วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งขยะพลาสติกดังกล่าวนี้จะใช้ขยะพลาสติกจากบ่อฝังกลบของเทศบาลเมืองวารินชำราบ ตำบลเมืองศรีโค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี โดยมีอุปกรณ์และวิธีดำเนินการดังต่อไปนี้

4.1 การออกแบบและสร้างชุดไฟโพลโรซิสขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน

4.1.1 เงื่อนไขในการออกแบบ เงื่อนไขในการออกแบบและสร้างเครื่องไฟโพลโรซิสประกอบด้วย

4.1.1.1 การออกแบบระบบทางทฤษฎี [42, 43]

1) ระบบขับเคลื่อนใบกวน ในการออกแบบจะคำนวณภาระแรงที่กระทำต่อใบกวน $2F$ (N) สิ่งที่กำหนดในการออกแบบ $M = 10$ kg ความยาวของก้านใบกวน ($r = 0.1$ m) ระยะห่างของเพลากับก้านใบกวนที่ 1 และ 2 เท่ากับ $L_1 = 0.18$ m และ $L_2 = 0.17$ m ตามลำดับ ระยะห่างจากจุดก้านใบกวนที่ 2 ห่างจากจุดที่ต้องการคำนวณเพื่อหาค่าทอร์กเท่ากับ $L = 0.72$ m นำค่าที่กำหนดในการออกแบบมาคำนวณ

$$2F = 2mg = 2W \quad (4.1)$$

จาก (4.1) จะได้

$$2F = 10\text{kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 2 = 196.2\text{N}$$

ดังนั้น จะได้แรงเท่ากับ 196.2 N ที่กระทำกับใบกวนและจะนำแรงที่ได้เข้าสู่การคำนวณ (4.2) เพื่อหาค่าทอร์กดังนี้

$$T = F \times r(n.m) \quad (4.2)$$

$$T = 196.2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.1\text{m}$$

$$T = 19.62(\text{Nm})$$

จากค่าทอร์กที่ได้จากการคำนวณคือค่าทอร์กของ T_1 และ T_2 ซึ่งมีค่าเท่ากัน
จาก

$$\phi = \frac{\sum TL}{JG} = 0 \quad (4.3)$$

$$\frac{TL}{JG} = \frac{T_1L}{JG} + \frac{T_2L}{JG}$$

$$TL = T_1L + T_2L$$

จาก (4.3) เมื่อ $T_{1,2} = T_1 = T_2$

$$T = \frac{(L_1 + L_2)T_{1,2}}{L}$$

$$T = \frac{(0.18 + 0.17) \times 19.62}{0.72}$$

$$T = 9.538(Nm)$$

2) การคำนวณหาค่ากำลัง

จากสมการ (4.4)

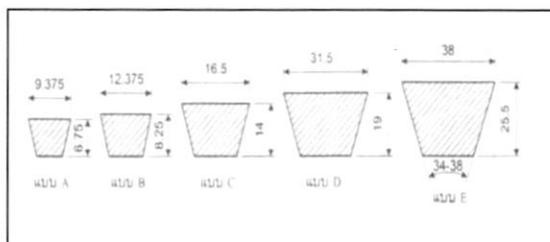
$$Power = \frac{2\pi NT}{60} \text{ (w)} \quad (4.4)$$

$$Power = \frac{2\pi \times 10 \times 9.538}{60}$$

$$Power = 9.888 \text{ (w)}$$

$$Power \approx 10 \text{ (w)} \text{ หรือ } HP = 0.013$$

3) การคำนวณหาอัตราทดและความเร็วรอบ ตัวแปรในการออกแบบเพื่อหาขนาดเกียร์ทดรอบ รอบ Out put ที่ต้องการคือ 10 rpm รอบ In put 1440 rpm มวลเลย์ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $d_1 = 8$ นิ้ว หรือ 203.2 mm มวลเลย์ขับเคลื่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $d_2 = 2$ นิ้ว หรือ 50.8 mm ขนาดมาตรฐานของสายพานรูปปลีมีใช้แบบ A ดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 หน้าตัดของสายพานลิ่มมาตรฐาน

4) คำนวณหาขนาดเกียร์ที่ครอบ

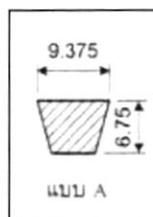
จาก (4.5) อัตราทดของสายพานลิ่มหรือสายพานตัววี

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{dm_2}{dm_1} \quad (4.5)$$

dm_1 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของล้อขับ (mm) = $d_1 - 2c$

dm_2 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของล้อตาม (mm) = $d_2 - 2c$

จากค่าขนาดมาตรฐานของสายพานรูปลิ่มใช้แบบดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ค่าขนาดมาตรฐานของสายพานรูปลิ่มใช้แบบ A

ตารางที่ 4.1 Interpolate หาค่า c เฉลี่ย

ลำดับ	B (mm)	C (mm)
1	8	2.5
	9.375	C
2	10	3

จาก

$$C = c_2 + \left[\frac{(b - b_2)(c_1 - c_2)}{(b_1 - b_2)} \right]$$

ดังนั้นจะได้

$$C = 3 + \left[\frac{(9.375) - (2.5 - 3)}{(8 - 10)} \right]$$

$$C = 2.884 \text{ mm}$$

$$dm_1 = d_2 - 2c$$

$$dm_1 = 203.2 - (2 \times 2.844)$$

$$dm_1 = 197.512 \text{ mm}$$

$$dm_2 = d_2 - 2c$$

$$dm_2 = 50.8 - (2 \times 2.844)$$

$$dm_2 = 45.112 \text{ mm}$$

จากสมการ (4.5)

$$n_2 = \frac{dm_1 \times n_1}{dm_2}$$

$$n_2 = \frac{197.512 \text{ mm} \times 10 \text{ rpm}}{45.112 \text{ mm}}$$

$$n_2 = 43.783 \text{ rpm}$$

ดังนั้นอัตราทดที่ได้คือ

$$i = \frac{n_2}{n_1}$$

$$i = \frac{43.783}{10}$$

ดังนั้นอัตราทดที่ได้

$$i \approx 4.4:1$$

จากอัตราทดที่ได้นำไปหาอัตราทดของเกียร์ทดรอบได้

$$i_{\text{ทดรอบ}} = \frac{n_{\text{มอเตอร์}}}{n_2}$$

$$i_{\text{ทวอทว}} = \frac{1440\text{rpm}}{n_2}$$

$$i_{\text{ทวอทว}} = \frac{1440\text{rpm}}{44\text{rpm}}$$

$$i_{\text{ทวอทว}} = 32.73 : 1\text{rpm}$$

ถ้ากำหนดค่า Safety factor = 1.222 ได้

$$i_{\text{ทวอทว}} = \frac{32.73}{1} \times 1.222\text{rpm}$$

$$i_{\text{ทวอทว}} = 40 : 1(\text{rpm})$$

ดังนั้นขนาดของเกียร์ทดรอบเท่ากับ 40:1 รอบต่อนาที

4.1.1.2 การออกแบบระบบเผาไหม้ทางทฤษฎี [44, 45, 46] ตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการคำนวณประกอบด้วย ค่าความร้อนสูงของการกลายเป็นไอ $q = 50,313 \text{ kJ/kg}$ ปริมาณพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง $m = 5 \text{ kg}$ และค่าความร้อนของการกลายเป็นไอของพลาสติก $Q = ?$

จาก

$$Q = q \times m \quad (4.6)$$

$$Q = 50,313 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \times 5 [\text{kg}]$$

$$Q = 251,565 \text{ kJ}$$

จาก 1 kJ มีค่าเท่ากับ 0.000278 kw-hr

$$Q = 69.94 \text{ kW-hr}$$

$$Q \approx 70 \text{ kW-hr}$$

ดังนั้น พลาสติกตั้งแต่เริ่มต้นจนละลายกลายเป็นไอซึ่งพลาสติกจะต้องการปริมาณความร้อนเท่ากับ 70 kw-hr

1) ปริมาณความร้อนจริงที่ใส่เมื่อผ่านผนังท่อ ตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการคำนวณ ปริมาณความร้อนที่พลาสติกต้องการ (Q_p) = 70 kW-hr น้ำหนักถังเปล่าของแก๊สขนาด (M) = 18 kg ค่าความจุความร้อนของเหล็ก (C_p) = 0.486 kJ/kg.K ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเหล็ก (k) = 52 W/m.K

จาก (4.7)

$$Q = mc_p \Delta T \quad (4.7)$$

$$70(kW) = 18(kg) \times 0.486(kJ/Kg) \times \Delta T$$

$$\Delta T = 8^\circ K$$

นำ $\Delta T = 8^\circ K$ มาหาอัตราการนำความร้อนจากผนังท่อด้านนอกสู่ผนังท่อด้านใน

จาก (4.8)

$$q_r = -k \cdot (2 \cdot \pi \cdot r \cdot L) \cdot \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{T_1 - T_2}{\ln(r_1 / r_2)} \right] \quad (4.8)$$

$$q_r = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot L}{\ln(r_1 / r_2)} \cdot (T_1 - T_2)$$

$$q_r = \frac{T_1 - T_2}{R_k} = \frac{\Delta T}{R_k}$$

$$R_k = \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2 \cdot \pi \cdot k_1 \cdot L}$$

ได้

$$R_k = \frac{\ln\left(\frac{19}{18.5}\right)}{2 \times \pi \times 52 \times \left(\frac{W}{m}\right) \times 0.95(m)}$$

$$R_k = 8.596 \times 10^{-5} W^{-1}$$

นำค่า R_k มาแทนในสมการ $q_r = \frac{\Delta T}{R_k}$ ได้

$$q_r = \frac{6.4}{8.596 \times 10^{-5} W^{-1}}$$

$$q_r = 74453.23W$$

$$q_r = 74.5kW \approx 75kW$$

ดังนั้น ถ้าต้องการให้ปริมาณความร้อนภายในถึงมีค่าเท่ากับ 56 kW ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง จะต้องให้ปริมาณความร้อนแก่อผิวท่อด้านนอกเท่ากับ 75 kW

2) การออกแบบระบบควบคุมการเผาไหม้ทางทฤษฎีมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย เครื่องควบคุมอุณหภูมิ เทอร์โมคัปเปิล หัวเตาแก๊ส โซลินอยด์วาล์ว ระบบสายไฟ และแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ

3) ระบบควบคุม มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย ท่อทองแดง ท่อและข้อต่อต่างๆ ถังน้ำควบคุม 200 ลิตร ท่อเหล็กเหนียว ถังเก็บน้ำมัน และถังแยกแก๊ส

4) คำนวณระบบควบคุม การคำนวณการถ่ายเทความร้อนมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือ ขนาดของขอบนอกของท่อทองแดง $D_o = 0.019$ m ขนาดของขอบในของท่อทองแดง $D_i = 0.017$ m ความยาวของท่อทองแดง $L = 15$ m อุณหภูมิในของท่อทองแดง $T_o = 27$ C อุณหภูมิในท่อทองแดง $T_i = 370$ C ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ Copper $k_{\text{copper}} \text{ ที่ } 450 \text{ }^\circ\text{C} = 371.2$ W/m.K ค่าการขยายตัวทางความร้อนของ Copper $\alpha_{\text{copper}} = 117 \times 10^{-6}$ m²/s ค่าความหนาแน่นของ Copper = 8,933 kg/m³ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของน้ำ $k_{\text{water}} \text{ ที่ } 27 \text{ }^\circ\text{C} = 0.540$ W/m.K ค่าความหนาแน่นของน้ำ = 1,000 kg/m³ ถ้าต้องการหาอุณหภูมิของผิวท่อ Copper เมื่อเวลา $T_c = 240$ s ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน $h_c = 500$ W/m².K

จาก (4.9)

$$\frac{Tt - T_o}{T_i - T_o} = \exp[-(Bi.Fo)] \quad (4.9)$$

$$\frac{Tt - T_o}{T_i - T_o} = \exp\left[-\left(\frac{h_c \cdot A_s}{\rho \cdot V \cdot c}\right) t\right]$$

$$\frac{Tt - T_o}{T_i - T_o} = \exp\left[-\left(\frac{h \cdot \alpha \cdot t}{k / L_c}\right)\right]$$

ได้

$$\frac{Tt - 27}{370 - 27} = \exp\left[-\left(\frac{500(W/m^2.K) \times 117 \times 10^{-6}(m^2/s) \times 60(s)}{371.2(W/m.K) \times (0.019/2)(m)}\right)\right]$$

$$\frac{Tt - 27}{370 - 27} = \exp\left[-\left(\frac{14.04}{3.53}\right)\right]$$

$$\frac{Tt - 27}{370 - 27} = \exp[-(3.977)]$$

$$Tt - 27 = (0.0187) \times (370 - 27)$$

$$Tt = 33.43^\circ\text{C}$$

ดังนั้น เมื่อเวลาผ่านไป 4 นาทีหลังจากท่อทองแดงจุ่มอยู่ในสารหล่อเย็นจะมีอุณหภูมิที่ผิวเท่ากับ 33.43°C

หาอัตราการถ่ายโอนความร้อนสะสมที่เวลา 240 s

$$Q = \rho \cdot V \cdot C \cdot (T_i - T_f)$$

$$Q = \frac{k}{\alpha} \cdot V \cdot (T_i - T_f)$$

$$Q = \frac{371.2 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}\right)}{117 \times 10^{-6} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)} \times [\pi \times (9.5 \times 10^{-3} \text{ m})^2 \times 15(\text{m})] \times (370 - 27)(\text{K})$$

$$Q = 4,626 \text{ kJ}$$

ดังนั้น ค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนสะสมในช่วงเวลา 4 นาที มีค่าเท่ากับ 4,626 kJ

4.1.2 การออกแบบและสร้างเครื่องผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก

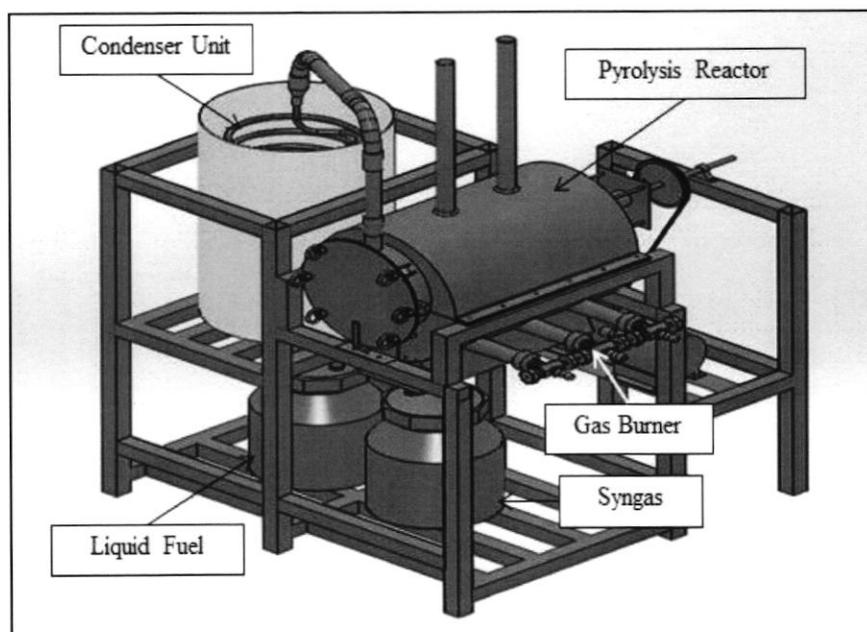
จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าหลุมฝังกลบของเทศบาลเมืองวารินชำราบมีขยะที่ต้องฝังกลบประมาณ 125-130 ตันต่อวัน ในจำนวนนี้เป็นขยะพลาสติกร้อยละ 16.5 หรือ ประมาณ 21.45 ตัน ขยะพลาสติกดังกล่าวประกอบไปด้วยพลาสติกชนิด PP และ PE [1,2] ซึ่งก็คือ ถุงพลาสติก ประเภท ถุงร้อน (PP) ถุงเหนียว (LDPE) ถุงหิ้ว (HDPE) ดังนั้นการออกแบบชุดไพโรไลซิสจึงได้ออกแบบให้เหมาะสมกับพลาสติกชนิดดังกล่าว โดยการออกแบบจะคำนึงถึงความสามารถค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของระบบไพโรไลซิสโดยมีค่าการปรับตัวแปรต่าง ๆ คือ เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ในการไพโรไลซิส ความเร็วรอบที่ใช้งาน อุณหภูมิที่ใช้ในห้องเผาไหม้ ระบบควบแน่น ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก และคำนึงถึงความต้องการพื้นฐานของเครื่องไพโรไลซิสน้ำมันจากขยะพลาสติกที่เป็นเงื่อนไขในการออกแบบดังนี้

4.1.2.1 ระบบต้นกำลัง ต้องสามารถที่จะขับเคลื่อนเอาชนะแรงต้านเนื่องจากความหนืดของพลาสติกที่เป็นถูกให้ความร้อนในถังปฏิกรณ์ที่เกิดการเผาไหม้

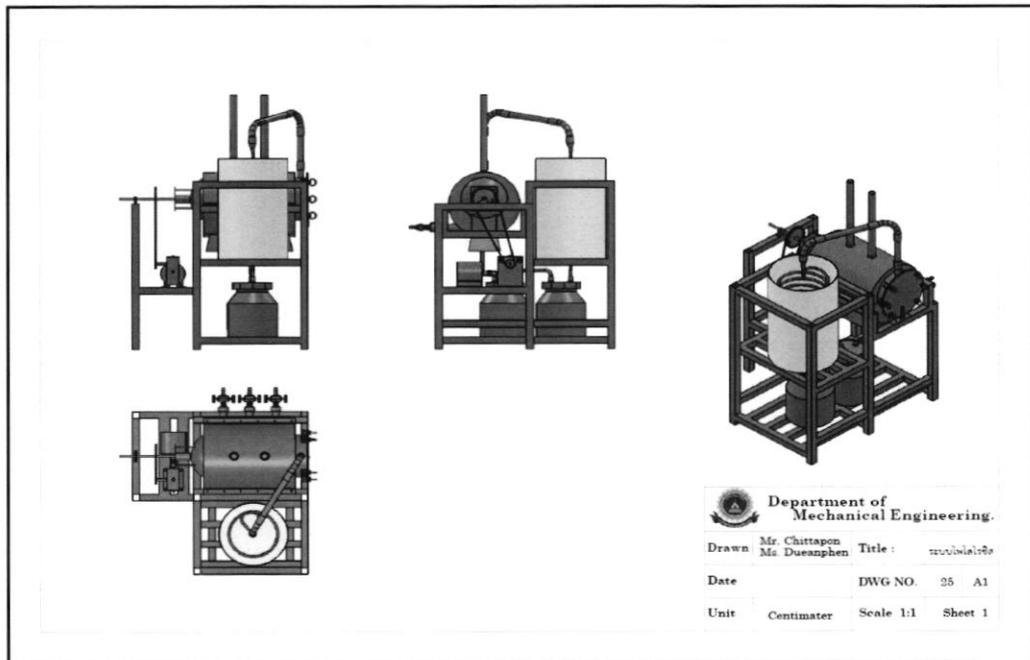
4.1.2.2 ระบบเผาไหม้ เป็นระบบทำความร้อนโดยเป็นการให้ความร้อนจากผนังด้านนอกของเตาเผาไหม้โดยมีหัวเตาแก๊สเป็นตัวทำความร้อนแก่ระบบและควรให้ความร้อนที่เพียงพอแก่การเป็นปฏิกิริยาไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิ 500°C

4.1.2.3 ระบบควบคุม เป็นส่วนที่สำคัญในการทำงานควบคุมของระบบเพราะเป็นจุดสั่งงานของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าทั้งหมดและเป็นจุดที่ใช้ในการควบคุมการปิด-เปิดการจ่ายแก๊สให้การเผาไหม้ในระบบ

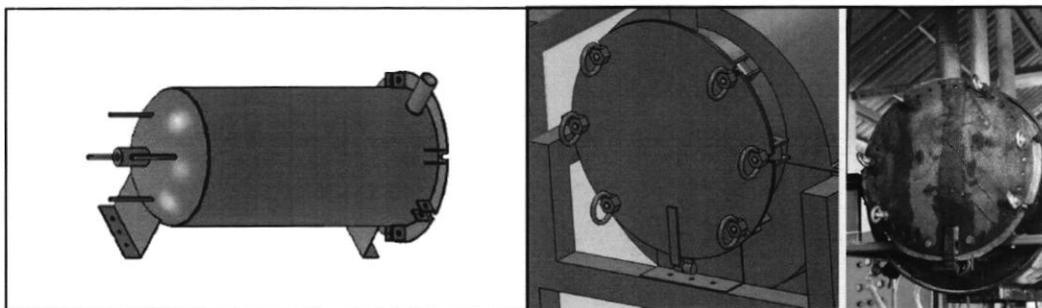
4.1.1.4 ระบบควบแน่น ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิของไหลและอัตราการไหลของไอของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสเพราะเป็นส่วนที่สำคัญในการคำนวณหาประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อน โดยการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกได้ออกแบบด้วยโปรแกรมทางวิศวกรรม [47] ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 4.3 - 4.9



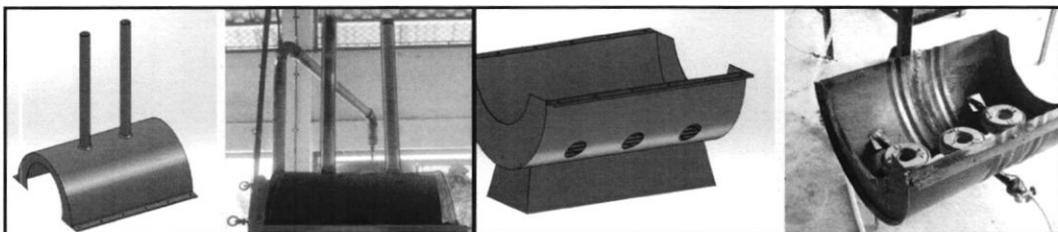
ภาพที่ 4.3 แบบชุดไพโรไลซิสน้ำมันจากขยะพลาสติก



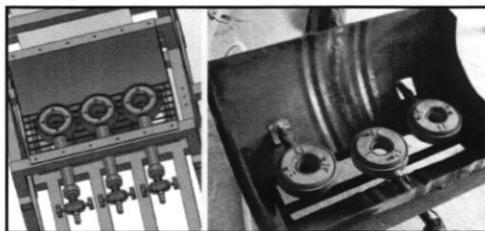
ภาพที่ 4.4 ภาพหน้าตัดแบบชุดไฟโลไซตน้ำมันจากขยะพลาสติก



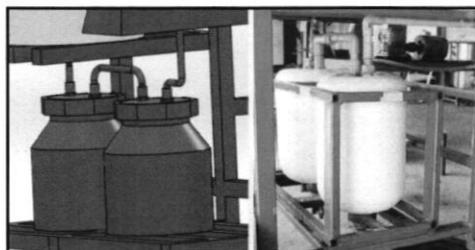
ภาพที่ 4.5 ถังปฏิกรณ์ไฟโลไซต ฝาถังปฏิกรณ์และการติดตั้งหัวน็อตยึดฝา



ภาพที่ 4.6 ฝาครอบถังด้านบนและฝาครอบถังด้านล่าง



ภาพที่ 4.7 หัวเตาแก๊สเหล็กแรงดันสูง ขนาดปริมาณความร้อน 25 kw.



ภาพที่ 4.8 ถังเก็บน้ำมันและถังดักแก๊สที่เหลือจากการควบแน่น



ภาพที่ 4.9 ชุดไฟโลโรซีน้ำมันจากขยะพลาสติกขนาด 5 กิโลกรัมพลาสติก

4.2 การผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกเพื่อใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์

4.2.1 การผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกเพื่อใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์

ในการศึกษาจะใช้พลาสติกจากหลุมฝังกลบขยะของเทศบาลเมืองวารินชำราบ อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งในหลุมฝังกลบขยะจะประกอบไปด้วยขยะพลาสติกจำพวกถุงพลาสติก โดยประกอบไปด้วย พลาสติก PP, HDPE และ LDPE [2] การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวจากขยะพลาสติกนั้นเป็นการเปลี่ยนขยะพลาสติกให้กลายเป็นน้ำมันโดยการอาศัยจุดเดือด จุดหลอมเหลว และการระเหยกลายเป็นไอของพลาสติก ซึ่งในการระเหยเป็นไอของพลาสติกต้องปราศจากอากาศหรือออกซิเจนและอุณหภูมิที่จะทำให้พลาสติกกลายเป็นไอพลาสติกจะต้องมีอุณหภูมิอยู่ที่ 250°C ถึง 400°C ไอของพลาสติกจะถูกเปลี่ยนเป็นของเหลวด้วยวิธีการควบแน่น ซึ่งเป็นการลดอุณหภูมิของไอพลาสติกด้วยการจุ่มท่อทองแดงที่ไอร้อนของพลาสติกไหลผ่านลงในถังของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศ ในการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกปัจจัยที่ได้กล่าวมานั้นมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำมัน ซึ่งจะมีขั้นตอนการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกดังนี้

4.2.1.1 เตรียมพลาสติกที่สะอาดดังภาพที่ 4.10 โดยนำไปล้างและสับหรือตากให้แห้ง

4.2.1.2 ชั่งพลาสติกที่เตรียมไว้ 5 kg แล้วบรรจุเข้าไปในถังปฏิกรณ์ดังภาพที่ 4.11 ปิดฝาถังปฏิกรณ์และขันน็อตให้แน่นโดยมีแผ่นซิลทอนความร้อนเป็นตัวป้องกันการรั่วซึมของน้ำมัน

4.2.1.3 เติมน้ำลงในถังควบแน่นหรือถังหล่อเย็นประมาณ 200 ลิตร และเติมน้ำลงในถังดักแก๊สประมาณ 5 ลิตร ดังแสดงในภาพที่ 4.12

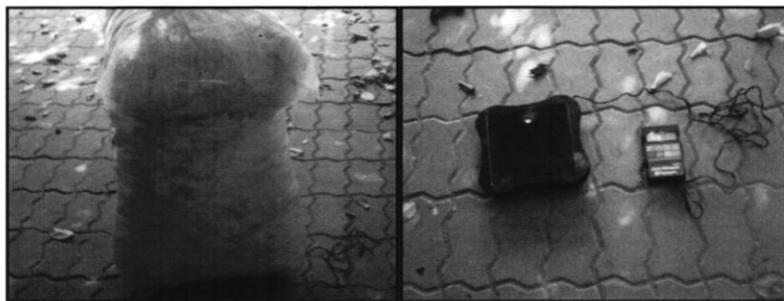
4.2.1.4 จุดไฟหัวแก๊สหลัก เปิดหัวแก๊สหลักเพื่อให้ความร้อนแก่เตาปฏิกรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 4.13 ให้ความร้อนเตาปฏิกรณ์ที่มีพลาสติกอยู่ข้างใน จากอุณหภูมิปกติไปจนถึงจุดที่พลาสติกกลั่นตัวออกมาเป็นน้ำมัน ซึ่งจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 250°C ถึง 400°C โดยการเพิ่มอุณหภูมิในแต่ละช่วงต้องค่อย ๆ ปรับให้เพิ่มขึ้นครั้งละ 5 ถึง 10 องศาเซลเซียส เพื่อจะทำให้พลาสติกค่อย ๆ เปลี่ยนสถานะจากของแข็ง เป็นของเหลวและไอได้ดี

4.2.1.5 เก็บตัวอย่างน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสและควบแน่นแล้วจนเป็นของเหลว ซึ่งน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสอุณหภูมิที่ 250°C ถึง 400°C จะได้น้ำมันสีน้ำตาลเข้มและมีความหนืดสูง ดังภาพที่ 4.14 เพราะการกลั่นตัวของน้ำมันยังไม่สมบูรณ์

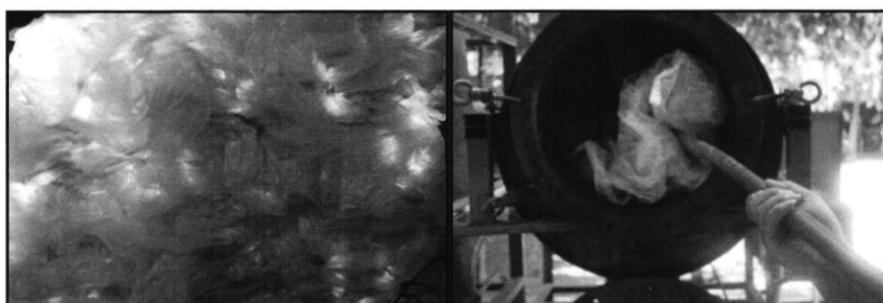
4.2.1.6 ดับหัวแก๊สหลักปล่อยให้ถังปฏิกรณ์เย็นตัวลง ซึ่งใช้เวลาประมาณ 8-10 ชั่วโมง แล้วเปิดเอาภากรับออกนอกจากถังปฏิกรณ์

4.2.1.7 นำน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสในข้อที่ 4.2.1.5 ไปกลั่นในหอกกลั่นลำดับส่วนดังแสดงในภาพที่ 4.15 เพื่อทำการกลั่นแยกแล้วเก็บตัวอย่างของน้ำมันเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 250°C จะได้น้ำมันที่มีสีเหลืองและสะอาดซึ่งจะมีคุณสมบัติคล้ายกับน้ำมันดีเซลทั่วไปดังภาพที่ 4.16

4.2.1.8 นำน้ำมันที่ได้ไปทดสอบสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงเทียบกับน้ำมันดีเซลทั่วไป



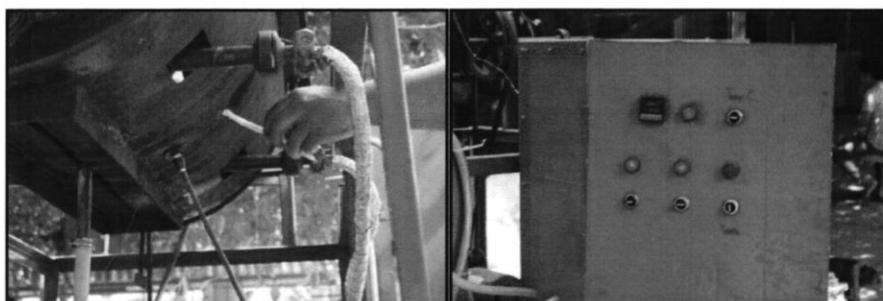
ภาพที่ 4.10 พลาสติกที่ล้างสะอาดซึ่งให้ได้ 5 kg ด้วยเครื่องซังดิจิตอล



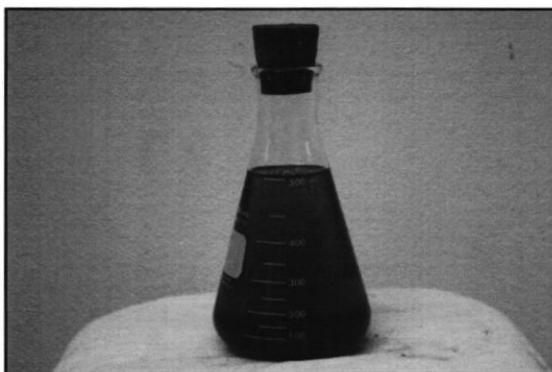
ภาพที่ 4.11 บรรจุพลาสติกจำนวน 5 kg เข้าไปในเตาปฏิกรณ์



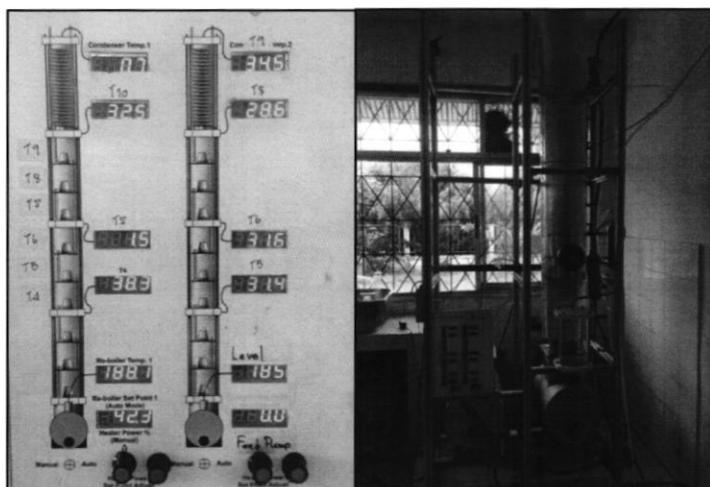
ภาพที่ 4.12 เติมน้ำในถังหล่อเย็นประมาณ 200 ลิตร และเติมน้ำลงในถังดักแก๊สประมาณ 5 ลิตร



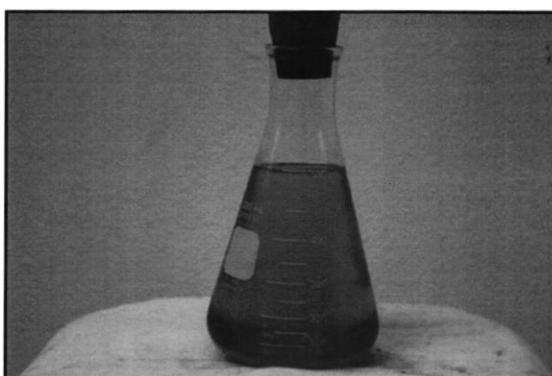
ภาพที่ 4.13 จุดไฟหัวแก๊สเพื่อให้ความร้อนแก่ถังปฏิกรณ์และปรับตู้ควบคุม



ภาพที่ 4.14 น้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสที่ช่วงอุณหภูมิ 250-400 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.15 ชุดหอกลั่นลำดับส่วน



ภาพที่ 4.16 น้ำมันที่ได้จากการกลั่นช่วงอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

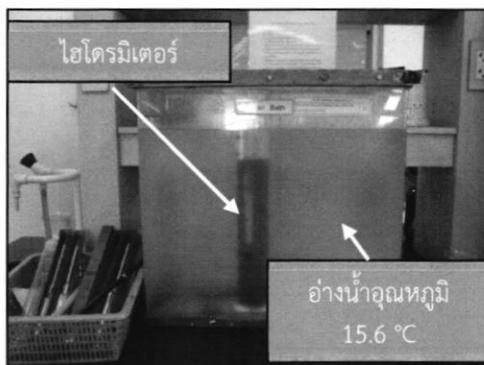
4.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิง

4.3.1 การวิเคราะห์จุดวาบไฟ (Flash point) และจุดติดไฟ (Fire point) ตามมาตรฐาน ASTM D92 โดยใช้เทคนิค Cleveland Open Cup เทตัวอย่างน้ำมันในถ้วยทดสอบให้มีปริมาตร 3/4 ของถ้วยทดสอบ นำเทอร์โมมิเตอร์เสียบกับแท่นยึดในแนวตั้งและจัดให้อยู่ด้านตรงข้ามกับจุดเปลวไฟ จากนั้นจุดไฟที่จุดเปลวไฟทดสอบและปรับให้เปลวไฟนั้นมีขนาด 4-5 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.17 ค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิแผ่นให้ความร้อนอย่างช้า ๆ และคงที่ เมื่อตัวอย่างน้ำมันมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดวาบไฟ ให้ใช้เปลวไฟทดสอบเคลื่อนผ่านถ้วยทดสอบ การผ่านเปลวไฟให้ผ่านข้ามจุดศูนย์กลางของถ้วยทดสอบ การเคลื่อนที่ต้องเคลื่อนในแนวราบและมีความเร็วสม่ำเสมอ เปลวไฟที่เคลื่อนที่ผ่านถ้วยทดสอบจะต้องอยู่สูงกว่าถ้วยทดสอบไม่เกิน 2 มิลลิเมตร การเคลื่อนที่ให้ผ่านไปทางหนึ่งแล้วค่อยผ่านกลับมา เมื่อเกิดไฟวาบขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่งบริเวณผิวของตัวอย่างน้ำมัน ให้อ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ แล้วบันทึกผล ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวเป็นจุดวาบไฟ หากต้องการหาจุดติดไฟ ให้ความร้อนกับตัวอย่างน้ำมันไปเรื่อย ๆ แล้ว ใช้เปลวไฟเคลื่อนที่ผ่านถ้วยทดสอบ จนกระทั่งตัวอย่างน้ำมันติดไฟ และลุกไหม้ จุดนั้นคือจุดติดไฟแล้วอ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ แล้วบันทึกผล



ภาพที่ 4.17 ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์หาจุดวาบไฟและจุดติดไฟ

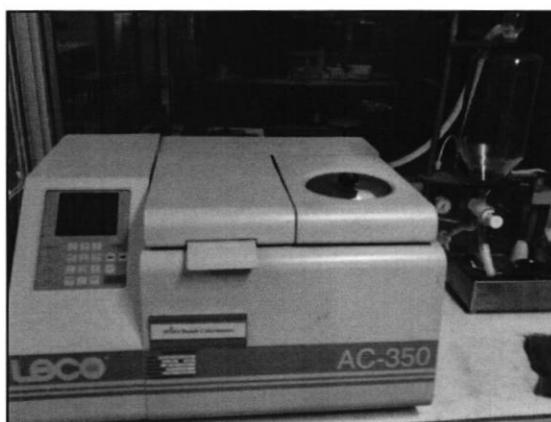
4.3.2 การวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ตามมาตรฐาน ASTM D1298 โดยใช้ Hydrometer การใช้งานไฮโดรมิเตอร์ โดยจุ่มไฮโดรมิเตอร์ ลงในของเหลวที่ต้องการวัดค่าความถ่วงจำเพาะปล่อยให้ไฮโดรมิเตอร์ จมลงในของเหลวจนกระทั่งหยุดนิ่ง ดังแสดงในภาพที่ 4.18 จึงอ่านค่าค่าความถ่วงจำเพาะจากระดับตัวเลขบนแท่งไฮโดรมิเตอร์ที่บริเวณผิวของของเหลวแล้ว บันทึกผล ถ้าหากกรณีแท่งไฮโดรมิเตอร์จมทั้งหมด แสดงว่าต้องใช้ไฮโดรมิเตอร์ขนาดใหญ่ ที่มีระดับการวัดค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าเดิม เนื่องจาก ของเหลวมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าระดับความถ่วงจำเพาะของไฮโดรมิเตอร์ที่ใช้อยู่ ในทางตรงกันข้าม กรณี ไฮโดรมิเตอร์ลอยอยู่เหนือของเหลว หรือจมเพียงเล็กน้อย ไม่อยู่ในระดับที่อ่านค่าความถ่วงจำเพาะได้ หมายถึงค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวสูงกว่าที่จะใช้ไฮโดรมิเตอร์ขนาดดังกล่าววัด หรือหมายถึง ของเหลวมีความหนืดสูง แรงตึงผิวสูงไฮโดรมิเตอร์ขนาดดังกล่าวจึงไม่สามารถจมตัวลงได้ ข้อควรระวังในการวิเคราะห์ความถ่วงจำเพาะสำหรับการใช้ไฮโดรมิเตอร์ หากไม่ทราบค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลว ให้ใช้ไฮโดรมิเตอร์ที่มีระดับค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าระดับค่าความถ่วงจำเพาะที่ต้องการทราบ



ภาพที่ 4.18 อุปกรณ์วิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะ

4.3.3 การวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating Value) ตามมาตรฐาน ASTM D240 เพื่อทดสอบหาค่าความร้อนทางเชื้อเพลิง โดยใช้เครื่อง Automatic Bomb Calorimeter ยี่ห้อ Leco Automatic Calorimeter รุ่น AC-350 Leco Instruments (Thailand) Ltd. ดังแสดงในภาพที่ 4.19 เปิดน้ำจาก PIPET (2000 มิลลิลิตร) เข้า BOMB BUCKET โดยให้น้ำกระทบที่ผนัง ของ BOMB BUCKET เพื่อวนน้ำและลดฟองอากาศ ยก BOMB BUCKET ไปวางที่ BOMB BUCKET WELL โดยให้ตำแหน่งที่วาง BOMB ใน BOMB BUCKET อยู่ในส่วนหน้า เพื่อที่จะมีช่องว่างพอที่จะให้ใบพัดของ STIRRING หมุนได้สะดวก การเตรียมน้ำมันเพื่อวัดค่าความร้อน ต้องบรรจุน้ำมันลงในแคปซูล ปริมาณ 0.2 กรัม เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำมัน นำแคปซูลบรรจุลงในถ้วย แล้วติดตั้งใน BOMB นำลวด ขนาด 10 เซนติเมตร ผูกที่ปลายทั้งสองข้าง แล้วตัดเป็นรูปตัว U จากนั้นอัดแก๊สออกซิเจน ในลูกบอมบ์ 420 psi ใส่ที่หัว BOMB เข้าไปในตัว BOMB แล้วยก BOMB ไปวางใน BOMB BUCKET เสียบสายจุดฟิวส์ 2 เส้น เข้าไปในช่องเสียบที่ด้านบนของ BOMB โดย จับสายไฟในส่วนที่เป็นฉนวนอย่าให้มือโดนน้ำใน BOMB BUCKET เพราะจะทำให้ปริมาณน้ำเปลี่ยนไป ตรวจสอบ BOMB BUCKET ว่ามีฟองอากาศออกมาจาก BOMB หรือไม่ เพื่อตรวจสอบการรั่วของ BOMB ถ้ารั่วห้ามทำ การวิเคราะห์เด็ดขาด หากเกิดการรั่ว ต้องนำมาตรวจสอบ จากนั้นปิดฝา BOMB BUCKET กรอกน้ำหนักของน้ำมัน แล้วกดปุ่ม START เพื่อเริ่มทำการวิเคราะห์ ขณะทำการ PREFIRE แถวบนสุดของหน้าจอจะแสดงอุณหภูมิภายใน BUCKET และที่หน้าจอก็จะแสดงเวลาที่นับลงเพื่อจุด FUSE ทหวินาที ก่อนที่จะจุด FUSE จะมีเสียง สัญญาณ ดังขึ้นพร้อมทั้งข้อความ 'IGNITE' กระพริบขึ้นที่จอ ขณะ POSTFIRE แถวบนสุด ของหน้าจอก็จะแสดงผลอุณหภูมิของ BUCKET ที่เพิ่มขึ้น (DELTA T) และที่ส่วนแสดงผล การวิเคราะห์จะแสดงเวลาที่เหลือของการวิเคราะห์ ID CODE และหมายเลข BOMB ขณะทำการวิเคราะห์ถ้ามีการกด RESET, CONFIRMATION MENU จะปรากฏขึ้น กด 1 RESET ANALYSIS ถ้ามีการกดขณะ PREFIRE น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ จะไม่ถูกลบไป ถ้ามีการกดขณะ POSTFIRE เครื่องจะคำนวณค่าความร้อนออกมาเท่าที่มีข้อมูล อยู่ กด 2 ABORT ANALYSIS เป็นการหยุดการวิเคราะห์และลบน้ำหนักของตัวอย่างออกไปและบันทึกผล กด 3 CONTINUE เพื่อให้เครื่องวิเคราะห์ต่อไปหลังจากสิ้นสุดการวิเคราะห์ให้เปิดฝาของ BOMB BUCKET ใช้ผ้าเช็ดทำความสะอาด ใบพัดและ TEMP PROBE ดึงสายจุดฟิวส์ออกใช้ผ้าเช็ดสายให้แห้ง ยก BOMB ออกจาก BOMB BUCKET โดยใช้ที่หัว เทน้ำจาก BOMB BUCKET กลับคืนสู่ RESERVOIR TANK ใช้ผ้าเช็ดทำความสะอาด

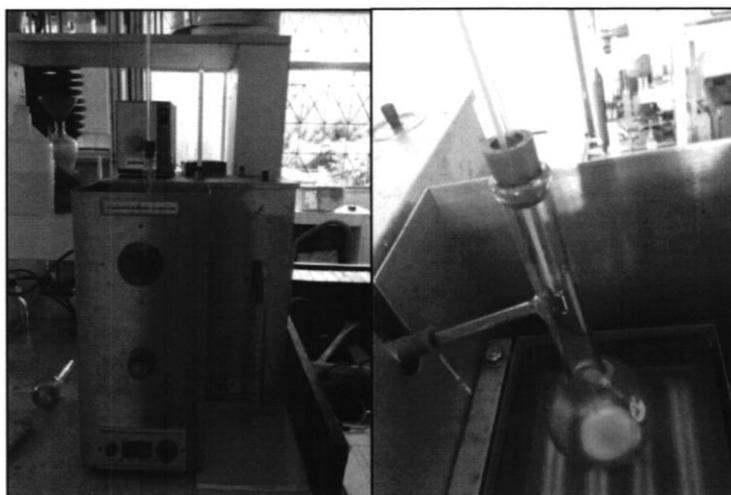
สะอาด BOMB BUCKET ถ้าพบว่าตัวอย่างมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ต้องลบผลการวิเคราะห์ทิ้งและทำการวิเคราะห์ใหม่ วัดความยาวของฟิวส์ที่เหลือจากการวิเคราะห์ นำไปลบออกจากความยาวของฟิวส์ที่ใส่เข้าไปในตอนต้น แล้วไปแก้ไขความยาวของฟิวส์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ผ่านมาให้ถูกต้อง ถ้าต้องการ TITRATION จะต้องล้าง BOMB ด้วยน้ำกลั่น แล้วนำน้ำที่ล้าง BOMB ไปสู่ขั้นตอนการ TITRATION และทำการแก้ไขค่า NITROGEN และ SULFUR เพื่อให้คำนวณผลการวิเคราะห์ใหม่ ทำความสะอาดและล้าง BOMB ด้วยน้ำกลั่นพร้อมทั้งขจัดเศษต่าง ๆ ที่ค้างอยู่ใน BOMB ออกไป และต้องทำ CALIBRATE ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลง MODE หรือเวลาในการวิเคราะห์ก่อนใช้เครื่อง ต้องวิเคราะห์ทิ้งไป 1 ตัวอย่างเพื่อให้สภาวะต่าง ๆ ของอุณหภูมิอยู่ในสภาวะ



ภาพที่ 4.19 เครื่อง Automatic Bomb Calorimeter

4.3.4 การวิเคราะห์อุณหภูมิการกลั่น (Distillation temperature) ตามมาตรฐาน ASTM D 86 เพื่อทดสอบหาค่าอุณหภูมิการกลั่นของเชื้อเพลิง โดยมีอุปกรณ์ดังแสดงในภาพที่ 4.20 วิธีการทดสอบนี้เป็นการกลั่นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ความดันบรรยากาศโดยใช้ เครื่องมือทดสอบเพื่อทดสอบ Boiling Range ของ Product วิธีการทดสอบนี้มีจุดมุ่งหมาย สำหรับทดสอบ Distillated Fuels ไม่สามารถที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณของ Residue Material เป็นจำนวนมาก ตัวอย่างเชื้อเพลิง 100 ml จะถูกกลั่นภายใต้สภาวะที่กำหนด ภายใต้ความดันบรรยากาศและสภาวะที่กำหนด อุณหภูมิและปริมาตรของ Condensate ที่อ่านได้ ข้อมูลอื่น ๆ ที่จำเป็น รวมทั้ง ปริมาณ Residue และ Loss จะต้องทำการบันทึกไว้ ผลการทดสอบจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของ Evaporate หรือ ร้อยละ Recovery และ อุณหภูมิ ทั้งในลักษณะเป็น Table หรือ Distillation Curve จุดเดือดเริ่มต้น (Initial Boiling Point , IBP) และจุดเดือดร้อยละ 10 (ร้อยละ 10 evaporated) เป็นส่วนเบาเรียกว่า “Front End” ที่ระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำเพื่อช่วยให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่ายในเวลาเช้าซึ่งมีอากาศเย็น จุดเดือดร้อยละ 50 เป็นส่วนกลางเรียกว่า “Mid Fill หรือ Mid Range” เป็นส่วนที่ระเหยได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อให้เครื่องยนต์ร้อนขึ้น (Warm Up) ได้เร็ว มีการกระจายตัวของน้ำมันไปยังสูบต่าง ๆ ได้สม่ำเสมอช่วยให้แรงเครื่องได้เรียบ จุดเดือดร้อยละ 90 เป็นส่วนหนักเรียกว่า “Back End” เป็นส่วนที่ให้พลังงานกับเครื่องยนต์และการประหยัดเชื้อเพลิง ถ้าส่วนนี้มีอุณหภูมิสูงมากเกินไป น้ำมันจะระเหยไม่หมดและไหลผ่านแหวนลูกสูบ ลงไปทำให้น้ำมันเครื่องเจือจางลง (Crankcase

Dilution) และเสื่อมคุณภาพเร็วซึ่งมักจะเกิดขึ้นได้ถ้าน้ำมันเบนซินถูกปลอมปนด้วย น้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซล จุดเดือดสุดท้าย (Final Boiling Point, FBP) ส่วนนี้แสดงว่ามีส่วนหนักมากอยู่เล็กน้อย แค่นั้น ถ้าจุดเดือดสุดท้ายและจุดเดือดร้อยละ 90 แตกต่างกันเกิน 30 °C อาจเกิดปัญหาด้านความสะอาดในห้องเผาไหม้และร่องแหวนลูกสูบได้



ภาพที่ 4.20 อุปกรณ์วิเคราะห์อุณหภูมิการกลั่น

4.3.5 การวิเคราะห์ค่าดัชนีซีเทน (Calculated Cetane index) ตามมาตรฐาน ASTM D976 ดัชนีซีเทนเป็นสมบัติที่ใช้วัดคุณภาพการลุกติดไฟของน้ำมันดีเซล ดัชนีซีเทนควรมีค่าเหมาะสมกับความเร็วของเครื่องยนต์เพื่อช่วยให้เครื่องยนต์ติดง่ายไม่เกิดการน็อกในเครื่องยนต์และเป็นการประหยัดเชื้อเพลิง ดัชนีซีเทนได้จากการคำนวณที่ต้องอาศัยผลการวิเคราะห์อุณหภูมิการกลั่นที่ 50% หรือจุดกลางของการเดือด (Mid Boiling Point) และความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะที่ 15.6 °C ดัชนีซีเทนจะคำนวณจากสมการที่ 4.10 และ 4.11 หรืออ่านได้จากกราฟในภาพที่ 4.21

$$\text{ดัชนีซีเทน} = 420.34 + 0.016G^2 + 0.192G \log M + 65.01(\log)^2 - 0.0001809M^2 \quad (4.10)$$

หรือ

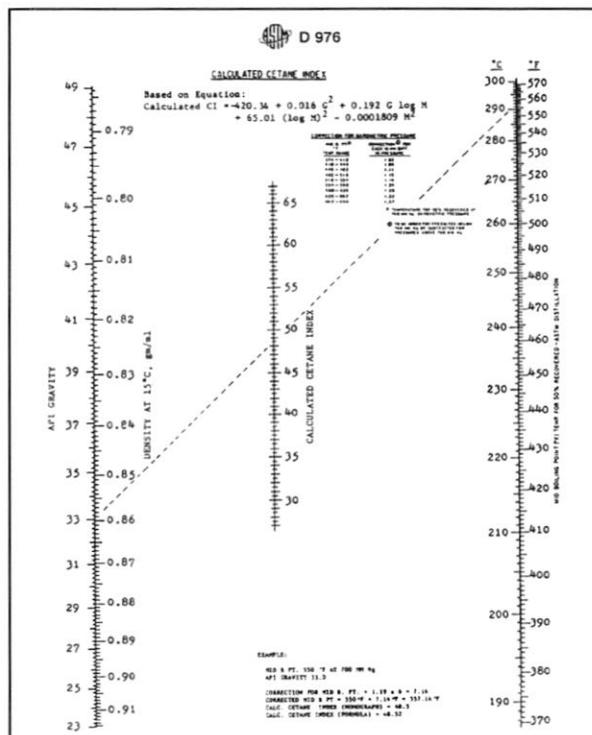
$$\text{ดัชนีซีเทน} = 454.74 - 1641.416D + 774.74D^2 - 0.554B + 97.803(\log B)^2 \quad (4.11)$$

เมื่อ G คือ ค่าความถ่วงจำเพาะแบบ API ที่ 15.6 °C

M คือ จุดกลางการเดือดในหน่วยฟาร์เรนไฮต์ (°F)

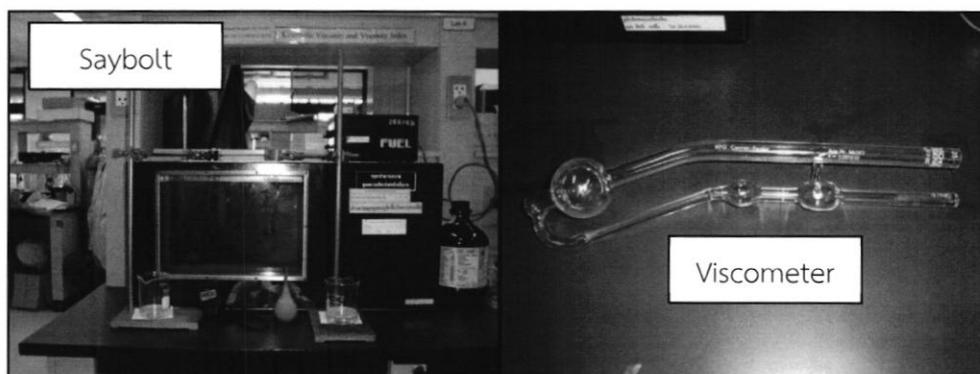
D คือ ค่าความหนาแน่นที่ 15.6 °C ในหน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm³)

B คือ จุดกลางการเดือดในหน่วยองศาเซลเซียส (°C)



ภาพที่ 4.21 Nomograph for Calculated Cetane index

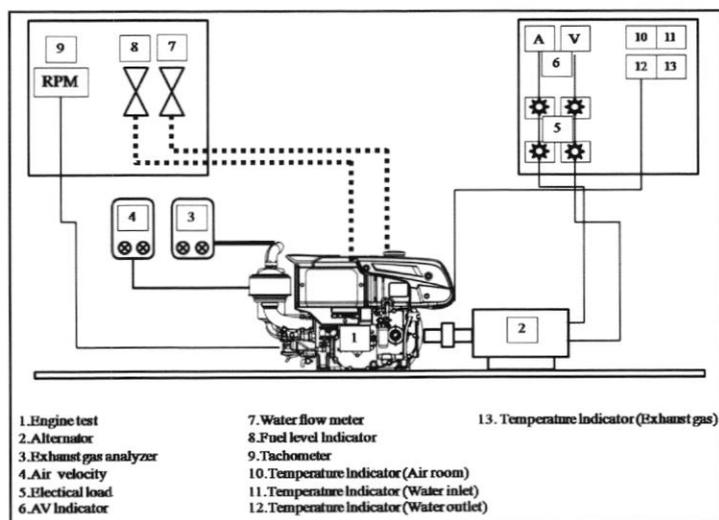
4.3.6 การวิเคราะห์ค่าความหนืด (Viscosity) ตามมาตรฐาน ASTM D445 อุปกรณ์ที่ใช้ดังแสดงในภาพที่ 4.22 ซึ่งประกอบด้วย Saybolt Viscometer เทอร์โมมิเตอร์ นาฬิกาจับเวลา หลอดดูดน้ำมัน โดยทำความสะอาดหลอด Viscometer แล้วใช้หลอดดูดน้ำมันใส่เข้าไป 5 ml ปรับอุณหภูมิของอ่างน้ำมันมาตรฐานไปที่ 40 °C แซ่ Viscometer ลงในอ่างน้ำมันมาตรฐานประมาณ 30 นาที ให้อุณหภูมิของน้ำมันใน Viscometer เท่ากับอุณหภูมิของน้ำมันมาตรฐานในอ่างน้ำมัน ดูดน้ำมันใน Viscometer ให้ไหลผ่านรูเล็ก ๆ ของ Viscometer พอน้ำมันไหลผ่านเครื่องหมายที่กำหนดเริ่มจับเวลาเมื่อน้ำมันไหลลงถึงขีดด้านล่างจึงหยุดจับเวลาแล้วบันทึกเวลาที่อ่านได้ในหน่วยวินาทีแล้วนำไปคูณกับค่าคงที่ของ Viscometer จะได้ค่าความหนืด



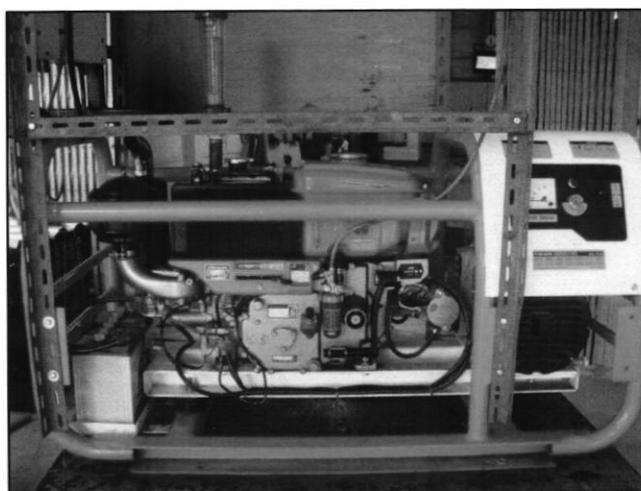
ภาพที่ 4.22 แสดงอุปกรณ์วิเคราะห์ค่าความหนืด

4.4 อุปกรณ์ในการทดสอบการใช้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัด

อุปกรณ์ในการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดแบบฉีดตรง สูบเดี่ยว สี่จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำ ยี่ห้อคูโบต้า ตามรายละเอียดในตารางที่ 4.1 โดยใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ สำหรับใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเปรียบเทียบผลกับการทดสอบเครื่องยนต์รุ่นเดียวกัน ยี่ห้อเดียวกัน แต่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกกลั่น >250 (DWPO100) ทั้งนี้สมรรถนะเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบ ได้แก่ กำลังงานของเครื่องยนต์ อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน อุณหภูมิไอเสีย และการปล่อยก๊าซไอเสีย HC, NO_x, CO และ CO₂ ตามตารางที่ 4.2 โดยมีอุปกรณ์การปฏิบัติงานตามภาพที่ 4.23-4.31



ภาพที่ 4.23 ไดอะแกรมการทดสอบเครื่องยนต์



ภาพที่ 4.24 เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดยี่ห้อคูโบต้า รุ่น RT140 ที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 4.2 สมบัติของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ [48]

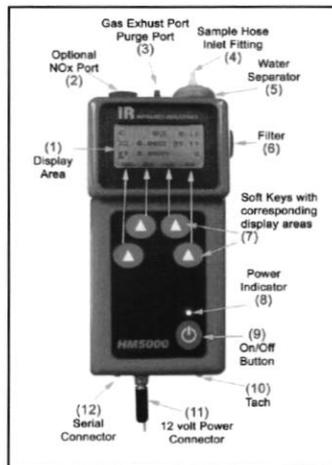
Engine parameter	Specification
Make of model	Kubota RT140 plus
Engine type	Four-stroke, CI, direct injection, single cylinder
Bore x Stroke	97 x 96 mm.
NO. of cylinder	1
Piston displacement	709 cc
Maximum power output	10.3 kw / 2400 rpm
Continuous power output	9.2 kw / 2400 rpm
Maximum torque	5 kg-m / 1600 rpm
Compression ratio	18:1
Nozzle opening pressure (kg/cm ²)	150
Retarded injection timing (°CA)	17.5 BTDC



ภาพที่ 4.25 อุปกรณ์วัดรอบการทำงานของเครื่องยนต์



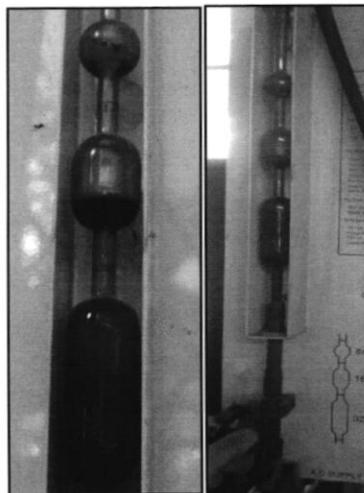
ภาพที่ 4.26 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ HIOKI รุ่น 8421-51



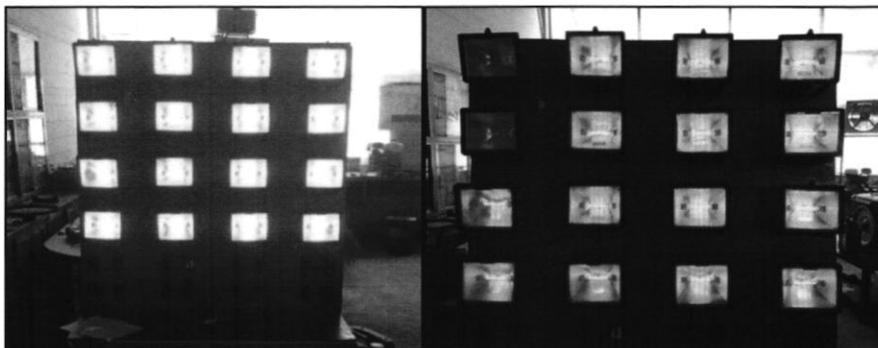
ภาพที่ 4.27 เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย

ตารางที่ 4.3 สมบัติของเครื่องวิเคราะห์ไอเสีย HM5000 4/5 Gas Analyzer

Gas	Range	Resolution	Accuracy
Hydrocarbons (HC)	0-10,000 ppm	1 ppm	+/- 2%
Carbon Monoxide (CO)	0-10%	0.01%	+/- 2%
Carbon Dioxide (CO ₂)	0-20%	0.01%	+/- 2%
Oxygen (O ₂)	0-25%	0.01%	+/- 1%
Nitric Oxide (NO _x)	0-5,000 ppm	1 ppm	+/- 2%



ภาพที่ 4.28 กระเปาะวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง



ภาพที่ 4.29 ชุดแผงไฟสำหรับเป็นภาระโหลดให้กับไดนาโมมิเตอร์



ภาพที่ 4.30 โวลต์มิเตอร์สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าของไดนาโมมิเตอร์



ภาพที่ 4.31 แอมป์มิเตอร์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าของไดนาโมมิเตอร์

4.5 การทดสอบเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัด

4.5.1 การทดสอบเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์จะทำการทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง สูบเดี่ยว สี่จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำ ยี่ห้อคูโบต้า สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบผลกับการทดสอบเครื่องยนต์รุ่นเดียวกัน ยี่ห้อเดียวกัน ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกกลั่น >250 (DWPO100) ทั้งนี้สมรรถนะเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบมีขั้นตอนการปฏิบัติงานในการทดสอบเครื่องยนต์ดังต่อไปนี้

4.5.1.1 สตาร์ทเครื่องยนต์เริ่มอุ่นเครื่องไว้ประมาณ 10-15 นาที เพื่อรอให้น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิประมาณ 40-50°C วัดรอบการทำงานของเครื่องยนต์ให้ได้ 1,600 rpm

4.5.1.2 เปิดสวิตช์เครื่องปั่นไดนาโมมิเตอร์ไฟฟ้า แล้วเปิดภาระโหลดโดยจะใช้หลอดไฟสปอร์ตไลท์ แบบหลอดไส้ หรือหลอดทั้งสแตนฮาโลเจน (Tungsten Halogen Lamp) มาเป็นโหลดในการทดลองและใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) เป็นสวิตช์ควบคุม แต่ละหลอดจะมีกำลังไฟฟ้า 500 W เริ่มต้นเปิดภาระโหลดครั้งแรกที่ 1,500 W หรือเปิดไฟสปอร์ตไลท์ 3 ดวง

4.5.1.3 วัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage) โดยใช้โวลต์มิเตอร์ ต่อเข้ากับไดนาโมมิเตอร์ปั่นไฟฟ้า โดยตั้งมัลติมิเตอร์ ไปที่ย่านการวัดไฟกระแสสลับ (AC) แล้วอ่านค่าที่ได้ แล้ววัดกระแสไฟฟ้า (Ampere) โดยใช้แอมป์มิเตอร์ คล้องเข้ากับสายไฟเส้นที่ต้องการวัด และอ่านค่าที่ได้จากจอแสดงผลบนแอมป์มิเตอร์

4.5.1.4 วัดอัตราการไหล (Flow Rate) ของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยเปิดก๊อกน้ำมันแล้วสังเกตหลอดแก้วที่ตำแหน่ง 8 ml/s จะมีขีดกำหนดตำแหน่ง บน-ล่าง อยู่ในการทำงานเราต้องกำหนดระดับน้ำมันให้อยู่ในระดับ “ขีดบน” เริ่มจับเวลา จากนั้นน้ำมันขีดบนก็จะไหลลงมาจนถึง “ขีดล่าง” เมื่อน้ำมันไหลลงมาจนถึงขีดล่างแล้วต้องทำการหยุดเวลา แล้วอ่านเวลาที่ได้เป็นวินาทีจดบันทึกลงในตาราง

4.5.1.5 วัดอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิไอเสีย, อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น, และอุณหภูมิอากาศบริเวณพื้นที่ทำงาน หน่วยการวัดอุณหภูมิคือ องศาเซลเซียส (°C) โดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Extension Wire) เป็นตัวกลางในการวัด ปลายสายทางด้านหนึ่ง จะต่อเข้ากับจุดที่ต้องการวัด และปลายสายอีกด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) เครื่องบันทึกข้อมูลนี้ จะทำหน้าที่เป็นเครื่องบันทึกอุณหภูมิ หรืออ่านค่าอุณหภูมิจากจอแสดงผลบนเครื่องได้

4.5.1.6 วัดแก๊สไอเสีย (Emission) โดยอุปกรณ์วัดแก๊สไอเสียเครื่องนี้จะมีมือจับลักษณะคล้ายกับปืนยาว อุปกรณ์ชุดดังกล่าวนี้จะทำหน้าที่ดูดแก๊สไอเสียที่ออกมาตามท่อไอเสีย เข้าไปในเครื่องจากนั้นเครื่องจะทำการประมวลผล แล้วแสดงค่าที่ประมวลได้ออกมาที่หน้าจอแสดงผล บันทึกค่าการปล่อยก๊าซไอเสีย HC, NO_x, CO และ CO₂

4.5.1.7 เปิดโหลดไปที่ 2,000 ถึง 8,000 W โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 500 W จากนั้นให้ทำการบันทึกค่าต่าง ๆ ตามภาระโหลดของเครื่องยนต์

4.5.1.8 เพิ่มรอบเครื่องยนต์เป็น 2,400 rpm จากนั้นให้ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำการบันทึกค่าที่ได้ตามภาระโหลดและรอบการทำงานของเครื่องยนต์

4.6 การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน

กรณีศึกษาอุปกรณ์โรงงานผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกเทศบาลเมืองวารินชำราบ โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนพอสรุปได้ดังนี้

4.6.1 ลักษณะพฤติกรรมของต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เพื่อจะได้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายซึ่งแปรผันไปตามปริมาณเพิ่มขึ้นหรือลดลงของผลผลิต

ถ้า $N =$ ปริมาณการผลิต
 $C =$ ค่าใช้จ่าย
 $C \propto N$
 $C = KN$
 ในกรณีนี้ $K = 1$ บาทต่อหน่วย

ค่าใช้จ่ายไม่จำเป็นต้องแปรผันโดยตรงกับปริมาณการผลิต อาจวิเคราะห์ได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$C = 0.1 N^2 + 0.4N + 3$$

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเพื่อแสดงความสัมพันธ์กับปริมาณการผลิตนี้เอง ทำให้เกิดความจำเป็นต้องแยกชนิดของค่าใช้จ่ายเป็นค่าใช้จ่ายคงที่หรือต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) และค่าใช้จ่ายตัวแปรตาม (Variable Cost) การเข้าใจพฤติกรรมของต้นทุนในลักษณะนี้จึงมีความสัมพันธ์ไม่น้อย

4.6.2 รายได้ (Revenue) ที่เกิดจากการขายผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะผันแปรโดยตรงกับปริมาณการขาย ถ้าจำนวนที่ผลิตได้ทั้งหมดสามารถจัดขายเป็นรายได้ทั้งหมด รายได้ก็จะผันแปรโดยตรงกับปริมาณการผลิตเช่นกัน

ถ้า $R =$ รายได้
 $R \propto N$
 $R = pN$
 $p =$ ราคาขายผลิตภัณฑ์ต่อหน่วย

4.6.3 เมื่อได้รายละเอียดของค่าใช้จ่ายและรายได้ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณการผลิตแล้ว นำมาวิเคราะห์ร่วมกันเพื่อคำนวณหาผลกำไรจากค่าของรายได้ลบค่าใช้จ่าย

ถ้า $P =$ ผลกำไร
 $P = R - C$

จุดคุ้มทุน คือ จุดซึ่งค่าใช้จ่ายเท่ากับรายรับหรือกำไรเป็นศูนย์

$$P = 0 \text{ หรือ } R = C$$

4.6.4 สร้างแผนภูมิแสดงจุดคุ้มทุนที่ได้

บทที่ 5

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

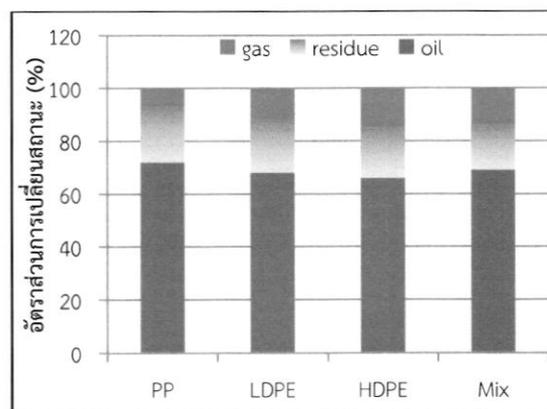
งานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาถึงวิธีการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยกระบวนการไพโรไลซิส การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยการกลั่นแยก การทดสอบคุณภาพน้ำมันที่ได้เทียบกับน้ำมันดีเซลในท้องตลาด นำน้ำมันที่ได้มาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลแบบสูบเดี่ยว ขนาด 14 แรงม้า พร้อมตรวจวัดสมรรถนะและการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์ และมีการทดสอบปรับแต่งเครื่องยนต์ด้วยการปรับแต่งค่าแรงดันหัวฉีด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกกับเครื่องยนต์ การศึกษาการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกเริ่มจากการออกแบบและสร้างชุดไพโรไลซิสขนาด 5 กิโลกรัมพลาสติกต่อรอบการผลิต ที่ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิ เวลา และปริมาณในการผลิต ทั้งอุณหภูมิและเวลาจะต้องมีความสัมพันธ์กัน โดยกระบวนการไพโรไลซิสนั้นมี 3 รูปแบบด้วยกันคือ slow, fast และ hydro pyrolysis และในส่วนของกระบวนการไพโรไลซิสช่วง slow pyrolysis นั้นยังแยกออกเป็น 2 รูปแบบคือ carbonization และ conventional [4] ในงานวิจัยนี้จะใช้กระบวนการ conventional slow pyrolysis โดยมีช่วงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาในช่วง 250-350°C เมื่อได้น้ำมันเชื้อเพลิงจากการไพโรไลซิสแล้วทำการกลั่นโดยใช้เทคนิคกระบวนการกลั่นลำดับส่วน อุณหภูมิที่ใช้ในการแยกชนิดของเชื้อเพลิงคือ น้อยกว่า 170°C, 170-250°C และ สูงกว่า 250°C โดยมีผลการศึกษาด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกดังต่อไปนี้

5.1 การผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก

ออกแบบและสร้างเครื่องผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก โดยคำนึงถึงค่าตัวแปรต่าง ๆ เช่น เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ในการไพโรไลซิส, ความเร็วรอบที่ใช้งาน, อุณหภูมิที่ใช้ในห้องเผาไหม้, ระบบควบคุม, ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก และคำนึงถึงความต้องการพื้นฐานของเครื่องไพโรไลซิสน้ำมันจากขยะพลาสติกที่เป็นเงื่อนไขในการออกแบบ ได้แก่ ระบบต้นกำลัง ต้องสามารถที่จะขับเคลื่อนเอาชนะแรงต้านเนื่องจากความหนืดของพลาสติกที่เป็นถูกให้ความร้อนในถังปฏิกรณ์ที่เกิดการเผาไหม้ ระบบเผาไหม้ เป็นระบบทำความร้อนโดยเป็นการให้ความร้อนจากผนังด้านนอกของเตาเผาไหม้โดยมีหัวเตาแก๊สเป็นตัวทำความร้อนแก่ระบบและควรให้มีความร้อนที่เพียงพอแก่การเป็นปฏิกิริยาไพโรไลซิส ระบบควบคุม เป็นส่วนที่ใช้ในการทำงานควบคุมของระบบ เพราะเป็นจุดสั่งงานของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าทั้งหมดและเป็นจุดที่ใช้ในการควบคุมการปิด-เปิดการจ่ายแก๊สให้การเผาไหม้ในระบบ ระบบควบคุม ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิของไหลและอัตราการไหลของไอของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสเพราะเป็นส่วนที่สำคัญในการคำนวณหาประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อน โดยการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกได้ออกแบบด้วยโปรแกรมทางวิศวกรรม โดยใช้พลาสติกในการทดสอบ 5 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต เวลาที่ใช้ประมาณ 4 ชั่วโมง ปริมาณแก๊สแอลพีจีที่ใช้ 2.5 กิโลกรัม ได้น้ำมันเฉลี่ย 4.5 ลิตรต่อครั้ง ต้นทุนในการผลิตเฉลี่ย 30.75 บาทต่อลิตร โดยมีผลการทดลองการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกดังต่อไปนี้

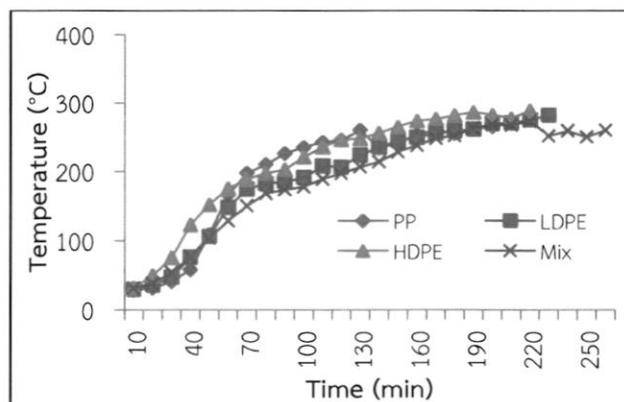
5.1.1 ชนิดพลาสติกกับการผลิตน้ำมัน

5.1.1.1 ผลผลิตที่ได้จากการไพโรไลซิสพลาสติก จากภาพที่ 5.1 พบว่าพลาสติกแต่ละชนิดมีความสามารถเปลี่ยนสถานะจากพลาสติกไปเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่แตกต่างกัน โดยพลาสติกชนิด PP จะสามารถเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงเหลว ได้ร้อยละ 72 เป็นกากซีไธร์ร้อยละ 21 และแก๊สที่ไม่ควบแน่นอีกร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก พลาสติกชนิด LDPE สามารถเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงเหลว ร้อยละ 68 เป็นกากซีไธร์ร้อยละ 20 และแก๊สที่ไม่ควบแน่นอีกร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก พลาสติกชนิด HDPE จะสามารถเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงเหลวร้อยละ 66 เป็นกากซีไธร์ร้อยละ 19 และแก๊สที่ไม่ควบแน่นอีกร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก พลาสติกชนิด Mix สามารถเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงเหลวร้อยละ 69 เป็นกากซีไธร์ร้อยละ 17 และแก๊สที่ไม่ควบแน่นอีกร้อยละ 14 โดยน้ำหนัก โดยพลาสติกชนิด Mix หรือพลาสติกผสมเป็นการผสมตามสัดส่วนองค์ประกอบขยะพลาสติกที่ได้จากสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลเมืองวารินชำราบ จากข้อมูลข้างต้นพบว่าสัดส่วนของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากขยะพลาสติกแต่ละชนิดไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้เหมาะสมกับกระบวนการไพโรไลซิส แบบ Conventional โดยมีความสามารถในการเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ร้อยละ 66-72 เมื่อเทียบกับน้ำหนักของขยะพลาสติกที่ใช้ไป



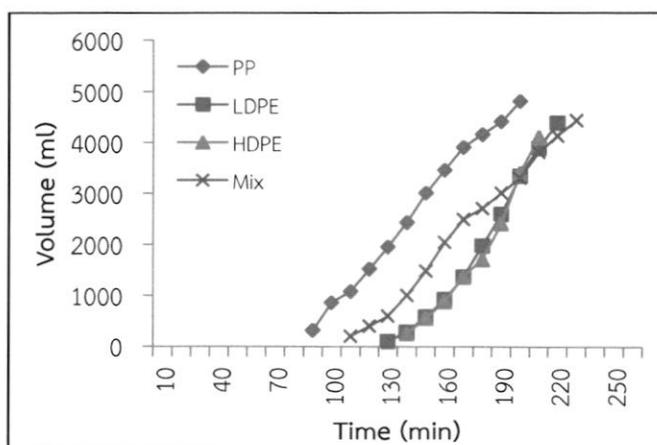
ภาพที่ 5.1 ผลผลิตที่ได้จากการไพโรไลซิสพลาสติก

5.1.1.2 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิในเตาปฏิกรณ์กับเวลา ในการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก จากภาพที่ 5.2 พบว่าอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาของพลาสติกแต่ละชนิดนั้นจะอยู่ในช่วงไม่เกิน 300°C ซึ่งเป็นช่วงที่พลาสติกแต่ละชนิดสามารถเปลี่ยนสถานะจากของแข็ง เป็นของเหลว และเป็นไอได้ โดยพลาสติกแต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน พลาสติกชนิด PP จะมีช่วงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาโดยเฉลี่ยที่ 195°C พลาสติกชนิด LDPE จะมีช่วงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาโดยเฉลี่ยที่ 192°C พลาสติกชนิด HDPE จะมีช่วงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาโดยเฉลี่ยที่ 207°C พลาสติกชนิด Mix จะมีช่วงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาโดยเฉลี่ยที่ 191°C แต่จะเห็นได้ว่าพลาสติกแต่ละชนิดใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาไม่เท่ากันโดย พลาสติกชนิด PP ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 210 นาที พลาสติกชนิด LDPE ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 230 นาที พลาสติกชนิด HDPE ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 220 นาที และพลาสติกชนิด Mix ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 260 นาที



ภาพที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิในเตาปฏิกรณ์กับเวลาในการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก

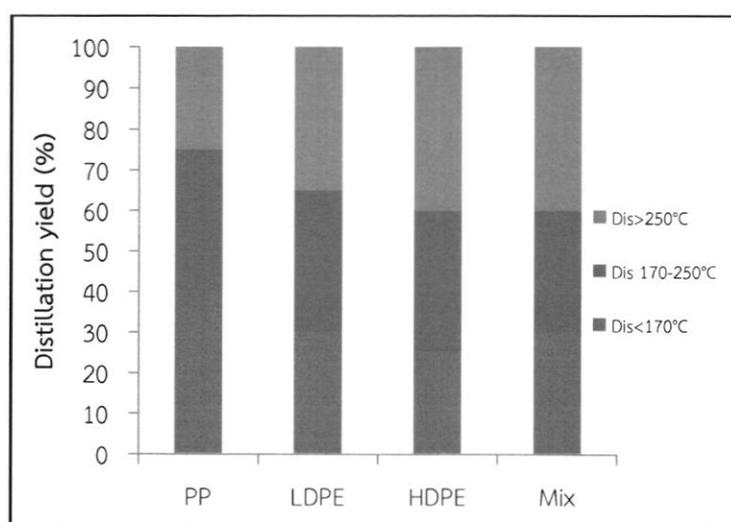
5.1.1.3 ความสัมพันธ์ของปริมาณเชื้อเพลิงเหลวกับเวลาในการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก จากภาพที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณเชื้อเพลิงเหลวกับเวลาในการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกชนิด PP (ถุงร้อน), LDPE (ถุงเหนียว), HDPE (ถุงหิ้ว), Mix (พลาสติกผสม) จะเห็นได้ว่าปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสของพลาสติกแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน กล่าวคือ ปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด PP คือ 4820 ml หรือร้อยละ 72 โดยน้ำหนัก ปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด LDPE คือ 4400 ml หรือร้อยละ 68 โดยน้ำหนัก ปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด HDPE คือ 4150 ml หรือร้อยละ 66 โดยน้ำหนัก และปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด Mix คือ 4500 ml หรือร้อยละ 69 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เป็นผลมาจากสมบัติในการเปลี่ยนสถานะของพลาสติกแต่ละชนิด ซึ่งพลาสติกสามารถเปลี่ยนสถานะได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความดัน โดยมีอุณหภูมิที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสถานะคือ อุณหภูมิการหลอมตัวของผลึก (T_m) ซึ่งพลาสติก LDPE มีอุณหภูมิการหลอมตัวของผลึกประมาณ 110°C HDPE ประมาณ 135°C และ PP ประมาณ 170°C [5]



ภาพที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของปริมาณเชื้อเพลิงเหลวกับเวลาในการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก

5.1.2 การกลั่นน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวและสมบัติของเชื้อเพลิงที่ได้

5.1.2.1 สัดส่วนของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการกลั่นน้ำมันในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ จากภาพที่ 5.4 แสดงสัดส่วนของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการกลั่นน้ำมันในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ โดยพบว่าในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกันนั้นปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จะมีปริมาณที่แตกต่างกันซึ่งจะเห็นได้ว่าพลาสติกชนิด PP อุณหภูมิการกลั่นในช่วงที่ต่ำกว่า 170°C จะได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ร้อยละ 40 อุณหภูมิการกลั่นตัวที่ 170-250°C จะได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ร้อยละ 35 และอุณหภูมิการกลั่นตัวที่สูงกว่า 250°C จะได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ร้อยละ 25 โดยปริมาตร พลาสติกชนิด LDPE อุณหภูมิการกลั่นในช่วงที่ต่ำกว่า 170°C จะได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ร้อยละ 30 อุณหภูมิการกลั่นตัวที่ 170-250°C จะได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ร้อยละ 35 และอุณหภูมิการกลั่นตัวที่สูงกว่า 250°C จะได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ร้อยละ 35 โดยปริมาตร พลาสติกชนิด HDPE อุณหภูมิการกลั่นในช่วงที่ต่ำกว่า 170°C จะได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ร้อยละ 25 อุณหภูมิการกลั่นตัวที่ 170-250°C จะได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ร้อยละ 35 และอุณหภูมิการกลั่นตัวที่สูงกว่า 250°C จะได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ร้อยละ 40 โดยปริมาตร พลาสติกชนิด Mix อุณหภูมิการกลั่นในช่วงที่ต่ำกว่า 170°C จะได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ร้อยละ 30 อุณหภูมิการกลั่นตัวที่ 170-250°C จะได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ร้อยละ 30 และอุณหภูมิการกลั่นตัวที่สูงกว่า 250°C จะได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ร้อยละ 40 โดยปริมาตร พลาสติกแต่ละชนิดมีค่าความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างกัน ผลผลิตเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จะแตกต่างกันด้วยขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ต่างกันและโครงสร้างของพลาสติกแต่ละชนิดที่มีอยู่ในขณะ [30] พลาสติก PP เป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะแข็งแรงแรง เหนียว ทนต่อสารเคมี น้ำมันและความร้อน มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.905 LDPE มีค่าความถ่วงจำเพาะในช่วง 0.910-0.925 HDPE มีค่าความถ่วงจำเพาะในช่วง 0.941-0.965 [5] ซึ่งพบว่าพลาสติก PP ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำสุดให้ค่าผลผลิตที่เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในกลุ่มแก๊สโซลีนสูง ส่วนพลาสติก HDPE ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงจะให้ค่าผลผลิตที่เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลสูง



ภาพที่ 5.4 สัดส่วนของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการกลั่นน้ำมันในช่วงอุณหภูมิการกลั่นต่าง ๆ

ตารางที่ 5.1 สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวจากขยะพลาสติกเทียบกับน้ำมันดีเซล

Properties	Gross calorific value (MJ/kg)	Kinematic viscosity, cst @ 40°C	Specific Gravity@15.6°C	Calculated Cetane index
Standard test method	ASTM D240	ASTM D445	ASTM D1298	ASTM D976
Diesel	45.5	3.162	0.834	64
PP	40	1.970	0.750	40
LDPE	41.5	2.310	0.780	40
HDPE1	42.5	2.420	0.800	51
Mix	42	2.630	0.800	55
Mix Dis<170	37	1.732	0.735	35
Mix Dis 170-250	40	1.810	0.780	59
Mix Dis >250	46	2.085	0.800	75

ตารางที่ 5.1 สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวจากขยะพลาสติกเทียบกับน้ำมันดีเซล (ต่อ)

Properties	Flash point, °C	Distillation temperature, °C @ 10%	Distillation temperature, °C @ 50%	Distillation temperature, °C @ 90%
Standard test method	ASTM D93	ASTM D86	ASTM D86	ASTM D86
Diesel	75	270	300	350
PP	<25	100	160	270
LDPE	<25	100	175	285
HDPE1	40	100	210	320
Mix	50	100	220	335
Mix Dis <170	<25	100	130	162
Mix Dis 170-250	50	170	200	243
Mix Dis >250	60	245	280	320

5.1.2.2 สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวจากขยะพลาสติกเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป จากตารางที่ 5.1 สมบัติของเชื้อเพลิงเหลวจากขยะพลาสติกที่ได้พบว่ามีสมบัติทางเชื้อเพลิงที่เปรียบเทียบได้กับน้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไปตามท้องตลาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกโดยการกลั่นตามกระบวนการกลั่นลำดับส่วน ใช้อุณหภูมิการกลั่นตัวเป็นส่วนที่แบ่งชนิดของเชื้อเพลิง โดยใช้เชื้อเพลิงพลาสติกผสม (Mix) มาใช้ในการกลั่นแยกด้วยอุณหภูมิ ซึ่งมีสมบัติของเชื้อเพลิงเหลวชนิดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Gross calorific value) ตามมาตรฐาน ASTM D240 เชื้อเพลิงดีเซลมีค่า 45.50 MJ/kg เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด PP มีค่า 40 MJ/kg เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด LDPE มีค่า 41.50 MJ/kg เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด HDPE มีค่า 42.50 MJ/kg เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด Mix มีค่า 42 MJ/kg เชื้อเพลิงเหลวในช่วงที่อุณหภูมิการกลั่นต่ำกว่า 170°C มีค่า 37 MJ/kg เชื้อเพลิงเหลวในช่วงอุณหภูมิการกลั่นตัวที่ 170-250°C 40 MJ/kg และเชื้อเพลิงเหลวในช่วงอุณหภูมิการกลั่นตัวที่สูงกว่า 250°C 46 MJ/kg

2) ค่าความหนืด (Kinematic viscosity) @ 40°C ตามมาตรฐาน ASTM D445 เชื้อเพลิงดีเซลมีค่า 3.162 cst เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด PP มีค่า 1.970 cst เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด LDPE มีค่า 2.310 cst เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด HDPE มีค่า 2.420 cst เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด Mix มีค่า 2.630 cst เชื้อเพลิงเหลวในช่วงที่อุณหภูมิการกลั่นต่ำกว่า 170°C มีค่า 1.732 cst เชื้อเพลิงเหลวในช่วงอุณหภูมิการกลั่นตัวที่ 170-250°C มีค่า 1.810 cst และเชื้อเพลิงเหลวในช่วงอุณหภูมิการกลั่นตัวที่สูงกว่า 250°C มีค่า 2.085 cst

3) ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity@15.6°C) ตามมาตรฐาน ASTM D1298 เชื้อเพลิงดีเซลมีค่า 0.834 เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด PP มีค่า 0.750 เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด LDPE มีค่า 0.780 เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด HDPE มีค่า 0.800 เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด Mix มีค่า 0.800 เชื้อเพลิงเหลวในช่วงที่อุณหภูมิการกลั่นต่ำกว่า 170°C มีค่า 0.735 เชื้อเพลิงเหลวในช่วงอุณหภูมิการกลั่นตัวที่ 170-250°C มีค่า 0.780 และเชื้อเพลิงเหลวในช่วงอุณหภูมิการกลั่นตัวที่สูงกว่า 250°C มีค่า 0.800

4) ค่าดัชนีซีเทรน (Calculated Cetane index) ตามมาตรฐาน ASTM D976 เชื้อเพลิงดีเซลมีค่า 64 เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด PP มีค่าดัชนีซีเทรน 40 เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด LDPE มีค่าดัชนีซีเทรน 40 เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด HDPE มีค่าดัชนีซีเทรน 51 เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด Mix มีค่าดัชนีซีเทรน 55 เชื้อเพลิงเหลวในช่วงที่อุณหภูมิการกลั่นต่ำกว่า 170°C มีค่าดัชนีซีเทรน 35 เชื้อเพลิงเหลวในช่วงอุณหภูมิการกลั่นตัวที่ 170-250°C มีค่าดัชนีซีเทรน 59 และเชื้อเพลิงเหลวในช่วงอุณหภูมิการกลั่นตัวที่สูงกว่า 250°C มีค่าดัชนีซีเทรน 75

5) ค่าจุดวาบไฟ (Flash point) ตามมาตรฐาน ASTM D93 เชื้อเพลิงดีเซลมีค่า 75°C เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด PP มีค่า <25°C เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด LDPE มีค่า <25°C เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด HDPE มีค่า 40°C เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด Mix มีค่า 50°C เชื้อเพลิงเหลวในช่วงที่อุณหภูมิการกลั่นต่ำกว่า 170°C มีค่า <25°C เชื้อเพลิงเหลวในช่วงอุณหภูมิการกลั่นตัวที่ 170-250°C มีค่า 50°C และเชื้อเพลิงเหลวในช่วงอุณหภูมิการกลั่นตัวที่สูงกว่า 250°C มีค่า 60°C

6) ค่าอุณหภูมิการกลั่นตัว (Distillation temperature @ 10%, 50% และ 90%) ตามมาตรฐาน ASTM D86 เชื้อเพลิงดีเซลมีค่า 270, 300, 350°C ตามลำดับ เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด PP มีค่า 100, 160, 270°C ตามลำดับ เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด LDPE มีค่า 100, 175, 285°C ตามลำดับ เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด HDPE มีค่า 100, 210, 320°C ตามลำดับ เชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด Mix มีค่า 100, 220, 335°C เชื้อเพลิงเหลวในช่วงที่อุณหภูมิการกลั่นต่ำกว่า 170°C มีค่า 100, 130, 162°C เชื้อเพลิงเหลวในช่วงอุณหภูมิการกลั่นตัวที่ 170-250°C มีค่า 170, 200, 243°C และเชื้อเพลิงเหลวในช่วงอุณหภูมิการกลั่นตัวที่สูงกว่า 250°C มีค่า 245, 280, 320°C ตามลำดับ

จากสมบัติของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้กล่าวมานั้น พบว่าเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีสมบัติทางเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไปเชื้อเพลิงที่มีสมบัติที่ใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซลคือเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกกลั่นที่อุณหภูมิสูงกว่า 250 (>250) ลักษณะที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวของพลาสติกแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับสารเคมีที่แตกต่างกันและโครงสร้างของพลาสติกแต่ละชนิดที่มีอยู่ในขยะ [30] โดยงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล โดยใช้เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกกลั่นที่อุณหภูมิสูงกว่า 250 (>250) ซึ่งมีสมบัติทางเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซลและเหมาะสมกับการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซล

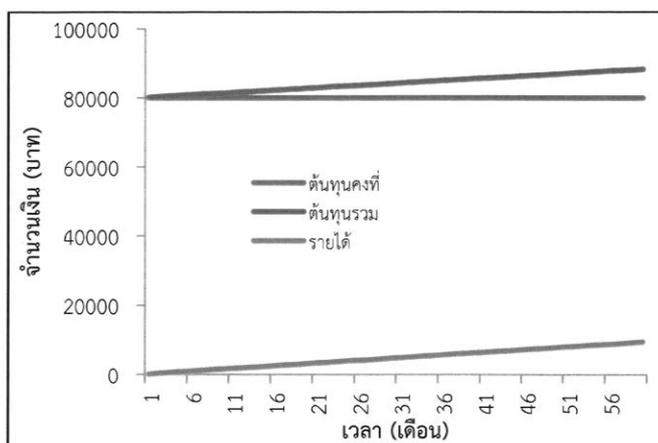
5.1.3 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนในการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก

5.1.3.1 การคิดต้นทุนในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง จากตารางที่ 5.2 พบว่าต้นทุนคงที่ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกของเครื่องไพโรไลซิสขนาด 5 กิโลกรัมพลาสติกต่อรอบการผลิตเท่ากับ 80,000 บาท ต้นทุนผันแปรในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก ประกอบด้วยค่าพลาสติกต่อรอบการผลิต 20 บาท ค่าแก๊สแอลพีจี 62.5 บาท ค่าไฟฟ้า 4.5 บาท ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรคิดตามอัตราเปลี่ยนแปลงชั่วโมงการทำงานหรือตามจำนวนผลผลิต [10] 51.33 บาทต่อครั้ง การคิดค่าเสื่อมราคาในอัตราเปลี่ยนแปลงตามชั่วโมงการทำงานหรือตามจำนวนผลผลิต (Services Hours or Productive Output Method) เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับทรัพย์สินที่มีราคาตกลงเนื่องจากการใช้งานมากกว่าจะลดลงตามระยะเวลา โดยเครื่องไพโรไลซิสซึ่งบประมาณในการจัดทำราคา 80,000 บาท ประมาณการว่าจะผลิตสินค้าได้ทั้งสิ้น 6,750 หน่วย และมีค่าซาก 3,000 บาท โดยสมมติฐานการผลิตที่วันละ 1 ครั้ง หรือ 25 ครั้งต่อเดือน หรือ 300 ครั้งต่อปี ค่าเสื่อมราคาในแต่ละปีเท่ากับ $(80,000 - 3,000)/6,750 = 11.41$ บาทต่อหน่วยผลผลิต ดังนั้น ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรในแต่ละรอบการผลิต = $11.41 \times 4.5 = 51.34$ บาท ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกจะได้น้ำมันเฉลี่ย 4.5 ลิตรต่อครั้ง จากต้นทุนการผลิตข้างต้นจะเห็นได้ว่าราคาน้ำมันจากขยะพลาสติกเฉลี่ยต่อลิตรที่ 30.74 บาท ถ้าคิดรายได้จากการจำหน่ายน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิส 4.5 ลิตร ๆ ละ 35 บาท จะมีรายได้เป็นเงิน 157.50 บาท

ตารางที่ 5.2 รายการต้นทุนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก

ลำดับที่	รายการ	จำนวนหน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
1	เครื่องไพลโรไลซิสขนาด 5 กิโลกรัมพลาสติกต่อรอบ	1 ชุด	80,000	80,000
2	ค่าพลาสติกต่อรอบการผลิต	5 กิโลกรัม	4	20
3	ค่าแก๊ส LPG	2.5 กิโลกรัม	25	62.5
4	ค่าไฟฟ้า	1 หน่วย	4.5	4.5
5	ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร	1 ครั้ง	51.33	51.33

5.1.3.2 วิเคราะห์จุดคุ้มทุนในการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก จากตารางที่ 5.2 แสดงต้นทุนคงที่ และต้นทุนผันแปร และรายได้ ตามลำดับ ซึ่งต้นทุนคงที่รวมทั้งสิ้น 80,000 บาท ต้นทุนผันแปรรวมทั้งสิ้น 138.33 บาทต่อรอบการผลิต และรายได้ 157.5 บาทต่อรอบการผลิต ซึ่งใน 1 เดือนสามารถผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกได้ 25 ครั้ง ดังนั้นจากภาพที่ 5.5 พบว่าในระยะเวลา 5 ปี จุดคุ้มทุนในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก ซึ่งเป็นจุดตัดของเส้นกราฟรายได้และต้นทุนรวมนั้นไม่ตัดกัน ซึ่งแสดงว่าในระยะเวลา 5 ปี ถ้าคิดรายได้จากมูลค่าการจำหน่ายเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียวจะถือว่าการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกนั้นยังไม่มีผลกำไรและยังแสดงให้เห็นการขาดทุนอย่างมาก ทั้งนี้ชุดอุปกรณ์ไพลโรไลซิสที่ผลิตขึ้นนั้นสามารถนำไปใช้งานได้จริง แต่เนื่องจากชุดอุปกรณ์ชุดนี้เป็นอุปกรณ์เพื่อการทดลองและยังเป็นอุปกรณ์ต้นแบบจึงมีราคาทุนค่อนข้างสูง ทั้งนี้ชุดอุปกรณ์เครื่องไพลโรไลซิส ขนาด 5 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต ชุดนี้สามารถขยายเพิ่มสัดส่วนการผลิตให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริงได้ ซึ่งถ้านำอุปกรณ์ชุดนี้ไปใช้ในชุมชนจะสามารถลดปริมาณขยะพลาสติกลงได้ไม่น้อยกว่าปีละ 1.5 ตันต่อชุมชน จะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการเผาขยะได้เป็นอย่างดีอีกทางหนึ่ง

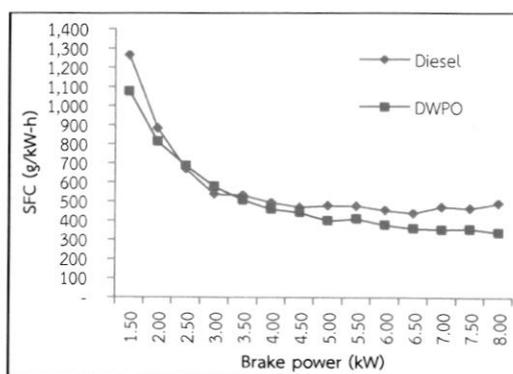


ภาพที่ 5.5 แผนภูมิจุดคุ้มทุนในการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก

5.2 การทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกที่ค่าแรงบิดสูงสุด

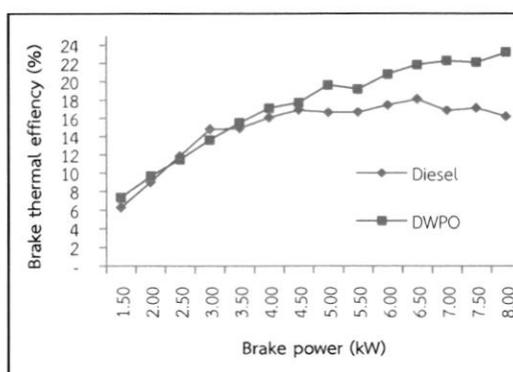
การทดสอบเครื่องยนต์ที่ค่าแรงบิดสูงสุด จะทำการทดสอบที่ความเร็ว 1600 รอบต่อนาที เป็นการทดสอบเครื่องยนต์ที่การทำงานที่สภาวะแรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์ [48] โดยในการทดสอบจะใช้น้ำมันดีเซลทั่วไปตามท้องตลาด และน้ำมันจากขยะพลาสติกกลั่น (>250) ที่ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันแต่ละชนิด ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ในด้านกำลังงานเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และมลพิษที่เกิดจากเครื่องยนต์จากการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ในรอบการทำงานที่ให้กำลังสูงสุด

5.2.1 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) จากภาพที่ 5.6 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดที่ใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันจากพลาสติกกลั่น (>250) เทียบกับภาระโหลดต่าง ๆ ที่ความเร็ว 1600 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่เครื่องยนต์รุ่นนี้จะให้ค่าแรงบิดสูงสุด [34] โดยจะเห็นว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะอยู่ที่ 1264 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 490.11 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 583 g/kW-h อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพลาสติกกลั่น 250 จะอยู่ที่ 1074 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 337 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 510 g/kW-h ลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์นั้นที่ความเร็วรอบเท่ากันเครื่องยนต์จะให้ค่าแรงบิดที่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าแรงบิดที่เท่ากันจำเป็นต้องป้อนเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ในปริมาณที่ต่างกัน เนื่องจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงไม่เท่ากัน [34] กรณีนี้จะเห็นว่าในแต่ละช่วงการทำงานของเครื่องยนต์ที่ภาระโหลดต่างกัมนั้น อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าต่างกัน โดยเมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลมีค่าเฉลี่ยของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าน้ำมันจากพลาสติกกลั่น (>250) 14.31% จากกราฟที่ภาระโหลดที่เพิ่มขึ้นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) จะลดลง ลักษณะเช่นนี้จะเห็นได้ชัดเมื่อเครื่องยนต์มีภาระโหลดที่สูงขึ้น เนื่องจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจากพลาสติกที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล [34, 39] แสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลในสภาวะแรงบิดของเครื่องยนต์สูงสุด



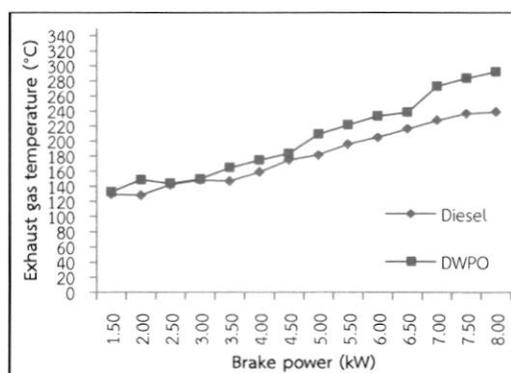
ภาพที่ 5.6 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ค่าแรงบิดสูงสุด

5.2.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคนั้นเป็นการแสดงให้เห็นความสามารถของระบบการเผาไหม้ที่จะยอมรับเชื้อเพลิงที่ทดสอบและประสิทธิภาพน้ำมันเชื้อเพลิงที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานกลออกมา [41] จากภาพที่ 5.7 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดที่ใช้ น้ำมันดีเซล น้ำมันจากพลาสติกกลั่น (>250) และน้ำมันผสม เทียบกับภาระโหลดต่าง ๆ ที่ความเร็ว 1600 รอบต่อนาที โดยจะเห็นว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลร้อยละ 6.26 ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึงร้อยละ 16.14 ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 14.79 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) ร้อยละ 7.28 ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึงร้อยละ 23.17 ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 17.19 เพราะค่าความร้อนที่สูงกว่าของเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกเมื่อเทียบกับดีเซล อีกทั้งที่ภาระโหลดสูงอัตราการปล่อยความร้อนที่สูงขึ้นสำหรับน้ำมันขยะพลาสติกเมื่อเทียบกับดีเซลซึ่งอาจส่งผลในการสูญเสียความร้อนที่สูงขึ้น [33] พบว่าในกรณีนี้ที่ภาระโหลดต่ำนั้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันทั้งสองชนิด ไม่มีความแตกต่างกันมากนักซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางตัวเลข แต่เมื่อภาระโหลดของเครื่องยนต์สูงขึ้นจะพบว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนโดยเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลนั้นต่ำสุดที่ค่าเฉลี่ยร้อยละ 14.79 น้ำมันจากพลาสติกกลั่น (>250) มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 17.19 ทั้งนี้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนนั้นเป็นผลมาจากอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่แตกต่างกัน รวมถึงค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกำลังของเครื่องยนต์ที่ได้ด้วยเช่นกัน [34, 36] จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลในสภาวะแรงบิดสูงสุด โดยเฉพาะในช่วงภาระโหลดสูง



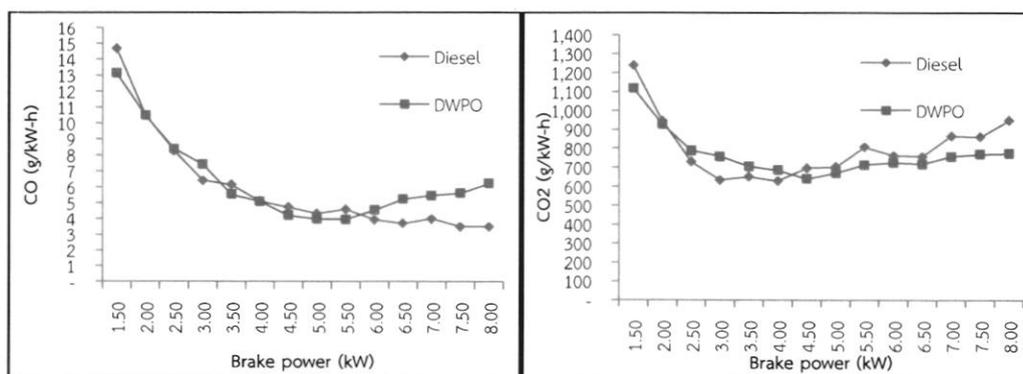
ภาพที่ 5.7 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกที่ค่าแรงบิดสูงสุด

5.2.3 อุณหภูมิก๊าซไอเสีย อัตราการปล่อยความร้อนที่สูงขึ้นสำหรับอุณหภูมิก๊าซไอเสีย อาจส่งผลในการสูญเสียความร้อนที่สูงขึ้น จะเห็นได้จากภาพที่ 5.8 แสดงอุณหภูมิก๊าซไอเสีย ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดที่ใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันจากพลาสติกกลั่น (>250) เทียบกับภาระโหลดต่าง ๆ ที่ความเร็ว 1600 รอบต่อนาที โดยจะเห็นว่าอุณหภูมิก๊าซไอเสีย ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะอยู่ที่ 129°C ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 238°C ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 180°C อุณหภูมิก๊าซไอเสีย ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) จะอยู่ที่ 132°C ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 292°C ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 203°C ในการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ภาระโหลดต่าง ๆ นั้นจากอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มากขึ้นของเครื่องยนต์ อัตราการปล่อยความร้อนที่สูงขึ้น และปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ [21, 22] จากผลการทดสอบในตารางที่ 5.1 พบว่าน้ำมันจากขยะพลาสติกมีค่าพลังงานความร้อนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล แต่เนื่องจากการใช้เครื่องยนต์ชนิดเดียวกันที่ไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์ ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานกลจึงมีค่าเท่าเดิม [8] โดยอุณหภูมิไอเสียที่เพิ่มขึ้นเป็นเพราะประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่เท่าเดิมของเครื่องยนต์ และที่มีประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ต่ำกว่าค่าการใช้พลังงานในน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานกลจึงช่วยเพิ่มอุณหภูมิไอเสียให้สูงขึ้น [21, 22] ส่งผลให้อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากพลาสติกมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าที่สภาวะแรงบิดสูงสุดเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกยังมีค่าความร้อนที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลได้เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นได้ด้วย



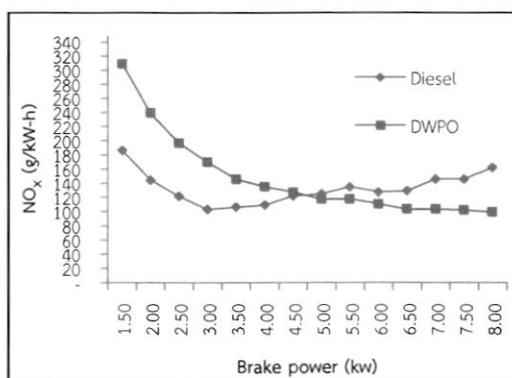
ภาพที่ 5.8 อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ค่าแรงบิดสูงสุด

5.2.4 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากภาพที่ 5.9 แสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดที่ใช้ น้ำมันดีเซล และน้ำมันจากพลาสติกกลั่น (>250) เทียบกับภาระโหลดต่าง ๆ ที่ความเร็ว 1600 รอบต่อนาที พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลจะอยู่ที่ 14.67 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 3.48 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.98 g/kW-h ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) จะอยู่ที่ 13.11 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 6.18 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.35 g/kW-h จากการศึกษาพบว่า การปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) สูงกว่าดีเซลร้อยละ 6.19 โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ภาระโหลดที่สูงขึ้น การเพิ่มขึ้นอย่างมากของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ภาระโหลดสูง เกิดจากการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น แต่การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงปลายที่นำไปสู่การเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ [36] สำหรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลจะอยู่ที่ 1239.17 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 945.91 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 798.34 g/kW-h ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) จะอยู่ที่ 1117.63 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 770.24 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 766.03 g/kW-h จากการศึกษาพบว่า การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันพลาสติกกลั่น 250 ต่ำกว่าดีเซล 4.22% การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) จะต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลเริ่มตั้งแต่ช่วงกลางของภาระโหลด แสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกกลั่น (>250) เกิดการเผาไหม้ที่เหมาะสมและสามารถใช้งานได้ดีที่สภาวะแรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์



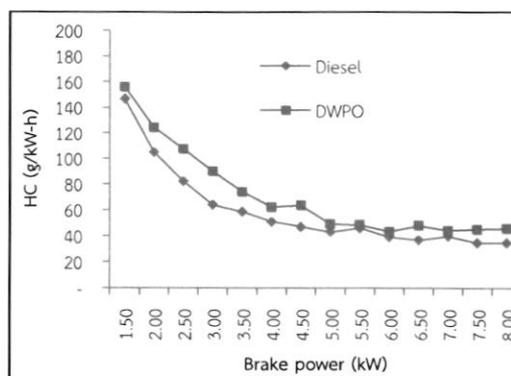
ภาพที่ 5.9 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่ค่าแรงบิดสูงสุด

5.2.5 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จากภาพที่ 5.10 แสดงปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดที่ใช้ น้ำมันดีเซล น้ำมันจากพลาสติกกลั่น (>250) เทียบกับภาระโหลดต่าง ๆ ที่ความเร็ว 1600 รอบต่อนาที โดยจะเห็นว่าปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลจะอยู่ที่ 186.13 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 161.98 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 134.61 g/kW-h ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันพลาสติกกลั่น 250 จะอยู่ที่ 309.07 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 99.35 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 148.40 g/kW-h สำหรับการเพิ่มขึ้นของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ในเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) เมื่อเทียบกับดีเซล ในช่วงที่ภาระโหลดต่ำนั้นอาจจะมีไฮโดรคาร์บอนที่มีออกซิเจนบางอย่างในน้ำมันพลาสติกที่ส่งเสริมการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้นและจึงก่อตัวของ NO_x ในไอเสีย [34, 35] จะสังเกตได้ว่าการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ลดลงในช่วงกลางการเพิ่มขึ้นของภาระโหลด เนื่องจากปริมาณที่น้อยกว่าของออกซิเจนสำหรับการเผาไหม้จึงลดการปล่อยก๊าซ NO_x จากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงปลาย และสามารถลดการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ด้วยการเพิ่มภาระโหลดของเครื่องยนต์ดีเซล [35] ซึ่งปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ยังสามารถทำให้ลดลงได้โดยการปรับแต่งองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีด [18,35] และการเพิ่มแรงดันของการฉีดเชื้อเพลิงเพื่อให้เชื้อเพลิงแตกตัวเป็นฝอยละอองมากขึ้น [18]



ภาพที่ 5.10 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ที่ค่าแรงบิดสูงสุด

5.2.6 ปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) ไฮโดรคาร์บอน คือ สารอินทรีย์ในสถานะก๊าซ ไฮโดรคาร์บอนและของแข็งอนุภาค ไฮโดรคาร์บอนจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงประกอบด้วย ไฮโดรคาร์บอนที่ถูกเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ [41] โดยการปล่อยก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของอากาศผสมน้ำมันเชื้อเพลิง จากภาพที่ 5.11 แสดงปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดที่ใช้ น้ำมันดีเซล และน้ำมันจากพลาสติกกลั่น (>250) เทียบกับ ภาระโหลดต่าง ๆ ที่ความเร็ว 1600 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่เครื่องยนต์รุ่นนี้จะให้ค่ากำลังงานสูงสุด [48] โดยปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลจะอยู่ที่ 147 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 35 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 60 g/kW-h ปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) จะอยู่ที่ 156 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 46 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 71 g/kW-h ก๊าซไฮโดรคาร์บอนจากการเผาไหม้เป็นตัวชี้วัดที่มีประโยชน์ของการขาดประสิทธิภาพการเผาไหม้ไฮโดรคาร์บอนจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนที่ถูกเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ของสารอินทรีย์ในสถานะก๊าซไฮโดรคาร์บอน [34] การเพิ่มขึ้นของการปล่อยก๊าซไฮโดรคาร์บอน ในเครื่องยนต์ที่มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกเกิดจากการรั่วไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผ่านการฉีดของหัวฉีดอันเนื่องมาจากความหนืดที่ต่ำของน้ำมันเชื้อเพลิง และบางส่วนของเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศในช่วงการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจะสะสมอยู่ในพื้นที่ระหว่างแหวนลูกสูบและกระบอกสูบ เปลวไฟการเผาไหม้ไม่สามารถเข้าถึงได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่องว่างเหล่านี้จึงทำให้เครื่องยนต์ปล่อยก๊าซไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่สูง [41] จากตารางที่ 5.1 พบว่าความหนืดของน้ำมันจากขยะพลาสติกกลั่น (>250) มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ดังนั้นจึงทำให้เกิดปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่สูง

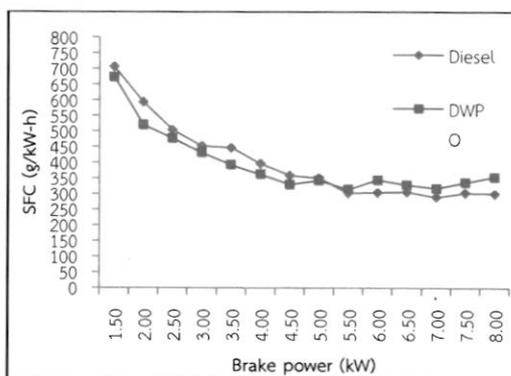


ภาพที่ 5.11 ปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่ค่าแรงบิดสูงสุด

5.3 การทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกที่ค่ากำลังงานสูงสุด

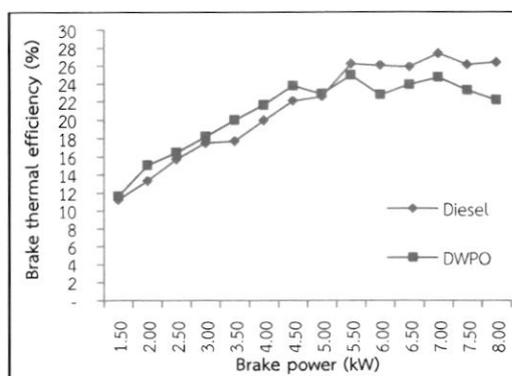
การทดสอบเครื่องยนต์ที่ค่ากำลังงานสูงสุด เป็นการทดสอบเครื่องยนต์ที่ 2400 รอบต่อนาที [48] โดยในการทดสอบจะใช้น้ำมันดีเซลทั่วไปตามท้องตลาด และน้ำมันจากขยะพลาสติกกลั่น (>250) ที่ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันแต่ละชนิด ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ในด้านกำลังงานเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด และมลพิษที่เครื่องยนต์ผลิตขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ในรอบการทำงานที่ให้ค่ากำลังงานสูงสุด

5.3.1 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) จากภาพที่ 5.12 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดที่ใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันจากพลาสติกกลั่น (>250) เทียบกับภาระโหลดต่าง ๆ ที่ความเร็ว 2400 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่เครื่องยนต์รุ่นนี้จะให้ค่ากำลังงานสูงสุด [48] โดยจะเห็นว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะอยู่ที่ 569.80 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 300.26 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 391.34 g/kW-h อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) จะอยู่ที่ 673.29 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 353.19 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 394.23 g/kW-h ที่ความเร็วรอบเท่ากันนั้น เครื่องยนต์จะให้ค่าแรงบิดที่เท่ากัน เพื่อให้ได้ค่าแรงบิดที่เท่ากันจำเป็นต้องป้อนเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ในปริมาณที่ต่างกัน เนื่องจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงไม่เท่ากัน [34] กรณีนี้จะเห็นว่าในแต่ละช่วงการทำงานของเครื่องยนต์ที่ภาระโหลดต่างกัันนั้น อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าต่างกัน โดยเมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลมีค่าเฉลี่ยของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันจากพลาสติกกลั่น (>250) ร้อยละ 0.74 ซึ่งถือว่าไม่แตกต่างกันมากในทางสถิติ จากกราฟภาระโหลดที่เพิ่มขึ้นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) จะลดลง แต่จะเห็นได้ชัดเจนว่าที่ภาระโหลดสูงขึ้น อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากพลาสติก แสดงให้เห็นว่าที่สภาวะกำลังงานสูงสุดในช่วงภาระโหลดต่ำเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกจะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ในทางกลับกันที่ภาระโหลดสูงเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติก



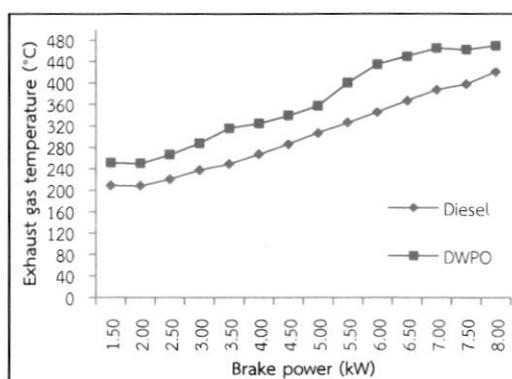
ภาพที่ 5.12 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) ที่ค่ากำลังงานสูงสุด

5.3.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก จากภาพที่ 5.13 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดที่ใช้ น้ำมันดีเซล น้ำมันจากพลาสติกกลั่น (>250) เทียบกับภาระโหลดต่าง ๆ ที่ความเร็ว 2400 รอบต่อนาที โดยจะเห็นว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลร้อยละ 13.89 ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึงร้อยละ 26.35 ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 21.46 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันพลาสติกกลั่น 250 ร้อยละ 11.62 ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึงร้อยละ 22.16 ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 20.79 พบว่าที่ภาระโหลดต่ำประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลจะมีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันจากพลาสติกในทุกกรณี แต่ในช่วงที่ภาระโหลดสูงกับพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลจะมีค่าสูงกว่า และค่าเฉลี่ยทุกช่วงภาระโหลดยังสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันจากพลาสติก ที่ภาระโหลดสูงอัตราการปล่อยความร้อนที่สูงขึ้นสำหรับน้ำมันขยะพลาสติกเมื่อเทียบกับดีเซลซึ่งอาจส่งผลในการสูญเสียความร้อนที่สูงขึ้น [33] มีรายงานการลดลงของค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก จากการผสมของเมทิลเอสเทอร์กับน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดเนื่องจากค่าความร้อนต่ำและการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น [12, 13] ในกรณีนี้ที่ภาระโหลดต่ำนั้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันชนิดต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันมากนักซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางตัวเลข แต่เมื่อภาระโหลดของเครื่องยนต์สูงขึ้นจะพบว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนโดยเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลนั้นมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 21.46 และน้ำมันจากพลาสติกกลั่น (>250) มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 20.79 ทั้งนี้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนนั้นเป็นผลมาจากอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่แตกต่างกัน รวมถึงค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกำลังของเครื่องยนต์ที่ได้ด้วยเช่นกัน [34, 36] แสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกสามารถใช้งานได้ดีในช่วงภาระโหลดที่ต่ำ แต่ในช่วงภาระโหลดสูงน้ำมันดีเซลจะสามารถใช้งานได้ดีกว่า



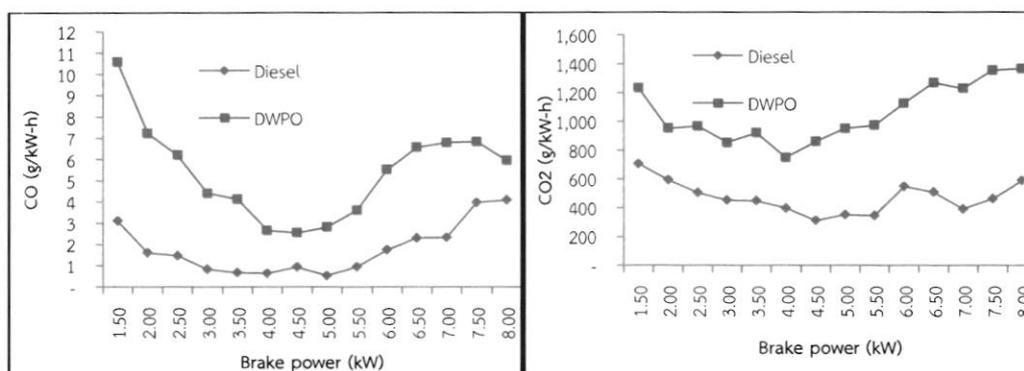
ภาพที่ 5.13 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกที่ค่ากำลังงานสูงสุด

5.3.3 อุณหภูมิไอเสีย จากภาพที่ 5.14 แสดงอุณหภูมิไอเสีย ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดที่ใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันจากพลาสติกกลั่น (>250) เทียบกับภาระโหลดต่าง ๆ ที่ความเร็ว 2400 รอบต่อนาที โดยจะเห็นว่าอุณหภูมิไอเสีย ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะอยู่ที่ 208°C ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 420°C ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 301°C อุณหภูมิไอเสีย ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) จะอยู่ที่ 250°C ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 469°C ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 362°C ในการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ภาระโหลดต่าง ๆ นั้นจากอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มากขึ้นของเครื่องยนต์ อัตราการปล่อยความร้อนที่สูงขึ้น และปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ [21, 22] จากผลการทดสอบในตารางที่ 5.1 พบว่าน้ำมันจากขยะพลาสติกมีค่าพลังงานความร้อนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล แต่เนื่องจากการใช้เครื่องยนต์ชนิดเดียวกันที่ไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานกลจึงมีค่าเท่าเดิม [8] โดยอุณหภูมิไอเสียที่เพิ่มขึ้นเป็นเพราะประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ต่ำกว่าของเครื่องยนต์ ที่มีประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ต่ำกว่าค่าการใช้พลังงานในน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกแปลงเป็นพลังงานกลจึงทำให้เพิ่มอุณหภูมิไอเสีย [21, 22] ส่งผลให้อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากพลาสติกมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าที่สภาวะกำลังงานสูงสุดเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกยังมีค่าความร้อนที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลได้เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นได้ด้วย



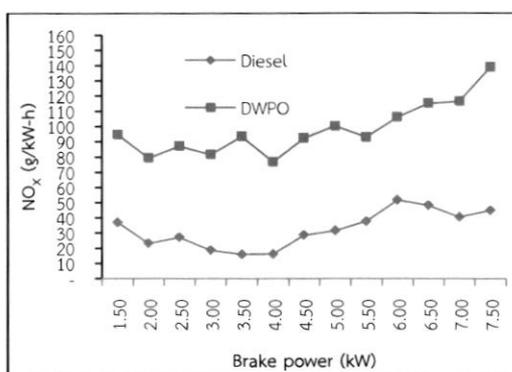
ภาพที่ 5.14 อุณหภูมิไอเสียที่ค่ากำลังงานสูงสุด

5.3.4 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากภาพที่ 5.15 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะอยู่ที่ 2.51 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 4.08 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.75 g/kW-h ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) จะอยู่ที่ 10.57 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 5.93 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.60 g/kW-h จากการศึกษาพบว่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) สูงกว่าดีเซลร้อยละ 68.75 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงกว่าน้ำมันดีเซลอย่างน้อยทางสถิติ สาเหตุของการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นคือการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เนื่องจากขาดออกซิเจนในน้ำมันจากขยะพลาสติก [36, 37] การเพิ่มขึ้นอย่างมากของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ เกิดจากการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น แต่การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงปลายที่นำไปสู่การเกิดปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์จึงทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ [36] สำหรับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดที่ใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันจากพลาสติกกลั่น (>250) เทียบกับภาระโหลดต่าง ๆ ที่ความเร็ว 2400 รอบต่อนาที โดยจะเห็นว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะอยู่ที่ 569.80 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 588.50 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 461.91 g/kW-h ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) จะอยู่ที่ 1232.12 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 1366.85 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1057.20 g/kW-h จากการศึกษาพบว่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) สูงดีเซลร้อยละ 66.90 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) มีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล อย่างชัดเจน สำหรับภาระโหลดเกือบทั้งหมด สำหรับการเพิ่มขึ้นอย่างมากของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในน้ำมันจากขยะพลาสติกและการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงปลายที่นำไปสู่การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้นด้วย [36, 37]



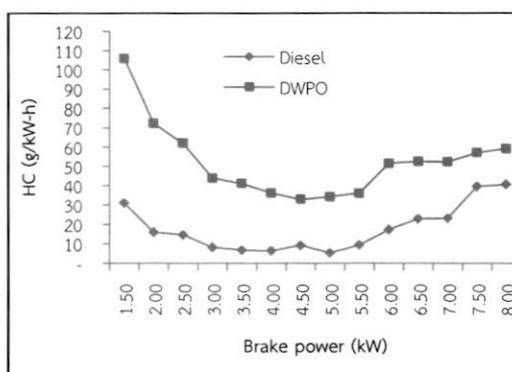
ภาพที่ 5.15 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่ค่ากำลังงานสูงสุด

5.3.5 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จากภาพที่ 5.16 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันจากพลาสติกกลั่น (>250) เทียบกับภาระโหลดต่าง ๆ ที่ความเร็ว 2400 รอบต่อนาที โดยจะเห็นว่าปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะอยู่ที่ 29.86 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 58.25 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 33.65 g/kW-h ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) จะอยู่ที่ 94.66 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 147.67 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 101.66 g/kW-h พบว่าก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) เมื่อเทียบกับดีเซล มีค่าสูงในทุกช่วงภาระโหลดอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณออกซิเจนที่น้อยในน้ำมันพลาสติกที่ส่งเสริมการก่อตัวของ NO_x ในไอเสีย [35] ซึ่งปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ยังสามารถทำให้ลดลงได้โดยการปรับแต่งองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีด [18, 35] และการเพิ่มแรงดันของการฉีดเชื้อเพลิงเพื่อให้เชื้อเพลิงแตกตัวเป็นฝอยละอองมากขึ้น [18]



ภาพที่ 5.16 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ที่ค่ากำลังงานสูงสุด

5.3.6 ปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) จากภาพที่ 5.17 ปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันจากพลาสติกกลั่น (>250) เทียบกับภาระโหลดต่าง ๆ ที่ความเร็ว 2400 รอบต่อนาที โดยปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะอยู่ที่ 25 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 41 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 17 g/kW-h ปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพลาสติกกลั่น (>250) จะอยู่ที่ 106 g/kW-h ที่ภาระโหลด 1.5 kW ถึง 59 g/kW-h ที่ภาระโหลด 8 kW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 53 g/kW-h ไฮโดรคาร์บอนจากการเผาไหม้เป็นตัวชี้วัดที่มีประโยชน์ของการขาดประสิทธิภาพการเผาไหม้ไฮโดรคาร์บอนจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนที่ถูกเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ของสารอินทรีย์ในสถานะก๊าซไฮโดรคาร์บอน [34] การเพิ่มขึ้นของการปล่อยก๊าซไฮโดรคาร์บอน ในเครื่องยนต์ที่มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกเกิดจากการรั่วไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผ่านการฉีดของหัวฉีดอันเนื่องมาจากความหนืดที่ต่ำของน้ำมันเชื้อเพลิง และบางส่วนของเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศในช่วงการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจะสะสมอยู่ในพื้นที่ระหว่างแหวนลูกสูบและกระบอกสูบ เปลวไฟการเผาไหม้ไม่สามารถเข้าถึงได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่องว่างเหล่านี้จึงทำให้เครื่องยนต์ปล่อยก๊าซไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่สูง [41] จากตารางที่ 5.1 พบว่าความหนืดของน้ำมันจากขยะพลาสติกกลั่น (>250) มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ดังนั้นจึงทำให้เกิดปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่สูง

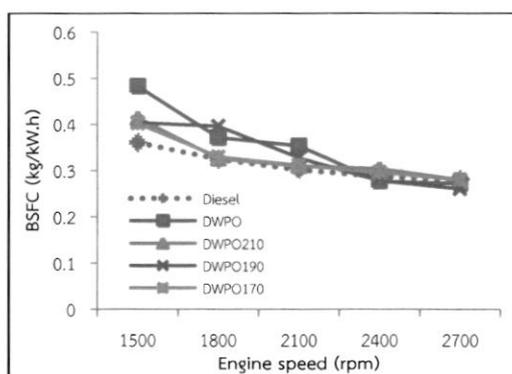


ภาพที่ 5.17 ปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) ที่ค่ากำลังงานสูงสุด

5.4 การทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกที่แรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน

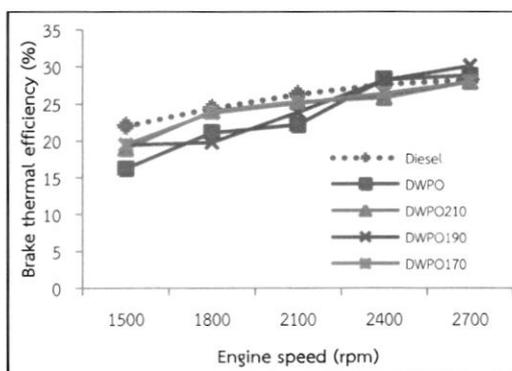
การทดสอบเครื่องยนต์ที่ภาระโหลดคงที่เต็มกำลังงานของเครื่องยนต์ในสภาวะการทำงานของรอบเครื่องยนต์ที่ต่างกัน ในอัตราการฉีดเชื้อเพลิงที่แรงดันแตกต่างกันที่ 150, 170, 190 และ 210 kg/cm² โดยในการทดสอบจะใช้น้ำมันดีเซลทั่วไปตามท้องตลาด และน้ำมันจากขยะพลาสติกกลั่น (>250) ที่ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันแต่ละชนิด ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ในด้านกำลังงานเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด และมลพิษที่เกิดจากเครื่องยนต์จากการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ในรอบการทำงานที่ต่างกันภายใต้สมมติฐานการลดมลพิษทางไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติก

5.4.1 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ค่าแรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน จากภาพที่ 5.18 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่แรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน พบว่าเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลในช่วงความเร็วรอบต่ำ แต่ในช่วงความเร็วรอบที่ 2400 รอบต่อนาทีขึ้นไปซึ่งเป็นช่วงที่เครื่องยนต์ให้กำลังงานสูงสุด [48] พบว่ามีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงใกล้เคียงกันในทุกค่าแรงดันหัวฉีดที่เปลี่ยนแปลง โดยอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลที่ค่าแรงดันหัวฉีดมาตรฐานอยู่ที่ 0.28 kg/kW-h และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกที่ค่าแรงดันหัวฉีดมาตรฐานเท่ากับ 0.27 kg/kW-h ที่ค่าแรงดัน 170 kg/cm² เท่ากับ 0.28 kg/kW-h ค่าแรงดัน 190 kg/cm² เท่ากับ 0.27 kg/kW-h และค่าแรงดัน 210 kg/cm² เท่ากับ 0.28 kg/kW-h จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบสูงของเครื่องยนต์อัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะไม่มีความแตกต่างกันมากนัก และค่าเฉลี่ยของอัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่ค่าแรงดันหัวฉีดมาตรฐานอยู่ที่ 0.31 kg/kW-h และค่าเฉลี่ยของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกที่ค่าแรงดันหัวฉีดมาตรฐานเท่ากับ 0.35 kg/kW-h ที่ค่าแรงดัน 170 kg/cm² เท่ากับ 0.32 kg/kW-h ค่าแรงดัน 190 kg/cm² เท่ากับ 0.33 kg/kW-h และค่าแรงดัน 210 kg/cm² เท่ากับ 0.33 kg/kW-h ซึ่งจะเห็นว่าการเพิ่มแรงดันหัวฉีดสามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะได้ประมาณร้อยละ 5-7



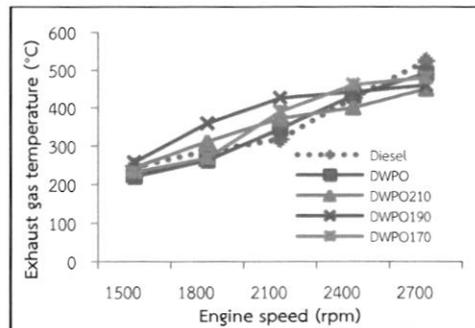
ภาพที่ 5.18 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ค่าแรงดันหัวฉีดต่างกัน

5.4.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ค่าแรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน จากภาพที่ 5.19 พบว่าเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซลในช่วงความเร็วรอบต่ำ แต่ในช่วงความเร็วรอบที่ 2400 รอบต่อนาทีขึ้นไปซึ่งเป็นช่วงที่เครื่องยนต์ให้ค่ากำลังงานสูงสุด [48] พบว่ามีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนใกล้เคียงกันในทุกค่าแรงดันหัวฉีดที่เปลี่ยนแปลง โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลที่ค่าแรงดันหัวฉีดมาตรฐานอยู่ที่ร้อยละ 28.25 และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกที่ค่าแรงดันหัวฉีดมาตรฐานเท่ากับร้อยละ 28.84 ที่ค่าแรงดัน 170 kg/cm² เท่ากับร้อยละ 27.95 ค่าแรงดัน 190 kg/cm² เท่ากับร้อยละ 30.10 และค่าแรงดัน 210 kg/cm² เท่ากับร้อยละ 27.95 จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบสูงของเครื่องยนต์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนไม่มีความแตกต่างกันมากนัก และค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่ค่าแรงดันหัวฉีดมาตรฐานอยู่ที่ร้อยละ 25.71 และค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกที่ค่าแรงดันหัวฉีดมาตรฐานเท่ากับร้อยละ 23.33 ที่ค่าแรงดัน 170 kg/cm² เท่ากับร้อยละ 24.55 ค่าแรงดัน 190 kg/cm² เท่ากับร้อยละ 24.27 kg/kW-h และค่าแรงดัน 210 kg/cm² เท่ากับร้อยละ 24.38 ซึ่งจะเห็นว่าการเพิ่มแรงดันหัวฉีดมีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลงในช่วงความเร็วรอบต่ำ



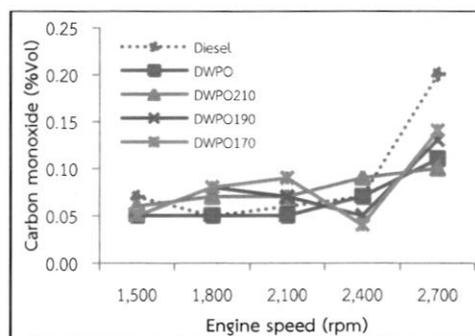
ภาพที่ 5.19 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่แรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน

5.4.3 อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ค่าแรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน จากภาพที่ 5.20 พบว่าเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลในช่วงความเร็วรอบต่ำ แต่ในช่วงความเร็วรอบที่ 2400 รอบต่อนาทีขึ้นไปซึ่งเป็นช่วงที่เครื่องยนต์ให้ค่ากำลังงานสูงสุด [48] พบว่ามีค่าอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกจะต่ำกว่าในทุกค่าแรงดันหัวฉีดที่เปลี่ยนแปลง โดยอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลที่ค่าแรงดันหัวฉีดมาตรฐานอยู่ระหว่าง 245°C ถึง 523°C และอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกที่ค่าแรงดันหัวฉีดมาตรฐานระหว่าง 220°C ถึง 490°C ที่ค่าแรงดัน 170 kg/cm² ระหว่าง 232°C ถึง 480°C ค่าแรงดัน 190 kg/cm² ระหว่าง 2585°C ถึง 460°C และค่าแรงดัน 210 kg/cm² ระหว่าง 243°C ถึง 450°C พบว่าอุณหภูมิก๊าซไอเสียไม่มีความแตกต่างกันมากนัก นั่นคือค่าพลังงานความร้อนที่เปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลของเชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงกัน



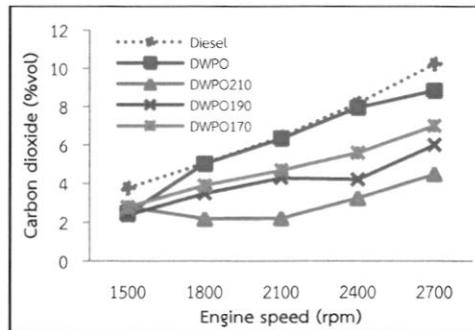
ภาพที่ 5.20 เปรียบเทียบอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่แรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน

5.4.5 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ค่าแรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน จากภาพที่ 5.21 พบว่าค่าเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่ค่าแรงดันหัวฉีดมาตรฐานอยู่ที่ร้อยละ 0.09 และค่าเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกที่ค่าแรงดันหัวฉีดมาตรฐานเท่ากับร้อยละ 0.09 ที่ค่าแรงดัน 170 kg/cm² เท่ากับร้อยละ 0.08 ค่าแรงดัน 190 kg/cm² เท่ากับร้อยละ 0.08 และค่าแรงดัน 210 kg/cm² เท่ากับร้อยละ 0.08 พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ไม่มีความแตกต่างกันมาก กรณีดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มแรงดันของหัวฉีดสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้ จึงทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ไม่แตกต่างกัน



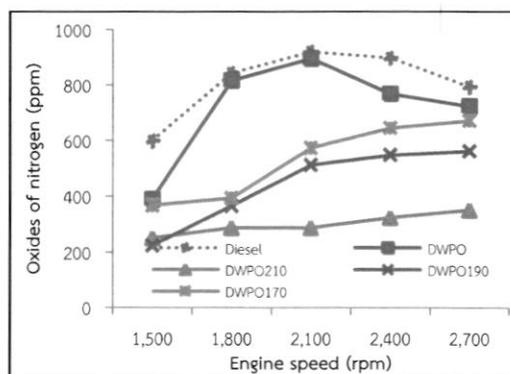
ภาพที่ 5.21 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่แรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน

5.4.5 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ค่าแรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน จากภาพที่ 5.22 พบว่าค่าเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่ค่าแรงดันหัวฉีดมาตรฐานอยู่ที่ร้อยละ 6.74 และค่าเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกที่ค่าแรงดันหัวฉีดมาตรฐานเท่ากับร้อยละ 6.12 ที่ค่าแรงดัน 170 kg/cm² เท่ากับร้อยละ 4.83 ค่าแรงดัน 190 kg/cm² เท่ากับร้อยละ 4.12 และค่าแรงดัน 210 kg/cm² เท่ากับร้อยละ 2.99 จะเห็นว่าการเพิ่มแรงดันหัวฉีดสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียได้ประมาณร้อยละ 10-15 ซึ่งการที่แรงดันหัวฉีดเพิ่มขึ้นสามารถทำให้น้ำมันแตกตัวเป็นฝอยละอองได้ดีขึ้น ทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจึงช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้



ภาพที่ 5.22 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่แรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน

5.4.6 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ค่าแรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน จากภาพที่ 5.23 แสดงปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ค่าแรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน พบว่าค่าเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่ค่าแรงดันหัวฉีดมาตรฐานอยู่ที่ 810 ppm และค่าเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกที่ค่าแรงดันหัวฉีดมาตรฐานเท่ากับ 717 ppm ที่ค่าแรงดัน 170 kg/cm² เท่ากับ 529 ppm ค่าแรงดัน 190 kg/cm² เท่ากับ 441 ppm และค่าแรงดัน 210 kg/cm² เท่ากับ 299 ppm พบว่าการเพิ่มแรงดันของหัวฉีดสามารถลดปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียได้ร้อยละ 10-15 ในทุกช่วงอัตรา การเพิ่มขึ้นของค่าแรงดันหัวฉีดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการที่แรงดันหัวฉีดเพิ่มขึ้นจะสามารถทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงแตกตัวเป็นฝอยละอองได้ดีขึ้น [18] ช่วยทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นมากขึ้นจึงช่วยลดปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ลงได้



ภาพที่ 5.23 ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่แรงดันหัวฉีดแตกต่างกัน

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษาการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก

การศึกษการผลิตและการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกในเครื่องยนต์ดีเซล เพื่อศึกษากระบวนการผลิต การแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกในบ่อฝังกลบ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย เทศบาลเมืองวารินชำราบ อำเภовารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์การไพโรไลซิสแบบไม่ต่อเนื่อง ระดับห้องปฏิบัติการ ขนาด 5 กิโลกรัมพลาสติกต่อรอบการผลิต ทดสอบสมบัติทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้เทียบกับน้ำมันดีเซลทั่วไป ทดสอบสมรรถนะและการปล่อยก๊าซไอเสีย $CO/CO_2/NO_x/HC$ ของเครื่องยนต์ โดยใช้เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดยี่ห่อคูโบต้า ขนาด 14 แรงม้า แบบฉีดตรง 1 สูบ เป็นเครื่องยนต์ในการทดสอบ และ ศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

6.1.1 ผลการศึกษาการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก

6.1.1.1 สัดส่วนของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากขยะพลาสติกแต่ละชนิดไม่มีความแตกต่างกัน อุปกรณ์ที่ใช้เหมาะสมกับกระบวนการไพโรไลซิส แบบ Conventional โดยมีสัดส่วนการเปลี่ยนสถานะเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ร้อยละ 66-72 เมื่อเทียบกับน้ำหนักของขยะพลาสติกที่ใช้ไป

6.1.1.2 สมบัติของเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกสามารถเทียบได้กับน้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไป

6.1.1.3 การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกโดยใช้ชุดอุปกรณ์ไพโรไลซิส ขนาด 5 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต ได้น้ำมันเฉลี่ย 4.5 ลิตร ราคาเฉลี่ยต่อลิตรที่ 30.74 บาท

6.1.2 การทดสอบเครื่องยนต์

6.1.2.1 การทดสอบเครื่องยนต์ที่ค่าแรงบิดสูงสุด อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงภาระโหลดสูง อุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกจะสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล การปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

6.1.2.2 การทดสอบเครื่องยนต์ที่กำลังงานสูงสุด พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันจากพลาสติกจะต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลที่ภาระโหลดต่ำ และจะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าเมื่อภาระโหลดสูง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลที่ภาระโหลดต่ำ แต่จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกที่ต่ำกว่าเมื่อภาระโหลดสูง อุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกจะสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทุกภาระโหลด การปล่อยมลพิษไอเสีย CO, CO_2, NO_x และ HC ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

6.1.2.3 การเพิ่มแรงดันหัวฉีดทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกลดลงและมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงขึ้นที่ความเร็วรอบต่ำ ในขณะที่แรงดันหัวฉีดไม่มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่ความเร็วรอบสูง การเพิ่มแรงดันหัวฉีดสามารถลดปริมาณไอเสีย CO, CO₂ และ NO_x ของการใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกได้

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 ก่อนการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกควรมีการแยกประเภทของพลาสติก พร้อมทั้งล้างทำความสะอาดพลาสติก

6.2.2 การนำน้ำมันจากขยะพลาสติกไปใช้งานกับเครื่องยนต์ควรมีการปรับปรุงคุณภาพโดยการกลั่นแยกชนิดของเชื้อเพลิงตามอุณหภูมิหรือผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน

6.2.3 เนื่องจากเครื่องยนต์ที่ใช้งานในรถยนต์ออกแบบมาสำหรับใช้กับน้ำมันดีเซลหรือเบนซินเท่านั้น หากต้องการนำน้ำมันจากขยะพลาสติกไปใช้งานกับเครื่องยนต์ควรมีการปรับปรุงเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับสมบัติของเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก เช่น ในเรื่องของค่าความร้อนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล หรือความหนืดที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

6.2.4 จากงานวิจัย หากต้องการนำน้ำมันจากขยะพลาสติกไปใช้งานกับเครื่องยนต์โดยไม่มีการปรับปรุง เครื่องยนต์ที่เหมาะสมกับน้ำมันจากขยะพลาสติกควรเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้งานในรอบการทำงานคงที่ เช่น เครื่องปั่นไฟ เครื่องสูบน้ำ เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Rungnapa Tubnonghee and et al. “Prospect and Current Status of Reforming Mixed Plastic Waste to Useful Oil in Thailand Case Study: Warinchamrap Municipality”, **Workshop on Waste Plastics Management**. p.155-159. Tsukuba: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 2011.
- [2] Rungnapa Tubnonghee and et al. “Comparision of Characteristics and Qualities of Pyrolytic Oil and Distilled Pyrolytic Oil from Municipal Plastic Wastes Case Study: Warinchamrap Municipality”, **International Conference Social-Energy-Environmental Development: SEED towards Sustainability**. Env-14. Nongkhai: Grand Paradise Hotel, 2012.
- [3] ประเสริฐ เทียนนิมิตร, ขวัญชัย สนิทพิทยสมบูรณ์ และปานเพชร ชินินทร. **เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น**. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2554.
- [4] Prabir Basu. **Biomass Gasification and Pyrolysis**. USA: Elsevier, 2010.
- [5] อนันดา รัชเวทย์. **พอลิเมอร์**. กรุงเทพฯ: ดวงกมล, 2552.
- [6] ยุทธชัย ศิลปะวิจารณ์. **ไดนาโมมิเตอร์สำหรับระบบทดสอบมอเตอร์และเครื่องยนต์**. กรุงเทพฯ: คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553.
- [7] เจษฎา ตัณฑเศรษฐี. **เครื่องยนต์สันดาปภายใน**. กรุงเทพฯ: เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า, 2546.
- [8] วีระศักดิ์ ภัยวิเชียร. **เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ทฤษฎีและการคำนวณ**. กรุงเทพฯ: วิทย์พัฒนา, 2546.
- [9] วันชัย ธิจิรวนิช. **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [10] พระราชกฤษฎีกาออกตามความในประมวลรัษฎากร ว่าด้วยหักค่าสึกหรอ และค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สิน ฉบับที่ 145. พุทธศักราช 2527. **ราชกิจจานุเบกษาฉบับพิเศษ**. เล่มที่ 101 ตอนที่ 24. 24 กุมภาพันธ์, 2527.
- [11] M. Pugazhadviva, K. Jeyachandranb. “Investigations on the performance and exhaust emissions of a diesel engine using preheated waste frying oil as fuel”, **Renewable Energy**. 30: 2189–2202; March, 2005.
- [12] Cherng-Yuan Lin, Hsiu-An Lin. “Diesel engine performance and emission characteristics of biodiesel produced by the peroxidation process”, **Fuel**. 85: 298–305; June, 2006.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] Murat Karabektas, Gokhan Ergen, Murat Hosoz. “The effects of preheated cottonseed oil methyl ester on the performance and exhaust emissions of a diesel engine”, **Applied Thermal Engineering**. 28: 2136-2143; January, 2008.
- [14] Mustafa Canakci, Ahmet Necati Ozsezen, Ali Turkcan. “Combustion analysis of preheated crude sunflower oil in an IDI diesel engine”, **biomass and bioenergy**. 33: 760–767; December, 2009.
- [15] Huseyin Aydina, Hasan Bayindirb. “Performance and emission analysis of cottonseed oil methyl ester in a diesel engine”, **Renewable Energy**. 35: 8–592; September, 2010.
- [16] Huseyin Aydina, Cumali ilkilicb. “Effect of ethanol blending with biodiesel on engine performance and exhaust emissions in a CI engine”, **Applied Thermal Engineering**. 30: 1199–1204; February, 2010.
- [17] Bhupendra Singh Chauhan, Naveen Kumar, Yong Du Jun, Kum Bae Lee. “Performance and emission study of preheated Jatropha oil on medium capacity diesel engine”, **Energy**. 35: 2484-2492; April, 2010.
- [18] G.R. Kannan, R. Anand. “Effect of injection pressure and injection timing on DI diesel engine fuelled with biodiesel from waste cooking oil”, **biomas sand bioenergy**. 46: 343-352; August, 2012.
- [19] Orhan Arpaa, Recep Yumrutasb, Ayhan Demirbasc. “Production of diesel-like fuel from waste engine oil by pyrolitic distillation”, **Applied Energy**. 87: 122–127; July, 2009.
- [20] Orhan Arpaa, Recep Yumrutasb. “Experimental investigation of Gasoline-Like Fuel obtained from waste lubrication oil on engine performance and exhaust emission”, **Fuel Processing Technology**. 91: 197–204; September, 2009.
- [21] Orhan Arpaa, Recep Yumrutasb, Zeki Argunhanc. “Experimental investigation of the effects of diesel-like fuel obtained from waste lubrication oil on engine performance and exhaust emission”, **Fuel Processing Technology**. 91: 1241–1249; April, 2010.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [22] Orhan Arpa, Recep Yumrutas, Önder Kaska. “Desulfurization of diesel-like fuel produced from waste lubrication oil and its utilization on engine performance and exhaust emission”, **Applied Thermal Engineering**. 58: 374-381; May, 2013.
- [23] S. Murugana, M.C. Ramaswamy, G. Nagarajanb. “Performance, emission and combustion studies of a DI diesel engine using Distilled Tyre pyrolysis oil-diesel blends”, **Fuel Processing Technology**. 89: 152-159, August, 2007.
- [24] S. Murugana, M.C. Ramaswamy, G. Nagarajanb. “A comparative study on the performance, emission and combustion studies of a DI diesel engine using distilled tyre pyrolysis oil-diesel blends”, **Fuel**. 87: 2111-2121; February, 2008.
- [25] S. Murugana, M.C. Ramaswamy, G. Nagarajanb. “The use of tyre pyrolysis oil in diesel engines”, **Waste Management**. 28: 2743-2749; May, 2008.
- [26] S. Murugana, M.C. Ramaswamy, G. Nagarajanb. “Assessment of pyrolysis oil as an energy source for diesel engines”, **Fuel Processing Technology**. 90: 67-74; July, 2008.
- [27] Cumali İlkilica, Huseyin Aydinb. “Fuel production from waste vehicle tires by catalytic pyrolysis and its application in a diesel engine”, **Fuel Processing Technology**. 92: 1129-1135; February, 2011.
- [28] Stefano Frigo, Maurizia Seggiani, Monica Puccini, Sandra Vitolo. “Liquid fuel production from waste tyre pyrolysis and its utilization in a Diesel engine”, **Fuel** 116: 399-408; August, 2013.
- [29] Ayhan Demirbas. “Pyrolysis of municipal plastic wastes for recovery of gasoline-range hydrocarbons”, **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 72: 97-102; May, 2004.
- [30] Kyong-Hwan Lee. “Pyrolysis of municipal plastic wastes separated by difference of specific gravity”, **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 79: 362-367; December, 2007.
- [31] D.S. Achiliasa, C. Roupakiasa, P. Megalokonomosa, A.A. Lappasb, E.V. Antonakoub. “Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP)”, **Journal of Hazardous Materials**. 149: 536-542; June, 2007.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [32] Mohammad Nahid Siddiquia, Halim Hamid Redhwib. “Pyrolysis of mixed plastics for the recovery of useful products”, **Fuel Processing Technology**. 90: 545–552; January, 2009.
- [33] Brajendra K. and et al. “Production, characterization and fuel properties of alternative diesel fuel from pyrolysis of waste plastic grocery bags”, **Fuel Processing Technology**. 122: 79–90; February, 2014
- [34] M. Mani, C. Subash, G. Nagarajan. “Performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine using waste plastic oil”, **Applied Thermal Engineering**. 29: 2738–2744; January, 2009.
- [35] M. Mani, G. Nagarajan. “Influence of injection timing on performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine running on waste plastic oil”, **Journal of energy**. 34: 1617–1623; August, 2009.
- [36] M. Mani, G. Nagarajan, S. Sampath. “An experimental investigation on a DI diesel engine using waste plastic oil with exhaust gas recirculation”, **Fuel**. 89: 1826–1832; November, 2009.
- [37] M. Mani, G. Nagarajan, S. Sampath. “Characterisation and effect of using waste plastic oil and diesel fuel blends in compression ignition engine”, **Energy**. 36: 212-219; December, 2010.
- [38] Pouya Mohammadi and et al. “Experimental investigation of performance and emission characteristics of DI diesel engine fueled with polymer waste dissolved in biodiesel-blended diesel fuel”, **Energy**. 46: 596-605; August, 2012.
- [39] Sachin Kumar, R. Prakash, S. Murugan, R.K. Singh. “Performance and emission analysis of blends of waste plastic oil obtained by catalytic pyrolysis of waste HDPE with diesel in a CI engine”, **Energy Conversion and Management**. 74: 323–331; June, 2013.
- [40] คณิต วัฒนวิเชียร และอรุณวรรณ กรรณิกา. “เชื้อเพลิงดีเซลสังเคราะห์จากขยะพลาสติก : การแปรรูปและผลการใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28. น. AEC108. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2557.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [41] J. Devaraj, Y. Robinson, P. Ganapathi. “Experimental investigation of performance, emission and combustion characteristics of waste plastic pyrolysis oil blended with diethyl ether used as fuel for diesel engine”, **Energy**. 85: 304-309; April, 2015.
- [42] วรวิทย์ อังภากรณ์และชาญ ถนัดงาน. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2550.
- [43] วรวิทย์ อังภากรณ์และชาญ ถนัดงาน. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2550.
- [44] นักสิทธิ์ คุ้มณาชัย. การถ่ายเทความร้อน. กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2536.
- [45] มนตรี พิรุณเกษตร. การถ่ายเทความร้อน ฉบับเตรียมสอบและเสริมประสบการณ์. กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์, 2548.
- [46] ธนรัฐ ศรีวีระกุล. การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer). พิมพ์ครั้งที่ 3. อุบลราชธานี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2554.
- [47] ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี. การเขียนแบบวิศวกรรมด้วย SolidWorks 2009 ขั้นพื้นฐาน, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2552.
- [48] The Siam Kubota industry co.ltd. Operation and maintenance manual Kubota. Patumtani Thailand: Siam Kubota, 2009.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์

1. International Journal

1.1 Chumsunti Santaweasuk and Adun Janyalertadun. "Influence of Nozzle Pressure on Performance and Emission in Compression Ignition Engine Running on Distillaed Waste Plastic Oil (DWPO)", International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 4, No. 3, 2013.

1.2 Chumsunti Santaweasuk and Adun Janyalertadun. "Conventional Slow Pyrolysis Production Fuel Oil From Municipal Landfill Plastic Waste", International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 8, No. 3, 2017.

2. International Conference

2.1 Chumsunti Santaweasuk and Adun Janyalertadun. "Influence of Nozzle Pressure on Performance and Emission in Compression Ignition Engine Running on Distillaed Waste Plastic Oil (DWPO)", International Conference on Environment Science and Engineering, April 21-22, 2013, Beijing, China.

ภาคผนวก ข
ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ผลการไพโรไลซิสพลาสติก PP

พลาสติกชนิด PP								
เวลา/ นาที	อุณหภูมิ ในเตา ปฏิกรณ์ (°C)	อุณหภูมิ ในเตา ปฏิกรณ์ (°C)	อุณหภูมิ ในเตา ปฏิกรณ์ (°C)	อุณหภูมิ เฉลี่ยใน เตา ปฏิกรณ์ (°C)	ปริมาณ น้ำมันที่ ได้ (ML)	ปริมาณ น้ำมันที่ ได้ (ML)	ปริมาณ น้ำมันที่ ได้ (ML)	ปริมาณ น้ำมันที่ ได้เฉลี่ย (ML)
10	25	28	32	28	0	0	0	0
20	26	30	38	31	0	0	0	0
30	32	40	50	41	0	0	0	0
40	40	70	64	58	0	0	0	0
50	53	162	111	109	0	0	0	0
60	168	165	166	166	0	0	0	0
70	195	226	172	198	0	0	0	0
80	199	246	186	210	0	330	0	110
90	216	268	195	226	300	640	0	313
100	225	278	202	235	400	1,250	0	550
110	232	290	206	243	500	1,550	0	683
120	229	300	208	246	370	950	0	440
130	252	313	216	260	1,000	300	0	433
140	268	316	118	234	1,300	140	0	480
150	262		222	242	1,350		400	875
160	274		233	254	900		550	725
170	281		239	260	300		600	450
180			255	255			1200	1200
190			262	262			900	900
200			265	265			400	400
210			270	270			200	200
					6420	5160	4250	5277

ตารางที่ ข.2 ผลการไพโรไลซิสพลาสติก LDPE

พลาสติกชนิด LDPE								
เวลา/ นาที	อุณหภูมิ ในเตา ปฏิกรณ์ (°C)	อุณหภูมิ ในเตา ปฏิกรณ์ (°C)	อุณหภูมิ ในเตา ปฏิกรณ์ (°C)	เฉลี่ย	ปริมาณ น้ำมันที่ ได้ (ML)	ปริมาณ น้ำมันที่ ได้ (ML)	ปริมาณ น้ำมันที่ ได้ (ML)	เฉลี่ย
10	30	27	31	29	0	-	0	0
20	35	31	41	36	0	-	0	0
30	43	39	59	47	0	-	0	0
40	52	56	121	76	0	-	0	0
50	64	93	162	106	0	-	0	0
60	130	141	174	148	0	-	0	0
70	160	159	205	175	0	-	0	0
80	170	184	193	182	0	-	0	0
90	180	188	187	185	0	-	0	0
100	188	197	188	191	0	-	0	0
110	207	222	195	208	0	-	0	0
120	200	223	196	206	0	-	0	0
130	225	232	214	224	0	285	0	95
140	233	255	217	235	0	560	0	187
150	241	267	225	244	0	895	0	298
160	244	269	235	249	0	670	350	340
170	250	271	245	255	340	500	500	447
180	265	257	255	259	850	470	500	607
190	271	245	268	261	1000	355	500	618
200	272	262	275	270	1340	230	690	753
210	269	264	279	271	715	275	650	547
220	268		282	275	270		720	495
230	165		280	223	180		340	260
					4695	4240	4250	4395

ตารางที่ ข.3 ผลการไพโรไลซิสพลาสติก HDPE

พลาสติกชนิด HDPE								
เวลา/ นาที	อุณหภูมิ ในเตา ปฏิกรณ์ (°C)	อุณหภูมิ ในเตา ปฏิกรณ์ (°C)	อุณหภูมิ ในเตา ปฏิกรณ์ (°C)	เฉลี่ย	ปริมาณ น้ำมันที่ ได้ (ML)	ปริมาณ น้ำมันที่ ได้ (ML)	ปริมาณ น้ำมันที่ ได้ (ML)	เฉลี่ย
10	33	31	32	32	0	0	0	0
20	42	70	37	50	0	0	0	0
30	90	90	47	76	0	0	0	0
40	147	132	90	123	0	0	0	0
50	172	165	120	152	0	0	0	0
60	198	168	160	175	0	0	0	0
70	216	171	180	189	0	0	0	0
80	225	174	194	198	0	0	0	0
90	228	181	200	203	0	0	0	0
100	253	200	210	221	290	0	0	97
110	260	232	216	236	400	280	0	227
120	262	254	224	247	500	500	0	333
130	252	265	227	248	550	1,000	0	517
140	270	270	228	256	750	600	0	450
150	285	274	236	265	300	500	0	267
160	295	278	249	274	200	800	0	333
170	296	281	252	276	100	500	850	483
180	299	287	260	282	100	200	720	340
190		295	278	287		200	1,200	700
200			283	283			1,000	1000
210			277	277			700	700
220			289	289			200	200
230					3190	4580	4670	4147

ตารางที่ ข.4 ผลการไพโลโรซิสพลาสติกผสม

พลาสติกชนิด Mix								
เวลา/ นาที	อุณหภูมิ ในเตา ปฏิกรณ์ (°C)	อุณหภูมิ ในเตา ปฏิกรณ์ (°C)	อุณหภูมิ ในเตา ปฏิกรณ์ (°C)	เฉลี่ย	ปริมาณ น้ำมันที่ ได้ (ML)	ปริมาณ น้ำมันที่ ได้ (ML)	ปริมาณ น้ำมันที่ ได้ (ML)	เฉลี่ย
10	31	30	32	31	0	0	0	0
20	34	45	37	39	0	0	0	0
30	52	60	49	54	0	0	0	0
40	94	80	55	76	0	0	0	0
50	125	100	85	103	0	0	0	0
60	139	145	102	129	0	0	0	0
70	168	162	121	150	0	0	0	0
80	190	166	149	168	0	0	0	0
90	194	170	157	174	0	0	0	0
100	197	171	165	178	0	0	0	0
110	214	174	179	189	300	0	200	167
120	226	180	185	197	400	0	150	275
130	236	189	195	207	285	150	200	212
140	242	198	202	214	560	560	200	440
150	251	220	214	228	895	300	250	482
160	254	236	223	238	670	670	350	563
170	260	247	237	248	340	500	500	447
180	254	254	248	252	200	250	200	217
190	273	262	255	263	200	450	350	333
200	278	267	259	268	100	500	500	367
210		270	265	268	200	750	800	583
220		276	270	273		250	400	325
230		230	273	252		300	300	300
240		240	278	259			100	100
250		250		250			200	200
260		260		260				
270					4150	4680	4700	4510

ตารางที่ ข.5 ผลการทดสอบกำลังงานและการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์
ที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

1600 rpm/power (W)			1600 rpm/flow rate (s/8 ml)	
load	ดีเซล	พลาสติก	ดีเซล	พลาสติก
1.50	484.00	310.72	40.00	69.00
2.00	644.96	429.57	43.00	66.00
2.50	813.60	551.65	45.00	61.00
3.00	970.94	688.09	47.00	58.00
3.50	1,149.00	928.20	40.00	49.00
4.00	1,340.00	1,066.85	37.00	47.00
4.50	1,532.70	1,236.92	34.00	42.00
5.00	1,711.00	1,405.20	30.00	41.00
5.50	1,904.00	1,481.76	27.00	38.00
6.00	2,070.60	1,699.40	26.00	36.00
6.50	2,231.56	1,943.40	25.00	33.00
7.00	2,359.74	2,043.13	22.00	32.00
7.50	2,511.20	2,162.65	21.00	30.00
8.00	2,628.84	2,273.38	19.00	30.00

ตารางที่ ข.6 ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพเชิงความร้อน
ของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

load	1600 rpm /SFC (g/kW-h)		1600 rpm /efficiency (%)	
	ดีเซล	พลาสติก	ดีเซล	พลาสติก
1.50	1,264.46	1,074.64	6.26	7.28
2.00	882.69	812.65	8.96	9.63
2.50	668.63	684.68	11.83	11.43
3.00	536.44	577.31	14.75	13.56
3.50	532.64	506.58	14.85	15.45
4.00	493.75	459.50	16.02	17.03
4.50	469.76	443.50	16.84	17.65
5.00	476.91	399.91	16.59	19.57
5.50	476.19	409.19	16.62	19.13
6.00	454.72	376.60	17.40	20.78
6.50	438.80	359.26	18.03	21.78
7.00	471.55	352.40	16.78	22.21
7.50	464.21	355.12	17.04	22.04
8.00	490.11	337.82	16.14	23.17

ตารางที่ ข.7 ผลการทดสอบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของเครื่องยนต์
ที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

load	1600 rpm/CO		CO (g/kW-h)	
	ดีเซล	พลาสติก	ดีเซล	พลาสติก
1.50	116.00	122.00	14.67	13.11
2.00	119.00	129.00	10.50	10.48
2.50	123.00	122.00	8.22	8.35
3.00	119.00	128.00	6.38	7.39
3.50	118.00	109.00	6.79	5.52
4.00	103.00	110.00	5.09	5.05
4.50	100.00	94.00	4.70	4.17
5.00	90.00	99.00	4.29	3.96
5.50	96.00	96.00	4.57	3.93
6.00	86.00	120.00	3.91	4.52
6.50	84.00	145.00	3.69	5.21
7.00	84.00	154.00	3.96	5.43
7.50	75.00	157.00	3.48	5.58
8.00	71.00	183.00	3.48	6.18

ตารางที่ ข.8 ผลการทดสอบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์ของเครื่องยนต์
ที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

load	1600 rpm/CO2		CO ₂ (g/kW-h)	
	ดีเซล	พลาสติก	ดีเซล	พลาสติก
1.50	0.98	1.04	1,239.17	1,117.63
2.00	1.07	1.14	944.48	926.42
2.50	1.09	1.15	728.81	787.38
3.00	1.18	1.31	633.00	756.28
3.50	1.22	1.39	649.82	704.14
4.00	1.27	1.49	627.06	684.65
4.50	1.48	1.44	695.24	638.64
5.00	1.47	1.67	701.06	667.85
5.50	1.69	1.74	804.76	711.98
6.00	1.67	1.92	759.38	723.08
6.50	1.72	1.99	754.73	714.92
7.00	1.83	2.14	862.93	754.14
7.50	1.85	2.16	858.78	767.06
8.00	1.93	2.28	945.91	770.24

ตารางที่ ข.9 ผลการทดสอบปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ของเครื่องยนต์
ที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

load	1600rpm/NO _x		NO _x (g/kW-h)	
	ดีเซล	พลาสติก	ดีเซล	พลาสติก
1.50	147.20	287.60	186.13	309.07
2.00	163.60	294.10	144.41	239.00
2.50	181.70	287.60	121.49	196.91
3.00	192.20	294.10	103.10	169.79
3.50	200.00	287.60	106.53	145.69
4.00	221.10	294.10	109.17	135.14
4.50	259.80	287.60	122.04	127.55
5.00	261.90	294.10	124.90	117.61
5.50	282.70	287.60	134.62	117.68
6.00	280.50	294.10	127.55	110.76
6.50	294.20	287.60	129.09	103.32
7.00	309.00	294.10	145.71	103.64
7.50	313.90	287.60	145.71	102.13
8.00	330.50	294.10	161.98	99.35

ตารางที่ ข.10 ผลการทดสอบอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

1600rpm/t_emis		
load	ดีเซล	พลาสติก
1.50	129.20	132.40
2.00	127.90	148.40
2.50	141.70	143.70
3.00	148.10	149.30
3.50	146.80	164.60
4.00	158.40	174.40
4.50	174.50	183.20
5.00	181.20	208.80
5.50	195.50	221.20
6.00	204.50	233.00
6.50	215.80	238.00
7.00	227.30	272.60
7.50	235.90	283.10
8.00	238.40	291.80

ตารางที่ ข.11 ผลการทดสอบปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนของเครื่องยนต์
ที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

load	1600rpm/HC		HC (g/kW-h)	
	ดีเซล	พลาสติก	ดีเซล	พลาสติก
1.50	116	145	146.68	155.82
2.00	119	153	105.04	124.34
2.50	123	157	82.24	107.50
3.00	119	156	63.84	90.06
3.50	110	146	58.59	73.96
4.00	103	135	50.86	62.03
4.50	100	143	46.98	63.42
5.00	90	123	42.92	49.19
5.50	96	118	45.71	48.28
6.00	86	115	39.11	43.31
6.50	84	133	36.86	47.78
7.00	84	125	39.61	44.05
7.50	75.00	127	34.82	45.10
8.00	71.00	135	34.80	45.61

ตารางที่ ข.12 ผลการทดสอบกำลังงานและการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์
ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที

2400rpm/power			2400 rpm/flow rate (s/8 ml)	
load	ดีเซล	พลาสติก	ดีเซล	พลาสติก
1.50	1652.40	1180.00	21.00	29.00
2.00	2171.60	1642.20	19.00	27.00
2.50	2697.30	2014.50	18.00	24.00
3.00	3181.20	2430.80	17.00	22.00
3.50	3648.00	2939.70	15.00	20.00
4.00	4110.80	3351.20	15.00	19.00
4.50	4550.40	3884.40	15.00	18.00
5.00	4982.00	4199.20	14.00	16.00
5.50	5405.40	4080.40	15.00	18.00
6.00	5750.00	5146.50	14.00	13.00
6.50	6156.00	5405.00	13.00	13.00
7.00	6502.50	5588.00	13.00	13.00
7.50	6732.00	5268.50	12.00	13.00
8.00	6794.20	5018.00	12.00	13.00

ตารางที่ ข.13 ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพเชิงความร้อน
ของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที

load	2400rpm/ SFC (g/kW-h)		efficiency (%)	
	ดีเซล	พลาสติก	ดีเซล	พลาสติก
1.50	569.801	673.290	13.89	11.62
2.00	593.305	519.628	13.34	15.06
2.50	504.208	476.545	15.69	16.42
3.00	452.659	430.835	17.48	18.16
3.50	447.368	391.877	17.69	19.97
4.00	397.003	361.850	19.93	21.63
4.50	358.650	329.523	22.06	23.75
5.00	350.978	342.922	22.54	22.82
5.50	301.920	313.695	26.21	24.95
6.00	304.099	344.371	26.02	22.73
6.50	305.893	327.902	25.87	23.87
7.00	289.593	317.163	27.32	24.68
7.50	303.030	336.397	26.11	23.26
8.00	300.256	353.190	26.35	22.16

ตารางที่ ข.14 ผลการทดสอบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของเครื่องยนต์
ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที

2400rpm/CO (ppm)			2400rpm/CO (ppm)	
load	ดีเซล	พลาสติก	ดีเซล	พลาสติก
1.50	44.00	157.00	2.51	10.57
2.00	27.00	139.00	1.60	7.22
2.50	29.00	130.00	1.46	6.20
3.00	18.00	102.00	0.81	4.39
3.50	15.00	105.00	0.67	4.11
4.00	16.00	73.00	0.64	2.64
4.50	26.00	77.00	0.93	2.54
5.00	15.00	82.00	0.53	2.81
5.50	31.00	115.00	0.94	3.61
6.00	57.00	184.00	1.73	6.34
6.50	75.00	255.00	2.29	8.36
7.00	80.00	214.00	2.32	6.79
7.50	131.00	203.00	3.97	6.83
8.00	136.00	168.00	4.08	5.93

ตารางที่ ข.15 ผลการทดสอบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์ของเครื่องยนต์
ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที

load	2400rpm/CO2 (%)		CO2 (g/kW-h)	
	ดีเซล	พลาสติก	ดีเซล	พลาสติก
1.50	1.00	1.83	569.80	1,232.12
2.00	1.00	1.83	593.30	950.92
2.50	1.00	2.03	504.21	967.39
3.00	1.00	1.98	452.66	853.05
3.50	1.00	2.35	447.37	920.91
4.00	1.00	2.07	397.00	749.03
4.50	0.87	2.61	312.03	860.06
5.00	1.00	2.77	350.98	949.90
5.50	1.14	3.10	344.19	972.45
6.00	1.80	3.27	547.38	1,126.09
6.50	1.66	3.87	507.78	1,268.98
7.00	1.35	3.87	390.95	1,227.42
7.50	1.52	4.03	460.61	1,355.68
8.00	1.96	3.87	588.50	1,366.85

ตารางที่ ข.16 ผลการทดสอบปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ของเครื่องยนต์
ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที

load	2400rpm/NO _x (ppm)		NO _x (g/kW-h)	
	ดีเซล	พลาสติก	ดีเซล	พลาสติก
1.50	52.40	140.60	29.86	94.66
2.00	39.10	152.80	23.20	79.40
2.50	54.20	182.70	27.33	87.06
3.00	41.40	189.40	18.74	81.60
3.50	35.90	238.20	16.06	93.35
4.00	40.90	212.30	16.24	76.82
4.50	100.50	280.40	36.04	92.40
5.00	55.00	292.70	19.30	100.37
5.50	125.00	296.10	37.74	92.89
6.00	179.70	308.30	54.65	106.17
6.50	157.80	351.90	48.27	115.39
7.00	140.00	367.40	40.54	116.53
7.50	148.30	413.00	44.94	138.93
8.00	194.00	418.10	58.25	147.67

ตารางที่ ข.17 ผลการทดสอบอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที

2400rpm/T_emis			
load	ดีเซล	พลาสติก	ดีเซล+ พลาสติก
1.50	208.30	250.70	236.90
2.00	207.50	249.00	247.70
2.50	220.20	265.50	280.90
3.00	237.20	286.50	287.00
3.50	248.80	315.10	295.30
4.00	266.60	323.70	304.60
4.50	285.80	338.80	306.00
5.00	306.20	356.60	351.80
5.50	325.80	400.00	369.80
6.00	345.40	434.40	395.50
6.50	366.60	449.00	463.50
7.00	386.90	464.60	472.40
7.50	397.20	461.30	429.30
8.00	420.30	469.00	483.90

ตารางที่ ข.18 ผลการทดสอบปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนของเครื่องยนต์
ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที

load	2400rpm/HC (ppm)		HC (g/kW-h)	
	ดีเซล	พลาสติก	ดีเซล	พลาสติก
1.50	44	157	25.07	105.71
2.00	27	139	16.02	72.23
2.50	29	130	14.62	61.95
3.00	18	102	8.15	43.95
3.50	15	105	6.71	41.15
4.00	16	100	6.35	36.18
4.50	26	100	9.32	32.95
5.00	15	100	5.26	34.29
5.50	31	115	9.36	36.07
6.00	57	150	17.33	51.66
6.50	75	160	22.94	52.46
7.00	80	165	23.17	52.33
7.50	131.00	170	39.70	57.19
8.00	136.00	168	40.83	59.34

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายชุมสันติ แสนทวีสุข
 วันเดือนปีเกิด 1 มิถุนายน พ.ศ. 2519
 ที่อยู่ เลขที่ 21 ถนนชยางกูร ซอยชยางกูร 22 ถนนชยางกูร อำเภอเมือง
 จังหวัดอุบลราชธานี 34000
 ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2532 มัธยมศึกษาตอนต้น
 โรงเรียนเบญจมาฆะมหาธา อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี
 พ.ศ. 2535 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ
 โรงเรียนโปลีเทคนิคภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อำเภอเมือง
 จังหวัดอุบลราชธานี
 พ.ศ. 2538 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
 วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี
 พ.ศ. 2540 ประกาศนียบัตรครุเทคนิคชั้นสูง สาขาวิชาเครื่องกล
 วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี
 พ.ศ. 2549 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี
 ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะ ครูชำนาญการ
 สถานที่ทำงานปัจจุบัน วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี

