



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

คุณสมบัติเชื้อเพลิงและผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซล
จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ

โดย นายทวิช จิตรสมบูรณ์ และคณะ

รายงานเมื่อ ๒๐ มกราคม ๒๕๔๖

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
(ส่วนที่ 1/2)

โครงการ

คุณสมบัติเชื้อเพลิงและผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซล
จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ
ส่วนที่ 1 : ผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซล

คณะผู้วิจัย

- 1) นายทวิช จิตรสมบูรณ์
- 2) นายชัยยศ ตั้งสฤติย์กุลชัย
- 3) นางมาลี ตั้งสฤติย์กุลชัย
- 4) ร.อ. กนัศธร ชำนิประศาสน์
- 5) นายพิทยา ทิพย์รักษ์

สังกัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อุพิทยยานยนต์ อ.เมือง จ.นครราชสีมา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ

- 1) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้เห็นความสำคัญของการวิจัยนี้ และให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ตามสัญญาเลขที่ RDG4420015 โครงการ "คุณสมบัติเชื้อเพลิงและผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซลจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ"
- 2) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้การสนับสนุนห้องปฏิบัติการเครื่องยนต์ แทนทดสอบเครื่องยนต์ ตลอดจนความร่วมมือและการให้ความช่วยเหลือของบุคลากรประจำห้องปฏิบัติการเครื่องยนต์ ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งทำให้การทำวิจัยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
- 3) รองศาสตราจารย์ ดร. ชีระ เอกสมธราเมษจัวร์ ผู้ประสานงานโครงการวิจัย สกว. ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ตลอดจนให้ออกสารข้อมูลการวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
สารบัญ.....	ข
สรุปความสำหรับผู้บริหาร.....	ง
บทคัดย่อภาษาไทย.....	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญแผนภูมิ.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์.....	4
แนวทางการวิจัย.....	4
บทที่ 2 วิธีการวิจัย.....	6
การทดลองเครื่องยนต์.....	6
การเตรียมน้ำมันดิบ.....	6
การเตรียมเครื่องยนต์.....	7
การทดสอบเครื่องยนต์.....	8
บทที่ 3 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล.....	9
ผลการวัดสมรรถนะเครื่องยนต์.....	9
กำลังและแรงบิด.....	9
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง.....	10
ลักษณะทั่วไปของการเดินเครื่อง.....	10
ผลการวัดและวิเคราะห์ความคงทน.....	11
การปนเปื้อนและการสูญเสียน้ำมันหล่อลื่น.....	12
ผนังกระบอกสูบ.....	14
ฝาสูบและลิ้น.....	15
ผิวหัวลูกสูบ.....	15

ผิวข้างลูกสูบ.....	15
หัวฉีดน้ำมัน.....	16
แหวนลูกสูบ.....	16
กำลังเครื่องยนต์.....	17
การเปลี่ยนไส้กรอง.....	18
บทที่ 4 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ.....	20
รายการเอกสารอ้างอิง.....	22
ภาคผนวก.....	23
ภาคผนวก ก. แผนภูมิข้อมูลการทดลอง.....	23
ภาคผนวก ข. รูปภาพชิ้นส่วนเครื่องยนต์ภายหลังการทดลอง.....	41
ภาคผนวก ค. ตารางเปรียบเทียบการดำเนินการตามแผนงานกับการ ดำเนินจริง.....	49
ภาคผนวก ง. ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ตามแผนงานกับที่ได้ จริง.....	52
ภาคผนวก จ. ตารางเปรียบเทียบผลที่ได้รับตามแผนกับผลที่ได้ จริง.....	53
ภาคผนวก ฉ. ตารางข้อมูลการทดลอง.....	54

สรุปความสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ: คุณสมบัติเชื้อเพลิงและผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซลจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ

ชื่อผู้เสนอโครงการ นาย ทวิช จิตรสมบูรณ์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โทรศัพท์ (044)224006 โทรสาร 224017
ระยะเวลา: 1 ปี งบประมาณ 1,085,000 บาท

สรุปผลการดำเนินงาน

ความสำคัญ: งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้น้ำมันปาล์มดิบล้วนในเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อหาข้อมูลและแนวทางในการใช้น้ำมันปาล์มดิบได้ในเครื่องยนต์โดยตรง ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญต่อการตัดสินใจใช้งานในกรณีที่เป็นต่าง ๆ เช่น ในภาวะคับขันทางด้านพลังงาน ในภาวะที่ราคาน้ำมันดีเซลมีราคาแพง ในภาวะที่ปาล์มทะลายนี้อาจมีราคาถูกมาก เป็นต้น ซึ่งนับเป็นทางเลือกหนึ่งเปรียบเทียบกับแนวทางส่วนใหญ่ในปัจจุบันนี้ที่มักนิยมการทาน้ำมันดิบให้เป็นน้ำมันใส (เอสเตอร์) ซึ่งทำให้มีราคาแพง หรือ โดยการผสมน้ำมันใสกับน้ำมันดีเซลที่สัดส่วนไม่เกิน 20% ซึ่งหากเกิดสภาวะขาดแคลนน้ำมันดีเซลก็จะกระทำไม่ได้ โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ

- 1) เพื่อทราบสมรรถนะและผลกระทบระยะยาวต่อเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบล้วน
- 2) เพื่อทราบข้อมูลความเป็นเชื้อเพลิงทางด้านเคมี และทางกายภาพของน้ำมันปาล์มดิบ
- 3) เพื่อทราบแนวทางการปรับปรุงคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

การวิจัย: ได้ทดสอบเครื่องยนต์แบบฉีดตรง (DI) และ เครื่องยนต์แบบฉีดอ้อม (IDI) บนแท่นทดสอบ โดยในช่วงแรกได้ทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ทั้งสองประเภทด้วยการใช้น้ำมันปาล์มดิบล้วนอุ่นร้อนที่ 50C เทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล จากนั้นได้ทำการทดสอบความคงทนด้วยการเดินเครื่องที่จุดทำงานสูงสุด เป็นเวลาเครื่องละ 270 ชั่วโมง ในอีกส่วนหนึ่งได้ทำการวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และ ทางเคมีของน้ำมันปาล์มด้วย

ผลที่ได้และข้อเสนอแนะ

- 1) การใช้น้ำมันปาล์มดิบล้วนไม่ทำให้สมรรถนะเครื่องยนต์ในระยะสั้นต่ำลงเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล
- 2) ในภาพรวมการใช้น้ำมันปาล์มดิบสามารถใช้ได้ดีในเครื่องยนต์แบบ IDI มากกว่าในเครื่องยนต์แบบ DI
- 3) ควรทำการทดสอบความคงทนเพิ่มเติม โดยให้มีการทดลองครบ 1,000 ชั่วโมง
- 4) ควรมีการทดลองโดยการอุ่นร้อนน้ำมันให้ร้อนประมาณ 100-140 องศา เพราะที่ช่วง 100 องศาความหนืดของน้ำมันจะพอๆ กันกับความหนืดของน้ำมันเอสเตอร์ และที่ 140 องศาความหนืดจะพอๆ กันกับน้ำมันดีเซลปกติ
- 5) ควรทดลองใช้จริงในสถานที่ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่อง IDI เช่น ในเรือ รถไฟ รถยนต์โดยสารประจำทาง โรงไฟฟ้าขนาดเล็ก โรงสี เป็นต้น

บทคัดย่อ

น้ำมันปาล์มดิบลว่นร้อนที่ 50°C ได้ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง (Direct Injection) และแบบฉีดอ้อม (Indirect Injection) รวมทั้งข้อมูลความคงทนของเครื่องยนต์ทั้งสองระบบเมื่อได้ใช้งานหนักเป็นเวลานาน 270 ชม. นอกจากนี้ยังได้ทดสอบหาคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง คุณสมบัติทางกายภาพ และ คุณสมบัติทางเคมีต่างๆ ของน้ำมันปาล์มอีกด้วย

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า

- ก) การใช้้ำมันปาล์มดิบลว่นร้อนที่ 50°C ในภาพรวมให้สมรรถนะเครื่องยนต์ทั้งสองระบบในระยะสั้นเท่าเทียมกับการใช้น้ำมันดีเซล
- ข) เครื่องยนต์แบบฉีดอ้อมมีความเหมาะสมต่อการใช้น้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงมากกว่าเครื่องยนต์แบบฉีดตรง เพราะ
 - 1) ในภาพรวมมีการสะสมตัวของตะกั่วคาร์บอนในห้องเผาไหม้น้อยกว่า
 - 2) กำลังเครื่องยนต์ลดลงต่ำกว่า
 - 3) มีการปนเปื้อนน้ำมันหล่อลื่นน้อยกว่ามาก (กล่าวคือไม่มีการปนเปื้อนเลย)
- ค) น้ำมันปาล์มดิบมีคุณสมบัติที่ใช้เป็นน้ำมันเครื่องยนต์ดีเซลได้หากมีการอุ่นร้อนที่เหมาะสม

เมื่อได้ทดลองเครื่องเป็นเวลานาน 270 ชม. แม้สมรรถนะจะลดลงแต่ยังไม่อาจสรุปได้ว่าเครื่องยนต์ทั้งสองจะเสียหายหรือไม่และเมื่อใด จึงควรได้ทำการทดลองต่อไปให้ครบ 1,000 ชม. หรือมากกว่านั้น โดยควรทดสอบที่อุณหภูมิอุ่นร้อนที่สูงกว่านี้

Abstract

Whole crude palm oil warmed at 50° C had been used as fuel to test for performances and endurances of direct injection and indirect injection diesel engines after subjecting to heavy load for a period of 270 hours each. Fuel characteristics, physical and chemical properties of palm oil were also measured and analyzed. The test results indicate that:

- a) Short-time overall performances of engines using palm oil are equivalent to using regular diesel fuel.
- b) Indirect injection engine is more suitable for palm oil than direct injection engine, because:
 - 1) There are less overall carbon deposits in the combustion chambers.
 - 2) Power reduction is lesser.
 - 3) Engine oil contamination is much lesser (in fact, nil).
- c) Whole crude palm oil has a potential to be a good diesel fuel if properly preheated.

At load duration of 270 hours, even though the engine powers were reduced, it is too soon to conclude that engine failures will pursue and when will that occur. It is highly desirable that the engines be tested to 1,000 hours or more, preferably at higher preheated temperature.

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
1	การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างการใช้ น้ำมันดีเซลกับน้ำมันปาล์มดิบล้วน ในเครื่องยนต์แบบฉีดตรงและแบบฉีดอ้อม	11
2	การเปรียบเทียบความคงทนของเครื่องยนต์ฉีดอ้อมและฉีดตรง	19
ฉ1	ข้อมูลการวัดสมรรถนะเครื่องยนต์แบบฉีดตรง	52
ฉ2	ข้อมูลการวัดความคงทนเครื่องยนต์แบบฉีดตรง	53
ฉ3	ข้อมูลการวัดสมรรถนะเครื่องยนต์แบบฉีดอ้อม	55
ฉ4	ข้อมูลการวัดความคงทนเครื่องยนต์แบบฉีดอ้อม	56

สารบัญแผนภูมิ

แผน ภูมิที่	ชื่อแผนภูมิ	หน้า
1	กำลังงานของเครื่องยนต์แบบ DI ที่รอบเครื่องยนต์ต่างๆ	23
2	แรงบิดของเครื่องยนต์แบบ DI ที่รอบเครื่องยนต์ต่างๆ	24
3	กำลังงานของเครื่องยนต์แบบ IDI ที่รอบเครื่องยนต์ต่างๆ	25
4	แรงบิดของเครื่องยนต์แบบ IDI ที่รอบเครื่องยนต์ต่างๆ	26
5	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่อง DI (หน่วย นน./งาน)	27
6	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่อง IDI (หน่วย นน./งาน)	28
7	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่อง DI (หน่วย ปริมาตร/งาน)	29
8	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่อง IDI (หน่วย ปริมาตร/งาน)	30
9	อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์	31
10	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น	32
11	กราฟ FTIR ของน้ำมันหล่อลื่นบริสุทธิ์	33
12	กราฟ FTIR ของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์	34
13	กราฟ FTIR ของน้ำมันหล่อลื่นบริสุทธิ์ผสมน้ำมันปาล์ม 5%	35
14	กราฟ FTIR ของน้ำมันหล่อลื่นบริสุทธิ์ผสมน้ำมันปาล์ม 10%	36
15	กราฟ FTIR ของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วของเครื่องยนต์ DI	37
16	กราฟ FTIR ของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วของเครื่องยนต์ IDI	38
17	การลดลงของกำลังเครื่องยนต์ในแต่ละวัน	39

สารบัญภาพ

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
1	ผนังกระบอกสูบ	40
2	ฝาสูบและลิ้นไอดีไอเสีย	41
3	ผิวหัวลูกสูบ	42
4	ผิวข้างลูกสูบ	43
5	หัวฉีดน้ำมัน (ด้านหน้า)	44
6	หัวฉีดน้ำมัน (ด้านข้าง)	45
7	แหวนลูกสูบ	46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ส่วนใหญ่มีการปลูกอยู่ทางภาคกลางตอนล่างและภาคใต้ ผลผลิตส่วนใหญ่ใช้ป้อนโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันพืชและผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภคอื่นๆ ราคาปาล์มทะเลายที่เกษตรกรขายได้ในแต่ละปีขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ที่สำคัญคือราคาปาล์มในตลาดโลก ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตและความต้องการของตลาดโลกและตลาดในประเทศในแต่ละปี

จากการที่ราคาน้ำมันดีเซลได้ผันผวนมากในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา โดยมีแนวโน้มสูงขึ้นมากในแต่ละปี และแนวโน้มระยะยาวที่น้ำมันดีเซลที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียมจะต้องหมดสิ้นไปจากโลกในที่สุด ทำให้เกิดความสนใจที่จะนำน้ำมันปาล์มมาใช้แทนน้ำมันดีเซลเพื่อขับเคลื่อนเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้งานในลักษณะต่างๆ เช่น ในรถยนต์บรรทุก ในรถไฟ เรือ โรงงานปั่นกระแสไฟฟ้า และโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งหากสามารถกระทำได้จะเป็นประโยชน์อย่างมหาศาล เพราะนอกจากจะเป็นหลักประกันความมั่นคงด้านพลังงานให้กับประเทศแล้ว ยังเป็นการสร้างความต้องการของตลาด ซึ่งจะช่วยให้ราคาผลผลิตปาล์มทะเลายดีขึ้น ซึ่งช่วยให้เกษตรกรสวนปาล์มน้ำมันมีความมั่นคงทางเศรษฐกิจมากขึ้นด้วย

การศึกษาวิจัยเพื่อนำน้ำมันพืชมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้มีมาก่อนหน้านี้แล้วเป็นเวลานานในต่างประเทศ [1] ซึ่งได้ข้อสรุปว่าไม่สมควรนำน้ำมันพืชดิบ(crude vegetable oil)มาใช้โดยตรง เพราะจะมีผลกระทบในเชิงลบอย่างรุนแรงต่อเครื่องยนต์ในระยะยาว ดังนั้นจึงต้องปรับแต่งคุณสมบัติของน้ำมันดิบให้เหมาะสมเสียก่อนโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์และ/หรือทางเคมี แต่ข้อมูลที่ทำให้ได้ข้อสรุปเช่นนั้นได้มาจากการศึกษาน้ำมันพืชที่มีในต่างประเทศเท่านั้น เช่น sunflower oil, soybean oil และ rapeseed oil เป็นต้น สำหรับในประเทศไทยก็ได้มีการศึกษากันบ้าง แต่เป็นเพียงการสาธิตในระยะสั้นและอย่างไม่เป็นระบบ (ดังปรากฏบนหน้าหนังสือพิมพ์เป็นครั้ง

คราว) จึงไม่อาจให้ข้อมูลของผลกระทบในระยะยาวได้อย่างชัดเจน และแม้ในขณะนี้อาจมีชาว การนำน้ำมันปาล์มมาใช้เป็นเชื้อเพลิงดีเซลในประเทศไทย แต่ก็เป็นการนำเอาน้ำมันปาล์ม ประณีต(refined oil) มาใช้ ซึ่งยังมีราคาแพงกว่าน้ำมันดีเซล หรือ โดยการใช้ไขมันใส (ester) ซึ่ง ทำให้มีราคาแพง หรือ โดยการผสมกับน้ำมันดีเซล ที่สัดส่วนต่างๆ ซึ่งทำให้ไม่สะดวก และยังคงจะทำ ไม่ได้หากไม่มีน้ำมันดีเซล เท่าที่ทราบยังไม่มีการวิจัยอย่างเป็นระบบเพื่อทดลองใช้น้ำมันปาล์มดิบ ล้วนในเครื่องยนต์ดีเซล

จากการทดลองใช้น้ำมันพืชชนิดต่างๆ ในเครื่องยนต์ดีเซลโดยนักวิจัยในต่างประเทศเป็น จำนวนมาก (ซึ่งในเอกสารอ้างอิง 1. จะเห็นว่ามีการอ้างอิงภายในถึง 181 ฉบับ) ปรากฏผลใน ภาพรวมว่า น้ำมันพืชไม่ได้ทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ตกต่ำมากนัก ทั้งนี้เป็นเพราะว่าน้ำมัน พืชมีค่าความร้อนจากการเผาไหม้ (heating value) และค่าเลขซีเทน (Cetane number) ที่ใกล้เคียง กับน้ำมันดีเซลมาก [2] (ค่าเลขซีเทนเป็นค่าบอกความรวดเร็วในการเริ่มการเผาไหม้ของน้ำ ้น) แต่โดยทั่วไปแล้วการใช้น้ำมันพืชจะทำให้ลดมลภาวะที่ออกทางท่อไอเสียในเกือบทุกประเด็น เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล [3] โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ทั้งนี้เพราะน้ำมันพืช ไม่มีส่วนประกอบของกำมะถัน) ยกเว้นแต่ค่าไนโตรสออกไซด์ ซึ่งมักจะคงปริมาณเท่าเดิมหรือมาก ขึ้นเพียงเล็กน้อย ส่วนคุณสมบัติการจุดระเบิดและการเผาไหม้ของน้ำมันพืช ในเครื่องยนต์ เช่น soybean, safflower(ดอกคำฝอย) และ sunflower นั้นมีคุณสมบัติใกล้เคียง จนถือได้ว่าเหมือนกับ น้ำมันดีเซลทุกประการ [4]

อย่างไรก็ดีการใช้น้ำมันพืชดิบเป็นระยะเวลายาวนานจะทำให้เกิดการขัดข้องของเครื่องยนต์ อย่างรุนแรง เช่น การสะสมของตะกอนคาร์บอนที่หัวฉีดน้ำมัน และการติดตัวของแหวนลูกสูบอัน เนื่องมาจากการสะสมตัวของสสารเหล่านี้ นอกจากนี้ยังมีการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่อง(น้ำมัน หล่อลื่น)ในลักษณะของการเจือจาง และการปนเปื้อน อีกด้วย [1] แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าข้อมูล เหล่านี้ได้มาจากการศึกษาทดลองโดยใช้ sunflower oil, soybean oil และ rapeseed oil ซึ่งเป็น น้ำมันพืชที่ผลิตได้มากในต่างประเทศทางตะวันตก สำหรับในประเทศไทย น้ำมันปาล์ม น้ำมัน มะพร้าว และ น้ำมันรำข้าว เป็นสิ่งที่มีมาก และยังไม่ได้รับการศึกษาโดยนักวิจัยชาวต่างชาติมากนัก จึง ควรจะได้มีการศึกษาวิจัยน้ำมันเหล่านี้ด้วยเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับกำหนดนโยบายการพลังงานของ ประเทศไทย

สาเหตุสำคัญอันหนึ่งที่นักวิจัยเชื่อกันว่าทำให้เกิดปรากฏการณ์อันไม่พึงประสงค์ต่อเครื่อง ยนต์ก็คือ ความหนืดของน้ำมันพืช [5] โดยทั่วไปแล้วน้ำมันพืชจะมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล ถึงประมาณ 15-20 เท่า ดังนั้นการฉีดน้ำมันผ่านหัวฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้จึงทำได้ไม่ดี กล่าวคือ น้ำ

มันไม่กระจายตัวเป็นฝอยละอองเท่านั้นมันดีเซล ซึ่งทำให้ไม่สามารถถูกเผาไหม้ได้อย่างหมดจด ปัจจุบันนี้แนวทางในต่างประเทศมักจะพากันละทิ้งความพยายามที่จะใช้น้ำมันพืชดิบล้วนในเครื่องยนต์ดีเซล แต่หันมาใช้น้ำมันที่สังเคราะห์มาจากน้ำมันพืชที่เรียกกันว่า เอสเตอร์ (ester) โดยทำการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางเคมี เอสเตอร์มีข้อดีกว่าน้ำมันดิบตรงที่ว่ามันมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลเพียงประมาณ 2 เท่าเท่านั้น นั่นคือมีความหนืดน้อยกว่าน้ำมันพืชดิบประมาณ 7-10 เท่า

วิศวกรของประเทศตุรกี [6,7] ได้ทำการทดสอบหาความหนืดของน้ำมันเมล็ดทานตะวันดิบ พบว่าที่อุณหภูมิ 100°C ความหนืดลดลงประมาณ 7 เท่า ซึ่งทำให้มีความหนืดประมาณ 2 เท่าของน้ำมันดีเซล หรือ ประมาณเท่ากับค่าความหนืดของเอสเตอร์ และที่อุณหภูมิ 140°C ความหนืดจะประมาณเท่ากับค่าความหนืดของน้ำมันดีเซล การทดลองเดินเครื่องยนต์โดยการใช้น้ำมันเมล็ดฝ้าย และ น้ำมันดอกทานตะวันที่มีการอุ่นร้อนที่ 140°C พบว่าให้คุณสมบัติการเผาไหม้ที่คล้ายคลึงกับน้ำมันดีเซลมาก [5] แต่กระนั้นวิศวกรในอเมริกาและยุโรปก็ยังนิยมที่จะใช้เอสเตอร์มากกว่าน้ำมันดิบ เพราะ ไม่ต้องอุ่นร้อน (ทำให้ไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์) และ องค์ประกอบอีกอันหนึ่งที่ทำให้นักวิชาการตะวันตกไม่สนใจน้ำมันพืชมากนักเป็นเพราะการแข็งตัวของน้ำมันพืชในฤดูหนาว ซึ่งต้องมีการแก้ไขด้วยกรรมวิธีต่างๆ ซึ่งทำให้ราคาสูงมากขึ้น

ประเทศมาเลเซีย โดยองค์กร PORIM (Palm Oil Research Institute of Malaysia ซึ่งปัจจุบันได้ยุบสลายและเปลี่ยนชื่อหน่วยงานแล้ว) ได้ทำการวิจัยการใช้น้ำมันปาล์มในเครื่องยนต์ดีเซลมาเป็นเวลานานพอสมควร โดยในระยะเริ่มแรก ประมาณปี ค.ศ. 1983 ได้ทดลองใช้ในเครื่องยนต์ในสภาพการใช้งานจริงเสียก่อน เมื่อทราบปัญหาและสิ่งที่จะต้องปรับปรุงแล้ว จึงทำการทดลองบนแท่นทดสอบ เพื่อวิจัยลึกลงในรายละเอียด [8] อย่างไรก็ตามข้อมูลที่วิจัยที่ไม่เปิดเผยต่อสาธารณะก็คงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อผลประโยชน์บางประการทางการค้า ถึงอย่างไรเสียประเทศไทยก็ต้องทำการศึกษาวิจัยของเราเองด้วย จากที่ผู้เสนอโครงการได้ศึกษาข้อมูลของงานวิจัยอันหลากหลาย [9] ปรากฏว่ายังมีผลการวิจัยที่คลุมเครือและขัดแย้งกันเองอีกพอสมควรที่ควรได้ทำการวิจัยเพื่อค้นหาความกระจ่างให้มากยิ่งขึ้น

แนวทางการวิจัยของโครงการนี้ได้รับแรงดลใจจากข้อมูลการทดลองใน [5] ที่ระบุว่าน้ำมันพืชดิบล้วน 4 ชนิด คือ น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดฝ้าย และน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน เมื่อทำการอุ่นร้อนที่ 100°C ปรากฏว่าสามารถใช้ในเครื่องยนต์แบบฉีดอ้อม(indirect injection) ได้โดยไม่มีผลกระทบต่อเครื่องยนต์ ในขณะที่มีผลกระทบสูงพอสมควรต่อเครื่องยนต์แบบฉีดตรง(direct injection) จึงเห็นว่าควรได้ทำการทดลองนี้ในน้ำมันปาล์มของประเทศไทย

ด้วย หากสามารถใช้น้ำมันปาล์มดิบที่อุ่นร้อนในเครื่องยนต์ประเภทฉีดอ้อมได้ (และฉีดตรง) ก็จะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เพราะราคาจะถูกกว่าการสังเคราะห์ทางเคมีให้เป็นน้ำมันดีเซลเหมือนดังที่กำลังเป็นแนวโน้มหลักของกิจกรรมนี้ ซึ่งการใช้น้ำมันดิบที่อุ่นร้อนนี้จะมีกลุ่มเป้าหมายสำคัญที่เครื่องยนต์ขนาดใหญ่ที่เดินเครื่องเป็นเวลานานเท่านั้น เช่น เครื่องเรือประมง เครื่องรถไถ เครื่องรถประจำทางระยะยาว เครื่องโรงไฟฟ้าขนาดเล็กถึงขนาดกลาง เครื่องยนต์ในโรงงาน เป็นต้น เนื่องจากการอุ่นร้อนนั้นต้องสร้างอุปกรณ์เสริม ทำให้ไม่สะดวกและอาจไม่คุ้มทุนสำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็กที่มีช่วงการใช้งานสั้นๆ แต่มีความถี่การติด/ดับเครื่องสูง เช่น ในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล เป็นต้น

การทดสอบคุณสมบัติน้ำมันปาล์มก็นับว่าเป็นสิ่งสำคัญมากเพราะต้องใช้เป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์พฤติกรรมต่างๆ ของเครื่องยนต์ เช่น ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ สารตกค้างในระบบ การปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นข้อมูลพื้นฐานในการที่จะปรับปรุงคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงให้ดีขึ้น โดยกรรมวิธีต่างๆ เช่น โดยการเติมสารเคมี

1.2 วัตถุประสงค์

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้คือ

- 1 เพื่อทราบสมรรถนะและผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซลที่ติดตั้งอยู่กับที่บนแท่นทดสอบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบที่อุ่นร้อน 50C
- 2 เพื่อทราบข้อมูลความเป็นเชื้อเพลิงทางด้านเคมี และทางกายภาพของน้ำมันปาล์มดิบ
- 3 เพื่อทราบแนวทางปรับปรุงคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

1.3 แนวทางการวิจัย

แนวทางการทดสอบเครื่องยนต์ในการวิจัยนี้จะใช้น้ำมันปาล์มดิบที่อุ่นร้อนเป็นเชื้อเพลิง โดยไม่ทำให้เป็นน้ำมันประณีต หรือเป็นน้ำมันไฮโดรเจน หรือ ผสมกับน้ำมันอื่นใดทั้งสิ้น โดยจะใช้น้ำมันนี้ในเครื่องยนต์แบบฉีดตรง (direct injection) และเครื่องยนต์แบบฉีดอ้อม (indirect injection) เพื่อทดสอบหาสมรรถนะและความคงทนของเครื่องยนต์ทั้งสองระบบที่รับภาระงานหนักเป็นเวลา 270 ชั่วโมง

โม่ง การอุ่นร้อนถือเป็นความจำเป็นเพราะที่อุณหภูมิห้องในบรรยากาศประเทศไทย น้ำมันปาล์มดิบจับตัวเป็นไขทำให้ไม่สามารถถูกดูดเข้าไปในปั๊มน้ำมัน หรือส่งผ่านเครื่องกรองน้ำมันได้ โดยผู้วิจัยคาดการณ์ไว้ล่วงหน้าว่า เครื่องยนต์แบบฉีดอ้อมจะมีความเหมาะสมมากกว่าแบบฉีดตรง เพราะมีระบบการผสมน้ำมันกับอากาศที่ดีกว่า ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาการไม่เป็นฝอยละของอันเนื่องมาจากความหนืดได้ในระดับหนึ่ง

ข้อมูลด้านเทคนิคในความแตกต่างกันของเครื่องยนต์สองระบบคือ เครื่องยนต์แบบฉีดตรงนั้นหัวฉีดน้ำมันจะฉีดน้ำมันเข้าสู่กระบอกสูบ(ห้องเผาไหม้)โดยตรง ส่วนในเครื่องแบบฉีดอ้อมนั้นหัวฉีดจะฉีดน้ำมันเข้าไปในห้องเตรียมเผา (pre-chamber) ซึ่งน้ำมันจะผสมกับอากาศในระดับหนึ่งเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก่อนที่จะถูกพ่นเข้าไปในกระบอกสูบ ดังนั้น เครื่องแบบฉีดอ้อมจะช่วยลดผลของการที่น้ำมันพืชไม่เป็นฝอยละของมากเท่าการฉีดน้ำมันดีเซลลงได้ระดับหนึ่ง เนื่องจากได้ผสมตัวกับอากาศล่วงหน้าแล้วนั่นเอง

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

2.1 การทดลองเครื่องยนต์

เพื่อทดสอบการใช้น้ำมันปาล์มดิบล้วน (หรือ 100% เปอร์เซนต์โดยไม่มีการผสมกับสิ่งอื่น และโดยไม่แยกส่วนใดๆ ทั้งสิ้น) ในเครื่องยนต์ดีเซลนั้น ข้อเสนอโครงการได้เสนอให้เปรียบเทียบระหว่างการใช้ในเครื่องยนต์แบบฉีดตรง (direct injection หรือ DI) และ เครื่องยนต์แบบฉีดอ้อม (indirect injection หรือ IDI) เนื่องจากผู้เสนอโครงการเกิดแนวคิดว่าการใช้ในเครื่องยนต์แบบฉีดอ้อมน่าจะได้ผลดีกว่าในด้านความคงทนของเครื่องยนต์เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์แบบฉีดตรง แต่ไม่ว่าจะใช้กับเครื่องยนต์ชนิดใดก็ตามจะต้องมีการเตรียมน้ำมันปาล์มก่อนนำเข้าสู่เครื่อง

2.2 การเตรียมน้ำมันปาล์มดิบ

น้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในโครงการเป็นน้ำมันที่ได้มาจากโรงงานน้ำมันปาล์มในจังหวัดกระบี่ ที่บรรยากาศปกติในจังหวัดนครราชสีมา (ประมาณ 32 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยประมาณ 60%) น้ำมันจะมีสีส้ม และมีไขแยกตัวเป็นชั้นอยู่อย่างเห็นได้ชัด งานวิจัยนี้จะใช้น้ำมันรวมทั้งหมดโดยไม่มีการแยกไขออกเสียก่อน ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันคือ

- อุ่นน้ำมันให้ร้อนที่ 50°C
- กรองน้ำมันอุ่นด้วยไส้กรองขนาดตาถี่ 0.005 มม. (5 ไมครอน)
- นำน้ำมันที่กรองได้บรรจุถังขนาด 50 ลิตรที่มีระบบการอุ่นน้ำมันอัตโนมัติที่ 50°C
- ใช้น้ำมันที่กรองและอุ่นแล้วป้อนเข้าเครื่องยนต์

หมายเหตุ

1. เนื่องจากน้ำมันที่ได้จากโรงงานนั้นยังไม่ได้ผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดเพื่อการบริโภค จึงอาจมีสารแขวนลอยขนาดใหญ่ที่จะทำอันตรายต่อระบบหัวฉีดของเครื่องยนต์ได้ ดังนั้นจึงต้องทำการขจัดสารแขวนลอยเสียก่อนด้วยการกรองด้วยไส้กรอง แต่การกรองนั้นกระทำได้ลำบากมาก เพราะความหนืดของน้ำมันและความเป็นไข ดังนั้น จึงจำเป็นต้องอุ่นร้อนก่อนการกรอง

2. การอุ่นร้อนน้ำมันก่อนเข้าเครื่องก็มีความจำเป็นเพราะมิฉะนั้นน้ำมันจะเป็นไข ทำให้ไม่สามารถถูกดูดเข้าสู่ปั๊มของเครื่องยนต์ได้ นอกจากนี้การอุ่นยังช่วยลดความหนืดได้ด้วย การอุ่นร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ย่อมกระทำได้และจะเป็นผลดีต่อการเผาไหม้ในกระบอกสูบ แต่อาจเสี่ยงต่อการเสื่อมสภาพของซีลยางและท่อทางต่างๆได้ เพื่อเป็นการทดลองเริ่มแรกจึงกำหนดการอุ่นร้อนที่ 50 °C

2.3 การเตรียมเครื่องยนต์

ได้จัดซื้อเครื่องยนต์ใช้แล้วสองเครื่องคือ

- เครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง ยี่ห้อโตโยต้ารุ่น 4JB-1 ขนาด 4 สูบ 2771 CC อัตราส่วนการอัด 18.2 ต่อ 1 กำลังบิดสูงสุดที่ 166 NM/2000 RPM BorexStroke= 93x102 mm
- เครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดอ้อม ยี่ห้อนิสสันรุ่น TD27 ขนาด 4 สูบ 2664 CC อัตราส่วนการอัด 21.8 ต่อ 1 กำลังบิดสูงสุดที่ 176 NM/2200 RPM BorexStroke = 96x92 mm

ขั้นตอนในการเตรียมเครื่องยนต์เพื่อการทดสอบมีดังนี้คือ

- ยกเครื่องใหม่ด้วยการเปลี่ยนอะไหล่ที่สำคัญทั้งหมด คือ ปลอกสูบ (เฉพาะเครื่อง IDI เนื่องจากของ DI ยังอยู่ในสภาพดีพอสมควร และงบประมาณไม่พอ) ลูกสูบ (เฉพาะเครื่อง IDI เนื่องจากของ DI ยังอยู่ในสภาพดีพอสมควร และงบประมาณไม่พอ) แหวนสูบ ก้านลิ้น ภาบริ่งเพลลา(bearing) เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องยนต์ทั้งสองเครื่องมีค่าเริ่มต้นของสภาพเครื่องยนต์ที่คล้ายคลึงกัน
- ทำการทดสอบเริ่มต้น (รันอิน) ด้วยน้ำมันดีเซลเป็นเวลา 10 ชั่วโมง

2.4 การทดสอบเครื่องยนต์

ในเครื่องยนต์แต่ละประเภทได้ทำการทดสอบดังนี้

- วัดหาสมรรถนะเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันดีเซล
- วัดหาสมรรถนะเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันปาล์มดิบ
- วัดหาความคงทนเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันปาล์มดิบเป็นเวลา 270 ชั่วโมง

ทั้งนี้โดยการใช้ไดนาโมมิเตอร์ระบบน้ำมันไฮดรอลิกส์เป็นภาระงานให้แก่เครื่องยนต์ การเดินเครื่องเพื่อวัดความคงทนนั้นจำเป็นต้องเดินในเวลากลางคืนวันละ 15 ชั่วโมง เป็นเวลา 18 วัน ต่อเครื่อง โดยในแต่ละวันมีขั้นตอนการเตรียมเครื่องดังนี้คือ

- อุ่นเครื่องให้ร้อนด้วยรอบเดินเบาเพื่อเข้าสู่อุณหภูมิปฏิบัติการเป็นเวลา 20 นาที
- ดำเนินการปฏิบัติการที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อนาที
- ทำการเบรคไดนาโมมิเตอร์ที่จุดควันท่ำ แล้วลดลงเล็กน้อยจนควันทันเริ่มหายดำพอดี (เพื่อลดมลภาวะ และ การเกิดเขม่าในเครื่องเกินความจริง)
- เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองในแต่ละวัน ทำการปลดภาระและปล่อยให้เครื่องเดินเบาเป็นเวลา 10 นาทีก่อนดับเครื่อง
- ในแต่ละวันทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่องจำนวน 50 ml เพื่อวิเคราะห์หาความหนืดและการปนเปื้อนของน้ำมันปาล์ม และเติมน้ำมันเครื่องใหม่จำนวน 50 ml ทดแทนส่วนที่เก็บตัวอย่างไป
- เปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องที่ 135 ชม. และนำไปวิเคราะห์หาการปนเปื้อน

บทที่ 3

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

การวิจัยนี้แบ่งออกเป็นสองส่วนหลักคือ การหาสมรรถนะเครื่องยนต์ในระยะสั้นและการทดสอบความคงทนในระยะยาว ซึ่งจะได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ทั้งสองส่วนหลักเป็นลำดับไปดังนี้

3.1 ผลการวัดสมรรถนะเครื่องยนต์

ได้ทำการวัดสมรรถนะเครื่องยนต์ที่จุดควันทั้งกรณีใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบล้วน อุณหภูมิ 50 °C (CPO100-50C ซึ่งหมายถึงการใช้น้ำมันปาล์มดิบ 100% โดยไม่ผสมสิ่งใดและอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งจากนี้ไปจะเรียกว่า CPO เฉยๆ) ซึ่งปริมาณการฉีดน้ำมันที่จุดควันทั้งของน้ำมันทั้งสองไม่จำเป็นต้องไม่เท่ากัน เพราะคุณลักษณะการเผาไหม้ของน้ำมันในเครื่องยนต์ทั้งสองประเภทไม่เหมือนกัน แต่พอถือได้ว่าเป็นจุดที่น้ำมันเชื้อเพลิงได้ถูกเผาไหม้จนหมดสิ้นแล้ว (ในภาพรวม) ตามจำนวนอากาศที่ได้รับ ผลการทดสอบสมรรถนะเป็นดังนี้คือ

3.1.1 กำลังและแรงบิด (แผนภูมิที่ 1-4 ในภาคผนวก ก)

สำหรับเครื่อง DI ในภาพรวมถือว่าน้ำมันปาล์มดิบล้วน (CPO) ให้กำลังและแรงบิดเท่าเทียมกับการใช้น้ำมันดีเซล (diesel oil หรือ DO) โดย CPO ให้กำลังและแรงบิดน้อยกว่า DO ในช่วงความเร็วรอบเครื่องต่ำกว่าประมาณ 2500 RPM (revolution per minute หรือ รอบต่อนาที) และให้กำลังและแรงบิดสูงกว่าในช่วงรอบสูงกว่าประมาณ 2500 RPM ซึ่งนับว่าสอดคล้องกับข้อมูลใน [8] ผู้วิจัยคาดคะเนว่าปรากฏการณ์นี้เป็นผลของความปั่นป่วน (turbulence) เพราะความปั่นป่วนที่รอบสูงมี

กำลังแรงกว่าที่รอบต่ำ ซึ่งทำให้น้ำมัน CPO ผสมกับอากาศได้ดีและทำให้อัตราการเผาไหม้มีความเร็ว กำลังพอเหมาะกับการเครื่องยนต์ในขณะที่อัตราการเผาไหม้ของ DO อาจเร็วเกินไป

สำหรับเครื่อง IDI พฤติกรรมทั่วไปของสมรรถนะเปรียบเทียบกับ DO เป็นตรงกันข้าม กล่าวคือ ได้กำลังและแรงบิดสูงขึ้นตลอดช่วงความเร็วรอบ (แผนภูมิที่ 3 และ 4) ซึ่งวิเคราะห์ได้ว่าอาจเป็นเพราะ

- CPO เข้าสู่ห้องเผาไหม้ก่อนเกิดควันทามีปริมาณมากกว่า DO และหรือ

- การสูญเสียความร้อนให้กับน้ำหล่อเย็นมีปริมาณน้อยกว่า (ตามที่ได้เสนอไว้ใน [9])

3.1.2 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน (แผนภูมิที่ 5-8)

แผนภูมิที่ 5 และ 6 แสดงให้เห็นว่าการใช้ CPO ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าการใช้ DO ประมาณ 10% ทั้งในกรณีของเครื่อง DI และ IDI ทั้งนี้เมื่อวัดการสิ้นเปลืองเป็นน้ำหนักสารต่อหน่วยงานที่ได้ (กรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง) ซึ่งการวัดในหน่วยนี้เป็นที่ยอมรับกันในการทดสอบเครื่องยนต์และในการรายงานการวิจัยต่างๆ แต่ผู้วิจัยได้เคยเสนอไว้ใน [9] โดยได้ให้แนวคิดไว้ว่าการใช้หน่วยวัดเป็น ปริมาตรต่อหน่วยงานจะเหมาะสมกว่าในการเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันต่างชนิดกันเช่นในกรณีนี้ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันทั้งสองชนิดนี้ได้รับการขายปลีกในหน่วยปริมาตร ไม่ใช่หน่วยน้ำหนัก นอกจากนั้นยังได้ทำนายไว้ใน [9] ว่าหากใช้หน่วยปริมาตรในการวัดอาจได้ผลว่าการสิ้นเปลืองน้ำมันมีค่าพอๆ กันเนื่องจากน้ำมันพืชโดยทั่วไปมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 10% เพื่อทดสอบแนวคิดนี้จึงได้ทำการทอนค่าอัตราการสิ้นเปลืองให้อยู่ในหน่วย ซีซีต่อกิโลวัตต์ ซึ่งจะได้แผนภูมิดังใน 7 และ 8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าภาพรวมการใช้ CPO ยังคงสิ้นเปลืองมากกว่าการใช้ DO แต่ความแตกต่างลดลงจาก 10% เหลือประมาณ 3% เท่านั้น สำหรับเครื่อง IDI ที่รอบเครื่องปานกลางถึงสูงก็ถือว่าสิ้นเปลืองพอๆ กันกับการใช้ DO

3.1.3 ลักษณะทั่วไปของการเดินเครื่อง

ในภาพรวมต้องถือว่าการใช้ CPO ทั้งใน DI และ IDI นั้น หากฟังเฉพาะเสียงและความรู้สึกภายนอกแล้วต้องถือว่ามีควมนุ่มนวลเทียบเท่าการใช้ DO การเร่งเครื่องก็เป็นไปอย่างนุ่มนวล และต่อเนื่อง ไม่มีอาการชะงัก (stall) การปะทุ (knock) การกระชอก (surge) ใดๆ นอกจากนี้การติดเครื่องก็ไม่มีควมยุ่งยากแต่ประการใด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการอุ่นร้อนที่ 50C ลักษณะควมในภาพรวมก็มี

ความใสดี และมีกลิ่นเล็กน้อย แต่เป็นกลิ่นที่ไม่น่ารังเกียจเพราะคล้ายกับกลิ่นการทอดอาหารด้วยน้ำมันพืชที่มนุษย์ส่วนมากคุ้นเคยกันดีอยู่แล้ว

สามารถสรุปเปรียบเทียบผลการวัดสมรรถนะเครื่องยนต์ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างการใช้ น้ำมันดีเซลกับน้ำมันปาล์มดิบล้วนในเครื่องยนต์แบบฉีดตรงและแบบฉีดอ้อม

ประเด็น	ดีเซล (IDI/DI)	เครื่องฉีดอ้อม	เครื่องฉีดตรง
กำลังงานที่รอบต่างๆ	ปกติ	สูงกว่าเล็กน้อยตลอดช่วงความเร็วรอบ	น้อยกว่าที่รอบต่ำ แต่สูงกว่าที่รอบสูง
แรงบิดที่รอบต่างๆ	ปกติ	สูงกว่าเล็กน้อยตลอดช่วงความเร็วรอบ	น้อยกว่าที่รอบต่ำ แต่สูงกว่าที่รอบสูง
ความสิ้นเปลืองจำเพาะ (น้ำหนัก: g/kw-hr)	ปกติ	สูงกว่าตลอดทุกช่วงรอบ	สูงกว่าตลอดทุกช่วงรอบ แต่ต่างน้อยกว่าที่รอบสูง
ความสิ้นเปลืองจำเพาะ (ปริมาตร: cc/kw-hr)	ปกติ	เกือบเท่ากัน	เกือบเท่ากัน
ข้อสังเกตทั่วไป	ปกติ	เครื่องเดินเรียบปกติตลอดช่วง	เครื่องเดินเรียบปกติตลอดช่วง

3.2 ผลการวัดและวิเคราะห์ความคงทน

สมรรถนะในระยะสั้นนั้นไม่น่าเป็นห่วง การวิจัยในครั้งนี้และการวิจัยของนักวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศให้ผลตรงกันว่าสามารถใช้ น้ำมันปาล์มในเครื่องยนต์ดีเซลได้ดีเทียบเท่ากับการใช้น้ำมันดีเซลที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม สิ่งที่จะต้องทดสอบให้แน่ใจเป็นอย่างยิ่งคือความคงทนเมื่อใช้เป็นระยะเวลายาวนาน ในการวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบเครื่องยนต์เป็นระยะเวลาเครื่องละ 270 ชั่วโมง ได้ผลดังนี้

3.2.1 การปนเปื้อนและการสูญเสียน้ำมันหล่อลื่น (แผนภูมิ 9)

มีรายงานการวิจัยว่าการใช้น้ำมันพืชทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำมันพืชในน้ำมันหล่อลื่นซึ่งอาจทำให้น้ำมันเครื่องใสขึ้นหรือหนืดขึ้น (เป็นได้ทั้งสองกรณี กลไกทางเคมีปฏิกิริยายังไม่เป็นที่กระจ่างนัก) [1,5] แต่ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดการปนเปื้อนถือเป็นสิ่งไม่พึงประสงค์เพราะทำให้ไม่สามารถมั่นใจในพฤติกรรมการหล่อลื่นและการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ เท่าที่นักวิจัยส่วนใหญ่ได้วิเคราะห์และคาดคะเนไว้ การปนเปื้อนเกิดจากการที่น้ำมันพืชถูกฉีดไปกระทบผนังลูกสูบที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในห้องเผาไหม้ซึ่งทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ น้ำมันที่เหลือจากการเผาไหม้จึงถูกแหวนลูกสูบและแก๊สปล่อยผ่าน (blow by) กวาดลงนำไปผสมกับน้ำมันเครื่องในอ่างน้ำมัน ในการทดลองนี้ ในแต่ละวัน (15 ชม. การเดินเครื่อง) ได้ตรวจวัดปริมาณน้ำมันเครื่องคงเหลือ ซึ่งโดยปกติทั่วไปแล้วน้ำมันเครื่องควรจะลดลงเล็กน้อยจากการสูญหายไปกับการเผาไหม้ที่ผนังกระบอกสูบ ผลปรากฏว่า เครื่องยนต์ DI มีพฤติกรรมการปนเปื้อนที่ซับซ้อนมาก กล่าวคือในช่วง 60 ชั่วโมงแรกมีปริมาณน้ำมันคงที่ จากนั้นมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงช่วง 90 ชม. ช่วง 90-120 มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (ประมาณ 7%) และท้ายสุดในช่วง 120-135 ชม. เกิดการลดลงอย่างรวดเร็ว สำหรับเครื่องยนต์ IDI ปริมาณน้ำมันคงที่ในตอนแรกและลดลงเล็กน้อยในช่วงหลัง ซึ่งถือเป็นกรณีปกติ

การวิเคราะห์(เชิงคาดคะเน)ผลการปนเปื้อนในกรณีของ DI เป็นเรื่องที่ยุ่งยาก ขอเสนอแนวทางการวิเคราะห์ไว้ดังนี้

- การที่เส้นกราฟของช่วง 135 ชม. แรก คล้ายกับช่วง 135 ชม. หลังมาก แสดงว่าการปนเปื้อนนี้ไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณการสะสมของตะกัณคาร์บอนที่หัวฉีดน้ำมัน เพราะการสะสมในช่วง 135 ชม. หลังมีมากกว่าในช่วง 135 ชม. แรก การที่กราฟมีลักษณะคล้ายกันมาก น่าจะแสดงว่าการปนเปื้อนของเครื่อง IDI ขึ้นอยู่กับความเก่าของน้ำมันเครื่อง
- จากข้อมูลการทดลอง (แผนภูมิที่ 10) ความหนืดของน้ำมันหล่อในเครื่อง DI คงเดิมในช่วง 90 ชม. แรก (เทียบกับเครื่อง IDI) และมีความหนืดสูงขึ้นเรื่อยๆ หลังจากนั้น ซึ่งแสดงว่าน้ำมันหล่อลื่นเริ่มเสื่อมสภาพ หากตั้งเป็นสมมุติฐานว่าน้ำมันเครื่องที่ไม่มีการปนเปื้อนเลยของเครื่อง DI และ IDI มีพฤติกรรมการเปลี่ยนความหนืดที่เหมือนกัน(ภายใต้สภาวะการใช้งานที่คล้ายๆ กัน) ดังนั้น การที่ความหนืดของน้ำมันเครื่อง DI ไม่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนแรกเช่นของเครื่อง IDI นั้นย่อมหมายความว่ามีการปนเปื้อนของน้ำมันปาล์มบ้างเล็กน้อยแล้ว การเดินเครื่องที่รอบและภาระงานนี้อาจเปรียบได้กับการวิ่งรถปิคอัพที่

ความเร็วประมาณ 60 กม. ต่อชั่วโมงโดยบรรทุกของเต็มกระเบ เป็นระยะทาง 5,400 กม. ซึ่งน้ำมันควรจะเสื่อมสภาพพอสมควรที่สภาพและเวลาการใช้งานเช่นนี้

- จากการวิเคราะห์ข้างบนและความเหมือนกันของกราฟในสองช่วง แสดงว่าการปนเปื้อนในเครื่อง DI เกิดน้อยในตอนเริ่มต้น และ เกิดอย่างรวดเร็วมากขึ้นในช่วง 90 ชม. เมื่อความหนืดของน้ำมันเครื่องสูงขึ้น (หรือน้ำมันเครื่องเริ่มเสื่อมสภาพ)
- เส้นกราฟของ IDI (ซึ่งไม่มีการปนเปื้อน)ชี้ให้เห็นว่าเมื่อน้ำมันเครื่องเริ่มเสื่อมสภาพ อัตราการสูญเสียน้ำมันก็สูงขึ้น ซึ่งน่าจะหมายความว่าเมื่อมีเยื่อน้ำมันตกค้างหลงเหลืออยู่ที่ผิวกระบอกสูบมากกว่าปกติ ซึ่งน่าจะทำให้ผนังกระบอกสูบเย็นกว่าปกติ ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของละอองน้ำมันปาล์มที่มากกระทบผนังกระบอกสูบ (ของเครื่อง DI) มากขึ้น ซึ่งจะถูกกวาดโดยและหรือเป่าผ่านแหวนลงไปปนเปื้อนกับน้ำมันหล่อลื่นในที่สุด
- อัตราการปนเปื้อนในช่วง ที่ 2 (135 ชม. หลัง) สูงกว่าในช่วงที่ 1 เล็กน้อย ซึ่งอาจจะมีส่วนมาจากการที่หัวฉีดน้ำมันมีมุมฉีดฝอยน้ำมันที่แคบลงเนื่องจากการสะสมของตะกั่วที่หัวฉีด ซึ่งเป็นผลให้ฝอยน้ำมันสามารถทะลุวงได้ลึกขึ้น จนพุ่งไปชนผนังกระบอกสูบมากขึ้น และ ถูกกวาดลงไปปนกับน้ำมันเครื่องมากขึ้นในที่สุด
- ดังนั้นการปนเปื้อนจึงน่าจะเกิดจากทั้งการที่น้ำมันเครื่องเสื่อมสภาพในภาพรวมและการสะสมของตะกั่วที่หัวฉีด

ส่วนเครื่อง IDI ได้ผลเป็นตรงกันข้าม กล่าวคือ ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นลดลงในแต่ละวัน ซึ่งการลดลงนี้ถือว่าเป็นกรณีปกติของเครื่องยนต์ทั่วไปเนื่องจากการสูญเสียไปในการหล่อลื่นผนังกระบอกสูบ ซึ่งจำเป็นต้องสูญเสียไปกับการเผาไหม้ในที่สุด จากกราฟในแผนภูมิ 9 จะเห็นได้ว่า อัตราการลดลงของน้ำมันเครื่องในช่วงที่ 2 สูงกว่าในช่วงที่ 1 เล็กน้อย อัตราลดที่เพิ่มขึ้นนี้น่าจะมีสาเหตุมาจาก การสึกหรอของเครื่องยนต์ที่มีมากขึ้นทำให้การกวาดน้ำมันเครื่องของแหวนสูบไม่ดีเท่าเดิมที่ได้ทำการยกเครื่องใหม่

จากนั้นได้นำตัวอย่างน้ำมันเครื่องในแต่ละวันไปวัดหาความหนืด ทำให้ได้ผลดังในแผนภูมิ 10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความหนืดของน้ำมันเครื่อง IDI จะสูงขึ้นจากระดับประมาณ 130 Mpa.sec เป็นระดับประมาณ 150 Mpa.sec ภายในช่วง 2 วัน (30 ชม) ที่ได้เดินเครื่อง แต่น้ำมันเครื่องของ DI จะคงที่อยู่ในระดับ 130 โดยตลอดเวลา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดการปนเปื้อนด้วย CPO เพราะหากไม่มีการปนเปื้อนเลยความหนืดจะต้องสูงขึ้น แต่เมื่อมีการปนเปื้อนจึงทำให้ลดความเพิ่มขึ้นลงมาอยู่ในระดับที่

ไม่สูงขึ้นเลย ซึ่งพิจารณาโดยผิวเผินแล้วอาจกลายเป็นสิ่งดี แต่เมื่อพิจารณาโดยละเอียดอาจไม่ใช่สิ่งดี เพราะ

- เกิดความไม่แน่นอนขึ้นว่าจะปนเปื้อนในปริมาณเท่าใดสำหรับเครื่องยนต์รุ่นอื่นๆ หรือรุ่นเดียวกันแต่ภาระการใช้งานแตกต่างกัน
- ความหนืด(viscosity)ที่เท่ากันไม่ได้หมายความว่ามีความเหมาะสมทางการหล่อลื่น(lubricity)ที่เท่ากันเสมอไป
- หากการปนเปื้อนมีมากเกินไป (แม้ทำให้เกิดความหนืดและสมรรถนะการหล่อลื่นเท่ากัน)จะทำให้ น้ำมันล้นอ่างเก็บเกินระดับปลอดภัย ซึ่งจะทำให้เกิดการเสียหายแก่เครื่องยนต์ได้

เพื่อความมั่นใจในประเด็นการปนเปื้อน เมื่อสิ้นสุดวันที่ 9 (135 ชม.) ได้นำตัวอย่างน้ำมันเครื่องไปตรวจวัดหาการปนเปื้อนของน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้กรรมวิธี FTIR (Fourier Transform Infrared spectroscopy) ผลที่ได้ปรากฏในแผนภูมิ 11-16 จากการวิเคราะห์เส้นกราฟสรุปได้ว่า ในเครื่อง DI มีการปนเปื้อนด้วย CPO ประมาณ 6.5% ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการวัดการเพิ่มขึ้นในแผนภูมิ 9 ภายหลังการใช้งาน 120 ชม. ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการลดปริมาณลงอย่างรวดเร็วในช่วง 120-135 ชม. (แผนภูมิ 9) เป็นเพราะน้ำมันหล่อลื่นที่ปนเปื้อนกับน้ำมันปาล์มแล้วได้สูญหายไปพร้อมกันเนื่องจากการสูญเสียอย่างรวดเร็วในระบบหล่อลื่นที่เริ่มเสื่อมสภาพจากการใช้งานมานาน

กราฟ FTIR ในแผนภูมิ 16 ชี้ให้เห็นว่าในเครื่อง IDI ไม่มีการปนเปื้อนเลย ซึ่งแสดงว่า ในเครื่อง IDI นั้นไม่มีละอองน้ำมันปาล์มที่เผาไหม้ไม่หมดตกกระทบผนังกระบอกสูบ ซึ่งก็เป็นสิ่งที่สมเหตุสมผลเพราะในระบบ IDI นั้นมีการผสมน้ำมันกับอากาศแล้วในห้องเตรียมเผา (pre-chamber) การผสมจึงดีกว่าในระบบ DI

3.2.2 ผนังกระบอกสูบ (รูป 1)

รูป 1 ไม่ได้ให้ความกระจ่างตามความเป็นจริงมากนักเนื่องจากกระบอกสูบของระบบ IDI มีการตีปลอกสูบใหม่จึงมีรอยขีดกระบอกสูบเป็นลาย ส่วนกระบอกสูบแบบ DI นั้นไม่ได้มีการตีปลอกใหม่ ทำให้ปลอกสูบดีเรียบเป็นมันวาว (การไม่ตีปลอกใหม่เป็นเพราะยังอยู่ในสภาพดีพอสมควร ผิดกับงบประมาณที่จำกัด) ในความเป็นจริงนั้น กระบอกสูบของ IDI ภายหลังจากใช้งานแล้ว 270 ชั่วโมงจะดูด้วยสายตาเปล่าได้ว่าสะอาดดีกว่าผนังของ DI เล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการปน

เป็อนน้ำมันหล่อลื่นที่ได้วิเคราะห์ไว้แล้ว และชี้ให้เห็นว่าเครื่อง IDI มีการเผาไหม้ที่หมดจดกว่าเครื่อง DI

3.2.3 ฝาสูบและลิ้น (รูป 2)

จะเห็นได้ว่าเครื่อง DI มีการจับตัวของตะกั่วสีชมพูอมขาว ตรงกลางฝาสูบ และมีตะกั่วดำอยู่รอบๆ โดยทั่วไป โดยมีฝ้าขาวบางๆ จับอยู่ของรอบนอกสุด ส่วนเครื่อง IDI มีความขาวตรงส่วนกลาง ซึ่งน่าจะเป็นผลจากการฉีดเข้ามาของแก๊สในห้องเตรียมเผา (prechamber) บริเวณโดยรอบมีลักษณะของตะกั่วดำ และในส่วนรอบนอกสุดมีฝ้าขาวจับอยู่พอสังเกตเห็นได้ (ลักษณะคล้ายกับเครื่อง DI)

3.2.4 ผิวหัวลูกสูบ (รูป 3)

ลักษณะโดยทั่วไปส่วนใหญ่เป็นการจับตัวของตะกั่วดำ โดยในภาพรวม เครื่อง DI มีตะกั่วดำสูงกว่าเครื่อง IDI ตรงบริเวณส่วนกลางของหัวลูกสูบ เครื่องทั้งสองมีลักษณะคล้ายกันพอสมควร กล่าวคือ มีการจับตัวของตะกั่วชมพูปนขาว ที่รอบวงด้านนอกเครื่อง DI มีฝ้าขาวจับอยู่เล็กน้อย ส่วนเครื่อง IDI มีฝ้าขาวจับอยู่มากกว่าอย่างเห็นได้ชัด ลักษณะของฝ้าขาวนี้ต่างจากตะกั่วขาวตรงบริเวณกลางหัวสูบในประเด็นของลักษณะผิว ซึ่งเห็นได้ว่าตะกั่วมีผิวที่เรียบและแน่น ส่วนฝ้ามีลักษณะที่หยาบและดูขรุขระ ที่น่าสังเกตอีกประการคือ ตะกั่วชมพูขาวเกิดบริเวณที่มีส่วนผสมน้ำมันหนา (บริเวณใกล้หัวฉีด และ ช่องฉีดออกจากห้องเตรียมเผา) ส่วนฝ้าขาวเกิดอยู่บริเวณที่มีส่วนผสมน้ำมันบาง (ขอบด้านนอก) ในอีกมุมมองหนึ่ง ตะกั่วชมพูขาวเกิดในบริเวณที่มีความร้อนสูง (ตรงกลาง) ส่วนฝ้าขาวเกิดบริเวณความร้อนต่ำ (รอบนอก)

3.2.5 ผิวข้างลูกสูบ (รูป 4)

ลักษณะโดยทั่วไปคือเครื่อง DI มีคราบตะกั่วดำจับสะสมอยู่มากกว่า IDI มาก ซึ่งความดำของเครื่อง DI นั้น มีลงไปจนถึงสันล่างของแหวนอัดตัวที่สอง ตลอดจนภายในร่องแหวนอัด แต่นับแต่ร่องแหวนน้ำมันลงไปนั้นมีความสะอาดดี สันนิษฐานได้ว่าตะกั่วดำนี้เกิดจากการเผาไหม้เป็นบางส่วน (partial combustion) ของน้ำมันปาล์มที่เกาะมากับก๊าซพ่นผ่าน (blow by gas) ส่วนเครื่อง IDI มีการจับตัวเพียงเล็กน้อย ซึ่งนับว่าเป็นกรณีที่น่าพอใจ

3.2.6 หัวฉีดน้ำมัน (รูป 5)

มีการจับตัวของตะกอนหนาแน่นมาก ในเครื่อง DI คราบตะกอนสีดำจับตัวอยู่บริเวณรอบๆ ผิวของหัวฉีด แต่จากการสังเกตและสัมผัสจัดได้ว่าเป็นตะกอนที่ไม่แข็งตัวมาก มีลักษณะคล้ายดินน้ำมันมากกว่า หากใช้เล็บขูดเบาๆ จะหลุดออกได้โดยง่าย ส่วนเครื่อง IDI มีลักษณะเป็นตะกอนแข็งสีขาว และสีดำแยกบริเวณกันอยู่ ซึ่งนับว่าเป็นลักษณะพิเศษที่น่าสนใจมาก วงกลมสีดำที่อยู่โดยรอบนั้นไม่ได้สัมผัสอยู่กับห้องเผาเตรียมโดยตรงแต่เป็นผิวของแหวนรองบ่าหัวฉีด ส่วนรูปด้านข้าง (รูป 6) ที่เห็นหัวฉีดของ IDI ภายหลังจากเผาไหม้เป็นวัฏรายนัยนั้นก็เห็นรูปด้านข้างของแหวนรองบ่าหัวฉีดที่ติดมากับหัวฉีดในการถอดออกมาจากเครื่องยนต์เช่นกัน การจับตัวของตะกอนในบริเวณรอบๆ หัวฉีดนี้ ตราบเท่าที่ไม่อุดตันรูหัวฉีด ก็ไม่น่าจะเป็นอันตรายโดยตรงต่อเครื่องยนต์ เพราะปริมาณที่น้ำมันฉีดเข้ากระบอกสูบจะยังคงเท่าเดิม เนื่องจากระบบสูบน้ำมันเป็นแบบการขจัดบวก(positive displacement) แต่อาจทำให้รูปแบบของฝอยน้ำมันที่ออกจากหัวฉีดเปลี่ยนแปลงไปบ้าง เพราะตะกอนจะไปขวางแนวทางการฉีดในระยะแรกๆ ที่ออกจากหัวฉีด ซึ่งจะทำให้กระทบต่อสมรรถนะเครื่องยนต์ได้ เพราะอาจทำให้คุณลักษณะการเผาไหม้เปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อเครื่องยนต์โดยอ้อมในระยะยาว เช่น เมื่อรูปแบบการของฝอยน้ำมันไม่ดี ก็อาจทำให้การเผาไหม้ไม่หมดจด มีตะกอนเกิดขึ้นสะสมตามแหวนลูกสูบมากและอาจทำให้ลูกสูบติดตัวในที่สุด

เป็นที่น่าสังเกตว่าสำหรับเครื่อง IDI การจับตัวของตะกอนที่กระบอกสูบนี้อาจมีปริมาณน้อย แต่ที่หัวฉีดกลับมีปริมาณมาก แต่การถอดหัวฉีดออกมาทำความสะอาดนั้นกระทำได้ง่ายกว่าการถอดลูกสูบลูกสูบมาก ดังนั้นในขั้นนี้พอสรุปได้ว่าหากมีความจำเป็นฉุกเฉินอาจใช้น้ำมันปาล์มดิบล้างในเครื่องยนต์ IDI ได้ โดยต้องทำการอุ่นร้อน และ ต้องถอดหัวฉีดออกมาทำความสะอาดเป็นระยะๆ

3.2.7 แหวนลูกสูบ (รูป 7)

โดยทั่วไปแหวนอัดของเครื่อง DI มีตะกอนดำจับมากกว่าในเครื่อง IDI มากพอสมควร ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการจับตัวที่ผิวลูกสูบลูกสูบดังที่ได้อธิบายและวิเคราะห์ไว้แล้ว แต่การจับตัวนี้จำกัดอยู่เฉพาะบริเวณผิวที่สัมผัสอยู่กับร่องแหวนเท่านั้น ไม่ได้จับตัวอยู่ที่ผิวแหวนที่สัมผัสอยู่กับผิวของปลอกสูบเลย ซึ่งนับว่าเป็นสัญญาณที่ดีเพราะจะไม่เกิดอาการสูบลด การที่ตะกอนจับตัวอยู่บนผิวแหวนที่แนบกับร่องแหวนนี้ไม่น่าเป็นผลเสียโดยตรงต่อเครื่องยนต์ แต่อาจมีผลเสียโดยอ้อม เพราะแหวนลูกสูบ

ไม่ได้ทำหน้าที่รักษาความดันอากาศในระบบสูบเท่านั้นแต่ยังช่วยในการถ่ายเทความร้อนจากลูกสูบผ่านผิวที่แนบอยู่กับร่องแหวนไปยังกระบอกสูบอีกด้วย ดังนั้นการที่ร่องแหวนมีตะกันจับมากจะทำให้ลดอัตราการส่งผ่านความร้อนลงได้ ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิลูกสูบสูงขึ้น และหากอุณหภูมิสูงมากอาจทำให้เกิดการเสียหายโดยตรง หรือ เกิดการขยายตัวจนอัดแน่นกับกระบอกสูบทำให้เกิดการติดตัวของลูกสูบได้ ดังนั้นการจับตัวของตะกันในลักษณะนี้จึงเป็นสิ่งไม่พึงประสงค์

3.2.8 กำลังเครื่องยนต์ (แผนภูมิ 17)

จะเห็นได้ว่ากำลังเครื่องยนต์ลดลงในแต่ละวันจนถึงสิ้นวันที่ 9 ซึ่งครบ 135 ชม. จึงได้ทำการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องใหม่ ปรากฏว่าในวันที่ 10 กำลังเครื่องยนต์ดีขึ้น (แต่ก็ไม่ได้เท่ากับตอนเริ่มต้นของวันที่ 1) หลังจากนั้นกำลังก็เริ่มลดลงอีก ลักษณะโดยทั่วไปของเครื่อง DI และ IDI มีความเหมือนกัน แต่มีความแตกต่างกันในเชิงปริมาณ กล่าวคือ เครื่องยนต์ DI มีกำลังที่ตกต่ำลงในแต่ละวันสูงกว่าเครื่องยนต์ IDI เมื่อคิดเป็นสัดส่วนกับค่ากำลังของวันที่ 1 ตัวชี้วัดที่สำคัญอีกตัวหนึ่งคือค่าการต่ำลงของกำลังสุทธิภายหลังจากเปลี่ยนน้ำมันเครื่อง นั่นคือค่าความแตกต่างระหว่างวันที่ 1 กับวันที่ 10 ค่ากำลังลดลงของเครื่อง DI คิดเป็น 10.74% ในขณะที่ของ IDI คิดเป็น 3.35% ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากำลังที่ลดลงของเครื่อง IDI น้อยกว่าเครื่อง DI (ซึ่งแสดงว่า IDI ดีกว่า DI ในประเด็นนี้) สาเหตุของการลดลงของกำลังนี้อาจมีสาเหตุมาจากสี่ประการคือ

- 1) รูปแบบของผอยน้ำมันเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากตะกันจับที่หัวฉีด ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำลง
- 2) ความฝืดที่เพิ่มขึ้นจากการที่มีเขม่าเกาะตัวที่บริเวณหัวลูกสูบ
- 3) การเพิ่มขึ้นของความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น
- 4) การขยายตัวมากขึ้นของลูกสูบเนื่องจากความร้อนที่เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลจากการลดลงของการถ่ายเทความร้อนอันเนื่องมาจากตะกันจับตัวที่ร่องแหวนอัด

ทั้งนี้บนสมมติฐานที่ว่า ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศมีค่าคงที่ (ซึ่งเป็นเงื่อนไขของการทดลองนี้)

เป็นที่น่าสนใจมากกว่า กำลังเครื่องไม่ลดลงในระหว่างการเดินเครื่องในแต่ละวันเป็นเวลา 15 ชม. แต่ลดลงในวันถัดไป ซึ่งอาจสันนิษฐานได้ว่ามีสาเหตุสองประการคือ

- 1) การสะสมของตะกันที่หัวฉีดมีความอ่อนตัวในขณะที่กำลังเดินเครื่องอยู่ (เครื่องร้อน) ทำให้อัตราและรูปแบบการฉีดน้ำมันเป็นไปดังเดิมเหมือนกับตอนเริ่มเดินเครื่องในแต่ละวัน แต่เมื่อ

ดับเครื่องและเครื่องเย็นลงโดยไม่มีการฉีดน้ำมันออกมาปล่อยตลอดเวลา ตะกรันก็เริ่มหดและแข็งตัวเข้ามาปิดรูหัวฉีด

- 2) ในขณะที่ดับเครื่อง ลิ้นทางส่งของปั๊มจะปิดตัวแต่ในช่วงนี้มีช่วงเวลาสั้นๆ ที่ลิ้นปิดตัวยังไม่สนิทดีและปั๊มก็ส่งน้ำมันเข้าไปในหัวฉีดได้เล็กน้อยในปริมาณที่ทำให้เกิดความดันที่ทำให้หัวฉีดเปิดได้พอดี ทำให้เกิดการหยดของน้ำมันที่หัวฉีด ซึ่งไม่เกิดการเผาไหม้ (เพราะเครื่องได้ถูกดับแล้ว) แต่ถูกความร้อนตกค้างของหัวฉีดทำให้เกิดตะกรัน ซึ่งสะสมมากขึ้นทุกวัน

ในทั้งสองสาเหตุดังกล่าวนี้ อาจสามารถแก้ไขได้ คือ ก่อนดับเครื่องควรทำการล้างเครื่องสัก 1 นาที ด้วยน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันผสมสารชะล้างบางชนิดก็อาจจะช่วยได้มาก ทั้งนี้เพราะสารตกค้างยังอ่อนตัวอยู่ ซึ่งวิธีการนี้จะเหมาะสมและเป็นไปได้สำหรับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ที่ใช้งานเป็นเวลานานในแต่ละครั้ง เช่น เครื่องเรือ รถไฟ รถประจำทางที่วิ่งระยะทางไกลโดยไม่หยุดเครื่อง เครื่องยนต์ในโรงงาน และ โรงงานไฟฟ้าเป็นต้น แต่ไม่สะดวกสำหรับเครื่องยนต์ส่วนบุคคลหรือรถบรรทุกขนาดเล็กที่มีระยะเวลาใช้งานในแต่ละครั้งเป็นช่วงสั้นๆ เท่านั้น และมีการติดดับเครื่องบ่อยๆ เนื่องจากทำให้ไม่สะดวก ยกเว้นว่าเป็นการชะล้างในเวลาอันสั้น เช่น 3-5 วินาที ซึ่งอาจเป็นไปได้ถ้าสาเหตุที่เกิดการสะสมมาจากสาเหตุที่สองข้างบน

3.2.9 การเปลี่ยนไส้กรองน้ำมัน

น้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลองได้รับการกรองไว้แล้วก่อนนำเข้าสู่เครื่องยนต์ โดยทำการกรองที่ความถี่ไส้กรอง 5 ไมครอน (ซึ่งเท่ากับไส้กรองที่ติดตั้งในเครื่องยนต์ดีเซล) ดังนั้นจึงไม่น่าจะต้องมีการเปลี่ยนไส้กรองในเครื่องยนต์บ่อยนัก แต่กลับปรากฏว่ามีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนไส้กรองทุกๆ 3 วัน (45 ชม.) ซึ่งยังไม่สามารถวิเคราะห์หาเหตุผลที่พอเป็นไปได้

การอุดตันอาจเกิดได้จากสองสาเหตุด้วยกันคือ อุดตันด้วยอนุภาคแขวนลอยต่างๆ และ อุดตันด้วยความเป็นไข ซึ่งในประเด็นแรกได้กรองออกไปแล้วก่อนนำเข้าเครื่อง และในประเด็นหลังได้ทำการอุ่นร้อนที่ 50C แล้วจึงไม่มีการเป็นไข

จากกรณีทั้งหลายที่ได้วิเคราะห์สามารถสรุปข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความคงทนของเครื่องยนต์เป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบความคงทนของเครื่องยนต์ฉีดอ้อมและฉีดตรง

ประเด็น	เครื่องแบบฉีดอ้อม(IDI)	เครื่องแบบฉีดตรง(DI)
การปนเปื้อนน้ำมันเครื่อง	ไม่มีการปนเปื้อน	ปนเปื้อนประมาณ 8%
การลดลงของกำลังงานเมื่อเดินเครื่อง 135 ชม.	ลดพอสมควร (9%)	ลดมาก (15%)
การลดของกำลังหลังจาก 135 ชม. และทำการเปลี่ยนน้ำมันเครื่อง	3.35 %	11%
การลดกำลังสุทธิตลอด 270 ชม. (ก่อนเปลี่ยนน้ำมันเครื่อง)	12	18
การสะสมที่ฝาสูบและลิ้น	มากพอสมควร มีสีเทาคล้ำ	มากพอสมควร มีสีชมพูแซมขาว
การสะสมที่หัวฉีด	ค่อนข้างมาก คราบแข็งสีขาว กับสีดำแยกบริเวณกัน	ค่อนข้างมาก คราบน้ำมันเกือบแข็งสีดำคล้ำ
การสะสมที่กระบอกสูบ	เล็กน้อย	มากพอสมควร
การสะสมที่ผิวด้านบนลูกสูบ	มีคราบขาวริมขอบมากพอสมควร และมีตะกั่วดำแดงตรงกลาง	ตะกั่วดำริมขอบ ตะกั่วขาว ดำแดง ตรงกลาง
การสะสมที่ผิวด้านข้างลูกสูบตอนบน	ตะกั่วดำเล็กน้อย	ตะกั่วดำค่อนข้างมาก
การสะสมที่แหวนอัดตัวบน	ตะกั่วดำเล็กน้อย	ตะกั่วดำค่อนข้างมาก
การสะสมที่แหวนอัดตัวล่าง	สะอาดดี	ตะกั่วดำเล็กน้อย
การสะสมที่ร่องแหวนกวาดน้ำมัน	ไม่มี	ไม่มี

บทที่ 4

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

การทดลองในโครงการวิจัยนี้พบว่าได้ผลลัพธ์เกินที่ได้คาดหวังไว้ เพราะได้ข้อมูลค่อนข้างชัดเจนและเป็นประโยชน์มาก ซึ่งพอจะสรุปพร้อมข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไปในอนาคต ดังนี้

- 4.1 การใช้น้ำมันปาล์มดิบลว่นร้อนที่ 50°C ไม่ทำให้สมรรถนะในระยะสั้นของเครื่องยนต์ต่ำลงในภาพรวมเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลปกติ
- 4.2 ในภาพรวมการใช้น้ำมันปาล์มดิบลว่นร้อนที่ 50°C สามารถใช้ได้ดีกว่าในเครื่องยนต์แบบฉีดอ้อม (IDI) เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์แบบฉีดตรง (DI)
- 4.3 ผลกระทบระยะยาวกว่าช่วงการทดลอง (270 ชม.) ไม่อาจกำหนดได้ชัดเจน ว่าอาการเครื่องยนต์จะทรงหรือทรุดไปกว่านี้ หากอาการทรงตัวก็อาจหมายความว่าสามารถใช้น้ำมันปาล์มดิบลว่นได้ดีพอสมควรในเครื่องยนต์แบบ IDI
- 4.4 ควรทำการทดสอบความคงทนให้ยาวนานกว่านี้ โดยให้มีการทดลองครบ 1,000 ชั่วโมง
- * 4.5 ควรมีการทดลองโดยการลว่นน้ำมันให้ร้อนประมาณ 100-140 องศา เพราะที่ช่วง 100 องศา ความหนืดของน้ำมันจะพอๆ กันกับความหนืดของน้ำมันเอสเตอร และที่ 140 องศาความหนืดจะพอๆ กันกับน้ำมันดีเซล แต่ต้องมั่นใจว่าที่อุณหภูมิสูงระดับนี้นั้นจะไม่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินน้ำมัน เช่น ซีลยางในระบบปั้มน้ำมัน และ ท่อทางดูดของปั้มน (ตัวอย่าง)
- 4.6 หากใช้น้ำมันดีเซลชำระเครื่องยนต์สัก 1 นาทีก่อนหยุดเครื่องอาจทำให้หัวฉีดสะอาดมากกว่านี้
- * 4.7 การติดตั้งระบบลว่นร้อนนั้นหากทำในเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะคุ้มทุนและสะดวกต่อการใช้งานมากกว่าเครื่องยนต์ขนาดเล็ก ↳ ใช่?
- 4.8 ในสภาวะปกติ เช่น ในยามขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างหนักของประเทศไทย อาจจำเป็นต้องใช้น้ำมันปาล์มดิบในการเดินเครื่องยนต์ ข้อมูลที่ได้ในการวิจัยนี้จะช่วยในการตัดสินใจใช้งาน และการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ได้พอสมควร เพื่อป้องกันการชำรุดของเครื่องยนต์

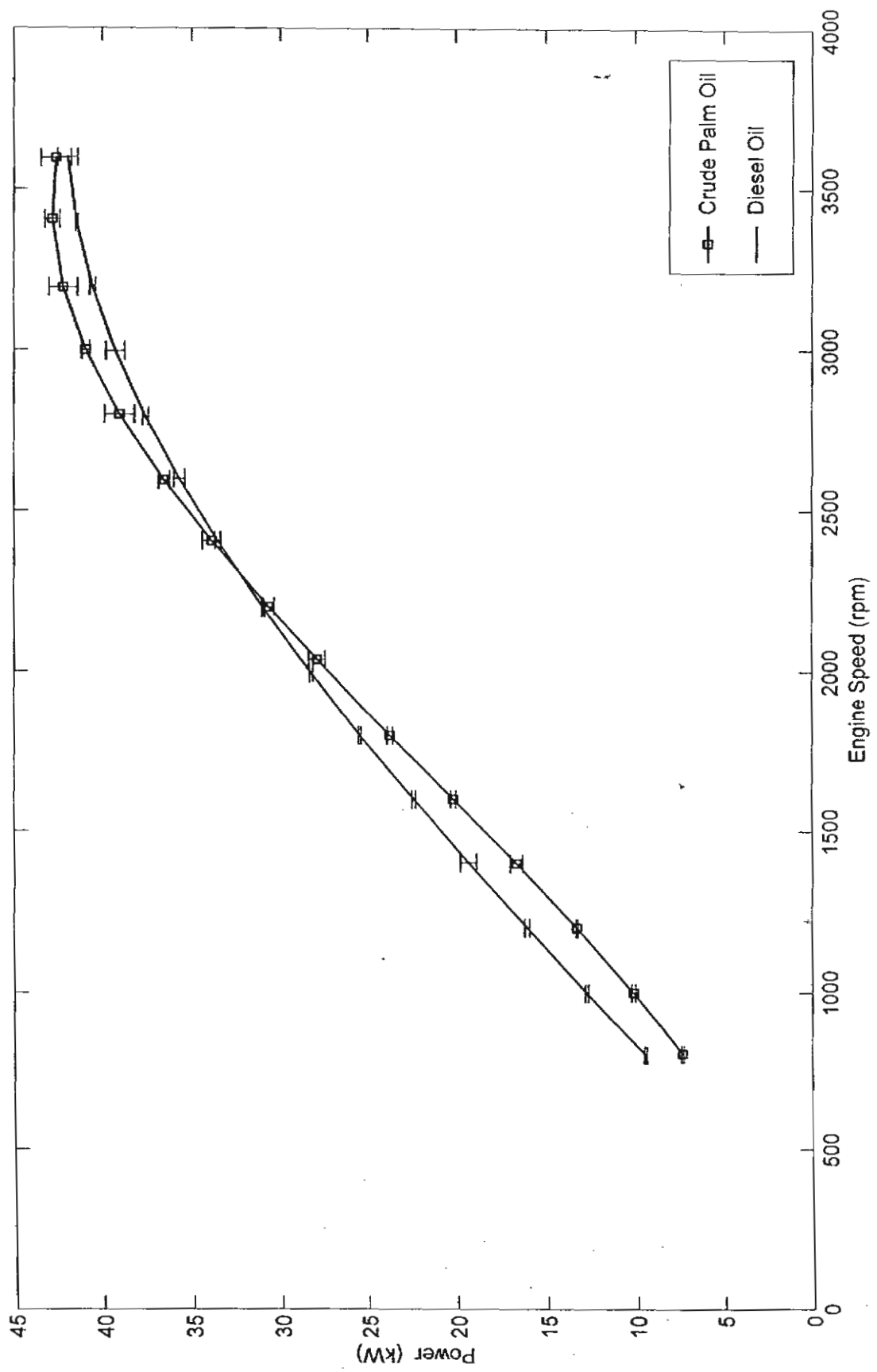
- * 4.9 ควรทดลองใช้จริงในสถานที่ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่อง IDI เช่น ในเรือ รถไฟ รถยนต์โดยสารประจำทาง โรงไฟฟ้าขนาดเล็ก โรงสี เป็นต้น
- * 4.10 ควรทำการสำรวจเครื่องยนต์ดีเซลในกิจการต่างๆ เช่น ในเรือประมง รถไฟ รถยนต์โดยสารประจำทาง โรงไฟฟ้าขนาดเล็ก โรงสี โรงงาน เป็นต้น ว่าเป็นเครื่องยนต์ประเภทใด (ระหว่าง DI กับ IDI)

รายการเอกสารอ้างอิง

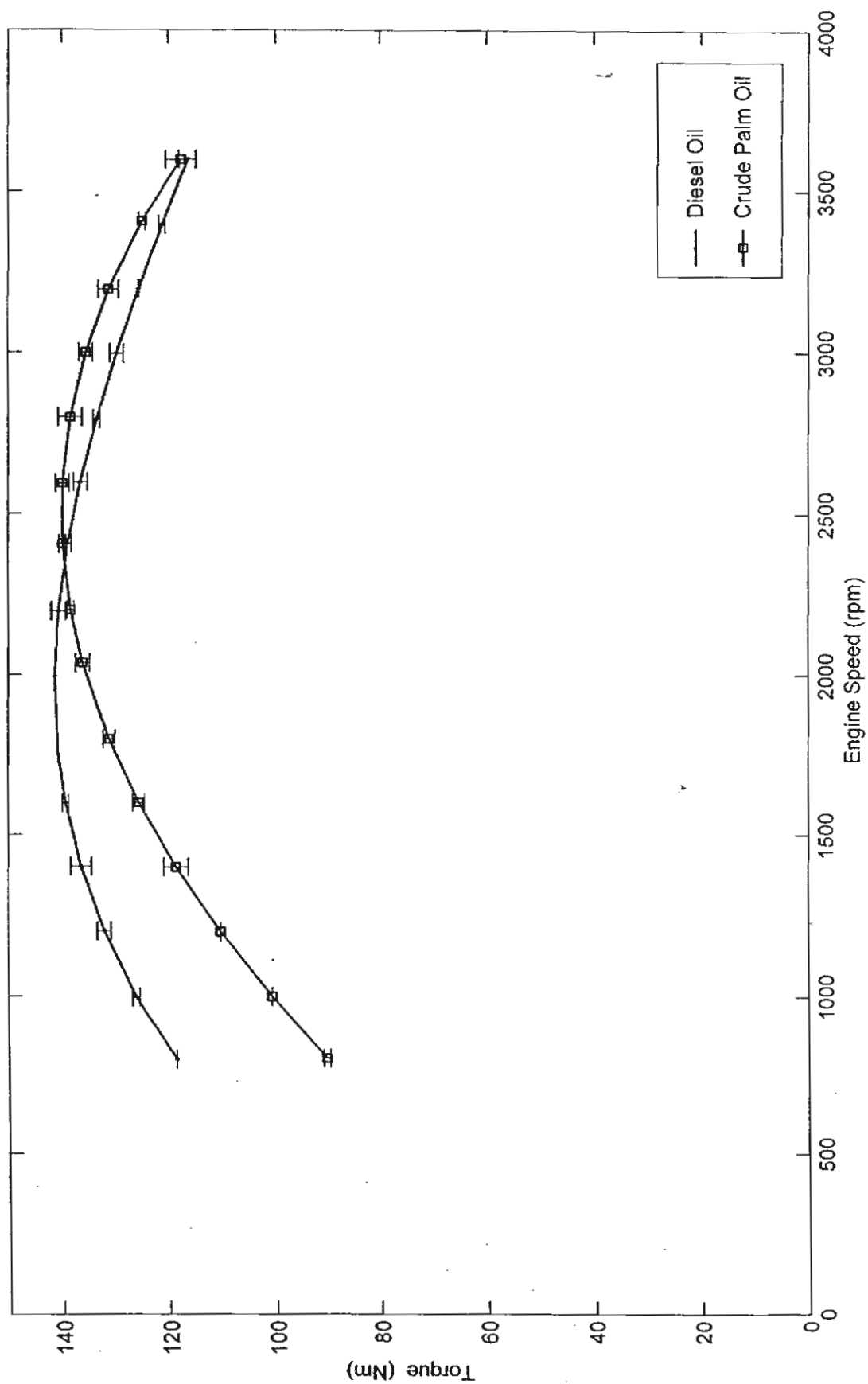
- [1] Knothe, G.; Dunn, R. and Bagby, M., "The Use of Vegetable Oils and Their Derivatives as Alternative Diesel Fuels," Oil Chemical Research, National Center for Agricultural Utilization Research, Agriculture Research Service, U.S. Department of Agriculture, 1996
- [2] Van Gerpen, J., "Cetane Number Testing of Biodiesel," Downloaded from <http://www.biodiesel.org>, Sept. 1996
- [3] Ziejewski, et. al., "Comparative Analysis of Plant Oil Based Fuels," Society of Automotive Engineering, SAE Paper 952061, 1995
- [4] Scholl, K.W. and Sorenson, S.C., "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine," Society of Automotive Engineer, SAE Paper
- [5] Ryan III, T.W., et al, "The Effects of Vegetable Oil Properties on Injection and Combustion in Two Different Diesel Engines," JAOCS, Vol. 61, no. 10, Oct. 1984, pp. 1610-1619
- [6] Karaomanoglu, F., et. Al, "Direct Use of Sunflower Oil as a Compression-Ignition Engine Fuel," Energy Sources, 22: 659-672, 2000.
- [7] Ozaktas, T., et. Al, "Alternative Diesel Fuel Study on Four Different Types of Vegetable Oils of Turkish Origin," Energy Sources, 19:173-181, 1997
- [8] Sapuan, S.M., et. Al, "The Use of Palm Oil as Diesel Fuel Substitute," Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, Vol. 210, pp. 47-53, 1996.
- [9] ทวีข จิตรสมบุญ, "โอกาสและปัญหาจากการใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซลในประเทศไทย," เอกสารร่วมเล่มบทความ, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลประเทศไทยครั้งที่ 15, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กทม., เล่ม 1, หน้า EM20-EM29, พ.ย. 2544

ภาคผนวก ก

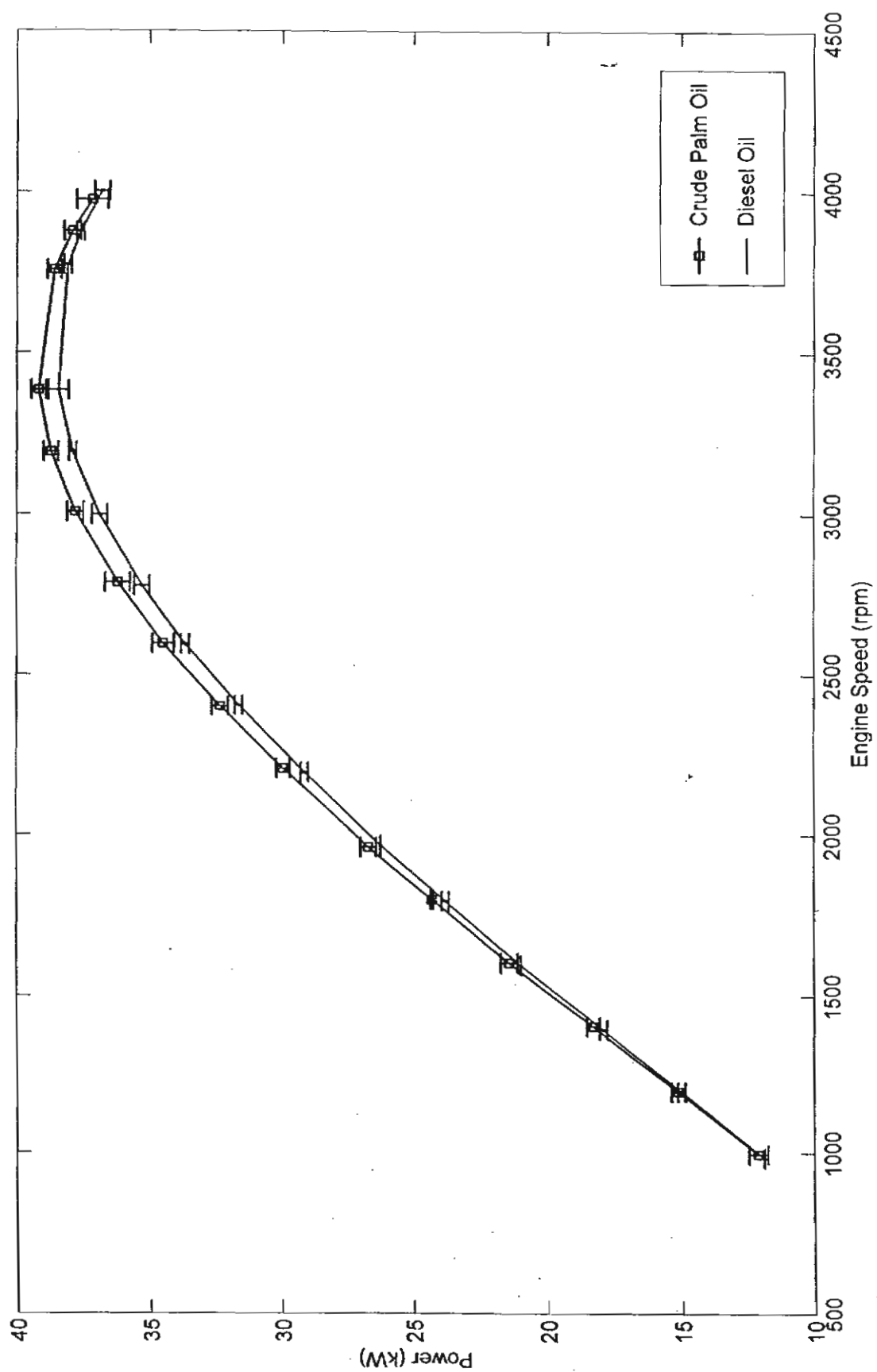
แผนภูมิข้อมูลการทดลอง



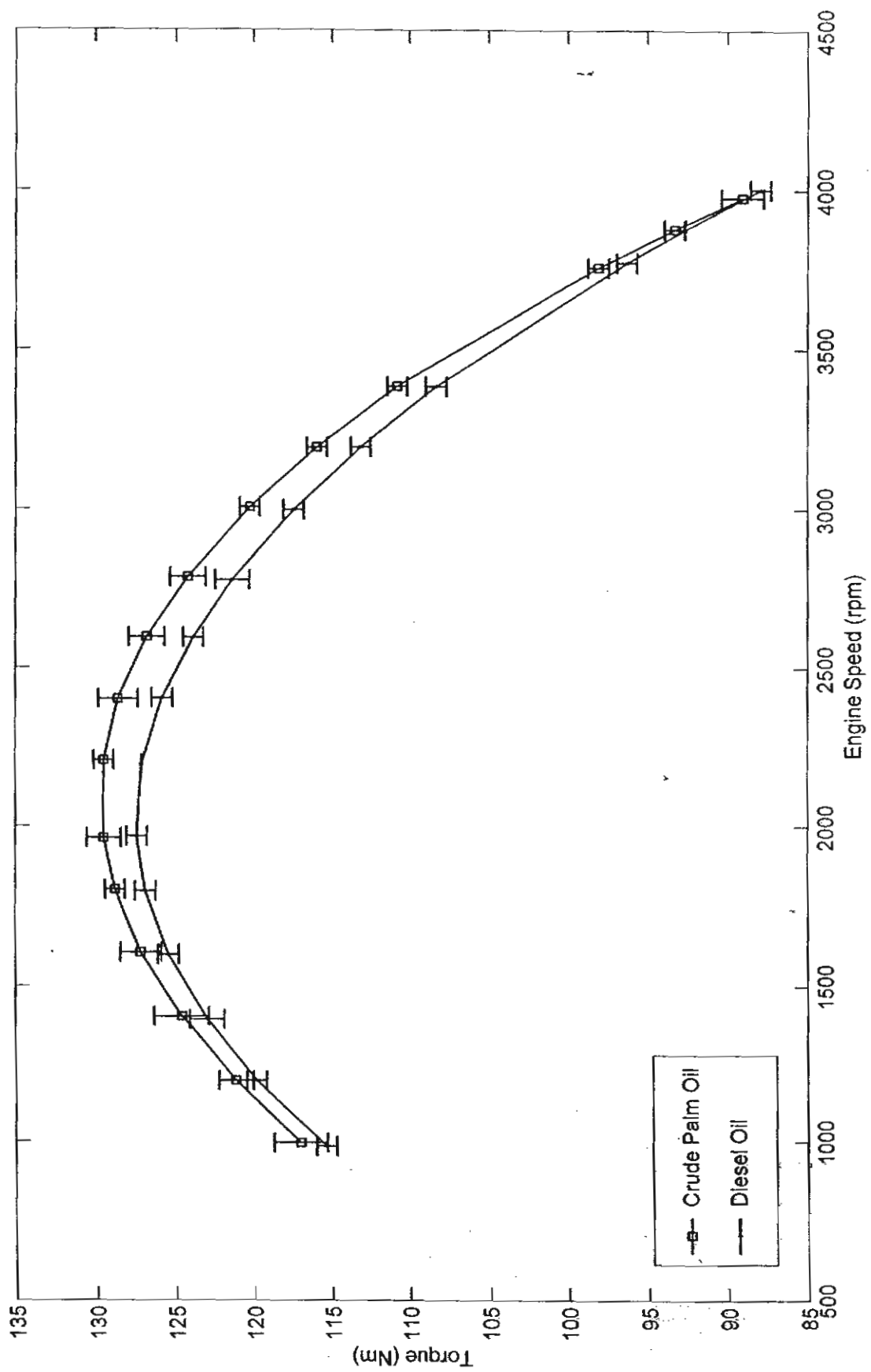
แผนภูมิที่ 1 : กำลังเครื่องยนต์แบบ DI ที่รอบเครื่องต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบสลับกับน้ำมันดีเซล



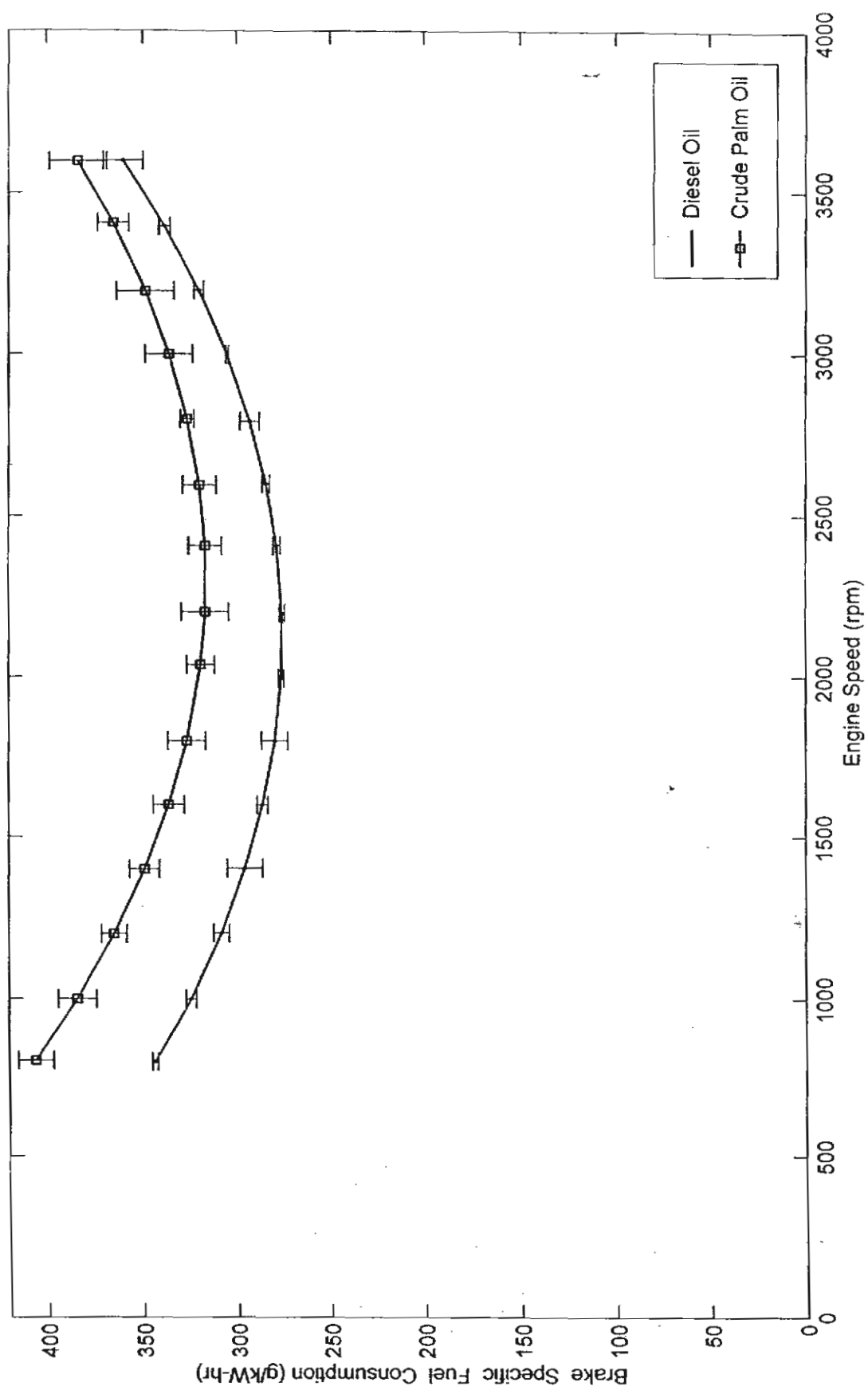
แผนภูมิที่ 2 : แรงบิดเครื่องยนต์แบบ DI ที่รอบเครื่องต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบล้วนเทียบกับน้ำมันดีเซล



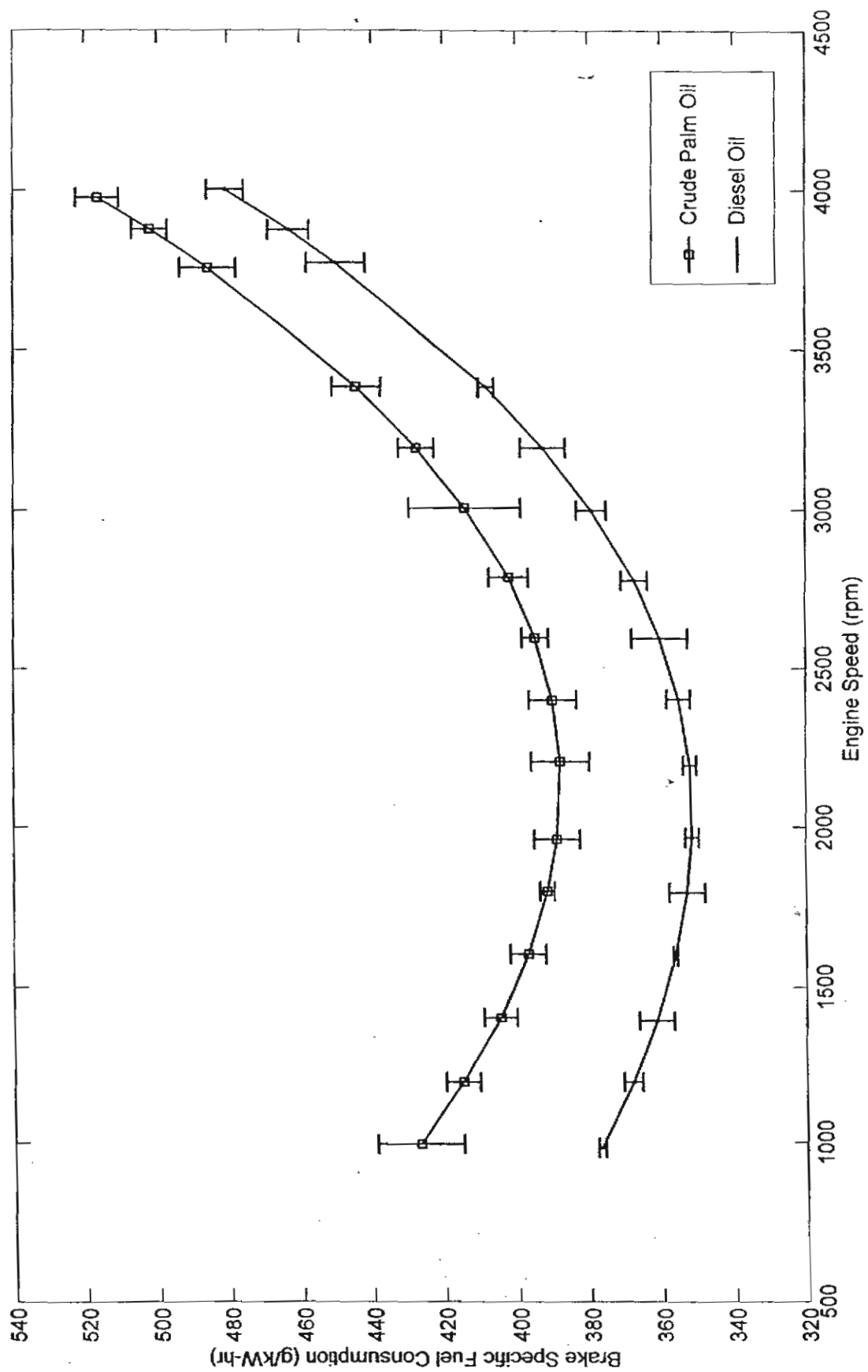
แผนภูมิที่ 3 : กำลังเครื่องยนต์แบบ IDI ที่รอบเครื่องต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบล้วนเทียบกับน้ำมันดีเซล



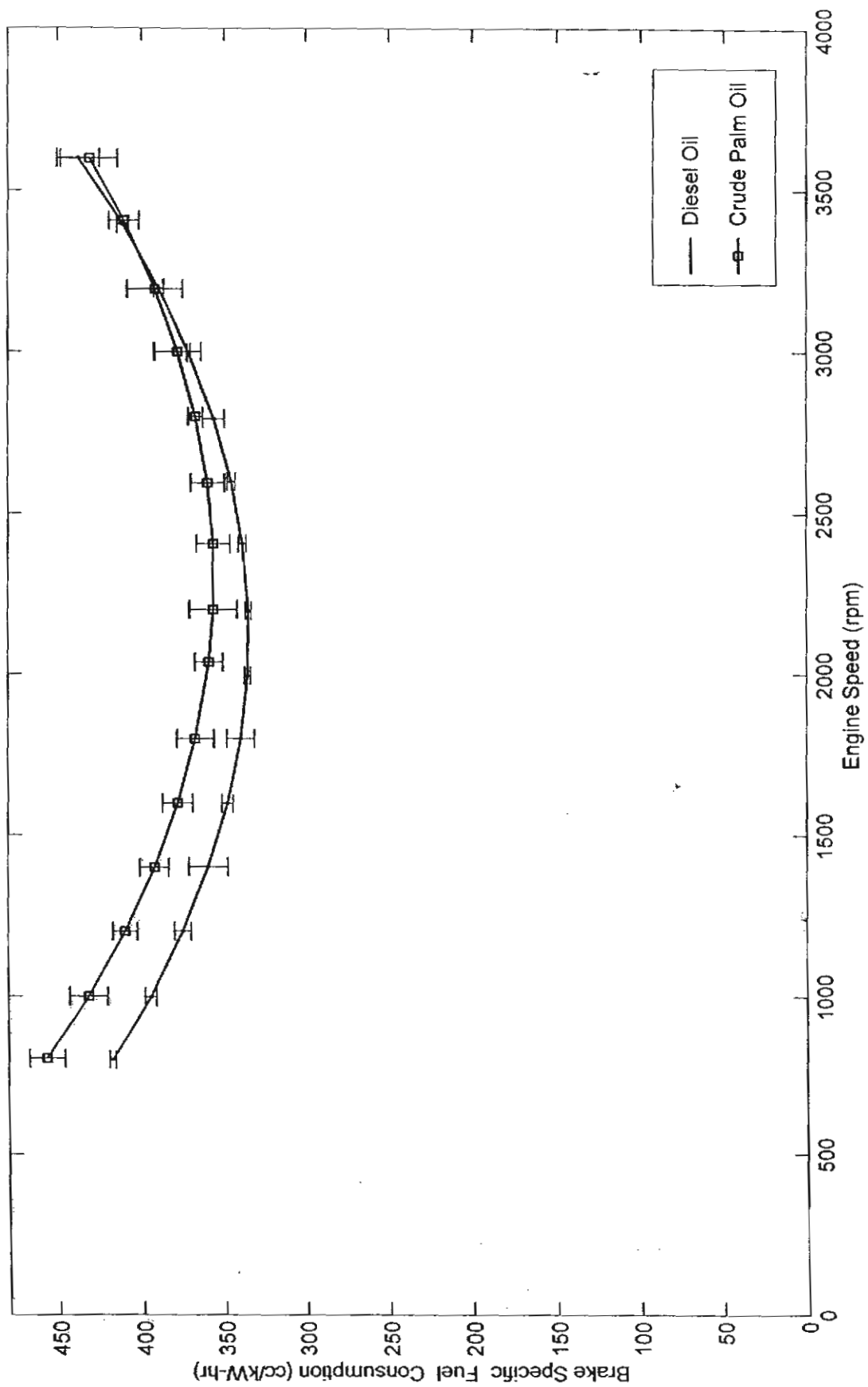
แผนภูมิที่ 4 : แรงบิดเครื่องยนต์แบบ IDI ที่รอบเครื่องต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบสลับกับน้ำมันดีเซล



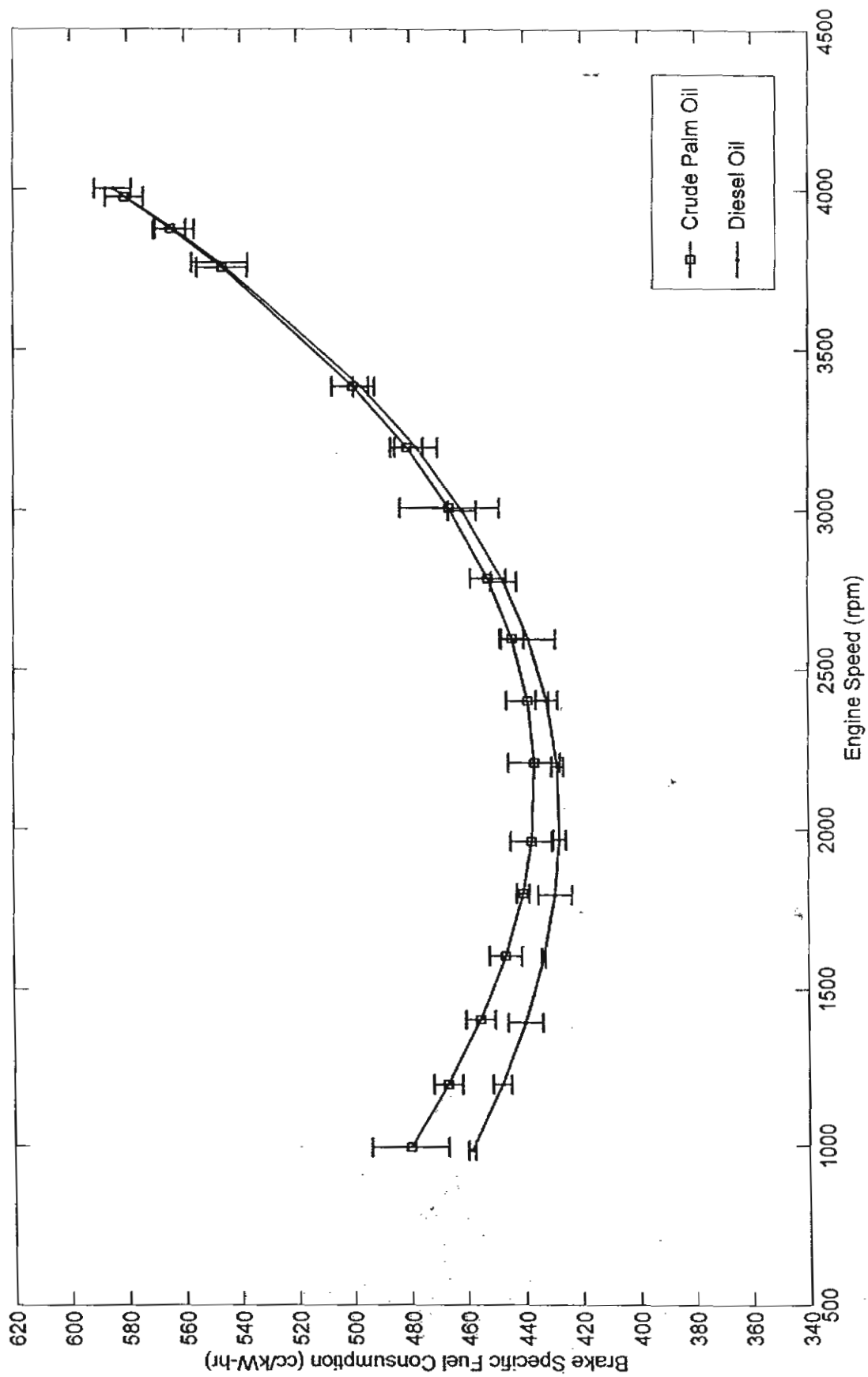
แผนภูมิที่ 5: อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แบบ DI (หน่วยวัด กรัมต่อนิกิวต์ชั่วโมง)



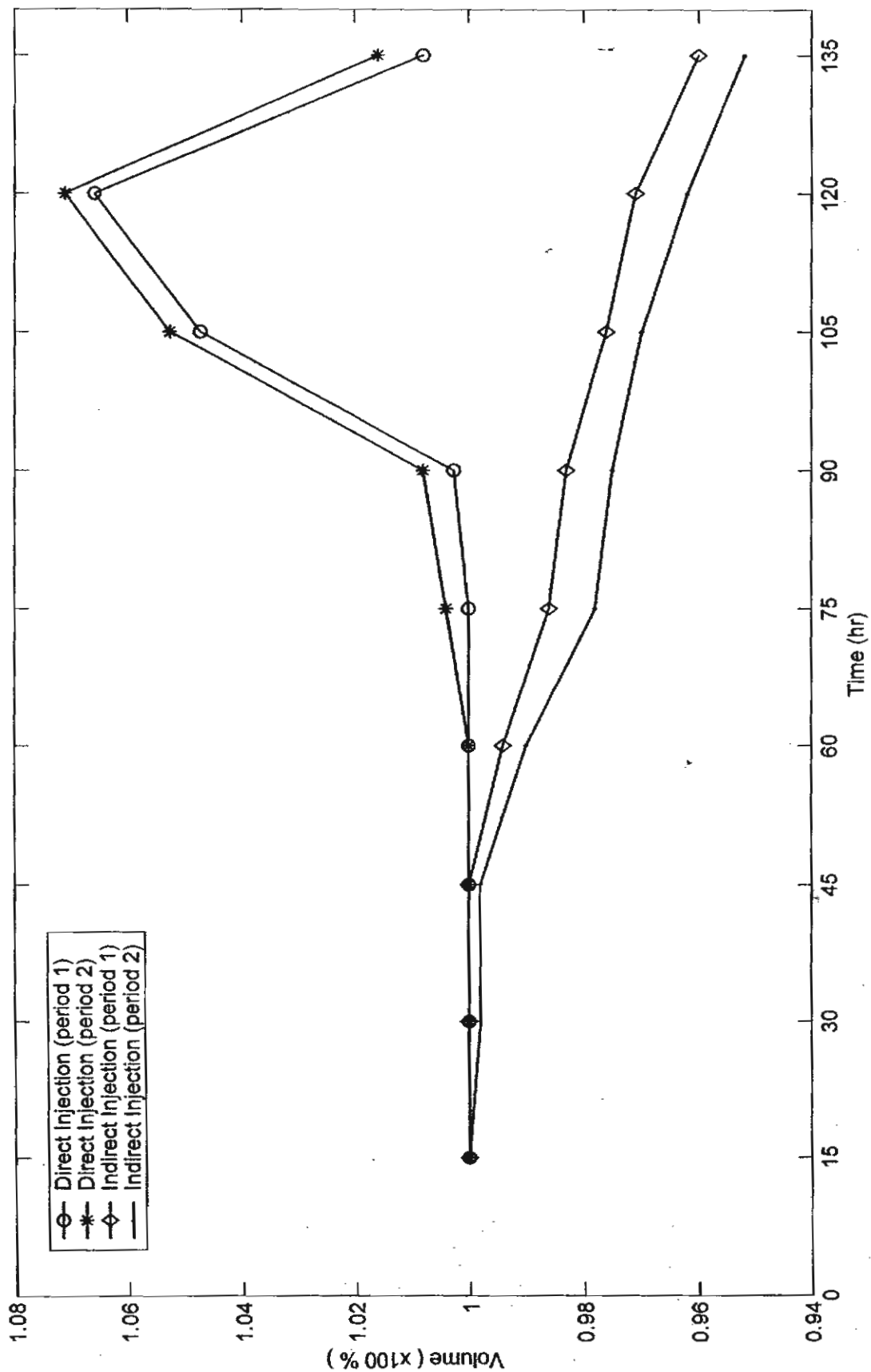
แผนภูมิที่ 6: อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แบบ IDI (หน่วยวัด กรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)



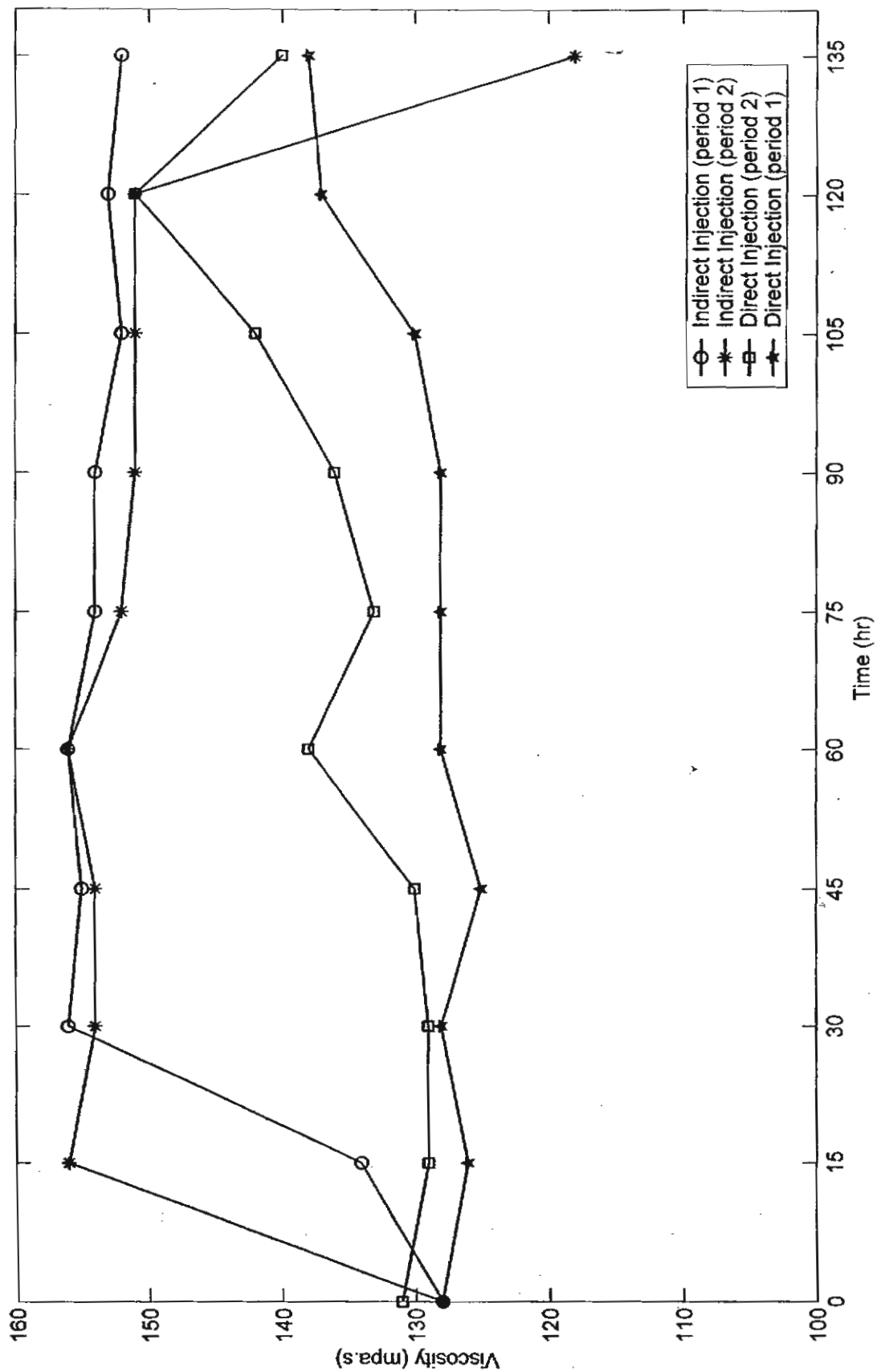
แผนภูมิที่ 7: อัตราการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แบบ DI (หน่วยวัด ซีซีต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)



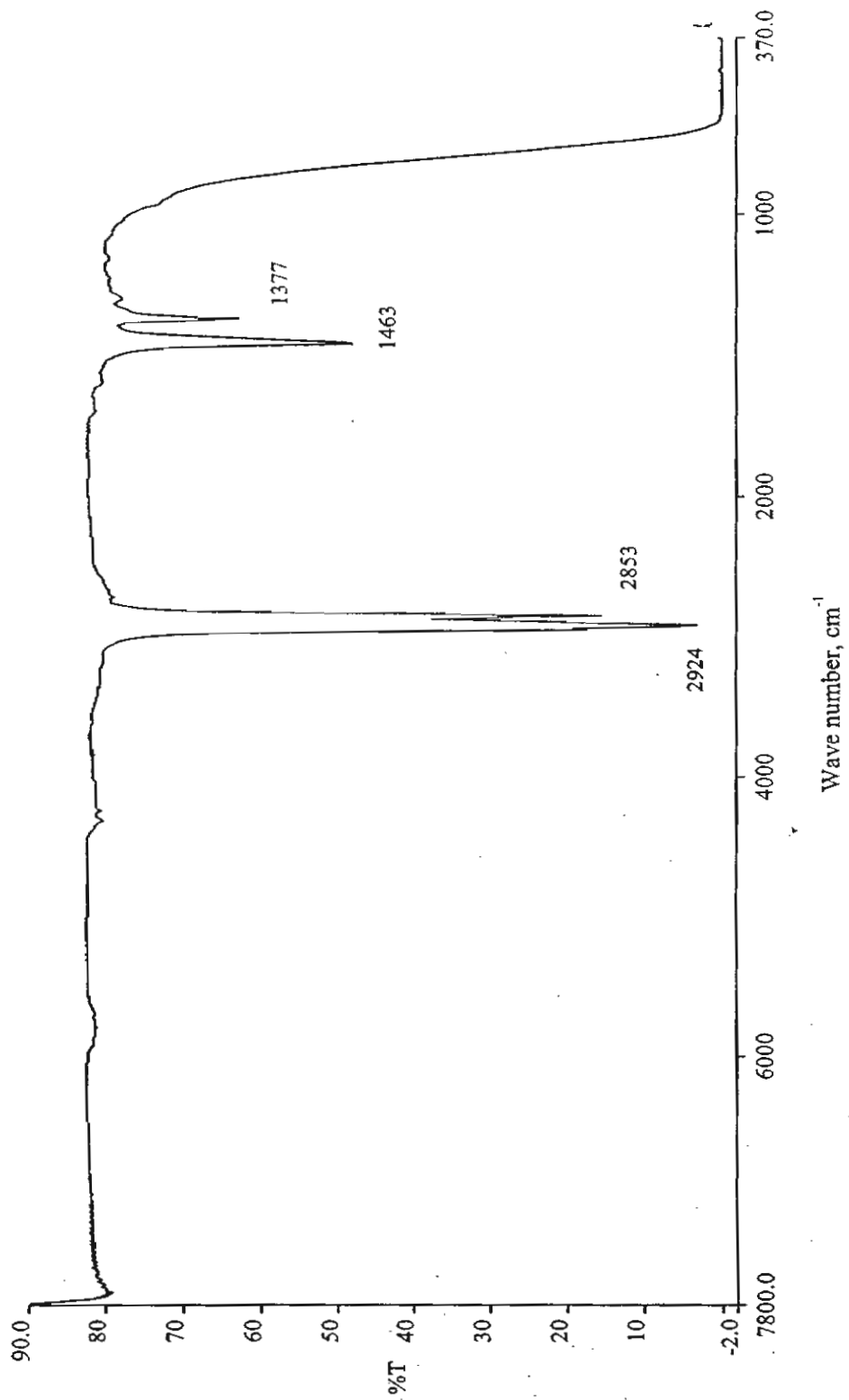
แผนภูมิที่ 8: อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แบบ IDI (หน่วยวัด ซีซีตอกิโลวัตต์ชั่วโมง)



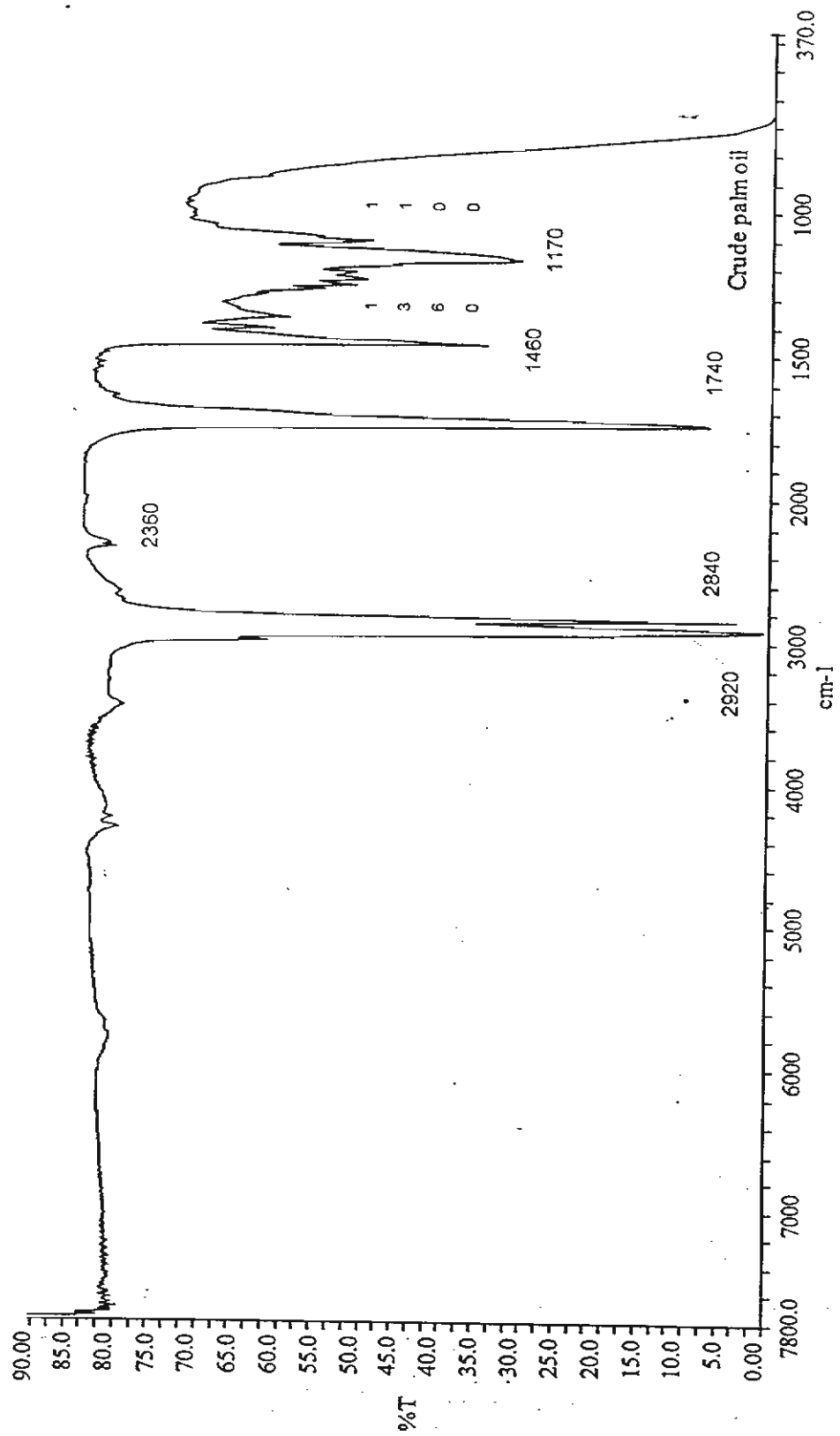
แผนภูมิที่ ๑: อัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ DI และ IDI ที่ระยะเวลาการใช้งานต่างๆ



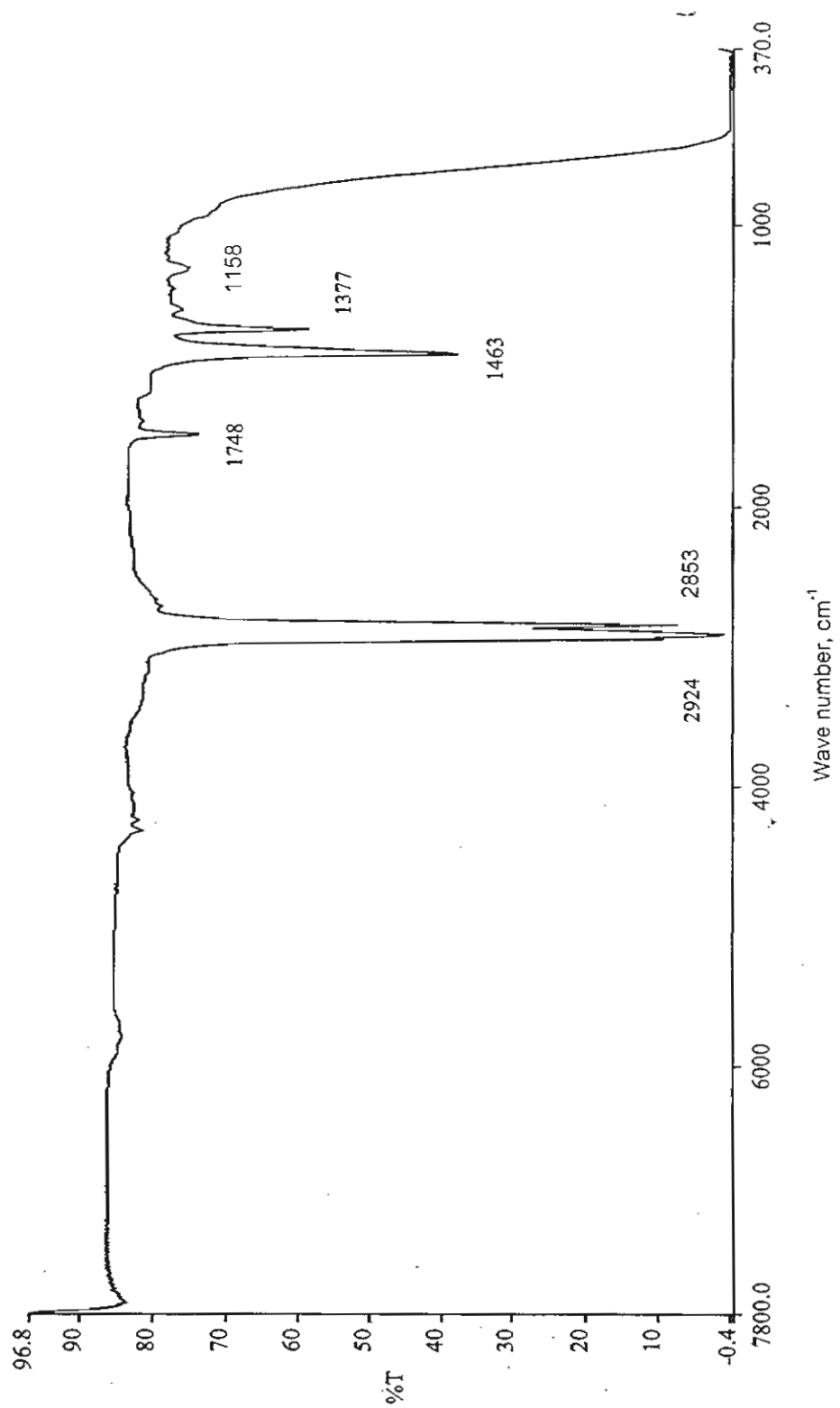
แผนภูมิที่ 10: การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์ DI และ IDI ที่ระยะเวลาการใช้งานต่างๆ



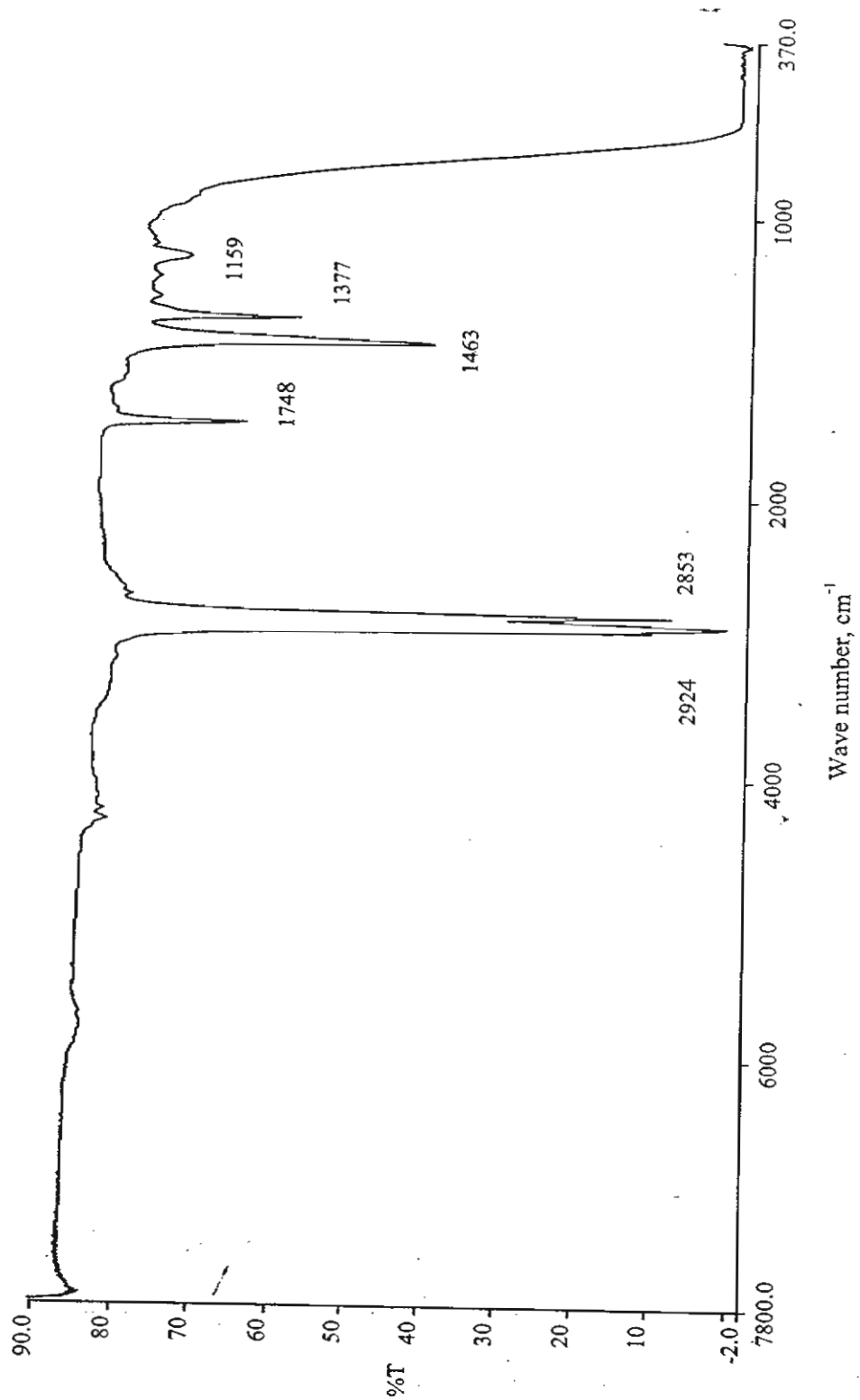
แผนภูมิที่ 11: เส้นกราฟ FTIR ของน้ำมันหล่อลื่น 100%



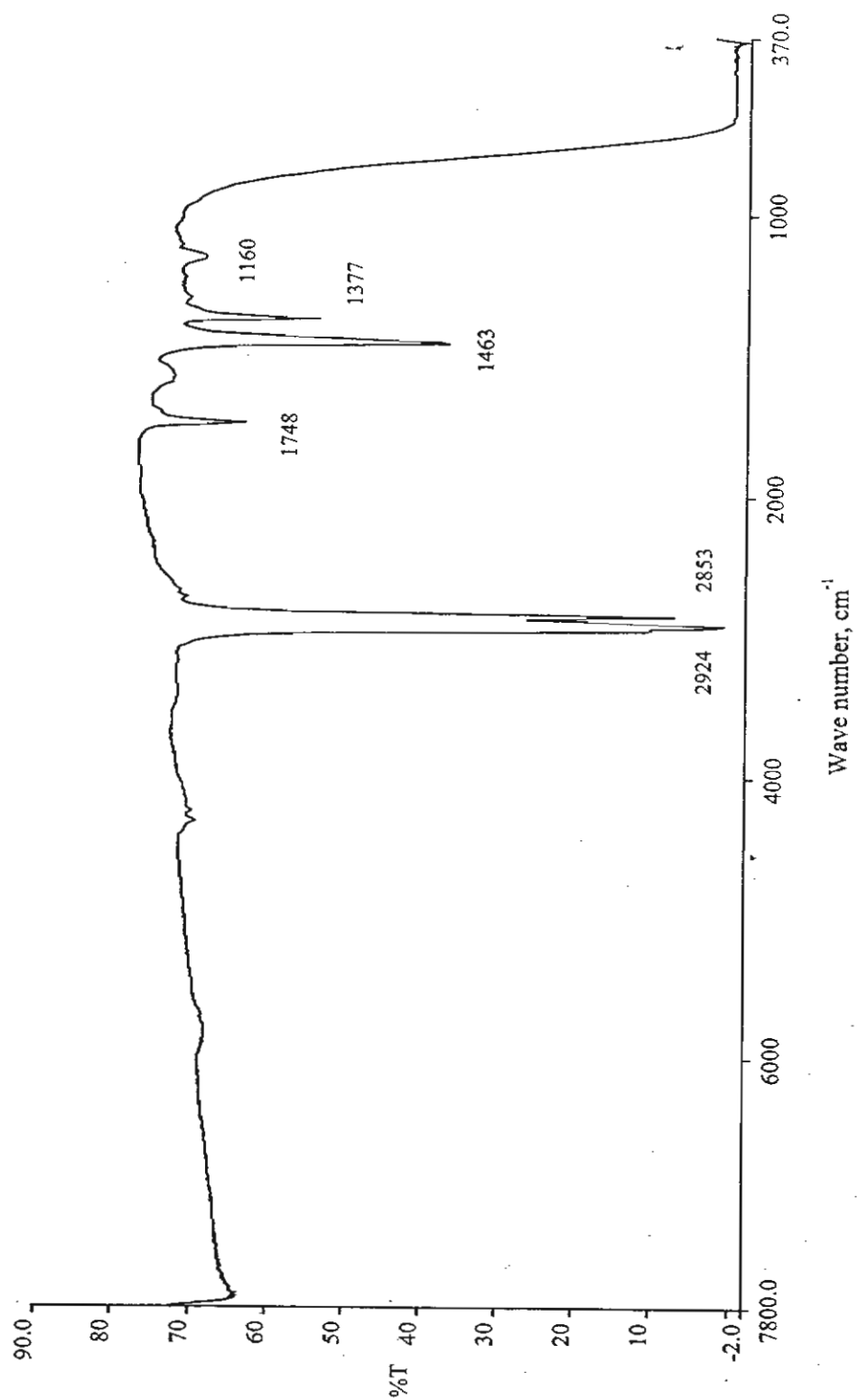
แผนภูมิที่ 12: เส้นกราฟ FTIR ของน้ำมันปาล์มดิบ 100%



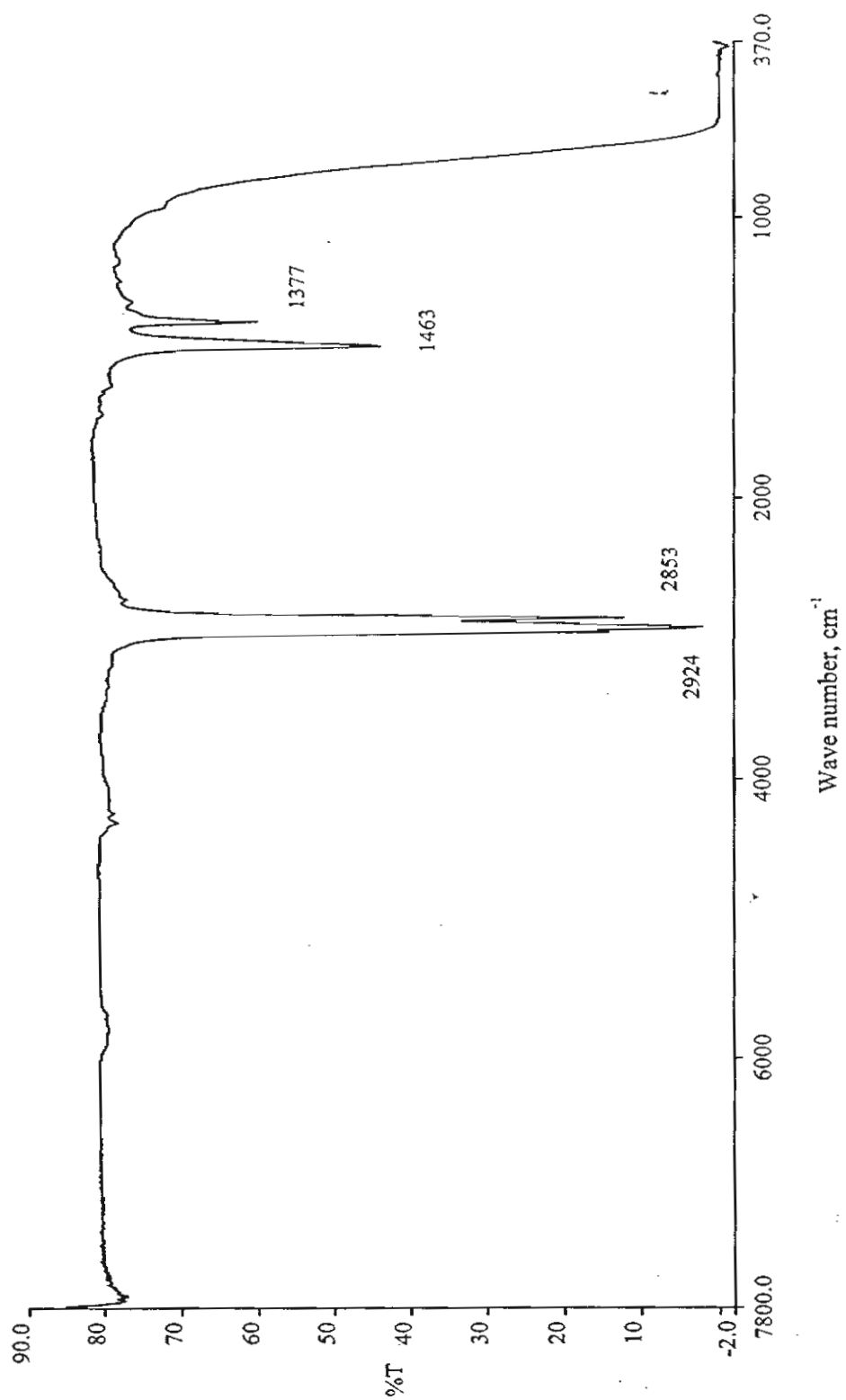
แผนภูมิที่ 13: เส้นกราฟ FTIR ของง้วน้ำมันปาล์มดิบ 95% ผสมกับน้ำมันปาล์มดิบ 5%



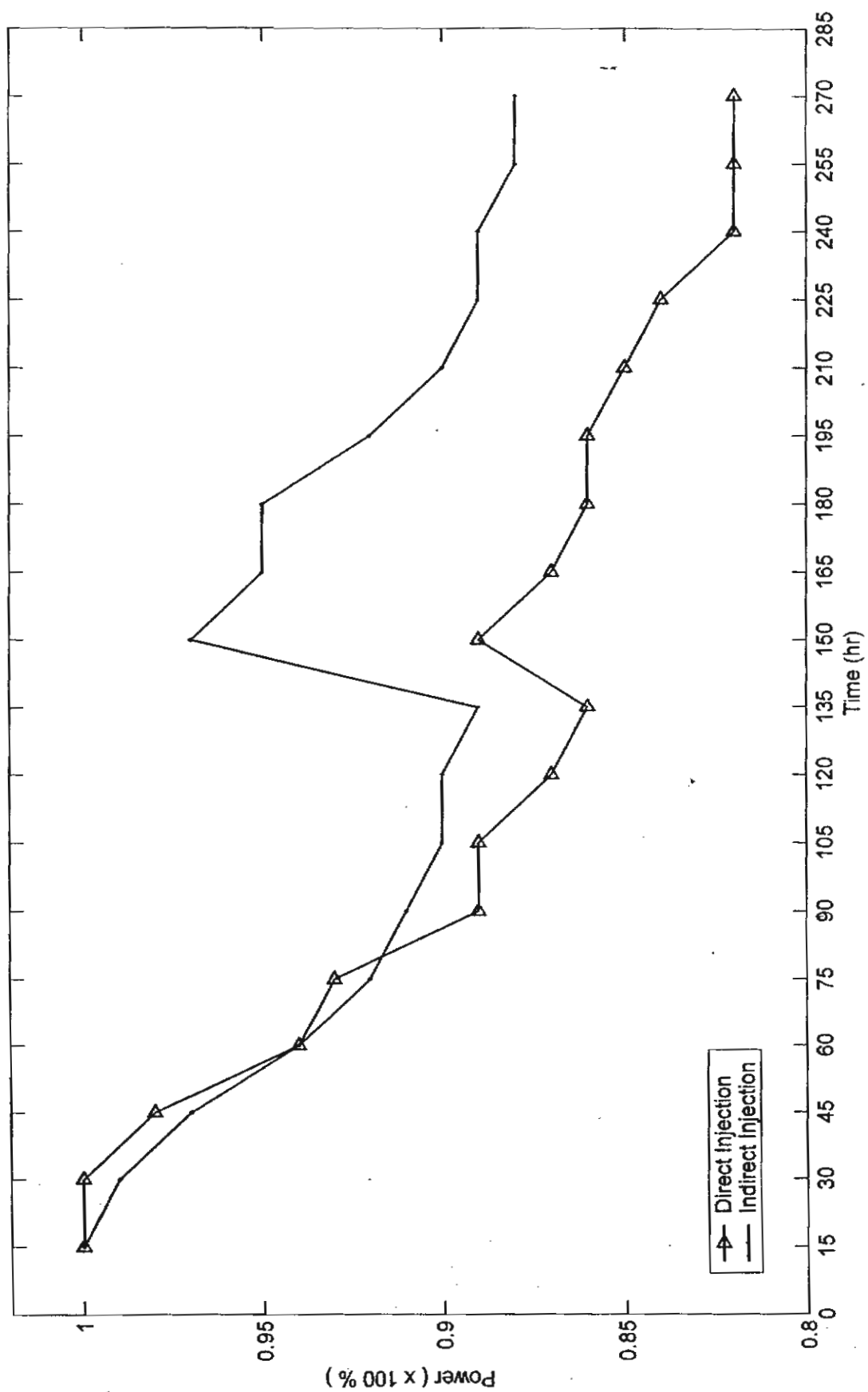
แผนภูมิที่ 14: เส้นกราฟ FTIR ของน้ำมันปาล์มดิบ 90% ผสมกับน้ำมันปาล์มดิบ 10%



แผนภูมิที่ 15: เส้นกราฟ FTIR ของน้ำมันเครื่องยี่ห้อ DI หลังใช้งาน 135 ชม.



แผนภูมิที่ 17: การลดลงของกำลังเครื่องดนตรีในช่วงเวลาต่างๆ



แผนภูมิที่ 16: เส้นกราฟ FTIR ของน้ำมันเครื่องชนิด DI หลังใช้งาน 135 ชม.

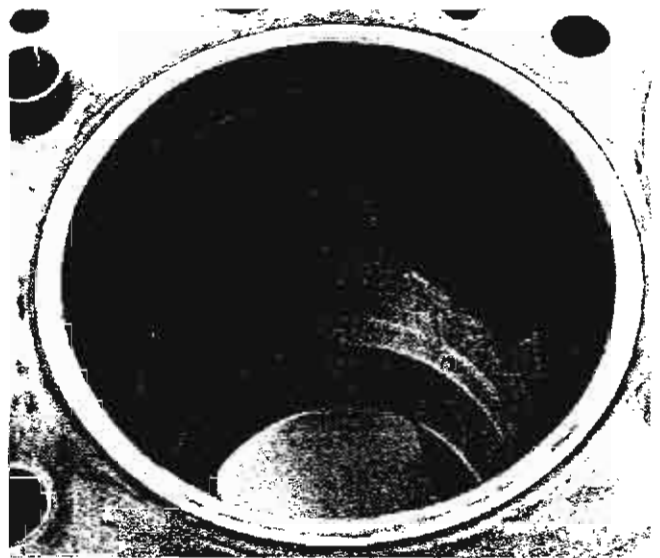
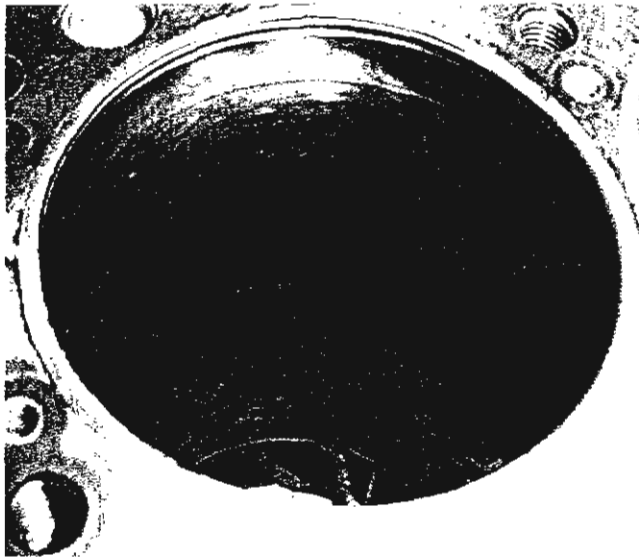
ภาคผนวก ข.

รูปภาพชิ้นส่วนเครื่องยนต์ภายหลังการทดลอง

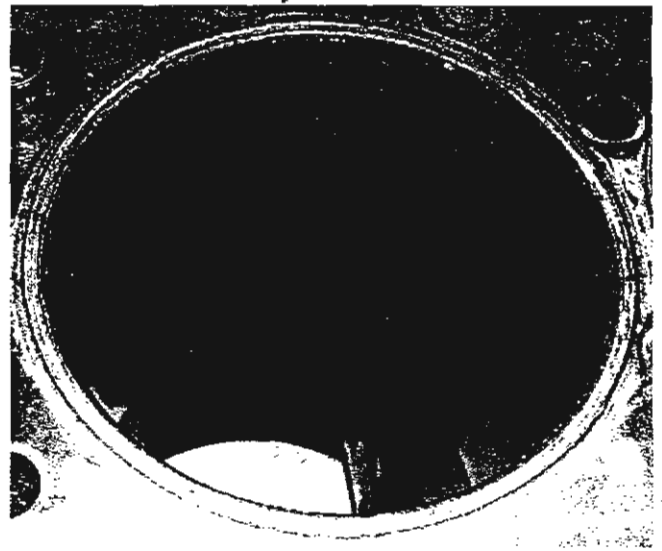
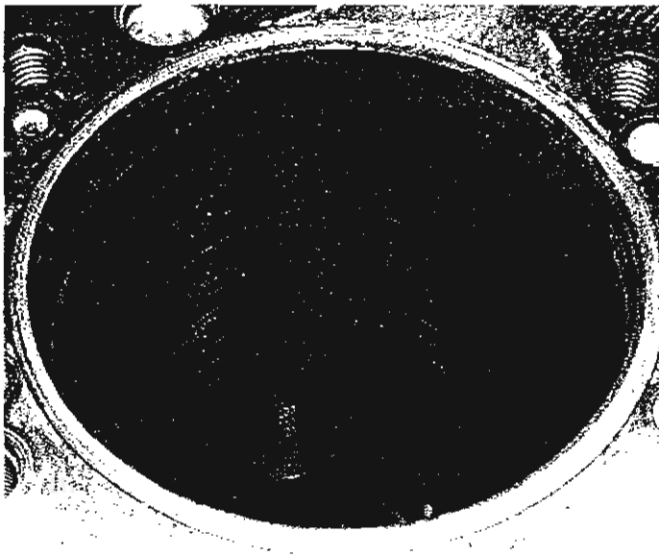
Indirect Injection Diesel Engine

Direct Injection Diesel Engine

ก่อนทำการทดสอบ



หลังทำการทดสอบ



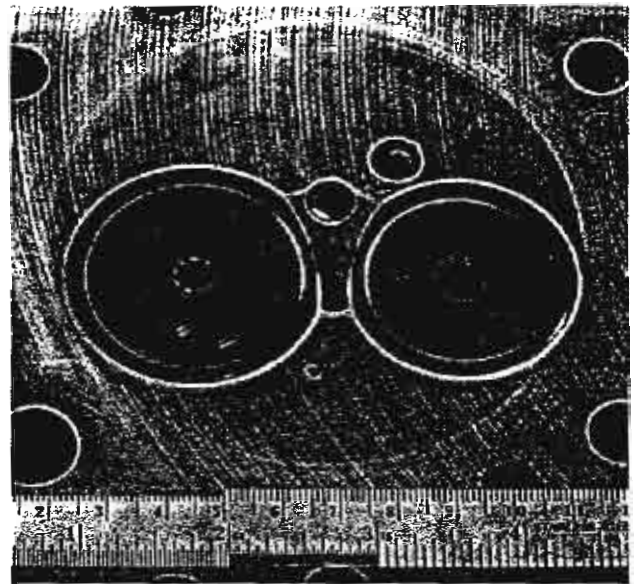
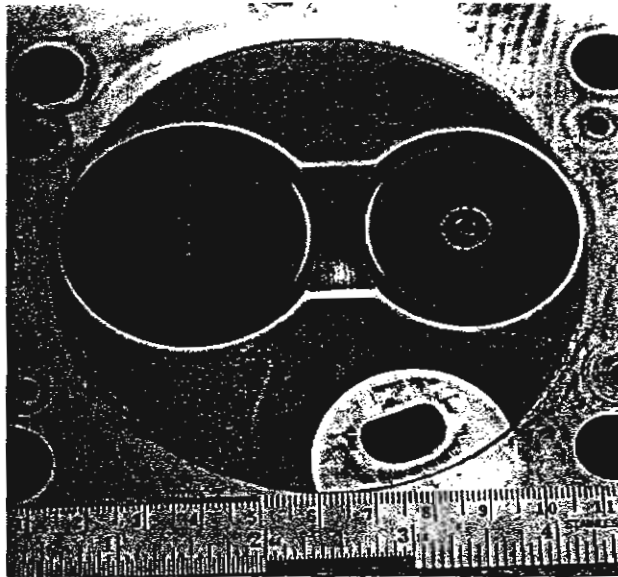
ภาพที่ 1 : แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวด้านข้างกระบอกสูบของเครื่องยนต์ดีเซลระบบ

Direct Injection และ Indirect Injection ทั้งก่อนและหลังจากการทดสอบด้วยระยะเวลา 270 ชั่วโมง

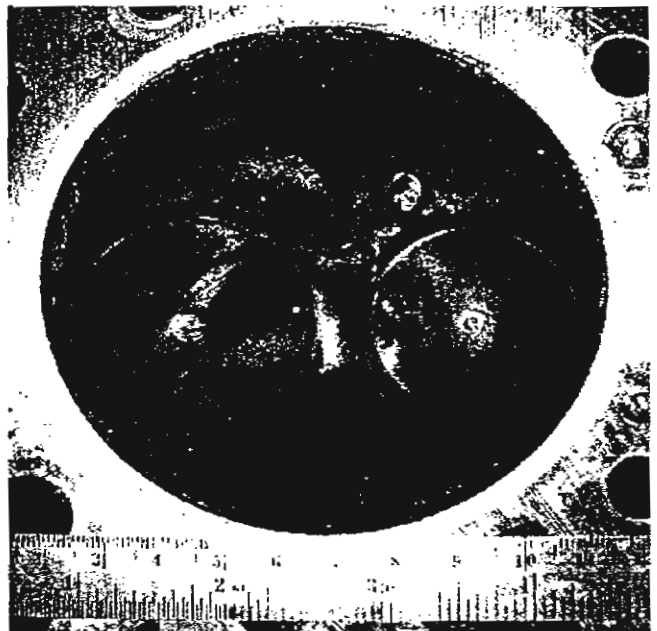
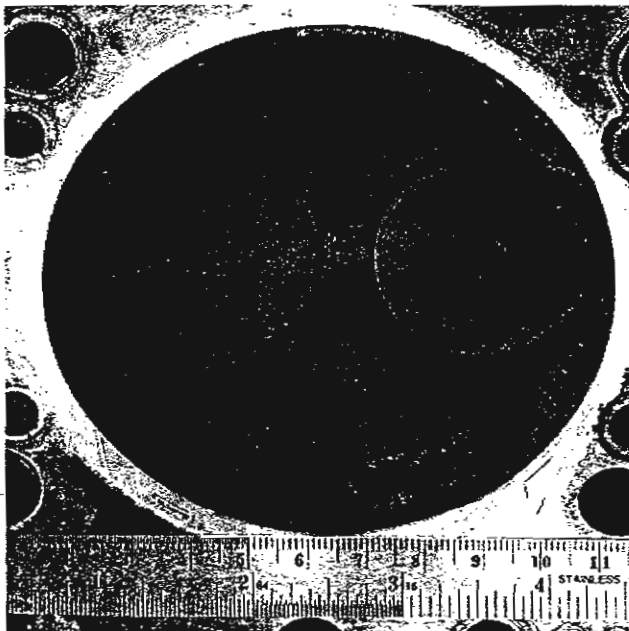
Indirect Injection Diesel Engine

Direct Injection Diesel Engine

ก่อนทำการทดสอบ



หลังทำการทดสอบ

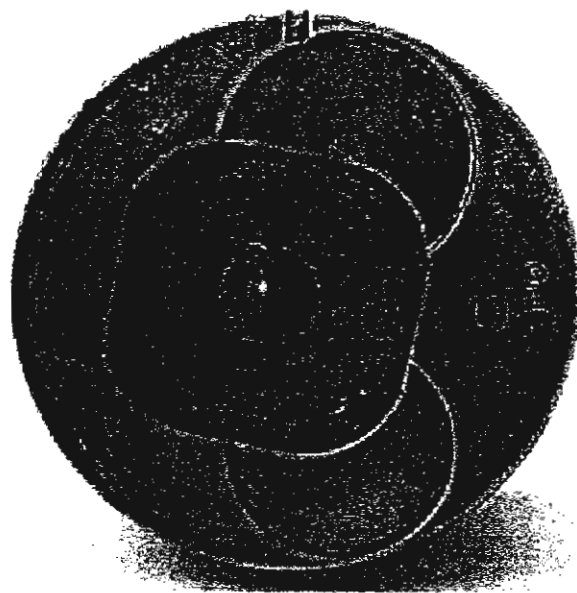
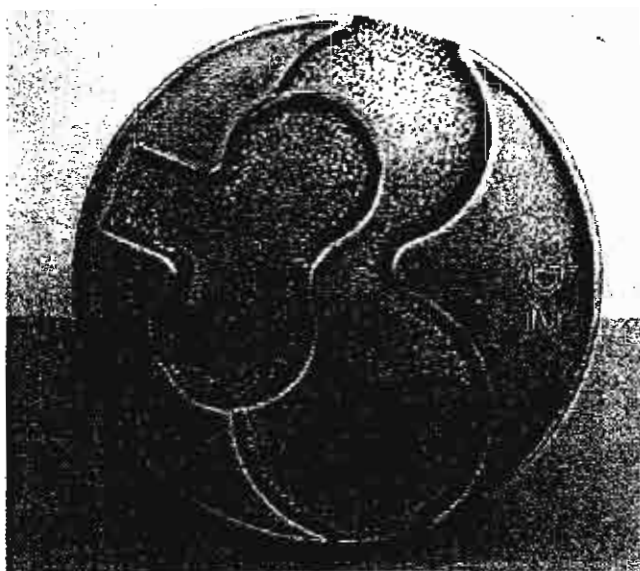


ภาพที่ 2 : แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวสาสูบของเครื่องยนต์ดีเซลระบบ Direct Injection และ Indirect Injection ทั้งก่อนและหลังการทดสอบด้วยระยะเวลา 270 ชั่วโมง

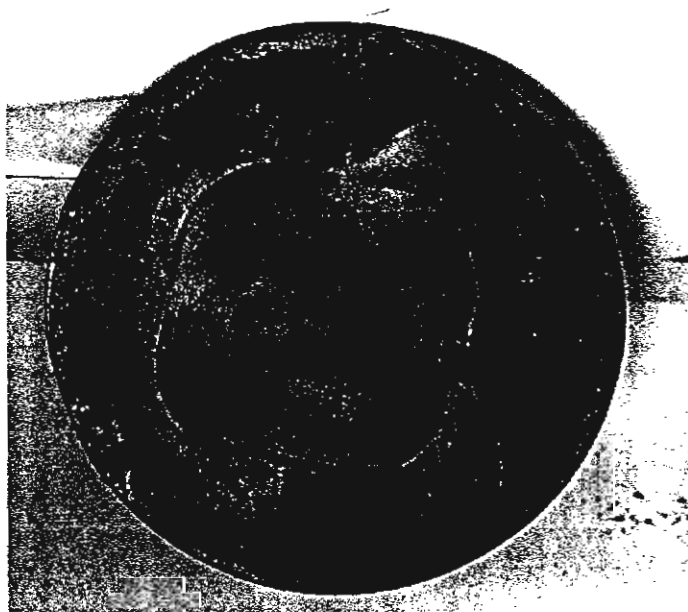
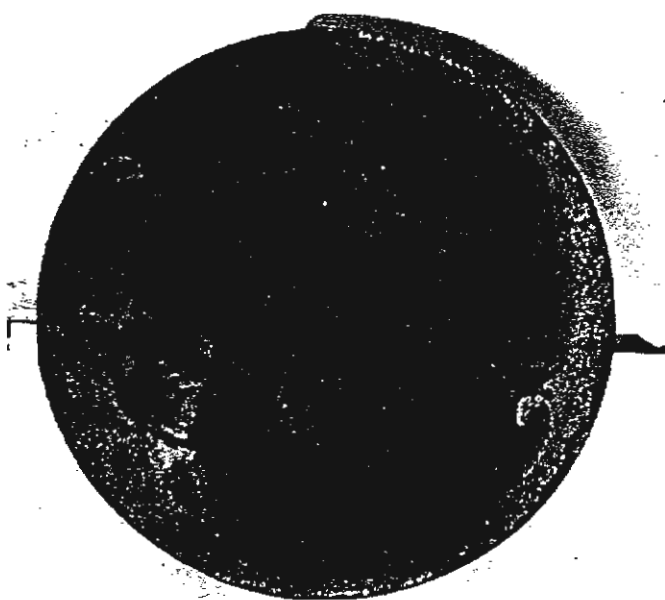
Indirect Injection Diesel Engine

Direct Injection Diesel Engine

ก่อนทำการทดสอบ



หลังทำการทดสอบ

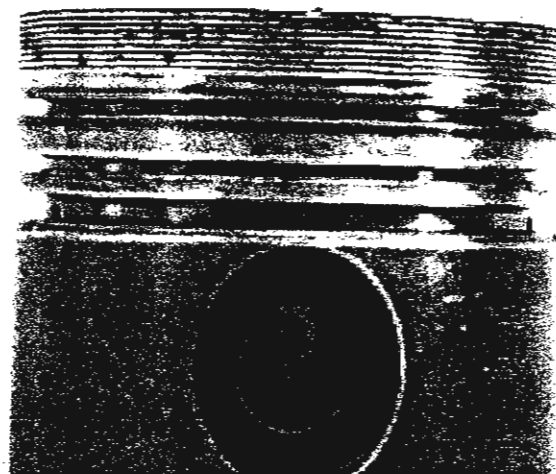


ภาพที่ 3 : แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวด้านบนลูกสูบของเครื่องยนต์ดีเซลระบบ Direct Injection และ Indirect Injection ทั้งก่อนและหลังจากการทดสอบด้วยระยะเวลา 270 ชั่วโมง

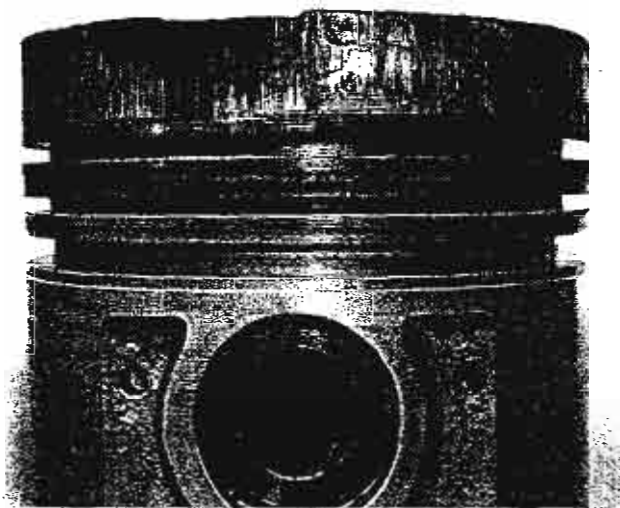
Indirect Injection Diesel Engine

Direct Injection Diesel Engine

ก่อนทำการทดสอบ



หลังทำการทดสอบ

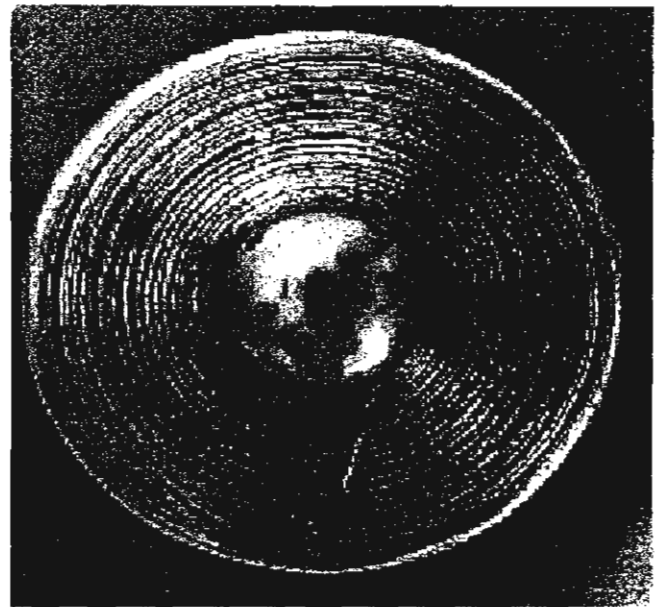


ภาพที่ 4 : แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวด้านข้างลูกสูบของเครื่องยนต์ดีเซล ระบบ Direct Injection และ Indirect Injection ทั้งก่อนและหลังจากการทดสอบด้วยระยะเวลา 270 ชั่วโมง

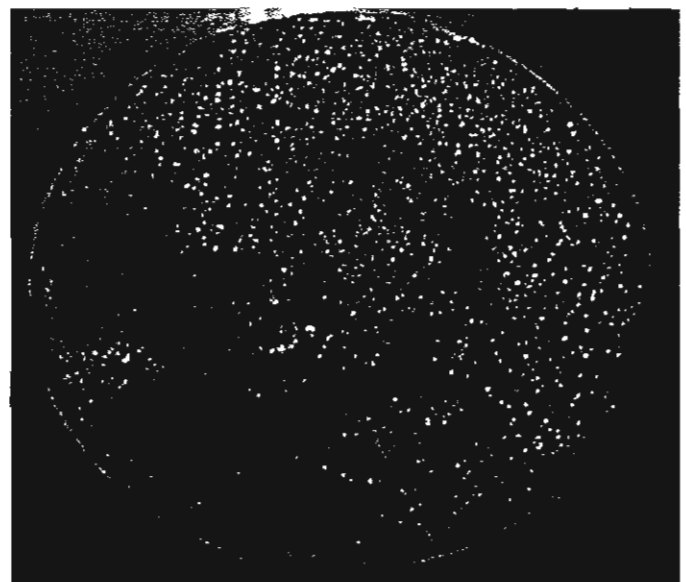
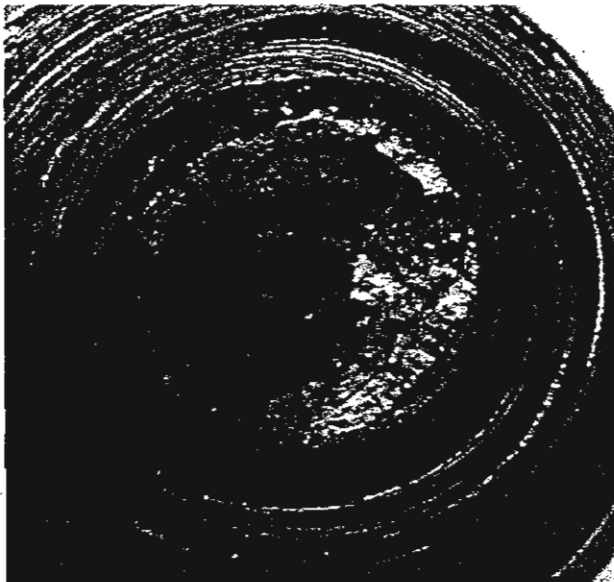
Indirect Injection Diesel Engine

Direct Injection Diesel Engine

ก่อนทำการทดสอบ



หลังทำการทดสอบ

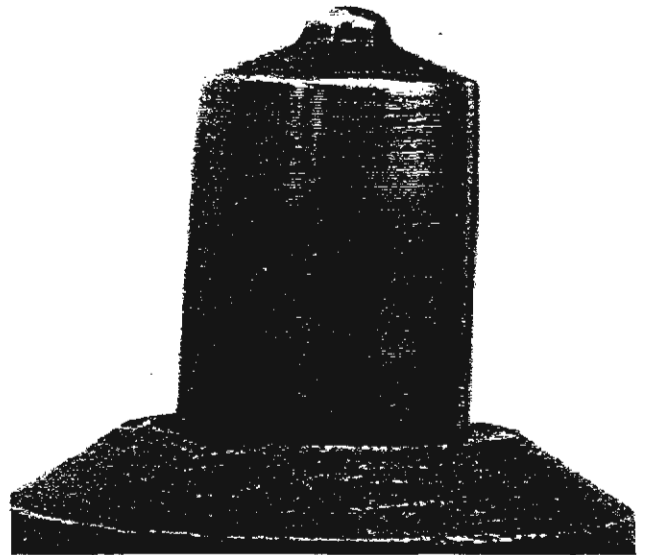
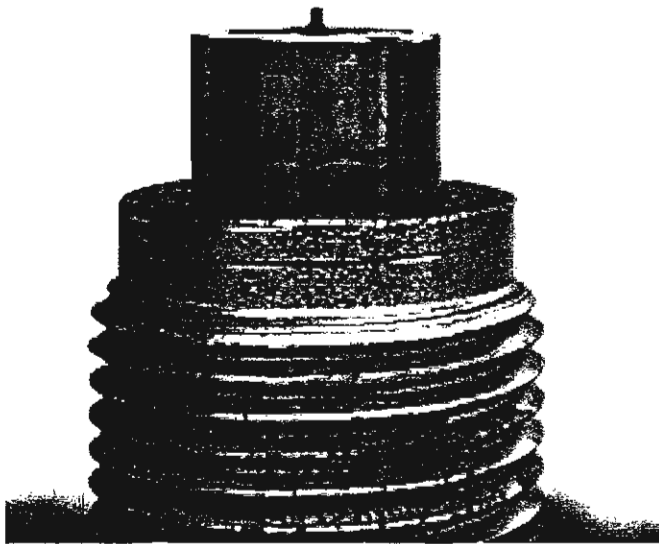


ภาพที่ 5 : แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวด้านบนหัวฉีดของเครื่องยนต์ดีเซล ระบบ Direct Injection และ Indirect Injection ทั้งก่อนและหลังจากการทดสอบด้วยระยะเวลา 270 ชั่วโมง

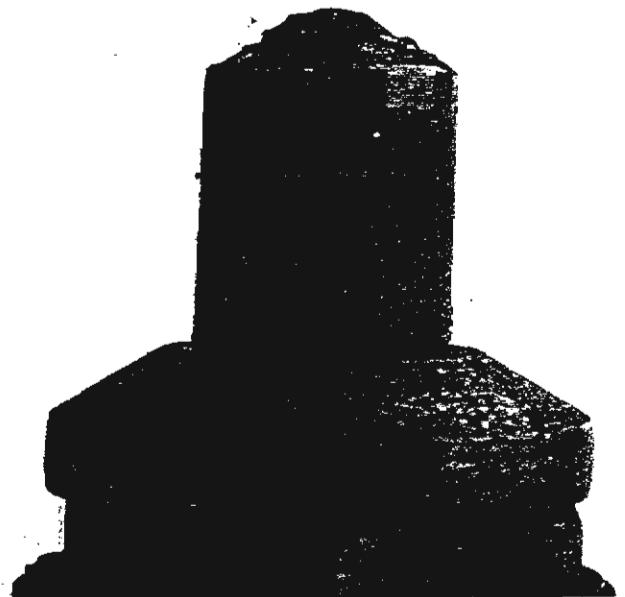
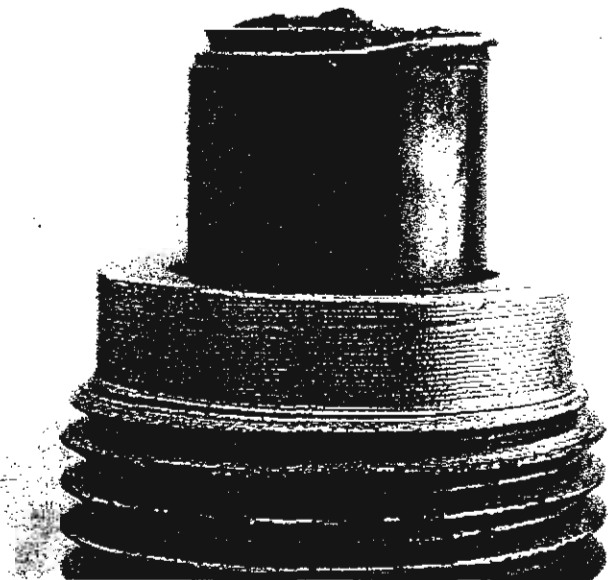
Indirect Injection Diesel Engine

Direct Injection Diesel Engine

ก่อนทำการทดสอบ



หลังทำการทดสอบ

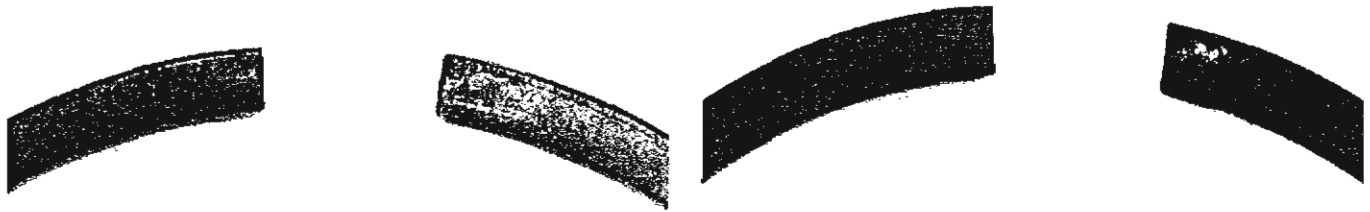


ภาพที่ 6 : แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวด้านข้างหัวฉีดของเครื่องยนต์ดีเซล ระบบ Direct Injection และ Indirect Injection ทั้งก่อนและหลังจากการทดสอบด้วยระยะเวลา 270 ชั่วโมง

Indirect Injection Diesel Engine

Direct Injection Diesel Engine

แหวนอัดตัวที่1 (ตัวบน)



แหวนอัดตัวที่2 (ตัวล่าง)



ภาพที่ 7 : แสดงการเปรียบเทียบบริเวณผิวด้านบนแหวนอัดกำลังของลูกสูบ ตัวที่ 1 และ 2 ของเครื่องยนต์ดีเซล
ระบบ Direct Injection และ Indirect Injection หลังจากการทดสอบด้วยระยะเวลา 270 ชั่วโมง

ภาคผนวก ค.
การเปรียบเทียบการดำเนินการตามแผนงานที่เสนอ
กับการดำเนินการจริง

งานวิจัยนี้ในภาพรวมได้ดำเนินการเกินกว่าที่ได้เสนอไว้ในข้อเสนอโครงการพอสมควร ดังนี้คือ

- 1) ที่เสนอไว้จะทำการทดสอบเพียงสมรรถนะเครื่องยนต์แต่เพียงอย่างเดียว แต่ในการปฏิบัติจริงได้ทดสอบความคงทนของเครื่องยนต์ทั้งสองเครื่องเป็นเวลารวมกันทั้งสิ้น 540 ชั่วโมง (เครื่องละ 270 ชม) ซึ่งทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์มากมาย
- 2) ได้ทำการถ่ายรูปชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ที่ได้ทดสอบแล้ว
- 3) ได้ทำการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในการเดินเครื่องยนต์ทดสอบ
- 4) ได้นำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการ

แต่มีสองสิ่งที่ได้เสนอไว้ในแผนดำเนินการแล้วทำไม่ได้คือ

- 1) การวิเคราะห์หาปริมาณสารแขวนลอยในน้ำมันปาล์ม เนื่องจากไม่มีเครื่องมือเพื่อการนี้
- 2) การเดินเครื่องด้วยน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ได้อุ่นร้อน ทั้งนี้เพราะน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ได้อุ่นร้อนมีความเป็นไขสูงมาก ทำให้ไม่สามารถดูดสูบลำผ่านปั๊มและผ่านไส้กรองได้

ซึ่งในประเด็นแรกเป็นเพียงสิ่งปลีกย่อยที่ไม่สำคัญสักเท่าใดนัก เพราะหากมีการใช้งานจริงในวงกว้างคงจะต้องกำหนดให้โรงงานผลิตน้ำมันปาล์มให้มีสารแขวนลอยน้อยตามกำหนดอยู่แล้ว ส่วนในประเด็นหลังเป็นเหตุสุดวิสัยที่ไม่อาจกระทำได้

สรุปการดำเนินการจริงเทียบกับแผนงานที่ได้เสนอไว้ในข้อเสนอโครงการวิจัยดังปรากฏในตาราง

ช่วง 6 เดือนแรก

กิจกรรมที่เสนอในแผนงาน	ผลที่คาดว่าจะได้รับ	ผลดำเนินการจริง
ศึกษาหาข้อมูลเพิ่มเติมจากงานวิจัยในต่างประเทศและในประเทศ	ความรู้เพิ่มเติมในการทำงานให้ดียิ่งขึ้น	ตามแผน
วิเคราะห์หาค่าความหนืดที่เปลี่ยนตามความร้อน	ข้อมูลในการออกแบบอุปกรณ์	ตามแผน
วิเคราะห์หาสารแขวนลอยในน้ำมันปาล์มดิบ	ข้อมูลในการออกแบบเครื่องกรอง	ไม่ได้กระทำ เพราะไม่มีเครื่องมือ
แสวงหากรรมวิธีการกรองที่เหมาะสม	เครื่องกรองที่เหมาะสม	ตามแผน
วัดหาคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆของน้ำมัน	ข้อมูลความเป็นเชื้อเพลิง	ตามแผน
ออกแบบเชิงแนวคิดของถังน้ำมัน อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนและอุปกรณ์ควบคุมวงจรน้ำมันอัตโนมัติ	แนวคิดที่รอบคอบที่สามารถนำไปใช้ในการออกแบบได้ต่อไป	ตามแผน
โอเวอร์ฮอลและติดตั้งเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ	ได้เครื่องยนต์ที่พร้อมจะทดสอบ	ตามแผน
ออกแบบและสร้างพร้อมติดตั้งอุปกรณ์สับเปลี่ยนถังน้ำมันและอุ่นร้อนน้ำมัน	อุปกรณ์เพื่อการช่วยในการติดเครื่องและเดินเครื่องทดลอง	ตามแผน
ทดสอบและปรับปรุงอุปกรณ์ให้ทำงานโดยราบรื่น	อุปกรณ์ที่ทำงานได้ดังที่ออกแบบไว้	ตามแผน

ช่วง 6 เดือนหลัง

กิจกรรมที่เสนอในแผนงาน	ผลที่คาดว่าจะได้รับ	ผลดำเนินการจริง
ศึกษาหาข้อมูลเพิ่มเติมจากงานวิจัยในต่างประเทศและในประเทศ	ความรู้เพิ่มเติมในการทำงานให้ดียิ่งขึ้น	ตามแผน
ทดสอบเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ	สมรรถนะเครื่องยนต์	เกินแผน เพราะได้ทดสอบความคงทนเครื่องยนต์อีก 540 ชม.
สังเกตและวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องยนต์	ข้อมูลอันเป็นประโยชน์	ตามแผน
ศึกษาหาข้อมูลเพิ่มเติม และหาแนวทางแก้ไขข้อขัดข้องที่เกิดขึ้น	อุปกรณ์หรือการทำงานที่ดีขึ้น	ตามแผน
ถอดประกอบหัวฉีดและห้องเผาไหม้เพื่อตรวจสอบสารสะสม	ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์	เกินแผน เพราะ ได้ถ่ายรูป และได้ทำการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นด้วย
ทดสอบหาคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันปาล์ม และวิเคราะห์หาแนวทางปรับปรุงคุณสมบัติ	ได้ข้อมูลคุณสมบัติน้ำมัน	ตามแผน
เขียนรายงานโครงการ	รายงานความก้าวหน้าการวิจัยปีที่ 1	เกินแผน เพราะได้นำเสนอผลการสืบค้นข้อมูลในการประชุมวิชาการด้วย

ภาคผนวก ง.
การเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ตามแผนที่เสนอกับที่ทำได้จริง

ในภาพรวมได้บรรลุวัตถุประสงค์การวิจัยเกินเป้าหมาย

เสนอในแผนงาน	ผลดำเนินการจริง
เพื่อทราบสมรรถนะและผลกระทบต่อเครื่องยนต์ที่ติดตั้งอยู่กับที่บนแท่นทดสอบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ	เกินแผน เพราะได้ข้อมูลผลกระทบระยะยาวต่อเครื่องยนต์ด้วย
เพื่อทราบข้อมูลความเป็นเชื้อเพลิงทางด้านเคมีและทางกายภาพของน้ำมันปาล์มดิบ	ตามแผน
เพื่อทราบข้อมูลปรับปรุงคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบให้เหมาะสมยิ่งขึ้น	ตามแผน

ภาคผนวก จ.

การเปรียบเทียบผลที่ได้รับตามแผนที่เสนอกับผลที่ได้จริง

เสนอในแผนงาน	ผลดำเนินการจริง
ทราบสมรรถนะและผลกระทบในการใช้น้ำมันปาล์มดิบต่อเครื่องยนต์ทดลอง	เกินแผน เพราะได้ข้อมูลผลกระทบระยะยาวด้วย
ทราบข้อมูลความเป็นเชื้อเพลิงทางด้านเคมีและทางกายภาพของน้ำมันปาล์มดิบ	ตามแผน
ได้ข้อมูลเชิงวิศวกรรมศาสตร์ในการใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล และเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้นต่อไป	ตามแผน
ได้แนวทางปรับปรุงคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์	ตามแผน
ได้รูปแบบแบบอุปกรณ์เสริมเพื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบในเครื่องยนต์อย่างมีประสิทธิภาพ	ตามแผน

ภาคผนวก จ.
ตารางข้อมูลการทดลอง

- จ-1: ข้อมูลการวัดสมรรถนะเครื่องยนต์แบบฉีดตรง
- จ-2: ข้อมูลการวัดความคงทนเครื่องยนต์แบบฉีดตรง
- จ-3: ข้อมูลการวัดสมรรถนะเครื่องยนต์แบบฉีดอ้อม
- จ-4: ข้อมูลการวัดความคงทนเครื่องยนต์แบบฉีดอ้อม

ความเร็วรอบ _{เฉลี่ย} (rpm)	แรงบิด _{เฉลี่ย} (Nm)	กำลัง _{เฉลี่ย} (kW)	อัตราการการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ _{เฉลี่ย} (g/kW-hr) (cc/kW-hr)		A/F ratio (at 30 °C)	ความดันอากาศ (mm H ₂ O)
799.19	110.73	9.27	349.8421	425.5987	28.4969	7.50
998.02	125.18	13.08	297.1125	361.4508	28.1245	10.50
1201.5	129.33	16.27	299.4798	364.3306	24.4757	12.50
1401.88	129.61	19.03	314.4114	382.4956	20.3328	13.00
1598.38	132.9	22.25	308.4949	375.2979	19.6634	16.00
1752.16	133.48	24.49	305.1969	371.2858	15.3324	11.50
1995.26	134.76	28.16	270.229	328.7457	21.2633	23.00
2197.19	135.77	31.24	268.1118	326.1701	21.3149	28.00
2406.89	134.62	33.93	270.539	329.1229	20.7893	32.00
2598.73	132.05	35.93	281.025	341.8795	20.8624	39.00
2792.89	128.04	37.45	285.3239	347.1093	21.1804	45.00
2996.38	125.04	39.23	297.2645	361.6356	20.4539	50.00
3195.98	118.45	39.64	314.4649	382.5607	20.2504	56.00
3394.03	118.74	42.2	346.8928	422.0107	17.7001	59.00
3599.07	110.87	41.79	367.2655	446.795	17.3094	62.00

ตารางที่ ผ-1. แสดงผลการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบ Direct Injection จากการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ในช่วงของการเพิ่มรอบการทำงานของเครื่องยนต์

ระยะเวลาความเร็วยรอบ (hr)	แรงบิด (N-m)	กำลัง (kW)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (ml/s)			ความดันอากาศ mm H ₂ O	อุณหภูมิแวดล้อม		ปริมาณน้ำมันเครื่อง (ml)		ข้อสังเกตที่ได้ระหว่างการทดสอบเครื่องยนต์			
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		T _{wt} (°C)	T _{dry} (°C)	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	สภาพเครื่องยนต์	เสียงเครื่องยนต์	ปริมาณควัน	ปกติ
15	2000	135.14	28.3	2.65	2.66	2.64	22.5	24.5	33	3800	3800	ปกติ	ปกติ	ปกติ
30	2000	134.52	28.2	2.67	2.65	2.67	22.5	25	33	3800	3800	ปกติ	ปกติ	ปกติ
45	2000	132.06	27.7	2.63	2.64	2.64	22	24.5	28	3800	3800	ปกติ	ปกติ	ปกติ
60	2000	126.53	26.5	2.62	2.63	2.61	22	24	31	3800	3800	ปกติ	ปกติ	ปกติ
75	2000	125.31	26.2	2.67	2.66	2.65	22	24.5	32	3800	3800	ปกติ	ปกติ	ปกติ
90	2000	119.78	25.1	2.61	2.62	2.61	22.5	24	29.5	3800	3810	ปกติ	ปกติ	ปกติ
105	2000	119.78	25.1	2.58	2.57	2.58	22	23.5	30	3800	3980	ปกติ	ปกติ	ปกติ
120	2000	117.94	24.7	2.62	2.62	2.61	22.5	25.5	31	3800	4050	ปกติ	ปกติ	ปกติ
135	2000	116.09	24.3	2.61	2.61	2.61	22	25.5	34	3800	3830	ปกติ	ปกติ	ปกติ

ตารางที่ ๓-2 :แสดงข้อมูลจากการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงระบบ Direct Injection จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบกรองที่อุณหภูมิ 50 °C ในช่วงที่ 1 ของการทดสอบ (ครั้งที่ 1-9)

(ครั้งที่ 1-9)

ระยะเวลาความเร็วรอบ (hr)	แรงบิด N-m	กำลัง kW	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (ml/s)			ความดันอากาศ mm H ₂ O	อุณหภูมิแวดล้อม		ปริมาณน้ำมันเครื่อง		ข้อสังเกตที่ได้ระหว่างทำการทดสอบเครื่องยนต์			
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		T _{wt} (°C)	T _{ay} (°C)	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	สภาพเครื่องยนต์	เสียงเครื่องยนต์	ปริมาณควัน	ปกติ
150	120.39	25.2	2.65	2.64	2.63	22	24.5	28	3800	3800	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
165	117.94	24.7	2.58	2.58	2.58	22.5	22	33	3800	3800	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
180	116.09	24.3	2.58	2.59	2.58	22.5	24	31	3800	3800	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
195	115.48	24.2	2.58	2.58	2.59	22	24	29	3800	3800	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
210	114.86	24.1	2.54	2.56	2.56	22	24	31	3800	3815	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
225	113.64	23.8	2.6	2.6	2.59	22	24.5	29.5	3800	3830	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
240	111.18	23.3	2.58	2.59	2.58	22	24	29	3800	4000	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
255	110.57	23.2	2.58	2.57	2.57	22	24.5	30	3800	4070	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
270	110.57	23.2	2.56	2.56	2.58	23	24.5	28.5	3800	3860	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ

:-แสดงข้อมูลจากการทดสอบความคงทนของเครื่องยนต์ในระบบ Direct Injection จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบกรองที่อุณหภูมิ 50 °C ในช่วงที่ 2 ของการทดสอบ (ครั้งที่ 10-18)

ความเร็วรอบ _{เฉลี่ย}	แรงบิด _{เฉลี่ย}	กำลัง _{เฉลี่ย}	อัตราการการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ _{เฉลี่ย}		A/F ratio	ความดันอากาศ
(rpm)	(Nm)	(kW)	(g/kW-hr)	(cc/kW-hr)	(at 30 °C)	(mm H ₂ O)
984.85	114.58	11.90	375.64	456.98	20.53	7.00
1195.41	121.58	15.17	369.28	449.24	18.58	9.00
1391.79	122.32	17.67	365.09	444.15	17.43	10.50
1596.37	124.85	20.90	361.93	440.31	17.16	14.00
1794.99	125.74	23.67	351.43	427.53	17.45	17.50
1967.47	127.53	26.30	345.00	419.71	17.10	20.00
2194.45	129.91	29.83	327.58	398.52	17.39	24.00
2404.27	126.04	31.73	351.37	427.46	17.32	31.00
2595.41	123.36	33.53	373.21	454.02	17.31	39.00
2776.85	119.64	34.77	385.38	468.83	17.17	44.00
2998.61	115.77	36.37	389.40	473.72	17.15	49.00
3194.99	114.14	38.17	398.09	484.30	17.39	58.00
3383.89	108.78	38.57	401.94	488.98	17.97	64.50
3772.16	98.96	39.13	408.62	497.10	17.95	68.50
3875.95	91.07	36.93	459.96	559.56	17.97	77.50
3993.92	85.86	35.88	510.22	620.70	17.21	82.50

ตารางที่ ๓-3 :แสดงผลการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบ Indirect Injection จากการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในช่วงเพิ่มรอบการทำงานของเครื่องยนต์

ระยะเวลาความเร็วรอบ	แรงบิด	กำลัง	อัตราการกินเปลือกเชื้อเพลิง (ml/s)			อุณหภูมิแวดล้อม		ความดันอากาศ	ปริมาณน้ำมันเครื่อง(ml)		ข้อสังเกตที่ได้ระหว่างการทดสอบเครื่องยนต์			
(hr)	(RPM)	N-m	kW	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	T _{wi} (°C)	T _{dry} (°C)	mm H ₂ O	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	สภาพเครื่องยนต์	เสียงเครื่องยนต์	ปริมาณควัน
15	2000	125.5	26.3	3.06	3.07	3.05	22.0	28.5	22	5000	5000	ปกติ	ปกติ	ปกติ
30	2000	124.1	26.0	3.02	3.06	3.06	26.5	30.0	22	5000	5000	ปกติ	ปกติ	ปกติ
45	2000	122.0	25.5	3.02	3.02	3.04	26.0	31.0	22	5000	5000	ปกติ	ปกติ	ปกติ
60	2000	118.4	24.8	3.06	3.01	3.03	25.0	30.0	22	5000	4970	ปกติ	ปกติ	ปกติ
75	2000	115.6	24.2	3.06	3.00	3.03	25.5	30.5	22	5000	4930	ปกติ	ปกติ	ปกติ
90	2000	114.2	23.9	3.02	3.05	3.05	21.0	29.0	22	5000	4915	ปกติ	ปกติ	ปกติ
105	2000	112.8	23.6	3.05	3.05	3.05	26.0	32.0	22	5000	4880	ปกติ	ปกติ	ปกติ
120	2000	112.8	23.6	3.05	3.04	3.04	25.0	28.0	22	5000	4855	ปกติ	ปกติ	ปกติ
135	2000	111.3	23.3	3.06	3.04	3.05	24.0	28.0	22	5000	4800	ปกติ	ปกติ	ปกติ

ตารางที่ ก-4 แสดงข้อมูลจากการทดสอบความคงทนของเครื่องยนต์ที่ระบบ Indirect Injection จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิ 50 °C ในช่วงที่ 1 ของการทดสอบ (ครั้งที่ 1-9)

ระยะเวลา (hr)	ความเร็วรอบ (RPM)	แรงบิด N-m	กำลัง kW	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (ml/s)			อุณหภูมิแวดล้อม		ความดันอากาศ mm H ₂ O	ปริมาณน้ำมันเครื่อง(ml)		ข้อสังเกตที่ได้รับระหว่างการทดสอบเครื่องยนต์		
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	T _w (°C)	T _{air} (°C)		ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	สภาพเครื่องยนต์	เสียงเครื่องยนต์	ปริมาณกวั่น
150	2000	121.3	25.4	3.02	3.06	3.04	25.0	28.0	22	5000	4990	ปกติ		ปกติ
165	2000	119.9	25.1	3.07	3.07	3.05	25.0	29.0	22	5000	4980	ปกติ		ปกติ
180	2000	119.1	24.9	3.06	3.06	3.05	23.0	29.0	22	5000	4980	ปกติ		ปกติ
195	2000	115.6	24.2	3.02	3.05	3.06	26.0	30.5	22	5000	4940	ปกติ		ปกติ
210	2000	113.5	23.8	3.07	3.05	3.05	25.5	30.5	22	5000	4880	ปกติ		ปกติ
225	2000	112.1	23.5	3.06	3.06	3.07	26.5	31.0	22	5000	4865	ปกติ		ปกติ
240	2000	111.3	23.3	3.04	3.05	3.05	25.5	30.0	22	5000	4840	ปกติ		ปกติ
255	2000	110.6	23.2	3.04	3.02	3.03	22.0	29.0	22	5000	4800	ปกติ		ปกติ
270	2000	110.6	23.2	3.04	3.05	3.06	23.0	28.5	22	5000	4750	ปกติ		ปกติ

:แสดงข้อมูลจากการทดสอบความคงทนของเครื่องยนต์ดีเซลระบบ Indirect Injection จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบกรองที่อุณหภูมิ 50 °C ในช่วงที่ 2
ของการทดสอบ (ครั้งที่ 10-18)

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
(ส่วนที่ 2/2)

โครงการ

คุณสมบัติเชื้อเพลิงและผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซล
จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ

ส่วนที่ 2 : คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงและทางเคมีของน้ำมันปาล์ม

คณะผู้วิจัย

- 1) นายชัยยศ ตั้งสฤติย์กุลชัย
- 2) นางมาลี ตั้งสฤติย์กุลชัย

สังกัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ

1. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่กรุณาให้ความสำคัญกับงานวิจัยนี้ โดยสนับสนุนทุนวิจัยตามสัญญาเลขที่ RDG4420015 สำหรับโครงการ "คุณสมบัติเชื้อเพลิงและผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซลจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ"
2. ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้สนับสนุนให้ใช้ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือวิเคราะห์และทดสอบ ตลอดจนความช่วยเหลือจากเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี
3. รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เอกสมรธรรมชัวร์ ผู้ประสานงานชุดโครงการวิจัย สกว. ที่ให้ความช่วยเหลือเอาใจใส่ตลอดจนส่งเอกสารและข่าวเกี่ยวกับปาล์มน้ำมันมาให้อย่างสม่ำเสมอ

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
สารบัญ.....	ข1
สรุปความสำหรับผู้บริหาร.....	ค1
บทคัดย่อ (ไทย).....	ง
บทคัดย่อ (อังกฤษ).....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ1
สารบัญรูป.....	ช1
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหางานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบข่ายของงานวิจัย.....	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ความรู้เกี่ยวกับน้ำมันพืชและการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิง.....	6
2.1 น้ำมันพืชและการวิเคราะห์องค์ประกอบ.....	6
2.2 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม [8]	12
2.3 น้ำมันดีเซลและสมบัติทางเชื้อเพลิง [9, 10, 11]	15
2.4 การนำน้ำมันพืชดิบไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล.....	26
บทที่ 3 ผลการศึกษา.....	29
3.1 ชนิดของน้ำมันปาล์มที่ศึกษา.....	29
3.2 สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์ม.....	29
3.3 สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล.....	35
3.4 การปรับปรุงสภาพของน้ำมันปาล์มเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล.....	39
3.4.1 ผลของอุณหภูมิต่อสมบัติทางเชื้อเพลิง.....	39
3.4.2 การเจือจางน้ำมันปาล์มดิบด้วยน้ำมันดีเซล.....	47
3.4.3 การแยกไขปาล์มออกจากน้ำมันปาล์มดิบโดยการลดอุณหภูมิ.....	52
3.4.4 การลดปริมาณพันธะคู่ในน้ำมันปาล์ม.....	54
3.5 สมบัติของน้ำมันปาล์มหลังการเก็บตก.....	58
3.6 เทคนิคการตรวจสอบสารปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น.....	60

สรุปความสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

ชื่อโครงการ : คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงและทางเคมีของน้ำมันปาล์ม

ชื่อผู้เสนอโครงการ : นายชัยยศ ตั้งสถิตย์กุลชัย
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
โทรศัพท์ : 044-224490
โทรสาร : 044-224220

สรุปผลการดำเนินงาน

ความสำคัญ : งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย "คุณสมบัติเชื้อเพลิงและผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซลจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ" โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์ม ข้อมูลที่ได้จะเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการกำหนดสมบัติของน้ำมันปาล์มให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ต่อไปนี้

1. เพื่อทราบองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันปาล์มประเภทต่าง ๆ เช่น น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันเมล็ดในปาล์มและ น้ำมันปาล์มโอเลอิน เป็นต้น
2. เพื่อทราบข้อมูลสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มเทียบกับน้ำมันดีเซล
3. ศึกษาการปรับสภาพน้ำมันปาล์มดิบเพื่อลดความหนืดโดยใช้กระบวนการทางกายภาพอย่างง่ายและไม่ซับซ้อน
4. ศึกษาผลกระทบของระยะเวลาการเก็บกักน้ำมันปาล์มที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและทางเชื้อเพลิง

การวิจัย : ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์ม 3 ชนิด (น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มดิบกรองที่ 28°C และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม) และสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ของน้ำมันปาล์ม 5 ชนิด (ปาล์มดิบ ปาล์มดิบกรอง ปาล์มกลั่นถึงบริสุทธิ์ เมล็ดในปาล์ม และปาล์มโอเลอิน) นอกจากนั้นยังศึกษาการปรับสภาพน้ำมันปาล์มดิบเพื่อลดความหนืดโดยวิธี 1) เพิ่มอุณหภูมิ 2) เจือจางด้วยน้ำมันดีเซล 3) ตกผลึกไขมันที่อุณหภูมิต่ำ และศึกษาการลดแนวโน้มการเกิดสารสะสมในห้องเผาไหม้โดยกระบวนการเติมอากาศให้กับน้ำมันที่อุณหภูมิสูง งานวิจัยนี้ยังวิเคราะห์น้ำมันปาล์มตัวอย่างที่ผ่านการเก็บกักมาแล้วเป็นเวลา 1 ปี เพื่อ

ตรวจสอบถึงความเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเชิงอินทรีย์ และงานในส่วนสุดท้ายได้พัฒนาวิธีวิเคราะห์การปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบในเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้เทคนิค FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

ผลที่ได้และข้อเสนอแนะ

1. น้ำมันปาล์มทุกชนิดที่ทดสอบมีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ยกเว้นค่าความหนืดซึ่งมีค่าที่สูงกว่าความหนืดของน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก (ประมาณ 12 เท่า ที่อุณหภูมิ 40°C)
2. ได้ข้อมูลรายละเอียดและครบถ้วนเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีของน้ำมันปาล์ม
3. ได้ข้อมูลผลของอุณหภูมิต่อความหนืด ความตึงผิวและความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มในช่วงอุณหภูมิ $20-100^{\circ}\text{C}$
4. การให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มและหรือผสมน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่เหมาะสมเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากในการควบคุมความหนืดของน้ำมันปาล์มที่มีประสิทธิภาพ
5. พิสูจน์ได้ว่าการเก็บน้ำมันปาล์มไว้ในสภาวะที่เหมาะสมเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ปี จะไม่มีผลกระทบต่อสมบัติความเป็นเชิงอินทรีย์ของน้ำมันปาล์ม
6. สามารถใช้เทคนิค FTIR ในการตรวจสอบทั้งลักษณะและปริมาณของสารปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นได้
7. ควรทำการศึกษาต่อไปเพื่อกำหนดมาตรฐานทางเคมีและองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยมีผลกระทบน้อยที่สุด

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและวัดสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มชนิดต่าง ๆ เทียบกับน้ำมันดีเซล เพื่อรวบรวมข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

ผลการศึกษาแสดงว่าน้ำมันปาล์มมีขนาดของโครงสร้างทางเคมีที่ใหญ่กว่าของน้ำมันดีเซล ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์เมื่อนำไปใช้งาน สมบัติทางเชื้อเพลิงในกลุ่มของการระเหยและการติดไฟสำหรับน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซลมีค่าใกล้เคียงกันแต่สมบัติการไหลซึ่งได้แก่ ค่าความหนืด พบว่าความหนืดของน้ำมันปาล์มทุกชนิดที่นำมาทดสอบมีค่าที่สูงกว่าของน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก แต่ความแตกต่างนี้มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น จากการศึกษาการปรับสภาพของน้ำมันปาล์มดิบเพื่อลดค่าความหนืดพบว่าการลดความหนืดโดยการเพิ่มอุณหภูมิและการผสมกับน้ำมันดีเซลเป็นวิธีการที่ให้ผลดีและไม่ยุ่งยากและพบว่าการลดความหนืดโดยการตกผลึกและกรองแยกไขออกจากน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องไม่ช่วยให้ความหนืดมีค่าลดลง

การลดแนวโน้มการเกิดสารสะสมในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์โดยการป้อนอากาศผ่านน้ำมันปาล์มดิบและปาล์มดิบกรองที่สภาวะ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมง เพื่อลดปริมาณพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว พบว่าวิธีการนี้ใช้ได้ผลเฉพาะกับน้ำมันปาล์มดิบกรอง โดยสามารถเพิ่มระดับชั้นความอิ่มตัวได้ถึง 36% แต่ความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ได้กลับเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก จากการทดสอบน้ำมันปาล์มที่เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 1 ปี พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเชื้อเพลิงที่สำคัญเช่น ความหนืด และค่าความร้อน เป็นต้น จากการประยุกต์ใช้เทคนิควิเคราะห์ FTIR เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลชนิด direct injection ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง พบว่าสามารถใช้เทคนิคนี้ในการติดตามและตรวจสอบทั้งลักษณะและปริมาณของสารปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นได้

Abstract

This research project is concerned with the determination of chemical characteristics and fuel properties of palm oils along with those of diesel oil. The data obtained can be employed for the selection of palm oil properties that suit for their use in a diesel engine.

It was discovered that palm oils had a larger chemical structure as compared to that of diesel oil, reflecting the possibility of incomplete combustion when fired in a diesel combustion engine. The volatility and ignition properties of palm oils and diesel oil were comparable but the viscosities of palm oils were much higher than those of diesel oil with the difference becoming less at higher temperatures. An attempt was made to lower the viscosity of crude palm oil by simple physical methods. It was found that increasing temperature and/or blending with diesel oil were effective in reducing the palm oil viscosity. However, the reduction of palm oil viscosity by crystallizing out the solid fat at temperatures below the ambient temperature produced almost no change in the viscosity of the separated oil. An effort was also made to transform the unsaturated portions of fatty acid to saturated components by aerating the palm oils to reduce the gumming potential of oils when burned in the diesel engine. The results showed that this technique worked reasonably well for the filtered palm oil (at 28°C) but not with the crude palm oil. The degree of saturation was found to increase by almost 36%, but the higher saturated fat product obtained showed a substantial increase in the viscosity, making it inappropriate for further use unless the viscosity is drastically reduced. In another experiment, the test palm oils were kept in closed containers for about a year and the various properties were checked. No significant changes were observed both for the physical appearance and the fuel properties of the oils such as viscosity and heating value. A method was developed to check for the possible contamination of lubricating oil of a direct-injection diesel engine run with crude palm oil for 135 hours, using the FTIR technique. It was found that this technique was able to detect the type and quantity of contaminant in the lubricating oil.

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สูตรของกรดไขมันบางชนิด [6].....	8
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ [7].....	9
ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันพืช [7].....	11
ตารางที่ 2.4 การกำหนดคุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับใช้กับเครื่องยนต์หมุนเร็ว (ประกาศกระทรวงพาณิชย์ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2541).....	19
ตารางที่ 2.5 การกำหนดคุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับใช้กับเครื่องยนต์หมุนช้า (ประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2541).....	20
ตารางที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันปาล์มตัวอย่างและน้ำมันดีเซล.....	31
ตารางที่ 3.2 สมบัติกายภาพของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล.....	33
ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบและสมบัติทางเคมีของน้ำมันปาล์มที่ศึกษา.....	34
ตารางที่ 3.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ของน้ำมันปาล์ม และน้ำมันดีเซล.....	37
ตารางที่ 3.5 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล.....	41
ตารางที่ 3.6 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความตึงผิวของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล.....	41
ตารางที่ 3.7 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล.....	42
ตารางที่ 3.8 ค่าคงที่ a และ b ในสมการ (3.1) : $\mu = aT^b$ ของน้ำมันชนิดต่าง ๆ.....	46
ตารางที่ 3.9 ค่าคงที่ c และ d ในสมการ (3.2) : $\sigma = c + dT$ ของน้ำมันชนิดต่าง ๆ.....	46
ตารางที่ 3.10 ค่าคงที่ m และ n ในสมการ (3.3) : $\rho = m + nT$ ของน้ำมันชนิดต่าง ๆ.....	46
ตารางที่ 3.11 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและ น้ำมันดีเซล.....	48
ตารางที่ 3.12 ค่าคงที่ a และ b ในสมการความหนืด $\mu = aT^b$ ของน้ำมันผสมระหว่าง น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันดีเซล.....	50
ตารางที่ 3.13 ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มดิบที่กรองแยกไขออกแล้ว.....	53
ตารางที่ 3.14 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบที่กรองแยกไขออกแล้ว.....	53
ตารางที่ 3.15 ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบที่กรองแยกไขออกแล้ว.....	53
ตารางที่ 3.16 ตัวเลขไอโอดีนของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการออกซิไดซ์ที่เวลาต่าง ๆ.....	56
ตารางที่ 3.17 ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการออกซิไดซ์ที่ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมง.....	57
ตารางที่ 3.18 ค่าความร้อนของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการออกซิไดซ์ที่ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมง.....	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 3.19 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการออกซิไดซ์ที่ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมง.....	58
ตารางที่ 3.20 ค่าความร้อน (Gross heating value) ของน้ำมันปาล์มที่เก็บกักเป็นเวลา 1 ปี.....	59
ตารางที่ 3.21 ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มที่เก็บกักเป็นเวลา 1 ปี.....	59
ตารางที่ 3.22 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่เก็บกักเป็นเวลา 1 ปี.....	59
ตารางที่ 3.23 ตัวอย่างการระบุหมู่ฟังก์ชันจากการพิจารณาค่าแหน่งยอดกราฟ (peak) ตามตัวเลขคลื่น (wave number) โดยเทคนิค FTIR.....	61