บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุปผล

5.1 บทนำ

บทนี้เป็นการนำผลการทดสอบและข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาทำการวิเคราะห์วิจารณ์ จากนั้นสรุปผลของงานวิจัยที่ได้ดำเนินการมาทั้งหมดเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะ

5.2 สมบัติที่สำคัญของน้ำมันปาล์มเทียบกับน้ำมันดีเซล

ซีเทนนัมเบอร์ และอุณหภูมิการกลั่นตัวที่ 90% เป็นสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล แสดงออกมาให้เห็นได้อย่างชัดเจนเป็นอาการของดีเซลน็อค จะเกิดเสียงเคาะขึ้นกับเครื่องยนต์ในระหว่างที่เครื่องยนต์ทำงาน และเครื่องยนต์จะมีการสูญเสียกำลัง น้ำมันปาล์มมีสมบัติทั้ง 2 ประการเป็นไปตามข้อกำหนดของน้ำมันดีเซล จึงทำให้ไม่พบอาการผิดปกติของเครื่องยนต์ดังกล่าวข้างต้น ทั้งน้ำมันปาล์มโอเลอินและน้ำมันปาล์มดิบ

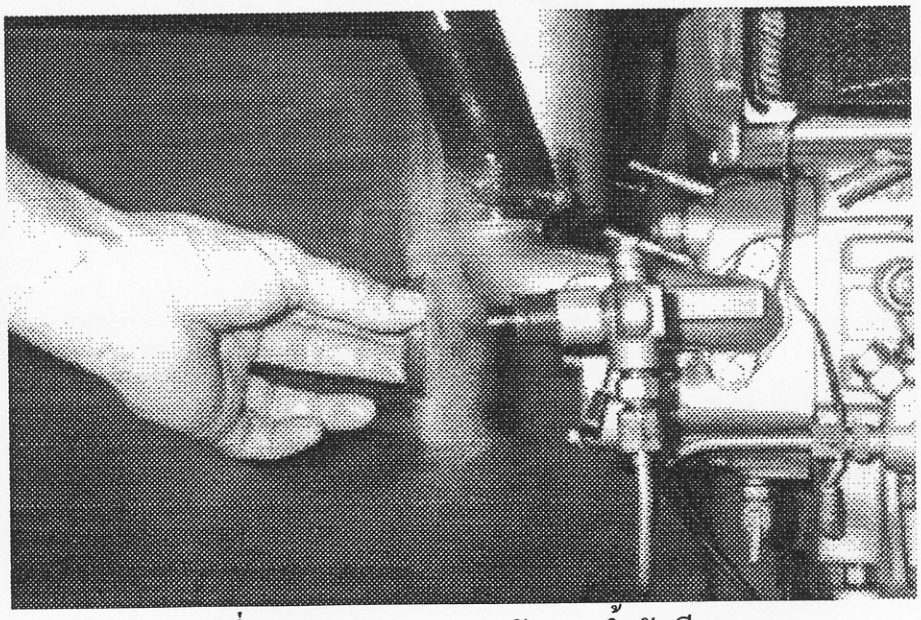
อุณหภูมิจุดวาบไฟ เป็นข้อกำหนดสมบัติของน้ำมันดีเซลที่ให้ความสำคัญในด้านความปลอดภัยของการขนส่ง เก็บรักษาและใช้งาน กำหนดไว้ ต้องไม่ต่ำกว่า $52^{0}C$ น้ำมันปาล์มมีอุณหภูมิจุดวาบไฟสูงกว่า $300^{0}C$ หรือประมาณ 6 เท่าของข้อกำหนดน้ำมันดีเซล ด้วยอุณหภูมิจุดวาบไฟที่มีค่าสูงมากดังกล่าว ทำให้น้ำมันปาล์มมีความปลอดภัยสูงมาก ไม่มีโอกาสที่จะลุกติดได้เองเลย แต่ในทางตรงกันข้ามการระเหยตัวยากของน้ำมันปาล์มทำให้มีผลโดยตรงกับการสตาร์ทเครื่องยนต์ในครั้งแรกที่เครื่องยนต์ยังมีอุณหภูมิเย็นอยู่ เครื่องยนต์จะสตาร์ทติดยากหรือไม่ติดเลย เนื่องจากการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลเป็นการอัดอากาศภายในห้องเผาไหม้ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วจึงฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้ ความร้อนของอากาศอัดจะทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มี

อุณหภูมิจุดวาบไฟต่ำเกิดการระเหยตัวผสมกับอากาศแล้วลุกติดไฟ ความร้อนจากการลุกติดไฟของน้ำเชื้อเพลิงในช่วงแรกทำให้เชื้อเพลิงส่วนที่มีอุณหภูมิการระเหยตัวสูงกว่ามีการลุกติดไฟตามมา ดังนั้นในการที่จะหมุนสตาร์ทเครื่องยนต์ดูดอากาศจากบรรยากาศรอบๆ เครื่องยนต์ที่มีอุณหภูมิต่ำ แล้วอัดให้ได้อุณหภูมิสูงเกินกว่า 300^{0}C เพื่อทำให้น้ำมันปาล์มเกิดการระเหยตัวจึงทำได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเช้าหรือช่วงเวลาที่มีฝนตกอุณหภูมิของบรรยากาศจะลดต่ำกว่าปกติ นอกจากนั้นยังพบอีกว่าประเภทของห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์เป็นอีกสาเหตุหนึ่ง ที่มีผลต่อการสตาร์ทเครื่องยนต์ เนื่องจากห้องเผาไหม้แต่ละประเภทจะมีอัตราการสูญเสียความร้อนของอากาศอัดที่อยู่ในห้องเผาไหม้แตกต่างกัน โดยที่ห้องเผาไหม้แบบเปิด (open combustion chamber) หรือเรียกว่า เครื่องยนต์แบบฉีดโดยตรง (direct injection engine: DI) อากาศจะถูกอัดและมีการ จุดระเบิดน้ำมันเชื้อเพลิงบริเวณหัวลูกสูบ ดังนั้นการสูญเสียความร้อนของอากาศอัดให้กับน้ำหล่อเย็นที่อยู่ภายในช่องของฝาสูบจะน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่มีห้องเผาไหม้ล่วงหน้า (pre-combustion chamber) หรือเครื่องยนต์แบบฉีดโดยทางอ้อม (indirect injection engine: IDI) ซึ่งอากาศจะถูกอัดและมีการจุดระเบิดของน้ำมันเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ล่วงหน้า โดยที่ห้องเผาไหม้ล่วงหน้าจะฝังตัวอยู่ในฝาสูบ ทำให้อากาศอัดมีการสูญเสียความร้อนไปกับน้ำหล่อเย็นค่อนข้างมาก จากการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ยันม่าร์ รุ่น TA 60H จะมีห้องเผาไหม้ช่วยผสมกับห้องเผาไหม้แบบเปิด จึงทำให้การสตาร์ทเครื่องยนต์ในครั้งแรกติดได้ง่ายกว่าเครื่องยนต์คูโบต้า รุ่น ET80 และET110 ที่มีห้องเผาไหม้ล่วงหน้าฝังตัวอยู่ในฝาสูบทั้งหมด

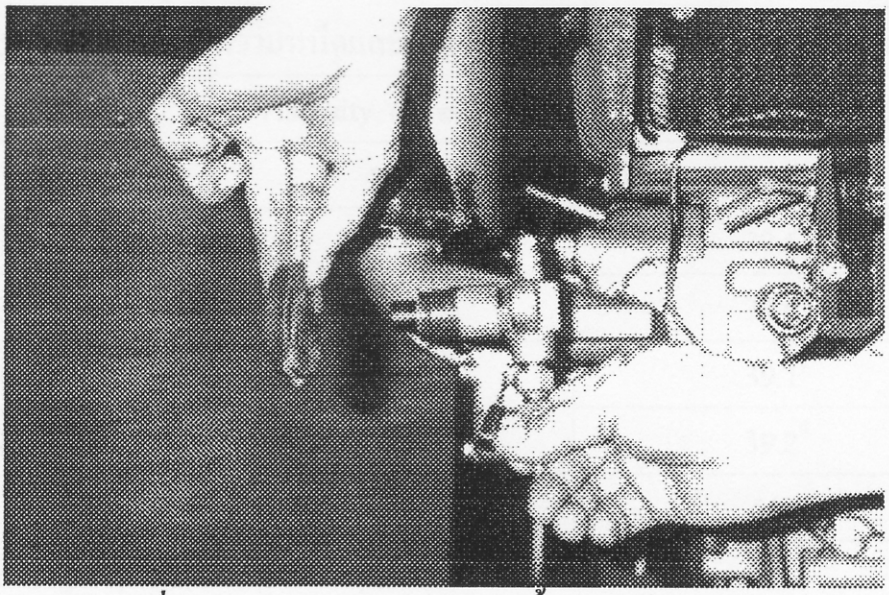
ความหนืด เป็นสมบัติที่น้ำมันปาล์มโอเลอิน มีค่าสูงกว่าค่าสูงสุดของข้อกำหนดน้ำมันดีเซลถึง 10 เท่า ทำให้การกระจายตัวของน้ำมันปาล์มที่ฉีดออกจากหัวฉีดมีการกระจายตัวไม่ดี เห็นได้อย่างชัดเจนจากการนำน้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันดีเซลทดสอบกับหัวฉีดของเครื่องยนต์คูโบต้า จำลองสภาพการทำงานโดยนำวัตถุไปวางให้ฝอยน้ำมันพุ่งชน เสมือนกับการปะทะของฝอยน้ำมันกับอากาศอัดภายในห้องเผาไหม้ พบว่าน้ำมันดีเซลจะมีการฟุ้งกระจายตัวได้ดี แต่น้ำมันปาล์มโอเลอินมีการฟุ้งกระจายตัวน้อยมากและมีการจับตัวเป็นหยด (รูปที่ 5.1(ก) และ 5.1(ข)) จากผลการทดสอบข้างต้นอุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ทดสอบอยู่ในช่วงประมาณ 28-32^{0}C ซึ่งเป็น

อุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำ แต่การทดสอบเปรียบเทียบการกระจายตัวของน้ำมันโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำได้ยาก จึงได้ทำการทดสอบผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มโอเลอิน เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่าทั้งน้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันดีเซลจะมีความหนืดลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าที่อุณหภูมิ 95^{0}C ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบทำได้ ความหนืดของน้ำมันปาล์มโอเลอินยังคงสูงกว่าค่าสูงสุดของข้อกำหนดน้ำมันดีเซลถึง 2 เท่าและสูงกว่าน้ำมันดีเซลถึง 5 เท่า (รูปที่ 5.2) ดังนั้นในการที่จะใช้ความร้อนจากน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์คงไม่เพียงพอที่จะลดความหนืดของน้ำมันปาล์มให้เทียบเท่ากับน้ำมันดีเซลได้

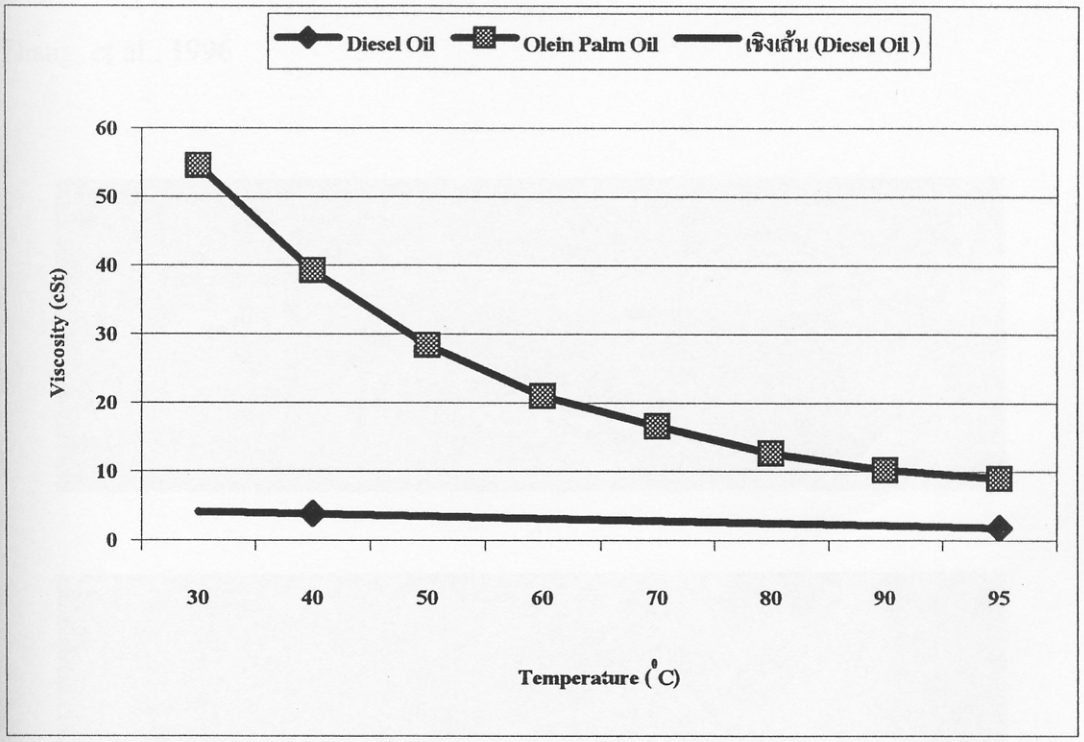
จากความหนืดของน้ำมันปาล์มที่มีค่าสูงมาก เมื่อทำการศึกษาค่าความหนืดของน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ เช่น ทานตะวัน ถั่วเหลือง เรพ เป็นต้น พบว่าความหนืดของน้ำมันพืชดังกล่าวก็มีค่าไปในทิศทางเดียวกัน (ตารางที่ 5.1) ทั้งนี้เนื่องมาจากโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันพืชจะเป็นไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งมีองค์ประกอบของกลีเซอรีนจับอยู่กับกรดไขมันจำนวน 3 เส้น (Sonntag, 1979a) ซึ่งได้มีการศึกษาและนำเสนอลักษณะโครงสร้างโมเลกุลดังกล่าว (รูปที่ 5.3) จึงทำให้โมเลกุลของน้ำมันพืชมีขนาดโตเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดโมเลกุลของน้ำมันดีเซล สำหรับน้ำมันปาล์มพบว่าในหนึ่งโมเลกุลจะมีอะตอมคาร์บอนอยู่มากกว่า 54 ตัว (ไพจิตร, 2530: 105) ส่วนน้ำมันดีเซลจะมีอะตอมคาร์บอนอยู่ประมาณ 14-19 ตัวเท่านั้น (ธำรงและสุจินต์, ม.ป.ป.: 75)



รูปที่ 5.1(ก) การกระจายตัวของน้ำมันดีเซล



รูปที่ 5.1(ข) การกระจายตัวของน้ำมันปาล์มโอเลอิน



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความหนืดของน้ำมันปาล์มโอเลอินและน้ำมันดีเซล

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบความหนืดและค่าความร้อนของน้ำมันพืชและน้ำมันดีเซล

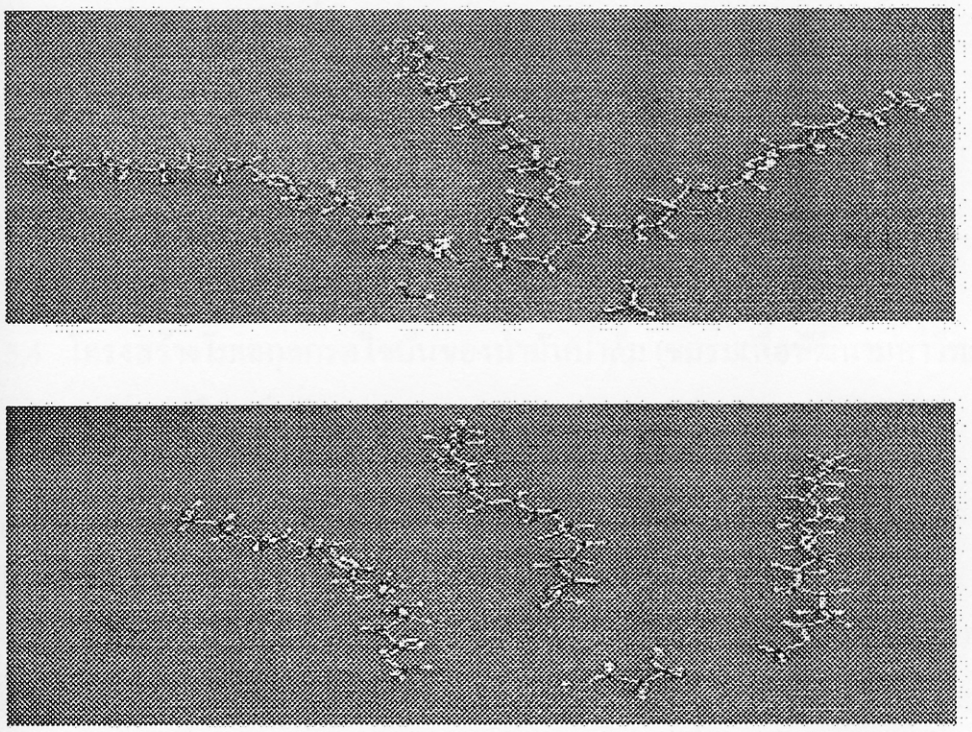
Oil	Viscosity, cSt at 40^{0}C	Gross heating value, MJ/kg
Palm	40.9	39.3
Sunflower	34.2[a]	39.5[a]
Soybean	32.6[b]	39.6[b]
Rapeseed	36.9[c]	39.1[c]
Nut-sedge	43.4[d]	39.2[d]
Diesel	3.1	44.3

[a]Karaosmanogolu; Kurt and Ozaktas, 2000

[b]Goering, et al., 1982

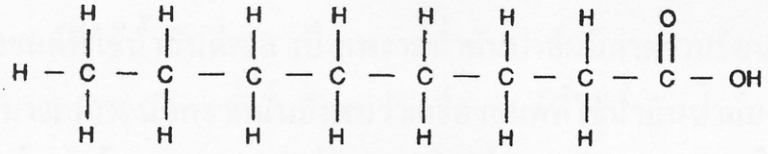
[c]Chiyuki and Kamide, 1998

[d]Zhang, et al., 1996

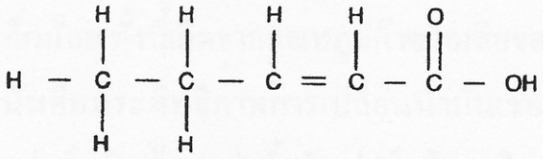


รูปที่ 5.3 แสดงโครงสร้างการจับตัวกันระหว่างกลีเซอไรด์กับกรดไขมัน ภายในโมเลกุลของน้ำมันพืช (Connemann and Fischer, 1998)

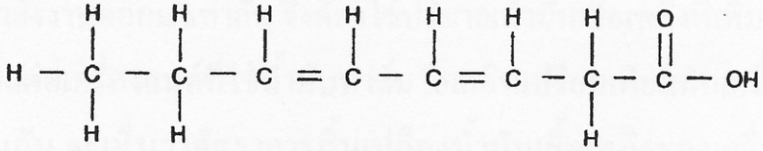
ค่าความร้อน เป็นสมบัติที่มีผลต่อปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่าน้ำมันพืชส่วนใหญ่มีค่าความร้อนใกล้เคียงกันและน้อยกว่าน้ำมันดีเซลอยู่ประมาณ 10% (ตารางที่ 5.1) เนื่องจากในโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันดีเซลประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนซึ่งเป็นธาตุที่ติดไฟทั้งคู่ แต่โครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันพืชนอกจากจะมีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนแล้วยังประกอบด้วยออกซิเจนอะตอม (รูปที่ 5.4) ซึ่งเป็นธาตุที่ไม่ติดไฟ แต่จะช่วยในการติดไฟ และมีมวลอยู่ประมาณ 10% โดยน้ำหนัก ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ได้ต่อน้ำหนัก ทำให้น้ำมันพืชจึงมีค่าความร้อนน้อยกว่าประมาณ 10%



ตัวอย่างกรดไขมันอิ่มตัว



ตัวอย่างของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มี 1 พันธะคู่



ตัวอย่างของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มี 2 พันธะคู่

รูปที่ 5.4 โครงสร้างโมเลกุลกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม (ชมรมเพื่อพัฒนามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2529: 17)

5.3 สมรรถนะของเครื่องยนต์

ผลจากการทดสอบเปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลที่อายุเครื่องยนต์ ก่อนการใช้งาน, หลังใช้งาน 500 ชั่วโมง และหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง พบว่าความแตกต่างของสมรรถนะมีผลเป็นไปในแนวทางเดียวกันทั้งสามช่วงเวลา โดยช่วงเวลาที่หนึ่งและสามจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงเวลาที่สองมีความแตกต่างที่มากกว่า เนื่องมาจากหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มเกิดความ

สกปรกทำให้การกระจายตัวของน้ำมันไม่ดี จึงได้ดำเนินการแก้ไขหลังจากที่รู้ถึงสาเหตุดังกล่าว โดยทำความสะอาดหัวฉีดของเครื่องยนต์ในการทดสอบในช่วงเวลาที่สามเป็นระยะๆ ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้เพียงก่อนการใช้งาน เนื่องจากหลังการทดสอบใช้งานเครื่องยนต์ไป 500 ชั่วโมง กำลังของเครื่องยนต์ลดต่ำลงอย่างมาก ไม่สามารถนำไปทำการทดสอบเปรียบเทียบได้ อย่างไรก็ตามผลต่างของสมรรถนะของเครื่องยนต์ก่อนใช้งานเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลก็เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลเปรียบเทียบของน้ำมันปาล์มโอเลอินกับน้ำมันดีเซล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล เป็นเพราะน้ำมันปาล์มมีค่าความร้อนที่ด้อยกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 10% นอกจากนั้นยังพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบจะมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ทั้งที่น้ำมันปาล์มดิบมีค่าความร้อนสูงกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้เกิดจากอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบมีค่าสูงกว่า นั่นคือประสิทธิภาพการเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงไปเป็นกำลังของเครื่องยนต์ของน้ำมันปาล์มดิบด้อยกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน ดังนั้นเมื่อต้องการให้เครื่องยนต์ส่งกำลังงานออกมาเท่ากัน จึงต้องใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ประเด็นดังกล่าวก็จะมีผลต่อเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเช่นกัน จะเห็นว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมากกว่า 10% เกิดจากผลต่างของค่าความร้อน และอุณหภูมิก๊าซไอเสียเช่นกัน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์ม มีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำดีเซลเป็นผลมาจาก อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มจะมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ค่าอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่สูงกว่าแสดงให้เห็นถึงการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์มภายในห้องเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพด้อยกว่า โดยที่การเปลี่ยนจากพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์มไปทำให้เกิดพลังงานกลของการเคลื่อนที่ของลูกสูบจะน้อยกว่าการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล เนื่องจากมีการสูญเสียกำลังงานบางส่วนออกมากับก๊าซไอเสียที่สูงกว่า ซึ่งปัญหาดังกล่าวเกิดจาก

น้ำมันปาล์มหรือน้ำมันพืชมีการระเหยตัวและเผาไหม้ที่ล่าช้ากว่าน้ำมันดีเซล เห็นได้อย่างชัดเจนจากการนำน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซลในปริมาณที่เท่ากันเข้าอบในตู้อบพร้อมกันที่สภาวะต่างๆ พบว่าน้ำมันดีเซลจะมีการระเหยตัวและลุกไหม้ได้ดีสุด ถัดมาเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันปาล์มดิบสุดท้าย (ตารางที่ 5.2) สอดคล้องกับการทดสอบของ Nwafor and Rice, 1996 ซึ่งได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงให้แก่กระบอกสูบ โดยเดินเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว เป็นเครื่องยนต์แบบ indirect injection ด้วยน้ำมันดีเซลและน้ำมันเรพ (รูปที่ 5.3(ก, ข)) พบว่าน้ำมันดีเซลจะมีอัตราการคายความร้อนให้กับกระบอกสูบที่สูงและเร็ว ส่วนน้ำมันเรพจะมีอัตราการคายความร้อนให้กับกระบอกสูบที่ต่ำกว่าและช้ากว่า จากผลดังกล่าวเขาได้สรุปว่าน้ำมันเรพมีอัตราการระเหยตัวและลุกไหม้ช้ากว่าน้ำมันดีเซล

ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย พบว่าทั้งเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มและเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีค่าค่อนข้างต่ำและมีความแตกต่างที่น้อยมาก จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นถึงแม้ว่าน้ำมันปาล์มจะใช้เวลาในการเผาไหม้ที่มากกว่า แต่อุณหภูมิการกลั่นตัวที่ 90% ของน้ำมันปาล์มต่ำกว่าข้อกำหนดของน้ำมันดีเซลประมาณ 40^{0}C และระยะทางจากลิ้นไอเสียจนถึงท่อไอเสีย ทำให้มีเวลาเพียงพอสำหรับน้ำมันปาล์มที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ที่จะเผาไหม้ต่อได้จนเกือบสมบูรณ์

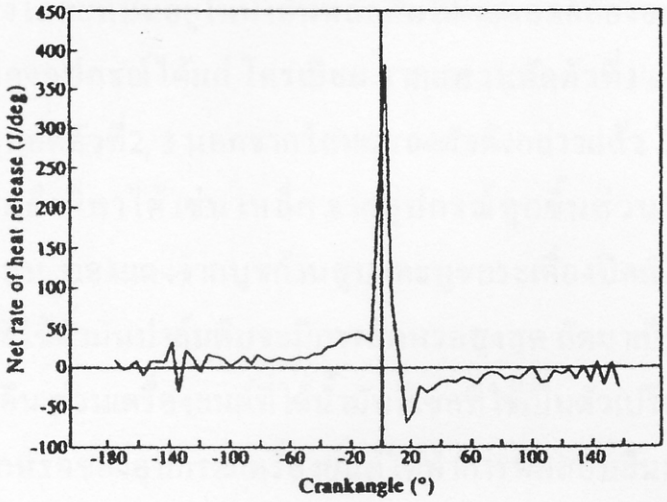
ตารางที่ 5.2 ปริมาณหลงเหลือจากการระเหยตัวเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์ม

น้ำมันเชื้อเพลิง	การทดสอบที่ 1*	การทดสอบที่ 2**	การทดสอบที่ 3***
	ยางเหนียวและกากถ่าน(%)	กากถ่าน(%)	กากถ่าน(%)
น้ำมันดีเซล	0.1	0.0	0.0
น้ำมันปาล์มโอเลอิน	5.3	2.0	1.3
น้ำมันปาล์มดิบ	8.7	2.6	1.6

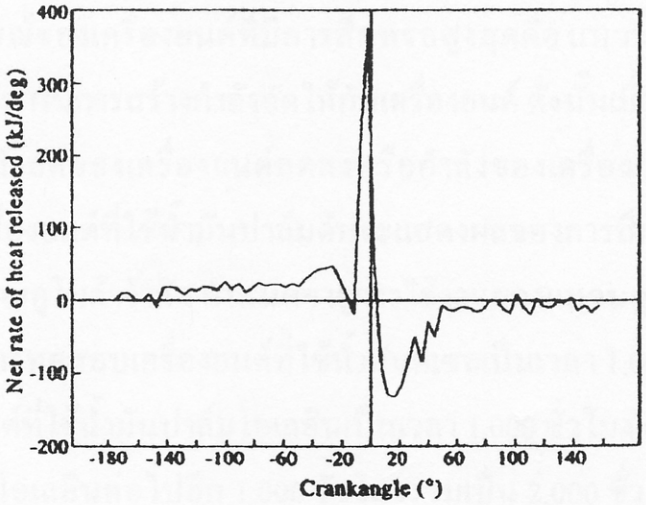
* อบน้ำมันไปที่อุณหภูมิ 500^{0}C แล้วลดอุณหภูมิลงทันที

** อบน้ำมันไปที่อุณหภูมิ 500^{0}C แล้วปล่อยให้อุณหภูมิลดลงที่ 350^{0}C

*** อบน้ำมันไปที่อุณหภูมิ 500^{0}C แล้วปล่อยให้อุณหภูมิลดลงที่ 150^{0}C



รูปที่ 5.5(ก) อัตราการถ่ายเทความร้อนให้แก่กระบอกสูบของการเผาไหม้ น้ำมันดีเซล (Nwafor and Rice, 1996)



รูปที่ 5.5(ข) อัตราการถ่ายเทความร้อนให้แก่กระบอกสูบของการเผาไหม้ น้ำมันเรพ (Nwafor and Rice, 1996)

5.4 การสึกหรอของเครื่องยนต์

การสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มจะสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ผลที่ได้สอดคล้องกันทั้ง ผลจากการวิเคราะห์หาค่าปริมาณโลหะที่สึกหรอผสมอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งาน และผลที่ได้จากการเปรียบเทียบน้ำหนักอุปกรณ์ก่อนและ

หลังการใช้งาน ซึ่งโลหะที่ปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นให้ผลสอดคล้องอย่างชัดเจนกับการสูญเสียน้ำหนักของอุปกรณ์ได้แก่ โครเมียม จากแหวนอัดตัวที่1 และแหวนน้ำมัน, ซิลิกอน จากแหวนอัดตัวที่2, 3 นอกจากโลหะสองตัวดังกล่าวแล้ว โลหะตัวที่เหลือก็สามารถที่จะบอกถึงที่มาได้ เช่น เหล็ก จากอุปกรณ์ทุกชิ้นส่วนที่มีการขัดสีกัน, อลูมิเนียมจากลูกสูบ, ทองแดงจากบูชก้านสูบและบูชกระเดื่องปิดเปิดลิ้นไอดี ไอเสีย พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบจะมีการสึกหรอสูงสุด ถัดมาเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบมีการสึกหรอต่ำสุด การสึกหรอของอุปกรณ์เครื่องยนต์ได้ทำการทดสอบยืนยันผลโดยเปรียบเทียบน้ำหนักอุปกรณ์ก่อนและหลังการใช้งาน จากการทดสอบใช้งานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันปาล์มดิบซ้ำ ซึ่งผลที่ได้ยังคงให้ค่าที่สอดคล้องกับผลของการทดสอบเดิมทุกประการ

อุปกรณ์ของเครื่องยนต์ที่มีการสึกหรอสูงสุดคือ แหวนลูกสูบ โดยเฉพาะแหวนอัด ซึ่งทำหน้าในการสร้างกำลังอัดให้กับเครื่องยนต์ ดังนั้นเมื่อแหวนอัดมีการสึกหรอจะทำให้กำลังอัดของเครื่องยนต์ลดลงหรือกำลังของเครื่องยนต์ลดลง จากการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบจะแสดงผลของการสึกหรอดังกล่าวอย่างชัดเจน บริษัทสยามคูโบต้าจำกัด กำหนดอายุการใช้งานของแหวนลูกสูบด้วยระยะห่างปากแหวน จากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง และการทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง แล้วเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอินต่อไปอีก 1,000 ชั่วโมงรวมเป็น 2,000 ชั่วโมง พบว่าน้ำหนักของแหวนลูกสูบที่หายไป (รูปที่ 5.5) สอดคล้องกับระยะห่างปากแหวนที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 5.6) รวมถึงผลการทดสอบเครื่องยนต์รหัส ET805 และ ET803 ด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ที่ 500 ชั่วโมงก็ให้ผลความสัมพันธ์ของน้ำหนักแหวนลูกสูบที่หายไป กับระยะห่างของแหวนลูกสูบไปในทำนองเดียวกัน (รูปที่ 5.6) และ (ตารางที่ 5.7)

ข้อมูลของน้ำหนักของแหวนอัดที่หายไปและระยะห่างปากแหวน หาความสัมพันธ์ออกมาได้เป็นกราฟ และสมการ (รูปที่ 5.8) โดยใช้ข้อมูลของแหวนอัดเบอร์ 2 ซึ่งมีอัตราการสึกหรอสูงสุด จากความสัมพันธ์ที่ได้ดังกล่าวทำให้ทราบถึงค่าน้ำหนักที่หายไปสูงสุดของแหวนอัดที่ยอมได้ เมื่อรู้ระยะห่างปากแหวนสูงสุดที่ยอมได้ ในที่นี้ทาง

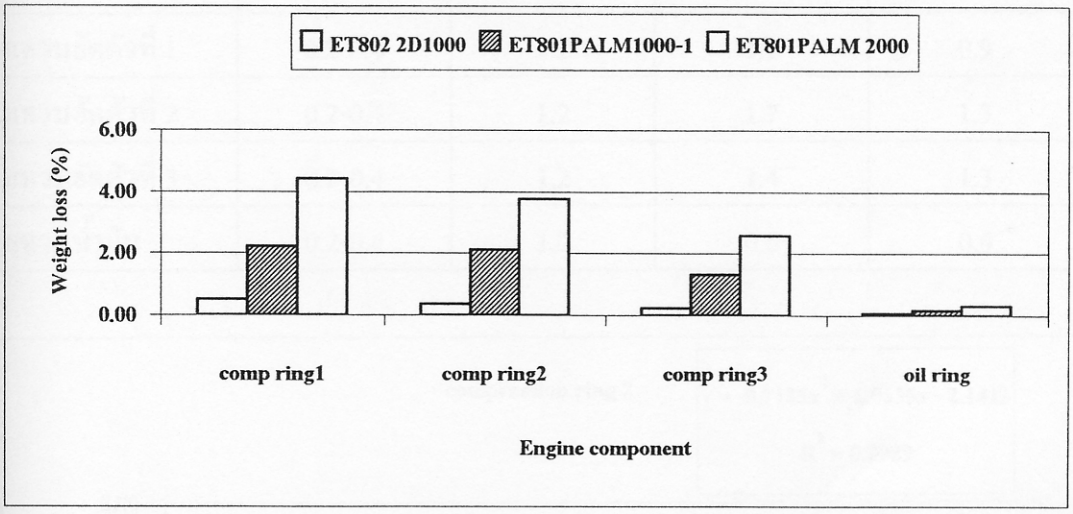
ผู้ผลิตกำหนดระยะปากแหวนไม่เกิน 1.2 มิลลิเมตร จะพบว่าน้ำหนักที่หายไปสูงสุดของแหวนอัดเบอร์ 2 ไม่เกิน 4.76% จากค่าที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่หายไปของแหวนอัดเบอร์ 2 ของเครื่องยนต์ รหัส ET802 ที่ใช้น้ำมันดีเซล ที่อายุใช้งาน 1,000 ชั่วโมง ทำให้ประมาณอายุของเครื่องยนต์รหัส ET802 ได้ว่าไม่น้อยกว่า 4,800 ชั่วโมง ตัวเลขอายุของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลดังกล่าว สอดคล้องกับอายุของเครื่องยนต์รุ่นเดียวกันที่นำไปใช้งานในการเติมอากาศในการทำนากุ้งซึ่งลักษณะของการใช้งานเครื่องยนต์ใกล้เคียงกัน คือ เดินเครื่องยนต์อย่างต่อเนื่อง

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบอายุการใช้งานของเครื่องยนต์จากสภาพเครื่องยนต์ใหม่แล้วต้องทำการซ่อมบำรุงเปลี่ยนอุปกรณ์ในครั้งแรก พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีอายุการใช้งานมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินมากกว่า 2 เท่าและมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเกือบ 10 เท่า

จากปัญหาแหวนลูกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มมีการสึกหรอสูงผิดปกติ พบว่าไม่ได้เกิดจากน้ำมันหล่อลื่นเนื่องจากสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นหลังจากการใช้งานยังมีค่าอยู่ในข้อกำหนดโดยมีความหนืดอยู่ในช่วง 12.5-16.3 cSt ความเป็นด่างไม่ต่ำกว่า 2 mg KOH และมีความแตกต่างจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเพียงเล็กน้อย ดังนั้นปัญหาดังกล่าวจึงมาจากสมบัติของน้ำมันปาล์มโดยตรง เนื่องจากโมเลกุลของน้ำมันปาล์มมีขนาดโตกว่าน้ำมันดีเซลไม่น้อยกว่า 3 เท่า ทำให้การระเหยตัวลุกไหม้ล่าช้ากว่าไม่สามารถเผาไหม้ได้หมดภายในเวลาอันจำกัด เกิดการหลงเหลือจากการเผาไหม้ขึ้นภายในกระบอกสูบ จากการจำลองอบน้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิและเวลาที่เท่ากัน พบว่าน้ำมันปาล์มจะเกิดยางเหนียว และกากถ่าน ในขณะที่น้ำมันดีเซลเผาไหม้ได้ทั้งหมด (รูปที่ 5.9) ยางเหนียวและกากถ่านดังกล่าวจะแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างผนังลูกสูบและแหวนลูกสูบในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่อยู่ภายในกระบอกสูบ ทำให้บริเวณจุดสัมผัสสูญเสียการหล่อลื่นการสึกหรอจึงเกิดขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าหากปริมาณยางเหนียวและกากถ่านยิ่งมีปริมาณมากเท่าใดก็ยิ่งทำให้การสึกหรอของแหวนลูกสูบเพิ่มขึ้น จากกรณีที่นำเครื่องยนต์รหัส ET1101 ไปใช้งานในสภาพการใช้งานจริง เครื่องยนต์จะมีภาระของค่อนข้างเบา ทำให้เครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้น้ำมันปาล์มในห้องเผาไหม้ด้อยกว่าการทดสอบใช้งานในห้องปฏิบัติการ พบว่าการสึก

หรอของเครื่องยนต์รหัส ET1101 ซึ่งมีอายุการใช้งานเพียง 300 ชั่วโมง เทียบเท่ากับการสึกหรอของเครื่องยนต์รหัส ET801 ทำการทดสอบใช้งานในห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง (รูปที่5.10) และ (ตารางที่ 5.9)

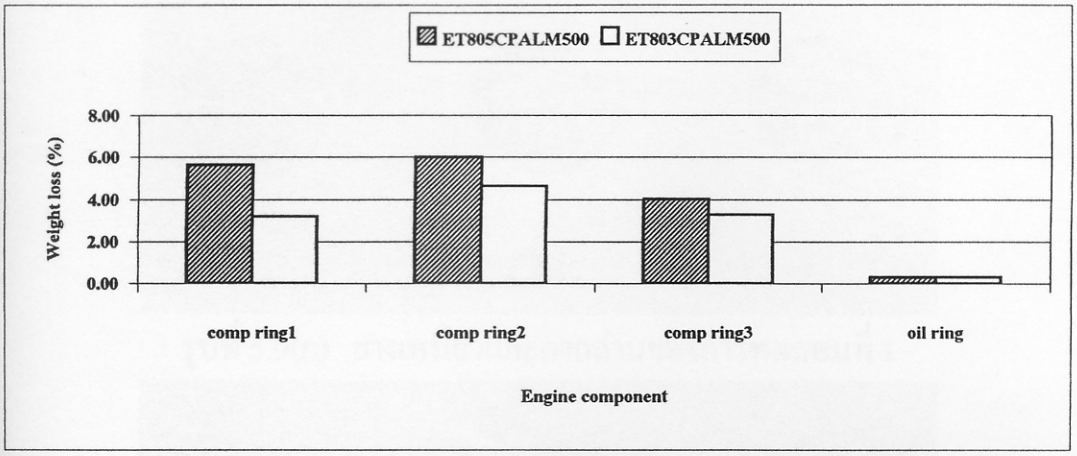
การใช้น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ดีเซล พบว่านอกจากการสึกหรอของแหวนลูกสูบแล้วยังมีอุปกรณ์อื่นๆ ที่ได้รับผลกระทบ เช่น การสึกหรอของปลอกนำก้านลิ้นไอเสียซึ่งจะต้องทำการเปลี่ยนใหม่ของเครื่องยนต์รหัส ET805, ET803 ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเวลาเพียง 500 ชั่วโมง และเครื่องยนต์รหัส ET801 ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นเวลา 2,000 ชั่วโมง รวมถึงการสึกหรอเนื่องจากการเกิดสนิมที่ฝาสูบและลิ้นไอดี ลิ้นไอเสีย ของเครื่องยนต์รหัส ET1101 ซึ่งใช้งานเพียง 300 ชั่วโมง นอกจากนั้นยังพบว่าการสึกหรอของเสื้อสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มก็จะมีมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอีกด้วย



รูปที่ 5.6 น้ำหนักแหวนที่ลดลงของเครื่องยนต์ที่อายุ 1,000 และ 2,000 ชั่วโมง

ตารางที่ 5.3 ระยะห่างปากแหวนของเครื่องยนต์ที่อายุ 1,000 และ 2,000 ชั่วโมง

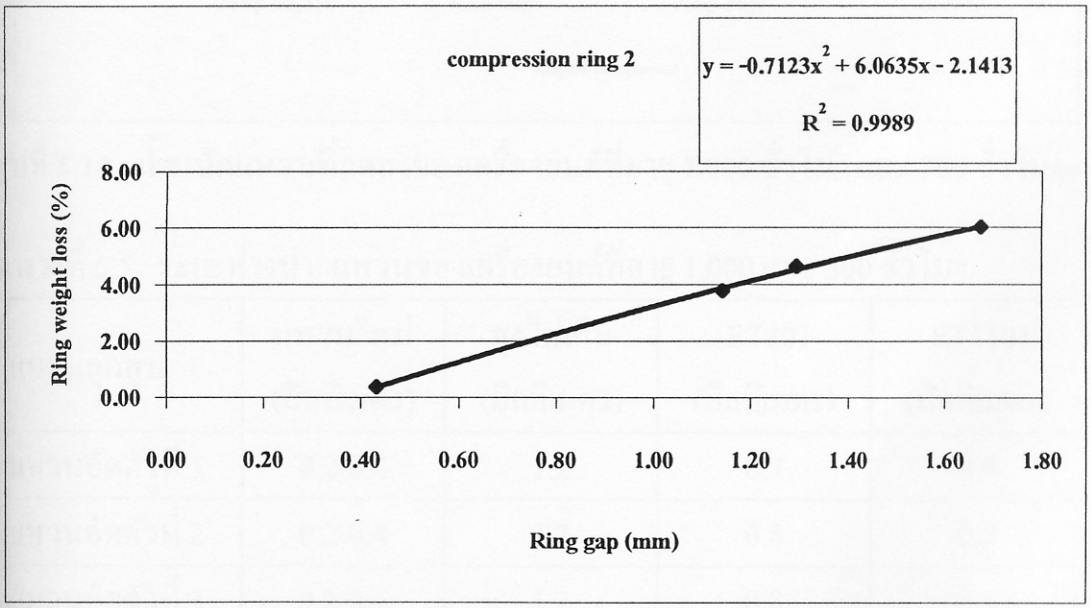
แหวนลูกสูบ	แหวนใหม่ (มิลลิเมตร)	สูงสุดไม่เกิน (มิลลิเมตร)	ET802 (มิลลิเมตร)	ET801 (มิลลิเมตร)	
				1,000 hrs.	2,000 hrs.
แหวนอัด 1	0.2-0.4	1.2	0.4	0.7	1.0
แหวนอัด 2	0.2-0.4	1.2	0.5	0.8	1.2
แหวนอัด 3	0.2-0.4	1.2	0.5	0.8	1.2
แหวนน้ำมัน	0.2-0.4	1.2	0.3	0.4	0.6



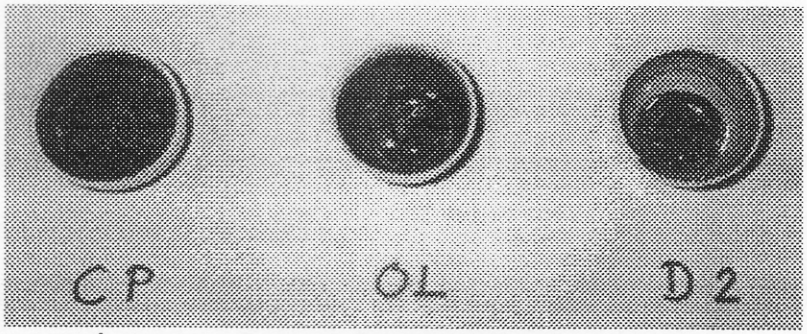
รูปที่ 5.7 น้ำหนักแหวนที่ลดลงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบที่อายุ 500 ชั่วโมง

ตารางที่ 5.4 ระยะห่างปากแหวนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบที่อายุ 500 ชั่วโมง

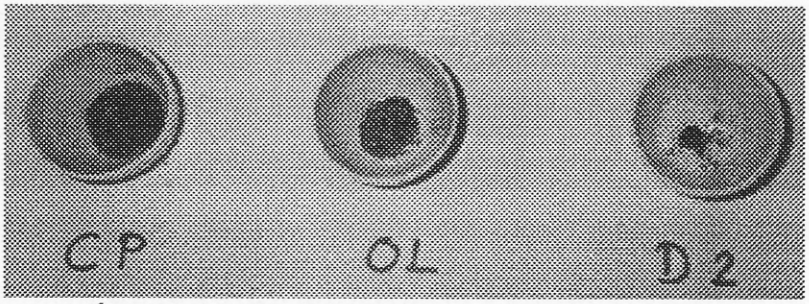
แหวนลูกสูบ	แหวนใหม่ (มิลลิเมตร)	สูงสุดไม่เกิน (มิลลิเมตร)	ET805 (มิลลิเมตร)	ET803 (มิลลิเมตร)
แหวนอัดตัวที่ 1	0.2-0.4	1.2	1.1	0.9
แหวนอัดตัวที่ 2	0.2-0.4	1.2	1.7	1.3
แหวนอัดตัวที่ 3	0.2-0.4	1.2	1.4	1.3
แหวนน้ำมัน	0.2-0.4	1.2	0.6	0.6



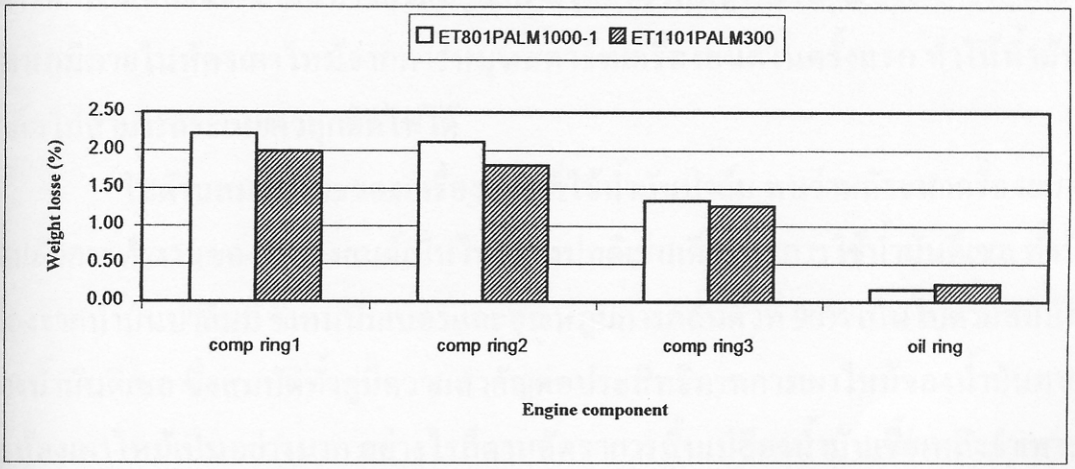
รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ของระยะห่างปากแหวนและน้ำหนักที่ลดลงของแหวนอัดตัวที่ 2



รูปที่ 5.9(ก) ยางเหนียวและกากถ่านของการทดสอบที่ 1



รูปที่ 5.9(ข) ยางเหนียวและกากถ่านของการทดสอบที่ 2



รูปที่ 5.10 น้ำหนักแหวนที่ลดลงของเครื่องยนต์ที่อายุ 1,000 ชั่วโมง และ 300 ชั่วโมง

ตารางที่ 5.5 ระยะห่างปากแหวนของเครื่องยนต์ที่อายุ 1,000 และ 300 ชั่วโมง

แหวนลูกสูบ	แหวนใหม่ (มิลลิเมตร)	สูงไม่เกิน (มิลลิเมตร)	ET801 (มิลลิเมตร)	ET1101 (มิลลิเมตร)
แหวนอัดตัวที่ 1	0.2-0.4	1.2	0.7	0.8
แหวนอัดตัวที่ 2	0.2-0.4	1.2	0.8	0.8
แหวนอัดตัวที่ 3	0.2-0.4	1.2	0.8	0.8
แหวนน้ำมัน	0.2-0.4	1.2	0.4	0.5

5.5 สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรรุ่น ET ของคูโบต้า ด้วยน้ำมันปาล์มเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลและทดสอบการเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มในสภาพการใช้งานจริง

การใช้น้ำมันปาล์มในเครื่องยนต์ดีเซลแบบมีห้องเผาไหม้ล่วงหน้าและเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ทางการเกษตร ทั้งที่เป็นน้ำมันปาล์มโอเลอินซึ่งเป็นน้ำมันบริสุทธิ์ใช้ในการบริโภคและน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการหีบผลปาล์มและกรองเอาสิ่งสกปรกออก พบว่าเครื่องยนต์สามารถทำงานได้เป็นปกติ โดยที่สามารถเติมน้ำมันปาล์มโอเลอินลงในถังน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ได้โดยตรง ส่วนน้ำมันปาล์มดิบจะต้องทำการอุ่นน้ำมันให้ได้อุณหภูมิประมาณ 70-80^{0}C เพื่อให้น้ำมันในส่วนของไขสเตียรินหลอมละลาย ส่วนการสตาร์ทเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มทำได้ยาก จำเป็นต้องใช้น้ำมันดีเซลช่วยในการสตาร์ท ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันปาล์มจะมีอุณหภูมิจุดวาบไฟที่สูงประมาณ 300^{0}C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จากการหมุนสตาร์ทเครื่องยนต์ในครั้งแรก ทำให้น้ำมันปาล์มไม่สามารถระเหยตัวลุกติดไฟได้

ในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์ม พบว่าหลังจากเครื่องยนต์ติดแล้วการทำงานของเครื่องยนต์เป็นไปอย่างปกติเช่นเดียวกับการใช้น้ำมันดีเซล ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันปาล์มมี ซีเทนนัมเบอร์และอุณหภูมิการกลั่นตัวที่ 90% เป็นไปตามสมบัติของน้ำมันดีเซล ซึ่งสมบัติทั้งคู่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของน้ำมันภายในห้องเผาไหม้เป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มจะสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเนื่องจากน้ำมันปาล์มจะมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 10%

ในด้านการสึกหรอของอุปกรณ์เครื่องยนต์พบว่าอุปกรณ์ที่สัมผัสน้ำมันปาล์มก่อนการเผาไหม้ ได้แก่ ปั๊มน้ำมันและวาล์วส่งน้ำมันเชื้อเพลิง มีการสึกหรอน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเล็กน้อยเนื่องจากน้ำมันปาล์มมีความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลทำให้สภาพการหล่อลื่นของผิวสัมผัสดีกว่า ส่วนอุปกรณ์ที่สัมผัสกับน้ำมันปาล์มที่เผาไหม้และมีการสึกหรอสูงสุด คือ แหวนลูกสูบ โดยเฉพาะแหวนอัดและการสึกหรอของแหวนอัดดังกล่าวทำให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ลดลง จากการเปรียบเทียบกับ

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินจะมีอายุลดลงประมาณ 2 เท่า และในกรณีที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบอายุลดลงประมาณ 10 เท่า นอกจากนั้นยังพบว่าในกรณีที่เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเมื่อนำไปใช้งานที่ภาระต่ำๆ จะยิ่งทำให้การสึกหรอของแหวนลูกสูบเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้งานที่ภาระสูงเป็นอย่างมาก

สาเหตุของการสึกหรอของแหวนลูกสูบเกิดจากน้ำมันปาล์มมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลถึงประมาณ 10 เท่า ความหนืดดังกล่าวเกิดจากขนาดโมเลกุลของน้ำมันปาล์มที่โตกว่าโมเลกุลของน้ำมันดีเซลถึงประมาณ 3 เท่า ทำให้เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้น้ำมันปาล์มให้สมบูรณ์เพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อใช้น้ำมันปาล์มในเครื่องยนต์ดีเซลจึงทำให้น้ำมันปาล์มเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ มีการหลงเหลือจากการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบและการหลงเหลือดังกล่าวอยู่ในสภาพยางเหนียวและกากถ่าน เข้าไปแทรกระหว่างแหวนลูกสูบและผนังลูกสูบ ทำให้บริเวณดังกล่าวมีสภาพการหล่อลื่นที่ลดลง

5.6 ข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ในงานวิจัยนี้ ในช่วงแรกของการวิจัยได้ส่งน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วทดสอบหาค่าโลหะที่สึกหรอเพื่อนำมาตรวจสอบกับการสูญเสียน้ำหนักของอุปกรณ์ แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นแต่ละตัวอย่างสูงมาก อีกทั้งพบว่าอุปกรณ์ที่มีการสึกหรอสูงสุด คือแหวนลูกสูบ สามารถที่จะใช้วิธีการวัดระยะห่างของปากแหวน ตรวจสอบกับน้ำหนักของแหวนที่ลดลงได้ และข้อมูลที่ได้ยังคงมีความแม่นยำแต่ค่าใช้จ่ายลดลงอย่างมาก แนวทางดังกล่าวสามารถที่จะนำไปใช้สำหรับการทำวิจัยต่อไป นอกจากนั้นวิธีการทดสอบเครื่องยนต์ของงานวิจัยนี้เป็นการติดตามผลแบบอนุกรมต่อเนื่องกันไป ดังนั้นความรู้ความเข้าใจและความชำนาญในการถอดประกอบเครื่องยนต์และการดูแลเอาใส่เครื่องยนต์จึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก เพราะหากเกิดความผิดพลาดขึ้นกับเครื่องยนต์หรืออุปกรณ์ของเครื่องยนต์ในระหว่างที่ทำการศึกษา ทำให้ต้องเริ่มต้นทำการทดสอบใหม่ทั้งหมด