

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาระบบจ่ายเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

ทดแทน

DEVELOPMENT OF INJECTION SYSTEM FOR A SMALL DIESEL  
ENGINE USING ALTERNATIVE FUELS



กิตติ เอี่ยมเปรมจิต

KITTI IEMPREMJIT

ฉพ.  
๗ ๕ ๗ ๓ ๗  
๒๕๔๙

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 61693

วัน,เดือน,ปี...1.9.ค.ศ. 2549

b. 11๖018๐2.....

i. ....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2307-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DEVELOPMENT OF INJECTION SYSTEM FOR A SMALL DIESEL  
ENGINE USING ALTERNATIVE FUELS**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2006**

**ISBN 974-15-2307-6**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2006**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบจ่ายเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงทดแทน
นักศึกษา	นายกิตติ เอี่ยมเปรมจิต
รหัสประจำตัว	44062018
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะสเปรย์น้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลเล็ก รูปแบบของสเปรย์หัวฉีดมีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล การศึกษารูปแบบสเปรย์ได้ใช้หัวฉีดรูเดียวและหัวฉีดแบบ 4 รู ใช้การอุ่นน้ำมันก่อนเข้าหัวฉีดและการปรับความดันหัวฉีดเพื่อช่วยปรับปรุงลักษณะของสเปรย์น้ำมันให้ดีขึ้น ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มความดันหัวฉีดทำให้ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสูงขึ้น ได้มากกว่าการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันพืชสักัด สำหรับหัวฉีดแบบรูเดียว การเพิ่มความดันหัวฉีดจาก 12 MPa เป็น 20 MPa ทำให้ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชมีค่าใกล้เคียงกับสเปรย์น้ำมันดีเซล สำหรับหัวฉีดแบบ 4 รู อาจไม่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงระบบจ่ายเชื้อเพลิง เนื่องจากสเปรย์น้ำมันพืชสักัดจะมีความเร็วช่วง 1 – 4 ms ต่ำ แต่ความเร็วช่วงหลัง 4 ms จะลดลงไม่มาก ทำให้สเปรย์น้ำมันพืชสักัดฉีดไปได้ไกลกว่า ทำให้สเปรย์กระทบกับหัวลูกสูบหรือผนังกระบอกสูบเกิดเขม่าสะสมในห้องเผาไหม้

<b>Thesis Title</b>	Development of Injection System for a Small Diesel Engine Using Alternative Fuels
<b>Student</b>	Mr.Kitti Iempremjit
<b>Student ID.</b>	44062018
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Mechanical Engineering
<b>Year</b>	2006
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr.Chinda Charoenphonpanich

### ABSTRACT

Several vegetable oils have potential to partially substitute petroleum products, especially diesel oil. This study aims to improve injection spray of vegetable oils that using in small diesel engine. The injection spray pattern is important for optimize operation because combustion efficiency in diesel engine also depended on fuel spray characteristics. The single hole and 4-holes injector are used for observe injection spray. Another parameters such as preheated temperature and injection pressure were also investigated. Results show increasing of injection pressure can increase spray velocity better than oil preheating. For single hole injector, increasing of 8 MPa of injection pressure can improve spray velocity of vegetable oil. For 4-holes injector, vegetable oils can use in conventional diesel engine.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.จินดา เจริญพร พานิชย์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

กิตติ เอี่ยมเปรมจิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VI
สารบัญรูป .....	VII
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา .....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย .....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย .....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา .....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซล .....	4
2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับรูปแบบสเปรย์ .....	7
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีทดลอง .....	15
3.1 อุปกรณ์จ่ายเชื้อเพลิงแรงดันสูง .....	16
3.2 วิธีบันทึกภาพสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง .....	17
3.3 วิธีวัดความเร็วสเปรย์ .....	23
3.4 วิธีอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิง .....	34
3.5 วิธีการประมาณค่าความดันภายในกระบอกสูบ .....	35
3.6 คุณสมบัติของน้ำมันพืช .....	37
บทที่ 4 ผลการทดลอง .....	38
4.1 สเปรย์หัวฉีดแบบรูเดียว .....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 4.1.1 สเปรย์น้ำมันดีเซล เพื่อลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ไม่อนุญาตให้แก้ไขปรับปรุงหรือดัดแปลง 38

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2 สเปรย์น้ำมันพืชสกัด .....	39
4.1.3 ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัด .....	50
4.1.4 มุมสเปรย์น้ำมันพืชสกัด .....	53
4.1.5 สเปรย์น้ำมันพืชคิบบ .....	55
4.2 สเปรย์หัวฉีดแบบ 4 รู .....	59
4.2.1 สเปรย์น้ำมันดีเซล .....	59
4.2.2 สเปรย์น้ำมันพืชสกัด .....	60
4.2.3 ความยาวและความเร็วสเปรย์ .....	77
4.3 ผลของคุณสมบัติของน้ำมันพืชสกัดต่อลักษณะสเปรย์ .....	84
4.3.1 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดและความถ่วงจำเพาะ .....	84
4.3.2 ผลของความหนืดและความถ่วงจำเพาะต่อความเร็วสเปรย์ .....	85
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	88
บรรณานุกรม .....	90
ภาคผนวก .....	92
ภาคผนวก ก. ข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ.....	93
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	99
ประวัติผู้เขียน .....	113

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อมูลทางเทคนิคของรถที่ใช้ในการทดลอง .....	5
2.2 อัตราการใช้เชื้อเพลิง .....	6
2.3 ข้อมูลทางเทคนิค .....	13
2.4 ผลของคุณสมบัติของเหลวที่มีผลต่อลักษณะสเปรย์ .....	14
3.1 โปรแกรมคำสั่งควบคุมการทำงาน .....	21
3.2 เวลาการเกิด Breakup ของสเปรย์น้ำมันดีเซล .....	31
3.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดเวลาด้วยโฟโตเซนเซอร์ของหัวฉีดเดี่ยว .....	31
3.4 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดเวลาด้วยโฟโตเซนเซอร์ของหัวฉีดที่ 1.....	32
3.5 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดเวลาด้วยโฟโตเซนเซอร์ของหัวฉีดที่ 2.....	32
3.6 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดเวลาด้วยโฟโตเซนเซอร์ของหัวฉีดที่ 3.....	33
3.7 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดเวลาด้วยโฟโตเซนเซอร์ของหัวฉีดที่ 4.....	33
3.8 ข้อมูลอัตราส่วนการอัดและความดันในกระบอกสูบ .....	35
3.9 ความหนืดของน้ำมันพืชสกัด .....	37
3.10 ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันพืชสกัด .....	37
3.11 จุดวาบไฟและจุดติดไฟของน้ำมันพืชสกัด .....	37
4.1 ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa .....	50
4.2 ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัด อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	50
4.3 มุมการสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa .....	53
4.4 มุมการสเปรย์น้ำมันพืชสกัด อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	53
4.5 ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัดก่อนเกิดก่อนเกิด Breakup ความดันหัวฉีด 17 MPa .....	77
4.6 ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัดก่อนเกิดก่อนเกิด Breakup อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	77
4.7 สัมประสิทธิ์ความยาวสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa .....	78
4.8 สัมประสิทธิ์ความยาวสเปรย์น้ำมันพืชสกัด อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	78
4.9 สัมประสิทธิ์ความยาวสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa .....	79
4.10 สัมประสิทธิ์ความยาวสเปรย์น้ำมันพืชสกัด อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลูกสูบและหัวฉีดเมื่อเดินเครื่องด้วยน้ำมันเมถิลทานตะวัน .....	7
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างชาวสเปรย์กับเวลา .....	9
2.3 KH breakup model .....	9
2.4 Turbulence induced breakup model .....	10
2.5 DDB model .....	12
2.6 ลักษณะสเปรย์น้ำมันดีเซล .....	14
3.1 ปืนจ่ายเชื้อเพลิงแรงดันสูง .....	16
3.2 หัวฉีดรูเดียวของคูโบตา .....	16
3.3 หัวฉีด 4 รูของฮันมาร์ .....	17
3.4 อุปกรณ์บันทึกภาพสเปรย์หัวฉีด .....	17
3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	18
3.6 กล้องดิจิทัล .....	18
3.7 แผงวงจรขยายสัญญาณ .....	19
3.8 วงจรตรวจจับตำแหน่งเพลาชับปืน .....	19
3.9 วงจรขยายสัญญาณไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	20
3.10 วงจรขยายกำลัง .....	20
3.11 สเปรย์น้ำมันดีเซลที่เวลา 4 ms หัวฉีดแบบรูเดียว บันทึกจากด้านต่างๆ .....	22
3.12 อุปกรณ์วัดความเร็วสเปรย์หัวฉีด .....	23
3.13 โฟโตเซนเซอร์ .....	23
3.14 อุปกรณ์ยึดตำแหน่งโฟโตเซนเซอร์ .....	24
3.15 ออสซิลโลสโคป .....	24
3.16 เวลาที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป สเปรย์น้ำมันดีเซล หัวฉีดรูเดียว .....	25
3.17 เวลาที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป สเปรย์น้ำมันดีเซล หัวฉีด 4 รู .....	27
3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปรย์กับเวลาของน้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C หัวฉีดแบบรูเดียว .....	29
3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปรย์กับเวลาของน้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C หัวฉีดแบบ 4 รู .....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C หัวฉีดแบบ 4 รู .....	30
3.21 ลำดับของรูหัวฉีด สำหรับหัวฉีดแบบ 4 รู.....	32
3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของหัวฉีดแบบ 4 รู.....	34
3.23 ฮีตเตอร์อุ่นน้ำมันเชื้อเพลิง .....	34
3.24 อุปกรณ์หรีไฟ .....	35
3.25 กราฟความดันในกระบอกสูบ โดย Murari Mohon ROY .....	36
3.26 กราฟความดันในกระบอกสูบ โดย Masahiro Ishida .....	36
4.1 ลักษณะสเปิร์กน้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีด 8 MPa อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	38
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	39
4.3 สเปิร์กที่ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C เวลา 4 ms หลังการฉีด .....	39
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	40
4.5 ลักษณะสเปิร์กน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa ที่อุณหภูมิเชื้อเพลิง ต่างๆ .....	42
4.6 ลักษณะสเปิร์กน้ำมันพืชสกัด อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C ความดันหัวฉีดต่างๆ .....	43
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 50 °C .....	44
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 70 °C .....	45
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 90 °C .....	46
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 12 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	47
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 16 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	48
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 20 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการฝ่าฝืน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa .....	51
4.14 ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa .....	51
4.15 ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัด อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	52
4.16 ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัด อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	52
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมการสเปรย์กับอุณหภูมิของน้ำมันพืชสกัด .....	54
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมการสเปรย์กับความดันหัวฉีดของน้ำมันพืชสกัด .....	54
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปรย์กับเวลาของน้ำมันพืชดิบ ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	55
4.20 เปรียบเทียบสเปรย์น้ำมันพืช ความดันหัวฉีด 8 MPa อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	56
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปรย์กับเวลาของน้ำมันพืชเมล็ดขางพารา ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	57
4.22 สเปรย์น้ำมันเมล็ดขางพารา ความดันหัวฉีด 8 MPa อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	58
4.23 สเปรย์น้ำมันเมล็ดขางพาราซึ่งผ่านกระบวนการผลิตเป็น ไบโอดีเซล ความดันหัวฉีด 8 MPa อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	58
4.24 ลักษณะสเปรย์น้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	59
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปรย์กับเวลาของน้ำมันดีเซล ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิ 30 °C .....	59
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสเปรย์กับเวลาของน้ำมันดีเซล ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	60
4.27 สเปรย์ที่ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C เวลา 4 ms หลังการฉีด .....	60
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปรย์กับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิ 30 °C .....	61
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสเปรย์กับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิ 30 °C .....	62
4.30 ลักษณะสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa ที่อุณหภูมิเชื้อเพลิงต่างๆ .....	63
4.31 ลักษณะสเปรย์น้ำมันพืชสกัดอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C ความดันหัวฉีดต่างๆ .....	64
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปรย์กับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 50 °C .....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เข้าเว็บไซต์ของกรมส่งเสริมการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 70 °C .....	66
4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 90 °C .....	67
4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 50 °C .....	68
4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 70 °C .....	69
4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 90 °C .....	70
4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 21 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	71
4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 25 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	72
4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 29 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	73
4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 21 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	74
4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 25 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	75
4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 29 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	76
4.44 เปรียบเทียบความยาวสเปิร์ก ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	80
4.45 เปรียบเทียบความยาวสเปิร์ก ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 50 °C .....	80
4.46 เปรียบเทียบความยาวสเปิร์ก ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 70 °C .....	81
4.47 เปรียบเทียบความยาวสเปิร์ก ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 90 °C .....	81
4.48 เปรียบเทียบความยาวสเปิร์ก ความดันหัวฉีด 21 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	82
4.49 เปรียบเทียบความยาวสเปิร์ก ความดันหัวฉีด 25 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	82

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตเห็นแจ้งไว้บนเว็บไซต์ของสถาบันฯ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.50 เปรียบเทียบความยาวสเปรย์ ความดันหัวฉีด 29 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C .....	83
4.51 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของน้ำมันพืชสกัด .....	84
4.52 ผลของอุณหภูมิต่อความถ่วงจำเพาะของน้ำมันพืชสกัด .....	85
4.53 ผลของความหนืดต่อความเร็วสเปรย์ของน้ำมันพืชสกัด .....	86
4.54 ผลของความถ่วงจำเพาะต่อความเร็วสเปรย์ของน้ำมันพืชสกัด .....	86



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศกำลังพัฒนาหลายประเทศสามารถผลิตน้ำมันพืช เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว ฯลฯ น้ำมันพืชเหล่านี้มีศักยภาพเป็นเชื้อเพลิงทดแทนผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมได้ หลายประเทศได้มีการศึกษาและทดลองใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล เช่น Akor [1] ทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล ระบายความร้อนด้วยอากาศทำงานที่ 1200 rpm ใช้น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน เป็นเชื้อเพลิง ผลการทดลองปรากฏว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดังกล่าวให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง Yutiamco [2] ใช้น้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล 3 สูบ พบว่าที่ 1500 rpm น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพสูงกว่าน้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์มีแนวโน้มเกิดการน็อคถ้ามีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวเกิน 80 % Hassan and Mat [3] ทดลองเครื่องยนต์สูบเดียวโดยใช้น้ำมันปาล์มเมทิลเอสเทอร์ผสมดีเซล พบว่าการใช้น้ำมันผสมจะได้สมรรถนะที่ดีกว่าการใช้น้ำมันดีเซลบริสุทธิ์ Cruz and Santos [4] ศึกษาการใช้น้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันดีเซล 5% เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถประจำทาง 168 คัน ในกรุงมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์ ปรากฏว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ยของน้ำมันผสมจะไม่แตกต่างกับการใช้น้ำมันดีเซล การสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันผสมก็อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ปัญหาการใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซลก็มีผู้ศึกษาอยู่หลายท่าน เช่น Obert [5] และ Bruwer [6] ได้ประเมินว่า น้ำมันพืชจะสามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้อีกไม่กี่สิบปีข้างหน้า อย่างไรก็ตาม การวิจัยก็ยังพบปัญหาการใช้น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์ในระยะยาว ปัญหาดังกล่าวคือ น้ำมันพืชมีความหนืดสูง ระเหยตัวได้ยาก และเกิดปฏิกิริยาขององค์ประกอบคาร์บอนไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ภายในห้องเผาไหม้ และก่อให้เกิดมลพิษออกไปกับไอเสียมากกว่าน้ำมันดีเซล Ryan [7] พบว่า การใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซลจะทำให้เกิดการสะสมตัวของคาร์บอนในห้องเผาไหม้ การติดตายของแหวนลูกสูบ การสะสมของคาร์บอนที่หัวฉีดทำให้หัวฉีดอุดตัน เป็นผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ รูปแบบสเปรย์เชื้อเพลิงที่ไม่ดีเป็นปัญหาหลักในการทำงานของเครื่องยนต์ในระยะยาว ดังนั้น การศึกษาผลของการเลือกใช้ชนิดของหัวฉีด ประกอบกับวิธีการปรับปรุงที่เหมาะสม จะทำให้ได้รูปแบบสเปรย์เชื้อเพลิงที่ดีขึ้น ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ได้

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

การนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์สันดาปภายในได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน แต่ปัญหาหลักประการหนึ่งของการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลก็คือ ความหนืดของน้ำมันพืชมีค่าสูงที่อุณหภูมิห้อง ทำให้การแตกตัวของละอองเชื้อเพลิงขณะที่ฉีดเข้าห้องเผาไหม้ไม่ดี ส่งผลถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ งานวิจัยนี้จะศึกษารูปแบบสเปรย์เชื้อเพลิงของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ ในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก การทดลองจะใช้วิธีการบันทึกภาพของสเปรย์น้ำมันที่ฉีดออกมาจากหัวฉีดในช่วงเวลาต่างๆ กันเทียบกับสเปรย์น้ำมันดีเซล การเปรียบเทียบจะใช้ขนาดของสเปรย์ เช่น มุมการสเปรย์ และความเร็วของสเปรย์เป็นค่าเปรียบเทียบ การปรับปรุงสเปรย์น้ำมันพืชจะใช้หัวฉีดรูเดียวและหัวฉีดแบบหลายรูเป็นอุปกรณ์ทดลองเพื่อศึกษาความแตกต่างที่เกิดขึ้น

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือ ศึกษาลักษณะของสเปรย์น้ำมันพืชเปรียบเทียบกับสเปรย์น้ำมันดีเซล และศึกษาผลของการเพิ่มอุณหภูมิและการเพิ่มความดันหัวฉีดเพื่อใช้ปรับปรุงสเปรย์น้ำมันพืชให้สามารถใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กได้ โดยการปรับปรุงระบบจ่ายเชื้อเพลิงเพื่อทำให้สเปรย์น้ำมันพืชมีลักษณะใกล้เคียงกับสเปรย์น้ำมันดีเซล

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงจะทำให้ความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง ทำให้การฉีดเป็นสเปรย์ง่ายขึ้น Masjuki et al [8] ได้ศึกษาผลของการอุ่นน้ำมันปาล์มและการอุ่นอากาศก่อนเข้ากระบอกสูบที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก พบว่าการอุ่นน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิสูง จะทำให้ได้กำลังม้าเทียบเท่ากับการใช้น้ำมันดีเซล ส่วนการอุ่นอากาศก่อนเข้ากระบอกสูบจะทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น แต่งานวิจัยนี้ก็ยังไม่ได้พิจารณาผลของการอุ่นเชื้อเพลิงออกมาเป็นตัวแปรอิสระ จึงไม่สามารถแสดงผลของการอุ่นเชื้อเพลิงได้กระจ่างชัดเจน

## 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การลดความหนืดของน้ำมันพืชสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การผสมด้วยน้ำมันดีเซล การเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืช เมื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชจะทำให้เชื้อเพลิงแตกตัว (Atomization) ได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น ส่วนการเพิ่มความดันหัวฉีดนั้นก็จะเป็นทำให้ความเร็วของสเปรย์น้ำมันพืชเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศได้เร็วขึ้น ทำให้การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้นเช่นเดียวกัน

## 1.5 ขอบเขตการวิจัย

ความหนืดของน้ำมันพืชเป็นปัญหาหลักประการหนึ่งของการสเปรย์เชื้อเพลิง งานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะสเปรย์และความเร็วสเปรย์ของน้ำมันดีเซล และนำไปเปรียบเทียบกับสเปรย์น้ำมันพืช และได้เลือกวิธีเพื่อปรับปรุงสเปรย์เชื้อเพลิง 2 วิธี คือ การอุ่นเชื้อเพลิงก่อนจ่ายเข้าหัวฉีด และการปรับความดันหัวฉีด ศึกษาถึงผลของการปรับอุณหภูมิอุ่นเชื้อเพลิง และการปรับความดันหัวฉีดที่มีผลต่อรูปแบบและความเร็วสเปรย์น้ำมันพืช เลือกระดับอุณหภูมิหรือความดันหัวฉีดที่จะทำให้สเปรย์น้ำมันพืชมีคุณลักษณะใกล้เคียงกับสเปรย์น้ำมันดีเซล

## 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

การทดลองจะศึกษาลักษณะสเปรย์โดยการบันทึกภาพสเปรย์น้ำมันดีเซลและน้ำมันพืช ที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 30, 50, 70, 90 °C และที่ความดัน 8, 12, 16, 20 MPa สำหรับหัวฉีดรูเดียว 17, 21, 25, 29 MPa สำหรับหัวฉีด 4 รู การบันทึกภาพจะใช้กล้องดิจิทัล ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมจังหวะการบันทึกภาพที่ช่วงเวลาต่าง ๆ กัน การบันทึกภาพจะทำให้สามารถเปรียบเทียบรูปร่างของสเปรย์น้ำมันพืชกับสเปรย์น้ำมันดีเซลได้ น้ำมันพืชที่ใช้ในการทดลองมี 5 ชนิด คือ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าวและน้ำมันเมล็ดทานตะวัน

หลังจากนั้นจะทำการวัดความเร็วสเปรย์ของสเปรย์น้ำมันดีเซล และน้ำมันพืชที่สภาวะต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น โดยใช้โฟโตเซนเซอร์ 2 ตัว ตรวจจับตำแหน่งการเคลื่อนที่ของสเปรย์เชื้อเพลิง และวัดเวลาการเคลื่อนที่ของสเปรย์ด้วยออสซิลโลสโคป จะทำให้สามารถคำนวณความเร็วของสเปรย์ได้ ค่าความเร็วของสเปรย์น้ำมันดีเซลและน้ำมันพืชจะนำไปพิจารณาประกอบกับรูปแบบสเปรย์

## บทที่ 2

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งจะมิงานวิจัยถึงสมรรถนะ ประสิทธิภาพและปัญหาในการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ส่วนที่สองเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับรูปแบบสเปรย์และการปรับปรุงสเปรย์หัวฉีดในเครื่องยนต์ดีเซล

#### 2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซล

ในหลายประเทศจะมีพืชซึ่งนำมาผลิตเป็นน้ำมันได้หลายชนิด เช่น ปาล์ม มะพร้าว รำข้าว เป็นต้น ผลผลิตเหล่านี้มีจำนวนมากพอที่จะนำมาใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงได้ มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซลจำนวนมาก Cruz [9] ได้ทำการทดลองใช้น้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันดีเซล (Coco-Diesel) โดยใช้น้ำมันมะพร้าว 5% และน้ำมันดีเซล 95% ในปี 1981 ประเทศฟิลิปปินส์มีผลผลิตของมะพร้าวจำนวนมาก ทำให้ราคามะพร้าวตกต่ำ รัฐบาลจึงได้ตั้งเป็นโครงการ Coco-Diesel Programme เพื่อใช้น้ำมันมะพร้าวทดแทนน้ำมันดีเซล มีการทดสอบในเครื่องยนต์ทดสอบในปี 1976 ซึ่งสามารถปรับอัตราส่วนการอัดได้ การทดลองใช้น้ำมันมะพร้าวดิบเป็นเชื้อเพลิง พบว่าได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงถึง 33.3% ที่กำลังเครื่องยนต์ 5.09 kW เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน 32.4% ที่กำลังเครื่องยนต์ 5.10 kW การสึกหรอของชิ้นส่วนภายใน เช่น ลูกสูบ แหวนลูกสูบ แบริง กระบอกสูบ ฝาสูบและหัวฉีด จะมีการสึกหรออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ การทดลองใช้น้ำมันมะพร้าวดิบ 5% ผสมน้ำมันดีเซลเริ่มขึ้นในเดือนกันยายน ปี 1982 หลังจากทดลองได้ 2 เดือนก็พบปัญหาการติดตันของกรองน้ำมันเชื้อเพลิงของรถประจำทาง สาเหตุเกิดจากการเติบโตของแบคทีเรียภายในถังน้ำมันเชื้อเพลิง บริเวณก้นถังจะมีการสะสมของยางเหนียวจากน้ำมัน สิ่งสกปรกและน้ำ เมื่อรวมตัวกับกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าวจะเป็นอาหารของแบคทีเรีย และแบคทีเรียเหล่านี้จะเติบโตและไปติดตันที่กรองน้ำมันเชื้อเพลิง

การทดลองใช้ไบโอดีเซลโดย Serdari et al [10] ในเครื่องยนต์ดีเซล 6 เครื่อง แบ่งเป็นรถแท็กซี่ 2 คัน รถปิคอัพขนาดเล็ก 2 คัน รถประจำทาง 1 คันและรถบรรทุกขนาดใหญ่ 1 คัน ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของรถแต่ละชนิด การทดลองกระทำที่กรุงเอเธนส์ ประเทศกรีซ เชื้อเพลิงใช้น้ำมันดีเซลทั่วไป (กำมะถัน 0.05%) และใช้น้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซลจากข้าวโพดหรือเมล็ดทานตะวัน 10% การวัดมลพิษ เช่น HC, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, และ NO กระทำที่รอบเดินเบาและที่ 2,500 RPM และมีการวัดการสึกหรอของเครื่องยนต์อีกด้วย โดยการวัดปริมาณของ Fe, Ag, Cu,

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่ผ่านการตรวจสอบและแก้ไขเรียบร้อยแล้ว กรุณาอย่าแก้ไขหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองจะใช้สัญลักษณ์ดังนี้

- CME Corn oil methyl esters  
 DF Diesel fuel  
 DFC Mixture of diesel fuel with corn oil methyl esters  
 DFS Mixture of diesel fuel with sunflower oil  
 SME Sunflower oil methyl esters

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลทางเทคนิคของรถที่ใช้ในการทดลอง

Vehicle	Vehicle type	Engine type	Capacity
Taxi E 4395	Opel Vectra 1994	Turbocharged, DI, 82 HP, with oxidation catalyst	1700 cm <sup>3</sup>
Taxi E 0256	Toyota Carina 1982	IDI	1952 cm <sup>3</sup>
Mini truck YEK 6509	Mercedes 1982	DI, 170 PS DIN	2400 cm <sup>3</sup>
Mini bus KHO 1706	Ford Transit 1986	Combi 130, 68 PS DIN	2496 cm <sup>3</sup>
Pick-up truck XH 5134	Fiat OM 30 1981	-	3200 cm <sup>3</sup>
Heavy duty vehicle YEI 5664	Renault S.130.11 1986	Diesel engine, 96 kW	5488 cm <sup>3</sup>

ผลการทดลองพบว่า การใช้ไบโอดีเซลจะช่วยลดการเกิดสารไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ และพบว่าการใช้ไบโอดีเซลจะทำให้ปริมาณของ NO และ NO<sub>x</sub> เพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งเกิดจากการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำมันเชื้อเพลิง

กรณีใช้น้ำมันทานตะวัน 10% ที่รอบเดินเบาพบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ NO อยู่ระหว่าง -8% ถึง +27% และที่รอบ 2,500 RPM การเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง -10% ถึง +14% สำหรับน้ำมันข้าวโพดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ NO อยู่ระหว่าง -10% ถึง +14% และที่รอบ 2,500 RPM การเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง -9% ถึง +14%

ปริมาณของ NO<sub>x</sub> จะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องยนต์และการบำรุงรักษา เมื่อใช้น้ำมันทานตะวัน 10% ที่รอบเดินเบาพบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ NO<sub>x</sub> อยู่ระหว่าง -8% ถึง +19% และที่รอบ 2,500 RPM การเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง -11% ถึง +13% สำหรับน้ำมันข้าวโพดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานในท้องถิ่นเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่าจะตีพิมพ์ที่ไหน ก็ห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงของปริมาณ  $\text{NO}_x$  อยู่ระหว่าง -5% ถึง +9% และที่รอบ 2,500 RPM การเปลี่ยนแปลง อยู่ระหว่าง -8% ถึง +16%

โดยทั่วไปปริมาณควันดำจะลดลงเมื่อใช้ไบโอดีเซล เนื่องจากมีโมเลกุลของออกซิเจน เป็นองค์ประกอบในไบโอดีเซล จากผลการทดลองส่วนใหญ่ปริมาณควันดำจะลดลงเมื่อใช้ไบโอดีเซลผสมในน้ำมันดีเซล ปริมาณควันดำของเครื่องยนต์ทดสอบ กรณีใช้น้ำมันทานตะวัน 10% พบการลดลงของปริมาณควันดำอยู่ระหว่าง -33% ถึง -39% สำหรับน้ำมันข้าวโพดการลดลงของ ปริมาณควันดำอยู่ระหว่าง -29% ถึง +5%

ในสภาพการขับขี่แบบเดียวกันในเมืองเอเธนส์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซลจะทำให้ อัตราการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลดังในตารางที่ 2.2 เนื่องจากไบโอดีเซลมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ผู้ขับขี่ไม่รู้สึกรถึงความแตกต่างกันถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลผสมน้ำมันดีเซล

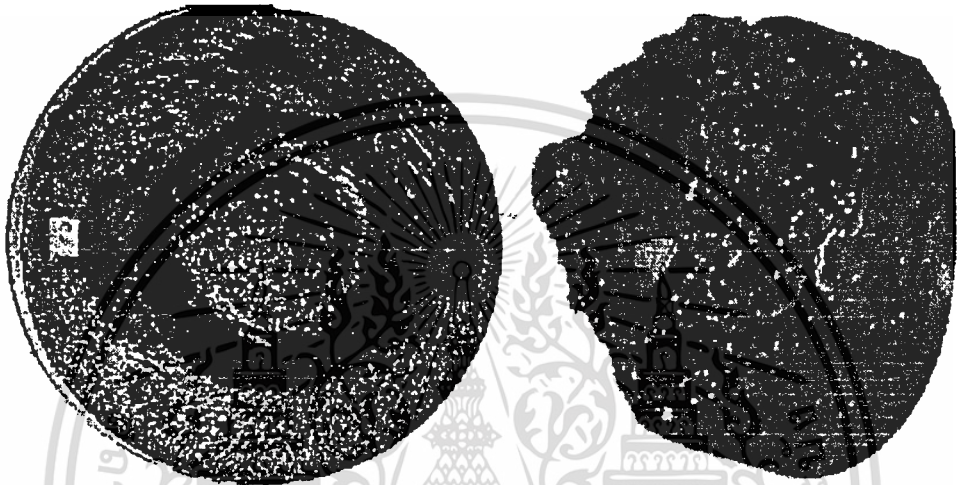
การศึกษาเรื่องการสึกหรอของเครื่องยนต์จะใช้เครื่องยนต์ 3 เครื่อง คือ taxi E4395, taxi E0256 และ pick-up truck YEK6509 ใช้น้ำมันหล่อลื่นชนิดเดียวกัน มีรอบการใช้งาน 5,000 กิโลเมตร และทุกๆ 1,000 กิโลเมตรจะมีการเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะ เมื่อทดลองครบ 5,000 กิโลเมตรแล้ว จะเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่และใช้เชื้อเพลิงชนิดใหม่ ทดสอบด้วยระยะทางเท่ากัน ผลการทดลองเมื่อใช้ไบโอดีเซลพบว่าปริมาณ Fe ในน้ำมันหล่อลื่น เพิ่มขึ้น ปริมาณ Pb ก็เพิ่มขึ้นในเครื่องยนต์ 2 เครื่อง ปริมาณ Ag, Cu, และ Cr จะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

ตารางที่ 2.2 อัตราการใช้เชื้อเพลิง (กิโลเมตรต่อลิตร)

	Diesel fuel	Diesel fuel + 10% SME	Diesel fuel + 10% CME
Taxi E4395	11.5	11.2	11.1
Taxi E0256	10.3	10.0	10.0
Pick-up truck YEK6509	7.2	7.0	7.1
Pick-up truck XH5134	7.1	7.0	6.9
Mini bus KHO1706	5.5	5.4	5.3
Heavy-duty vehicle YEI5664	1.9	1.7	1.8

ปัญหาในการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลคือ การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดเขม่าสะสมภายในห้องเผาไหม้ ได้มีการทดลองเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันเมล็ดทานตะวัน 20 ชั่วโมง พบเขม่าสะสมอยู่ในห้องเผาไหม้และหัวฉีดดังในรูปที่ 2.1 การทดลองที่รอบเดินเบาพบเขม่าจำนวนมากหลังแหวนลูกสูบ ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่เครื่องยนต์ได้ การศึกษาลักษณะ

การก่อตัวของเขม่าจะทำการทดสอบการระเหยของละอองเชื้อเพลิง โดยศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อกระบวนการระเหยของเชื้อเพลิง น้ำมันเมล็ดทานตะวันจะวางบนแท่งไฟเบอร์ในถังที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิภายในถังสามารถทำได้ถึง 1,000 K ขนาดของละอองจะถูกวัดเป็นฟังก์ชันของเวลาด้วยอุปกรณ์บันทึกภาพ ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 450 °C ละอองของน้ำมันพีจะระเหยได้ช้ามาก ขณะที่น้ำมันดีเซลจะระเหยได้หมด และที่อุณหภูมิ 600 °C ละอองของน้ำมันทั้งสองชนิดจะมีลักษณะการระเหยใกล้เคียงกัน กรณีนี้น้ำมันพีจะระเหยได้หมด



รูปที่ 2.1 ลูกสูบและหัวฉีดเมื่อเดินเครื่องด้วยน้ำมันเมล็ดทานตะวัน

## 2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับรูปแบบสเปรย์

การจ่ายเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้จะใช้หัวฉีดซึ่งมีความดันหัวฉีดสูง [11] หัวฉีดมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับความต้องการของระบบห้องเผาไหม้ หัวฉีดทั่วไปจะทำงานที่ความดัน 200 – 1,700 บรรยากาศ ความดันภายในกระบอกสูบ 50 – 100 บรรยากาศ อุณหภูมิห้องเผาไหม้ 1,000 K ความหนาแน่นอากาศ 15 – 25 kg/m<sup>3</sup> เส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 0.2 – 1 mm คุณสมบัติของน้ำมันดีเซล จะมีความถ่วงจำเพาะ 0.8 ความหนืด 3 – 10 kg/m s ความตึงผิว 3 X 10<sup>-2</sup> N/m

ในเครื่องยนต์ดีเซล รูปร่างสเปรย์หัวฉีดจะเป็นรูปกรวย เมื่อฉีดเชื้อเพลิงออกมาจะได้ละอองเชื้อเพลิง (Droplets) ที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดของรูหัวฉีด มุมการสเปรย์ ( $\theta$ ) หาได้จากสมการ (2.1)

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{1}{A} 4\pi \left( \frac{\rho_s}{\rho_l} \right)^{1/2} \frac{\sqrt{3}}{6} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\rho_g$  คือ ความหนาแน่นของก๊าซ

$\rho_l$  คือ ความหนาแน่นของของเหลว

A คือ ค่าคงที่ของหัวฉีด

ความเร็วสเปร์ย์และความยาวสเปร์ย์ในห้องเผาไหม้ เป็นสิ่งสำคัญของกระบวนการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ในการออกแบบเครื่องชนิดบางชนิดซึ่งมีอุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ และมีอากาศหมุนวนสูง ต้องออกแบบให้เชื้อเพลิงฉีดกระทบกับผนังห้องเผาไหม้ อย่างไรก็ตาม ในเครื่องชนิดดีเซลทั่วไป การออกแบบให้สเปร์ย์มีความยาวมากเกินไปจะทำให้เชื้อเพลิงเหลวพุ่งไปบริเวณผนังที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีการหมุนวนของอากาศ ทำให้เกิดการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศไม่ดี เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และการออกแบบให้สเปร์ย์มีความยาวน้อยเกินไปจะทำให้เชื้อเพลิงผสมกับอากาศได้ไม่เต็มที่ ดังนั้นการออกแบบลักษณะสเปร์ย์จึงมีความสำคัญต่อการเผาไหม้ในเครื่องชนิดดีเซล

การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของความยาวสเปร์ย์ เป็นสมการซึ่งพัฒนาโดย Dcent เพื่อหาความยาวสเปร์ย์ (S) ที่เป็นฟังก์ชันกับเวลา (t) ตามสมการ (2.2)

$$S = 3.07 \left( \frac{\Delta p}{\rho_g} \right)^{1/4} (t d_n)^{1/2} \left( \frac{294}{T_g} \right)^{1/4} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $\Delta p$  คือ ความดันระหว่างหัวฉีด (Pa)

t คือ เวลาหลังการฉีด (s)

$d_n$  คือ เส้นผ่าศูนย์กลางกลางรูหัวฉีด (m)

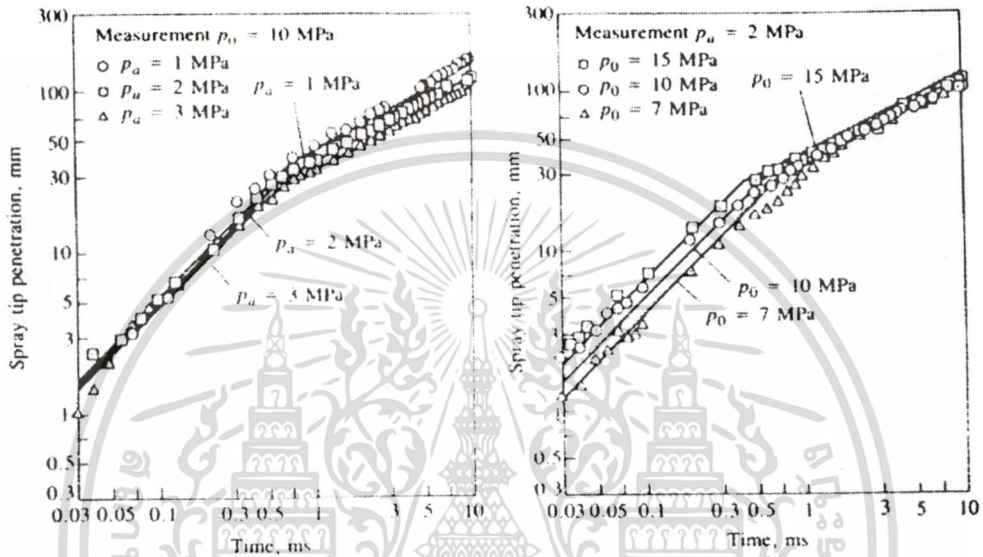
การทดลองพบว่าความยาวสเปร์ย์เป็นฟังก์ชันกับเวลา จากผลการทดลองของ Hiroyasu แสดงในรูปที่ 2.2 สเปร์ย์ที่ออกมาในช่วงแรกจะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นกับเวลา (ความเร็วสเปร์ย์คงที่) เมื่อถึงจุด Breakup ความยาวสเปร์ย์เป็นฟังก์ชันกับ  $\sqrt{t}$  ดังสมการ (2.3) ถึง (2.5)

$$S = 0.39 \left( \frac{2\Delta p}{\rho_l} \right)^{1/2} t \quad (2.3)$$

$$S = 2.95 \left( \frac{\Delta p}{\rho_g} \right)^{1/4} (d_n t)^{1/2} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะในกรณีศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น (2.5) ถ้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

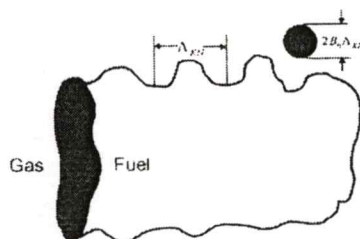
- เมื่อ  $\Delta p$  คือ ความดันระหว่างหัวฉีด (Pa)
- $\rho_l$  คือ ความหนาแน่นของของเหลว ( $\text{kg/m}^3$ )
- $\rho_g$  คือ ความหนาแน่นของก๊าซ ( $\text{kg/m}^3$ )
- $d_n$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด (m)
- $t$  คือ เวลาหลังการฉีด (S)



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปรย์กับเวลา

แบบจำลองสเปรย์จะแบ่งออกเป็น Primary breakup และ Secondary breakup [12] แบบจำลองของ Primary breakup ได้แก่ Kelvin-Helmholtz (KH), Turbulence induced breakup (Tur.) ซึ่งเหมาะสำหรับลำสเปรย์ที่เป็นของเหลว ส่วนแบบจำลองของ Secondary breakup ได้แก่ Rayleigh-Taylor (RT), DDB, Taylor Analogy breakup (TAB)

1) KH wave instability model แบบจำลองนี้จะวิเคราะห์สเปรย์ในอากาศนิ่งและอัดตัวไม่ได้ ดังในรูปที่ 2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงรูปที่ 2.3 KH breakup model ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

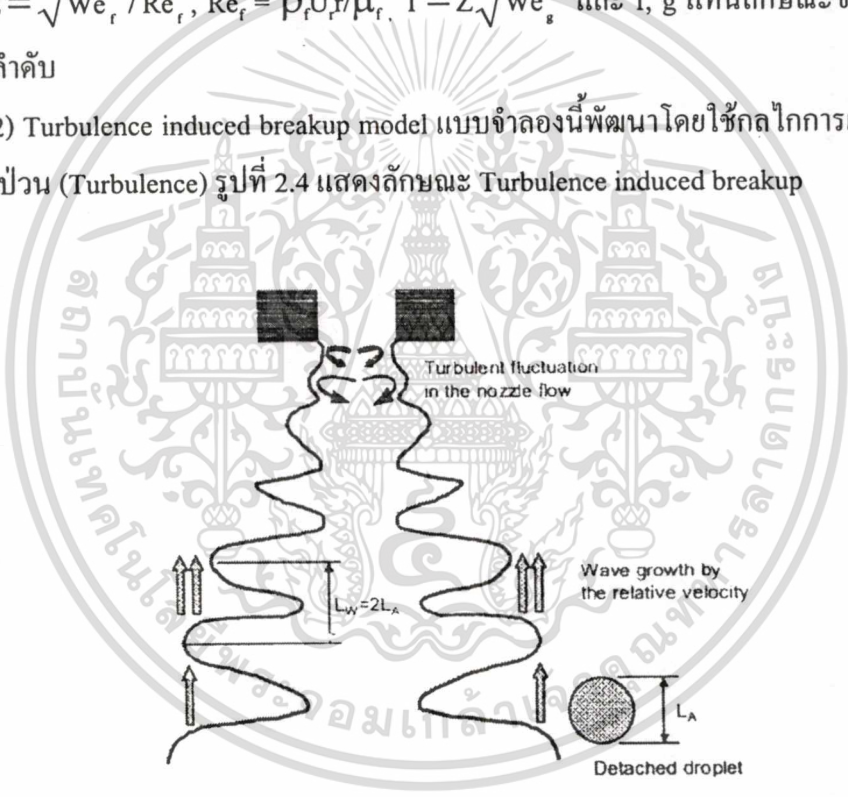
จากสมการ (2.6) และ (2.7) ค่า Growth rate ( $\Omega_{KH}$ ) จะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น ( $\Lambda_{KH}$ )

$$\frac{\Lambda_{KH}}{r} = 9.02 \frac{(1 + 0.45Z^{1/2})(1 + 0.4T^{0.7})}{(1 + 0.87We_g^{1.67})^{0.6}} \tag{2.6}$$

$$\Omega_{KH} \left[ \frac{\rho_r r^3}{\sigma} \right]^{1/2} = \frac{(0.34 + 0.38We_g^{3/2})}{(1 + Z)(1 + 1.4T^{0.6})} \tag{2.7}$$

จากสมการข้างต้น  $U_r$  คือความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างสเปรย์กับอากาศ  $r$  คือรัศมีของละอองสเปรย์  $Z = \sqrt{We_r} / Re_r$ ,  $Re_r = \rho_r U_r r / \mu_r$ ,  $T = Z \sqrt{We_g}$  และ  $f, g$  แทนลักษณะของเหลวและก๊าซตามลำดับ

2) Turbulence induced breakup model แบบจำลองนี้พัฒนาโดยใช้กลไกการเกิดคลื่นและความปั่นป่วน (Turbulence) รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะ Turbulence induced breakup



รูปที่ 2.4 Turbulence induced breakup model

โดย  $L_w$  คือความยาวคลื่น  $L_T$  คือความยาวสเปรย์ และ  $L_A$  คือเส้นผ่าศูนย์กลางของละอองสเปรย์

$$L_A = C_1 L_T = C_2 L_w \tag{2.8}$$

Huh ทำการทดลองได้ค่า  $C_1 = 2.0$ ,  $C_2 = 0.5$  เวลาการแตกตัว ( $\tau_A$ ) คำนวณจากเวลาการเกิดคลื่นตามสมการ (2.9) ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau_A = C_3 \tau_T + C_4 \tau_w = \tau_{spn} + \tau_{exp} \quad (2.9)$$

เมื่อ  $C_3 = 1.2$ ,  $C_4 = 0.5$  พลังงานจลน์เฉลี่ย  $k_{avg}$  และพลังงานที่ใช้ในการแตกตัว  $\epsilon_{avg}$  ดังในสมการที่ (2.10) และ (2.11)

$$L_T = 0.09 \frac{k_{avg}^{1.5}}{\epsilon_{avg}} \quad (2.10)$$

$$\tau_T = 0.09 \frac{k_{avg}}{\epsilon_{avg}} \quad (2.11)$$

จากสมการข้างต้น  $k_{avg}$  และ  $\epsilon_{avg}$  คำนวณได้จาก

$$k_{avg} = \frac{U^2}{8L/D} \left[ \frac{1}{C_d^2} - K_c - (1-s^2) \right] \quad (2.12)$$

$$\epsilon_{avg} = 0.27 \frac{U^3}{2L} \left[ \frac{1}{C_d^2} - K_c - (1-s^2) \right] \quad (2.13)$$

เมื่อ  $K_c$  และ  $s$  จะมีค่า 0.45 และ 0.01 ตามลำดับ  $U$ ,  $L$  และ  $D$  คือ ความเร็วสเปร์ย์ ความยาวหัวฉีด และเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดตามลำดับ

3) RT instability model แบบจำลองใช้ทฤษฎีความเร่งระหว่างของไหลสองชนิดที่มีความหนาแน่นต่างกัน ค่า Growth rate ( $\Omega_{RT}$ ) และความยาวคลื่น ( $\Lambda_{RT}$ ) ตามสมการ (2.14) ถึง (2.16)

$$\Omega_{RT} = \left( \frac{2}{3\sqrt{3}\sigma} \left[ \frac{-(\bar{g} + \bar{a})(\rho_r - \rho_g)}{\rho_r + \rho_g} \right]^{3/2} \right)^{1/2} \quad (2.14)$$

$$\Lambda_{RT} = \frac{2\pi C_{RT}}{K_{RT}} \quad (2.15)$$

$$K_{RT} = \left( \frac{-(\bar{g} + \bar{a})(\rho_r - \rho_g)}{3\sigma} \right)^{1/2} \quad (2.16)$$

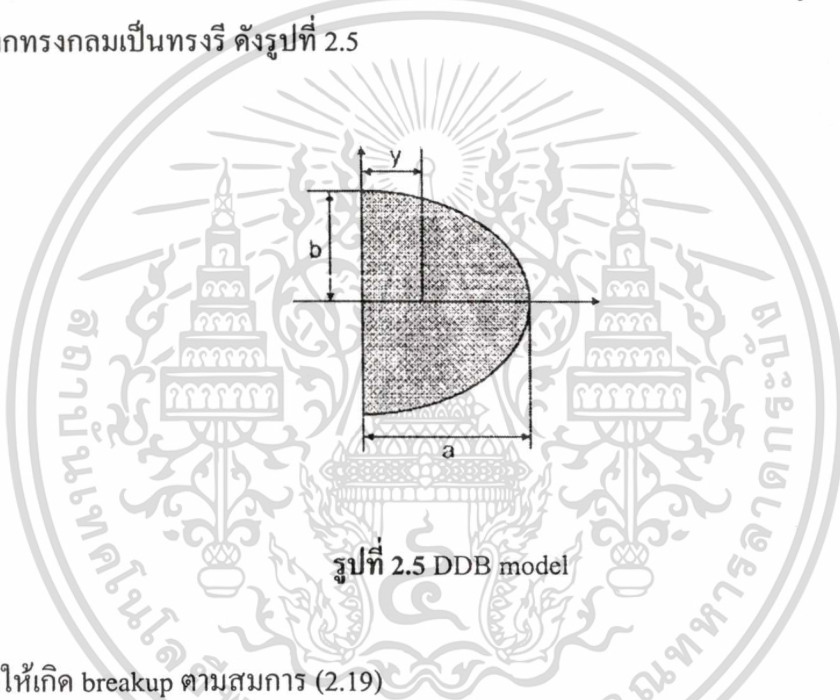
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\bar{g}$  และ  $\bar{a}$  คือความเร่งในทิศทางของแรงโน้มถ่วงและในทิศทางของแรงต้านตามลำดับ  $C_{RT}$  จะมีค่า 0.3 โดยทั่วไป ความยาวคลื่นจะน้อยกว่าขนาดละอองสเปรย์ เวลาที่เกิด breakup และรัศมีของละอองสเปรย์ดังสมการ (2.17) และ (2.18)

$$\tau_{RT} = C_{RT} / \Omega_{RT} \quad (2.17)$$

$$r_c = \pi C_{RT} / K_{RT} \quad (2.18)$$

4) DDB model หลักการของแบบจำลองนี้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของละอองสเปรย์จากทรงกลมเป็นทรงรี ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 DDB model

ซึ่งจะทำให้เกิด breakup ตามสมการ (2.19)

$$K \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{4N}{Re} \frac{1}{y^2} \frac{dy}{dt} + \frac{27\pi^2}{16We} y [1 - 2(cy)^{-6}] = \frac{3}{8} \quad (2.19)$$

เมื่อ  $K$  คืออัตราส่วนความหนาแน่นของเหลวกับก๊าซ  $N$  คืออัตราส่วนความหนืดของเหลวกับก๊าซ breakup จะเกิดขึ้นเมื่อละอองมีค่าตามสมการ (2.20)

$$\frac{a}{r} = \frac{We}{6\pi} \quad (2.20)$$

เมื่อ  $a$  คือครึ่งแกนหลักของวงรีดังในรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) Taylor Analogy breakup model พัฒนาโดย O'Rourke และ Amsden ใช้หลักการสั้นไหวและการบิดตัวของละอองสเปรย์และระบบสปริง-มวล ตามสมการ (2.21)

$$y = \frac{C_F \rho_g u^2}{C_b \rho_r r^2} - \frac{C_k \sigma}{\rho_r r^3} y - \frac{C_d \mu_l}{\rho_r r^2} y \quad (2.21)$$

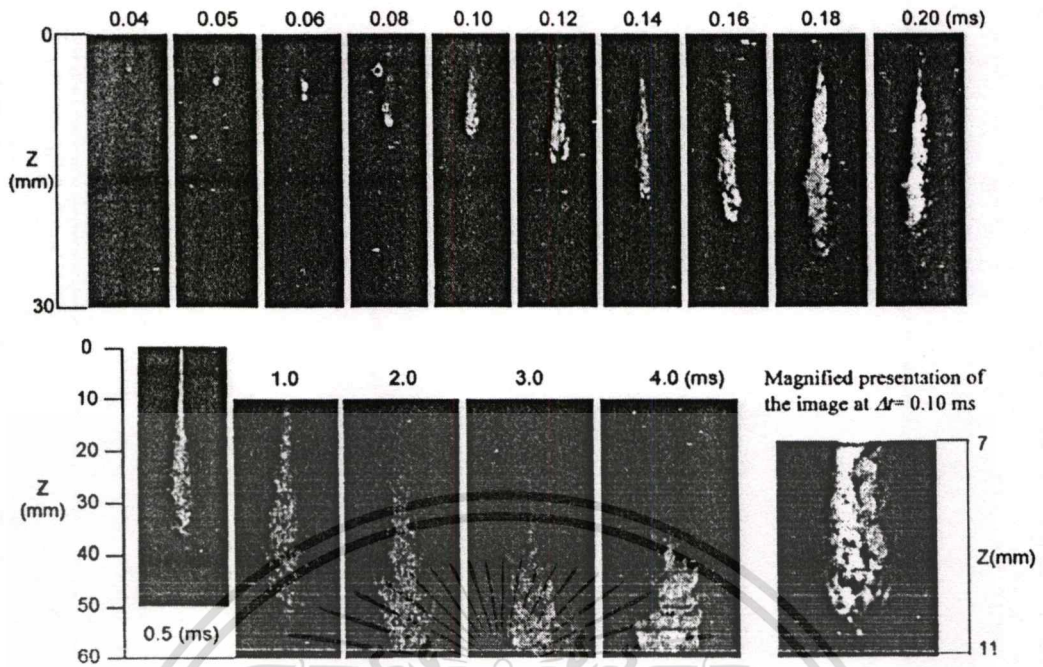
จะเกิด breakup เมื่อ  $y$  มีค่ามากกว่า 1.0 ค่าคงที่  $C_F = 1/3$ ,  $C_b = 0.5$ ,  $C_k = 8$  และ  $C_d = 5$

การทดลองเกี่ยวกับรูปแบบสเปรย์โดย CAO et al [13] จะศึกษาสเปรย์น้ำมันดีเซลด้วยหัวฉีดความเร็วที่ความดัน 50 MPa ในภาชนะขนาด 100 X 100 X 140 mm<sup>3</sup> มีความดันภายใน 2.0 MPa บรรจุด้วยไนโตรเจน ไม่มีการให้ความร้อนแก่ถัง อุณหภูมิถึงจะเท่ากับอุณหภูมิบรรยากาศตลอดการทดลอง ความดันหัวฉีดสูงสุด 70 MPa การฉีดเชื้อเพลิงจะใช้ High-speed electromagnetic valve ช่วงเวลาการฉีดจะตั้งไว้คงที่ 2 ms ตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลอุปกรณ์ทดลอง

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลทางเทคนิค

Injection system	Accumulator type unit injector
Injection nozzle	Single hole
Nozzle diameter	0.17 mm
Nozzle hole length	0.95 mm
Spray duration	2.0 ms
Nozzle open pressure	50.0 MPa
Ambient gas	Nitrogen
Ambient pressure	2.0 MPa
Ambient temperature	18-24 °C
Light source	Double pulsed Nd:YAG laser

การบันทึกภาพใช้วิธี PIV ใช้กรอบขนาด 32 X 32 พิกเซล ความละเอียด 0.32 X 0.30 mm<sup>2</sup> รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะสเปรย์น้ำมันดีเซลที่ช่วงเวลา 0.04 – 4.0 ms



Visualization of diesel sprays at their initial stage of development ( $\Delta t=0.04-4.0$  ms).

รูปที่ 2.6 ลักษณะสเปรย์น้ำมันดีเซล

คุณสมบัติต่างๆ ของของเหลวก็มีผลต่อลักษณะสเปรย์[14] ตารางที่ 2.4 แสดงผลของคุณสมบัติของเหลวที่มีผลต่อลักษณะสเปรย์

ตารางที่ 2.4 ผลของคุณสมบัติของเหลวที่มีผลต่อลักษณะสเปรย์

	Increase in Operating Pressure	Increase in Specific Gravity	Increase in Viscosity	Increase in Fluid Temperature	Increase in Surface Tension
Pattern Quality	Improves	Negligible	Deteriorates	Improves	Negligible
Capacity	Increases	Decreases	•	••	No Effect
Spray Angle	Increases Then Decreases	Negligible	Decreases	Increases	Decreases
Drop Size	Decreases	Negligible	Increases	Decreases	Increases
Velocity	Increases	Decreases	Decreases	Increases	Negligible
Impact	Increases	Negligible	Decreases	Increases	Negligible
Wear	Increases	Negligible	Decreases	••	No Effect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 • Full cone and hollow cone increase; flat spray decreases  
 •• Depends on fluid being sprayed and spray nozzle used  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## อุปกรณ์และวิธีทดลอง

การทดลองนี้จะใช้ปั๊มแรงดันสูงซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อจ่ายน้ำมันไปยังหัวฉีดของเครื่องยนต์เล็ก ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรขยายสัญญาณเพื่อควบคุมจังหวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าและกล้องบันทึกภาพ การวัดความเร็วสเปิร์มจะใช้โฟโตเซนเซอร์ 2 ตัว วางในตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อตรวจจับการเคลื่อนที่ของสเปิร์มในตำแหน่งต่างๆ และใช้ออสซิลโลสโคปวัดช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของสเปิร์ม ข้อมูลเหล่านี้จะนำมาเขียนเป็นกราฟ Penetration length

น้ำมันพืชสกัดที่ใช้ในการทดลองมี 5 ชนิด คือ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าวและน้ำมันเมล็ดทานตะวัน หัวฉีดที่ใช้ทดลองมี 2 ชนิด คือ หัวฉีดรูเดี่ยวและหัวฉีด 4 รู ความดันหัวฉีดของหัวฉีดรูเดี่ยวมีค่า 8 – 20 MPa ความดันหัวฉีดของหัวฉีด 4 รูมีค่า 17 – 29 MPa อุณหภูมิที่ใช้อุ่นน้ำมันพืชสกัดอยู่ในช่วง 30 – 90 °C

อุณหภูมิและความดันหัวฉีดเชื้อเพลิงที่กำหนดไว้ข้างต้น เป็นการกำหนดกรอบการทดลองในเบื้องต้น และจะทำการทดลองเพิ่มเติมอีกหากพบว่าอุณหภูมิหรือความดันหัวฉีดนั้นไม่เพียงพอต่อการปรับปรุงสเปิร์มน้ำมันพืชสกัดให้มีลักษณะใกล้เคียงกับสเปิร์มน้ำมันดีเซล จากการทดลองในบทที่ 4.1 พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืชสกัดมีประสิทธิผลต่ำกว่าการเพิ่มความดันหัวฉีด ทำให้วิธีการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืชสกัดไม่น่าสนใจที่จะนำไปใช้ปรับปรุงสเปิร์มน้ำมันพืชสกัด และผลการทดลองในบทที่ 4.3 ยังพบว่า อาจจะต้องเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืชสกัดถึง 150 °C จึงจะทำให้ น้ำมันพืชสกัดมีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ที่อุณหภูมินี้มีค่าสูงกว่าจุดวาบไฟของน้ำมันพืชสกัด ซึ่งไม่เหมาะต่อการนำไปใช้ในเครื่องยนต์ เนื่องจากเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัย ดังนั้นจึงไม่มีการทดลองเพิ่มเติมสำหรับการเพิ่มอุณหภูมิแก่น้ำมันพืชสกัด

ความดันหัวฉีดที่กำหนดไว้สำหรับหัวฉีดแบบรูเดี่ยว จากการทดลองในบทที่ 4.1 พบว่าการเพิ่มความดันหัวฉีดอีก 8 MPa จะทำให้สเปิร์มน้ำมันพืชมีความเร็วใกล้เคียงกับสเปิร์มน้ำมันดีเซล สำหรับหัวฉีดแบบ 4 รู จากการทดลองในบทที่ 4.2 พบว่าการเพิ่มความดันหัวฉีดจะทำให้สเปิร์มน้ำมันพืชสกัดพุ่งไปได้ไกลกว่าสเปิร์มน้ำมันดีเซล ซึ่งอาจทำให้สเปิร์มน้ำมันพืชสกัดไปชนหัวลูกสูบหรือผนังกระบอกสูบ เกิดเป็นเขม่าสะสม การใช้น้ำมันพืชสกัดในเครื่องยนต์ดีเซลแบบหัวฉีด 4 รูจึงไม่ควรปรับเพิ่มแรงดันหัวฉีด ดังนั้นขอบเขตความดันหัวฉีดในตารางที่ 1.1 จึงพอเพียงพอต่อการปรับปรุงสเปิร์มน้ำมันพืชสกัดให้ใกล้เคียงกับสเปิร์มน้ำมันดีเซล

ความยาวสเปิร์มจะกำหนดไว้ที่ 35 – 255 มิลลิเมตรสำหรับหัวฉีดรูเดี่ยว และ 35 – 235 มิลลิเมตรสำหรับหัวฉีดแบบ 4 รู เนื่องจากขีดจำกัดของโฟโตเซนเซอร์ และช่วงเวลาการบันทึกภาพกำหนดไว้ที่ 1 – 4 ms ดังรายละเอียดในบทที่ 3.3

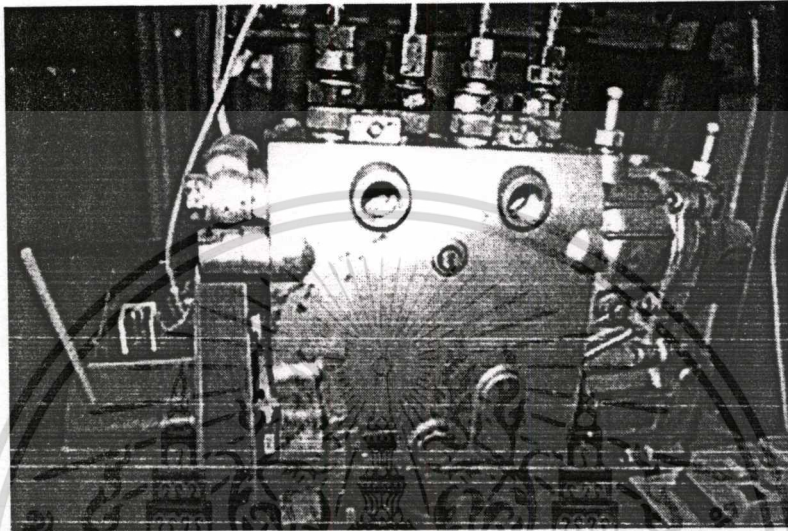
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 อุปกรณ์จ่ายเชื้อเพลิงความดันสูง

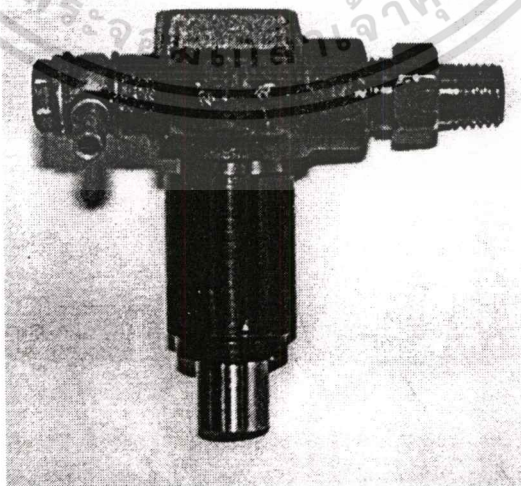
การทดลองจะใช้ระบบจ่ายเชื้อเพลิงดีเซล ประกอบด้วยปั๊มความดันสูง หัวฉีดแบบรูเดียว และหัวฉีดแบบ 4 รู ปั๊มความดันสูงจะเป็นของ Kiki ซึ่งใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ ดังในรูปที่

3.1



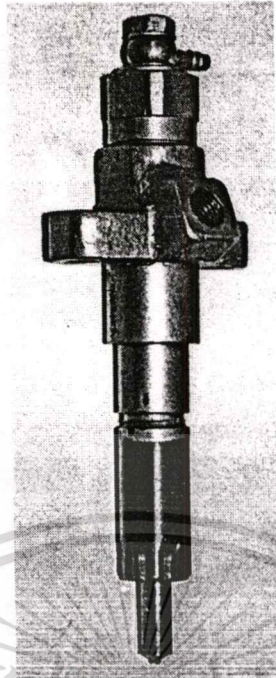
รูปที่ 3.1 ปั๊มจ่ายเชื้อเพลิงความดันสูง

หัวฉีดแบบรูเดียวเป็นหัวฉีดของคูโบตา ความดันหัวฉีด 12 MPa ดังในรูปที่ 3.2 ส่วนหัวฉีดแบบ 4 รูเป็นหัวฉีดของยันมาร์ ความดันหัวฉีด 21 MPa ดังในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 หัวฉีดรูเดียวของคูโบตา

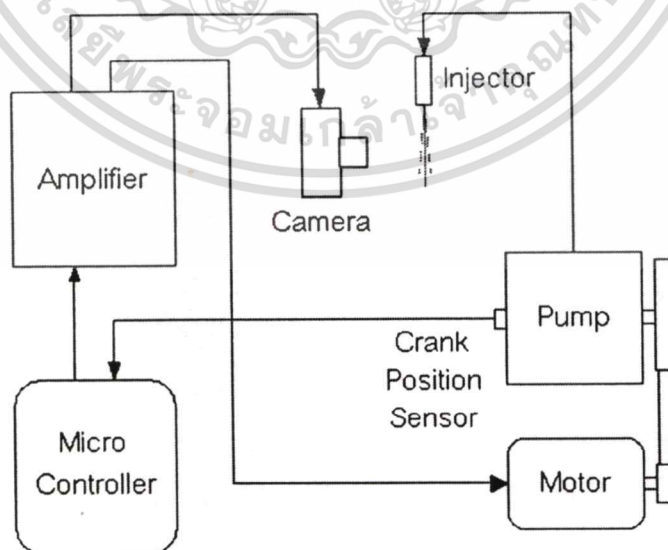
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 หัวฉีด 4 รูของชั้นมาร์

ความเร็วรอบของปั๊มความดันสูงมีค่า 155 RPM ปริมาณการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงต่อหัวฉีด มีค่า 0.06 mL/Stroke ฉีดเชื้อเพลิง 5.5 องศาของเพลลาขับปั๊ม ระยะเวลาจ่ายเชื้อเพลิงนาน 6 ms

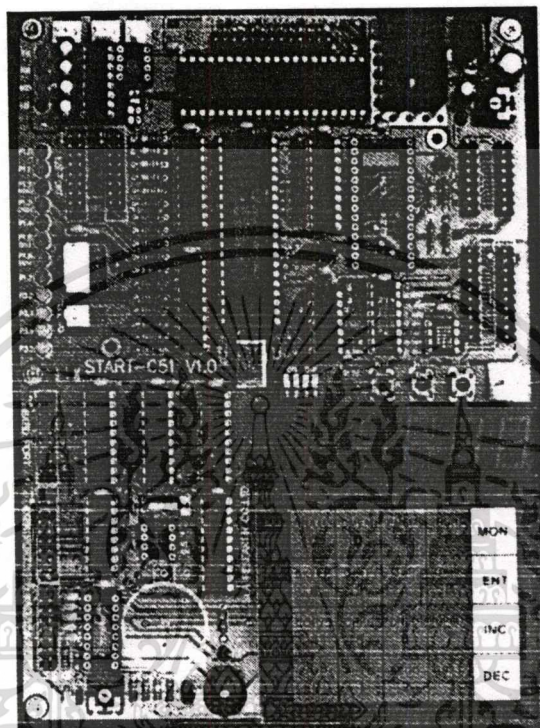
### 3.2 วิธีบันทึกภาพสเปย์น้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์บันทึกภาพสเปย์หัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 61693 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบันทึกภาพสเปร์ยน้ำมันเชื้อเพลิงดังในรูปที่ 3.4 จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม  
 จังหวะการทำงานของมอเตอร์ขับปั๊มความดันสูงและกล้องบันทึกภาพ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น  
 ของ SILA รุ่น JAZZ-31 ดังในรูปที่ 3.5 กล้องบันทึกภาพเป็นกล้องดิจิทัลของ Conon รุ่น  
 EOS300D ดังในรูปที่ 3.6

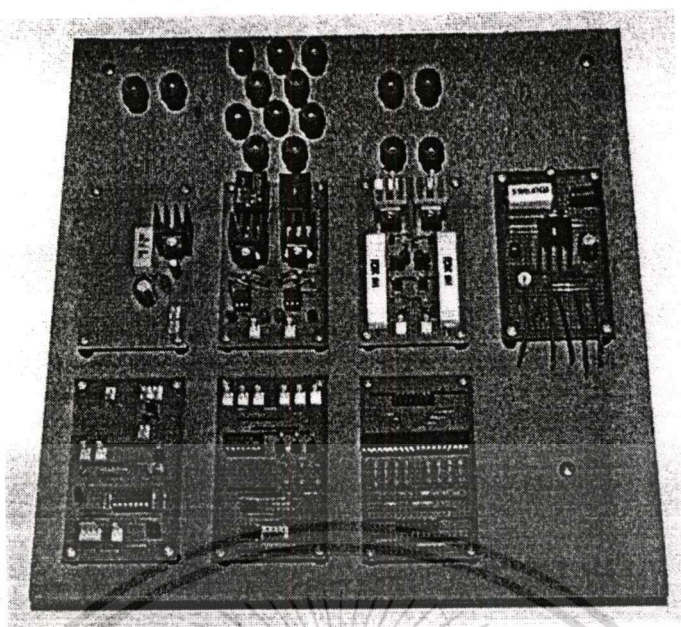


รูปที่ 3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์



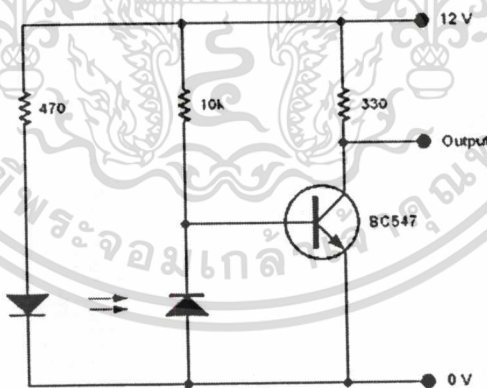
รูปที่ 3.6 กล้องดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
 ยังกล้องบันทึกภาพดังในรูปที่ 3.7  
 ไม่สามารถเผยแพร่ทางอินเทอร์เน็ตได้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แผงวงจรขยายสัญญาณ

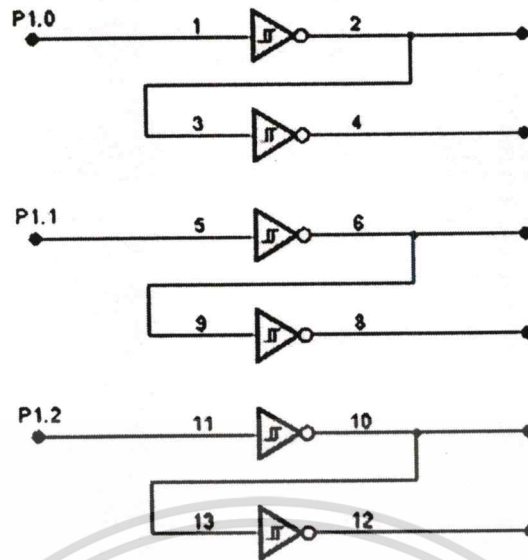
วงจรตรวจจับตำแหน่งเพล่าขั้วป้อน จะใช้อินฟราเรดเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่งแกนที่ติดตั้งกับเพล่าขั้วป้อน เมื่อแกนที่ติดตั้งไว้หมุนมาบังอินฟราเรดเซนเซอร์ วงจรจะส่งสถานะสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรตรวจจับตำแหน่งเพล่าขั้วป้อน

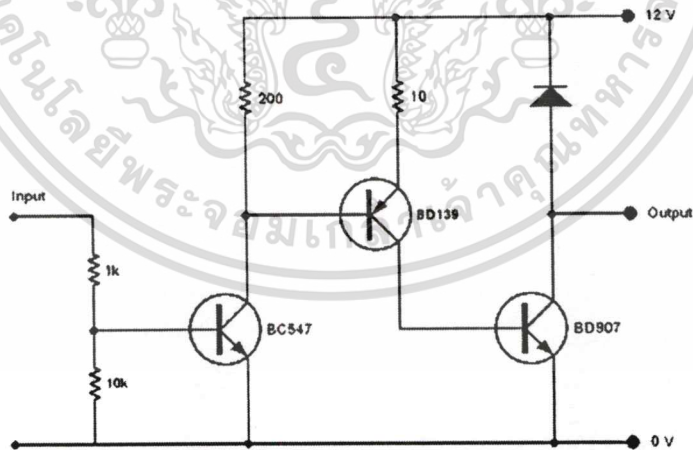
ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีอินพุท/เอาต์พุท (I/O) จำนวน 8 บิต สำหรับการทดลองนี้จะใช้อินพุท/เอาต์พุท เพียง 3 บิต คือ P1.0, P1.1 และ P1.2 สัญญาณเอาต์พุทจากไมโครคอนโทรลเลอร์ยังมีกำลังไม่เพียงพอสำหรับวงจรขยายกำลัง ดังนั้นจึงต้องมีการขยายสัญญาณเอาต์พุทก่อนส่งไปยังวงจรขยายกำลังด้วย Schmitt - trigger Inverters ดังในรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 วงจรขยายสัญญาณไมโครคอนโทรลเลอร์

สัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกขยายแล้วจะไปควบคุมกลองบันทึกภาพ และมอเตอร์ขั้วป้อน การควบคุมการทำงานของกลองบันทึกภาพไม่ต้องผ่านวงจรรขยายกำลังอีก ส่วนการควบคุมมอเตอร์ขั้วป้อนจะต้องผ่านวงจรรขยายกำลังดังในรูปที่ 3.10 เพื่อให้มีกำลังเพียงพอขั้วป้อนของมอเตอร์ขั้วป้อน



รูปที่ 3.10 วงจรรขยายกำลัง

จังหวะการบันทึกภาพจะถูกโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะหน่วงเวลาสัญญาณที่ควบคุมชัตเตอร์ ทำให้สามารถบันทึกภาพสเปร์ย์น้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงเวลาที่ต้องการได้ โปรแกรมควบคุมจะแสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

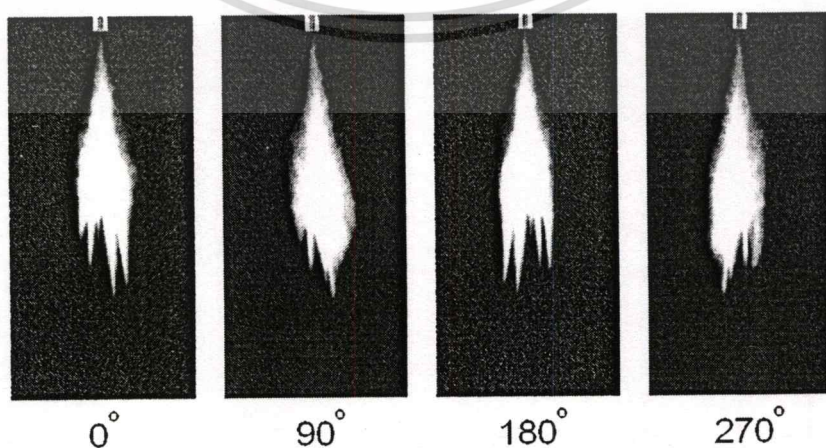
### ตารางที่ 3.1 โปรแกรมคำสั่งควบคุมการทำงาน

ตำแหน่ง	คำสั่ง	รายละเอียด
8100	C2	เปลี่ยนสถานะสัญญาณที่ส่งมาจากจากบีมความดันสูงเป็น (0)
8101	90	
8102	C2	เปลี่ยนสถานะสัญญาณที่ส่งไปยังกล้องบันทึกภาพเป็น (0)
8103	92	
8104	D2	เปลี่ยนสถานะสัญญาณที่ส่งไปยังมอเตอร์ขับเคลื่อนความดันสูงเป็น (1) (ส่งสัญญาณให้มอเตอร์ขับเคลื่อนความดันสูงเริ่มทำงาน)
8105	91	
8106	7A	ตั้งเวลาหน่วงก่อนที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณจากบีมความดันสูงเป็นเวลา 10 มิลลิวินาที เพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนจากมอเตอร์ขับเคลื่อนความดันสูง
8107	00	
8108	7B	
8109	0A	
810A	12	
810B	00	หน่วงเวลาตามที่ตั้งเวลาไว้
810C	3F	วนลูปรุนกว่าสัญญาณจากบีมความดันสูงเปลี่ยนเป็น (1)
810D	30	
810E	90	
810F	FD	
8110	7A	
8111	00	ตั้งเวลาหน่วงก่อนเปลี่ยนสัญญาณที่ส่งไปยังกล้องบันทึกภาพเป็น (1)
8112	7B	
8113	05	
8114	12	หน่วงเวลาตามที่ตั้งเวลาไว้
8115	00	
8116	3F	
8117	D2	เปลี่ยนสัญญาณที่ส่งไปยังกล้องบันทึกภาพเป็น (1) (ส่งสัญญาณให้กล้องบันทึกภาพทำงาน)
8118	92	

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

8119	7A	ตั้งเวลาหน่วงเพื่อให้สัญญาณที่ส่งไปยังกล้องบันทึกภาพเป็น (1) นาน 10 มิลลิวินาที
811A	00	
811B	7B	
811C	0A	
811D	12	หน่วงเวลาตามที่ตั้งเวลาไว้
811E	00	
811F	3F	
8120	C2	เปลี่ยนสถานะสัญญาณที่ส่งไปยังกล้องบันทึกภาพเป็น (0)
8121	92	
8122	C2	เปลี่ยนสถานะสัญญาณที่ส่งไปยังมอเตอร์ขับปั๊มความดันสูงเป็น (0) (ส่งสัญญาณให้มอเตอร์ขับปั๊มความดันสูงหยุดทำงาน)
8123	91	
8124	12	จบโปรแกรม
8125	00	
8126	36	

รูปที่ 3.11 เป็นรูปสเปกตรัมน้ำมันดีเซลซึ่งบันทึกจากด้านหน้า ด้านขวา ด้านหลังและด้านซ้ายตามลำดับ เพื่อพิจารณาความแตกต่างของรูปร่างสเปกตรัม



0°

90°

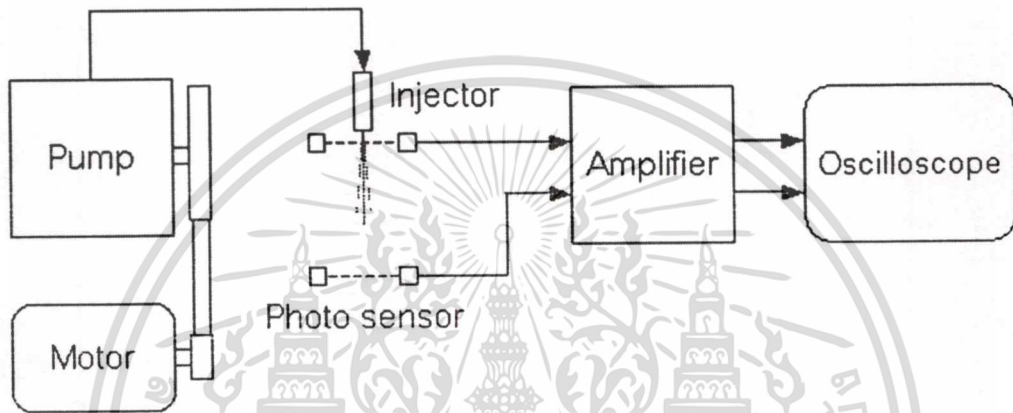
180°

270°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ก่อนจะเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่สงวนไว้ว่าใครจะนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า  
**รูปที่ 3.11** สเปกตรัมน้ำมันดีเซลที่เวลา 4 ms หัวฉีดแบบรูเดี่ยว บันทึกจากด้านต่างๆ  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

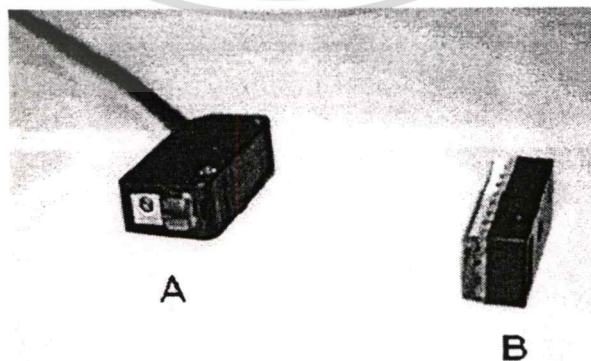
### 3.3 วิธีวัดความเร็วสเปรย์

การวัดความเร็วของสเปรย์ ดังในรูปที่ 3.12 จะใช้โฟโตเซนเซอร์ (Photo sensor) จำนวน 2 ตัว ติดตั้งห่างกันในระยะที่ต้องการ เมื่อสเปรย์ผ่านเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัว จะเกิดสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังชุดขยาย (Amplifier) และสโคป (Oscilloscope) จะเป็นตัวแสดงรูปสัญญาณ (Pulses) ที่ได้จากเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัว ทำให้สามารถวัดช่วงเวลาห่างของสัญญาณ ระยะทางจะได้จากระยะห่างของตัวเซนเซอร์ เมื่อนำมาหารด้วยช่วงเวลาที่วัดได้จากสโคป จะได้ความเร็วของสเปรย์หัวฉีด



รูปที่ 3.12 อุปกรณ์วัดความเร็วสเปรย์หัวฉีด

รูปที่ 3.13 แสดงตัวโฟโตเซนเซอร์ (A) ภายในประกอบด้วยอุปกรณ์ส่งและรับแสง โดยมีตัวสะท้อน (B) เป็นตัวช่วยสะท้อนลำแสงกลับไปยังโฟโตเซนเซอร์ เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงจากโฟโตเซนเซอร์ จะทำให้ความเข้มแสงเปลี่ยนไป ซึ่งสามารถตรวจจับได้โดยชุดขยายสัญญาณ (Amplifier) ภายในตัวโฟโตเซนเซอร์

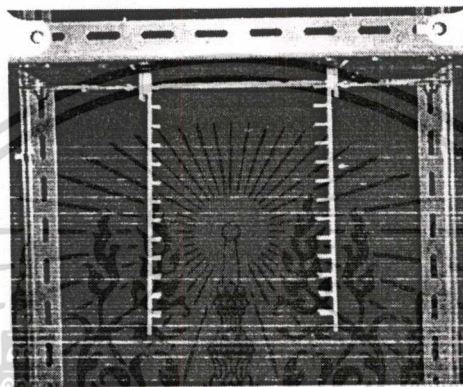


รูปที่ 3.13 โฟโตเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

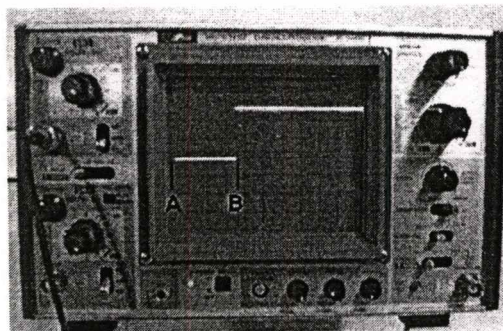
ความไวของตัวโฟโตเซนเซอร์ จะทดสอบด้วยการนำไอน้ำมันดีเซลผสมกับอากาศในอัตราส่วนต่างๆ ทำให้ไอน้ำมันดังกล่าวผ่านตัวโฟโตเซนเซอร์ เพื่อหาค่าความเข้มข้นของน้ำมันต่ำสุดที่โฟโตเซนเซอร์สามารถตรวจจับได้

การเตรียมส่วนผสมไอน้ำมันดีเซลกับอากาศ ทำได้โดยการเติมอากาศและน้ำมันดีเซลในปริมาณที่ต้องการลงในถุงพลาสติกทนความร้อนแล้วปิดถุงให้สนิท นำไปให้ความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ ผูกส่วนผสมที่ได้ด้วยกระบอกฉีดยา นำไปฉีดผ่านโฟโตเซนเซอร์ ผลการทดลองจะได้ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของไอน้ำมันดีเซลที่โฟโตเซนเซอร์สามารถตรวจจับได้มีค่า 23 mL/L air



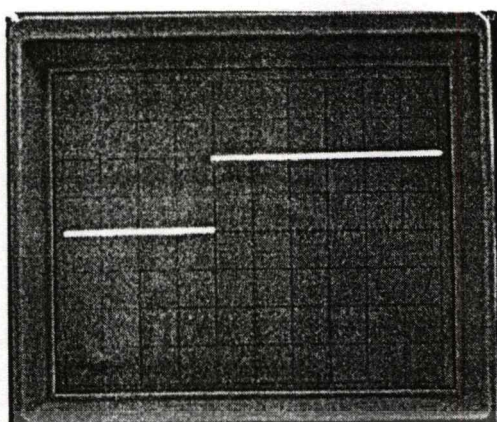
รูปที่ 3.14 อุปกรณ์ยึดตำแหน่งโฟโตเซนเซอร์

รูปที่ 3.16 ถึง 3.17 แสดงรูปสัญญาณที่จับด้วยสโคป (Oscilloscope) โฟโตเซนเซอร์ตัวแรกจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณให้สโคปเริ่มทำงาน (Sweep) และจะมีสถานะไฟฟ้า (Logic) เป็น (0) โฟโตเซนเซอร์ตัวที่สองจะทำหน้าที่เปลี่ยนสถานะไฟฟ้าเป็น (1) เมื่อสเปรย์น้ำมันผ่านโฟโตเซนเซอร์ตัวแรก สโคปจะเริ่มทำงานที่จุด A และเมื่อสเปรย์น้ำมันผ่านโฟโตเซนเซอร์ตัวที่สอง สถานะไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปที่จุด B ดังนั้น ช่วงเวลา A - B ที่วัดได้จากสโคปก็คือเวลาที่สเปรย์ใช้ในการเคลื่อนที่จากโฟโตเซนเซอร์ตัวแรกไปยังโฟโตเซนเซอร์ตัวที่สอง

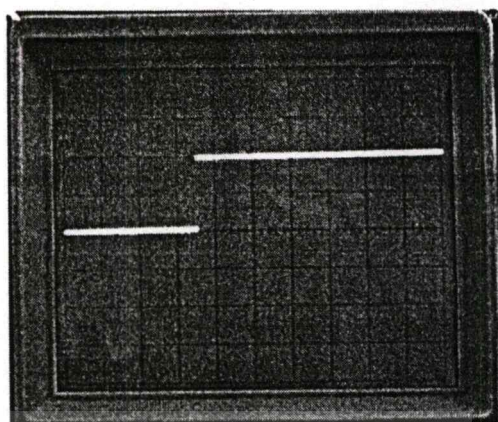


รูปที่ 3.15 ออสซิลโลสโคป

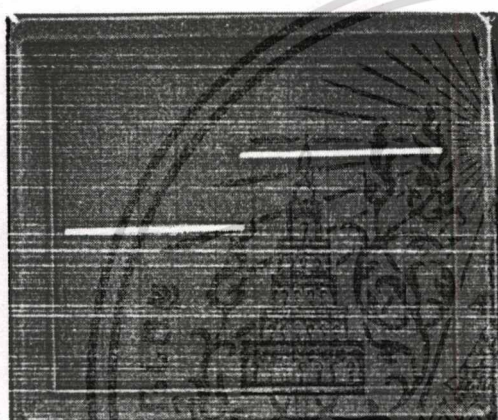
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



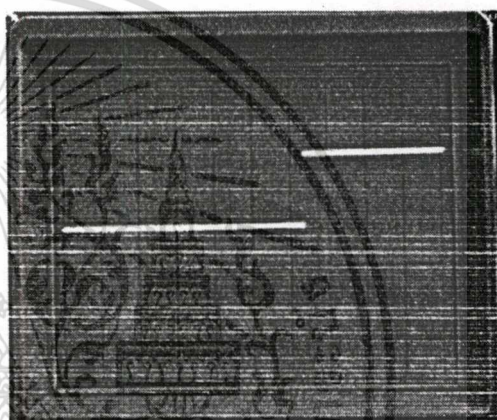
S = 35 mm. (Time scale 0.1 ms)



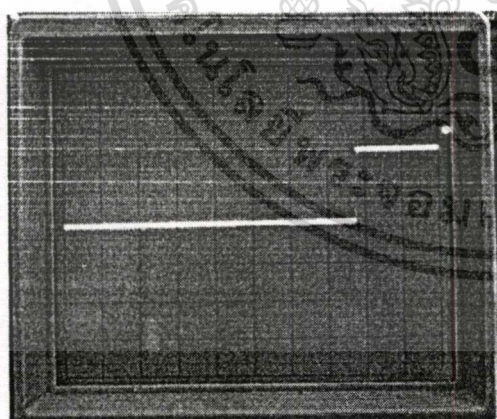
S = 55 mm. (Time scale 0.2 ms)



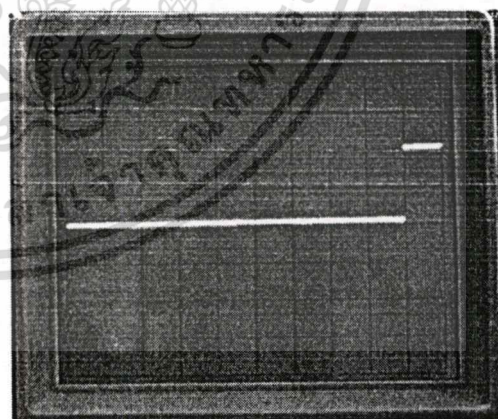
S = 75 mm. (Time scale 0.2 ms)



S = 95 mm. (Time scale 0.2 ms)



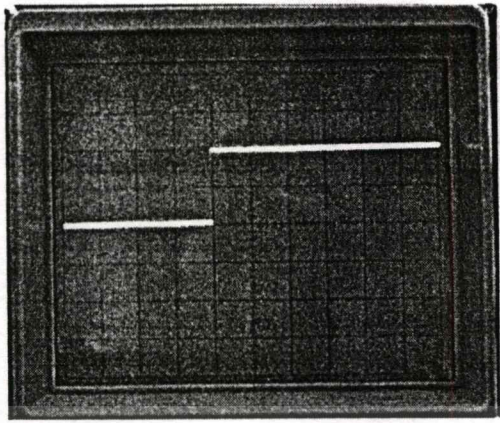
S = 115 mm. (Time scale 0.2 ms)



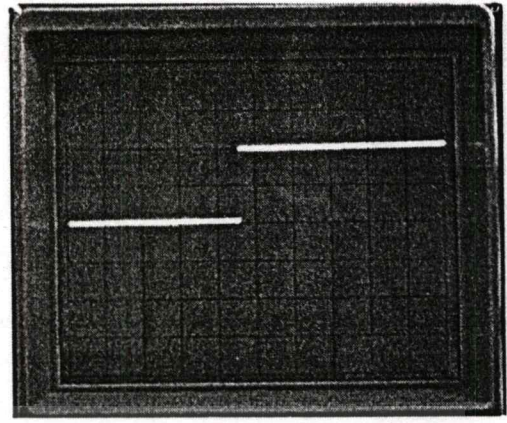
S = 135 mm. (Time scale 0.2 ms)

รูปที่ 3.16 เวลาที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป สเปรย์น้ำมันดีเซล หัวฉีดครูเดียว

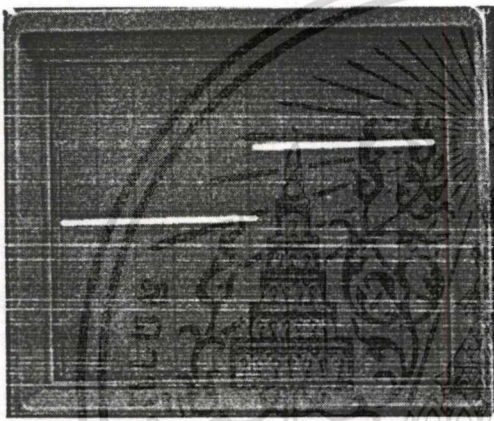
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



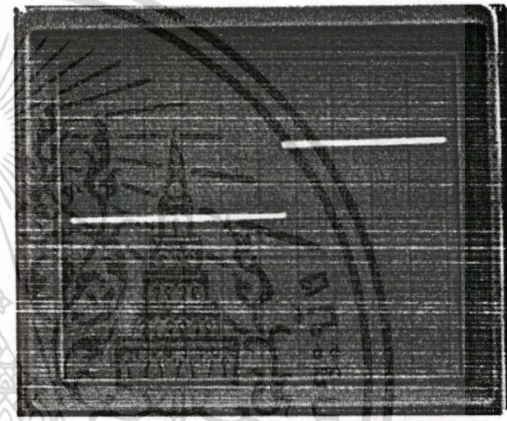
S = 155 mm. (Time scale 0.5 ms)



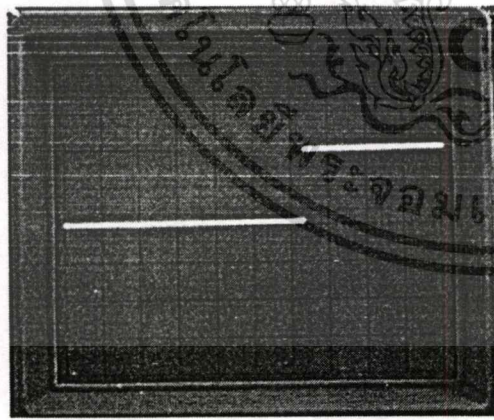
S = 175 mm. (Time scale 0.5 ms)



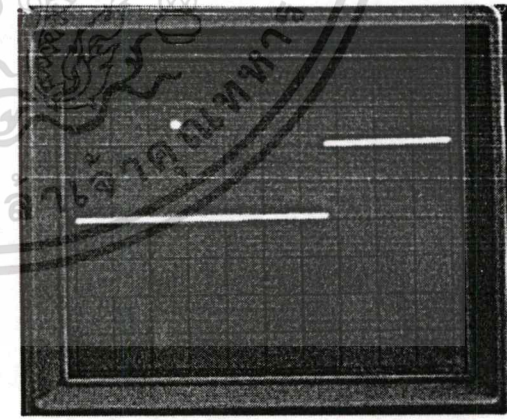
S = 195 mm. (Time scale 0.5 ms)



S = 215 mm. (Time scale 0.5 ms)



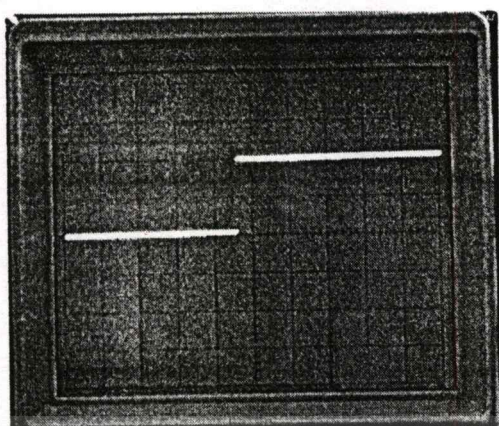
S = 235 mm. (Time scale 0.5 ms)



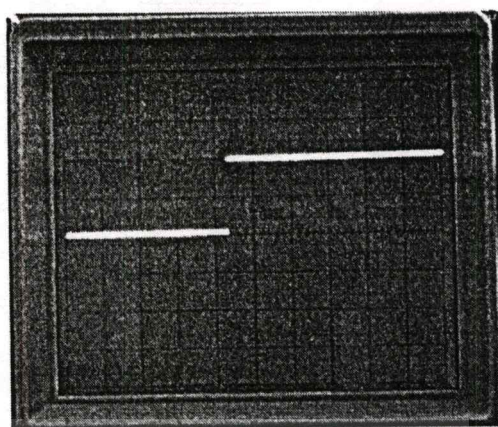
S = 255 mm. (Time scale 0.5 ms)

รูปที่ 3.16 (ต่อ)

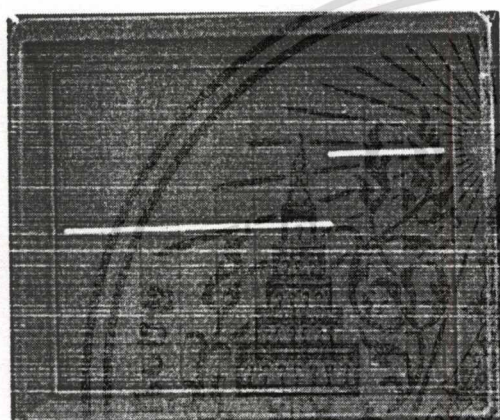
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



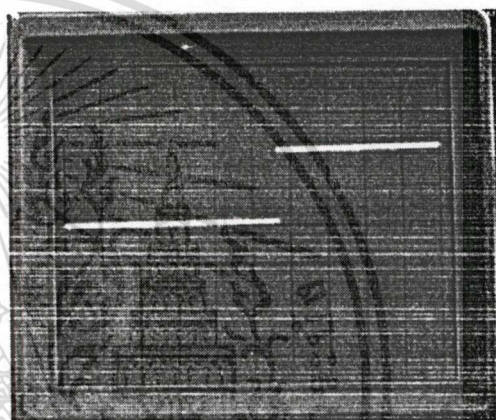
S = 35 mm. (Time scale 0.05 ms)



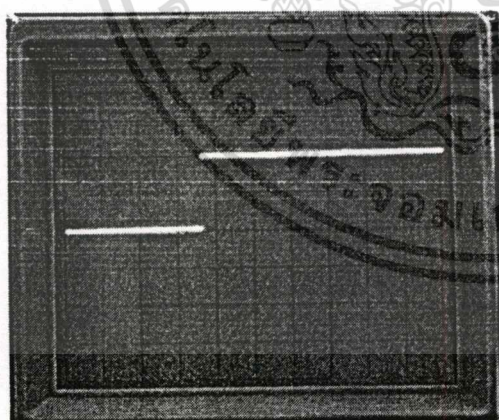
S = 55 mm. (Time scale 0.1 ms)



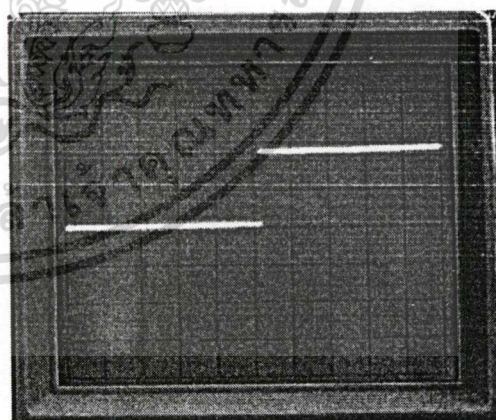
S = 75 mm. (Time scale 0.1 ms)



S = 95 mm. (Time scale 0.2 ms)

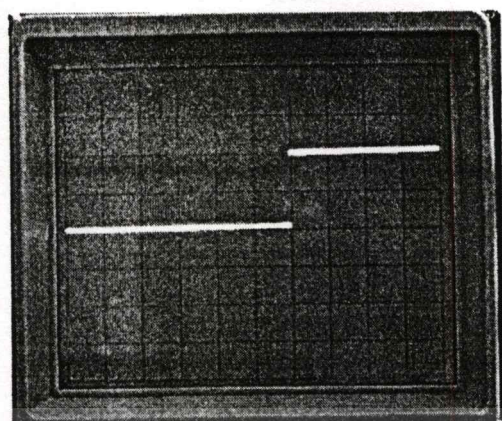


S = 115 mm. (Time scale 0.5 ms)

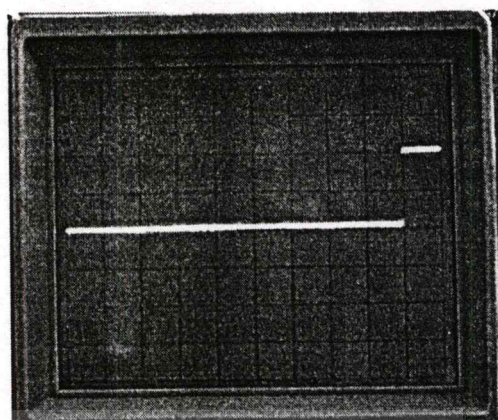


S = 135 mm. (Time scale 0.5 ms)

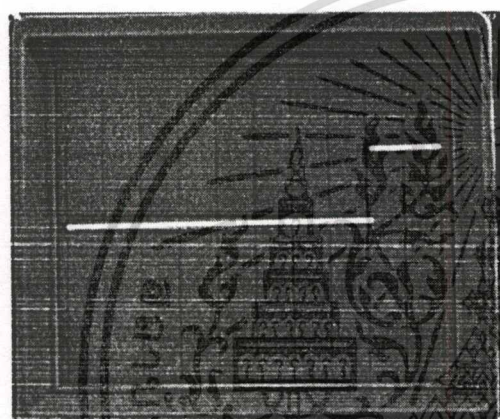
รูปที่ 3.17 เวลาที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป สเปิร์มน้ำมันดีเซล หัวฉีด 4 รู



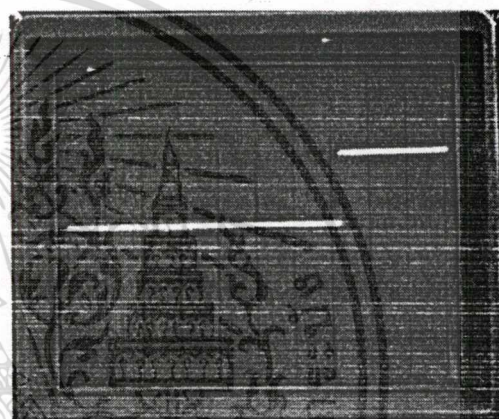
S = 155 mm. (Time scale 0.5 ms)



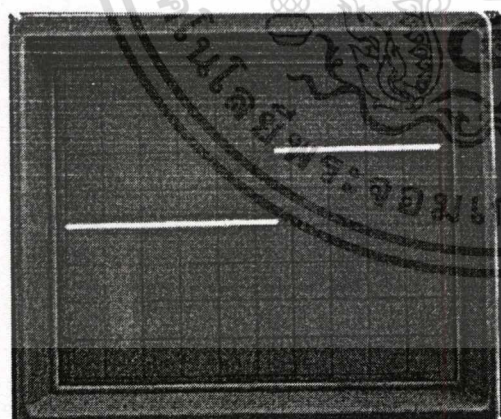
S = 175 mm. (Time scale 0.5 ms)



S = 195 mm. (Time scale 1 ms)



S = 215 mm. (Time scale 2 ms)

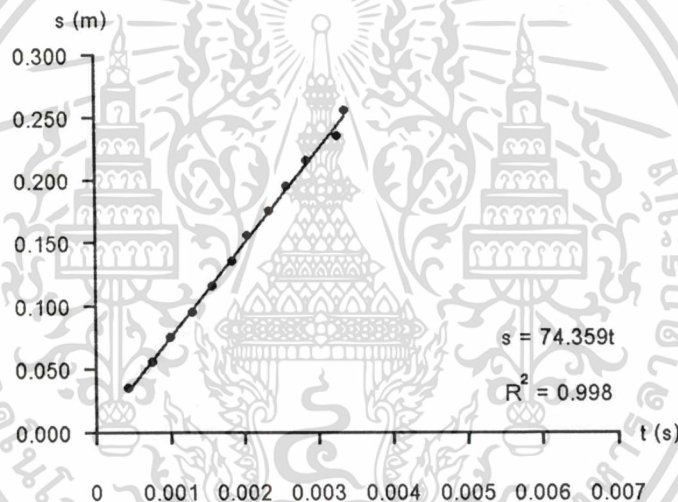


S = 235 mm. (Time scale 5 ms)

รูปที่ 3.17 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดความเร็วจะใช้โฟโตเซนเซอร์ 2 ตัว โดยที่โฟโตเซนเซอร์ตัวแรกจะติดตั้งห่างจากหัวฉีด 5 มม. เพราะไม่สามารถติดตั้งโฟโตเซนเซอร์ในระดับเดียวกับปลายหัวฉีดได้ เนื่องจากการติดตั้งใกล้ปลายหัวฉีดจะทำให้ความไวในการตรวจจับ (Detecting) ของโฟโตเซนเซอร์ทั้งสองตัวไม่เท่ากัน โฟโตเซนเซอร์ตัวแรกจะติดตั้งในตำแหน่งคงที่ เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิง ส่วนโฟโตเซนเซอร์ตัวที่สองจะถูกเลื่อนตำแหน่งเพื่อเปลี่ยนแปลงระยะทางตามต้องการ เมื่อมีการฉีดสเปรย์น้ำมัน โฟโตเซนเซอร์ทั้งสองตัวจะส่งสัญญาณออกมาผ่านวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) และใช้สโคป (Oscilloscope) เป็นอุปกรณ์ในการวัดช่วงเวลาห่างของสัญญาณทั้งสอง ค่าที่วัดได้จะถูกนำไปเขียนเป็นกราฟเพื่อดูแนวโน้ม กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นกราฟเชิงเส้น เมื่อใช้วิธี Least square method จะได้สมการเชิงเส้น ค่าสัมประสิทธิ์ของ  $t$  จะเป็นความเร็วของสเปรย์ ดังในรูปที่ 3.18

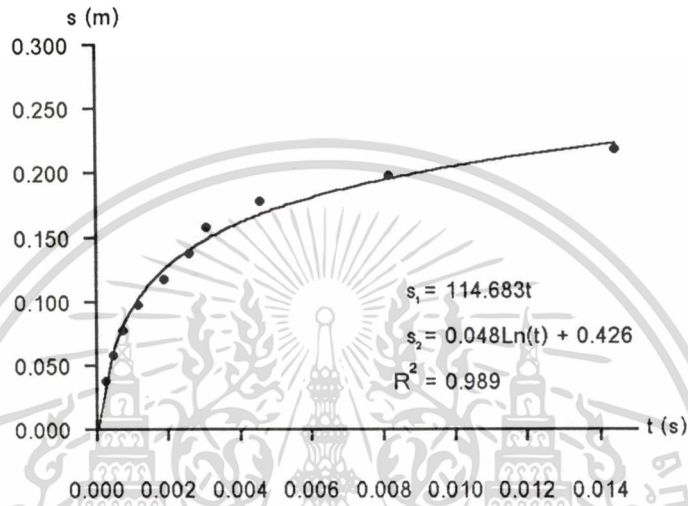


รูปที่ 3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปรย์กับเวลาของน้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C หัวฉีดแบบรูเดียว

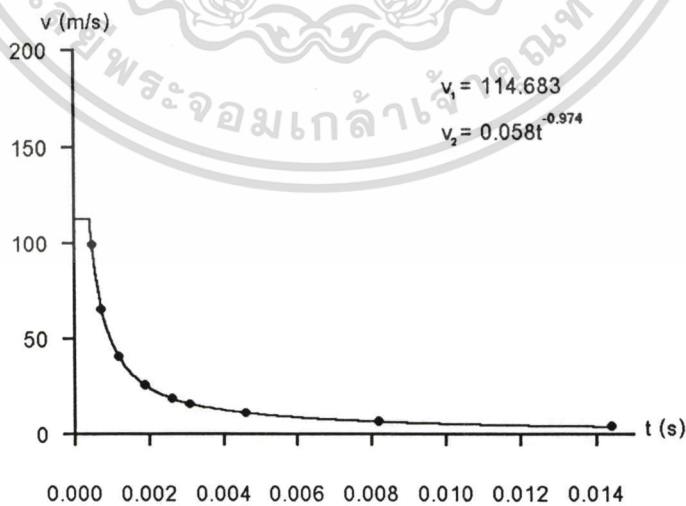
สำหรับสเปรย์น้ำมันดีเซลของหัวฉีดแบบ 4 รู จะมีลักษณะกราฟความยาวสเปรย์แตกต่างออกไปคือเป็นกราฟเส้นโค้ง ดังในรูปที่ 3.19 การคำนวณหาความเร็วสเปรย์หัวฉีดกระทำได้โดยการดิฟเฟอเรนเชียลสมการความยาวสเปรย์น้ำมันดีเซล จะได้กราฟความเร็วของสเปรย์น้ำมันดีเซล ดังในรูปที่ 3.20

ขีดจำกัดของโฟโตเซนเซอร์ สำหรับสเปรย์หัวฉีดแบบรูเดียว เมื่อสเปรย์มีความยาวมากกว่า 255 มิลลิเมตร สเปรย์น้ำมันดีเซลจะเบาบางจนไม่สามารถตรวจจับได้ ดังนั้นการทดลองนี้จึงกำหนดขอบเขตความยาวสเปรย์ไว้ที่ 35 – 255 มิลลิเมตร สำหรับหัวฉีดแบบ 4 รู จะกำหนดขอบเขตความยาวสเปรย์ไว้ที่ 35 – 235 มิลลิเมตร

เมื่อได้ทำการทดลองปรับอุณหภูมิและความดันหัวฉีดแล้ว พบว่าความเร็วสูงสุดในการทดลองนี้คือสเปร์ยน้ำมันมะพร้าวความดันหัวฉีด 20 MPa มีความเร็ว 103.748 m/s จากขอบเขตความยาวสเปร์ยข้างต้น พบว่าเวลาที่วัดได้จะอยู่ที่ประมาณ 4 ms และหากเวลาเกิน 4 ms จะไม่มีข้อมูลความเร็วสเปร์ยของน้ำมันมะพร้าวที่ความดันหัวฉีด 20 MPa เนื่องจากสเปร์ยจะมีความยาวมากกว่า 255 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงกำหนดขอบเขตเวลาการบันทึกภาพสเปร์ยไว้ที่ 4 ms



รูปที่ 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปร์ยกับเวลาของน้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C หัวฉีดแบบ 4 รู



รูปที่ 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสเปร์ยกับเวลาของน้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C หัวฉีดแบบ 4 รู กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงที่ออกมาในช่วงแรกนั้นจะมีความเร็วคงที่ และจะค่อยๆมีความเร็วลดลง จุดที่สเปรย์เริ่มเกิดความหน่วงขึ้นนี้เรียกว่า Breakup point กราฟของสเปรย์เชื้อเพลิงก่อน Breakup point จะเป็นกราฟเส้นตรง (ตามสมการที่ 2.3) และกราฟของสเปรย์เชื้อเพลิงหลัง Breakup point จะเป็นฟังก์ชันกับรากที่สองของเวลา (ตามสมการที่ 2.4) การคำนวณหาเวลาที่เกิด Breakup point จะใช้สมการที่ (2.5)

สเปรย์หัวฉีดเดี่ยวจะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง เนื่องจากสเปรย์ยังไม่เกิดการ Breakup ในช่วงเวลา 1 – 4 ms ส่วนสเปรย์หัวฉีด 4 รู จะมีลักษณะกราฟเป็นฟังก์ชันกับรากที่สองของเวลา เนื่องจากเกิดการ Breakup ก่อนช่วงเวลา 1 ms เวลาการเกิด Breakup แสดงในตาราง 3.2

ตารางที่ 3.2 เวลาการเกิด Breakup ของสเปรย์น้ำมันดีเซล

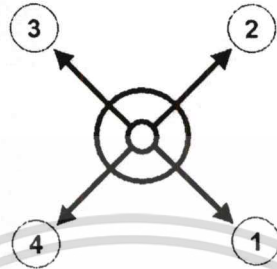
หัวฉีดเดี่ยว		หัวฉีด 4 รู	
ความดัน (MPa)	เวลา (ms)	ความดัน (MPa)	เวลา (ms)
8	11.1	17	0.63
12	9.0	21	0.57
16	7.8	25	0.52
20	7.0	29	0.48

ความแปรปรวนจากการวัดเวลา ด้วยโฟโตเซนเซอร์ของหัวฉีดแบบรูเดี่ยวที่ระยะห่างระหว่างโฟโตเซนเซอร์ 30 – 250 มม.

ตารางที่ 3.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดเวลาด้วยโฟโตเซนเซอร์ของหัวฉีดเดี่ยว (ms)

ระยะห่างเซนเซอร์	การทดลองครั้งที่										เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน	% ส่วนเบี่ยงเบน
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
30	0.37	0.42	0.39	0.44	0.39	0.44	0.42	0.42	0.40	0.40	0.409	0.023	5.62
50	0.74	0.72	0.68	0.68	0.72	0.72	0.78	0.74	0.78	0.68	0.724	0.037	5.11
70	1.08	1.00	1.00	0.88	1.08	0.94	0.88	0.92	1.00	1.00	0.978	0.072	7.36
90	1.20	1.32	1.20	1.20	1.32	1.20	1.36	1.32	1.32	1.28	1.272	0.065	5.11
110	1.56	1.56	1.56	1.56	1.60	1.48	1.44	1.48	1.60	1.56	1.540	0.054	3.51
130	1.76	1.76	1.84	1.84	1.92	1.84	1.84	1.76	1.84	1.72	1.812	0.060	3.31
150	1.96	2.00	2.00	2.10	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.10	2.016	0.046	2.28
170	2.2	2.4	2.2	2.4	2.3	2.2	2.4	2.3	2.4	2.3	2.310	0.088	3.81
190	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.6	2.550	0.053	2.08
210	2.9	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	2.8	2.8	2.8	3.0	2.830	0.082	2.90
230	3.1	3.3	3.3	3.3	3.1	3.3	3.3	3.3	3.1	3.3	3.240	0.097	2.99
250	3.4	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.3	3.3	3.4	3.3	3.340	0.052	1.56

ตารางที่ 3.3 เป็นเวลาที่วัดได้จากออสซิลโลสโคปที่ระยะห่างต่างๆของโฟโตเซนเซอร์ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะอยู่ในช่วง 2 ถึง 7 % ซึ่งต่ำกว่าวิธีการใช้กล้องบันทึกภาพซึ่งอยู่ที่ประมาณ 10% รูปที่ 3.21 แสดงลำดับรูหัวฉีดของหัวฉีดแบบ 4 รู ตารางที่ 3.4 – 3.7 แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดเวลาด้วยโฟโตเซนเซอร์ของหัวฉีด 4 รู



รูปที่ 3.21 ลำดับของรูหัวฉีด สำหรับหัวฉีดแบบ 4 รู

ตารางที่ 3.4 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดเวลาด้วยโฟโตเซนเซอร์ของหัวฉีดรูที่ 1 (ms)

ระยะห่าง เซนเซอร์	การทดลองครั้งที่										เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน	% ส่วน เบี่ยงเบน
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
30	0.28	0.24	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.20	0.22	0.24	0.228	0.021	9.43
50	0.50	0.48	0.44	0.42	0.46	0.44	0.40	0.42	0.42	0.48	0.446	0.033	7.34
70	0.70	0.64	0.70	0.70	0.70	0.76	0.68	0.70	0.76	0.68	0.702	0.036	5.11
90	1.20	1.16	1.16	1.12	1.28	1.12	1.12	1.12	1.08	1.12	1.148	0.057	4.94
110	1.80	1.72	1.84	1.92	1.84	1.84	1.96	1.80	1.96	1.96	1.864	0.083	4.43
130	2.20	2.40	2.80	2.50	2.70	2.60	2.70	2.70	2.50	2.70	2.580	0.181	7.03
150	3.30	3.10	3.10	2.90	3.10	2.90	3.00	2.90	3.10	3.10	3.050	0.127	4.16
170	4.20	4.00	4.40	4.90	4.70	4.80	4.50	4.70	4.50	4.90	4.560	0.299	6.55
190	7.00	7.60	8.60	8.80	7.80	8.40	8.60	8.40	8.60	7.80	8.160	0.580	7.10
210	16.00	14.00	13.00	14.00	17.00	15.00	13.00	14.00	15.00	13.00	14.40	1.350	9.37
230	27.00	24.00	23.00	24.00	30.00	33.00	33.00	32.00	31.00	25.00	28.20	4.022	14.26

ตารางที่ 3.5 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดเวลาด้วยโฟโตเซนเซอร์ของหัวฉีดรูที่ 2 (ms)

ระยะห่าง เซนเซอร์	การทดลองครั้งที่										เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน	% ส่วน เบี่ยงเบน
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
30	0.19	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.15	0.17	0.18	0.172	0.010	6.00
50	0.35	0.37	0.34	0.32	0.29	0.34	0.34	0.32	0.32	0.37	0.336	0.025	7.32
70	0.54	0.50	0.54	0.54	0.58	0.58	0.52	0.54	0.58	0.52	0.544	0.028	5.14
90	0.92	0.90	0.90	0.86	1.00	0.86	0.86	0.86	0.84	0.86	0.886	0.047	5.33
110	1.40	1.32	1.40	1.48	1.40	1.40	1.52	1.40	1.52	1.52	1.436	0.069	4.82
130	1.68	1.84	2.10	1.92	2.10	2.00	2.10	2.10	1.92	2.10	1.986	0.145	7.29
150	2.50	2.40	2.40	2.20	2.40	2.20	2.30	2.20	2.40	2.40	2.340	0.107	4.59
170	3.20	3.10	3.40	3.80	3.60	3.70	3.50	3.60	3.50	3.80	3.520	0.235	6.67
190	5.40	5.80	6.60	6.80	6.00	6.40	6.60	6.40	6.60	6.00	6.260	0.443	7.07
210	12.00	10.00	10.00	12.00	13.00	11.00	10.00	11.00	10.00	10.00	10.90	1.101	10.10
230	21.00	18.00	16.00	18.00	23.00	22.00	23.00	26.00	24.00	19.00	21.00	3.162	15.06

ตารางที่ 3.6 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดเวลาด้วยโฟโตเซนเซอร์ของหัวฉีดรูที่ 3 (ms)

ระยะห่าง เซนเซอร์	การทดลองครั้งที่										เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน	% ส่วน เบี่ยงเบน
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
30	0.23	0.24	0.22	0.22	0.20	0.22	0.19	0.20	0.22	0.19	0.213	0.017	8.00
50	0.49	0.48	0.44	0.43	0.44	0.44	0.40	0.42	0.42	0.40	0.436	0.030	6.86
70	0.68	0.64	0.64	0.68	0.70	0.76	0.68	0.72	0.74	0.68	0.692	0.039	5.65
90	1.08	1.16	1.12	1.08	1.28	1.12	1.08	1.12	1.04	1.12	1.120	0.065	5.83
110	1.76	1.72	1.76	1.84	1.80	1.84	1.84	1.80	1.92	1.94	1.822	0.070	3.82
130	2.10	2.40	2.60	2.50	2.60	2.80	2.60	2.60	2.50	2.40	2.510	0.185	7.38
150	3.20	3.10	2.80	2.90	3.20	2.90	3.20	2.90	2.80	2.90	2.990	0.166	5.56
170	4.30	4.00	4.40	4.50	4.60	4.20	4.50	4.70	4.50	4.90	4.460	0.255	5.71
190	7.20	7.60	8.40	7.80	7.80	8.40	8.40	7.80	8.60	7.80	7.980	0.447	5.60
210	13.00	14.00	15.00	14.00	14.00	15.00	13.00	15.00	15.00	12.00	14.00	1.054	7.53
230	28.00	22.00	23.00	24.00	27.00	30.00	28.00	32.00	30.00	25.00	26.90	3.315	12.32

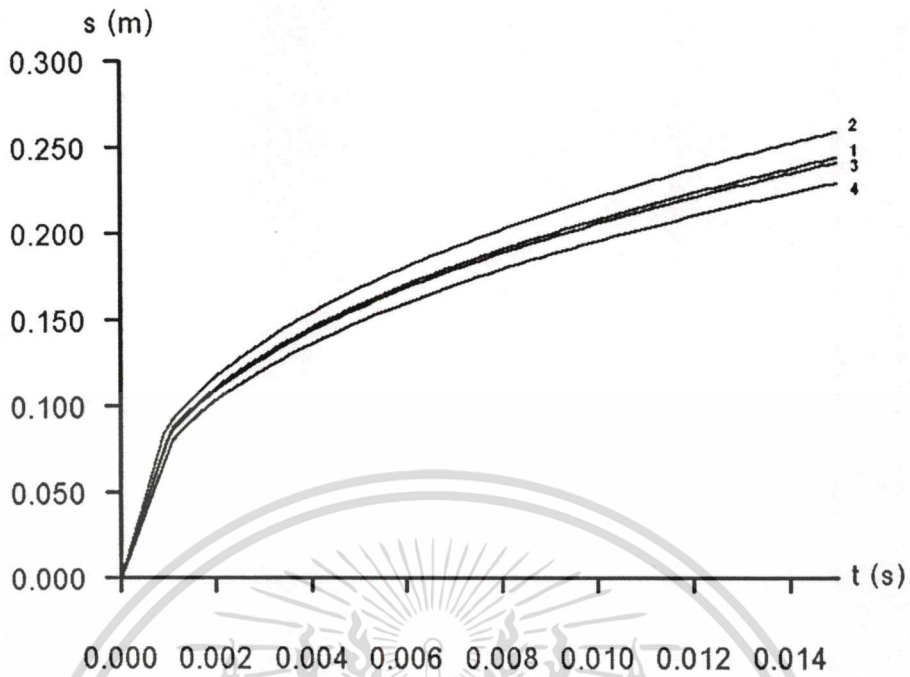
ตารางที่ 3.7 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดเวลาด้วยโฟโตเซนเซอร์ของหัวฉีดรูที่ 4 (ms)

ระยะห่าง เซนเซอร์	การทดลองครั้งที่										เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน	% ส่วน เบี่ยงเบน
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
30	0.25	0.25	0.23	0.25	0.28	0.32	0.28	0.25	0.25	0.25	0.261	0.026	9.80
50	0.50	0.50	0.49	0.49	0.54	0.58	0.56	0.54	0.49	0.44	0.513	0.041	8.07
70	0.88	0.80	0.82	0.88	0.80	0.82	0.74	0.82	0.82	0.82	0.820	0.040	4.88
90	1.28	1.28	1.28	1.24	1.28	1.40	1.36	1.36	1.28	1.48	1.324	0.074	5.60
110	2.10	2.30	2.10	2.30	2.30	2.10	2.00	2.10	2.20	2.10	2.160	0.107	4.98
130	3.00	3.10	3.10	2.90	3.10	2.50	2.80	3.20	2.90	3.10	2.970	0.206	6.93
150	3.40	3.50	3.40	3.60	3.60	3.80	3.60	3.60	3.40	3.60	3.550	0.127	3.58
170	5.60	5.40	5.20	5.20	5.60	4.90	4.70	5.00	5.60	5.40	5.260	0.317	6.03
190	9.80	9.80	9.60	9.80	9.40	8.60	8.80	9.80	9.60	9.40	9.460	0.433	4.57
210	17.00	15.00	16.00	15.00	15.00	18.00	16.00	15.00	16.00	19.00	16.20	1.398	8.63
230	34.00	32.00	36.00	34.00	29.00	31.00	28.00	26.00	28.00	35.00	31.30	3.433	10.97

สำหรับหัวฉีดแบบ 4 รูจะพบว่าที่ระยะห่างของเซนเซอร์ 230 มม. จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด เนื่องจากสเปรย์ของหัวฉีดแบบ 4 รูจะมีปริมาณการฉีดน้อยกว่าหัวฉีดเดี่ยว ทำให้สเปรย์มีความหนาแน่นน้อยกว่า การตรวจจับสเปรย์ด้วยโฟโตเซนเซอร์ที่ระยะทางมากกว่า 230 มม. จะกระทำได้อย่างกว่า

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่าอยู่ระหว่าง 4 - 15 % ซึ่งน้อยกว่าวิธีการใช้กล้องบันทึกภาพซึ่งอยู่ที่ประมาณ 26 - 33%

รูปที่ 3.22 แสดงกราฟซึ่งได้จากการวัดเวลาการเคลื่อนที่ของสเปรย์หัวฉีดทั้ง 4 รู ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดสอบ จากกราฟจะพบว่าหัวฉีดรูที่ 2 จะมีค่าความยาวสเปรย์สูงสุด และหัวฉีดรูที่ 4 จะมีค่าความยาวสเปรย์ต่ำสุด ความยาวสเปรย์ของหัวฉีดทั้ง 4 รูจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อย การทดลองนี้จึงใช้รูที่ 1 เป็นตัวแทนของสเปรย์ทั้ง 4 รูเพื่อทำการวัดความยาวและความเร็วของสเปรย์



รูปที่ 3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของหัวฉีดแบบ 4 รู

### 3.4 วิธีการอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิง

การอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงจะใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 150 วัตต์ อุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถัง และใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 400 วัตต์ อุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ท่อหัวฉีดความดันสูง ดังในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ฮีตเตอร์อุ่นน้ำมันเชื้อเพลิง

การควบคุมอุณหภูมิฮีตเตอร์จะใช้อุปกรณ์หรี่ไฟ (Dimmer) ดังในรูปที่ 3.24 เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ฮีตเตอร์ การปรับอุณหภูมิจะทำได้โดยการค่อย ๆ ปรับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ฮีตเตอร์ ทั้งไว้ประมาณ 10 นาที วัดอุณหภูมิที่ตัวฮีตเตอร์ หากอุณหภูมิยังไม่ได้ตามที่ต้องการจะทำการปรับกำลังไฟฟ้าอีกจนได้อุณหภูมิที่ต้องการ ดังนั้นอุณหภูมิของฮีตเตอร์จะมีค่าคงที่ตลอด

#### การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 อุปกรณ์หรี่ไฟ

### 3.5 วิธีการประมาณค่าความดันภายในกระบอกสูบ

การทดลองนี้จะทำการฉีดเปรย์เชื้อเพลิงที่ความดันและอุณหภูมิบรรยากาศ ความดันหัวฉีด จะกำหนดให้มีค่าความดันสัมพันธ์ระหว่างความดันหัวฉีดกับความดันภายในห้องเผาไหม้เท่ากัน ดังนั้นการฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันบรรยากาศจึงต้องปรับลดความดันหัวฉีดลง การประมาณความดันภายในกระบอกสูบจะอ้างอิงจากข้อมูลซึ่งได้มีผู้ทำการทดลองมาแล้ว Murari et al [15] ได้ทำการทดลองน้ำมันดีเซลผสม DME ในเครื่องยนต์ดีเซลสี่จังหวะแบบฉีดเชื้อเพลิงตรง (Direct injection) อัตราส่วนการอัด 18.5:1 ใช้อุปกรณ์วัดความดันในกระบอกสูบ (Piezoelectric pressure transducer) กราฟความดันแสดงในรูปที่ 3.25

Masahiro Ishida et al [16] ได้ทำการทดลองใช้ก๊าซธรรมชาติช่วยในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล (Dual - fueled natural gas) โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลสี่จังหวะแบบฉีดเชื้อเพลิงตรง อัตราส่วนการอัด 18.2:1 ผลิตโดย ISUZU Motors Ltd. กราฟความดันแสดงในรูปที่ 3.26

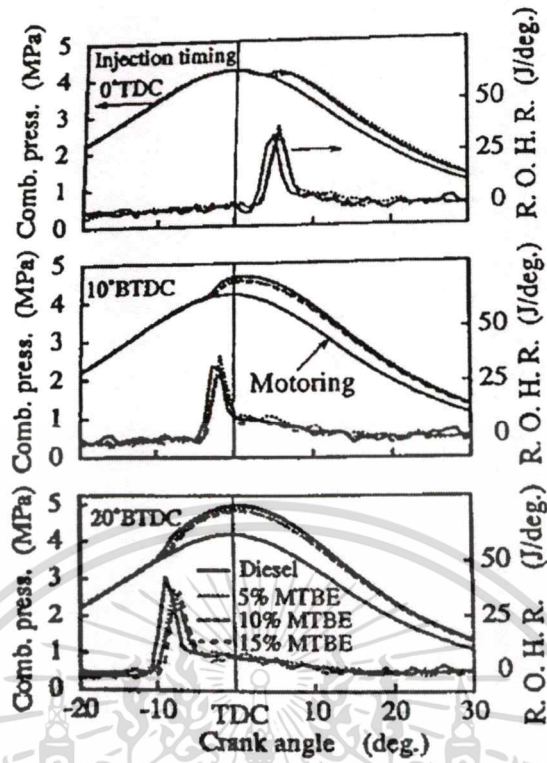
จากข้อมูลอัตราส่วนการอัดและความดันในกระบอกสูบขณะอัดตัว หากตั้งสมมติฐานว่ากระบวนการอัดตัวเป็นแบบโพลีโทรปิก ( $PV^n = C$ ) จะได้ค่า  $n$  ดังในตารางที่ 3.8 เครื่องยนต์ดีเซลเล็กโดยทั่วไปมีอัตราส่วนการอัดประมาณ 15 – 22 : 1 จากค่า  $n$  ข้างต้นจะได้ค่าความดันในกระบอกสูบระหว่าง 3.3 ถึง 5.3 MPa ดังนั้นจึงประมาณค่าความดันในกระบอกสูบที่ 4 MPa

ตารางที่ 3.8 ข้อมูลอัตราส่วนการอัดและความดันในกระบอกสูบ

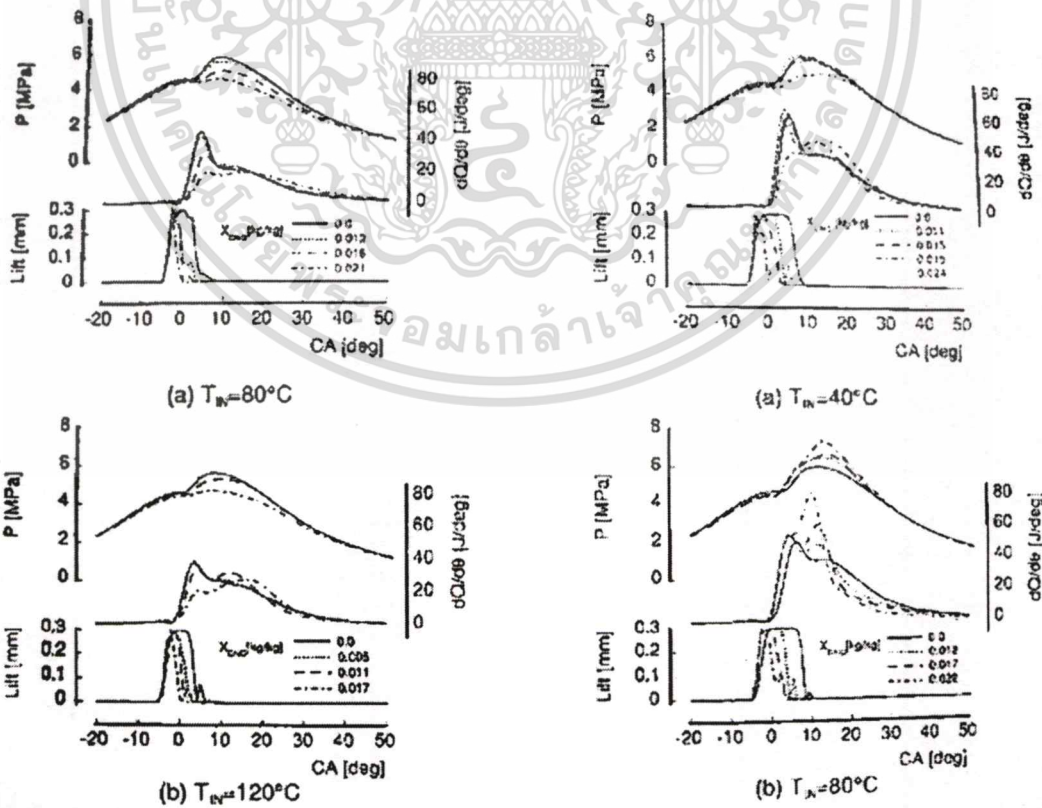
งานวิจัย	อัตราส่วนการอัด	ความดันในกระบอกสูบ	n
Murari Mohon ROY	18.5 : 1	4.3 MPa	1.285
Masahiro Ishida	18.2 : 1	4.4 MPa	1.300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 กราฟความดันในกระบอกสูบ โดย Murari Mohon ROY [15]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 3.26 กราฟความดันในกระบอกสูบ โดย Masahiro Ishida [16] ระบุข้อดีด้านการค้า  
ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 คุณสมบัติของน้ำมันพืช

น้ำมันพืชที่ใช้ในการทดลองมี 5 ชนิด คือ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว น้ำมันเมล็ดทานตะวัน คุณสมบัติของน้ำมันพืชแสดงในตารางที่ 3.9 ถึง 3.11

ตารางที่ 3.9 ความหนืดของน้ำมันพืชสกัด (cSt)

อุณหภูมิ (°C)	30	50	70	90
น้ำมันมะพร้าว	155.057	90.008	45.805	28.719
น้ำมันปาล์ม	198.159	117.950	73.379	42.416
น้ำมันถั่วเหลือง	154.505	107.979	59.426	35.639
น้ำมันรำข้าว	210.272	122.393	73.995	43.896
น้ำมันเมล็ดทานตะวัน	183.070	116.003	63.397	37.686

ตารางที่ 3.10 ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันพืชสกัด

อุณหภูมิ (°C)	30	50	70	90
น้ำมันมะพร้าว	0.910	0.895	0.880	0.870
น้ำมันปาล์ม	0.900	0.885	0.875	0.860
น้ำมันถั่วเหลือง	0.905	0.895	0.880	0.865
น้ำมันรำข้าว	0.905	0.895	0.875	0.865
น้ำมันเมล็ดทานตะวัน	0.900	0.895	0.880	0.865

ตารางที่ 3.11 จุดวาบไฟและจุดติดไฟของน้ำมันพืชสกัด

ชนิดน้ำมันพืช	จุดวาบไฟ (°C)	จุดติดไฟ (°C)
น้ำมันมะพร้าว	132.5	167.5
น้ำมันปาล์ม	152.5	195.0
น้ำมันถั่วเหลือง	132.5	175.0
น้ำมันรำข้าว	137.5	182.5
น้ำมันเมล็ดทานตะวัน	150.0	190.0

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

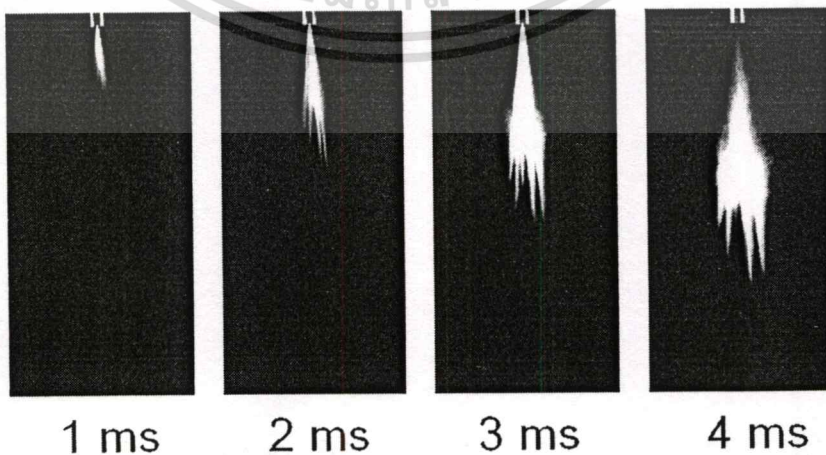
การทดลองนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบสเปรย์หัวฉีดแบบรูเดียว การทดสอบสเปรย์หัวฉีดแบบหลายรู การทดสอบสเปรย์หัวฉีดนั้นจะทำการศึกษาลักษณะและความเร็วของสเปรย์น้ำมันพืชสกัด (Refine oil) เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และจะทำการปรับปรุงระบบการจ่ายเชื้อเพลิงโดยการเพิ่มอุณหภูมิเชื้อเพลิงและเพิ่มความดันหัวฉีด เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิเชื้อเพลิงและความดันหัวฉีดที่มีต่อลักษณะของสเปรย์น้ำมันพืชสกัด และเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงอุณหภูมิเชื้อเพลิงและความดันหัวฉีด

#### 4.1 สเปรย์หัวฉีดแบบรูเดียว

การทดสอบสเปรย์หัวฉีดแบบรูเดียวจะใช้หัวฉีดเครื่องยนต์เล็กของคูโบตา ความดันหัวฉีด 12 MPa และฉีดสเปรย์ที่ความดันบรรยากาศ ความดันในกระบอกสูบเครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 3.3 – 5.3 MPa ดังนั้นจึงต้องมีการลดความดันหัวฉีดลงจึงจะได้ความดันสัมพัทธ์ของหัวฉีดสเปรย์เท่าเดิม ในการทดลองนี้จะประมาณค่าความดันในกระบอกสูบไว้ที่ 4 MPa ดังนั้นความดันปกติของหัวฉีดจึงถูกปรับลดลงเป็น 8 MPa

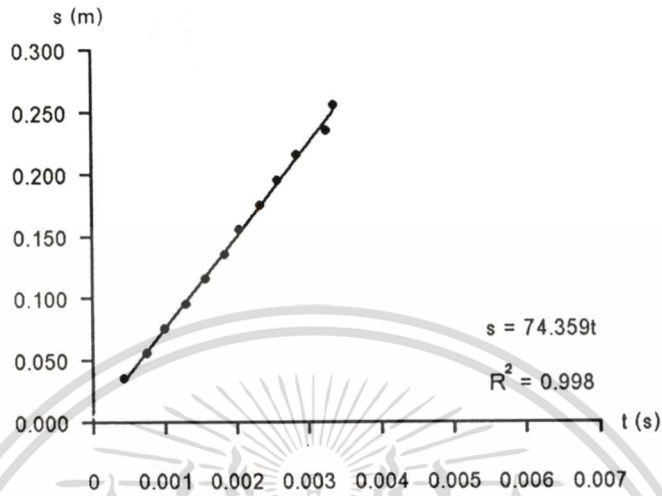
##### 4.1.1 สเปรย์น้ำมันดีเซล

การทดลองนี้จะใช้สเปรย์น้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C เป็นตัวเปรียบเทียบ สเปรย์น้ำมันดีเซลที่เวลา 1 – 4 ms แสดงในรูปที่ 4.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้อ้างอิงเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

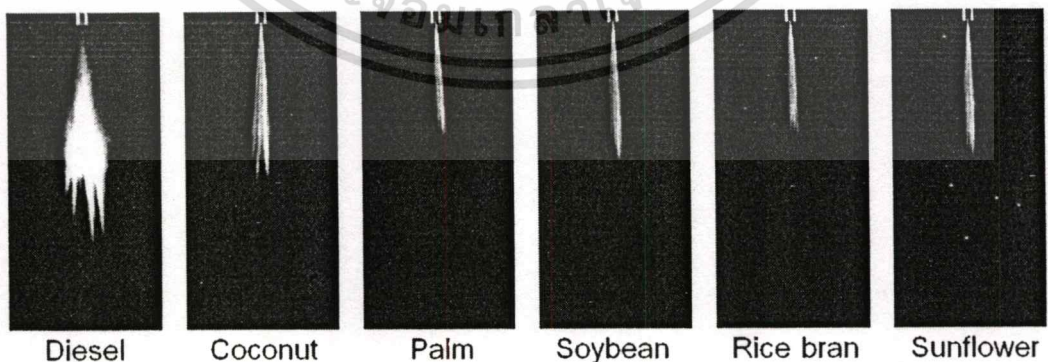
ความเร็วของสเปรย์น้ำมันดีเซลจะมีค่าคงที่ในช่วง 0 – 4 ms หลังการฉีด เมื่อใช้วิธีกำลังสองน้อยสุด จะได้ค่าความเร็วสเปรย์ 74.359 m/s ดังในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปรย์กับเวลาของน้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

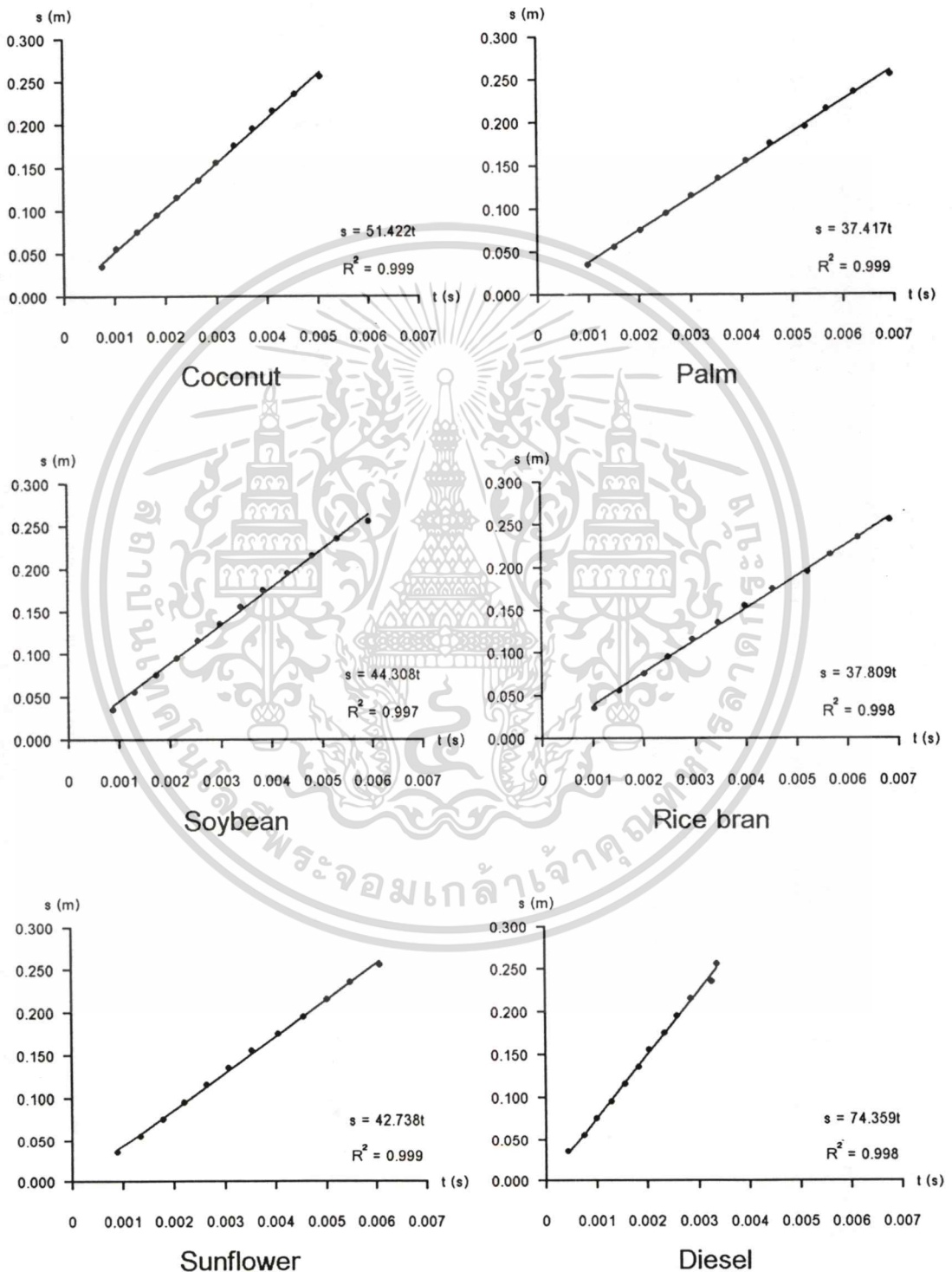
#### 4.1.2 สเปรย์น้ำมันพืชสกัด

รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของสเปรย์น้ำมันดีเซลเทียบกับสเปรย์น้ำมันพืชสกัดที่ความดันหัวฉีด 8 MPa อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C เป็นรูปสเปรย์ที่ 4 ms หลังการฉีด จากรูปจะเห็นว่าสเปรย์น้ำมันดีเซลจะมีความยาวมากกว่าสเปรย์น้ำมันพืชสกัด และมีมุมสเปรย์มากกว่า



รูปที่ 4.3 สเปรย์ที่ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C เวลา 4 ms หลังการฉีด

ความเร็วสเปิร์มน้ำมันดีเซลจะสูงกว่าสเปิร์มน้ำมันพืชสกัด น้ำมันพืชสกัดที่มีความเร็วสเปิร์มสูงสุดคือ น้ำมันมะพร้าว ส่วนน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันรำข้าว และน้ำมันปาล์มจะมีความเร็วสเปิร์มน้อยกว่าตามลำดับ ดังในรูปที่ 4.4

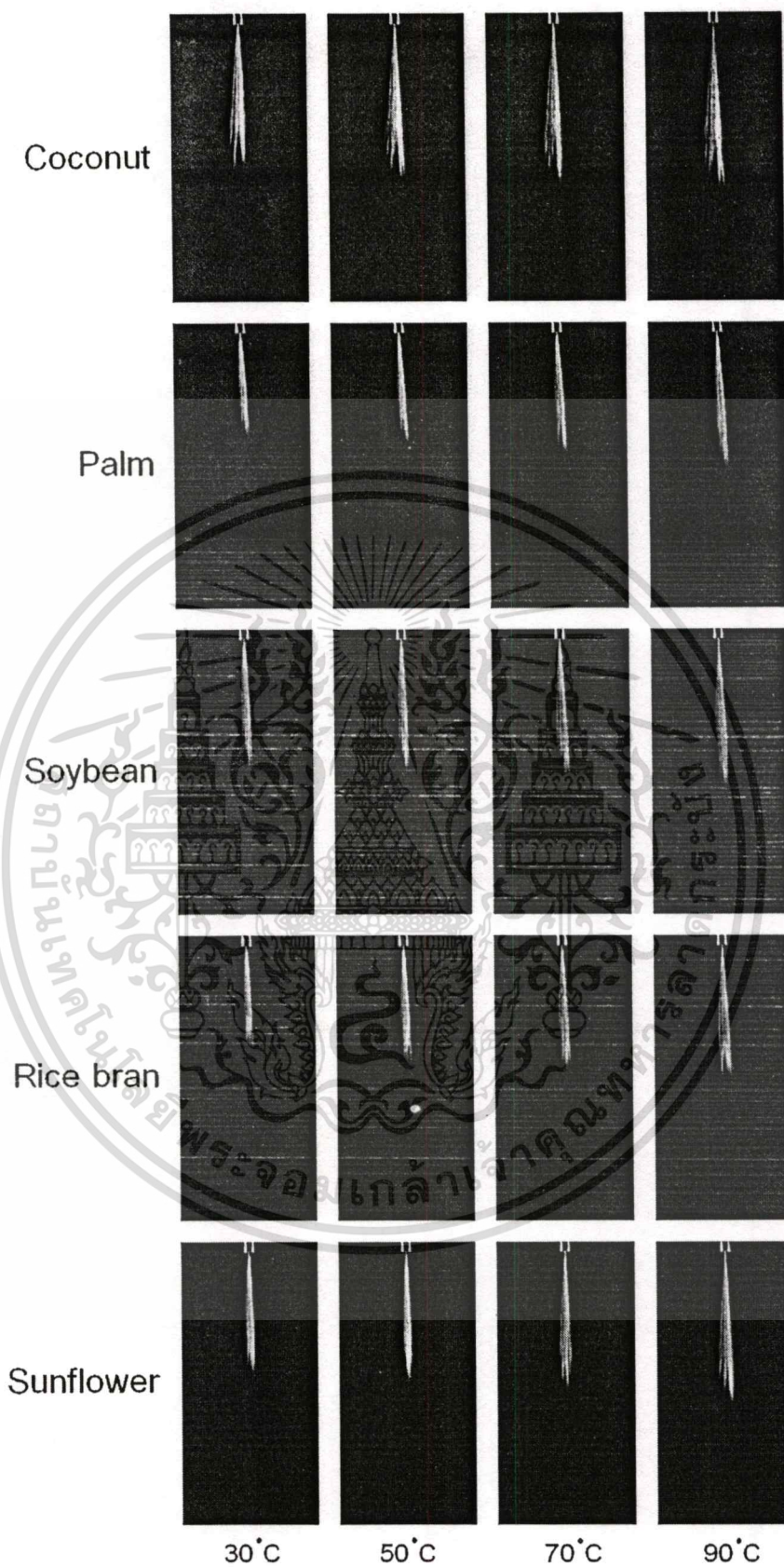


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์มกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง จะเห็นว่าความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัดจะมีค่าต่ำกว่าสเปรย์น้ำมัน  
ดีเซลมาก เมื่อนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล จะทำให้การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้เกิดความล่าช้าขึ้น  
ดังนั้น การนำน้ำมันพืชสกัดไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลจึงต้องมีการปรับปรุงลักษณะสเปรย์ให้ดีขึ้น  
การทดลองนี้จะใช้วิธีการเพิ่มอุณหภูมิแก่น้ำมันพืชสกัด และเพิ่มความดันหัวฉีดเพื่อปรับปรุง  
ลักษณะสเปรย์น้ำมันพืชสกัด การทดลองแรกจะทำการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันพืชสกัดจาก 30 °C  
เป็น 50, 70 และ 90 °C ตามลำดับ โดยใช้ความดันหัวฉีดคงที่ 8 MPa การทดลองที่สองจะทำการ  
เพิ่มความดันหัวฉีดจาก 8 MPa เป็น 12, 16 และ 20 MPa ตามลำดับ รูปที่ 4.5 แสดงรูปแบบ  
ลักษณะสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa ที่อุณหภูมิเชื้อเพลิงต่างๆ รูปที่ 4.6 แสดงรูป  
แบบลักษณะสเปรย์น้ำมันพืชสกัดอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C ที่ความดันหัวฉีดต่างๆ รูปที่ 4.7 ถึง  
4.9 จะแสดงความเร็วของสเปรย์เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืชสกัด รูปที่ 4.10 ถึง 4.12 จะแสดง  
ความเร็วของสเปรย์เมื่อทำการเพิ่มความดันหัวฉีดน้ำมันพืชสกัด

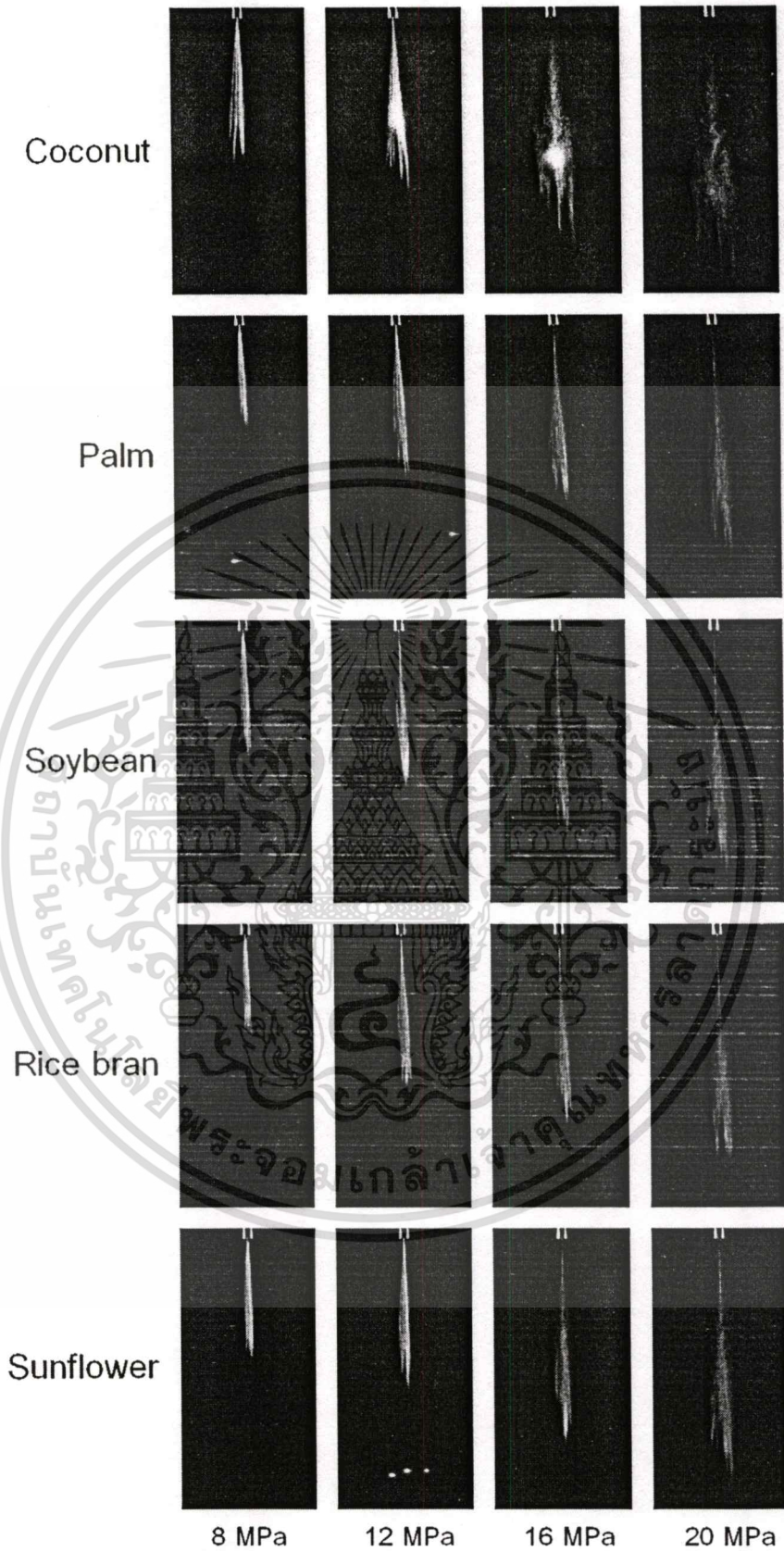
สเปรย์น้ำมันพืชสกัดถูกฉีดออกมาในอากาศ ที่ความดันและอุณหภูมิบรรยากาศ การ  
เปรียบเทียบสเปรย์น้ำมันพืชสกัดจะนำภาพถ่ายสเปรย์ที่เวลา 4 ms หลังการฉีดมาเปรียบเทียบกัน



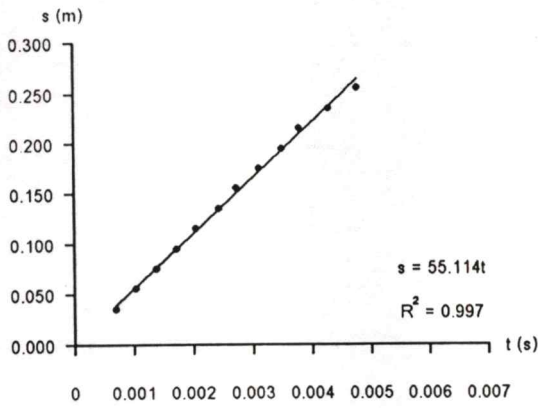


รูปที่ 4.5 ลักษณะสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa ที่อุณหภูมิเชื้อเพลิงต่างๆ

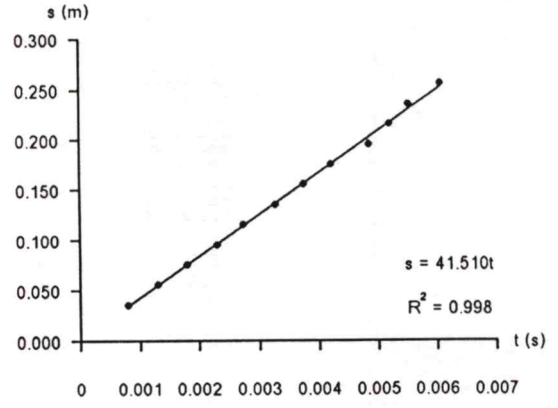
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



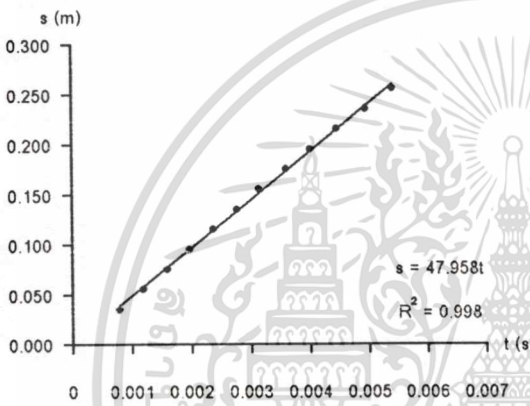
รูปที่ 4.6 ลักษณะสเปรย์น้ำมันพืชสกัด อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C ความดันหัวฉีดต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



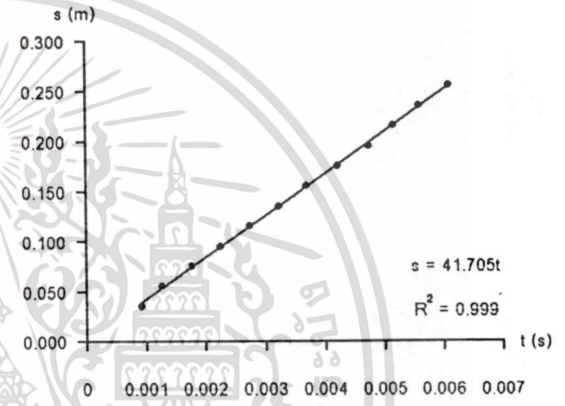
Coconut



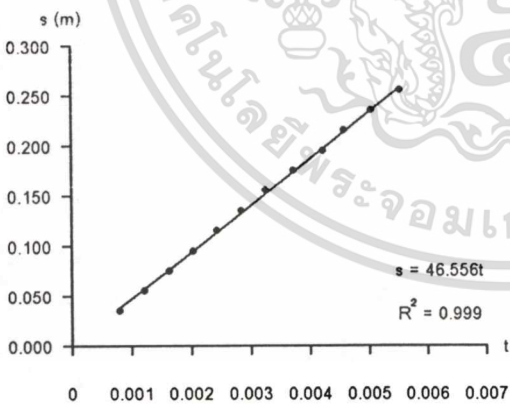
Palm



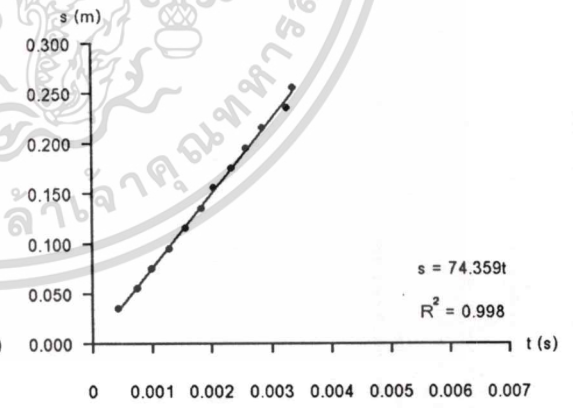
Soybean



Rice bran



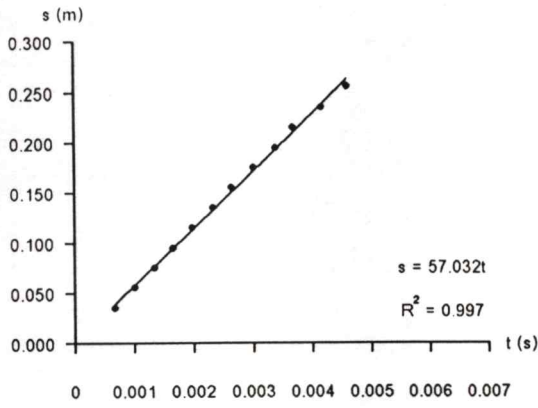
Sunflower



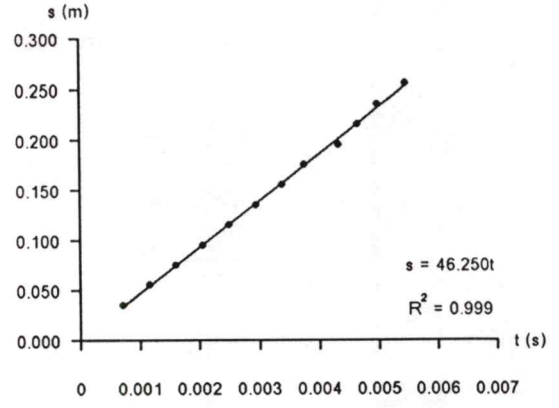
Diesel

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 50 °C

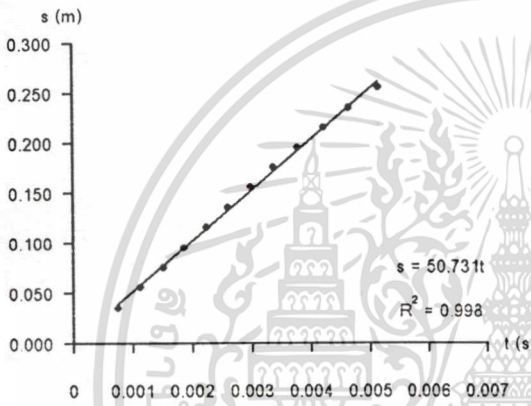
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



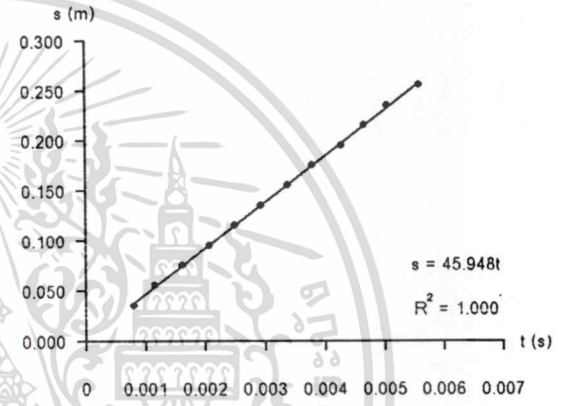
Coconut



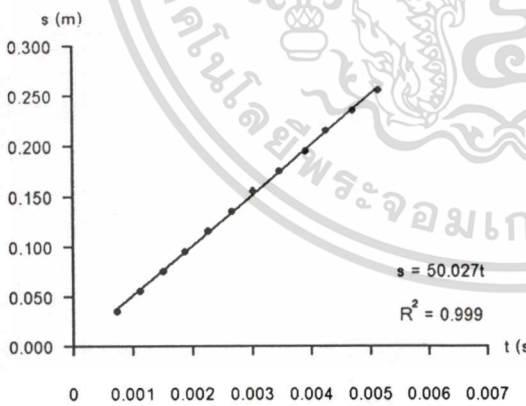
Palm



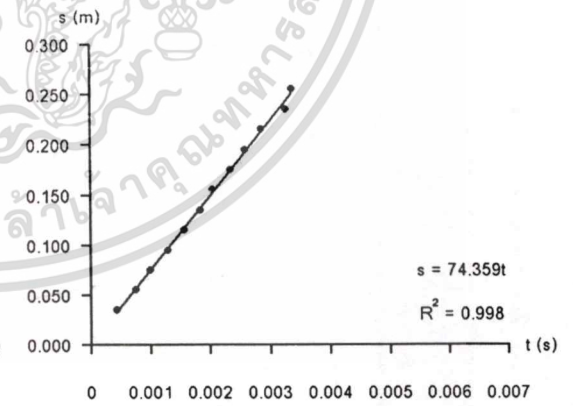
Soybean



Rice bran



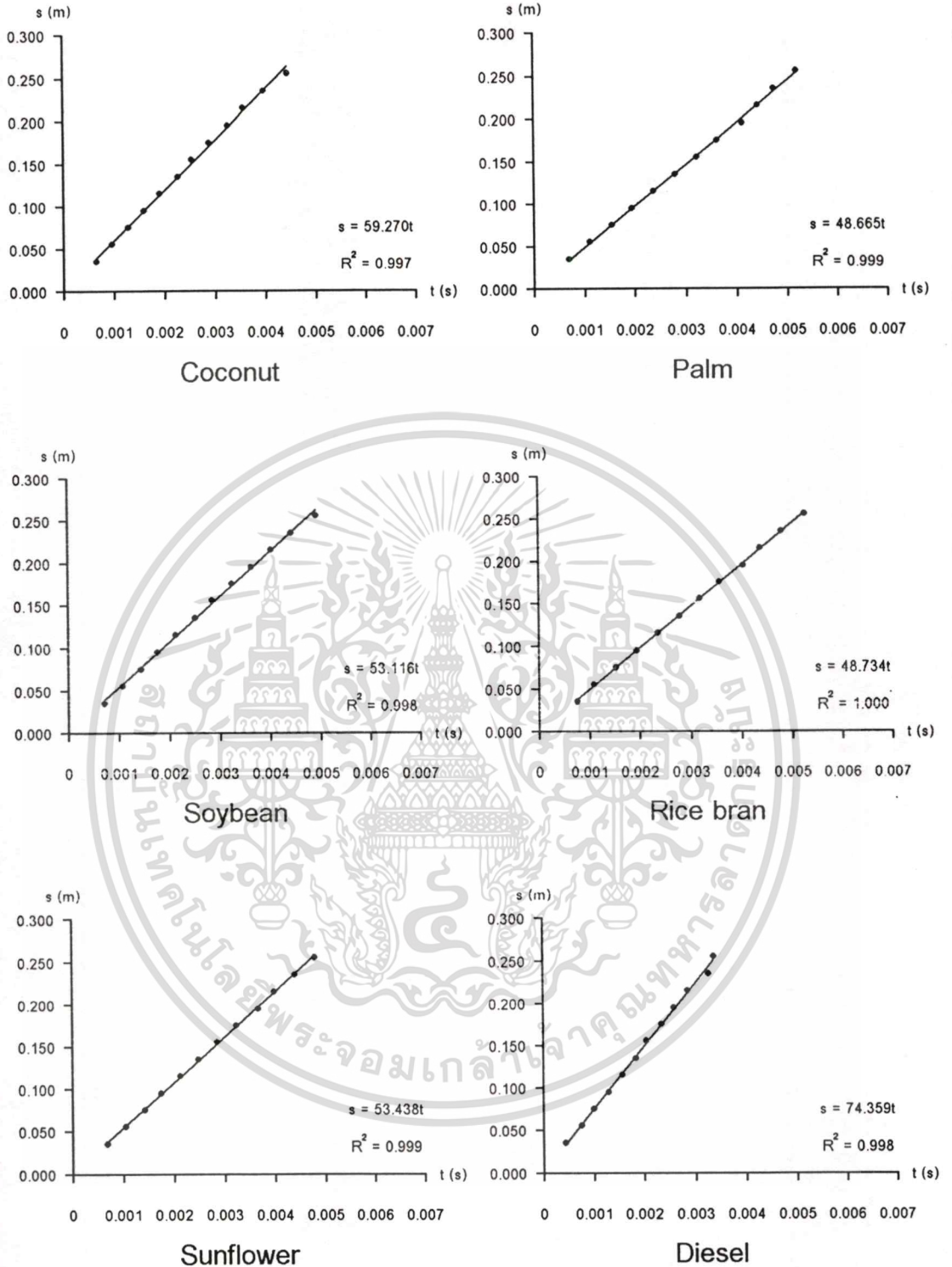
Sunflower



Diesel

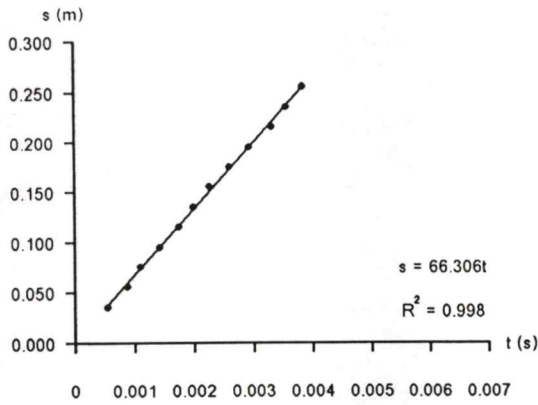
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

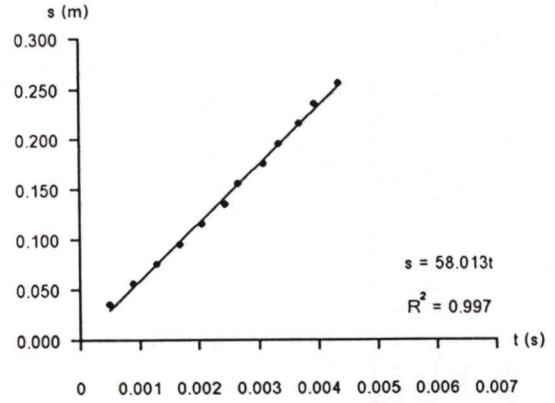


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปร์ยกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 90 °C

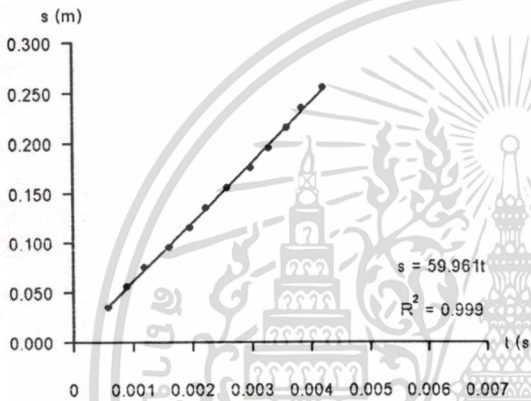
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



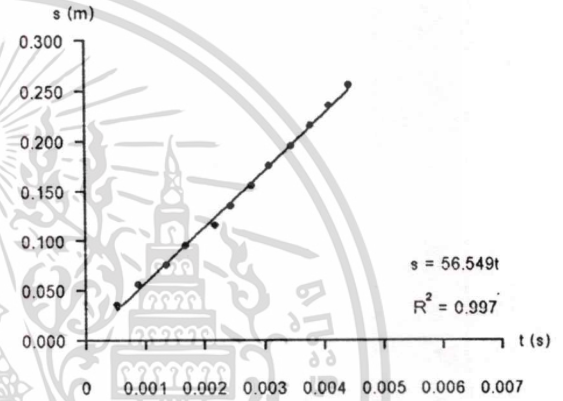
Coconut



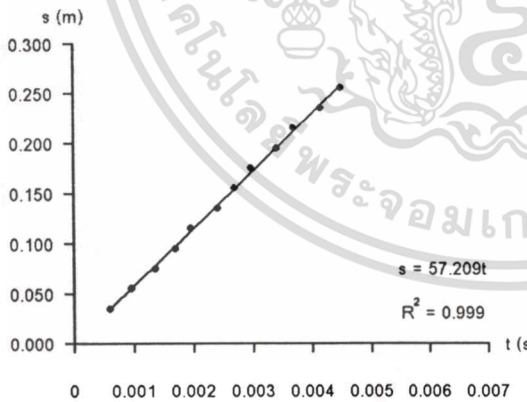
Palm



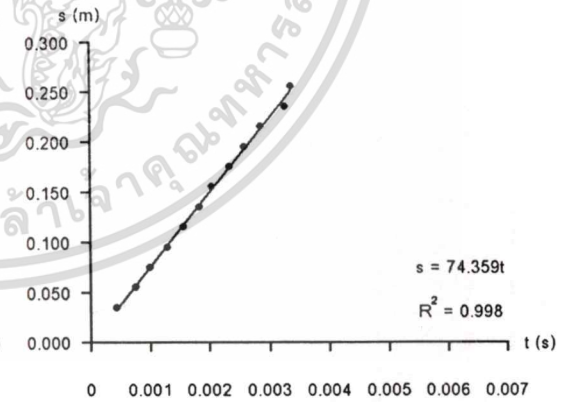
Soybean



Rice bran



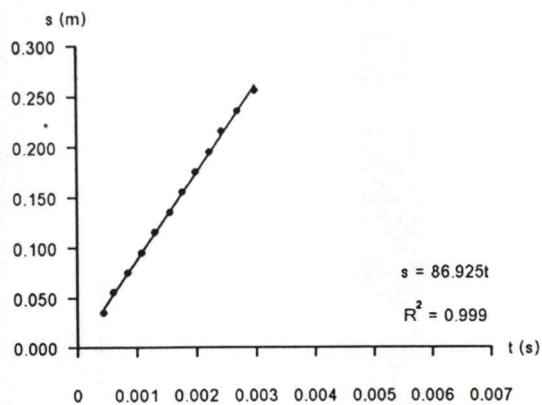
Sunflower



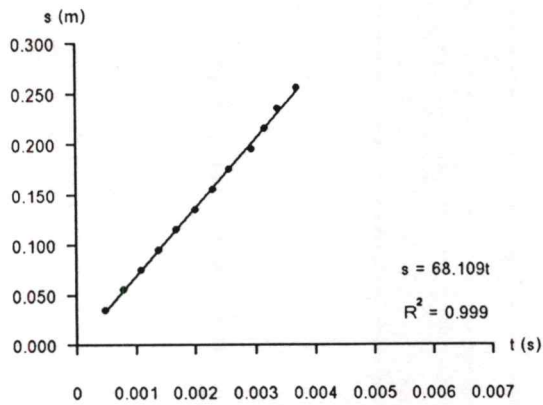
Diesel

**รูปที่ 4.10** ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 12 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

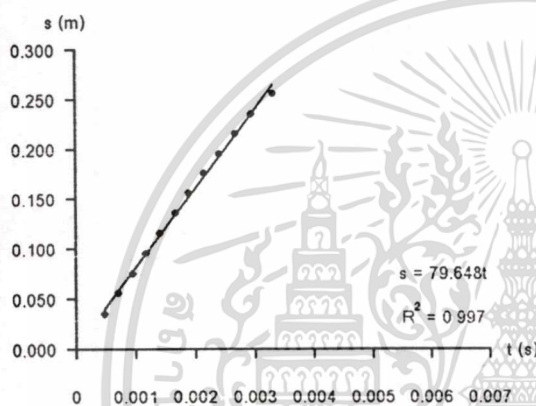
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



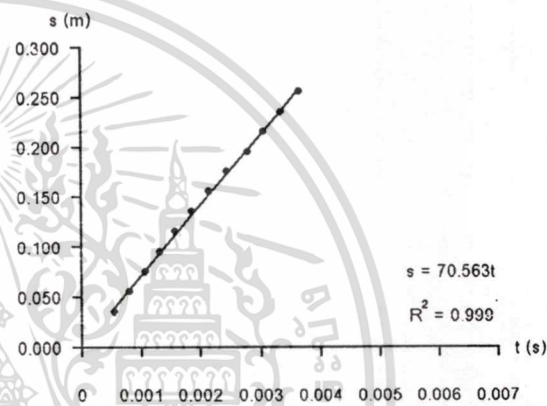
Coconut



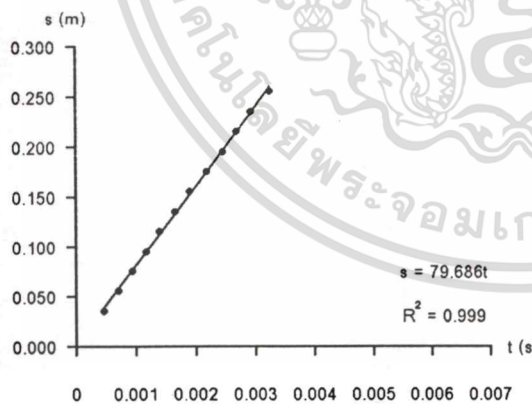
Palm



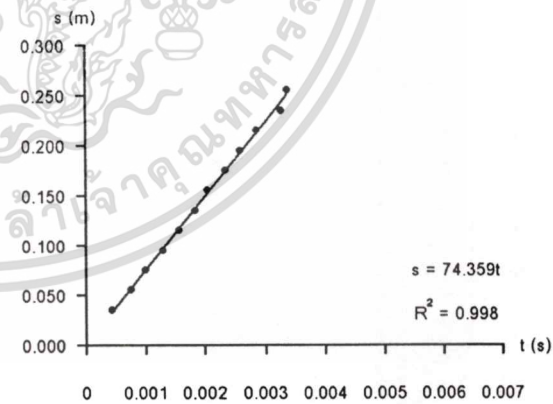
Soybean



Rice bran



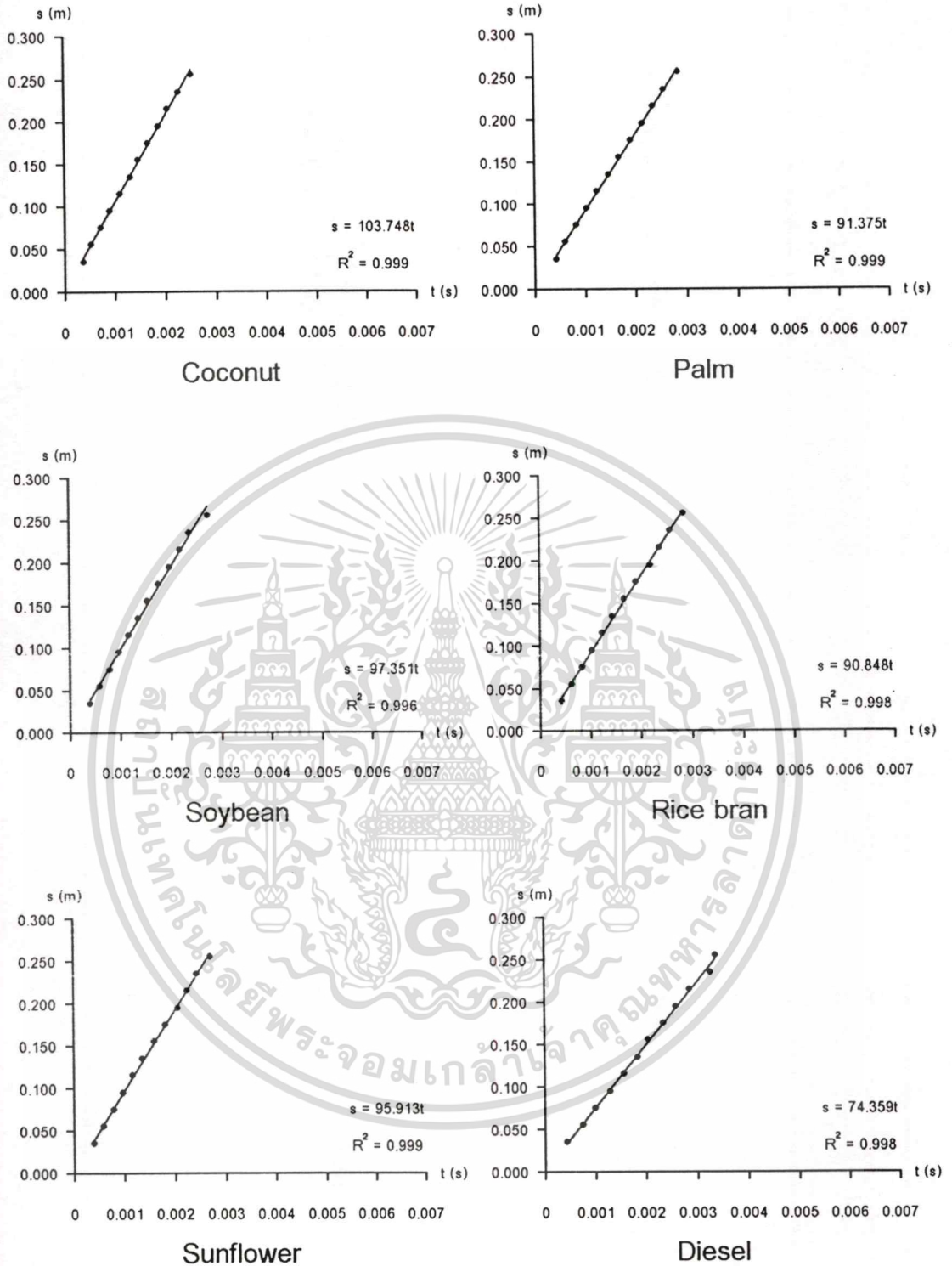
Sunflower



Diesel

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสปริงกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 16 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 20 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.3 ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัด

จากผลการทดลองจะได้ความเร็วสเปรย์เมื่อปรับอุณหภูมิน้ำมันและความดันหัวฉีด ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa (m/s)

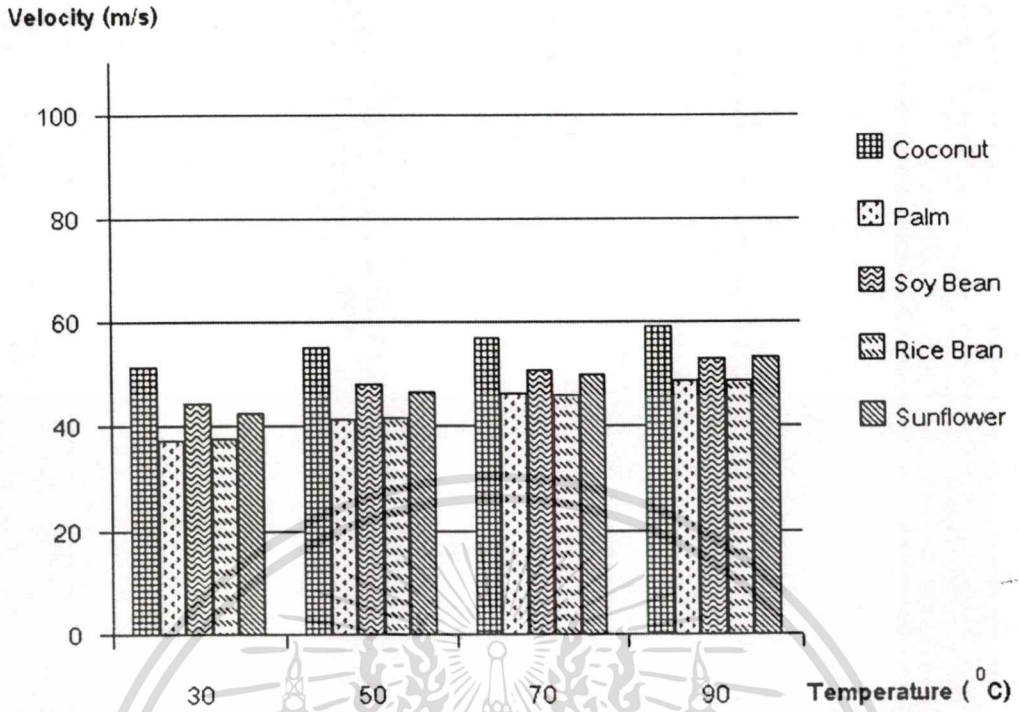
Temperature	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
Coconut	51.422	55.114	57.032	59.270
Palm	37.417	41.510	46.250	48.665
Soy Bean	44.308	47.958	50.731	53.116
Rice Bran	37.809	41.705	45.948	48.734
Sunflower	42.738	46.556	50.027	53.438

ตารางที่ 4.2 ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัด อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C (m/s)

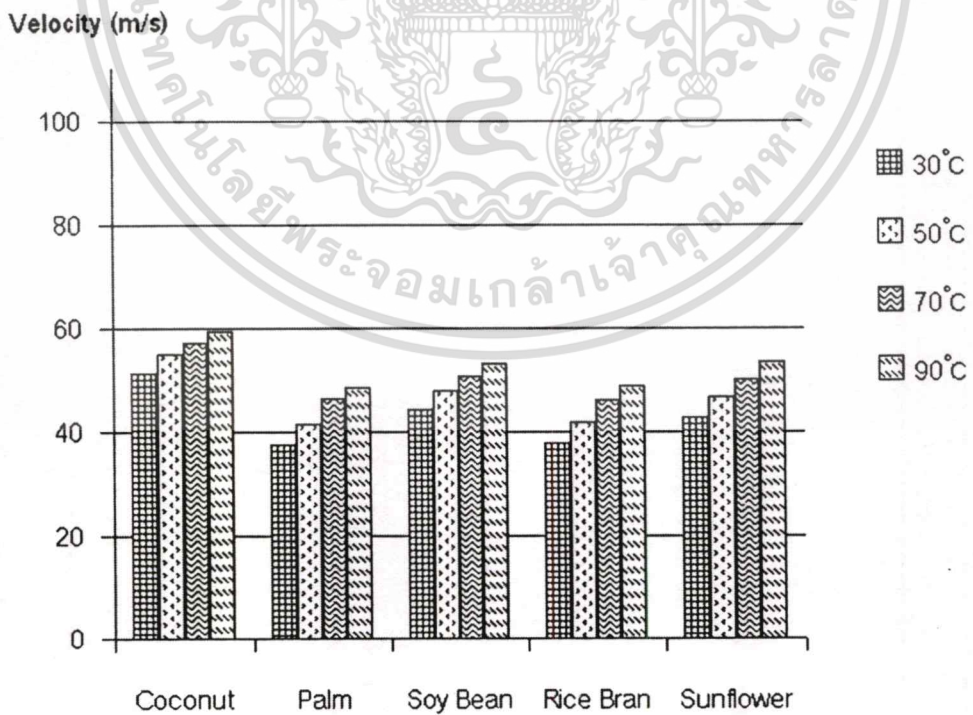
Pressure	8 MPa	12 MPa	16 MPa	20 MPa
Coconut	51.422	66.306	86.925	103.748
Palm	37.417	58.013	68.109	91.375
Soy Bean	44.308	59.961	79.648	97.351
Rice Bran	37.809	56.549	70.563	90.848
Sunflower	42.738	57.209	79.686	95.913

ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัดเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิเชื้อเพลิงจาก 30°C เป็น 50°C, 70°C, 90°C โดยใช้ความดันหัวฉีดคงที่ 8 MPa แสดงในรูปที่ 4.13 และ 4.14 ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัดเมื่อทำการเพิ่มความดันหัวฉีดจาก 8 MPa เป็น 12 MPa, 16 MPa, 20 MPa โดยใช้อุณหภูมิเชื้อเพลิงคงที่ 30 °C แสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.16

จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิและการเพิ่มความดันหัวฉีด จะทำให้ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัดเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มความดันหัวฉีดจะทำให้ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัดเพิ่มขึ้นมากกว่า สำหรับมุมสเปรย์ การเพิ่มอุณหภูมิเชื้อเพลิงจะทำให้มุมสเปรย์เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่การเพิ่มความดันหัวฉีดจะทำให้มุมสเปรย์เพิ่มขึ้นมากกว่า



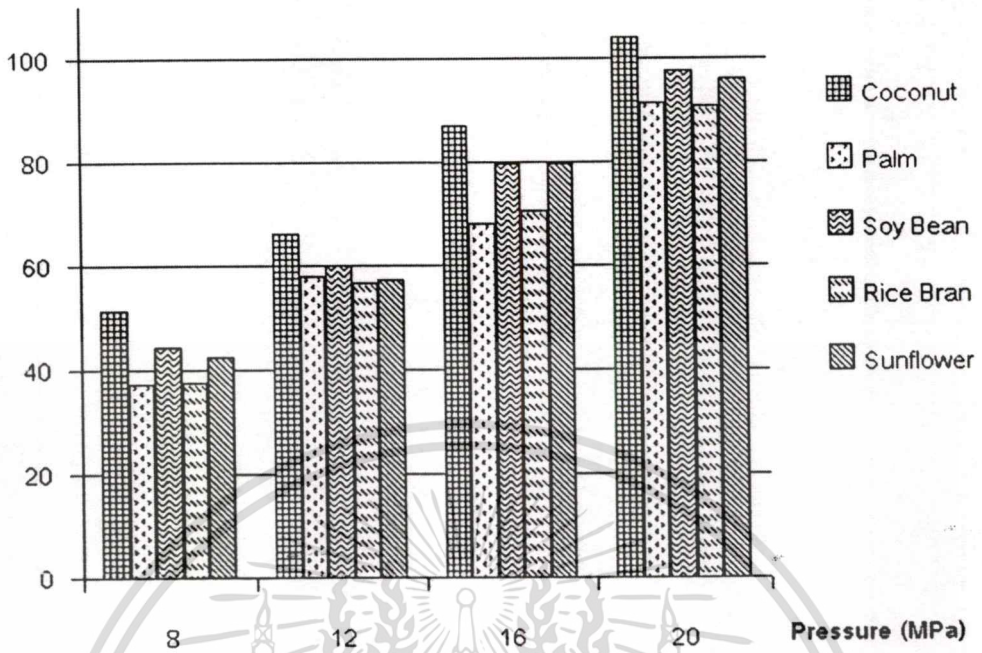
รูปที่ 4.13 ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa



รูปที่ 4.14 ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa

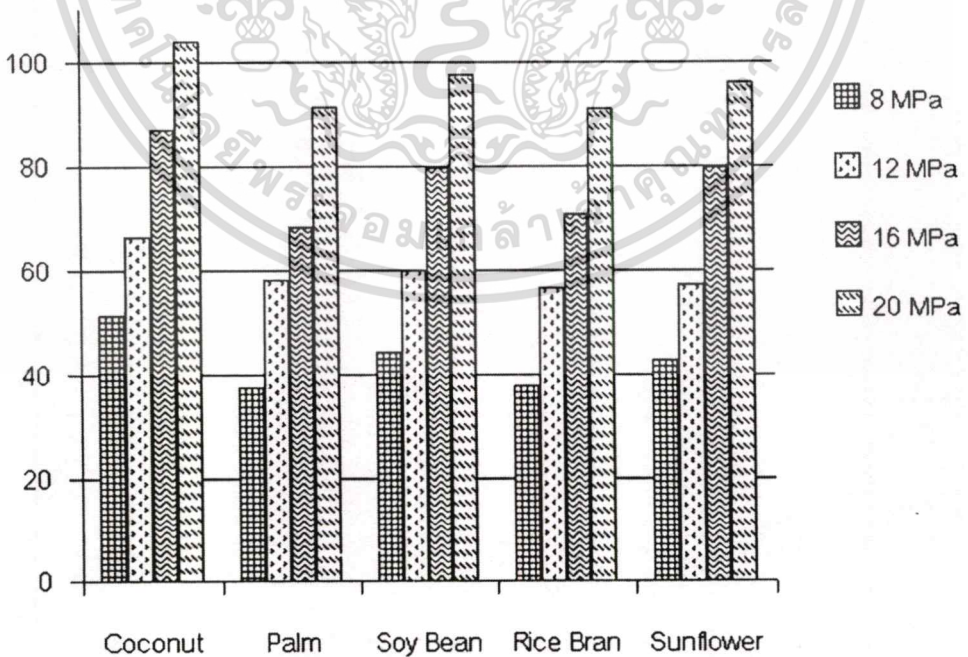
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Velocity (m/s)



รูปที่ 4.15 ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัด อุดหนุนเชื้อเพลิง 30 °C

Velocity (m/s)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยรูปที่ 4.16 ความเร็วสเปรย์น้ำมันพืชสกัด อุดหนุนเชื้อเพลิง 30 °C ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง

#### 4.1.4 มุมสเปรย์น้ำมันพืชสกัด

มุมสเปรย์จะมีส่วนช่วยในการกระจายตัวของเชื้อเพลิงได้ การที่เชื้อเพลิงมีมุมการสเปรย์มากจะช่วยให้การกระจายตัวในห้องเผาไหม้ดีขึ้น จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 มุมสเปรย์ของน้ำมันพืชแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 มุมการสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 8 MPa (องศา)

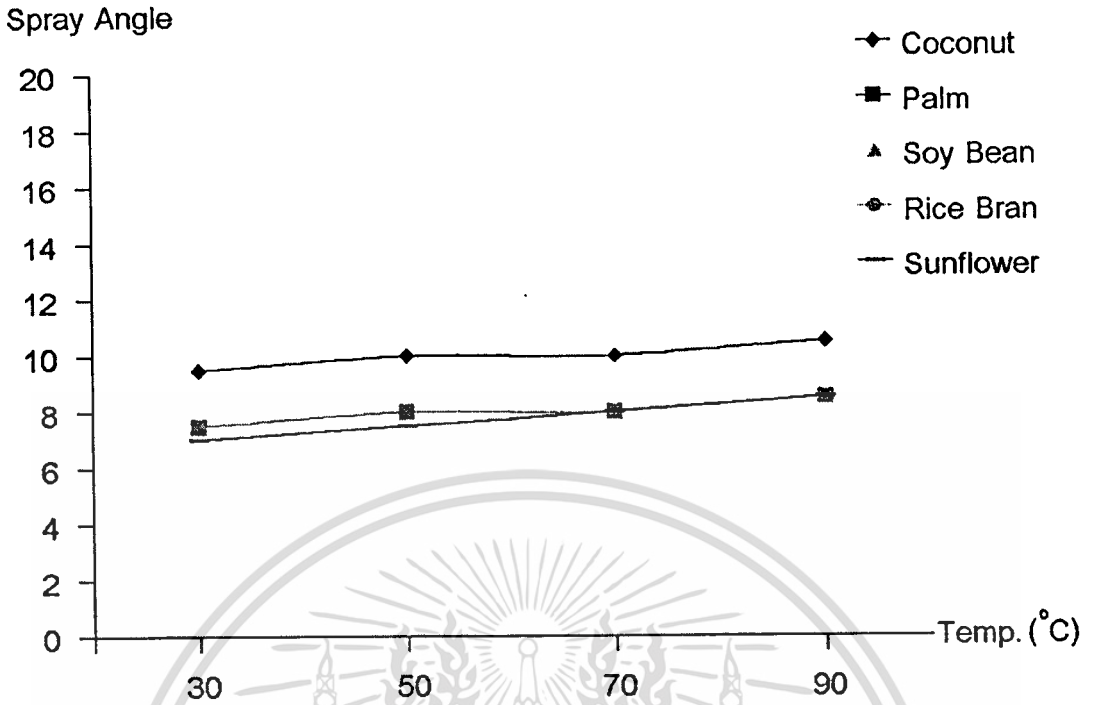
Temperature	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
Coconut	9.5	10.0	10.0	10.5
Palm	7.5	8.0	8.0	8.5
Soy Bean	7.5	8.0	8.0	8.5
Rice Bran	7.5	8.0	8.0	8.5
Sunflower	7.0	7.5	8.0	8.5

ตารางที่ 4.4 มุมการสเปรย์น้ำมันพืชสกัด อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C (องศา)

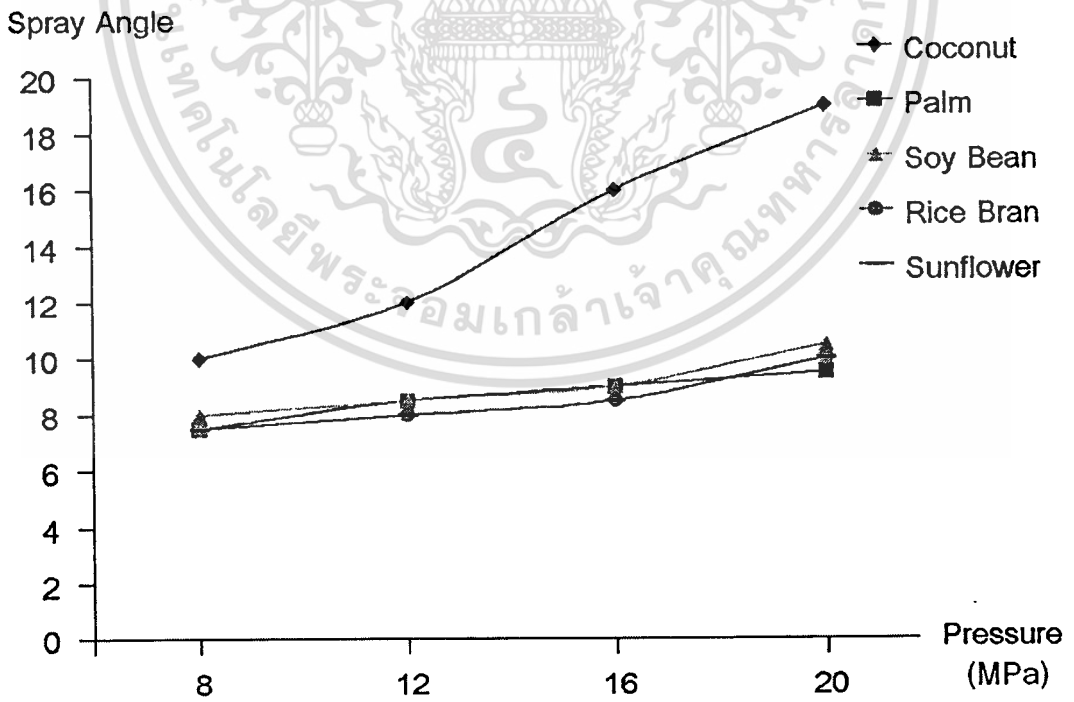
Pressure	8 MPa	12 MPa	16 MPa	20 MPa
Coconut	9.5	12.0	16.0	19.0
Palm	7.5	8.5	9.0	9.5
Soy Bean	7.5	8.5	9.0	10.5
Rice Bran	7.5	8.0	8.5	10.0
Sunflower	7.0	8.0	8.5	10.0

มุมสเปรย์ของน้ำมันมะพร้าวจะมีค่าสูงสุด รองลงมาคือน้ำมันถั่วเหลือง ส่วนน้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าวและน้ำมันเมล็ดทานตะวันจะมีมุมสเปรย์ต่ำสุด การเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืชสกัดเป็น 90 °C จะทำให้มุมสเปรย์เพิ่มขึ้น 5 – 13 % ส่วนการเพิ่มความดันหัวฉีดเป็น 20 MPa จะทำให้ทำให้มุมสเปรย์เพิ่มขึ้น 20 – 90 %

รูปที่ 4.17 และ 4.18 เป็นกราฟเปรียบเทียบมุมสเปรย์น้ำมันพืชสกัดกรณีเพิ่มอุณหภูมิและเพิ่มความดันหัวฉีดตามลำดับ



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมการสเปรย์กับอุณหภูมิของน้ำมันพืชสกัด



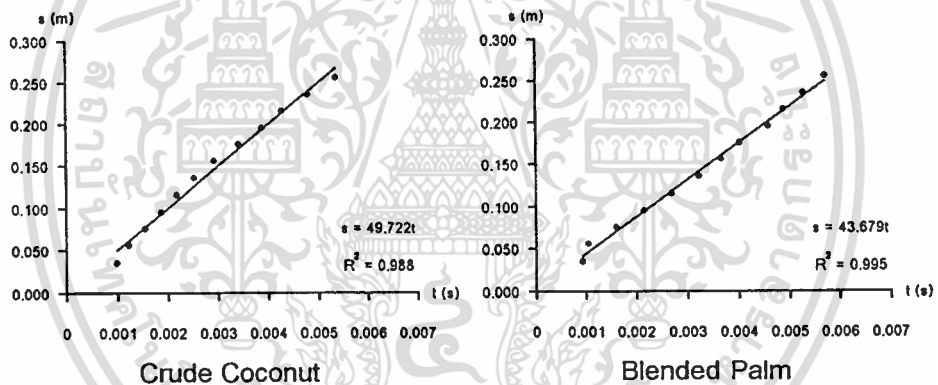
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมการสเปรย์กับความดันหัวฉีดของน้ำมันพืชสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.5 สเปรย์น้ำมันพืชดิบ

เนื่องจากน้ำมันพืชสกัด มีราคาสูง จึงได้นำน้ำมันพืชที่ยังไม่ผ่านกระบวนการสกัดมาทดลอง โดยจะนำน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ผ่านกระบวนการสกัดมาศึกษาลักษณะและความเร็วสเปรย์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับสเปรย์น้ำมันดีเซล น้ำมันมะพร้าวสกัด น้ำมันปาล์มสกัดที่ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิ 30 °C น้ำมันมะพร้าวจะใช้น้ำมันมะพร้าวดิบ 100 % ส่วนน้ำมันปาล์มจะใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบมีลักษณะเป็นไข ไม่สามารถนำไปใช้กับเครื่องฉีดดีเซลโดยตรงได้ การผสมจะใช้อัตราส่วน น้ำมันปาล์มดิบ 30% กับน้ำมันดีเซล 70%

กราฟความยาวสเปรย์แสดงในรูปที่ 4.19 ความเร็วของน้ำมันมะพร้าวดิบมีค่า 49.722 m/s และน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลมีค่า 43.679 m/s กรณีน้ำมันมะพร้าวดิบจะมีความเร็วสเปรย์ต่ำกว่าน้ำมันมะพร้าวสกัดเล็กน้อย ส่วนน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลมีความเร็วสเปรย์สูงกว่าน้ำมันปาล์มสกัดเล็กน้อย แต่ก็ยังมีความเร็วต่ำกว่าน้ำมันดีเซลมาก



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปรย์กับเวลาของน้ำมันพืชดิบ ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

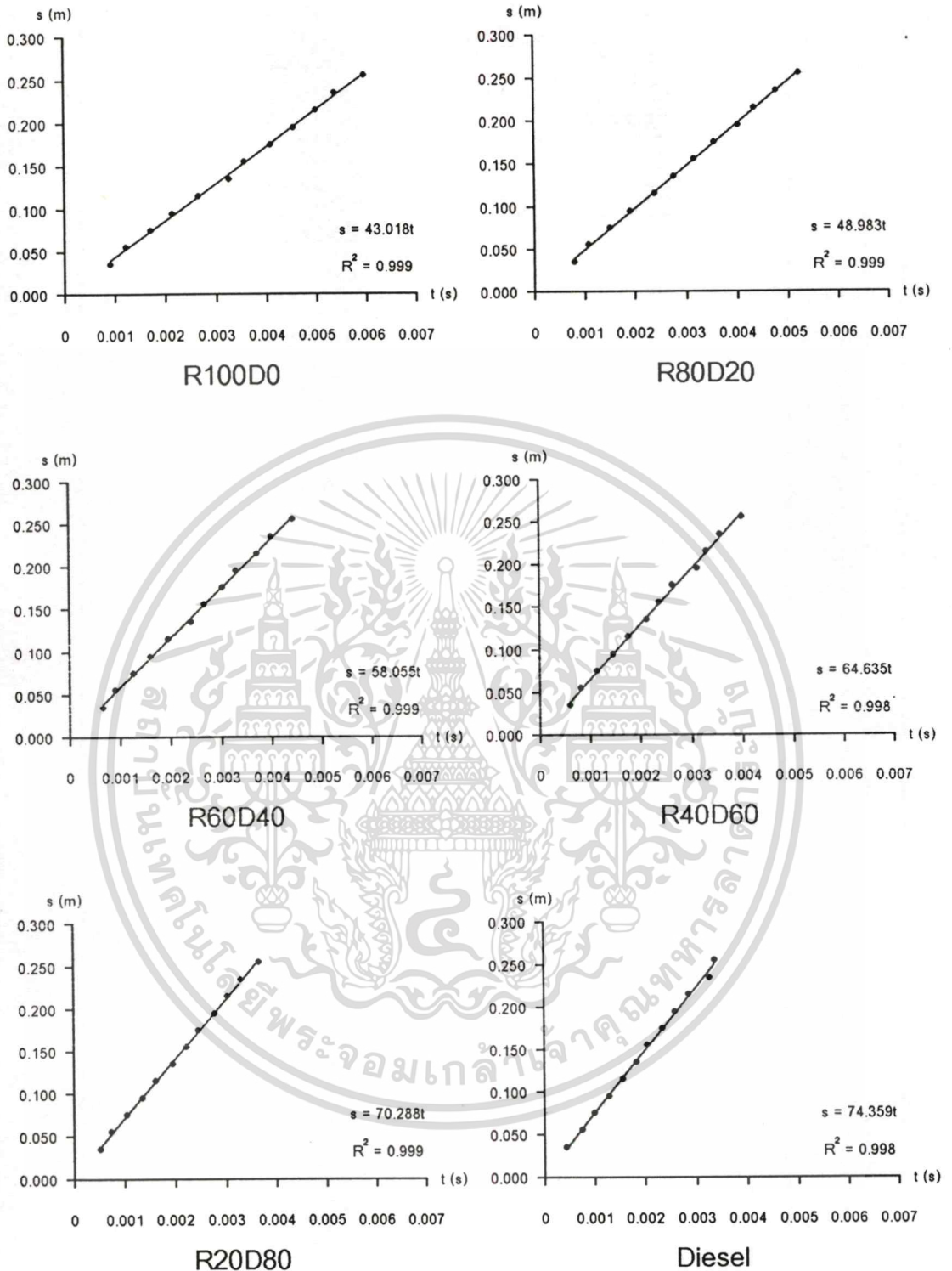
รูปร่างลักษณะสเปรย์แสดงในรูปที่ 4.20 ลักษณะสเปรย์น้ำมันพืชดิบจะนำไปเปรียบเทียบกับสเปรย์น้ำมันดีเซลและน้ำมันพืชสกัดที่เวลาหลังการฉีด 1 - 4 ms สเปรย์น้ำมันมะพร้าวดิบจะมีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำมันมะพร้าวสกัด ส่วนน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลจะมีมุมสเปรย์มากกว่าน้ำมันปาล์มสกัด

มุมการสเปรย์ของน้ำมันมะพร้าวดิบมีค่า 9 องศา ซึ่งต่ำกว่ามุมสเปรย์น้ำมันมะพร้าวสกัดเล็กน้อย ส่วนน้ำมันปาล์มดิบผสมน้ำมันดีเซลจะมีมุมสเปรย์ 16.0 องศา ซึ่งมากกว่าน้ำมันปาล์มสกัด แต่ก็ยังมีมุมสเปรย์น้อยกว่าน้ำมันดีเซลซึ่งมีมุมสเปรย์ 26.5 องศา ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า

การนำน้ำมันพืชไปผสมกับน้ำมันดีเซลจะทำให้มุมสเปรย์ของน้ำมันพืชเพิ่มขึ้นได้มากกว่าการเพิ่มความดันหัวฉีด



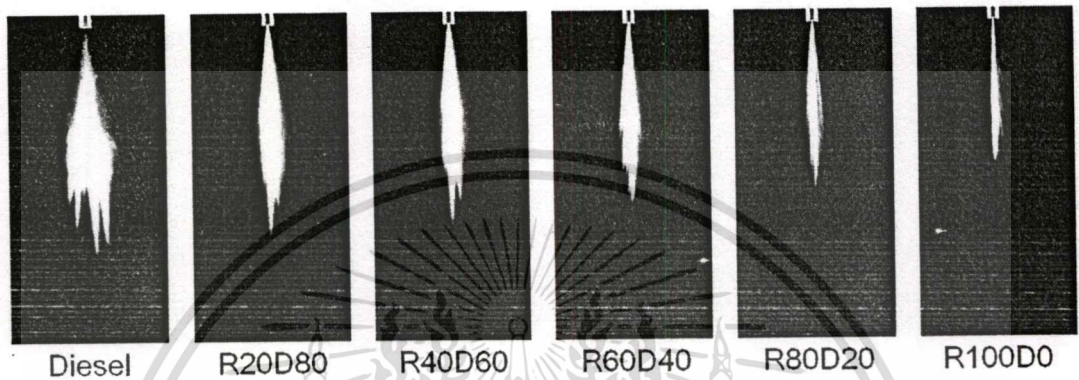
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบสเปรย์น้ำมันพืช ความดันหัวฉีด 8 MPa อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันเมทีลคางพารา ความดันหัวฉีด 8 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

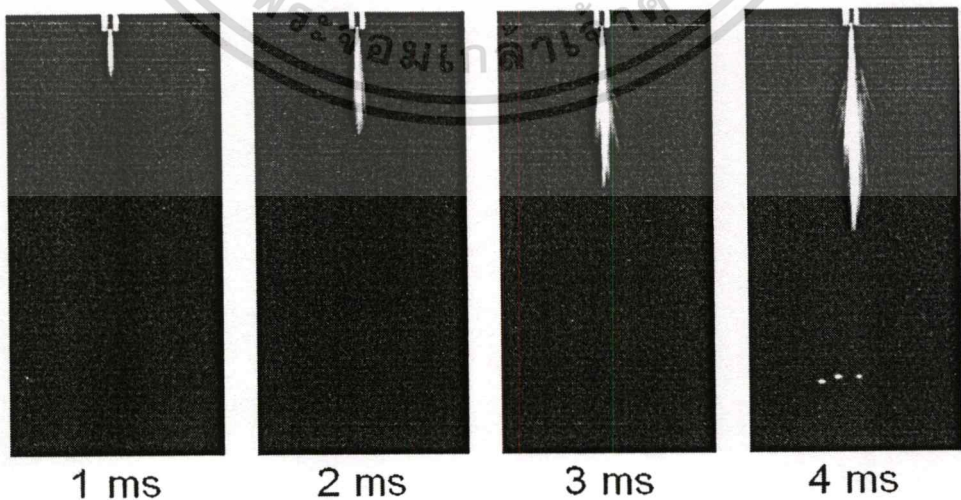
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.21 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปรย์กับเวลา ของน้ำมันเม็ล็ดขางพาราผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน R100D0 คือน้ำมันเม็ล็ดขางพารา 100% และเพิ่มน้ำมันดีเซลเข้าไปผสมครั้งละ 20% ความเร็วสเปรย์ของน้ำมันเม็ล็ดขางพาราจะมีค่า 43.018 m/s ซึ่งต่ำกว่าความเร็วสเปรย์น้ำมันดีเซลมาก การนำน้ำมันดีเซลมาผสมจะทำให้ความเร็วสเปรย์และมุมสเปรย์ของน้ำมันเม็ล็ดขางพารามีค่าสูงขึ้น ดังในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 สเปรย์น้ำมันเม็ล็ดขางพารา ความดันหัวฉีด 8 MPa อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

นอกจากนี้ ยังได้มีการนำเอาน้ำมันเม็ล็ดขางพารามาเข้ากระบวนการผลิตเป็นไบโอดีเซล ซึ่งจะทำให้ น้ำมันเม็ล็ดขางพารามีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล รูปที่ 4.23 เป็นรูปสเปรย์น้ำมันเม็ล็ดขางพาราซึ่งผ่านกระบวนการผลิตเป็นไบโอดีเซล ที่เวลา 1 ถึง 4 ms



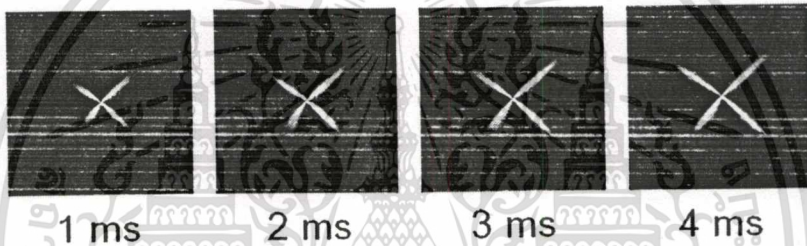
เอกสารรูปที่ 4.23 สเปรย์น้ำมันเม็ล็ดขางพาราซึ่งผ่านกระบวนการผลิตเป็นไบโอดีเซล ความดันหัวฉีด 8 MPa อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 สเปรย์หัวฉีดแบบ 4 รู

การทดสอบสเปรย์หัวฉีดแบบ 4 รูจะใช้หัวฉีดเครื่องยนต์เล็กของยี่ห้อ คความดันหัวฉีด 21 MPa และฉีดสเปรย์ที่ความดันบรรยากาศ ความดันในกระบอกสูบเครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 3.3 – 5.3 MPa ดังนั้นจึงต้องมีการลดความดันหัวฉีดลงจึงจะได้ความดันสัมพัทธ์ในการฉีดสเปรย์เท่าเดิม ในการทดลองนี้จะประมาณค่าความดันในกระบอกสูบไว้ที่ 4 MPa ดังนั้นความดันปกติของหัวฉีดจึงถูกปรับลดลงเป็น 17 MPa

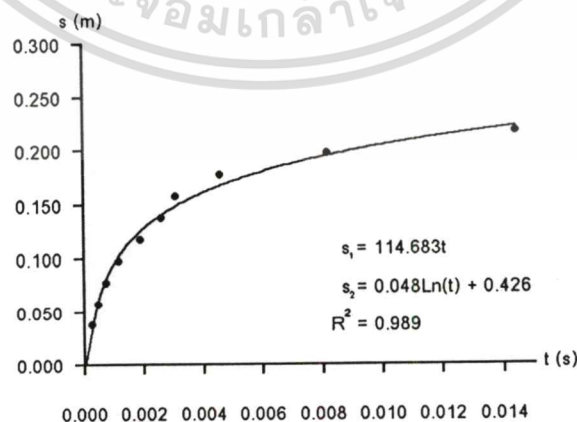
### 4.2.1 สเปรย์น้ำมันดีเซล

การทดลองนี้จะใช้สเปรย์น้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิ 30 °C เป็นตัวเปรียบเทียบ สเปรย์น้ำมันดีเซลที่เวลา 1 – 4 ms แสดงในรูปที่ 4.24



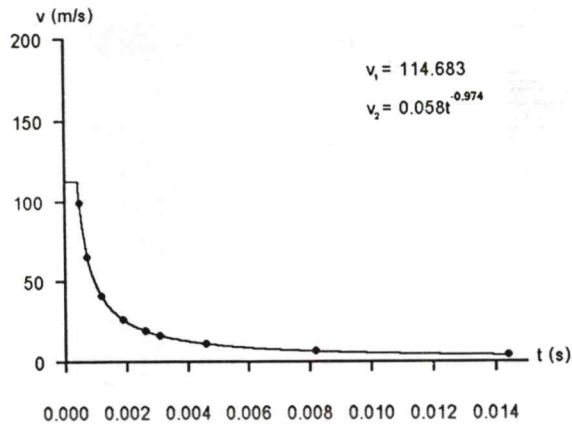
รูปที่ 4.24 ลักษณะสเปรย์น้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

ความเร็วของสเปรย์น้ำมันดีเซลจะมีค่าลดลง เมื่อใช้วิธีการสังสองน้อยสุด จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและความเร็วสเปรย์กับเวลาของสเปรย์ดังในรูปที่ 4.25 และ 4.26



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปรย์กับเวลาของน้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีด

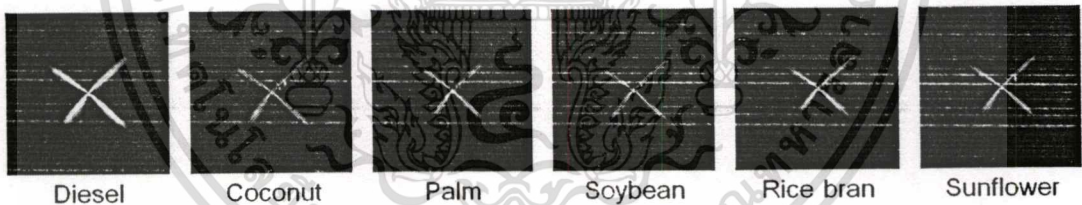
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูในโรงเรียนที่ขอศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสเปรย์กับเวลาของน้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

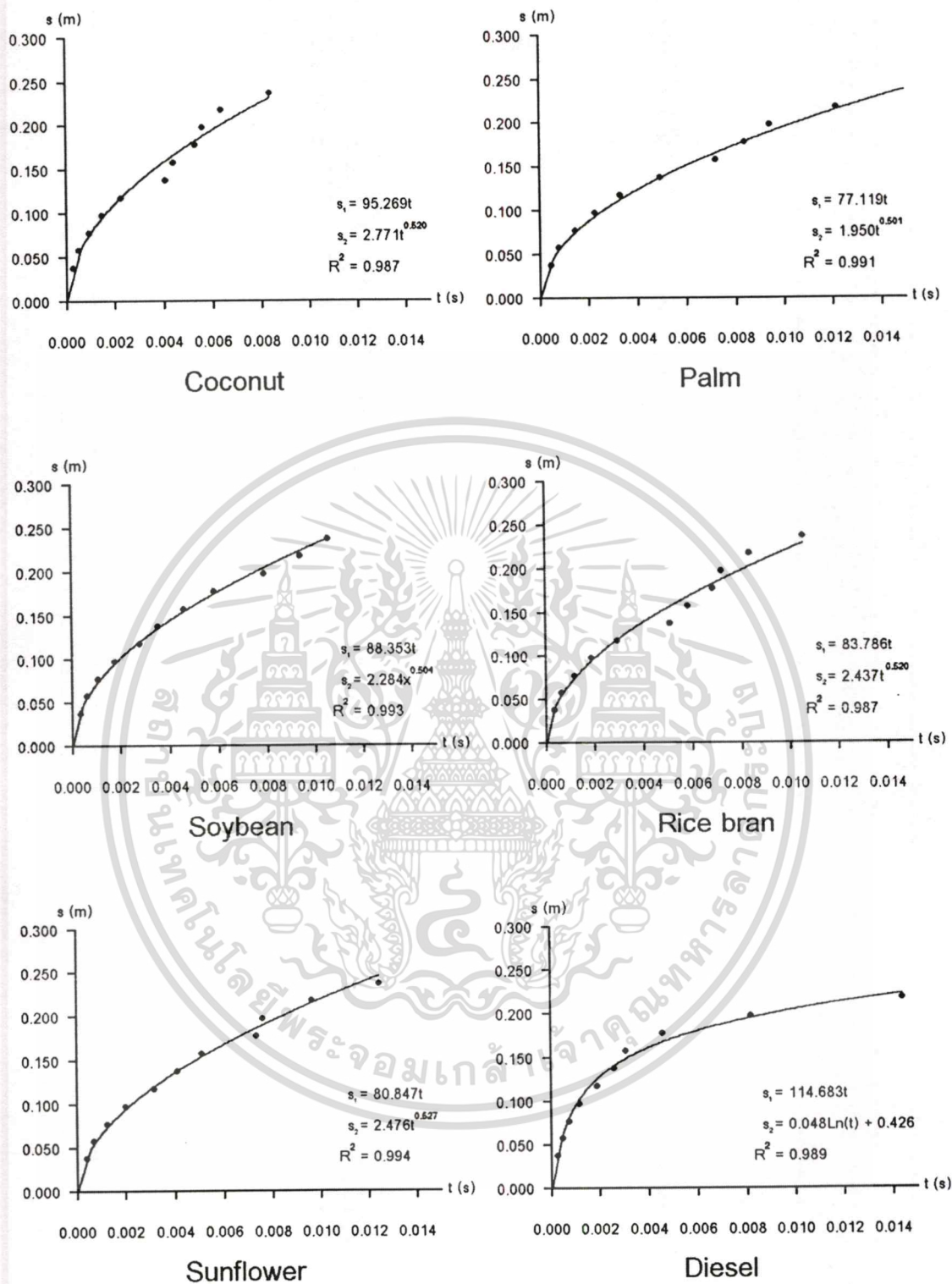
#### 4.2.2 น้ำมันพืชสกัด

รูปที่ 4.27 แสดงลักษณะของสเปรย์น้ำมันดีเซลเทียบกับสเปรย์น้ำมันพืชสกัดที่ความดันหัวฉีด 17 MPa อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C เป็นรูปสเปรย์ที่ 4 ms หลังการฉีด จากรูปจะเห็นว่าสเปรย์น้ำมันดีเซลจะมีความยาวมากกว่าสเปรย์น้ำมันพืชสกัด และมีมุมการสเปรย์มากกว่า



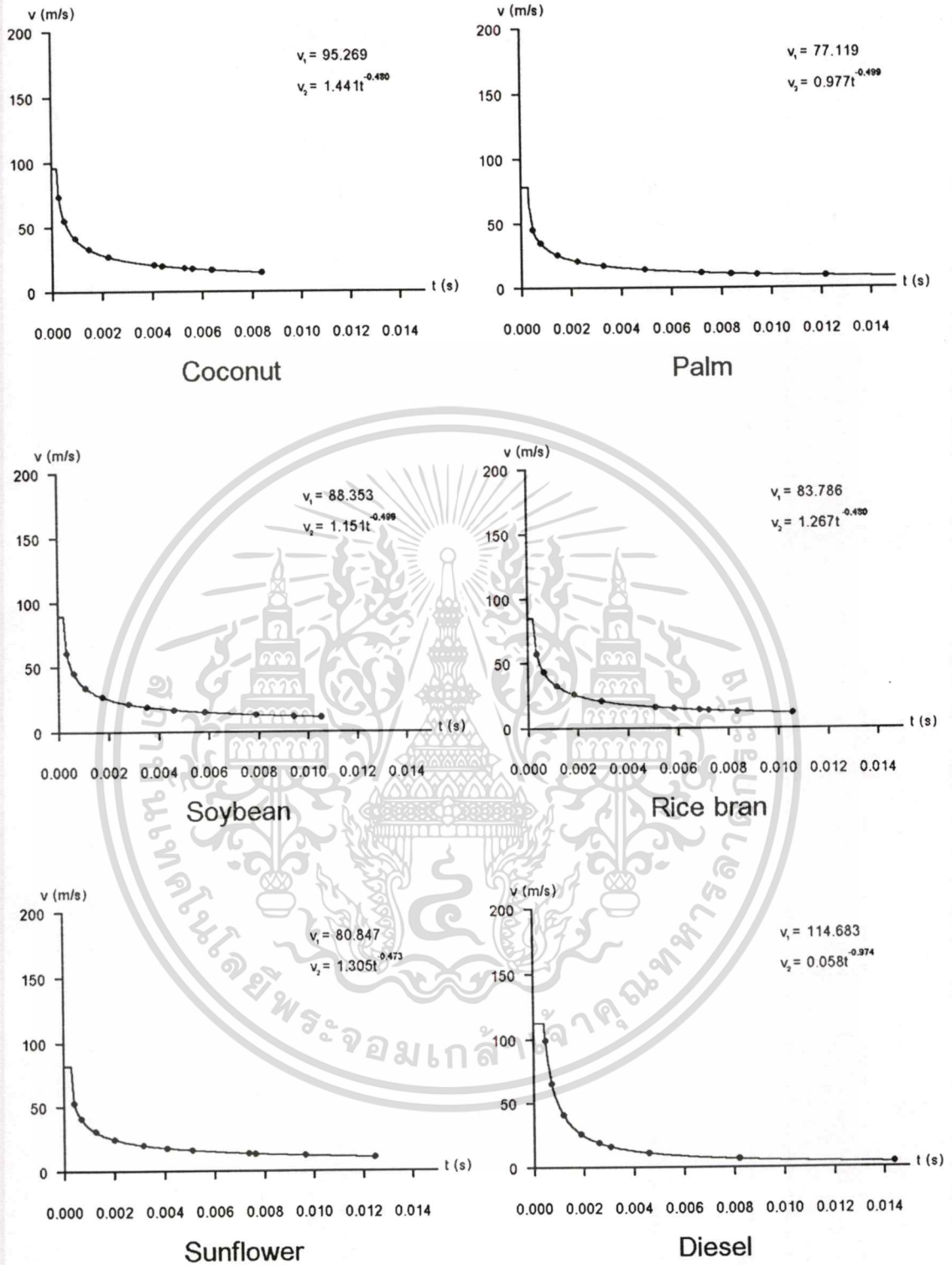
รูปที่ 4.27 สเปรย์ที่ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C เวลา 4 ms หลังการฉีด

ความเร็วสเปรย์ช่วงแรกของน้ำมันดีเซลจะสูงกว่าสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและความเร็วสเปรย์กับเวลาของน้ำมันพืชสกัด แสดงในรูปที่ 4.28 และ 4.29



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปรย์กับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

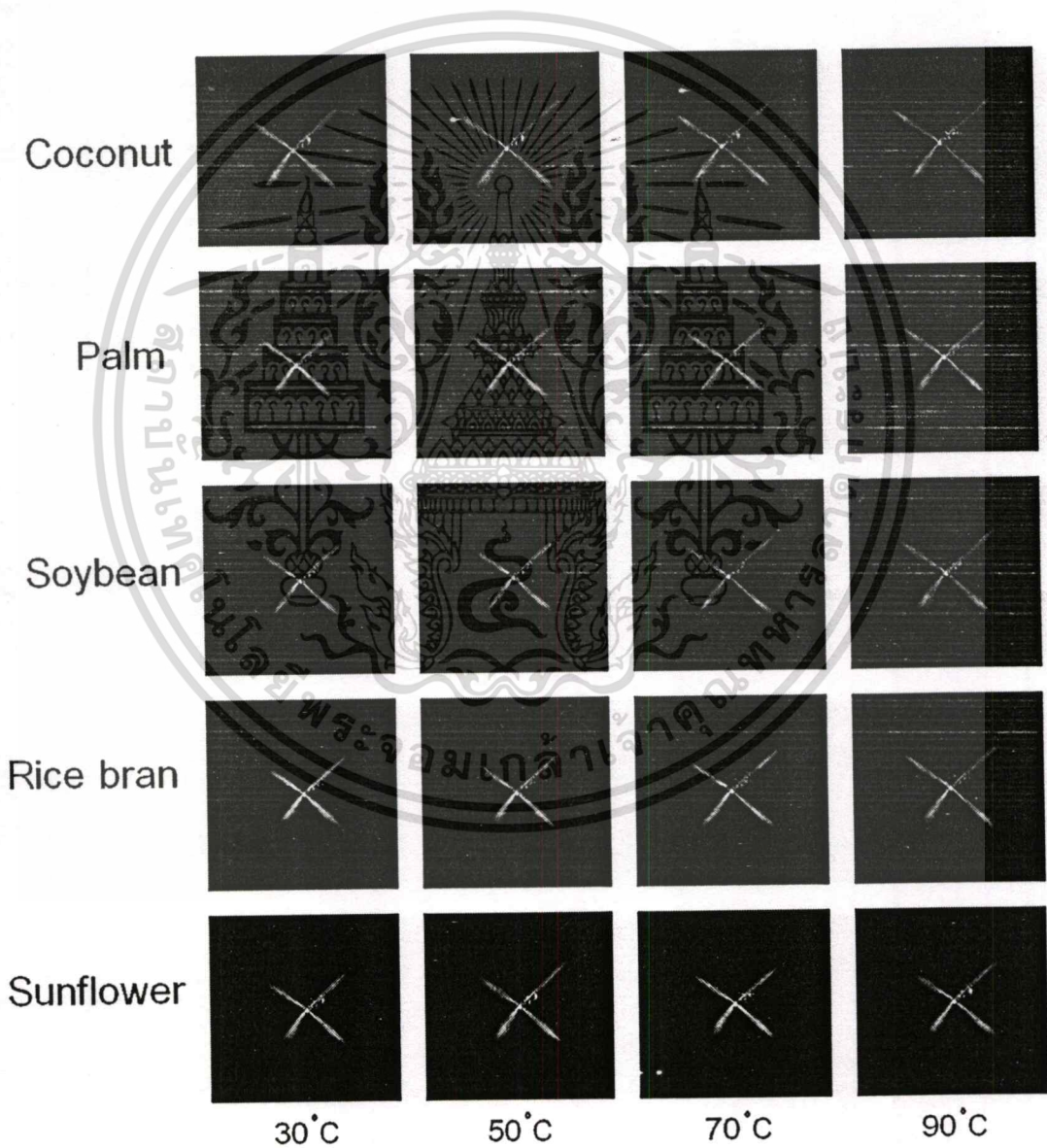
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสปรีย์กับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

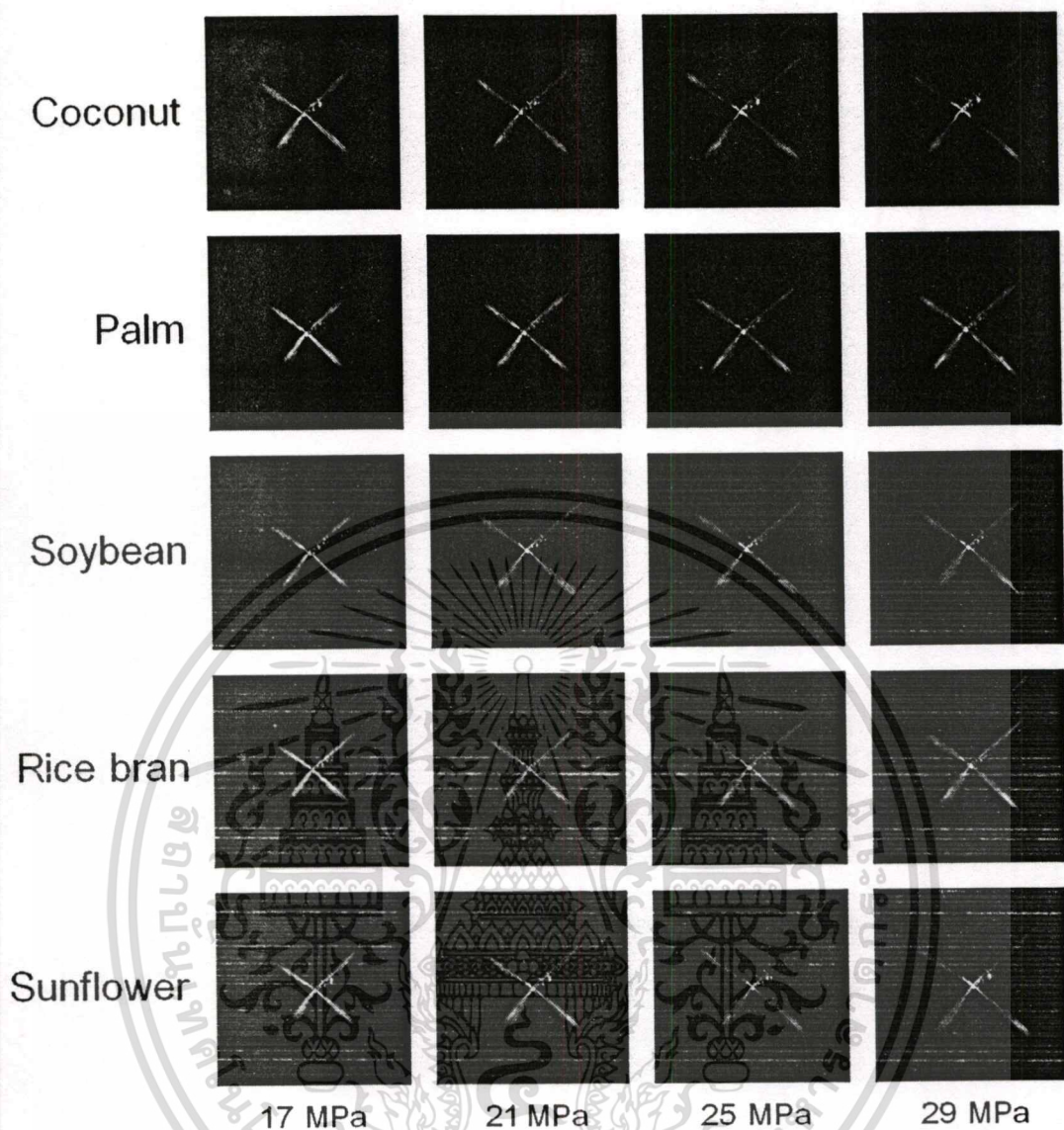
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองนี้จะใช้วิธีเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืชสกัด และเพิ่มความดันหัวฉีดเพื่อปรับปรุงลักษณะสเปรย์น้ำมันพืชสกัด การทดลองแรกจะทำการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันพืชสกัดจาก 30 °C เป็น 50, 70 และ 90 °C ตามลำดับ โดยใช้ความดันหัวฉีดคงที่ 17 MPa การทดลองที่สองจะทำการเพิ่มความดันหัวฉีดจาก 17 MPa เป็น 21, 25 และ 29 MPa ตามลำดับ รูปที่ 4.30 แสดงรูปแบบลักษณะสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa ที่อุณหภูมิน้ำมันต่างๆ รูปที่ 4.31 แสดงรูปแบบลักษณะสเปรย์น้ำมันพืชสกัดอุณหภูมิน้ำมัน 30 °C ที่ความดันหัวฉีดต่างๆ รูปที่ 4.32 ถึง 4.37 จะแสดงความยาวและความเร็วของสเปรย์เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืชสกัด รูปที่ 4.38 ถึง 4.43 จะแสดงความยาวและความเร็วของสเปรย์เมื่อทำการเพิ่มความดันหัวฉีดน้ำมันพืชสกัด

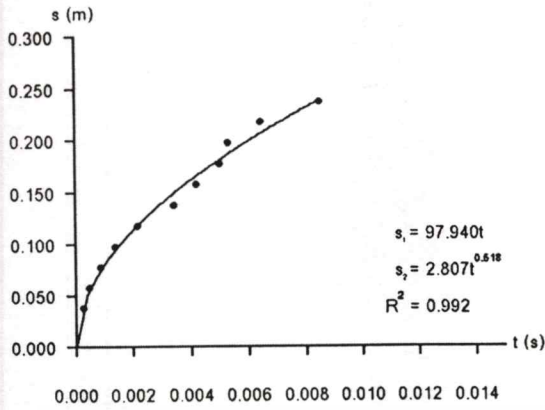


รูปที่ 4.30 ลักษณะสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa ที่อุณหภูมิเชื้อเพลิงต่างๆ

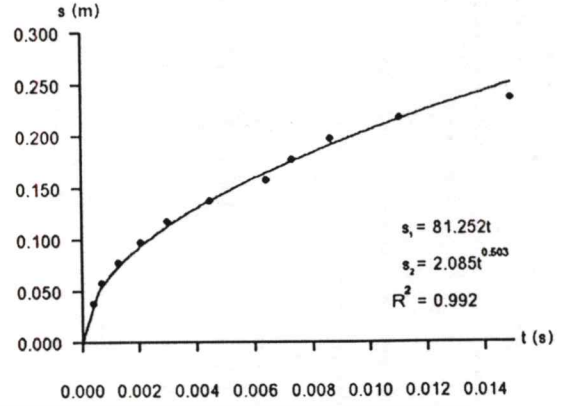
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



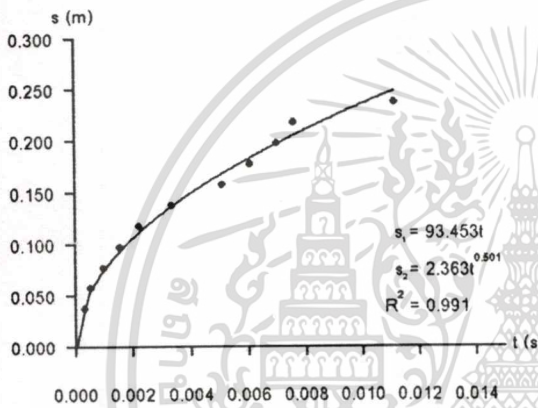
รูปที่ 4.31 ลักษณะสเปรย์น้ำมันพืชสกัดอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C ความดันหัวฉีดต่างๆ



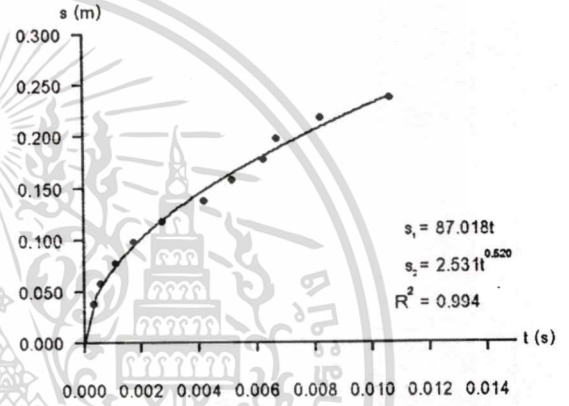
Coconut



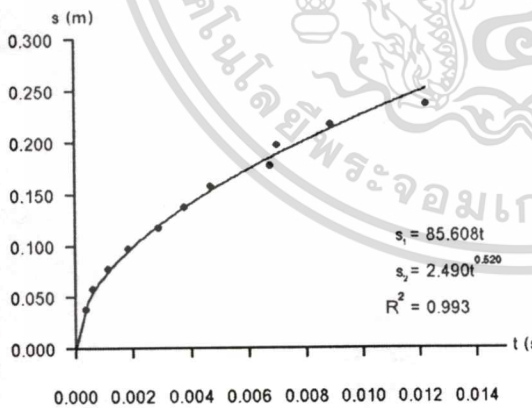
Palm



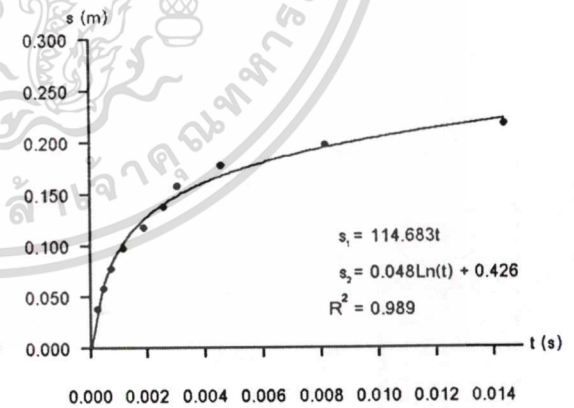
Soybean



Rice bran



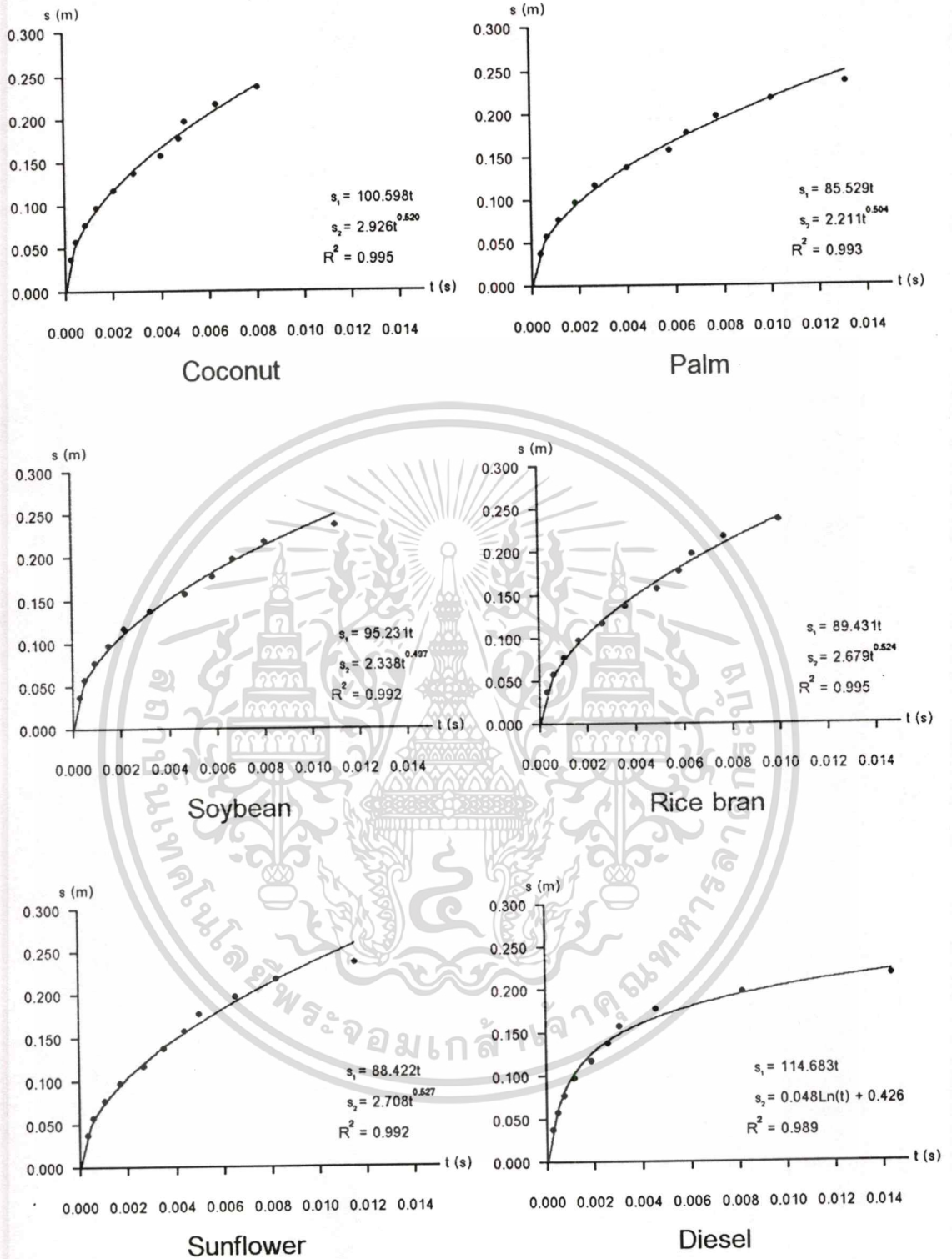
Sunflower



Diesel

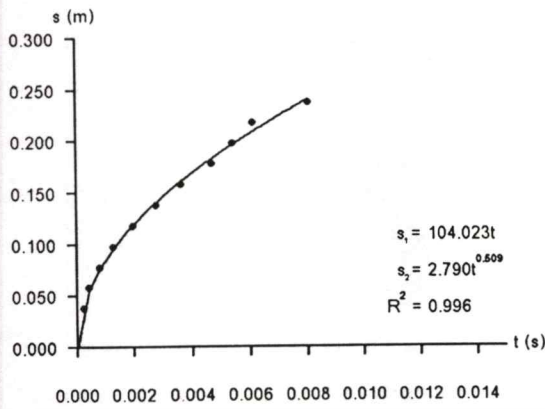
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสปริงกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 50 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

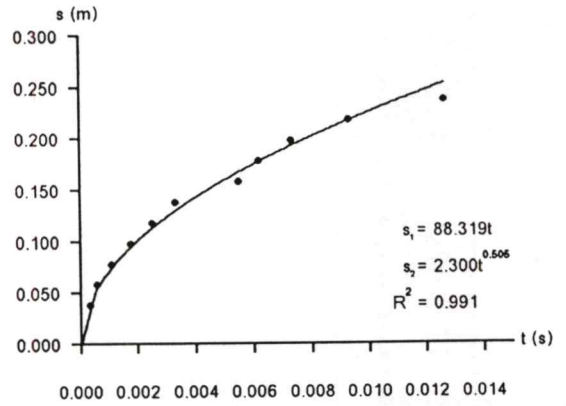


รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปรย์กับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 70 °C

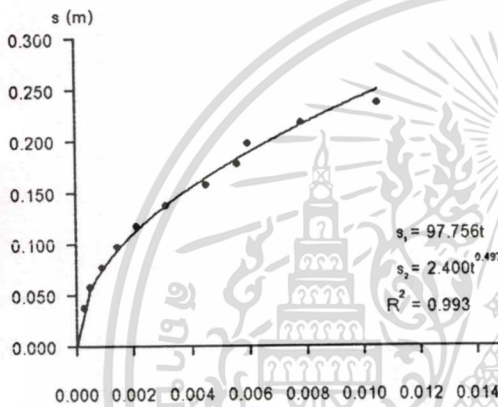
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



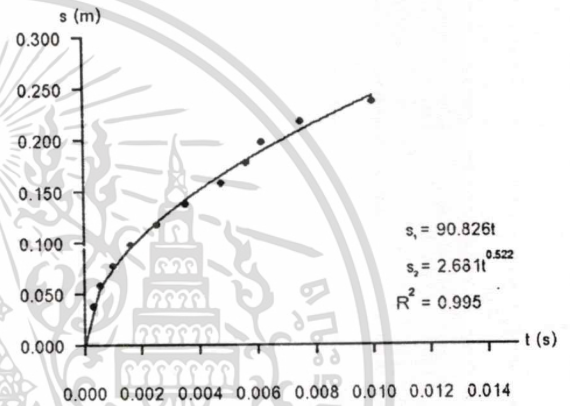
Coconut



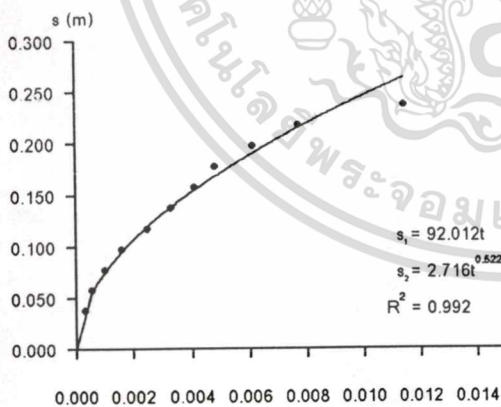
Palm



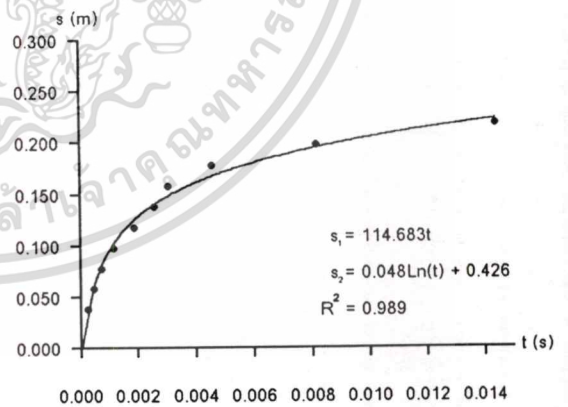
Soybean



Rice bran



Sunflower

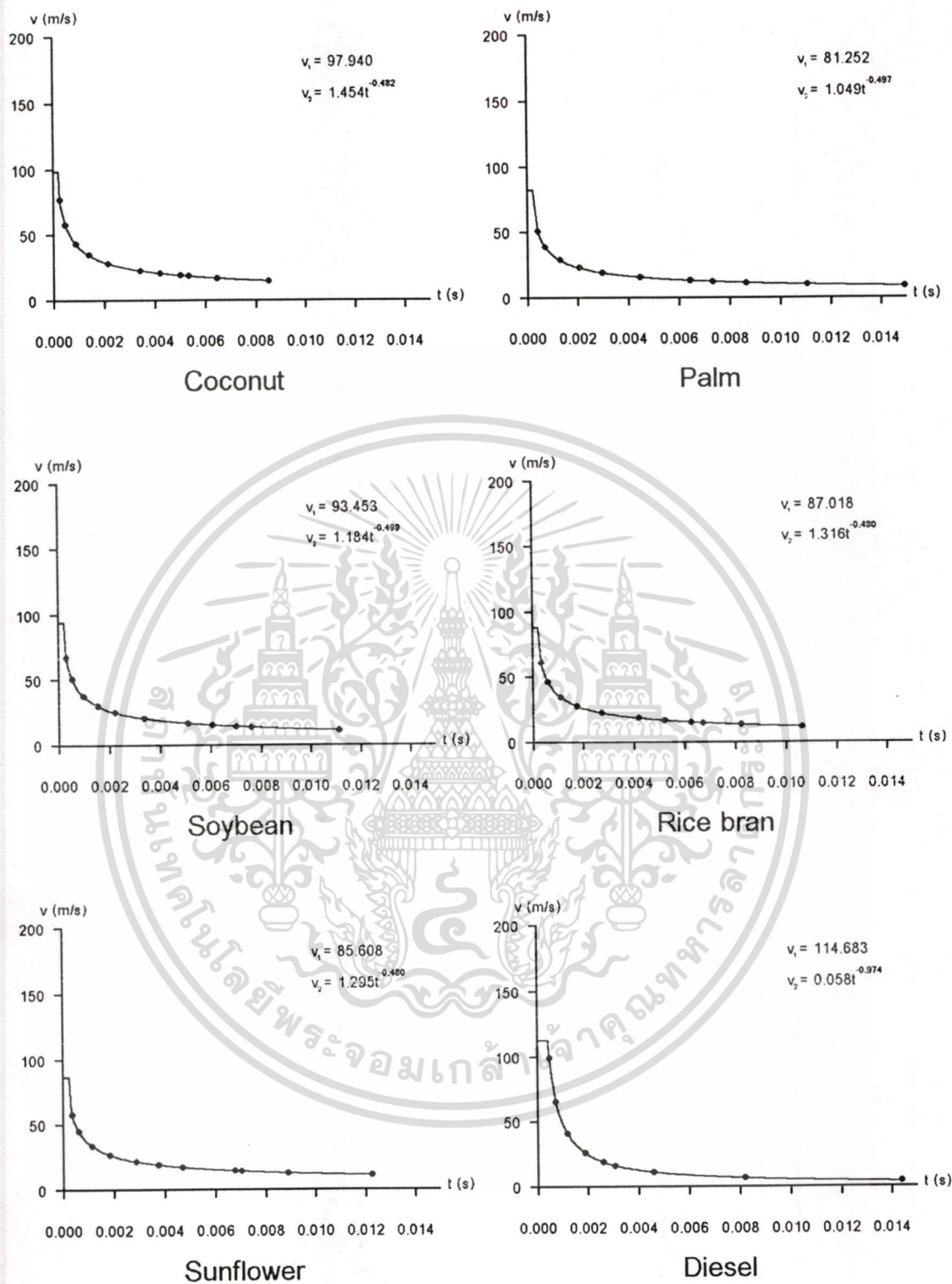


Diesel

รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปรย์กับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด

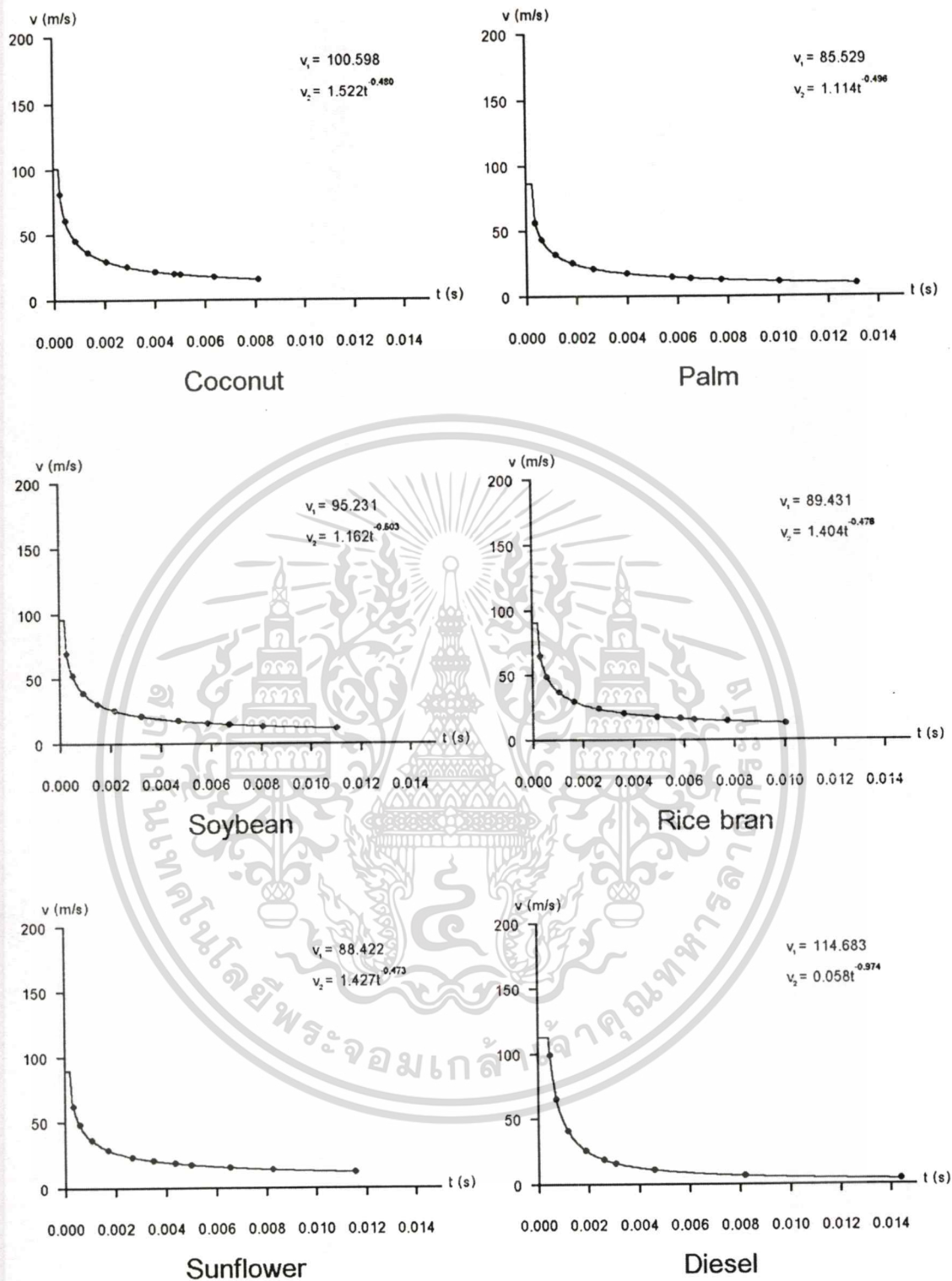
17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



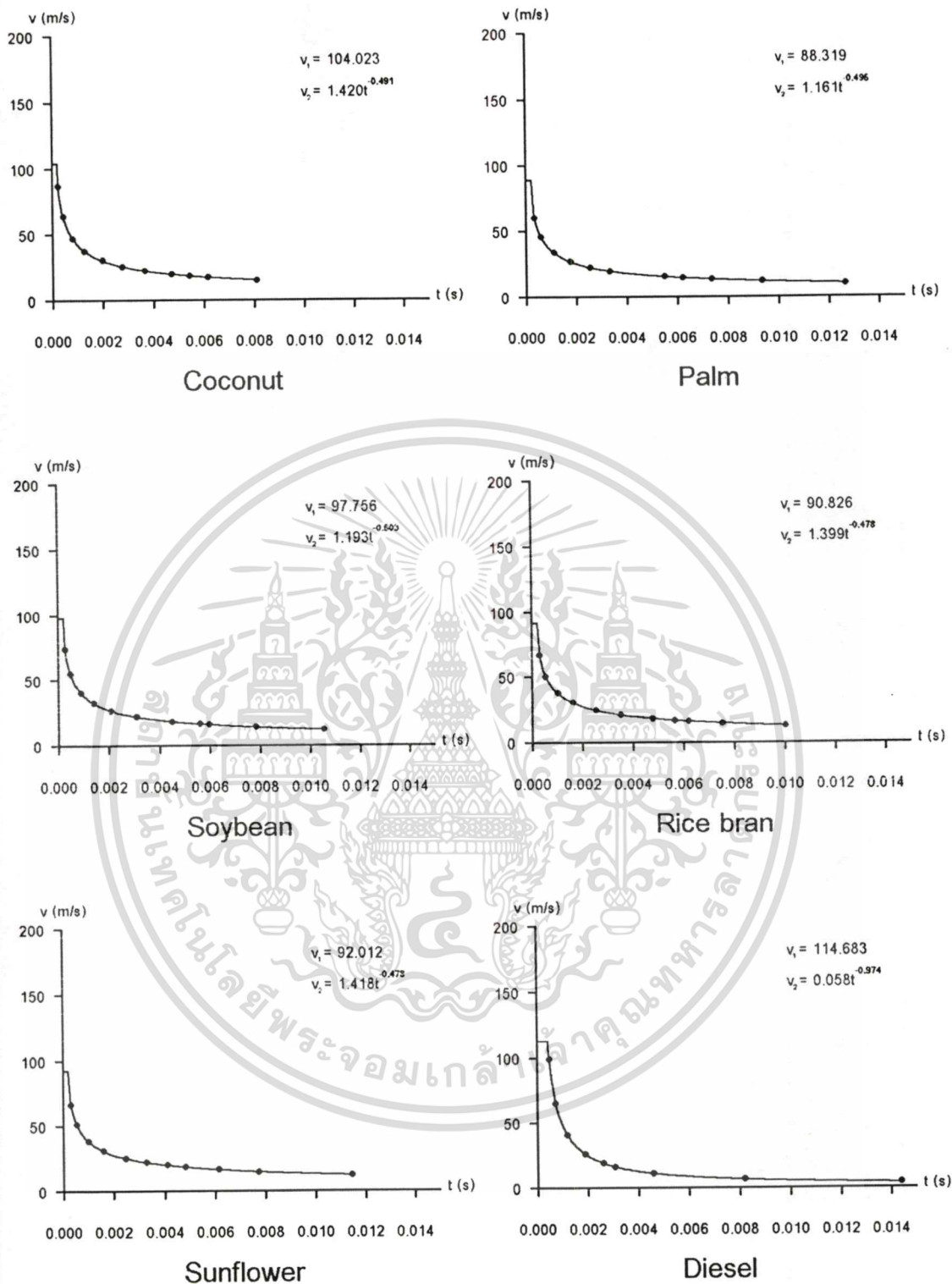
รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสเปรย์กับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 50 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



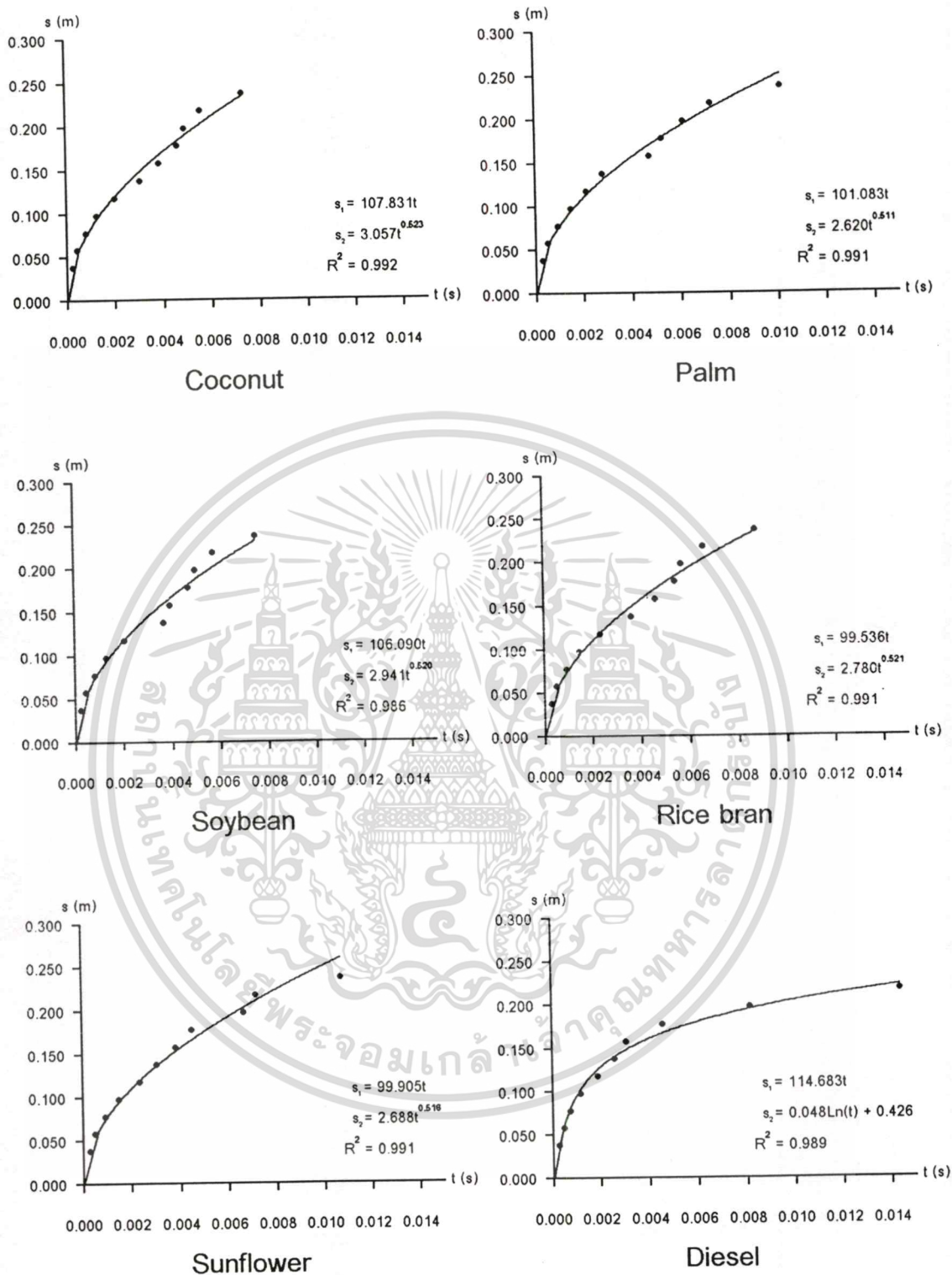
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสปรayingกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



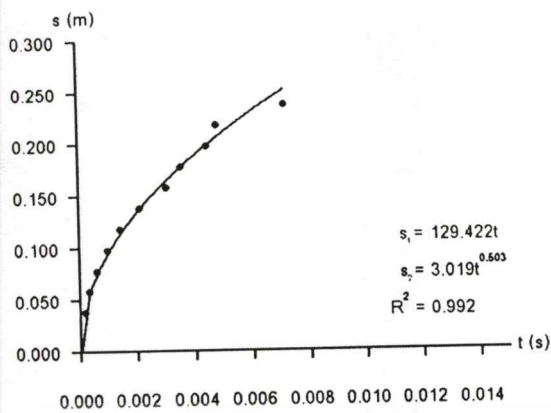
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสเปรย์กับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

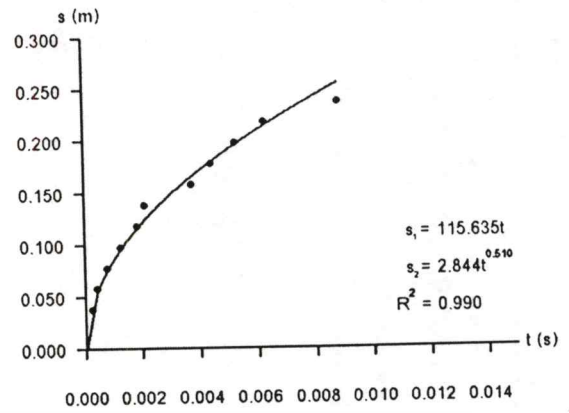


รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปร์กับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 21 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

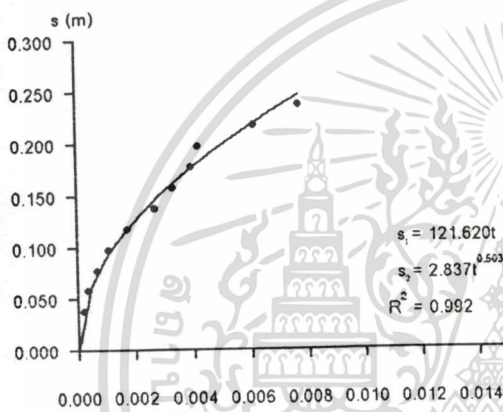
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



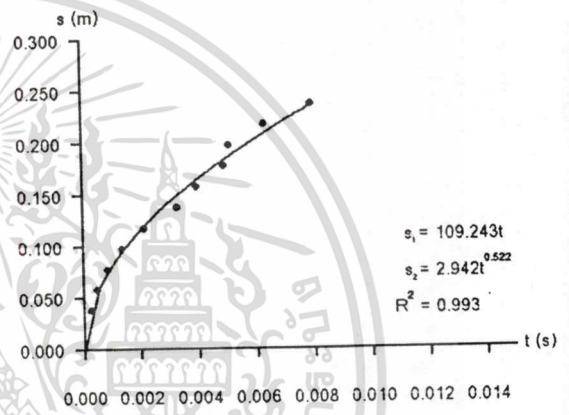
Coconut



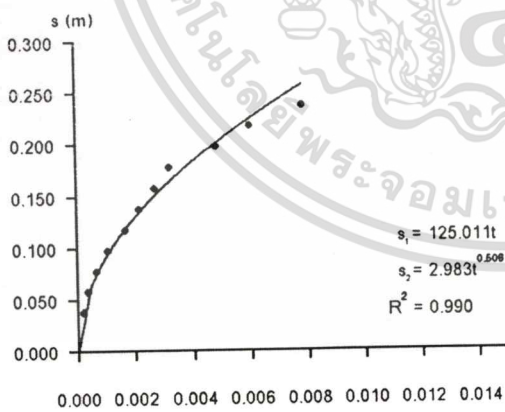
Palm



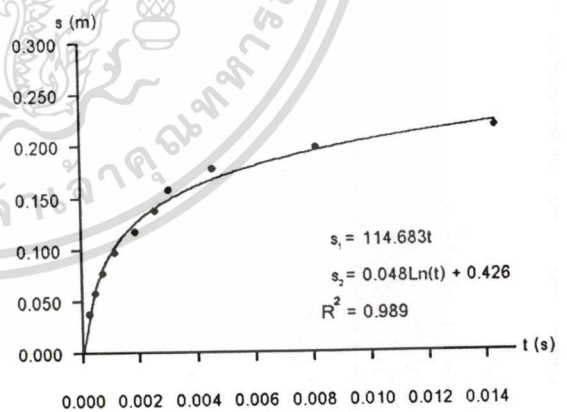
Soybean



Rice bran



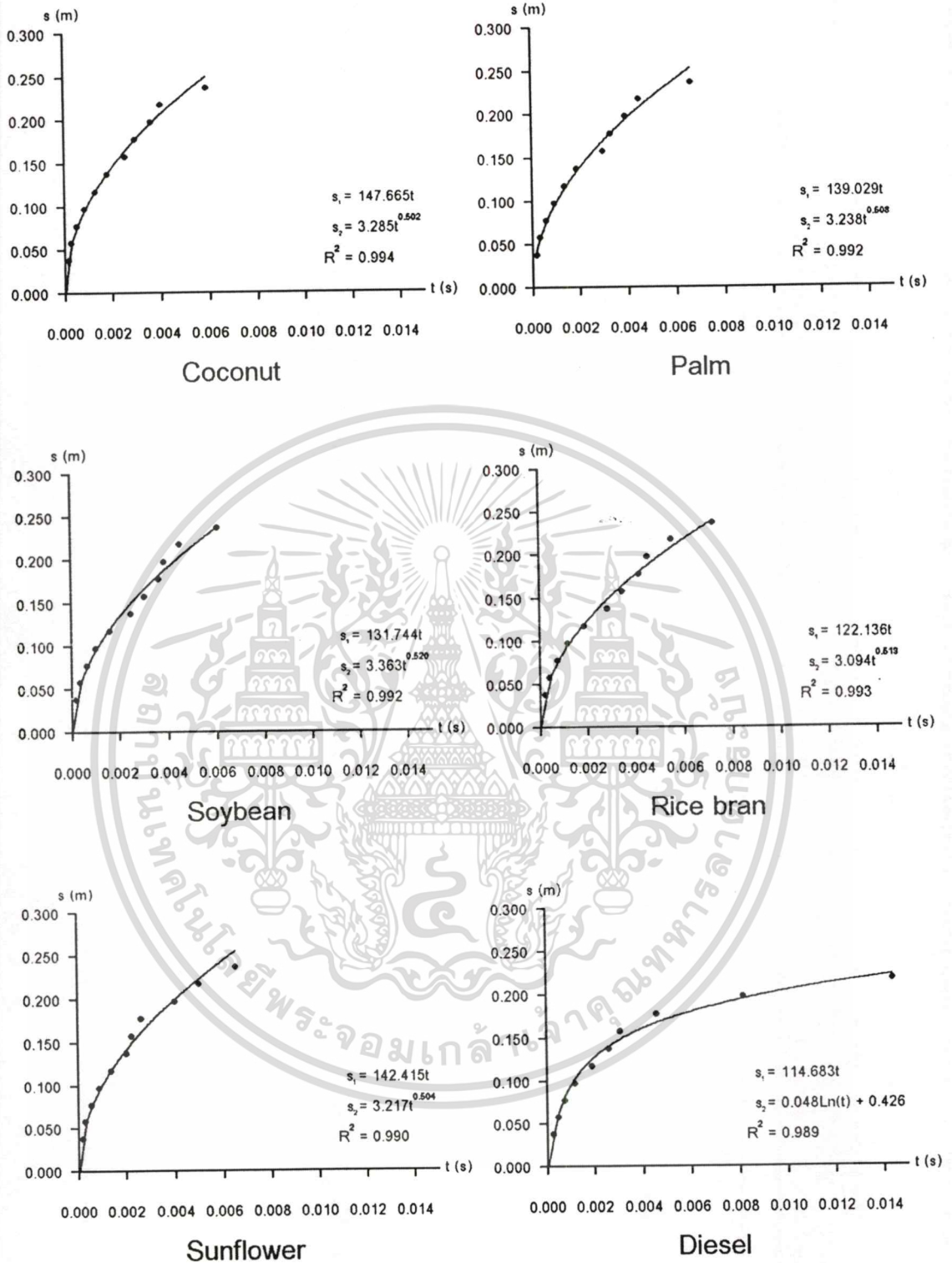
Sunflower



Diesel

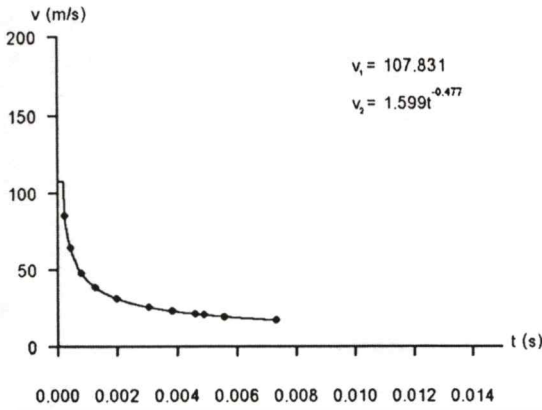
รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปร์กับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 25 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

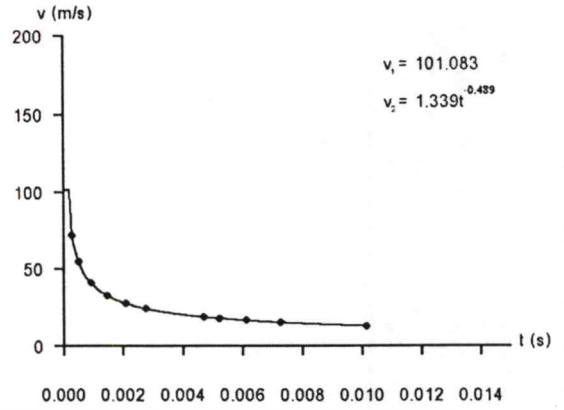


รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 29 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

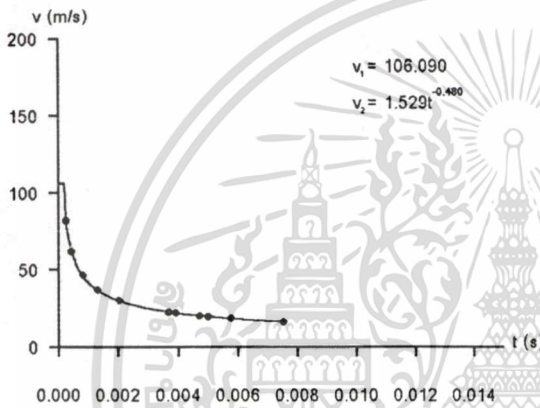
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



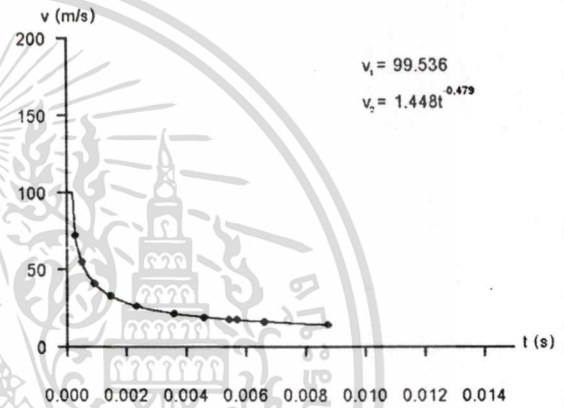
Coconut



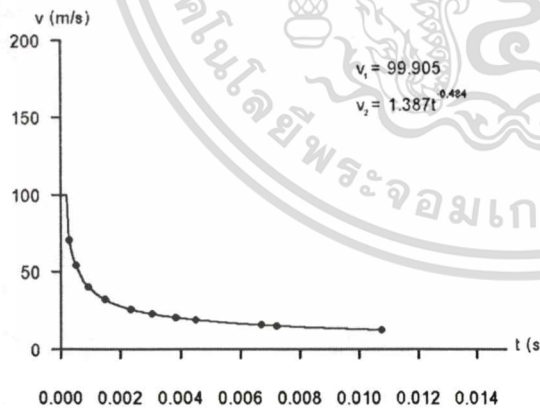
Palm



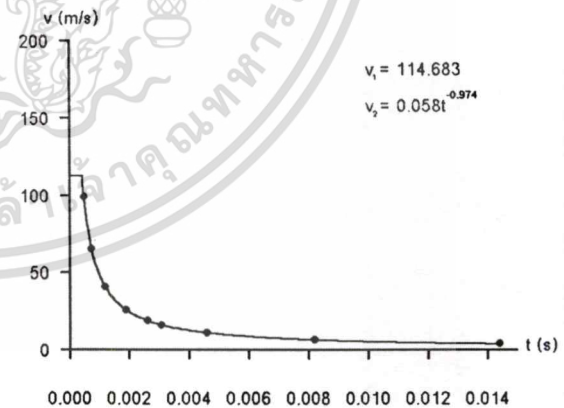
Soybean



Rice bran



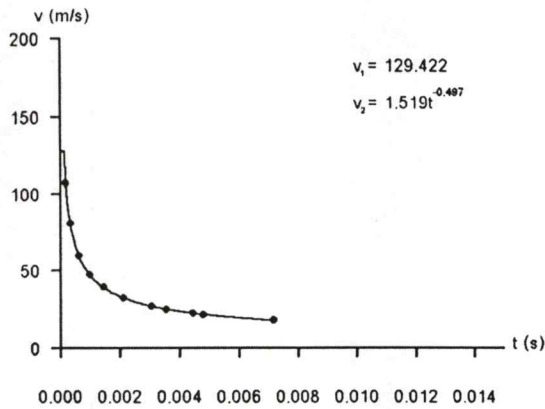
Sunflower



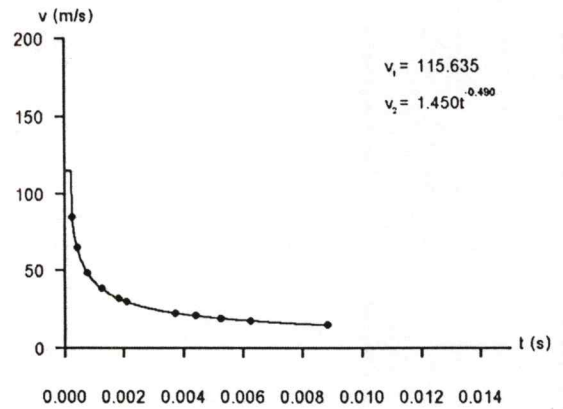
Diesel

**รูปที่ 4.41** ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสเปิร์กกับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 21 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

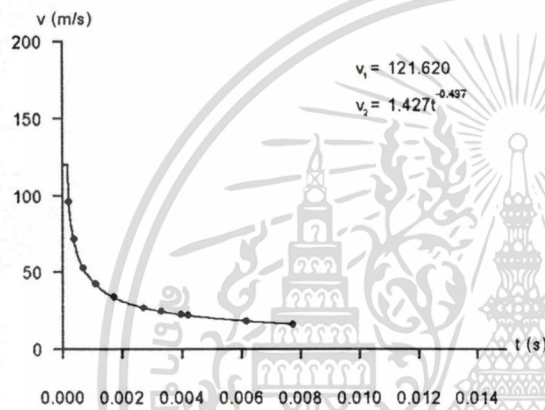
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



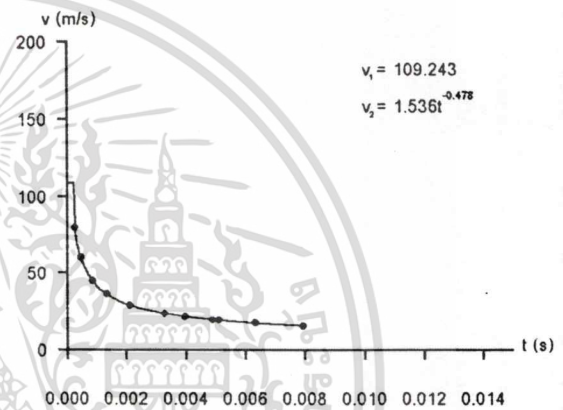
Coconut



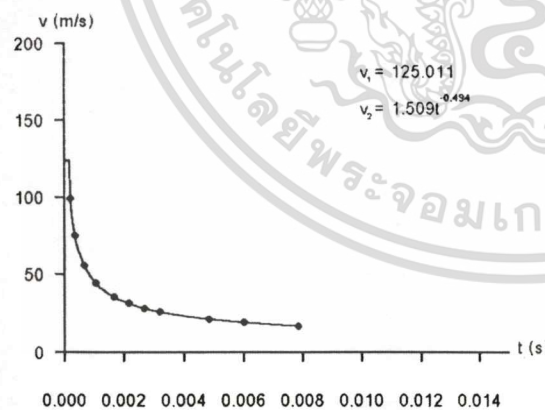
Palm



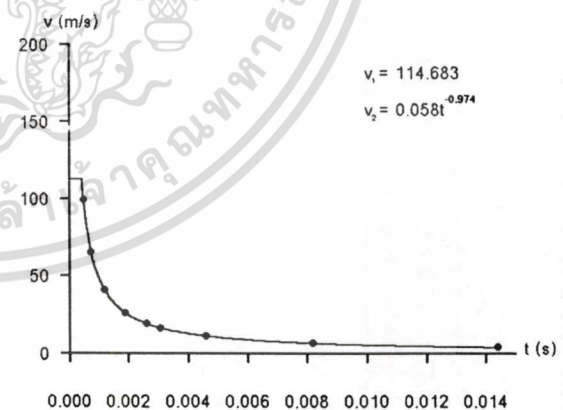
Soybean



Rice bran



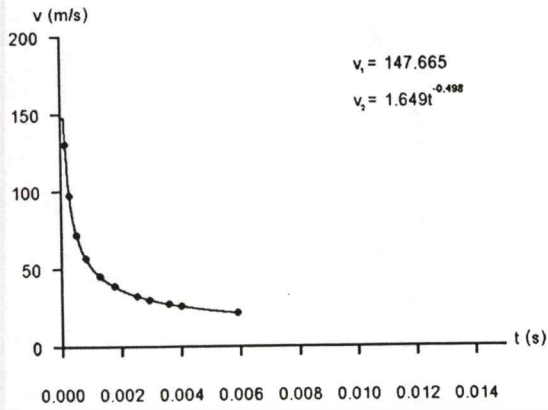
Sunflower



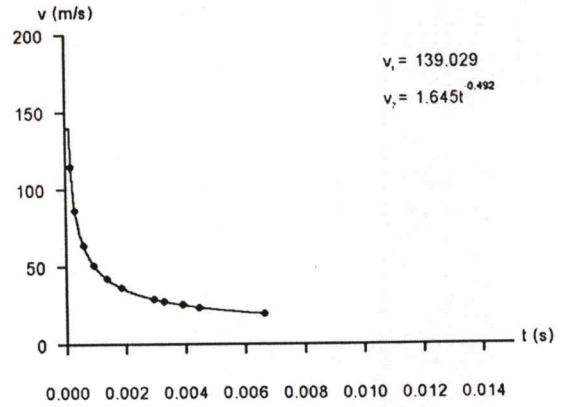
Diesel

รูปที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสเปรย์กับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 25 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

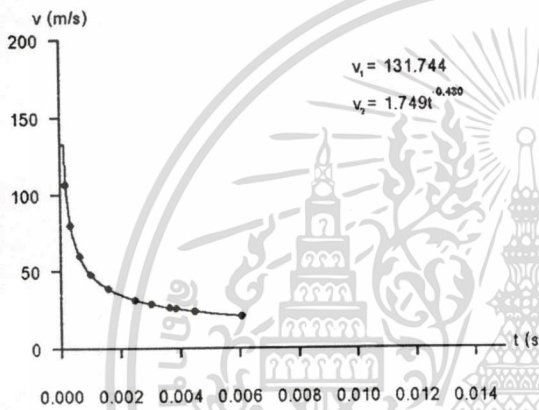
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



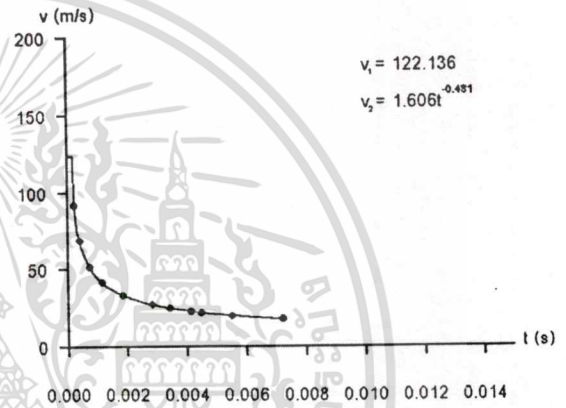
Coconut



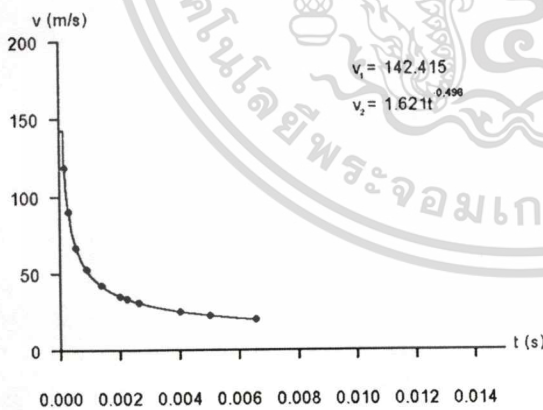
Palm



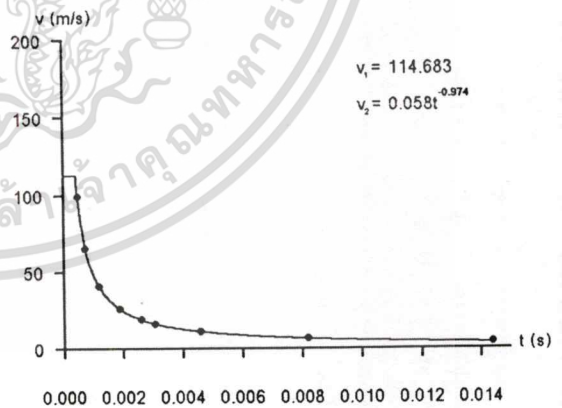
Soybean



Rice bran



Sunflower



Diesel

รูปที่ 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสเปรย์กับเวลาของน้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 29 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 ความยาวและความเร็วสเปร์ย์

ก่อนสเปร์ย์จะเกิด Breakup ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปร์ย์กับเวลาจะอยู่ในรูป

$$s = at + b \quad (4.1)$$

ความเร็วสเปร์ย์ก่อนเกิด Breakup กรณีเพิ่มอุณหภูมิและเพิ่มความดันหัวฉีด แสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ความเร็วสเปร์ย์น้ำมันพืชสกัดก่อนเกิดก่อนเกิด Breakup ความดันหัวฉีด 17 MPa

Temperature	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
Coconut	95.269	97.940	100.598	104.023
Palm	77.119	81.252	85.529	88.319
Soy Bean	88.353	93.453	95.231	97.756
Rice Bran	83.786	87.018	89.431	90.826
Sunflower	80.847	85.608	88.422	92.012

ตารางที่ 4.6 ความเร็วสเปร์ย์น้ำมันพืชสกัดก่อนเกิดก่อนเกิด Breakup อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

Temperature	17 MPa	21 MPa	25 MPa	29 MPa
Coconut	95.269	107.831	129.422	147.665
Palm	77.119	101.083	115.635	139.029
Soy Bean	88.353	106.090	121.620	131.744
Rice Bran	83.786	99.536	109.243	122.136
Sunflower	80.847	99.905	125.011	142.415

หลังการเกิด Breakup จากผลการทดลองความยาวสเปร์ย์ เมื่อใช้วิธีกำลังสองน้อยสุด พบว่าฟังก์ชันที่เหมาะสมที่สุดจะอยู่ในรูป

$$s = at^b \quad (4.2)$$

เมื่อ  $s$  คือ ความยาวสเปร์ย์ (mm)

$a, b$  คือ ค่าคงที่

$t$  คือ เวลา (ms)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคงที่ a, b แสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.8 ผลการทดลองของ Hiroyasu ซึ่งได้ผลดังสมการ (4.3)

ตารางที่ 4.7 สัมประสิทธิ์ความยาวสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa

Temperature	30 °C		50 °C		70 °C		90 °C	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Coconut	2.771	0.520	2.807	0.518	2.926	0.520	2.790	0.509
Palm	1.950	0.501	2.085	0.503	2.211	0.504	2.300	0.505
Soy Bean	2.284	0.504	2.363	0.501	2.338	0.497	2.400	0.497
Rice Bran	2.437	0.520	2.531	0.520	2.679	0.524	2.681	0.522
Sunflower	2.476	0.527	2.490	0.520	2.708	0.527	2.716	0.522

ตารางที่ 4.8 สัมประสิทธิ์ความยาวสเปรย์น้ำมันพืชสกัด อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

Pressure	17 MPa		21 MPa		25 MPa		29 MPa	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Coconut	2.771	0.520	3.057	0.523	3.019	0.503	3.285	0.502
Palm	1.950	0.501	2.620	0.511	2.844	0.510	3.238	0.508
Soy Bean	2.284	0.504	2.941	0.520	2.837	0.503	3.363	0.520
Rice Bran	2.437	0.520	2.780	0.521	2.942	0.522	3.094	0.519
Sunflower	2.476	0.527	2.688	0.516	2.983	0.506	3.217	0.504

$$S = 2.95 \left( \frac{\Delta p}{\rho_g} \right)^{1/4} (td_n)^{1/2} \quad (4.3)$$

- เมื่อ S คือ ความยาวสเปรย์ (m)  
 $\Delta p$  คือ ความดันหัวฉีด (Pa)  
 $\rho_g$  คือ ความหนาแน่นของแก๊ส ( $\text{kg/m}^3$ )  
t คือ เวลาหลังการฉีดเชื้อเพลิง (s)  
 $d_n$  คือ ขนาดรูหัวฉีด (m)

จากสมการ (4.3) พบว่าความยาวสเปรย์เป็นฟังก์ชันกับรากที่สองของเวลา เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าคงที่ b ในตารางที่ 4.7 และ 4.8 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 0.5 ดังนั้นหากจะเปรียบเทียบผลการทดลองกับสมการ (4.3) จึงต้องปรับค่าคงที่ b ในสมการ (4.2) เป็น 0.5 ดังในตารางที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ห้ามการใช้นอกเหนือจากการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

4.9 และ 4.10 ซึ่งจะทำให้เหลือค่าคงที่ a เพียงค่าเดียว

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

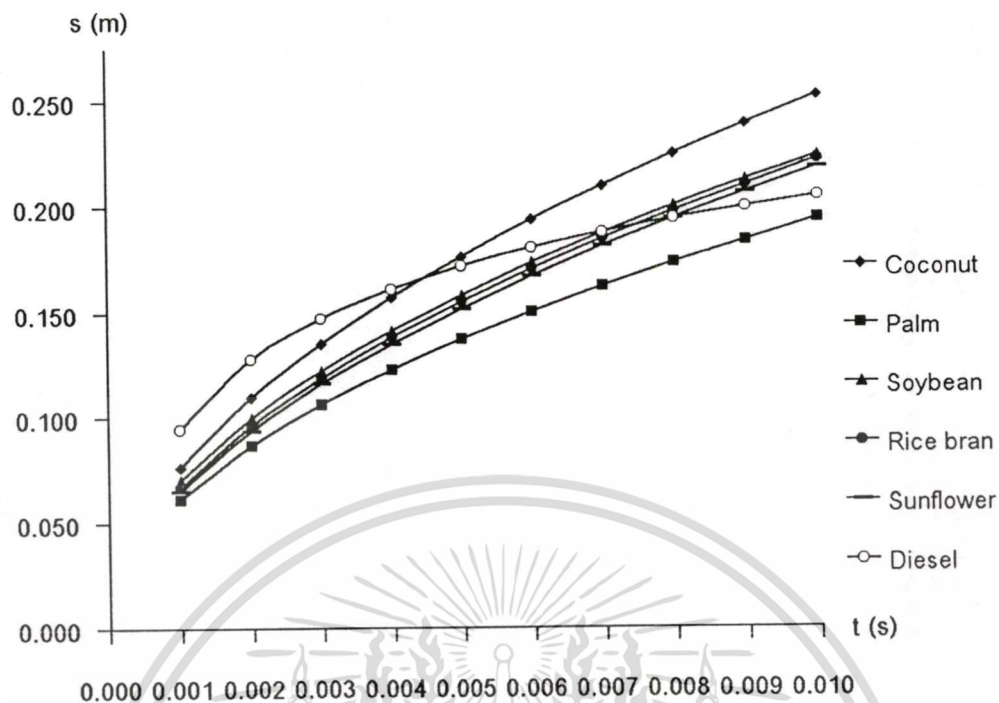
ตารางที่ 4.9 สัมประสิทธิ์ความยาวสเปรย์น้ำมันพืชสกัด ความดันหัวฉีด 17 MPa

Temperature	30 °C		50 °C		70 °C		90 °C	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Coconut	2.420	0.500	2.467	0.500	2.534	0.500	2.558	0.500
Palm	1.851	0.500	1.962	0.500	2.076	0.500	2.141	0.500
Soy Bean	2.192	0.500	2.248	0.500	2.270	0.500	2.329	0.500
Rice Bran	2.134	0.500	2.204	0.500	2.276	0.500	2.304	0.500
Sunflower	2.078	0.500	2.150	0.500	2.257	0.500	2.311	0.500

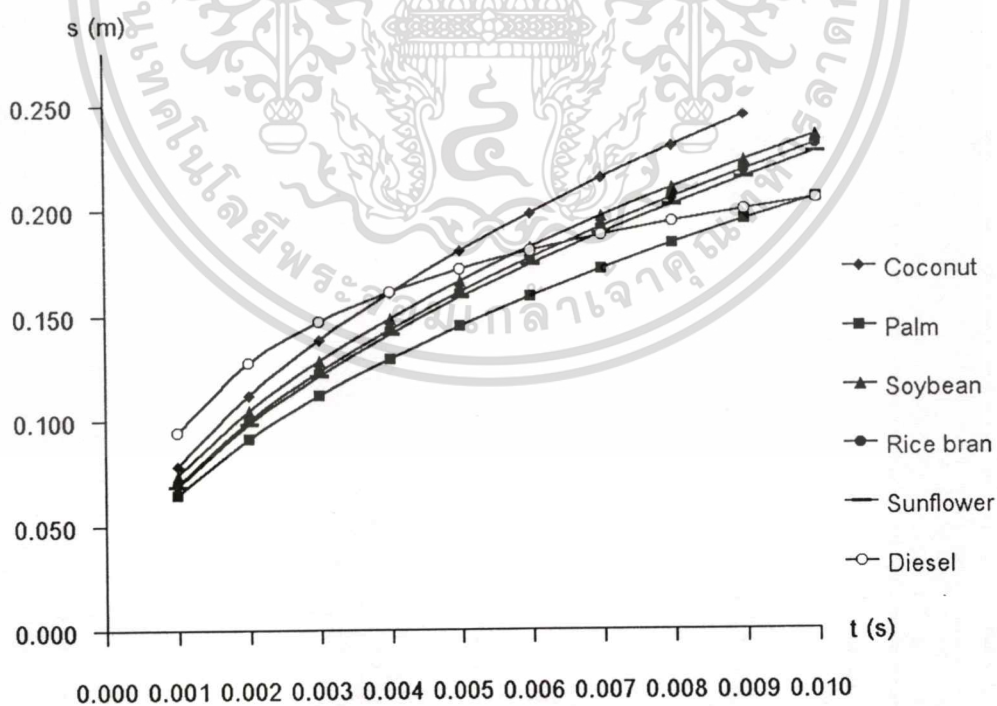
ตารางที่ 4.10 สัมประสิทธิ์ความยาวสเปรย์น้ำมันพืชสกัด อุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

Pressure	17 MPa		21 MPa		25 MPa		29 MPa	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Coconut	2.420	0.500	2.612	0.500	2.842	0.500	3.116	0.500
Palm	1.851	0.500	2.364	0.500	2.568	0.500	2.956	0.500
Soy Bean	2.192	0.500	2.555	0.500	2.682	0.500	2.906	0.500
Rice Bran	2.134	0.500	2.400	0.500	2.518	0.500	2.688	0.500
Sunflower	2.078	0.500	2.361	0.500	2.745	0.500	2.994	0.500

เมื่อนำความยาวสเปรย์มาเปรียบเทียบกันในแต่ละกรณีจะพบว่า กราฟความยาวสเปรย์ของน้ำมันพืชสกัดจะมีรูปแบบแตกต่างกับสเปรย์น้ำมันดีเซล ดังในรูปที่ 4.44 ถึง 4.50

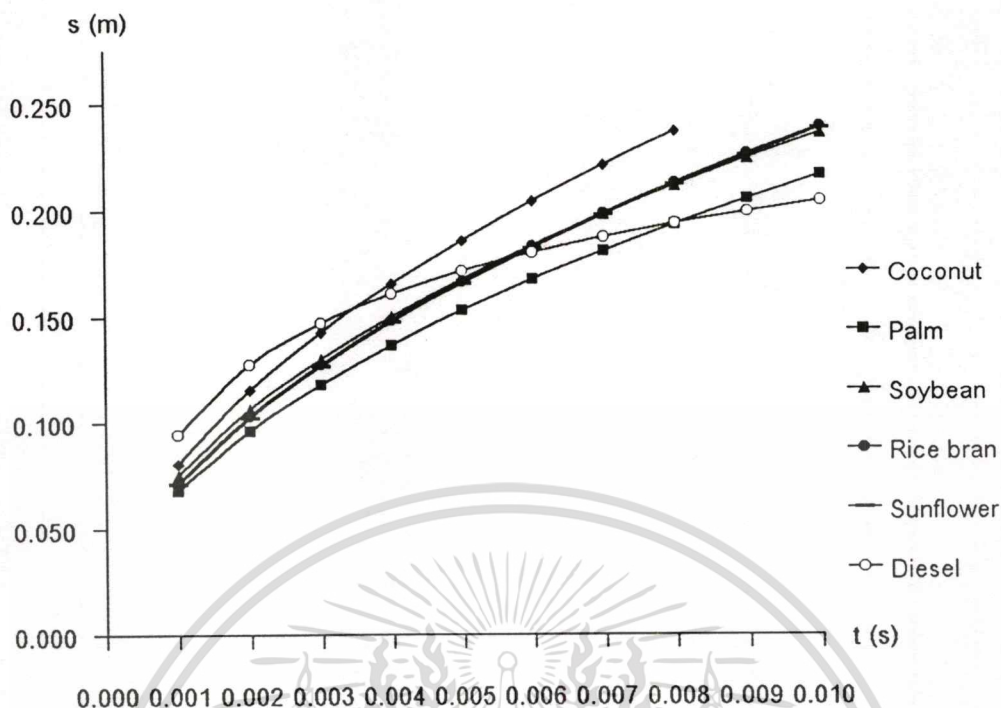


รูปที่ 4.44 เปรียบเทียบความยาวสเปร์ย ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

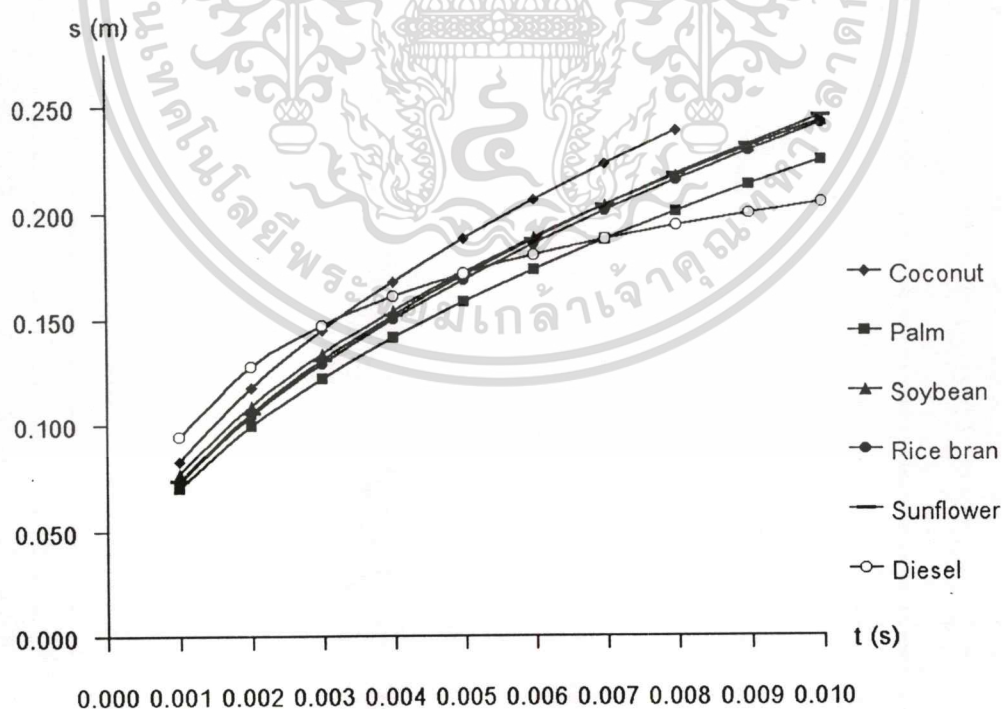


รูปที่ 4.45 เปรียบเทียบความยาวสเปร์ย ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 50 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



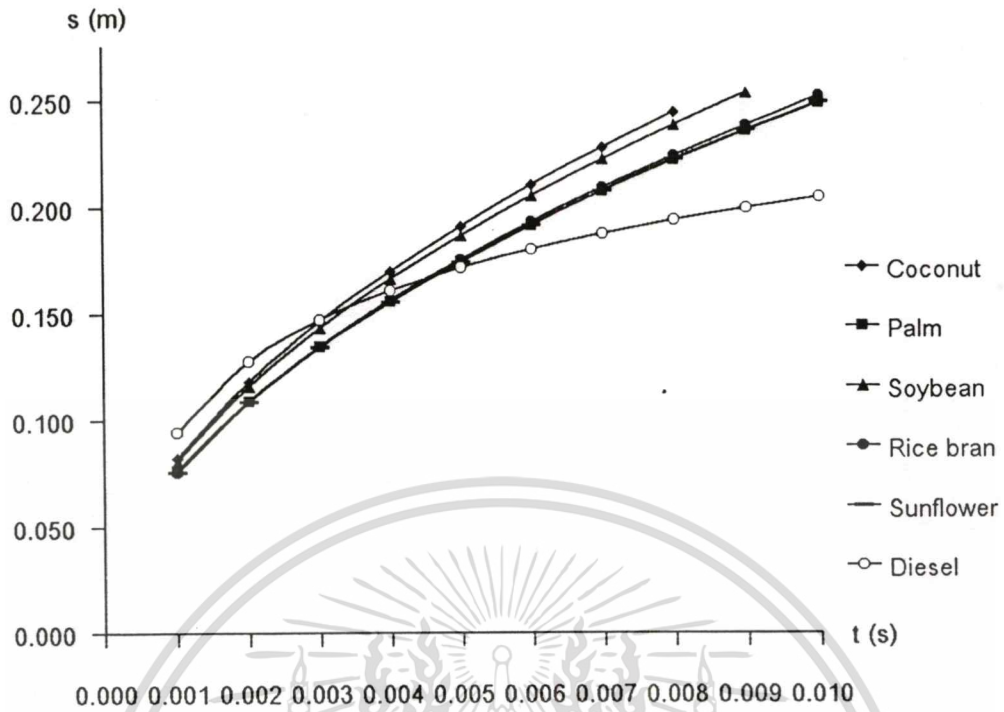
รูปที่ 4.46 เปรียบเทียบความยาวสเปร์ย์ ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 70 °C



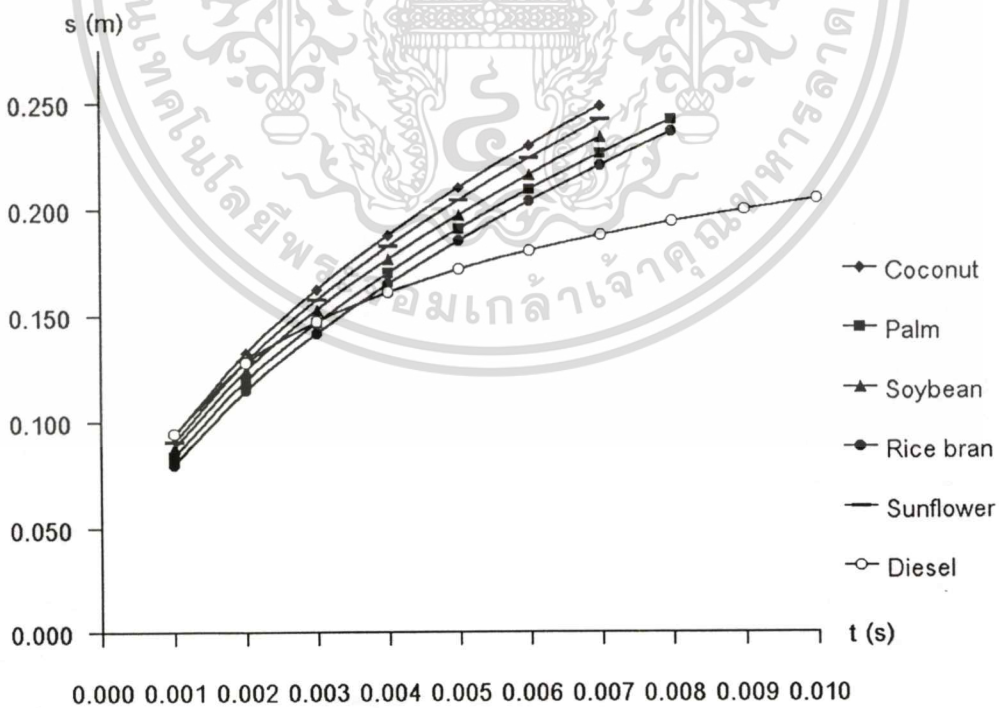
รูปที่ 4.47 เปรียบเทียบความยาวสเปร์ย์ ความดันหัวฉีด 17 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

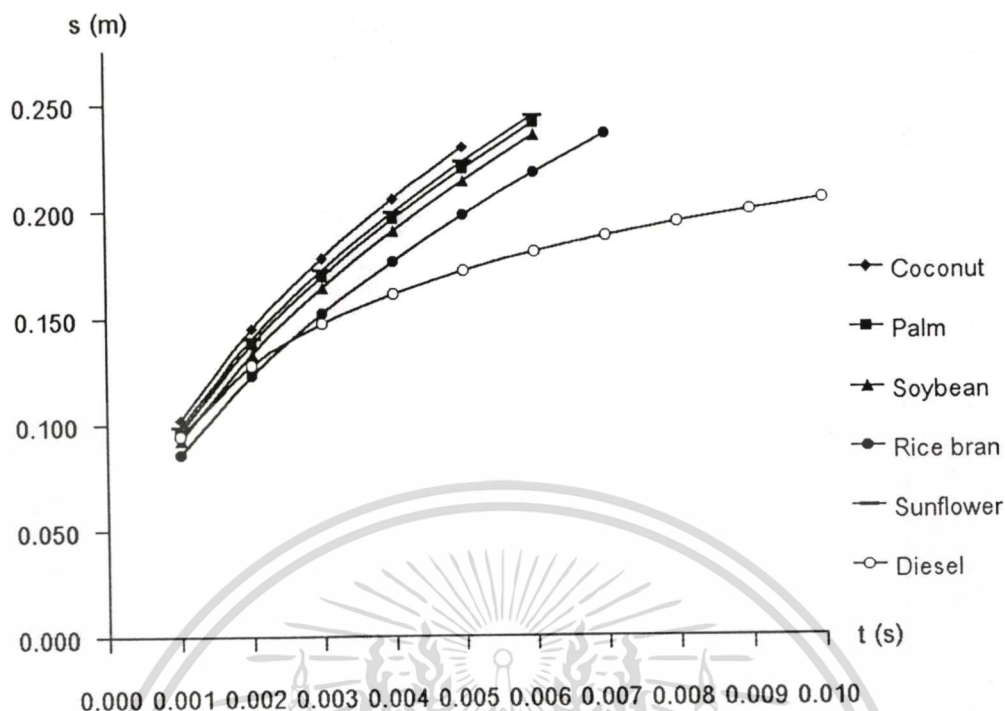


รูปที่ 4.48 เปรียบเทียบความยาวสเปรย์ ความดันหัวฉีด 21 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C



รูปที่ 4.49 เปรียบเทียบความยาวสเปรย์ ความดันหัวฉีด 25 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.50 เปรียบเทียบความยาวสเปร์ย ความดันหัวฉีด 29 MPa และอุณหภูมิเชื้อเพลิง 30 °C

เมื่อนำความยาวสเปร์ยน้ำมันพืชสกัดไปเปรียบเทียบกับสเปร์ยน้ำมันดีเซลจะพบว่า ในช่วงแรกสเปร์ยน้ำมันดีเซลจะมีความเร็วสูงกว่า และในช่วงหลังความเร็วจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่สเปร์ยน้ำมันพืชสกัดในช่วงแรกจะมีความเร็วต่ำกว่า และในช่วงหลังความเร็วสเปร์ยน้ำมันพืชสกัดจะลดลงไม่มากนัก ทำให้สเปร์ยน้ำมันพืชสกัดสามารถฉีดไปได้ไกลกว่า ยกเว้นน้ำมันปาล์ม จากรูปที่ 4.44 ถึง 4.47 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อความยาวสเปร์ยน้ำมันพืชสกัด เมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืชสกัดจะทำให้สเปร์ยมีความเร็วเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และสเปร์ยน้ำมันพืชสกัดก็ยังสามารถฉีดไปได้ไกลกว่าสเปร์ยน้ำมันดีเซล

รูปที่ 4.48 ถึง 4.50 แสดงผลของการเพิ่มความดันหัวฉีดที่มีต่อความยาวสเปร์ย เมื่อเพิ่มความดันหัวฉีดจะทำให้ความเร็วสเปร์ยในช่วงแรกเพิ่มขึ้น แต่ก็ยังมีความเร็วต่ำกว่าน้ำมันดีเซลอยู่มาก และความเร็วในช่วงหลังจะลดลงไม่มากนัก ทำให้สเปร์ยน้ำมันพืชสกัดกรณีเพิ่มความดันหัวฉีดมีความยาวสเปร์ยมากกว่ากรณีการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืชสกัด

การที่สเปร์ยน้ำมันพืชสกัดมีความเร็วสเปร์ยในช่วงแรกต่ำกว่าสเปร์ยน้ำมันดีเซล แต่ความเร็วสเปร์ยน้ำมันพืชสกัดในช่วงหลังลดลงไม่มากนัก จะทำให้สเปร์ยน้ำมันพืชสกัดสามารถฉีดไปได้ไกลกว่าสเปร์ยน้ำมันดีเซล เมื่อนำน้ำมันพืชสกัดไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลแบบหัวฉีด 4 รู จะทำให้สเปร์ยน้ำมันพืชสกัดพุ่งไปกระทบกับหัวลูกสูบหรือผนังกระบอกสูบได้มากกว่า

### 4.3 ผลของคุณสมบัติของน้ำมันพืชสกัดต่อลักษณะสเปรย์

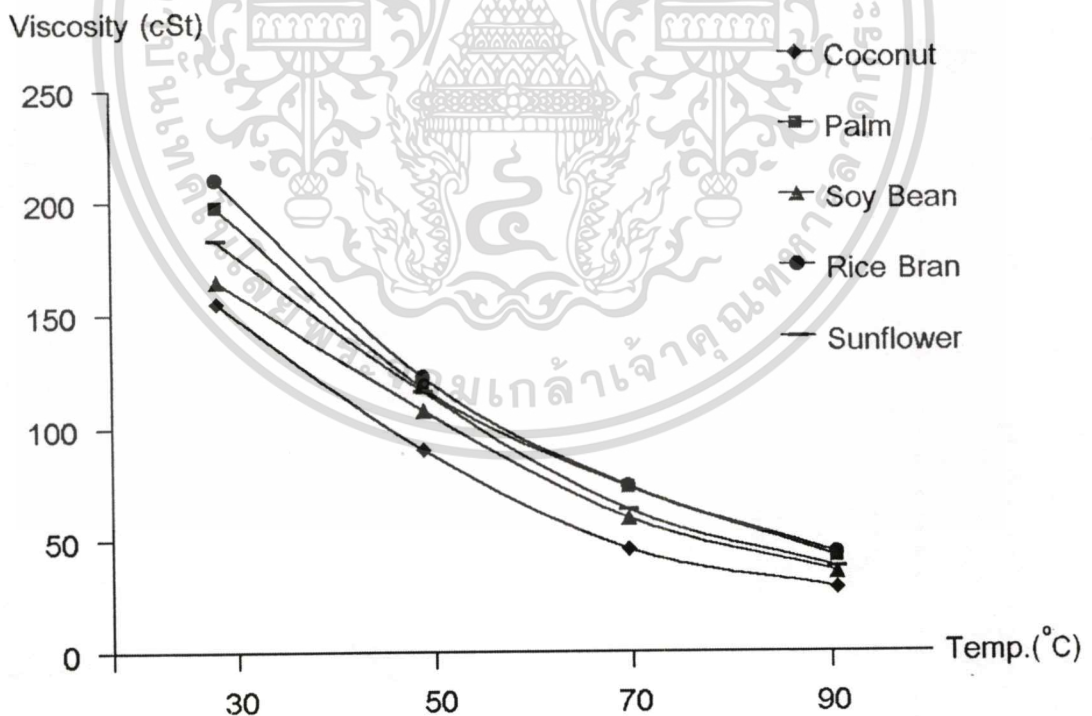
นอกจากอุณหภูมิของน้ำมันและความดันหัวฉีดแล้ว คุณสมบัติของน้ำมันพืชสกัดยังมีผลต่อลักษณะสเปรย์ คุณสมบัติของน้ำมันพืชสกัดแสดงไว้ในบทที่ 3.6

#### 4.3.1 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดและความถ่วงจำเพาะ

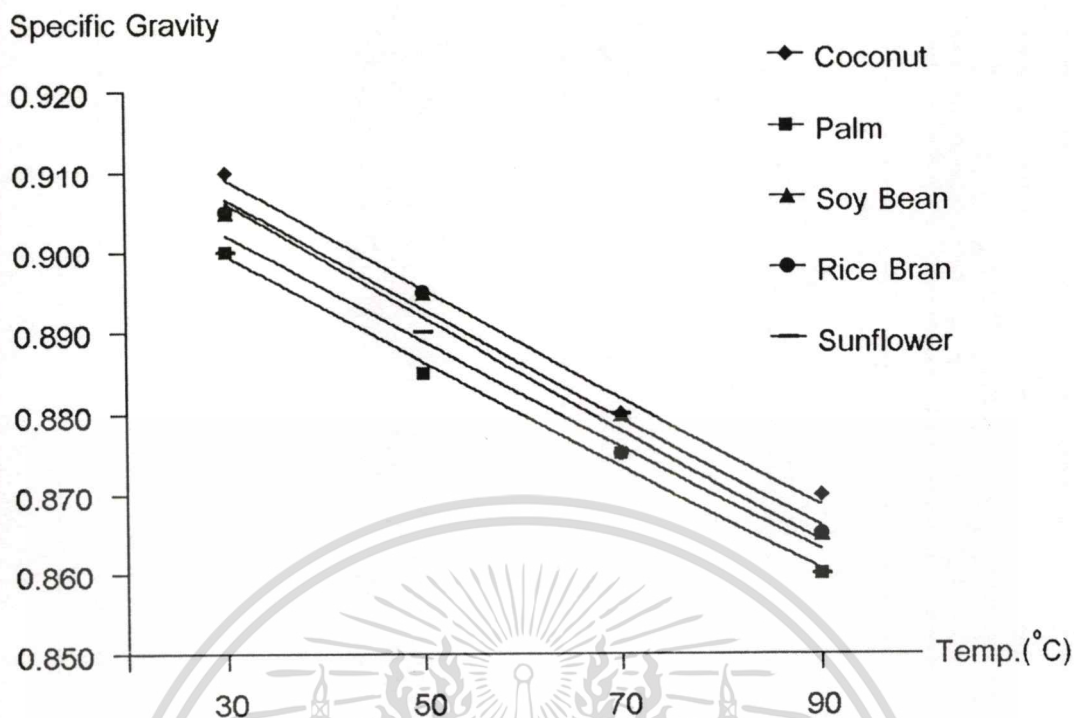
ผลการทดลองวัดค่าความหนืดของน้ำมันพืชสกัด พบว่าน้ำมันพืชสกัดที่มีค่าความหนืดต่ำสุดคือ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันปาล์ม และน้ำมันรำข้าว ตามลำดับ ส่วนผลการทดลองวัดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันพืชสกัด พบว่าน้ำมันพืชสกัดที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำสุดคือ น้ำมันปาล์ม น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันรำข้าว น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันมะพร้าว ตามลำดับ

เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิแก่น้ำมันพืชสกัดจาก 30 °C เป็น 50 °C, 70 °C และ 90 °C จะทำให้ความหนืดของน้ำมันพืชสกัดลดลง ดังในรูปที่ 4.51

เช่นเดียวกัน เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิแก่น้ำมันพืชสกัดจาก 30 °C เป็น 50 °C, 70 °C และ 90 °C จะทำให้ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันพืชสกัดลดลง ดังในรูปที่ 4.52



รูปที่ 4.51 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของน้ำมันพืชสกัด

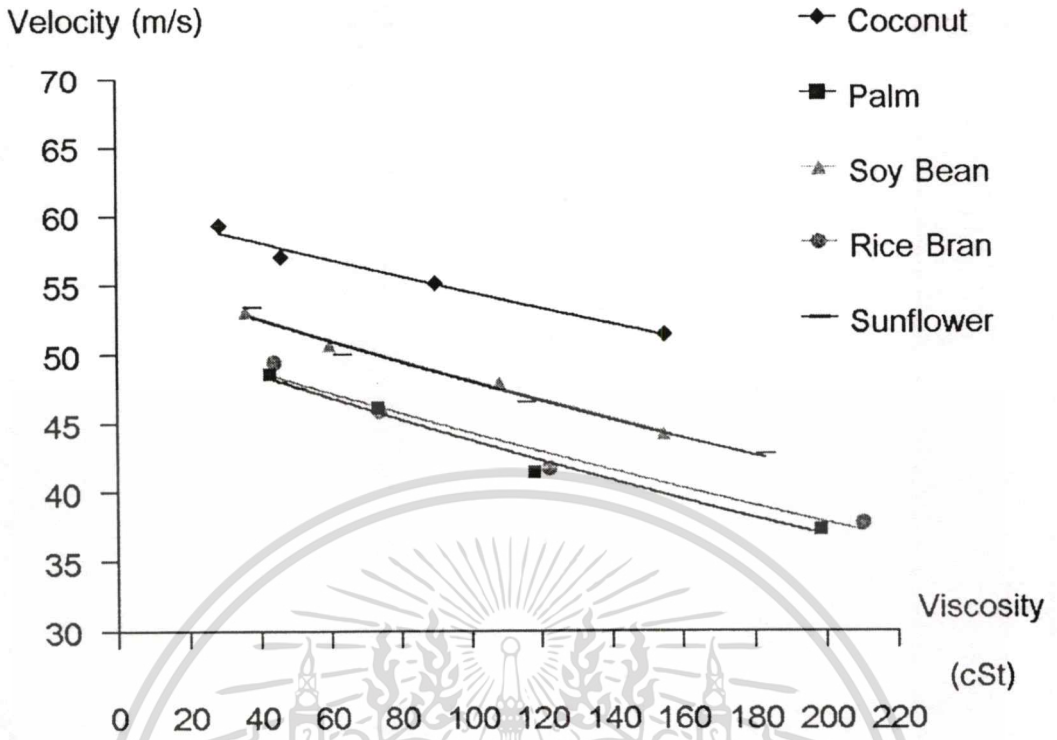


รูปที่ 4.52 ผลของอุณหภูมิต่อความถ่วงจำเพาะของน้ำมันพืชสกัด

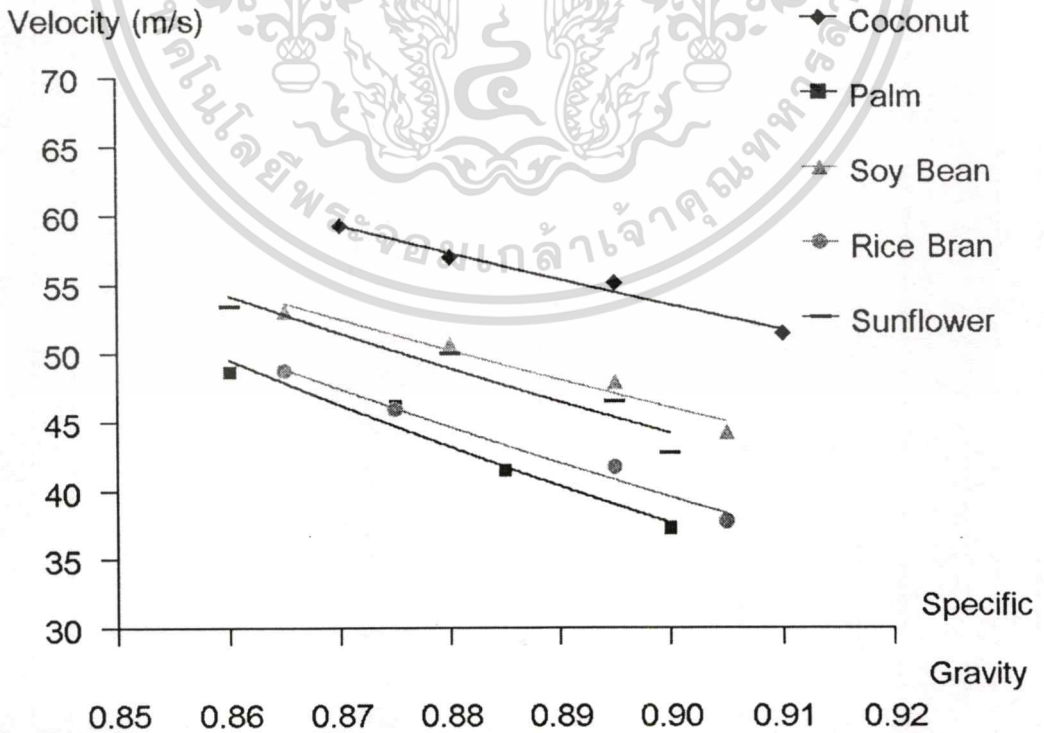
#### 4.3.2 ผลของความหนืดและความถ่วงจำเพาะต่อความเร็วสเปร์ย

เมื่ออุณหภูมิน้ำมันพืชสกัดเพิ่มขึ้น จะทำให้ความหนืดและความถ่วงจำเพาะของน้ำมันพืชสกัดลดลง กรณีหวั่นคิดแบบรูเดียวจะพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืชสกัดจะทำให้ความเร็วสเปร์ยเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เมื่อลดค่าความหนืดและความถ่วงจำเพาะของน้ำมันพืชสกัดลง จะทำให้ความเร็วสเปร์ยเพิ่มขึ้น

ความหนืดของน้ำมันพืชสกัดที่อุณหภูมิ 90 °C จะอยู่ระหว่าง 28 ถึง 42 cSt เมื่อเปรียบเทียบกับความหนืดของน้ำมันดีเซลซึ่งมีค่าระหว่าง 1.8 – 5.0 cSt จะพบว่าความหนืดของน้ำมันพืชสกัดเมื่อมีอุณหภูมิถึง 90 °C ก็ยังมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลอยู่มาก และหากต้องการลดความหนืดของน้ำมันพืชสกัดให้ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล อาจต้องเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันพืชสกัดให้สูงกว่า 150 °C ซึ่งจะสูงกว่าจุดวาบไฟของน้ำมันพืชสกัด และอาจก่อให้เกิดอัคคีภัยได้ง่าย จะเห็นได้ว่าการลดความหนืดของน้ำมันพืชสกัดโดยการเพิ่มอุณหภูมินั้นมีข้อจำกัดอยู่มาก



รูปที่ 4.53 ผลของความหนืดต่อความเร็วสเปรย์ของน้ำมันพืชสกัด



รูปที่ 4.54 ผลของความถ่วงจำเพาะต่อความเร็วสเปรย์ของน้ำมันพืชสกัด

รูปที่ 4.53 และ 4.54 แสดงผลของความหนืดและความถ่วงจำเพาะที่มีต่อความเร็วสเปร์ยกรณีหัวฉีดแบบรูเดียว ผลของความหนืดและความถ่วงจำเพาะของน้ำมันพืชสกัดที่มีต่อความเร็วสเปร์ยจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อความหนืดและความถ่วงจำเพาะลดลงจะทำให้ความเร็วสเปร์ยสูงขึ้น ผลการทดลองสามารถแบ่งกลุ่มน้ำมันพืชสกัดตามพฤติกรรมของความหนืดและถ่วงจำเพาะที่มีต่อความเร็วสเปร์ยได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกได้แก่น้ำมันมะพร้าว กลุ่มที่สองได้แก่น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันเมล็ดทานตะวัน กลุ่มที่สามได้แก่น้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว โดยกลุ่มแรกจะมีความเร็วสเปร์ยสูงสุด กลุ่มที่สองและสามมีความเร็วต่ำกว่าตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่าแม้จะทำการเพิ่มอุณหภูมิให้น้ำมันพืชสกัดเพื่อให้มีความหนืดหรือความถ่วงจำเพาะเท่ากัน ก็ไม่สามารถทำให้ความเร็วสเปร์ยเท่ากันได้ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าความเร็วสเปร์ยของน้ำมันพืชสกัดยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติอื่น ๆ ของน้ำมันพืชสกัดอีก นอกจากความหนืดและความถ่วงจำเพาะ และจากข้อสรุปนี้อาจกล่าวได้ว่า ถึงแม้จะทำการเพิ่มอุณหภูมิให้น้ำมันพืชเพื่อให้ให้น้ำมันพืชมีความหนืดหรือความถ่วงจำเพาะเท่ากับน้ำมันดีเซล ก็ไม่สามารถทำให้สเปร์ยน้ำมันพืชสกัดมีความเร็วเท่ากับสเปร์ยน้ำมันดีเซลได้



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1) กรณีหัวฉีดแบบรูเดียว มุมสเปรย์ของน้ำมันมะพร้าวจะมีค่ามากที่สุด ส่วนน้ำมันพืชสกัดชนิดอื่นจะมีมุมสเปรย์ใกล้เคียงกัน น้ำมันมะพร้าวจะมีความเร็วสเปรย์สูงสุด รองลงมาเป็นน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันรำข้าวและน้ำมันปาล์ม โดยมีความเร็วเป็น 69% , 50% , 60% , 51% และ 57% ของน้ำมันดีเซลตามลำดับ

2) กรณีหัวฉีดแบบ 4 รู มุมสเปรย์ของน้ำมันพืชสกัดจะมีค่าใกล้เคียงกัน น้ำมันมะพร้าวจะมีความเร็วสเปรย์สูงสุด รองลงมาเป็นน้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันรำข้าว น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันปาล์มตามลำดับ

3) กรณีหัวฉีดรูเดียวการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืชสกัดเป็น  $90^{\circ}\text{C}$  จะทำให้สเปรย์น้ำมันพืชสกัดมีความเร็วเพิ่มขึ้น 15 – 30 % ส่วนการเพิ่มความดันหัวฉีดเป็น 20 MPa จะทำให้สเปรย์น้ำมันพืชสกัดมีความเร็วเพิ่มขึ้น 100 – 143 %

4) กรณีหัวฉีดรูเดียวมุมสเปรย์ของน้ำมันพืชสกัดจะน้อยกว่าสเปรย์น้ำมันดีเซล การเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืชสกัดเป็น  $90^{\circ}\text{C}$  จะทำให้มุมสเปรย์ของน้ำมันพืชสกัดเพิ่มขึ้น 5 – 13% ส่วนการเพิ่มความดันหัวฉีดเหลือเป็น 20 MPa จะทำให้ทำให้มุมสเปรย์เพิ่มขึ้น 20 – 90 %

5) สำหรับน้ำมันพืชดิบ น้ำมันมะพร้าวดิบจะมีลักษณะสเปรย์และความเร็วสเปรย์ใกล้เคียงกับน้ำมันมะพร้าวสกัด ส่วนน้ำมันปาล์มดิบผสมน้ำมันดีเซลจะมีมุมสเปรย์ 16.0 องศา มากกว่าน้ำมันปาล์มสกัดที่มีมุมสเปรย์ 7.5 องศา และมีความเร็วสเปรย์สูงกว่าน้ำมันปาล์มสกัด 17% แต่ก็ยังมีความเร็วต่ำกว่าน้ำมันดีเซล โดยมีความเร็วเพียง 59% ของน้ำมันดีเซล

6) การเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืชสกัดจะทำให้ความหนืดและความถ่วงจำเพาะลดลง แต่ความเร็วสเปรย์และมุมสเปรย์ของน้ำมันพืชสกัดยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติอื่นๆ นอกจากความหนืดและความถ่วงจำเพาะ

7) เมื่อความหนืดและความถ่วงจำเพาะของน้ำมันพืชสกัดลดลง จะทำให้ความเร็วสเปรย์เพิ่มขึ้น และทำให้มุมสเปรย์เพิ่มขึ้น

8) การลดความหนืดของน้ำมันพืชอาจจะต้องเพิ่มอุณหภูมิแก่น้ำมันพืชสกัดถึง  $150^{\circ}\text{C}$  จึงจะให้น้ำมันพืชสกัดมีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ที่อุณหภูมินี้มีค่าสูงกว่าจุดวาบไฟของน้ำมันพืชสกัด

ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงระบบจ่ายเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ที่ใช้น้ำมันพืชสกัดเป็นเชื้อเพลิง สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้หัวฉีดแบบรูเดียว ขั้นแรกควรปรับความดันหัวฉีดขึ้นอีกประมาณ 8 MPa เพื่อให้สเปรย์น้ำมันพืชสกัดมีความเร็วใกล้เคียงกับสเปรย์น้ำมันดีเซล ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปจะต้องปรับจิ้งหะการฉีดเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้กำลังเครื่องยนต์สูงสุด เนื่องจากการปรับความดันหัวฉีดอาจทำให้จิ้งหะการฉีดเชื้อเพลิงเปลี่ยนไป

สำหรับหัวฉีดแบบ 4 รู ความเร็วสเปรย์ในช่วง 1 – 4 ms จะต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่ในช่วงหลังจาก 4 ms จะมีความเร็วสูงกว่า ทำให้สเปรย์น้ำมันพืชสกัดพุ่งไปได้ไกลกว่า สเปรย์จะไปชนหัวลูกสูบหรือผนังกระบอกสูบ ก่อให้เกิดเขม่าสะสมในห้องเผาไหม้ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องทำการปรับปรุงสเปรย์น้ำมันพืชโดยการเพิ่มอุณหภูมิหรือเพิ่มความดันหัวฉีด การใช้ น้ำมันพืชสกัดเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลเล็กแบบหัวฉีด 4 รู อาจเพียงแค่ปรับจิ้งหะการฉีดเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้กำลังสูงสุดเท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] Akor A.J., Chancellor W.J., Raubach N. "The Potential of Palm Oil as a Motor Fuel." **Transaction of ASAE**. Vol.26, 1983.
- [2] Yutiamco A., Sangbangpla P., Wibulswas P. "C.I.Engine Operation on Coconut and Palm Oils." **Proc.of ASEAN Conf. on Energy from Biomass**. ASEAN Working Group on Non Conventional Energy Research. 1986.
- [3] Hassan M.H. Mat S. "Performance Evaluation of Palm Oil-Diesel Blend in Small Engine." **International Journal of Heat and Mass Transfer**. Vol.13, No.3, 1991.
- [4] Cruz I.E., Santos A.C. "Coconut Oil as Diesel Fuel Extender : The Philippine Experience." **ASEAN Sem. W'Shop on Enman. Tech. In Transport Sector**. Dec 1986.
- [5] Obert E.F. **Internal Combustion Engine and Air Pollution**. New York : Intext Educational Publishers, pp. 122 – 124, 1973.
- [6] Bruwer J.J. "The Utilization of Sunflower Seed Oil as a Renewable Fuel for Diesel Engine." **The Effects of Vegetable Oil Properties on Injection and Symposium of the South Africa Institute**. 1990.
- [7] Ryan T.W., Dodge L.G., Callahan "Combustion in Two Different Diesel Engine." **JAOS**. Vol.61, No.10, 1994.
- [8] Musjuki Hassan, Abdulmuin Zaki Mohd, Sii How Sing "The Effect of Preheated Palm Oil Diesel on Combustion and Emissions in a Light-Duty IDI Diesel Engine" **4<sup>th</sup> ASEAN S&T Week**. Vol.61, pp. 144-151, 1995.
- [9] I.E. Cruz, A.C. Santos "Coconut Oil as Diesel Fuel Extender : The Philippine Experience" **ASEAN Sem. W'Shop on Enman.Tech in Transport Sector**. 1986.
- [10] A. Serdari, K. Fragioudakis, C. Teas, F.Sakellaropoulos, F. Zannikos, S. Stourmas "Adding Biodiesel Corn Oil and Sunflower Oil to Diesel Fuel : The Impact on the Performance of Conventional Road Vehicles" **Journal of the Institute of Energy**. Vol 71, pp. 126 – 136, Sep 1998.
- [11] J.B. Heywood "**Internal Combustion Engine Fundamentals**" McGRAW – HILL, International Editions, pp. 529 – 531, 1988.

- [12] Sung Wook Park, Hyung Jun Kim, Chang Sik Lee “Investigation of Atomization Characteristics and Prediction Accuracy of Hybrid Models for High-Speed Diesel Fuel Sprays” **2003 SAE World Congress**. March 3-6, 2003.
- [13] Zhao Min Cao, Koichi Nisshino, Shigehiro Mizuno, Kahoru Torii “Spray Structure and Associated Droplet Velocity in the Initial Stage of Diesel Fuel Injection” **JSME International Journal**. Vol.43, 2000.
- [14] Spray System Co. 2000. **Engineer’s Guide to Spray Technology**. [Online]  
Available : <http://www.spray.com>
- [15] Murari Mohon Roy., Hideyuki Tsunemoto., Hiromi Ishitani. “Effect of MTBE and DME on Odorous Emissions in a DI Diesel Engine” **JSME International Journal**. Vol.43, 2000.
- [16] Masahiro Ishida., Norimichi Amimoto., Tetsuya Tagai., Daisaku Sakaguchi., “Effect of EGR and Preheating on Natural Gas Combustion Assisted with Gas-Oil in a Diesel Engine” **The Fifth International Symposium on Diagnostics and Modelling of Combustion in Internal Combustion Engine**. Nagoya, Jul 2001.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

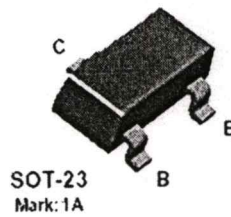


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

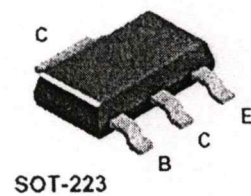
## 2N3904



## MMBT3904



## PZT3904



## NPN General Purpose Amplifier

This device is designed as a general purpose amplifier and switch. The useful dynamic range extends to 100 mA as a switch and to 100 MHz as an amplifier.

Absolute Maximum Ratings\*  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CE0}$	Collector-Emmitter Voltage	40	V
$V_{CB0}$	Collector-Base Voltage	60	V
$V_{EB0}$	Emitter-Base Voltage	6.0	V
$I_C$	Collector Current - Continuous	200	mA
$T_J, T_{stg}$	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

\*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

## NOTES:

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

Thermal Characteristics  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

Symbol	Characteristic	Max			Units
		2N3904	*MMBT3904	**PZT3904	
$P_{D1}$	Total Device Dissipation Derate above 25 $^\circ\text{C}$	625 5.0	350 2.8	1,000 8.0	mW mW/ $^\circ\text{C}$
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3			$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	125	$^\circ\text{C}/\text{W}$

\* Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.5" X 0.06"

\*\* Device mounted on FR-4 PCB 36 mm X 18 mm X 1.5 mm; mounting pad for the collector lead min. 6 cm<sup>2</sup>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## NPN general purpose transistors

## BC546; BC547

## FEATURES

- Low current (max. 100 mA)
- Low voltage (max. 65 V).

## APPLICATIONS

- General purpose switching and amplification.

## DESCRIPTION

NPN transistor in a TO-92, SOT54 plastic package.  
PNP complements: BC556 and BC557.

## PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector

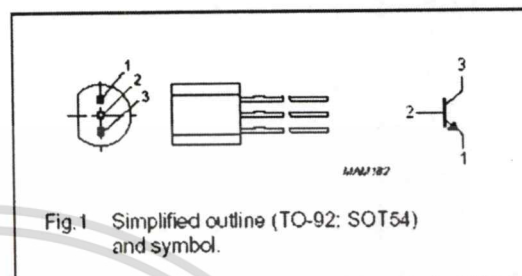


Fig. 1 Simplified outline (TO-92: SOT54) and symbol.

## LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{CB0}$	collector-base voltage	open emitter	-	80	V
	BC546		-	50	V
$V_{CE0}$	collector-emitter voltage	open base	-	65	V
	BC547		-	45	V
$V_{EB0}$	emitter-base voltage	open collector	-	6	V
	BC546		-	6	V
$I_C$	collector current (DC)		-	100	mA
$I_{CM}$	peak collector current		-	200	mA
$I_{BM}$	peak base current		-	200	mA
$P_{tot}$	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$ ; note 1	-	500	mW
$T_{stg}$	storage temperature		-65	+150	°C
$T_j$	junction temperature		-	150	°C
$T_{amb}$	operating ambient temperature		-65	+150	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# BD135 BD137/BD139

## NPN SILICON TRANSISTOR

### ■ SGS-THOMSON PREFERRED SALESTYPES

#### DESCRIPTION

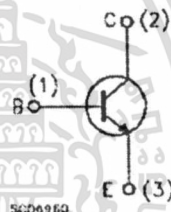
The BD135, BD137 and BD139 are silicon epitaxial planar NPN transistors in Jedec SOT-32 plastic package, designed for audio amplifiers and drivers utilizing complementary or quasi complementary circuits.

The complementary PNP types are the BD136, BD138 and BD140.



SOT-32

#### INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM



#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value			Unit
		BD135	BD137	BD139	
$V_{CB0}$	Collector-Base Voltage ( $I_E = 0$ )	45	60	80	V
$V_{CE0}$	Collector-Emitter Voltage ( $I_B = 0$ )	45	60	80	V
$V_{EB0}$	Emitter-Base Voltage ( $I_C = 0$ )	5			V
$I_C$	Collector Current	1.5			A
$I_{CM}$	Collector Peak Current	3			A
$I_B$	Base Current	0.5			A
$P_{tot}$	Total Dissipation at $T_c \leq 25^\circ\text{C}$	12.5			W
$P_{tot}$	Total Dissipation at $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	1.25			W
$T_{stg}$	Storage Temperature	-65 to 150			$^\circ\text{C}$
$T_J$	Max. Operating Junction Temperature	150			$^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**COMPLEMENTARY SILICON PLASTIC  
POWER TRANSISTORS**

... designed for use in general purpose power amplifier and switching applications.

**FEATURES:**

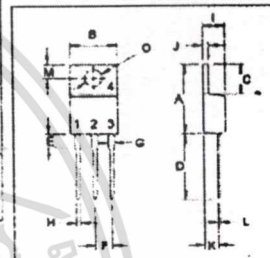
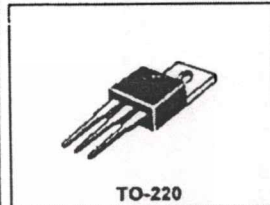
- \* Collector-Emitter Sustaining Voltage -  
 $V_{CE(sus)}$  = 45V(Min)- BD905, BD906  
 60V(Min)- BD907, BD908  
 80V(Min)- BD909, BD910  
 100V(Min)- BD911, BD912
- \* DC Current Gain  $hFE = 40(\text{Min}) @ I_C = 0.5A$
- \* Current Gain-Bandwidth Product  $fT = 3.0 \text{ MHz} (\text{Min}) @ I_C = 500mA$

NPN	PNP
BD905	BD906
BD907	BD908
BD909	BD910
BD911	BD912

**15 AMPERE  
COMPLEMENTARY SILICON  
POWER TRANSISTORS  
45 -100 VOLTS  
90 WATTS**

**MAXIMUM RATINGS**

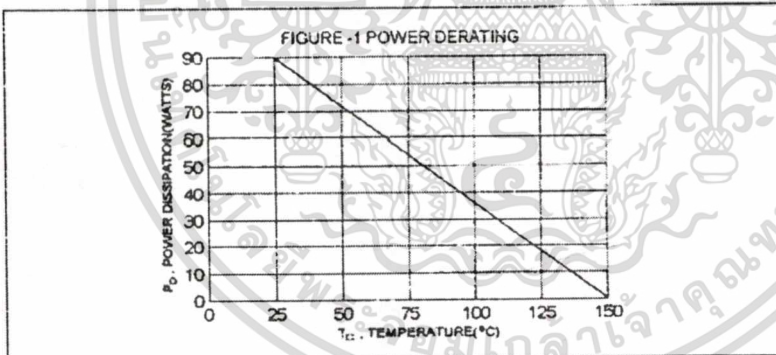
Characteristic	Symbol	BD905 BD906	BD907 BD908	BD909 BD910	BD911 BD912	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	45	60	80	100	V
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	45	60	80	100	V
Emitter-Base Voltage	$V_{EBO}$	5.0				V
Collector Current - Continuous - Peak	$I_C$	15 20				A
Base Current	$I_B$	5.0				A
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ C$ Derate above $25^\circ C$	$P_D$	90 0.72				W W/ $^\circ C$
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{STG}$	-65 to +150				$^\circ C$



PN 1.BASE  
2.COLLECTOR  
3.EMITTER  
4.COLLECTOR(CASE)

**THERMAL CHARACTERISTICS**

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta jc}$	1.38	$^\circ C/W$



DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	14.68	15.31
B	9.78	10.42
C	5.01	6.52
D	13.06	14.62
E	3.57	4.07
F	2.42	3.66
G	1.12	1.38
H	0.72	0.96
I	4.22	4.98
J	1.14	1.38
K	2.20	2.97
L	0.33	0.55
M	2.48	2.88
O	3.70	3.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SN5414, SN54LS14,  
SN7414, SN74LS14**  
**HEX SCHMITT-TRIGGER INVERTERS**  
SDLS049B - DECEMBER 1983 - REVISED FEBRUARY 2002

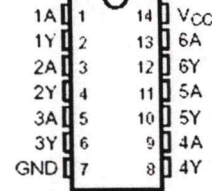
- Operation From Very Slow Edges
- Improved Line-Receiving Characteristics
- High Noise Immunity

**description**

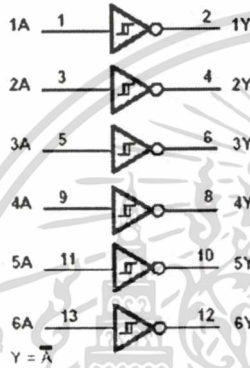
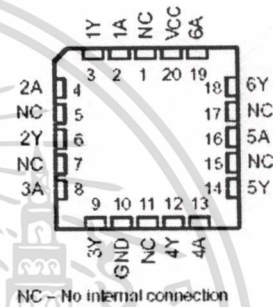
Each circuit functions as an inverter, but because of the Schmitt action, it has different input threshold levels for positive-going ( $V_{T+}$ ) and negative-going ( $V_{T-}$ ) signals.

These circuits are temperature compensated and can be triggered from the slowest of input ramps and still give clean, jitter-free output signals.

SN5414, SN54LS14 . . . J OR W PACKAGE  
SN7414 . . . D, N, OR NS PACKAGE  
SN74LS14 . . . D, DB, OR N PACKAGE  
(TOP VIEW)



SN54LS14 . . . FK PACKAGE  
(TOP VIEW)



**ORDERING INFORMATION**

TA	PACKAGE†	ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING		
0°C to 70°C	PDIP - N	Tube	SN7414N		
		Tube	SN74LS14N		
	SOIC - D	Tube	SN7414D	7414	
		Tape and reel	SN7414DR		
		Tube	SN74LS14D	LS14	
		Tape and reel	SN74LS14DR		
-55°C to 125°C	SOP - NS	Tape and reel	SN7414NSR	SN7414	
		SSOP - DB	Tape and reel	SN74LS14DBR	LS14
			CDIP - J	Tube	SN5414J
	Tube	SNJ5414J		SNJ5414J	
	Tube	SN54LS14J		SN54LS14J	
	CFP - W	Tube	SNJ5414W	SNJ5414W	
Tube		SNJ54LS14W	SNJ54LS14W		
LCCC - FK		Tube	SNJ54LS14FK	SNJ54LS14FK	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ภาคผนวก ข.

#### ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. C. Charoenphonphanich, K. Jempremjit and C. Thumthae, “Visualization of Fuel Spray for Alternative Fuel Engine”, 8<sup>th</sup> Asian Symposium on Visualization, Chiangmai, Thailand, May 2005.
2. กิตติ เอี่ยมเปรมจิต, คำวิหิ์ จันทร์แสงสุก, และ จินดา เจริญพรพาณิชย์, “สเปรย์เชื้อเพลิงของน้ำมันพืชสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19, จังหวัดภูเก็ต, ตุลาคม 2548

# Asian Symposium on Visualization



*Proceedings of the Abstracts of  
The 3<sup>rd</sup> Asian Symposium  
on Visualization  
May 23-27, 2005  
Chiangmai, Thailand*

## Visualization of Fuel Spray for Alternative Fuel Engine

C. Charoenphonphanich<sup>1)</sup>, K. Iempremjit<sup>1)</sup> and C. ThumThae<sup>2)</sup>

1) Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand  
Tel. 66(2) 326-4197/ FAX 66(2) 326-4198 e-mail: [kchhind@kmitl.ac.th](mailto:kchhind@kmitl.ac.th)

2) Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasem Bundit University,  
Thailand

Corresponding author C. Charoenphonphanich

### Abstract

The injection of the alternative fuels for IC engine including gas and liquid phase is visualized. CNG, LPG, ethanol and vegetable oils are individually injected into the constant volume chamber. The images of fuel injection are taken by still camera and schlieren set up. The development of spray is observed by synchronizing the injection timing and camera shutter opening with microcomputer. The results show the shape and development of spray and jet at various conditions. The penetration length and velocity of the vegetable oil injection are also examined. In case of vegetable oils, the modification is required because the injection spray is worse than diesel due to its higher viscosity.

**Keyword:** Schlieren, Fuel Injection, Engine and Alternative Fuel

### 1. Introduction

The application of alternative fuels is aimed to reduce the amount of petroleum imported, promote Thai economics, and improve air quality. Many types of fuel such as CNG, LPG, Alcohols and Bio-diesel are considered as alternative fuels. The mixture formation within the combustion chamber that controls the combustion is greatly influenced by the injection characteristics. It is necessary to properly control for the mixture formation in engine cylinders especially direct injection engine in order to obtain stable combustion. Many researchers have studied about the fluid motion<sup>[1]</sup> and mixture information<sup>[2],[3]</sup> in the engine cylinder. Obert<sup>[4]</sup> and Bruwer<sup>[5]</sup> indicated that vegetable oil have been experimentally tested to have potential as an alternative diesel fuel for the past few decades in many nations. However, research finding have also revealed that long-term engine durability is adversely affected by the use of vegetable oils as fuel. These problems can be traced back to the high viscosity, low volatility and the reactivity of the unsaturated hydrocarbon. Ryan<sup>[6]</sup> found the poor injection characteristics of vegetable oils are a major cause of the problems reported in endurance tested.

Visualization of the fuel injection provides useful information concerns with combustion process. In this paper, the injection of alternative fuel is visualized by means of Schlieren and still camera. The gas phase fuels, CNG and LPG are visualized by schlieren. The vegetable oil spray is visualized by still camera and its velocity is also measured. Ethanol spray is visualized by both of still camera and schlieren to observe its liquid and gas phase respectively.

### 2. Experiment

Figure 1 shows the experimental apparatus including schlieren and velocity measurement set up. Figure 1(a) shows the schlieren setup. The test chamber is located at the test section of Schlieren setup. The gas injector is installed in a test chamber. N<sub>2</sub> is used to add pressure in the chamber. The vacuum pump is used for removing the residual gas after injection. Generally, a high-speed video camera is used for this type of experiment to obtain continuous images of the injection. However, for this study, a still camera was used, as it is an economical alternative. The micro controller is

programmed to send two signals for starting the injection and opening the camera shutter. Only one image is taken for one injection process. It is assumed that the gas jet is not change significantly for each injection process. The development of the gas jet is observed by taking the images at different times. The duration time between the start of injection and the camera shutter opening is changed for each image. This schlieren set up is used for taking the images of CNG, LPG jet and gas phase of ethanol spray. In case of liquid phase fuel, the schlieren set is moved out then the images are taken with only still camera. Figure 1(b) shows the velocity measurement set up that used for measuring the spray penetration and velocity of the vegetable oils. The vegetable oils used for this study are refined oils.

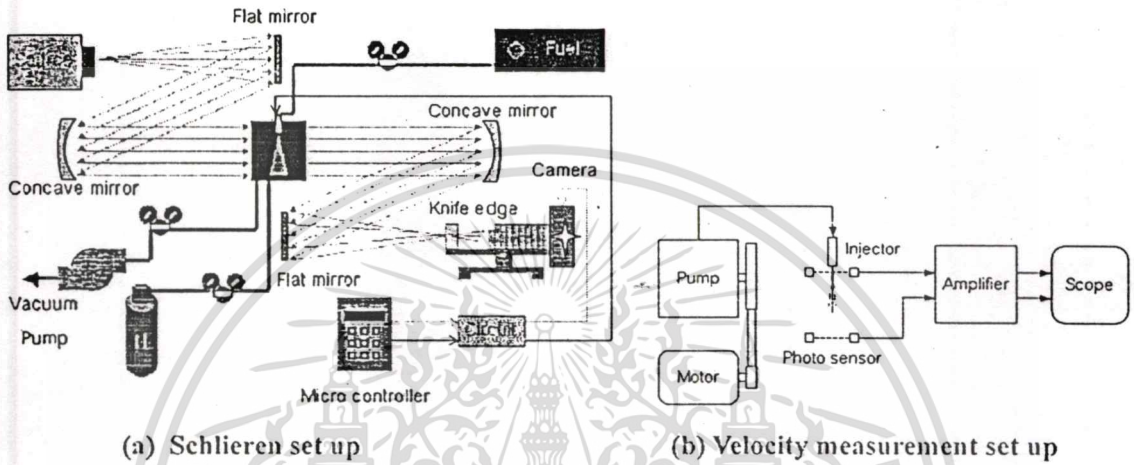


Fig.1 Experimental apparatus

3. Results

3.1 CNG Jet

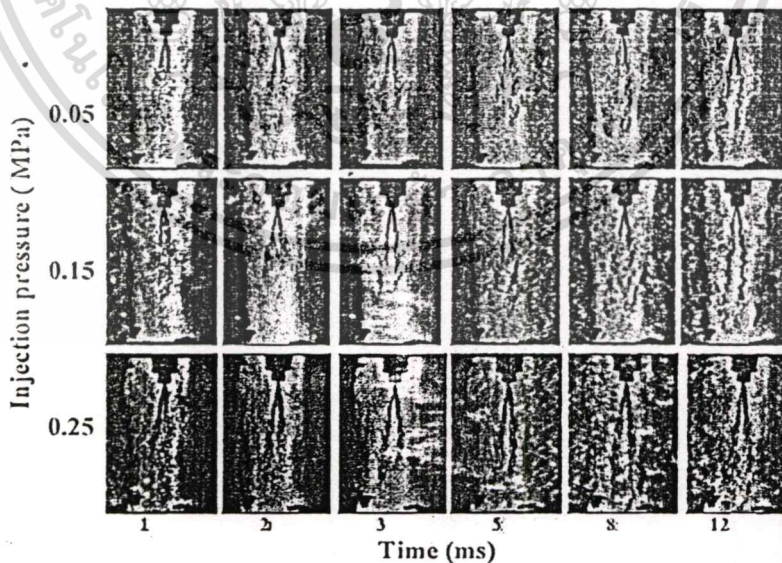


Fig. 2 Effect of injection pressure on CNG jet at chamber pressure 0.1 MPa

Figure 2 shows the CNG jet at various injection pressures. The injection pressure was varied at 0.05, 0.15 and 0.25 MPa. The CNG jet penetration is little longer with higher injection pressure. The shape of the CNG jet is not much different at each injection pressure.

3.2 LPG Jet

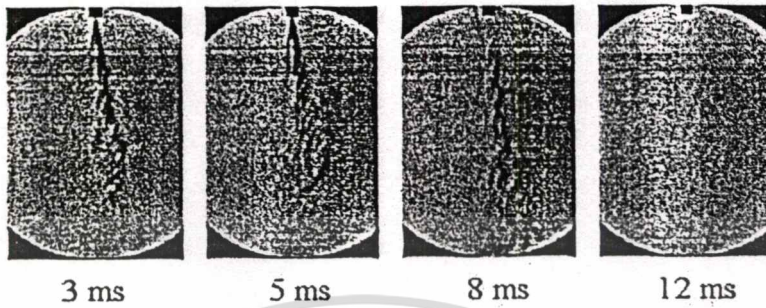


Fig. 3 The gas phase LPG jet (Injection pressure 0.8 MPa)

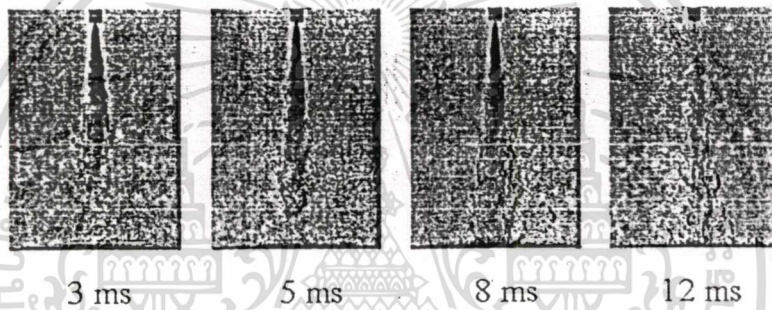


Fig. 4 The liquid phase LPG jet (Injection pressure 0.8 MPa)

Figures 3 and 4 show the LPG jet in gas and liquid phase respectively, injected into atmospheric pressure. The injection pressure is 0.8 MPa. The shape of LPG jet is similar to the CNG jet. In case of gas phase injection, the spray angle is larger than liquid phase injection.

3.3 Ethanol and gasoline spray

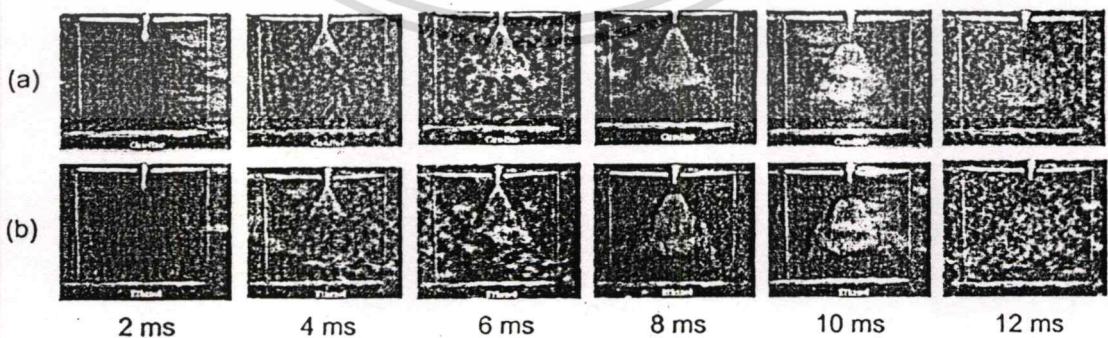


Fig. 5 Spray pattern of (a) gasoline and (b) ethanol (still camera)

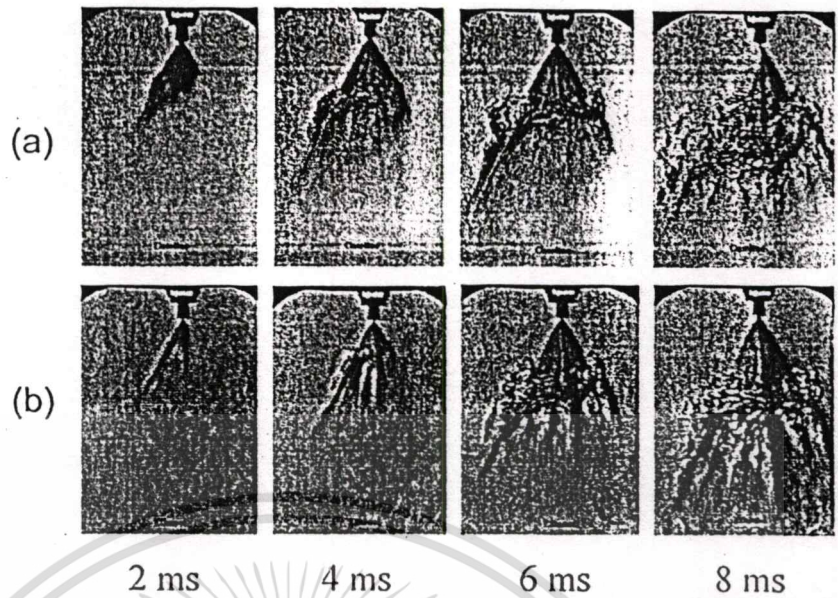


Fig. 6 Spray pattern of (a) gasoline and (b) ethanol (schlieren method)

The study of spray characteristics of gasoline (ON 95) and ethanol (99.5%) was conducted in the test chamber and observed by Schlieren set. The injection pressure and temperature is 2 MPa and 30 °C respectively. The images of fuel spray are shown in Figures 5 and 6. The spray penetration length of ethanol is greater than gasoline due to its lower evaporation rate. The still camera was used for capturing the image of liquid phase whereas the Schlieren was used for capturing the images of both liquid and gas phases.

### 3.4 Vegetable oil spray

Spray of vegetable oils and diesel at 4 ms after start of injection are shown in Figure 7. The spray penetration lengths of vegetable oils are lower than diesel due to its high viscosity and low volatility of vegetable oils. Figure 8 shows spray development of neat vegetable oil injected by 4-hole injector. The injection pressure and ambient temperature are 17 MPa and 30 °C respectively. Results show the poor injection characteristics of vegetable oils. Spray angle among vegetable oils are similar. The penetration length of vegetable oils is shorter than diesel. Figure 9 shows the spray penetration length and velocity of diesel spray. The velocity is calculated from the penetration length and time. Velocity of diesel, coconut, palm, soy bean, rice bran and sunflower oil for single-hole injector are 74, 51, 37, 44, 38 and 43 m/s respectively. The velocities of vegetable oil spray are much lower than diesel. The highest spray velocity of vegetable oil in this research is coconut oil.

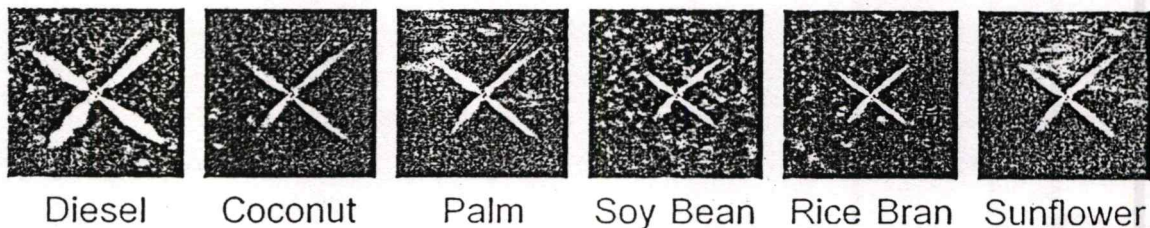


Fig. 7 Vegetable oil spray injected by 4-holes injector at 4 ms after start of injection

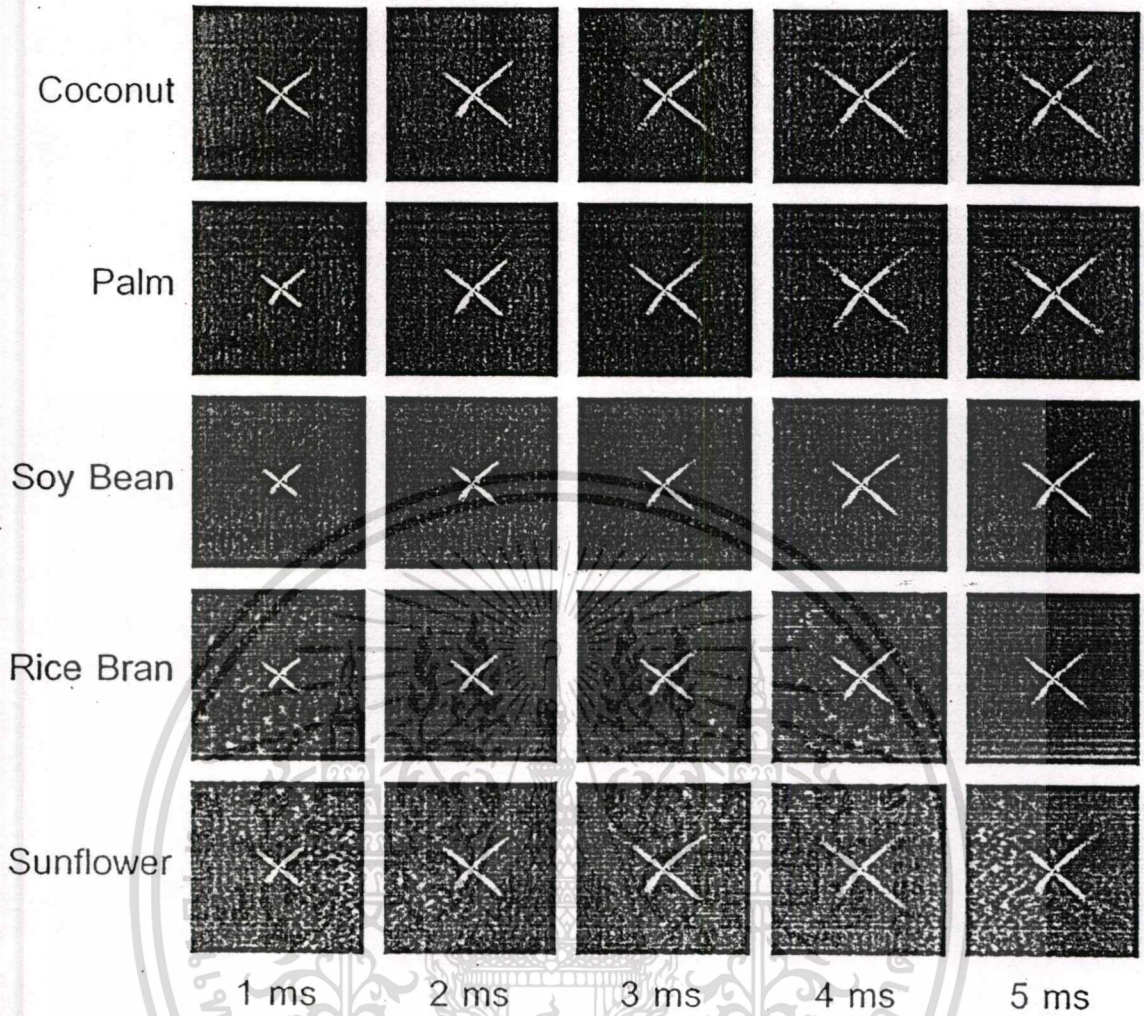


Fig. 8 Development of vegetable oils spray injected by 4-holes injector

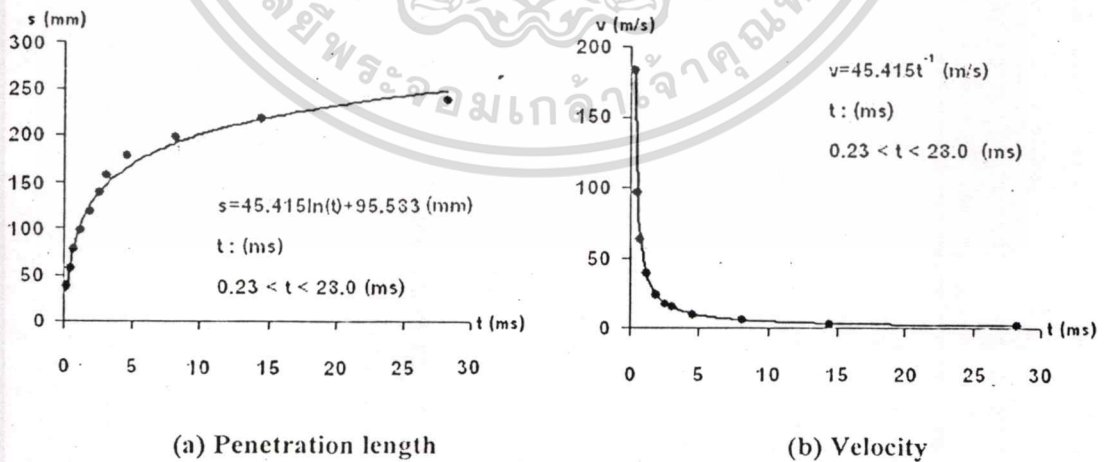


Fig. 9 Penetration length and velocity of diesel spray

#### 4. Conclusions

The fuel injection of LPG, CNG, ethanol and vegetable oils are visualized. The results can be summarized as follow:

- (1) CNG and LPG jet are visualized by means of schlieren. CNG and gas phase of LPG jet pattern are similar. Penetration length of CNG is slightly longer in higher injection pressure. The spray angle of LPG in liquid phase is little smaller than in gas phase.
- (2) Ethanol spray is visualized by means of schlieren and still camera. The spray pattern of gasoline and ethanol are similar. The penetration length of ethanol is longer than gasoline due to its lower evaporation rate.
- (3) The spray of vegetable oils including palm, coconut, rice bran, soybean and sunflower are visualized by using the still camera. The spray angle of all vegetable oils is much smaller than diesel. The spray velocity of coconut oil is the highest in this study.

#### References

- [1] Laura M. Ricart and John E. DEC, "Comparisons of Diesel Spray Liquid Penetration and Vapor Fuel Distributions With In-Cylinder Optical Measurements", *ASME*, Vol. 122, (2000)
- [2] Masao K., Kimitaka S., Masatoshi B., Souichi, M. and Takeshi G., "Analysis of Mixture Formation of Direct Injection Gasoline Engine", *JSAE*, 9930072, (1999)
- [3] Chinda Charoenphonphanich, and Pongsak Kamool, "Visualization of an Alternative Fuel Injection by Schlieren Method", *The 10th International Symposium on Flow Visualization*, August, Kyoto, Japan, (2002)
- [4] Obert E.F. " *Internal Combustion Engine and Air Pollution.*" New York : Intext Educational Publishers, (1973)
- [5] Bruwer J.J. "The Utilization of Sunflower Seed Oil as a Renewable Fuel for Diesel Engine.". *Symposium of the South Afroca Institute*, (1990)
- [6] Ryan T.W., Dodge L.G. and Callahan T.J. "The Effects of Vegetable Oil Properties on Injection and Combustion in Two Different Diesel Engine." *JAOCS*, Vol.61, No.10, (1994)

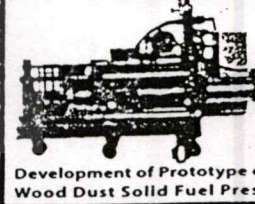
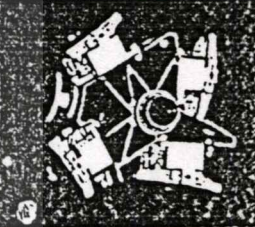
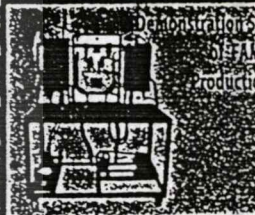


# ME-NETT

การประชุมวิชาการวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย

ครั้งที่ 13 - 21 ตุลาคม 2548

ณ โรงแรม เดอะ รอยัล พาราไดส์



- Energy Technology and Management
- Thermal Systems and Fluid Mechanics
- Applied Mechanics, Materials and Manufacturing
- Dynamic Systems, Robotics and Control
- Aerospace and Marine Engineering
- Computational and Simulation Techniques
- Other Topics

ISBN 974-9944-

## สเปรย์เชื้อเพลิงของน้ำมันพืชสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก Fuel Spray of Vegetable Oil for Small Diesel Engines

กิตติ เอี่ยมเปรมจิต<sup>1</sup> ดาริห์ จันทรแสงสุก และ จินดา เจริญพรพาณิชย์<sup>2</sup>  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520  
โทร 0-2326-4197 โทรสาร 0-2326-4198 E-mail: kitthi@thaimail.com<sup>1</sup> kchchind@kmitl.ac.th<sup>2</sup>

Kitti Iempremjit<sup>1</sup> Dumrih Junsangsook and Chinda Charoenphonphanich  
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Ladkrabang  
Chalongkrung Rd. Ladkrabang Bangkok 10520 Thailand  
Tel: 0-2326-4197 Fax: 0-2326-4198 E-mail: kitthi@thaimail.com<sup>1</sup> kchchind@kmitl.ac.th<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการฉีดเชื้อเพลิงของพลังงานทดแทนชนิดต่าง ๆ คือ น้ำมันพืชและน้ำมันพืชผสมดีเซล ด้วยหัวฉีดแบบต่างๆ ซึ่งลักษณะการฉีดเชื้อเพลิงและการกระจายตัวของเชื้อเพลิงต่างๆนี้จะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ เป็นข้อมูลพื้นฐานซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการพัฒนาเครื่องยนต์ให้มีประสิทธิภาพต่อไป ผลการทดลองพบว่า ความเร็วของสเปรย์น้ำมันพืชจะต่ำกว่าความเร็วสเปรย์น้ำมันดีเซลมาก ทำให้การกระจายตัวของสเปรย์น้ำมันพืชมีลักษณะต้อยกว่าสเปรย์น้ำมันดีเซล การปรับปรุงสเปรย์น้ำมันพืชด้วยการเพิ่มอุณหภูมิหรือความดันจะทำให้ลักษณะการกระจายตัวของสเปรย์ดีขึ้น คำหลัก การฉีด, น้ำมันพืช, เครื่องยนต์สันดาปภายใน

### Abstract

This research aims to study spray characteristics of neat vegetable oils and blended vegetable oils. The injection nozzle of DI (Direct injection) and IDI (Indirection injection) engine were used for this study. The spray penetration length, spray velocity and spray angle were determined. Experimental results show the spray velocity of vegetable oil is lower than diesel. The spray angle of vegetable oil is less than diesel. However the increasing of oil temperature and injection pressure provides good effect to the vegetable oil spray.

**Keywords:** Injection, Vegetable Oil, IC Engine

### 1. บทนำ

ปัจจุบันการศึกษาเรื่องพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงในรถยนต์มีขึ้นทั่วโลกเพื่อลดการใช้้ำมันดิบซึ่งมีอยู่จำกัด และเพื่อลดมลพิษที่ออกมาจากไอเสียของรถยนต์ พลังงานทดแทนที่มีความเป็นไปได้ว่าสามารถนำมา

ทดแทนน้ำมันได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ เอทานอลซึ่งสามารถกลั่นจากผลผลิตทางการเกษตร น้ำมันพืช เป็นต้น อย่างไรก็ตามการนำเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนเหล่านี้มาใช้ในเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันในปัจจุบันจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเครื่องยนต์เพื่อให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิงชนิดนั้นๆ ในการพัฒนาปรับปรุงเครื่องยนต์พลังงานทดแทนให้มีประสิทธิภาพสูงและมีมลพิษต่ำ จำเป็นต้องมีการศึกษาและปรับปรุงขบวนการเผาไหม้ ให้มีการเผาไหม้สมบูรณ์ที่สุดและได้กำลังมากที่สุด ซึ่งองค์ประกอบสำคัญในการเผาไหม้ ได้แก่การกระจายตัวของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้, ลักษณะการไหลของของผสม และจังหวะในการจุดระเบิด ที่ผ่านมามีงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาการฉีดและสเปรย์เชื้อเพลิงในปัจจุบันอยู่บ้าง [1,2] แต่สำหรับเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนยังมีอยู่น้อย[3] รายงานการวิจัยภายในประเทศยังไม่เคยมี

### 2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

สภาวะการทดลองเพื่อปรับปรุงรูปแบบสเปรย์แสดงในตารางที่ 1  
ตารางที่ 1 สภาวะการทดลอง

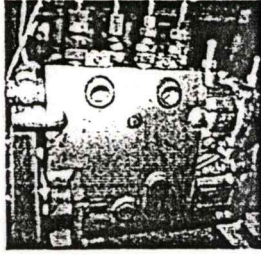
น้ำมันพืชที่ใช้ทดลอง	มะพร้าว, ปาล์ม, ถั่วเหลือง, ไร่ข้าว, เม็ดทานตะวัน
หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	หัวฉีดรูเดียวและหัวฉีด 4 รู
อุณหภูมิทดลอง	30, 50, 70, 90 °C
แรงดันการฉีดเชื้อเพลิงหัวฉีดรูเดียว	80, 120, 160, 200 MPa
แรงดันการฉีดเชื้อเพลิงหัวฉีด 4 รู	170, 210, 250, 290 MPa

### 2.1 อุปกรณ์การทดลอง

การทดลองจะใช้ระบบจ่ายเชื้อเพลิงดีเซล ประกอบด้วยปั๊มแรงดันสูง หัวฉีดแบบรูเดียวและหัวฉีดแบบ 4 รู ปั๊มแรงดันสูงจะเป็นของ Kiki

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ ดังในรูปที่ 1



รูปที่ 1 บี้มจ่ายเชื้อเพลิงแรงดันสูง

หัวฉีดแบบรูปเดียวเป็นหัวฉีดของคูโบต้า แรงดันการฉีดเชื้อเพลิง 120 บาร์ ดังในรูปที่ 2 ส่วนหัวฉีดแบบ 4 รูปเป็นหัวฉีดของยันมาร์ แรงดันการฉีดเชื้อเพลิง 210 บาร์ ดังในรูปที่ 3

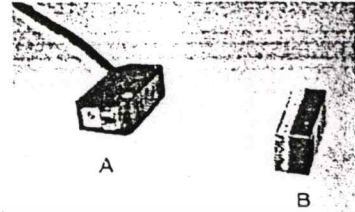


รูปที่ 2 หัวฉีดรูปเดียว

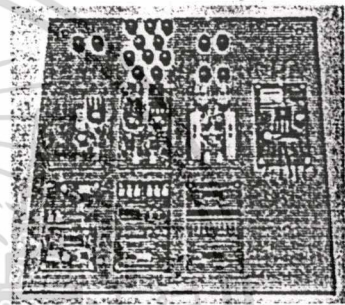


รูปที่ 3 หัวฉีด 4 รู

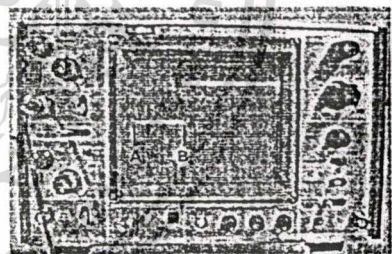
ทั้ง 2 ตัว จะเกิดสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังชุดขยาย (Amplifier) และออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) จะเป็นตัวแสดงรูปสัญญาณ (Pulses) ที่ได้จากเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัว ทำให้สามารถวัดช่วงเวลาห่างของสัญญาณระยะทางจะได้จากระยะห่างของตัวเซนเซอร์ เมื่อนำมาหารด้วยช่วงเวลาที่ได้จากสโคป จะได้ความเร็วของสเปร์ย์หัวฉีด ดังในรูปที่ 4



รูปที่ 5 โฟโตเซนเซอร์

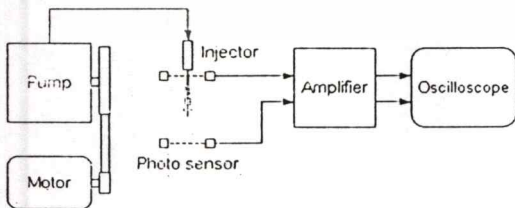


รูปที่ 6 วงจรขยายสัญญาณ



รูปที่ 7 ออสซิลโลสโคป

2.2 วิธีการวัดความเร็วสเปร์ย์



รูปที่ 4 วิธีการวัดความเร็วสเปร์ย์หัวฉีด

การวัดความเร็วของสเปร์ย์ จะใช้โฟโตเซนเซอร์ (Photo sensor) จำนวน 2 ตัว ติดตั้งห่างกันในระยะที่ต้องการ เมื่อสเปร์ย์ผ่านเซนเซอร์

รูปที่ 5 แสดงตัวโฟโตเซนเซอร์ (A) ภายในประกอบด้วยอุปกรณ์ส่งและรับแสง โดยมีตัวสะท้อน (B) เป็นตัวช่วยสะท้อนลำแสงกลับไปยังโฟโตเซนเซอร์ เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงจากโฟโตเซนเซอร์ จะทำให้ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถตรวจจับได้โดยชุดขยายสัญญาณ (Amplifier) ดังในรูปที่ 6

รูปที่ 7 แสดงรูปสัญญาณที่จับด้วยสโคป (Oscilloscope) โฟโตเซนเซอร์ตัวแรกจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณให้สโคปเริ่มทำงาน (Sweep) และจะมีสถานะไฟฟ้า (Logic) เป็น 0 โฟโตเซนเซอร์ตัวที่สองจะทำหน้าที่เปลี่ยนสถานะไฟฟ้าเป็น 1

เมื่อสเปร์ย์น้ำมันผ่านโฟโตเซนเซอร์ตัวแรก สโคปจะเริ่มทำงานที่จุด A และเมื่อสเปร์ย์น้ำมันผ่านโฟโตเซนเซอร์ตัวที่สอง สถานะไฟฟ้าจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

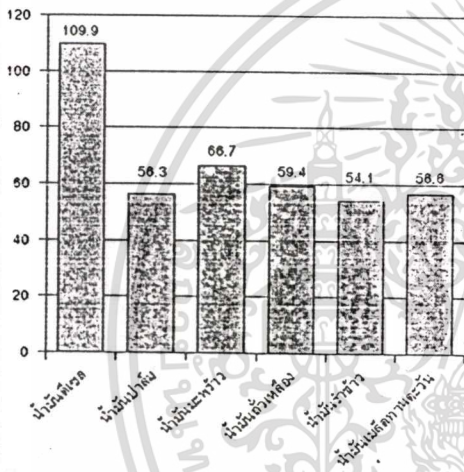
เปลี่ยนไปที่จุด B ดังนั้น ช่วงเวลา A - B ที่วัดได้จากสโคปก็คือเวลาที่สเปร์ยใช้ไปในการเคลื่อนที่จากโฟโตเซนเซอร์ตัวแรกไปยังโฟโตเซนเซอร์ตัวที่สอง

3. ผลการทดลอง

3.1 ลักษณะการฉีดของน้ำมันพืชด้วยหัวฉีดแบบรูเดียว

การทดสอบสเปร์ยหัวฉีดแบบรูเดียวจะใช้หัวฉีดเครื่องยนต์เล็กของคูโบตา แรงดันการฉีดเชื้อเพลิง 12 MPa และฉีดสเปร์ยที่ความดันบรรยากาศ ความดันในกระบอกสูบเครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 3.5 - 4.5 MPa ดังนั้นจึงต้องมีการลดความดันหัวฉีดลงจึงจะได้ความดันสัมพัทธ์ในการฉีดสเปร์ยเท่าเดิม ในการทดลองนี้จะประมาณค่าความดันในกระบอกสูบไว้ที่ 4 MPa ดังนั้นความดันปกติของหัวฉีดจึงถูกปรับลดลงเป็น 8 Mpa

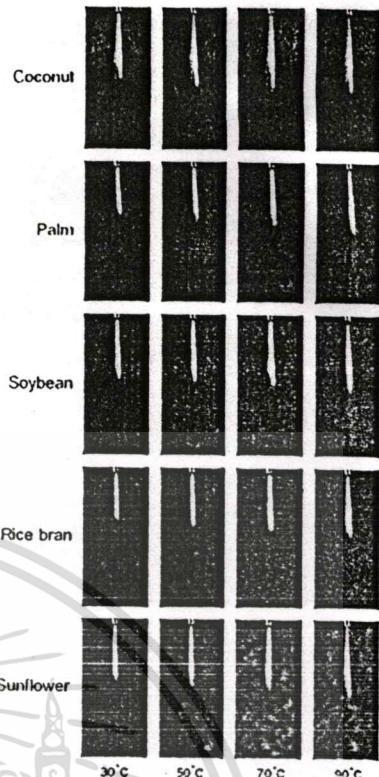
ความเร็วสเปร์ย (m/s)



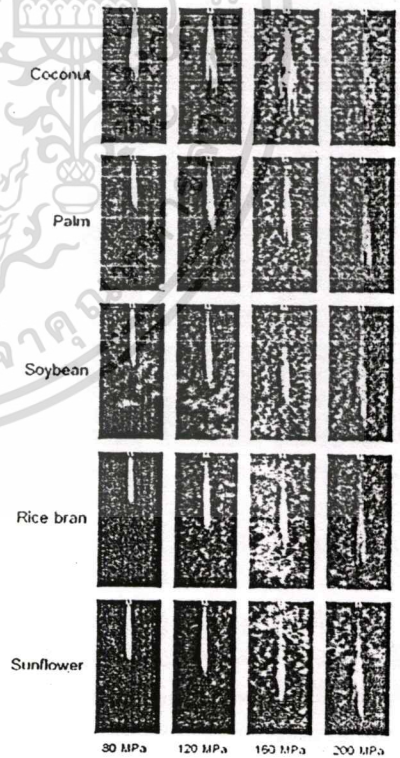
รูปที่ 8 ความเร็วสเปร์ยน้ำมันพืช

ความเร็วสเปร์ยน้ำมันดีเซลจะสูงกว่าสเปร์ยน้ำมันพืช น้ำมันพืชที่มีความเร็วสเปร์ยสูงสุดคือ น้ำมันมะพร้าว ส่วนน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันงาขาว และน้ำมันปาล์มจะมีความเร็วสเปร์ยน้อยกว่าตามลำดับ ดังในรูปที่ 8

จากผลการทดลอง จะเห็นว่าความเร็วสเปร์ยน้ำมันพืชจะมีค่าต่ำกว่าสเปร์ยน้ำมันดีเซลมาก ซึ่งเมื่อนำไปใช้ในเครื่องยนต์ จะทำให้การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้เกิดความล่าช้าขึ้น ดังนั้นการนำน้ำมันพืชไปใช้ในเครื่องยนต์จึงต้องมีการปรับปรุงลักษณะสเปร์ยให้ดีขึ้น การทดลองนี้จะใช้วิธีการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืช และเพิ่มความดันการฉีดเพื่อปรับปรุงลักษณะสเปร์ยน้ำมันพืช การทดลองแรกจะทำการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันพืชจาก 30 °C เป็น 50, 70 และ 90 °C ตามลำดับ โดยใช้ความดันการฉีดคงที่ 8 MPa การทดลองที่สองจะทำการเพิ่มความดันการฉีดจาก 8 MPa เป็น 12, 16 และ 20 MPa ตามลำดับ โดยคงอุณหภูมิการฉีดไว้ที่ 30 °C



รูปที่ 9 สเปร์ยหัวฉีดรูเดียวเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืช



รูปที่ 10 สเปร์ยหัวฉีดรูเดียวเมื่อทำการเพิ่มความดันการฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. สรุป

จากการทดลองสามารถสังเกตเห็นลักษณะของการฉีดและการสเปรย์เชื้อเพลิงพลังงานทดแทนชนิดต่างๆซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

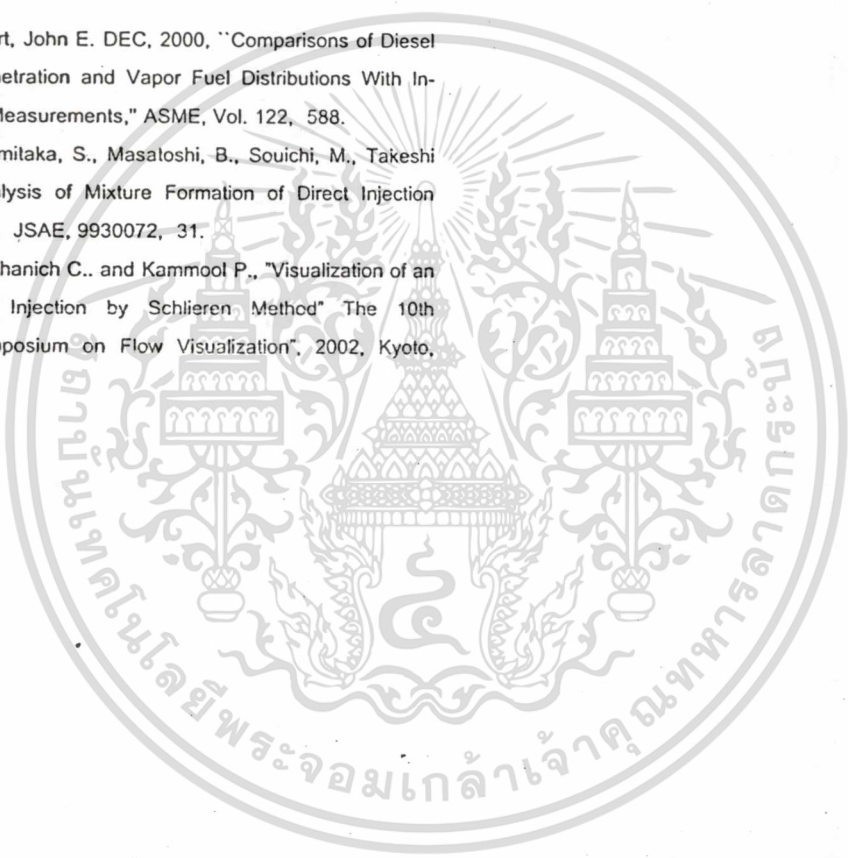
(1) ความเร็วของสเปรย์น้ำมันพืชจะต่ำกว่าความเร็วสเปรย์น้ำมันดีเซลมาก ทำให้การกระจายตัวของสเปรย์น้ำมันพืชมีลักษณะต้อยกว่าสเปรย์น้ำมันดีเซล

(2) การปรับปรุงสเปรย์น้ำมันพืชด้วยการเพิ่มอุณหภูมิหรือความดันการฉีดเชื้อเพลิงจะทำให้ลักษณะการกระจายตัวของสเปรย์ดีขึ้น

(3) การเพิ่มอุณหภูมิและแรงดันการฉีดเชื้อเพลิงจะทำให้สเปรย์มีความเร็วและมุมสเปรย์เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มแรงดันการฉีดจะให้ประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Laura M. Ricart, John E. DEC, 2000, "Comparisons of Diesel Spray Liquid Penetration and Vapor Fuel Distributions With In-Cylinder Optical Measurements," ASME, Vol. 122, 588.
- [2] Masao, K., Kimitaka, S., Masatoshi, B., Souichi, M., Takeshi G., 1999, " Analysis of Mixture Formation of Direct Injection Gasoline Engine", JSAE, 9930072, 31.
- [3] Charoenphonphanich C.. and Kamool P., "Visualization of an Alternative Fuel Injection by Schlieren Method" The 10th International Symposium on Flow Visualization", 2002, Kyoto, Japan



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายกิตติ เอี่ยมเปรมจิต  
 วัน เดือน ปีเกิด 2 พฤษภาคม 2513  
 ที่อยู่ 118/180 อาคารชุดเลควิว ถ.สุขบรรทัด ต.ปากเพรียว อ.เมือง  
 จ.สระบุรี 18000  
 ประวัติการศึกษา 2538 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล  
 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล  
 ประสบการณ์การทำงาน  
 พ.ศ.2538-ปัจจุบัน ตำแหน่งวิศวกรฝ่ายผลิต บริษัททีพีไอโพลีน จำกัด (มหาชน)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้