สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
ABSTRACT	จ
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
รายการอักษรย่อและสัญลักษณ์	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 สาระสำคัญของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
1.3 วัตถุประสงค์	7
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	7
1.5 ขอบเขตการวิจัย	7
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 ทฤษฎีการเผาไหม้	8
2.2 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง	8
2.3 อัตราส่วนสมมูลเชื้อเพลิง	9
2.4 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน	9
2.5 พลศาสตร์การฉีดละออง	10
2.6 การระเหยที่พิจารณาหนึ่งหยดละออง	11
2.7 เวลาการระเหยของละอองน้ำมัน	12
2.8 หลักการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลว	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	14
3.1 การออกแบบระบบเผาไหม้	14

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.2 ส่วนจ่ายเชื้อเพลิง 16

3.1.3 หัวเผา 22

3.2 แผนการทดสอบ 24

3.3 การทดสอบ 25

บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล 34

4.1 ผลทดสอบส่วนจ่ายเชื้อเพลิง 34

4.2 ผลทดสอบหัวเผา 35

4.2.1 ผลทดสอบหัวเผาแบบที่ 1 35

4.2.2 ผลการทดสอบหัวเผา 2 และ 3 37

4.2.3 ผลการทดสอบหัวเผา 4 40

4.2.4 ผลทดสอบหัวเผา 5 41

4.2.5 ผลการทดสอบหัวเผา 5.1 42

4.2.6 ผลทดสอบหัวเผา 5.2 45

4.3 อัตราส่วนการอัดและกำลังที่ได้จากเชื้อเพลิง 46

บทที่ 5 การวิเคราะห์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยดเชื้อเพลิง 47

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 59

6.1 สรุปผลการศึกษา 59

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไป 61

บรรณานุกรม 63

ภาคผนวก 65

ภาคผนวก ก การคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 66

ภาคผนวก ข การคำนวณช่วงกำลังที่ใช้ทดสอบของเชื้อเพลิง 70

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค การประมาณข้อมูลด้วยการแจกแจงปกติ (Normal distribution)	73
ภาคผนวก ง การคำนวณหาขนาดหยดละอองจากสมการเวลาการระเหย	76
ภาคผนวก จ การคำนวณหา Mass median diameter (MMD) ของหยดน้ำมัน	80
ภาคผนวก ช โค้ดคำนวณขนาด MMD ของหยดน้ำมันโดยใช้โปรแกรม Matlab	91
ภาคผนวก ซ กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง A/F กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยหยดน้ำมัน จากสมการวิเคราะห์ของ Alfonso Ganan calvo	93
ประวัติผู้เขียน	97

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ตารางทดสอบหัวเผา 1 27

ตารางที่ 3.2 ตารางทดสอบหัวเผา 2 ถึงหัวเผา 7 27

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบหาขนาด MMD ของหยดน้ำมัน 53
ที่ความยาวท่อ 35 cm

ตารางที่ 5.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยดน้ำมัน (MMD) 55
ที่ความยาวท่อ 35 cm

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดสอบหาขนาด MMD ของหยดน้ำมัน 56
ที่ความยาวท่อ 20 cm

ตารางที่ 5.4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยดน้ำมัน (MMD) 57
ที่ความยาวท่อ 20 cm

ตาราง ค.1 แสดงข้อมูลจากการทดสอบสองชุดข้อมูล 74

ตาราง จ.1 แสดงข้อมูลจากการทดสอบสองชุดข้อมูลสำหรับการคำนวณ MMD 89

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 เปรียบเทียบพลังงานจากเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน และแหล่งพลังงานรูปแบบต่างๆ 2

รูปที่ 1.2 อัตราการไหลของเชื้อเพลิงในหัวฉีดรถยนต์ 3

รูปที่ 1.3 หัวฉีดแบบการไหลมัว 5

รูปที่ 1.4 (ก) แสดงลักษณะการฉีดของหัวฉีด $\psi > 0.25$ และ (ข) ลักษณะการฉีดของหัวฉีด $\psi < 0.25$ 5

รูปที่ 2.1 รูปร่างพื้นที่ของแก๊สเจ็ต 11

รูปที่ 2.2 ลักษณะการไหลวนภายในหยดละออง 12

รูปที่ 2.3 สมดุลมวลของหยดละอองเชื้อเพลิง 12

รูปที่ 3.1 ระบบเผาไหม้เชื้อเพลิง 14

รูปที่ 3.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้เชื้อเพลิงและอากาศ 15

รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ระบบจ่ายอากาศ (1) ปั๊มอากาศ, (2) กรองอากาศ, (3) ตัวควบคุมความดัน และ (4) ตัวควบคุมอัตราการไหลอากาศ 16

รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอัตราการไหลจากเชื้อเพลิง 16

รูปที่ 3.5 ปั๊มแบบรีดยาง 17

รูปที่ 3.6 (ก) ออกแบบผังระบบการทำงานส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบปั๊มส่งน้ำมันรถยนต์และ (ข) ระบบส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบปั๊มส่งน้ำมันรถยนต์ 18

รูปที่ 3.7 การทำงานของระบบส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบปั๊มส่งน้ำมันรถยนต์ 19

รูปที่ 3.8 ส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบกระบอกฉีด 20

รูปที่ 3.9 (ก)แสดงอุปกรณ์ควบคุมการทำงานระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบกระบอกฉีด (ข) และแผงปุ่มควบคุมและจอแสดงผลแอล ซี ดี 20

รูปที่ 3.10 (ก)แสดงหัวเผาของระบบเผาไหม้เชื้อเพลิง และ (ข) แสดงภาคตัดหัวเผาของระบบเผาไหม้ 22

รูปที่ 3.11 องค์ประกอบส่วนฐานหัวเผาที่รองรับอุปกรณ์หัวเผา ท่อส่งน้ำมันและท่อส่งอากาศ 23

รูปที่ 3.12 แผนผังขั้นตอนในการทดสอบ 24

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.13 ความสัมพันธ์ของอัตราการใช้เชื้อเพลิงและอากาศ 25

รูปที่ 3.14 ลักษณะการจัดวางองค์ประกอบระบบเผาไหม้สำหรับทดสอบ 26

รูปที่ 3.15 หัวเผาแบบที่ 1 26

รูปที่ 3.16 แสดงเครื่องมือตัวควบคุมอัตราการไหลของอากาศสำหรับ 28
หัวเผาแบบที่ 2 ถึงแบบที่ 7

รูปที่ 3.17 (ก) แสดงหัวเผาแบบที่ 2 และ (ข) แสดงภาคตัดหัวเผาแบบที่ 2 28

รูปที่ 3.18 (ก) แสดงหัวเผาแบบที่ 3 และ (ข) แสดงภาคตัดหัวเผาแบบที่ 3 29

รูปที่ 3.19 หัวเผาแบบที่ 4 30

รูปที่ 3.20 แสดงหัวเผาแบบที่ 5 30

รูปที่ 3.21 แสดงหัวเผาแบบที่ 5.1 31

รูปที่ 3.22 ส่วนประกอบหัวเผาแบบที่ 5.1 32

รูปที่ 3.23 ส่วนปิดปลายท่อทรงกระบอก 32

รูปที่ 3.24 แสดงระยะระหว่างหัวฉีดและวัตถุกีดขวาง 32

รูปที่ 3.25 หัวเผาแบบที่ 5.2 33

รูปที่ 4.1 ส่วนจ่ายเชื้อเพลิงที่ออกแบบทั้ง 3 ระบบ 34

รูปที่ 4.2 แสดงช่วงการทำงานที่ทดสอบได้ของหัวเผาแบบที่ 1 36

รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างผลทดสอบหัวเผา 1 ที่เส้นผ่านศูนย์กลางหัวเผา 36
ขนาด 1.0 mm

รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างผลทดสอบหัวเผา 1 ที่เส้นผ่านศูนย์กลางหัวเผา 37
ขนาด 1.6 mm

รูปที่ 4.5 แสดงช่วงการทำงานของหัวเผาแบบที่ 2 และ 3 37

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างผลทดสอบหัวเผาแบบที่ 2 เส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวเผา 38
ขนาด 1.0 mm

รูปที่ 4.7 ตัวอย่างผลทดสอบหัวเผาแบบที่ 3 เส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวเผา 39
ขนาด 1.0 mm

รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะการเกิดหยดน้ำมันในหัวเผาแบบที่ 2 และ 3 39

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างผลทดสอบหัวเผาแบบที่ 4 40

รูปที่ 4.10 แสดงช่วงการทำงานของหัวเผาแบบที่ 5 41

รูปที่ 4.11 ตัวอย่างผลทดสอบหัวเผาแบบที่ 5 41

รูปที่ 4.12 แสดงช่วงการทำงานของหัวเผาแบบท่อยาว 35,30,10 และ 5 cm 42

รูปที่ 4.13 ตัวอย่างผลทดสอบหัวเผาแบบที่ 5.1 ความยาวท่อระยะ 35 cm. 43

รูปที่ 4.14 ตัวอย่างผลทดสอบหัวเผาแบบที่ 5.1 ความยาวท่อระยะ 30 cm. 43

รูปที่ 4.15 ตัวอย่างผลทดสอบหัวเผาแบบที่ 5.1 ความยาวท่อระยะ 10 cm. 44

รูปที่ 4.16 ตัวอย่างผลทดสอบหัวเผาแบบที่ 5.1 ความยาวท่อระยะ 5 cm. 44

รูปที่ 4.17 ตัวอย่างผลทดสอบหัวเผาแบบที่ 5.2 45

รูปที่ 4.18 แสดงอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงและกำลังที่ได้จากเชื้อเพลิง 46

รูปที่ 5.1 หัวเผาแบบที่ 5.1 สำหรับทดสอบหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ของละอองน้ำมัน (MMD) 47

รูปที่ 5.2 (ก) แสดงผลทดสอบเงื่อนไขเผาไหม้ที่เห็นหยดละออง และ 5.2 (ข) เงื่อนไขจุดระเหยหมดของหยดละอองพอดี 48

รูปที่ 5.3 แสดงการกระจายข้อมูลการทดสอบแบบแจกแจงปกติ (Normal distribution) 52

รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยดน้ำมัน (MMD) ที่ความยาวท่อ 35 cm กับสมการศึกษาของ Alfonso และ Ganan Calvo 55

รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยดน้ำมัน (MMD) ที่ความยาวท่อ 20 cm กับสมการศึกษาของ Alfonso และ Ganan Calvo 58

รูปที่ 6.1 ระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงสำหรับทดสอบเผาไหม้ 60

รูปที่ 6.2 (ก) หัวฉีดแบบที่ 5 และ (ข) หัวฉีดแบบที่ 5.2 61

รูปที่ 6.3 ระบบต้นกำลังจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง 62

รูปที่ ก.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลน้ำมันกับอากาศ ที่อัตราส่วนสมมูลอากาศ 0.8, 1.0 และ 1.2 69

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ข.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชื้อเพลิงกับพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิง 72

รูปที่ ค.1 แสดงการกระจายข้อมูลการทดสอบแบบแจกแจงปกติ (Normal distribution) 74

รูปที่ ง.1 สมดุลมวลของหยดละอองเชื้อเพลิง 77

รูปที่ ง.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการระเหยกับขนาดหยดน้ำมัน 79

รูปที่ จ.1 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 81

รูปที่ จ.2 เปลวไฟที่ไม่มีหยดน้ำมัน ที่เงื่อนไขทดสอบ Fuel flow = 7 ml/min , Air#1 = 0.35 SCHM และ Air#2 = 60 SCFH 82

รูปที่ จ.3 เปลวไฟที่มีหยดน้ำมัน ที่เงื่อนไขทดสอบ Fuel flow = 7 ml/min , Air#1 = 0.2 SCHM และ Air#2 = 80 SCFH 84

รูปที่ จ.4 เปลวไฟที่มีหยดน้ำมัน ที่เงื่อนไขทดสอบ Fuel flow = 8 ml/min , Air#1 = 0.35 SCHM และ Air#2 = 60 SCFH 88

รูปที่ จ.5 เปลวไฟที่มีหยดน้ำมัน ที่เงื่อนไขทดสอบ Fuel flow = 8 ml/min , Air#1 = 0.2 SCHM และ Air#2 = 80 SCFH 88

รูปที่ จ.6 แสดงการกระจายข้อมูลการทดสอบแบบแจกแจงปกติตัวอย่างที่ 1 89

รูปที่ จ.7 แสดงการกระจายข้อมูลการทดสอบแบบแจกแจงปกติตัวอย่างที่ 2 90

รูปที่ ซ1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง A/F กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยหยดน้ำมัน (MMD) 96

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รายการอักษรย่อและสัญลักษณ์

Ψ	สัดส่วนระหว่างระยะจากปลายท่อ liquid ถึงรูหัวเผาต่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ liquid
H	ระยะจากปลายท่อ liquid ถึงรูหัวเผา
D	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ liquid
GLR	อัตราส่วนระหว่างมวลอากาศต่อมวลของเหลว
A/F	อัตราส่วนมวลอากาศต่อมวลเชื้อเพลิง
m_{air}	มวลอากาศ
m_{fuel}	มวลเชื้อเพลิง
ϕ_{fuel}	อัตราส่วนสมมูลเชื้อเพลิง
stoi	Stoichiometric
SCFM	ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
SCFH	ลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง
MMD	Mass median diameter
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวล
ρ_{air}	ความหนาแน่นของอากาศ
A	พื้นที่หน้าตัดกระบอกท่อ
A_{exit}	พื้นที่หน้าตัดทางออกกระบอกท่อ
μ	ค่าเฉลี่ย
σ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
$\dot{V}$	อัตราการไหลเชิงปริมาตร
V_{avg}	ความเร็วเฉลี่ย
$\rho_{fuel,vapor}$	ความหนาแน่นของไอเชื้อเพลิง
ρ_{avg}	ความหนาแน่นเฉลี่ย
$\dot{m}_{air}$	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$\dot{m}_{fuel}$	อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง
$y_{fuel,vapor}$	สัดส่วนเชิงปริมาตรของไอเชื้อเพลิง
$y_{fuel,liquid}$	สัดส่วนเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงเหลว
T	เวลาการระเหยของหยดละออง
ρ_l	ความหนาแน่นของน้ำมัน สถานะของเหลว
D_0	ขนาดหยดละอองเริ่มต้น
$\mathcal{D}_{12}$	สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันจากผิวหยดสู่บรรยากาศ
$m_{1,s}$	สัดส่วนมวลเชื้อเพลิงที่ผิวหยดละออง
$m_{1,e}$	สัดส่วนมวลเชื้อเพลิงที่บรรยากาศแวดล้อม
n	จำนวนโมล
Mw	มวลโมเลกุล
$\bar{\rho}_{mix}$	ความหนาแน่นผสม
$\rho_{fuel,liquid}$	ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงสถานะเหลว
y_{air}	สัดส่วนเชิงปริมาตรของอากาศ
d_{evap}	ขนาดหยดละอองของไอน้ำมัน (d^3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved