

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาและประเมินสมรรถนะหัวเผาใช้น้ำมันปาล์มใช้แล้วชนิดผสม อากาศก่อนเผาไหม้
ชื่อนักศึกษา	นายบุญส่ง เพ็ชรน้อย
รหัสประจำตัว	44062009
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้คุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำหัวเผาน้ำมันก๊าดชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้ (Kerosene Premixed Burner) มาทำการปรับปรุงและพัฒนาให้สามารถใช้ได้กับน้ำมันปาล์ม โดยนำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้วมาใช้เป็นเชื้อเพลิง สำหรับหัวเผาน้ำมันก๊าดที่นำมาใช้จะต้องมีการออกแบบและปรับปรุงขึ้นส่วนบางชิ้น เพื่อให้หัวเผาสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนที่ทำการออกแบบและปรับปรุง คือ ชุด Vaporizer โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มพื้นที่และระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างเปลวไฟกับน้ำมันปาล์มให้มีเวลานานพอต่อการระเหยกลายเป็นไอ ในการอุ่นหัวเผาช่วงแรกของการใช้งาน (Preheat) จะใช้หัวเผาแอลพีจี (LPG Burner) รุ่น KB7 มาเป็นอุปกรณ์ในการให้ความร้อนกับหัวเผาน้ำมันปาล์ม สำหรับการทดสอบสมรรถนะ (Performance test) ด้านต่างๆ ของหัวเผาน้ำมันปาล์มนั้น จะใช้มาตรฐานการทดสอบแบบ ต้มเดือด (Water Boiling Test) เนื่องจากการทดสอบนี้เป็นการทดสอบที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากที่สุด ซึ่งเป็นการทดสอบหัวเผาที่มีความยาวท่อไอน้ำมัน (Vaporizer tube) ต่างกัน 3 ขนาด คือ 1.0 เมตร, 1.5 เมตร และ 2.0 เมตร จากการทดสอบ พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อ ไอน้ำมันยาวเท่ากับ 1.5 เมตรให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าหัวเผาที่มีความยาวเท่ากับ 1.0 เมตรและ 2.0 เมตรเล็กน้อย โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 32.28% และก๊าซเสีย (Flue gas) ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มนั้นพบว่าที่ความยาวท่อ Vaporizer เท่ากับ 1.5 เมตรให้ระดับความเข้มข้นของก๊าซเสียต่ำที่สุด เนื่องจากความยาวของท่อ Vaporizer เท่ากับ 1.5 เมตรเป็นความยาวที่เหมาะสมต่อการแลกเปลี่ยนความร้อน จึงทำให้ได้การเผาไหม้ที่ดีกว่าหัวเผาอื่น สำหรับการเพิ่มความยาวของท่อ Mixing ยังผลดีต่อการผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศทำให้ได้การเผาไหม้ที่ดีขึ้นอีกด้วย

Thesis Title	Development and Performance Evaluation of a Premixed Used-Palm Oil Burner
Student	Mr. Boonsong Pethnoi
Student ID.	44062009
Degree	Master of Engineering
Programme	Mechanical Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Jaruwat Jareansuk

ABSTRACT

This study examines the modification of Kerosene Premixed Burner utilizing used palm oil. For the effective use of palm oil, it is essential to redesign the Kerosene Burner and to add new parts, namely a vaporizer which increases both the fuel heating area and time for sufficient vaporization. At the start-up, the LPG burner (KB7) is used as a pre-heater. The performance of the designed burner is investigated using Water Boiler Test (WBT) Standard. The results show that the thermal efficiency of palm-oil burner with different length is in the same magnitude. However, the thermal efficiency of 1.5 m-length vaporizer is 32.28% which is slightly better than 1.0 m and 2.0 m length. Considering the flue gas from the palm oil burner, the concentration of flue gas using 1.5 m length vaporizer is the lowest because it is the optimum value for the heat transfer and combustion. In addition, the increasing of mixing tube length also benefits the mixing of air and fuel and leads to better combustion.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาหัวหน้าน้ำมันพืช จาก ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างมากจากความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบเป็นพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณบิดา มารดาและญาติๆ ของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจ และส่งเสริมให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัยที่สนับสนุนเงินทุนสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ พี่ๆเพื่อนๆ และน้องๆ นักศึกษาทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจ

จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้โอกาสผู้ทำวิจัยได้เข้ามารับการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์ในภาควิชาแห่งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

บุญส่ง เพ็ชรน้อย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 สมมติฐานจากการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง.....	7
2.3.1 คุณสมบัติของแก๊ส LPG(Property of LPG).....	8
2.3.2 คุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม(Property of Palm oil).....	9
2.4. ทฤษฎีการเผาไหม้.....	10
2.4.1 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว.....	10
2.4.1.1 เปลวไฟชนิดแพร่(Diffusion Flame).....	11
2.4.1.2 เปลวไฟชนิดผสมอากาศก่อนการเผาไหม้(Premixed Flame).....	11
2.4.2 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง(Heating value).....	13
2.4.3 การผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศ(Mixing).....	14
2.4.4 อัตราส่วนสมมูล(Equivalent ratio).....	14
2.4.5 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน (Percent Excess air).....	15

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5 ก๊าซเสีย(Flue gas)ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้.....	16
2.5.1 ก๊าซ Carbon monoxide, CO	16
2.5.2 ก๊าซ Carbon dioxide, CO_2	16
2.5.3 ก๊าซ Oxides of Nitrogen, NO_x	17
2.5.4 ก๊าซ Sulfur dioxide, SO_2	17
2.6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน.....	17
2.7 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนความร้อน.....	19
2.7.1 การนำความร้อน(Conduction Heat Transfer).....	19
2.7.2 การพาความร้อน(Convection Heat Transfer).....	19
2.7.3 การแผ่รังสีความร้อน(Radiation Heat Transfer).....	21
2.8 ทฤษฎีการไหลในท่อ.....	22
2.9 หลักการเลือกมาตรฐานการทดสอบ.....	24
2.9.1 การเลือกมาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน.....	24
2.9.2 การเลือกมาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้.....	24
บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนาหัวเผาน้ำมันพืช.....	26
3.1 บทนำ.....	26
3.2 โครงสร้างของหัวเผาที่นำมาออกแบบและพัฒนา.....	26
3.3 แนวทางการออกแบบและพัฒนาหัวเผา.....	27
3.3.1 หัวเผาน้ำมันก๊าด (Kerosene Burner).....	27
3.3.2 วิธีการทดสอบหาค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์ม.....	28
3.4 ขั้นตอนการคำนวณหาความยาวท่อ Vaporizer.....	30
3.4.1 การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อนของก๊าซร้อน.....	30
3.4.2 การถ่ายเทความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสีของก๊าซร้อน.....	34
3.4.3 การหาความยาวของท่อทองแดง.....	40
3.5 หัวเผาน้ำมันปาล์มที่ได้จากการออกแบบ.....	41
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	43
4.1 บทนำ.....	43

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2 อุปกรณ์การทดลอง.....	43
4.2.1 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของหัวเผา น้ำมันพืช.....	43
4.2.1.1 หัวเผาน้ำมันปาล์มใช้แล้ว.....	43
4.2.1.2 ถังความดัน.....	44
4.2.1.3 อุปกรณ์จ่ายอากาศ.....	44
4.2.1.4 อุปกรณ์ควบคุมความดันลม.....	44
4.2.1.5 ท่อจ่ายเชื้อเพลิง.....	45
4.2.1.6 วาล์วปรับอัตราการไหลน้ำมัน.....	45
4.2.1.7 มาตรวัดอัตราการไหลน้ำมัน.....	46
4.2.1.8 อุปกรณ์อุ่นหัวเผา(Preheater).....	46
4.2.1.9 วาล์วปรับอัตราการไหลของก๊าซ LPG.....	47
4.2.1.10 มาตรวัดอัตราการไหลของก๊าซ LPG.....	47
4.2.1.11 ถังก๊าซ LPG.....	48
4.2.1.12 อุปกรณ์ควบคุมความดันก๊าซ LPG.....	48
4.2.2 อุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะหัวเผาน้ำมันปาล์ม.....	49
4.2.2.1 ภาชนะใส่น้ำ.....	49
4.2.2.2 ชุดเทอร์โมคัปเปิล.....	49
4.2.2.3 นาฬิกาจับเวลา.....	50
4.2.2.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก.....	50
4.2.2.5 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซเสีย.....	51
4.2.2.6 อุปกรณ์วิเคราะห์ก๊าซเสีย.....	51
4.2.2.7 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ(Hot wire anemometer).....	51
4.3 วิธีการทดลอง.....	52
4.3.1 การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน.....	52
4.3.2 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน.....	54
4.3.3 การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้.....	54
4.3.4 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้.....	55
4.3.4 ขั้นตอนการวัดอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้.....	56

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	58
5.1 บทนำ.....	58
5.2 เวลาที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันของชุด Preheater.....	58
5.3 การศึกษาอิทธิพลจากระยะห่างระหว่างกันภาชนะกับหัวเผา.....	59
5.4 การศึกษาผลกระทบจากความยาวของท่อ Vaporizer ที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่อัตราการไหลของน้ำมันต่างๆ.....	59
5.5 การศึกษาผลกระทบจากความยาวของท่อ Mixing tube ที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่อัตราการไหลของน้ำมันต่างๆ.....	61
5.6 การหาปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้.....	62
5.7 การศึกษาผลกระทบจากความยาวของท่อ Vaporizer ที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่อัตราการไหลของน้ำมันต่างๆ.....	64
5.7.1 มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี VL = 1.0 m.....	64
5.7.2 มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี VL = 1.5 m.....	66
5.7.3 มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี VL = 2.0 m.....	68
5.8 การศึกษาผลกระทบจากความยาวของท่อ Mixing tube ที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่อัตราการไหลของน้ำมันต่างๆ.....	69
5.8.1 มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี MT = 50 mm.....	69
5.8.2 มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี MT = 65 mm.....	71
5.8.2 มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี MT = 75 mm.....	73
5.9 ผลการเปรียบเทียบมลพิษของหัวเผาที่มีท่อ Vaporizer แตกต่างกัน.....	74
5.10 ผลการเปรียบเทียบมลพิษของหัวเผาที่มี Mixing Tube แตกต่างกัน.....	77
5.11 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อเวลากับค่าความร้อนที่ป้อน.....	80
5.12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนระหว่างหัวเผาน้ำมันปาล์ม กับหัวเผา LPG(KB7).....	81
5.13 ผลการทดสอบการเกิดเขม่าจากการเผาไหม้บริเวณกันภาชนะที่ใช้ทดสอบ.....	82
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	83
6.1 บทนำ.....	83
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	84

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	87
ภาคผนวก ก. หัวเผื่อน้ำมันปาล์มชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้.....	87
ภาคผนวก ข. เปลวไฟจากหัวเผื่อน้ำมันปาล์มชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้.....	88
ภาคผนวก ค. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	90
ภาคผนวก ง. ข้อมูลจากการทดสอบและตัวอย่างการคำนวณ.....	99
ประวัติผู้เขียน.....	98

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงคุณสมบัติของแก๊ส LPG.....	8
2.2 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว.....	9
2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์ม.....	9
2.4 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันก๊าด.....	10
2.5 อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี.....	15
2.6 ปริมาณสูงสุดของก๊าซเสียชนิดต่างๆที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศ.....	17
ง.1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีท่อ Vaporizer.....	99
ง.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีท่อ Mixing ต่างกัน.....	99
ง.3 ตารางเปรียบเทียบราคาน้ำมันปาล์มใช้แล้วเทียบกับราคาแก๊ส LPG.....	99
ง.4 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของหัวเผา น้ำมันปาล์มในการต้มน้ำวันละ 2 ครั้งจำนวน 30 วัน.....	100
ง.5 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของหัวเผาก๊าซ LPG ในการต้มน้ำวันละ 2 ครั้งจำนวน 30 วัน.....	100
ง.6 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงของหัวเผาก๊าซ LPG กับหัวเผา น้ำมันปาล์ม.....	100
ง.7 ความเร็วของอากาศที่ไหลเข้าไปใช้ในการเผาไหม้ในหัวเผา น้ำมันปาล์มแบบต่างๆ.....	101
ง.8 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้.....	102
ง.9 อัตราส่วนสมมูลของหัวเผาแบบต่างๆ.....	102
ง.10 อุณหภูมิของเปลวไฟที่วัดได้จากหัวเผาแบบต่างๆ.....	103
ง.11 เวลาที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันของชุด Preheater.....	103
ง.12 เวลาที่อุณหภูมิต่างๆในการให้ความร้อนกับน้ำจาก Heater ด้วยแรงดันไฟฟ้า 215 V.	
กระแส 8.1 A.....	104
ง.13 เวลาที่อุณหภูมิต่างๆในการให้ความร้อนกับน้ำมันปาล์มจาก Heater ด้วยแรงดันไฟฟ้า 215 V. กระแส 8.1 A.....	105
ง.14 ความเข้มข้นของมลพิษที่วัดได้จากการเผาไหม้ของหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มี VL ต่างกัน.....	107
ง.15 ความเข้มข้นของมลพิษที่วัดได้จากการเผาไหม้ของหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มี MT ต่างกัน.....	108

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะของน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ได้ใช้ และน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว.....	10
2.2 ลักษณะและกลไกของเปลวไฟชนิดแพร่.....	11
2.3 ลักษณะกลไกของเปลวไฟชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้.....	12
2.4 ลักษณะการชักนำอากาศของลำเจ็ทเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการเผาไหม้.....	15
2.5 การพาความร้อนของอากาศร้อนผ่านท่อกลม.....	20
2.6 การแผ่รังสีความร้อนของอากาศร้อน.....	21
2.7 การไหลภายในท่อกลมแบบไหลเต็มท่อ.....	23
3.1 แสดงเปลวไฟที่ได้จากการทดสอบเบื้องต้นของหัวเผาน้ำมันก๊าดทั้งสองแบบ.....	26
3.2 โครงสร้างของหัวเผาน้ำมันก๊าดที่เลือกมาพัฒนาเพื่อใช้กับน้ำมันพืช.....	27
3.3 โครงสร้างของอุปกรณ์ทดสอบหาค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์ม.....	28
3.4 แสดงเส้นกราฟของค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว.....	29
3.5 แสดงเส้นกราฟของค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ.....	30
3.6 โครงสร้างของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่ได้จากการออกแบบ.....	41
3.7 ผังการทำงานของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่ได้จากการออกแบบ.....	42
4.1 แสดงชิ้นส่วนต่างๆของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่ได้จากการออกแบบ.....	43
4.2 ถึงเชื้อเพลิงแบบอัดความดัน.....	44
4.3 ชุดปั๊มลมจ่ายอากาศ.....	44
4.4 อุปกรณ์ปรับความดันลมก่อนเข้าถึงเชื้อเพลิง.....	45
4.5 ท่อทองแดงสำหรับลำเลียงน้ำมันจากถังเชื้อเพลิงสู่หัวเผา.....	45
4.6 วาล์วเข็มปรับอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มก่อนที่จะเข้าไปยังหัวเผา.....	46
4.7 มาตรวัดอัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม.....	46
4.8 หัวเผาก๊าซหุงต้ม รุ่น KB7.....	47
4.9 วาล์วปรับอัตราการไหลของก๊าซ LPG.....	47
4.10 มาตรวัดอัตราการไหลของอากาศ.....	48
4.11 ถังบรรจุก๊าซหุงต้ม ขนาดบรรจุ 4 กิโลกรัม.....	48
4.12 อุปกรณ์ปรับความดันของ LPG ก่อนจะนำออกไปใช้งาน.....	49
4.13 หม้ออะลูมิเนียม เบอร์ 24.....	49
4.14 ชุดที่ใช้วัดและแสดงผลอุณหภูมิที่ต้องการวัด.....	50
4.15 นาฬิกาจับเวลา แบบทดเวลาหยุดชั่วคราวได้.....	50

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 ตาชั่งน้ำหนักชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 5 กิโลกรัม.....	50
4.17 Hood เก็บตัวอย่างก๊าซเสียที่ได้จากการเผาไหม้.....	51
4.18 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซเสียที่ได้จากการเผาไหม้.....	51
4.19 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศที่ไหลภายในท่อ.....	52
4.20 โครงสร้างของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่ทำการปรับเปลี่ยนความยาวท่อ Vaporizer.....	52
4.21 ผังการทำงานของทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน.....	53
4.22 โครงสร้างภายในของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่แสดงให้เห็นท่อ Mixing Tube.....	53
4.23 ลักษณะของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่ทำการปรับเปลี่ยนความยาวของท่อ Mixing Tube.....	54
4.24 โครงสร้างภายในอุปกรณ์ที่ทำขึ้นเพื่อเก็บตัวอย่างก๊าซเสียจากการเผาไหม้.....	55
4.25 อุปกรณ์ที่ทำขึ้นเพื่อวัดอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้.....	56
4.26 ช่องที่ใช้ในวัดอากาศภายในท่อทรงกลมที่อากาศไหลเข้าไปเผาไหม้.....	57
4.27 โครงสร้างภายในอุปกรณ์ที่ทำขึ้นเพื่อทำการวัดปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้.....	57
5.1 ระยะเวลาในการอุ่นน้ำมันของหัวเผาแบบต่างๆ.....	58
5.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ระยะห่างระหว่างหัวเผากับกันภาชนะที่แตกต่างกัน.....	59
5.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อ Vaporizer ต่างกัน.....	60
5.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อ Mixing แตกต่างกัน.....	61
5.5 ความเร็วของอากาศที่วิ่งเข้าไปใช้ในเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์ม.....	62
5.6 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้.....	63
5.7 อัตราส่วนสมมูลที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงานของหัวเผา.....	64
5.8 ความเข้มข้น O_2 และ CO_2 ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี VL = 1.0 m.....	65
5.9 ความเข้มข้น CO และ NO_x ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี VL = 1.0 m.....	65
5.10 ความเข้มข้น O_2 และ CO_2 ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี VL = 1.5 m.....	67
5.11 ความเข้มข้น CO และ NO_x ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี VL = 1.5 m.....	67
5.12 ความเข้มข้น O_2 และ CO_2 ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี VL = 2.0 m.....	68
5.13 ความเข้มข้น CO และ NO_x ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี VL = 2.0 m.....	69
5.14 ความเข้มข้น O_2 และ CO_2 ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี MT = 50 mm.....	70
5.15 ความเข้มข้น CO และ NO_x ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี MT = 50 mm.....	70
5.16 ความเข้มข้น O_2 และ CO_2 ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี MT = 65 mm.....	72
5.17 ความเข้มข้น CO และ NO_x ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี MT = 65 mm.....	72

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.18 ความเข้มข้น O_2 และ CO_2 ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มี MT = 75 mm.....	73
5.19 ความเข้มข้น CO และ NO_x ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มี MT = 75 mm.....	73
5.20 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ O_2 ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์ม ที่มีความยาวท่อ Vaporizer ต่างกัน.....	75
5.21 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ CO_2 ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์ม ที่มีความยาวท่อ Vaporizer ต่างกัน.....	75
5.22 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ CO ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์ม ที่มีความยาวท่อ Vaporizer ต่างกัน.....	76
5.23 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ NO_x ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์ม ที่มีความยาวท่อ Vaporizer ต่างกัน.....	76
5.24 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ O_2 ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์ม ที่มีความยาวท่อ Mixing ต่างกัน.....	78
5.25 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ CO_2 ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์ม ที่มีความยาวท่อ Mixing ต่างกัน.....	78
5.26 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ CO ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์ม ที่มีความยาวท่อ Mixing ต่างกัน.....	79
5.27 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ NO_x ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์ม ที่มีความยาวท่อ Mixing ต่างกัน.....	79
5.28 อุณหภูมิจากหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีท่อ Vaporizer ต่างกัน.....	80
5.29 อุณหภูมิจากหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีท่อ Mixing Tube ต่างกัน.....	80
5.30 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนระหว่างหัวเผา น้ำมันปาล์มกับหัวเผา กับหัวเผาก๊าซหุงต้ม.....	82
5.31 ค่าใช้จ่ายในการใช้งานหัวเผา น้ำมันปาล์มเทียบกับหัวเผา LPG ที่ระดับพลังงานเดียวกัน....	83
ก. โครงสร้างของหัวเผา น้ำมันปาล์มชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้.....	87
ข.1 ลักษณะเปลวไฟในขณะเมื่อเริ่มติดหัวเผา น้ำมันปาล์ม.....	88
ข.2 ลักษณะเปลวไฟหลังจากติดหัวเผา น้ำมันปาล์มไป 5 นาที.....	88
ข.3 ลักษณะเปลวไฟจากหัวเผา น้ำมันปาล์มอัตราการไหล 0.11 g/s.....	89
ข.4 ลักษณะเปลวไฟจากหัวเผา น้ำมันปาล์มอัตราการไหล 0.14 g/s.....	89
ข.5 ลักษณะเปลวไฟจากหัวเผา น้ำมันปาล์มอัตราการไหล 0.17 g/s.....	89

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์/คำย่อ	ชื่อ/ความหมาย
a	Molar oxygen – fuel ratio, $kmole/kmole$
A	พื้นที่หน้าตัดของท่อ, m^2
A_s	พื้นที่ผิวท่อ, m^2
β	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร, K^{-1}
C_p	ความร้อนจำเพาะที่ความดันคง, $J/g^\circ C$
C_v	ค่าความร้อนจำเพาะโดยปริมาตรคงที่, $J/g^\circ C$
CO	ก๊าซ Carbon monoxide
CO_2	ก๊าซ Carbon dioxide
D	ขนาดของท่อกลมที่ก๊าซร้อนไหลผ่าน, m
D_{inlet}	ขนาดของท่อ Mixing ที่ไอน้ำมันไหลเข้า, m
ε	ค่าความสามารถของการปล่อยออก(Emissivity)
ε_s	ค่าความสามารถของการปล่อยออกของผิวท่อทองแดง
ε_g	ค่าความสามารถของการปล่อยออกของก๊าซผสม
ε_{CO_2}	ค่าความสามารถของการปล่อยออกของก๊าซ Carbon dioxide
ε_{H_2O}	ค่าความสามารถของการปล่อยออกของน้ำที่ได้จากการเผาไหม้
α	ค่าความสามารถของการดูดกลืน(Absorbirity)
α_s	ค่าความสามารถของการดูดกลืนของผิวท่อทองแดง
α_g	ค่าความสามารถของการดูดกลืนของก๊าซผสม
α_{CO_2}	ค่าความสามารถของการดูดกลืนของก๊าซ Carbon dioxide
α_{H_2O}	ค่าความสามารถของการดูดกลืนของน้ำที่ได้จากการเผาไหม้
F_c	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้, g
G	ผลรวมทั้งหมดของการแผ่รังสีที่ตกกระทบผิว, W / m^2
Gr/Re^2	อัตราส่วนของแรงลอยตัวต่อแรงจากความเฉื่อย
g	แรงโน้มถ่วงบนผิวโลก, m / s^2
H	เอนทาลปี(Enthalpy) ของสาร, kJ
$\bar{h}$	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย, $W / m^2 \cdot K$
J	ผลรวมทั้งหมดของการแผ่รังสีที่ออกจากผิว, W / m^2
k	ค่าสภาพการนำความร้อน $W/m \cdot K$
L_s	ความยาวผิวท่อ, m

LHV	ค่าความร้อนต่ำสุด(Low Heating Value)
m	มวลของสาร, kg
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล, g/s
MT	ความยาวท่อ Mixing(Mixing Tube), mm
N	จำนวนโมลของน้ำในผลปฏิกิริยา
NO_x	ก๊าซ Nitrogen oxide
$\overline{Nu_D}$	นัสเซลล์เบอร์เฉลี่ย (สำหรับทรงระบอกลม)
η_{th}	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการเผาไหม้(Thermal efficiency)
Φ	อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio)
P	ความดันย่อยของก๊าซต่างๆ(Partial Pressure)
ρ	ความหนาแน่นของของไหล, kg/m^3
ρ	ค่าความสามารถของการสะท้อน(Reflection)
ρ_s	ค่าความสามารถของการสะท้อนของผิวท่อทองแดง
Q	ความร้อนที่สารได้รับ, J
q	อัตราการถ่ายเทความร้อน, W
q''	ฟลักซ์ความร้อน(Heat Flux), W/m^2
Re	เลขเรย์โนลด์ส์(Reynolds Number)
SO_2	ก๊าซ Sulfur dioxide
T_∞	อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ไหลผ่านท่อ Vaporizer, K
T_s	อุณหภูมิของผิวท่อ Vaporizer, K
T_f	อุณหภูมิเฉลี่ย(Film Temperature) K
T_{out}	อุณหภูมิน้ำมันที่ทางออกท่อ Vaporizer, $^{\circ}C$
T_{in}	อุณหภูมิน้ำมันที่ทางเข้าท่อ Vaporizer, $^{\circ}C$
U	พลังงานภายใน(Internal Energy), kJ
u_0	ความเร็วของก๊าซร้อนที่ไหลผ่านท่อ Vaporizer, m/s
μ	ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล, $N \cdot s/m^2$
V	ความเร็วของของไหลที่ไหลในท่อ, m/s
VL	ความยาวท่อ Vaporizer(Vaporizer length), m
$\bar{V}$	อัตราเร็วเฉลี่ยตลอดพื้นที่หน้าตัด
$\dot{V}$	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของของไหลที่ไหลในท่อ, m^3/s
W_v	ปริมาณไอน้ำที่ระเหยไปในระหว่างการทดสอบ, g