

การพัฒนาและประเมินสมรรถนะหัวเผาใช้น้ำมันปาล์มใช้แล้ว  
ชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้

DEVELOPMENT AND PERFORMANCE EVALUATION OF A PREMIXED  
USED-PALM OIL BURNER

บุญส่ง เพ็ชรน้อย  
BOONSONG PETHNOI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2184-7

การพัฒนาและประเมินสมรรถนะหัวเผาน้ำมันปาล์มใช้แล้ว  
ชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้

DEVELOPMENT AND PERFORMANCE EVALUATION OF A PREMIXED  
USED-PALM OIL BURNER



บุญส่ง เพ็ชรน้อย

BOONSONG PETHNOI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2184-7

**DEVELOPMENT AND PERFORMANCE EVALUATION OF A PREMIXED  
USED-PALM OIL BURNER**

**BOONSONG PETHNOI**

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

**2006**

**ISBN 974-15-2184-7**

**COPYRIGHT 2006**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MINGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

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

### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำหัวเผาน้ำมันก๊าดชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้ (Kerosene Premixed Burner) มาทำการปรับปรุงและพัฒนาให้สามารถใช้ได้กับน้ำมันปาล์ม โดยนำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้วมาใช้เป็นเชื้อเพลิง สำหรับหัวเผาน้ำมันก๊าดที่นำมาใช้จะต้องมีการออกแบบและปรับปรุงชิ้นส่วนบางชิ้น 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) ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อไอน้ำมันยาวเท่ากับ 1.5 เมตรให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าหัวเผาที่มีความยาวเท่ากับ 1.0 เมตรและ 2.0 เมตรเล็กน้อย โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 32.28% และก๊าซเสีย(Flue gas) ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มนั้นพบว่าที่ความยาวท่อ Vaporizer เท่ากับ 1.5 เมตรให้ระดับความเข้มข้นของก๊าซเสียน้อยที่สุด เนื่องจากความยาวของท่อ Vaporizer เท่ากับ 1.5 เมตรเป็นความยาวที่เหมาะสมต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนจึงทำให้ได้การเผาไหม้ที่ดีกว่าหัวเผาอื่น สำหรับการเพิ่มความยาวของท่อ Mixing ยังผลดีต่อการผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศทำให้ได้การเผาไหม้ที่ดีขึ้นอีกด้วย

<b>Thesis Title</b>	Development and Performance Evaluation of a Premixed Used-Palm Oil Burner
<b>Student</b>	Mr. Boonsong Pethnoi
<b>Student ID.</b>	44062009
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Mechanical Engineering
<b>Year</b>	2006
<b>Thesis Advisor</b>	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 ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาหัวเผื่อน้ำมันพืช จาก ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างมากจากความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณบิดา มารดาและญาติๆ ของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจ และส่งเสริมให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัยที่สนับสนุนเงินทุนสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ นักศึกษาทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้โอกาสผู้ทำวิจัยได้เข้ามารับการศึกษและทำวิทยานิพนธ์ในภาควิชาแห่งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

บุญส่ง เพ็ชรน้อย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XIII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 สมมติฐานจากการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
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 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (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
<b>บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนาหัวเผาน้ำมันพืช.....</b>	<b>26</b>
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
<b>บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....</b>	<b>43</b>
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
<b>บทที่ 5 ผลการทดลอง.....</b>	<b>58</b>
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
<b>บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>83</b>
6.1 บทนำ.....	83
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	84

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	87
ภาคผนวก ก. หัวเผ้าน้ำมันปาล์มชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้.....	87
ภาคผนวก ข. เปลวไฟจากหัวเผ้าน้ำมันปาล์มชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้.....	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 ปริมาณสูงสุดของก๊าซเสียนชนิดต่างๆที่ขอมให้มีได้ในบรรยากาศ.....	17
ง.1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีท่อ Vaporizer.....	99
ง.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีท่อ Mixing ต่างกัน.....	99
ง.3 ตารางเปรียบเทียบราคาน้ำมันปาล์มใช้แล้วเทียบกับราคาแก๊ส LPG.....	99
ง.4 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของหัวเผา น้ำมันปาล์มในการค้มน้ำวันละ 2 ครั้งจำนวน 30 วัน.....	100
ง.5 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของหัวเผาก๊าซ LPG ในการค้มน้ำวันละ 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 ด้วยแรงดัน ไฟฟ้า 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 ถังเชื้อเพลิงแบบอัดความดัน.....	44
4.3 ชุดปั๊มลมจ่ายอากาศ.....	44
4.4 อุปกรณ์ปรับความดันลมก่อนเข้าถังเชื้อเพลิง.....	45
4.5 ท่อทองแดงสำหรับลำเลียงน้ำมันจากถังเชื้อเพลิงสู่หัวเผา.....	45
4.6 วาล์วเข็มปรับอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มก่อนที่จ่ายเข้าไปยังหัวเผา.....	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 แบบทดเวลาหยุดชั่วขณะได้.....	50

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 คาซังน้ำหนักชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 5 กิโลกรัม.....	50
4.17 Hood เก็บตัวอย่างก๊าซเสียที่ได้จากการเผาไหม้.....	51
4.18 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซเสียที่ได้จากการเผาไหม้.....	51
4.19 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศที่ไหลภายในท่อ.....	52
4.20 โครงสร้างของหัวเผา น้ำมันปาล์มที่ทำการปรับเปลี่ยนความยาวท่อ 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 ก๊าซหุงต้ม.....	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, $m^2$
$\beta$	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, $m$
$\epsilon$	ค่าความสามารถของการปล่อยออก(Emissivity)
$\epsilon_s$	ค่าความสามารถของการปล่อยออกของผิวท่อทองแดง
$\epsilon_g$	ค่าความสามารถของการปล่อยออกของก๊าซผสม
$\epsilon_{CO_2}$	ค่าความสามารถของการปล่อยออกของก๊าซ Carbon dioxide
$\epsilon_{H_2O}$	ค่าความสามารถของการปล่อยออกของน้ำที่ได้จากการเผาไหม้
$\alpha$	ค่าความสามารถของการดูดกลืน(Absorbivity)
$\alpha_s$	ค่าความสามารถของการดูดกลืนของผิวท่อทองแดง
$\alpha_g$	ค่าความสามารถของการดูดกลืนของก๊าซผสม
$\alpha_{CO_2}$	ค่าความสามารถของการดูดกลืนของก๊าซ Carbon dioxide
$\alpha_{H_2O}$	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), $mm$
$N$	จำนวน โมลของน้ำในผลปฏิกิริยา
$NO_x$	ก๊าซ Nitrogen oxide
$\overline{Nu}_D$	นัสเซิลนัมเบอร์เฉลี่ย (สำหรับทรงระบอบกลม)
$\eta_{th}$	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการเผาไหม้(Thermal efficiency)
$\Phi$	อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio)
$P$	ความดันย่อยของก๊าซต่างๆ(Partial Pressure)
$\rho$	ความหนาแน่นของของไหล, $kg/m^3$
$\rho$	ค่าความสามารถของการสะท้อน(Reflection)
$\rho_s$	ค่าความสามารถของการสะท้อนของผิวท่อทองแดง
$Q$	ความร้อนที่สารได้รับ, $J$
$q$	อัตราการถ่ายเทความร้อน, $W$
$q''$	ฟลักซ์ความร้อน(Heat Flux), $W/m^2$
$Re$	เลขเรย์โนลด์ส์(Reynolds Number)
$SO_2$	ก๊าซ Sulfur dioxide
$T_\infty$	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, $m/s$
$\mu$	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, $g$

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญที่มา

จากงานวิจัยในอดีตได้มีความพยายามที่จะพัฒนา และปรับปรุงหัวเผาให้มีประสิทธิภาพ และการประหยัดพลังงานมากขึ้นจากแนวคิดของงานวิจัยต่างๆ ประกอบกับการสังเกตเห็นถึงปริมาณน้ำมันที่เหลือใช้จากการประกอบอาหาร เช่น น้ำมันที่เหลือจากการทอดปลา ทอ้งไก่ หรือการทอดไก่ในปริมาณมากๆ ซึ่งในแต่ละวัน จะมีน้ำมันที่เหลือใช้จำนวนมาก โดยน้ำมันที่เหลือใช้เหล่านี้จะถูกนำไปทอดซ้ำหลายครั้งและจะถูกขายต่อในราคาที่ถูกลงในรูปของน้ำมันเหลือใช้ โดยผู้ซื้อจะนำไปทำเป็นอาหารสัตว์ หรือนำไปผ่านกระบวนการเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ สิ่งต่างๆ เหล่านี้ล้วนแต่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อม และประเด็นที่สำคัญ คือ ปัจจุบันเป็นยุคที่ราคาค่าครองชีพนั้นสูงขึ้นทุกวัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะช่วยลดต้นทุนในการใช้ทรัพยากรและประหยัดค่าใช้จ่ายในบางส่วนลง เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ได้อีกหนึ่งทาง

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำเอาหัวเผาน้ำมันก๊าด(Kerosene Burner) ที่มีการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศก่อนเผาไหม้(Premixed Combustion) มาปรับปรุงและพัฒนาให้ใช้ได้กับน้ำมันพืช(น้ำมันปาล์มใช้แล้ว) โดยนำความรู้จากงานวิจัยในอดีตและปัจจุบันมาทำการวิจัยและพัฒนาหัวเผา สำหรับการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลวทั่วไปนั้น กระทำได้ 2 วิธีคือ ทำให้ระเหยเป็น ไอก่อนแล้วค่อยเผาไหม้ หรือ ทำให้เป็นหยดเล็กๆ พ่นเข้าไปในอากาศร้อนเพื่อเกิดการระเหยและผสมอากาศก่อนแล้วค่อยเผาไหม้ แต่มีข้อดีของการทำให้เชื้อเพลิงเป็นหยดเล็กๆ คือ ต้องใช้แรงดันที่สูงมากในการทำให้น้ำมันเป็นฝอยละอองที่ละเอียด ซึ่งไม่เหมาะต่อการนำไปใช้ในงานทั่วไป เช่น คริวเรือน หรือร้านค้าขายขนาดเล็ก เป็นต้น โดยหัวเผาในงานวิจัยนี้มีลักษณะและกลไกในการเผาไหม้เชื้อเพลิง ดังนี้ เชื้อเพลิงจะไหลไปตามท่อทางเข้าผ่านชุด Vaporizer ซึ่งเป็นส่วนที่รับความร้อนจากเปลวไฟ เพื่อให้เชื้อเพลิงระเหยเป็น ไอแล้วฉีดพ่นผ่านหัวฉีดเข้าไปในห้องผสม (Mixing Chamber) ที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการระเหยและผสมกับอากาศก่อนที่จะไหลออกมาเผาไหม้ โดยที่น้ำมันก๊าดต้องการความร้อนเพียงเล็กน้อยก็สามารถระเหยเป็นไอได้ แต่น้ำมันปาล์มนั้นมีจุดเดือดและจุดติดไฟสูงกว่าน้ำมันก๊าดมาก ดังนั้นหัวเผาน้ำมันก๊าดที่นำมาใช้กับน้ำมันปาล์มจึงต้องมีการออกแบบและปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อทำให้น้ำมันปาล์มระเหยเป็นไอ และฉีดพ่นออกมาพร้อมที่จะถูกไหม้ได้ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบท่อ Vaporizer เพื่อนำน้ำมัน ไปให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับจุดเดือด เพื่อแยก

สลายน้ำมันและฉีดพ่นออกมาในสถานะไอน้ำที่เบา เพื่อให้ให้น้ำมันแตกเป็นฝอยละอองที่ดี และผสมกับอากาศได้ง่ายขึ้น ข้อดีของการมีชุด Vaporizer คือ ไม่จำเป็นต้องใช้ความดันที่สูงมากในการทำให้ให้น้ำมันเป็นฝอยละอองที่ละเอียดจะทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้ในงานทั่วไป และในงานวิจัยนี้ยังได้ทำชุดทดสอบหาค่าความร้อนจำเพาะ (Specific heat,  $C_p$ ) ของน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่อุณหภูมิสูงๆ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบชุด Vaporizer อีกด้วยและเมื่อได้หัวเผาน้ำมันปาล์มตามที่ได้ออกแบบไว้ ก็ได้ทำการทดสอบหาสมรรถนะด้านต่างๆ ของหัวเผาอีกด้วย เช่น การทดสอบสมรรถนะด้านการใช้งาน คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผา (Thermal Efficiency,  $\eta_{th}$ ) และการทดสอบสมรรถนะด้านการเผาไหม้ คือ ปริมาณก๊าซเสีย (Flue gas) ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์ม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาและพัฒนาท่อไอน้ำ (Vaporizer tube) ในหัวเผาน้ำมันก๊าดชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้ (Premixed Combustion) เพื่อให้สามารถใช้งานได้กับเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว
2. ศึกษาความยาวท่อ Vaporizer ที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการทำงานของหัวเผา
3. ศึกษาความยาวท่อ Mixing tube ว่าส่งผลอย่างไรต่อปริมาณมลพิษที่วัดได้จากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์ม
4. ศึกษาและทดสอบสมรรถนะด้านต่างๆ ของหัวเผาน้ำมันปาล์ม
  - 4.1 สมรรถนะด้านการใช้งาน (Application test)
  - 4.2 สมรรถนะด้านการเผาไหม้ (Combustion test)

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. การออกแบบและพัฒนาหัวเผาน้ำมันปาล์มจะเป็นการต่อยอดแบบของหัวเผาน้ำมันก๊าดชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้
2. การออกแบบและพัฒนาหัวเผาน้ำมันปาล์มจะมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาชิ้นส่วนของหัวเผาน้ำมันก๊าดให้สามารถใช้งานกับเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มได้
3. การศึกษาความยาวท่อ Mixing tube จะศึกษาเฉพาะความยาวของท่อเท่านั้น แต่ระหว่างระหว่าง Nozzle กับช่องทางเข้ายังคงมีระยะเท่าเดิม
4. ในการทดสอบสมรรถนะด้านต่างๆ จะอ้างอิงตามมาตรฐานสากล
  - 4.1 สมรรถนะด้านการใช้งาน อ้างอิงมาตรฐาน Water Boling test
  - 4.2 สมรรถนะด้านการเผาไหม้ DIN 203-1 และ DIN 203-2

#### 1.4 สมมติฐานจากการวิจัย

น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปของของเหลว ซึ่งถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย แต่คุณสมบัติส่วนใหญ่ของเชื้อเพลิงเหลวที่พบจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน เช่น ความหนาแน่น ความหนืด จุดวาบไฟ ความถ่วงจำเพาะ และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ฯลฯ แต่คุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้จะถูกแบ่งด้วยระดับของอุณหภูมิซึ่งใช้ในการกลั่นเชื้อเพลิงเหล่านั้น จากคุณสมบัติที่คล้ายกันของเชื้อเพลิงเหลวนี้ผู้วิจัยจึงมองน้ำมันพืชว่าเป็นเหมือนกับเชื้อเพลิงเหลวชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถที่จะนำเอาขั้นตอนและวิธีการทดสอบวัดค่าต่างๆ ของเชื้อเพลิงเหลว มาใช้ในการทดสอบน้ำมันพืชได้เช่นกัน อาทิ การวัดค่าความร้อนจำเพาะ (Specific heat), วิธีการวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency), วิธีการวัดก๊าซเสีย (Flue gas) ที่ได้จากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันพืช เป็นต้น

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาหัวเผาน้ำมันพืชให้ดีขึ้น ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับคือ

1. หัวเผาน้ำมันพืชมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่ดีขึ้น ปราศจากคราบเขม่าดำ
2. รู้ถึงกลไกการทำงานของหัวเผาที่ใช้ น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง
3. เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานทดแทน เพื่อช่วยประหยัดทรัพยากรของชาติได้
4. เป็นแนวทางเพื่อนำหัวเผานี้ไปพัฒนาต่อเพื่อให้ได้หัวเผาที่สามารถใช้ได้กับน้ำมันพืชหลายชนิดได้ หรือน้ำมันที่ไม่สามารถนำมาบริโภคได้และมีจำนวนมาก ซึ่งสามารถที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในหัวเผานี้ได้

## บทที่ 2

# งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 บทนำ

ก่อนที่จะทำการออกแบบและพัฒนาหัวเผา น้ำมันพีชนั้นจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาปัจจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหัวเผา น้ำมันพีช รวมทั้งงานวิจัยที่มีผู้ทำมาก่อน เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติและปัจจัยที่สร้างผลกระทบต่อหัวเผา น้ำมันพีช เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาหัวเผาให้ดีขึ้น

### 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

W. Muhlbauer, A. Esper, E. Stumpf and R. Baumann[14] ผู้วิจัยได้นำเอาหัวเผาน้ำมันก๊าดมาพัฒนาเพื่อใช้กับน้ำมันพีชที่หาได้ง่ายและมีปริมาณมากในพื้นที่เขตร้อนนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันจากถั่ว น้ำมันปาล์ม เป็นต้น จากการศึกษาพบว่าน้ำมันมีอุณหภูมิจุดติดไฟสูง จึงส่งผลกระทบต่อทำให้ น้ำมันระเหยได้ยาก ดังนั้นผู้วิจัยได้นำเอาน้ำมันพีชไปผสมกับน้ำมันก๊าดในสัดส่วนต่างๆ เพื่อให้เชื้อเพลิงสามารถจะจุดติดไฟได้ง่าย โดยการผสมจะทำการผสมในสัดส่วน 25% 50% 70% และ 90% (% ที่แสดงไว้จะเป็นสัดส่วนของน้ำมันพีช) จากการศึกษาพบว่าเวลาในการจุดเผาจะเร็วขึ้นและส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่ 25% และ 50% จะมีเวลาในการจุดหัวเผาที่ไม่แตกต่างกันมาก แต่เมื่อสัดส่วนเป็น 90% จะได้เวลาการจุดหัวเผาที่เพิ่มขึ้น คือจาก 45 วินาที จะเพิ่มเป็น 5 นาที และในช่วงแรกเมื่อหัวเผาเริ่มติดเปลวไฟที่ได้จากการเผาไหม้ของน้ำมันพีชจะมีสีส้ม แต่เมื่อปล่อยให้มีการเผาไหม้ไปสัก 1 - 5 นาที เปลวไฟจะเริ่มกลายเป็นสีฟ้า แต่ถ้าใช้เชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันพีชอย่างเดียวนั้นเมื่อทำการเผาไหม้ไปประมาณ 20 นาทีหัวเผาจะเริ่มอุดตัน ซึ่งต่างจากเชื้อเพลิงที่มีการผสมจะสามารถใช้ได้ยาวนานกว่าประมาณ 5 ชั่วโมง และโครงสร้างของหัวเผาที่ใช้กับน้ำมันพีชที่มีการผสมน้ำมันก๊าดกับน้ำมันพีชอย่างเดียวก็น่าจะต้องทำการปรับเปลี่ยนให้เหมาะกับลักษณะของเชื้อเพลิงที่ใช้ด้วย

Rob Baillis, Damon Ogle and Dean Still[12] ได้นำเสนอวิธีการทดสอบสมรรถนะแบบต้มเดือด (Water Boiling Test) นำมาใช้ทดสอบเตาหุงต้มที่ใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งวิธีการทดสอบแบบนี้สามารถบ่งบอกถึงสมรรถนะของหัวเผาได้ออกมาหลายค่าจากการทดสอบแต่ละครั้ง เช่น Power Output, Turndown Ratio, Thermal Efficiency,

Specific fuel consumption เป็นต้น และการทดสอบสมรรถนะแบบการต้มเดือดยังมีข้อดีตรงที่เป็นการทดสอบที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับการใช้จริงมากที่สุดด้วย

Rafal J. Somek, Ritsu Dobashi and Toshiyuki Hirano[10] เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะ โครงสร้างของการเกิดเปลวไฟของหัวฉีดโดยใช้แรงดันทำให้เกิดเป็นฝอยละออง, ลักษณะการผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง, ลักษณะการเกิดเป็นฝอยละอองของหัวฉีด, ลักษณะการกระจายตัวของเปลวไฟบนหัวฉีด

Tamir, Elerin และ Yotzer[15] ได้พัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มที่ใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิง โดยดัดแปลงหัวเตาหุงต้มแบบมาตรฐาน (Conventional Burner,CB) , มาเป็นแบบสเวิร์ล(Swirl Burner,SB) และยังได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะต่างๆของหัวเตาแบบสเวิร์ลกับประสิทธิภาพเชิงความร้อน จากการทดลองพบว่าเตาหุงต้มแบบสเวิร์ลมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดที่มุมทแยง ( $\beta$ ) เท่ากับ  $26^\circ$  มุมเอียง ( $\alpha$ ) เท่ากับ  $15^\circ$  และมีจำนวนรูก๊าซออกจำนวน 4 รู ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเตาหุงต้มแบบมาตรฐาน(CB) ประมาณ 6% (ประสิทธิภาพของเตา CB เท่ากับ 52%) สาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแบบสเวิร์ล(SB) สูงกว่าเตาแบบมาตรฐาน(CB) เนื่องจากลักษณะการหมุนวนของเปลวไฟช่วยเพิ่มแรงเฉือนที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างเปลวไฟกับก้นภาชนะนานขึ้น และการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่สองก็เพิ่มขึ้นด้วย

นายสุรชัย จึงจตุพรชัย[3] ได้ทำการศึกษาหัวเผา น้ำมันพืช ที่ใช้น้ำมันปาล์มใช้แล้วนำมาทำเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งมุ่งเน้นศึกษาผลของอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่อัตราการไหลต่างๆ ที่มีผลต่อระยะเวลาในการอุ่นหัวเผา การกระจายอุณหภูมิ การเกิดเขม่าควัน และทำการใช้หัวเผาน้ำมันพืชเพื่อทดแทนในทางเศรษฐศาสตร์ โดยเปรียบเทียบกับการใช้หัวเผา ก๊าซหุงต้ม ซึ่งนำหัวเผาให้ความร้อนกับน้ำจำนวน 8 ลิตร จาก  $31^\circ\text{C}$  ถึง  $90^\circ\text{C}$  ที่สภาวะเดียวกัน จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผา LPG นั้นมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่าหัวเผาน้ำมันพืชอยู่ประมาณ 10.88% ถึง 27.03% ตลอดทุกช่วงของการป้อนความร้อน การอุ่นหัวเผาน้ำมันพืชนั้นใช้อัตราการไหลของก๊าซ LPG ที่ 1.018 ลิตรต่อนาที โดยใช้เวลาที่ 2.22 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุด ในส่วนของการเกิดเขม่าของหัวเผาน้ำมันพืชนั้นจะเห็นได้ว่า ที่ระยะห่างระหว่างเตา 1 เซนติเมตร นั้นจะมีการเกิดเขม่าบริเวณก้นภาชนะที่ทำการทดสอบมากที่สุด รองลงมาคือที่ระยะ 1.5 , 2.0 , 2.5 , 3.0 , 3.5 และ 4.0 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายกับค่าความร้อนที่ป้อนเท่ากันหัวเผาน้ำมันพืชจะมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.365 บาท และเมื่อ

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายกับเวลาที่ใช้เตาที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดทุกๆ หัวเผาจะพบว่าหัวเผาน้ำมันพืชจะมีค่าใช้จ่ายต่ำสุดอยู่ที่ 0.303 บาท ซึ่งเวลาที่ใช้เตาอยู่ที่ 25.82 นาที

อรรถพร ผาบเพ็ง[4] ได้มีการนำเสนอผลการศึกษาเชิงทดลองของหัวเผาแบบวัสดุพูนเผาไหม้น้ำมันพืช โดยอาศัยข้อได้เปรียบของวัสดุพูนที่ไม่จำเป็นต้องทำให้เชื้อเพลิงเป็นฝอยละเอียด รวมทั้งศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการทำงานของหัวเผาที่ใช้ น้ำมันพืช เช่น สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ความยาวของเปลวไฟ การกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น เป็นต้น เพื่อศึกษาประสิทธิภาพด้านการเผาไหม้จากการทำงานของหัวเผาในการทำงานของหัวเผานี้ประยุกต์ใช้วัสดุพูนมาเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อน ซึ่งคาดว่าในอนาคตสามารถที่จะนำหัวเผาที่ถูกสร้างขึ้นมาประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ต่อไป

วิเชียร ศรีเวชอักษร[9] ได้นำเสนอวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้ม LPG แบบมาตรฐาน (Conventional Burner, CB) ให้สูงขึ้น โดยปรับเปลี่ยนหัวเตาให้เป็นแบบสเวิร์ล (Swirl Burner, SB) จากการทดลองโดยอ้างอิงมาตรฐาน BS 2491 พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาแบบใหม่ (SB) มีค่าสูงสุดประมาณ 51% สูงกว่าหัวเตาแบบเดิม (CB) ที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 35% ผลของการหมุนวนที่เกิดจากหัวเผาแบบสเวิร์ล (SB) ก่อให้เกิดการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่สอง (Secondary air) ได้มากขึ้น การผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงมีมากขึ้น ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหัวเตาแบบสเวิร์ล (SB) เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า จากหัวเตาแบบเดิม นอกจากนี้ยังสร้างการจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยทำนายประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มทั้งสองแบบอีกด้วย

นางสาวสมพร ธเนศวรวิชย์[13] ได้นำเอาเตาหุงต้มแบบต่างๆ มาศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะและมลพิษที่ปล่อยจากเตาหุงต้ม LPG แบบต่างๆ โดยอ้างอิงมาตรฐานเยอรมัน ซึ่งมาตรฐานที่เลือกใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับการทดสอบการเผาไหม้ โดยมีข้อคิดตรงที่ก่อนการทดสอบจะต้องทำการติดเตาให้หัวเตาร้อนเสียก่อน เพื่อเป็นการลดการสูญเสียความร้อนให้กับโครงสร้างของเตาที่ส่งผลต่อการทำให้ประสิทธิภาพลดลง และมีการปรับเปลี่ยน Hood ที่ใช้เก็บตัวอย่างก๊าซเสียไปตามขนาดของภาชนะทดสอบ เพื่อลดอากาศที่เข้ามาเจือจาง ทำให้ค่าความเข้มข้นของก๊าซเสียมีความถูกต้องมากที่สุด

### 2.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง

เชื้อเพลิงเหลวเป็นเชื้อเพลิงที่นิยมใช้กันมากทั้งในภาคธุรกิจ และอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพราะความสะดวกและความสะอาด และให้ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงที่สูง ซึ่งเชื้อเพลิงเหลวที่ใช้ส่วนใหญ่จะได้จากผลิตภัณฑ์การกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม เช่น น้ำมันเบนซิน, น้ำมันเครื่องบินไอพ่น, น้ำมันก๊าด, น้ำมันดีเซล, น้ำมันเตา เป็นต้น ส่วนเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตถ่านหิน หรือพืชทางการเกษตร เช่น จากการผลิตแอลกอฮอล์ หรือจากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ ฯลฯ ซึ่งอยู่ในขั้นตอนการพัฒนาไปใช้งานอยู่ และปริมาณการผลิตยังไม่เพียงพอต่อการใช้งานในปัจจุบัน ดังนั้น ปิโตรเลียมจึงยังจัดว่าเป็นวัตถุดิบที่สำคัญมากต่อการผลิตเชื้อเพลิงเหลวอยู่

คุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงเหลวสามารถกำหนดได้โดยวิธีการทดสอบที่ระบุโดยมาตรฐานต่างๆ ได้ เช่น

ความหนืด คือ ความต้านทานต่อการไหลของน้ำมันที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในการปั๊มน้ำมันให้ไหลไปตามท่อ ขณะเดียวกันก็มีผลกระทบต่อกระบวนการทำให้ น้ำมันแตกตัวเป็นละอองด้วย ความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีค่าลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

จุดวาบไฟ คือ จุดที่อุณหภูมิต่ำสุดของน้ำมันที่ทำให้ไอน้ำมันลุกติดไฟแล้วดับทันทีเมื่อไอน้ำมันสัมผัสกับเปลวไฟจากแหล่งภายนอก จุดวาบไฟจึงเป็นตัวชี้ถึงความยากง่ายในการติดไฟของน้ำมันเชื้อเพลิง

จุดติดไฟ คือ จุดที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดวาบไฟเล็กน้อย เมื่อมีเปลวไฟจากแหล่งภายนอกมาสัมผัสกับไอน้ำมันทำให้เกิดการติดไฟและการเผาไหม้ที่ต่อเนื่อง

ค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิง คือ พลังงานที่ให้กับสารหนึ่งหน่วยมวลแล้วส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศา ซึ่งเป็นอุณหภูมิจเพาะของสารแต่ละชนิด โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ค่าความร้อนจำเพาะโดยปริมาตรคงที่ ( $C_v$ ) และความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ ( $C_p$ ) โดยความร้อนจำเพาะ  $C_p$  จะมีค่ามากกว่าความร้อนจำเพาะ  $C_v$  เสมอ เนื่องจากในกระบวนการความดันคงที่ จะต้องมีการใช้พลังงานเพื่อทำให้ระบบเกิดการขยายตัว ในขณะที่กระบวนการปริมาตรคงที่ ไม่มีความต้องการพลังงานส่วนนี้ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง  $C_v$  และ  $C_p$  มีดังนี้

$$\Delta H = mC_p \Delta T \quad (2.1)$$

$$\Delta U = mC_v \Delta T \quad (2.2)$$

โดยที่  $H$  = เอนทาลปี(Enthalpy) ของสาร,  $kJ$   
 $U$  = พลังงานภายใน(Internal Energy),  $kJ$   
 $m$  = มวลของสาร,  $kg$

ในการทดสอบหาความจุความร้อนของน้ำมันปาล์มเป็นการทดสอบแบบปริมาตรคง และไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ ดังนั้นค่าของ  $C_p$  และ  $C_v$  จึงเท่ากัน จะได้ว่า

$$\Delta Q = \Delta U$$

$$\Delta U = \Delta H$$

$$\Delta Q = \Delta H$$

เพราะฉะนั้น

$$\Delta Q = mC_p\Delta T \quad (2.3)$$

โดยที่  $Q$  = พลังงานความร้อนที่สารได้รับ,  $kJ$

### 2.3.1 คุณสมบัติของแก๊ส LPG(Property of LPG)

ก๊าซที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมหรือเรียกย่อ ๆ ว่า ก๊าซ LPG(Liquefied Petroleum Gas) หรือก๊าซหุงต้ม ซึ่งจะประกอบไปด้วยก๊าซโพรเพน และก๊าซบิวเทน ก๊าซหุงต้มที่ใช้กันในปัจจุบันนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบหรือเรียกว่า ก๊าซปิโตรเลียมเหลว อันเป็นส่วนประกอบของก๊าซโพรเพนและก๊าซบิวเทน ในอัตราส่วน 60:40 ก๊าซทั้งสองชนิดดังกล่าวนี้สามารถนำมาแยกเป็นก๊าซหุงต้มได้ โดยนำก๊าซธรรมชาติมาผ่านกระบวนการแยกก๊าซในโรงแยกก๊าซ ซึ่งก๊าซ LPG จะมีคุณสมบัติที่สำคัญตามที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของแก๊ส LPG[3][8]

Properties of LPG		Unit
(Propane $C_3H_8$ :Butane $C_4H_{10}$ )	60:40	%(Vol.)
จุดเดือด	-50 - 0	$^{\circ}C$
ความถ่วงจำเพาะ(Specific Gravity, @air = 1 at 1 atm)	1.80	-
Heating value(Net) at $25^{\circ}C$	51.88	MJ/kg
	102.06	MJ/m <sup>3</sup>
อุณหภูมิจุดระเบิดในอากาศ	>400	$^{\circ}C$

### 2.3.2 คุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม(Property of Palm oil)

คุณสมบัติของน้ำมันปาล์มที่แสดงอยู่นี้ได้ผ่านการวิเคราะห์จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ โดยมีผลของค่าต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว[16][18]

น้ำมันปาล์ม	ยังไม่ได้ใช้	ใช้แล้ว(ทอดปลาทอดไก่)	หน่วย
Gross heat of combustion	9386	9247	Cal/g
Sulphur	0.01	0.01	%(mass)
Carbon	76.4	75.6	%(mass)
Hydrogen	11.4	11.3	%(mass)
Nitrogen	0.19	0.19	%(mass)
Oxygen	12.0	12.9	%(mass)
Ash	0.006	0.005	%(mass)

ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ เช่น ความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น ความหนืด ฯลฯ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์ม[4]

Properties of Palm oil		Unit	Standard
Cetane Number	50	-	ASTM D-613
Specific gravity at 15.6 °C	0.92	-	ASTM D-1298
Viscosity at 40 °C	40.9	cSt	ASTM D-445
Flash point	>300	°C	ASTM D-93
Water and sediment	traces	%	ASTM D-2709
Specific heat at 35 °C	1.58	J/g·°C	*
40 °C	2.09	J/g·°C	*

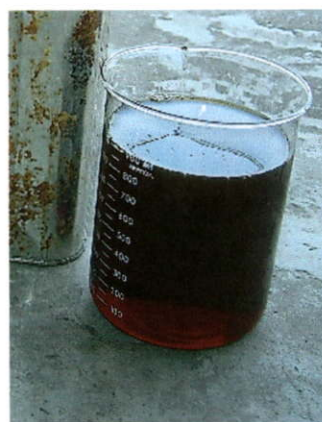
\* กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันก๊าด(Kerosene)[8]

Properties of Kerocene		Unit	Standard
Specific gravity at 15 °C	0.778 – 0.790	-	ASTM D1298
Flash point	43 - 49	°C	ASTM D56
Viscosity	1.85 – 1.87	cSt	-
High Heating value	46520	kJ/kg	-
Low Heating value	44194	kJ/kg	-



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.1 ลักษณะของน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ได้ใช้(ก) และน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว(ข)

## 2.4 ทฤษฎีการเผาไหม้

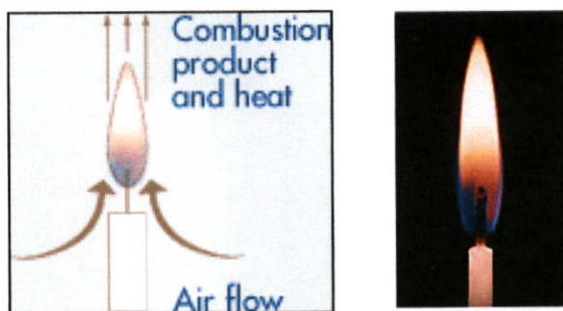
การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เกิดขึ้นเมื่อธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิง เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ พร้อมกับคายความร้อนจำนวนมากออกมา เราจึงนำความร้อนนั้นไปใช้ประโยชน์ต่อไป

### 2.4.1 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว[8]

ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลวให้มีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องทำให้เชื้อเพลิงเหลวแตกตัวเป็นละอองที่เล็กมากเสียก่อน ทั้งนี้เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวต่อปริมาตรให้สูงขึ้น เป็นการส่งเสริมการถ่ายโอนความร้อนจากบรรยากาศร้อน โดยรอบละอองสู่ผิวละอองทำให้การระเหยเป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยการกระจายของไอน้ำมันอย่างสม่ำเสมอและได้การผสมคลุกเคล้าของไอน้ำมันกับออกซิไดเซอร์อย่างเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์

### 2.4.1.1 เปลวไฟชนิดแพร่(Diffusion Flame)

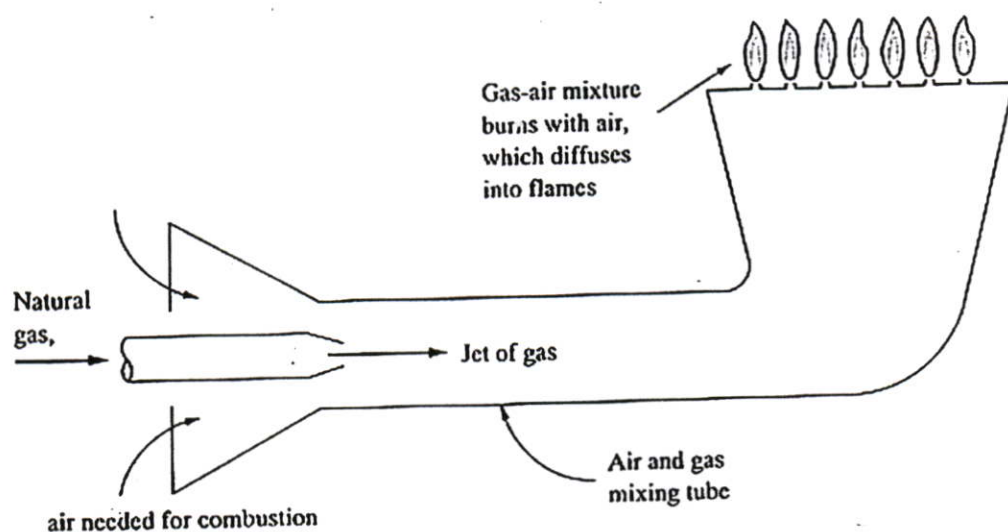
เปลวไฟชนิดแพร่ของเชื้อเพลิงเกิดจากการป้อนเชื้อเพลิง และออกซิไดเซอร์แยกเป็นอิสระต่อกันแล้วนำมาผสมกันพร้อมกับกำหนดให้มีการติดไฟอย่างทันทีทันใด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 เปลวไฟจะเกิดขึ้นบริเวณชั้นขอบเขตระหว่างเชื้อเพลิงและออกซิไดเซอร์ ตัวอย่างของเปลวไฟชนิดนี้มีให้เห็นอยู่ใกล้ตัวเป็นประจำ เช่น เปลวไฟจากเทียนไข และเปลวไฟจากตะเกียง เป็นต้น ส่วนเปลวไฟที่ใช้ในเตาอุตสาหกรรม เป็นเปลวไฟชนิดแพร่ที่เกิดจากการพ่นเชื้อเพลิงเหลวโดยการสเปรย์เป็นละอองที่ละเอียดมากเข้าสู่อากาศที่ร้อนซึ่งจะทำให้ละอองน้ำมันเชื้อเพลิงระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็วแล้วตามด้วยการเผาไหม้เมื่อมีสภาวะที่เหมาะสมบางประการเข้ามาเกี่ยวข้องกับเงื่อนไขทำให้เกิดการเผาไหม้ขึ้น



รูปที่ 2.2 ลักษณะ กลไกของเปลวไฟชนิดแพร่

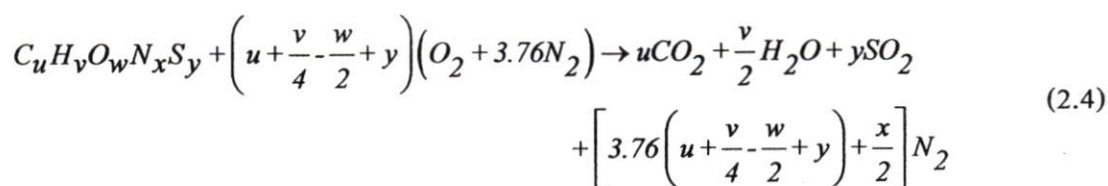
### 2.4.1.2 เปลวไฟชนิดผสมอากาศก่อนการเผาไหม้(Premixed Flame)

เปลวไฟชนิดผสมอากาศก่อนการเผาไหม้เป็นเปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้ของส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิไดเซอร์จนเป็นเนื้อเดียวกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.3 ก่อนที่จะมีการเผาไหม้เกิดขึ้นในเปลวไฟชนิดผสมอากาศก่อนการเผาไหม้มีจลน์ของปฏิกิริยาเคมี การแพร่ของความร้อน และการถ่ายโอนมวลมีบทบาทสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน ทำให้คุณลักษณะการเผาไหม้แตกต่างไปจากเปลวไฟชนิดแพร่ เปลวไฟชนิดผสมอากาศก่อนการเผาไหม้ยังแบ่งออกได้เป็นสองแบบ คือ เปลวไฟแบบอยู่กับที่(Stationary Flame) และเปลวไฟแบบลามเคลื่อนที่ (Propagating Flame)

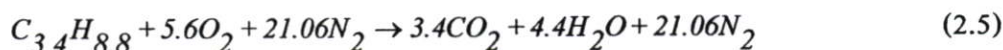


รูปที่ 2.3 ลักษณะ กลไกของเปลวไฟชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้

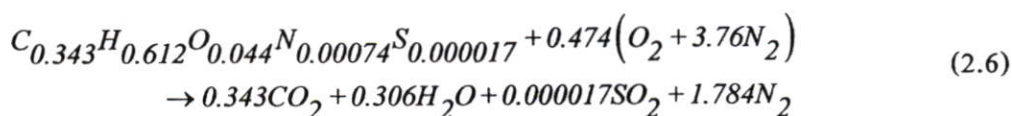
สำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก การเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะแสดงด้วยสมการสูตรสำเร็จของระบบ CHONS – เชื้อเพลิง – อากาศ[11] ดังนี้



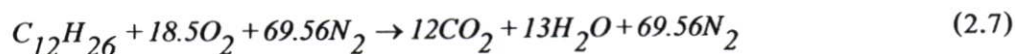
สมการการเผาไหม้ของก๊าซ LPG(60%Propane; 40% Butane)[8]



สมการการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว



สมการการเผาไหม้ของน้ำมันก๊าด



#### 2.4.2 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating value)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับสถานะของน้ำที่เกิดขึ้นในผลปฏิกิริยา (Produce) ในกรณีนี้ผลปฏิกิริยาอยู่ในสถานะของเหลว ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเรียกว่า ค่าความร้อนสูงสุด (HHV) และกรณีน้ำในผลปฏิกิริยาอยู่ในสถานะไอ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้เรียกว่า ค่าความร้อนต่ำ (LHV) โดยค่าความร้อนของเชื้อเพลิงทั้งสองมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$HHV = LHV + (nh_{fg})_{H_2O} \quad (kJ/kg) \quad (2.8)$$

โดยที่  $n =$  จำนวน โมลของน้ำในผลปฏิกิริยา

$\bar{h}_{fg, 25^\circ C} =$  เอนทาลปีของการกลายเป็นไอ (Enthalpy of Formation) ของน้ำ ที่อุณหภูมิกำหนด ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ  $25^\circ C$  (kJ/kg)

การคำนวณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเหลวอาจหาได้จากเครื่องมือทดสอบ เช่น บอมบ์แคลอริมิเตอร์ หรือแคลอริมิเตอร์แบบไหลต่อเนื่อง และอาจหาได้จากสมการง่ายๆ ซึ่งใช้ในการคำนวณค่าความร้อนของส่วนผสมไฮโดรคาร์บอน เช่น

สมการหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ของคูลอง (Dulong's Formular)

$$HHV = 80.5(C) + 344\left(H - \frac{O}{8}\right) + 22.5(S) \quad (Cal/g) \quad (2.9)$$

$$LHV = HHV - (9H + w)v \quad (Cal/g) \quad (2.10)$$

โดยที่  $w =$  ความชื้นในอากาศ

$v =$  ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำมีค่าประมาณ  $2500$  kJ/kg

### 2.4.3 การผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศ(Mixing)

เมื่อเชื้อเพลิงพุ่งออกจากหัวฉีด โครงสร้างของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดพ่นจะปั่นป่วน และกระจายเข้าไปผสมกับอากาศโดยรอบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 โดยผิวค่านอกของเชื้อเพลิงที่พุ่งออกจากหัวฉีดจะแตกเป็นหยดหรือละออง เมื่อเชื้อเพลิงเคลื่อนที่ไปได้ระยะหนึ่ง มวลของอากาศภายในสเปรย์จะเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วงนี้เรียกว่า ความยาวที่แตกเป็นฝอยละออง (breakup length) สเปรย์จะบานออกและพุ่งเข้าสู่ห้องเผาไหม้ โดยเชื้อเพลิงกับอากาศจะคลุกเคล้ากันในห้องเผาไหม้ ซึ่งการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศก่อนการเผาไหม้ (Premixed combustion) นั้นมีส่วนสำคัญในการเผาไหม้ ถ้าส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศมีสัดส่วนที่พอดี จะช่วยทำให้ได้การเผาไหม้ที่เป็นไปอย่างสมบูรณ์

### 2.4.4 อัตราส่วนสมมูล(Equivalent ratio)

ในการเผาไหม้จริงปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้อาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่าทางทฤษฎี ถ้าปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎีจะเรียกว่า อัตราส่วนผสมบาง (Lean Mixture) ในทางตรงกันข้ามหากปริมาณอากาศที่ใช้น้อยกว่าจะเรียกว่า อัตราส่วนผสมหนา (Rich Mixture) เพื่อความสะดวกในการแสดงปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริง จึงกำหนดให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง

$$(A/F)_{stoic} = (m_{air}/m_{fuel})_{stoic} = 4.76 \times a \times \left( \frac{MW_{air}}{MW_{fuel}} \right) \text{ และอัตราส่วนสมมูล (Equivalence}$$

ratio,  $\Phi$ ) จะหมายถึง

$$\Phi = \frac{(A/F)_{stoic}}{(A/F)_{actual}} = \frac{(F/A)_{actual}}{(F/A)_{stoic}} \quad (2.11)$$

Fuel – rich mixtures,  $\Phi > 1$  มีเชื้อเพลิงมาก อากาศน้อย

Stoichiometric mixture,  $\Phi = 1$  ปริมาณอากาศที่ใช้เท่ากับปริมาณที่ต้องใช้ทางทฤษฎี

Fuel – lean mixtures,  $\Phi < 1$  มีเชื้อเพลิงน้อย อากาศมาก

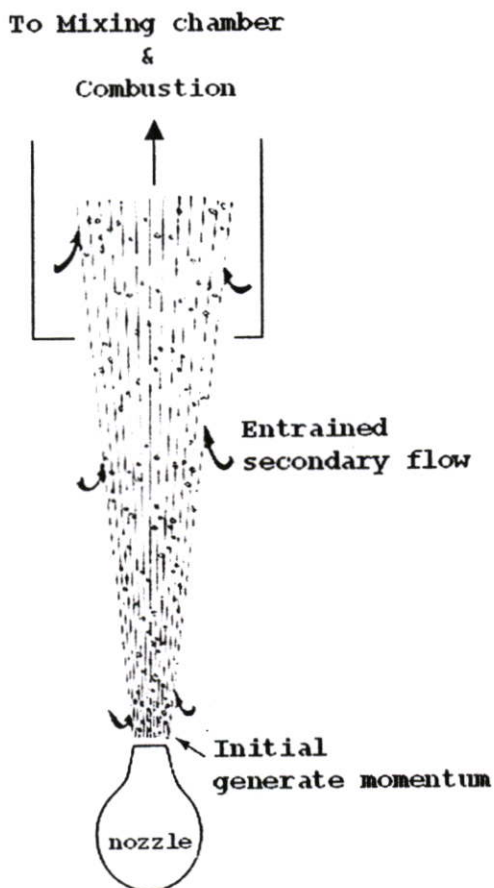
$(A/F)_{Stoic}$  = อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี, kg/kg

$(A/F)_{actual}$  = อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้จริง, kg/kg

$a$  = Molar Oxygen – fuel ratio, kmole/kmole

$MW_{air}$  = Molecular weight of Air, kg/kmole

$MW_{fuel}$  = Molecular weight of Fuel, kg/kmole



รูปที่ 2.4 ลักษณะการชักนำอากาศของลำเจ็ทเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการเผาไหม้

ตารางที่ 2.5 อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี

Stoichiometric Air Fuel Ratio	ชนิดของเชื้อเพลิง		
	LPG (60% $C_3H_8$ :40% $C_4H_{10}$ )	KEROSENCE ( $C_{12}H_{26}$ )	PALM OIL (Used)
$(A/F)_{stois}$	15.535	14.915	11.939

#### 2.4.5 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (Percent Excess air)

ในการเผาไหม้จริงปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จะมากกว่าหรือน้อยกว่าทางทฤษฎี ถ้าปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎีจะเรียกว่า อัตราส่วนผสมบาง (Lean Mixture) ตรงกันข้ามหากปริมาณอากาศที่ใช้น้อยกว่าจะเรียกว่า อัตราส่วนผสมหนา (Rich Mixture) เพื่อความสะดวกในการแสดงปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริง จึงกำหนดให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน(percent excess air) คือ

ปริมาณที่บอกให้ทราบว่ามีปริมาณอากาศส่วนเกินกี่เปอร์เซ็นต์โดยคิดจากอากาศทางทฤษฎี ที่มีค่าเท่ากับ 100

$$\text{เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน(Percent Excess Air)} = \left[ \frac{(A/F)_{\text{actual}}}{(A/F)_{\text{stoic}}} - 1 \right] \times 100\% \quad (2.12)$$

## 2.5 ก๊าซเสีย(Flue gas)ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้[6]

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ ซึ่งการเผาไหม้ในเบื้องต้นนั้นจะถูกกำหนดโดย สารทำปฏิกิริยา(Reactant) ซึ่งได้แก่ อากาศ เชื้อเพลิง ความร้อนที่เกิดขึ้น และสารที่ได้จากการเผาไหม้ ในการเผาไหม้ออกซิเจนจะเป็น ตัวทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิง ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักจะใช้ออกซิเจนในอากาศเป็นสารออกซิไดส์ เมื่อเกิดการเผาไหม้ขึ้นเชื้อเพลิงจะปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาอย่างมหาศาล โดยสารเผาไหม้นี้จะเป็นเชื้อเพลิง ที่มีธาตุหลักๆ 3 ตัว คือ คาร์บอน(C) ไฮโดรเจน(H) กำมะถัน(S) นอกจากนั้นอาจมี ไนโตรเจน( $N_2$ ) และออกซิเจน( $O_2$ ) ด้วยสำหรับกำมะถัน ขณะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนจะให้ความร้อนไม่มากนักเมื่อเทียบกับ คาร์บอนและ ไฮโดรเจน ในทางตรงข้ามกับสร้างปัญหาในการกักกรองชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ รวมทั้งทำให้เกิดปัญหามลพิษในอากาศอีกด้วย

ก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเตาหุงต้มจะประกอบไปด้วยก๊าซพิษชนิดต่างๆ และถือเป็นมลพิษทางอากาศภายในอาคาร(Indoor Air Pollution) ที่สำคัญเนื่องจากมลพิษ เช่น  $CO$  และ  $NO_x$  มีผลต่อสุขภาพของผู้อาศัย ดังนั้นสถานที่ประกอบการหุงต้มควรเป็นที่ที่สามารถระบายอากาศหรือถ่ายเทอากาศได้ดี

### 2.5.1 ก๊าซ Carbon monoxide, $CO$

ก๊าซคาร์บอนโมนอกไซด์ เป็นก๊าซที่ไม่มีสีไม่มีกลิ่น เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่ สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง ก๊าซนี้ทำให้เมื่คเลือดแดง ไม่สามารถรับออกซิเจนไปเลี้ยงเนื้อเยื่อ ต่างๆ ได้ ทำให้เกิดอาการปวดหรือเวียนศีรษะ อาเจียน อ่อนเพลีย หมดแรง ความรู้สึกสับสน ถ้าได้รับในปริมาณมากจะทำให้หมดสติ และเสียชีวิตได้

### 2.5.2 ก๊าซ Carbon dioxide, $CO_2$

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซที่ไม่มีสีไม่มีกลิ่น เกิดจากคน สัตว์ และต้นไม้ ในอาคารมักเกิดในอาคารที่มีการออกแบบไม่ให้มีการรั่วซึมของอากาศ ถ้าระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึงประมาณ 5000 ppm ก็อาจเป็นสาเหตุให้ผู้อยู่อาศัยใน อาคารมีอาการปวดหัว หน้ามืดเป็นลม อ่อนเพลีย ง่วงนอนได้

2.5.3 ก๊าซ Nitrogen oxide,  $NO_x$

ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ เป็นก๊าซที่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง เชื้อบูนัยน์ตา จมูก และคอ เกิดอาการเจ็บหน้าอก ไอ หายใจขัด ทำให้ภูมิคุ้มกันทางโรคร่างกายในลดลง เกิดอาการเจ็บป่วยได้ง่าย เช่น โรคหลอดลมอักเสบ หอบหืด โรคถุงลมโป่งพอง เป็นต้น มักเกิดมากในครัวเรือนขณะที่มีการหุงต้ม

2.5.4 ก๊าซ Sulfur dioxide,  $SO_2$

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน ละลายน้ำได้ มีน้ำหนักมากกว่าอากาศ เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งจะทำให้เกิดระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ

สำหรับค่าสูงสุดของก๊าซเสียนชนิดต่างๆ ที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศนั้น แสดงดังตาราง 2.6 ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อวัน

ตารางที่ 2.6 ปริมาณสูงสุดของมลพิษชนิดต่างๆที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศ[13]

Pollutants	8 – hr average	
	$mg / m^3$	$ppm$
Carbon monoxide, $CO$	38	35
Carbondioxide, $CO_2$	9000	5000
Nitrogen oxide, $NO_x$	6	3
Sulfur dioxide, $SO_2$	5	2

2.6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน(Thermal Efficiency,  $\eta_h$ ) คือ ความร้อนสุทธิที่ได้ออกมาจากระบบเมื่อเทียบกับความร้อนทั้งหมดที่ป้อนให้กับระบบ โดยปกติแล้วความร้อนสุทธิที่ได้ออกมาจากระบบนั้นจะมีค่าน้อยกว่าความร้อนที่ป้อนให้กับระบบเสมอ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ความร้อนบางส่วนได้สูญเสียไปในระหว่างขบวนการถ่ายเทความร้อนให้กับระบบ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ได้จากระบบต่อความร้อนที่ป้อนให้กับระบบจะเป็นตัววัดประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบ โดยมีรายละเอียดการทดสอบ[12] ดังต่อไปนี้

1. จัดอุปกรณ์หัวเผา น้ำมันพืชและเครื่องมือวัดอัตราการไหล
2. เติมน้ำลงภาชนะที่บรรจุน้ำใบที่ 1 และใบที่ 2 แล้วคนอย่างสม่ำเสมอ บันทึกน้ำหนักน้ำ น้ำมันพืชและอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น

3. เปิดก๊าซ LPG แล้วจุดไฟเพื่ออุ่นหัวเผา น้ำมันพืชและเปิดคว่ำน้ำมันพืชที่อัตราการไหลคงที่ค่าหนึ่ง เมื่อหัวเผาน้ำมันพืชติดไฟแล้วทำการปิดก๊าซ LPG ที่อุ่นหัวเผาน้ำมันพืช
4. ตั้งภาชนะที่บรรจุน้ำใบที่ 1 ลงบนเตาที่ทำการทดสอบเปิดเตาทิ้งไว้ 10 นาทีเพื่ออุ่นเตาให้ร้อนก่อนทำการทดสอบและเพื่อลดความร้อนที่สูญเสียให้กับอุปกรณ์ประกอบเตา
5. เปลี่ยนภาชนะบรรจุน้ำเป็นภาชนะใบที่ 2 ซึ่งเป็นภาชนะที่ทำการทดสอบพร้อมทั้งเริ่มจับเวลา
6. เมื่ออุณหภูมิน้ำถึง  $100^{\circ}$  แล้วต้มต่ออีก 5 – 10 นาที
7. เมื่อต้มต่อจนครบ 5 – 10 นาที ให้หยุดจับเวลา บันทึกน้ำหนักน้ำ น้ำหนักน้ำมันพืชและเวลาที่ใช้ในการทดลอง
8. ทำการทดลองตามข้างต้นตามข้อ 2-9 โดยปรับเปลี่ยนอัตราการไหลตามต้องการ
9. คำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาน้ำมันพืชที่ทำการทดสอบ

สมการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาน้ำมันพืช[12]

$$\eta_{th} = \frac{[m_{H_2O} \times c_{p,H_2O} (T_f - T_i)] + [W_v \times h_{fg,H_2O}]}{F_c \times LHV} \times 100\% \quad (2.13)$$

เมื่อ	$\eta_{th}$	=	ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาน้ำมันพืช, %
	$c_{p,H_2O}$	=	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, $J/g^{\circ}C$
	$m_{H_2O}$	=	มวลของน้ำ, g
	$T_f$	=	อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ, $^{\circ}C$
	$T_i$	=	อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ, $^{\circ}C$
	$F_c$	=	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้, g
	$LHV$	=	Low Heating Value of fuel, $J/g$
	$W_v$	=	ปริมาณไอน้ำที่ระเหยไปในระหว่างการทดสอบ, g
	$h_{fg,H_2O}$	=	Enthalpy of Vaporization of water $J/g$

## 2.7 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนความร้อน[2][5][19]

การถ่ายเทความร้อนมีทั้งสิ้น 3 แบบ ได้แก่ การนำความร้อน(Conduction Heat Transfer) การพาความร้อน(Convection Heat Transfer) และการแผ่รังสีความร้อน(Radiation Heat Transfer) โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.7.1 การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)

การนำความร้อนหมายถึงการส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางจากด้านที่มีอุณหภูมิสูง ไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำ การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ในตัวกลางที่เป็นทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซ

แต่ในงานวิจัยนี้ไม่คิดการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจากการนำความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิของตัวกลางมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากทำให้ได้ค่าการนำความร้อนที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนน้อยมากจึงไม่นำมาคิด แต่การนำความร้อนที่ขึ้นจากของเหลวและก๊าซจะไปรวมอยู่ในเทอมของการพาความร้อน ดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

### 2.7.2 การพาความร้อน (Convection Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อนแบบการพาเป็นลักษณะเฉพาะของของไหล เพราะจะเกิดขึ้นในก๊าซและของเหลวเท่านั้น ในการพาความร้อน โมเลกุลของก๊าซหรือของของเหลวจะเคลื่อนที่ไปยังบริเวณผิวถ่ายเทความร้อนอย่างไม่ขาดสายและทำการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ผิวนั้นด้วยเหตุนี้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลคล่องตัวมากเท่าไร อัตราการพาความร้อนก็จะสูงขึ้นตาม เพราะจำนวนของโมเลกุลที่เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวถ่ายเทความร้อนมีเพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน มีอยู่บ่อย ๆ ที่ทำการกวนของของไหลด้วยกรรมวิธีพิเศษบางอย่าง การทำเช่นนี้เรียกว่า การพาความร้อนแบบบังคับ(Force Convection) ในทางตรงข้าม การพาความร้อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของของไหลอย่างเป็นธรรมชาติ เนื่องจากแรงลอยตัวที่เกิดการขยายตัวของของไหลด้วยความร้อน เรียกว่า การพาความร้อนแบบอิสระ(Free Convection)

ในงานวิจัยนี้จะต้องการหาว่าการพาความร้อนที่เกิดขึ้นจากก๊าซร้อน ที่ไหลผ่านชุดท่อ Vaporizer นั้นเป็นการพาความร้อนแบบใด วิธีการตรวจสอบจะอาศัยสมการควบคุมคือ ขนาดสัมพัทธ์ของพารามิเตอร์ไร้มิติของ  $Gr/Re^2$  ซึ่งแทนอัตราส่วนของแรงลอยตัวต่อแรงจากความเฉื่อย ดังนี้

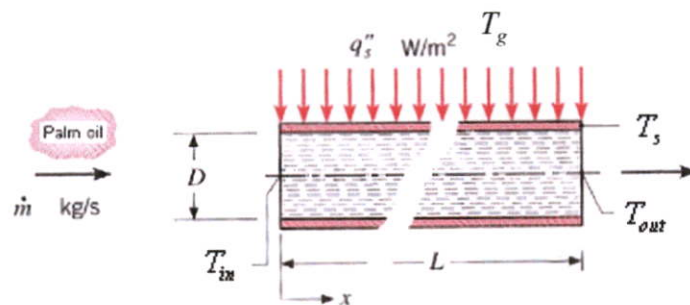
$$Gr/Re^2 = g\beta(T_g - T_s)D/u_0^2 \quad (2.14)$$

เมื่อ  $g$  = แรงโน้มถ่วงบนผิวโลก,  $m/s^2$

$\beta$  = สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร,  $K^{-1}$

$$\begin{aligned}
 T_g &= \text{อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ไหลผ่านท่อ Vaporizer, } K \\
 T_s &= \text{อุณหภูมิของผิวท่อ Vaporizer, } K \\
 D &= \text{ขนาดของท่อกลมที่ก๊าซร้อนไหลผ่าน, } m \\
 u_0^2 &= \text{ความเร็วของก๊าซร้อนที่ไหลผ่านท่อ Vaporizer, } m/s
 \end{aligned}$$

เงื่อนไขการพิจารณาได้ว่า  $Gr/Re^2 \gg 1$  เป็นการพาความร้อนแบบอิสระอย่างเดียว  
 $Gr/Re^2 = 1$  เป็นการพาความร้อนแบบอิสระและแบบบังคับ  
 $Gr/Re^2 \ll 1$  เป็นการพาความร้อนแบบบังคับอย่างเดียว



รูปที่ 2.5 การพาความร้อนของอากาศร้อนผ่านท่อกลม

เมื่อพิจารณาได้แล้วว่าเป็นการพาความร้อนแบบใด ให้ไปพิจารณาสมการของการพาความร้อนแบบนั้นมาใช้ในการคำนวณ เมื่อพิจารณาจากสมการ 2.14 พบว่างานวิจัยนี้เป็นการพาความร้อนแบบบังคับผ่านท่อทรงกระบอกกลมในแนวระดับ โดยมีสมการที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

$$q''_{conv} = \bar{h}(T_g - T_s) \quad (2.15)$$

เมื่อ  $q''_{conv}$  = ฟลักซ์ความร้อนที่ได้จากการพาความร้อนแบบบังคับ,  $W/m^2$   
 $\bar{h}$  = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย,  $W/m^2 \cdot K$

สำหรับการพาความร้อนของของเหลวที่ไหลในท่อ Vaporizer จะใช้สมการของ

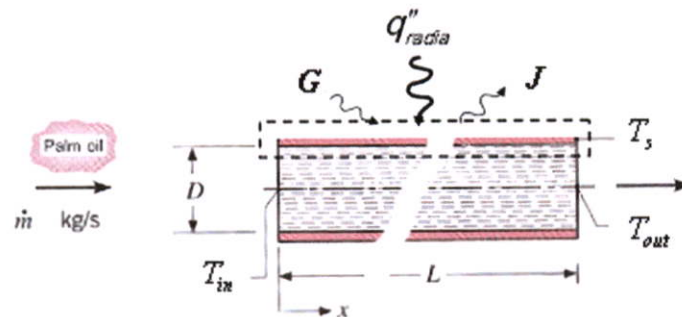
$$q = \dot{m}c_p(T_{out} - T_{in}) \quad (2.16)$$

เมื่อ  $q$  = อัตราการถ่ายเทความร้อน,  $W$   
 $\dot{m}$  = อัตราการไหลของของเหลวในท่อ Vaporizer,  $g/s$

$$\begin{aligned}
 c_p &= \text{ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่, } J/g \cdot ^\circ C \\
 T_{out} &= \text{อุณหภูมิน้ำมันที่ทางออกท่อ Vaporizer, } ^\circ C \\
 T_{in} &= \text{อุณหภูมิน้ำมันที่ทางเข้าท่อ Vaporizer, } ^\circ C
 \end{aligned}$$

### 2.7.3 การแผ่รังสีความร้อน(Radiation Heat Transfer)

การแผ่รังสีความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนจากผิวดังกล่าวหนึ่งไปสู่อีกตัวกลางหนึ่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน โดยพลังงานของการแผ่รังสีจะถูกส่งในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือในรูปของโฟตอนโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง การแผ่รังสีความร้อนจึงสามารถเกิดขึ้นในสุญญากาศได้ ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาการแผ่รังสีของก๊าซร้อน



รูปที่ 2.6 การแผ่รังสีความร้อนของอากาศร้อน

พิจารณาการแลกเปลี่ยนความร้อนของวัตถุผิวสีเทา

$$q''_{radia} = J - G \quad (2.17)$$

$J$  = ผลรวมทั้งหมดของการแผ่รังสีออกจากผิว

$G$  = ผลรวมทั้งหมดของการแผ่รังสีตกกระทบผิว

$$J = \epsilon_s E_{b,s} + \rho_s G \quad (2.18)$$

$$G = \epsilon_{g@T_g} \sigma T_g^4 - \alpha_{g@T_w} \sigma T_w^4 \quad (2.19)$$

$G$  = ผลรวมทั้งหมดของการแผ่รังสีที่ตกกระทบผิวท่อทองแดง ที่เกิดจากการแผ่รังสีของก๊าซร้อนที่ประกอบด้วย  $CO_2$  และ  $H_2O$

$\varepsilon_s$  = ค่าความสามารถของการปล่อยออกของผิวท่อทองแดง (Emissivity)

$\rho_s$  = ค่าความสามารถของการสะท้อนของผิวท่อทองแดง (Reflection)

### สมมติเงื่อนไขเพื่อใช้ในการคำนวณผลจากการแผ่รังสี

1. หัวเผาถูกล้อมรอบด้วยผนังทรงกระบอก ที่เป็นตัวกันความร้อนสูงเสียด โดยมีส่วนศูนย์กลางเท่ากับความยาวของทรงกระบอก
2. กำหนดให้ท่อทองแดงเสมือนอยู่ในบริเวณปิดภายในทรงกระบอก เมื่อมีการวางภาชนะด้านบน
3. ค่าอุณหภูมิต่างๆ ได้จากการวัดการเผาไหม้ของหัวเผาเดียวกัน แต่ใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันพืช
4. กำหนดให้ผนังห้องเผาไหม้มีสีเทา (จากเขม่าของการเผาไหม้เชื้อเพลิง)
5. กำหนดให้สภาวะภายในห้องปิดมีค่าความดันเท่ากับ 1 atm

เมื่อนำสมการ 2.18 และ 2.19 แทนในสมการที่ 2.17 จะได้

$$q_{radia}'' = \varepsilon_s \sigma \left[ T_s^4 - \left( \varepsilon_{g@T_g} T_g^4 \right) + \alpha_{g@T_w} T_w^4 \right] \quad (2.20)$$

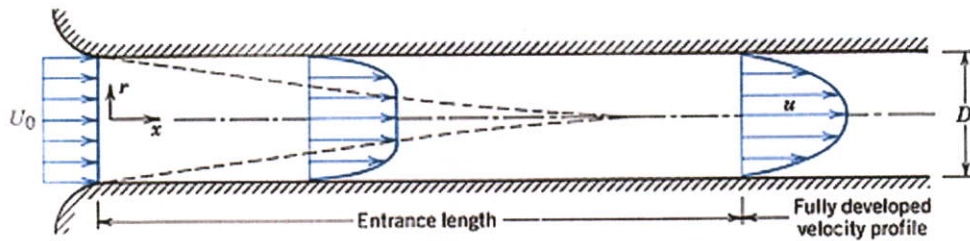
โดยที่  $\varepsilon_s$  = ค่าความสามารถของการปล่อยออกของผิวท่อทองแดง

$\varepsilon_g$  = ค่าความสามารถของการปล่อยออกของก๊าซรวม

$\alpha_g$  = ค่าความสามารถของการดูดกลืนของก๊าซรวม

## 2.8 ทฤษฎีการไหลในท่อ

การไหลภายในท่อจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้นั้นจะต้องมีความดันที่แตกต่างกันระหว่างจุดทั้งสองของไหลจึงจะสามารถไหลผ่านท่อไปได้ ผลของความหนืดบริเวณใกล้กับผนังท่อจะเกิดความต้านทานต่อการไหล ทำให้เกิดชั้นขีดผิวในบริเวณใกล้กับผนังท่อนั้น ภายใต้ข้อสมมติฐานที่ว่าผนังท่อไม่มีการเลื่อนไหลตลอดความยาวท่อ และเกิดความเค้นเฉือนกระทำต่อของไหลในทิศทางตรงข้ามกับการไหล และในบริเวณนี้ยังพบว่าโปรไฟล์ความเร็วเปลี่ยนแปลงในทิศการไหลอีกด้วย ในบริเวณปากทางเข้านั้นการกระจายตัวของความเร็วจะเปลี่ยนแปลงกับระยะตามพิทัก  $r$  และทิศทางการไหลตามระยะทางพิทัก  $z$  แต่เมื่อของไหลไหลผ่านปากทางเข้าไปแล้วความเร็วของของไหลจะไม่ขึ้นกับระยะทางในทิศการไหล แต่ความเร็วจะขึ้นกับพิทัก  $r$  เท่านั้น ทำให้โปรไฟล์ความเร็วไม่เปลี่ยนแปลงตามทิศทางการไหลเต็มท่อนี้



รูปที่ 2.7 การไหลภายในท่อกลมแบบไหลเต็มท่อ

การไหลภายในท่อสามารถจำแนกตามระดับความเร็วของการไหลเป็น 2 แบบได้แก่ การไหลแบบราบเรียบ (Lamina flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) โดยทั่วไปแล้วของไหลที่ไหลอยู่ได้อย่างต่อเนื่องนั้น เนื่องจากมีแรงเฉื่อย (Inertia force) กระทำในทิศการไหล และในขณะเดียวกันจะมีแรงเนื่องจากความหนืดกระทำในทิศตรงกันข้ามกับทิศการไหล ของการไหลดังกล่าวจะไหลเร็วไหลช้าขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยต่อแรงเนื่องจากความหนืด ถ้าอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยต่อแรงเนื่องจากความหนืดมีค่าสูงของไหลจะไหลเร็วมาก ถ้าอัตราดังกล่าวมีค่าต่ำของไหลจะไหลช้าลง อัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยต่อแรงเนื่องจากความหนืด คือ เลขเรย์โนลด์ส์ (Reynolds Number) เลขเลขเรย์โนลด์ส์นี้ใช้เป็นเลขในการกำหนดแบบการไหลสำหรับการไหลภายในท่อ จะเขียนความสัมพันธ์และสมการของเลขเรย์โนลด์ส์ได้ดังนี้

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.21)$$

- โดยที่  $\rho$  = ความหนาแน่นของของไหล,  $kg/m^3$   
 $V$  = ความเร็วของของไหลที่ไหลในท่อ,  $m/s$   
 $D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ,  $m$   
 $\mu$  = ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล,  $N \cdot s/m^2$

และอัตราเร็วเฉลี่ยตลอดพื้นที่หน้าตัดท่อ

$$\bar{V} = \frac{\dot{V}}{A} \quad (2.22)$$

- โดยที่  $\dot{V}$  = ความเร็วเฉลี่ยของของไหลที่ไหลในท่อ,  $m^3/s$   
 $A$  = พื้นที่หน้าตัดของท่อ,  $m^2$

## 2.9 หลักการเลือกมาตรฐานการทดสอบ

ในการคัดเลือกมาตรฐานเพื่อใช้ในการทดสอบ จะต้องเลือกมาตรฐานที่ให้ค่าถูกต้อง เป็นมาตรฐานที่น่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับของคนส่วนใหญ่และทันสมัยที่สุด และการเลือกมาตรฐานการทดสอบในงานวิจัยนี้มีวิธีการเลือกดังนี้

### 2.9.1 การเลือกมาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน[12]

จากการศึกษามาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่างๆ พบว่ามีมาตรฐานการทดสอบหลายวิธีที่จะนำมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน แต่มีมาตรฐานการทดสอบที่นิยมใช้กับหัวเผาในครัวเรือนอยู่ด้วยกัน 3 วิธีที่นิยมใช้ในการทดสอบ คือ

1. A Water Boiling Test เป็นการทดสอบที่วัดปริมาณการใช้ไม้ในการทำน้ำให้เดือดตามเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งเป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการ(Laboratory test)ที่ทำการทดสอบทั้ง Full heat และ Low heat การทดสอบทั้งสองระดับนี้เป็นการจำลองการทดสอบการใช้งานจริงในการประกอบอาหารอย่างหนัก โดยไม่จำเป็นที่จะต้องมีการเทียบเคียงกับการประกอบอาหารที่มีการปรุงอาหารจริง การทดสอบนี้มีผลกระทบน้อยมากจากการประกอบอาหารที่แตกต่างกันในแต่ละท้องถิ่น ซึ่งจะทำให้ทำการเปรียบเทียบค่ากันได้ง่ายภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

2. A Kitchen Performance Test เป็นการทดสอบที่วัดปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อคนในการประกอบอาหารจริง และการประกอบอาหารก็จะกระทำกันตามประเพณีนิยมและลักษณะของเตาที่ใช้ก็จะแตกต่างกันไปตามแหล่งต่างๆ อีกด้วย และเมื่อทำการทดสอบผลและตัวอย่างจากการทดสอบจะได้ว่าแต่ละครอบครัวนั้นใช้ปริมาณไม้ไปเท่าไรในการประกอบอาหารซึ่งผลนี้จะได้จากแต่ละครั้งของการประกอบอาหาร

3. A Controlled Cooking Test การทดสอบนี้เป็นการทดสอบที่เชื่อมเอาการทดสอบของสองวิธีแรกเข้าด้วยกันหรือกล่าวง่ายๆ ว่าการทดสอบนี้เป็นการทดสอบที่อยู่ระหว่างการทดสอบแบบ A Water boiling test กับ A Kitchen performance test โดยการทดสอบนี้จะทำการทดสอบสมรรถนะของเตาจากการประกอบอาหารจริงแต่การประกอบอาหารที่จะทำกันในแต่ละเมื่อจะต้องถูกควบคุมตามเงื่อนไขกำหนด บุคคลที่จะทำการทดสอบจะต้องได้รับการสอนวิธีการประกอบอาหารตามประเพณีนิยมและเป็นไปตามเงื่อนไขกำหนดด้วย

จากการศึกษาขั้นตอนและวิธีการทดสอบทั้ง 3 วิธี พบว่าวิธี Water Boiling Test เป็นวิธีที่น่าจะนำมาใช้ในการทดสอบมากที่สุดเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายต่อการทดสอบและสามารถทำการทดสอบได้ในห้องปฏิบัติการได้ด้วยตัวเอง

### 2.9.2 การเลือกมาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้[13]

จากการศึกษามาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้นั้น จำเป็นจะต้องมี

การเก็บตัวอย่างก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ จึงต้องมีการใช้ Hood ครอบเพื่อทำการเก็บตัวอย่าง แก๊สจากด้านบนของ Hood และยังมีมาตรฐานการเก็บตัวอย่างก๊าซอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น BS 2491, BS 5386, DIN EN 203-1, AG 101 สำหรับการเก็บตัวอย่างก๊าซเสียที่ต้องใช้ Hood ครอบ ลักษณะของ Hood ที่สามารถเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมตามขนาดภาชนะทดสอบได้จะเป็นวิธีการ ทดสอบที่เหมาะสมในการเลือกนำมาทดสอบ เนื่องจากก๊าซเสียที่วัดได้น่าจะมีความถูกต้องมากกว่า เพราะ Hood ที่สามารถเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมกับภาชนะทดสอบจะช่วยลดอากาศที่จะเข้ามาเจือ จาง ทำให้ก๊าซเสียที่วัดได้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งวิธีดังกล่าวก็คือ มาตรฐานแบบ DIN EN 203- 1 ซึ่งวิธีอื่นใช้ Hood ที่ใหญ่และไม่เปลี่ยนแปลงตามภาชนะทดสอบผลที่วัดได้น่าจะทำให้ได้ค่า ความเข้มข้นที่ผิดพลาดมากกว่าวิธี DIN EN 203-1

## บทที่ 3

# การออกแบบและพัฒนาหัวเผา น้ำมันพืช

### 3.1 บทนำ

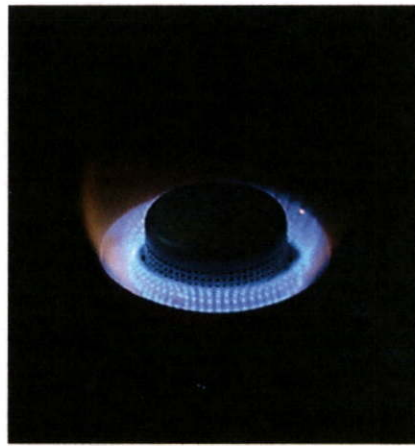
สำหรับหัวเผาที่ใช้กันทั่วไปจะแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ หัวเผาเชื้อเพลิงแข็ง, หัวเผาเชื้อเพลิงเหลว และหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ ซึ่งหัวเผาที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะจัดอยู่ในประเภทของหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวแต่เดิมนั้นเป็นหัวเผาที่ใช้กับน้ำมันก๊าด(Kerosene Burner) แต่เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันก๊าดกับน้ำมันปาล์มมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันหัวเผาที่นำมาใช้จำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงขึ้นบางชิ้นเพิ่มเติมเพื่อให้หัวเผาสามารถที่ใช้ได้กับเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันปาล์ม โดยน้ำมันปาล์มนั้นมีความหนืดสูงและมีอุณหภูมิติดไฟที่สูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการใช้ระบบอุ่นน้ำมันให้ร้อนก่อนและระเหยกลายเป็นไอที่เบาเพื่อการแตกเป็นฝอยละอองได้ง่ายขึ้นเพื่อช่วยในการผสมและคลุกเคล้ากับอากาศได้ดีขึ้น

### 3.2 โครงสร้างของหัวเผาที่นำมาออกแบบและพัฒนา

จากหัวเผา น้ำมันก๊าดที่พบมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ หัวเผาที่ไม่มีห้องผสมเชื้อเพลิง(Mixing chamber) และหัวเผาแบบที่มีห้องผสมเชื้อเพลิง จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าหัวเผาแบบที่มีห้องผสมเชื้อเพลิงให้การเผาไหม้ดีกว่าแบบที่ไม่มีห้องผสมเชื้อเพลิง โดยสังเกตเปลวไฟที่ได้จากการเผาไหม้ ผู้ทำการวิจัยจึงเลือกใช้หัวเผาแบบที่มีห้องผสมเชื้อเพลิงมาทำการออกแบบและพัฒนาเป็นหัวเผา น้ำมันพืชสำหรับงานวิจัยนี้



(ก) แบบที่ไม่มีห้องผสมเชื้อเพลิง



(ข) แบบที่มีห้องผสมเชื้อเพลิง

รูปที่ 3.1 ลักษณะเปลวไฟของน้ำมันปาล์มที่ได้จากการทดสอบใช้กับหัวเผา น้ำมันก๊าด ทั้งสองแบบ

### 3.3 แนวทางการออกแบบและพัฒนาหัวเผา

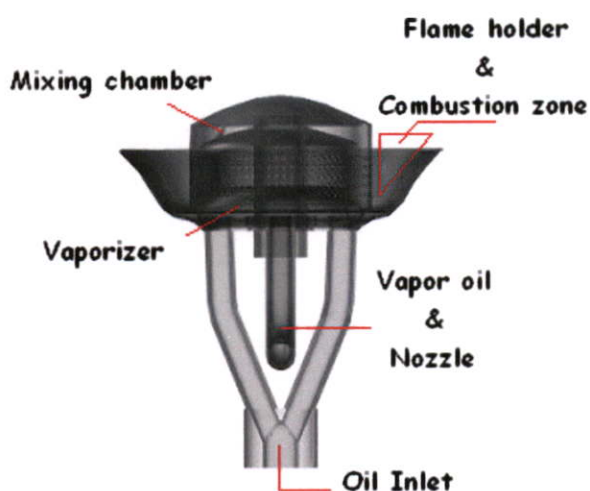
จากหัวเผาน้ำมันก๊าดที่มีขายในท้องตลาดมีหัวเผาอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ

1. หัวเผาน้ำมันก๊าดแบบที่ไม่มีการผสมอากาศก่อนเผาไหม้ (Non-Premixed Combustion)
2. หัวเผาน้ำมันก๊าดแบบผสมอากาศก่อนเผาไหม้ (Premixed Combustion)

เนื่องจากการเผาไหม้ที่ได้จากหัวเผาแบบที่สองให้การเผาไหม้ที่ดีกว่าหัวเผาแบบที่หนึ่ง ซึ่งสังเกตได้จากการนำหัวเผาทั้งสองแบบมาทำการติดไฟโดยใช้น้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ปรากฏว่าหัวเผาแบบแรกมีลักษณะเปลวไฟเป็นสีส้มและเขม่าควันเกิดขึ้นมาก ส่วนหัวเผาแบบที่สองมีลักษณะของเปลวไฟเป็นสีฟ้า เนื่องจากข้อดีของการผสมก่อนอากาศก่อนเผาไหม้ หัวเผาแบบที่สองจึงถูกเลือกมาทำการออกแบบและพัฒนาในงานวิจัยนี้

#### 3.3.1 หัวเผาน้ำมันก๊าด(Kerosene Burner)

เป็นหัวเผาที่เลือกนำมาพัฒนาให้ใช้ได้กับน้ำมันพืช



(ก) หัวเผาน้ำมันก๊าดชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้ (ข) โครงสร้างภายในของหัวเผา  
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของหัวเผาน้ำมันก๊าดที่เลือกมาพัฒนาเพื่อใช้กับน้ำมันพืช

หลักการทำงานเบื้องต้นของหัวเผาน้ำมันก๊าด

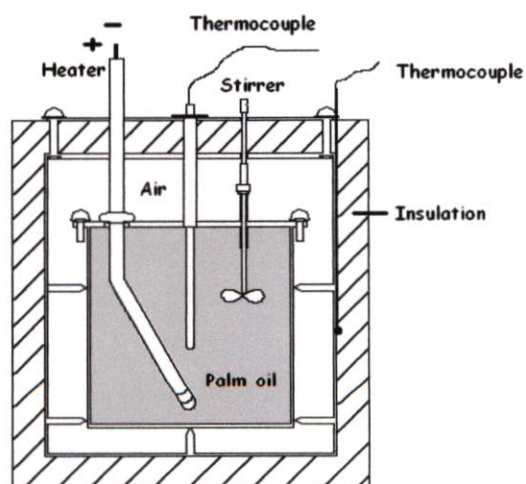
1. น้ำมันปาล์มไหลเข้าไปตามท่อทางเดินน้ำมันจากแรงขับของถังความดัน
2. น้ำมันปาล์มจากท่อทางเดินน้ำมันไหลเข้าสู่ชุด Vaporizer น้ำมันปาล์มระเหยเป็นไอ จากความร้อนของเปลวไฟที่ให้กับชุด Vaporizer ที่อยู่ภายในหัวเผา

3. ใช้น้ำมันปาล์มไหลออกจากหัวเผาทางหัวฉีด ผสมกับอากาศ และเผาไหม้ที่ด้านบนของหัวเผาที่บริเวณ Flame Holder
4. นำความร้อนที่ได้จากเปลวไฟไปใช้งาน และให้ความร้อนกับชุด Vaporizer ไปด้วยในเวลาเดียวกัน

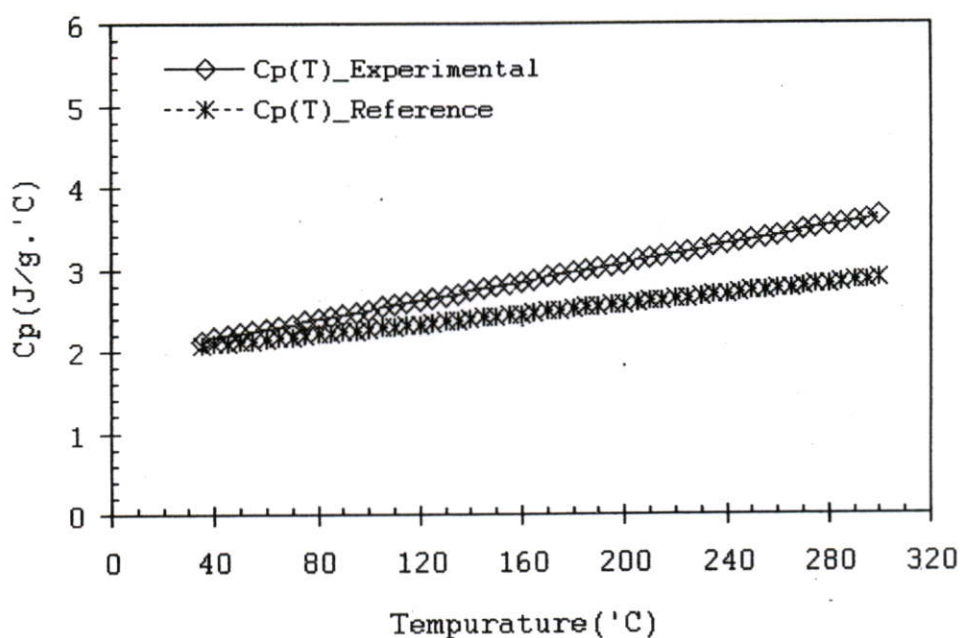
เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันก๊าดกับน้ำมันปาล์มที่แตกต่างกันมากดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการพัฒนาหัวเผาน้ำมันก๊าดใหม่เพื่อให้สามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันปาล์ม โดยส่วนที่ต้องทำการพัฒนาก็คือ ชุด Vaporizer ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการระเหยเชื้อเพลิงให้เป็นไอก่อนจะถูกฉีดพ่นออกมาเผาไหม้ ในการออกแบบชุด Vaporizer จำเป็นจะต้องมีการหาค่าความร้อนจำเพาะเพื่อใช้ในการคำนวณหาความยาวของท่อ Vaporizer

### 3.3.2 วิธีการทดสอบหาค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์ม

ในการทดสอบได้ทำการสร้างอุปกรณ์สำหรับหาค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์มโดยทำการเติมน้ำมันปาล์มลงในภาชนะทรงกระบอกหุ้มฉนวนอย่างดี จำนวน 4300 กรัม และทำการให้ความร้อนด้วยขดลวดความร้อน ปริมาณความร้อนที่ได้จากขดลวดมีขนาด 1741.5 Watt และทำการกวนน้ำมันในภาชนะด้วยใบกวน ทำการจับเวลาพร้อมกับการวัดและจดบันทึกอุณหภูมิและเวลาที่เปลี่ยนไปในแต่ละช่วงแล้วนำค่าที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะตามสมการที่ 3.1 จะได้ความสัมพันธ์ของเส้นกราฟ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.4



(ก) อุปกรณ์ทดสอบหาค่าความร้อนจำเพาะ (ข) โครงสร้างภายในของอุปกรณ์ทดสอบ  
รูปที่ 3.3 โครงสร้างของอุปกรณ์ทดสอบหาค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์ม



รูปที่ 3.4 แสดงเส้นกราฟของค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

จากการป้อนความร้อนให้กับน้ำมันปาล์ม โดยอาศัยขดลวดความร้อน ซึ่งทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าขนาด 215 V. และกระแสขนาด 8.1 A. จากนั้นทำการวัดการเปลี่ยนแปลงของเวลาในช่วงอุณหภูมิกำหนด จะทำให้ได้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เวลาต่างๆออกมา นำค่าที่ได้ไปทำการคำนวณหาค่าความจุความร้อนของน้ำมันจากสมการ 3.1 คือ

$$C_p = \frac{Q_{oil}}{m} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta T} \quad (3.1)$$

$Q_{oil}$  = พลังงานความร้อนที่น้ำมันพืชได้รับ, J

$$= Q_{heater} - Q_{loss}$$

$m$  = มวลของน้ำมันที่ใช้ทดสอบ, kg

$\Delta t$  = ผลต่างของเวลาในแต่ละช่วงอุณหภูมิกำหนด, sec

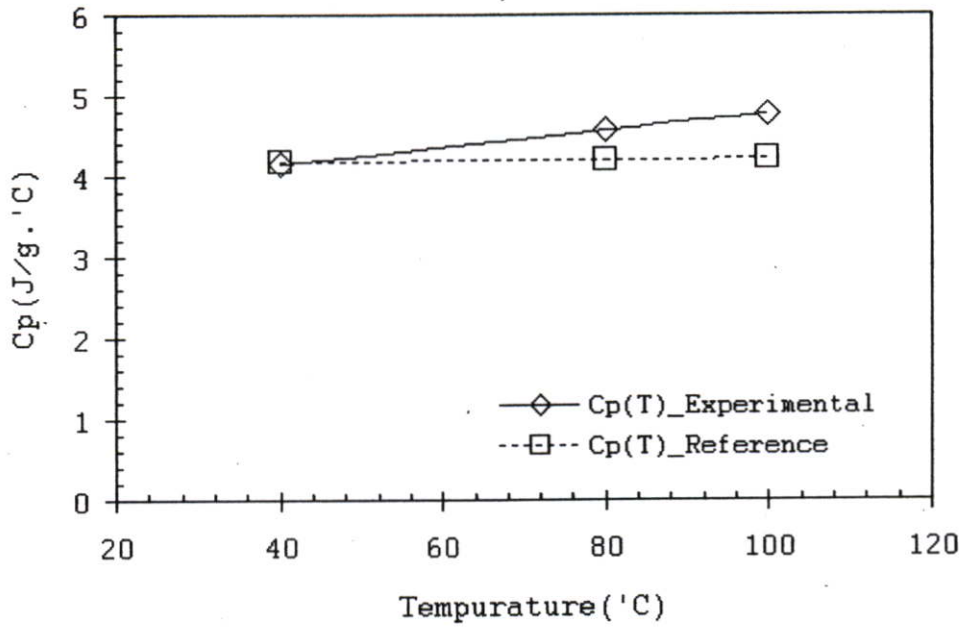
กำหนดให้ทำการบันทึกเวลาที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงทีละ 5 °C

$\Delta T$  = ผลต่างของช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำมันพืช, °C

ซึ่ง ฟังก์ชันของค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ทดสอบได้ คือ

$$C_p(T) = 0.0057T + 1.9337 \quad J/g \cdot ^\circ C$$

โดย  $T$  = อุณหภูมิที่ต้องการหาค่าความร้อนจำเพาะ, °C



รูปที่ 3.5 แสดงเส้นกราฟของค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ

### 3.4 ขั้นตอนการคำนวณหาความยาวท่อ Vaporizer

3.4.1 การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อนของก๊าซร้อน  
การพาความร้อนมี 2 วิธี คือ

1. การพาความร้อนแบบบังคับ
2. การพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาแบบธรรมชาติ

พิจารณาการพาความร้อนว่าเป็นลักษณะการพาความร้อนแบบใด ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการ 2.14 คือ อัตราส่วนแรงลอยตัวต่อแรงจากความเฉื่อย ดังนี้

$$Gr/Re^2 = [g \cdot \beta \cdot (T_g - T_s) \cdot D] / (u_0^2)$$

- เมื่อ
- $g$  = แรงโน้มถ่วงของโลก =  $9.81 \text{ m/s}^2$
  - $\beta$  = สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร =  $1/T_f \text{ K}^{-1}$
  - $T_g$  = อุณหภูมิของก๊าซร้อน  $K$
  - $T_f$  = อุณหภูมิเฉลี่ย (Film Temperature)  $K$
  - $D$  = ความยาวของวัตถุที่ขวางการไหล  $m$
  - $u_0$  = ความเร็วของขงไหลที่ไหลผ่านวัตถุ  $m/s$

### กำหนดตัวแปรเพื่อพิจารณาการพาความร้อน

$$T_g \approx 400^\circ\text{C} = 673\text{ K} \quad (\text{วัดจากอุณหภูมิเปลวไฟแก๊ส LPG})$$

$$T_s = (400 + 300)/2 = 350^\circ\text{C} = 623\text{ K}$$

$$T_f = (T_g + T_s)/2 = (400 + 350)/2 = 375^\circ\text{C} = 648\text{ K}$$

$$T_w \approx 300^\circ\text{C} = 573\text{ K}$$

$$\beta = (1/T_f) = (1/648) = 0.0015432\text{ K}^{-1}$$

$$D = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ Vaporizer} = 5\text{ mm.} = 0.005\text{ m.}$$

$u_0$  = ความเร็วที่ของไหลไหลผ่านหน้าตัดท่อทองแดง  
 = กำหนดให้ความเร็วเท่ากับความเร็วของการไหลเข้าของส่วนผสม  
 ระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง

$$u_0 = V_{air} + V_{LPG} \quad (3.2)$$

พิจารณาตัวแปรเพื่อหา  $u_0$

กำหนดให้ใช้อัตราการไหลแก๊ส LPG ต่ำสุด เพื่อจะได้ความยาวของท่อ Vaporizer ที่ยาวเพียงพอต่อการรับความร้อนจากแก๊สร้อนที่ไหลผ่านท่อ Vaporizer เมื่อมีการเผาไหม้ที่อัตราการไหลต่ำๆ แต่การเผาไหม้จะต้องมีอุณหภูมิเปลวไฟที่สูงกว่า  $300^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} \text{กำหนด} \quad \dot{V}_{LPG} &= 2.5\text{ L/min} \\ &= 2.5 \frac{\text{L}}{\text{min}} \times \left( \frac{\text{m}^3}{10^3\text{ L}} \right) \times \left( \frac{\text{min}}{60\text{ sec}} \right) \\ &= 4.17 \times 10^{-5}\text{ m}^3/\text{sec} \end{aligned}$$

$$\dot{m}_{LPG} = \dot{V}_{LPG} \times \rho_{LPG} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} &= (4.17 \times 10^{-5}) \frac{\text{m}^3}{\text{sec}} \times \left( 1.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \\ &= 7.5 \times 10^{-5}\text{ kg/sec} \end{aligned}$$

กำหนดให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าด้วยการชักนำจากลำเจ็ทของ LPG คิด  
 ที่การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Stoichiometric Combustion) ดังนั้น

$$\dot{m}_{air} = \dot{m}_{LPG} \times (A/F)_{stoi,LPG} \quad (3.4)$$

จากการสมดุลทางเคมีของแก๊ส LPG จะได้  $(A/F)_{stoi,LPG} = 15.535$   
 ดังนั้น

$$\dot{m}_{air} = (7.5 \times 10^{-5} \text{ kg/sec}) \times (15.53) = 1.17 \times 10^{-3} \text{ kg/sec}$$

$$\dot{V}_{air} = \frac{\dot{m}_{air,stoi}}{\rho_{air@25^\circ C}} = \frac{1.17 \times 10^{-3} \text{ kg/sec}}{1.1845 \text{ kg/m}^3} = 9.84 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}$$

จากการวัดทางเข้าของเชื้อเพลิงและอากาศของหัวเผาน้ำมันปาล์มจะได้ว่า

$$A_{inlet} = \frac{\pi}{4} \times D_{inlet}^2 \quad (3.5)$$

$$= \frac{\pi}{4} \times (0.017)^2 \text{ m}^2 = 2.27 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

ดังนั้น 
$$V_{air} = \frac{\dot{V}_{air}}{A_{inlet}} \quad (3.6)$$

$$= \frac{(9.84 \times 10^{-4}) \text{ m}^3/\text{sec}}{(2.27 \times 10^{-4}) \text{ m}^2} = 4.3336 \text{ m/sec}$$

และ 
$$V_{LPG} = \frac{(4.17 \times 10^{-5}) \text{ m}^3/\text{sec}}{(2.27 \times 10^{-4}) \text{ m}^2} = 0.1836 \text{ m/sec}$$

ดังนั้น 
$$V_{total} = u_0 = V_{air} + V_{LPG}$$

$$= [4.3336 + 0.1836] = 4.5172 \text{ m/sec}$$

นำค่า  $g, \beta, T_g, T_s, D_{tube}, u_0$  แทนลงในสมการหารูปแบบการพาความร้อน

$$\frac{Gr}{Re^2} = \frac{(9.81 \text{ m/sec}^2) \times (0.0015432 \text{ K}^{-1}) \times (673 - 623) \text{ K} \times (0.005 \text{ m})}{(4.5172^2) \text{ m}^2 / \text{sec}^2} = 0.00017357$$

จากเงื่อนไขพิจารณาได้ว่า  $Gr/Re^2 \gg 1$  เป็นการพาความร้อนแบบอิสระอย่างเดียว

$Gr/Re^2 = 1$  เป็นการพาความร้อนแบบอิสระและ  
แบบบังคับ

$Gr/Re^2 \ll 1$  เป็นการพาความร้อนแบบบังคับอย่าง  
เดียว

เพราะฉะนั้น ในส่วนของงานวิจัยนี้เป็นการพาความร้อนแบบบังคับอย่างเดียว #

นำข้อมูลที่ได้ไปทำการพิจารณาสมการการพาความร้อนแบบบังคับ (ที่ไหลผ่านทรง  
กระบอกในแนวขวาง) จากสมการที่ 2.15 ได้ว่า

$$q_{conv}'' = \bar{h} \times (T_g - T_s)$$

เมื่อ

$$\bar{h} = \text{สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย } W/m^2 \cdot K$$

$$\bar{h} = \left( \frac{k}{D} \right) \times \overline{Nu_D} \quad (3.7)$$

$k$  = ค่าสภาพการนำความร้อน  $W/m \cdot K$

$D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อทองแดงที่อากาศร้อนไหลผ่าน,  $m$ .

$\overline{Nu_D}$  = นัสเซิลนัมเบอร์เฉลี่ย (สำหรับทรงกระบอกกลม)

$$Re_D = \frac{\rho \times u_0 \times D_{tube}}{\mu} = \frac{u_0 \times D_{tube}}{\nu} \quad (3.8)$$

สิ่งที่ต้องหาคือ  $C, m, Pr, k, D_{tube}, Re_D$  จากตาราง A-15 Properties of air at 1 atm pressure[5] จะได้  
คุณสมบัติของอากาศร้อนที่ไหลผ่านท่อทองแดงที่อุณหภูมิเฉลี่ย  $T_f = 375 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned}\rho_{air@375^{\circ}C} &= 0.5454 \text{ kg/m}^3 \\ k_{air@375^{\circ}C} &= 0.04868 \text{ W/m}\cdot\text{K} \\ \mu_{air@375^{\circ}C} &= 3.181 \times 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{sec} \\ Pr_{air@375^{\circ}C} &= 0.6943\end{aligned}$$

ดังนั้น  $Re_D = \frac{(0.5454) \times (4.5172) \times (0.005)}{3.181 \times 10^{-5}} = 387.2121$

นำ  $Re_D$  ที่หาได้ไปเปิดตาราง 15-2[5]

$$\overline{Nu}_D = 0.683 Re_D^{0.466} Pr^{1/3} \quad (3.9)$$

ดังนั้น  $\overline{Nu}_D = 0.683(387.2121)^{0.466} (0.6943)^{1/3} = 9.71799$

นำค่าต่างๆ แทนในสมการ 3.7 เพื่อหา  $\bar{h}$  โดยที่  $D_{tube} = 0.005 \text{ m}$

$$\bar{h} = \left( \frac{0.04868}{0.005} \right) (9.71799) = 94.6144 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \cdot \frac{1}{\text{m}}$$

หาค่า Heat Flux ที่เกิดจากการพาความร้อนของอากาศร้อน

$$q_{conv}'' = \bar{h}(T_g - T_s) = (94.6144) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} (673 - 623) \text{ K}$$

$$q_{conv}'' = \frac{q_s}{A_s} = 4730.722 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \approx 4731 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

### 3.4.2 การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีของก๊าซร้อน

พิจารณาการแลกเปลี่ยนความร้อนของวัตถุผิวสีเทา จากสมการ 2.20 จะได้

$$q_{radia}'' = \varepsilon_s \sigma \left[ T_s^4 - \left( \varepsilon_{g@T_g} T_g^4 \right) + \alpha_{g@T_w} T_w^4 \right]$$

กำหนดเงื่อนไขเพื่อใช้ในการคำนวณผลจากการแผ่รังสี

1. หัวเผาถูกล้อมรอบด้วยผนังทรงกระบอก ที่เป็นตัวกันความร้อนสูงเสียด โดยมีส่วนศูนย์กลางเท่ากับความยาวของทรงกระบอก
2. กำหนดให้ท่อทองแดงเสมือนอยู่ในบริเวณปิดภายในทรงกระบอก เมื่อมีการวางภาชนะด้านบน
3. ค่าอุณหภูมิต่างๆ ได้จากการวัดการเผาไหม้ของหัวเผาเดียวกัน แต่ใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันพืช
4. กำหนดให้ผนังห้องเผาไหม้มีสีเทา(จากเขม่าของการเผาไหม้เชื้อเพลิง)
5. กำหนดให้สภาวะภายในห้องปิดมีค่าความดันเท่ากับ 1 atm

กำหนดให้ค่าคงที่ของ Stefan boltzmann เท่ากับ

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

นำเงื่อนไขต่างๆ ไปพิจารณาเพื่อหาคุณสมบัติต่างๆ ของก๊าซผสมจะได้ค่าต่างดังต่อไปนี้

จากตารางที่ A-18[5] จะได้ค่าการปล่อยออกของทองแดงที่ผิวเงา เนื่องจากต้องการให้มีการสะท้อนออกมากที่สุด เมื่อคำนวณผลออกมาแล้วจะได้ความยาวท่อมากที่สุด ซึ่งมีค่าการปล่อยออกมีค่าเท่ากับ  $\varepsilon_{s@25^\circ C} = 0.05$

$$\varepsilon_g = \varepsilon_{CO_2} + \varepsilon_{H_2O} - \Delta\varepsilon \quad (3.10)$$

$$\alpha_g = \alpha_{CO_2} + \varepsilon_{H_2O} - \Delta\alpha \quad (3.11)$$

- โดยที่  $\varepsilon_{CO_2}$  = ค่าความสามารถของการปล่อยออกของก๊าซ Carbon dioxide  
 $\varepsilon_{H_2O}$  = ค่าความสามารถของการปล่อยออกของน้ำที่ได้จากการเผาไหม้  
 $\varepsilon_g$  = ค่าความสามารถของการปล่อยออกของก๊าซผสม  
 $\alpha_{CO_2}$  = ค่าความสามารถของการดูดกลืนของก๊าซ Carbon dioxide  
 $\alpha_{H_2O}$  = ค่าความสามารถของการดูดกลืนของน้ำที่ได้จากการเผาไหม้  
 $\alpha_g$  = ค่าความสามารถของการดูดกลืนของก๊าซผสม  
 $\Delta\varepsilon$  = Emissivity Corrected  
 $\Delta\alpha$  =  $\Delta\varepsilon$

จากการวัดอุณหภูมิของก๊าซร้อนใกล้หัวเผาและผนังห้องเผาไหม้ จะได้

$$T_g = 400 \text{ } ^\circ\text{C} = 673 \text{ K}$$

$$T_w = 300 \text{ } ^\circ\text{C} = 573 \text{ K (อุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้)}$$

จากรูปที่ 12-36[5] จะได้  $\epsilon_{CO_2}$  และ  $\epsilon_{H_2O}$  ตามเงื่อนไข

$$\epsilon_{CO_2}(T_g, P_{CO_2} L_e) = \epsilon_{CO_2}(673K, P_{CO_2} L_e)$$

$$\epsilon_{H_2O}(T_g, P_{H_2O} L_e) = \epsilon_{H_2O}(673K, P_{H_2O} L_e)$$

จากสมการที่เห็นจำเป็นต้องหา  $L_e$  คือความยาวเทียบเท่าของการแผ่รังสีออกจากปริมาตร โดยกำหนดเงื่อนไขของห้องเผาไหม้ให้เป็น “ ทรงกระบอกกลมที่มีความสูงเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลาง “ โดยการแผ่รังสีไปที่ผิวแต่ละผิว จะได้

$$L_e = 0.60 \times D_{combuster} \quad (3.12)$$

$$D_{combuster} \approx 120 \text{ mm.}$$

กำหนดให้  $1 \text{ mm} = 0.00328 \text{ ft}$

เพราะฉะนั้น

$$L_e = 0.60 \times (0.3936 \text{ ft})$$

$$= 0.2362 \text{ ft}$$

จะได้ว่า  $P_{H_2O} = X_{H_2O} P = 0.141 \times (1 \text{ atm}) = 0.141 \text{ atm}$

และ  $P_{CO_2} = X_{CO_2} P = 0.126 \times (1 \text{ atm}) = 0.126 \text{ atm}$

$$P_{H_2O} L_e = (0.126 \text{ atm}) \times (0.236 \text{ ft}) = 0.0296 \text{ ft} \cdot \text{atm}$$

$$P_{CO_2} L_e = (0.141 \text{ atm}) \times (0.236 \text{ ft}) = 0.0333 \text{ ft} \cdot \text{atm}$$

ดังนั้น จากรูปที่ 12-36[5] จะได้

$$\varepsilon_{H_2O} = 0.035$$

$$\varepsilon_{CO_2} = 0.047$$

และ จากรูปที่ 12-38[5] ที่สัมพันธ์กับสมการ

$$\Delta\varepsilon \left( T_g, \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2O} + P_{CO_2}}, P_{CO_2}L_e + P_{H_2O}L_e \right) \quad (3.13)$$

$$\text{เมื่อ} \quad \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2O} + P_{CO_2}} = \frac{0.126}{(0.126 + 0.141)} = 0.472$$

$$P_{CO_2}L_e + P_{H_2O}L_e = (0.0333) + (0.0296) = 0.0629$$

$$\text{จะได้} \quad \Delta\varepsilon(673, 0.472, 0.0629) = 0.00$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \varepsilon_g = 0.047 + 0.035 - 0.00 = 0.082$$

และ จากรูปที่ 12-36[5] โดยใช้  $T_w$  แทน  $T_g$  จะได้

$$\alpha_{CO_2} = C_{CO_2} \cdot (T_g/T_w)^{0.65} \times \varepsilon_{CO_2} \left( T_w, P_{CO_2}L_e \frac{T_w}{T_g} \right) \quad (3.14)$$

$$\alpha_{H_2O} = C_{H_2O} \cdot (T_g/T_w)^{0.65} \times \varepsilon_{H_2O} \left( T_w, P_{H_2O}L_e \frac{T_w}{T_g} \right) \quad (3.15)$$

ก่อนอื่นต้องหาค่าของ  $C_{CO_2}$  และ  $C_{H_2O}$  จากรูปที่ 12-36[5] จะได้

$$C_{H_2O} \left( \frac{P_{H_2O} + P}{2}, P_{H_2O}L_e \right) = C_{H_2O} \left( \frac{0.126 + 1}{2}, 0.0296 \right)$$

$$C_{H_2O} \approx 1.0$$

$$C_{CO_2}(P, P_{CO_2}, L_e) = C_{CO_2}(1, 0.0333)$$

$$C_{CO_2} \approx 1.1$$

$$\varepsilon_{CO_2} \left( 573, P_{CO_2}, L_e \frac{T_w}{T_g} \right) = \varepsilon_{CO_2}(573, 0.0284)$$

$$\varepsilon_{CO_2} \approx 0.045$$

$$\varepsilon_{H_2O} \left( 573, P_{H_2O}, L_e \frac{T_w}{T_g} \right) = \varepsilon_{H_2O}(573, 0.0252)$$

$$\varepsilon_{H_2O} \approx 0.037$$

และกำหนดให้

$$\Delta\alpha = \Delta\varepsilon = 0.00$$

ดังนั้น

$$\alpha_{CO_2} = 1.1 \times \left( \frac{673}{573} \right)^{0.65} \times 0.045 = 0.0532$$

$$\alpha_{H_2O} = 1.0 \times \left( \frac{673}{573} \right)^{0.65} \times 0.037 = 0.0616$$

จะได้ว่า

$$\alpha_g = 0.0532 + 0.0616 - 0.00 = 0.11487$$

นำค่าต่างๆแทนในสมการ 2.20 หา Heat Flux จากการแผ่รังสี จะได้

$$\begin{aligned} q_{rad}'' &= (0.05) \times (5.67 \times 10^{-8}) \times [623^4 - (0.082 \times 673^4) + (0.11487 \times 573^4)] \\ &= (2.84 \times 10^{-9}) \times [(1.506 \times 10^{11}) - (1.682 \times 10^{10}) + (1.238 \times 10^{10})] \\ &= (2.84 \times 10^{-9}) \times (1.46 \times 10^{11}) \\ &= 415.0944 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

$$q_{rad}'' \approx 415 \text{ W/m}^2$$

• ผลรวมของ Heat Flux ที่ให้กับท่อทองแดง

$$q''_{total} = q''_{conv} + q''_{rad} = q''_s \quad (3.16)$$

$$= (4731 + 415) \text{ W/m}^2$$

$$\boxed{q''_s = 5146 \text{ W/m}^2}$$

จากสมการ 2.16 หา Heat transfer rate ของ Palm Oil ที่ไหลผ่านท่อทองแดง

$$q_{oil} = \dot{m} \times C_p \times (T_{out} - T_{in})$$

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการย่านการทำงานที่สูงกว่างานวิจัยในอดีต 2 เท่า ดังนั้น Fire Power ที่นำมาใช้ในการคำนวณคือ  $3.5 \times 2 = 7 \text{ kW}$

$$\dot{m}_{oil} = \frac{7 \text{ kW}}{36295 \text{ kJ/kg}} = 0.000193 \text{ kg/sec} = 0.193 \text{ g/sec}$$

ค่า  $C_p$  ที่อุณหภูมิ  $300^\circ\text{C}$  จากการทดลอง

$$C_p(T) = \{0.0017(T) + 1.8529\} \text{ J/g}\cdot^\circ\text{C}$$

$$C_p(300) = \{(0.0017 \times 300) + 1.8529\}$$

$$= 2.363 \text{ J/g}\cdot^\circ\text{C}$$

ดังนั้น

$$q_{oil} = (0.193) \frac{\text{g}}{\text{sec}} \times (2.363) \frac{\text{J}}{\text{g}\cdot^\circ\text{C}} \times (300 - 35)^\circ\text{C}$$

$$= 120.62 \text{ J/sec} \approx 121 \text{ Watt}$$

- นำค่า Heat Flux และ Heat Transfer rate มาคำนวณหาพื้นที่ผิวท่อ  $A_s$

$$q_s'' = 5146 \text{ Watt/m}^2$$

$$q_{oil} = 121 \text{ Watt}$$

จากการสมดุลพลังงาน

$$\dot{Q}_m = \dot{Q}_{out} \quad (3.17)$$

ความร้อนที่ให้กับผิวท่อ = ความร้อนที่น้ำมันได้รับจากผิวท่อ

ดังนั้น

$$q_s'' \times A_s = q_{oil}$$

$$5146 \times A_s = 121$$

จะได้ว่า

$$A_s = \frac{121 \text{ Watt}}{5146 \text{ Watt/m}^2} = 0.0234 \text{ m}^2$$

### 3.4.3 การหาความยาวของท่อทองแดง $L_s$

จากความสัมพันธ์ของสมการผิวท่อ คือ

$$A_s = \pi \cdot D \cdot L_s \quad (3.18)$$

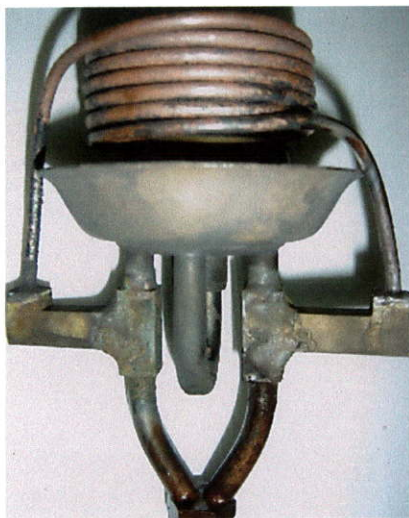
$$L_s = \frac{A_s}{\pi \cdot D_{tube}} \quad (3.19)$$

$$L_s = \frac{0.0234 \text{ m}^2}{\pi \times (0.005 \text{ m})} = 1.49 \text{ m}$$

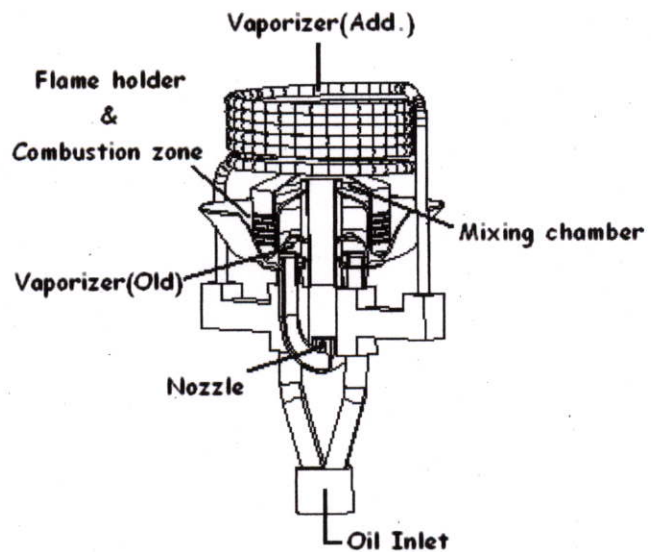
$$L_s \approx 1.50 \text{ m}$$

### 3.5 หัวเผา น้ำมันปาล์มที่ได้จากการออกแบบ

จากหัวเผาน้ำมันก๊าดได้ทำการออกแบบชิ้นส่วนอื่นๆ เพิ่มเติมอีกนอกจากท่อ Vaporizer คือ ข้อ 90° ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ใช้เป็นตัวกำหนดทิศทางการไหลของน้ำมันปาล์ม ให้ไหลไปในทิศทางเดียวตามความยาวของท่อ Vaporizer ซึ่งของเดิมเชื้อเพลิงจะไหลเข้า หัวเผา 2 ทางโดยไหลเข้าหากันทำให้เวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง เนื่องจากระยะ ทิศทางไหลน้อยลง ดังนั้นการกำหนดทิศทางการไหลของน้ำมันจึงช่วยเพิ่มระยะเวลาใน การแลกเปลี่ยนความร้อนได้ โดยข้องอ 90° และโครงสร้างของหัวเผาแสดงไว้ในรูปที่ 3.6



(ก) หัวเผาน้ำมันปาล์ม



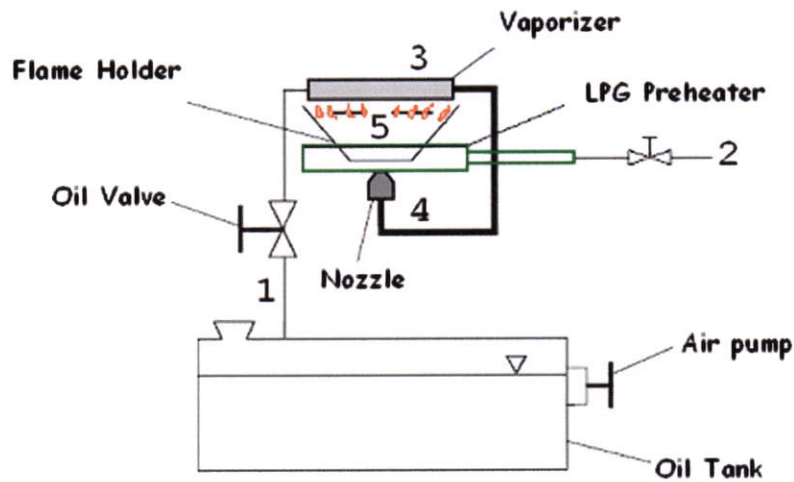
(ข) โครงสร้างภายในของหัวเผาน้ำมันปาล์ม

### รูปที่ 3.6 โครงสร้างของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่ได้จากการออกแบบ

ขั้นตอนการทำงานของหัวเผาน้ำมันพืชที่ได้จากการออกแบบ

1. น้ำมันปาล์มไหลเข้าไปตามท่อทางเดินน้ำมันจากแรงขับของถังความดัน
2. หัวเผาน้ำมันปาล์มจะได้รับความร้อนจากหัวเผา LPG ในครั้งแรกของการ เริ่มต้นใช้งานหัวเผาเสมอ โดยหัวเผาน้ำมันปาล์มจำเป็นจะต้องอาศัยความร้อนจากหัวเผา LPG เพื่อทำให้น้ำมันปาล์มที่อยู่ภายในหัวเผาและท่อ Vaporizer ระเหยกลายเป็นไอเพื่อฉีดพ่นออกมาเผาไหม้ และสร้างความร้อนให้กับตัวเองต่อไปเพื่อให้หัวเผาทำงานอยู่ได้โดยไม่ต้องอาศัยความร้อนจากหัวเผา LPG อีก
3. น้ำมันปาล์มจากท่อทางเดินน้ำมันไหลเข้าสู่ชุด Vaporizer น้ำมันปาล์ม ระเหยเป็นไอ จากความร้อนของเปลวไฟที่ให้กับชุด Vaporizer ที่ขุดเพิ่มไว้ ด้านบน

4. ใช้น้ำมันปาล์มไหลออกจากหัวเผาทางหัวฉีด ผสมกับอากาศ และเผาไหม้ที่ด้านบนของหัวเผาที่บริเวณ Flame Holder
5. นำความร้อนที่ได้จากเปลวไฟไปใช้งาน และให้ความร้อนกับชุด Vaporizer ไปด้วยในเวลาเดียวกัน หลังจากนั้นไม่ต้องอาศัยความร้อนจากหัวเผา LPG อีก



รูปที่ 3.7 ผังการทำงานของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่ได้จากการออกแบบ

เมื่อได้หัวเผาน้ำมันปาล์มที่ต้องการแล้ว หลังจากนั้นจะนำหัวเผาน้ำมันปาล์มไปทำการทดสอบสมรรถนะด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสมรรถนะด้านการใช้งาน และสมรรถนะด้านการเผาไหม้ ซึ่งจะกล่าวไว้ในบทถัดไป

## บทที่ 4

# อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 4.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวกับอุปกรณ์การวัดและอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งวิธีการทดลองหาค่าต่างๆ ด้านสมรรถนะการทำงานของหัวเผา น้ำมันพืช เพื่อให้ทราบพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจากการทำงานของหัวเผาน้ำมันพืชที่ออกแบบ

### 4.2 อุปกรณ์การทดลอง

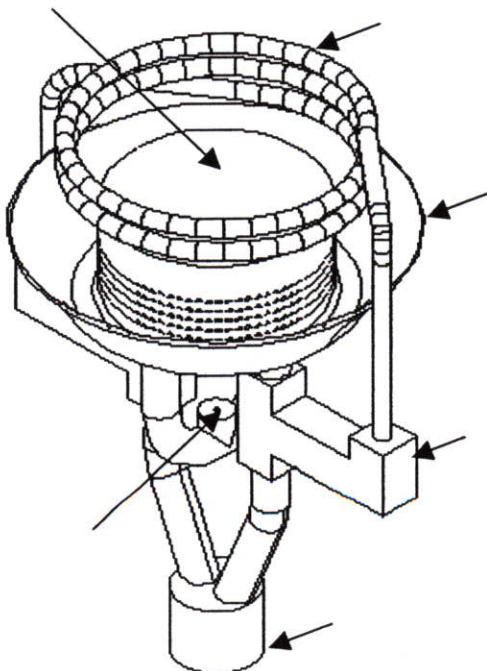
อุปกรณ์การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ชุดอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของหัวเผาน้ำมันพืชทั้งหมดกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ

#### 4.2.1 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของหัวเผาน้ำมันพืช

อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของหัวเผาน้ำมันพืชประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

##### 4.2.1.1 หัวเผาน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

หัวเผาน้ำมันพืชประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆดังนี้



- (1) ทางเข้าน้ำมัน
- (2) ช่องควบคุมทิศทางการไหล
- (3) ท่อ Vaporizer
- (4) หัวฉีดทางออกไอน้ำมัน
- (5) ห้องเผาไหม้
- (6) Flame Hold

รูปที่ 4.1 แสดงชิ้นส่วนต่างๆของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่ได้จากการออกแบบ

#### 4.2.1.2 ถังความดัน

ถังความดันเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนน้ำมันให้ไหลไปตามท่อทางสู่หัวเผา และยังเป็นที่บรรจุน้ำมันปาล์มที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงอีกด้วย ถังความดันจะดันน้ำมันปาล์มไปตามท่อทางโดยอาศัยลมจากถังลม และความดันในถังเท่ากับ 2.5 บาร์



รูปที่ 4.2 ถังเชื้อเพลิงแบบอัดความดัน

#### 4.2.1.3 อุปกรณ์จ่ายอากาศ

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บลมจากการปั๊มลม หรือเรียกอีกอย่างว่า ชุดปั๊มลม ซึ่งเก็บไว้ในถังในปริมาณ 5 บาร์เพื่อการจ่ายลมได้อย่างต่อเนื่องให้กับถังความดัน



รูปที่ 4.3 ชุดปั๊มลมจ่ายอากาศ

#### 4.2.1.4 อุปกรณ์ควบคุมความดันลม

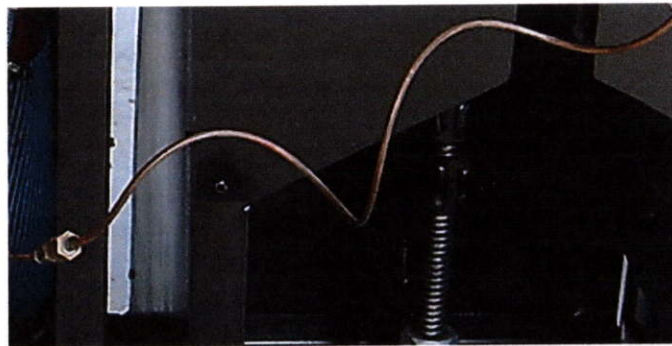
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมปริมาณลมที่จะจ่ายเข้าไปยังถังเชื้อเพลิง เพื่อรักษาระดับความดันให้คงที่และไม่มีค่าที่สูงเกินไปจนก่อให้เกิดอันตรายต่ออุปกรณ์ต่างๆ



รูปที่ 4.4 อุปกรณ์ปรับความดันลมก่อนเข้าถังเชื้อเพลิง

#### 4.2.1.5 ท่อจ่ายเชื้อเพลิง

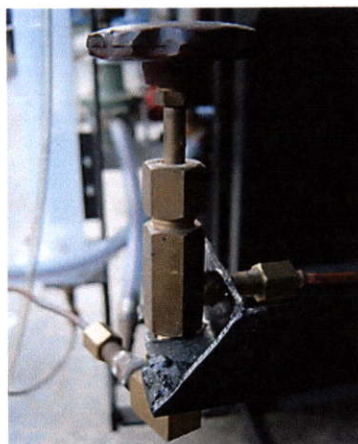
เนื่องจากท่อจ่ายน้ำมันที่ใช้ในการทดลองบางส่วนจะต้องสัมผัสกับความร้อนจึงจำเป็นต้องใช้ท่อที่เป็นโลหะทนความร้อนและต้องสามารถถอดประกอบได้ง่ายเพื่อความสะดวกต่อการใช้งานและการทดลอง ดังนั้นจึงเลือกท่อที่มีขายในท้องตลาด โดยสามารถนำมาเชื่อมต่อกับถังลมและหัวเผา น้ำมันปาล์ม ได้เลย ซึ่งเป็นท่อทองแดงขนาด 3 mm



รูปที่ 4.5 ท่อทองแดงสำหรับลำเลียงน้ำมันจากถังเชื้อเพลิงสู่หัวเผา

#### 4.2.1.6 วาล์วปรับอัตราการไหลน้ำมัน

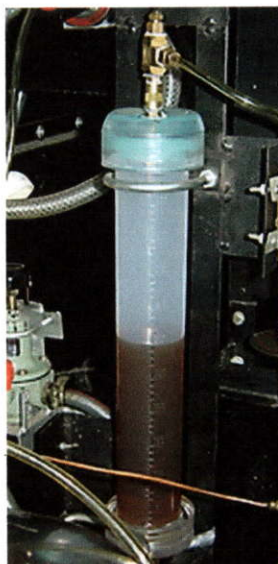
เป็นวาล์วเข็มทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลน้ำมันปาล์ม ซึ่งเหมาะสำหรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงน้อยๆ



รูปที่ 4.6 วาล์วเข็มปรับอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มก่อนที่จ่ายเข้าไปยังหัวเผา

#### 4.2.1.7 มาตรฐานวัดอัตราการไหลน้ำมัน

เป็นกระบอกตวงที่ทำขึ้น เพื่อทำการวัดอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มในขณะทำการเผาไหม้ โดยจะวัดออกมาในหน่วยของอัตราการไหลเชิงปริมาตร

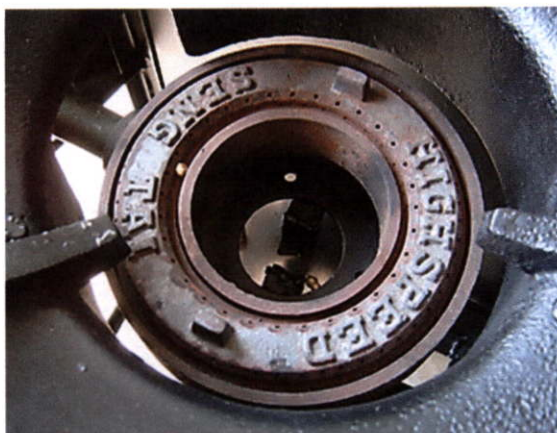


รูปที่ 4.7 มาตรฐานวัดอัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม

#### 4.2.1.8 อุปกรณ์อุ่นหัวเผา(Preheater)

เป็นหัวเผาก๊าซหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือนทั่วไป หาซื้อได้ตามท้องตลาดซึ่งเป็นหัวเผา

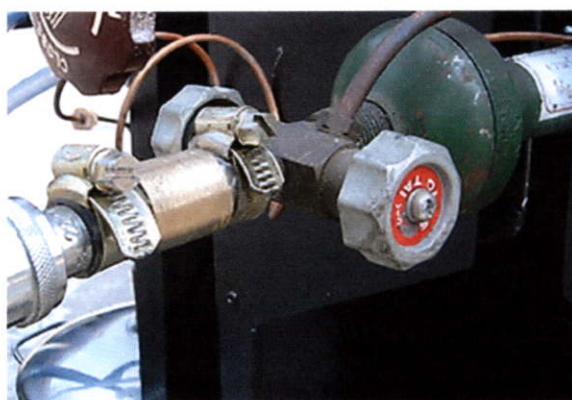
รุ่น KB7



รูปที่ 4.8 หัวเผาแก๊ซหุงต้ม รุ่น KB7

#### 4.2.1.9 วาล์วปรับอัตราการไหลของแก๊ซ LPG

เป็นวาล์วที่ใช้ปรับการไหลของแก๊ซ LPG ซึ่งติดอยู่กับหัวเตา KB7 ซึ่งเป็นวาล์วที่ทำมาเพื่อใช้กับแก๊ซ LPG ทำให้ควบคุมอัตราการไหลได้ดี และไม่มีการรั่วซึมมีความปลอดภัยสูง



รูปที่ 4.9 วาล์วปรับอัตราการไหลของแก๊ซ LPG

#### 4.2.1.10 มาตรวัดอัตราการไหลของแก๊ซ LPG

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอากาศแต่สามารถที่จะนำมาใช้วัดอัตราการไหลของแก๊ซ LPG ได้ แต่จะต้องมีการแก้ค่าเพื่อให้ได้อัตราการไหลของแก๊ซ LPG ที่ถูกต้อง สมการที่ใช้แก้ค่าอัตราการไหลของ LPG ที่วัดได้

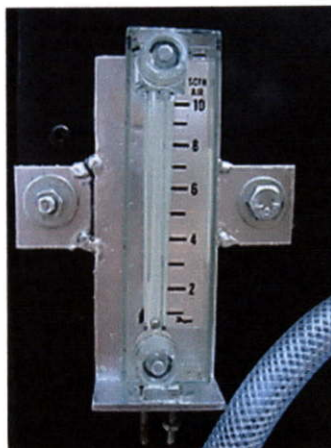
$$Q_{LPG} = Q_r \times \sqrt{\frac{1}{SG_{LPG}}} \quad (4.1)$$

โดยที่

$$Q_{LPG} = \text{อัตราการไหลจริงของ LPG, L/min}$$

$Q_r$  = อัตราการไหลที่วัดได้จากมาตรวัด,  $L/min$

$SG_{LPG}$  = ความถ่วงจำเพาะของ LPG



รูปที่ 4.10 มาตรวัดอัตราการไหลของอากาศ

#### 4.2.1.11 ถังก๊าซ LPG

เป็นถังก๊าซ LPG ขนาด 4 กิโลกรัมของ ปตท. เพื่อความสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย  
ในระหว่างทำการทดสอบ



รูปที่ 4.11 ถังบรรจุก๊าซหุงต้ม ขนาดบรรจุ 4 กิโลกรัม

#### 4.2.1.12 อุปกรณ์ควบคุมความดันก๊าซ LPG

เป็นอุปกรณ์ควบคุมความดันของก๊าซ LPG เพื่อรักษาแรงดันในระบบท่อจ่ายก๊าซ  
LPG มีแรงดันที่สูงเกินไป เพราะอาจจะทำให้เกิดอันตรายได้เมื่อสายท่อก๊าซหลุดออกจาก  
วาล์ว หรือเกิดสายใหม่และทะลุ



รูปที่ 4.12 อุปกรณ์ปรับความดันของ LPG ก่อนจะนำออกไปใช้งาน

#### 4.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบสมรรถนะหัวเผา น้ำมันปาล์ม

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบสมรรถนะของหัวเผาน้ำมันพืชประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

##### 4.2.2.1 ภาชนะใส่น้ำ

เป็นภาชนะที่ทำจากอะลูมิเนียม ขนาด 24 นิ้ว ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานที่ได้เลือกใช้

คือ DIN EN 203 – 2



รูปที่ 4.13 หม้ออะลูมิเนียม เบอร์ 24

##### 4.2.2.2 ชุดเทอร์โมคัปเปิล

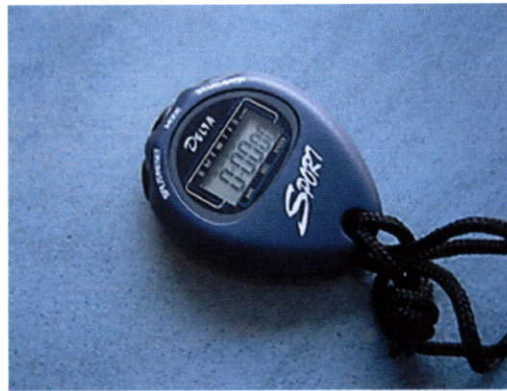
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิของน้ำในขณะที่ทำการทดลอง หรือวัดอุณหภูมิของเปลวไฟ ที่ได้จากการเผาไหม้ ขึ้นอยู่กับการใช้งานและย่านการใช้งานของชนิดอุปกรณ์



รูปที่ 4.14 ชุดวัดและแสดงผลอุณหภูมิจุดเดือด

#### 4.2.2.3 นาฬิกาจับเวลา

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจับเวลาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแต่ละช่วงที่ต้องการในระหว่างที่ทำการทดลอง



รูปที่ 4.15 นาฬิกาจับเวลา แบบกดเวลาหยุดชั่วคราวได้

#### 4.2.2.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดน้ำหนักของน้ำและน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง ทั้งก่อนและหลังการทดลอง



รูปที่ 4.16 ตาชั่งน้ำหนักชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 5 กิโลกรัม

#### 4.2.2.5 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซเสีย

เป็นอุปกรณ์ที่ทำขึ้นตามแบบมาตรฐาน DIN EN 203 – 1 และนำมาประยุกต์เพื่อ  
ให้สามารถใช้กับหัวเผา น้ำมันปาล์มในงานวิจัยนี้ได้ และได้ค่าที่ถูกต้องมากที่สุด



รูปที่ 4.17 Hood เก็บตัวอย่างก๊าซเสียที่ได้จากการเผาไหม้

#### 4.2.2.6 อุปกรณ์วิเคราะห์ก๊าซเสีย

เป็นเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวัดค่าระดับความเข้มข้นของก๊าซเสียที่  
ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่างๆ ตามชนิดของเชื้อเพลิงที่เลือกใช้



รูปที่ 4.18 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซเสียที่ได้จากการเผาไหม้

#### 4.2.2.7 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ (Hot wire anemometer)

เป็นเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลของอากาศที่ไหลด้วย  
ความเร็วต่ำๆ



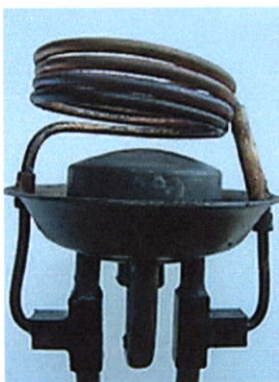
รูปที่ 4.19 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้

### 4.3 วิธีการทดลอง

#### 4.3.1 การกำหนดเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เงื่อนไขต่างๆเหล่านี้จะทำการปรับเปลี่ยนเพื่อหาข้อดีและข้อเสียของหัวเผา น้ำมันปาล์มเพื่อนำไปปรับปรุงให้ได้หัวเผาน้ำมันปาล์มที่ดีที่สุดออกมา ซึ่งตัวแปรต่างๆมีดังนี้คือ

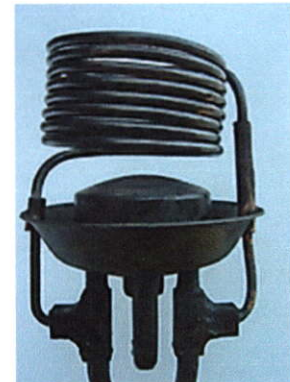
1. ความยาวท่อ Vaporizer ที่ปรับเปลี่ยนให้มีค่าน้อยกว่าและมากกว่า ความยาวจากที่คำนวณได้เพื่อดูอิทธิพลจากความยาวของท่อ ที่มีต่อประสิทธิภาพการเชิงความร้อนของหัวเผาน้ำมันปาล์ม โดยทำการปรับเปลี่ยนไป 3 ขนาด คือ 1.0 เมตร, 1.5 เมตร, 2.0 เมตร



VL = 1.0 m



VL = 1.5 m



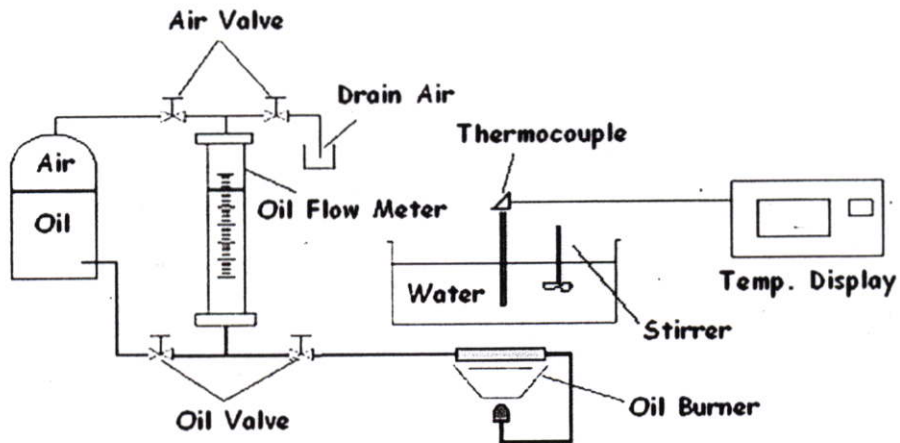
VL = 2.0 m

รูปที่ 4.20 โครงสร้างของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่ทำการปรับเปลี่ยนความยาวท่อ Vaporizer

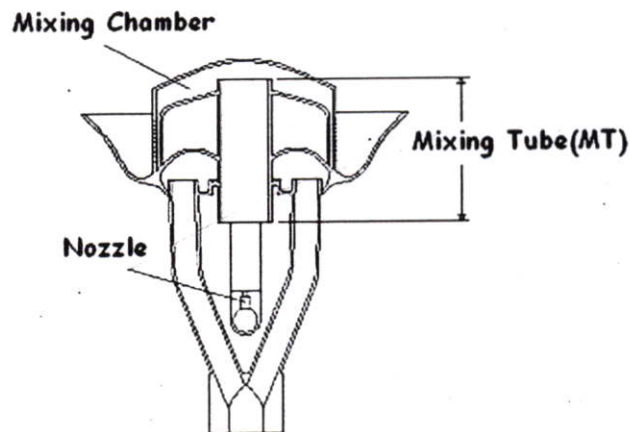
2. อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม เพื่อดูประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่อัตราการไหลต่างๆ ที่หัวเผาสามารถทำงานได้ ตั้งแต่อัตราการไหลต่ำสุดไปจนถึงอัตราการไหล

สูงสุด ซึ่งมีอัตราการไหล ดังนี้  $0.11 \text{ g/s}$ ,  $0.12 \text{ g/s}$ ,  $0.13 \text{ g/s}$ ,  $0.14 \text{ g/s}$ ,  $0.15 \text{ g/s}$ ,  $0.16 \text{ g/s}$ ,  $0.17 \text{ g/s}$  ดังที่แสดงโครงสร้างการทำงานไว้ในรูปที่ 4.21

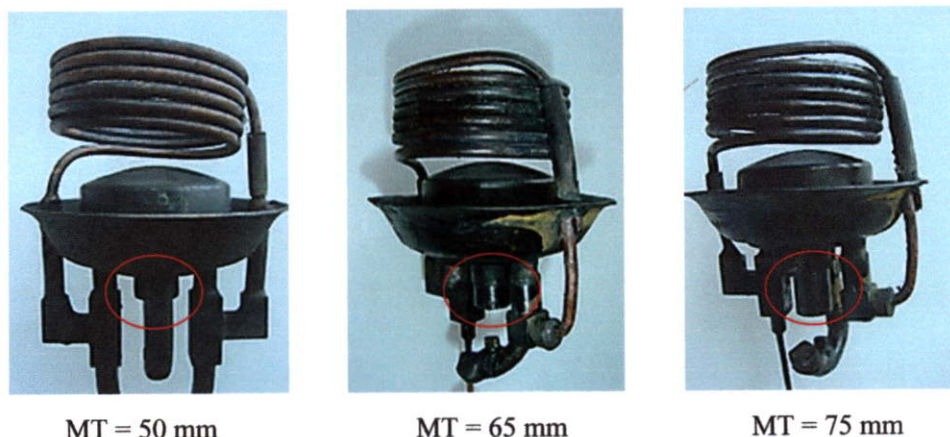
3. ความยาวของท่อ Mixing tube เพื่อตรวจสอบว่าความยาวของท่อ มีผลอย่างไรต่อการผสมและการเผาไหม้ของหัวเผา ซึ่งมีความยาวที่ปรับเปลี่ยน 3 ขนาด ดังนี้ 50 mm, 65 mm, 75 mm ดังที่แสดงลักษณะของหัวเผาที่ทำการปรับท่อ Mixing tube ไว้ในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ผังการทำงานของการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน โดยการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มต่างๆ



รูปที่ 4.22 โครงสร้างภายในของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่แสดงให้เห็นท่อ Mixing Tube



รูปที่ 4.23 ลักษณะของหัวเผา น้ำมันปาล์ม ที่ทำการปรับเปลี่ยนความยาวของท่อ Mixing Tube

#### 4.3.2 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ทำการทดสอบโดยใช้วิธีการทดสอบมาตรฐานแบบวิธีการต้มเดือด (Water Boiling Test, WBT) ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

1. เตรียมอุปกรณ์การทดลองทั้งหมด
2. วัดอุณหภูมิของบรรยากาศและน้ำที่ใช้ก่อนการทดสอบ
3. ทำการชั่งน้ำหนักของน้ำและน้ำมันปาล์มก่อนการทดสอบ
4. เติมน้ำลงในภาชนะจำนวน 3500 กรัม
5. ยึดเทอร์โมคัปเปิลกับไม้วางพาดบนขอบภาชนะให้เทอร์โมคัปเปิลจุ่มลงในน้ำสูงจากก้นภาชนะที่ใช้ 5 cm ในขณะที่ทำการต้มควรทำการกวนน้ำในภาชนะอย่างสม่ำเสมอ
6. ทำการคิดเตาพร้อมทั้งจับเวลา พร้อมกับวัดอัตราการไหลของน้ำมัน
7. เมื่อน้ำเดือดให้ดับเตาพร้อมทั้งหยุดเวลาและอุณหภูมิน้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลอง
8. ชั่งน้ำหนักของน้ำมันปาล์มและน้ำในภาชนะที่เหลืออยู่เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ
9. นำค่าที่ได้ทั้งหมดนี้ไปเข้าสมการหาค่าสมรรถนะต่างๆ

#### 4.3.3 การกำหนดเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้

เงื่อนไขต่างๆมีดังนี้คือ

1. ความยาวท่อ Vaporizer ที่ปรับเปลี่ยนให้มีค่านี้น้อยกว่าและมากกว่า ความยาวจากที่คำนวณได้เพื่อดูอิทธิพลจากความยาวของท่อ ที่มีต่อประสิทธิภาพการเชิงความร้อนของหัวเผา น้ำมันปาล์ม โดยทำการปรับเปลี่ยนไป 3 ขนาด คือ 1.0 เมตร, 1.5 เมตร, 2.0 เมตร
2. อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม เพื่อดูประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผา น้ำมันปาล์ม ที่อัตราการไหลต่างๆ ที่หัวเผาสามารถทำงานได้ ตั้งแต่อัตราการไหลต่ำสุดไปจนถึงอัตราการไหล

สูงสุด ซึ่งมีอัตราการไหล ดังนี้  $0.11 \text{ g/s}$ ,  $0.12 \text{ g/s}$ ,  $0.13 \text{ g/s}$ ,  $0.14 \text{ g/s}$ ,  $0.15 \text{ g/s}$ ,  $0.16 \text{ g/s}$ ,  $0.17 \text{ g/s}$

3. ความยาวของท่อ Mixing tube เพื่อตรวจสอบว่าความยาวของท่อ มีผลอย่างไรต่อการผสมและการเผาไหม้ของหัวเผา ซึ่งมีความยาวที่ปรับเปลี่ยน 3 ขนาด ดังนี้ 50 mm, 65 mm, 75 mm

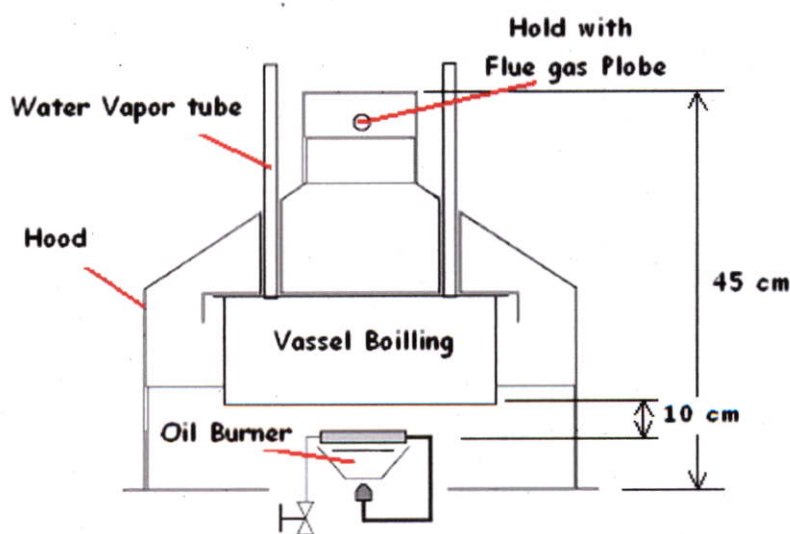
4. ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ที่งานการทำงานต่างๆ ซึ่งเป็นตัวแปรอีกตัวแปรหนึ่งที่ใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้เป็นอย่างดี

#### 4.3.4 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้

เนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในหัวเผาต่างๆ ล้วนแต่ให้ก๊าซเสีย(Flue gas) ออกมาทั้งสิ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การเผาไหม้ของหัวเผาแต่ละแบบ และในก๊าซเสียยังประกอบไปด้วย ก๊าซที่เป็นพิษต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อมอยู่มากมาย และถ้ามลพิษ (Pollutant) ที่ได้จากการเผาไหม้ นี้มีปริมาณมากๆ ก็จะเป็นอันตรายต่อร่างกาย ดังนั้นการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ก็จะเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงระดับความเข้มข้นของมลพิษที่ได้จากการเผาไหม้ ถ้ามีในปริมาณมากก็จะได้หาทางแก้ไข และทำการปรับปรุงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ในบรรยากาศ โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

1. นำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซเสีย (Flue gas) ตามมาตรฐาน DIN EN 203-1 และ DIN EN203-2 ครอบหัวเผาที่ติดไฟเรียบร้อยแล้ว ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.24 แล้วจึงนำหัววัดใส่เข้าไปที่ด้านบนของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง รอจนค่าที่วัดได้นิ่งแล้ว อ่านค่า จดบันทึก

2. ทำการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการทดสอบ โดยปรับอัตราการไหลเพื่อดูว่าก๊าซเสียมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขต่างๆ

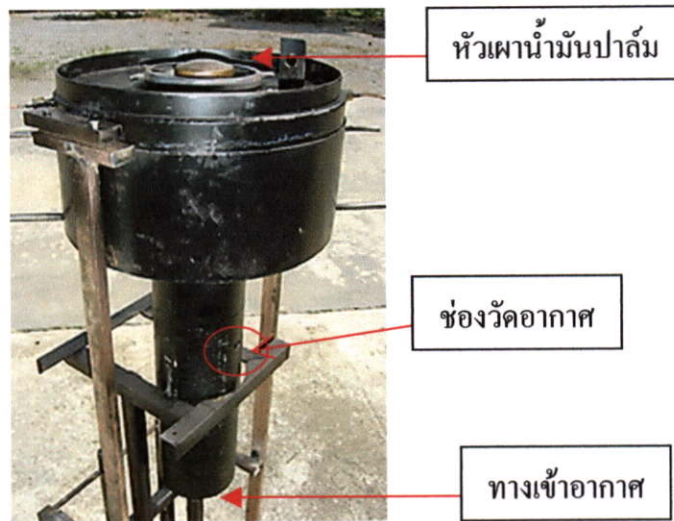


รูปที่ 4.24 โครงสร้างภายในอุปกรณ์ที่ทำขึ้นเพื่อเก็บตัวอย่างก๊าซเสียจากการเผาไหม้

#### 4.3.5 ขั้นตอนการวัดอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้

เนื่องจากอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ในหัวเผาน้ำมันปาล์มชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้ในงานวิจัยนี้จะอาศัยการชักนำอากาศจากการเหนี่ยวนำของลำเจ็ทที่พุ่งออกมาจากหัวฉีด อากาศที่ไหลเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงจึงเป็นการไหลเข้าตามธรรมชาติ ดังนั้น การทำอุปกรณ์และการวัดอากาศจึงต้องจำลองการทำงานของหัวเผาให้เหมือนกับการทำงานที่สภาวะบรรยากาศ ซึ่งมีขั้นตอนการวัดดังนี้

1. ทำการติดหัวเผาตามปกติ โดยหัวเผาน้ำมันปาล์มนี้จะอยู่ในอุปกรณ์ที่จะใช้วัดอากาศ

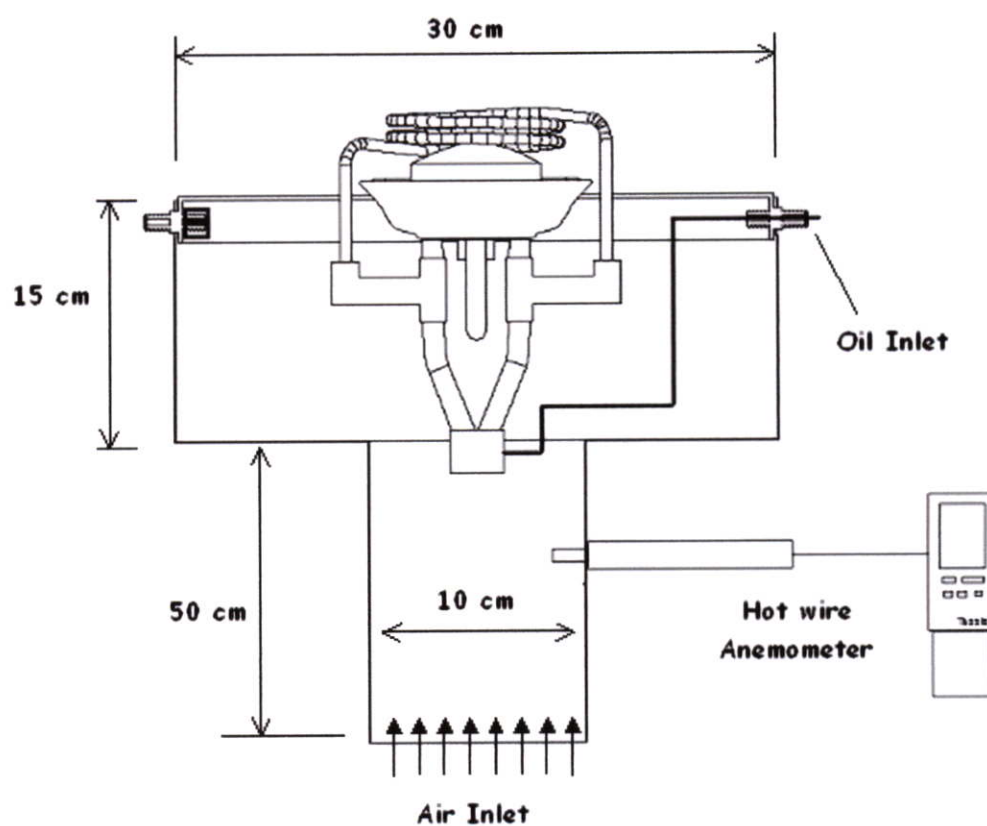


รูปที่ 4.25 อุปกรณ์ที่ทำขึ้นเพื่อวัดอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้

2. นำเอาเครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศใส่เข้าไปวัดอากาศที่ไหลเข้าไปเผาไหม้ในหัวเผาโดยการเหนี่ยวนำจากลำเจ็ทของน้ำมันปาล์มที่พุ่งออกมาจากหัวฉีดดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.27
3. ทำการเลื่อนระยะของหัววัดไปตามหน้าตัดท่อที่อากาศไหลผ่านดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.26 เพื่อทำการหาอัตราการไหลของอากาศตลอดพื้นที่หน้าตัดท่อทรงกลมของ โดยกำหนดให้การไหลของอากาศภายในท่อมีการไหลที่สมมาตรตลอดพื้นที่หน้าตัดท่อ ดังนั้นจึงทำการเริ่มปรับระยะของหัววัดจากกึ่งกลางท่อไปยังขอบผิวท่อ ซึ่งมีระยะต่างๆ ดังนี้ 0.00 mm, 14.5 mm, 29.0 mm, 43.5 mm, 58.0 mm
4. อัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าไปใช้ในการเผาไหม้ที่วัดได้จะอ่านค่าได้ในหน่วยของความเร็ว คือ  $m/sec$
5. นำค่าที่วัดได้ที่ระยะต่างๆ ไปทำการคำนวณหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรตลอดพื้นที่หน้าตัดของท่อกลมตามสมการ 5.1 ซึ่งความเร็วและอัตราการไหลได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.5 และ 5.6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.26 ช่องที่ใช้ในวัดอากาศภายในท่อทรงกลมที่อากาศไหลเข้าไปเผาไหม้



รูปที่ 4.27 โครงสร้างภายในอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อทำการวัดปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้

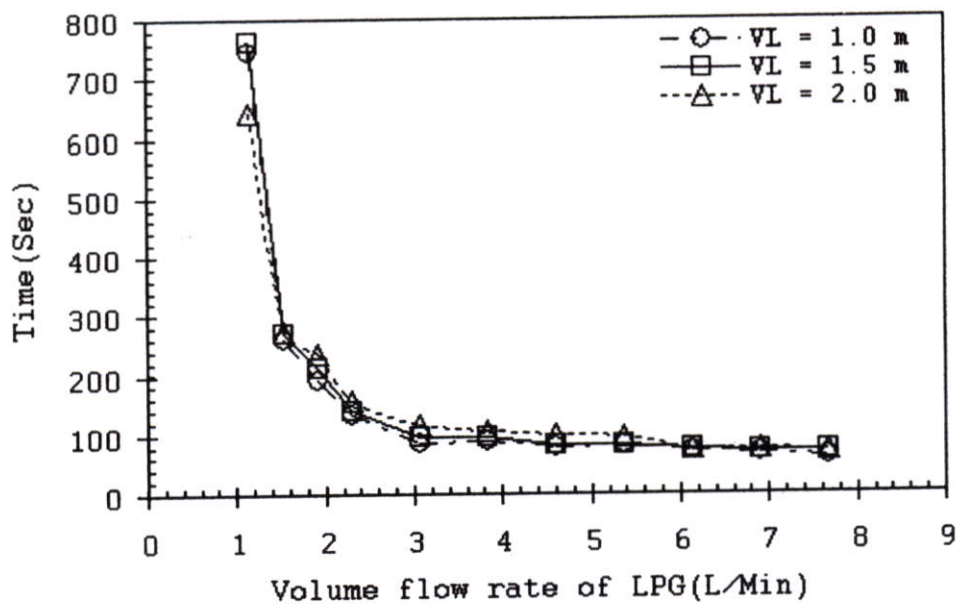
## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

#### 5.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นผลที่ได้จากการทดลองสมรรถนะของหัวเผา น้ำมันในด้านต่างๆ เช่น อุณหภูมิเปลวไฟจากการเผาไหม้จากการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์ม อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และความเข้มข้นของก๊าซเสียที่ได้จากการเผาไหม้ จากการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขต่างๆ ทั้งอัตราการไหลของเชื้อเพลิง ความยาวของท่อ Mixing tube และความยาวของท่อ Vaporizer ซึ่งจะแสดงผลการทดลองต่างๆ ไว้ในบทนี้

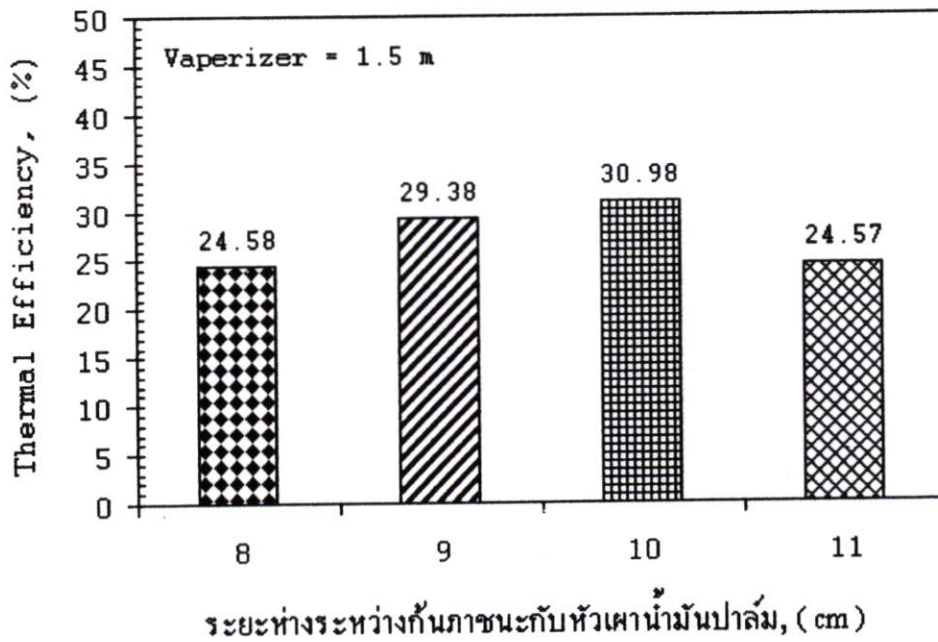
#### 5.2 เวลาที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันของชุด Preheater



รูปที่ 5.1 ระยะเวลาในการอุ่นน้ำมันของชุด Preheater ที่ให้ความร้อนกับหัวเผา น้ำมันปาล์ม

จากรูปที่ 5.1 แสดงถึงเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการอุ่นหัวเผาที่มีความยาวท่อ Vaporizer ต่างกัน จากกราฟแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาที่ใช้ในการอุ่น ไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากหัวเผา น้ำมันปาล์มได้รับความร้อนจากด้านล่างจากหัวเผา LPG ดังนั้นความยาวของท่อ Vaporizer ที่ต่างกันที่ติดตั้งอยู่ส่วนบนจึงไม่มีผลต่อระยะเวลาของการอุ่นหัวเผามากนัก ทำให้ผลของระยะเวลาในการอุ่นหัวเผาที่ปรากฏในกราฟจึงมีระยะเวลาในการอุ่นหัวเผาที่ใกล้เคียงกัน

### 5.3 การศึกษาอิทธิพลจากระยะห่างระหว่างกันภาชนะกับหัวเผา



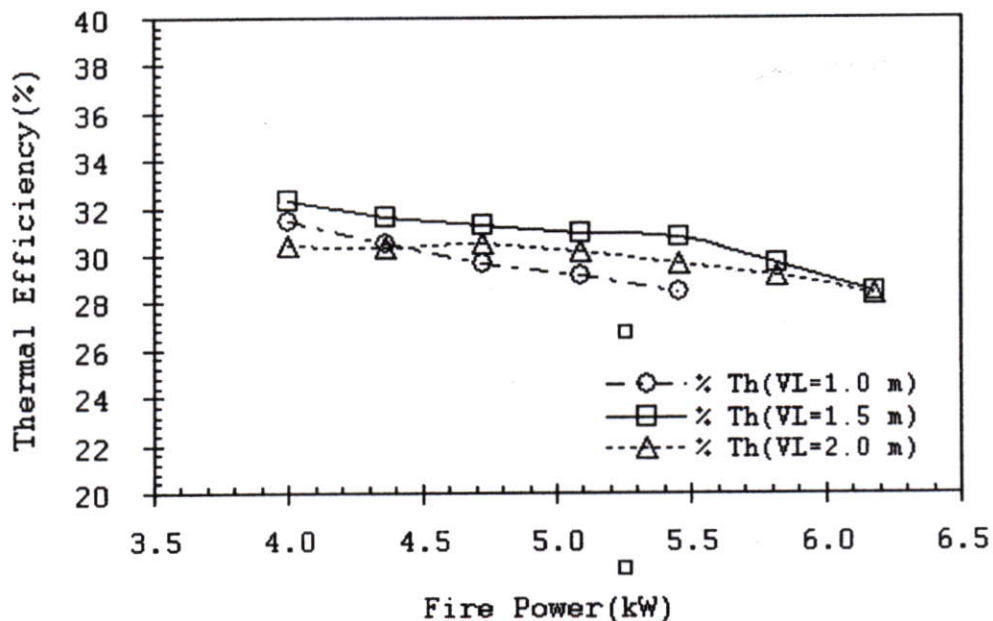
รูปที่ 5.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ระยะห่างระหว่างหัวเผากับกันภาชนะที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 5.2 แสดงถึงแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพทางความร้อน ที่ส่งผลต่อการเลือกระยะห่างระหว่างหัวเผากับกันภาชนะเพื่อนำมาทำการทดสอบในงานวิจัย โดยระยะห่างที่ดีที่สุดที่หัวเผาน้ำมันปาล์มในงานวิจัยนี้ อยู่ที่ระยะ 10 cm โดยทำการทดสอบที่ Fire Power เท่ากับ 5.1 kW ซึ่งเป็นช่วงการทำงานเฉลี่ยที่ไม่ต่ำและสูงเกินไปของหัวเผา ถ้ามีระยะที่ใกล้มากอิทธิพลจากการไหลของอากาศที่ผ่านหัวเผาไปยังกันภาชนะทำให้เปลวไฟบานออกด้านข้างห่างจากท่อ Vaporizer ไปมากจนทำให้มีความร้อนไม่เพียงพอต่อการระเหยเป็นไอของน้ำมันทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลงและเกิดเขม่าสีดำติดที่กันภาชนะ ซึ่งเป็นมลพิษอีกตัวหนึ่งที่ส่งผลเสียต่อผู้ใช้ แต่ถ้ามีระยะห่างระหว่างกันภาชนะที่มากเกินไปก็จะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนให้กับอากาศรอบข้างที่วิ่งเข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศร้อนก่อนที่จะถึงกันภาชนะทำให้การถ่ายเทความร้อนจากหัวเผาสู่กันภาชนะลดลงประสิทธิภาพที่วัดได้ก็ลดลงด้วยเช่นกัน

### 5.4 การศึกษาผลกระทบจากความยาวของท่อ Vaporizer ที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่อัตราการไหลของน้ำมันต่างๆ

จากรูปที่ 5.3 แสดงถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีความ

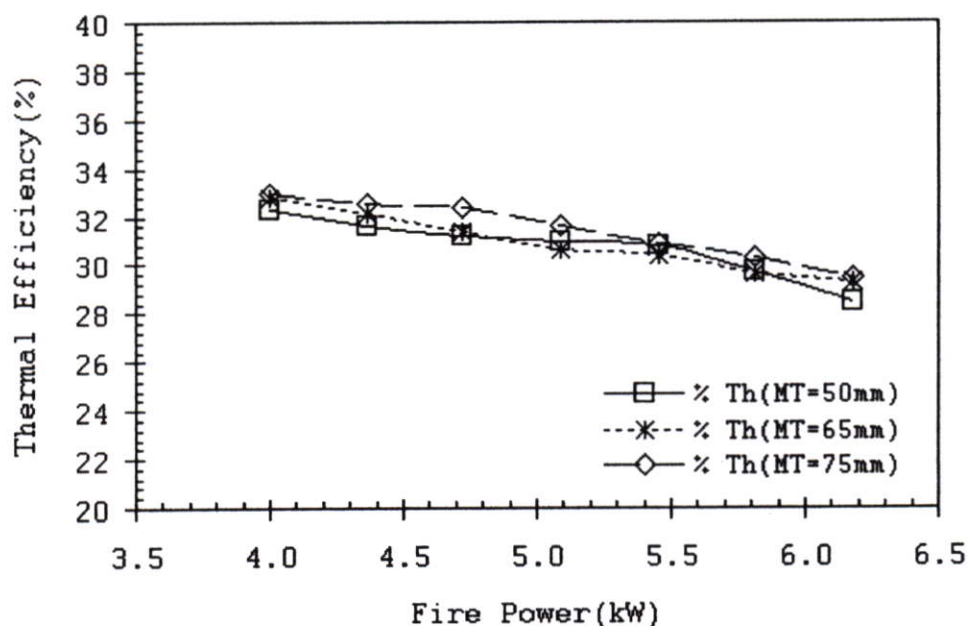
ยาวของท่อ Vaporizer ต่างกัน ซึ่งพบว่าหัวเผาที่มีความยาวท่อ Vaporizer เท่ากับ 1.5 m ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency) ดีที่สุด รองลงมา คือ หัวเผาที่มีความยาวท่อ Vaporizer เท่ากับ 2.0 m และ หัวเผาที่มีความยาวท่อ Vaporizer เท่ากับ 1.0 m ผลที่ออกมาดังที่แสดงไว้ในกราฟอาจเนื่องมาจาก ผลของความยาวท่อ Vaporizer ที่มีผลต่อระยะเวลาในการระเหยเป็นไอของน้ำมันปาล์มภายในท่อ Vaporizer ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหัวเผาแต่ละแบบ คือ ที่ VL = 1.0 m นั้นความยาวท่อสั้นเกินไปทำให้น้ำมันที่อยู่ในท่อ Vaporizer มีระยะเวลาไม่เพียงพอต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนกับเปลวไฟ จึงทำให้น้ำมันยังคงมีสถานะเป็นของเหลวอยู่ ทำให้การผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศไม่ดี มีผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ได้ต่ำที่สุด และทำงานได้เฉพาะย่านอัตราการไหลต่ำ ส่วนความยาว VL = 2.0 m มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำรองลงมามีสาเหตุมาจากการที่ท่อ Vaporizer มีความยาวที่มากเกินไปทำให้ไอสูญเสียความร้อนเนื่องจากความยาวท่อที่มากเกินไป ทำให้ท่อ Vaporizer ส่วนที่อยู่ด้านบนได้รับความร้อนน้อยกว่าท่อบริเวณที่อยู่ต่ำกว่า จึงส่งผลให้ความร้อนไม่พอที่จะรักษาสภาพไอน้ำมันอยู่ได้ ส่วนหนึ่งมาจากการสูญเสียความร้อนให้กับกันภาชนะทดสอบเนื่องจากความยาวของท่อ Vaporizer ที่ยาวมากเกินไป จึงทำให้อิน้ำมันเย็นตัวลงและกลายเป็นของเหลวและไอผสมกัน ซึ่งสังเกตได้จากสายดา



รูปที่ 5.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อ Vaporizer(VL) แยกต่างกัน

โดยมีลักษณะเป็นระลอกของเหลวสีดำ ทำให้การคลุกเคล้าและผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงไม่ดี เนื่องจากน้ำมันที่เป็นของเหลวจะมีอนุภาคที่ใหญ่กว่าเชื้อเพลิงที่เป็นไอ ทำให้ประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบมีค่าที่ต่ำแต่ก็ยังคงสูงกว่าหัวเผาที่มีความยาว  $VL = 1.0$  m เพราะที่หัวเผานี้มีความยาวของท่อที่มากกว่าทำให้มีระยะเวลาที่เพียงพอต่อการทำให้น้ำมันระเหยกลายเป็นไอได้ดีกว่า ซึ่งทำให้รักษาสภาพการทำงานอยู่ได้ที่อัตราการไหลสูงขึ้น และหัวเผาที่มีความยาว  $L = 1.5$  m ให้การเผาไหม้ที่ดีกว่าหัวเผาแบบอื่นเป็นเพราะมีความยาวที่เหมาะสมต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างเปลวไฟกับชุดท่อ Vaporizer ทำให้มีระยะเวลาที่นานเพียงพอและชุดท่อยังอยู่ในบริเวณที่เหมาะสมต่อการรับความร้อนจากเปลวไฟในทุกๆ ย่านการทำงานของหัวเผา จึงทำให้ได้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีกว่าหัวเผาแบบอื่นๆ

### 5.5 การศึกษาผลกระทบจากความยาวของท่อ Mixing tube ที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่อัตราการไหลของน้ำมันต่างๆ



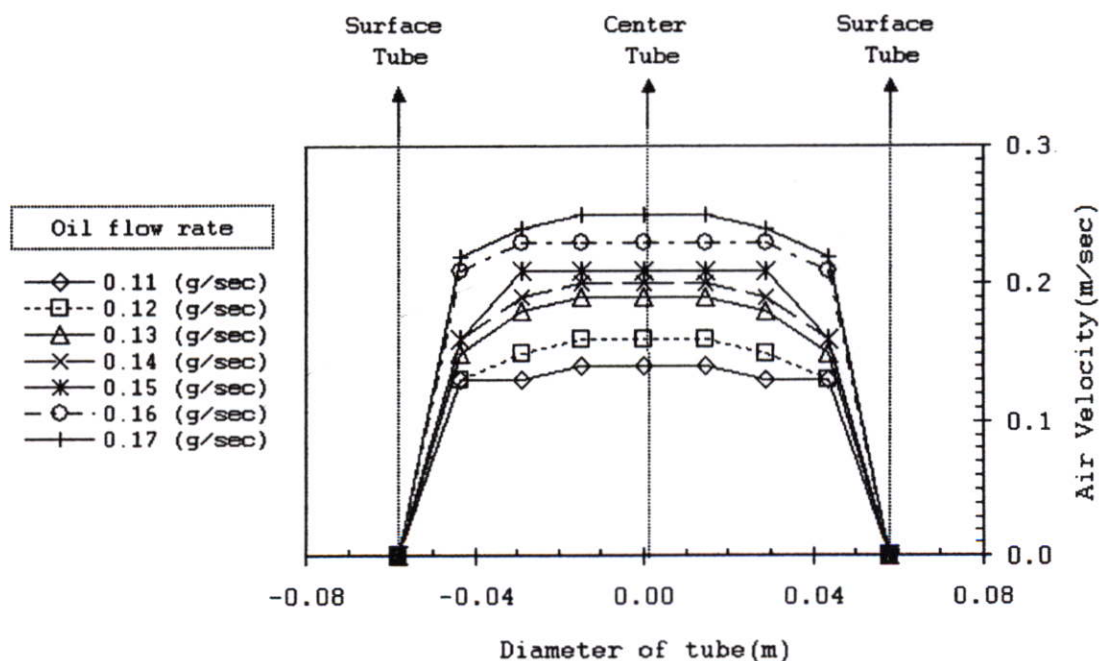
รูปที่ 5.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อ Mixing Tube (MT) แตกต่างกัน

จากรูปที่ 5.4 แสดงถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อ Mixing Tube (MT) แตกต่างกันแต่มีท่อ Vaporizer ยาวเท่ากันโดยมีความยาว 1.5 เมตร ซึ่งผลจากการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งแตกต่างกันเล็กน้อยโดยหัวเผาที่มี MT = 75 mm มีประสิทธิภาพสูงกว่าหัว

เผาที่มี  $MT = 65$  mm และ  $MT = 50$  mm ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากความยาวของท่อ Mixing ที่ยาวขึ้นอาจทำให้ช่วยเพิ่มระยะเวลาในการผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศให้ดีขึ้นจนทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้นตามลำดับ

## 5.6 การหาปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้

จากรูปที่ 5.5 แสดงถึงความเร็วของอากาศที่วิ่งเข้าใช้ในการเผาไหม้ในหัวเผา น้ำมันปาล์ม จากการทดสอบของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี  $VL = 1.5$  m ซึ่งเป็นการวัดได้จากท่อทางเข้าของอากาศ จากอุปกรณ์ที่ทำขึ้นเพื่อวัดอากาศโดยทำการวัดความเร็วจากจุดกึ่งกลางท่อเข้าหาผิวท่อ ซึ่งเป็นท่อทรงกระบอกกลมและกำหนดให้การไหลของอากาศภายในท่อมีการไหลที่สมมาตรตลอดพื้นที่หน้าตัดและความยาวท่อ จากผลของการวัดความเร็วของอากาศได้นำไปพล็อตเป็นเส้นกราฟดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.5 ซึ่งความเร็วที่วัดได้มีความเร็วของการไหลที่ต่ำมาก และช่วงที่ทำการวัดเป็นช่วงที่เป็นการไหลที่อยู่ในช่วงของระยะปากทางเข้าโดยการไหลนั้นยังไม่ได้อยู่ในช่วงของการไหลเต็มท่อ เนื่องจากความเร็วจากเส้นกราฟที่ตรงบริเวณกึ่งกลางท่อมีความเร็วที่เท่ากันอยู่บางจุด แต่ถ้าเป็นการไหลแบบเต็มท่อความเร็วของการไหลที่วัดได้สูงสุดจะต้องอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางท่อเพียงจุดเดียวและลดลงเรื่อยๆ ตามรัศมีท่อและต่ำสุดชั้นชิดผิวท่อ โดยลักษณะการไหลภายในท่อกลมสามารถดูได้ในรูปที่ 2.7 ซึ่งอยู่ในบทที่ 2 และความเร็วที่วัดได้จะนำไปทำการคำนวณหาอัตราการไหลเชิงปริมาตร และอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงต่อไป



รูปที่ 5.5 ความเร็วของอากาศที่วิ่งเข้าไปใช้ในการผสมกับไอน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการเผาไหม้

จากรูปที่ 5.6 แสดงถึงอัตราการไหลเชิงปริมาตรของการไหลของอากาศที่ไหลในท่อกลมที่ไหลเข้าไปใช้ในการเผาไหม้จากการวัดความเร็วแล้วนำมาคำนวณเป็นอัตราการไหลเชิงปริมาตรโดยวิธีการหมุน (Volume of a Solid of Revolution) แบบ Cylindrical Shell Method โดยนำสมการจากเส้นกราฟในแต่ละตำแหน่งของการวัดมาทำการหาผลรวมของการอินทิเกรต ดังสมการต่อไปนี้

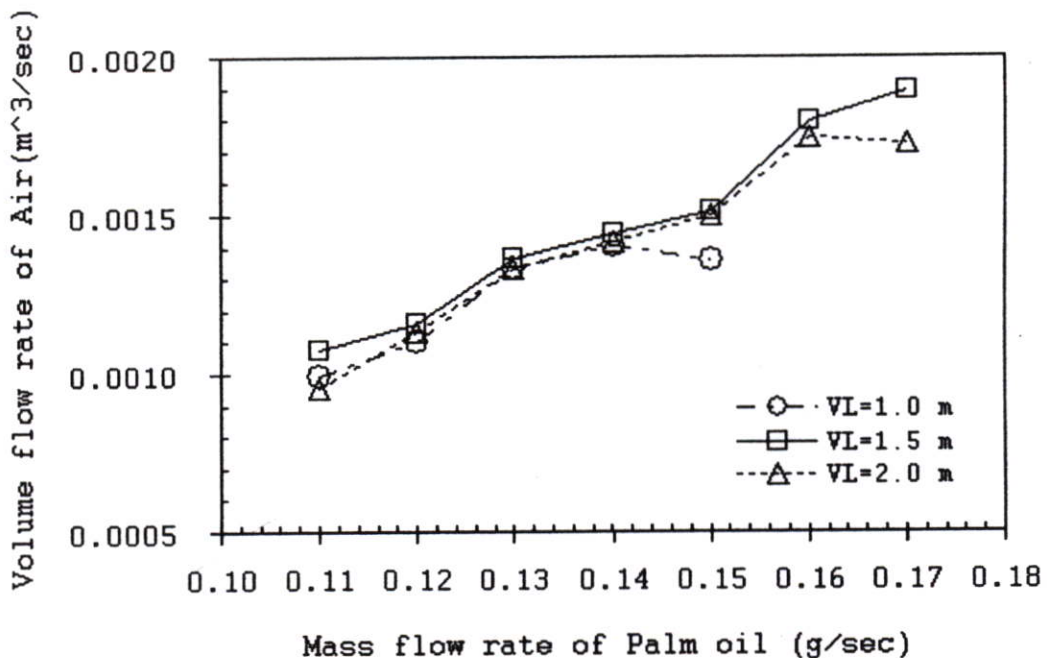
$$\dot{V} = 2\pi \left[ \int_{r_0}^a r \cdot f(r) dr + \int_a^b r \cdot f(r) dr + \int_b^c r \cdot f(r) dr + \int_c^r r \cdot f(r) dr \right] \quad (5.1)$$

โดยที่  $r_0 = 0$  เป็นระยะกึ่งกลางท่อ

$r =$  เป็นระยะจากจากจุดกึ่งกลางถึงผิวท่อ

$a, b, c =$  เป็นระยะต่างๆที่ทำการวัดความเร็วโดยอ้างอิงจากจุดกึ่งกลางท่อ

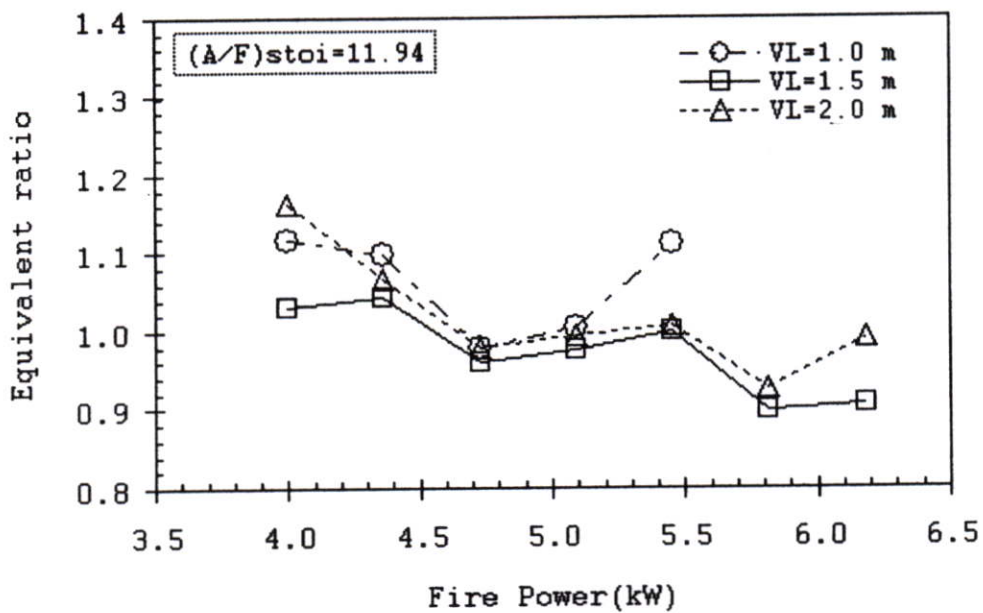
โดยทำเช่นนี้ในทุกๆอัตราการไหลก็จะได้อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ในแต่ละย่านการทำงานของหัวเผา น้ำมันปาล์มออกมาดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ที่สัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มที่เปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 5.7 แสดงถึงอัตราส่วนสมมูลที่ย่านการทำงานต่างๆของหัวเผา น้ำมันปาล์มที่ได้จากความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงที่วัดจากการทดลองและการคำนวณ

จากการเผาไหม้ทางทฤษฎี ซึ่งพบว่าที่อัตราการไหลต่ำๆ หรือในย่านของ Fire Power ต่ำนั้น เป็นการเผาไหม้แบบส่วนผสมหนาและค่อยๆ น้อยลงตามลำดับจนเป็นส่วนผสมบางที่อัตราการไหลสูงขึ้น เนื่องจากที่ Fire Power ต่ำๆ มีความเร็วของลำเจ็ตต่ำทำให้การชักนำอากาศเข้าไปเผาไหม้จึงทำได้น้อยกว่าที่อัตราการไหลสูงๆ และหัวเผาที่มีท่อ Vaporizer ต่างกันมีอัตราส่วนผสมไม่เท่ากันเนื่องจากไอน้ำที่ฉีดพ่นออกมาจากหัวฉีดมีอุณหภูมิของไอน้ำมันที่ ไม่เท่ากันทำให้การชักนำอากาศในแต่ละหัวเผามีค่าไม่เท่ากัน เพราะไอน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูง จะมีความเร็วที่มากกว่าไอน้ำมันที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า



รูปที่ 5.7 อัตราส่วนผสมที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงานของหัวเผาน้ำมันปาล์ม

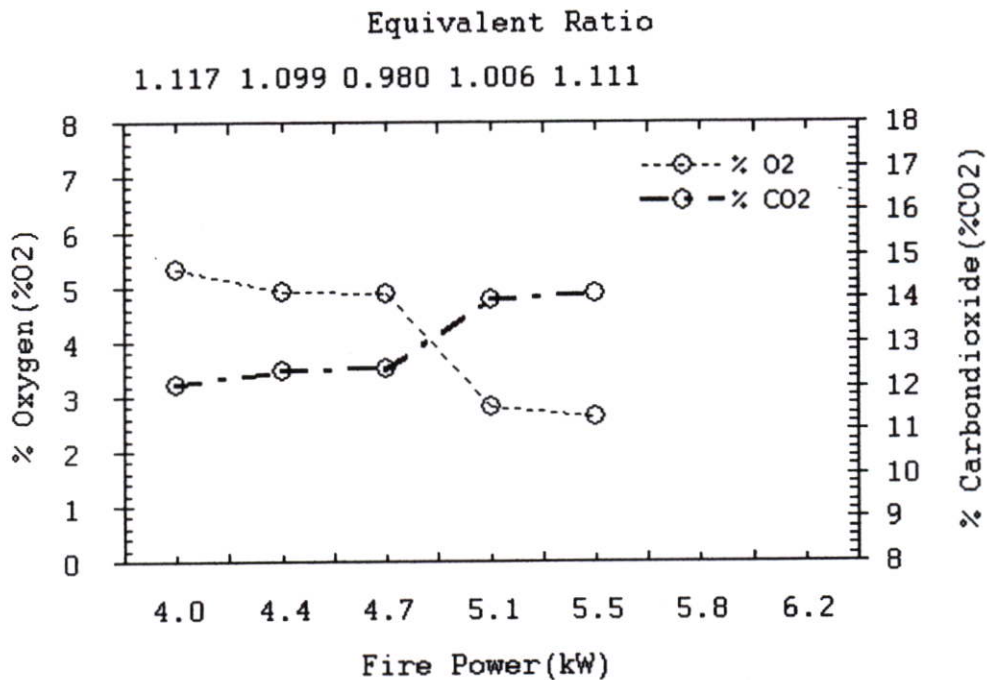
## 5.7 การศึกษาผลกระทบจากความยาวของท่อ Vaporizer ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่อัตราการไหลของน้ำมันต่างๆ

### 5.7.1 มลพิษต่างๆที่เกิดจากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี VL = 1.0 m

จากรูปที่ 5.8 แสดงถึง  $\%O_2$  และ  $\%CO_2$  ที่ได้จากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีท่อ Vaporizer ยาว 1.0 เมตร (VL = 1.0 m) โดย  $\%O_2$  จะลดลงเมื่อ Fire Power สูงขึ้นเป็นเพราะอากาศได้ถูกใช้ในการเผาไหม้มากขึ้นตามย่านการทำงานและการผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศที่ดีขึ้น เนื่องจากความเร็วของเจ็ตที่เพิ่มขึ้นจะช่วยในการชักนำอากาศทำให้มีอากาศเพียงพอต่อการเผาไหม้ การเผาไหม้ดีขึ้น อากาศที่เหลือจากการเผาไหม้จึงน้อยลง ส่วน  $\%CO_2$

ที่เพิ่มขึ้นนั้นมาจากการเผาไหม้ที่ดียิ่งขึ้นจึงทำให้คาร์บอนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ได้มากขึ้น จนกลายเป็น  $\%CO_2$  ที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง

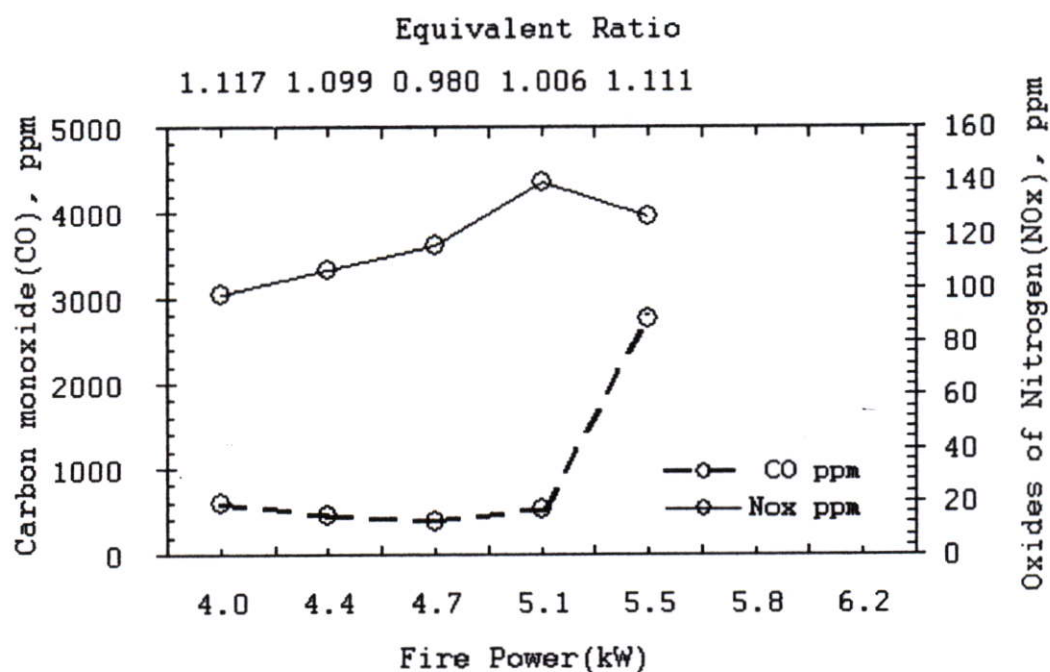
จากรูปที่ 5.9 แสดงถึงความเข้มข้น  $CO$  และความเข้มข้น  $NO_x$  ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีท่อ Vaporizer ยาว 1.0 เมตร ( $VL = 1.0$  m) โดยผลของ  $CO$  ที่ย่านการทำงานดำนั้นมีค่าที่สูงมีสาเหตุมาจากการที่ความเร็วของลำเจ็ตที่ต่ำทำให้การชักนำอากาศเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงมีน้อยทำให้ได้ส่วนผสมที่หนา ดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 5.7 อากาศไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้



รูปที่ 5.8 ความเข้มข้น  $O_2$  และ  $CO_2$  ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี  $VL=1.0$  m

และความเข้มข้น  $CO$  จะค่อยลดลงเมื่อส่วนผสมบางลงที่ Fire Power และอัตราการไหลสูงขึ้นเจ็ตความเร็วมีความเร็วสูงขึ้น ช่วยให้การผสมดีขึ้น อุณหภูมิการเผาไหม้ที่ได้สูงขึ้น จึงส่งเสริมการเผาไหม้ให้ดีขึ้นตามลำดับ แต่ที่ Fire Power 5.5 kW มีค่า  $CO$  สูงขึ้นเพราะท่อ Vaporizer ที่สั้นเกินไป เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของน้ำมันที่สูงขึ้น ทำให้เชื้อเพลิงมีเวลาสั้นเกินไปในการรับความร้อนจากเปลวเชื้อเพลิงที่ฉีดพ่นออกมาจึงมีสถานะเป็นละอองของเหลวผสมกับไอน้ำมันทำให้การผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศเป็นไปได้ยาก ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลงก๊าซ  $CO$  ที่วัดได้จึงมีค่าที่สูงขึ้น ส่วน  $NO_x$  ที่มีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากที่ Fire Power สูงขึ้นมีอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้นทำให้เกิด  $NO_x$  ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งพฤติกรรมของการเกิด  $NO_x$  นั้นจะเกิดขึ้นในบริเวณที่เกิดก๊าซเผาไหม้แล้วที่อุณหภูมิสูงๆ ที่มีส่วนผสมใกล้เคียงกับส่วนผสมพอดีหรือบางเล็กน้อย ซึ่ง  $NO_x$  ที่วัดได้ก็มีแนวโน้มที่เป็นไปตามกลไกการเกิดอย่างเห็นได้ชัดและที่จุดสุดท้าย  $NO_x$  มีค่าลดลงเนื่องจากอุณหภูมิลดลง

การเผาไหม้ลดลงจากสาเหตุของการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากส่วนผสมเชื้อเพลิงที่หนาขึ้นทำให้การเผาไหม้ที่ได้แย่ง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้  $NO_x$  ลดลงและ  $CO$  เพิ่มขึ้น



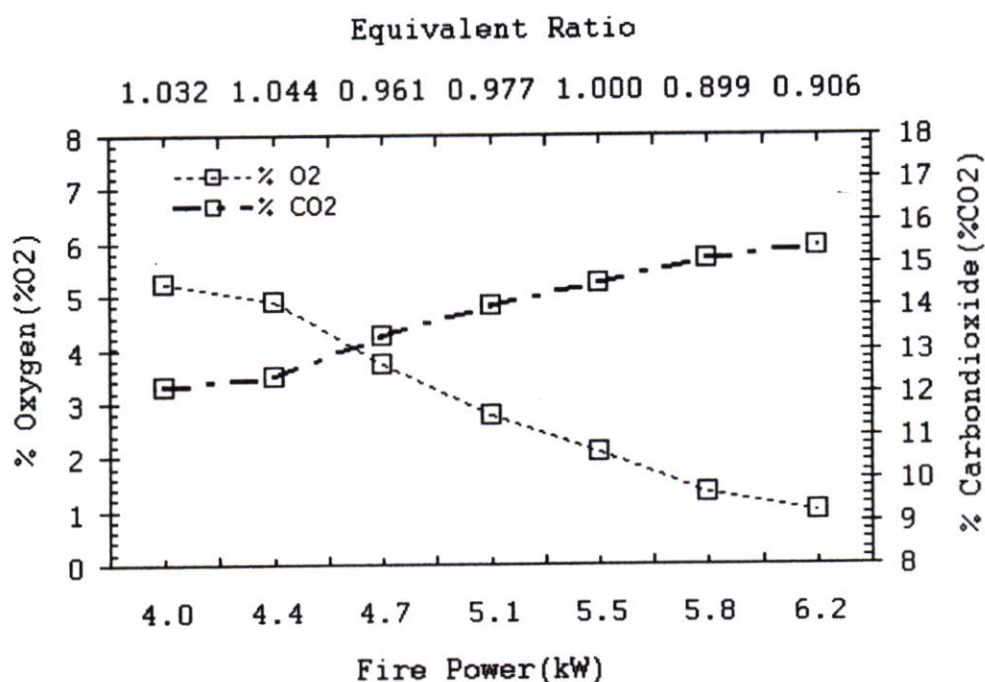
รูปที่ 5.9 ความเข้มข้น  $CO$  และ  $NO_x$  ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์ม ที่มี  $VL=1.0$  m

### 5.7.2 มลพิษต่างๆที่เกิดจากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี $VL = 1.5$ m

จากรูปที่ 5.10 แสดงถึง  $\%O_2$  และ  $\%CO_2$  ที่ได้จากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีท่อ Vaporizer ยาว 1.5 เมตร ( $VL = 1.5$  m) โดย  $\%O_2$  จะลดลงเมื่อ Fire Power สูงขึ้นเป็นเพราะอากาศได้ถูกใช้ในการเผาไหม้มากขึ้นตามย่านการทำงานและการผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศที่ดีขึ้นเนื่องจากความเร็วของเจ็ตที่เพิ่มขึ้นจะช่วยในการชักนำอากาศทำให้มีอากาศเพียงพอต่อการเผาไหม้ทำให้ได้การเผาไหม้ที่ดีขึ้นอากาศที่เหลือจากการเผาไหม้จึงน้อยลง ส่วน  $\%CO_2$  ที่เพิ่มขึ้นนั้นมาจากการเผาไหม้ที่ดีขึ้นจึงทำให้คาร์บอนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ได้มากขึ้นจนกลายเป็น  $\%CO_2$  ที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง

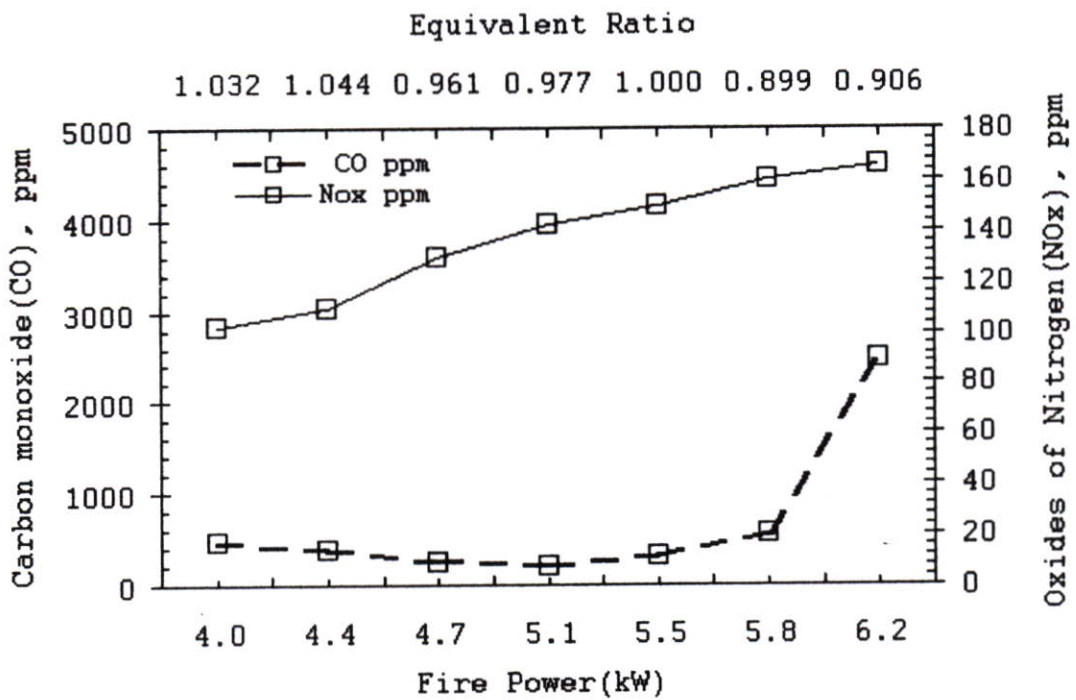
จากรูปที่ 5.11 แสดงความเข้มข้น  $CO$  และความเข้มข้น  $NO_x$  ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีท่อ Vaporizer ยาว 1.5 เมตร ( $VL = 1.5$  m) โดยผลของ  $CO$  ที่ย่านการทำงานต่ำนั้นมีค่าที่สูงมีสาเหตุมาจากการที่ความเร็วของลำเจ็ตที่ต่ำทำให้การชักนำอากาศเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงมีน้อยทำให้ได้ส่วนผสมที่หนาอากาศไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ ดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 5.7 และความเข้มข้น  $CO$  จะค่อยๆลดลงเมื่อส่วนผสมบางลงและอุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้น ประกอบกับความเร็วของเจ็ตเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น การผสมดีขึ้นจึงส่งเสริมการเผาไหม้ที่ดีขึ้นตามลำดับ ส่วน  $NO_x$  ที่มีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากที่ Fire Power สูงขึ้นมี

อุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้นทำให้เกิด  $NO_x$  ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งพฤติกรรมของ  $NO_x$  นั้นจะเกิดขึ้นในบริเวณที่เกิดก๊าซเผาไหม้แล้วที่อุณหภูมิสูงๆ ที่มีส่วนผสมใกล้เคียงกับส่วนผสมพอดีหรือบางเล็กน้อย ซึ่ง  $NO_x$  ที่วัดได้ก็มีแนวโน้มที่เป็นไปตามกลไกการเกิดอย่างเห็นได้ชัด แต่ที่จุดสุดท้าย  $NO_x$  ไม่ลดลงตามความสัมพันธ์เมื่อ  $CO$  เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ตำแหน่งนี้ยังมีอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ยังสูงอยู่ ถึงแม้ส่วนผสมของเชื้อเพลิงจะหนาขึ้นก็ตามจึงทำให้  $NO_x$  ไม่ลดลง

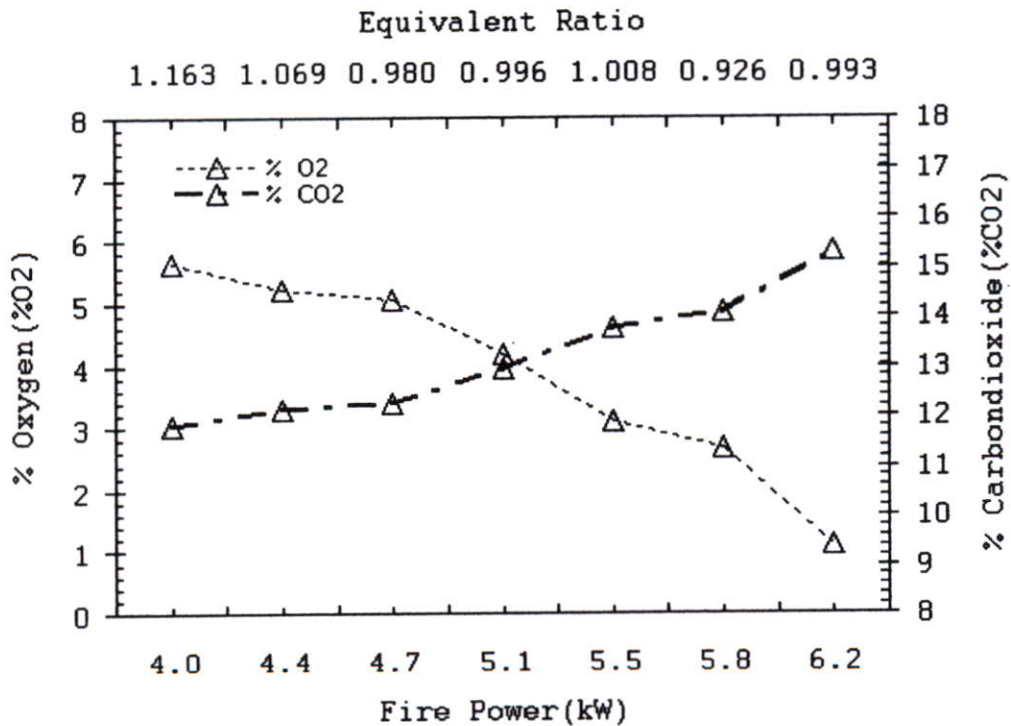


รูปที่ 5.10 ความเข้มข้น  $O_2$  และ  $CO_2$  ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มี VL=1.5 m

5.7.3 ผลพิษต่างๆที่เกิดจากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี VL = 2.0 m จากรูปที่ 5.12 แสดงถึง  $\%O_2$  และ  $\%CO_2$  ที่ได้จากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีท่อ Vaporizer ยาว 2.0 เมตร (VL = 2.0 m) โดย  $\%O_2$  จะลดลงเมื่อ Fire Power สูงขึ้นเป็นเพราะอากาศได้ถูกใช้ในการเผาไหม้มากขึ้นตามย่านการทำงานและการผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศที่คืบขึ้นเนื่องจากความเร็วของเจ็ตที่เพิ่มขึ้นจึงช่วยในการชักนำอากาศทำให้มีอากาศเพียงพอต่อการเผาไหม้ทำให้ได้การเผาไหม้ที่คืบขึ้นอากาศที่เหลือจากการเผาไหม้จึงน้อยลง ส่วน  $\%CO_2$  ที่เพิ่มขึ้นนั้นมาจากการเผาไหม้ที่คืบขึ้นจึงทำให้คาร์บอนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ได้มากขึ้นจนกลายมาเป็น  $\%CO_2$  ที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง

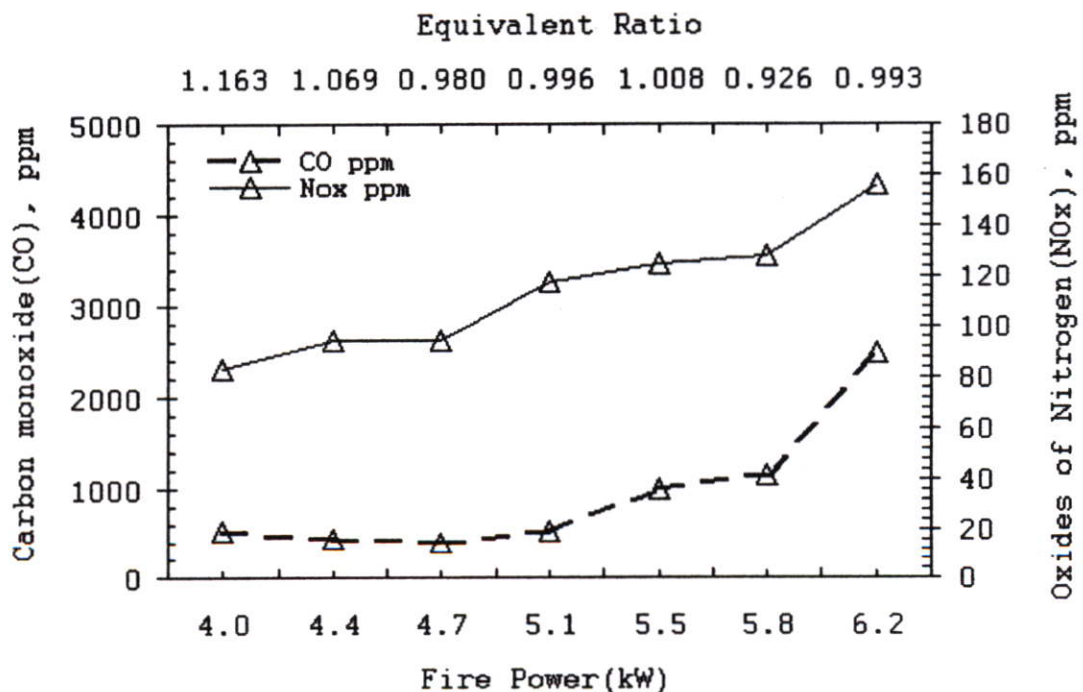


รูปที่ 5.11 ความเข้มข้น CO และ NO<sub>x</sub> ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี VL=1.5 m



รูปที่ 5.12 ความเข้มข้น O<sub>2</sub> และ CO<sub>2</sub> ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มี VL=2.0 m

จากรูปที่ 5.13 แสดงถึงความเข้มข้น  $CO$  และความเข้มข้น  $NO_x$  ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีท่อ Vaporizer ยาว 2.0 เมตร ( $VL = 2.0$  m) โดยผลของ  $CO$  ที่ย่านการทำงานต่ำนั้นมีค่าที่สูงมีสาเหตุมาจากความเร็วของลำเจ็ตที่ต่ำทำให้การชักนำอากาศเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงมีน้อยทำให้ได้ส่วนผสมที่หนาอากาศไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ ดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 5.7 และความเข้มข้นของ  $CO$  จะค่อยๆ ลดลงเมื่อส่วนผสมบางลงและอุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้น ประกอบกับความเร็วของเจ็ตเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น การผสมดีขึ้น จึงส่งเสริมการเผาไหม้ให้ดีขึ้นตามลำดับ แต่ที่จุดสุดท้ายมีค่า  $CO$  สูงขึ้นเพราะท่อ Vaporizer ที่ยาวเกินไปทำให้เกิดการสูญเสียความร้อน เนื่องจากท่อ Vaporizer ที่ยาวมากเกินไปให้ขดท่อไปชิดกับกันภาชนะมากทำให้สูญเสียความร้อนให้กับกันภาชนะมากและก๊าซร้อน ไนโตรเจน ไบโกลอสซึมขดท่อแต่ไหลออกด้านข้างเนื่องจากขดท่อไปขวางกระแสดการไหลที่อยู่ระหว่างกันภาชนะกับขดท่อ ทำให้เชื้อเพลิงที่ฉีดพ่นออกมา มีสถานะละอองของเหลวสีกาผสมมากกับไอน้ำมันทำให้การผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศแย่ง ทำให้สมรรถนะการเผาไหม้ลดลง ก๊าซ  $CO$  ที่วัดได้จึงมีค่าที่สูงขึ้น ส่วน  $NO_x$  ที่มีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากที่ Fire Power สูงขึ้นมีอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้นทำให้เกิด  $NO_x$  เพิ่มขึ้น ซึ่งพฤติกรรมของการเกิด  $NO_x$  นั้นจะเกิดขึ้นในบริเวณที่เกิดก๊าซเผาไหม้แล้วที่อุณหภูมิสูงๆ ที่มีส่วนผสมใกล้เคียงกับส่วนผสมพอดีหรือบางเล็กน้อย ซึ่ง  $NO_x$  ที่วัดได้ก็มีแนวโน้มที่เป็นไปตามกลไกการเกิดอย่างเห็นได้ชัด แต่ที่จุดสุดท้าย  $NO_x$  ไม่ลดลงตามความสัมพันธ์เมื่อ  $CO$  เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ตำแหน่งนี้มีอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ยังสูงอยู่ถึงแม้การเผาไหม้จะไม่ดีแต่ก็ไม่แย่มากจนทำให้  $NO_x$  ลดลง

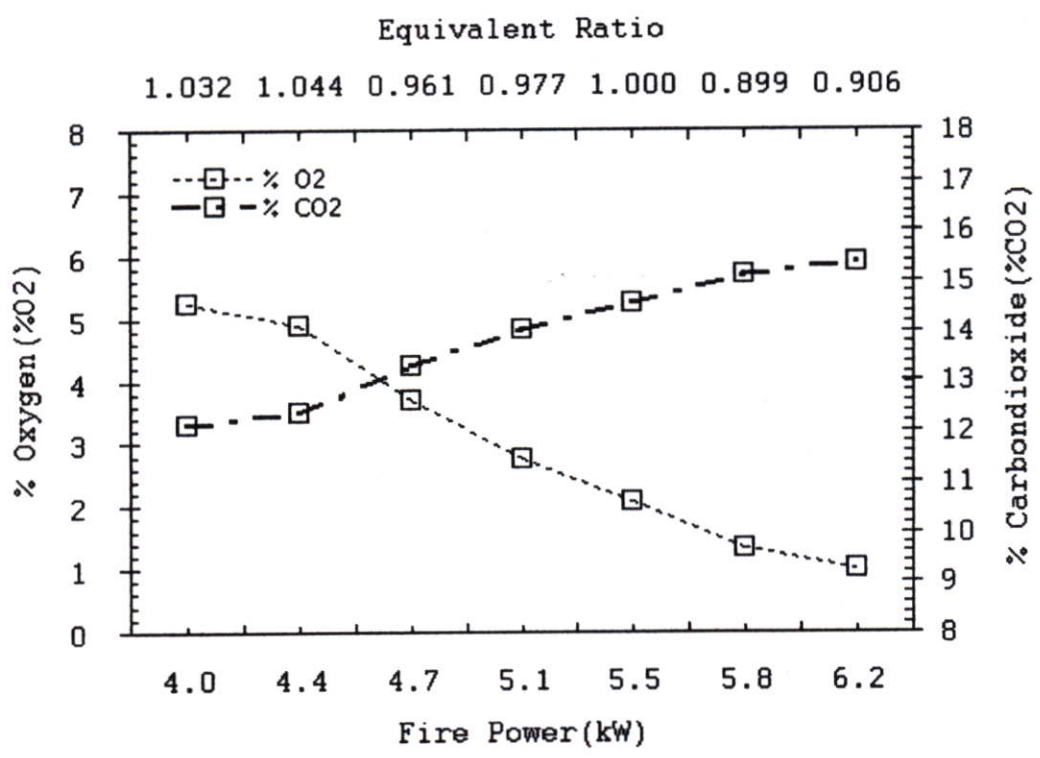


รูปที่ 5.13 ความเข้มข้น  $CO$  และ  $NO_x$  ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี  $VL=2.0$  m

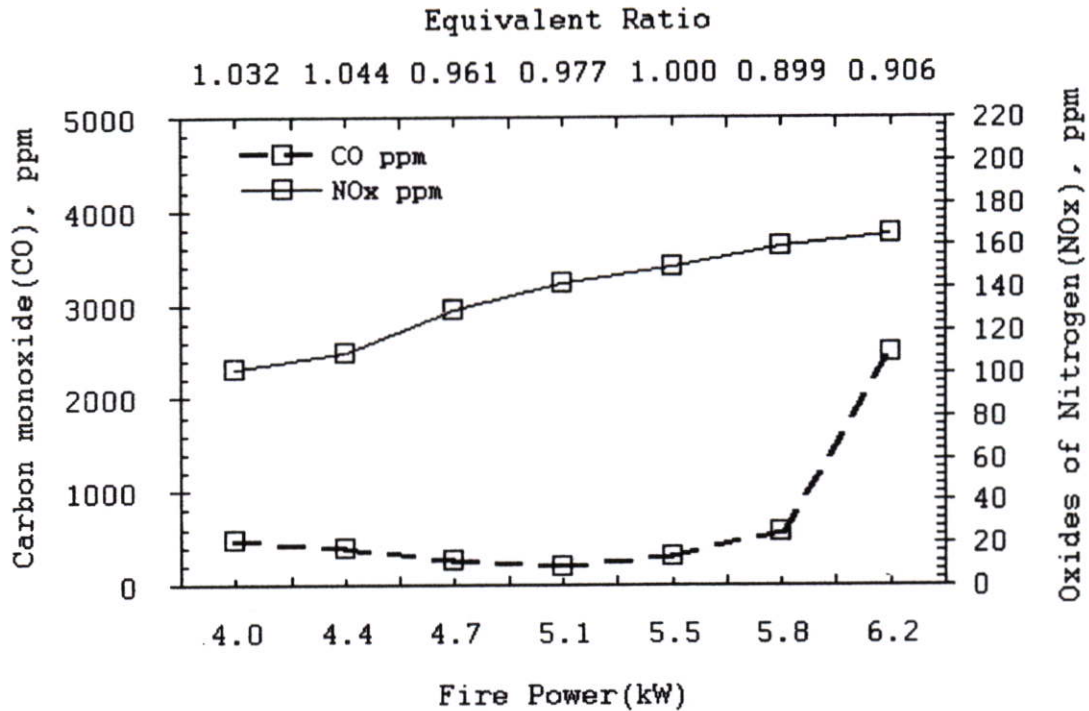
### 5.8 การศึกษาผลกระทบจากความยาวของท่อ Mixing tube ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่อัตราการไหลของน้ำมันต่างๆ

#### 5.8.1 มลพิษต่างๆที่เกิดจากการเผาไหม้ของหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มี MT = 50 mm

จากรูปที่ 5.14 และ 5.15 แสดงถึงความเข้มข้นของ  $O_2$  ,  $CO_2$  และ ความเข้มข้น  $CO$  ,  $NO_x$  ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีท่อ Mixing ยาว 50 มิลลิเมตร (MT = 50 mm) ซึ่งความนี้ เป็นความยาวเคมที่มีอยู่ในหัวเผา น้ำมันปาล์ม โดยกำหนดให้มีความยาวท่อ Vaporizer ที่ยาวเท่ากันซึ่งมีความยาวเท่ากับ 1.5 เมตร สำหรับผลของมลพิษที่วัดได้จากการเผาไหม้ของหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มี MT = 50 mm นั้นจึงมีผลเหมือนกับหัวเผาที่มี VL = 1.5 m และได้ทำการเพิ่มความยาวของท่อ Mixing ขึ้น 2 ระยะ คือ MT = 65 mm และ MT = 75 mm เพื่อสังเกตอิทธิพลจากความยาวของ Mixing ที่เปลี่ยนไปว่ามีผลอย่างไรต่อการผสมและสมรรถนะการเผาไหม้ที่จะเกิดขึ้นกับหัวเผา น้ำมันปาล์ม ซึ่งผลที่วัดได้จะบรรยายต่อไป ในรูปที่ 5.16, 5.17 และรูปที่ 5.18, 5.19 ตามลำดับต่อไป



รูปที่ 5.14 ความเข้มข้น  $O_2$  และ  $CO_2$  ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มี MT = 50 mm



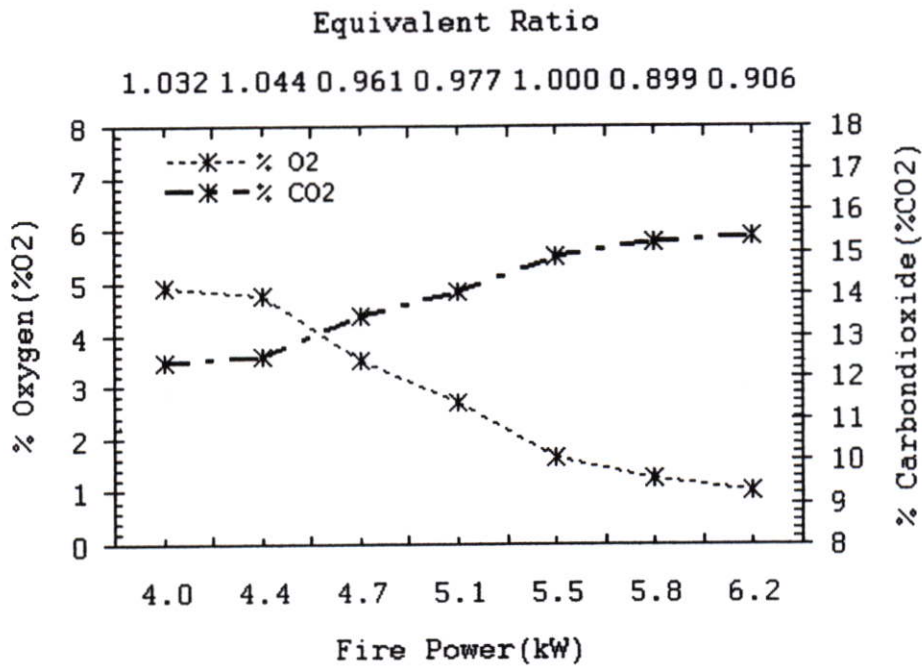
รูปที่ 5.15 ความเข้มข้น  $CO$  และ  $NO_x$  ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี  $MT = 50$  mm

### 5.8.2 มลพิษต่างๆที่เกิดจากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี $MT = 65$ mm

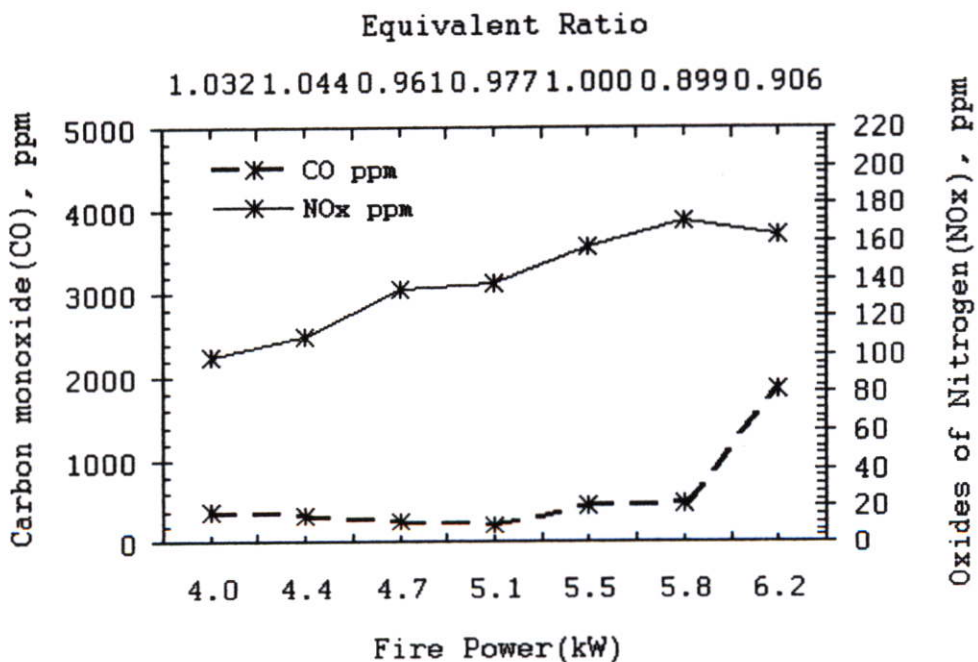
จากรูปที่ 5.16 แสดงถึงความเข้มข้น  $O_2$  และ  $CO_2$  ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีท่อ Mixing ยาว 65 มิลลิเมตร ( $MT = 65$  mm) ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึง  $\%O_2$  ที่เหลือจากการเผาไหม้ที่มีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับหัวเผาอื่นๆ แต่ข้อแตกต่างไปจาก  $MT = 50$  mm ก็คือค่าของ  $O_2$  ที่เหลือจากการเผาไหม้ในแต่ละ Fire Power ที่มีค่าที่ต่ำกว่าหัวเผาที่มี  $MT = 50$  mm เนื่องจากได้ทำการเพิ่มความยาวของท่อ Mixing ให้ยาวขึ้นจึงช่วยเพิ่มระยะเวลาของการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศให้นานขึ้นการผสมดีขึ้น ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น จึงทำให้แต่ละย่านการทำงานของหัวเผา  $\%O_2$  ที่เหลือจากการเผาไหม้น้อยลง เมื่อมีการเผาไหม้ที่ดีขึ้นก็จะส่งผลทำให้ระดับความเข้มข้นของ  $CO_2$  ที่ค่าที่สูงขึ้นตามลำดับ

จากรูปที่ 5.17 แสดงถึงความเข้มข้น  $CO$  และ  $NO_x$  ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีท่อ Mixing ยาว 65 มิลลิเมตร ( $MT = 65$  mm) ซึ่งผลของ  $CO$  ที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มของระดับความเข้มข้นใกล้เคียงกับหัวเผาที่มี  $MT = 50$  mm แต่จะคิดว่าเล็กน้อยเนื่องจากการเพิ่มความยาวของท่อ Mixing ทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น โดยดูการเปรียบเทียบได้จากรูปที่ 5.26 ส่วนผลของ  $NO_x$  มีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากที่ Fire Power สูงขึ้นมีอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้นทำให้เกิด  $NO_x$  เพิ่มขึ้น ซึ่งพฤติกรรมของ  $NO_x$  นั้นจะเกิดขึ้นในบริเวณที่เกิดก๊าซเผาไหม้แล้วที่อุณหภูมิสูงๆ ที่มีส่วนผสมใกล้เคียงกับส่วนผสมพอดีหรือบางเล็กน้อย ซึ่ง  $NO_x$  ที่วัด

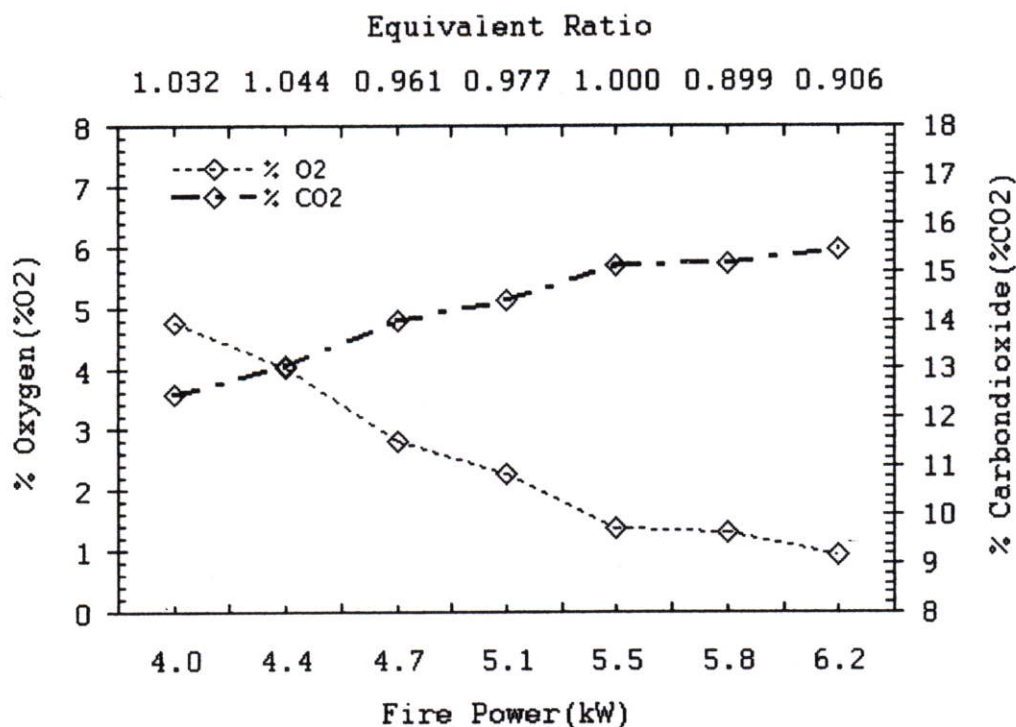
ได้ก็มีแนวโน้มที่เป็นไปตามกลไกการเกิดอย่างเห็นได้ชัด แต่ค่าของ  $NO_x$  อาจจะมีระดับความเข้มข้นที่สูงกว่าหั่วเผาที่มี  $MT = 50$  mm เล็กน้อยเนื่องจากการเผาไหม้ที่ดีขึ้นทำให้ได้อุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงกว่า ซึ่งส่งผลต่อระดับความเข้มข้นของ  $NO_x$  ที่สูงกว่าเล็กน้อย



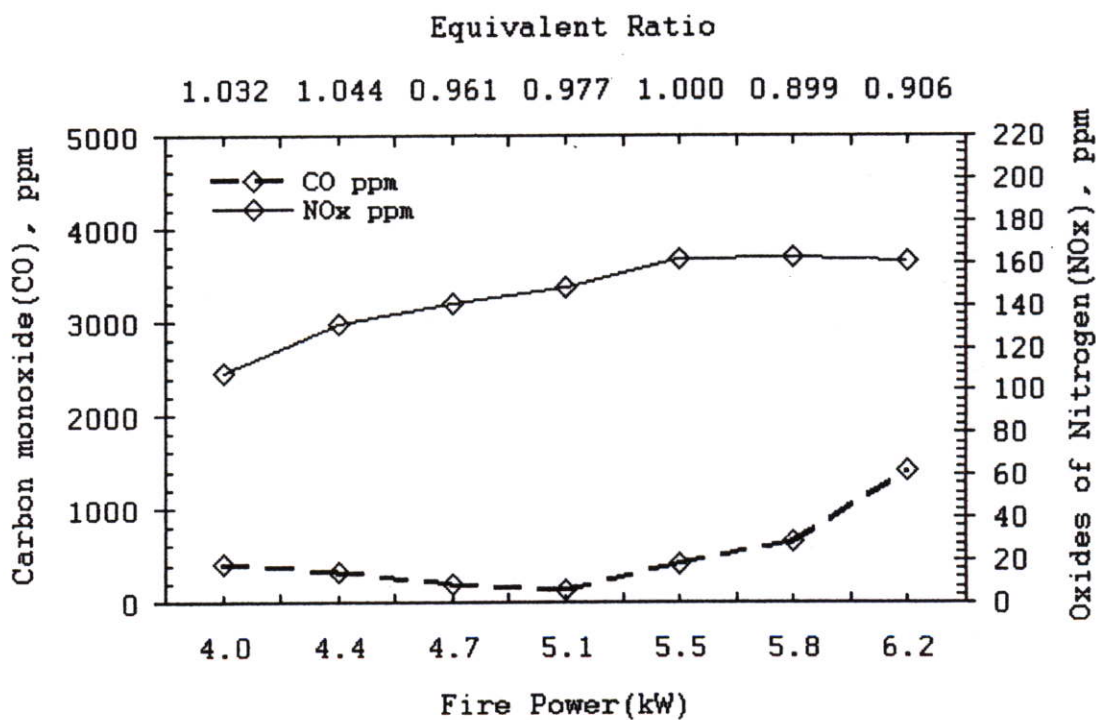
รูปที่ 5.16 ความเข้มข้น  $O_2$  และ  $CO_2$  ที่วัดได้จากหั่วเผาน้ำมันปาล์มที่มี  $MT = 65$  mm



รูปที่ 5.17 ความเข้มข้น  $CO$  และ  $NO_x$  ที่วัดได้จากหั่วเผาน้ำมันปาล์มที่มี  $MT = 65$  mm



รูปที่ 5.18 ความเข้มข้น  $O_2$  และ  $CO_2$  ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี MT = 75 mm



รูปที่ 5.19 ความเข้มข้น  $CO$  และ  $NO_x$  ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มี MT = 75 mm

### 5.8.3 มลพิษต่างๆที่เกิดจากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี MT = 75 mm

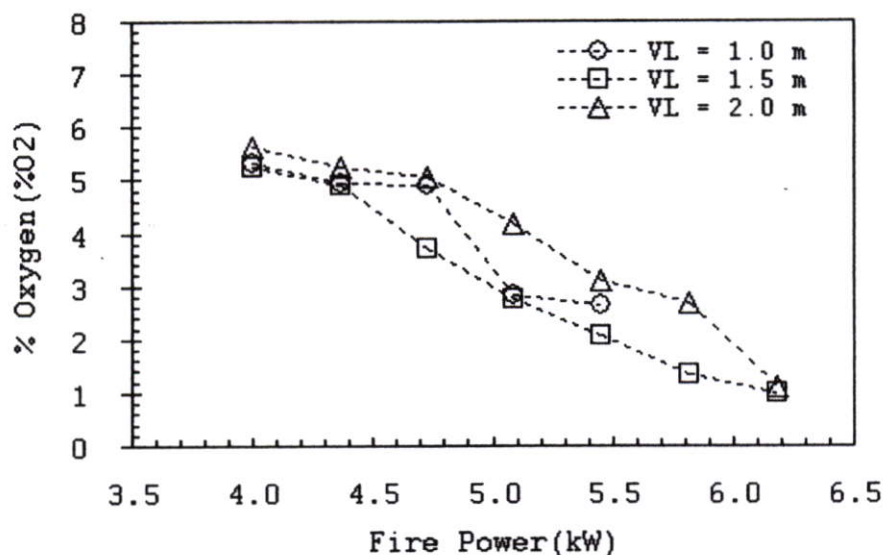
จากรูปที่ 5.18 แสดงถึงความเข้มข้น  $O_2$  และ  $CO_2$  ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีท่อ Mixing ยาว 75 มิลลิเมตร (MT = 75 mm) ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึง % $O_2$  ที่เหลือจากการเผาไหม้ที่มีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับหัวเผาอื่นๆ แต่ข้อแตกต่างไปจาก MT = 65 mm ก็คือค่าของ  $O_2$  ที่เหลือจากการเผาไหม้ในแต่ละ Fire Power ที่มีค่าที่ต่ำกว่าหัวเผาที่มี MT = 65 mm เนื่องจากได้ทำการเพิ่มความยาวของท่อ Mixing ให้ยาวขึ้นจึงช่วยเพิ่มระยะเวลาของการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศให้นานขึ้นการผสมดีขึ้น ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น จึงทำให้แต่ละย่านการทำงานของหัวเผามี % $O_2$  ที่เหลือจากการเผาไหม้น้อยลง เมื่อมีการเผาไหม้ที่ดีขึ้นก็จะส่งผลทำให้ระดับความเข้มข้นของ  $CO_2$  ที่ค่าที่สูงขึ้นตามลำดับ

จากรูปที่ 5.19 แสดงถึงความเข้มข้น  $CO$  และ  $NO_x$  ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีท่อ Mixing ยาว 75 มิลลิเมตร (MT = 75 mm) ซึ่งผลของ  $CO$  ที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มของระดับความเข้มข้นใกล้เคียงกับหัวเผาที่มี MT = 65 mm แต่จะมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยเนื่องจากการเพิ่มความยาวของท่อ Mixing ทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น โดยดูการเปรียบเทียบได้จากรูปที่ 5.26 ส่วน  $NO_x$  ที่มีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากที่ Fire Power สูงขึ้นมีอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้นทำให้เกิด  $NO_x$  เพิ่มขึ้น ซึ่งพฤติกรรมของ  $NO_x$  นั้นจะเกิดขึ้นในบริเวณที่เกิดก๊าซเผาไหม้แล้วที่อุณหภูมิสูงๆ ที่มีส่วนผสมใกล้เคียงกับส่วนผสมพอดีหรือบางเล็กน้อย ซึ่ง  $NO_x$  ที่วัดได้ก็มีแนวโน้มที่เป็นไปตามกลไกการเกิดอย่างเห็นได้ชัด แต่ค่าของ  $NO_x$  อาจจะมีระดับความเข้มข้นที่สูงกว่าหัวเผาที่มี MT = 65 mm เล็กน้อยเนื่องจากการเผาไหม้ที่ดีขึ้นทำให้ได้อุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงกว่า ซึ่งส่งผลต่อระดับความเข้มข้นของ  $NO_x$  ที่สูงกว่าเล็กน้อย

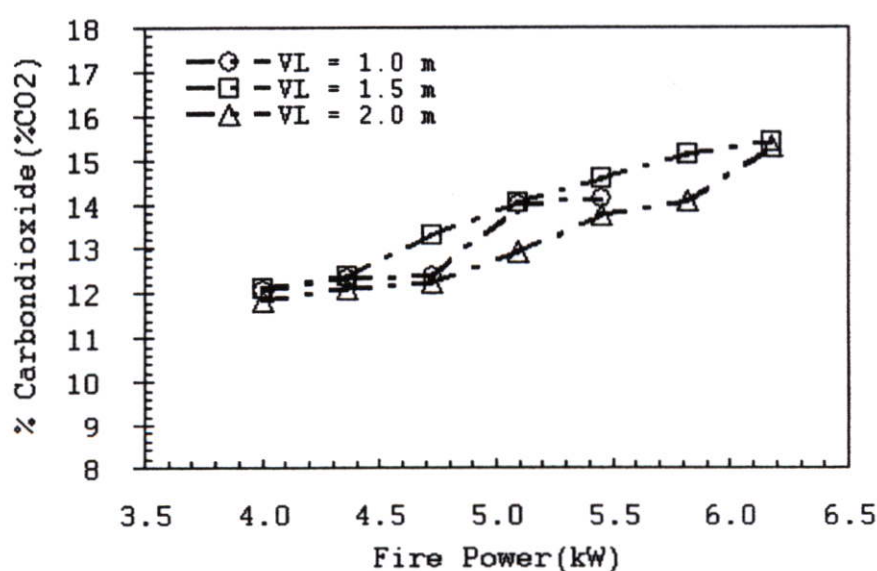
### 5.9 ผลการเปรียบเทียบมลพิษของหัวเผาที่มีท่อ Vaporizer แตกต่างกัน

จากรูปที่ 5.20 แสดงถึงความเข้มข้น  $O_2$  ที่ได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีความยาวของท่อ Vaporizer ที่ยาวแตกต่างกันนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อวิเคราะห์ถึง % $O_2$  ที่เหลือจากการเผาไหม้ที่แตกต่างกัน พบว่าความยาวของท่อ Vaporizer ที่ยาวแตกต่างกันมีผลต่อพื้นที่และระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างเชื้อเพลิงที่อยู่ในท่อ Vaporizer กับความร้อนจากการเผาไหม้ของหัวเผา ซึ่งส่งผลต่อสถานะของไอน้ำมันที่จะฉีดพ่นออกมาเผาไหม้ ถ้ามีพื้นที่และระยะเวลาที่นานพอในการแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อ Vaporizer ก็จะทำได้ไอน้ำมันที่อุณหภูมิสูงฉีดพ่นออกมาผสมและคลุกเคล้ากับอากาศได้ดีทำให้ได้การเผาที่คืออากาศที่เหลือจากเผาไหม้จึงเหลือน้อยเมื่อเทียบกับหัวเผาอื่นๆ และที่สังเกตเห็นอีกประการหนึ่งก็คือ ที่เส้นกราฟของ VL = 1.0 m มีย่านการทำงานที่สามารถทำงานได้ที่ย่านการทำงานย่านหนึ่งแล้วไม่สามารถทำงานต่อไปได้ เนื่องจากความยาวของท่อ Vaporizer ที่สั้นเกินไปจนทำให้มีระยะเวลาไม่พอในการทำให้ไอน้ำมันที่เป็นของเหลวระเหยเป็นไอได้จึงทำให้เชื้อเพลิงที่ฉีดพ่นออกมาเผาไหม้อยู่ในสถานะของเหลว ทำให้หัวเผาดับลงและไม่

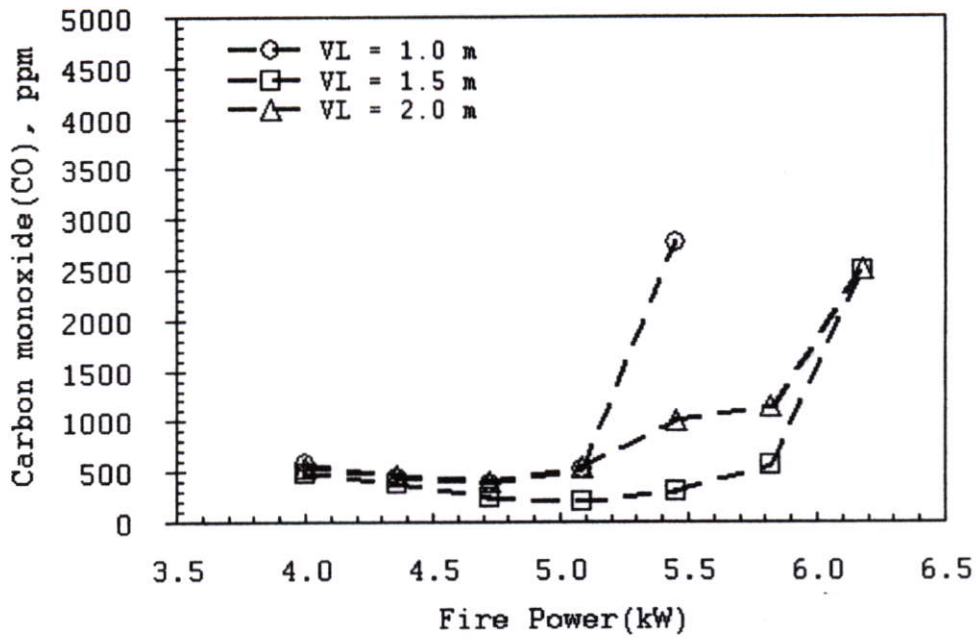
สามารถทำงานต่อไปได้ในที่สุด ส่วนความยาวของท่อ Vaporizer ที่ยาว 2.0 เมตรที่มี % $O_2$  เหลือมากกว่าหัวเผาอื่นๆ อาจจะเนื่องมาจากการที่ท่อ Vaporizer ที่ยาวมากเกินไปจนทำให้ขดท่อส่วนหนึ่งเลยบริเวณที่รับความร้อนจากเปลวไฟไปมาก จึงเกิดการสูญเสียความร้อนทำให้ไอน้ำมันบางส่วนเกิดเย็นตัวลงกลายเป็นของเหลว ซึ่งสังเกตได้จากสายตาโดยมีลักษณะเป็นของเหลวสีดำถูกฉีดพ่นปนมากับไอน้ำมัน ทำให้การผสมแย่งลงทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลง ดังนั้น % $O_2$  จึงเหลือมากกว่าหัวเผาอื่นๆ



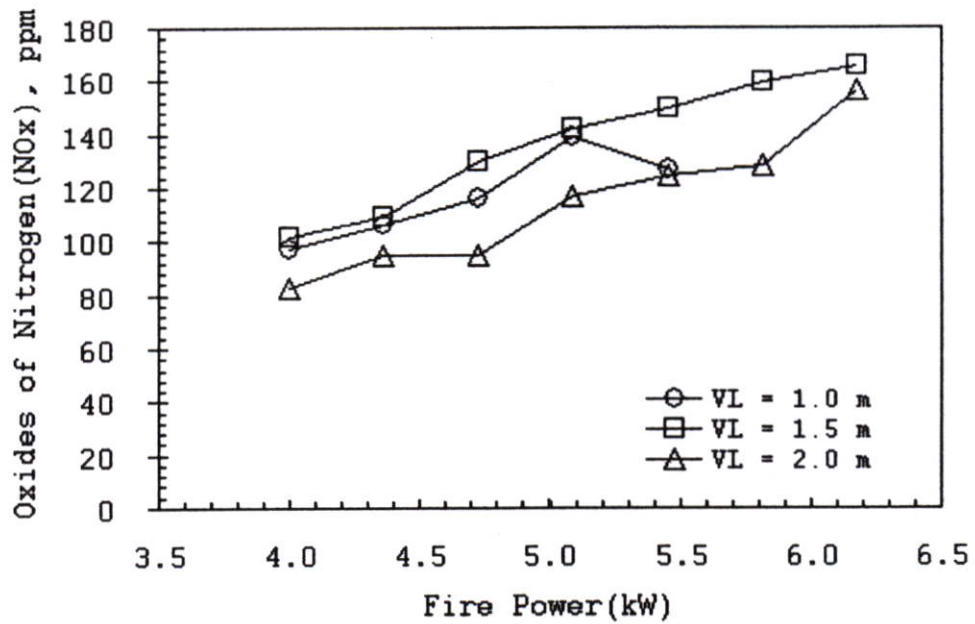
รูปที่ 5.20 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ  $O_2$  ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อ Vaporizer ต่างกัน



รูปที่ 5.21 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ  $CO_2$  ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อ Vaporizer ต่างกัน



รูปที่ 5.22 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ  $CO$  ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีควมยาวท่อ Vaporizer ต่างกัน



รูปที่ 5.23 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ  $NO_x$  ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีควมยาวท่อ Vaporizer ต่างกัน

จากรูปที่ 5.21, 5.22 และ 5.23 แสดงถึงความเข้มข้นของก๊าซ  $CO_2$ ,  $CO$  และความเข้มข้น  $NO_x$  ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีท่อ Vaporizer ที่แตกต่างกันนำมาเปรียบเทียบเพื่อให้เห็นถึงความเข้มข้นที่ต่างกันของแต่ละหัวเผา พบว่าก๊าซ  $CO_2$  ที่แสดงในรูปที่ 5.21 มีระดับความเข้มข้นมากกว่าทุกหัวเผา เพราะประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีกว่าจากการที่มีท่อ

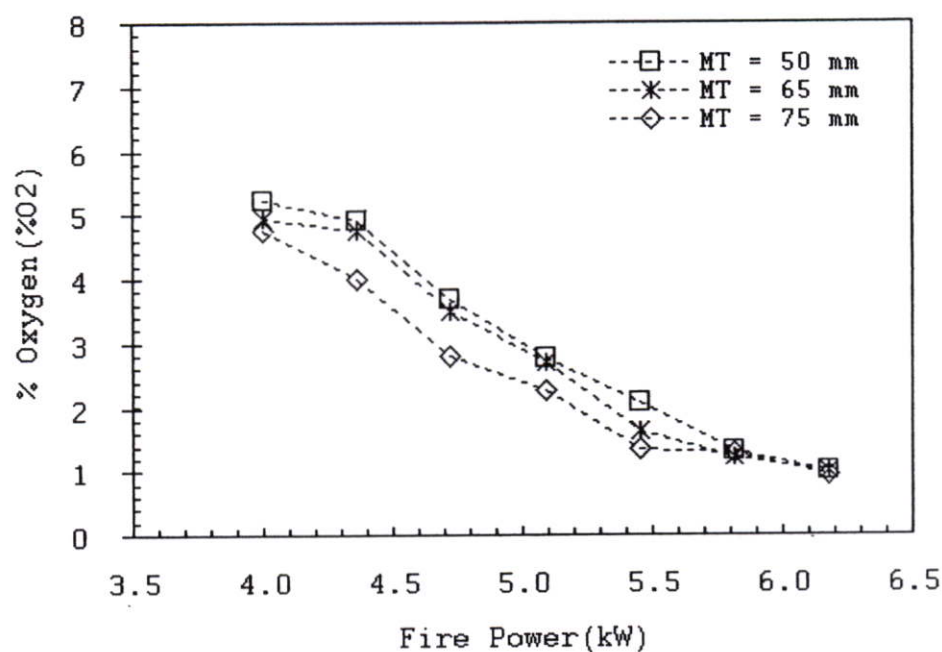
Vaporizer ที่เหมาะสมจึงทำให้ได้เชื้อเพลิงที่ไม่มีของเหลวผสมมากับไอน้ำมันการเผาไหม้ที่ได้จึงคิดว่า ส่วนก๊าซ  $CO$  ที่แสดงในรูปที่ 5.22 มีระดับความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกันทุกหัวเผาเช่นกัน แต่ที่หัวเผาที่มีท่อ Vaporizer สั้นมีค่าของ  $CO$  ที่สูงกว่าหัวเผาอื่น เนื่องจากสถานะของไอน้ำมันที่ฉีดพ่นออกมาเผาไหม้มีสถานะของไอน้ำมันที่มีของเหลวปนมาด้วยทำให้การผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศไม่ดี ทำให้ได้ความเข้มข้น  $CO$  มากกว่าหัวเผาอื่นๆ และถ้าความยาวของท่อ Vaporizer ยาวมากเกินไปจะทำให้จุดต่อส่วนหนึ่งเลขบริเวณที่รับความร้อนจากเปลวไฟไปมาก จึงเกิดการสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมทำให้ไอน้ำมันบางส่วนเกิดเย็นตัวลงกลายเป็นของเหลว ซึ่งสังเกตได้จากสายคาโดยมีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลที่ติดพ่นปนมากับไอน้ำมันการเผาไหม้ไม่ดี ทำให้ได้ความเข้มข้น  $CO$  ที่วัดได้มีค่าที่มากเช่นกัน สำหรับก๊าซ  $NO_x$  ที่แสดงในรูปที่ 5.23 มีค่าที่แตกต่างกันเนื่องจากการเผาไหม้จากหัวเผาแต่ละหัวมีค่าของอุณหภูมิการเผาไหม้ที่แตกต่างกันทำให้ผลของ  $NO_x$  ของแต่ละหัวเผาแตกต่างกันด้วย

### 5.10 ผลการเปรียบเทียบมลพิษของหัวเผาที่มี Mixing Tube แตกต่างกัน

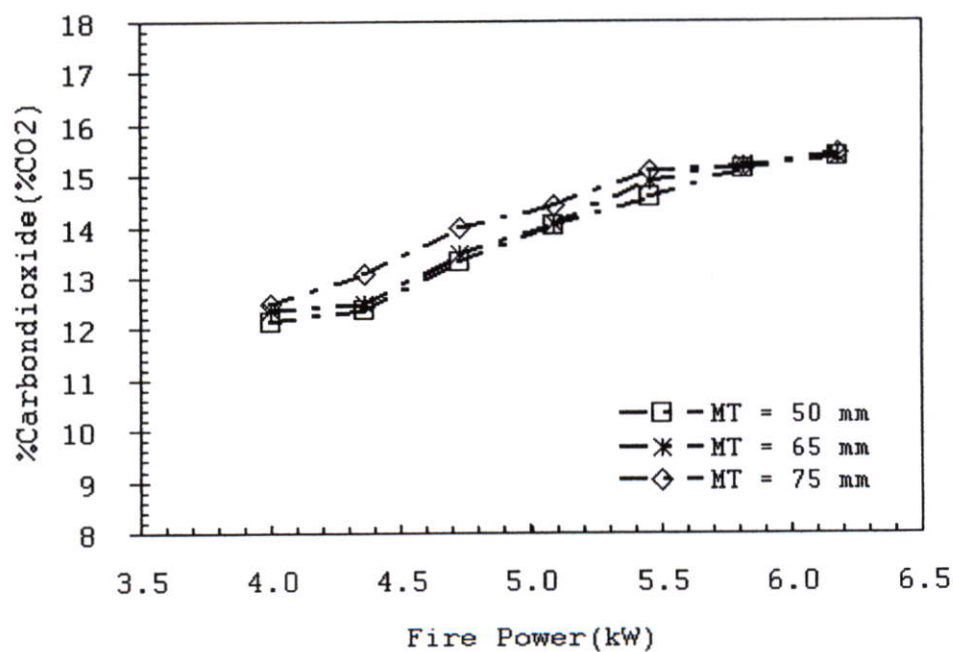
จากรูปที่ 5.24 แสดงถึงความเข้มข้น  $O_2$  ที่เหลือจากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี Mixing Tube (MT) ที่ยาวแตกต่างกัน ซึ่ง  $\%O_2$  ที่แตกต่างกันน่าจะมาจากความยาวของท่อ Mixing ที่ยาวมากขึ้นทำให้มีระยะเวลาในการผสมที่นานขึ้นการผสมคลุกเคล้าดีขึ้น การเผาไหม้ดีขึ้นทำให้  $\%O_2$  ที่เหลือจากการเผาไหม้ของหัวเผาที่มีท่อ Mixing ที่ยาวเหลือน้อยกว่าหัวเผาที่มีท่อ Mixing ที่สั้น

จากรูปที่ 5.25, 5.26 และ 5.27 แสดงถึงความเข้มข้นของก๊าซ  $CO_2$ ,  $CO$  และความเข้มข้น  $NO_x$  ที่วัดได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีท่อ Vaporizer ที่แตกต่างกันนำมาเปรียบเทียบเพื่อให้เห็นถึงความเข้มข้นที่ต่างกันของแต่ละหัวเผา พบว่าก๊าซ  $CO_2$  ที่แสดงในรูปที่ 5.25 มีระดับความเข้มข้นใกล้เคียงกับทุกๆ หัวเผา แต่ความแตกต่างที่เกิดขึ้นเล็กน้อยนั้นน่าจะมาจากการเพิ่มความยาวของท่อ Mixing ทำให้ระยะเวลาในการผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศนานขึ้นการคลุกเคล้าดีขึ้น ทำให้ได้การเผาไหม้ที่ดีขึ้นค่าของ  $CO_2$  ที่ได้จึงแตกต่างกัน โดยสังเกตได้จากหัวเผาที่มีท่อ Mixing ที่ยาวจะมีค่าความเข้มข้นของ  $CO_2$  ที่มากกว่าเล็กน้อย

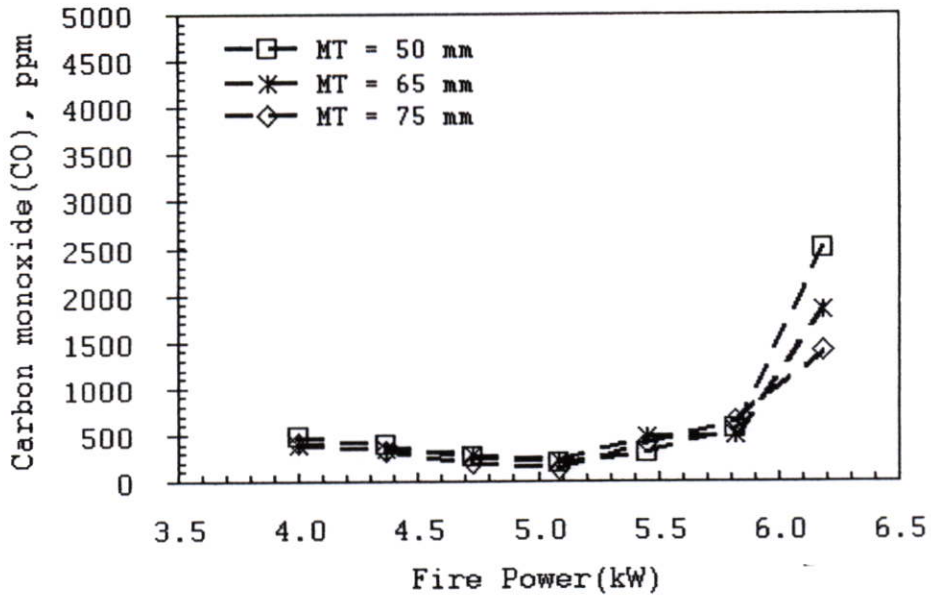
ส่วนก๊าซ  $CO$  ที่แสดงในรูปที่ 5.26 ที่หัวเผาที่มีท่อ Mixing ที่สั้นจะมีค่า  $CO$  ที่สูงกว่าเนื่องจากมีระยะเวลาในการผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศที่สั้นกว่าหัวเผาที่มีท่อ Mixing ที่ยาวกว่า ดังนั้นการเผาไหม้ที่ได้จึงแยกกว่าทำให้ความเข้มข้นของ  $CO$  ที่วัดได้มีค่าที่มากกว่าหัวเผาอื่นตามลำดับ



รูปที่ 5.24 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ  $O_2$  ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อ Mixing ต่างกัน

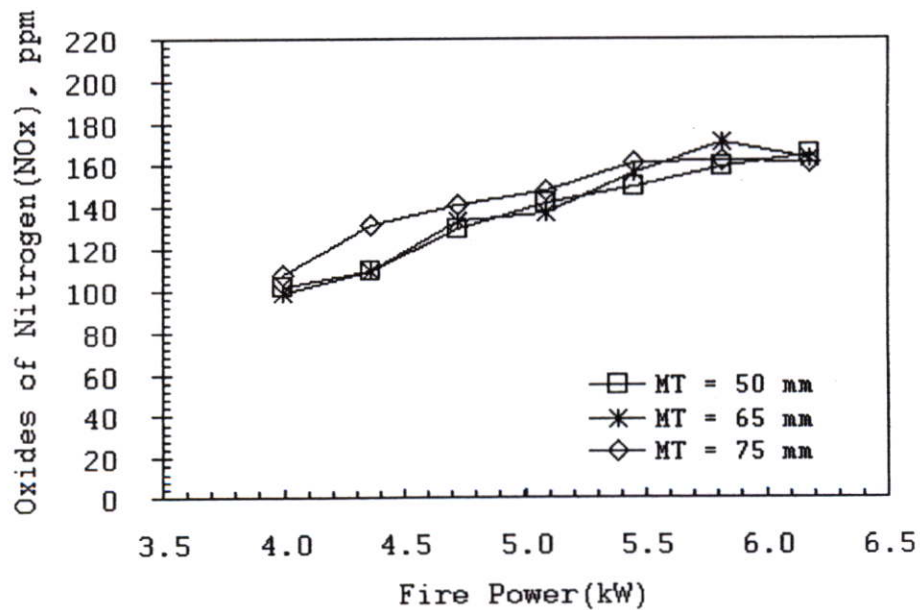


รูปที่ 5.25 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ  $CO_2$  ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อ Mixing ต่างกัน



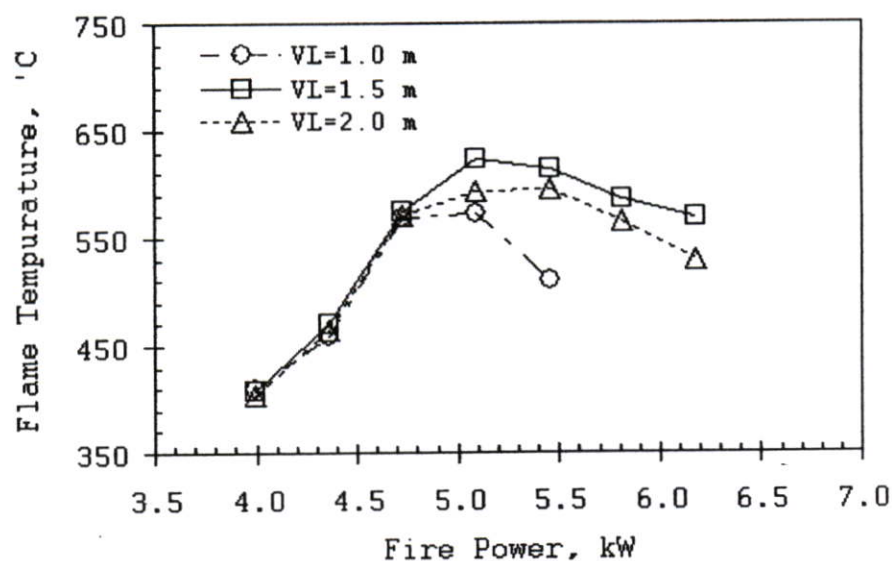
รูปที่ 5.26 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ  $CO$  ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อ Mixing ต่างกัน

จากรูปที่ 5.27 แสดงถึงความเข้มข้น  $NO_x$  ที่วัดได้จากหัวเผาที่มีท่อ Mixing ต่างกัน ซึ่งหัวเผาที่มีท่อ Mixing ที่ยาวกว่าจะให้การผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศที่ดีกว่าหัวเผาแบบที่มีท่อ Mixing สั้น การเผาไหม้ที่ได้จึงดีกว่า ทำให้ค่าความเข้มข้นของ  $NO_x$  มีค่าที่สูงกว่า และระดับความเข้มข้นที่วัดได้มีค่าแตกต่างกันตามลำดับความยาวของท่อ Mixing

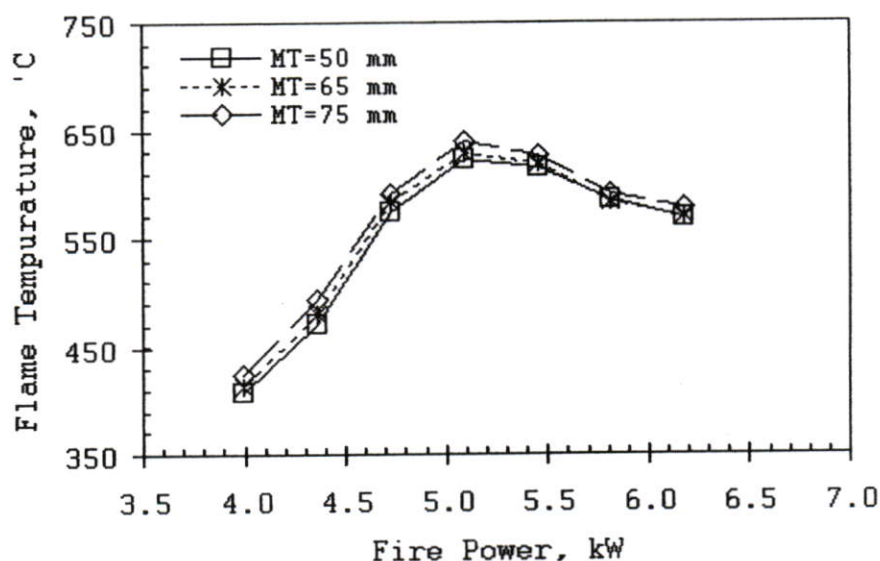


รูปที่ 5.27 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ  $NO_x$  ที่วัดได้จากหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อ Mixing ต่าง

### 5.11 อุณหภูมิเปลวไฟจากหัวเผาแบบต่างๆ



รูปที่ 5.28 อุณหภูมิจากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีท่อ Vaporizer ต่างกัน



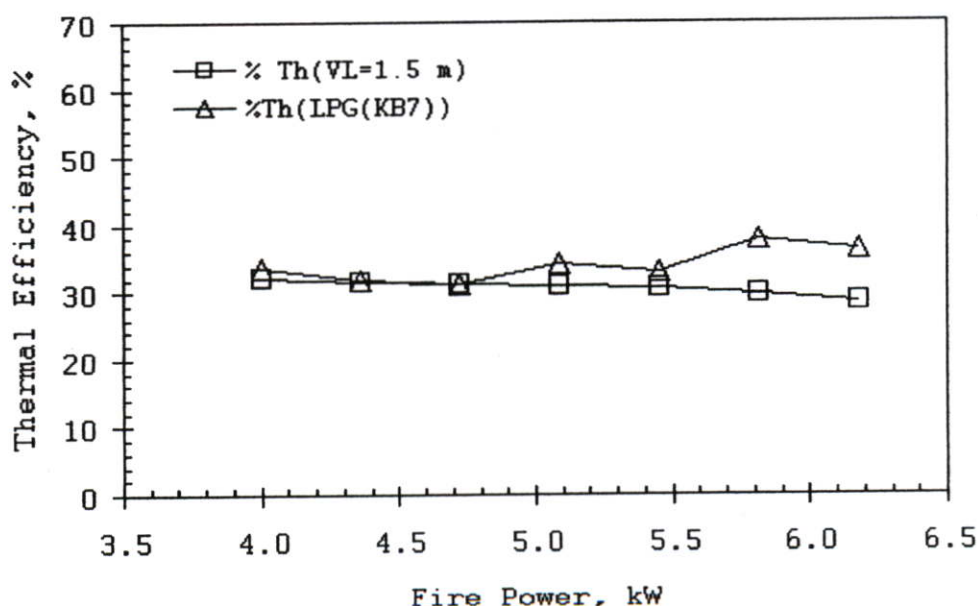
รูปที่ 5.29 อุณหภูมิจากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีท่อ Mixing Tube ต่างกัน

จากรูปที่ 5.28 และ 5.29 เป็นกราฟที่แสดงถึงระดับอุณหภูมิเปลวไฟที่ได้จากการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์ม จากหัวเผาแบบต่างๆ ซึ่งทำการวัดที่ฐานของเปลวไฟจากหัวเผาน้ำมันปาล์ม จากการสังเกตเส้นกราฟ พบว่าอุณหภูมิเปลวไฟที่วัดได้จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ย่านของ Fire Power เท่ากับ 4.7 กับ 5.0 kW และลดลงเลย สาเหตุของการลดลงของอุณหภูมิเปลวไฟจะมาจากสาเหตุของส่วนผสมที่หนาขึ้นทำให้มีอากาศมากเชื้อเพลิงน้อยความร้อนจากการ

เผาไหม้ส่วนหนึ่งต้องเสียไปกับอากาศส่วนเกิน ประกอบกับอัตราการไหลของส่วนผสมที่มากขึ้น ซึ่งส่งเสริมต่อการสูญเสียมากขึ้นและที่อัตราการไหลสูงสุดอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของเปลวไฟกับท่อ Vaporizer น้อยลงทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ยิ่งลดลง สังเกตได้จากกราฟของประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ต่ำลงเมื่อ Fire Power สูงขึ้น ผลของอุณหภูมิต่างกันปรากฏในกราฟทั้งสองจึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อ Fire Power สูงกว่า 5.0 kW

## 5.12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนระหว่างหัวเผาน้ำมันปาล์มกับหัวเผา LPG(KB7)

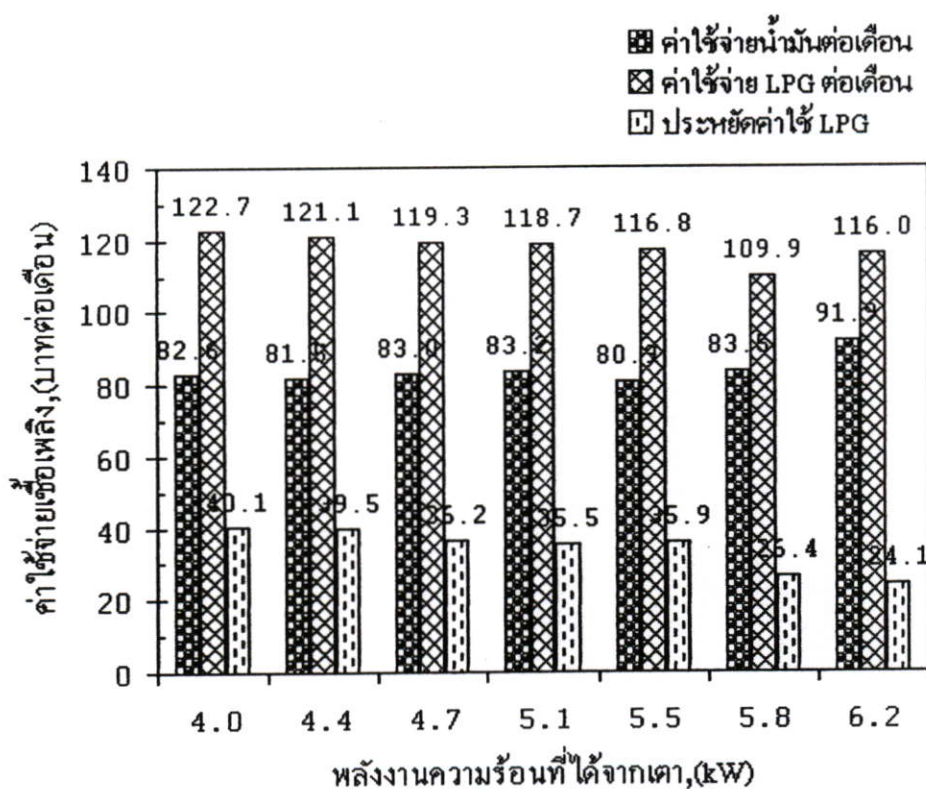
จากรูปที่ 5.30 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มกับหัวเผาก๊าซหุงต้ม(LPG รุ่น KB7) ที่เงื่อนไขการทดสอบเดียวกัน คือระหว่างฐานเปลวไฟถึงกันภาชนะห่างกัน 10 เซนติเมตร พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาน้ำมันปาล์มมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย เนื่องจากความร้อนจากหัวเผาน้ำมันปาล์มส่วนหนึ่งจะต้องเสียให้กับขดท่อไอน้ำมัน ประกอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มต่ำกว่า LPG ด้วย และคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มที่มีการผสมกับอากาศและการเผาไหม้ที่ยากกว่าก๊าซ LPG ปัจจัยเหล่านี้ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าหัวเผาก๊าซหุงต้ม



รูปที่ 5.30 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนระหว่างหัวเผาน้ำมันปาล์มกับหัวเผาก๊าซหุงต้ม

### 5.13 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อเวลากับค่าความร้อนที่ป้อน

จากรูปที่ 5.31 แสดงถึงค่าใช้จ่ายจากการใช้งานของหัวเผา น้ำมันปาล์มเทียบกับหัวเผา LPG ที่ใช้หุงต้มในครัวเรือนทั่วไป โดยนำมาทำการคัมน์น้ำให้เดือดที่ระดับพลังงานเดียวกันเป็นเวลา 30 วันวันละ 2 ครั้ง นำระยะเวลาในการคัมน์แต่ละครั้งมาทำการคำนวณหาค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงจากการคัมน์น้ำของหัวเผาทั้งสอง ปรากฏว่าหัวเผา น้ำมันปาล์มใช้เวลานานกว่าในการคัมน์นานกว่าหัวเผา LPG ประมาณ 1 – 3 นาที และเมื่อนำมาคำนวณเป็นค่าใช้จ่ายพบว่าหัวเผา น้ำมันปาล์มประหยัดกว่าหัวเผา LPG ประมาณ 24 – 40 บาทต่อเดือนเนื่องจากเชื้อเพลิง LPG มีราคาต่อระดับพลังของเชื้อเพลิงที่สูงกว่าน้ำมันปาล์มอยู่ถึง 0.118 Baht/MJ หรือสูงกว่าประมาณ 1.52 เท่าของราคาน้ำมันปาล์มใช้แล้ว และจากการนำไปใช้งานจริงหัวเผา น้ำมันปาล์มชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้ยังมีคราบเขม่าจากการเผาไหม้ที่ติดกันภาชนะน้อยมากหรือจะพูดได้ว่าไม่มีคราบเขม่าเลยก็ได้



รูปที่ 5.31 ค่าใช้จ่ายในการใช้งานหัวเผา น้ำมันปาล์มเทียบกับหัวเผา LPG ที่ระดับพลังงานเดียวกัน

## บทที่ 6

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 บทสรุป

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาหัวเผาที่ใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมันปาล์ม ที่ผ่านการใช้งานแล้ว และได้นำเอาหัวเผาไปทำการทดสอบสมรรถนะด้านต่างๆ เพื่อทำการ ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของหัวเผา โดยทำการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขทดสอบต่างๆ ตามที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 5. สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการศึกษาและพัฒนาท่อไอน้ำมัน(Vaporizer tube) พบว่าพื้นที่รับความร้อน ในหัวเผาน้ำมันก๊าดมีน้อยเกินไป เมื่อนำมาใช้กับน้ำมันปาล์มแล้วน้ำมันปาล์มจะระเหยเป็น ไอได้ไม่ดีเท่าน้ำมันก๊าด เพราะพื้นที่ที่มีอยู่เดิมทำมาเพื่อใช้สำหรับน้ำมันก๊าด ซึ่งมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำมันปาล์มมาก คือ น้ำมันปาล์มมีจุดเดือด 270 – 300 °C แต่น้ำมันก๊าดมีจุดเดือดเพียง 207 °C ดังนั้นจำเป็นต้องเพิ่มพื้นที่ให้มากขึ้น และจากการศึกษาวิจัยทำให้ได้พื้นที่ที่เหมาะสมต่อภาระระเหยของน้ำมันปาล์ม อยู่ที่ 23451.34 mm<sup>2</sup> (0.0234 m) และเมื่อนำมาคิดเป็น ความยาวของท่อจะให้ความยาวเท่ากับ 1500 mm (1.5 m) และท่อที่นำมาใช้เป็นท่อไอน้ำมันมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm (0.005 m) และเมื่อติดตั้งท่อไอน้ำมันเพิ่มเข้าไปในหัวเผาน้ำมันก๊าดแล้วทำให้หัวเผาน้ำมันก๊าดสามารถใช้งานได้กับเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันปาล์มที่ ผ่านการใช้งานแล้วได้เป็นอย่างดี

2. สำหรับความยาวของท่อไอน้ำมัน(Vaporizer tube) ที่แตกต่างกันนั้นมีอิทธิพล ต่อสมรรถนะของหัวเผาโดยตรง คือ ถ้าความยาวท่อสั้นเกินไป(สั้นกว่า 1.5 เมตร) จะทำให้น้ำมันที่ไหลภายในท่อไอน้ำมันมีพื้นที่และระยะเวลาในการรับความร้อนลดลง ส่งผลต่อ สมรรถนะการทำงานของหัวเผาโดยตรง ซึ่งสังเกตได้จากย่านการทำงานที่สั้นลง คือ ที่ความ ยาวท่อไอน้ำมันยาว 1.5 m จะมีย่านการทำงานอยู่ที่ 0.11 – 0.17 g/sec แต่สำหรับท่อที่สั้น ลง(ยาว 1.0 m) จะทำงานได้แค่ 0.11 – 0.15 g/sec เท่านั้น ส่วนความยาวท่อที่ยาวมากเกินไป(ยาว 2.0 เมตร) จะทำให้ท่อบางส่วนเลขบริเวณที่รับความร้อนไป เมื่อนำไปใช้งานจะทำให้ท่อส่วนนี้ไม่ได้รับความร้อนที่เพียงพอและกลายเป็นพื้นที่ที่สูญเสียความร้อนแทนที่จะ เป็นพื้นที่ที่ช่วยรับความร้อน ทำให้ไอน้ำมันในท่อบริเวณนี้เกิดสูญเสียความร้อนจนทำให้ไอน้ำมันบางส่วนเย็นตัวจนกลับไปเป็นของเหลวอีกครั้งทำให้เชื้อเพลิงที่ฉีดพ่นออกมามี สถานะเป็นไอผสมของเหลว ซึ่งส่งผลต่อสมรรถนะการทำงานของหัวเผาคือทำให้ได้การ เผาไหม้ที่ไม่ดี สำหรับความยาวที่เหมาะสมต่อสมรรถนะการทำงานของหัวเผาน้ำมันปาล์ม ในงานวิจัยนี้ คือท่อไอน้ำมัน(Vaporizer tube)ที่มีความยาวเท่ากับ 1.5 เมตร

3. จากความยาวของท่อ Mixing ที่แตกต่างกันก็ส่งผลต่อสมรรถนะการเผาไหม้ของหัวเผาเช่นกัน ซึ่งผลจากความแตกต่างของความยาวท่อ Mixing นี้จะวัดออกมาในรูปของมลพิษที่แตกต่างกัน พบว่าความยาวของท่อ Mixing ที่ยาว 50 mm มีค่าของมลพิษที่วัดได้สูงกว่าความยาวท่อ Mixing ที่ยาว 60 mm และ 70 mm เนื่องจากมีระยะเวลาของการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศไม่นานพอที่จะผสมเป็นเนื้อเดียวกันทำให้ได้การเผาไหม้ที่ไม่ดี มลพิษที่วัดได้จากการเผาไหม้จึงมีค่าที่สูง แต่ถ้าเพิ่มความยาวท่อ Mixing ให้ยาวขึ้นก็จะช่วยทำให้การผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศดีขึ้นการเผาไหม้ดีขึ้นค่าของมลพิษที่วัดได้จะมีค่าน้อยลง ซึ่งแสดงถึงการเผาไหม้ที่ดีขึ้นนั่นเอง

4. จากการนำหัวเผาไปทดสอบประสิทธิภาพด้านต่างๆ พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน(Thermal Efficiency,  $\eta_m$ )ยังมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าหัวเผาก๊าซหุงต้ม(KB7)เล็กน้อย(ดูได้จากรูปที่ 5.30) เนื่องจากความร้อนส่วนหนึ่งในหัวเผาน้ำมันจะต้องถูกใช้ในการให้ความร้อนกับน้ำมันปาล์มในท่อไอน้ำมัน(Vaporizer tube)และลักษณะของเปลวไฟที่บานออกด้านข้างทำให้ความร้อนไม่ไหลขึ้นไปสัมผัสกับกันภาชนะแต่จะไหลออกด้านข้างเป็นส่วนมาก ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่วัดได้โดยตรง ส่วนประสิทธิภาพด้านการเผาไหม้จะถูกวัดออกมาในรูปของมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ พบว่าหัวเผาน้ำมันปาล์มยังมีมลพิษจากการเผาไหม้ที่สูง เนื่องจากเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันปาล์มมีโครงสร้างโมเลกุลที่ใหญ่กว่าเชื้อเพลิงแก๊ส ทำให้การผสมกับอากาศและการเผาไหม้ทำได้ยากกว่า และยังมีปัจจัยต่างๆอีก คั้งที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 5. สำหรับมลพิษที่วัดได้จากการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์มโดยรวมแล้วยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้

เนื่องจากหัวเผาน้ำมันปาล์มจากงานวิจัยนี้ใช้หลักการผสมอากาศก่อนการเผาไหม้(Premixed Combustion)ทำให้ได้การเผาไหม้ที่สะอาดกว่าหัวเผาน้ำมันปาล์มชนิดแพร่[3] (Diffusion หรือ Non-Premixed Combustion) จึงทำให้มีคราบเขม่าจากการเผาไหม้ติดกันภาชนะทดสอบน้อยมาก

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ต่างๆ พอจะสรุปได้ว่า น้ำมันพืชนั้นสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงหลักได้ เช่น LPG, น้ำมันดีเซล เป็นต้น ถ้ามีการศึกษาและวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจก่อน และมีการวางแผนระยะยาว ตลอดถึงขบวนการผลิตและการนำเอาน้ำมันที่เหลือใช้หรือน้ำมันที่ให้พลังงานความร้อนแต่ไม่สามารถนำมาบริโภคได้ โดยจัดการให้มีการนำน้ำมันไปปรับปรุงคุณภาพหรือนำไปผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อให้สามารถใช้ได้กับ หัวเผา หรือ เครื่องยนต์ต่างๆ น้ำมันพืชเหล่านี้ก็

สามารถที่จะนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้เป็นอย่างดี และแยกเป็นประเด็นเสนอแนะได้ ดังนี้

1. จากการทดสอบในงานวิจัยนี้ต้องการจำลองสภาวะการใช้งานจริงของหัวเผา จึงไม่ได้ทำการควบคุมปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ แต่ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ที่วัดได้จากงานวิจัยได้มาจากการชักนำของเจ็ดเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นการไหลเข้าโดยธรรมชาติ ดังนั้นปริมาณอากาศที่วัดได้จากงานวิจัยนี้จึงขึ้นอยู่กับความเร็ว และสถานะของเจ็ดเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นขณะนั้น

2. จากลักษณะของเปลวไฟที่บานออกด้านข้างทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่วัดได้มีค่าที่ต่ำ แต่ถ้ามีการทำอุปกรณ์มาครอบหัวเผาเพื่อควบคุมทิศทางการไหลของก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ให้ไหลตรงขึ้นสู่ด้านบนสัมผัสกับกันภาชนะอย่างเต็มที่ น่าจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีขึ้นได้

3. สำหรับย่านการทำงานที่ได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มในงานวิจัยนี้ยังมีย่านการทำงานที่แคบอยู่จึงทำให้สมรรถนะการทำงานของหัวเผามีขีดจำกัด ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปน่าจะมีการขยายย่านการทำงานหรือเพิ่มสมรรถนะให้สูงขึ้น เช่นการเพิ่มขนาดของท่อ Vaporizer เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการระเหยตัวของไอน้ำมันให้มากขึ้น

4. สำหรับชุดอุ่นหัวเผา (Preheater) ในงานวิจัยนี้ยังต้องอาศัยอุปกรณ์จากภายนอกมาช่วยในการอุ่นหัวเผาน้ำมันปาล์มก่อนการใช้งาน จึงทำให้มีความไม่สะดวกต่อการใช้งานอยู่บ้าง ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของการติดตั้งเข้ากับหัวเผาน้ำมันปาล์ม หรือระยะเวลาในการอุ่นที่นาน ดังนั้นงานวิจัยต่อไปควรพัฒนาให้มีชุดอุ่นหัวเผาที่สามารถให้ความร้อนกับหัวเผาได้ทั่วทั้งหัว หรือให้ความร้อนได้โดยตรงไปยังท่อ Vaporizer ได้ยิ่งดีซึ่งน่าจะทำให้ได้ระยะเวลาในการอุ่นหัวเผาที่สั้นลง

5. สำหรับงานวิจัยนี้มีหัวเผาน้ำมันปาล์มเป็นหัวเผาที่เป็นหัวเผาหลักในการทำงานเพียงหัวเดียว จึงทำให้อาจจะขาดความต่อเนื่องในการทำงานได้เมื่อเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้เกิดหมดลงในระหว่างการทำงาน ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปควรจะทำหัวเผาน้ำมันปาล์มที่สามารถใช้ร่วมกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นได้ในหัวเผาเดียวกัน เพื่อเป็นเชื้อเพลิงสำรองขณะที่น้ำมันปาล์มเกิดหมดลง

สำหรับผู้สนใจในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับหัวเผาน้ำมันพืช ควรจะนำข้อดีและข้อเสียจากงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในการทำหัวเผาน้ำมันพืชชนิดอื่นที่มีมากภายในประเทศแต่ไม่สามารถนำมาบริโภคได้แต่สามารถที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนได้ ก็จะเป็นการช่วยประหยัดทรัพยากรและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Stephen R. Turns. **An Introduction to Combustion**. Mc Graw-Hill, Second Edition.
- [2] Frank P. Incropera, David P. DeWitt. **Introduction Heat Transfer**. Wiley, Third Edition.
- [3] สุรัชย์ จีจตุพรชัย. “การพัฒนาหัวเผาไหม้แก๊สแล้ว.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.
- [4] อรรถพร ผาบเพ็ง. “การศึกษาเชิงทดลองของหัวเผาแบบพรมเผาไหม้แก๊ส.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.
- [5] Yunus A. Cengel. **Heat Transfer**. Mc Graw-Hill, Second Edition In SI Unit.
- [6] ผศ.กฤษฎา อินทรสถิตย์. “คุณภาพอากาศในอาคาร.” สถาบันดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมภายใน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
- [7] รศ.มนตรี พิรุณเกษร. **กลศาสตร์ของไหล**. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทจุลพัฒน์ จำกัด. 2547.
- [8] ประเสริฐ เทียนนิมิตร, ขวัญชัย สันทรพิสัยสมบูรณ์, ปานเพชร ชินินทร. **เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น**. พิมพ์ที่ หจก. เม็ดทรายพรินติ้ง. 2544.
- [9] วิเชียร ศรีเวชอักษร. “การปรับปรุงประสิทธิภาพเตาหุงต้มมาตรฐาน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี. มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. 2541.
- [10] Rafal J. Sornek, Ritsu Dobashi, Toshisuke Hirano. “Effect of Turbulence on Vaporization, Mixing, and Combustion of Liquid-Fuel Sprays.” **Combustion and Flame**, 120:479-491(2000).
- [11] สำเร้ง จักรใจ. **การเผาไหม้**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2547.
- [12] Rob Baillis, Damon Ogle, Dean Still. “The Water Boiling Test (WBT).” **Household**

**Energy and Health Programme**, Shell Foundation. 2004.

- [13] สมพร ธเนศวรณิษฐ์. “ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะและมลพิษที่ปล่อยออกจากเตาหุงต้ม LPG.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2541.
- [14] Elmar Stump, Werner Muhlbauer. “Plant oil Cooking stove for Developing Countries.” **Institute for Agricultural Engineering in the tropics and Subtropics**, Hohenheim University Stuttgart. Germany.
- [15] Tamir, Elerin, Yotzer. “Performance Characteristics of a Gas Burner with a Swirl Central Flame.” **Energy**, Vol. 14, pp. 327-332.
- [16] กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2546. รายงานการตรวจวิเคราะห์ ทดสอบ วัตถุตัวอย่าง ตามเลขรับ 6879. กรุงเทพมหานคร.
- [17] กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2546. รายงานการตรวจวิเคราะห์ ทดสอบ วัตถุตัวอย่าง ตามเลขรับ 7365. กรุงเทพมหานคร.
- [18] กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2546. รายงานการตรวจวิเคราะห์ ทดสอบ วัตถุตัวอย่าง ตามเลขรับ 7366. กรุงเทพมหานคร.
- [19] ศศ.ดร.ชนาคม สุนทรชัยนาคแสง. การถ่ายเทความร้อน. สำนักพิมพ์ท็อป. 2547.
- [20] ชัชชัย สะศิประภา. “Improvement of Thermal Efficiency of Convection Gas Cooking Stove.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2537.
- [21] กัญจนา บุญยเกียรติ. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2544.

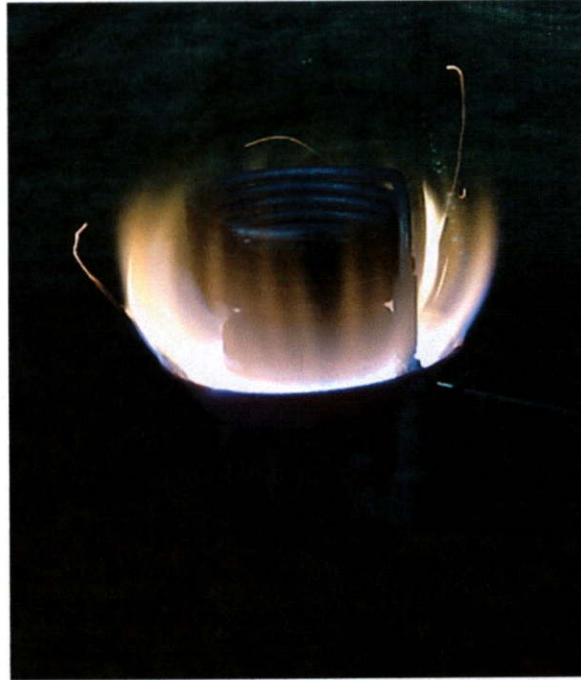
## ภาคผนวก ก.



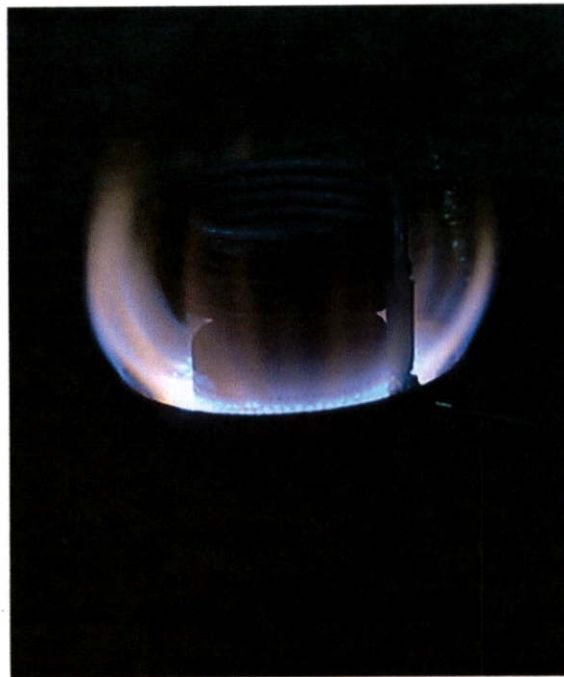
รูปที่ ก. โครงสร้างของหัวเผา น้ำมันปาล์มชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้

## ภาคผนวก ข.

เปลวไฟที่ได้จากหัวเผา น้ำมันพีชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้



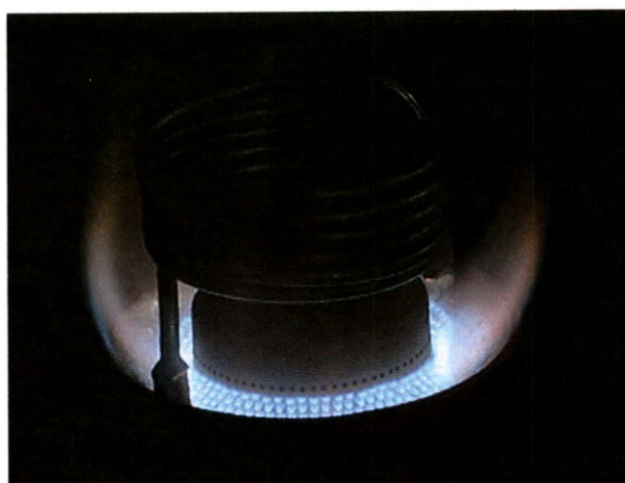
รูปที่ ข.1 ลักษณะเปลวไฟในขณะที่เริ่มติดหัวเผาน้ำมันปาล์ม



รูปที่ ข.2 ลักษณะเปลวไฟหลังจากติดหัวเผาน้ำมันปาล์มไป 5 นาที



รูปที่ ข.3 ลักษณะเปลวไฟจากหัวเผาน้ำมันปาล์มอัตราการใช้ 0.11 g/s



รูปที่ ข.4 ลักษณะเปลวไฟจากหัวเผาน้ำมันปาล์มอัตราการใช้ 0.14 g/s



รูปที่ ข.5 ลักษณะเปลวไฟจากหัวเผา น้ำมันปาล์มอัตราการใช้ 0.17 g/s

## ภาคผนวก ค.

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

prince of songkhla university

ME-NETT

**ME-NETT 19<sup>th</sup>**

The 19th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

"การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล  
ในประเทศไทย ครั้งที่ 19  
ณ โรงแรม เดอะ ราชินี พัทยา จังหวัดชลบุรี"

สาขาวิชา

- 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

THE ROYAL PARADISE HOTEL

E-mail: [me-nett@me.psu.ac.th](mailto:me-nett@me.psu.ac.th) เว็บไซต์ : [www.me.psu.ac.th](http://www.me.psu.ac.th)

## บทคัดย่อที่อยู่ภายในเล่มที่ได้รับการตีพิมพ์



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19

19-21 ตุลาคม 2548 จังหวัดภูเก็ต

### การพัฒนาและประเมินสมรรถนะหัวเผื่อน้ำมันปาล์มชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้

จาร์วัตร เจริญสุข<sup>1</sup> บุญส่ง เพ็ชรน้อย<sup>2</sup>\*

<sup>1,2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

\*E-mail: man\_hndsm@yahoo.com

#### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาหัวเผื่อน้ำมันก๊าดชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้ (Kerosene Premixed Burner) มาทำการปรับปรุงและพัฒนาให้สามารถใช้ได้กับน้ำมันปาล์ม โดยนำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้วมาใช้เป็นเชื้อเพลิง สำหรับหัวเผื่อน้ำมันก๊าดที่นำมาใช้จะต้องมีการออกแบบและปรับปรุงขึ้นส่วนบางชิ้น เพื่อให้หัวเผาสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนที่ทำการออกแบบและปรับปรุง คือ ชุด Vaporizer โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มพื้นที่และระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างเปลวไฟกับน้ำมันปาล์มให้มีเวลานานพอต่อการระเหยกลายเป็นไอ ในการอุ่นหัวเผาช่วงแรกของการใช้งาน (Preheat) จะใช้หัวเผาแอลพีจี (LPG Burner) รุ่น KB7 มาเป็นอุปกรณ์ในการให้ความร้อนกับหัวเผื่อน้ำมันปาล์ม สำหรับการทดสอบสมรรถนะ (Performance test) ด้านต่าง ๆ ของหัวเผื่อน้ำมันปาล์มนั้น จะใช้มาตรฐานการทดสอบแบบ ต้มเดือด (Water Boiling Test, WBT) จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) [8] ของหัวเผื่อน้ำมันปาล์มมีผลใกล้เคียงกับประสิทธิภาพของหัวเผา LPG โดยมีค่าต่ำกว่าเพียง 6.5% และได้ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 34% ที่ 3.8 kW เมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายเทียบกับหัวเผา LPG จะประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง 4.43 บาท ต่อการทำให้น้ำระเหยไป 1 กิโลกรัม ในส่วนของการวัดก๊าซเสีย (Flue gas) ได้ทำอุปกรณ์เพื่อทำการตรวจวัดก๊าซเสียตามมาตรฐานเยอรมันและนำผลไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานของก๊าซเสียที่อนุญาตให้มีได้ในครัวเรือน

## การพัฒนาและประเมินสมรรถนะหัวเผาน้ำมันปาล์มชนิดผสมอากาศก่อนเผาใหม่ Development and Performance Evaluation of Premixed Palm Oil Burner

บุญส่ง เพ็ชรน้อย<sup>1\*</sup> จารุวัตร เจริญสุข<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

\*E-mail: man\_hndsm@yahoo.com

Boonsong Pethnoi<sup>1\*</sup> Jaruwat Charoensuk<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Chalong Krung Road, Ladkrabang District, Bangkok 10520

\*E-mail: man\_hndsm@yahoo.com

### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นกรนำหัวเผาน้ำมันปาล์มชนิดผสมอากาศก่อนเผาใหม่(Kerosene Premixed Burner) มาทำการปรับปรุงและพัฒนาให้สามารถใช้ได้กับน้ำมันปาล์ม โดยนำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้วมาใช้เป็นเชื้อเพลิง สำหรับหัวเผาน้ำมันปาล์มที่นำมาใช้จะต้องมีการออกแบบและปรับปรุงขึ้นส่วนบางชิ้น เพื่อให้หัวเผาสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนที่ทำการออกแบบและปรับปรุง คือ ชุด Vaporizer โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มพื้นที่และระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างเปลวไฟกับน้ำมันปาล์มให้มีเวลานานพอต่อการระเหยกลายเป็นไอ ในกรอุ่นหัวเผาช่วงแรกของการใช้งาน(Preheat) จะใช้หัวเผาแอลพีจี(LPG Burner)รุ่น KB7 มาเป็นอุปกรณ์ในการให้ความร้อนกับหัวเผาน้ำมันปาล์ม สำหรับการทดสอบสมรรถนะ(Performance test) ด้านต่างๆ ของหัวเผาน้ำมันปาล์มนั้น จะใช้มาตรฐานการทดสอบแบบ ต้มเดือด(Water Boiling Test, WBT) จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน(Thermal Efficiency)[8] ของหัวเผาน้ำมันปาล์มมีผลใกล้เคียงกับประสิทธิภาพของหัวเผา LPG โดยมีค่าต่ำกว่าเพียง 6.5% และได้ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 34% ที่ 3.8 kW เมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายเทียบกับหัวเผา LPG จะประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง 4.43 บาท ต่อการให้น้ำระเหยไป 1 กิโลกรัม ในส่วนของการวัดก๊าซเสีย(Flue gas) ได้ทำอุปกรณ์เพื่อทำการตรวจวัดก๊าซเสียตามมาตรฐานเยอรมัน และนำผลไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานของก๊าซเสียที่อนุญาตให้มีได้ในครัวเรือน

### 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). The results show that the thermal efficiency of palm-oil burner is lower than LPG burner that of at 6.5%. The maximum efficiency is 34% at 3.8 kW. Nevertheless, in terms of the operating cost, 4.43 bath is saved per one kilogram of Vaporized water, compared with the LPG burner. Moreover, a tool for measuring flue gas is invented to indicate the quantity of flue gas and finally, the results are compared with the household emission standard.

**Keywords:** Palm Oil, Thermal efficiency, Vaporizer, LPG burner

### 1. บทนำ

จากงานวิจัยในอดีต[4],[5],[6] ได้มีความพยายามที่จะพัฒนาและปรับปรุงหัวเผาให้มีประสิทธิภาพ และการประหยัดพลังงานมากขึ้น จากแนวคิดของงานวิจัยต่างๆ ประกอบกับการสังเกตเห็นถึงปริมาณน้ำมันที่เหลือใช้จากการประกอบอาหาร เช่น น้ำมันที่เหลือจากการทอดปลาห้องไก่ หรือการทอดไก่ในปริมาณมากๆ ในแต่ละวัน จะมีน้ำมันที่เหลือใช้ในแต่ละครั้งจำนวนมาก และน้ำมันที่เหลือใช้เหล่านี้จะถูกขายต่อในราคาที่ถูก โดยผู้ซื้อจะนำไปทำเป็นอาหารสัตว์ หรือนำไปผ่านกระบวนการเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ สิ่งต่างๆ เหล่านี้ล้วนแต่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคทั้งสิ้นไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อม และอีกประเด็นที่สำคัญ คือ ปัจจุบันเป็นยุคที่ราคาค่าครองชีพนั้นสูงขึ้นทุกวัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะช่วยลดต้นทุนในการใช้ทรัพยากรและประหยัดค่าใช้จ่ายในบางส่วนลง เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานได้อีกหนึ่งทาง จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำเอาหัวเผาน้ำมันปาล์ม(Kerosene Burner) ที่มีกรรมสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศก่อนเผาใหม่(Premixed Combustion) มาปรับปรุงและพัฒนาให้ใช้ได้กับน้ำมัน

พืช(น้ำมันปาล์มใช้แล้ว) โดยนำความรู้จากงานวิจัยในอดีตและปัจจุบัน มาทำการวิจัยและพัฒนาหัวเผา ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลวทั่วไป นั้นกระทำได้ 2 วิธีคือ ทำให้ระเหยเป็นไอก่อนแล้วค่อยเผาไหม้ หรือทำให้เป็นหยดเล็กๆพ่นเข้าไปในอากาศร้อนเพื่อเกิดการระเหยและผสม อากาศก่อนแล้วค่อยเผาไหม้ แต่มีข้อดีของการทำให้เชื้อเพลิงเป็น หยดเล็กๆอยู่ตรงที่ต้องใช้แรงดันที่สูงมากในการทำให้น้ำมันเป็นฝอย ละอองที่ละเอียด ซึ่งไม่เหมาะต่อการนำไปใช้ในโรงงานขนาดเล็กทั่วไป เช่น คิวรีเออร์ หรือร้านค้าขายทั่วไป เป็นต้น โดยหัวเผามีลักษณะและ กลไกในการเผาไหม้เชื้อเพลิง มีขั้นตอนดังนี้ คือ เชื้อเพลิงไหลผ่านท่อ ทางเข้าไปในหัวเผาผ่านชุด Vaporizer ซึ่งเป็นส่วนที่รับความร้อนจาก เปลวไฟเพื่อให้เชื้อเพลิงระเหยเป็นไอแล้วฉีดพ่นผ่านหัวฉีดเข้าไป ในห้องผสม (Mixing Chamber) ที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิ ภาพในการระเหยและผสมกับอากาศก่อนที่จะไหลออกมาเผาไหม้ โดย ที่น้ำมันก็ต้องการความร้อนเพียงเล็กน้อยก็สามารถระเหยเป็นไอได้ แต่น้ำมันปาล์มนั้นจุดเดือดและจุดติดไฟสูงกว่าน้ำมันก๊าดมาก คุณ สมบัติของน้ำมันก๊าดและน้ำมันปาล์มแสดงไว้ในตารางที่ 1. ดังนั้นหัวเผา น้ำมันก๊าดที่นำมาใช้กับน้ำมันปาล์มจึงต้องมีการออกแบบและปรับปรุง เพิ่มเติมเพื่อให้ น้ำมันปาล์มระเหยเป็นไอและฉีดพ่นออกมาพร้อมที่ จะถูกไหม้ได้ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบเป็นท่อ Vaporizer เพื่อ นำน้ำมันไปให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับจุดเดือดเพื่อแยกสลายน้ำ มันและฉีดพ่นออกมาในสภาวะไอน้ำที่เบา เพื่อให้ให้น้ำมันแตกเป็น ฝอยละอองที่ละเอียดและผสมกับอากาศได้ง่ายขึ้น ข้อดีของการมีชุด Vaporizer คือ ไม่จำเป็นต้องใช้ความดันที่สูงมากในการทำให้ น้ำมันเป็นฝอยละอองที่ละเอียดจะทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้ในโรงงานทั่วไป และในงานวิจัยนี้ยังได้ทำชุดทดสอบหาค่าความร้อนจำเพาะ(Specific heat,  $C_p$ ) ของน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่อุณหภูมิสูงๆ เพื่อนำมาใช้ในการ ออกแบบชุด Vaporizer อีกด้วยและเมื่อได้หัวเผาน้ำมันปาล์มตามที่ได้ ออกแบบไว้ ก็ได้ทำการทดสอบหาสมรรถนะด้านต่างๆ ของหัวเผาอีก ด้วย เช่น การทดสอบสมรรถนะด้านการใช้งาน คือ ประสิทธิภาพเชิง ความร้อนของหัวเผา(Thermal Efficiency,  $\eta_{th}$ ) และการทดสอบ สมรรถนะด้านการเผาไหม้ คือ ปริมาณก๊าซเสีย(Flue gas)ที่เกิดขึ้น จากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการ เผาไหม้ และระดับความเข้มข้นของก๊าซเสียอยู่ในระดับที่เป็น อันตรายหรือไม่

2. ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 ค่าความร้อนจำเพาะ(Specific Heat)ของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์ม คือ ปริมาณความร้อนที่ทำ ให้นำ 1 หน่วยมวลมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียสที่สภาวะความ ดันคงที่หรือปริมาตรคงที่ ส่วนงานวิจัยนี้กำหนดให้  $C_p$  และ  $C_v$  มีค่า เท่ากันเนื่องจากปริมาณและความดันในงานวิจัยนี้คงที่เพื่อใช้หาความ ยาวของท่อ Vaporizer คุณสมบัติ โดยมีสมการที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

$$C_p = \frac{\dot{Q}}{m} \times \frac{\Delta t}{\Delta T} \tag{1}$$

เมื่อ  $\dot{Q}$  = พลังงานความร้อนที่ให้กับน้ำมันปาล์ม, Watt  
โดยควบคุมให้คงที่โดยใช้ขดลวดความร้อน  
 $m$  = น้ำหนักน้ำมันปาล์มที่ใช้ทดสอบ, g  
 $C_p$  = ความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์ม,  $J/g \cdot ^\circ C$   
 $\Delta T$  = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา,  $^\circ C$   
 $\Delta t$  = เวลาที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง, Sec

จากผลการทดสอบและผลการคำนวณของสมการข้างต้นจะได้ ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนจำเพาะ( $C_p$ ) ของน้ำมันปาล์มกับ อุณหภูมิดังนี้

$$C_p(T) = (2 \times 10^{-6})T^2 + (0.0055)T + 1.9209 \tag{2}$$

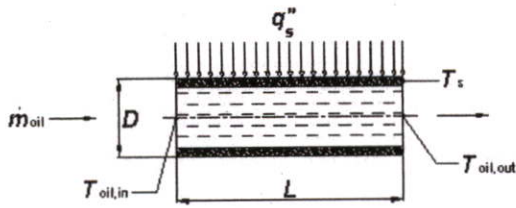
$T$  = อุณหภูมิ ณ จุดที่ต้องการหาค่าความร้อนจำเพาะ,  $^\circ C$

2.2 ความยาวท่อ Vaporizer

ท่อ Vaporizer เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ น้ำมันที่มีสถานะเป็นของเหลว ระเหยกลายเป็นไอ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ น้ำมันที่ฉีดพ่นออกจากหัว ฉีด(Nozzle)เกิดการแตกเป็นฝอยละอองที่ติ และผสมกับอากาศได้เป็น อย่างดี โดยให้น้ำมันที่ฉีดพ่นออกมาจะมีอุณหภูมิที่สูงเพื่อพร้อมที่จะถูก ไหม้ได้ในระยะเวลาอันสั้นหลังจากที่พ่นออกมาจากหัวฉีด แต่ถ้ามีการออก แบบไม่ดีท่อ Vaporizer มีขนาดที่สั้นเกินไปก็จะทำให้น้ำมันที่เป็นของ เหลวยังไม่ทันระเหยเป็นไอก็ถูกฉีดพ่นออกมาไหม้เสียก่อนหรือถ้าท่อ Vaporizer มีขนาดที่ยาวเกินไปก็จะทำให้น้ำมันที่ระเหยเป็นไอแล้ว เกิดการควบแน่นกลับไปเป็นของเหลวอีกครั้งจึงทำให้ประสิทธิภาพการ เผาไหม้ที่ได้มีค่าที่ต่ำ และสมการที่ใช้ในการคำนวณความยาวท่อ Vaporizer คือ

$$L = \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{q_s \pi D} \tag{3}$$

$\dot{m}$  = อัตราการไหลน้ำมันปาล์มที่ไหลในท่อ Vaporizer, g  
 $C_p$  = ได้จากสมการที่  
 $\Delta T = T_{oil,in} - T_{oil,out}$   
= ผลต่างของอุณหภูมิทางเข้ากับทางออกของน้ำมันใน ท่อ Vaporizer,  $^\circ C$   
 $D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อ Vaporizer, m  
 $q_s$  = พลังค์ความร้อนที่ผิวท่อ Vaporizer ได้รับจาก อากาศร้อนที่ไหลผ่านท่อ โดยอาศัยการพาและการแผ่รังสี,  $Watt/m^2$



รูปที่ 1. แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนจากผิวท่อสู่ภายในท่อ

จากการทดลองและการคำนวณได้ความยาวของท่อ Vaporizer เท่ากับ 1.5 m ซึ่งเป็นความยาวที่เหมาะสมกับหัวเผาน้ำมันปาล์มหรือไม่นั้น จะต้องมีกรนำหัวเผาที่ออกแบบไว้ไปทำการทดสอบสมรรถนะตามวิธีการทดสอบที่เลือกใช้

**2.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน(Thermal Efficiency)ของหัวเผาน้ำมันปาล์ม[7]**

สำหรับมาตรฐานการทดสอบสมรรถนะของหัวเผาน้ำมันปาล์มในงานวิจัยนี้ได้เลือกมาตรฐานการทดสอบแบบวิธีการต้มเดือด(Water Boiling Test, WBT) ผู้วิจัยได้เลือกมาตรฐานนี้เพราะวิธีนี้เป็นวิธีการทดสอบสภาพการใช้งานอย่างหนักที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากที่สุด และมีการควบคุมตัวแปรในการทดสอบที่ไม่ยุ่งยาก ซึ่งมีสมการที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อน ดังนี้

$$\eta_{th} = \frac{(4.186 \times W_{water} \times \Delta T) + (2260 \times W_{vapor})}{m_{fuel} \times LHV_{fuel} \times \Delta t} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ

- $\eta_{th}$  = Thermal Efficiency, %
- $W_{water}$  = น้ำหนักน้ำที่ใช้ทดสอบ, g
- $W_{vapor}$  = น้ำหนักไอน้ำที่ระเหยไปในการทดสอบ, g
- $\Delta T$  = ผลต่างของอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายของน้ำที่ได้จากการทดสอบ, °C
- $\Delta t$  = ผลต่างของเวลาก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบ, Sec
- $LHV_{fuel}$  = Lower Heating Value of Palm Oil, kJ/kg
- 4.186 = Specific Heat of Water, J/g · °C
- 2260 = Latent Heat of Vaporizer, J/g

**3 วิธีการทดลอง**

**3.1 วิธีการทดสอบหาค่าความร้อนจำเพาะ(Specific Heat)ของน้ำมันปาล์ม**

โดยมีวิธีการทดสอบ ดังนี้

1. ทำการบรรจุน้ำมันปาล์มในภาชนะทดสอบจำนวน 4.3 กิโลกรัม
2. ทำการให้ความร้อนกับน้ำมันปาล์มด้วยขดลวดความร้อนขนาด 1740 Watt

3. ทำการจับเวลาในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำมัน
4. พอลอุณหภูมิใกล้ถึงจุดเดือดให้หยุดการทดสอบ และนำผลที่ได้จากการทดสอบทั้งหมดไปทำการคำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์ม ( $C_p$ ) ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ  $J/g \cdot ^\circ C$
5. เมื่อนำค่าความจุความร้อนไปหาความยาวท่อ Vaporizer จะได้ความยาวของท่อเท่ากับ 1.5 เมตร

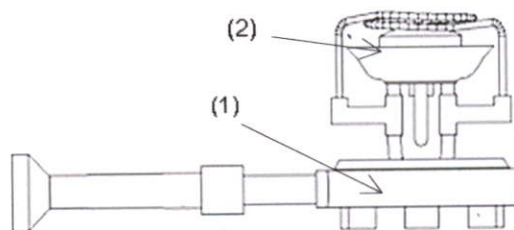
**3.2 หัวเผาน้ำมันปาล์มที่ใช้ในงานวิจัย**

สำหรับหัวเผาที่ใช้กันทั่วไปจะแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ หัวเผาเชื้อเพลิงแข็ง, หัวเผาเชื้อเพลิงเหลว และหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ ซึ่งหัวเผาที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะจัดอยู่ในประเภทของหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวแต่เดิมนั้นเป็นหัวเผาที่ใช้กับน้ำมันก๊าด(Kerosene Burner) แต่เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันก๊าดกับน้ำมันปาล์มมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันหัวเผาที่นำมาใช้จำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงขึ้นบางชิ้นเพิ่มเติมเพื่อให้หัวเผาสามารถที่ใช้ได้กับเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันปาล์ม โดยน้ำมันปาล์มนั้นมีความหนืดสูงและมีอุณหภูมิตดไฟที่สูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการใช้ระบบอุ่นน้ำมันให้ร้อนก่อนและระเหยกลายเป็นไอที่เบาเพื่อการแตกเป็นฝอยละเอียดได้ง่ายขึ้นผสมและคลุกเคล้ากับอากาศได้ดีและพร้อมที่ติดไฟได้เลยหลังจากฉีดพ่นผ่านหัวฉีด(Nozzle) ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบชุดที่ Vaporizer ขดไว้ด้านบนของหัวเผาเพื่อนำน้ำมันเข้าไปอุ่นให้ร้อนก่อนที่จะฉีดพ่นออกมาเผาไหม้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.

ตารางที่ 1. คุณสมบัติทางกายภาพน้ำมันปาล์ม[4]

คุณสมบัติต่างๆ	น้ำมันก๊าด	น้ำมันปาล์ม	หน่วย
Specific gravity at 15°C	0.78	0.92	-
Flash point	38 - 66	> 300	°C
Specific heat at 35°C	-	1.5*	J/g · °C
at 40°C	-	2.09*	J/g · °C
Viscosity at 40°C	1 - 2.4	40.9	cSt

\* ข้อมูลจากกรมวิทยาศาสตร์บริการ



รูปที่ 2. หัวเผาน้ำมันปาล์มและชุดอุ่นหัวเผา

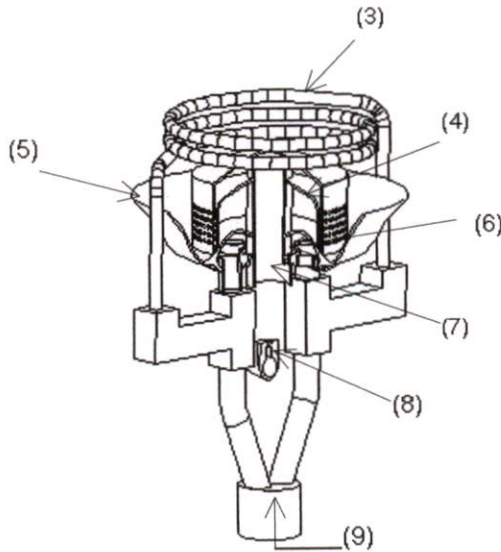
โดยที่

- (1) หัวเผา LPG(KB7)
- (2) หัวเผาน้ำมันปาล์ม
- (3) ท่อ Vaporizer
- (6) Evaporator
- (7) Mixing tube
- (8) Nozzle

(4) Mixing chamber

(9) Inlet oil

(5) Flame holder



รูปที่ 3. แสดงกลไกการทำงานและการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มชนิดผสมอากาศก่อนเผาไหม้

โดยเชื้อเพลิงจะไหลมาจากถังรับเชื้อเพลิง ซึ่งใช้ความดันในการขับเคลื่อนน้ำมัน  $2 \text{ kg/cm}^2$  ไหลเข้าสู่ท่อ Vaporizer ทางหมายเลข 9 และน้ำมันในท่อ Vaporizer จะได้รับความร้อนจากเปลวไฟโดยอาศัยความร้อนจากการพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีของเปลวไฟ (Radiation) ในช่วงแรกของการใช้งานหัวเผา KB7 ซึ่งเป็นหัวเผา LPG ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 1. จะให้ความร้อนเพื่อการระเหยน้ำมัน เมื่อหัวเผากเกิดการลุกไหม้ได้ด้วยตัวเองแล้ว ก็จะทำการดับไฟจากหัวเผา KB7 และเปลวไฟจากหัวเผาก็จะให้ความร้อนสู่ท่อ Vaporizer แทนหัวเผา KB7 ต่อไป น้ำมันปาล์มที่ไหลเข้าสู่ท่อ Vaporizer จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนระเหยกลายเป็นไอ (Evaporation) และไหลออกจากท่อ Vaporizer มายังหัวฉีด (Nozzle) และถูกฉีดพ่นเข้าสู่ตำแหน่งของหัวเผาทางหมายเลข 8. คลุกเคล้ากับอากาศที่ถูกชักนำเข้าไปพร้อมๆกับไอเชื้อเพลิง โดยอาศัยความเร็วของลำเจ็ตในการชักนำอากาศเข้าสู่หัวเผาและเกิดการลุกไหม้ต่อไป

### 3.3 วิธีการทดสอบสมรรถนะด้านต่าง ๆ

การทดสอบสมรรถนะของหัวเผานั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ การทดสอบสมรรถนะด้านการใช้งาน (Application Test) กับการทดสอบสมรรถนะด้านการเผาไหม้ (Combustion Test) ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

3.3.1 ทำการปรับเปลี่ยนขนาดความยาวของท่อ Vaporizer เป็น 2 ขนาด จากขนาดที่คำนวณได้ คือ ขนาดที่สั้นกว่าที่คำนวณได้ 500 mm และยาวกว่า 500 mm ซึ่งจะได้ความยาวของท่อ Vaporizer 3 แบบ คือ  $L = 1.0 \text{ m}$ ,  $L = 1.5 \text{ m}$  และ  $L = 2.0 \text{ m}$

3.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency) [8] เป็นวิธีการทดสอบที่จำลองการใช้งานจริง ที่เป็นการใช้งานอย่างหนัก

ของหัวเผา และทำการควบคุมเงื่อนไขการทดสอบได้ง่ายไม่ยุ่งยาก ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้

1. ชั่งน้ำและเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ
2. วัดอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิบรรยากาศก่อนการทดสอบ
3. นำน้ำที่ชั่งไปทำการต้ม พร้อมกับทำการจับเวลาในการต้ม
4. พอน้ำเดือดให้ทำการต้มต่ออีก 5 นาที
5. พอลบ 5 นาที ให้หยุดจับเวลา
6. นำน้ำที่ต้มและน้ำมันที่ใช้ในการต้มนำไปทำการชั่งน้ำหนัก พร้อมกับการจดบันทึกไว้เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency)

### 3.3.3 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ [4]

เนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในหัวเผาต่างๆ ล้วนแต่ให้ก๊าซเสีย (Flue gas) ออกมาทั้งสิ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหัวเผาแต่ละแบบ ก๊าซเสียที่ได้จากการเผาไหม้ถ้ามีปริมาณมากๆ ก็จะเป็นอันตรายร่างกาย ดังนั้นการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ ก็จะเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงปริมาณก๊าซเสียที่ได้จากการเผาไหม้ ถ้ามีในปริมาณมากก็จะได้หาทางแก้ไขและทำการปรับปรุงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ไม่บรรยากาศ โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

1. นำอุปกรณ์เก็บก๊าซเสีย (Flue gas) ตามมาตรฐาน DIN 203-1 และ DIN 203-2 ครอบหัวเผาที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แล้วจึงนำหัววัดใส่เข้าไปที่ด้านบนของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง รอจนค่าที่วัดได้นิ่งแล้วอ่านค่า จดบันทึก
2. ทำการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการทดสอบโดยปรับอัตราการไหลเพื่อดูว่าก๊าซเสียมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่ออัตราการไหลมีการเปลี่ยนแปลง

## 4. ผลการทดลอง

### 4.1 เวลาที่ใช้ในการอุ่นหัวเผา

เวลาการอุ่น คือ ช่วงเวลาที่ให้ความร้อนกับหัวเผาน้ำมันปาล์ม เพื่อให้ น้ำมันปาล์มที่อยู่ภายในหัวเผาระเหยเป็นไอพร้อมที่ลุกไหม้ได้ ซึ่งความร้อนที่ให้กับหัวเผาน้ำมันปาล์มจะได้จากชุด Preheater ซึ่งเป็นหัวเผา LPG ที่ติดตั้งไว้ด้านล่างของหัวเผาน้ำมันปาล์ม ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4. จากกราฟแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาที่ใช้ในการอุ่นไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากหัวเผาน้ำมันปาล์มได้รับความร้อนจากด้านล่างจากหัวเผา LPG ดังนั้นความยาวของท่อ Vaporizer ที่ต่างกันที่ติดตั้งอยู่ส่วนบนไม่มีผลต่อระยะเวลาของการอุ่นหัวเผามากนัก

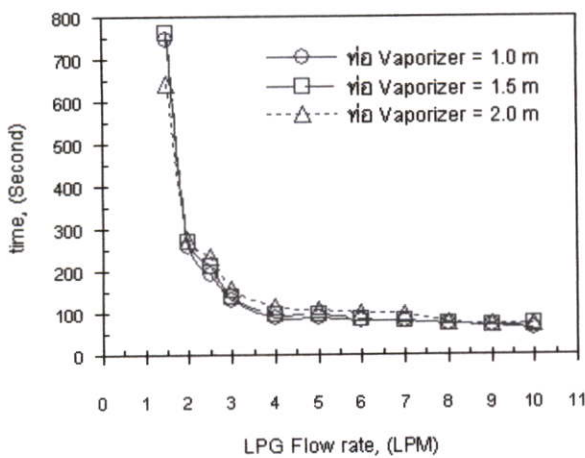
### 4.2 อิทธิพลจากระยะห่างระหว่างกันภาชนะกับหัวเผา

รูปที่ 5. แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพทางความร้อน และระยะเวลาในการต้มน้ำที่ส่งผลต่อการเลือกระยะห่างระหว่างหัวเผากับภาชนะเพื่อนำมาทำการทดสอบในงานวิจัย โดยระยะห่างที่ดีที่สุดที่หัวเผาน้ำมันปาล์มในงานวิจัยนี้ อยู่ที่ระยะ 10 cm ซึ่งถ้ามีระยะที่ใกล้มากเกินไปผลจากการไหลของอากาศที่ผ่านหัวเผาไปยังภาชนะทำให้เปลวไฟบานออกด้านข้างห่างจากท่อ Vaporizer ไปมากจนทำให้ความร้อนไม่เพียงพอต่อการระเหยเป็นไอของน้ำมันทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลงและเกิดเขม่าสีดำติดที่ภาชนะ ซึ่งเป็นมลพิษอีกตัวหนึ่งที่ส่งผลเสียต่อผู้ใช้ แต่ถ้ามีระยะห่างระหว่างกันภาชนะที่มากเกินไปก็จะ

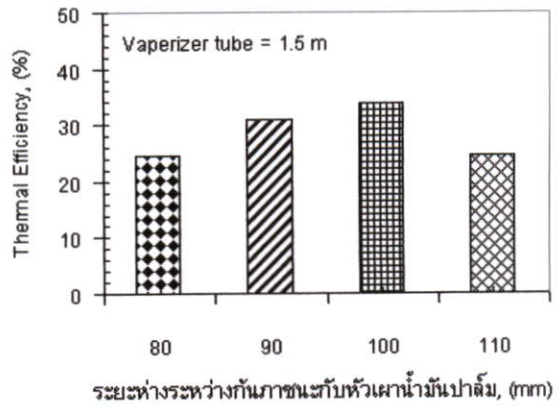
ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนให้กับอากาศรอบข้างที่วิ่งเข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศร้อนก่อนที่จะถึงกันภาชนะทำให้การถ่ายเทความร้อนจากหัวเผ่สู่กันภาชนะลดลงประสิทธิภาพที่วัดได้ก็ลดลงด้วยเช่นกัน

4.3 อิทธิพลจากความยาวท่อ Vaporizer

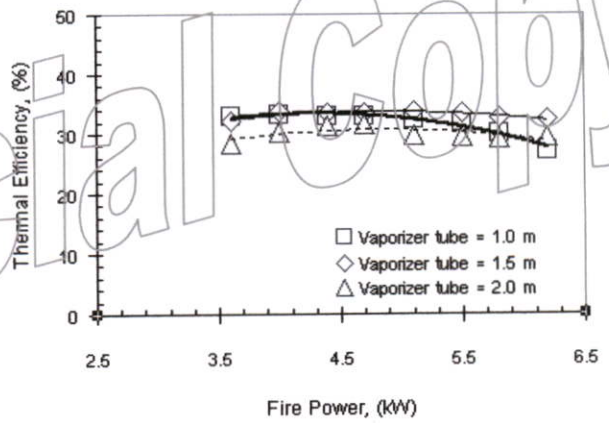
รูปที่ 6. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผ่น้ำมันปาล์มทั้ง 3 แบบ ซึ่งพบว่าหัวเผ่ที่มีความยาวท่อ Vaporizer เท่ากับ 1.5 m ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน(Thermal efficiency)ดีที่สุด รองลงมา คือ หัวเผ่ที่มีความยาวท่อ Vaporizer เท่ากับ 1.0 m และ หัวเผ่ที่มีความยาวท่อ Vaporizer เท่ากับ 2.0 m ผลที่ออกมาดังที่แสดงไว้ในกราฟอาจเนื่องมาจาก ผลของความยาวท่อ Vaporizer ที่มีผลต่อระยะเวลาในการระเหยเป็นไอของน้ำมันปาล์มภายในท่อ Vaporizer ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหัวเผ่แต่ละแบบ คือ ที่ L = 1.0 m นั้นความยาวท่อสั้นเกินไปทำให้น้ำมันที่อยู่ในท่อ Vaporizer มีระยะเวลาที่สั้นในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับเปลวไฟ จึงทำให้น้ำมันยังคงมีสถานะเป็นของเหลวอยู่การผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศจึงไม่ดีทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ได้ต่ำ และทำงานได้เฉพาะย่านอัตราการไหลต่ำ ในส่วนความยาว L = 2.0 m มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำนั้นมีสาเหตุมาจากการที่ท่อ Vaporizer มีความยาวที่มากเกินไปทำให้ท่อบางส่วนเลยบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงทำให้มีความร้อนไม่พอที่จะรักษาสภาพไอน้ำมันอยู่ได้ จึงทำให้น้ำมันเย็นตัวกลายเป็นของเหลวฟุ้งออกมาทางหัวฉีด ซึ่งสังเกตจากสายตา โดยมีลักษณะเป็นของเหลวสีดำและทำให้เกิดปัญหาเรื่องของการอุดตันที่หัวฉีดด้วยทำให้ประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าหัวเผ่อื่นๆ และหัวเผ่ที่มีความยาว L = 1.5 m ให้การเผาไหม้ที่ดีกว่าหัวเผ่แบบอื่นเป็นเพราะสภาพการระเหยเป็นไอน้ำมันมีความเหมาะสมพอดีต่อการเผาไหม้ จึงทำให้ได้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีกว่าหัวเผ่แบบอื่น



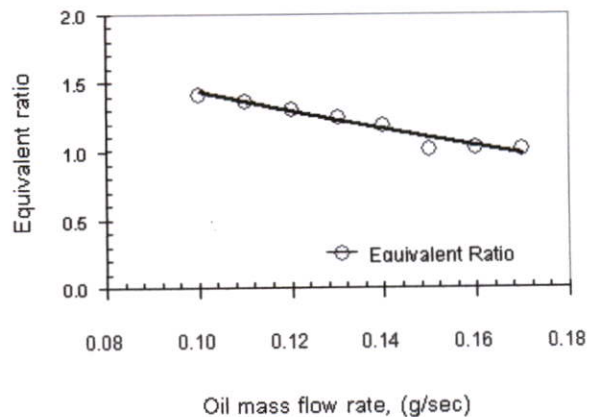
รูปที่ 4. แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการอุ่นหัวเผ่น้ำมันปาล์ม



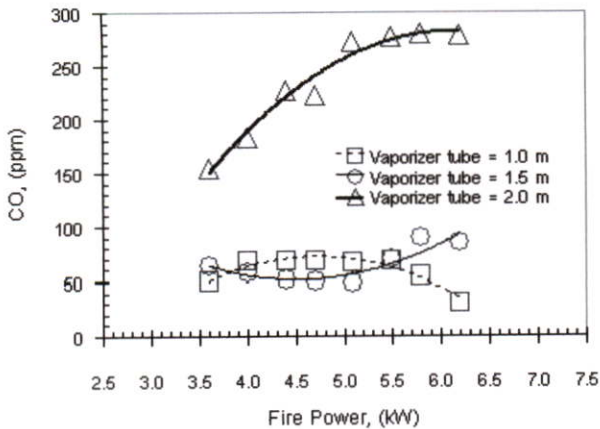
รูปที่ 5. แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ระยะห่างกันภาชนะกับหัวเผ่ต่างๆ



รูปที่ 6. แสดงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหัวเผ่แบบต่างๆ



รูปที่ 7. แสดงอัตราส่วนสมมูล ( $\Phi_{fuel}$ ) ที่สัมพันธ์กับอัตราการไหล



รูปที่ 8. แสดงปริมาณ CO ที่สัมพันธ์กับ Fire Power

#### 4.4 อัตราส่วนสมมูลเชื้อเพลิง(Equivalent ratio)[ 2]

อัตราส่วนสมมูลเป็นปริมาณไร้มิติที่บอกให้ทราบว่าส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศอยู่ห่างไกลจากค่าทางทฤษฎีแค่ไหน จากการคำนวณจะได้ค่า  $(A/F)_{stot}$  ของหัวเผาน้ำมันปาล์มเท่ากับ 11.94 และ  $(A/F)_{actual}$  ทำการวัดได้จากอุปกรณ์ที่ทำขึ้นโดยจำลองการทำงานของหัวเผาในอุปกรณ์วัดอากาศให้มีสภาวะเดียวกับการทำงานของหัวเผาที่สภาวะบรรยากาศ ส่วนอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ที่ทำการวัดได้ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 7. โดยอัตราส่วนสมมูลที่ได้จากหัวเผาน้ำมันปาล์มในงานวิจัยนี้จะมีค่าที่ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลน้ำมันปาล์มมากขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากอากาศที่ไหลเข้าห้องเผาไหม้เองตามการชักนำของลำเจ็ดเชื้อเพลิง และพื้นที่ทางเข้าของเชื้อเพลิงกับอากาศมีขนาดจำกัดตามลักษณะของหัวเผา

#### 4.5 ก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้

รูปที่ 8. แสดงถึงปริมาณ CO ที่ได้จากหัวเผาแบบต่างๆ จากผลของเส้นกราฟแสดงให้เห็นถึงระดับของก๊าซเสียที่เกิดจากหัวเผาอยู่ในระที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศ และค่าของก๊าซเสียที่วัดได้จากหัวเผาแต่ละแบบมีค่าแตกต่างกันนั้นอาจเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จากสาเหตุของความยาวท่อ Vaporizer ที่ไม่เหมาะสมจากที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น โดยหัวเผาที่มีท่อ Vaporizer ยาว 2.0 เมตรให้ค่า CO สูงกว่าหัวเผาแบบอื่นเป็นเพราะไอน้ำมันที่เย็นตัวกลายเป็นของเหลวสีดำพุ่งออกมาทางหัวฉีดทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้ได้ปริมาณ CO มากกว่าหัวเผาแบบอื่น ส่วนที่ Fire Power สูงๆมีค่า CO ที่มากนั้นเกิดจากส่วนผสมที่หนาของเชื้อเพลิง สำหรับการวัดก๊าซเสียจากหัวเผาในรูปที่ 8. เป็นการวัดก๊าซเสียที่หัวเผาทำงานในสภาวะการทำงานจริงไม่มีการควบคุมอากาศในการเผาไหม้ เนื่องจากจะแสดงให้เห็นถึงปริมาณก๊าซเสียที่ได้จากการเผาไหม้ในการใช้งานจริง

#### 5.สรุป

5.1 ค่า  $\Phi$  ที่ลดลงเมื่อมีอัตราการไหลของน้ำมันที่มากขึ้น ไม่มีอิทธิพลมากต่อปริมาณก๊าซเสียที่เกิดขึ้น แต่ส่งผลเล็กน้อยต่อประสิทธิภาพเชิง

ความร้อน(Thermal Efficiency) ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพลดลง เนื่องจากส่วนผสมที่หนาขึ้น แต่สิ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพมาก คือ ความยาวของขดท่อ Vaporizer ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้และสมรรถนะของหัวเผาโดยตรง

5.2 เนื่องจากราคาของ LPG และพลังงานต่างๆ ที่มีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อยๆ การหันมาใช้พลังงานจากทรัพยากรที่เหลือใช้ที่มีราคาถูก จะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานของชาติได้อีกทาง

5.3 หัวเผานี้เหมาะที่จะนำไปพัฒนาและปรับปรุงวัสดุที่ใช้ในการทำหัวเผา ให้เหมาะสมต่อการใช้งานไม่ว่าจะเป็นการใช้งานในครัวเรือนหรือในร้านอาหาร ที่มีความต้องการในการต้มและตุ๋นอาหารเป็นระยะเวลานาน หัวเผานี้จะช่วยประหยัดต้นทุนในการใช้เชื้อเพลิง LPG ลงได้มาก

#### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว) สัญญาหมายเลข RDG4520024

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Stephen R. Turns, "An Introduction to Combustion" Department of Mechanical and Nuclear Engineering The Pennsylvania State University
- [2] สำเริง จักรใจ "การเผาไหม้" สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2547 หน้า 94-95.
- [3] กัญจน บุนนเกียรติ "เชื้อเพลิงและการเผาไหม้" สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2547
- [4] อรรถพล ผาบเพ็ง "การศึกษาเชิงจำลองของหัวเผาแบบพ่นเผาไหม้น้ำมันพืช" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง พ.ศ. 2546 หน้า 1- 88.
- [5] สมพร ธเนศวรณชัย "ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะและมลพิษที่ปล่อยออกจากเตาหุงต้ม LPG" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2541 หน้า 1-100.
- [6] Gill Vaitilingom, Christelle Perilhon, Alian Liennard and Michel Gondon, "Development of Rape Seed Oil Burner for Drying and Heating" Industrial Crops and Product, Vol. 7, No.2-3, 1998, pp. 273-279.
- [7] Smith and Rufus Edwards, "The Water Boiling Test", Household Energy and Health Programmer, Shell Foundation, Version 1.5, August 20, 2004.

## ภาคผนวก ง.

ข้อมูลจากการทดสอบและตัวอย่างการคำนวณที่ได้จากงานวิจัยนี้

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีท่อ Vaporizer

Fire Power kW	% Th(VL=1.0 m)	% Th(VL=1.5 m)	% Th(VL=2.0 m)
4.0	31.5	32.3	30.5
4.4	30.5	31.6	30.3
4.7	29.7	31.3	30.5
5.1	29.2	31.0	30.2
5.5	28.4	30.8	29.6
5.8	-	29.7	29.1
6.2	-	28.5	28.4

ตารางที่ ง.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีท่อ Mixing ต่างกัน

Fire Power kW	% Th(MT=50mm)	% Th(MT=65mm)	% Th(MT=75mm)
4.0	32.3	32.8	33.0
4.4	31.6	32.2	32.6
4.7	31.3	31.4	32.4
5.1	31.0	30.6	31.6
5.5	30.8	30.4	30.9
5.8	29.7	29.6	30.3
6.2	28.5	29.3	29.4

ตารางที่ ง.3 ตารางเปรียบเทียบราคาน้ำมันปาล์มใช้แล้วเทียบกับราคาแก๊ส LPG

ชนิดของ เชื้อเพลิง	ปริมาตร บรรจุ	ราคาขาย บาท	น้ำหนักต่อปริมาตรบรรจุ กิโลกรัม	ราคา Baht/kg	พลังงาน kJ/kg	ราคา บาท ต่อ kJ
น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	1 ปีบ	130	15.6	8.31	36293	0.000229025
LPG	1 ถัง	270	15.0	18.00	51880	0.000346955

ตารางที่ ๔.4 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของหัวเผา น้ำมันปาล์มในการต้มน้ำวันละ 2 ครั้งจำนวน 30 วัน

Oil Flow rate g/sec	Time to Boil sec	ปริมาณความร้อน kJ	ไอน้ำจากการต้ม g	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ g	%Th(VL=1.5 m)
0.11	1428	5710.6	355	157	32.3
0.12	1351	5893.9	367	162	31.6
0.13	1252	5917.1	388	163	31.3
0.14	1167	5939.7	376	163	31.0
0.15	1067	5818.6	385	160	30.8
0.16	1053	6125.1	390	168	29.7
0.17	1053	6507.9	380	179	28.5

ตารางที่ ๔.5 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของหัวเผา ก๊าซ LPG ในการต้มน้ำวันละ 2 ครั้งจำนวน 30 วัน

Oil Flow rate L/min	Time to Boil sec	ปริมาณความร้อน kJ	ไอน้ำจากการต้ม g	ปริมาณ LPG ที่ใช้ g	%Th(KB7)
2.35	1398	5895.6	459	114	33.6
2.56	1322	5815.4	363	112	31.7
2.78	1185	5729.7	340	110	31.3
2.99	1097	5703.0	408	110	34.2
3.21	1015	5608.8	364	108	33.0
3.42	913	5277.5	428	102	37.8
3.63	876	5573.2	443	107	36.4

ตารางที่ ๔.6 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงของหัวเผา ก๊าซ LPG กับหัวเผา น้ำมันปาล์ม

ค่าใช้จ่ายน้ำมันต่อเดือน บาท	ค่าใช้จ่าย LPG ต่อเดือน บาท	ประหยัดค่าใช้จ่าย LPG บาท ต่อ เดือน
83	123	40
82	121	40
83	119	36
83	119	35
81	117	36
83	110	26
92	116	24



ตารางที่ ง.8 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้

Mass Flow rate(Oil) g/sec	Volume Flow rate(Air)	Volume Flow rate(Air)	Volume Flow rate(Air)
	VL=1.0 m m <sup>3</sup> /sec	VL=1.5 m m <sup>3</sup> /sec	VL=2.0 m m <sup>3</sup> /sec
0.11	0.00099	0.00107	0.00095
0.12	0.00110	0.00116	0.00113
0.13	0.00134	0.00136	0.00134
0.14	0.00140	0.00144	0.00142
0.15	0.00136	0.00151	0.00150
0.16	-	0.00179	0.00174
0.17	-	0.00189	0.00173

ตารางที่ ง.9 อัตราส่วนสมมูลของหัวเผาแบบต่างๆ

Mass Flow rate(Oil) g/sec	Volume Flow rate(Air)	Volume Flow rate(Air)	Volume Flow rate(Air)
	VL=1.0 m m <sup>3</sup> /sec	VL=1.5 m m <sup>3</sup> /sec	VL=2.0 m m <sup>3</sup> /sec
0.11	1.117	1.032	1.163
0.12	1.099	1.044	1.069
0.13	0.980	0.961	0.980
0.14	1.006	0.977	0.996
0.15	1.111	1.000	1.008
0.16	-	0.899	0.926
0.17	-	0.906	0.993

ตารางที่ ง.10 อุณหภูมิของเปลวไฟที่วัดได้จากหัวเผาแบบต่างๆ

Oil_flow rate g/sec	Flame Temperature °C			Flame Temperature °C		
	VL=1.0 m	VL=1.5 m	VL=2.0 m	MT=50 mm	MT=65 mm	MT=75 mm
0.11	411	408	404	408	413	425
0.12	459	471	466	471	480	493
0.13	588	601	591	601	635	651
0.14	572	623	593	623	628	639
0.15	511	615	595	615	619	627
0.16	-	586	566	586	583	592
0.17	-	569	529	569	571	578

ตารางที่ ง.11 เวลาที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันของชุด Preheater

อัตราการไหล(L/min)_real	time(VL=1.0 m)	time(VL=1.5 m)	time(VL=2.0 m)
1.1	745	761	643
1.5	259	270	273
1.9	193	212	236
2.3	132	140	158
3.1	87	95	115
3.8	88	97	107
4.6	79	83	99
5.4	81	81	95
6.1	73	74	76
6.9	70	71	75
7.7	60	72	73

ตารางที่ ง.12 เวลาที่อุณหภูมิต่างๆในการให้ความร้อนกับน้ำจาก Heater ด้วยแรงดันไฟฟ้า 215 V.

กระแส 8.1 A

Temperature °C	time		Loss °C	Cp J/g - °C
	Min	Sec		
35	0	0	33	4.111
40	0	54	34	4.162
45	1	45	34	4.214
50	2	38	34	4.265
55	3	30	35	4.316
60	4	23	36	4.368
65	5	19	36	4.419
70	6	14	37	4.471
75	7	9	38	4.522
80	8	6	40	4.573
85	9	4	41	4.625
90	10	2	42	4.676
95	11	5	44	4.727
100	11	58	45	4.779

ตารางที่ ง.13 เวลาที่อุณหภูมิต่างๆในการให้ความร้อนกับน้ำมันปาล์มจาก Heater ด้วยแรงดันไฟฟ้า 215 V. กระแส 8.1 A

Temperature °C	time		Loss °C	Cp J/g - °C
	Min	Sec		
35	0	22	35	1.546
40	0	46	35	2.243
45	1	12	35	2.263
50	1	41	35	2.283
55	2	5	35	2.303
60	2	32	36	2.323
65	2	59	36	2.344
70	3	28	36	2.366
75	3	55	37	2.387
80	4	23	37	2.409
85	4	56	38	2.431
90	5	24	39	2.454
95	5	52	39	2.477
100	6	25	41	2.500
105	6	59	42	2.524
110	7	31	43	2.548
115	8	4	44	2.573
120	8	35	46	2.597
125	9	9	47	2.622
130	9	41	49	2.648
135	10	16	50	2.674
140	10	47	52	2.699
145	11	22	54	2.726
150	11	56	56	2.753
155	12	31	59	2.780
160	13	4	61	2.808
165	13	41	64	2.836

ตารางที่ ง.13(ต่อ) เวลาที่อุณหภูมิต่างๆในการให้ความร้อนกับน้ำมันปาล์มจาก Heater ด้วยแรงดันไฟฟ้า 215 V. กระแส 8.1 A

Temperature °C	time		Loss °C	Cp J/g - °C
	Min	Sec		
170	14	16	66	2.864
175	14	53	69	2.893
180	15	29	72	2.922
185	16	6	75	2.951
190	16	43	79	2.981
195	17	20	82	3.011
200	17	57	85	3.042
205	18	26	89	3.073
210	19	13	93	3.104
215	19	52	97	3.136
220	20	31	101	3.168
225	21	9	105	3.200
230	21	53	110	3.233
235	22	29	114	3.267
240	23	9	119	3.300
245	23	49	124	3.334
250	24	30	128	3.369
255	25	10	134	3.403
260	25	52	139	3.439
265	26	36	144	3.475
270	27	22	150	3.511

ตารางที่ ง.14 ความเข้มข้นของมลพิษที่วัดได้จากการเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มี VL ต่างกัน

Fire Power(kW)	Flue gas(VL=1.0 m)				
	% O <sub>2</sub>	CO (ppm)	% CO <sub>2</sub>	NOx(ppm)	% EffN
4.0	5.33	588.67	12.05	97.33	90.40
4.4	4.93	443.67	12.35	106.67	90.20
4.7	4.90	376.67	12.38	116.00	90.33
5.1	2.83	531.00	13.97	139.33	90.60
5.5	2.63	2758.67	14.12	126.67	89.50
5.8	-	-	-	-	-
6.2	-	-	-	-	-
Fire Power(kW)	Flue gas(VL=1.5 m)				
	% O <sub>2</sub>	CO (ppm)	% CO <sub>2</sub>	NOx (ppm)	% EffN
4.0	5.23	474.33	12.12	101.67	90.13
4.4	4.90	387.67	12.38	109.67	90.47
4.7	3.70	252.00	13.30	129.67	90.53
5.1	2.77	199.33	14.02	142.33	90.77
5.5	2.07	311.67	14.56	149.67	90.73
5.8	1.33	564.33	15.12	159.67	91.13
6.2	1.00	2479.67	15.38	165.33	90.40
Fire Power(kW)	Flue gas(VL=2.0 m)				
	% O <sub>2</sub>	CO (ppm)	% CO <sub>2</sub>	NOx (ppm)	% EffN
4.0	5.63	540.67	11.81	83.00	89.67
4.4	5.23	453.67	12.12	94.67	89.70
4.7	5.07	404.33	12.25	94.67	89.70
5.1	4.17	539.00	12.94	117.33	88.40
5.5	3.10	1005.33	13.76	124.67	88.73
5.8	2.67	1153.67	14.10	128.33	89.80
6.2	1.10	2498.33	15.30	156.33	90.60

ตารางที่ ง.15 ความเข้มข้นของมลพิษที่วัดได้จากการเผาไหม้ของหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มี MT ต่างกัน

Fire Power(kW)	Flue gas(MT=50 mm)				
	% O <sub>2</sub>	CO (ppm)	% CO <sub>2</sub>	NOx(ppm)	% EffN
4.0	5.23	474.33	12.12	101.67	90.13
4.4	4.90	387.67	12.38	109.67	90.47
4.7	3.70	252.00	13.30	129.67	90.53
5.1	2.77	199.33	14.02	142.33	90.77
5.5	2.07	311.67	14.56	149.67	90.73
5.8	1.33	564.33	15.12	159.67	91.13
6.2	1.00	2479.67	15.38	165.33	90.40
Fire Power(kW)	Flue gas(MT=65 mm)				
	% O <sub>2</sub>	CO (ppm)	% CO <sub>2</sub>	NOx(ppm)	% EffN
4.0	4.93	383.00	12.35	99.00	89.73
4.4	4.77	343.00	12.48	109.33	89.70
4.7	3.50	275.00	13.46	133.67	91.30
5.1	2.70	207.33	14.07	137.67	90.83
5.5	1.63	467.67	14.89	156.33	92.30
5.8	1.23	496.67	15.20	171.00	91.10
6.2	1.00	1846.33	15.38	163.33	90.83
Fire Power(kW)	Flue gas(MT=75 mm)				
	% O <sub>2</sub>	CO (ppm)	% CO <sub>2</sub>	NOx(ppm)	% EffN
4.0	4.77	416.00	12.48	108.00	90.93
4.4	4.00	331.00	13.07	131.33	89.97
4.7	2.80	186.67	13.99	141.00	90.87
5.1	2.27	131.00	14.40	148.33	91.07
5.5	1.37	413.67	15.10	161.67	91.13
5.8	1.30	648.33	15.15	162.33	91.17
6.2	0.93	1406.00	15.43	161.00	91.17

### ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะของน้ำและน้ำมันปาล์ม

ในตัวอย่างการคำนวณนี้จะยกตัวอย่างโดยใช้ข้อมูลจากน้ำมันปาล์มเพื่อใช้ในการคำนวณ จากข้อมูลของเวลาที่เปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลาจากตารางที่ 13 จากช่วงอุณหภูมิ 50 ถึง 60 องศาเซลเซียส จะได้ข้อมูลต่างๆ และวิธีคำนวณดังนี้

1. นำเวลาที่ได้ทั้งหมดในทุกช่วงอุณหภูมิไปทำการพล็อตกราฟเทียบกับอุณหภูมิ ดังสมการจากเส้นกราฟที่พล็อตได้มาคิดหาค่าเวลาในแต่ละช่วงอุณหภูมิใหม่ เนื่องจากที่บันทึกได้จากการทดลองนั้นมีช่วงเวลาที่ไม่มีสม่ำเสมอจึงต้องนำไปพล็อตกราฟก่อนเพื่อจะได้ช่วงเวลาที่สม่ำเสมอมาใช้ในการคำนวณ
2. อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำมันที่สภาวะบรรยากาศเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส
3. เวลาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับ 94 วินาที อุณหภูมิถึงภายนอกเท่ากับ 35 องศา
4. เวลาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับ 151 วินาที อุณหภูมิถึงภายนอกเท่ากับ 36 องศา
5. จากอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของถึงภายนอกที่ทำจากเหล็กมีการเปลี่ยนแปลงไป 1 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิของถึงภายใน(ถึงน้ำมัน)เปลี่ยนแปลงจาก 50 เป็น 60 องศา โดยที่ตัวกลางระหว่างถึงภายนอกกับถึงภายในเป็นอากาศ แสดงว่าอากาศเป็นตัวกลางในการนำความร้อนจากถึงภายในไปสู่ถึงภายนอก
6. เมื่อได้ข้อมูลต่างๆครบแล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมาเริ่มทำการคำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิระหว่าง 50 กับ 60 คือ 55 องศาเซลเซียส ดังนี้

เริ่มจากสมการ  $q = mC_p \frac{\Delta T}{\Delta t}$  จะได้

$$C_p = \frac{q_{oil}}{m_{oil}} \times \frac{\Delta t}{\Delta T}$$

$$= \frac{q_{oil}}{(4300)g} \times \frac{(151-94)sec}{(60-50)^{\circ}C}$$

โดยที่  $q_{oil} = q_{heater} - q_{loss}$

$$q_{heater} = (215 \times 8.1)VA \times \left( \frac{J/sec}{VA} \right)$$

7. กำหนดให้มวลของน้ำมันปาล์มที่อยู่ในถังภายในมีมวล 4300 กรัม
8. กำหนดให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของถังน้ำมันมีอุณหภูมิเท่ากับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำมันปาล์ม

คังนั้นถังน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการพาความร้อน โดยมีน้ำมันปาล์มเป็นสารตัวกลางจากการหมุนวนภายในจากการกวนของใบกวน

$$q_{loss} = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_2 L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_3 L}}$$

โดยที่ อุณหภูมิของถังภายใน ( $T_{tank,in} = T_1$ ) กับถังภายนอก ( $T_{tank,out} = T_2$ ) ที่  $55^\circ C$  เท่ากับ  $55^\circ C$  กับ  $35^\circ C$

$$q_{loss} = \frac{(55 - 35)}{\frac{\ln(0.077/0.075)}{2\pi \times 80.2 \times 0.3} + \frac{\ln(0.111/0.077)}{2\pi \times 80.2 \times 0.3} + \frac{\ln(0.113/0.111)}{2\pi \times 80.2 \times 0.3}} = 2.136 \text{ J/sec}$$

เพราะฉะนั้น  $\dot{Q}_{loss} = 1739.36 \text{ J/sec}$

$$C_p = \frac{(1739.36) \text{ J/sec}}{(4300) \text{ g}} \times \frac{(57) \text{ sec}}{(10)^\circ C}$$

$$C_p = 2.303 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ C}$$

- โดยที่  $k_{iron}$  = ค่าสภาพการนำความร้อนของเหล็ก,  $W/m \cdot K$   
 $k_{air}$  = ค่าสภาพการนำความร้อนของอากาศ,  $W/m \cdot K$   
 $L$  = ความยาวของถังน้ำมัน,  $m$   
 $r_{out}$  = รัศมีของถังน้ำมัน(ถังภายใน),  $m$   
 $r_{in}$  = รัศมีของถังภายนอก,  $m$   
 $\Delta T$  = ผลต่างของอุณหภูมิภายในถัง,  $^\circ C$

9. ทำเช่นเดียวกันนี้ในแต่ละช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ

## ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้

ในตัวอย่างการคำนวณนี้จะใช้ข้อมูลจากการวัดความเร็วของอากาศที่วิ่งเข้าไปใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งวัดได้จากการทดลอง โดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วของลมที่เรียกว่า Hot wire anemometer และได้ความเร็วของอากาศในหน่วย เมตรต่อวินาที ( $m/sec$ ) และข้อมูลที่วัดได้จะอยู่ในตารางที่ ง. 7 และมีขั้นตอนการคำนวณ ดังต่อไปนี้

1. ค่าความเร็วของอากาศที่ไหลเข้าไปเผาไหม้ในหัวเผาน้ำมันปาล์ม ที่ตำแหน่งต่างๆภายในท่อ และที่อัตราการไหลต่างๆ ก็จะมีความเร็วแตกต่างกันไป ในตัวอย่างนี้จะใช้ข้อมูลที่อัตราการไหล 0.11 ของหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อไอน้ำมัน (Vaporizer tube) เท่ากับ 1.5 เมตร มาใช้ในการคำนวณ
2. นำค่าความเร็วที่ของอากาศที่วัดได้ไปพล็อตกราฟ เพื่อหาสมการเส้นกราฟ และนำสมการจากเส้นกราฟในแต่ละตำแหน่งของการวัดมาทำการหาผลรวมของการอินทิเกรตเพื่อหาอัตราการไหลเชิงปริมาตร โดยวิธีการหมุน (Volume of a Solid of Revolution) แบบ Cylindrical Shell Method โดย ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{V} = 2\pi \left[ \int_{r_0}^a r \cdot f(r) dr + \int_a^b r \cdot f(r) dr + \int_b^c r \cdot f(r) dr + \int_c^r r \cdot f(r) dr \right] \quad (\text{ง.1})$$

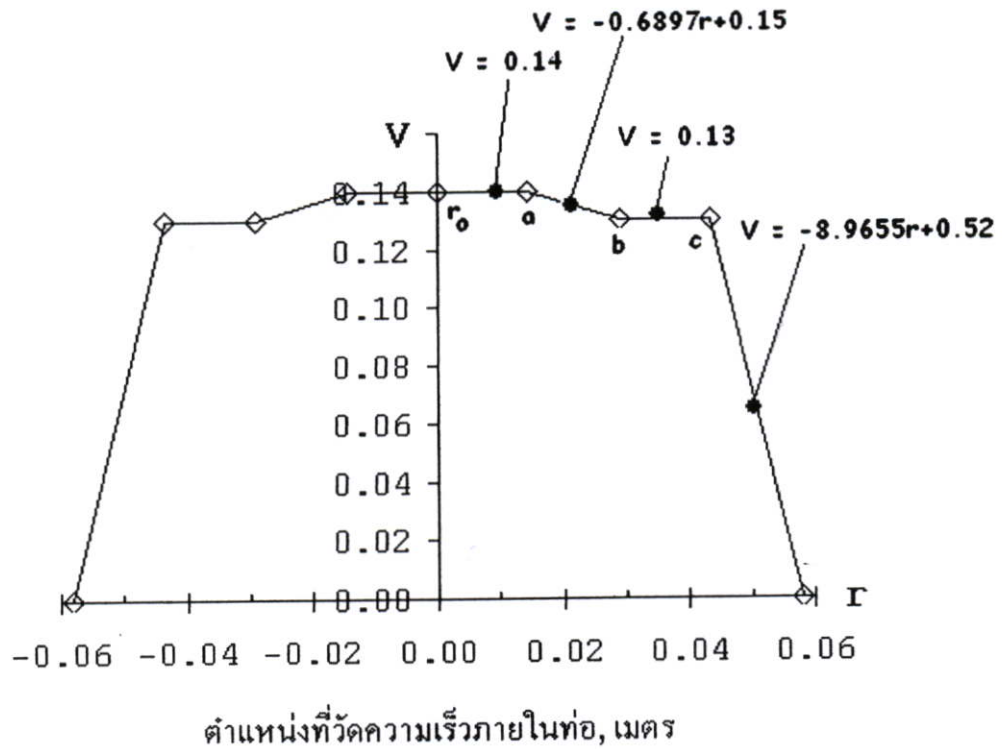
โดยที่  $r_0 = 0$  เป็นระยะกึ่งกลางท่อ

$r =$  เป็นระยะจากจุดกึ่งกลางถึงผิวท่อ

$a, b, c =$  เป็นระยะต่างๆที่ทำการวัดความเร็ว โดยอ้างอิงจากจุดกึ่งกลางท่อ

3. นำค่าต่างๆแทนในสมการ ง.1 โดยแยกคิดเป็นส่วนๆ ดังนี้ ส่วนแรก จากช่วง  $r_0 - a$  คือระยะจากกึ่งกลางท่อคือ 0.0000 เมตร ถึง ระยะ 0.0145 เมตร ส่วนที่สอง จากช่วง  $a - b$  คือระยะจากกึ่งกลางท่อคือ 0.0145 เมตร ถึง ระยะ 0.0290 เมตร ส่วนที่สาม จากช่วง  $b - c$  คือระยะจากกึ่งกลางท่อคือ 0.0290 เมตร ถึง ระยะ 0.0435 เมตร ส่วนที่สาม จากช่วง  $c - r$  คือระยะจากกึ่งกลางท่อคือ 0.0435 เมตร ถึง ระยะ 0.0580 เมตร

ความเร็วของอากาศที่ไหลเข้าไปเผาไหม้, เมตรวินาที



$$\text{ระยะ } r_0 - a : \int_0^{0.0145} [r \times (0.14)] dr = 1.47 \times 10^{-5}$$

$$\text{ระยะ } a - b : \int_{0.0145}^{0.0290} [r \times (-0.6897 \cdot r + 0.15)] dr = 4.24 \times 10^{-5}$$

$$\text{ระยะ } b - c : \int_{0.0290}^{0.0435} [r \times (0.13)] dr = 6.83 \times 10^{-5}$$

$$\text{ระยะ } c - r : \int_{0.0435}^{0.0580} [r \times (-8.9655 \cdot r + 0.52)] dr = 4.56 \times 10^{-5}$$

$$\dot{V} = 2\pi \times [(1.47 \times 10^{-5}) + (4.24 \times 10^{-5}) + (6.83 \times 10^{-5}) + (4.56 \times 10^{-5})] = 0.00107445$$

4. ทำเช่นเดียวกันนี้กับทุกๆอัตราการไหล ของหัวเผาแต่ละแบบ
5. นำอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ได้ในทุกๆอัตราการไหล ของหัวเผาแต่ละแบบ ไปใช้ในการคำนวณหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจากการใช้งานจริง  $(A/F)_{actual}$  ต่อไป

ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจากการใช้งานจริง  $(A/F)_{actual}$

ค่าต่างๆที่คำนวณได้หรือที่นำมาใช้การคำนวณตัวอย่างนี้จะอยู่ที่อัตราการไหล 0.11 ของหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อไอน้ำมัน (Vaporizer tube) เท่ากับ 1.5 เมตร ในตารางที่ 3.8 ซึ่งสามารถดูได้ตามตารางข้างต้น

- นำอัตราการไหลของอากาศที่คำนวณได้ข้างต้นมาทำการแปลงหน่วยจากการไหลเชิงปริมาตร  $m^3/sec$  ให้อยู่ในหน่วยการไหลเชิงมวล  $g/sec$

$$\begin{aligned}\dot{m}_{air} &= \dot{V} \times (\rho_{air} \times 10^3) \\ &= \left(0.00107445 \frac{m^3}{sec}\right) \times \left(1.1845 \frac{kg}{m^3}\right) \times \left(10^3 \frac{g}{kg}\right) \\ &= 1.27 \frac{g}{sec}\end{aligned}$$

- นำอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มที่วัดได้ในหน่วยการไหลเชิงมวล  $g/sec$  มาหารอัตราการไหลของอากาศจากข้อที่ 1. ก็จะได้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจากการใช้งานจริงออกมา ดังนี้

$$\begin{aligned}\left(\frac{A}{F}\right)_{actual} &= \frac{\dot{m}_{air}}{\dot{m}_{fuel}} \\ &= \frac{1.27 g/sec}{0.11 g/sec} = 11.569\end{aligned}$$

- จากนั้นนำค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจากการใช้งานจริงไปหาอัตราส่วนสมมูลต่อไป
- แต่ก่อนที่จะหาอัตราส่วนสมมูลได้นั้นจะต้องทำการหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎีก่อน

ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี  $(A/F)_{stoi}$

การที่จะหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎีได้นั้นจะต้องทำการสมดุลสมการการเผาไหม้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่เราใช้เสียก่อน

1. การสมดุลสมการการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์มทำได้ดังนี้

จากการส่งน้ำมันปาล์มใช้แล้วเพื่อตรวจหาองค์ประกอบของธาตุที่มีอยู่ในน้ำมัน พบว่าองค์ประกอบของ ธาตุต่างๆ ที่คิดเป็นสัดส่วนโดยมวล ( $Y_i$ ) เท่ากับ

$$Y_S = 0.0001$$

$$Y_C = 0.756$$

$$Y_H = 0.113$$

$$Y_N = 0.0019$$

$$Y_O = 0.129$$

และมี Molecular Weight ( $MW_i$ ) ของธาตุต่างๆ เท่ากับ

$$MW_S = 32.06000 \text{ kg/kmol}$$

$$MW_C = 12.01100 \text{ kg/kmol}$$

$$MW_H = 1.00797 \text{ kg/kmol}$$

$$MW_N = 14.0067 \text{ kg/kmol}$$

$$MW_O = 15.9994 \text{ kg/kmol}$$

$$MW_{mix} = \frac{1}{\sum(Y_i/MW_i)}$$

$$MW_{mix} = \frac{1}{\left[ \frac{0.0001}{32.064} + \frac{0.756}{12.01115} + \frac{0.113}{1.00797} \right] + \frac{0.0019}{14.0067} + \frac{0.129}{15.9994}}$$

$$MW_{mix} = 5.457 \text{ kg/kmol}$$

นำค่าต่างๆ ข้างต้นมาคิดเป็นสัดส่วนโดยโมล ( $X_i$ ) ได้เท่ากับ

$$X_i = (Y_i \times MW_{mix}) / MW_i$$

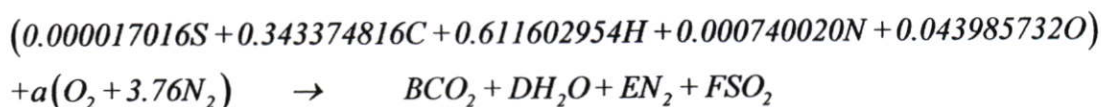
$$X_S = 0.000017016$$

$$X_C = 0.343374816$$

$$X_H = 0.611602954$$

$$X_N = 0.000740020$$

$$X_{O'} = 0.043985732$$



$$\text{สมมูล } S : 0.000017016 = F \text{ -----(1)}$$

$$\text{สมมูล } C : 0.343374816 = B \text{ -----(2)}$$

$$\text{สมมูล } H : 0.611602954 = 2D ; D = 0.305801477 \text{ -----(3)}$$

$$\text{สมมูล } N : 0.000740020 + 7.52a = 2E \text{ -----(4)}$$

$$\text{สมมูล } O : 0.043985732 + 2a = 2B + D + 2F \text{ -----(5)}$$

นำสมการที่ (1), (2), (3) แทนลงในสมการที่ (5) จะได้

$$0.043985732 + 2a = 2(0.343374816) + 0.305801477 + 2(0.000017016)$$

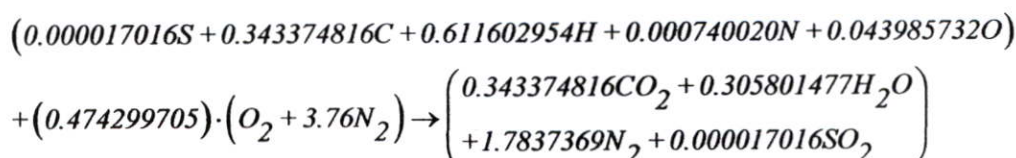
$$a = 0.474299705$$

นำค่า  $a$  แทนลงในสมการที่ (4) จะได้

$$0.000740020 + 7.52(0.474299705) = 2E$$

$$E = 1.7837369$$

➤ เขียนสมการเคมีของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว ได้ดังนี้



ดังนั้นถ้าเชื้อเพลิง 1 kmol จะได้น้ำ 0.305801477 kmol

$$\begin{aligned}
 1 \text{ kmol} \times MW_{\text{mix}} &: (0.305801477) \times MW_{\text{H}_2\text{O}} \\
 (1 \text{ kmol}) \times (5.456915098 \text{ kg/kmol}) &: (0.305801477 \text{ kmol}) \times (18.015 \text{ kg/kmol}) \\
 5.456915098 \text{ kg} &: 5.509013607 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{ถ้าเชื้อเพลิง} \quad 1 \text{ kg} : \frac{5.509013607}{5.456915098} : 1.009547246 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{H}_2\text{O}} &= X_{\text{H}_2\text{O}} \times (P_o) \\
 P_{\text{H}_2\text{O}} &= (0.126) \times (101.325 \text{ kPa}) \\
 P_{\text{H}_2\text{O}} &= 12.767 \text{ kPa} \\
 h_{\text{EVAP}} &= h_{\text{fg}@P=12.767\text{kPa}} = 2381.886 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

แล้วนำค่า Enthalpy of evaporation ไปหาค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงโดย

$$LHV = HHV - \left( \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{m_{\text{fuel}}} h_{\text{fg,H}_2\text{O}} \right)_{\text{product}}$$

จะได้ว่า

$$\left( \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{m_{\text{fuel}}} h_{\text{fg,H}_2\text{O}} \right)_{\text{product}} = (1.009547246) \times (2381.886 \text{ kJ/kg}) = 2404.626 \text{ kJ/kg}$$

เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned}
 LHV &= HHV - 2404.626 \text{ kJ/kg} \\
 &= 38700.00 \text{ kJ/kg} - 2404.626 \text{ kJ/kg} \\
 &= 36295.37 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\boxed{LHV \approx 36295 \text{ kJ/kg}}$$

2. นำค่า Molar Oxygen – Fuel Ratio มาคำนวณหา  $(A/F)_{\text{stoi}}$  จากสมการ

$$\left(\frac{A}{F}\right)_{Stoi} = \frac{4.76 \times a}{1} \left(\frac{MW_{air}}{MW_{fuel}}\right)$$

$$\left(\frac{A}{F}\right)_{Stoi} = (4.76 \times 0.47429) \times \left(\frac{28.970}{5.457}\right) = 11.9$$

3. นำค่า  $(A/F)_{Stoi}$  ไปทำการคำนวณหาค่าอัตราส่วนสมมูลต่อไป

### ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราส่วนสมมูล(Equivalent ratio, $\Phi$ )

ค่าต่างๆที่คำนวณได้หรือที่นำมาใช้การคำนวณตัวอย่างนี้จะอยู่ที่อัตราการไหล 0.11 ของหัวเผา น้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อไอน้ำมัน(Vaporizer tube) เท่ากับ 1.5 เมตร ในตารางที่ ๓.9 ซึ่งสามารถดูได้ตามตารางข้างต้น

1. นำค่าอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎีมาหารด้วยค่าอากาศต่อเชื้อเพลิงจากการใช้งานจริง ดังนี้

$$\Phi = \frac{(A/F)_{Stoi}}{(A/F)_{actual}}$$

$$\Phi = \frac{11.94}{11.56} = 1.032$$

2. เมื่อได้ค่าอัตราส่วนสมมูลแล้วก็นำค่าที่ได้ไปใช้ร่วมกับการวิเคราะห์ผลไอเสียที่วัดจากการหัวเผาต่างๆ

### ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้

ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นข้อมูลตัวอย่างในการคำนวณนี้ นำมาจาก ตารางที่ ๓.3, ๓.4, ๓.5, และ ตารางที่ ๓.6 ที่อัตราการไหลน้ำมันปาล์มเท่ากับ 0.11 g/sec อัตราการไหลของแก๊ส LPG เท่ากับ 2.48 L/min

1. ก่อนอื่นต้องทำการหาราคาของเชื้อเพลิงต่อพลังงานความร้อนเสียก่อน

$$\text{Cost by Energy} = \frac{\text{Cost of Fuel}}{\text{LHV}}$$

$$\text{น้ำมันปาล์ม : } \text{Cost by Energy of Palm oil} = \frac{8.31 \text{ Baht/kg}}{36295 \text{ kJ/kg}} = 0.000229 \frac{\text{Baht}}{\text{kJ}}$$

$$\text{LPG : } \text{Cost by Energy of LPG} = \frac{18 \text{ Baht/kg}}{51880 \text{ kJ/kg}} = 0.0003470 \frac{\text{Baht}}{\text{kJ}}$$

2. นำค่าที่ได้จากการทดลอง เช่น เวลาในการใช้งานหัวเผา, อัตราการไหลเชื้อเพลิง, พลังงานความร้อนที่ได้จากหัวเผา มาทำการคำนวณหาราคาค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิง โดยยกข้อมูลที่อัตราการไหลของน้ำมันปาล์มเท่ากับ 0.1 g/sec และของแก๊ส LPG เท่ากับ 2.48 L/min มาใช้เป็นตัวอย่าง ดังนี้

น้ำมันปาล์ม : อัตราการไหลของเชื้อเพลิง เท่ากับ 0.1 g/sec  
 เวลาในการใช้งานหัวเผา เท่ากับ 1428 sec  
 พลังงานความร้อนที่ใช้งาน(คัมน์น้ำ) เท่ากับ 4.22 kW  
 ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ใช้ไป หาได้จาก

$$Q_{oil} = (4.22 \text{ kg/sec} \times 1428 \text{ sec}) = 6020.1 \text{ kJ}$$

เพราะฉะนั้น

ราคาค่าใช้จ่ายของน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการคัมน์น้ำแต่ละครั้งเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{Cost from Used Burner} &= \frac{Q_{oil}}{\text{Cost by Energy Palm oil}} \\ &= \frac{6020.1 \text{ kJ}}{0.000228635 \text{ Baht/kJ}} = 1.38 \text{ Baht} \end{aligned}$$

LPG : อัตราการไหลของเชื้อเพลิง เท่ากับ 2.48 L/min  
 เวลาในการใช้งานหัวเผา เท่ากับ 1398 sec  
 พลังงานความร้อนที่ใช้งาน(คัมน์น้ำ) เท่ากับ 4.22 kW  
 ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ใช้ไป หาได้จาก

$$Q_{LPG} = (4.22 \text{ kg/sec} \times 1398 \text{ sec}) = 5893.7 \text{ kJ}$$

เพราะฉะนั้น

ราคาค่าใช้จ่ายของ LPG ที่ใช้ในการต้มน้ำแต่ละครั้งเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{Cost from Used Burner} &= \frac{Q_{LPG}}{\text{Cost by Energy LPG}} \\ &= \frac{5893.7 \text{ kJ}}{0.0003470 \text{ Baht/kJ}} = 2.04 \text{ Baht} \end{aligned}$$

3. นำค่าที่ได้ไปหาผลต่างของราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ไปจากหัวเผาแต่ละแบบที่ระดับพลังงานเดียวกัน โดยนำ ราคาค่าใช้จ่าย LPG – ราคาค่าใช้น้ำมันปาล์ม = 2.04 – 1.38 บาท = 0.66 บาท ต่อ การใช้งานหนึ่งครั้ง และถ้าใช้งานหัวเผา 30 วันวันละ 2 ครั้งเช้า – เย็น ก็ จะประหยัดได้ = 0.66 × 60 = 39.6 บาท ต่อ เดือน

### ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (%CO<sub>2</sub>)

เนื่องจากค่าของ CO<sub>2</sub> ไม่สามารถวัดได้โดยตรงเหมือนกับค่า CO, O<sub>2</sub> และ NO<sub>x</sub> แต่ค่า CO<sub>2</sub> จะขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ด้วย แต่ในเครื่องมือวัดไม่มีเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันปาล์มให้เลือกในการตั้งค่าเริ่มต้นของชนิดเชื้อเพลิงได้ จึงจำเป็นต้องหาค่าของ CO<sub>2</sub> จากการคำนวณ โดยอาศัย O<sub>2</sub> ที่วัดได้ ดังนี้

$$\%CO_2 = \frac{CO_{2,max} (21\% - \%O_2)}{21\%}$$

โดยที่ 21% = ปริมาณ O<sub>2</sub> ที่มีอยู่ในบรรยากาศทั่วไป, %

%O<sub>2</sub> = ปริมาณ O<sub>2</sub> ที่เหลือจากขบวนการเผาไหม้, %

CO<sub>2,max</sub> = คาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดจากการเผาไหม้สมบูรณ์ในฐานของไอเสียแห้ง

โดยค่าของ CO<sub>2,max</sub> หาได้จากการสมดุลสมการการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์มในฐานของไอเสียแห้ง

$$CO_{2,max} = \frac{n_{CO_2}}{n_{CO_2} + n_{N_2} + n_{SO_2}}$$

โดยที่  $n$  = จำนวนของไอเสียแต่ละชนิดของผลปฏิกิริยา

ในตัวอย่างการคำนวณนี้จะใช้ข้อมูลจากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อ Vaperizer เท่ากับ 1.5 ที่ Fire Power เท่ากับ 4.0 kW จากตาราง ง.14 มาใช้เป็นข้อมูลตัวอย่างในการคำนวณ ดังนี้

1. เริ่มจากการหาค่าของ  $CO_{2,max}$  จากขบวนการเผาไหม้สมบูรณ์

$$\text{โดยที่ } n_{CO_2} = 0.3433705 \text{ mole}$$

$$n_{N_2} = 1.7837016 \text{ mole}$$

$$n_{SO_2} = 0.0000170 \text{ mole}$$

เพราะฉะนั้น

$$CO_{2,max} = \frac{0.3433705}{0.3433705 + 1.7837016 + 0.000017} = 16.14$$

2. ข้อมูลจากหัวเผาน้ำมันปาล์มที่มีความยาวท่อ Vaperizer เท่ากับ 1.5 ที่ Fire Power เท่ากับ 4.0 kW จะได้ % $O_2$  ที่เหลือจากการเผาไหม้ เท่ากับ 5.23% นำค่าไปคำนวณหา (% $CO_2$ ) โดย

$$\%CO_2 = \frac{16.14 \times (21 - 5.23)}{21} = 12.09\%$$

3. ทำเช่นนี้ในทุกๆ หัวเผาและแต่ละอัตราไหลก็จะได้ค่า(% $CO_2$ ) ตามต้องการ

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายบุญส่ง เพ็ชรน้อย
วัน เดือน ปีเกิด	9 มกราคม พ.ศ. 2519 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	3/2 หมู่ 3. ต. คลองห้า อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12120
ประวัติการศึกษา	2543 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 2539 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง แผนกช่างยนต์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี

### ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

พ.ศ. 2548	“ Development and Performance Evaluation of Premixed Palm Oil Burner. ” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19
-----------	--