

หัวเผาน้ำมันพืชสำหรับการหุงต้ม

VEGETABLE OIL BURNER FOR COOKING PURPOSES



นายฉันท์ เกษตรสุวรรณ

นายชวลิต อริยะพัฒนาพาณิชย์

นายฉัฐสิทธิ์ พองสมุทร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ดร. จารุวัตร เจริญสุข



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขหมึก.....  
เลขทะเบียน **45985**  
วัน, เดือน, ปี **27 ก.พ. 2546**

b.....  
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

611264821

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หัวเผ้าน้ำมันพืชสำหรับการหุงต้ม

VEGETABLE OIL BURNER FOR COOKING PURPOSES

ผู้จัดทำ

1. นายฉันท์ เกษตรสุวรรณ รหัสประจำตัว 41014588
2. นายชวลิต อริยะพัฒน์พาณิชย์ รหัสประจำตัว 41014594
3. นายณัฐสิทธิ์ ฟองสมุทร รหัสประจำตัว 41014611





อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.จาร์วัตร เจริญสุข)

## หัวเผื่อน้ำมันพืชสำหรับการหุงต้ม

นายฉันท์ เกษตรสุวรรณ 41014588  
 นายชวลิต อริยะพัฒน์พาณิชย์ 41014594  
 นายณัฐสิทธิ์ ฟองสมุทร 41014611  
 ผศ.ดร. จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา  
 ปีการศึกษา 2544

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้เชื้อเพลิงประเภทก๊าซที่นิยมใช้ในการประกอบอาหารหรือที่รู้จักกันทั่วไปว่าก๊าซหุงต้มอาหาร (LPG) ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป ส่งผลให้เชื้อเพลิงประเภทนี้มีราคาสูงขึ้น ดังนั้นเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันจึงมีบทบาทเข้ามาแทนที่ แต่เชื้อเพลิงประเภทน้ำมันบางชนิดก็ยังคงจำเป็นต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแสดงถึงการนำน้ำมันพืชซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตขึ้นได้เองในประเทศรวมทั้งน้ำมันพืชที่ผ่านการประกอบอาหารแล้ว มาทำให้เกิดประโยชน์ โดยการทดแทนก๊าซหุงต้มที่กำลังจะหมดไป

โครงการนี้จะเป็นการพัฒนาลักษณะของหัวเผื่อน้ำมัน โดยให้เผาไหม้ร่วมกับก๊าซหุงต้ม เพื่อใช้ความร้อนจากก๊าซหุงต้มทำให้เกิดการระเหยและการจุดติดไฟของน้ำมัน โดยจะนำเสนอการออกแบบลักษณะ การผสมกันของอากาศกับไอน้ำมัน ทำการแก้ปัญหาการจุดติด โดยออกแบบการส่งน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้ แก้ปัญหาเรื่องของเขม่าควันเนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยปรับปรุงลักษณะการผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศ เพื่อให้ความร้อนถ่ายเทไปยังภาชนะหุงต้มได้มากที่สุด

## VEGETABLE OIL BURNER FOR COOKING PURPOSES

Chan kasetsuvan

Chavalit Ariyapattanapanich

Nuttasit Fongsamut

Assist. Prof. Dr. Jaruwat Charoensuk Advisor

### ABSTRACT

Recently, the common fuel used for cooking is LPG. It is not a renewable energy resource with increasing in cost. Therefore, vegetable oil becomes more attractive, especially for Thailand. This project shows that how to reuse the used vegetable oil as a fuel instead of LPG.

This project concerns the development of combustor of used vegetable oil, by allowing this operation works with liquefied petroleum gas (LPG) and obtaining heat from LPG for heating the vegetable oil up to their auto-ignition temperature. The purposed design is achieved by improving the oil inlet to avoid blockage by unburned oil or soot. Mixing between air and fuel is also improved in order to maximize heat transfer to the cooking utensil.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สำเร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน ซึ่งบุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ก็คือ ผศ.ดร.จรรูวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์คำริ จันท์แสงสุก ที่ให้สถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงการนี้ น้า มลทา และพี่ปริญาโท ที่ให้ความเอาใจใส่ สอบถาม แนะนำและช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้พวกกระผมมีวันนี้ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่งซึ่งได้เลี้ยงดูพวกกระผมเป็นอย่างดีตลอดมา พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่อย่างเสมอมาในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ พวกผมขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาทและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายฉันท์ เกษตรสุวรรณ

นายชวลิต อริยะพัฒน์พาณิชย์

นายฉัตรฐิติธิ์ ฟองสมุทร



## สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ทฤษฎีการเผาไหม้	3
2.2 คุณสมบัติของก๊าซ แอลพีจี	15
2.3 คุณสมบัติของน้ำมันพืช	17
บทที่ 3 การออกแบบและการคำนวณ	
3.1 หัวเผาต้นแบบตัวที่ 1	23
3.2 หัวเผาต้นแบบตัวที่ 2	27
3.3 หัวเผาต้นแบบตัวที่ 3	29
3.4 หัวเผาต้นแบบตัวที่ 4	33
3.5 หัวเผาต้นแบบตัวที่ 5	34
3.6 หัวเผาต้นแบบตัวที่ 6	35
บทที่ 4 การสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์	
4.1 ส่วนประกอบของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 4	37
4.2 การสร้างอุปกรณ์ของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 4	37
4.3 การติดตั้งอุปกรณ์	39
4.4 ส่วนประกอบของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 6	40
4.5 การสร้างอุปกรณ์ของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 6	40
4.6 การติดตั้งอุปกรณ์	42

## สารบัญ

	หน้าที่
บทที่ 5 ผลการทดสอบ	
5.1 การทดสอบหัวเผาต้นแบบตัวที่ 4	45
5.2 การทดสอบหัวเผาต้นแบบที่ 6	46
5.3 การทดสอบเตาแก๊สแอลพีจี	46
บทที่ 6 บทสรุป	48
บรรณานุกรม	49



## สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	แสดงค่าพลังงานความร้อนของสสาร	2
2.2	ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของสารต่างๆ	5
2.3	แสดงองค์ประกอบของอากาศ	6
2.4	องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	7
2.5	อุณหภูมิติดไฟของเชื้อเพลิงในอากาศ	11
2.6	ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้กับเชื้อเพลิงและเตาเผาแบบต่างๆ	13
2.7	คุณสมบัติของแอลพีจีสถานะของเหลว	15
2.8	ค่าความร้อนของการเผาไหม้ก๊าซแอลพีจี	16
3.1	แสดงจุดที่น้ำมันพืชสามารถติดไฟได้เอง	25
3.2	ผลการทดลองหัวเผาต้นแบบตัวที่ 3	32
5.1	ผลการทดลองของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 4	45
5.2	ผลการทดลองของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 6	46
6.1	การวิเคราะห์ผลการทดลอง	47

## สารบัญภาพ

รูปที่	ชื่อภาพ	หน้า
3.1	ภาพ 2 มิติหัวเผาต้นแบบตัวที่ 1	24
3.2	ภาพแผนผังการจ่ายความร้อน	27
3.3	ภาพ 3 มิติของหัวเผา ต้นแบบตัวที่ 2	28
3.4	ภาพ 2 มิติของหัวเผา ต้นแบบตัวที่ 2	28
3.5	ภาพฉายด้านบนหัวเผาต้นแบบตัวที่ 3	30
3.6	ภาพหน้าตัดของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 3 แสดงทางเข้าออกน้ำมัน	30
3.7	ภาพ 3 มิติของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 3	30
3.8	ภาพชุดห้องเผาไหม้ด้านนอกของ หัวเผาต้นแบบตัวที่ 4	33
3.9	ภาพชุดห้องเผาไหม้ด้านในของ หัวเผาต้นแบบตัวที่ 4	33
3.10	ภาพชุดหัวเผาด้านนอกและภาพตัดขวาง ของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 5	34
3.11	ภาพ 3 มิติของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 6	35
3.12	ภาพ 2 มิติของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 6	36
4.1	ภาพวาล์วปีกผีเสื้อ	37
4.2	ภาพถังส่งน้ำมัน	38
4.3	ภาพห้องเผาไหม้แบบ Swirl ด้านในและ แบบ Swirl ด้านนอก	38
4.4	ภาพห้องเผาไหม้แบบ Swirl ด้านในและ แบบ Swirl ด้านนอกประกอบเสร็จ	39
4.5	ภาพการประกอบวาล์วปีกผีเสื้อเข้ากับ Blower	39
4.6	ภาพชุดประกอบเสร็จสมบูรณ์	40
4.7	ภาพชุดแก๊สหุงต้มธรรมดา	40
4.8	ภาพถึงความดัน	41
4.9	ภาพ Pressure guage และชุดวาล์ว	41
4.10	ภาพหัวเผาต้นแบบตัวที่ 6	42
4.11	ภาพหัวฉีด Nozzle	42
4.12	ภาพชุดหัวเตาแก๊สหุงต้ม	43
4.13	ภาพการติดตั้งหัวเผาต้นแบบตัวที่ 6	43
4.14	ภาพชุดประกอบเสร็จสมบูรณ์	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

แม้เมื่อเร็วๆ นี้มนุษย์เราก็กังเห็นว่าพลังงานเป็นสิ่งซึ่งไม่มีวันหมดสิ้น เพราะมันมีอยู่ตลอดเวลาที่เราต้องการ ดังนั้น จึงไม่มีเหตุผลอะไรที่ต้องไปคำนึงถึงว่า คืออะไร หรือมาจากไหน แต่มาทุกวันนี้ ผู้คนกำลังวิตกกังวลใจเพราะเกิดพบว่า เรากำลังใช้พลังงานสำคัญๆ เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน ให้หมดสิ้นลงอย่างรวดเร็วเหลือเกิน จึงถึงเวลาที่เรารวมทุกคนต้องช่วยกันคิดอย่างจริงจังแล้วว่า ในอนาคตเราจะได้พลังงานมาจากไหน เพราะในโลกทุกวันนี้ไม่มีอะไรเลยที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน หรือกับการขาดพลังงาน

ก๊าซ เป็นเชื้อเพลิงอย่างหนึ่งในจำนวนหลายอย่างที่พวกเราใช้กันมาก โคนแทบไม่ทันคิดว่าพลังงานมาจากไหน และมาถึงเราได้ได้อย่างไร เวลาจุดไฟเข้ากับหัวเตาที่ในครัว เราก็คิดเสมอว่ามีก๊าซอยู่ที่นั่น เราปรับเปลี่ยนไฟให้สูงต่ำด้วยความเชื่อมั่นว่าการส่งก๊าซมายังหัวเตานั้นจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ แต่การที่เปลวไฟเกิดมีที่หัวเตาได้อย่างนั้นก็เพราะว่า นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรได้พากันใช้ความเชี่ยวชาญของเขาสำรวจหาก๊าซจนพบ แล้วนำมันจากแหล่งกักเก็บที่อยู่ลึกกลงไปได้ดินชั้นมายังปากหลุม ซึ่งบางครั้งก็ต้องเผชิญอุปสรรคและอันตรายใหญ่หลวงกว่าจะเจาะลงไปถึงแล้วขนส่งเชื้อเพลิงนั้นมาตามท่อขนส่งและใส่เรือบรรทุกซึ่งมักเป็นระยะทางที่ไกลมาก ก๊าซธรรมชาตินับเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุดแหล่งหนึ่งของเรา แต่ก็เช่นเดียวกับเชื้อเพลิงธรรมชาติจากซากดึกดำบรรพ์ทั้งหลาย นั่นคือ มันจะไม่มีอยู่ตลอดกาล

เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว เราจึงนำมันพืชที่ประเทศไทยสามารถผลิตได้เอง รวมถึงน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาแทนเชื้อเพลิงประเภทก๊าซ โดยออกแบบให้หัวเผาที่ใช้กับน้ำมันพืชสามารถใช้งานได้กับเครื่องครัวจริงๆ ซึ่งเราคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่ประหยัดกว่าก๊าซหุงต้ม

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการจุดติดไฟของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว
2. เพื่อออกแบบ และสร้างหัวเผาน้ำมันพืชสำหรับการหุงต้ม
3. เพื่อการทดสอบหาเงื่อนไขการทำงานของอุปกรณ์ที่ออกแบบขึ้น และหาประสิทธิภาพในการนำไปใช้งาน

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้ขอบเขตการออกแบบและสร้างหัวเผาน้ำมันพืชสำหรับการหุงต้ม รวมทั้งคำนวณหาประสิทธิภาพของหัวเผาแต่ละตัวในช่วงที่สามารถใช้งานได้จริง

#### 1.4 วิธีการดำเนินงาน

โครงการนี้ทำการศึกษาการจุดติดไฟของน้ำมันพืชและสร้างหัวเผา น้ำมันพืช โดยมีทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ซึ่งประกอบไปด้วย ทฤษฎีการเผาไหม้ ทฤษฎีทางอุณหพลศาสตร์ สมการทางเคมี

เมื่อได้ศึกษาทฤษฎีดังกล่าวแล้วจึงทำการออกแบบหัวเผา น้ำมันพืช และทำการทดลองหาประสิทธิภาพของหัวเผา น้ำมันพืชแต่ละตัว

#### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ลดปริมาณการใช้ก๊าซหุงต้มลง
2. ลดค่าใช้จ่ายในการหุงต้ม โดยเป็นการลดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงจากก๊าซหุงต้ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

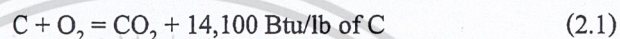
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 ทฤษฎีการเผาไหม้

การเผาไหม้เป็นการเกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างรวดเร็วของออกซิเจนกับส่วนประกอบที่เผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิง สารเผาไหม้ได้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ 3 อย่าง ได้แก่ คาร์บอน, ไฮโดรเจน และซัลเฟอร์ ซัลเฟอร์จะมีความสำคัญน้อยในการเป็นแหล่งความร้อน แต่มีความสำคัญในกรณีที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนและปัญหามลพิษ

คาร์บอนและไฮโดรเจนเมื่อถูกเผาไหม้โดยสมบูรณ์กับออกซิเจน สามารถแสดงได้ตามสมการ



อากาศมีส่วนประกอบของออกซิเจน ปฏิกิริยาของการเผาไหม้จะเป็น exothermic (ปฏิกิริยาคายความร้อน) และจะปล่อยความร้อนออกมาประมาณ 14,100 Btu/lb ของคาร์บอนที่ถูกเผาไหม้และ 61,100 Btu/lb ของไฮโดรเจนถูกเผาไหม้

ในการเผาไหม้ที่ดีจะต้องปล่อยความร้อนออกมาทั้งหมด ขณะที่เกิดการสูญเสียจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และการใช้อากาศส่วนเกินน้อยที่สุด

การรวมกันของส่วนประกอบที่เผาไหม้ได้และองค์ประกอบของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนต้องการอุณหภูมิที่สูงเพียงพอที่จะทำให้ห้องค้ประกอบต่าง ๆ ติดไฟ (ignite) การผสมกันหรือความปั่นป่วน (mixing or turbulence) และเวลาที่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์, แฟลคเตอร์ที่สำคัญนี้เรียกว่า “Three T.” ของการเผาไหม้

ในตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบทางเคมีและองค์ประกอบต่าง ๆ ที่พบในเชื้อเพลิงน้ำหนักโมเลกุล, ความร้อนของการเผาไหม้และค่าคงที่ของการเผาไหม้อื่น ๆ ในเทอม “100% ของอากาศทั้งหมด” (100% total air) ในตารางที่ 1 หมายถึง ความต้องการอากาศพอดี 100% ตามทฤษฎีสำหรับการเผาไหม้ ถ้าจำนวนเปอร์เซ็นต์สูงมากขึ้นแสดงความต้องการอากาศตามทฤษฎีรวมกับอากาศส่วนเกิน เช่น 125% ของอากาศทั้งหมด หมายถึง 100% ของความต้องการอากาศตามทฤษฎีรวมกับ 25% ของอากาศส่วนเกิน

มวลของสารในรูปของปอนด์ที่เท่ากับน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซนั้น เรียกว่า ปอนด์โมล ของสารตัวอย่างคาร์บอน (C) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 12 ปอนด์ ดังนั้น 1 โมลของคาร์บอนหนัก 12 ปอนด์ ในรูปของก๊าซมีปริมาตรในรูปของโมล เรียกว่า “Molal Volume” และสำหรับก๊าซอุดมคติจะมีค่าคงที่เท่ากับ 394 ลบ.ฟุต อุณหภูมิที่ 80°F และที่ความดันบรรยากาศ (ประมาณ 14.7 psia หรือ 30 นิ้วปรอท)

**2.1.1 การคำนวณโมลในการเผาไหม้การคำนวณการเผาไหม้ในรูปของก๊าซผสม (Gaseous mixture) สามารถแสดงโดยใช้โมล เพราะปริมาตรที่เท่ากันของก๊าซที่ความดันและอุณหภูมิหนึ่งจะมีจำนวนโมล**

เท่ากัน ตามกฎของอะโวกาโด (Avogadro's law) และน้ำหนักของก๊าซที่ปริมาตรเท่ากันเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซนั้น

ถ้า  $M$  เป็นน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซ 1 โมล ดังนั้นน้ำหนักของก๊าซเท่ากับ  $M$  ปอนด์ ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซแสดงตามตารางที่ 2.1

$$1 \text{ mole ของ } O_2 = 21 \text{ ปอนด์ของ } O_2$$

$$1 \text{ mole ของ } H_2 = 2 \text{ ปอนด์ของ } H_2$$

$$1 \text{ mole ของ } CH_4 = 16 \text{ ปอนด์ของ } CH_4$$

จากตารางที่ 2.1 สามารถใช้แสดง ที่ความดันและอุณหภูมิหนึ่งที่คงที่ ปริมาตรของก๊าซ 1 โมล จะขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซนั้น ที่  $60^\circ F$  และความดันบรรยากาศ (30 นิ้วปรอท) ปริมาตรจำเพาะของออกซิเจนเป็น 11.819 ลบ.ฟุต/ปอนด์ ดังนั้น 1 โมลของออกซิเจนมีปริมาตร =  $32 \times 11.819 = 378.21$  ลบ.ฟุต ในทำนองเดียวกันที่  $60^\circ F$  และความดันบรรยากาศ ค่าปริมาตรจำเพาะของไฮโดรเจนเป็น 187.723 ลบ.ฟุต/ปอนด์ และ 1 โมลของไฮโดรเจนมีปริมาตรเท่ากับ  $2.016 \times 187.723 = 378.45$  ลบ.ฟุต



สารที่เผาไหม้ได้	ปฏิกิริยาเคมี	โมล	ปอนด์	ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (Btu/lb)
คาร์บอน (เป็นคาร์บอนมอนนอกไซด์)	$2C+O_2 = 2CO$	$2+1 = 2$	$24 \text{ lbs} + 32 \text{ lbs} = 56 \text{ lbs}$	3,960
คาร์บอน (เป็นคาร์บอนไดออกไซด์)	$C+O_2 = CO_2$	$1+1 = 1$	$12+32 = 44$	14,100
คาร์บอนมอนนอกไซด์	$2CO+O_2 = 2CO_2$	$2+1 = 2$	$56+32 = 88$	4,345
ไฮโดรเจน	$2H_2 + O_2 = 2H_2O$	$2+1 = 2$	$4+32 = 36$	61,100
ซัลเฟอร์ (เป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์)	$S + O_2 = SO_2$	$1+1 = 1$	$32+32 = 64$	3,980
มีเทน (Methane)	$CH_4+2O_2 = CO_2+2H_2O$	$1+2 = 1+2$	$16+64 = 80$	23,875
อะเซทีลีน (Acetylene)	$2C_2H_2+5O_2 = 4CO_2+2H_2O$	$2+5 = 4+2$	$52+160 = 212$	21,500
เอทีลีน (Ethylene)	$C_2H_4+3O_2 = 2CO_2+2H_2O$	$1+3 = 2+2$	$28+96 = 124$	21,635
อีเทน (Ethane)	$2C_2H_6+7O_2 = 4CO_2+6H_2O$	$2+7 = 4+6$	$60+224 = 284$	22,325
ไฮโดรเจน ซัลไฟด์ (Hydrogen-Sulfide)	$2H_2S+3O_2 = 2SO_2+2H_2O$	$2+3 = 2+2$	$68+96 = 164$	7,100

ตารางที่ 2.2 ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของสารต่าง ๆ

ที่มา : Steam/its generation and use

เศษส่วนโมลขององค์ประกอบของผสม (Mixture) คือ จำนวนโมลขององค์ประกอบหารด้วยผลรวมจำนวนโมลขององค์ประกอบทั้งหมดของของผสม จำนวนโมลของก๊าซอุดมคติที่มีปริมาตรเดียวกัน ตามกฎของอะโวกาโดร์ (Avogadro's law) ของผสมของก๊าซอุดมคติ ค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบจะเท่ากับเศษส่วนปริมาตร

$$\frac{\text{โมลขององค์ประกอบ}}{\text{โมลทั้งหมด}} = \frac{\text{ปริมาตรขององค์ประกอบ}}{\text{ปริมาตรทั้งหมดของของผสม}} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบ	องค์ประกอบของอากาศแห้ง	
	% โดยปริมาตร	% โดยน้ำหนัก
ออกซิเจน (O <sub>2</sub> )	20.99	23.15
ไนโตรเจน (N <sub>2</sub> )	78.03	76.85
ก๊าซเฉื่อย (Inert)	0.98	-

ตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของอากาศ

\* เพื่อความสะดวกในการคำนวณจะรวมก๊าซเฉื่อยกับไนโตรเจน ซึ่งได้น้ำหนักเป็น

เปอร์เซ็นต์เท่ากับ 76.85% และปรับน้ำหนักโมเลกุลของอากาศเป็น 29

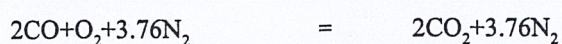
% ความชื้น = 1.3% โดยน้ำหนัก (ค่ามาตรฐานของหม้อไอน้ำโรงงาน-ABMA) หมายถึงอากาศ

ประกอบด้วย 0.013 ปอนด์น้ำ/ปอนด์อากาศแห้ง

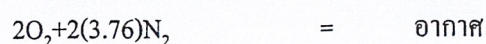
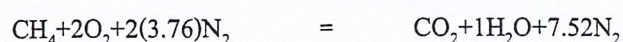
การพิจารณากระบวนการเผาไหม้จะพิจารณาในส่วนของเชื้อเพลิงกับออกซิเจน ออกซิเจนมาจากอากาศ ซึ่งประกอบด้วย ไนโตรเจน, ออกซิเจน, ไอน้ำ และก๊าซเฉื่อย (Inert gas) เช่น อาร์กอน (Argon), นีออน (Neon) และฮีเลียม (Helium) ตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของอากาศ

$$\begin{aligned}
 \frac{\text{โมลอากาศ}}{\text{โมลของออกซิเจน}} &= \frac{\text{ลบ.ฟุตของอากาศ}}{\text{ลบ.ฟุตของออกซิเจน}} && (2.4) \\
 &= \frac{100}{20.99} = 4.76 \\
 \frac{\text{โมลของ N}_2}{\text{โมลของ O}_2} &= \frac{79.01}{20.99} = 3.76 \\
 \frac{\text{ปอนด์ของอากาศแห้ง}}{\text{ปอนด์ของ O}_2} &= \frac{100}{23.15} = 4.32 \\
 \frac{\text{ปอนด์ของ N}_2}{\text{ปอนด์ของ O}_2} &= \frac{76.85}{23.15} = 3.32
 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 2.2 สามารถใช้แสดงอากาศแทนในออกซิเจน ถ้าวรวม 3.76 โมลของ N<sub>2</sub> เข้าทั้งสองข้างของสมการ เช่น



หรือ สำหรับมีเทน



ตัวอย่างสำหรับการคำนวณโดยวิธีใช้โมลของเชื้อเพลิงก๊าซ การรายงานการวิเคราะห์ปริมาณขององค์ประกอบของก๊าซ โดยการแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามตารางที่ 2.4

องค์ประกอบของเชื้อเพลิง	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
CH <sub>4</sub>	85.3
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	12.6
CO <sub>2</sub>	0.1
N <sub>2</sub>	1.7
O <sub>2</sub>	0.3
<b>รวม</b>	<b>100.0</b>

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของเชื้อเพลิง แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

การวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิงนี้ แสดงจำนวนโมลของ CH<sub>4</sub> เป็น 85.3 mole ต่อ 100 โมลของเชื้อเพลิง ; 12.6 mole ของ C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> ต่อ 100 โมลของเชื้อเพลิง เป็นต้น การแตกองค์ประกอบของแต่ละองค์ประกอบในรูปของ mole ต่อ 100 mole ของเชื้อเพลิง เช่น

$$\text{C ใน CH}_4 = 85.3 \times 1 = 85.3 \text{ moles}$$

$$\text{C ใน C}_2\text{H}_6 = 12.6 \times 2 = 25.2 \text{ moles}$$

$$\text{C ใน CO}_2 = 0.1 \times 1 = 0.1 \text{ moles}$$

$$\text{C ทั้งหมดต่อ 100 moles ของเชื้อเพลิง} = 110.6 \text{ moles}$$

$$\text{H}_2 \text{ ใน CH}_4 = 85.3 \times 2 = 170.6 \text{ moles}$$

$$\text{H}_2 \text{ ใน C}_2\text{H}_6 = 12.6 \times 3 = 37.8 \text{ moles}$$

$$\text{H}_2 \text{ ทั้งหมดต่อ 100 โมลของเชื้อเพลิง} = 208.4 \text{ moles}$$

$$\text{O}_2 \text{ ใน CO}_2 = 0.1 \times 1 = 0.1 \text{ moles}$$

$$\text{O}_2 = 0.3 \times 1 = 0.3 \text{ moles}$$

$$\text{O}_2 \text{ ทั้งหมดต่อ 100 โมลของเชื้อเพลิง} = 0.4 \text{ moles}$$

$$\text{N}_2 \text{ ทั้งหมดต่อ 100 โมลของเชื้อเพลิง} = 1.7 \text{ moles}$$

และการวิเคราะห์ไอเสีย (Fuel gas) ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง gas สามารถแสดงได้โดย

องค์ประกอบ	% by volume
CO <sub>2</sub>	10.4
O <sub>2</sub>	2.8
N <sub>2</sub>	86.8

การวิเคราะห์ไอเสีย (Fuel gas) จะแสดงในรูปของปริมาตรแห้งโดยการใช้ Orsat หรือเครื่องมือชนิดอื่นในการวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (Fuel gas) จะถูกทำให้เป็นที่อุณหภูมิห้องและเป่าผ่านน้ำ ดังนั้น ก๊าซจะถูกทำให้เป็นไอน้ำอิ่มตัว (Saturated with Water Vapor) สัดส่วนของไอน้ำที่เป็นส่วนประกอบของก๊าซจะถูกดูดซับ (Absorbed) โดยองค์ประกอบที่แตกต่างกันของก๊าซ ซึ่งจะแสดงผลในรูป % อากาศแห้งได้แก่ CO<sub>2</sub> 10.4 โมล, O<sub>2</sub> 2.8 โมล, N<sub>2</sub> 86.8 โมลต่อ 100 โมลของไอเสียแห้ง (Dry flue gas)

สำหรับแต่ละโมลของคาร์บอน (C) ที่ถูกเผาไหม้จะทำให้เกิดเป็น 1 โมลของ CO<sub>2</sub> และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิง พบว่าคาร์บอน (C) ทั้งหมดต่อ 100 โมลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 110.6 โมล ดังนั้นจะเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) 110.6 โมล และจากการวิเคราะห์ไอเสีย (Flue gas) พบว่าคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) 10.4 โมล มาจากไอเสีย 100 โมล ดังนั้นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) 1 โมล มาจากไอเสีย =  $\frac{100}{10.4} = 9.62$  ถ้าปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด 100 โมล จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) =

$$110.6 \times 9.62 = 1064 \text{ โมลของไอเสียแห้ง}$$

จากการวิเคราะห์ไอเสีย น้ำหนักโมเลกุลของไอเสียแห้ง (Dry Flue Gas) สามารถหาได้จาก

10.4	mole ของ CO <sub>2</sub> หนัก 10.4 x 44 lb	=	457.6 lb
2.8	mole ของ O <sub>2</sub> หนัก 2.8 x 32 lb	=	89.6 lb
86.8	mole ของ N <sub>2</sub> หนัก 86.8 x 28 lb	=	2430.4 lb
100	mole ของ Mole dry flue gas	=	2977.6 lb

ดังนั้น 1 โมลของไอเสียแห้งเท่ากับ 29.8 lb หรือน้ำหนักสมมูลโมเลกุล (Equivalent Molecular Weight) ของไอเสียแห้ง เท่ากับ 29.8 ดังนั้นน้ำหนัก 1064 โมลของไอเสียแห้งเป็น 1,064 x 29.8 = 31,700 lb หรือ 100 โมลของเชื้อเพลิงให้ผล 31,700 lb ของไอเสียแห้ง (Dry Flue Gas)

น้ำหนัก 100 โมลของเชื้อเพลิงเป็นผลรวมของแต่ละองค์ประกอบกับน้ำหนักโมเลกุลของแต่ละองค์ประกอบนั้น

CH <sub>4</sub>	85.3x16	=	1,365
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	12.6x30	=	378
CO <sub>2</sub>	0.1x44	=	4.4
N <sub>2</sub>	1.7x28	=	47.6
O <sub>2</sub>	0.3x32	=	9.6
100 โมล		=	1,804 lb

ดังนั้น 1,805 lb ของเชื้อเพลิงก๊าซทำให้เกิดไอเสียแห้ง 31,700 lb ของแต่ละ lb ของเชื้อ

$$\text{เพลิงก๊าซทำให้เกิดไอเสียแห้ง} = \frac{31,700}{1,805} = 17.6 \text{ lb}$$

### 2.1.2 ความร้อนจากการเผาไหม้ (Heat of Combustion)

ความร้อนจากการเผาไหม้จะเกี่ยวข้องกับสัมพันธกับน้ำหนักและปริมาตร ของเชื้อเพลิงกับออกซิเจน หรืออากาศในกระบวนการเผาไหม้ในเตาเผา พลังงานความร้อนเกิดจากสารที่เผาไหม้ได้แต่ละตัวกับออกซิเจน ซึ่งการเผาไหม้ต้องดำเนินไปจนกระทั่งให้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย

1 lb ของคาร์บอนทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ทำให้เกิดความร้อน (ประมาณ 14,000 Btu, ตามตารางที่ 2.2) พลังงานนี้เป็นการเกิดในขั้นตอนเดียวเพื่อสร้าง  $\text{CO}_2$  ถ้าภายใต้เงื่อนไขอื่น พลังงานจะแยกออกเป็น 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกจะเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งจะให้ความร้อนประมาณ 3,960 Btu (carbon) และในขั้นที่สองของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ได้รับความร้อนเพื่อรวมกันเป็น  $\text{CO}_2$  และปล่อยพลังงานออกมา 10,140 Btu/lb (C) 14,345 Btu/lb (O) อย่างไรก็ตามผลรวมของความร้อนที่ถูกปล่อยทั้งสองขั้นตอนเท่ากับ 14,100 Btu เมื่อคาร์บอนถูกเผาไหม้ในขั้นตอนเดียว เพื่อให้เกิด  $\text{CO}_2$  เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย

การออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการเผาไหม้ วิธีการเผาไหม้จะต้องเป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนและเกิดเป็น  $\text{CO}_2$  ไม่ควรเกิด CO ถ้า C รวมตัวกันเป็น CO แทนที่จะเป็น  $\text{CO}_2$  พบว่ามีความร้อนที่ปล่อยออกมาประมาณ 28% ของความร้อนที่ใช้ประโยชน์ (Available heat) ของคาร์บอนที่ถูกปล่อยจากเชื้อเพลิง

### 2.1.3 การวัดความร้อนจากการเผาไหม้ (Measurement of Heat of Combustion)

หน่วยความร้อนของการเผาไหม้เชื้อเพลิงมีหน่วยเป็น Btu ค่าความร้อนของการเผาไหม้สามารถหาได้โดยใช้แคลอรีมิเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการเผาไหม้ ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ในแคลอรีมิเตอร์จะถูกทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิเริ่มต้นและความร้อนที่ถูกดูดโดยตัวกลางที่เย็น ซึ่งเป็นตัวที่วัดค่าเพื่อหาค่าความร้อนสูงหรือความร้อนทั้งหมดของการเผาไหม้ (Higher or gross heat of combustion)

สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลว (Most liquid Flues) ใช้ แคลอรีมิเตอร์แบบ "bomb" ซึ่งสารที่เผาไหม้ได้จะถูกเผาในปริมาตรที่คงที่ของออกซิเจนใน Bomb Calorimeters ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ความร้อนทั้งหมดที่สมบูรณ์ ความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซับ (absorbed) และวัดค่า

สำหรับเชื้อเพลิงแคลอรีมิเตอร์ใช้ชนิดต่อเนื่อง (Continuous) หรือชนิดการไหลที่คงที่ (Constant-flow type) หลักการทำงานเบื้องต้นคล้ายกับ Bomb Calorimeter ยกเว้นความร้อนที่ถูกบรรจุอยู่ สามารถแสดงที่ความดันคงที่มากกว่าปริมาตรคงที่สำหรับเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ความแตกต่างของค่าความร้อน (Heating Value) จากค่าความดันคงที่และปริมาตรที่คงที่ที่แตกต่างกันน้อยมาก

สำหรับความเที่ยงตรงของค่าความร้อน (Heating Value) ของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลว ค่าความร้อนสามารถประมาณได้จากสูตรของ Dulong's กรณิทรูปค่า Ultimate Chemical Analysis

$$\frac{\text{Btu}}{\text{lb}} = 14,544C + 62,028\left(\text{H}_2 - \frac{\text{O}_2}{8}\right) + 405S$$

จากสูตรนี้ สัญลักษณ์ ถูกแทนโดยเศษส่วนโดยน้ำหนักขององค์ประกอบของเชื้อเพลิงคาร์บอน, ไฮโดรเจน, ออกซิเจน, ซัลเฟอร์ โดยวิเคราะห์หาจาก Ultimate Analysis สปส.แทนโดยประมาณจากค่า Heating Value ขององค์ประกอบในรูปของ  $\frac{\text{Btu}}{\text{lb}}$  เทอม  $\frac{\text{O}_2}{8}$  แสดงในรูปของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปของน้ำ (ไฮโดรเจนที่พร้อมจะรวมกับออกซิเจนในรูปของความชื้น)

#### 2.1.4 อุณหภูมิของจุดติดไฟ (Ignition Temperature)

อุณหภูมิของจุดติดไฟ หมายถึง อุณหภูมิซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้มากกว่าความร้อนที่สูญเสียไปกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้น กระบวนการเผาไหม้กลายเป็นกระบวนการดำเนินการได้เอง (self-sustaining)

อุณหภูมิตัดไฟและสารที่เผาไหม้ได้จะแปรตามชนิดของสารนั้น ตามตารางที่ 2.5 ซึ่งแสดงอุณหภูมิต่ำสุดและช่วงของอุณหภูมิในอากาศสำหรับเชื้อเพลิงและองค์ประกอบของสารเผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิง มีแฟกเตอร์หลายอย่างที่มีผลต่ออุณหภูมิการติดไฟ เช่น ความดัน, ความเร็ว, ระบบที่ล้อมรอบ (Enclose Configuration), วัสดุที่เป็นตัวเร่ง (Catalytic Materials), การผสมกันของอากาศ, เชื้อเพลิง และจุดที่ติดไฟมีตัวแปรบางอย่าง

อุณหภูมิตัดไฟ (Ignition Temperature) จะลดลงกับการเพิ่มขึ้นของความดันและเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น

Combustible	Formula	Temperature °C
Sulfur	S	470
Charcoal	C	650
Fix carbon (semibituminous coal)	C	765
Fix carbon (anthracite)	C	840-1115
Acetylene	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	580-825
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	880-1165
Ethylene	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	900-1020
Hydrogen	H <sub>2</sub>	1065-1095
Methane	CH <sub>4</sub>	1170-1380
Carbon Monoxide	CO	490-560
Kerosene	-	490-560
Gasoline	-	500-800

ตารางที่ 2.5 อุณหภูมิติดไฟของเชื้อเพลิงในอากาศ

### 2.1.5 การคำนวณการเผาไหม้

การคำนวณการเผาไหม้เป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการออกแบบทั้งหมดและเป็นการประเมินสมรรถนะทั้งหมดของหม้อไอน้ำและองค์ประกอบส่วนอื่น ๆ ส่วนประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

- 1) ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่มีการเปลี่ยนแปลง
- 2) ปริมาณของความร้อนที่ปล่อยออกมา
- 3) ประสิทธิภาพของกระบวนการเผาไหม้ทั้งเงื่อนไขในอุดมคติและความจริง

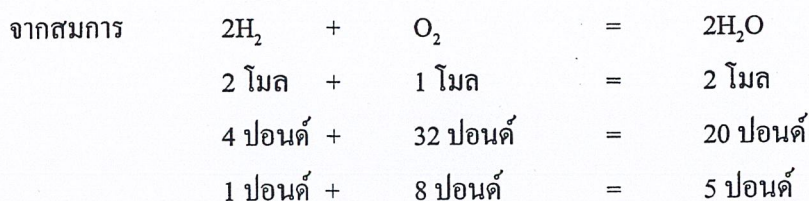
#### 2.1.5.1 อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้

ถ้าคาร์บอน, ไฮโดรเจน, และซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบที่เผาไหม้ในเชื้อเพลิงอากาศที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้ 1 ปอนด์ และเชื้อเพลิงตามทฤษฎี

$$A_t = 11.53C + 34.34\left(\frac{H_2}{8}\right) + 4.29S \quad (2.5)$$

ซึ่ง C, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> และ S เป็นส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอน, ไฮโดรเจน, ออกซิเจน, ซัลเฟอร์

ค่าคงที่ในสมการ 2.5 ได้จากตารางที่ 2.2 ซึ่งตัวแปร  $\frac{O_2}{8}$  ในเทอมของ  $(H_2 - \frac{O_2}{8})$  เป็นเศษส่วนโดยน้ำหนักของไฮโดรเจนที่รวมกับ O<sub>2</sub> ในเชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปของไอน้ำ



1 ปอนด์ ของ  $\text{H}_2$  ทำปฏิกิริยากับ 8 ปอนด์ของ  $\text{O}_2$  หรือ  $\text{H}_2 : \text{O}_2$  เท่ากับ 1 : 8 ดังนั้นน้ำหนักของ  $\text{H}_2$  จะเท่ากับน้ำหนักของ  $\frac{\text{O}_2}{8}$

ถ้าเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิงก๊าซ ที่แตกตัวอยู่ในรูปของไฮโดรคาร์บอนในองค์ประกอบของเชื้อเพลิง ปริมาณของอากาศของอากาศจะแปรตามองค์ประกอบของเชื้อเพลิง โดยใช้ค่าคงที่ตามตารางที่ 2.2 สำหรับปริมาณอากาศที่ต้องการ ในการเผาไหม้ (lb air/lb fuel) เชื้อเพลิงก๊าซที่ประกอบด้วยก๊าซเผาไหม้ได้ หลายชนิด ได้แก่

$$A_1 = 2.47\text{CO} + 34.34\text{H}_2 + 17.27\text{CH}_4 + 13.30\text{C}_2\text{H}_2 + 14.81\text{C}_2\text{H}_4 + 16.12\text{C}_2\text{H}_6 + 6.10\text{H}_2\text{S} - 4.32\text{O}_2 \quad (2.6)$$

สัญลักษณ์โมเลกุล หมายถึง เศษส่วน โดยน้ำหนักขององค์ประกอบของก๊าซ (gaseous compound) ถ้าการวิเคราะห์เชื้อเพลิงก๊าซแสดงในรูป เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จากตารางที่ 2.4 สามารถแสดงความต้องการอากาศสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซได้ ตัวอย่างเช่น

$$A_1 = 2.38(\text{CO} + \text{H}_2) + 9.53\text{CH}_4 + 11.91\text{C}_2\text{H}_2 + 14.29\text{C}_2\text{H}_4 + 16.68\text{C}_2\text{H}_6 + 7.15\text{H}_2\text{S} - 4.76\text{O}_2 \quad (2.7)$$

สัญลักษณ์โมเลกุล หมายถึง เศษส่วน โดยปริมาตรขององค์ประกอบของก๊าซ (gaseous compound) ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้สามารถหาได้จากตารางที่ 1 ถ้าสมมติให้การเผาไหม้เป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กับอากาศตามทฤษฎี ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ซึ่งแสดงในรูป ปอนด์ผลลัพธ์จากการเผาไหม้ต่อปอนด์ของเชื้อเพลิง แสดงได้ดังนี้

$$\text{CO}_2 = 3.656\text{C}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 8.94\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}^*$$

$$\text{SO}_2 = 2.00\text{S}$$

$$\text{N}_2 = 8.86\text{C} + 26.41\left(\text{H}_2 - \frac{\text{O}_2}{8}\right) + 3.29\text{S} + \text{N}_2^x$$

$$* = \text{เศษส่วน โดยน้ำหนักของ } \text{H}_2\text{O} \text{ ในเชื้อเพลิงในรูปของความชื้น}$$

$$x = \text{เศษส่วน โดยน้ำหนักของ } \text{N}_2 \text{ ในเชื้อเพลิงในรูปของ } \text{N}_2$$

สัญลักษณ์โมเลกุล หมายถึง เศษส่วน โดยน้ำหนักขององค์ประกอบของก๊าซ (Gaseous compound)

### 2.1.5.2 การสูญเสีย (Losses)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงไม่ได้เปลี่ยนไปเป็นความร้อนทั้งหมด มีบางส่วนที่ถูกดูดซับโดยส่วนของเตาเผา หรือบางส่วนของเชื้อเพลิงก็ไม่ถูกเผาไหม้ทำให้เกิดคาร์บอนคงเหลืออยู่ในรูปของเถ้า (Ash) หรือคาร์บอนถูกเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ แทนที่จะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ปกติ  $H_2$  ในเชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้ทั้งหมด ความร้อนที่สูญเสียส่วนใหญ่จะเป็นการสูญเสียที่ปล่อง เพราะความร้อนในเชื้อเพลิงจะหาจากที่อุณหภูมิบรรยากาศ ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดของการเผาไหม้ถูกทำให้เย็นจนเท่ากัน ถ้าหากความร้อนทั้งหมดถูกนำไปใช้ประโยชน์อุณหภูมิที่สูงกว่าหมายถึงความสูญเสียที่สูญเสียรวมจาก

1. Sensible heat ของไอเสียแห้ง
2. Sensible heat ในความชื้นของอากาศ
3. Sensible heat ใน  $H_2O$  ในเชื้อเพลิง
4. Latent heat ของความชื้นในเชื้อเพลิง

ในทางปฏิบัติ มีความต้องการอากาศมากกว่าปริมาณอากาศตามทฤษฎีเพื่อเป็นการประกันว่าปริมาณออกซิเจนจะเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ อากาศส่วนเกินจากไม่มีความจำเป็นถ้าหากการเผาไหม้ระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์ แต่มีความจำเป็นในการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินให้น้อยที่สุด เพื่อลดการสูญเสียในปล่องอากาศส่วนเกินไม่ได้ใช้ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ปล่อยออกมาที่อุณหภูมิปล่อง ความต้องการความร้อนเพื่อที่จะทำให้อากาศร้อนขึ้นจากอุณหภูมิห้องเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิปล่อง การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินสำหรับเชื้อเพลิงและเตาเผาแบบต่าง ๆ แสดงตามตารางที่ 2.6 ซึ่งในการใช้ความร้อนนี้ทำให้เกิดความร้อนสูญเสียได้

Fuel	Type of Furnace or Burners	Excess Air % by Weight
Pulverized coal	Completely water-cooled furnace for slag-tap or dry-ash-removal	15-20
	Partially water-cooled furnace for dry-ash-removal	15-40
Crushed Coal Coal	Cyclone Furnace-pressure or suction	10-15
	Spreader Stoker	30-60
	Water-cooled vibrating-grate stoker	30-60
	Chain-grate and traveling-grate stokers	
Fuel Oil	Underfeed stoker	15-50
		20-50
	Oil burners, register-type	5-10
	Mutifuel burners and flat-flame	10-20

Fuel	Type of Furnace or Burners	Excess Air % by Weight
Acid sludge	Cone and flat-flame type Burners, steam-atomized	10-15
Natural, coke-oven, and refinery gas	Register-type burners Mutifuel burners	5-10 7-12
Blast-furnace gas Wood	Intertube nozzle-type burners Dutch oven (10-23% through grates) And Hoff-type	15-18 20-25
Bagass	All furnace	25-35
Black liquore	Recovery furnaces for kraft and soda- Pulping processes	5-7

ตารางที่ 2.6 ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้กับเชื้อเพลิงและเตาเผาแบบต่าง ๆ

นอกจากนี้ยังมี Inherent heat losses ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ และยังมีความร้อนที่สูญเสียอีกหลาย  
อย่างที่สามารถควบคุมได้ในบางอย่าง Inherent heat losses เป็นผลเนื่องมาจาก

1) การกระจายของผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศ  
2) ความร้อนในองค์ประกอบของเชื้อเพลิงรวมกับผลรวมของไฮโดรเจนกับออกซิเจนในเชื้อเพลิง  
เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการสูญเสียความร้อน สามารถทำได้โดยการออกแบบที่ดีและการควบคุมการ  
ทำงานที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถลดการสูญเสียความร้อนให้น้อยที่สุดโดยการ

- 1) การควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกิน
- 2) การปล่อยให้มิของแข็งที่ไม่สามารถเผาได้ป้อนมาในถ้ำหรือกากของเสียจากการเผาไหม้
- 3) การปล่อยให้ก๊าซที่ไม่ถูกเผาไหม้ได้ปล่อยออกไปกับก๊าซเสีย
- 4) การใช้ฉนวนหุ้มอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากการแผ่รังสี

ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหรือหม้อไอน้ำเป็น 100 ลบด้วยผล  
รวมของความร้อนที่สูญเสียในรูปของเปอร์เซ็นต์

## 2.2 คุณสมบัติของก๊าซ LPG

2.2.1 คุณสมบัติทางเคมี ของก๊าซ LPG หมายถึงก๊าซ ไฮโดรคาร์บอน ที่มีส่วนประกอบของคาร์บอน C ในระดับ C3 และ C4 ซึ่งในระดับนี้ไฮโดรคาร์บอนจะสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวได้ภายใต้ความดันที่ไม่สูงมากนักที่อุณหภูมิปกติไฮโดรคาร์บอนกลุ่มนี้ประกอบด้วย

โพรเพน	Propane	$C_3H_8$
โพรปีรีน	Propylene	$C_3H_6$
บิวเทน	Butane	$C_4H_{10}$
บิวไทรน	Butylene	$C_4H_8$

และมีสารประกอบที่ไม่ใช่ ไฮโดรคาร์บอน รวมอยู่บ้างเล็กน้อยเช่น Ethane  $C_2H_6$ , Ethylene  $C_2H_4$

เนื่องจากความหลากหลายของส่วนประกอบทำให้มีการตั้งมาตรฐานก๊าซ แอลพีจี ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงให้แน่ชัดและเป็นข้อมูลในการออกแบบระบบให้ถูกต้องและปลอดภัย

อย่างไรก็ตาม C3 และ C4 ที่ปรากฏอยู่ในส่วนผสมของก๊าซแอลพีจี อาจแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่คือพวก Saturated และ Unsaturated ซึ่งทั้งสองกลุ่มนี้ต่างกันตรงลักษณะการจับตัวของคาร์บอนอะตอม

กลุ่ม Saturated hydrocarbon ได้แก่ Propane ,N – Butane, iso – Butylene

กลุ่ม Unsaturated hydrocarbon ได้แก่ Propylene, n – Butylene , iso – Butylene

2.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ ของก๊าซแอลพีจีนั้นมีทั้งลักษณะของเหลวและก๊าซ ซึ่งมีคุณสมบัติต่างกันดังนี้

### 2.2.2.1 สถานะของเหลว

เนื่องจากแอลพีจีมีจุดเดือดต่ำมากคือ โพรเพน  $-42$  องศาเซลเซียส นอร์มัลบิวเทน  $-0.5$  องศาเซลเซียส ไอโซบิวเทน  $11.7$  องศาเซลเซียส ดังนั้นแอลพีจีจะมีจุดเดือดและมีสถานะเป็นก๊าซที่บรรยากาศ เว้นเสียแต่ถูกอัดด้วยความดันอยู่ภายในถัง ค่าความดันที่ทำให้เป็นของเหลวคือความดันไอของแอลพีจีเอง

	โพรเพน	นอร์มัลบิวเทน	ไอโซบิวเทน
น้ำหนักโมเลกุล	44.097	58.124	58.124
จุดเดือด (องศาเซลเซียสที่ 1 ความดันบรรยากาศ)	-42.045	-0.50	-11.72
อุณหภูมิวิกฤต(องศาเซลเซียส)	96.67	152.03	134.99
ความดันวิกฤต(บรรยากาศ)	41.94	37.47	36.00

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของแอลพีจีสถานะของเหลว

### 2.2.2.2 สถานะก๊าซ

ช่วงการลุกไหม้(Flammability Limits in Air) ก๊าซที่สันดาปได้จะมีช่วงส่วนผสมกับอากาศเพียงช่วงเดียวที่จุดไฟแล้วลุกไหม้ได้ เพราะอากาศผสมอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะช่วงการลุกไหม้ได้จะแสดงค่าแสดงค่าเป็นร้อยละ ของปริมาตร ก๊าซต่ออากาศ ค่าความเข้มข้นสูงของช่วงการลุกไหม้เรียกว่าค่าขอบบน ส่วนทางด้านต่ำเรียกว่า ค่าขอบล่างแอลพีจี (ของผสมระหว่างโพรเพนกับบิวเทน) จะลุกไหม้ในช่วง 2-9 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยโปรเปน มีช่วงการลุกไหม้ 2.4-9.5% ในอากาศ และ บิวเทน มีช่วงการลุกไหม้ 1.8-8.4% ในอากาศ ถ้าส่วนผสมมากหรือน้อยกว่านี้จะไม่ลุกติดไฟ

- อุณหภูมิของการจุดติดไฟ (Ignition Temperature) เมื่อค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิให้กับเชื้อเพลิงจนเลยอุณหภูมิค่าหนึ่งแล้ว แม้จะไม่มีประกายไฟหรือสาเหตุของการติดไฟ เชื้อเพลิงก็จะลุกไหม้เองตามธรรมชาติอุณหภูมิต่ำสุดที่เริ่มเกิดการลุกไหม้ตามธรรมชาตินี้เรียกว่าอุณหภูมิของการจุดติดไฟ ของโปรเปนคือ 460-580 องศาเซลเซียส ของบิวเทนคือ 410-550 องศาเซลเซียส

- อุณหภูมิของเปลวไฟ (Flame Temperature) อุณหภูมิของเปลวไฟที่ได้มาจากการเผาไหม้ของแอลพีจีมีสูงมากพอที่จะหลอมละลายโลหะต่างๆได้เช่นเหล็กหล่อ ทองเหลือง อลูมิเนียม และแก้วเป็นต้น โดย โปรเปน มีอุณหภูมิเปลวไฟในอากาศ 1,930 องศาเซลเซียส และบิวเทน 1,900 องศาเซลเซียส

- อัตราส่วนปริมาตรของเหลว/ก๊าซ (Liquid/Vapor Volume Ratio ) แอลพีจีเหลวเมื่อกลายเป็นก๊าซ ปริมาตรจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากโดย โปรเปน 1 หน่วยปริมาตรเมื่อกลายเป็นก๊าซแล้วจะมีปริมาตรเป็น 27 หน่วย ที่ 15.5 องศาเซลเซียส ส่วนบิวเทน 1 หน่วยปริมาตรเมื่อกลายเป็นก๊าซแล้วจะมีปริมาตรเป็น 233 หน่วย ที่ 15.5 องศาเซลเซียส

- ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of Combustion) ค่าความร้อนของก๊าซ แอลพีจี หมายถึง ปริมาณความร้อนที่เกิดจากการนำเอาก๊าซแอลพีจี หนึ่งหน่วยน้ำหนัก หรือหนึ่งหน่วยปริมาตรมาเผาไหม้ ที่ความดันและอุณหภูมิปกติ ( 25 องศาเซลเซียส) ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	โปรเปน	นอร์มัลบิวเทน	ไอโซบิวเทน
Gross : กิโลแคลอรี/กก.	11,943	11,742	11,714
บีทียู/ปอนด์	21,497	21,135	21,085
กิโลแคลอรี/ลบ.ม.	23,700	30,600	30,500
บีทียู/ลบ.ฟุต	2,663	3,438,	3,427
Net : กิโลแคลอรี/กก.	10,989	10,837	10,810
บีทียู/ปอนด์	19,780	19,506	19,458
กิโลแคลอรี/ลบ.ม.	22,250	29,400	29,200
บีทียู/ลบ.ฟุต	2,500	3,304	3,281

ตารางที่ 2.8 ค่าความร้อนของการเผาไหม้ก๊าซแอลพีจี

หมายเหตุ Gross หมายถึง เมื่อน้ำที่ได้จากการเผาไหม้อยู่ในสถานะของเหลว

Net หมายถึง เมื่อน้ำที่ได้จากการเผาไหม้อยู่ในสถานะไอ

- ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Air Requirement)

ก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีผสมอยู่ในอากาศ 21% โดยปริมาตรและเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าไปในห้องเผาไหม้ จะต้องมีปริมาณที่แน่นอน ในกรณีที่ก๊าซแอลพีจีเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ทั้งหมด ก็จะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ การเปลี่ยนแปลงนี้เขียนเป็นสมการเคมีได้ ดังต่อไปนี้



ดังนั้นได้จากสมการเหล่านี้ ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต่อการเผาไหม้สมบูรณ์ จะเป็น 5 เท่าในกรณีของโพรเพนและ 6.5 เท่า ในกรณีของบิวเทน เนื่องจาก ปริมาณออกซิเจนในอากาศมีประมาณ 21% ฉะนั้นในการเผาไหม้โพรเพนอย่างสมบูรณ์ 1 ลูกบาศก์เมตร จะต้องใช้อากาศ 24 ลบ.เมตร ส่วนบิวเทน 1 ลบ.เมตร จะใช้อากาศ 31 ลบ.เมตร ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินแล้ว แอลพีจี ต้องการปริมาณอากาศมากกว่าเล็กน้อย

- สี กลิ่น ความเป็นพิษและการละลาย

แอลพีจี บริสุทธิ์ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตก๊าซแอลพีจี จึงต้องเติมสารประกอบที่มีกลิ่นเหม็นลงไปด้วย เพื่อให้ผู้ใช้รู้ตัวเมื่อก๊าซแอลพีจีเกิดรั่ว หรือผู้ใช้ลืมปิดวาล์วใช้ก๊าซ สารประกอบที่เติมลงไปเพื่อทำให้ก๊าซ แอลพีจี มีกลิ่นเหม็น เป็นสารพวก เมอร์แคปแทน (mercaptan)

ตัวแอลพีจีเองเป็นสารไม่มีพิษ แต่ในกรณีที่เกิดการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ก็จะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้เช่นกัน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากไม่มีสารพิษร้ายแรง เช่น Tetraethyl Lead ซึ่งมีอยู่ในน้ำมันเบนซิน ฉะนั้นก๊าซเสีย (ไอเสีย) ของแอลพีจี จึงสะอาดเมื่อเทียบกับการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซิน

นอกจากนี้ก๊าซแอลพีจี มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย (Solvent) เช่นเดียวกับพวกน้ำมันระเหย จึงสามารถละลายหรือทำให้อุปกรณ์ต่างๆ ที่ทำมาจากยางธรรมชาติ เสียคุณสมบัติได้ เช่น ปะเก็น หรือซีลต่างๆ ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้กับถังที่บรรจุก๊าซแอลพีจี ควรใช้วัสดุอื่นที่ไม่ได้ทำมาจากยางธรรมชาติ เช่น ยางสังเคราะห์ เป็นต้น

2.3 คุณสมบัติของน้ำมันพืช

2.3.1 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช

น้ำมันพืชเป็นสารประกอบอินทรีย์สารจำพวกเอสเทอร์ เกิดจากปฏิกิริยาของสารพวกแอลกอฮอล์ที่เรียกว่ากลีเซอรอลกับกรดอินทรีย์ที่เรียกว่ากรดไขมัน ซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ ดังรูป น้ำมันพืชจะสลายตัวให้กลีเซอรอล และกรดไขมันที่อุณหภูมิสูงๆ กรดไขมันเกิดออกซิเดชันทำให้ถูกไหม้ได้ แต่กลีเซอรอลจะไม่เกิด



$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$	Palmitic Acid ( $\text{C}_{16:0}$ )
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{15}-\text{COOH}$	Stearic Acid ( $\text{C}_{18:0}$ )
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	Oleic Acid ( $\text{C}_{18:1}$ )

### 2.3.2 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันพืช

น้ำมันพืชเป็นเอสเทอร์ระหว่างกลีเซอรอลกับกรดไขมัน คุณสมบัติทางเคมีจะขึ้นกับปฏิกิริยาในโมเลกุลไขมันตรงพันธะเอสเทอร์และในโมเลกุลกรดไขมัน

### 2.3.3 ปฏิกิริยาที่พันธะเอสเทอร์

พันธะเอสเทอร์จะสลายได้ง่ายในกรดหรือด่าง ถ้าสลายในปฏิกิริยาอาจผันกลับได้ (Reversible) แต่ถ้าสลายตัวในด่างจะไม่เกิดการผันกลับ (Irreversible) เพราะถ้ามีด่างจะทำให้กรดที่มีอยู่แตกตัวเป็นไอออนลบ และมีแนวโน้มไม่ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ผลจากการสลายพันธะเอสเทอร์ทำให้เกิดการเปลี่ยนหมู่กรดไขมันและแอลกอฮอล์ สารใหม่ที่ได้จะเป็นอะไรขึ้นกับสารที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

### 2.3.4 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืช

การทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันพืชจะใช้มาตรฐานของน้ำมันดีเซลเป็นตัวเปรียบเทียบ โดยคุณสมบัติของน้ำมันพืชที่ใช้ในการทดสอบจะบ่งบอกถึงความยากง่ายในการติดไฟ และอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด ความร้อนจำเพาะ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ จุดเดือด จุดวาบไฟ ค่าความร้อน และน้ำหนักโมเลกุล

#### 2.3.4.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะ หมายถึง ค่าความหนาแน่นของน้ำมัน โดยวัดความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิมาตรฐาน 15 องศาเซลเซียส เครื่องมือที่ใช้วัดความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเรียกว่า ไฮโดรมิเตอร์ ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ดังนั้นความบริสุทธิ์ของน้ำมันแต่ละชนิดสามารถบอกได้จากค่าความถ่วงจำเพาะ

#### 2.3.4.2 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น หมายถึง มวลน้ำมันต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ความหนาแน่นของน้ำมันขึ้นอยู่กับการชাপอนนิฟิเคชัน ค่าไอโอดีน ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณน้ำ และอุณหภูมิของน้ำมัน โดยที่ค่าความหนาแน่นจะเปลี่ยนแปลงไป เมื่อค่าชাপอนนิฟิเคชัน และเมื่อค่าไอโอดีนเพิ่มขึ้น

### 2.3.4.3 ความร้อนจำเพาะ (Specific heat)

ความร้อนจำเพาะ หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำมันหนึ่งหน่วยมวลมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ที่สภาวะความดันคงที่ หรือปริมาตรคงที่

ความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชและไขมันหาได้จากสมการ

$$C = 0.47 + 0.00073T \quad (2.10)$$

เมื่อ

C = ค่าความร้อนจำเพาะ, kCal/kg °C

T = อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำมัน, °C

### 2.3.4.4 ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent heat)

ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้สารหนึ่งหน่วยมวลเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ที่อุณหภูมิและความดันคงที่ สามารถหาค่าดังกล่าวได้จากสมการ

$$L = (110.9 - 0.09t) \frac{2.328}{Spgr} \quad (2.11)$$

เมื่อ

L = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ, kJ/kg

T = อุณหภูมิการกลายเป็นไอ, °F

Spgr = ความถ่วงจำเพาะที่ 60/60 °F

### 2.3.4.5 จุดเดือด (Boiling point)

จุดเดือด หมายถึง อุณหภูมิของเชื้อเพลิงซึ่งความดันไอของเชื้อเพลิงเหลวเท่ากับความดันบรรยากาศที่กระทำที่ผิวหน้าของเชื้อเพลิง น้ำมันพืชประกอบด้วยสารประกอบทางเคมีหลายชนิด และมีช่วงการเดือดกว้าง ค่าจุดเดือดสามารถหาได้จากค่าเฉลี่ยซึ่งสามารถหาได้โดยนำน้ำมันตัวอย่าง 100 มิลลิลิตรมากลั่นตามมาตรฐาน ASTM D86 บันทึกค่าอุณหภูมิที่ปริมาตรการกลั่นเริ่มจากหยดแรกของการกลั่น และทุก 10 เปอร์เซ็นต์ปริมาตรที่กลั่นได้ นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาตรที่กลั่นได้ โดยให้แกน x เป็นปริมาตรที่กลั่นได้ และแกน y เป็นอุณหภูมิ จากนั้นหาสมการของเส้นกราฟซึ่งอุณหภูมิเป็นฟังก์ชันของปริมาตร ( $y = f(x)$  หรือ  $t_{bp} = f(v)$ ) หาพื้นที่เฉลี่ยใต้กราฟ นำปริมาตรทั้งหมดไปหาพื้นที่เฉลี่ยภายใต้เส้นกราฟ จะได้อุณหภูมิจุดเดือดเฉลี่ยของน้ำมัน

### 2.3.4.6 จุดวาบไฟ และจุดติดไฟ (Flash point and Fire point)

จุดวาบไฟ คือ อุณหภูมิต่ำสุดของของเหลวที่ไอของน้ำมันเกิดติดไฟและดับทันที จุดนี้หาได้จากค่อยๆ ให้ความร้อนแก่น้ำมัน พอถึงจุดๆหนึ่ง(อุณหภูมิจะเกิดเปลวไฟกวาดไปบนพื้นผิวหน้าน้ำมันวบบนหนึ่งและดับ ส่วนจุดติดไฟ คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่ไอน้ำมันเกิดติดไฟ และติดอยู่ได้ไม่ต่ำกว่า 5 วินาที

### 2.3.4.7 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของน้ำมันมีอิทธิพลต่อรูปร่างของละอองน้ำมันที่ฉีดออกมาจากหัวฉีด หากน้ำมันมีความหนืดสูงจะทำให้การฉีดเป็นฝอยไม่ดี ละอองน้ำมันมีขนาดใหญ่ น้ำมันจะพุ่งไปไกลและเป็นสาย ทำให้น้ำมันรวมกับอากาศได้ไม่ดี ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ น้ำมันที่มีความหนืดต่ำไป จะทำให้น้ำมันที่พ่นออกมาเป็นฝอยละเอียดมากจึงพุ่งไปไม่ไกลเท่าที่ควร การเผาไหม้จะไม่ดี โดยทั่วไปน้ำมันเชื้อเพลิงมักจะมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 1.8-4.1 Cst ที่ 40 องศาเซลเซียส

### 2.3.5 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว

#### 2.3.5.1 การกลายเป็นไอ

การกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงเหลวมีความสำคัญต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงและมีผลต่อการควบคุมอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง โดยองค์ประกอบที่มีผลกระทบต่อกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงมีหลายประการดังนี้

1. การแพร่กระจายของเชื้อเพลิงเหลวซึ่งทำให้อัตราการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น โดยการแพร่กระจาย ทำให้อัตราการเผาไหม้มากขึ้น ปกติทำได้โดยให้เชื้อเพลิงเป็นละออง
2. พลังงานความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอในกระบวนการเผาไหม้
3. ความดันขณะที่เชื้อเพลิงเหลวกลายเป็นไอมิมีความสำคัญกล่าวคือ ขณะที่ความดันเพิ่มขึ้น จะทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นทำให้เชื้อเพลิงเหลวกลายเป็นไอมากขึ้นตามไปด้วย เชื้อเพลิงเหลวที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก เมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัว การแพร่กระจายของเชื้อเพลิงเหลวเกิดจากการให้ความดันสถิตแก่เชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านหัวฉีด ทำให้เชื้อเพลิงเป็นละออง หยดเชื้อเพลิงที่ออกจากหัวฉีดจะมีความดันไม่คงที่ ส่วนที่ระเหยง่ายจะถูกดีดไฟ ผลจากไอเชื้อเพลิงผสมกับอากาศทำให้เกิดปฏิกิริยาก่อนการเผาไหม้

#### 2.3.5.2 การผสมของไอเชื้อเพลิงเหลวกับอากาศ

หลังจากเชื้อเพลิงเหลวกลายเป็นไอ และผสมกับอากาศก่อนเกิดการเผาไหม้ ลักษณะของขบวนการผสมของไอเชื้อเพลิงและอากาศมีความสำคัญ คือ การเผาไหม้จะแตกต่างกันระหว่างเชื้อเพลิงเหลวเป็นไอหมดก่อนการเผาไหม้ และเชื้อเพลิงเหลวถูกล้อมรอบด้วยเปลวไฟ และเกิดการเผาไหม้

### 2.4 ทฤษฎีทางอุณหพลศาสตร์

กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์สำหรับระบบปิด (มวลควบคุม) กล่าวว่า พลังงานที่เข้าหรือออกจากระบบ โดยสุทธิซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความร้อนและงานนั้น ย่อมเท่ากับการเปลี่ยนแปลงของพลังงานทั้งหมดของในระบบ และเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$${}_1Q_2 - {}_1W_2 = E_2 - E_1 = U_2 - U_1 + 1/2m(C_2^2 - C_1^2) + mg(Z_2 - Z_1) \quad (2.12)$$

โดยที่	${}_1Q_2$	คือปริมาณความร้อนถ่ายเทเข้าระบบ
	${}_1W_2$	คืองานที่ให้กับระบบ
	$U_2 - U_1$	คือการเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายในของระบบ
	$\frac{1}{2}m(C_2^2 - C_1^2)$	คือการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์ของระบบ
	$mg(Z_2 - Z_1)$	คือการเปลี่ยนแปลงของพลังงานศักย์ของระบบ



## บทที่ 3

### การออกแบบและการคำนวณ

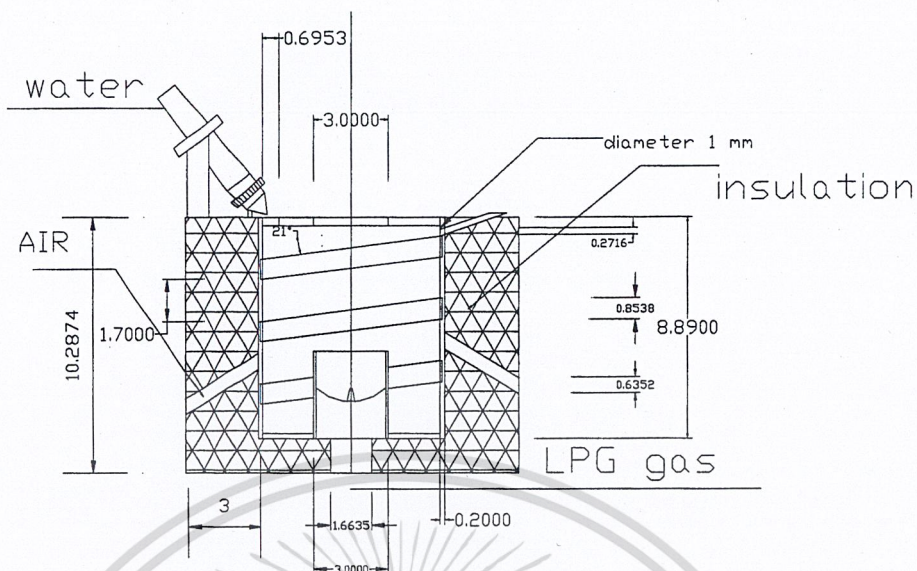
#### 3.1 หัวเผาต้นแบบตัวที่ 1

##### 3.1.1 การจุดติดไฟของหัวเผาน้ำมันพืช

โดยปกติน้ำมันทุกชนิดจะสามารถติดไฟเองได้ ถ้ามีอุณหภูมิถึงจุดที่สามารถติดไฟเองได้ ซึ่งน้ำมันพืชก็เช่นกัน ดังนั้นจะทำการอุ่นน้ำมันโดยใช้ความร้อนจากแก๊สหุงต้ม ในขณะที่ทำอาหารเมื่อน้ำมันพืชมีอุณหภูมิถึงจุดที่สามารถติดไฟได้เองแล้วจะทำการปิดแก๊สหุงต้ม และใช้ไฟจากน้ำมันพืชหุงต้มอาหารแทน และแบ่งพลังงานส่วนหนึ่งมาอุ่นน้ำมันต่อ โดยจะสามารถเก็บกักความร้อนไว้โดยการหุ้มฉนวน แต่ในการจะอุ่นน้ำมันจนสามารถติดไฟได้ต้องใช้เวลาพอสมควร ดังนั้นจึงใช้น้ำฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ของหัวเผาเพื่อลดแรงดึงผิวของน้ำมันพืช โดยน้ำที่ฉีดเข้าไปจะมีลักษณะเป็นฝอย จะได้มีการกระจายตัว ปลอดภัยแรงดึงผิวของน้ำมัน ได้ครวละหลายจุด นอกจากนี้ยังต้องมีอากาศพอสำหรับการเผาไหม้ จึงเจาะหัวเผาให้อากาศสามารถไหลเข้าไปผสมแบบ Swirl ได้ทำให้สามารถนำพลังงานจากน้ำมันพืชมาใช้หุงต้มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

##### 3.1.2 หลักการออกแบบ

หัวเผานี้จะเป็นหัวเผาที่พร้อมใช้งานกับหัวแก๊สหุงต้ม ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันโดยการออกแบบให้สามารถวางหัวแก๊สหุงต้ม ไว้ด้านบนหัวเผาได้ อีกทั้งยังเป็นการอุ่นน้ำมันพืชให้ถึงอุณหภูมิที่จะสามารถติดไฟได้เอง นอกจากนี้เนื่องจากเวลาหุงต้ม น้ำมันพืชจะหมดไป ดังนั้น หัวเผาจะมีระบบส่งน้ำมันพืชผ่านท่อ และจะไหลลงหัวเผาในลักษณะเป็นเกลียว เพื่อทำให้ปริมาณน้ำมันพืชค่อนข้างคงที่ และเป็นการอุ่นน้ำมันพืชอีกทางหนึ่ง เพราะขณะที่น้ำมันพืชไหลเข้ามาจะมีความร้อนจากผนัง ให้แก่น้ำมันพืชที่เข้ามาใหม่ จะมีการหุ้มฉนวนเพื่อกักความร้อนไว้ และเนื่องจากขณะเผาไหม้ อากาศที่เข้ามาผสมมีไม่พอ เพราะฉะนั้นจึงเจาะรูให้อากาศไหลเข้าผสมกับไอน้ำมันพืช โดยอาศัยหลักการอากาศร้อนลอยสูงขึ้นอากาศเย็นไหลเข้าแทนที่ และจะออกแบบให้เหนียวลมเข้าไปแบบ swirl เพื่อการผสมของอากาศกับไอน้ำมันพืชที่ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 3.1 ภาพ 2 มิติหัวเผาต้นแบบตัวที่ 1

### 3.1.3 การคำนวณ

เราจะใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวอย่างในการคำนวณ ซึ่งจากตารางที่ 1 เราจะได้ค่าการจุดติดไฟของน้ำมันถั่วเหลือง และเราจะทำการออกแบบได้ตามขั้นตอนดังนี้

#### 3.1.3.1 สมมติค่าเพื่อใช้ในการคำนวณ

- ที่สภาวะคงที่
- คุณสมบัติต่างๆ คงที่ ( $k, \rho$ )
- ไม่คิดความแตกต่างของความสูงและความเร็ว
- $\eta_c = 100\%$  (การเผาไหม้สมบูรณ์)
- น้ำมันที่ใช้แล้วมีคุณสมบัติที่ยังไม่ผ่านการใช้

#### 3.1.3.2 เลือก Alumina-silicon fiber เป็นฉนวน

#### 3.1.3.3 ท่อเหล็ก ขนาด 3 นิ้ว

#### 3.1.3.4 NOZZLE diameter 0.03 cm

#### 3.1.3.5 COMPRESSOR output 15-psi weight 600 gm, 17 cc

#### 3.1.3.6 NOZZLE diameter 0.2 mm

#### 3.1.3.7 กำหนดอุณหภูมิห้องเท่ากับ 27 องศาเซลเซียส

#### 3.1.3.8 กำหนดอุณหภูมิในหัวเผาเท่ากับ 400 องศาเซลเซียส ที่สามารถทำให้น้ำมันพืชถั่วเหลืองสามารถติดไฟได้

ชนิดน้ำมัน	จุดเกิดควัน	จุดเผาไหม้
น้ำมันละหุ่ง	200 องศาเซลเซียส	335 องศาเซลเซียส
น้ำมันข้าวโพด	277 องศาเซลเซียส	359 องศาเซลเซียส
น้ำมันถั่วเหลือง	256 องศาเซลเซียส	356 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3.1 แสดงจุดที่น้ำมันพืชสามารถติดไฟได้เอง

### 3.1.3.9 คำนวณหาค่าจนวนจากสมการ

$$r_{cr} = k/h_o \quad (3.1)$$

### 3.1.3.10 คำนวณสมการการเผาไหม้

ส่วนผสมของน้ำมันถั่วเหลือง PALMITIC 8.3%, STEARIC 5.4%, OLEIC 24.9%, LINOLEIC 52.7%, LINOLENIC 7.9%, ARACHIDIC 0.9%

PALMITIC



STEARIC



OLEIC



LINOLEIC



LINOLENIC



ARACHIDIC



3.1.3.11 คำนวณปริมาณน้ำที่ใส่เข้าไปเพื่อลดแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวหน้าของน้ำมันพืช จากสมการ

$$(m_f c_{pf} \Delta T + m_a c_{pa} \Delta T + m_w h_w)_i + Q = (m_{w,g} h_g + m_a c_{pa} \Delta T)_e \quad (3.8)$$

โดยกำหนดให้  $Q = Q_{in} - Q_{loss} \quad (3.9)$

$$Q = 0.8(Q_{LHV} + Q_{NOZZLE}) \quad (3.10)$$

เนื่องจากการสูญเสีย HEAT LOSS ประมาณ 20%

โดยกำหนดค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\dot{m}_f$  คือ มวลที่ไหลของน้ำมัน

$\dot{m}_a$  คือ มวลที่ไหลของอากาศ

$\dot{m}_w$  คือ มวลที่ไหลของน้ำ

$m_{w,g} = m_{w,g}$  ของน้ำที่ให้เข้าไป +  $m_{w,g}$  จากสมการการเผาไหม้

ค่า  $Q_{LHV}$  คือ ค่าพลังงานที่น้ำมันพีชให้ออกมา 36400 kJ/kg

ค่า  $Q_{NOZZLE}$  คือ ค่าพลังงานที่ต้องการจาก NOZZLE

$$Q_{NOZZLE} = Q_{LHV} * (\text{ค่า Safety factor} = 1.2) \quad (3.11)$$

$$= 43680 \text{ kJ/kg}$$

$\Delta T$  = ค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

$h_w$  = ค่าเอนทาลปีของน้ำ ที่ 25 องศาเซลเซียส

$h_g$  = ค่าเอนทาลปีของไอน้ำที่ออกมา 400 องศาเซลเซียส

$c_p$  = Specific heat

### 3.1.4 ค่าที่ได้จากการคำนวณ

ค่าที่ได้จากสมการการเผาไหม้

คือ น้ำมันถั่วเหลือง 1 Mole จะใช้อากาศ จำนวน 25.034 Mole และเกิด  $\text{CO}_2$  จำนวน 17.84 mole  
เกิด  $\text{H}_2\text{O}$  จำนวน 16.395 Mole

คิดเทียบเป็นกรัม น้ำมันถั่วเหลือง 1 กรัม ใช้อากาศ 12.380 กรัม และเกิด  $\text{CO}_2$  2.8168 กรัม เกิด  
 $\text{H}_2\text{O}$  0.6989 กรัม เกิด  $\text{N}_2$  9.442 กรัม

ค่า  $c_p$  ที่หาได้จากการเปิดตารางเทอร์โมไดนามิก

$$c_{pa} = 1.005 \text{ kJ/kg.K}$$

$$c_{pf} = 2.504 \text{ kJ/kg.K}$$

$$c_p \text{ ของสารต่างๆ } \text{CO}_2 = 48.943 \text{ kJ/kmol.K}$$

$$\text{N}_2 = 30.681 \text{ kJ/kmol.K}$$

$$h_g = 3278.2 \text{ kJ/kg}$$

และจากการแทนค่าต่างๆ แล้ว จะหาความสัมพันธ์ได้ว่า

สำหรับน้ำมัน 100 g จะต้องใช้ น้ำสเปรย์ เข้าไป 1.9705 kg เพื่อช่วยในการพาไอน้ำมันขึ้นมาเผา  
ไหม้ได้ตามที่ออกแบบ

ค่า รัศมีวิกฤต ที่ต้องใช้ทำฉนวน เพื่อควบคุมอุณหภูมิ ประมาณ 2.2 cm

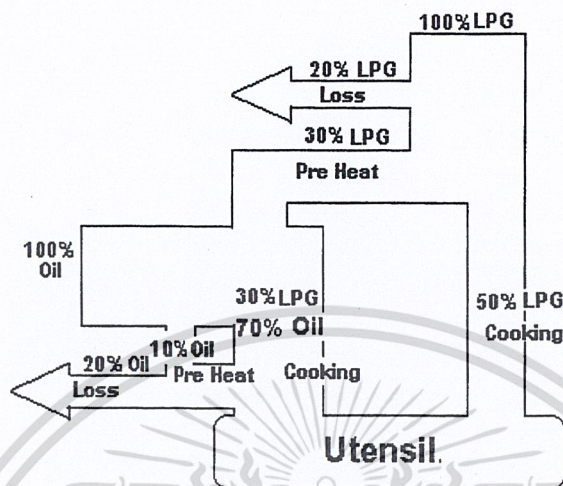
### 3.1.5 ปัญหาที่พบ

เปลวไฟไม่สม่ำเสมอ สมดุลความร้อนไม่เสถียร และมีตะกันตกค้างในหัวเผาที่ทดลองจึงไม่มีการ  
สร้างและทดลอง

### 3.2 หัวเผาต้นแบบตัวที่ 2

#### 3.2.1 การจัดการด้านความร้อน

แนวคิดคร่าวๆ ในการจัดการด้านความร้อนของหัวแก๊สหุงต้มและหัวเผาน้ำมันพืชเป็นไปตามรูปที่ 1



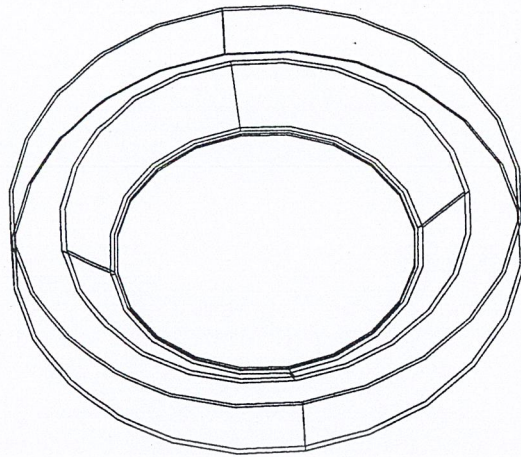
รูปที่ 3.2 แผนผังการจ่ายความร้อน

#### 3.2.2 หลักการออกแบบ

หลักการทางาน คือ หัวเผานี้จะเป็นหัวเผาที่พร้อมใช้งานกับหัวแก๊สหุงต้ม ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยการออกแบบให้สามารถวางหัวเผาไว้ด้านบนหัวแก๊สหุงต้ม ใช้ความร้อนจากแก๊สหุงต้ม ในการอุ่นน้ำมันพืช ลักษณะหัวเผาจะมีอ่างน้ำมันใช้กักเก็บน้ำมัน เพื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงระดับที่น้ำมันติดไฟด้วยตัวเอง มีช่องว่างตรงกลาง เพื่อให้อากาศร้อนขึ้นมาผสมกับไอน้ำมัน

#### 3.2.3 การคำนวณ

ไม่มีการคำนวณ เนื่องจากต้องการศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันพืชทางกายภาพ



รูปที่ 3.3 ภาพสามมิติของ ต้นแบบหัวเผา 2



รูปที่ 3.4 ภาพสองมิติของ ต้นแบบหัวเผา 2

### 3.2.4 ผลที่ได้จากการทดลอง

ทำการทดลอง ซึ่งผลที่ได้คือ

3.2.4.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้น้ำมันพืชจุดติดไฟ 9 นาที

3.2.4.2 มีกลิ่นเหม็นจากไอน้ำมัน

3.3.4.3 การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ระยะเปลวไฟสูง 1.5 เมตร

3.2.4.4 เปลวไฟสีส้ม และเกิดเขม่ารอบเปลวไฟเป็นจำนวนมาก

3.2.4.5 มีสารลักษณะคล้ายกาวเหนียวเกาะบริเวณก้นของหัวเผา ซึ่งไม่สามารถใช้งานได้จริง

### 3.2.5 ปัญหาที่พบ

เกิดการเผาไหม้ของเปลวไฟที่ไม่สมบูรณ์ ไม่สามารถควบคุมความสูงของเปลวไฟได้ ไม่สามารถกักน้ำมันให้อยู่ในอ่างกักได้ น้ำมันล้นออกมานอกหัวเผา เมื่อเย็นตัวลงจะกลายเป็นสารเหนียวสีดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 หัวเผาต้นแบบตัวที่ 3

#### 3.3.1 หลักการออกแบบ

หัวเผานี้จะเป็นหัวเผาที่พร้อมใช้งานกับหัวแก๊สหุงต้ม ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยการออกแบบให้สามารถวางหัวเผาไว้ด้านบนหัวแก๊สหุงต้ม ได้ ลักษณะของหัวเผาลงและใช้วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูงขึ้น เพื่อลดเวลาในการจุดติดไฟ อีกทั้งยังเป็นการอุ่นน้ำมันพืชให้ถึงอุณหภูมิที่สามารถเกิดไอน้ำมันที่มีความหนาแน่นมากพอ นอกจากนี้เนื่องจากเวลาหุงต้ม น้ำมันพืชจะหมดไป ดังนั้น หัวเผาจะมีระบบส่งน้ำมันพืชผ่านท่อ และควบคุมระดับน้ำมันพืชโดยวาล์วลูกกลอย เพื่อให้ปริมาณน้ำมันพืชคงที่ ใช้ท่อส่งและท่อระบายน้ำมันที่มีขนาดต่างกัน

#### 3.3.2 การจุดติดไฟของหัวเผาน้ำมันพืช

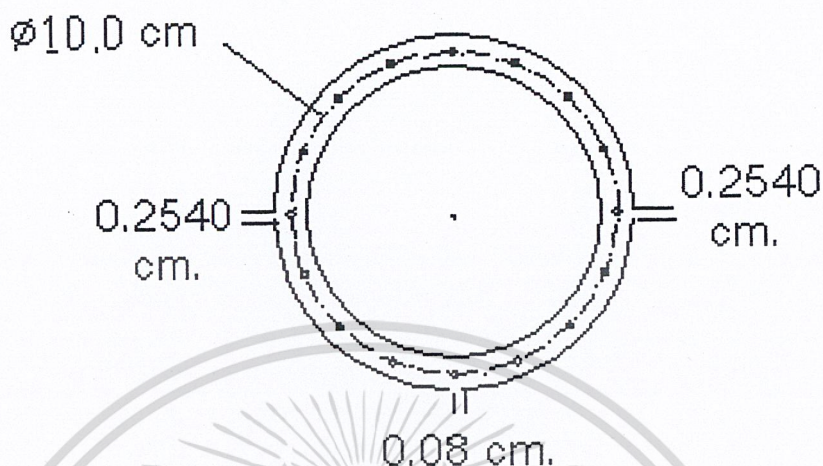
โดยปกติน้ำมันทุกชนิดจะสามารถติดไฟได้ เช่นเดียวกับน้ำมันพืช ดังนั้นจะทำการอุ่นน้ำมันโดยใช้ความร้อนจากแก๊สหุงต้ม ในขณะที่ทำอาหารเมื่อน้ำมันพืชมีอุณหภูมิถึงจุดที่เกิดไอน้ำมันที่มีความหนาแน่นมากพอ ไอน้ำมันจะสามารถผ่านขึ้นมามากขึ้นมาผสมกับอากาศร้อนและเกิดการสันดาปขึ้น ความร้อนจากน้ำมันพืชจะถูกใช้ในการหุงต้ม ทำให้เวลาในการหุงต้มน้อยลง และใช้ไฟจากน้ำมันพืชหุงต้มอาหารร่วมกับแก๊สหุงต้ม และแบ่งพลังงานส่วนหนึ่งมาอุ่นน้ำมันต่อ ทำให้สามารถนำพลังงานจากน้ำมันพืชมาใช้หุงต้มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 3.3.3 การควบคุมปริมาณน้ำมัน

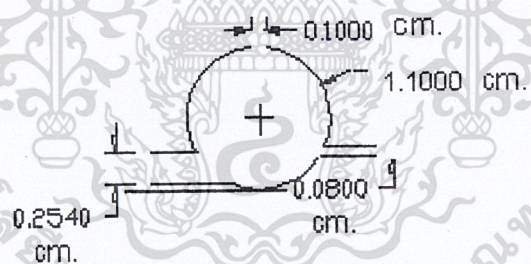
จากการเผาไหม้จำเป็นต้องมีปริมาณน้ำมันคงที่ที่พอเหมาะ เพื่อการสันดาปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยหัวเผานี้จะควบคุมปริมาณน้ำมัน โดยใช้หลักการความดันร่วมกับระบบวาล์วลูกกลอยเพื่อรักษาระดับน้ำมันในหัวเผา

#### 3.3.4 การหยุดการเผาไหม้

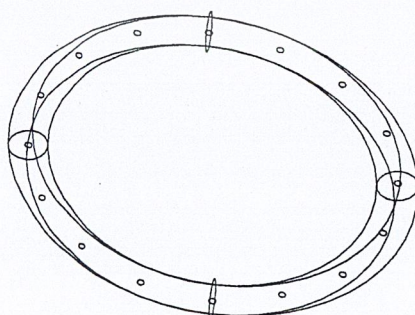
น้ำมันพืชที่มีอุณหภูมิสูงถึงจุดเกิดควันของน้ำมันทำให้เกิดการกลายเป็นไอ ดังนั้นเมื่อต้องการหยุดการเผาไหม้ จะทำการเพิ่มปริมาณน้ำมันที่เข้าหัวเผามากขึ้นเพื่อลดอุณหภูมิลงต่ำกว่าจุดเกิดควันของน้ำมัน โดยใช้หลักการ Quenching



รูปที่ 3.5 ภาพฉายด้านบนของ ต้นแบบหัวเผา 3



รูปที่ 3.6 หน้าตัดของหัวเผา ต้นแบบหัวเผา 3 แสดงทางเข้าออกน้ำมัน



รูปที่ 3.7 ภาพสามมิติหัวเผา ต้นแบบหัวเผา 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.5 การคำนวณ

เราจะใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวอย่างในการคำนวณ ซึ่งจากตารางที่ 1 เราจะได้ค่าการจุดติดไฟของน้ำมันถั่วเหลือง และเราจะทำการออกแบบภายใต้เงื่อนไขดังนี้

#### 3.3.5.1 สมมติค่าเพื่อใช้ในการคำนวณ

- ที่สภาวะคงที่
- คุณสมบัติต่างๆ คงที่ ( $k, \rho$ )
- ไม่คิดความแตกต่างของความสูงและความเร็ว
- $\eta_c = 100\%$  (การเผาไหม้สมบูรณ์)
- น้ำมันที่ใช้แล้วมีคุณสมบัติที่ยังไม่ผ่านการใช้

#### 3.3.5.2 ท่อทองแดงขนาด 3 นิ้ว

3.3.5.3 สมมติให้เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเผา เท่ากับ 10 cm. จะได้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ เท่ากับ 1.1 cm

#### 3.3.5.4 กำหนดอุณหภูมิห้องเท่ากับ 27 องศาเซลเซียส

3.3.5.5 กำหนดอุณหภูมิในหัวเผาเท่ากับ 400 องศาเซลเซียส ที่สามารถทำให้น้ำมันพืชถั่วเหลืองสามารถติดไฟได้

3.3.5.6 ส่วนผสมของน้ำมันถั่วเหลือง PALMITIC 8.3%, STEARIC 5.4%, OLEIC 24.9%, LINOLEIC 52.7%, LINOLENIC 7.9%, ARACHIDIC 0.9%

#### 3.3.5.7 ต้องการใช้พลังงานจากน้ำมันพืชทดแทนพลังงานจากแก๊ส หุงต้ม 20%

3.3.5.8 น้ำมันพืชให้ค่า LHV =  $36400 \frac{kJ}{kg}$

3.3.5.9 ส่วนแก๊สหุงต้มจะให้ค่า HHV =  $50000 \frac{kJ}{kg}$

$$LHV = HHV - m_w h_{fg} \quad (3.12)$$

3.3.5.10 ในแก๊สหุงต้มมีส่วนผสมของโพรเพน ( $C_3H_8$ ) เป็นส่วนใหญ่ บิวเทน ( $C_4H_{10}$ ) เป็นส่วนน้อย

#### 3.3.5.11 $P_v$ ความดันย่อยของไอน้ำ

$$P_v = \text{จำนวนโมล} \times P_{atm} \quad (3.13)$$

จำนวนโมลของแก๊สไอเสีย

3.3.5.12 แก๊ส 1 ถึง 15 กิโลกรัม ใช้ได้นานประมาณ 1 เดือน เพื่อประมาณค่าแก๊สที่ใช้ต่อชั่วโมง โดยให้มีการใช้แก๊สทุกวัน

### 3.3.6 ค่าที่ได้จากการคำนวณ

3.2.6.1 คิดเทียบเป็นกรัม น้ำมันถั่วเหลือง 1 กรัม ใช้อากาศ 12.380 กรัม และเกิด  $\text{CO}_2$  2.8168 กรัม เกิด  $\text{H}_2\text{O}$  0.6989 กรัมเกิด  $\text{N}_2$  9.442 กรัม

3.2.6.2 จากการสันดาปโพรเพน เกิดไอน้ำ  $4 \text{ m}^3$  บิวเทนจะเกิดไอน้ำ  $5 \text{ m}^3$  ดังนั้น ค่าไอน้ำไม่เกิน  $5 \text{ m}^3$

3.2.6.3 บิวเทนมีสารที่เกิดจากสันดาป  $\text{CO}_2$   $4 \text{ m}^3$   $\text{H}_2\text{O}$   $5 \text{ m}^3$  และมี  $\text{N}_2$  เหลือ  $24.25 \text{ m}^3$

3.2.6.4 จะได้ค่าความดันออกมา  $P_v = 12 \text{ kPa}$

3.2.6.5 เปิดตารางไอน้ำ หาค่า  $h_{fg} = 2387.7$

3.2.6.6 ค่า LHV = 38086.5

3.2.6.7 แก๊สหุงต้ม 20% จะได้ค่า  $q = 7617.3 \text{ kJ/kg}$

3.2.6.8 จะหาได้ว่า  $m$  ของน้ำมันเป็น 1:1 ของแก๊สหุงต้ม เนื่องจากต้องสูญเสียพลังงานไปกับ loss ปริมาณมาก จึงออกแบบให้ใช้น้ำมันทดแทน เป็น 5:1

3.2.6.9 ดังนั้น หา  $m = 5.4$  กรัม/นาที คิดเป็นปริมาตร เท่ากับ  $6.75 \text{ cc}$ .

### 3.3.7 ผลที่ได้จากการทดลอง

- บริเวณฐานเปลวไฟเป็นสีเขียว
- ความสูงเปลวไฟสูงสุด 10 เซนติเมตร
- ความสูงเปลวไฟต่ำสุด 2 เซนติเมตร

ปริมาณน้ำมัน ( mL )	เวลา ( s )
0.5	5
1	12
2	29
6	87

ตารางที่ 3.2 ผลการทดลองหัวเผาต้นแบบตัวที่ 3

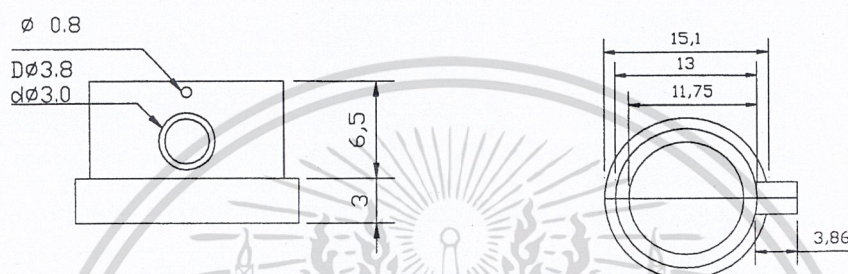
### 3.3.8 ปัญหาที่พบ

เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ไม่สามารถควบคุมระดับปริมาณน้ำมันได้ เนื่องจากวาล์วลอยมีการตอบสนองที่ช้า ทำให้น้ำมันท่วมมากกว่าที่คำนวณ ทำให้ส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศผิดจากที่คำนวณ

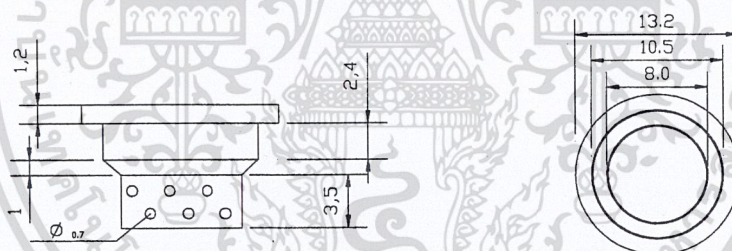
### 3.4 หัวเผาต้นแบบตัวที่ 4

#### 3.4.1 หลักการออกแบบ

ลักษณะหัวเผาแบบนี้จะเป็นการทดแทนแก๊สหุงต้ม 100 % โดยขนาดของหัวเผาเราจะออกแบบให้เหมาะกับการใช้งานกับเครื่องครัว โดยใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นในการอุ่นหัวเผา สำหรับห้องเผาไหม้ถูกออกแบบให้มีอ่างน้ำมัน จะกักเก็บน้ำมันพีชในกรณีที่คุณสมบัติของน้ำมันพีชใช้แล้วไม่คงที่ บริเวณรอบของผนังห้องเผาไหม้มีการเจาะรูเพื่อเติมอากาศจากเครื่องเป่าลม(Blower) เพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และให้อากาศผสมกับน้ำมันพีชได้ดียิ่งขึ้น โดยออกแบบห้องเผาไหม้ให้อากาศเข้ามาหมุนวนแบบ Swirl



รูปที่ 3.8 ชุดห้องเผาไหม้ด้านนอกหัวเผา ต้นแบบหัวเผา 4



รูปที่ 3.9 ห้องเผาไหม้ด้านในหัวเผา ต้นแบบหัวเผา 4

#### 3.4.2 การควบคุมปริมาณน้ำมัน

ใช้แรงโน้มถ่วงของโลก เป็นตัวส่งน้ำมันให้ไหลเข้าไปในท่อ และใช้วาล์วเป็นตัวควบคุมปริมาณน้ำมัน.

#### 3.4.3 การคำนวณ

ใช้หลักการเหมือนต้นแบบหัวเผาตัวที่ 3 แต่มีสมการเพิ่มเติมดังนี้

$$\text{Dynamic Head} = \frac{1}{2} \frac{v^2}{g} \quad (3.14)$$

$$\dot{m}_{air} = \rho Av \quad (3.15)$$

$$Q_{exit} = mc_p \Delta T \quad (3.16)$$

$$Q_{entrance} = \dot{m}LHV \quad (3.17)$$

$$\frac{A}{F} = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} \quad (3.18)$$

$$\eta = \frac{Q_{exit}}{Q_{entrance}} \quad (3.19)$$

$$\text{ค่าไฟฟ้า(กิโลวัตต์ชั่วโมง) } W = iv \cos \phi \quad (3.20)$$

### 3.4.4 ค่าที่คำนวณได้

ความเร็วลม ( V ) เท่ากับ 4.067 m/s

อัตราการไหลของอากาศโดยมวล เท่ากับ 0.0039 m/s

ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงานของเครื่องเป่าลม 0.00733 หน่วย เท่ากับ 2.2734 บาทต่อหนึ่งหน่วย ผลิตไฟฟ้าในบ้านเรือนในช่วงหน่วยที่ 101-150

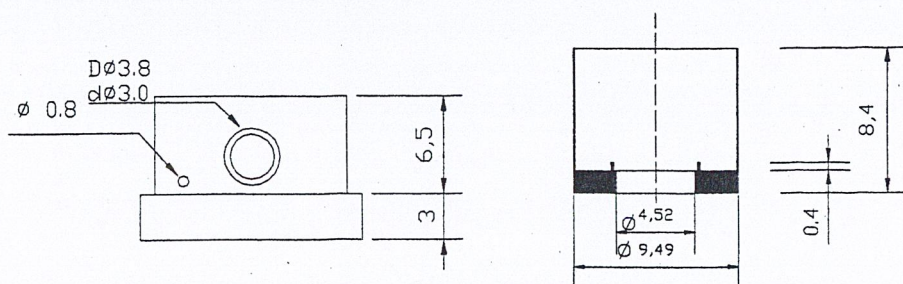
### 3.5.4 ปัญหาที่พบ

การหยุดระบบของหัวเผา เมื่อหยุดน้ำมันพืช ทำให้เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดควันเป็นจำนวนมาก

## 3.5 หัวเผาต้นแบบตัวที่ 5

### 3.5.1 หลักการออกแบบ

เป็นแบบดัดแปลงมาจากหัวเผาท้องเผาไหม้แบบ Swirl โดยออกแบบหัวจ่ายน้ำมันจากเดิมเป็นอ่าง กักเก็บน้ำมันเป็นใบพัดเหวี่ยง จ่ายน้ำมันพืชเป็นละอองขนาดเล็กลงจากแรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเกิดจาก ลมที่ อัดมาจากเครื่องเป่าลมมาปะทะใบพัดเหวี่ยง



รูปที่ 3.10 ภาพชุดหัวเผาด่วนอก และภาพตัดขวาง หัวเผาต้นแบบตัวที่ 5

### 3.5.2 การควบคุมปริมาณน้ำมัน

ใช้แรงโน้มถ่วงของโลก เป็นตัวส่งน้ำมันให้ไหลเข้าไปในท่อ และใช้วาล์วเป็นตัวควบคุมปริมาณน้ำมัน.

### 3.5.3 การคำนวณ

เหมือนต้นแบบหัวเผาตัวที่ 4

### 3.5.4 ปัญหาที่พบ

ไม่สามารถทำงานได้จริงเนื่องจาก

- มีน้ำมันไหลไปที่ห้องใบพัดเหวี่ยงทำให้เกิดการสูญเสียความร้อน
- ความเร็วรอบใบพัดเหวี่ยงต่ำจึงไม่สามารถเหวี่ยงน้ำมันพีชให้เป็นละอองเล็กๆได้
- น้ำมันพีชที่ถูกเหวี่ยงทำหน้าที่เสมือนสารหล่อเย็นมากกว่าที่มันจะเผาไหม้

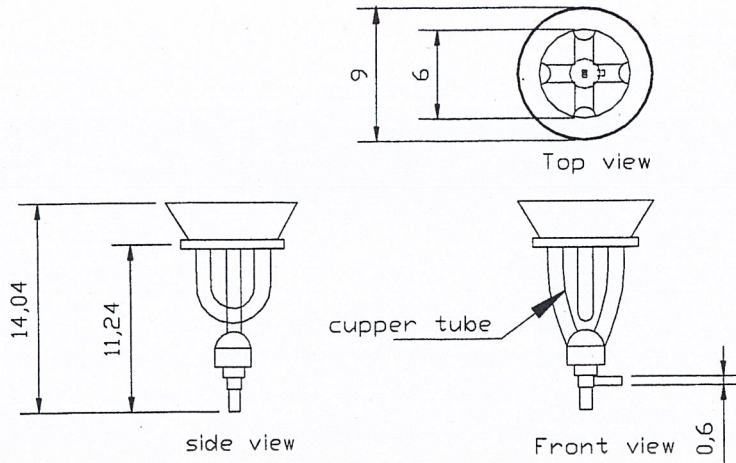
## 3.6 หัวเผาต้นแบบตัวที่ 6

### 3.6.1 หลักการออกแบบ

ลักษณะหัวเผาแบบนี้ถูกออกแบบให้ใช้งานร่วมกับแก๊สหุงต้ม เพื่อลดระยะเวลาในการอุ่นหัวเผา และใช้ถังความดันในการอัดน้ำมันพีชให้ผ่านออกจากหัวฉีดเป็นละอองฝอย เมื่อผ่านหัวเผาที่ร้อนน้ำมันพีชจะกลายเป็น ไอผสมกับอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยความเร็วของละอองน้ำมันพีชที่ฉีดออกมา และความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกนำไปอุ่นหัวเผาแทนแก๊สหุงต้ม ทำให้สามารถอยู่ได้ด้วยตัวหัวเผาเอง



รูปที่ 3.11 ภาพ 3 มิติ หัวเผาต้นแบบตัวที่ 6



รูปที่ 3.12 ภาพ 2 มิติของหัวเผาต้นแบบ 6

### 3.6.2 การควบคุมปริมาณน้ำมัน

ใช้ความดันในการส่งน้ำมันไปยังหัวเผา โดยใช้วาล์วในการควบคุมปริมาณน้ำมัน

### 3.6.3 การคำนวณ

เหมือนต้นแบบหัวเผาตัวที่ 4

### 3.5.4 ปัญหาที่พบ

ไม่สามารถใช้กับน้ำมันพืชที่มีสภาพการเปลี่ยนแปลงไปมากได้เพราะจะทำให้หาเผาจุดต้น

## บทที่ 4

### การสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์

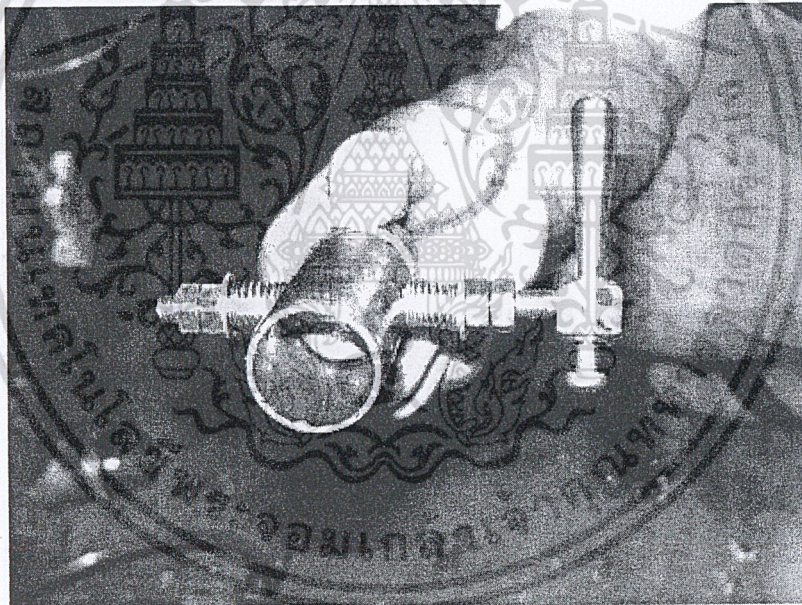
#### 4.1 ส่วนประกอบของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 4

1. Blower ขนาด 2 แอมป์ 220 โวลท์
2. ถังส่งน้ำมัน
3. วาล์วควบคุมอัตราการไหล
4. วาล์วปีกผีเสื้อ
5. ห้องเผาไหม้ แบบ Swirl ด้านใน
6. ห้องเผาไหม้แบบ Swirl ด้านนอก

#### 4.2 การสร้างอุปกรณ์ของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 4

##### 4.2.1 วาล์วปีกผีเสื้อ

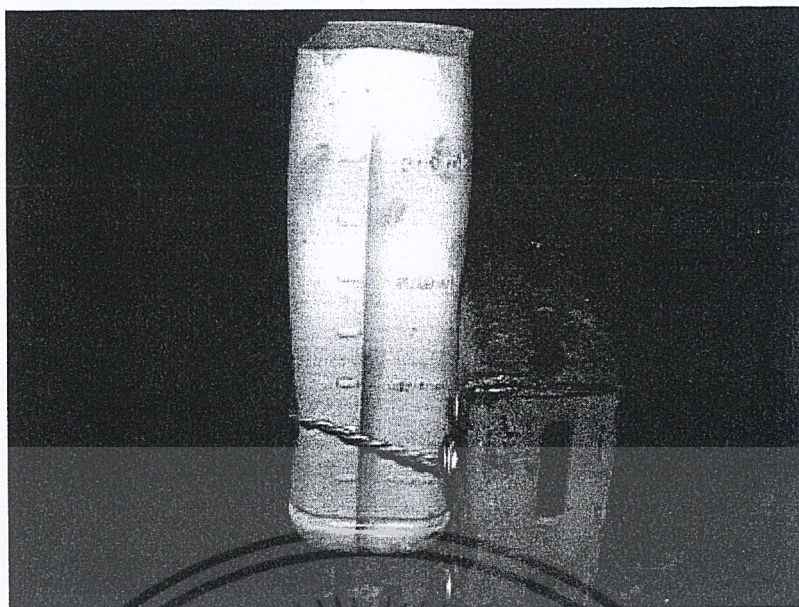
ทำการสร้างตามที่ออกแบบไว้ โดยเลือกเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาด 1 นิ้ว 3 หุน ดังรูป



รูปที่ 4.1 วาล์วปีกผีเสื้อ

##### 4.2.2 ถังส่งน้ำมัน

ดัดแปลงจากบรรจุภัณฑ์น้ำมันเครื่อง ซึ่งมีสเกลบอกปริมาณน้ำมันดังรูป



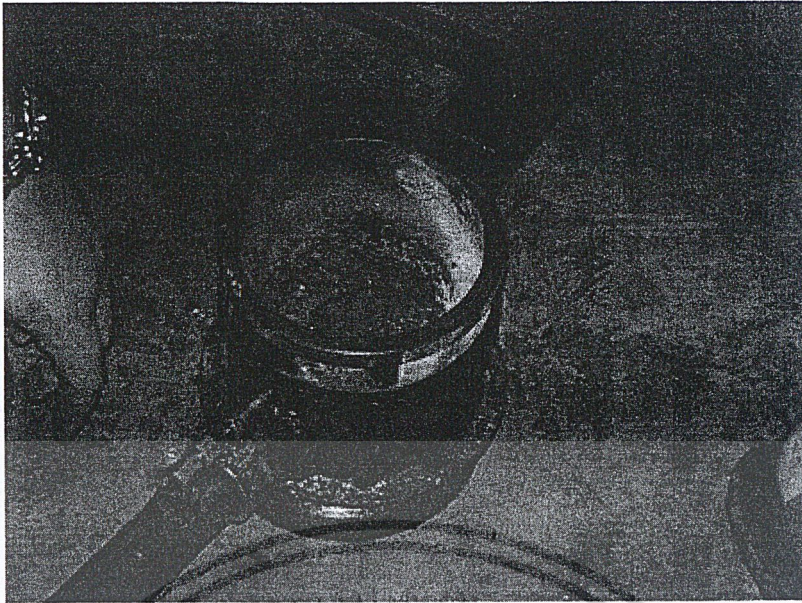
รูปที่ 4.2 ถังส่งน้ำมัน

#### 4.2.3 ห้องเผาไหม้ แบบ Swirl ด้านใน และห้องเผาไหม้แบบ Swirl ด้านนอก



รูปที่ 4. 3 ห้องเผาไหม้ แบบ Swirl ด้านในและห้องเผาไหม้แบบ Swirl ด้านนอก

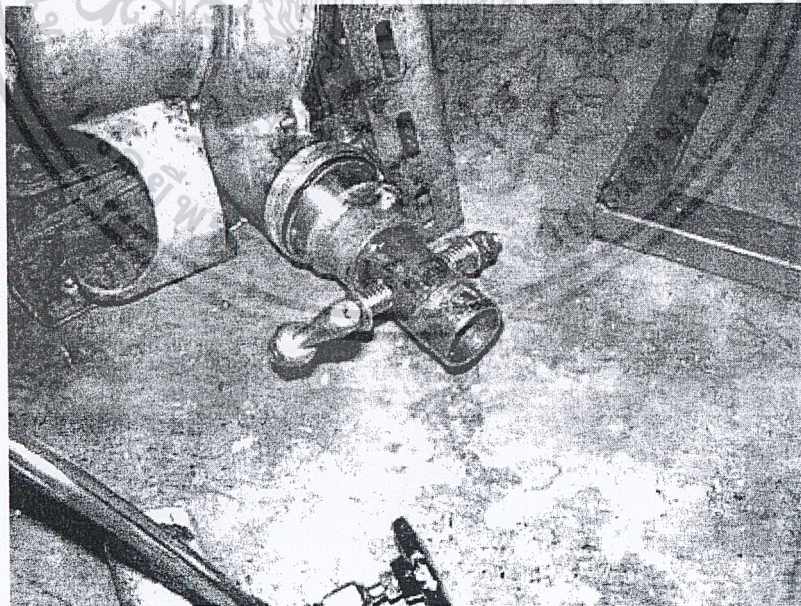
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ห้องเผาไหม้ แบบ Swirl ด้านใน และด้านนอก ประกอบเสร็จ

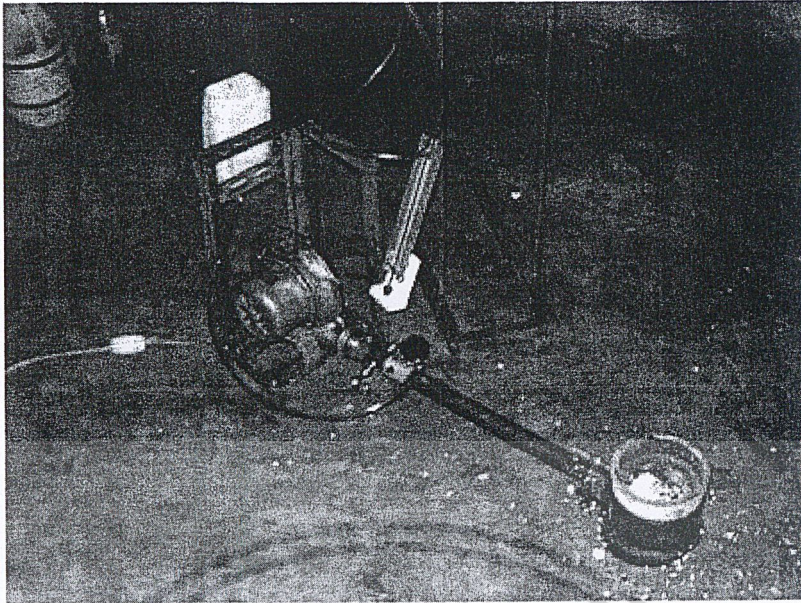
#### 4.3 การติดตั้งอุปกรณ์

- 1 ประกอบวาล์วปีกผีเสื้อเข้ากับ Blower
- 2 เก็บซ่อนท่อน้ำมัน ไว้ภายในท่อส่งลม
- 3 ต่อหัวเผาต้นแบบตัวที่ 4 กับชุดท่อส่งลม
- ติดตั้งหมดเข้าด้วยกัน ดังรูป



รูปที่ 4.5 การประกอบวาล์วปีกผีเสื้อเข้ากับ Blower

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



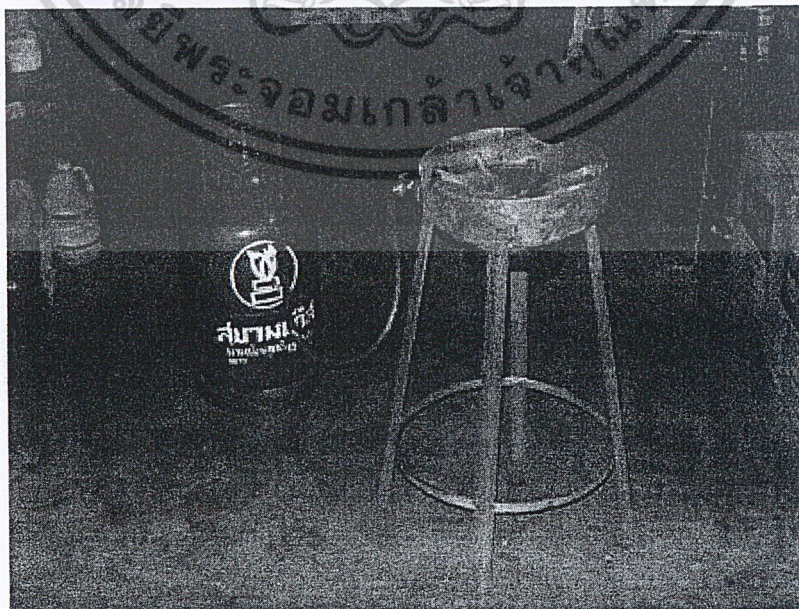
รูปที่ 4.6 ชุดประกอบเสร็จสมบูรณ์

#### 4.4 ส่วนประกอบของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 6

- 1 ชุดแก๊สหุงต้ม
- 2 หัวเผาต้นแบบตัวที่ 6
- 3 ถังความดัน
- 4 ชุดท่อส่งน้ำมัน ขนาด 1 หนุน ยาว 1.5 เมตร
- 5 Pressure guage และชุดวาล์ว

#### 4.5 การสร้างอุปกรณ์ของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 6

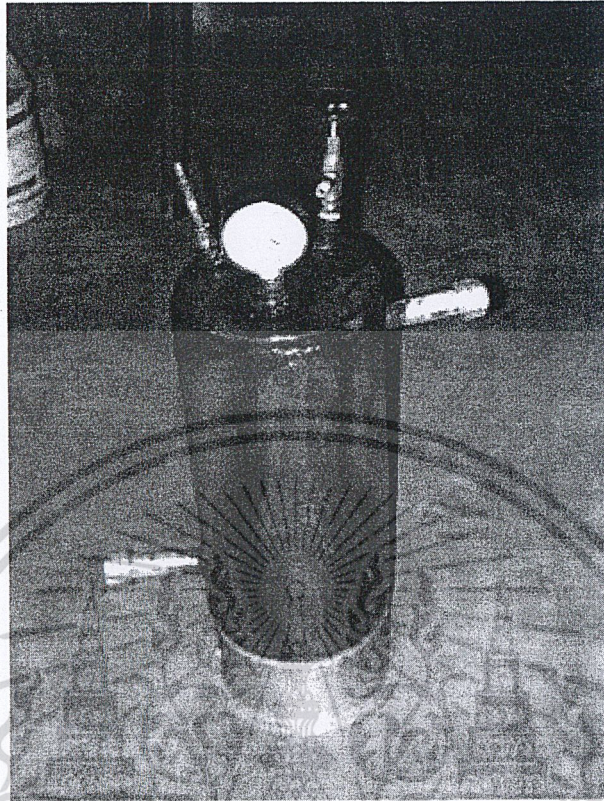
##### 4.5.1 ชุดแก๊สหุงต้ม



รูปที่ 4.7 ชุดแก๊สหุงต้ม

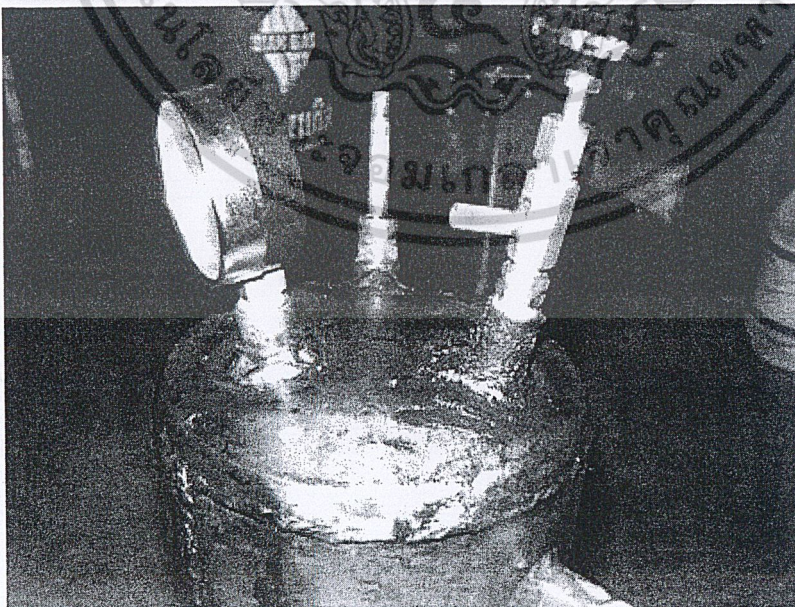
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.2 ถังความดัน



รูปที่ 4.8 ถังความดัน

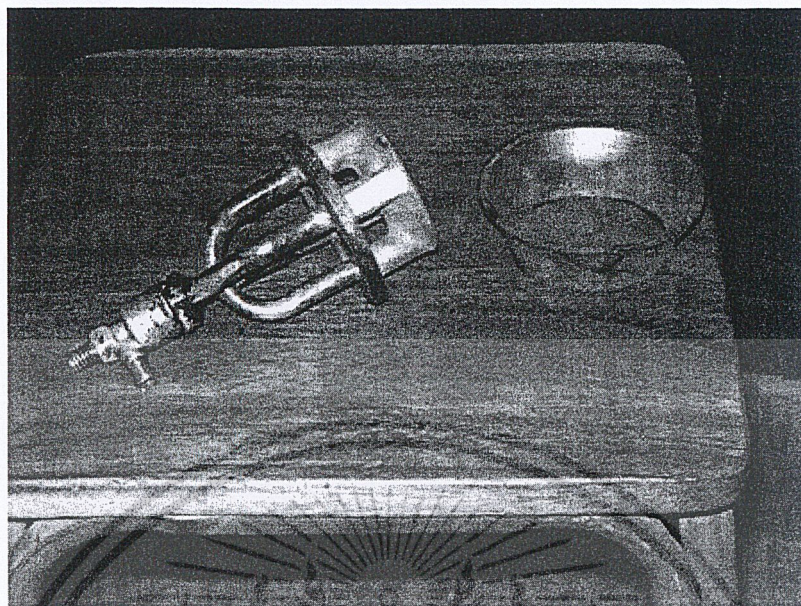
#### 4.5.3 Pressure gauge และชุดวาล์ว



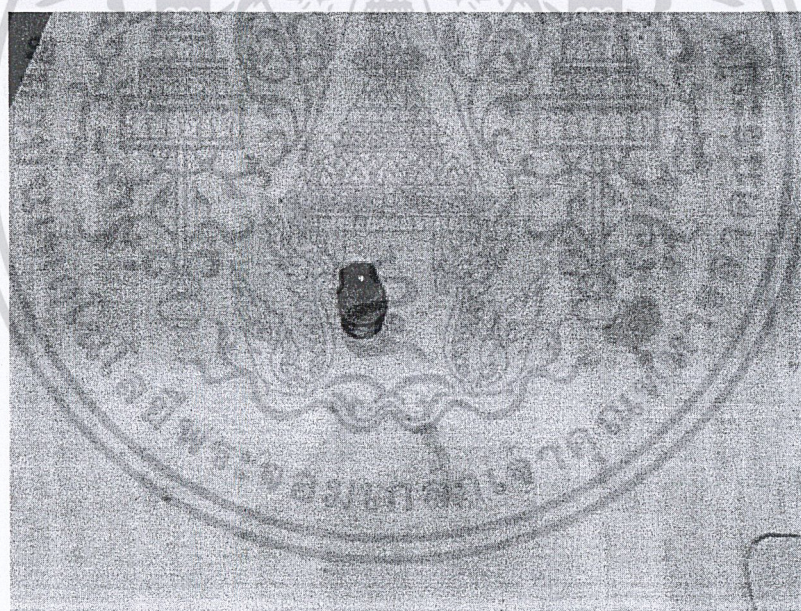
รูปที่ 4.9 Pressure gauge และชุดวาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.4 หัวเผาต้นแบบตัวที่ 6



รูปที่ 4.10 หัวเผาต้นแบบตัวที่ 6

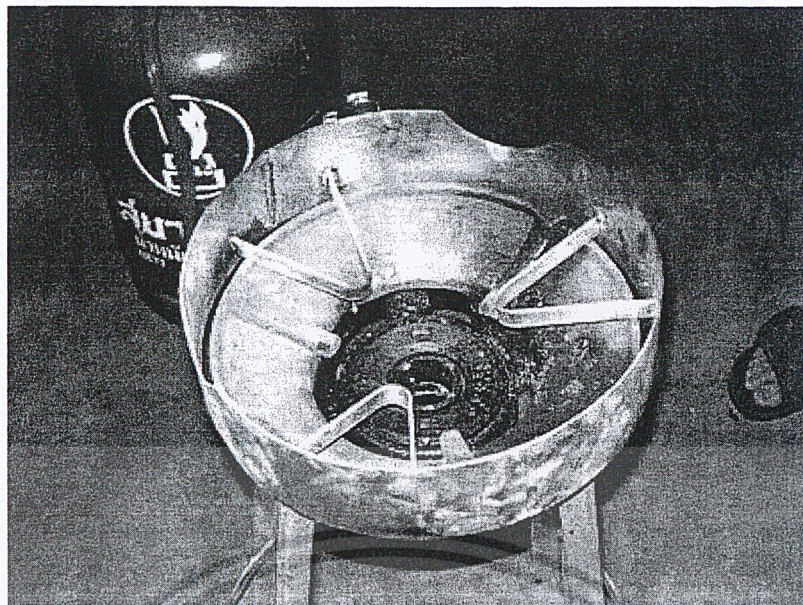


รูปที่ 4.11 หัวฉีด Nozzle

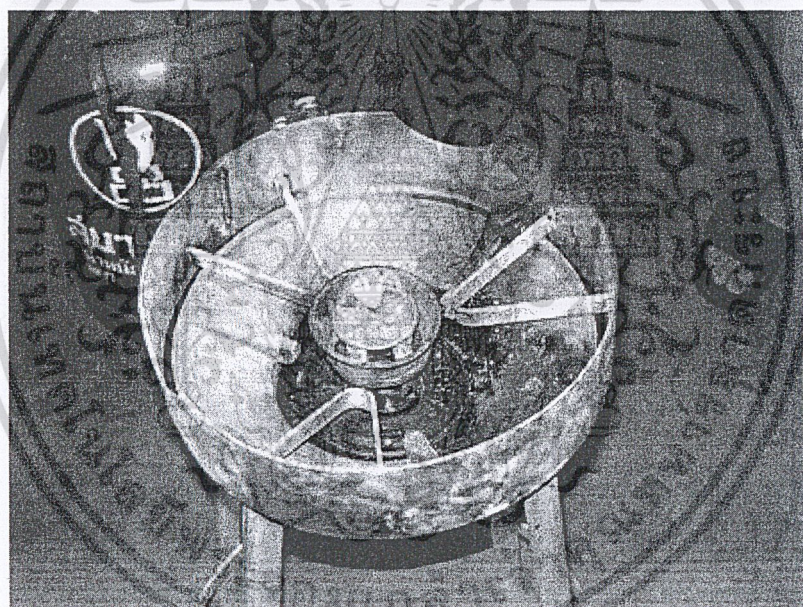
#### 4.6 การติดตั้งอุปกรณ์

- 1 ติดตั้งชุดส่งน้ำมันเข้ากับถังความดัน และหัวเผาต้นแบบตัวที่ 6
- 2 ติดตั้งหัวเผาต้นแบบตัวที่ 6 เข้ากับชุดหัวแก๊สหุงต้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

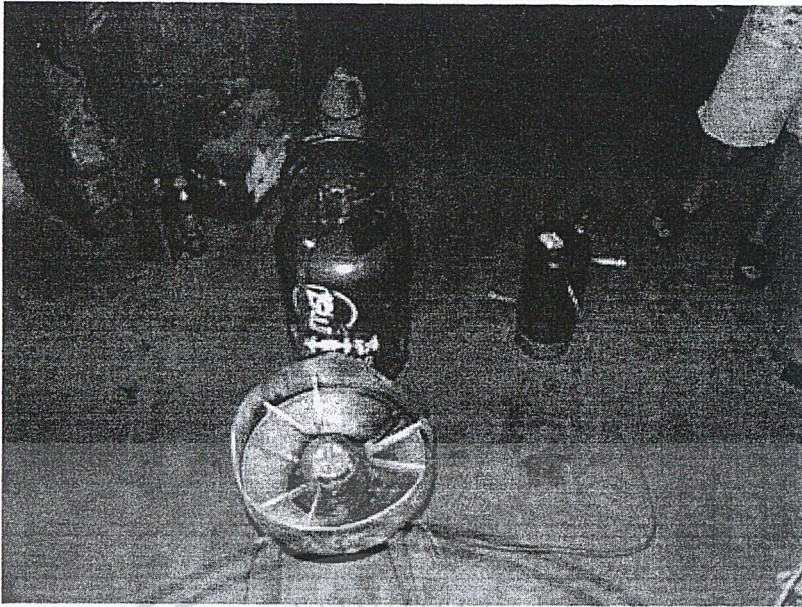


รูปที่ 4.12 ชุดหัวเตาแก๊สปกติ



รูปที่ 4.13 ติดตั้งหัวเผาต้นแบบตัวที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ชุดประกอบเสร็จสิ้นสมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

ในการทดลองโครงการที่ได้จัดสร้างขึ้นนั้น เป็นการประสิทธิภาพของหัวเผาตัวที่ 4 และตัวที่ 6 ซึ่งสามารถใช้งานได้จริง

#### 5.1 การทดสอบหัวเผาดันแบบตัวที่ 4

การทดลองนี้เป็นการทดลองหาประสิทธิภาพของหัวเผาดันแบบตัวที่ 4 โดยกำหนดให้อัตราเร็วของลมคงที่ 9.47 m/s

กำหนดให้

อุณหภูมิน้ำสุดท้ายเท่ากับ 95 องศาเซลเซียส

น้ำหนักหม้อ เท่ากับ 0.75 กิโลกรัม

น้ำหนักน้ำ เท่ากับ 6 กิโลกรัม

ปริมาณน้ำมันเริ่มต้น เท่ากับ 700 มิลลิลิตร

ผลการทดลองดังนี้

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Static Head (มิลลิเมตร)	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6
อุณหภูมิน้ำ เริ่ม (เซลเซียส)	29	30	31	31	31	29	29	29	29	29
เวลาที่ใช้ (นาที)	13.44	9.33	8	7.28	13.05	19.56	13.07	10.12	12.37	9.45
ปริมาณน้ำ มันสุดท้าย (มิลลิลิตร)	497	520	550	530	540	440	480	500	500	545
อัตราการกิน น้ำมัน (มิลลิลิตร)	203	180	150	170	160	260	220	200	200	155

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองของหัวเผาดันแบบตัวที่ 4

จากการทดลองจะได้อัตราการไหลของน้ำมันพีช เท่ากับ 0.000274 kg/s จะสามารถคำนวณหาประ

สิทธิภาพของหัวเผาตัวที่ 4 มีค่าเท่ากับ 25.14%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 การทดสอบหัวเผาต้นแบบตัวที่ 6

การทดลองนี้เป็นการทดลองหาประสิทธิภาพของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 6

กำหนดให้

อุณหภูมิน้ำสุดท้ายเท่ากับ 95 องศาเซลเซียส

น้ำหนักหม้อ เท่ากับ 0.75 กิโลกรัม

น้ำหนักน้ำ เท่ากับ 6 กิโลกรัม

ผลการทดลองดังนี้

ครั้งที่	1	2	3	4	5
ความดันเริ่ม(bar)	3	2.8	2.75	2.6	2.5
ความดันสุดท้าย(bar)	2.95	2.75	2.6	2.5	2.45
น้ำหนักหม้อ(กิโลกรัม)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
น้ำหนักน้ำ(กิโลกรัม)	6	6	6	6	6
อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น(องศาเซลเซียส)	30	30	30	30	30
อุณหภูมิน้ำสุดท้าย(องศาเซลเซียส)	95	95	95	95	95
เวลาที่ใช้ในการต้ม(นาที)	8.19	9.34	12.08	12.20	11.20

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 6

จากผลการทดลองจะได้อัตราไหลเฉลี่ย 0.0002122 kg/s

สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของหัวเผาต้นแบบตัวที่ 6 มีค่าเท่ากับ 33.09%

## 5.3 การทดสอบเตาก๊าซแอลพีจี

การทดลองนี้เป็นการทดลองหาประสิทธิภาพของเตาก๊าซแอลพีจี

กำหนดให้

อุณหภูมิน้ำสุดท้ายเท่ากับ 95 องศาเซลเซียส

น้ำหนักหม้อ เท่ากับ 0.75 กิโลกรัม

น้ำหนักน้ำ เท่ากับ 6 กิโลกรัม

ผลการทดลองดังนี้

จากผลการทดลองจะได้อัตราไหลเฉลี่ย 0.000296 kg/s

สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของเตาก๊าซแอลพีจีมีค่าเท่ากับ 21.35%

## บทที่ 6

### บทสรุป

	แก๊สหุงต้ม	หัวเผาแบบหัวฉีด	หัวเผาห้องเผาไหม้ แบบ Swirl
เวลาในการจุดติดไฟ (เฉลี่ย)	ทันที	1.2 นาที(แก๊ส)	2 นาที(ถ่าน)
ปริมาณน้ำมันพีซที่ใช้ ในการทำงาน	-	0.135 กิโลกรัม	189.8 มิลลิลิตร
เวลาในการต้มน้ำ (นาที)	11.24	10.602	10.679
คุณสมบัติของน้ำพีซ ที่ใช้	-	ต้องไม่เปลี่ยนแปลง มาก	สามารถใช้ได้ในช่วง กว้าง
ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง	1,500	2,250	1,900
เวลาในการหยุด ระบบ	ทันที	1 นาที	30 วินาที
เสียง	ไม่มี	มี	มี
ควัน	ไม่มี	มี	มี
กลิ่น	ไม่มี	มี	มี
สารเหนียวสีดำ	น้อย	ปานกลาง	มาก
การดูแลรักษา	ไม่ต้อง	1 สัปดาห์อย่างน้อย	ไม่ต้อง
$Q_{exit} = mc_p \Delta T$	1,626.3	1,626.3	1,626.3
$Q_{entrance} = mLHV$	7,617.3	4,914	6,468.28
$\eta = \frac{Q_{exit}}{Q_{entrance}}$	0.2135	0.3309	0.2514
อุณหภูมิสูงสุดที่ให้ (องศาเซลเซียส)	728*	896	989

\* เป็นอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมคอปเปิล ไม่ใช่อุณหภูมิเปลวไฟที่อะเดียบาคิก

#### ตารางที่ 6.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

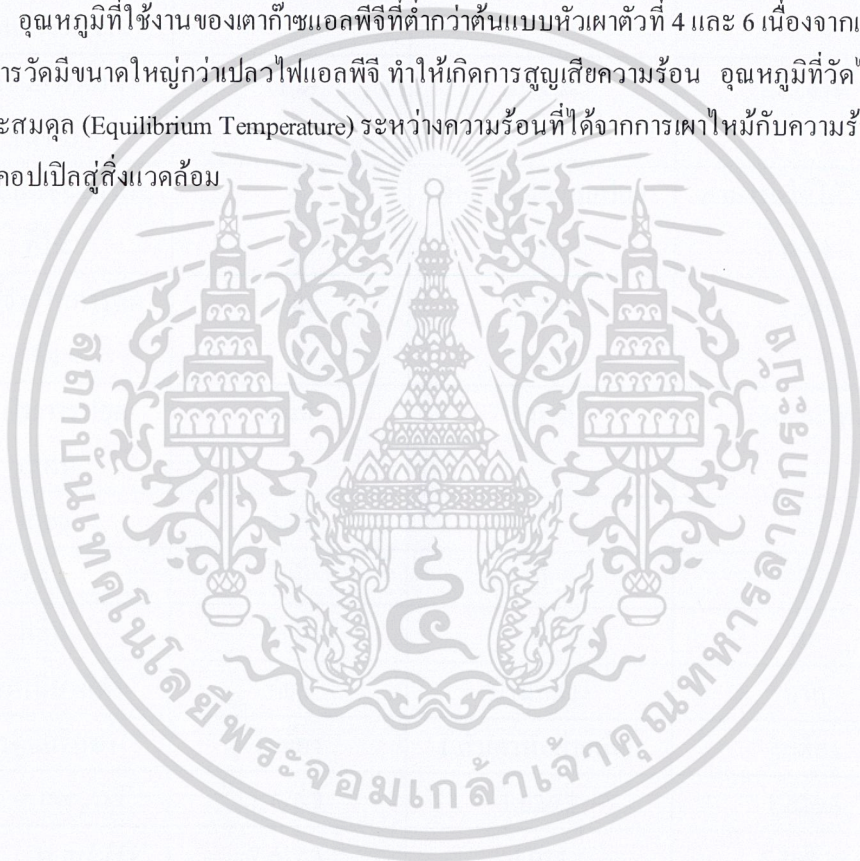
จากการทดสอบหาประสิทธิภาพของหัวเผาแบบที่ 4 และ หัวเผาแบบที่ 6 สามารถวิเคราะห์ได้ว่า หัวเผาตัวที่ 6 มีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากมีการให้เปลวไฟในลักษณะไม่แผ่กระจายและมีระยะห่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างหัวเผาและภาชนะที่น้อยกว่าเตาแก๊ซแอลพีจีแต่มีงานการใช้งานที่ต่ำ ไม่สามารถเร่งปรับไฟได้อย่างชัดเจน และน้ำมันที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไม่มาก

สำหรับหัวเผาตัวที่ 4 สามารถทำอุณหภูมิของเปลวไฟที่ใช้งานจริงได้สูงที่สุด ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับอุตสาหกรรมอื่นได้อีก และยังสามารถใช้กับน้ำมันพืชที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปมากได้ แต่มีข้อเสียคือทางด้านมลภาวะ เช่น ควันหลังจากหยุดระบบ

สำหรับหัวเตาแก๊ซแอลพีจีที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด เนื่องจากถูกออกแบบมาให้ใช้งาน โดยที่เปลวไฟมีลักษณะแผ่กระจาย และระยะห่างระหว่างตัวเตากับภาชนะที่มาก ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนออกไปมาก แต่มีข้อได้เปรียบมากกว่าหัวเผาค้นแบบตัวที่ 4 และ 6 คือการตอบสนองของระบบที่รวดเร็ว และไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ

อุณหภูมิที่ใช้งานของเตาแก๊ซแอลพีจีที่ต่ำกว่าต้นแบบหัวเผาตัวที่ 4 และ 6 เนื่องจากเทอโมคอปเปิลที่ใช้ในการวัดมีขนาดใหญ่กว่าเปลวไฟแอลพีจี ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อน อุณหภูมิที่วัดได้จึงเป็นอุณหภูมิต่ำ สภาวะสมดุล (Equilibrium Temperature) ระหว่างความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้กับความร้อนที่สูญเสียจากเทอโมคอปเปิลสู่สิ่งแวดล้อม



## บรรณานุกรม

1. Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, "Thermodynamics", McGraw-Hill, (1998), P.193, P.763
2. Warren C.strahle, "An introduction to combustion", Gordon and Branch science publisher, (1993), P.53
3. Stephen R. Turns, "An introduction to combustion", McGraw-Hill, (1996).
4. J.F.Griffith and J.A.Barnard, "Combustion and flame", Black Academic & Professional, (1995), P.267
5. <http://www.dss.moste.go.th/> (กรมวิทยาศาสตร์บริการ)
6. วรสาร เทคนิค, เมษายน 2544, P.34
7. รศ.บรรเลง ศรีนิต และ ศศ.ประเสริฐ ก๊วยสมบุรณ์, "ตารางงาน โลหะ", สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, (2524) หน้า 63

