สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาหัวเผาน้ำมันพืชเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมโดยใช้วัสดุพรุน

DEVELOPMENT OF THE VEGETABLE OIL BURNER FOR INDUSTRY BY USE POROUS MEDIA

โดย

นายศตวรรษ สันติสุรัตน์

นายสุทธิพงษ์ น้อยกล้า

นายอภิวัฒน์ นาสอ้าน

นายอาทิตย์ พลพันธ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ดร. จารุวัตร เจริญสุข

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 50153
วัน,เดือน,ปี 21 เม.ย. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาหัวเผาน้ำมันพืชเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมโดยใช้วัสดุพรุน

DEVELOPMENT OF THE VEGETABLE OIL BURNER FOR INDUSTRY BY USE POROUS MEDIA

ผู้จัดทำ

1.นายศตวรรษ สันติสุรัตน์ รหัสประจำตัว 42010638

2.นายสุทธิพงษ์ น้อยกล้า รหัสประจำตัว 42010663

3.นายอภิวัฒน์ นาสอ้าน รหัสประจำตัว 42010684

4.นายอาทิตย์ พลพันธ์ รหัสประจำตัว 42010684

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาหัวเผาน้ำมันพืชเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมโดยใช้วัสดุพรุน

นายศตวรรษ สันติสุรัตน์ 42010638
นายสุทธิพงษ์ น้อยกล้า 42010663
นายอภิวัฒน์ นาสอ้าน 42010684
นายอาทิตย์ พลพันธ์ 42010694
ผศ.ดร. จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้แสดงถึงการนำน้ำมันพืชซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตขึ้นได้เองภายในประเทศ รวมทั้งน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้ว มาทำให้เกิดประโยชน์โดยนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการทดแทนเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม โดยจะนำเสนอการออกแบบ ศึกษา และพัฒนาหัวเผาน้ำมันพืชชนิดใช้วัสดุพรุนช่วยในการอุ่นน้ำมันพืชร่วมกับก๊าซหุงต้ม เพื่อใช้ความร้อนที่ได้รับจากก๊าซหุงต้มนำมาเผาวัสดุพรุนจนกระทั่งวัสดุพรุนมีความร้อนสูงและคงที่เพียงพอที่จะทำให้น้ำมันพืชสามารถลุกติดไฟได้เองและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE VEGETABLE OIL BURNER FOR DEVELOPMENT OF INDUSTRY BY USE POROUS MEDIA

Sattawat Suntisurut

Sutthipong Noikra

Apiwat Nasa-arn

Artid Ponpan

Assist. Prof. Dr. Jarruwat Charoensuk Advisor

ABSTRACT

This project shows that how to reused the used vegetable oil as a fuel instead of liquefied petroleum gas (LPG), especially made in Thailand concerns the Development of used vegetable oil burner for industry by use porous media, which applies this operation works with liquefied petroleum gas (LPG) and obtaining heat from LPG for preheating porous media to a sufficiently high and uniform temperature for heating the vegetable oil up to their auto-ignition temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สำเร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลายๆ ฝ่าย ด้วยกัน ซึ่งบุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ก็คือ ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ดำริ จันทร์แสงสุก ที่ให้สถานที่และปกรณ์ในการทำโครงงานนี้ น้ามลทา และพี่ปริญญาโท ที่ให้ความเอาใจใส่ สอบถาม แนะนำและช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการดำเนินงาน ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้พวกกระผมมีวันนี้ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่งซึ่งได้เลี้ยงดูพวกกระผมเป็นอย่างดีเสมอมา พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่อย่างเสมอมาในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ พวกผมขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายศตวรรษ สันติสุรัตน์
นายสุทธิพงษ์ น้อยกล้า
นายอภิวัฒน์ นาสอ้าน
นายอาทิตย์ พลพันธ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	1
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน	1
บทที่2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 ทฤษฎีการเผาไหม้	2
2.2 คุณสมบัติของก๊าซหุงต้ม	13
2.3 คุณสมบัติของน้ำมันพืช	15
2.4 คุณสมบัติของวัสดุพรุน	19
บทที่3 การออกแบบและการคำนวณ	26
3.1 หลักการออกแบบ	26
3.2 การออกแบบหัวเผา	27
3.3 การคำนวณ	30
บทที่4 อุปกรณ์และการติดตั้งอุปกรณ์	36
4.1 อุปกรณ์การทดลอง	36
4.2 การติดตั้งอุปกรณ์	39
บทที่5 วิธีการทดลองและผลการทดลอง	40
5.1 วิธีการทดลอง	40
5.2 ผลการทดลอง	40
บทที่6 การแก้ไขและปรับปรุงหัวเผา	42
6.1 การแก้ไขในเรื่องของฉนวน	42
6.2 การแก้ไขในเรื่องของวัสดุพรุน	43
6.3 เพิ่มความหนาและความยาวของห้องเผาไหม้	46
6.4 หุ้มฉนวนโดยเว้นเป็นช่องว่างอากาศระหว่างฉนวนกับผนังห้องเผาไหม้	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 วางทางเดินท่อจ่ายน้ำมันให้สัมผัสความร้อนมากขึ้น 47
บทที่7สรุปผลการทดลองและปัญหาที่พบ 51
7.1 สรุปผลการทดลอง 51
7.2 ปัญหาที่พบ 51
บรรณานุกรม 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	ขีดจำกัดการเกิดเปลวไฟของเชื้อเพลิงบางชนิดผสมอากาศที่ความดัน 1 บรรยากาศ	4
2.2	ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของสารต่างๆ	5
2.3	แสดงองค์ประกอบของอากาศ	6
2.4	องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	7
2.5	องค์ประกอบของไอเสียแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	8
2.6	อุณหภูมิติดไฟของเชื้อเพลิงในอากาศ	11
2.7	ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้กับเชื้อเพลิงและเตาเผาแบบต่างๆ	12
2.8	คุณสมบัติของแอลพีจีสถานะของเหลว	14
2.9	ค่าความร้อนของการเผาไหม้ก๊าซแอลพีจี	15
5.1	ผลการทดลองแสดงการกระจายอุณหภูมิตามแนวแกนของหัวเผาที่ค่าอัตราส่วนสมมูลต่างๆ	32

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	ชื่อภาพ	หน้า
2.1	องค์ประกอบที่จำเป็นในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้	3
2.2	รูปร่างวัสดุพรุนจากเซรามิกชนิดต่างๆ	21
2.3	กลไกการถ่ายเทความร้อนภายในวัสดุพรุน	22
2.4	หัวเผาชนิดใช้วัสดุพรุนร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใช้ในครัวเรือน	23
2.5	หัวเผาโดยใช้วัสดุพรุนชนิดวงแหวน	24
2.6	เครื่องเป่าแห้งโดยใช้หัวเผาวัสดุพรุน	24
2.7	เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ซึ่งนำหัวเผาโดยใช้วัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้	25
2.8	อุปกรณ์การทดลองชุดหัวเผา	27
3.1	ภาพชุดหัวเผาน้ำมันพืช	27
3.2	ภาพของห้องเผาไหม้	28
3.3	ภาพแสดงการหุ้มฉนวน	28
3.4	ภาพแสดงตำแหน่งท่อจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง	29
3.5	ภาพของตะแกรงเหล็กและแผ่นยางกันรั่ว	29
3.6	ภาพของห้องจ่ายอากาศและก๊าซหุงต้ม	30
3.7	ภาพแสดงตำแหน่งช่องจุดไฟและท่อจ่ายก๊าซหุงต้ม	30
3.8	ภาพของหน้าตัดหัวเผา	31
4.1	ภาพแสดงชุดหัวเผา	36
4.2	ภาพของวัสดุพรุนที่ใช้ในการทดลอง	36
4.3	ภาพชุดจ่ายก๊าซเชื้อเพลิง	37
4.4	ภาพถังบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิงและปั๊มความดันต่ำ	37
4.5	ภาพของโฟลมิเตอร์	38
4.6	ภาพของ เทอร์โมคัพเปิล และเทมป์อินดิเคเตอร์	38
4.7	ภาพของเรคกูเลเตอร์	39
5.1	บริเวณของฉนวนที่มีการไหม้เกิดขึ้น	41
	แนวแกนของหัวเผาที่ค่าสมมูลต่างๆ	33
6.1	การหล่อฉนวนปูนทนไฟ	42
6.2	หินแกรนิตซึ่งนำมาใช้เป็นวัสดุพรุนชนิดใหม่	43
6.3	แสดงระยะเวลาในการอุ่นวัสดุพรุนเมื่อเปลี่ยนปริมาณวัสดุพรุนที่ใส่ลงในหัวเผา	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4	การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนสมมูล	45
6.5	ห้องเผาไหม้เกิดการหลอมละลาย	46
6.6	ห้องเผาไหม้หลังจากทำการเพิ่มความหนาและความยาว	46
6.7	การหุ้มฉนวนโดยเว้นเป็นช่องว่างอากาศระหว่างฉนวนกับผนังห้องเผาไหม้	47
6.8	ภาพแสดงตำแหน่งท่อจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง	48
6.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของชั้นความหนากับเวลาในการอุ่นวัสดุพรุน	48
6.10	กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิตามแนวแกนของหัวเผา	50

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

กระบวนการต่างๆ ในงานอุตสาหกรรมจำนวนไม่น้อยจำเป็นต้องใช้ความร้อนที่สูงมากจากหัวเผาแบบต่างๆ และนอกจากนั้นแล้ว ยังจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูงพอที่จะให้ความร้อนได้อย่างพอเพียงตามความต้องการของแต่ละชนิดงาน สิ่งสำคัญที่ควรพิจารณา คือ การใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด โดยการหมุนเวียนพลังงานที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง นอกจากนั้นแล้วยังต้องคำนึงถึงปัญหามลภาวะที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์การเผาไหม้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดจึงเป็นสิ่งจำเป็นยิ่ง เทคนิคที่ดีเยี่ยมอย่างหนึ่งที่น่าสนใจคือ การส่งเสริมการเผาไหม้โดยอาศัยกลไกการถ่ายเทความร้อนของวัสดุพรุน ดังนั้นโครงการนี้จึงได้ถูกมีขึ้นเพื่อทำการศึกษาออกแบบและพัฒนาหัวเผาน้ำมันพืชสำหรับน้ำมันพืชที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในงานอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาการจุดติดไฟของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

1.2.2 เพื่อทำการศึกษาออกแบบ และพัฒนาหัวเผาน้ำมันพืชสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรม

1.2.3 เพื่อทำการทดสอบหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมของหัวเผาที่ออกแบบขึ้น เพื่อการนำไปใช้งานได้จริง

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ทำการศึกษาออกแบบ และสร้างหัวเผาน้ำมันพืชสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรม รวมทั้งการทดสอบหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมของหัวเผา

1.4 วิธีการดำเนินงาน

โครงงานนี้ทำการศึกษาการจุดติดไฟของน้ำมันพืชและสร้างหัวเผาน้ำมันพืช โดยมีทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน ซึ่งประกอบไปด้วย ทฤษฎีการเผาไหม้ ทฤษฎีทางอุณหพลศาสตร์ สมการทางเคมี

เมื่อได้ศึกษาทฤษฎีดังกล่าวแล้วจึงทำการออกแบบหัวเผาน้ำมันพืช และทดสอบหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมของหัวเผาที่ออกแบบขึ้น

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

สามารถนำน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้วมาหมุนเวียนใช้ใหม่อีกครั้งในรูปแบบเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีการเผาไหม้

การเผาไหม้เป็นการเกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างรวดเร็วของออกซิเจนกับส่วนประกอบที่เผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิง สารเผาไหม้ได้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ 3 อย่าง ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และซัลเฟอร์ ซัลเฟอร์จะมีความสำคัญน้อยในการเป็นแหล่งความร้อน แต่มีความสำคัญในกรณีที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนและปัญหามลพิษ

คาร์บอนและไฮโดรเจนเมื่อถูกเผาไหม้โดยสมบูรณ์กับออกซิเจน สามารถแสดงได้ตามสมการ

$$C + O_2 = CO_2 + 14,100 \text{ Btu/lb of C} \quad (2.1)$$

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O + 61,100 \text{ Btu/lb of } H_2 \quad (2.2)$$

อากาศมีส่วนประกอบของออกซิเจน ปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเป็น Exothermic (ปฏิกิริยาคายความร้อน) และจะปล่อยความร้อนออกมาประมาณ 14, 100 Btu/lb ของคาร์บอนที่ถูกเผาไหม้และ 61,100 Btu/lb ของไฮโดรเจนถูกเผาไหม้

ในการเผาไหม้ที่ดีจะต้องปล่อยความร้อนออกมาทั้งหมด ขณะที่เกิดการสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และใช้อากาศส่วนเกินน้อยที่สุด

การรวมกันของส่วนประกอบที่เผาไหม้ได้และองค์ประกอบของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนต้องการอุณหภูมิที่สูงเพียงพอที่จะทำให้องค์ประกอบต่างๆติดไฟ การผสมกันหรือความปั่นป่วน และเวลาที่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ แฟกเตอร์ที่สำคัญนี้เรียกว่า " Three T" ของการเผาไหม้

ในตารางที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบทางเคมีและองค์ประกอบต่างๆ ที่พบในเชื้อเพลิงน้ำหนักโมเลกุล, ความร้อนของการเผาไหม้และค่าคงที่ของการเผาไหม้อื่นๆ ในเทอม " 100% ของอากาศทั้งหมด" ในตารางที่ 1 หมายถึง ความต้องการอากาศพอดี 100 % ตามทฤษฎีสำหรับการเผาไหม้ ถ้าจำนวนเปอร์เซ็นต์สูงมากขึ้น แสดงความต้องการอากาศตามทฤษฎีรวมกับอากาศส่วนเกิน เช่น 125% ของอากาศทั้งหมด หมายถึง 100 % ของความต้องการอากาศตามทฤษฎีรวมกับ 25% ของอากาศส่วนเกิน

มวลของสารในรูปของปอนด์ที่เท่ากับน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซนั้น เรียกว่า ปอนด์โมลของสาร ตัวอย่างคาร์บอน มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 12 ปอนด์ ดังนั้น 1 ปอนด์โมลของคาร์บอนหนัก 12 ปอนด์ ในรูปของก๊าซมีปริมาตรในรูปของโมล เรียกว่า " Molal Volume " และสำหรับก๊าซอุดมคติจะมีค่าคงที่เท่ากับ 394 ลบ.ฟุต อุณหภูมิที่ 80 องศาฟาเรนไฮต์และที่ความดันบรรยากาศ (14.7 psia หรือ 30 นิ้วปรอท)

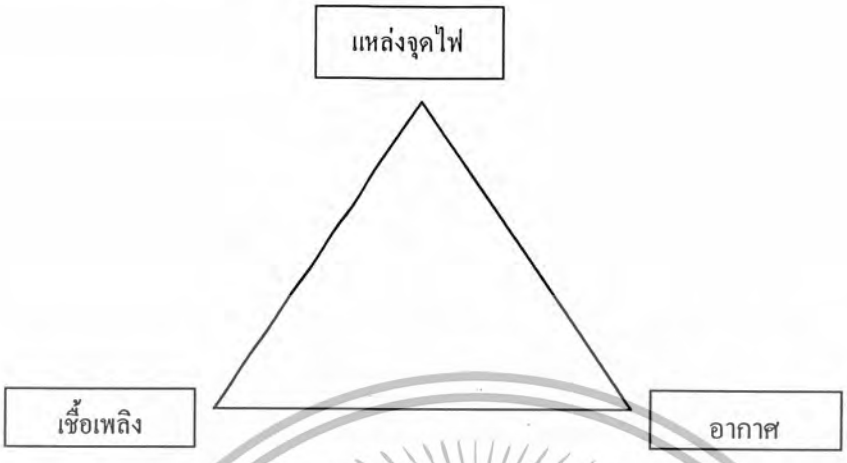
2.1.1 สภาวะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยา

2.1.1.1 องค์ประกอบที่จำเป็นทั้งสาม

ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีตัวทำปฏิกิริยาและสภาวะที่เหมาะสม ปฏิกิริยาการเผาไหม้คือปฏิกิริยาการออกซิไดซ์เชื้อเพลิงให้กลายเป็นออกไซด์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสมบูรณ์ การเผาไหม้ทั่วไป ตัวทำปฏิกิริยาคือ เชื้อเพลิง(ซึ่งเป็น ไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่) และอากาศ ซึ่งจะเริ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดปฏิกิริยาได้ก็ต่อเมื่อมีสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งคือ แหล่งให้ความร้อนเพื่อจุดไฟ(Ignition source) ซึ่งแสดงองค์ประกอบทั้งสามได้ในกราฟสามเหลี่ยมดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบที่จำเป็นในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้

การเริ่มต้นปฏิกิริยาการเกิดการเผาไหม้ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ เริ่มด้วยการแตกตัวของโมเลกุลของเชื้อเพลิงเป็นอนุมูลอิสระก่อน แหล่งจุดไฟจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเพราะจะให้พลังงานส่วนแรกแก่ส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและออกซิเจนทำให้เชื้อเพลิงเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระจำนวนมากพอที่จะไปทำให้เริ่มเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเผาไหม้เมื่อเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้แล้ว แหล่งจุดไฟจะไม่จำเป็นอีกต่อไป เพราะพลังงานการเผาไหม้ส่วนต้นมากพอที่จะไปทำให้เชื้อเพลิงส่วนที่เหลืออยู่เกิดการแตกตัวและการเผาไหม้ต่อเนื่องกันไปได้เองจนสมบูรณ์ (Spontaneous reaction)

2.1.2 ขีดจำกัดการเกิดเปลวไฟ (Flammability limit)

ปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นเนื้อเดียวกันสามารถเกิดได้ในช่วงความดันและอุณหภูมิกว้าง ถ้าส่วนผสมระหว่างแก๊สเชื้อเพลิงและอากาศเกิดปฏิกิริยาภายใต้ความดันสูง จะเป็นปฏิกิริยาที่ทีความเร็วเหนือเสียง(Supersonic Reactions) เรียกว่าการระเบิด และถ้าส่วนผสมระหว่างแก๊สเชื้อเพลิงและอากาศเกิดปฏิกิริยาที่ความดันบรรยากาศ หรือภายใต้ความดันต่ำ จะเป็นปฏิกิริยาที่มีความเร็วต่ำกว่าเสียง(Subsonic Reactions) เรียกว่า การเผาด้วยความร้อน แต่คำที่นิยมใช้มากว่าคือ การเกิดเปลวไฟ(flames) เพราะที่ความดันปกติ แนวหรือขอบเขตของการเผาไหม้ปรากฏเป็นแสงสว่างที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

2.1.3 เปลวไฟ (flames)

เป็นบริเวณการเผาไหม้(combustion zone) ที่เคลื่อนที่(propagate) เข้าหาส่วนผสมระหว่างแก๊สเชื้อเพลิงและอากาศ(หรือสารออกซิไดซ์) การที่จะเกิดเปลวไฟขึ้นได้นั้นต้องเริ่มจากส่วนผสมที่เหมาะสม ถ้าเริ่มจากเชื้อเพลิงอย่างเดียว หรือเริ่มจากอากาศหรือสารออกซิไดซ์อย่างเดียว การเผาไหม้จะเกิดขึ้นไม่ได้ ดังนั้นจึงมีช่วงส่วนผสมที่เหมาะสมที่จะเกิดเปลวไฟขึ้นได้ อยู่ระหว่างส่วนผสมที่เชื้อเพลิงเจือจางที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุด(lean mixture) ที่จะเกิดเปลวไฟขึ้นได้ เรียกว่าขีดจำกัดขั้นต่ำของการเกิดเปลวไฟ(lower limit of flammability) และส่วนผสมเชื้อเพลิงเข้มข้นที่สุด(rich mixture) ที่ยังคงเกิดเปลวไฟได้ เรียกว่าขีดจำกัดขั้นสูงของการเกิดเปลวไฟ(limit of flammability) เชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีขีดจำกัดการเกิดเปลวไฟแตกต่างกันทั้งช่วงกว้าง และค่าของขีดจำกัดทั้งขั้นสูงและขั้นต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

เชื้อเพลิง	ส่วนผสมที่เชื้อเพลิงเจือจางที่สุด %	ส่วนผสมเชื้อเพลิงเข้มข้นที่สุด %
อะซีโตน	3.10	11.15
อะเซทิลีน	2.50	80.00
แอมโมเนีย	16.10	26.60
เบนซีน	1.41	7.10
บิวเทน	1.86	8.41
บิวทิว	1.45	11.25
คาร์บอนมอนอกไซด์	12.50	74.20
อีเทน	3.22	12.45
เอทิล	4.25	18.95
เอทิลีน	3.05	28.60
เฮปเทน	1.00	6.70
เฮกเซน	1.27	6.90
ไฮโดรเจน	4.00	74.20
มีเทน	5.00	14.00
เมทิล	7.10	36.50
โพรเพรน	2.37	9.50

ตารางที่2.1 ขีดจำกัดการเกิดเปลวไฟของเชื้อเพลิงบางชนิดผสมอากาศที่ความดัน 1 บรรยากาศ

2.1.4 การคำนวณโมลในการเผาไหม้

การคำนวณการเผาไหม้ในรูปของก๊าซผสมสามารถแสดงโดยใช้โมล เพราะปริมาตรที่เท่ากันของก๊าซที่ความดันและอุณหภูมิหนึ่งจะมีจำนวนโมเลกุลเท่ากัน ตามกฎของอะโวกาโด (Avocado's low) และน้ำหนักของก๊าซที่ปริมาตรเท่ากันเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซนั้น

ถ้า M เป็นน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซ 1 ปอนด์โมล ดังนั้นน้ำหนักของก๊าซเท่ากับ M ปอนด์ ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซ

1 Mole ของ O_2 = 32 ปอนด์ของ O_2

1 Mole ของ H_2 = 2 ปอนด์ของ H_2

1 Mole ของ CH_4 = 16 ปอนด์ของ CH_4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.1 สามารถใช้แสดง ที่ความดันและอุณหภูมิหนึ่งที่คงที่ ปริมาตรของก๊าซ 1 โมล จะขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซนั้น ที่ 60 F และความดันบรรยากาศ(30 นิ้วปรอท ปริมาตรจำเพาะของออกซิเจน เป็น11.819 ลบ. ฟุต/ปอนด์ ดังนั้น 1 โมล ของออกซิเจนมีปริมาตร= 32 x11.819 = 378.21 ลบ. ฟุต ในทำนองเดียวกันที่ 60 F และความดันบรรยากาศ ค่าปริมาตรจำเพาะทั้งไฮโดรเจนเป็น 187.723 ลบ.ฟุต/ปอนด์ และ 1 โมลของไฮโดรเจนมีปริมาตรเท่ากับ 2.016 x187.723 = 378.45 ลบ. ฟุต

สารที่เผาไหม้ได้	ปฏิกิริยาเคมี	โมล	ปอนด์	ค่าความร้อนของการเผาไหม้(Btu/lb)
คาร์บอน (คาร์บอนมอนนอกไซด์)	$2C + O_2 = 2CO$	2+1=2	24+32 =56	3,960
คาร์บอน (คาร์บอนไดออกไซด์)	$C + O_2 = CO_2$	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 (ซัลเฟอร์ไดออกไซด์)	$S + O_2 = SO_2$	1+1=1	32+32=64	3,980
มีเทน	$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$	1+2=1+2	16+64=80	23,875
อะเซทิลีน	$2C_2H_4 + 5O_2 = 4CO_2 + 2H_2O$	2+5=4+6	52+160=212	21,500
เอทิลีน	$C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O$	1+3=2+2	28+96=124	21,635
อีเทน	$2C_2H_6 + 7O_2 = 4CO_2 + 6H_2O$	2+7=4+6	60+224=284	22,325
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	$2H_2S + 3O_2 = 2SO_2 + 2H_2O$	2+3=2+2	68+96=164	7,100

ตารางที่ 2.2 ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของสารต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เศษส่วนโมลขององค์ประกอบของผสม (Mixture) คือ จำนวนโมลขององค์ประกอบหารด้วยผลรวมจำนวนโมลขององค์ประกอบทั้งหมดของของผสม จำนวนโมลของก๊าซอุดมคติที่มีปริมาตรเดียวกันตามกฎของอะโวกาโดร์ (Avogrado's law) ของผสมของก๊าซอุดมคติ ค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบจะเท่ากับเศษส่วนปริมาตร

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

องค์ประกอบ	องค์ประกอบของอากาศแห้ง	
	% โดยปริมาตร	% โดยน้ำหนัก
ออกซิเจน (O_2)	20.99	23.15
ไนโตรเจน (N_2)	78.03	76.85
ก๊าซเฉื่อย (Inert)	0.98	-

ตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของอากาศ

เพื่อความสะดวกในการคำนวณจะรวมก๊าซเฉื่อยกับไนโตรเจน ซึ่งได้น้ำหนักเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 76.85% และปรับน้ำหนักโมเลกุลของอากาศเป็น 29

เปอร์เซ็นต์ความชื้น = 1.3% โดยน้ำหนัก (ค่ามาตรฐานของหม้อไอน้ำโรงงาน — ABMA) หมายถึงอากาศประกอบด้วย 0.013 ปอนด์น้ำ/ปอนด์อากาศแห้ง

การพิจารณากระบวนการเผาไหม้จะพิจารณาในส่วนของเชื้อเพลิงกับออกซิเจน ออกซิเจนมาจากอากาศ ซึ่งประกอบด้วย ไนโตรเจน ออกซิเจน ไอน้ำ และก๊าซเฉื่อย เช่น อาร์กอน นีออน และฮีเลียม ตารางที่ 2.3แสดงองค์ประกอบของอากาศ

$$\frac{\text{โมลอากาศ}}{\text{โมลของออกซิเจน}} = \frac{\text{ลบ.ฟุตของอากาศ}}{\text{ลบ.ฟุตของออกซิเจน}} \qquad (2.4)$$

$$= \frac{100}{20.99} = 4.76$$

$$\frac{\text{โมลของ } N_2}{\text{โมลของ } O_2} = \frac{79.01}{20.99} = 3.76$$

$$\frac{\text{ปอนด์ของอากาศแห้ง}}{\text{ปอนด์ของ } O_2} = \frac{100}{23.15} = 4.32$$

$$\frac{\text{ปอนด์ของ } N_2}{\text{ปอนด์ของ } O_2} = \frac{76.85}{23.15} = 3.32$$

จากตารางที่ 2.2 สามารถใช้แสดงอากาศแทนออกซิเจน ถ้ารวม 3.76 โมลของ N_2 เข้าทั้งสองข้างของสมการ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$2CO + O_2 + 3.76N_2 = 2CO_2 + 3.76N_2$

$O_2 + 3.76N_2 =$ อากาศ

หรือ สำหรับมีเทน

$CH_4 + 2O_2 + 2(3.76)N_2 = CO_2 + 2H_2O + 2(3.76)N_2$

$2O_2 + 2(3.76)N_2 =$ อากาศ

ตัวอย่างสำหรับการคำนวณโดยวิธีใช้โมลของเชื้อเพลิงก๊าซ การรายงานการวิเคราะห์ปริมาณขององค์ประกอบของก๊าซโดยการแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามตารางที่ 2.4

องค์ประกอบของเชื้อเพลิง	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
CH_4	85.3
C_2H_6	12.6
CO_2	0.1
N_2	1.7
O_2	0.3
รวม	**100**

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

การวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิงนี้ แสดงจำนวนโมลของ CH_4 เป็น 85.3 โมล ต่อ 100 โมลของเชื้อเพลิง และจำนวนโมลของ C_2H_6 เป็น 12.6 โมล ต่อ 100 โมลของเชื้อเพลิง เป็นต้น การแตกองค์ประกอบของแต่ละองค์ประกอบในรูปของโมล ต่อ 100 โมลของเชื้อเพลิง เช่น

C ใน CH_4 = 85.3x1 = 85.3

C ใน C_2H_6 = 12.6 x2 = 25.2

C ใน CO_2 = 0.1x1 = 0.1

ดังนั้น C ทั้งหมดต่อ 100 โมลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 110.6 โมล

H_2 ใน CH_4 = 85.3x2 = 170.6

H_2 ใน C_2H_6 = 12.6 x3 = 37.8

ดังนั้น H ทั้งหมดต่อ 100 โมลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 208.4 โมล

O_2 ใน CO_2 = 0.1x1 = 0.1

O_2 = 0.3x1 = 0.3

ดังนั้น O_2 ทั้งหมดต่อ 100 โมลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.4 โมล

ดังนั้น N_2 ทั้งหมดต่อ 100 โมลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 1.7 โมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการวิเคราะห์ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซ สามารถแสดงได้ดังตารางข้างล่าง

องค์ประกอบของไอเสีย	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
CO_2	10.4
N_2	86.8
O_2	2.8

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของไอเสียแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

การวิเคราะห์ไอเสีย (Flue gas) จะแสดงในรูปของปริมาณแห้งโดยการใช้ Orsat หรือเครื่องมือชนิดอื่น ในการวิเคราะห์ ก๊าซไอเสียจะถูกทำให้เป็นไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิห้องและเป่าผ่านน้ำ ดังนั้นก๊าซจะถูกทำให้เป็นไอน้ำอิ่มตัว (Saturated rich Water Vapor) สัดส่วนของไอน้ำที่เป็นส่วนประกอบของก๊าซจะถูกดูดซับ (Absorbed) โดยองค์ประกอบที่แตกต่างกันของก๊าซ ซึ่งจะแสดงผลในรูปของเปอร์เซ็นต์อากาศแห้งได้แก่ 10.4 โมล, 2.8 โมล, 86.8โมล ต่อ 100 โมล ของไอเสียแห้ง (Dry Flue gas)

สำหรับแต่ละโมลของคาร์บอน ที่ถูกเผาไหม้จะทำให้เกิดเป็น 1 โมลของคาร์บอนไดออกไซด์ และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิง พบว่าคาร์บอนทั้งหมดต่อ 100 โมล ของเชื้อเพลิงเท่ากับ 110.6 โมล ดังนั้นจะเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ 110.6 โมล และจากการวิเคราะห์ไอเสีย พบว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 10.4 โมล มาจากไอเสีย 100 โมล ดังนั้นคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมล มาจากไอเสีย = 100/10.4 = 9.62 ถ้าปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด 100 โมล จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ = 110.6 x 9.62 = 1,064 โมลของไอเสียแห้ง

จากการวิเคราะห์ไอเสีย น้ำหนักโมเลกุลของไอเสียแห้งสามารถหาได้จาก

10.4	โมลของ CO_2 หนัก 10.4x44	=	457.6	lb
2.8	โมลของ O_2 หนัก 2.8x32	=	89.6	lb
86.8	โมลของ N_2 หนัก 86.8x28	=	2430.4	lb
100	โมลของโมลไอเสียแห้ง	=	2977.6	lb

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

น้ำหนัก 100 โมลของเชื้อเพลิงเป็นผลรวมของผลคูณระหว่างจำนวนโมลกับน้ำหนักโมเลกุลของแต่ละองค์ประกอบนั้น

CH_4	85.3x16	=	1,365
C_2H_6	12.6 x30	=	378
CO_2	0.1x44	=	4.4
N_2	1.7x28	=	47.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

O_2 0.3x32 = 9.6

เมื่อน้ำหนัก 100 โมล = 1,805 ปอนด์

แก๊สเชื้อเพลิง 1,805 ปอนด์ ทำให้เกิดไอเสียแห้ง 31,700 ปอนด์ ดังนั้นในแต่ละ 1 ปอนด์ของแก๊สเชื้อเพลิงจะทำให้เกิดไอเสียแห้ง $= \frac{31,700}{1,805} = 17.6$ ปอนด์

2.1.5 ความร้อนจากการเผาไหม้

ความร้อนจากการเผาไหม้จะเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับน้ำหนักและปริมาตรของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนหรืออากาศในกระบวนการเผาไหม้ในเตาเผา พลังงานความร้อนเกิดจากสารที่เผาไหม้ได้แต่ละตัวกับออกซิเจน ซึ่งการเผาไหม้ต้องดำเนินไปจนกระทั่งให้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย

1 ปอนด์ ของคาร์บอนทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ทำให้เกิดความร้อน(ประมาณ 14,000 Btu) พลังงานนี้เป็นก๊าซในขั้นตอนเดียว เพื่อสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้าภายใต้เงื่อนไขอื่น พลังงานจะแยกออกเป็นสองขั้นตอน ในขั้นตอนแรกจะเป็นคาร์บอนมอนนอกไซด์(CO) ได้รับพลังงานเพื่อรวมเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และปล่อยพลังงานออกมา 10,140 Btu/lb(C) 14345 Btu/lb (O) อย่างไรก็ตามผลรวมของความร้อนที่ถูกปล่อยทั้งสองขั้นตอนเท่ากับ 14,100 Btu เมื่อคาร์บอนถูกเผาไหม้ในขั้นตอนเดียวเพื่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย

การออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการเผาไหม้ วิธีการเผาไหม้จะต้องเป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนและเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ควรเกิด CO ถ้า C รวมตัวกันเป็น CO แทนที่จะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์พบว่ามีความร้อนที่ปล่อยออกมาประมาณ 28% ของความร้อนที่ใช้ประโยชน์ (Available heat) ของคาร์บอนที่ถูกปล่อยจากเชื้อเพลิง

2.1.6 ค่าความร้อน (heating value)

ในการคำนวณพลังงานความร้อนจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้ค่าเป็นลบ ซึ่งไม่สะดวกแก่การใช้งาน จึงนิยมใช้เทอม ค่าความร้อน(heating value) ซึ่งมีค่าเท่ากับความร้อนของการเผาไหม้ที่สภาวะมาตรฐานแต่มีค่าเป็นบวก สำหรับเชื้อเพลิงธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นถ่านหิน น้ำมันและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม หรือชีวมวล ไม่ใช่สารประกอบบริสุทธิ์ ไม่สามารถคำนวณจากความร้อนของปฏิกิริยา หรือความร้อนของการเกิดมาตรฐานของสารหรือธาตุบริสุทธิ์ได้ จำเป็นต้องทดลองด้วยเครื่องมือเฉพาะเรียกว่า บอมแคลอรีมิเตอร์ (bomb calorimeter) สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและของเหลว และใช้แคลอรีมิเตอร์ที่มีน้ำไหลผ่าน(water flow calorimeter) สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นแก๊ส การแสดงค่าความร้อนมี 2 วิธี คือ

2.1.6.1 ค่าความร้อนรวม (Total heating value, THV)

ค่าความร้อนรวมของเชื้อเพลิงชนิดหนึ่ง หมายถึงปริมาณความร้อนที่จะให้ออกมาหลังการเผาไหม้สมบูรณ์ โดยที่ตัวทำปฏิกิยาเริ่มต้นและผลิตภัณฑ์สุดท้ายทั้งหมดอยู่ภายใต้ความดัน 1 บรรยากาศ และที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงและที่เกิดเป็นผลผลิตจากการเผาไหม้อยู่ในรูปของน้ำ(ของเหลว) อาจเรียกว่า ค่าความร้อนขั้นสูง(Higher heating value, HHV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.2 ค่าความร้อนสุทธิ (Net heating value, NHV)

ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งให้คำจำกัดความเช่นเดียวกัน แต่หลังการเผาไหม้สมบูรณ์ น้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงและเกิดเป็นผลผลิตจากการเผาไหม้อยู่ในรูปของไอน้ำ อาจเรียกว่า ค่าความร้อนขั้นต่ำ(Lower heating value, LHV) ดังนั้นความแตกต่างระหว่างค่าความร้อนรวมและค่าความร้อนสุทธิ จึงมีค่าเท่ากับที่ความร้อนของการระเหยที่ 25 องศาเซลเซียสของน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในผลผลิตของการเผาไหม้ (ทั้งที่เกิดขึ้นขณะเกิดการเผาไหม้ และที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงเริ่มต้น)

2.1.7 การวัดความร้อนจากการเผาไหม้

หน่วยความร้อนของการเผาไหม้เชื้อเพลิงมีหน่วยเป็น Btu ค่าความร้อนของการเผาไหม้สามารถหาได้โดยใช้แคลอรี่มิเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการเผาไหม้ ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ในแคลอรี่มิเตอร์จะถูกทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิเริ่มต้นและความร้อนที่ถูกดูดโดยตัวกลางที่เย็น ซึ่งเป็นตัวที่วัดค่าเพื่อหาค่าความร้อนสูงหรือความร้อนทั้งหมดของการเผาไหม้(Higher or gross heat of combustion)

สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลว (Most Liquid Flues) ใช้แคลอรี่มิเตอร์แบบ " bomb" ซึ่งสารที่เผาไหม้ได้จะถูกเผาในปริมาตรที่คงที่ของออกซิเจนใน Bomb Calorimeters ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซับและวัดค่า

สำหรับเชื้อเพลิงแคลอรีมิเตอร์ใช้ชนิดต่อเนื่อง (Continuous) หรือชนิดการไหลที่คงที่ (Constant flow type) หลักการทำงานเบื้องต้นคล้ายกับ Bomb Calorimeter ยกเว้นความร้อนที่ถูกบรรจุอยู่ สามารถแสดงที่ความดันคงที่มากกว่าปริมาตรคงที่สำหรับเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ความแตกต่างของค่าความร้อน (Hating Value) จากค่าความดันคงที่และปริมาตรที่คงที่จะแตกต่างกันน้อยมาก

สำหรับความเที่ยงตรงของค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลว ค่าความร้อนสามารถประมาณได้จากสูตรของ Dulong's กรณีทราบค่า Ultimate Chemical Analysis

$$Btu/lb = 14544C + 62028(H_2 - O_2/8) + 405\,S$$

จากสูตรนี้ สัญลักษณ์ ถูกแทนโดยเศษส่วนโดยน้ำหนักขององค์ประกอบของเชื้อเพลิงคาร์บอน, ไฮโดรเจน, ออกซิเจน, ซัลเฟอร์ โดยวิเคราะห์หาจากUltimate Analysis สปส. แทนโดยประมาณจากค่า Heating Value ขององค์ประกอบในรูปของ Btu/lb เทอม $O_2/8$ แสดงในรูปของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปของน้ำ(ไฮโดรเจนที่พร้อมจะรวมกับออกซิเจนในรูปของความชื้น)

2.1.8 อุณหภูมิของการจุดติดไฟ(Ignition Temperature)

อุณหภูมิของการจุดติดไฟ หมายถึง อุณหภูมิซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้มากกว่าความร้อนที่สูญเสียไปกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้น กระบวนการเผาไหม้กลายเป็นกระบวนการดำเนินได้เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(self-sustaining)

อุณหภูมิติดไฟและสารที่เผาไหม้ได้จะแปรตามชนิดของสารนั้น ตามตารางที่ 2.6 ซึ่งแสดงอุณหภูมิต่ำสุดและช่วงของอุณหภูมิในอากาศสำหรับเชื้อเพลิงและองค์ประกอบของสารเผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิง มีแฟกเตอร์หลายอย่างที่มีผลต่ออุณหภูมิการติดไฟ เช่น ความดัน ความเร็ว ระบบที่ล้อมรอบ (Enclose Configuration), วัสดุที่เป็นตัวเร่ง (Catalytic Materials), การผสมกันของอากาศเชื้อเพลิง และจุดที่ติดไฟมีตัวแปรบางอย่าง

อุณหภูมิติดไฟ (Ignition Temperature) จะลดลงกับการเพิ่มขึ้นของความดันและเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น

สารที่เผาไหม้ได้	สูตรเคมี	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)
Sulfur	S	470
Charcoal	C	650
Fix Carbon(semibituminous coal)	C	765
Fix Carbon(antracite)	C	840-1115
Acetylene	C_2H_2	580-825
Ethane	C_2H_6	880-1165
Ethylene	C_2H_4	900-1020
Hydrogen	H_2	1065-1095
Methane	CH_4	1170-1380
Carbon Monoxide	CO	490-560
Kerosene	-	490-560
Gasolene	-	500-800

ตารางที่2.6 อุณหภูมิติดไฟของเชื้อเพลิงในอากาศ

2.1.9 การคำนวณการเผาไหม้

การคำนวณการเผาไหม้เป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการออกแบบทั้งหมดและเป็นการประเมินสมรรถนะของหัวเผา ซึ่งเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบต่างๆเหล่านี้

1) ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่มีการเปลี่ยนแปลงไป

2) ปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมา

3) ประสิทธิภาพของกระบวนการเผาไหม้ทั้งเงื่อนไขในอุดมคติและเงื่อนไขจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.9.1 การสูญเสีย (Losses)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงไม่ได้เปลี่ยนไปเป็นความร้อนทั้งหมด มีบางส่วนที่ถูกดูดซับโดยเตาเผา นอกจากนั้นบางส่วนของเชื้อเพลิงก็ไม่ถูกเผาไหม้ทำให้เกิดคาร์บอนคงเหลืออยู่ในรูปของเถ้า หรือ คาร์บอนถูกเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์ แทนที่จะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ปกติออกซิเจนในเชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้ทั้งหมด ความร้อนที่สูญเสียส่วนใหญ่จะเป็นการสูญเสียที่ปล่อง เพราะความร้อนในเชื้อเพลิงจะคำนวณจากที่บรรยากาศ ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจากการเผาไหม้ถูกทำให้เย็นจน เท่ากัน ถ้าหากความร้อนทั้งหมดถูกนำไปใช้ประโยชน์อุณหภูมิที่สูงกว่า หมายถึง ความร้อนที่สูญเสียรวม จาก

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

ในทางปฏิบัติ มีความต้องการอากาศมากกว่าปริมาณอากาศตามทฤษฎี เพื่อเป็นการประกันว่า ปริมาณออกซิเจนจะเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ อากาศส่วนเกินจะไม่มีความจำเป็น ถ้าหากเกิด การเผาไหม้เผาไหม้ระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ แต่มีความจำเป็น ในการใช้ปริมาณอากาศ ส่วนเกินให้น้อยที่สุด เพื่อลดการสูญเสียในปล่องอากาศส่วนเกินไม่ได้ใช้ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ ปล่อยออกมาที่อุณหภูมิปล่อง ความต้องการความร้อนเพื่อที่จะทำให้อากาศร้อนขึ้นจากอุณหภูมิห้องเพิ่ม ขึ้นถึงอุณหภูมิปล่อง การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินสำหรับเชื้อเพลิงและเตาเผาแบบต่างๆ แสดงตามตา รางที่ 2.6 ซึ่งในการใช้ความร้อนนี้ทำให้เกิดความร้อนสูญเสียได้

เชื้อเพลิง	ชนิดหัวเผา	ปริมาณอากาศเกินพอ (% โดยน้ำหนัก)
Pulverize coal	Completely water-cooled furnance for slag-tap or dry-ash-removal Partially water-cooled furnance for dry-ash-removal	15-20
Crushed coal	Cyclone Furnance-pressure or suction	15-40
Coal	Spreader-Stoker	10-15
	water-cooled vibratinng-grate stoker	30-60
	Chain-grate and traveling-grate stokers	15-50
	Underfeed stoker	20-50
Fuel oil	Oil burner, register type	5-10
	Mutifuel burners and flat-flame	10-20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Acid sludge	Cone and flat-flame typeburners, stream-atomized	10-15
Natural, coke-oven	Register-type burners	5-10
and refinery gas	Mutifuel burners	7-12
Blast-furnance gas	Intertube nozzle-type burners	15-18
Wood	Dutch oven(10-23 % through grate) and Hoft-type	20-25
Begass	All furnance	25-35
Black liquore	Recovery furnance for kraft and soda-pulping process	5-7

ตารางที่ 2.7 ปริมาณอากาศส่วนเกินอากาศส่วนเกินที่ใช้กับเชื้อเพลิงและเตาเผาแบบต่างๆ

นอกจากนี้ยังมี Inherent heat losses ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ และยังมีความร้อนที่สูญเสียหลายอย่างที่สามารถควบคุมได้เพียงบางส่วนใน Inherent heat losses ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจาก

1. การกระจายของผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศ
2. ความชื้นในองค์ประกอบของเชื้อเพลิงรวมกับผลรวมของไฮโดรเจน กับออกซิเจนในเชื้อเพลิง

เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการสูญเสียความร้อน สามารถทำได้โดยการออกแบบที่ดีและการควบคุมการทำงานที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถลดการสูญเสียความร้อนให้น้อยที่สุดได้โดยการ

1. การควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกิน
2. การปล่อยของแข็งที่ไม่สามารถเผาได้ปนมาในเถ้า หรือกากของของเสียจากการเผาไหม้
3. การปล่อยให้ก๊าซที่ไม่ถูกเผาไหม้ปล่อยออกไปกับก๊าซเสีย
4. การใช้ฉนวนหุ้มอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากการแผ่รังสี

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน หรือหม้อไอน้ำเป็น 100 ลบด้วยผลรวมของความร้อนที่สูญเสียในรูปของเปอร์เซ็นต์

2.2 คุณสมบัติของก๊าซ LPG

2.2.1 คุณสมบัติทางเคมี ของก๊าซ LPG หมายรวมถึงก๊าซ ไฮโดรคาร์บอน ที่มีส่วนประกอบของคาร์บอน ในระดับ C3 และ C4 ซึ่งในระดับนี้ไฮโดรคาร์บอน จะสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวได้ ภายใต้ความดันที่ไม่สูงมากนักที่อุณหภูมิ ปกติไฮโดรคาร์บอนกลุ่มนี้ประกอบด้วย

โพรเพน	Propane	C_3H_8
โพรพีลีน	Propylene	C_3H_6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิวเทน	Butane	C_4H_{10}
บิวทีลีน	Butylene	C_4H_8

และมีสารประกอบที่ไม่ใช่ ไฮโดรคาร์บอน รวมอยู่บ้างเล็กน้อยเช่น Ethane , Ethylene เนื่องจากความหลากหลายของส่วนประกอบทำให้มีการตั้งมาตรฐานก๊าซ LPG ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงให้แน่ชัดและเป็นข้อมูลในการออกแบบระบบให้ถูกต้องและปลอดภัย

อย่างไรก็ตาม C3 และ C4 ที่ปรากฏอยู่ในส่วนผสมของก๊าซ LPG อาจแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ คือพวก 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 ของก๊าซ LPG นั้นมีทั้งลักษณะของเหลวและก๊าซ ซึ่งมีคุณสมบัติต่างกันดังนี้

2.2.2.1 สถานะของเหลว

เนื่องจาก LPG มีจุดเดือดต่ำมาก คือโพรเพน -42 .045 องศาเซลเซียส นอร์มัลบิวเทน -0.5 องศาเซลเซียส ไอโซบิวเทน -11.72 องศาเซลเซียส ดังนั้น LPG จะมีจุดเดือดและมีสถานะเป็นก๊าซที่บรรยากาศ เว้นเสียแต่ถูกอัดด้วยความดันอยู่ภายในถัง ค่าความดันที่ทำให้เป็นของเหลวคือความดันของ LPG เอง

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

ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติของ LPG สถานะของเหลว

2.2.2.2 สถานะก๊าซ

ช่วงการลุกไหม้(Flammability Limits in Air) ก๊าซที่สันดาปได้จะมีช่วงส่วนผสม กับอากาศเพียงช่วงเดียวที่จุดไฟแล้วลุกไหม้ได้ เพราะอากาศผสมอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะช่วงการลุกไหม้ได้จะแสดงค่าเป็นร้อยละ ของปริมาตร ก๊าซต่ออากาศ ค่าความเข้มข้นสูงของช่วงการลุกไหม้เรียกว่าค่าขอบบนส่วนทางด้านต่ำเรียกว่า ค่าขอบล่าง LPG (ของผสมระหว่างโพรเพนกับบิวเทน) จะลุกไหม้ในช่วง 2-9 % โดยโพรเพน มีช่วงการลุกไหม้ 2.4-9.5 % ในอากาศ และ บิวเทน มีช่วงการลุกไหม้ 1.8-8.4 % ในอากาศ ถ้าส่วนผสมมากหรือน้อยกว่านี้จะไม่ลุกติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **อุณหภูมิของการจุดติดไฟ (Ignition Temperature)** เมื่อค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิให้กับเชื้อเพลิงจนเลยอุณหภูมิค่าหนึ่งแล้ว แม้จะไม่มีประกายไฟหรือสาเหตุของการติดไฟ เชื้อเพลิงก็จะลุกไหม้เองตามธรรมชาติอุณหภูมิต่ำสุดที่เริ่มเกิดการลุกไหม้ตามธรรมชาตินี้เรียกว่าอุณหภูมิการจุดติดไฟ ของโพรเพนคือ 460-580 องศา ของบิวเทนคือ 410-550 องศาเซลเซียส

- **อุณหภูมิของเปลวไฟ (Flame Temperature)** อุณหภูมิของเปลวไฟที่ได้มาจากการเผาไหม้ของก๊าซหุงต้มมีสูงมากพอที่จะหลอมละลายโลหะต่างๆได้ เช่น เหล็กหล่อ ทองเหลือง อะลูมิเนียม และแก้ว เป็นต้น โดย โพรเพน มีอุณหภูมิเปลวไฟในอากาศ 1,930 องศาเซลเซียส บิวเทน 1,900 องศาเซลเซียส

- **อัตราส่วนปริมาตรของเหลวต่อก๊าซ (Liquid-Vapor volume Ratio)** ก๊าซหุงต้มเหลวเมื่อเมื่ออยู่ในสถานะก๊าซ ปริมาตรจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากโดย โพรเพน 1 หน่วย ปริมาตร เมื่อกลายเป็นก๊าซแล้วจะมีปริมาตรเป็น 27 หน่วย ที่ 15.5 องศาเซลเซียส ส่วน บิวเทน 1 หน่วยปริมาตร เมื่อกลายเป็นก๊าซแล้วจะมีปริมาตรเป็น 233 หน่วย ที่ 15.5 องศาเซลเซียส

- **ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of combustion)** ค่าความร้อนของก๊าซหุงต้มหมายถึง ปริมาณความร้อนที่เกิดจากการนำเอาก๊าซหุงต้ม 1 หน่วยน้ำหนัก หรือ 1หน่วยปริมาตร มาทำการเผาไหม้ที่ความดันและอุณหภูมิปกติ (25 องศาเซลเซียส) ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

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

ตารางที่2.9ค่าความร้อนของการเผาไหม้ก๊าซ LPG

หมายเหตุ Gross หมายถึง เมื่อน้ำที่ได้จากการเผาไหม้อยู่ในสถานะของเหลว

Net หมายถึง เมื่อน้ำที่ได้จากการเผาไหม้อยู่ในสถานะไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Air Requirement)

ก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีผสมอยู่ในอากาศ 21%โดยปริมาตรและเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าไปในห้องเผาไหม้ จะต้องมีปริมาณที่แน่นอน ในกรณีที่ก๊าซแอลพีจีเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ทั้งหมด ก็จะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงนี้เขียนเป็นสมการเคมีได้ดังต่อไปนี้

โพรเพน $C_3H_8 + 5O_2 \longrightarrow 3CO_2 + 4H_2O$ (2.8)

บิวเทน $C_4H_{10} + 6.5O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 5H_2O$ (2.9)

ดังจะเป็นได้จากสมการเหล่านี้ ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะเป็น 5 เท่า ในกรณีของโพรเพนและจะเป็น 6.5 เท่า ในกรณีของบิวเทน เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในอากาศมีประมาณ 21 % ฉะนั้นในการเผาไหม้โพรเพนอย่างสมบูรณ์ 1 ลูกบาศก์เมตร จะต้องใช้อากาศ 24 ลบ. เมตร ส่วนบิวเทน 1 ลบ. เมตร จะใช้อากาศ 31 ลบ. เมตร ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินแล้ว แอลพีจีต้องการอากาศมากกว่าเล็กน้อย

- สี กลิ่น ความเป็นพิษและการละลาย

แอลพีจี บริสุทธิ์ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตก๊าซแอลพีจี จึงต้องเติมสารประกอบที่มีกลิ่นเหม็นลงไปด้วย เพื่อให้ผู้ใช้รู้ตัวเมื่อก๊าซแอลพีจีเกิดรั่ว หรือผู้ใช้ลืมปิดวาล์วใช้ก๊าซ สารประกอบที่ลงไปเพื่อทำให้ก๊าซแอลพีจี มีกลิ่นเหม็นเป็นพวกสาร เมอร์แคปแทน (mercaptan)

ตัวแอลพีจีเองเป็นสารไม่มีพิษ แต่ในกรณีเกิดการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ก็จะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ได้เช่นกัน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากไม่มีสารพิษร้ายแรง เช่นTetraethyl Lead ซึ่งมีอยู่ในน้ำมันเบนซิน ฉะนั้นก๊าซเสีย ของแอลพีจี จึงสะอาดเมื่อเทียบกับการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซิน

นอกจากนั้นก๊าซแอลพีจี มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย เช่นเดียวกับพวก น้ำมันระเหย จึงสามารถหรือทำให้อุปกรณ์ต่างๆที่ทำมาจากยางธรรมชาติ เสียคุณสมบัติได้เช่น ปะเก็น หรือ ซีลต่างๆ ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้กับถังที่บรรจุก๊าซธรรมชาติ ควรใช้วัสดุอื่นที่ไม่ได้ทำมาจากยางธรรมชาติ เช่นยางสังเคราะห์เป็นต้น

2.3 คุณสมบัติของน้ำมันพืช

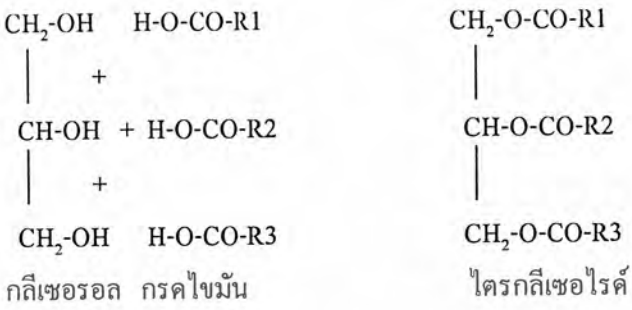
2.3.1ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช

น้ำมันพืชเป็นสารประกอบอินทรีย์สารจำพวกเอสเตอร์ เกิดจากปฏิกิริยาของสารพวกแอลกอฮอล์ที่เรียกว่ากลีเซอรอลกับกรดอินทรีย์ที่เรียกว่ากรดไขมัน ซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบไตรกลีเซอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ไรด์ ดังรูป น้ำมันพืชจะสลายตัวให้กลีเซอรอล และกรดไขมันที่อุณหภูมิสูงๆกรดไขมันเกิดออกซิเดชั่นทำให้ลุกไหม้ได้แต่กลีเซอรอลจะไม่เกิด



- กรดไขมัน

กรดไขมันเป็นกรดคาร์บอกซิลิก(Carboxylic Acid:-COOH) ต่ออยู่กับไฮโดรคาร์บอน ความแตกต่างของกรดไขมันอยู่ที่จำนวนอะตอมคาร์บอน ระดับ และตำแหน่ง ความไม่อิ่มตัว กรดไขมันในธรรมชาติส่วนใหญ่จะเป็นไฮโดรคาร์บอนสายตรงยาวต่ออยู่กับหมู่คาร์บอกซิลิกหมู่เดียวดังนี้

กรดไขมันที่พบในธรรมชาติส่วนมากจะมีอะตอมคาร์บอนเป็นเลขคู่ อยู่ในช่วง 4-30 อะตอม แต่ส่วนใหญ่ที่พบอยู่ระหว่าง 12-24 อะตอม โดยเฉพาะอย่างยิ่งคาร์บอน 16 และ 18 อะตอม พันธะที่ต่อระหว่างอะตอมคาร์บอนมีทั้งชนิดพันธะเดี่ยวและพันธะคู่กรดไขมันที่มีเฉพาะพันธะเดี่ยวเรียกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid) พบเป็นปริมาณสูงในไขมันสัตว์ ส่วนกรดไขมันที่มีเฉพาะพันธะคู่รวมอยู่ด้วยเรียกว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัว(Unsaturated Fatty Acid) พบมากในน้ำมันพืช

การนับตำแหน่งของคาร์บอนเพื่อบอกตำแหน่งพันธะคู่ มี 2 วิธีคือ นับจากปลายคาร์บอนใช้สัญลักษณ์ Δ (delta) หากนับจากปลายเมทธิล จะใช้สัญลักษณ์ n หรือ ω (Omega) ในการกล่าวถึงกรดไขมันแต่ละชนิดนิยมเขียนในรูปรหัสซึ่งบอกจำนวนคาร์บอน จำนวนพันธะคู่และตำแหน่งเช่น กรดลิโนเลอิก มีคาร์บอน 18 อะตอม 2 พันธะคู่ อยู่ที่ตำแหน่ง 9 และ 12 หรือ n-6 จะมีรหัสเป็น $C_{18:2}$, Δ9,12;n-6

กรดไขมันที่มีความยาวโมเลกุลตั้งแต่ 16-18 คาร์บอนจัดเป็นกรดไขมันขนาดกลางซึ่งพบเป็นส่วนประกอบหลักของไขมันส่วนใหญ่ กรดไขมันอิ่มตัว ที่พบมากที่สุดคือกรดปาล์มมิติก (Palmitic Acid) และกรดสเตียริก (Stearic Acid) ส่วนชนิดไม่อิ่มตัวที่พบมากที่สุดคือกรดโอเลอิก (Oleic Acid)

$CH_3-(CH_2)_{14}-COOH$	Palmitic Acid ($C_{16:0}$)
$CH_3-(CH_2)_{15}-COOH$	Stearic Acid ($C_{18:0}$)
$CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$	Oleic Acid ($C_{18:0}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50153

2.3.2 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันพืช

น้ำมันพืชเป็นเอสเทอร์ระหว่างกลีเซอรอลกับกรดไขมัน คุณสมบัติทางเคมีจะขึ้นกับปฏิกิริยาในโมเลกุลไขมันตรงพันธะเอสเทอร์และในโมเลกุลกรดไขมัน

2.3.3 ปฏิกิริยาที่พันธะเอสเทอร์

พันธะเอสเทอร์จะสลายได้ง่ายในกรดหรือด่าง ถ้าสลายในปฏิกิริยาอาจผันกลับได้ (Reversible) แต่ถ้าสลายตัวในด่างจะไม่เกิดการผันกลับ (Irreversible) เพราะถ้ามีด่างจะทำให้กรดที่มีอยู่แตกตัวเป็นอิออนลบ และมีแนวโน้มไม่ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ผลจากการสลายพันธะเอสเทอร์ทำให้เกิดการเปลี่ยนหมู่กรดไขมันและแอลกอฮอล์ สารใหม่ที่ได้จะเป็นอะไรขึ้นกับสารที่ใช้ทำปฏิกิริยา

2.3.4 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืช

การทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันพืชจะใช้มาตรฐานของน้ำมันดีเซลเป็นตัวเปรียบเทียบ โดยคุณสมบัติของน้ำมันพืชที่ใช้ในการทดสอบจะบ่งบอกถึงความยากง่ายในการติดไฟ และอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด ความร้อนจำเพาะ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ จุดเดือด จุดวาบไฟ ค่าความร้อน และน้ำหนักโมเลกุล

2.3.4.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะ หมายถึง ค่าความหนาแน่นของน้ำมันโดยวัดความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิมาตรฐาน 15 องศาเซลเซียส เครื่องมือที่ใช้วัดความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเรียกว่า ไฮโดรมิเตอร์ ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ดังนั้นความบริสุทธิ์ของน้ำมันแต่ละชนิดสามารถบอกได้จากค่าความถ่วงจำเพาะ จากการค้นคว้าหาข้อมูลของน้ำมันปาล์มไม่พบข้อมูลเกี่ยวกับค่าความถ่วงจำเพาะ

2.3.4.2 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นหมายถึงมวลน้ำมันต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ความหนาแน่นของน้ำมันขึ้นอยู่กับค่า ซาปอนนิฟิเคชั่น ค่าไอโอดีน ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณน้ำ และอุณหภูมิของน้ำมัน โดยที่ค่าความหนาแน่นจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อค่าซาปอนนิฟิเคชั่น และค่าไอโอดีนเพิ่มขึ้น โดยความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มที่นำมาใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.920 ที่ 20 องศาเซลเซียส

2.3.4.3 ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat)

ความร้อนจำเพาะหมายถึงปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำมัน 1 หน่วยมวลมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ที่สภาวะความดันคงที่ หรือปริมาตรคงที่

ความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชและไขมันหาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ

Cp = ค่าความร้อนจำเพาะ, kCal/kg $^{\circ}$C

T = อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำมัน, $^{\circ}$C

โดยที่อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำมันปาล์มมีค่าเท่ากับ 270 $^{\circ}$C ดังนั้นความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์มจึงมีค่าเท่ากับ 0.6671 kCal/kg $^{\circ}$C

2.3.4.4 ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent heat)

ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอหมายถึงปริมาณความร้อนที่ทำให้สารหนึ่งหน่วยมวลเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ที่อุณหภูมิและความดันคงที่ สามารถหาค่าดังกล่าวได้จากสมการ

$$L = (110.9-0.09t)(2.328/Spgr) \quad (2.11)$$

เมื่อ

L = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ, kJ/kg

T = อุณหภูมิการกลายเป็นไอ, $^{\circ}$F

Spgr = ความถ่วงจำเพาะที่ 60 $^{\circ}$F

2.3.4.5 จุดเดือด (Boiling point)

จุดเดือด หมายถึง อุณหภูมิของเชื้อเพลิงซึ่งความดันไอของเชื้อเพลิงเหลวเท่ากับความดันบรรยากาศที่กระทำที่ผิวหน้าของเชื้อเพลิง น้ำมันพืชประกอบด้วย สารประกอบทางเคมีหลายชนิด และมีช่วงการเดือดกว้าง ค่าจุดเดือดสามารถหาได้จาก ค่าเฉลี่ยซึ่งสามารถหาได้โดยนำน้ำมันตัวอย่าง 100 มล. มากลั่นตามมาตรฐาน ASTM D86 บันทึกค่าอุณหภูมิที่ปริมาตรการกลั่นเริ่มจากหยดแรกของการกลั่น และทุก 10 % ปริมาตรที่กลั่นได้ นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาตรที่กลั่นได้ โดยให้ แกน x เป็นปริมาตรที่กลั่นได้ และแกน y เป็นอุณหภูมิ จากนั้นหาสมการของเส้นกราฟ ซึ่งอุณหภูมิเป็นฟังก์ชันของปริมาตร (y = f(x) หรือ t = f(v)) หาพื้นที่เฉลี่ยใต้กราฟ นำปริมาตรทั้งหมดไปหาพื้นที่เฉลี่ยภายใต้เส้นกราฟ จะได้อุณหภูมิจุดเดือดเฉลี่ยของน้ำมัน โดยจุดเดือดของน้ำมันปาล์มที่นำมาใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 270 องศาเซลเซียส

2.3.4.6 จุดวาบไฟและจุดติดไฟ(Flash point and Fire point)

จุดวาปไฟคืออุณหภูมิต่ำสุดของของเหลวที่ไอของน้ำมันเกิดติดไฟและดับทันที จุดนี้หาได้จากค่อยๆให้ความร้อนแก่น้ำมัน พอถึงจุดๆหนึ่ง อุณหภูมิจะเกิดเปลวไฟกวาดไปบนพื้นผิวหน้าน้ำมันวาบหนึ่งและก็ดับ ส่วนจุดติดไฟคืออุณหภูมิต่ำสุดที่ไอน้ำมันเกิดติดไฟและติดอยู่ได้ไม่ต่ำกว่า 5 วินาทีของน้ำมัน โดยจุดวาบไฟของน้ำมันปาล์มที่นำมาใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 320 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.7 ความหนืด(Viscosity)

ความหนืดของน้ำมันมีอิทธิพลต่อรูปร่างของน้ำมันที่ฉีดออกมาจากหัวฉีด หากน้ำมันมีความหนืดสูงจะทำให้การฉีดเป็นฝอยไม่ดี ละอองน้ำมันมีขนาดใหญ่น้ำมันจะพุ่งไปไกลและเป็นสาย ทำให้น้ำมันรวมกับอากาศได้ไม่ดี ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ น้ำมันที่มีความหนืดต่ำไป จะทำให้น้ำมันที่พ่นออกมาเป็นฝอยละเอียดมากจึงพุ่งไปไม่ไกลเท่าที่ควร การเผาไหม้จะไม่ดี โดยทั่วไปน้ำมันเชื้อเพลิงมักจะมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 1.8-4.1 Cst ที่ 40 องศาเซลเซียส

2.3.5 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว

2.3.5.1 การกลายเป็นไอ

การกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงเหลวมีความสำคัญต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงและมีผลต่อการควบคุมอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว โดยองค์ประกอบที่มีผลกระทบต่อการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงมีหลายประการดังนี้

1.การแพร่กระจายของเชื้อเพลิงเหลวซึ่งทำให้ อัตราการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น โดยการแพร่กระจายทำให้อัตราการเผาไหม้มากขึ้น ปกติทำได้โดยให้เชื้อเพลิงเป็นละออง

2.พลังงานความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอในกระบวนการเผาไหม้

3.ความดันขณะที่เชื้อเพลิงเหลวกลายเป็นไอมีความสำคัญกล่าวคือ ขณะที่ความดันเพิ่มขึ้น จะ ทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นทำให้เชื้อเพลิงเหลวกลายเป็นไอมากขึ้นตามไปด้วย เชื้อเพลิงเหลวที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก เมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัว การแพร่กระจายของเชื้อเพลิงเหลวเกิดจากการให้ความดันสถิตแก่เชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านหัวฉีด ทำให้เชื้อเพลิงเป็นละออง หยดเชื้อเพลิงที่ออกจากหัวฉีดจะมีความดัน ไม่คงที่ ส่วนที่ระเหยง่ายจะลุกติด ไฟ ผลจากไอเชื้อเพลิงผสมกับอากาศทำให้เกิดปฏิกิริยาก่อนการเผาไหม้

2.3.5.2 การผสมของไอเชื้อเพลิงเหลวกับอากาศ

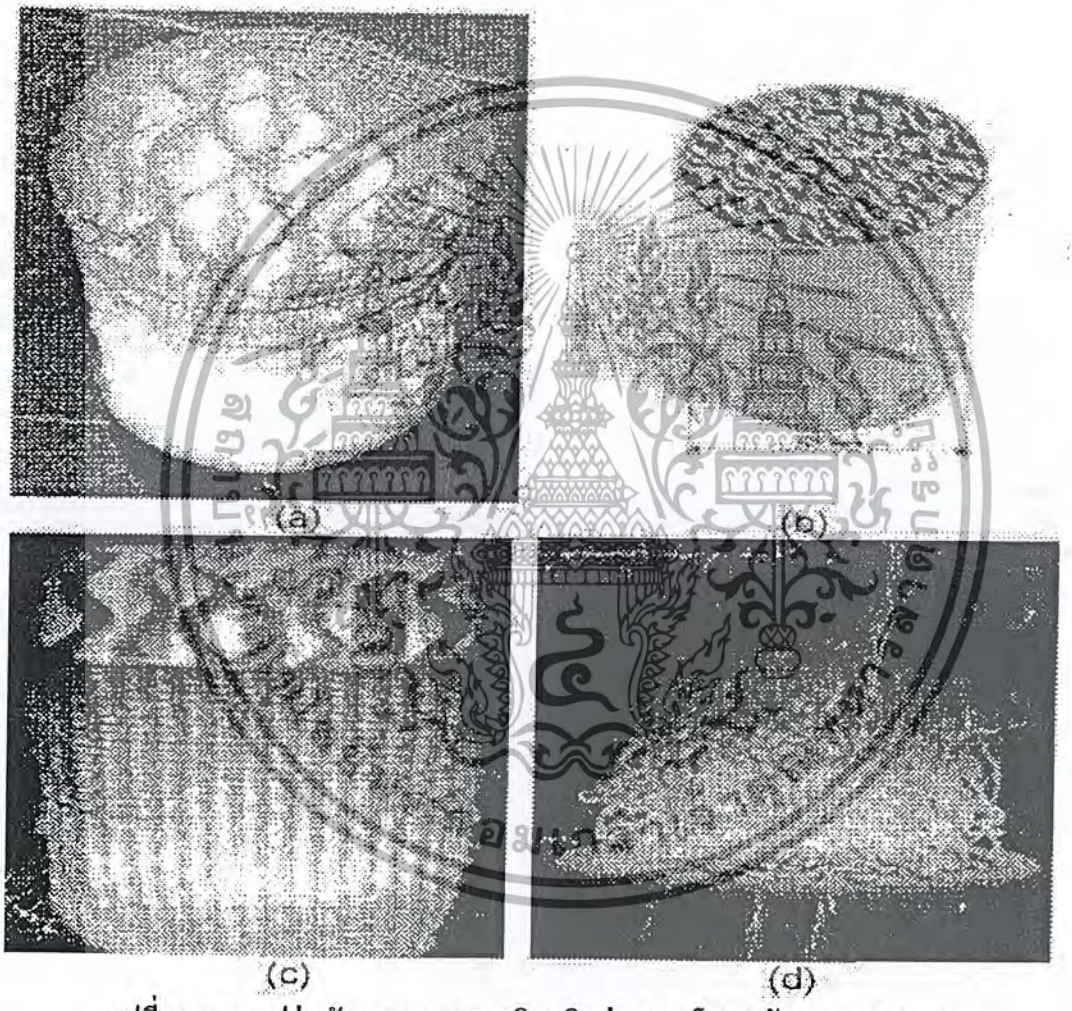
หลังจากเชื้อเพลิงเหลวกลายเป็นไอ และผสมกับอากาศก่อนเกิดการเผาไหม้ ลักษณะของขบวนการผสมของไอเชื้อเพลิงและอากาศมีความสำคัญ คือ การเผาไหม้จะแตกต่างกันระหว่างเชื้อเพลิงเหลวเป็นไอหมดก่อนการเผาไหม้ และเชื้อเพลิงเหลวถูกล้อมรอบด้วยเปลวไฟ และเกิดการเผาไหม้

2.4 คุณสมบัติของวัสดุพรุน

วัสดุพรุนที่เลือกใช้คือ หินเกรนิต โดยจะนำมาวางเรียงภายในห้องเผาไหม้ โดยตั้งสมมติฐานให้มีลักษณะและคุณสมบัติใกล้เคียงกับวัสดุพรุนที่ดี คือ เป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ทนอุณหภูมิได้สูง และมีบทบาทที่สำคัญต่อการเผาไหม้คือ เป็นตัวทำให้เกิดการหมุนเวียนพลังงานในระบบ โดยวัสดุพรุนจะดูดซับเอนทาลปีบางส่วนของแก๊สร้อนไว้ แล้วแผ่รังสีความร้อนออกมาที่กระแสบนของการเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหม้(upstream) และเนื่องจากวัสดุพรุนมีพื้นที่ในการสัมผัสกับของไหลสูงหรือมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนจึงมีประสิทธิภาพที่ดี วัสดุพรุนจึงจัดได้ว่าเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งปัจจุบันวัสดุพรุนถูกผลิตขึ้นในรูปแบบต่างๆ กัน เนื่องจากมีผู้สนใจนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังมีแนวโน้มในการนำวัสดุพรุนไปใช้กับอุปกรณ์ให้ความร้อนอื่นๆ เช่น เครื่องยนต์ความร้อน(Heat Engines) อุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประสิทธิภาพสูง เป็นต้น



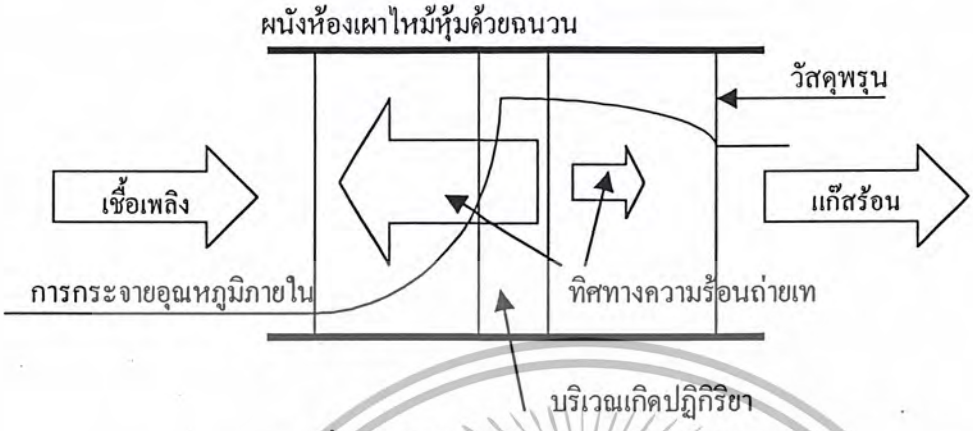
รูปที่2.2 แสดงรูปร่างวัสดุพรุนจากเซรามิกชนิดต่างๆ (a) โครงสร้างแบบ Al_2O_3 fiber (b)โครงสร้างแบบ C/SiC (c) โครงสร้างแบบ Zirconia (d) โครงสร้างแบบเส้นใย Fe-Cr-Al-alloy

2.4.1 หลักการถ่ายเทความร้อนของวัสดุพรุน

เมื่อแก๊สร้อนจากการเผาไหม้ไหลผ่านวัสดุพรุน วัสดุพรุนจะทำการดูดซับเอนทาลปีส่วนหนึ่งจากแก๊สร้อนเอาไว้ แล้วแผ่รังสีความร้อนส่วนใหญ่ไปยังวัสดุพรุนทางด้านกระแสบนของการเผาไหม้(upstream) ดังนั้นเมื่ออากาศและเชื้อเพลิงที่มีอุณหภูมิต่ำไหลผ่านก็จะได้รับความร้อนที่วัสดุพรุนดูดกับเอาไว้ทำให้อากาศและเชื้อเพลิงมีค่าเอนทาลปีสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากหลักการดังกล่าวทำให้ระบบการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เผาไหม้ภายใต้การแผ่รังสีของวัสดุพรุนมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูง และเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงที่ป้อนแก่ระบบ



รูปที่2.3 กลไกการถ่ายเทความร้อนภายในวัสดุพรุน

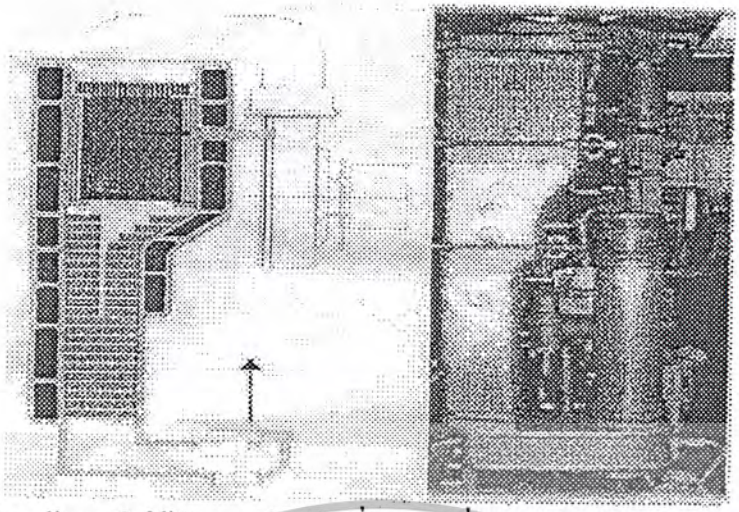
2.4.2 การนำวัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ

เนื่องจากวัสดุพรุนมีคุณสมบัติและลักษณะเฉพาะที่เด่นชัดที่มีข้อดีหลายประการ เช่น มีขนาดที่เล็กกะทัดรัด มลภาวะจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นมีปริมาณที่น้อยมาก ให้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูง และนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ได้ในช่วงความร้อนที่กว้าง ดังนั้นจึงมีการนำเอาวัสดุพรุนไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ มากมาย เช่น โรงงานไฟฟ้ากำลัง เครื่องยนต์ภายในรถยนต์ งานอุตสาหกรรมต่างๆ รวมทั้งเครื่องใช้ภายในครัวเรือนอีกด้วย

2.4.2.1 การนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องใช้ภายในครัวเรือน

นิยมนำไปใช้กับระบบทำความร้อนของอากาศและน้ำ (Air and Warm Water Heating Systems) โดยหัวเผา(burner) สำหรับให้ความร้อนแก่ระบบต้องการความร้อนในช่วงที่กว้าง ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้หัวเผาจำนวนที่มากขึ้นหรือ ไม่ก็ต้องใช้ขนาดของห้องเผาไหม้ที่ยาวขึ้น เป็นการส่งผลให้เกิดมลภาวะมากขึ้น ด้วย การนำวัสดุพรุนมาใช้ในกรณีนี้นอกจากจะเป็นการลดขนาดของหัวเผาลง ยังเป็นการลดการเกิดมลภาวะ ได้เป็นอย่างดี และที่สำคัญยังให้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูงกว่า นอกจากนั้นยังมีการนำไปใช้ร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

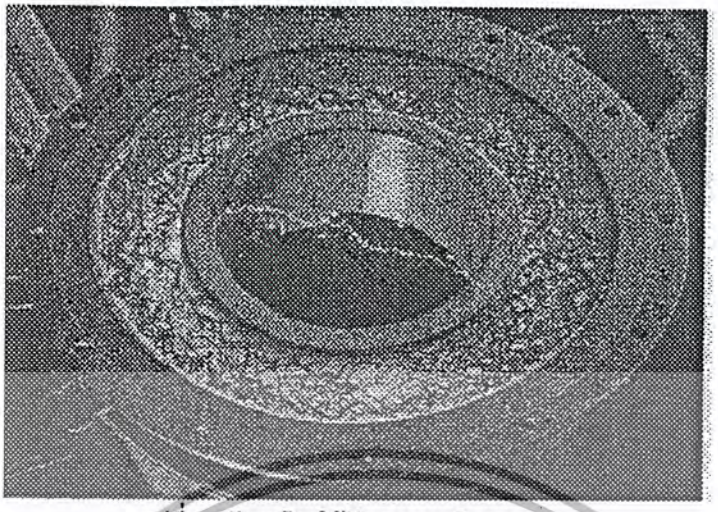


รูปที่2.4 หัวเผาชนิดใช้วัสดุพรุนร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใช้ภายในครัวเรือน

2.4.2.2การนำไปประยุกต์ใช้กับหัวเผาอุตสาหกรรมชนิด Convectional Pre-Mixed Industrial Burner

เมื่อหัวเผาโดยใช้วัสดุพรุนถูกนำไปติดตั้งรวมกับหัวเผาในอุตสาหกรรมชนิด Convectional Pre-Mixed Industrial Burner จะทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นสูงมาก โดยที่หัวเผาชนิด Convectional Pre-Mixed Industrial Burner เพียงอย่างเดียวนั้นเปลี่ยนระดับช่วงกำลังความร้อน(thermal power range) ได้เพียงประมาณ 1/25 แต่เมื่อมีการติดตั้งหัวเผาโดยใช้วัสดุพรุนรวมเข้าไปด้วย จะสามารถเปลี่ยนระดับช่วงกำลังความร้อน(thermal power range) ได้จาก 1/50 ถึงระดับกำลังสูงสุดของหัวเผาได้ โดยปราศจากการเกิดมลภาวะ

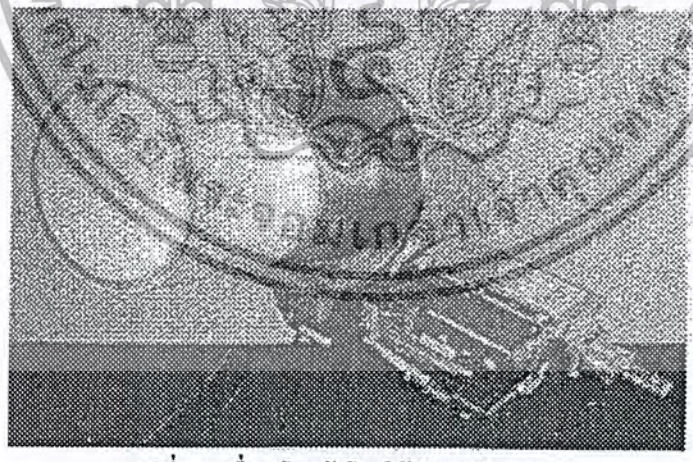
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.5 หัวเผาโดยใช้วัสดุพรุนชนิดวงแหวน

2.4.2.3 การนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอุ่นอากาศในเครื่องเป่าแห้ง

โดยทั่วไปแล้วอุตสาหกรรมชนิดนี้นำหัวเผาแก๊ส(gas burner) มาใช้โดยที่ข้อเสียคือ จากการผสมเชื้อเพลิงและอากาศ หรือจากเปลวไฟชนิดแพร่ ซึ่งมีความยาว 1-3 เมตร ทำให้ต้องใช้ห้องเผาไหม้ที่มีขนาดใหญ่ การนำหัวเผาโดยใช้วัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้นั้น จะลดขนาดห้องเผาไหม้ลงได้มากเนื่องจากความยาวเปลวไฟของหัวเผาโดยใช้วัสดุพรุนที่ติดตั้งเพิ่มกับระบบนี้จะมีความยาวเพียง 10 เซนติเมตรเท่านั้น

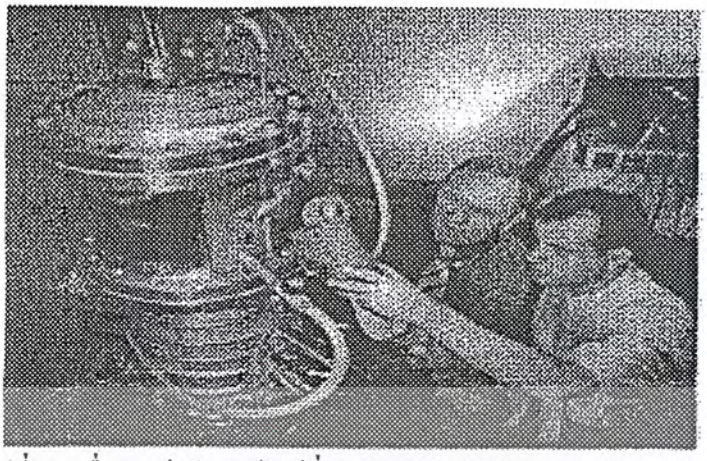


รูปที่2.6 เครื่องเป่าแห้งโดยใช้หัวเผาวัสดุพรุน

2.4.2.4 การนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์

ในงานแก๊สเทอร์ไบน์นั้น หากกำลังงานลดลงต่ำกว่า 50% ของกำลังสูงสุด การเผาไหม้จะเป็นไปอย่างไม่เสถียร ดังนั้นเพื่อให้กำลังงานที่ได้นั้นมากกว่าจุดดังกล่าว ทำให้การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในแก๊สเทอร์ไบน์สร้างมลภาวะพวก NO_x และ CO ออกมาเป็นจำนวนมาก การนำหัวเผาโดยใช้วัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้ในกรณีนี้จะช่วยให้อัตราการสูญเสียกำลังงานลดลงได้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.7 เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ซึ่งนำหัวเผาโดยใช้วัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

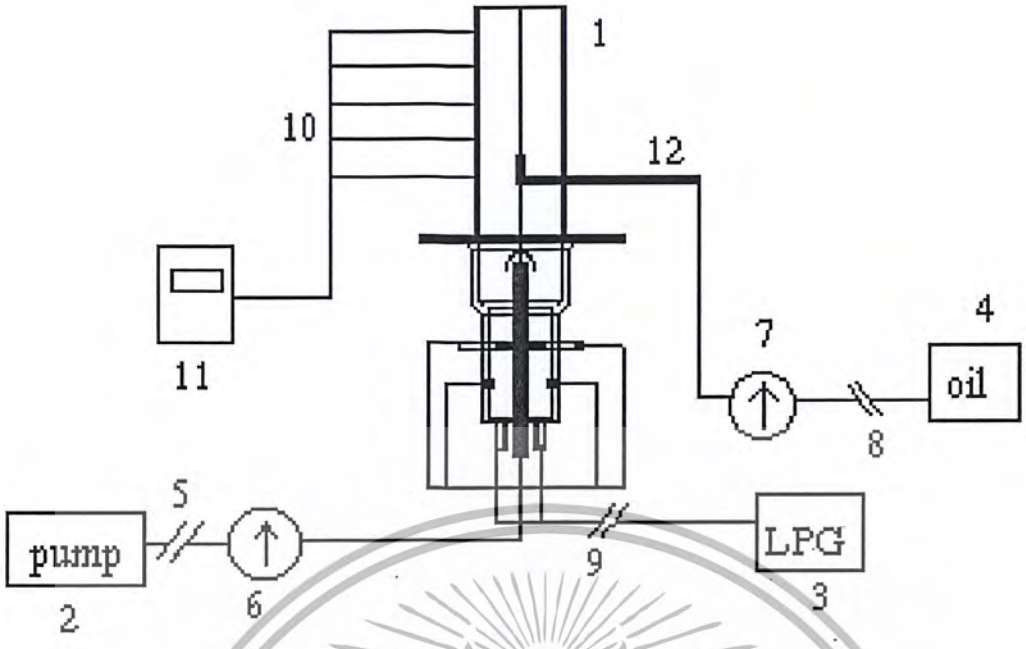
บทที่ 3
การออกแบบและการคำนวณ

ในการออกแบบหัวเผาทุกชนิดนั้น จะต้องมีการออกแบบลักษณะของห้องเผาไหม้ ระบบจ่ายเชื้อเพลิงและอากาศให้เอื้อต่อการเกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ที่สุด เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพจากการเผาไหม้สูงสุดและเกิดมลพิษน้อยที่สุด การออกแบบหัวเผาน้ำมันพืชก็เช่นเดียวกัน โดยปกตินำ้มันทุกชนิดสามารถติดไฟได้เมื่อมีอุณหภูมิสูงถึงจุดที่สามารถติดไฟได้เอง ดังนั้นในการออกแบบจะต้องออกแบบให้น้ำมันเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาและควบคุมให้ดับได้ตามต้องการ

3.1 หลักการออกแบบ

การที่จะทำให้น้ำมันพืชสามารถลุกติดไฟได้ในจังหวะแรกนั้น จะต้องได้รับความร้อนเริ่มต้น และแหล่งความร้อนเริ่มต้นนี้จะใช้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ก๊าซ LPG หรือก๊าซหุงต้มที่ใช้กันทั่วไปในครัวเรือน เพราะหาซื้อได้ทั่วไปและใช้ได้สะดวก สะอาด ในจังหวะเริ่มต้นจะใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ก๊าซหุงต้ม เผาวัสดุพรุน จนอุณหภูมิคงที่และสูงกว่าอุณหภูมิที่สามารถติดไฟได้เองของน้ำมันพืชแล้วหยุดการจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม ต่อมาก็จะเป็นวัสดุพรุนที่ทำหน้าที่ดูดซับและสะสมพลังงานความร้อนเอาไว้ (รวมทั้งผนังของห้องเผาไหม้) แล้วถ่ายเทความร้อนไปสู่ท่อจ่ายน้ำมัน ซึ่งการออกแบบทางเดินของท่อน้ำมันจะมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทสู่น้ำมันด้วย การเพิ่มความยาวของท่อทางเดินภายในห้องเผาไหม้จะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสความร้อนและเวลาในการสัมผัสความร้อนให้แก่น้ำมันพืช นอกจากนั้นห้องเผาไหม้ก็ได้มีการหุ้มฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนและการแผ่รังสีด้วย ส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งก็คือ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการจ่ายอากาศ ซึ่งจำเป็นจะต้องจ่ายในปริมาณที่เพียงพอและต้องจ่ายในลักษณะที่ให้ส่วนผสมเชื้อเพลิงอากาศคลุกเคล้ากันได้ดี เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ที่สุด ในส่วนนี้จึงได้ออกแบบให้ลักษณะการจ่ายอากาศเข้าห้องเผาไหม้เป็นการไหลแบบปั่นป่วนและติดตั้งวาล์วเพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศด้วย โดยส่วนต่างๆ ของชุดหัวเผาน้ำมันพืชประกอบด้วยอุปกรณ์ดังรูป3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป3.1 แสดงอุปกรณ์การทดลองของชุดหัวเผา

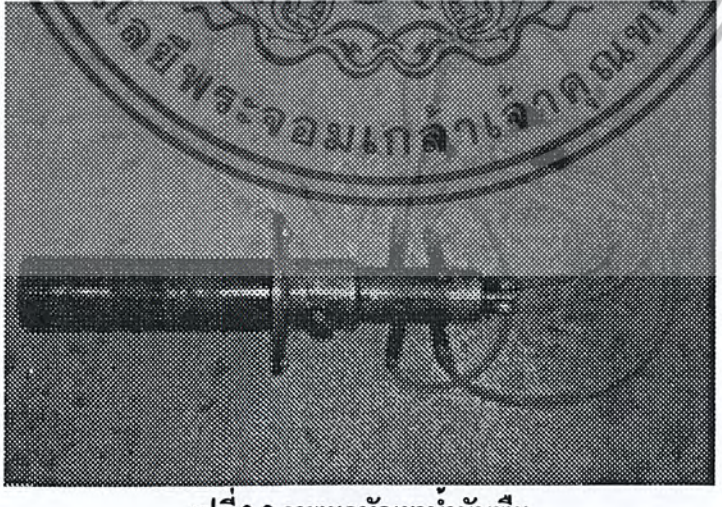
(1) หัวเผา (2) ปั๊มลม (3) ก๊าซหุงต้ม (4) ชุดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง

(5) วาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (6)เครื่องวัดอัตราการไหล (7)เครื่องวัดอัตราการไหล

(8) วาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำมัน (9)วาล์วควบคุมอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง

(10) เทอร์โมคัพเปิล (11)เทิมป์อินดิเคเตอร์ (12)ท่อจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง

3.2 การออกแบบหัวเผา

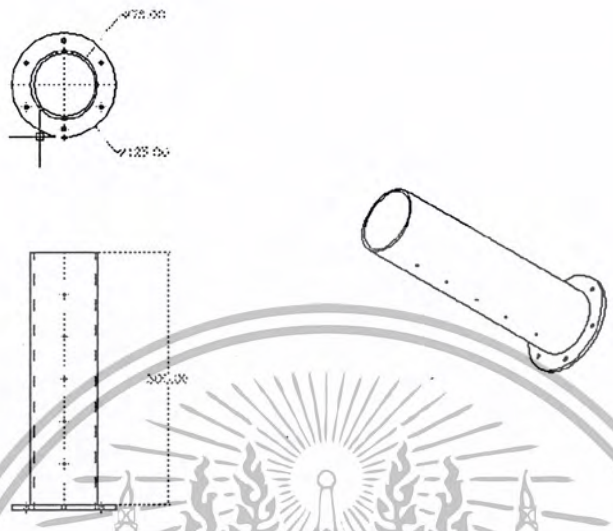


รูปที่ 3.2 ภาพชุดหัวเผาน้ำมันพืช

3.2.1 ห้องเผาไหม้ จะต้องใช้วัสดุที่สามารถทนความร้อนได้สูง เนื่องจากเป็นส่วนที่สัมผัสกับความร้อนสูงโดยตรง จึงเลือกใช้ท่อสแตนเลส ซึ่งทนความร้อนได้สูงถึง 1,400 - 1,500 องศาเซลเซียส

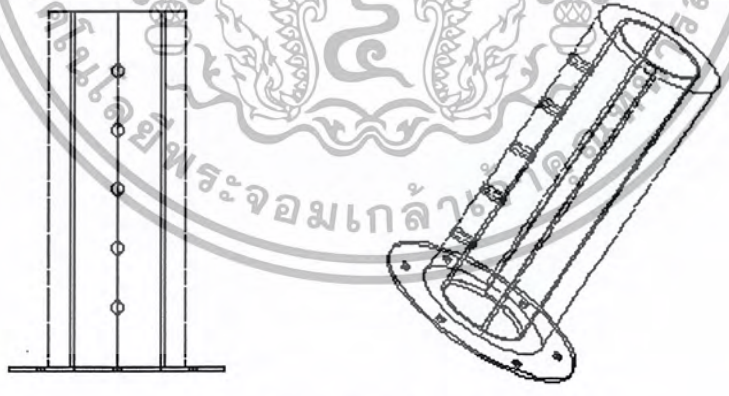
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีรูปร่างเป็นท่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร แล้วเจาะรูตามแนวแกน 5 รู เพื่อที่จะใช้ เทอร์โมคัพเปิล เสียบเข้าไปวัดอุณหภูมิ ภายในห้องเผาไหม้



รูปที่ 3.3 ภาพของห้องเผาไหม้

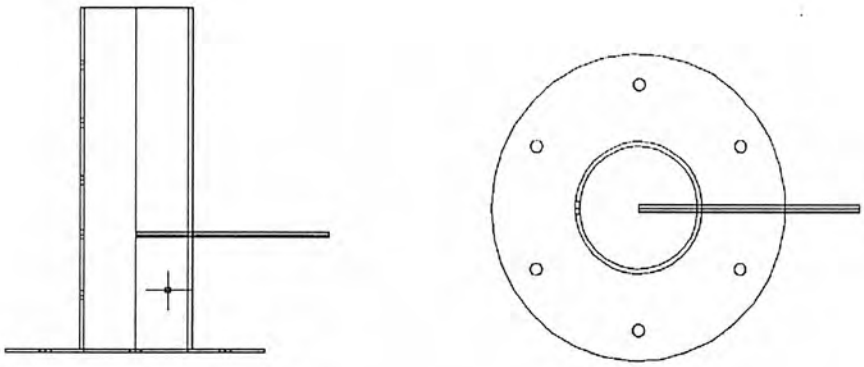
3.2.2 ฉนวน ใช้ฉนวนใยแก้วหนา 20 มิลลิเมตร พันหุ้มรอบหัวเผา แล้วเจาะรูตามแนวแกนให้ตรงกับรูที่ผนังของห้องเผาไหม้ เพื่อให้ปลายของเทอร์โมคัพเปิลเสียบทะลุเข้าไปวัดอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงการหุ้มฉนวน

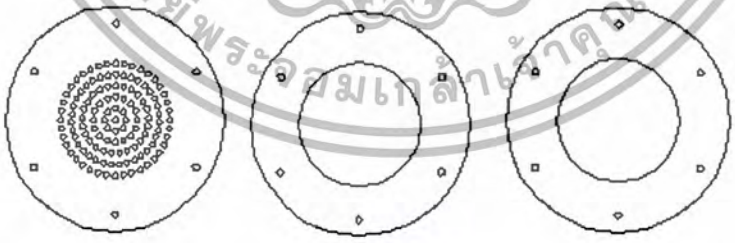
3.2.3 ท่อจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากท่อจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงต้องสัมผัสกับความร้อนโดยตรง จึงเลือกใช้ท่อสแตนเลสและในการทดลองต้องการที่จะควบคุมการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยอัตราการไหลที่ต่ำ จึงเลือกใช้ท่อที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดต่ำด้วย เลือกใช้ท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดเล็กที่สุดที่มีขาย และวางท่อในลักษณะดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ภาพแสดงตำแหน่งตำแหน่งท่อจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง

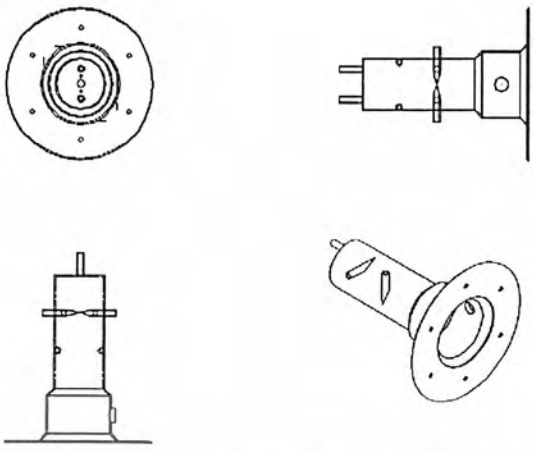
3.2.4 ตะแกรงเหล็กและแผ่นยางกันรั่ว เป็นตะแกรงเหล็กมีรูให้อากาศผ่าน ทำหน้าที่รองรับวัสดุพรุนเป็นส่วนที่ไม่ได้สัมผัสกับความร้อนสูง เพราะอยู่ด้านล่างสุดของห้องเผาไหม้ และมีอากาศไหลผ่านตลอดเวลา จึงเลือกใช้แผ่นเหล็ก เจาะรูเล็กๆ ขนาด 5 มิลลิเมตร หลายๆ รูเพื่อให้อากาศผ่านเข้าห้องเผาไหม้ได้ซึ่งขนาดของรูนี้จะต้องมีขนาดเล็กกว่าขนาดของวัสดุพรุน ในขั้นต้นเรายังไม่ทราบขนาดของวัสดุพรุนที่แน่นอน ซึ่งอาจจะมีขนาดเล็กมากหรือใหญ่มาก ดังนั้นจึงกำหนดให้ขนาดรูนี้มีขนาดเล็กไว้ก่อนและจะต้องมีจำนวนรูที่มากเพื่อที่จะให้อากาศสามารถผ่านเข้าไปในห้องเผาไหม้ได้อย่างเพียงพอ นอกจากนี้ยังมีแผ่นยางกันรั่วประกบด้านบนและด้านล่างของตะแกรงเหล็ก เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศรั่วไหลออกจากห้องเผา ทั้งแผ่นยางกันรั่ว ตะแกรงเหล็ก และฐานของห้องเผาไหม้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันคือ 200 มิลลิเมตร และเจาะรูที่ขอบของทุกแผ่น 6 รู เพื่อใช้ขันน็อตประกอบเข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.6 ภาพตะแกรงเหล็กและแผ่นยางกันรั่ว

3.2.5 ส่วนจ่ายอากาศเข้าห้องเผาไหม้ วัสดุที่เลือกใช้ คือเหล็ก เนื่องจากส่วนนี้เป็นส่วนที่ไม่ได้รับความร้อนจากการเผาไหม้โดยตรง ส่วนสำคัญของส่วนจ่ายอากาศนี้ ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

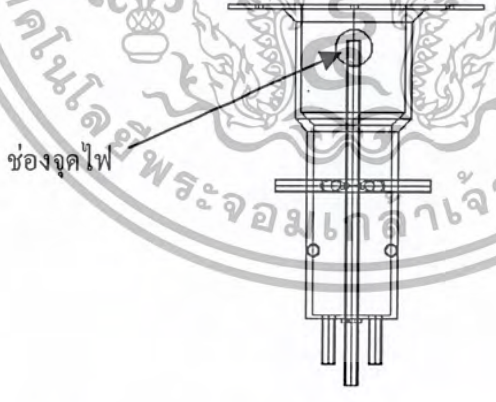


รูปที่ 3.7 ภาพของห้องจ่ายอากาศและก๊าซหุงต้ม

3.2.5.1 ท่อจ่ายอากาศ ได้ออกแบบให้มีการวางท่อในทิศทางที่จะทำให้อากาศมีการไหลแบบหมุนวน โดยจ่ายแบบไหลตรง 2 ท่อ และจ่ายแบบไหลวนอีก 4 ท่อซึ่งทั้ง 6 ท่อ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เท่ากัน

3.2.5.2 ท่อจ่ายก๊าซหุงต้ม ใช้ท่อสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10 มิลลิเมตร

3.2.5.3 ช่องจุดไฟ เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และทำที่ครอบปิดรูเพื่อป้องกันการรั่วไหลออกของส่วนผสมเชื้อเพลิงอากาศ เนื่องจากภายในห้องเผาไหม้จะมีแรงดันสูงกว่าภายนอก หากไม่ปิดรูนี้จะทำให้เกิดเปลวไฟพุ่งออกขณะทำการเผาไหม้ด้วยแก๊สหุงต้ม



รูปที่ 3.8 ภาพแสดงตำแหน่งช่องจุดไฟ และท่อจ่ายก๊าซหุงต้ม

3.3 การคำนวณ

3.3.1 การคำนวณเพื่อการออกแบบขนาดของหัวเผา

การออกแบบหัวเผาที่ดีนั้น ต้องออกแบบให้มีความร้อนสูญเสียน้อยที่สุด เพื่อที่จะได้ความร้อนใช้งานสูง แต่ในบางครั้งการออกแบบต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลายๆอย่าง เช่น ค่าใช้จ่ายในการผลิต,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยากในการผลิต,วัสดุที่ใช้ทำหัวเผา เป็นต้น ปัจจัยต่างๆเหล่านี้มีผลต่อประสิทธิภาพของหัวเผาโดยตรง ทำให้เมื่อผลิตออกมาแล้วอาจจะไม่ใช่หัวเผาประสิทธิภาพสูงเท่าที่คิดไว้ก็ได้

การถ่ายเทความร้อนที่เกิดในหัวเผานี้มี 3 ชนิด คือ การนำความร้อน,การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน การนำความร้อนจะผ่านจากผนังของหัวเผาด้านในออกสู่ด้านนอกในรูปของการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน ดังสมการสมดุลความร้อนข้างล่างนี้

$$q'_{cond} = q'_{conv} + q'_{rad} \qquad (3.1)$$

q'_{cond} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยความยาวโดยการนำความร้อนผ่านผนังหัวเผาจากด้านในสู่ด้านนอก (w/m)

q'_{conv} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยความยาวโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (w/m)

q'_{rad} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยความยาวโดยการแผ่รังสีความร้อน (w/m)

อาจเขียนอยู่ในรูปของสูตรข้างล่างนี้

$$2\pi k(T_1 - T_2)/\ln(r_2/r_1) = 2\pi k_{eff}(T_2 - T_3)/\ln(r_3/r_2) + 2\sigma\pi r_2(T_2^4 - T_3^4)/(1/\varepsilon_1 + ((1-\varepsilon_2)/\varepsilon_2)(r_2/r_3)) \quad (3.2)$$

รูปที่ 3.9 รูปของหน้าตัดหัวเผา

จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าอุณหภูมิสูงสุดของเปลวไฟที่ใช้น้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงนั้นอยู่ที่ 1300°c วัสดุที่เราเลือกใช้ทำหัวเผาต้องทนอุณหภูมิได้มากกว่า 1300°c และมีค่าการนำความร้อน(k) ไม่สูงนัก รวมทั้งต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรงด้วยวัสดุที่เราเลือกก็คือ stainless ซึ่งทนอุณหภูมิได้ราวๆ 1400 - 1500°c ค่า k = 16.3 w/m·K

T_1 คืออุณหภูมิผนังด้านในของหัวเผา , T_2 คืออุณหภูมิผนังด้านนอกของหัวเผา

T_3 คืออุณหภูมิผนังด้านในของฉนวน , r_1 คือรัศมีผนังด้านในของหัวเผา

r_2 คือรัศมีผนังด้านนอกของหัวเผา , r_3 คือรัศมีผนังด้านในของฉนวน

ε_1 คือ emissivity ของหัวเผา(stainless) , ε_2 คือ emissivity ของฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหตุผลที่ไม่นำการนำความร้อนมาคำนวณในการถ่ายเทความร้อนผ่านช่อง gap ของอากาศสู่ผนังของฉนวนด้านในนั้น เนื่องจากว่าอากาศนั้นมีค่า k ต่ำ มีความเป็นฉนวนสูง และอากาศมีโมเลกุลที่ไม่อยู่นิ่งเหมือนของแข็ง ดังนั้นการนำความร้อนซึ่งเกิดจากการสั่นสะเทือนของโมเลกุลต่อๆกันไปจึงเกิดขึ้นน้อยมาก อาจจะประมาณได้ว่าไม่มีก็ได้ โดยทั่วไปนั้นของไหลเช่น ของเหลว หรือ ไอ นั้นจะส่งถ่ายความร้อนโดยการพาเป็นส่วนใหญ่

เมื่อพิจารณาพจน์ของการพาความร้อน และพจน์ของการแผ่รังสีความร้อน พบว่ายิ่ง r_2 และ r_3 น้อย การถ่ายเทความร้อนก็ยิ่งน้อยลงไปซึ่งตรงตามที่เราต้องการ แต่ในทางปฏิบัติแล้วเราไม่สามารถทำ r_2 และ r_3 ได้น้อยมากขนาดนั้น เนื่องจากเมื่อ r_2 น้อยถึงจุดๆหนึ่ง จะทำให้หัวเผามีพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนน้อยเกินไป ทำให้เกิดความร้อนสะสมที่ผนังหัวเผามากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุของหัวเผาละลาย ดังนั้นในขั้นตอนแรกเราจำเป็นจะต้องกำหนดค่าของ r_2 ขึ้นมาเองก่อน ค่า r_2 ที่ง่ายต่อการผลิตและประหยัดโดยได้รับคำแนะนำจากผู้ผลิตที่มีประสบการณ์ ก็คือ 45 mm (ค่านี้เป็นค่าที่ไม่ทราบที่มาแน่ชัดว่าได้มาอย่างไรเนื่องจากเป็นค่าที่ผู้ผลิตแนะนำมาว่าเหมาะสม อาจเนื่องมาจากความง่ายแก่การขึ้นรูปหรือความสามารถที่จำกัดของตัวเครื่องจักรเองรวมทั้งปัจจัยต่างๆเกี่ยวกับผู้ผลิต)

ต่อมาเรามาพิจารณาที่พจน์ของการพาความร้อน จะมีสมการที่สัมพันธ์กันดังนี้

$$k_{eff}/k = 0.386(Pr/0.861+Pr)^{0.25}(Ra_c^*)^{0.25} \qquad (3.3)$$

Ra_c^* คือค่า Reyleigh number สำหรับทรงกระบอกใดๆ

พบว่าที่ $Ra_c^* < 100$ แล้ว $k_{eff} = k$ ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่เราต้องการสำหรับการถ่ายเทความร้อนที่น้อยและเหมาะสมของหัวเผา

ในความเป็นจริงในขณะใช้งาน อุณหภูมิของผนังด้านนอกของหัวเผาจะไม่เท่ากันโดยจะเปลี่ยนไปตามระยะทางความสูงของหัวเผา แต่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามแนวเส้นรอบวงของหัวเผาที่ความสูงหนึ่งๆจะมีค่าไม่มากนัก เราจึงอาจประมาณได้ว่าอุณหภูมิคงที่ตามแนวเส้นรอบวงที่ความสูงของหัวเผาหนึ่งๆ

สภาวะที่เราจะใช้คำนวณจะเป็นจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุด ซึ่งเป็นจุดที่อันตรายต่อหัวเผาที่สุดและยังเป็นจุดที่มีการถ่ายเทความร้อนสูงสุดด้วย เราจึงกำหนดให้

$T_2 = 1300^{\circ}c$ หรือ 1573 K และ $T_3 = 700^{\circ}c$ หรือ 973 K (เป็นค่าที่กำหนดเอาคร่าวๆว่าน่าจะมีค่าสูงสุดไม่เกินนี้) ค่านี้จึงเป็นค่าเหมือนกับว่าเผื่อความปลอดภัยไว้แล้วด้วย

พิจารณาที่การพาความร้อนแบบธรรมชาติในทรงกระบอก 2 อันซ้อนกันแบบไม่เยื้องศูนย์

จากตารางคุณสมบัติของอากาศ ที่ $(T_2 + T_3)/2 = 1273$ K

$K = 80.461\times10^{-3}$ W/m·K , $Pr = 0.72143$, $\alpha = 234.22\times10^{-6}$ m^2/s

$\nu = 179.106\times10^{-6}$ m^2/s , $\beta = 0.0007855$ K^{-1}

จาก
$$Ra_c^* = \{8(\ln(r_3/r_2))^4/(r_3^{-3/5}+r_2^{-3/5})^5\}\{g\beta(T_2-T_3)/\alpha\nu\} \qquad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า Ra_c^* ลงในสมการ (3.3) จะได้

$$k_{eff}/k = (0.386)(Pr/0.861+Pr)^{0.25} (8g\beta(T_2 - T_3)/(r_3^{-3/5}+r_2^{-3/5})^5\alpha\nu)^{0.25}(\ln(r_3/r_2)) \qquad (3.5)$$

กำหนดให้ $k_{eff} = k$ เนื่องจาก $Ra_c^* < 100$

แทนค่าเงื่อนไขทั้งหมดลงในสมการข้างต้นเพื่อที่จะแก้สมการหาค่า r_3 จะได้ค่า $r_3 = 62$ mm แทนค่ากลับลงไปในสมการของ Ra_c^* เพื่อที่จะ check ค่าของ Ra_c^* จะได้ $Ra_c^* = 41.852$ ซึ่งน้อยกว่า 100 แสดงว่าตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด ตอนนี้เราได้ค่า $r_2 = 45$ mm และ $r_3 = 62$ mm

ดังนั้นจะได้ระยะ gap ของอากาศนิ่งระหว่างหัวเผาและฉนวน = 62-45 =17mm

ขั้นต่อไปก็พิจารณาพจน์ของการแผ่รังสีความร้อน จะเห็นได้ว่าการเลือกชนิดของวัสดุที่ใช้ทำฉนวนมีความสำคัญต่อการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง จากสมการ ค่าของ ε_2 ควรมีค่าต่ำเอาไว้ เพื่อที่จะลดอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีออกจากหัวเผา เราจึงเห็นว่าควรเลือก stainless เป็นฉนวนเช่นเดียวกับหัวเผา เนื่องจาก stainless เป็นวัสดุที่มี emissivity ค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 0.40 ที่ $1300^{\circ}c$) อีกทั้งยังหาได้ง่าย ราคาไม่สูงอีกด้วย

ดังนั้นเราจึงได้อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมต่อหน่วยความยาวที่ออกจากหัวเผาดังสมการ

$$q'_{total} = 2\pi k(T_1 - T_2)/\ln(r_2/r_1) = 762.777 + 23345.679 = 24108.456 \text{ W/m}$$

จากสมการข้างบนเราสามารถหาค่าของ r_1 ได้ถ้าเรากำหนดค่าของ T_1 ได้อย่างเหมาะสม นับว่าเป็นการสมเหตุสมผลที่นำสมการของการถ่ายเทความร้อนแบบอุณหภูมิแปรผันแบบเชิงเส้นกับรัศมีมาใช้ในการคำนวณดังสมการข้างบนนี้ เนื่องจากว่า stainless มีการกระจายความร้อนได้ดี ประกอบกับความหนาของหัวเผาซึ่งมีค่าไม่มากนัก ทำให้อุณหภูมิด้านในและด้านนอกของหัวเผามีค่าต่างกันน้อย จึงอาจพิจารณาให้อุณหภูมิแปรผันแบบเชิงเส้นกับรัศมีได้ ค่า T_1 ที่เห็นว่าเหมาะสมและไม่สูงกว่า T_2 มากนัก ประมาณ $1330^{\circ}c$ เป็นค่าที่กำหนดแบบเผื่อไว้เพื่อความปลอดภัย โดยที่ตามทฤษฎีกล่าวไว้ว่าอุณหภูมิเปลวไฟจะสูงสุดที่ $1300^{\circ}c$ แต่เราจะเผื่อให้มากกว่าเดิม(ค่า $1330^{\circ}c$ นี้เป็นค่าที่ประมาณเอาเองเท่านั้นว่าถ้าจะสูงสุดก็ไม่น่าจะเกินนี้) ทั้งนี้ประโยชน์ของการประมาณเช่นนี้ก็คือว่าจะมีผลทำให้ความหนาของหัวเผาเพิ่มมากขึ้นกว่าการคำนวณที่ $1300^{\circ}c$ซึ่งมีผลที่ให้ความปลอดภัยแก่หัวเผามากขึ้นนั่นเอง

ทำการแก้สมการข้างบนแล้วจะได้ค่า $r_1 = 40$ mm ดังนั้นจะได้ความหนาของหัวเผา = 45 – 40 = 5 mm

เพราะฉะนั้น เราจะได้ขนาดต่างๆของหัวเผา ก็คือ Diameter ของหัวเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 90 mm มีความหนาของหัวเผาเท่ากับ 5 mm มีระยะ gap ของอากาศนิ่งระหว่างหัวเผาและฉนวนเท่ากับ 17 mm และวัสดุที่ใช้ทำหัวเผาและฉนวนคือ stainless

อย่างไรก็ตาม นี่คือการคำนวณเป้าหมายของหัวเผาที่จะทำขึ้น ในกระบวนการผลิตจริงนั้นอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงบางอย่างที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ อาจเนื่องจากความยากในการผลิต , การประกอบ , ต้นทุนการผลิต รวมถึงอุปสรรคข้างหน้าที่ไม่อาจคาดการได้ แต่การคำนวณนี้ก็ยังเป็นแนวทางในการผลิตได้เป็นอย่างดี

3.3.2 การคำนวณเพื่อหาอัตราส่วนสมมูล

ในการทดลองนั้นจะใช้น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยสมมุติให้น้ำมันพืชที่ใช้แล้วมีคุณสมบัติเหมือนน้ำมันพืชที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและคุณสมบัติต่างๆ มีค่าคงที่ (κ , ρ) โดยจากการทดลองจะนำค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมาคำนวณหา อัตราส่วนสมมูลเพื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายอุณหภูมิตามแนวแกนในห้องเผาไหม้ กับอัตราส่วนสมมูลค่าต่างๆ

อัตราส่วนสมมูล (ϕ) หมายถึง ปริมาณอากาศต่อ ปริมาณเชื้อเพลิงที่คำนวณได้ในทางทฤษฎีต่อปริมาณสัดส่วนที่ใช้ในการเผาไหม้จริง

$$\phi = (A/F)_{Stoic} / (A/F)_{actual} \qquad (3.6)$$

เมื่อ

$(A/F)_{Stoic}$ คือ อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงในเชิงทฤษฎี

$(A/F)_{actual}$ คือ อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงจริง

ซึ่งอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงจริงหาได้จาก

$$(A/F)_{actual} = \dot{m}_{air} / \dot{m}_{fuel} \qquad (3.7)$$

เมื่อ

$\dot{m}_{air}$ คือ อัตราการไหลของอากาศเข้าห้องเผาไหม้ (kg/s)

$\dot{m}_{fuel}$ คือ อัตราการไหลของน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้ (kg/s)

อัตราการไหลของอากาศและเชื้อเพลิง หาได้จาก

$$\dot{m}_{air} = \rho_{air} \times \dot{Q}_{air} \qquad (3.8)$$

$$\dot{m}_{fuel} = \rho_{fuel} \times \frac{\forall}{t} \qquad (3.9)$$

เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ρ_{air} คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศที่ความดัน 400 kPa อุณหภูมิ 300 K

ρ_{fuel} คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์ม (0.89 kg/liter)

$\dot{Q}_{air}$ คือ อัตราการไหลของอากาศเข้าห้องเผาไหม้ (m^3/s)

$\forall$ คือ ปริมาณของน้ำมันที่ใช้ในการเผาไหม้ (liter)

t คือ เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ (s)

อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงทางทฤษฎี หาได้จาก

$$(A/F)_{stoic} = 4.76a\,(MW_{air}/MW_{fuel}) \qquad (3.10)$$

เมื่อ

MW_{air} คือ molecular weigths ของอากาศ (g)

MW_{fuel} คือ molecular weigths ของน้ำมันเชื้อเพลิง (g)

a คือ ค่าคงที่ หาได้จากสมการการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์ม

สมการการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์ม

$$0.0035\,C_{16}H_{33}NO_3 + 0.0423\,C_{17}H_{35}COOH + 0.4221\,C_{15}H_{31}COOH + 0.4253\,C_{17}H_{33}COOH + 0.1068$$
$$C_{17}H_{31}COOH + a[O_2 + 3.76\,N_2] \longrightarrow bCO_2 + cH_2O + dN_2 \qquad (3.11)$$

พิจารณา C จะได้ $b = 0.56 + 0.7614 + 6.7536 + 7.6554 + 1.9224$

$b = 17.1488$

พิจารณา H จะได้ $2c = 0.1155 + 1.5228 + 13.5072 + 15.3108 + 3.4176$

$c = 16.93695$

พิจารณา O จะได้ $0.0105 + 0.0846 + 0.8442 + 0.8506 + 0.2136 + 2a = 2(17.1488) + 16.93695$

$a = 24.6155$

พิจารณา N จะได้ $d = 3.76(24.6155) = 92.5544$

จะได้ $MW_{fuel} = 271.3527$

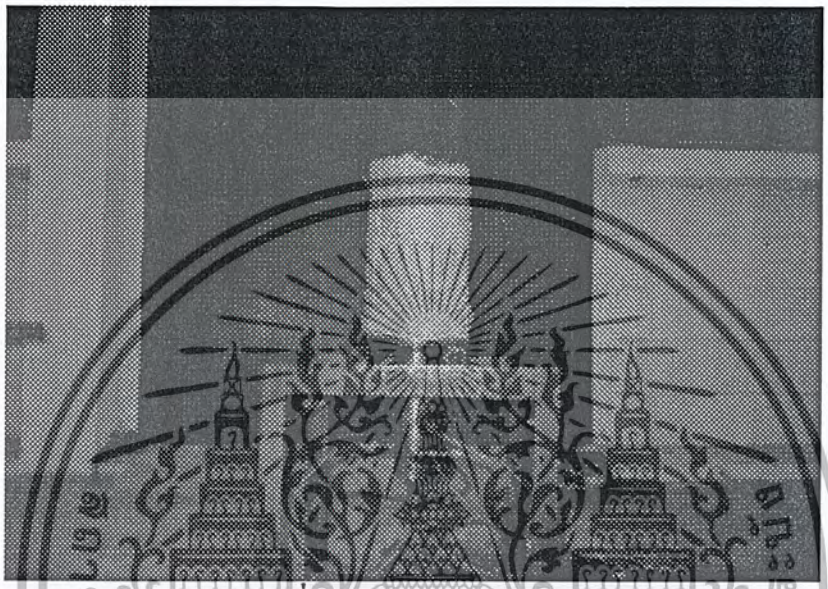
$$(A/F)_{stoic} = 4.76 \times a(MW_{air}/MW_{fuel})$$
$$= 4.76 \times 24.6155 \times (28.85 / 271.3527)$$
$$(A/F)_{stoic} = 12.457$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
อุปกรณ์และการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

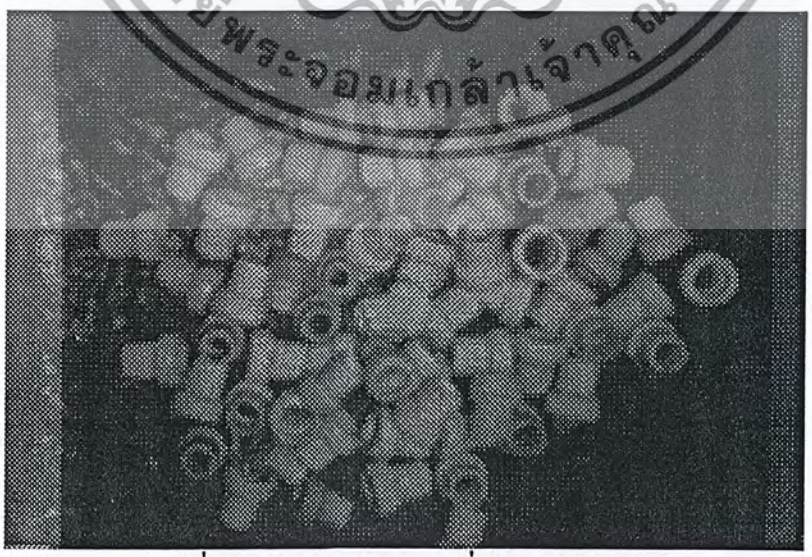
4.1 อุปกรณ์การทดลอง

4.1.1 ชุดหัวเผา



รูปที่ 4.1 ภาพแสดงชุดหัวเผา

4.1.2 วัสดุพรุน ทำมาจากเซรามิก

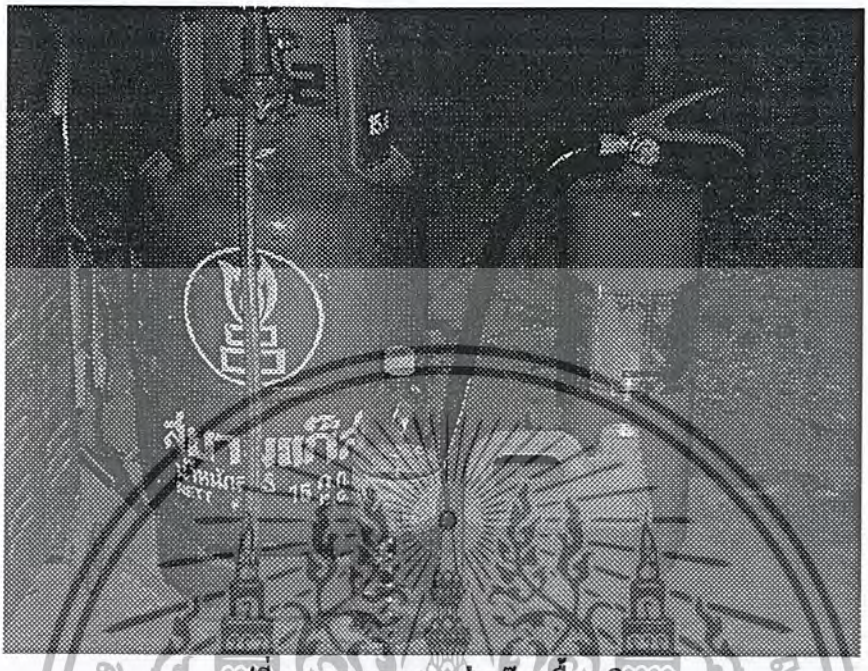


รูปที่ 4.2 ภาพแสดงวัสดุพรุนที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

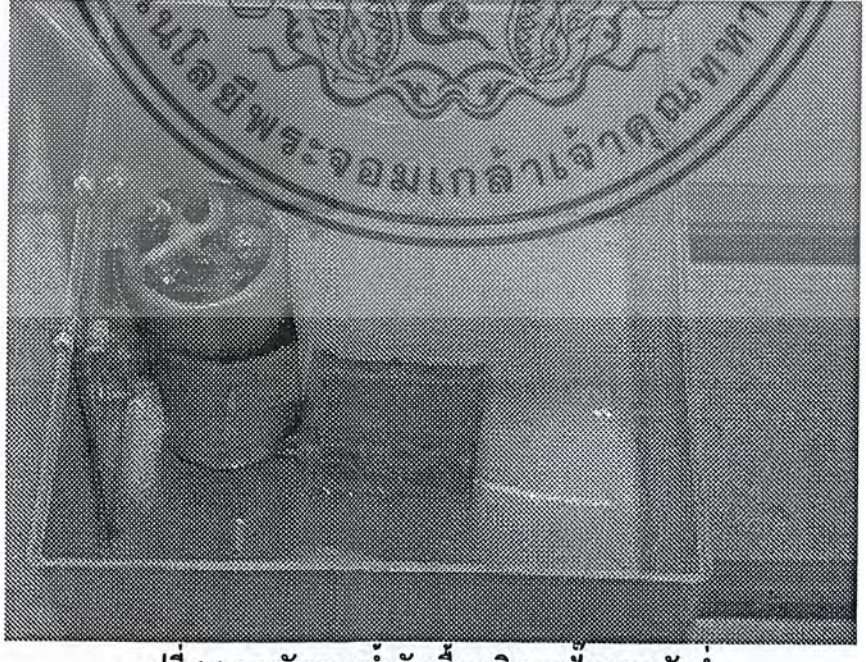
4.1.3 ปั๊มลม ใช้จ่ายอากาศเข้าไปในห้องเผาไหม้และควบคุมอัตราการไหลของอากาศด้วยวาล์ว

4.1.4 ชุดจ่ายก๊าซเชื้อเพลิง ใช้ก๊าซหุงต้มที่ใช้กันทั่วไปในครัวเรือน ประกอบด้วย ถังบรรจุก๊าซ หุงต้ม ท่อส่งก๊าซ และวาล์วควบคุมอัตราการไหล



รูปที่ 4.3 ภาพแสดงชุดจ่ายก๊าซเชื้อเพลิง

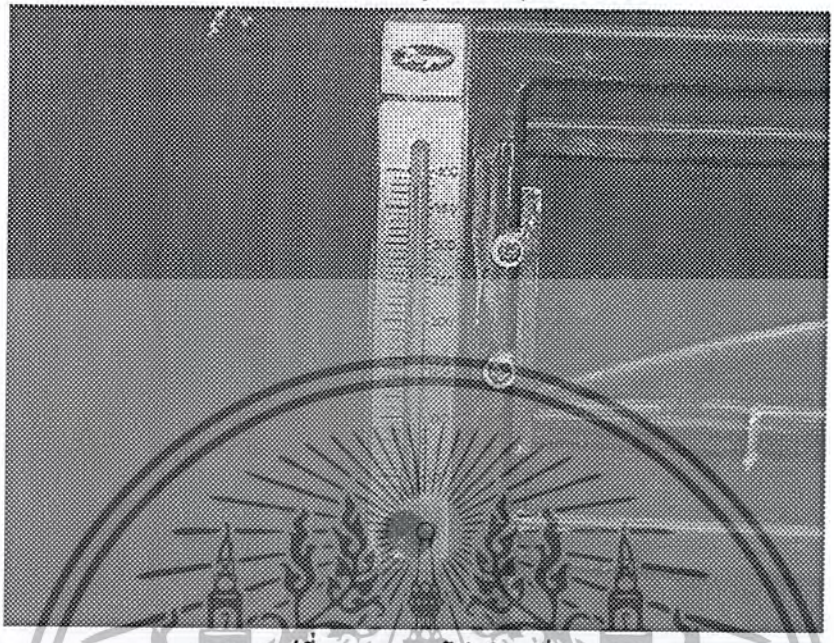
4.1.5 ชุดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากอยู่ในขั้นตอนการทดลองไม่จำเป็นต้องใช้ถังบรรจุขนาดใหญ่ จึงใช้ถังกว้าง 180 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร สูง 120 มิลลิเมตร และใช้ปั๊มความดันต่ำจ่ายน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้ เพราะต้องการจ่ายน้ำมันด้วยอัตราการไหลต่ำ



รูปที่ 4.4 ภาพถังบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิงและปั๊มความดันต่ำ

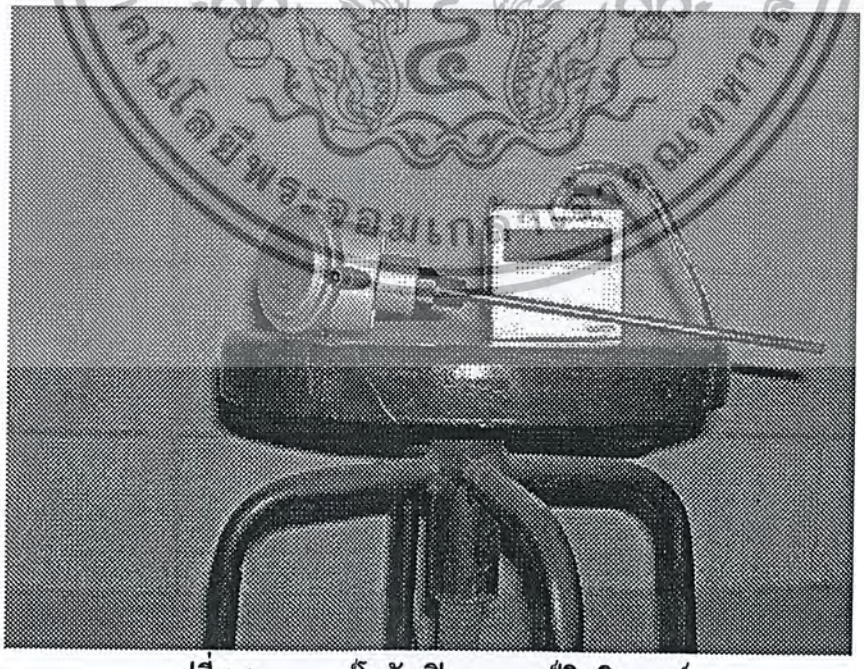
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ เนื่องจากต้องการจ่ายอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ด้วยอัตราการไหลที่แปรเปลี่ยนหลายช่วง แต่มีอัตราการไหลสูงสุดที่ประมาณเอาไว้ที่ 250 ลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง จึงเลือกใช้ชนิดที่วัดอัตราการไหลได้ในช่วง 0 - 400 ลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.5 ภาพของโฟลมิเตอร์

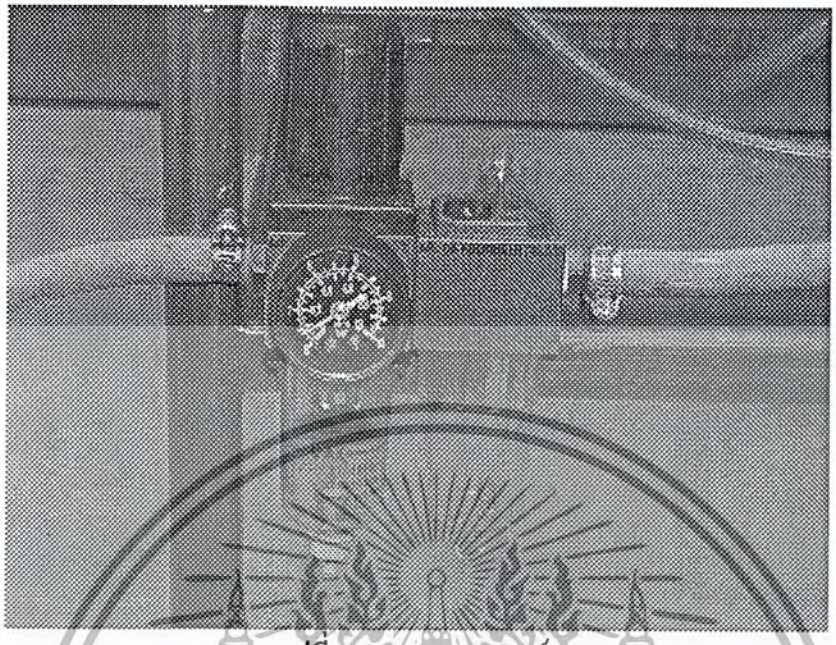
4.1.7 เทอร์โมคัพเปิล เลือกใช้ ชนิด K ซึ่งมีช่วงการวัดอุณหภูมิจาก 1200-1300 องศาเซลเซียส สัมพันธ์กับขีดจำกัดทางความร้อนของห้องเผาไหม้ที่สามารถทนได้ และสอดคล้องกับเทิมป์อินดิเคเตอร์ที่มีใช้อยู่



รูปที่ 4.6 ภาพเทอร์โมคัพเปิลและเทมป์อินดิเคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.8 เรคกูเลเตอร์ เพื่อใช้ในการวัดความดันอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายจากปั๊มลม นอกจากนั้นยังสามารถระบายน้ำที่เกิดจากการควบแน่นภายในปั๊มลมได้



รูปที่ 4.7 ภาพเรคกูเลเตอร์

4.2 การติดตั้งอุปกรณ์

4.2.1 ประกอบชุดหัวเผา ได้แก่ ส่วนของห้องเผาไหม้ ตะแกรงเหล็ก แผ่นยางกันรั่วและส่วนควบคุมการไหลของอากาศเข้าด้วยกัน

4.2.2 บรรจุวัสดุพรุนเข้าไปในห้องเผาไหม้

4.2.3 ประกอบชุดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง โดยติดตั้งปั๊มความดันต่ำลงในถังน้ำมันเชื้อเพลิง

4.2.4 ต่อท่อจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงจากปั๊มความดันต่ำเข้าสู่ท่อจากห้องเผาไหม้ พร้อมทั้งติดตั้งวาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง

4.2.5 ต่อท่อจ่ายก๊าซหุงต้มเข้ากับท่อจ่ายก๊าซของชุดหัวเผา

4.2.6 ติดตั้ง เรคกูเลเตอร์ วาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศโฟลมิเตอร์และต่อท่ออากาศทั้ง6 ท่อเข้ากับท่อแต่ละท่อของชุดหัวเผา

4.2.7 ประกอบชุดวัดอุณหภูมิได้แก่ เทอโมคัพเปิลและเทมป์อินดิเคเตอร์เข้าด้วยกันพร้อมวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
วิธีการทดลองและผลการทดลอง

5.1 การทดลองที่1

5.1.1 จุดประสงค์ของการทดลอง หาความสัมพันธ์ของระยะเวลาการอุ่นวัสดุพรุนกับปริมาณวัสดุพรุนที่ใส่ลงในหัวเผา เพื่อนำผลมาวิเคราะห์และพิจารณาหาความหนาของชั้นวัสดุพรุนที่เหมาะสม

5.1.2 วิธีการทดลอง

5.1.2.1 ทำการบรรจุวัสดุพรุนลงในหัวเผาที่ระยะ 50 มิลลิเมตร จากฐานหัวเผา

5.1.2.2 ติดตั้ง เทอร์โมคัพเปิล ที่ระยะ 50 มิลลิเมตร

5.1.2.3 ทำการอุ่นวัสดุพรุนโดยใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซหุงต้ม ปรับอัตราส่วนสมมูลของก๊าซหุงต้มกับอากาศให้มีค่า 0.6

5.1.2.4 เริ่มจับเวลาและทำการอ่านค่าของอุณหภูมิที่ เทมป์อินดิเคเตอร์จนถึงเวลา 15 นาทีหยุดจับเวลาและเขียนกราฟเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลา

5.1.2.5 ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนความหนาของวัสดุพรุนที่ 100 150 200 250 300 มิลลิเมตร

5..2 การทดลองที่2

5.2.1 จุดประสงค์ของการทดลอง หาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสมมูลกับการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวแกน เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวแกนกับค่าอัตราส่วนสมมูลค่าต่างๆ เป็นแนวทางในการเลือกใช้ค่าอัตราส่วนสมมูลที่เหมาะสม

5.2.2 วิธีการทดลอง

5.2..2.1 ทำการอุ่นหัวเผาโดยใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซหุงต้มจนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาประมาณ 500 องศาเซลเซียสเพื่อให้ถึงจุดที่สามารถเกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเอง (Ignition Temperature) ของน้ำมันพืชที่ใช้ในการทดสอบ

5.2..2.2 ทำการปรับอัตราการ ไหลของอากาศและอัตราการป้อนเชื้อเพลิงวัดความร้อนที่ได้จากเทอร์โมคัพเปิล ที่ติดตั้งไว้ห่างจากหน้าแปลนยึดหัวเผาที่ระยะ 50 มิลลิเมตร

5.2.2.3 เปลี่ยนตำแหน่งวัดอุณหภูมิที่ระยะ 50,100,150,200,250 และ 300 มิลลิเมตร

5.2.2.4 เปลี่ยนอัตราส่วนสมมูลหลายๆค่า และทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2 และ 3

5.3 ผลการทดลอง

ขณะทำการอุ่นหัวเผาโดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม พบว่าฉนวนใยแก้วไม่สามารถทนความร้อนได้ มีกลิ่นเหม็นไหม้ และเมื่อถอดฉนวนออกมาตรวจสอบ พบว่าฉนวนใยแก้วไหม้เป็นจุดดำ ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองต่อได้ดังรูปที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่5.1 บริเวณของฉนวนที่มีการไหม้เกิดขึ้น

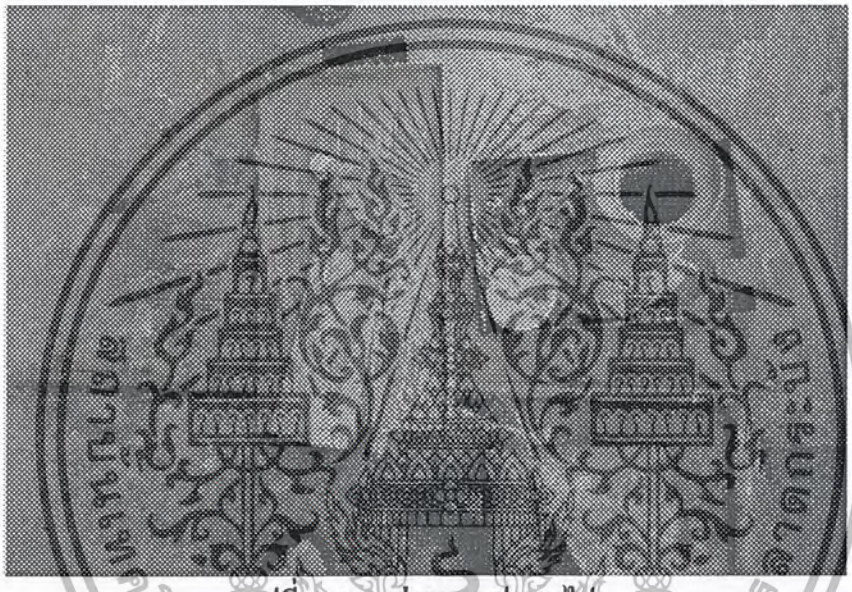
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
การแก้ไขและปรับปรุงหัวเผา

6.1 การแก้ไขในเรื่องของฉนวน

6.1.1 ฉนวนปูนทนไฟ

เนื่องจากอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้มีค่าสูงมาก ทำให้ฉนวนใยแก้วไม่สามารถทนความร้อนได้ ต้องเปลี่ยนฉนวนชนิดใหม่ที่สามารถทนความร้อนสูงได้ เลือกใช้ฉนวนที่ทำจากปูนทนไฟ โดยทำการหล่อปูนทนไฟรอบห้องเผาไหม้ ความหนาของฉนวนเท่ากับ 20 มิลลิเมตร



รูปที่6.1 การหล่อฉนวนปูนทนไฟ

ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองเผาด้วยเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้มและน้ำมันปาล์ม พบว่าฉนวนปูนทนไฟเปราะและแตก เนื่องจากเมื่อห้องเผาไหม้ที่เป็นสแตนเลสได้รับความร้อนอาจจะเกิดการขยายตัวและไปดันฉนวน ทำให้ฉนวนปูนแตก หรืออาจเกิดจากขั้นตอนการผสมปูนและการหล่อที่ไม่ถูกต้องเหมาะสม ทำให้ขาดความคงทน

6.1.2 ฉนวนผ้าเซรามิก

เนื่องจากฉนวนปูนทนไฟขาดความคงทน แตกและเปราะ ต้องหาฉนวนชนิดใหม่ โดยทดลองใช้ฉนวนผ้าเซรามิก ซึ่งมีคุณสมบัติทนความร้อนสูง นำมาพันหุ้มรอบห้องเผาไหม้ 2 รอบ

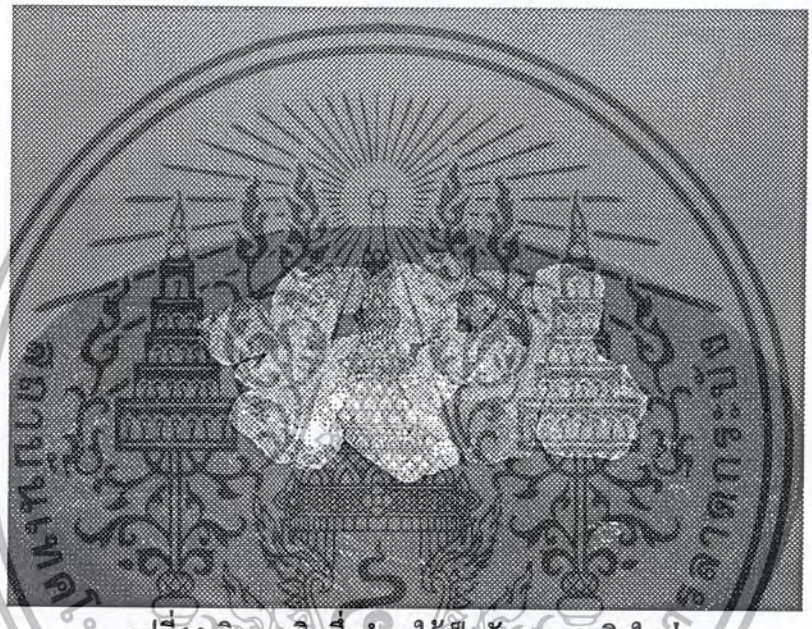
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองเผาไหม้ พบว่าฉนวนผ้าเซรามิกสามารถทนความร้อนได้ แต่เมื่อเผาไหม้ผ่านไปประมาณ 30 นาที ฉนวนผ้าเซรามิกเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง หลังการเผาไหม้พบว่าเซรามิกที่ใช้เป็นวัสดุพรุนแตกไปหลายชิ้น

6.2 การแก้ไขในเรื่องของวัสดุพรุน

เนื่องจากเซรามิกมีราคาแพงและไม่สามารถหาซื้อเซรามิกที่มีรูปร่างตามต้องการได้ จึงต้องศึกษาและค้นหาวัสดุพรุนชนิดใหม่ โดยทดลองใช้หินแกรนิต ซึ่งหาได้ง่าย มีราคาถูกและทนความร้อนได้สูง

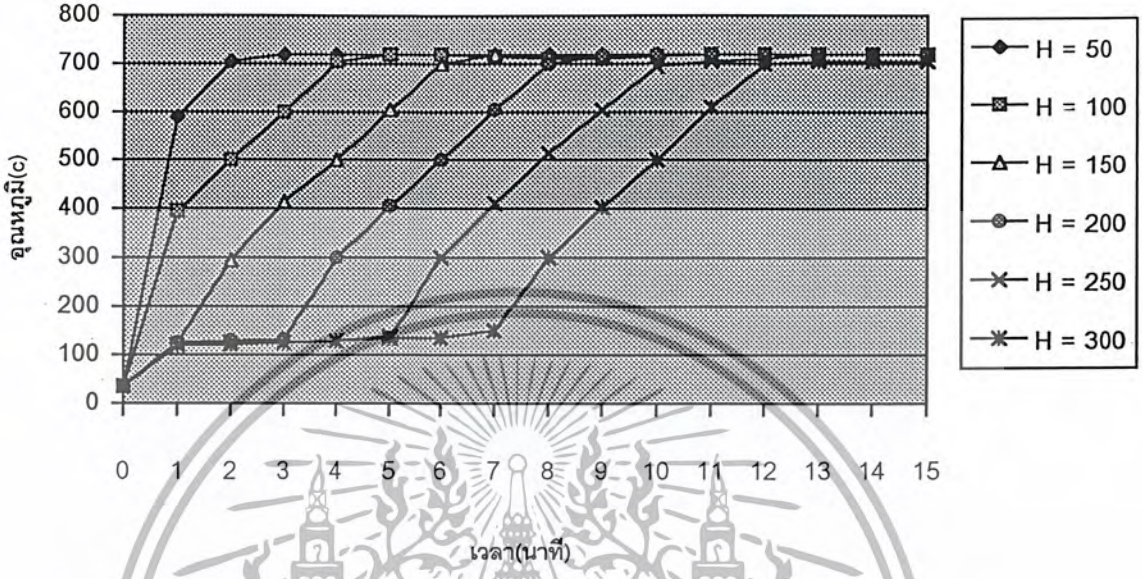


รูปที่6.2 หินแกรนิตซึ่งนำมาใช้เป็นวัสดุพรุนชนิดใหม่

ผลการทดลอง

สามารถทำการทดลองและบันทึกผลการทดลองได้ โดยหินแกรนิตมีคุณสมบัติเป็นวัสดุพรุนได้ เนื่องจากสามารถทนความร้อนและเก็บความร้อนได้ และฉนวนผ้าเซรามิกเป็นฉนวนที่มีประสิทธิภาพสูง เพราะสามารถเก็บกักความร้อนได้ดี จากรูปที่6.3 และรูปที่6.4 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้มีค่าสูงมาก

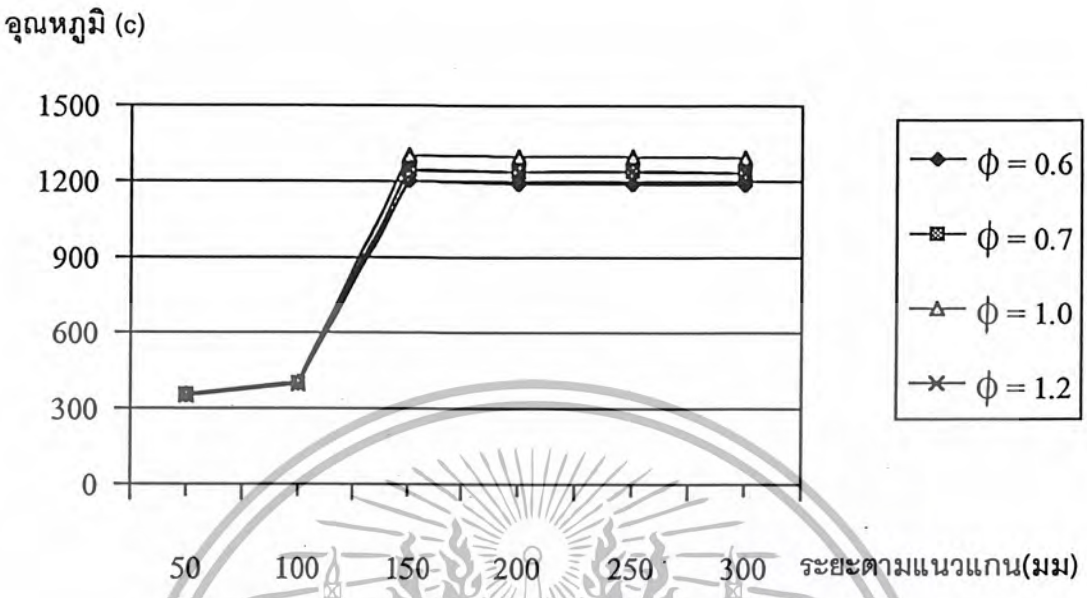
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่6.3 แสดงระยะเวลาในการอุ่นวัสดุพรุนเมื่อเปลี่ยนปริมาณวัสดุพรุ่นที่ใส่ลงในหัวเผา โดย H แทนความหนาของวัสดุพรุน(มม)

จากกราฟผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความหนาของชั้นวัสดุพรุนมากขึ้นระยะเวลาในการอุ่นวัสดุพรุนก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากเมื่อเพิ่มความหนาของชั้นจะเป็นการเพิ่มมวลของวัสดุพรุนและการถ่ายเทความร้อนเมื่อมวลมีค่ามากขึ้นก็จะต้องใช้เวลามากขึ้นตามไปด้วย ทุกชั้นความหนาเผาไหม้จนอุณหภูมิคงที่ที่ 700 องศาเซลเซียส และที่ชั้นความหนาน้อยๆขณะทำการเผาไหม้ พบว่ามีหยดละอองน้ำมันกระเด็นออกมาจากห้องเผาไหม้และที่ชั้นความหนา 300 มิลลิเมตรมีหยดน้ำมันกระเด็นออกมาน้อยมากจึงเลือกใช้วัสดุพรุนหนา 300 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



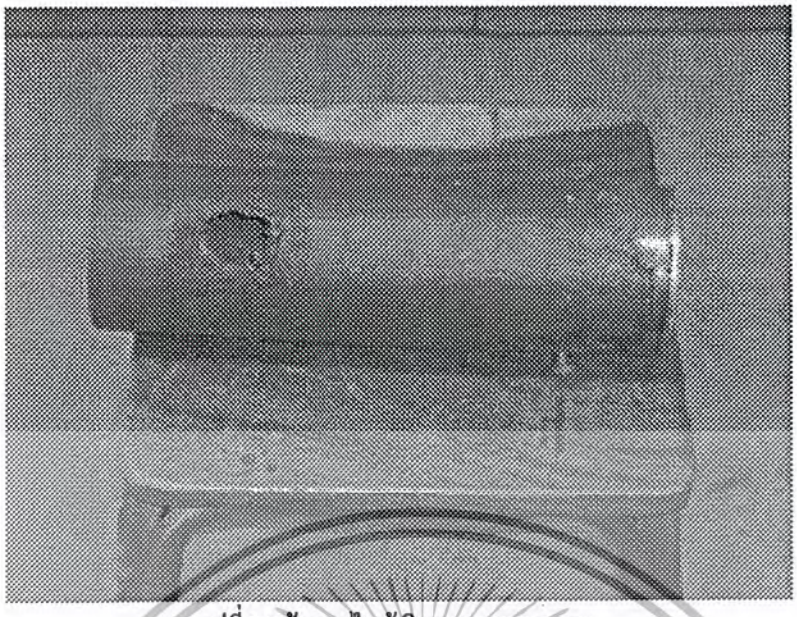
รูปที่6.4 การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนสมมูล

จากกราฟพบว่าการกระจายอุณหภูมิของกราฟแต่ละเส้นมีลักษณะใกล้เคียงกันคืออุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและจะมีอุณหภูมิสูงสุดที่ความสูงประมาณ 150 มิลลิเมตรซึ่งถือว่าเป็นจุดที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้สูงสุดและอุณหภูมิจะค่อยๆลดลงเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนบริเวณทางออกมีค่าสูงเพื่อนำความร้อนนี้ไปใช้งาน และค่าอัตราส่วนสมมูลที่ให้อุณหภูมิสูงสุดคือค่า ϕ เท่ากับ 1.0

จากผลการทดลองแม้ว่าอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จะมีค่าสูง แต่หลังจากการทดลองแล้วพบว่ามีน้ำมันบางส่วนที่ไม่ถูกเผาไหม้ ไหลหยดลงสู่ส่วนล่างของหัวเผา ทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันส่วนนี้ไปโดยเปล่าประโยชน์ และยังทำให้หัวเผาสกปรกอีกด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องปรับปรุงและแก้ไขการวางท่อจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง โดยปรับปรุงให้น้ำมันมีเวลาในการสัมผัสกับความร้อนมากขึ้น เพื่อทำให้น้ำมันที่ผ่านออกมาที่ปากท่อมีอุณหภูมิสูงพอที่จะติดไฟได้เมื่อสัมผัสกับอากาศและความร้อนภายในห้องเผาไหม้ และเผาไหม้ได้หมด ก่อนที่จะไหลลงสู่ส่วนล่างของหัวเผา

เมื่อทำการทดลองเผาแบบต่อเนื่องพบว่าขณะทำการเผาเป็นเวลานานติดต่อกัน 1 ชั่วโมง อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้มีค่าสูงมาก อุณหภูมิค่าสุดท้ายที่สามารถอ่านได้มีค่าสูงถึง 1,456 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นแล้วพบว่าส่วนปลายของเทอร์โมคัพเปิลหลอมละลายจนไม่สามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้อีก และยังพบว่าผนังของห้องเผาไหม้และฉนวนไม่สามารถทนความร้อนได้จนเกิดการหลอมละลายดังรูปที่6.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่6.5 ห้องเผาไหม้เกิดการหลอมละลาย

6.3 เพิ่มความหนาและความยาวของห้องเผาไหม้

เนื่องจากห้องเผาไหม้ชุดแรกได้รับความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป ดังนั้นจึงต้องสร้างห้องเผาไหม้ใหม่ โดยเพิ่มความหนาของผนังห้องเผาไหม้เป็น 6 มิลลิเมตร และเพิ่มความยาวของห้องเผาไหม้เป็น 400 มิลลิเมตร เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนและถ่ายเทความร้อนให้กับห้องเผาไหม้ และจะต้องเจาะรูตามแนวแกนเป็น 7 รู เพื่อวัดอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้

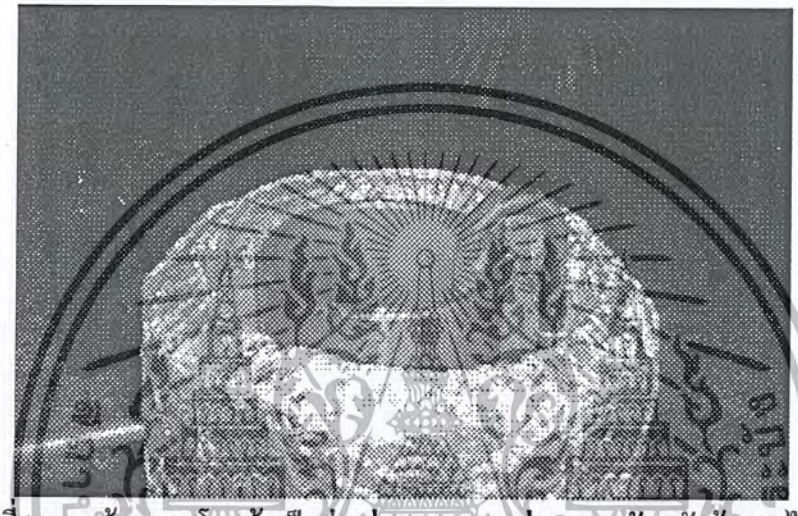
รูปที่6.6 ห้องเผาไหม้หลังจากทำการเพิ่มความหนาและความยาว

6.4 หุ้มฉนวนโดยเว้นเป็นช่องว่างอากาศระหว่างฉนวนกับผนังห้องเผาไหม้

เนื่องจากในการทดลองขณะทำการเผาไหม้ อุณหภูมิในห้องเผาไหม้มีค่าสูงมาก ฉนวนที่ทนความร้อนสูงได้นั้นหายากและมีราคาสูง ดังนั้นจึงได้ออกแบบฉนวน โดยไม่ให้ฉนวนสัมผัสกับห้อง เผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหม้โดยตรง โดยจะหุ้มฉนวนรอบห้องเผาไหม้ให้เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของฉนวนใหญ่กว่า เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของห้องเผาไหม้ จึงทำให้เกิดเป็นช่องว่างระหว่างฉนวนกับผนังด้านนอกของห้องเผาไหม้ จากการคำนวณหาค่านี้ในบทที่ 3 ที่ผ่านมาได้ค่าระยะห่างนี้มีค่าเท่ากับ 17 มิลลิเมตร วัสดุที่ใช้ทำฉนวน เลือกใช้แผ่นสแตนเลสเป็นผนังด้านในของฉนวน เพราะเป็นส่วนที่ต้องสัมผัสกับความร้อนสูง และหุ้มแผ่นสแตนเลส อีกรอบด้วยฉนวนใยแก้ว นอกจากนี้ จะต้องเจาะรูตามแนวแกนบนฉนวนให้ตรงกับรูที่เจาะไว้ที่ห้องเผาไหม้ เพื่อให้ปลายของ เทอร์โมคัพเปิล เสียบทะลุเข้าไปวัดอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ได้

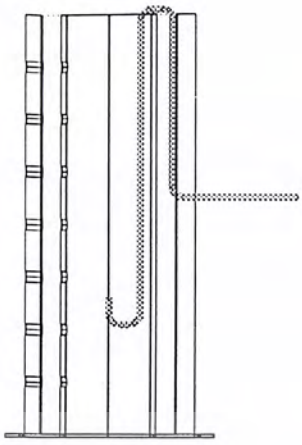


รูปที่6.7 การหุ้มฉนวนโดยเว้นเป็นช่องว่างอากาศระหว่างฉนวนกับผนังห้องเผาไหม้

6.5 วางทางเดินท่อจ่ายน้ำมันให้สัมผัสความร้อนมากขึ้น

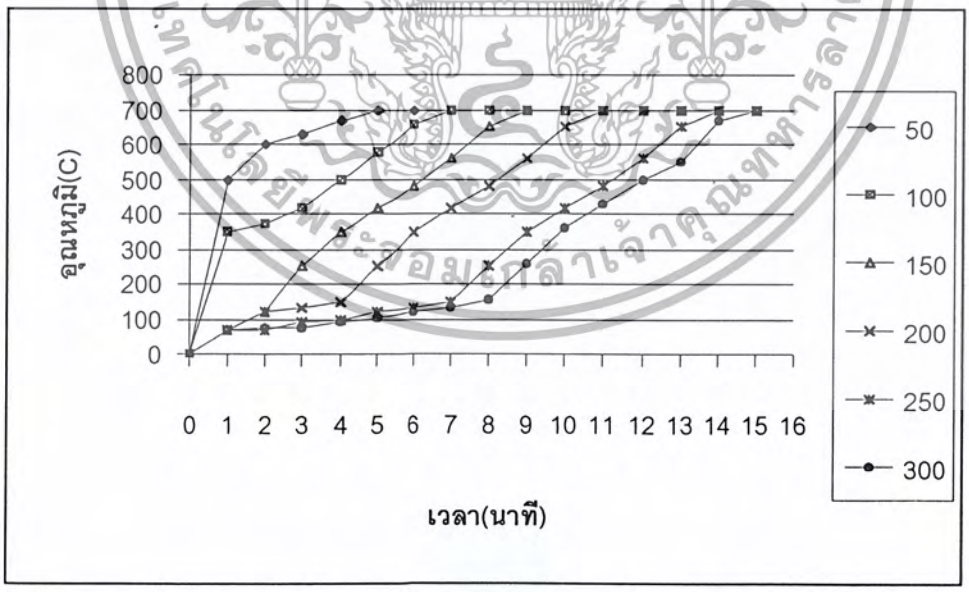
การออกแบบท่อและทางเดินของท่อจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ควรจะออกแบบให้มีพื้นที่ผิวของท่อสัมผัสกับความร้อนได้เพียงพอที่จะทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ไหลอยู่ภายในท่อได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง และเพียงพอที่จะทำให้น้ำมันที่ไหลออกมาจากท่อแล้ว สามารถที่จะเผาไหม้ได้เลย โดยไม่ให้มีน้ำมันที่ไม่เผาไหม้ไหลเล็ดลอดผ่านชั้นของวัสดุพรุนลงไปส่วนล่าง และให้เผาไหม้ได้หมดภายในห้องเผาไหม้ก่อนที่จะโดนลมพัดออกไปโดยไม่ได้รับการเผาไหม้ ฉะนั้นลักษณะการวางท่อหรือทางเดินของท่อ รวมทั้งขนาดของท่อจึงมีส่วนสำคัญมากต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ นอกจากนี้วัสดุที่เลือกใช้จะต้องไม่เปลี่ยนรูปหรือมีความคงทนเมื่อสัมผัสกับความร้อนภายในห้องเผาไหม้ด้วย ดังนั้นจึงเลือกใช้ท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร และเนื่องจากท่อ สแตนเลสไม่สามารถดัดให้โค้งงอได้ง่าย จึงวางท่อในลักษณะ ดังรูปที่6.7 เพื่อให้น้ำมันได้รับความร้อนในช่วงเวลาที่เหมาะสม ก่อนไหลลงสู่ปลายด้านล่างของท่อ และไหลออกจากท่อมาสัมผัสกับความร้อนโดยตรงบริเวณวัสดุพรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่6.8 ภาพแสดงตำแหน่งท่อจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง

ผลการทดลองที่1 ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของระยะเวลาในการอุ่นวัสดุพรุนกับปริมาณของวัสดุพรุนที่ใส่ลงในห้องเผาไหม้ โดยกำหนดให้อัตราการไหลของก๊าซหุงต้มเท่ากันทุกชั้นความหนาของวัสดุพรุนที่ทำการทดลองชั้นของวัสดุพรุนที่ใส่ลงในห้องเผาไหม้มีค่า 50 , 100 , 150 , 200 , 250 และ 300 มิลลิเมตร ทำการเผาไหม้ พบว่าอุณหภูมิสูงสุดของวัสดุพรุนเท่ากับ 700 องศาเซลเซียส นำผลการทดลองเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของชั้นความหนากับเวลาในการอุ่นวัสดุพรุนที่ชั้นความหนา 50,100,150,200,250 และ 300 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

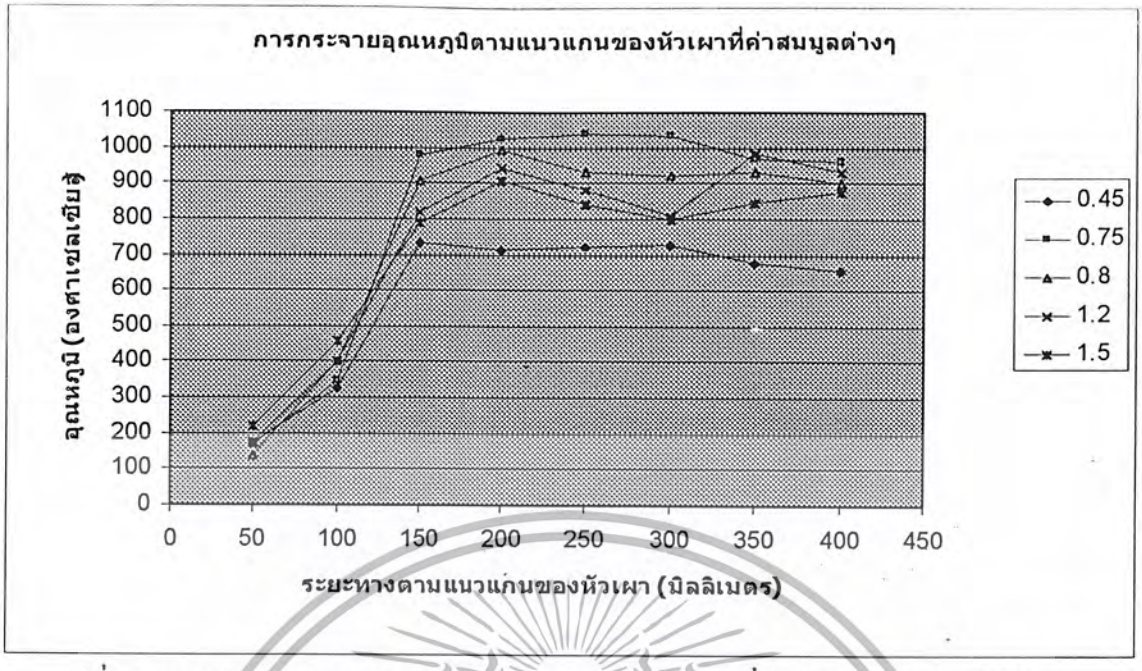
จากกราฟผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความหนาของชั้นวัสดุพรุนมากขึ้นระยะเวลาในการอุ่นวัสดุพรุนก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเช่นเดียวกับหัวเผาชุดแรก เนื่องจากเมื่อเพิ่มความหนาของชั้นจะเป็นการเพิ่มมวลของวัสดุพรุนและการถ่ายเทความร้อนเมื่อมวลมีค่ามากขึ้นก็จะต้องใช้เวลามากขึ้นตามไปด้วย ทุกชั้นความหนาเผาไหม้จนอุณหภูมิคงที่ที่ 700 องศาเซลเซียส และที่ชั้นความหนาน้อยๆขณะทำการเผาไหม้พบว่ามีหยดละอองน้ำมันกระเด็นออกมาจากห้องเผาไหม้และที่ชั้นความหนา 300 มิลลิเมตรมีหยดน้ำมันกระเด็นออกมาน้อยมากจึงเลือกใช้วัสดุพรุนที่มีชั้นความหนาเท่ากับ 300 มิลลิเมตร

ผลการทดลองที่2 ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสมมูลกับการกระจายตัวของอุณหภูมิตามแนวแกนในห้องเผาไหม้โดยการปรับเปลี่ยนค่าอัตราส่วนสมมูลค่าต่างๆแล้วบันทึกค่าอุณหภูมิตามแนวแกนที่ค่าอัตราส่วนสมมูลนั้นได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 6.1 และนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 6.9

ระยะทางตามแนวแกน(มม.)	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)ที่อัตราส่วนสมมูลต่างๆ				
	0.45	0.75	0.8	1.2	1.5
50	175	170	135	175	217
100	326	346	400	402	457
150	735	980	906	820	788
200	715	1024	995	940	904
250	725	1040	930	880	838
300	730	1035	920	810	800
350	678	970	934	985	846
400	655	962	902	930	878

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองการกระจายอุณหภูมิตามแนวแกนของหัวเผาที่ค่าสมมูลต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่6.10 กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิตามแนวแกนของหัวเผาที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.45,0.75,0.8,1.2 และ1.5

จากกราฟพบว่าการกระจายอุณหภูมิของกราฟแต่ละเส้นมีลักษณะใกล้เคียงกันคืออุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและจะมีอุณหภูมิสูงสุดที่ความสูงประมาณ 200 มิลลิเมตรซึ่งถือว่าเป็นจุดที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้สูงสุดและอุณหภูมิจะค่อยๆลดลงเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนบริเวณทางออกมีค่าสูงเพื่อนำความร้อนนี้ไปใช้งาน และค่าอัตราส่วนสมมูลที่ให้อุณหภูมิสูงสุดคือค่า ϕ เท่ากับ 0.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่7
สรุปผลการทดลองและปัญหาที่พบ

7.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า ระยะในการอุ่นวัสดุพรุนขึ้นอยู่กับค่าความหนาของชั้นวัสดุพรุนที่ใส่ลงไปในห้องเผาไหม้ เมื่อเพิ่มชั้นความหนาของวัสดุพรุนมากขึ้นระยะเวลาที่ใช้อุ่นวัสดุพรุนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่จากการทดลองจ่ายน้ำมันปาล์มเข้าไปเผาไหม้ พบว่าที่ชั้นความหนาของวัสดุพรุนที่มีความหนาน้อยนั้นเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ คือเกิดหยดละอองน้ำมันกระเด็นออกมาจากหัวเผา แต่เมื่อทำการเพิ่มค่าความหนาของชั้นวัสดุพรุนขึ้นเรื่อยๆ พบว่าหยดละอองน้ำมันที่กระเด็นหยดออกมาลดน้อยลงเรื่อยๆ และที่ชั้นความหนาของวัสดุพรุนที่ระยะ 300 มิลลิเมตร จากฐานของห้องเผาไหม้ไม่พบหยดละอองน้ำมันกระเด็นออกมาขณะทำการเผาไหม้ สามารถอธิบายได้ว่าหยดละอองน้ำมันที่กระแสลมพัดพาออกไปนั้นจะถูกวัสดุพรุนดักไว้และเกิดการเผาไหม้ที่ชั้นนั้นๆ สรุปได้ว่าการใส่วัสดุพรุนที่มีชั้นความหนา 300 มิลลิเมตร จากฐานของห้องเผาไหม้ ช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องฉีดน้ำมันให้เป็นละออง ทำให้หัวเผานี้สามารถที่จะใช้น้ำมันที่มีสิ่งปนเปื้อนหรือน้ำมันเก่ามาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ และจากผลการทดลองการกระจายตัวของอุณหภูมิตามแนวแกนภายในห้องเผาไหม้นั้น พบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิในช่วงระยะ 150 — 400 มิลลิเมตร จากฐานของห้องเผาไหม้ มีการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.75 นั้นได้อุณหภูมิสูงสุดคือ อยู่ในช่วงประมาณ 900 — 1000 องศาเซลเซียส และที่อัตราส่วนสมมูลค่าต่างๆที่เปลี่ยนไปนั้น ได้ค่าอุณหภูมิอยู่ประมาณ 700 — 1000 องศาเซลเซียส จากการทดลองในครั้งนี้พบว่าหัวเผาน้ำมันพืชชุดนี้สามารถเผาไหม้และได้การกระจายตัวของอุณหภูมิสูงถึง 1400 — 1500 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ในการทดลองและวัสดุที่ใช้ทำห้องเผาไหม้ ขีดจำกัดอยู่ที่ 1200 — 1400 องศาเซลเซียส ทำให้การทดลองครั้งนี้ไม่สามารถที่จะปรับอัตราส่วนสมมูลเพื่อเพิ่มอุณหภูมิได้อย่างเต็มที่ จะเห็นได้ว่าหัวเผาน้ำมันพืชสามารถให้ค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่จะนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรมบางประเภทได้ แต่จะต้องทำการศึกษาและทดลองต่อไปเพื่อทำการปรับปรุงและแก้ไขให้สอดคล้องกับเงื่อนไขในทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป

7.2 ปัญหาที่พบ

7.2.1 วัสดุที่ใช้ทำห้องเผาไหม้ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำห้องเผาไหม้มีขีดจำกัดทางด้านการทนความร้อนทำให้ไม่สามารถเพิ่มอุณหภูมิได้อย่างเต็มที่

7.2.2 วัสดุพรุนที่ใช้คือ หินแกรนิตซึ่งยังไม่ใช่วัสดุพรุนที่มีคุณสมบัติดีมากนักเพราะมีขนาดไม่สม่ำเสมอและอายุการใช้งานต่ำ แต่วัสดุพรุนที่มีคุณสมบัติดีนั้นจะต้องสั่งทำเฉพาะทำให้มีราคาแพง

7.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิมีจำนวนจำกัดทำการวัดอุณหภูมิมีความคลาดเคลื่อน และขีดจำกัดของอุปกรณ์ที่ใช้ก็ยังไม่เหมาะสมด้วย

7.2.4 ขาดอุปกรณ์ในการวัดอัตราการไหลของน้ำมัน ต้องวัดปริมาตรเทียบกับเวลาจึงทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง

7.2.5 ขาดอุปกรณ์ในการวัดปริมาณมลภาวะที่เกิดขึ้น ทำให้ขาดผลการทดลองที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] มนตรี พิรุณเกษตร, อุณหพลศาสตร์ พิมพ์ครั้งที่3 ปี พ.ศ.2542

[2] สมชัย อัครทิวา, ขวัญจิตร วงษ์ชารีม เทอร์โมไดนามิกส์ ปีพ.ศ.2543

[3] กัญจนา บุญยเกียรติ, เชื้อเพลิงและการเผาไหม้ ปี พ.ศ.2544

[4] D.Trimis, Basic Principle of the Porous Media Technology Vol. 2, 1995, pp. 146-161

[5] M. Cossalopov, Field of Application ofthe Porous Media Burner concept 1997, pp14-57

[6] hristo and C, Fraid, Thermal-Fluit and combustion Research Division Vol. 3, 1998, pp 214-247

[7] A. Burcat and B. Mcbride, 1997 Ideal Thermodynamics Data for Combustion and Air-pollution Use Technion aerospace Report TAE804(June)

[8] http:/www.matweb.com/search/specificmaterial.asp bassnum=BA;

[9] http:/www.sinochemical.com/search/pourous burner

[10] http:/www.fuel.com/search/palm oil+chemical propert

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้