การศึกษาเชิงทดลองของหัวเผาแบบพรุนเผาไหม้น้ำมันพืช

EXPERIMENTAL STUDY OF A POROUS BURNER FIRING VEGETABLE OIL

อรรณพ ผาบเพ็ง
ANNOP PHABPHENG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2547

ISBN 974-15-1063-2

การศึกษาเชิงทดลองของหัวเผาแบบพรุนเผาไหม้น้ำมันพืช

EXPERIMENTAL STUDY OF A POROUS BURNER FIRING VEGETABLE OIL

อรรณพ ผาบเพ็ง

ANNOP PHABPHENG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 974-15-1063-2

EXPERIMENTAL STUDY OF A POROUS BURNER FIRING VEGETABLE OIL

ANNOP PHABPHENG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECNOLOGY LADKRABANG

2004

ISBN 974-15-1063-2

COPYRIGHT 2004
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITITE OF TRCHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเชิงทดลองของหัวเผาแบบพรุนเผาไหม้น้ำมันพืช
นักศึกษา	นาย อรรณพ ผาบเพ็ง
รหัสประจำตัว	43062030
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข

บทคัดย่อ

งานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาเชิงทดลองของหัวเผาแบบพรุนเผาไหม้น้ำมันพืชโดยใช้น้ำมันพืชที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้วเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้และใช้เซรามิคที่มีส่วนประกอบของอลูมิน่าเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อนในหัวเผาและใช้คุณสมบัติของหัวเผาแบบพรุนที่ไม่จำเป็นต้องทำให้เชื้อเพลิงเป็นละอองฝอยมาประยุกต์ใช้จึงสามารถที่จะใช้กับน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานมาแล้วได้ งานวิจัยได้ทำการศึกษาถึงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาเมื่อทำการเปลี่ยนอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงและค่าอัตราส่วนสมมูลและความยาวของเปลวไฟเมื่อเปลี่ยนอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงและผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวรัศมี จากการศึกษาพบว่าที่อัตราการจ่ายเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.556 กรัมต่อวินาทีที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.4 ทำให้อุณหภูมิภายในหัวเผาเกิดขึ้นสูงสุดที่ 1180 องศาเซลเซียส และความยาวเปลวไฟสูงสุดที่ 20 ซม. และการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวรัศมีมีค่าสูงสุดที่กึ่งกลางหัวเผาและจะลดลงจนมีค่าต่ำสุดที่ผนังของหัวเผา

Thesis Title	Experimental Study of A Porous Burner Firing Vegetable Oil
Student	Mr.Annop Phabpheng
Student ID	43062030
Degree	Master of engineering
Programme	Mechanical Engineer
Year	2004
Thesis Advisor	Assis.Prof.Dr.Jaruwat Charoensuk

ABSTRACT

This research involves the experimental study of a porous burner firing vegetable oil .Comparison ware made when using flesh and used oil as fuel.The media is alumina ceramic ball.The burner can operate without spray atomizer.Therefore low calorific fuel or recycle fuel can be used.The work presents changes in temperature in porous burner and flame length when changing flow rate of fuel and also its effect on temperature distribution in radius axis.At fuel flow rate of 0.556 g/s with equivalent ratio equal 0.4 the maximum temperature is 1180 degree Celsius and flame length is 20 centimeters and temperature. In all cases , the temperatures are maximum at the center of burner where lower values are observed at the location far from burner axis.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการศึกษาเชิงทดลองของหัวเผาแบบพรุนเผาไหม้น้ำมันพืช จาก ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์เป็นอย่างยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ ประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ,ผศ.ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์, ผศ.ธวัชชัย นาคพิพัฒน์, ผศ.จำลอง ปราบแก้ว กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์และกรุณาให้คำชี้แนะเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่งซึ่งได้เลี้ยงดูพร้อมทั้งให้โอกาสทางการศึกษาอย่างเต็มที่และยังให้กำลังใจอย่างเสมอมาในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบไม่ได้

ขอขอบคุณ พี่และเพื่อนบริษัท เค.อาร์ พรีซิชั่น จำกัด(มหาชน) และเพื่อนๆนักศึกษาทุกคนที่ช่วยให้คำแนะนำต่างๆอีกทั้งให้กำลังใจต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิด

ขอขอบคุณ คุณ สันติ รัญเสวะ ผู้จัดการส่วนวิศวกรรม บริษัท อินโนเวกซ์(ประเทศไทย) จำกัด ที่เอื้อเฟื้อเครื่องอ่านอุณหภูมิตลอดการทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณภาควิชาเครื่องกลสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้โอกาสผู้ทำวิจัยเข้ามารับการศึกษาและทำวิจัยที่ภาควิชาแห่งนี้

อรรณพ ผาบเพ็ง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.......... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.......... II

กิตติกรรมประกาศ.......... III

สารบัญ.......... IV

สารบัญตาราง.......... VII

รายการคำย่อและสัญลักษณ์.......... XI

บทที่ 1 บทนำ.......... 1

1.1 ความสำคัญและที่มา.......... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย.......... 1

1.3 ขอบเขตงานวิจัย.......... 2

1.4 สมมติฐานจากการศึกษา.......... 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.......... 2

บทที่ 2 เทคโนโลยีการเผาไหม้.......... 4

2.1 บทนำ.......... 4

2.2 งานวิจัยที่ผ่านมา.......... 4

2.3 ทฤษฎีการเผาไหม้.......... 7

2.3.1 ความหมายการเผาไหม้.......... 7

2.3.2 ปฏิกิริยาเคมีของการเผาไหม้.......... 7

2.3.3 สภาวะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกริยา.......... 12

2.3.4 พลังงานความร้อนของการเผาไหม้.......... 16

2.3.5 ค่าอัตราส่วนสมมูล.......... 17

2.3.6 การถ่ายเทความร้อน.......... 17

2.3.7 การผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง.......... 18

2.3.8 อุณหภูมิของการจุดติดไฟ.......... 19

2.3.9 การสูญเสีย.......... 20

2.4 คุณสมบัติของก๊าซ LPG.......... 22

2.4.1 คุณสมบัติทางเคมี.......... 22

2.4.2 คุณสมบัติทางกายภาพ.......... 22

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4.3 คุณสมบัติทางเคมี....................22

2.4.4 คุณสมบัติทางกายภาพ....................22

2.5 คุณสมบัติของน้ำมันพืช....................25

2.5.1 ความถ่วงจำเพาะ....................25

2.5.2 ความหนาแน่น....................26

2.5.3 ค่าความร้อนจำเพาะ....................26

2.5.4 ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ....................26

2.5.5 จุดเดือด....................26

2.5.6 จุดวาบไฟและจุดติดไฟ....................27

2.5.7 ความหนืด....................27

2.5.8 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช....................27

2.5.9 คุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม....................28

2.6 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว....................29

2.6.1 การกลายเป็นไอ....................29

2.6.2 การผสมของเชื้อเพลิงเหลวกับอากาศ....................30

2.7 คุณสมบัติของวัสดุพรุน....................30

2.7.1 หลักการถ่ายเทความร้อนของวัสดุพรุน....................31

2.7.2 การนำวัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ....................33

2.8 ประเภทของหัวเผา....................34

2.8.1 หัวเผาเชื้อเพลิงแข็ง....................34

2.8.2 หัวเผาเชื้อเพลิงเหลว....................35

2.8.3 หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส....................36

2.8.4 หัวเผาเชื้อเพลิงร่วม....................37

2.9 การปลดปล่อยและการควบคุมมลพิษจากการเผาไหม้....................37

2.10 การวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อน....................39

บทที่ 3 การออกแบบหัวเผา....................40

3.1 บทนำ....................40

3.2 หัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุน....................40

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.2.1 ห้องเผาไหม้.....41

3.2.2 ชุดป้อนอากาศและแก๊ส LPG.....42

3.2.3 ชุดป้อนอากาศและแก๊ส LPG.....42

3.2.4 ท่อจ่ายเชื้อเพลิง.....42

3.2.5 ตะแกรงเหล็กและยางกันรั่ว.....43

3.2.6 ท่อจ่ายอากาศ.....43

3.2.7 วัสดุพรุน.....44

3.2.8 อุปกรณ์จ่ายอากาศ.....45

3.2.9 ชุดจ่ายน้ำมัน.....46

3.2.10 อุปกรณ์ควบคุมความดันอากาศ.....46

3.3 การคำนวณ.....47

3.3.1 การคำนวณเพื่อออกแบบขนาดหัวเผา.....47

3.3.2 สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง.....50

3.3.3 สมการการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์.....52

3.3.4 สมการการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว.....53

บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....56

4.1 บทนำ.....56

4.2 อุปกรณ์การทดลอง.....56

4.2.1 วัสดุพรุน(Porous Media).....56

4.2.2 เครื่องมือวัดอัตราการไหลอากาศ (Air Flow Meter).....56

4.2.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ(Thermocouple and Display).....57

4.2.4 หัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุน.....58

4.2.5 เครื่องวัดไอเสีย.....58

4.3 วิธีการทดลอง.....60

4.3.1 กรณีศึกษาผลของชั้นความหนาของวัสดุพรุนต่อเสถียรภาพการเผาไหม้.....60

4.3.2 กรณีศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอัตราส่วนสมมูลของน้ำมันพืชที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและผ่านการใช้งานมาแล้ว.....61

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.3.3 กรณีศึกษาผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิภายใน หัวเผาที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 ของเชื้อเพลิงใหม่ 62

4.3.4 การวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อน 62

4.3.5 การวัดก๊าซไอเสีย 62

บทที่ 5 ผลการทดลอง 64

5.1 บทนำ 64

5.2 ชั้นความหนาของวัสดุพรุนต่อเสถียรภาพการเผาไหม้ 64

5.3 การศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอัตราส่วนสมมูลของน้ำมันพืชที่ยัง ไม่ผ่านการใช้งานที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในหัวเผา 65

5.4 การศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอัตราส่วนสมมูลของน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้วที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในหัวเผา 70

5.5 การศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอัตราส่วนสมมูลของน้ำมันพืชที่ยังไม่ผ่านการใช้งานที่มีผลต่อความยาวเปลวไฟที่เกิดขึ้น 75

5.6 การศึกษาผลกระทบของการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในแนวรัศมีที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0 79

5.7 การวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อน 82

5.8 การวัดแก๊สไอเสีย 83

5.9 สรุปผลการทดลอง 91

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 92

6.1 บทสรุป 92

6.2 ข้อเสนอแนะ 93

หนังสืออ้างอิง 95

ภาคผนวก 96

ภาคผนวก ก. แบบหัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุน 97

ภาคผนวก ข.รูปเปลวไฟที่อัตราการไหลต่างๆ..107
ภาคผนวก ค. ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์..118
ประวัติผู้เขียน...126

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ขีดจำกัดการเกิดเปลวไฟของเชื้อเพลิงบางชนิดผสมอากาศที่ความดัน ……….................14
1 บรรยากาศ

2.2 ค่าความร้อนและอุณหภูมิเปลวไฟของแก๊สเชื้อเพลิง..16

2.3 อุณหภูมิติดไฟของเชื้อเพลิงในอากาศ…………........……………...……………………..20

2.4 ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้กับเชื้อเพลิงที่ใช้กับเตาเผา………..21

2.5 คุณสมบัติของ LPG สถานะของเหลว…………………………........………...........…23

2.6 ค่าความร้อนของการเผาไหม้ก๊าซ LPG……………………….................………...24

2.7 คุณสมบัติน้ำมันพืช…………………………………………………........……...............25

2.8 คุณสมบัติทางเคมีน้ำมันปาล์ม...29

2.9 คุณสมบัติทางกายภาพน้ำมันปาล์ม...29

4.1 แสดงช่วงของปริมาณไอเสียที่สามารถวิเคราะห์ได้..59

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 เส้นทางการเกิดปฏิกิริยาพื้นฐานของไฮโดรเจน คาร์บอน และ ออกซิเจน.....................11

2.2 องค์ประกอบที่จำเป็นในการเกิดปฏิกริยาการเผาไหม้.............................…………….....12

2.3 แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวทรงกระบอก...17

2.4 เปลวไฟแบบไม่มีการผสมและแบบมีการผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง.....................19

2.5 วัสดุพรุนจากวัสดุต่างๆ 30

2.6 หลักการทำงานของวัสดุพรุน..31

2.7 แบบจำลองทางกายภาพของวัสดุพรุน...32

2.8 หัวเผาเชื้อเพลิงแข็ง..34

2.9 หัวเผาเชื้อเพลิงเหลว (แบบไม่มีห้องเผาไหม้ช่วย)...34

2.10 หัวเผาเชื้อเพลิงเหลว (แบบไม่มีห้องเผาไหม้ช่วย)...35

2.11 หัวฉีดผสมเชื้อเพลิงของหัวเผาแบบเชื้อเพลิงเหลว..35

2.12 หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส...36

2.13 หัวเผาเชื้อเพลิงร่วม..36

3.1 หัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุน...40

3.2 ห้องเผาไหม้...41

3.3 ห้องเผาไหม้เมื่อต่อรวมกับท่อส่งน้ำมันและตะแกรงทางด้านล่าง.......................................41

3.4 ชุดป้อนอากาศและแก๊ส LPG...42

3.5 ท่อจ่ายเชื้อเพลิง...42

3.6 ตะแกรงเหล็ก..43

3.7 ท่อจ่ายอากาศ..44

3.8 วัสดุพรุน...44

3.9 ชุดจ่ายอากาศ..45

3.10 ชุดจ่ายเชื้อเพลิง...46

3.11 อุปกรณ์ปรับความดันอากาศ...47

3.12 รูปหน้าตัดหัวเผา..48

4.1 เครื่องวัดอัตราการไหลอากาศ..56

4.2 Thermocouple…...57

4.3 Data Logger..57

4.4 หัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุน...58

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.5 เครื่องวัดไอเสีย Twlegan รุ่น Sprint 2000...60

4.6 Probe นำก๊าซไอเสีย...60

5.1 ชั้นความหนาของวัสดุพรุนต่อเสถียรภาพการเผาไหม้.......................................64

5.2 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาที่อัตราการไหล...................................65
ของเชื้อเพลิงยังไม่ผ่านการใช้งาน 0.167 กรัม/วินาที

5.3 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาที่อัตราการไหล...................................66
ของเชื้อเพลิงยังไม่ผ่านการใช้งาน 0.208 กรัม/วินาที

5.4 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาที่อัตราการไหล...................................67
ของเชื้อเพลิงยังไม่ผ่านการใช้งาน 0.333 กรัม/วินาที

5.5 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาที่อัตราการไหล...................................68
ของเชื้อเพลิงยังไม่ผ่านการใช้งาน 0.556 กรัม/วินาที

5.6 อุณหภูมิสูงสุดของเชื้อเพลิงยังไม่ผ่านการใช้งานที่อัตราการ................................69
จ่ายเชื้อเพลิงต่างๆ

5.7 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาที่อัตราการไหล...................................70
ของเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งาน 0.167 กรัม/วินาที

5.8 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาที่อัตราการไหล...................................71
ของเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งาน 0.208 กรัม/วินาที

5.9 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาที่อัตราการไหล...................................72
ของเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งาน 0.333 กรัม/วินาที

5.10 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาที่อัตราการไหล...................................73
ของเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งาน 0.556 กรัม/วินาที

5.11 อุณหภูมิสูงสุดของเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งานที่อัตรา..74
การจ่ายเชื้อเพลิงต่างๆ

5.12 เปลวไฟที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.167 กรัม/วินาที..75

5.13 เปลวไฟที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.208 กรัม/วินาที..75

5.14 เปลวไฟที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.333 กรัม/วินาที..76

5.15 เปลวไฟที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.556 กรัม/วินาที..76

5.16 ความยาวของเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.167 กรัม/วินาที.....................................77

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.17 ความยาวของเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.208 กรัม/วินาที.....77

5.18 ความยาวของเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.333 กรัม/วินาที.....78

5.19 ความยาวของเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.556 กรัม/วินาที.....78

5.20 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระยะ 50 มม.จากฐานหัวเผา.....79

5.21 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระยะ 100 มม.จากฐานหัวเผา.....79

5.22 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระยะ 150 มม.จากฐานหัวเผา.....80

5.23 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระยะ 200 มม.จากฐานหัวเผา.....80

5.24 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระยะ 250 มม.จากฐานหัวเผา.....81

5.25 อุณหภูมิของน้ำเมื่อทำการวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อน.....82

5.26 แก๊ส CO ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.115 กรัม/วินาที.....83

5.27 แก๊ส CO ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.167 กรัม/วินาที.....83

5.28 แก๊ส CO ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.208 กรัม/วินาที.....84

5.29 แก๊ส CO ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.333 กรัม/วินาที.....84

5.30 แก๊ส CO_2 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.115 กรัม/วินาที.....85

5.31 แก๊ส CO_2 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.167 กรัม/วินาที.....85

5.32 แก๊ส CO_2 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.208 กรัม/วินาที.....86

5.33 แก๊ส CO_2 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.333 กรัม/วินาที.....86

5.34 แก๊ส O_2 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.115 กรัม/วินาที.....87

5.35 แก๊ส O_2 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.167 กรัม/วินาที.....87

5.36 แก๊ส O_2 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.208 กรัม/วินาที.....88

5.37 แก๊ส O_2 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.333 กรัม/วินาที.....88

5.38 Excess Air ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.115 กรัม/วินาที.....89

5.39 Excess Air ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.167 กรัม/วินาที.....89

5.40 Excess Air ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.208 กรัม/วินาที.....90

5.41 Excess Air ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.333 กรัม/วินาที.....90

ข.1 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.167 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 1.0.....107

ข.2 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.167 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.8.....107

ข.3 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.167 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.6.....108

ข.4 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.167 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.4.....108

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

ข.5 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.208 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 1.2................................109

ข.6 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.208 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 1.0................................109

ข.7 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.208 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.8................................110

ข.8 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.208 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.6................................110

ข.9 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.208 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.4................................111

ข.10 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.333 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 1.2................................112

ข.11 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.333 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 1.0................................112

ข.12 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.333 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.8................................113

ข.13 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.333 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.6................................113

ข.14 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.333 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.4................................114

ข.15 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.556 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 1.2................................115

ข.16 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.556 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 1.0................................115

ข.18 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.556 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.8................................116

ข.19 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.556 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.6................................116

ข.20 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.556 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.4................................117

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

A/F	ค่าสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง
A/F_{stoic}	ค่าสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ Stoichiometic
MW_{air}	น้ำหนักมวลโมเลกุลของอากาศ
MW_{fuel}	น้ำหนักมวลโมเลกุลของเชื้อเพลิง
m_{air}	อัตรามวลไหลอากาศ
m_{fuel}	อัตรามวลไหลเชื้อเพลิง
ϕ	ค่าอัตราส่วนสมมูล $\left(\frac{A/F_{stoic}}{A/F}\right)$
HHV	ค่าความร้อนสูง(Higher heating value)
LHV	ค่าความร้อนต่ำ(Lower heating value)
$\bar{h}_{fg,25^\circ C}$	ค่าเอนทาลปีในการกลายเป็นไอของน้ำที่ 25 $^\circ$C
spgr	เป็นค่าความถ่วงจำเพาะเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของน้ำมันกับน้ำ วัดที่อุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮต์
C_p	ค่าความร้อนจำเพาะ , kCal/kg$^\circ$C
L	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ,kJ/kg
η_{th}	ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผา
q'_{cond}	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยความยาวโดยการนำความร้อนผ่านผนังหัวเผาจากด้านในสู่ด้านนอก(W/m^2)
q'_{conv}	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยความยาวโดยกวรพาความร้อนแบบธรรมชาติ(W/m^2)
q'_{rad}	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยความยาวโดยการแผ่รังสีความร้อน(W/m^2)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในประเทศไทยอาชีพหลักของประชากรส่วนใหญ่คือ การทำเกษตรกรรม โดยแบ่งเป็นหลายรูปแบบ เช่นการทำพืชไร่ การปลูกผลไม้ การทำสวนยางพารา การทำนาข้าว เป็นต้นสามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยเป็นอย่างมาก แต่ในระยะหลังตลาดผลผลิตมีความต้องการลดน้อยลง ปัญหาที่เกิดจากผลผลิตที่เกินความต้องการของตลาดจึงเกิดขึ้น ผลผลิตเหล่านี้หาตลาดรองรับทั้งในประเทศและต่างประเทศไม่ได้เพียงพอต่อผลผลิตที่ออกมา ทำให้ราคาของผลผลิตที่ได้มีราคาต่ำลงเป็นอย่างมาก จึงมีการคิดค้นวิธีแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเพื่อยืดอายุผลผลิตที่ได้ให้มีระยะเวลาการเก็บรักษาได้ยาวนานมากขึ้น และเป็นส่วนสำคัญในการเพิ่มมูลค่าทางการเกษตร ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการทำอาชีพเกษตรกรรมโดยในปัจจุบันได้พัฒนาการแปรรูปผลผลิตมากขึ้นหลายแบบเพื่อสร้างทางเลือกในการขายผลิตผลทางการเกษตรให้เพิ่มการขึ้น

งานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอผลการศึกษาเชิงทดลองของหัวเผาแบบวัสดุพรุนเผาไหม้น้ำมันพืช (Experimental study of a porous burner firing vegetable oil) โดยอาศัยข้อได้เปรียบของวัสดุพรุนที่ไม่จำเป็นต้องทำให้เชื้อเพลิงเป็นละอองฝอย รวมทั้งศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการทำงานของหัวเผาที่ใช้น้ำมันพืช เช่นสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ความยาวของเปลวไฟ การกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น เป็นต้นเพื่อศึกษาประสิทธิภาพด้านสมรรถนะการเผาไหม้จากการทำงานของหัวเผา ในการทำงานของหัวเผานี้ประยุกต์ใช้วัสดุพรุนมาเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อน ซึ่งคาดว่าในอนาคตสามารถที่จะนำหัวเผาที่ถูกสร้างขึ้นมาประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ทำการศึกษาถึงชั้นความหนาของวัสดุพรุนที่เหมาะสมต่อเสถียรภาพการเผาไหม้
2. ทำการศึกษาผลกระทบถึงอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งานแล้วและเชื้อเพลิงใหม่ที่มีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในหัวเผา
3. ทำการศึกษาถึงความยาวเปลวไฟที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงต่างกันของเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งานแล้วและเชื้อเพลิงใหม่
4. ทำการศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาที่เกิดขึ้นในแนวรัศมี

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้มีขอบเขตงานวิจัยดังนี้

1. สร้างหัวเผาที่สามารถใช้น้ำมันพืชที่ไม่ผ่านการใช้งานและน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานเป็นเชื้อเพลิงได้
2. สร้างหัวเผาที่ไม่ใช้หัวฉีดทำให้เชื้อเพลิงเป็นละอองฝอย
3. ทำการออกแบบและสร้างชุดทดลองการทำงานของหัวเผา
4. ในการศึกษามลภาวะที่เกิดจากการเผาไหม้
5. ในการศึกษาสมรรถนะการทำงานของหัวเผาใช้การสังเกตและเครื่องมือวัดพื้นฐาน
6. ศึกษาถึงชั้นความหนาของวัสดุพรุนที่มีผลต่อเสถียรภาพการเผาไหม้
7. ศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลและอัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงที่ไม่ผ่านการใช้งาน
8. ศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลและอัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งาน
9. ศึกษาถึงความยาวเปลวไฟที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงและค่าอัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงที่ไม่ผ่านการใช้งาน
10. ศึกษาถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวรัศมีที่เกิดขึ้นภายในวัสดุพรุน

1.4 สมมติฐานจากการศึกษา

1. การอุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้ช่วยทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงขึ้น
2. คุณสมบัติของวัสดุพรุนที่ช่วยในการระเหยของเชื้อเพลิงจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับหัวเผาที่ไม่ใช้หัวฉีดทำให้เชื้อเพลิงเป็นละอองฝอยก่อนการเผาไหม้และสามารถประยุกต์ใช้กับเชื้อเพลิงที่มีสิ่งเจือปนหรือเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งานได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบ การสร้าง และการทดสอบการทำงานของหัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุน ซึ่งคาดว่าจะได้ประโยชน์ดังนี้

1. ในด้านการศึกษา จะเป็นแนวทางที่จะศึกษาเชื้อเพลิงจากผลิตผลทางการเกษตรที่จะเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในการนำไปใช้กับหัวเผา และเป็นต้นแบบหัวเผาที่สามารถนำไปทำการพัฒนา เพื่อประยุกต์ใช้งานในอนาคตต่อไป
2. ในด้านเศรษฐกิจ จะทำให้เพิ่มมูลค่ากับผลิตผลที่นำมาแปรรูปและเพิ่มทางเลือกในการแปรรูปผลิตผลและสามารถที่จะประยุกต์ใช้กับเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งานมาแล้วเพื่อเพิ่มมูล

ค่าของเชื้อเพลิงรวมถึงช่วยลดการนำเข้าอุปกรณ์หัวเผาและอุปกรณ์จ่ายเชื้อเพลิงเพื่อนำมาใช้งาน

3. สามารถนำหัวเผาไปใช้ในเตาเผาได้อย่างแพร่หลายในท้องถิ่นที่มีวัตถุดิบอยู่
4. สามารถนำเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมาใช้งานอีกได้

บทที่ 2
เทคโนโลยีการเผาไหม้

2.1 บทนำ

ในการออกแบบสร้างหัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุนมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาปัจจัยที่สร้างผลกระทบต่อการออกแบบส่วนประกอบหัวเผา เช่น ห้องเผาไหม้ อุปกรณ์จ่ายเชื้อเพลิง และการเลือกใช้เชื้อเพลิง อีกทั้งยังต้องมีการศึกษาหัวเผาที่มีการใช้งานอยู่ เพื่อทำให้ทราบถึงคุณสมบัติและปัจจัยในส่วนต่างๆที่สร้างผลกระทบต่อหัวเผาที่มีการใช้งานในแต่ละลักษณะก่อนที่จะทำการออกแบบ

2.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

1. Development of Porous Burner Technology for Ultra-Lean Combustion System โดย Dr.Farid C.Christo ซึ่งเป็นงานวิจัยโดยใช้มีเทนเป็นเชื้อเพลิงและใช้วัสดุพรุนที่ประกอบด้วยอลูมิน่าเซรามิคและทำการศึกษาย่านการทำงานของหัวเผาที่มีค่าอัตราส่วนสมมูลต่ำสุดค่าเท่ากับ 0.1 จากการศึกษาพบว่าเกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอเกิดขึ้นภายในชั้นของวัสดุพรุน การออกแบบหัวเผาโดยให้เกิดการผสมกันของมีเทนกับอากาศก่อนการเผาไหม้ภายในวัสดุพรุน และทำการศึกษาผลของ NO_X และ CO ที่เกิดขึ้น
2. High Performance Liquid Fuel Porous Burner โดย Anirut Mantujek ซึ่งทำการพัฒนาหัวเผาน้ำมันเชื้อเพลิงแบบใหม่เพื่อช่วยส่งเสริมการเผาไหม้โดยไม่มีการสเปรย์เป็นฝอยละอองและศึกษาถึงโครงสร้างทางความร้อนและอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของหัวเผา จากการศึกษาพบว่าวัสดุพรุนสามารถที่จะช่วยให้เชื้อเพลิงระเหยได้จึงสามารถสร้างหัวเผาโดยไม่ใช้หัวฉีดได้
3. Development of Liquid Fuel Porous Combustion-Heat Exchanger without Spray Atomizer โดย รศ.ดร.สำเริง จักรใจ ซึ่งทำการวิจัยการศึกษาด้านการทดลองเพื่อพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งอยู่รวมเป็นหน่วยเดียวกันทั้งเตาเผาไหม้และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งได้รับการออกแบบโดยอาศัยคุณสมบัติเด่นของวัสดุพรุน เช่น มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อนสูง จึงเหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ในงานวิจัยนี้วัสดุพรุนที่ใช้ทำมาจากลวดตาข่ายสแตนเลสทนอุณหภูมิสูงมาทำการประยุกต์ใช้
4. Enhancement of Heat Transfer by the Surface Combustor-Heater (SCH) with Cyclic Flow Reversal Combustion(CFRC) of Mixture in a Porous Media โดย Samrerng jugiai , Anantachai Sawananon , Korakit Tongsuk , Chittee Rungcharoen and Suwat

Wachirawittayakul ได้ทำการศึกษาปรากฏการณ์การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวภายใต้ชั้นวัสดุพรุนเมื่อสลับทิศทางการไหลของอากาศ เช่น อุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่างเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนสมมูล

5. Application of porous media for energy saving in gas cooker โดย Natawut Rungsimantuchart ในงานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะนำเทคโนโลยีวัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้ในการส่งเสริมประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ในร้านขายอาหาร เนื่องจากวัสดุพรุนมีลักษณะเด่นคือสามารถเป็นได้ทั้งตัวรับความร้อนและตัวแผ่รังสีความร้อน จึงสามารถนำใช้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่งานวิจัยในครั้งนี้จะทำการศึกษาโดยการทดลอง โดยใช้หัวเผาเตาแก๊สชนิดฟู่ (KB-5) ที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดทั่วไปมาประกอบเข้ากับโครงสร้างของเตาที่ทำขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้ที่ดีขึ้น โดยที่โครงสร้างที่ออกแบบนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญคือวัสดุพรุนสองชุด โดยที่ชุดแรกจะทำหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสีความร้อนและชุดที่สองจะทำหน้าที่เป็นตัวรับความร้อน ซึ่งเมื่อนำเอาวัสดุพรุนทั้งสองชนิดมาวางชิดกันโดยมีแผ่นโลหะคั่นระหว่างกลางก็จะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจากแก๊สไอเสียสู่แก๊สไอดี จากการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาที่ออกแบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงขึ้น 15.84 %

6. Liquid Fuel Porous Burner with Cyclic Flow Reversal Combustion โดย Kampanat Teannoi เพื่อศึกษาปรากฏการณ์การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวภายใต้ชั้นวัสดุพรุนเมื่อสลับทิศทางการไหลของอากาศเผาไหม้อย่างเป็นจังหวะ . โดยมีการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อคุณลักษณะของการเผาไหม้รวมถึงสมรรถนะของระบบการเผาไหม้แบบสลับทิศทางการไหลของอากาศเผาไหม้อย่างเป็นจังหวะและมีการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบทั้งในแง่โครงสร้างความร้อนและมลภาวะ

7. A Study of Direct Energy Conversion by a Porous Thermo-electric Device with a Cyclic Flow Reversal Combustion โดย อภิวัฒน์ พงษ์ดำเนิน , สำเริง จักรใจ ได้ทำงานวิจัยการศึกษาการนำเทคนิคการเผาไหม้แบบสลับทิศทางการไหล ของไอดี อย่างเป็นจังหวะภายในวัสดุพรุนไปประยุกต์ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็คตริกซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้คือ LPG เทคนิคดังกล่าวมีข้อดีคือการหมุนเวียนความร้อนจากการเผาไหม้ภายในระบบทำให้มีช่วงการจุดติดไฟกว้างขึ้น สามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงคุณภาพต่ำได้โดยพบว่าในระบบการทดลองนี้เปลวไฟสามารถติดได้ที่ค่าอัตราส่วนสมมูลต่ำถึง 0.029 นอกจากนี้ยังปลดปล่อยปริมาณมลภาวะที่ต่ำ ในการศึกษานี้จะทำการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ เช่น อัตราส่วนสมมูล , ความเร็วเชื้อเพลิงและความต้านทานภายนอกต่ออุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเตา , มลภาวะที่ปลดปล่อย , กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

8. A Development and Performance Study of a Coconut oil Burner โดย สนธยา มีเลียง ได้ทำการสร้างหัวเผาน้ำมันมะพร้าว โดยใช้อุปกรณ์จ่ายน้ำมันแรงดันสูงของเครื่องยนต์ดีเซลมาประยุกต์ใช้และทำการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆได้แก่ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง , อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง , รูปร่างเปลวไฟจากการเผาไหม้ , การกระจายอุณหภูมิและการเกิดเขม่าจากผลการศึกษาพบว่ารูปร่างเปลวไฟที่มีความเสถียรจะมีความยาวสูงสุดประมาณ 45 เซนติเมตรที่อัตราการไหลเชิงมวล 1.092 กรัมต่อวินาที ที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 11.52 ไม่มีเขม่าและควันในการเผาไหม้ในขณะที่รูปร่างเปลวไฟไม่เสถียรจะเกิดที่อัตราการไหลเชิงมวลเชื้อเพลิงต่ำกว่า 0.289 กรัมต่อวินาที
9. Burning Lean and Green with Porous Burner Technology โดย Dr.Farid C.Christo ได้ทำการสร้างหัวเผาแบบวัสดุพรุนโดยใช้มีเทนเป็นเชื้อเพลิงในการทดลองและใช้วัสดุพรุนเป็นเซรามิคและทำการหาประสิทธิภาพของหัวเผาและมลภาวะที่เกิดขึ้น จากผลการทดลองพบว่า หัวเผาสามารถทำงานได้ที่อัตราส่วนสมมูล 0.15 ที่อัตราการไหลของอากาศ 500 ลิตรต่อนาทีและให้อุณหภูมิสูงสุด 1162 องศาเซลเซียส
10. Vegetable Oil Burner for Cooking Purpose โดย ฉันท์ เกษตรสุวรรณ และคณะ ได้ทำการสร้างหัวเผาน้ำมันพืชซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตได้เองในประเทศรวมทั้งน้ำมันพืชที่ผ่านการประกอบอาหารแล้วมาทำให้เกิดประโยชน์โดยการทดแทนแก๊สหุงต้ม โดยทำการพัฒนาลักษณะของหัวเผาน้ำมันโดยเผาไหม้ร่วมกับแก๊สหุงต้ม เพื่อใช้ความร้อนจากแก๊สหุงต้มทำให้เกิดการระเหยและการจุดติดไฟของน้ำมัน โดยจะทำเสนอการออกแบบลักษณะ การผสมกันของอากาศกับไอน้ำมัน ทำการแก้ปัญหาการอุดตันโดยการออกแบบการส่งน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้ แก้ปัญหาของเขม่าควันเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์โดยปรับปรุงลักษณะการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเพื่อให้ความร้อนถ่ายเทไปยังภาชนะหุงต้มได้มากที่สุด

2.3 ทฤษฎีการเผาไหม้[1]

การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบในการออกแบบหัวเผา ส่วนหนึ่งคือผลกระทบที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สามารถส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะ ประสิทธิภาพการทำงานของหัวเผาและมลภาวะที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งจำแนกได้ดังนี้

2.3.1 ความหมายการเผาไหม้

การเผาไหม้ หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับสารที่ทำการเผาไหม้ โดยที่นี้คือสารเผาไหม้ที่เป็นตัวหลักคือ คาร์บอน และ ไฮโดรเจน

การเผาไหม้สมบูรณ์ หมายถึง การเผาไหม้ซึ่งเกิดขึ้นแล้วสามารถให้ปริมาณค่าความร้อนเท่ากับค่าความร้อนของการเผาไหม้ ผลที่ได้จากการเผาไหม้จะอยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซค์ น้ำ และ ไนโตรเจน

2.3.2 ปฏิกิริยาเคมีของการเผาไหม้

ปฏิกิริยาเคมีของการเผาไหม้หมายถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง(ตั้งแต่ 1000 องศาเซลเซียสขึ้นไปโดยประมาณ) เกิดขึ้นเร็วมาก (ในช่วง 1 ไมโครวินาที-10 ไมโครวินาที) เป็นปฏิกิริยาที่เอกพันธ์หรือเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ในวัฏภาคแก๊สระหว่างโมเลกุลของเชื้อเพลิงหรือโมเลกุลของเชื้อเพลิงหรือโมเลกุลที่เกิดจากการแตกตัวของเชื้อเพลิงและออกซิเจนซึ่งโดยทั่วไปใช้อากาศ ปฏิกิริยาในวัฏภาคแก๊สมีความซับซ้อนมากทั้งในส่วนของจำนวนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นและส่วนที่เกี่ยวข้องกับขอบเขตพื้นที่ของภาชนะหรืออุปกรณ์ที่บรรจุอยู่

ปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) ไม่ใช่ปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลโดยตรง แต่จะเริ่มต้นด้วยการแตกตัวของโมเลกุลเป็นอนุมูลอิสระที่ว่องไว (Active free radical) จำนวนมากเป็นขั้นตอนการเริ่มต้นปฏิกิริยาลูกโซ่(Chain initiation) อนุมูลอิสระที่ว่องไวจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่น ได้อนุมูลอิสระใหม่และอนุมูลขั้นกลาง (Intermediate radicals) อื่นๆ ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อเนื่องแบบลูกโซ่ (Chain propagation) ทั้งที่เกิดขึ้นพร้อมๆกัน(Simultaneous) และที่เกิดขึ้นเป็นลำดับก่อนหลังกัน (Consecutive) หลายรูปแบบ (Branching , Dissociation , Abstraction) ทำให้เกิดผลผลิตและอนุมูลอื่นๆ อีกมาก สุดท้ายคือปฏิกริยาที่ให้ผลผลิตสุดท้ายและอนุมูลที่ไม่ว่องไว ตามด้วยการสิ้นปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain termination) ดังนั้นแม้แต่เชื้อเพลิงที่ง่ายที่สุดเช่น ไฮโดรเจนก็มีจำนวนปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องมากถึง 12 ปฏิกิริยา ดังมีผู้เสนอไว้เบื้องต้นและต่อมามีผู้เสนอเพิ่มเติมจนถึง 25 ปฏิกริยา

ปฏิกริยาการเผาไหม้ของไฮโดรเจน

เปลวไฟของไฮโดรเจนกับอากาศหรือออกซิเจนไม่สามารถที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าแต่มีการปล่อยพลังงานในช่วงอัลตราไวโอเลต ซึ่งเกิดจากอนุมูลอิสระ OH ได้อุณหภูมิเปลวไฟอะเดียเบติกสูงสุดประมาณ 3100 องศาเคลวิน โดยใช้สัดส่วนมวลสารสัมพันธ์ พบว่าได้ความเร็วของเปลวๆ ไฟสูงสุดเช่นเดียวกัน และในผลิตภัณฑ์จะเกิดน้ำขึ้นประมาณ 57% ส่วนที่เหลือประมาณ

หนึ่งในสี่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระ ปฏิกิริยาการเริ่มต้นด้วยการแตกตัวของไฮโดรเจนโดยชนกับผนัง กลายเป็นอนุมูลอิสระไฮโดรเจน ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดอนุมูลอื่นและปฏิกิริยาลูกโซ่อื่นๆ ปฏิกิริยาที่สำคัญคือ

Initiation $$wall+H_2 \longrightarrow WH+H \qquad (2.1)$$

Branching $$H+O_2 \longrightarrow OH+O \qquad (2.2)$$

$$k = 2.00\text{X}10^{14}\exp(-8455/T) \quad cm^3mol^{-1}s^{-1}$$

และ

$$O+H_2 \longrightarrow OH+H \qquad (2.3)$$

$$k = 2.126\text{X}10^{14}\exp(-6860/T) \quad cm^3mol^{-1}s^{-1}$$

Propagation $$OH+H_2 \longrightarrow H+H_2O \qquad (2.4)$$

$$k = 5.94\text{X}10^{14}\exp(-3880/T) \quad cm^3mol^{-1}s^{-1}$$

ดังนั้นถ้าทั้งสามสมการเกิดขึ้นตามลำดับ จากอนุมูลอิสระไฮโดรเจนหนึ่งอนุมูลอิสระ จะได้อนุมูลอิสระไฮโดรเจนถึงสามอนุมูลที่อุณหภูมิต่ำ แต่ที่อุณหภูมิสูงขึ้นค่าคงที่ของปฏิกิริยาจะเข้าใกล้กันมากขึ้น อัตราเร็วจึงไม่ต่างกันมากนัก

ในเปลวไฟสามารถที่จะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ดังนี้

$$OH+O \longrightarrow H+O_2 \qquad (2.5)$$

$$OH+H \longrightarrow O+H_2 \qquad (2.6)$$

$$H+H_2O \longrightarrow OH+H_2 \qquad (2.7)$$

ทำให้เกิดสภาวะกึ่งสมดุลขึ้นในขณะที่ปฏิกิริยาที่ดำเนินไปได้ประมาณสามในสี่ แต่อนุมูลอิสระและอะตอมต่างๆ ยังมีเอนทัลปีอยู่ พลังงานนี้ถูกใช้ไปในปฏิกิริยาการรวมตัวอันดับสาม (third-order recombination) ซึ่งใช้เวลาการเกิดมากกว่าอันดับสอง ในช่วงหลังเปลวไฟ แก๊สที่มีเชื้อเพลิงเข้มข้นจะเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวโดยอนุมูล H เป็นหลัก คือ

Termination $$H+OH+M \longrightarrow H_2O+M \qquad (2.8)$$

$$H+H+M \longrightarrow H_2+M \qquad (2.9)$$

ส่วนแก๊สที่มีเชื้อเพลิงเจือจางจะเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวโดยอนุมูล HO_2 เป็นหลักคือ

$$OH+HO_2 \longrightarrow H_2O+O_2 \quad (2.10)$$

$$H+HO_2 \longrightarrow H_2+O_2 \quad (2.11)$$

ปฏิกริยาการเผาไหม้ของคาร์บอนมอนอกไซค์

แก๊สคาร์บอนมอนอกไซค์มักมีสารที่มีไฮโดรเจนเจือปนอยู่เสมอเช่นในถังแก๊สคาร์บอนมอนอกไซค์มีแก๊สมีเทนปนอยู่ด้วยเล็กน้อย ดังนั้นในการออกซิไดซ์แก๊สคาร์บอนมอนอกไซค์จึงมีอนุมูลอิสระ OH และ H_2O เข้ามามีบทบาทสำคัญในการเกิดปฏิกริยาลูกโซ่ดังนี้

Propagation $$CO+HO_2 \longrightarrow CO_2+OH \quad (2.12)$$

$$CO+OH \longrightarrow CO_2+H \quad (2.13)$$

เกิดปฏิกริยาต่อเนื่องด้วยปฏิกริยา

Branching $$H+O_2 \longrightarrow OH+O \quad (2.14)$$

หรือ

Propagation $$H+O_2+M \longrightarrow HO_2+M \quad (2.2)$$

และในที่สุด

Temination $$CO+O+M \longrightarrow CO_2+M \quad (2.15)$$

นอกจากนี้ยังเกิดปฏิกริยาเพิ่มเติมเนื่องจากแก๊สมีเทนที่เจือปน คือ

$$O+CH_4 \longrightarrow CH_3+OH \quad (2.16)$$

ปฏิกริยาเหล่านี้ถึงแม้จะเริ่มต้นจากอนุมูลจำนวนน้อยแต่มีผลสำคัญ เนื่องจากอนุมูลหมุนเวียนกลับมาเกิดปฏิกริยาได้อีกดังสมการที่ 2.12 และ 2.13

สมการที่ 2.12 และ 2.13 และ 2.15 มีความสำคัญที่สุดในการออกซิไดซ์แก๊ส CO ไปเป็น CO_2 และเป็นปฏิกริยาสำคัญในการออกซิไดซ์เชื้อเพลิงที่คาร์บอนและไฮโดรคาร์บอนโดยเฉพาะ

สมการที่ 2.13 มีความสำคัญที่สุด นั่นหมายความว่าไม่สามารถเกิดคาร์บอนไดออกไซค์ขึ้นได้โดยตรงโดยไม่ผ่านขั้นตอนการเกิดคาร์บอนมอนอกไซค์ก่อน ดังนั้นถ้ามีสภาวะที่ทำให้อนุมูลอิสระทำปฏิกริยากับ CO ได้น้อยลง ก็จะมีผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลง และเกิดการปลดปล่อยแก๊ส CO ออกสู่บรรยากาศ

เนื่องจากสมการที่ 2.13 เกิดขึ้นได้ช้า เมื่อเทียบกับการที่อนุมูลอิสระ OH จะดึงไฮโดรเจนออกจากไฮโดรคาร์บอน

สำหรับโมเลกุลอย่างง่ายของเชื้อเพลิง (ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่) เช่นมีเทน ปฏิกริยาเริ่มต้นจากการแตกตัวด้วยความร้อน (Pyrolysis) ก่อน ซึ่งเป็นปฏิกริยาดูดความร้อน ดังสมการ

$$CH_4+M \longrightarrow CH_3+H+M \qquad (2.17)$$

จากปฏิกริยาได้อนุมูลอิสระเช่น เมทิล และไฮโดรเจน ต้องมีเวลาเพียงพอสำหรับช่วงเริ่มต้นปฏิกริยา เพื่อที่จะผลิตอนุมูลอิสระจำนวนหรือความเข้มข้นมากพอที่จะไปทำให้เริ่มเกิดกระบวนการเผาไหม้อย่างแท้จริงได้ ช่วงเวลานี้เรียกว่า ช่วงเวลาเหนี่ยวนำ (Induction delay) จากนั้น อนุมูลอิสระโดยเฉพาะ ไฮโดรเจนซึ่งว่องไวมากกว่าจะไปทำปฏิกริยาต่างๆรวมทั้ง Abstraction branching และ Association branching ดังสมการ

Abstraction

$$H+CH_4 \longrightarrow CH_3+H_2 \qquad (2.18)$$

$$OH+CH_4 \longrightarrow CH3+H_2O \qquad (2.19)$$

Branching

$$H+O_2 \longrightarrow OH+O \qquad (2.2)$$

$$O+H_2 \longrightarrow OH+H \qquad (2.3)$$

ปฏิกริยานี้เป็นปฏิกริยาที่ควบคุมอัตราเร็วโดยรวมของปฏิกริยาการออกซิไดซ์

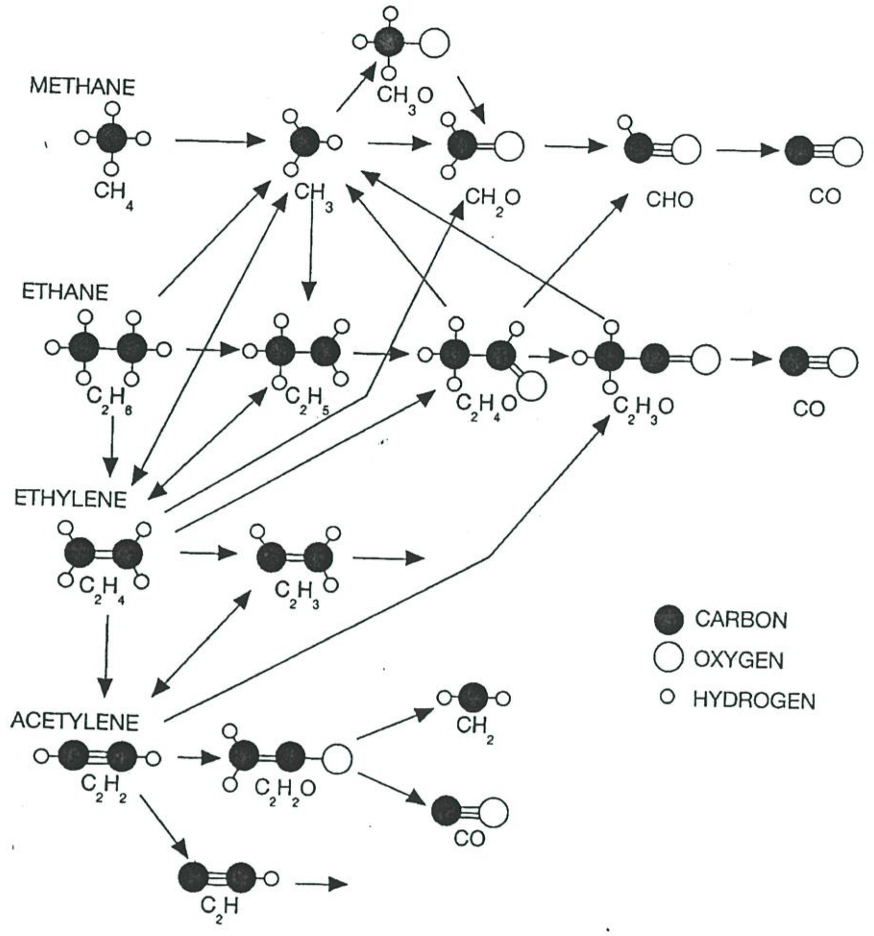
Association

$$H+CH_3 \longrightarrow CH_4 \qquad (2.20)$$

$$H+H+M \longrightarrow H_2+M \qquad (2.9)$$

โอกาสที่อนุมูลอิสระตั้งแต่สองอนุมูลขึ้นไปจะมาชนกัน น้อยกว่าโอกาสที่อนุมูลจะไปทำปฏิกริยากับโมเลกุลอื่นๆ ปฏิกริยานี้จึงช้ากว่า แต่เป็นปฏิกริยาหลักสำหรับการรวมตัวของอนุมูลที่อุณหภูมิสูง

ถ้าเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนอื่นเที่เกิดการเผาไหม้ในวัฏจักรแก๊สจะมีปฏิกริยาพื้นฐานที่เกี่ยวข้องมากมาย ทั้งที่เป็นปฏิกริยาลูกโซ่ (ซึ่งเกิดต่อเนื่อง) และปฏิกริยาอื่นๆ เส้นทางของการเกิดปฏิกริยาจึงมีความซับซ้อนมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เส้นทางการเกิดปฏิกิริยาพื้นฐานของไฮโดรเจน คาร์บอน และ ออกซิเจน

กลไกและจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการเผาไหม้ แม้แต่ของโมเลกุลเล็กๆ จะมีความซับซ้อนมากยิ่งไปกว่านั้น ที่อุณหภูมิสูงต้องพิจารณาสภาวะที่ผนังอุปกรณ์ซึ่งมีอิทธิพลอย่างมากต่อจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการเผาไหม้ด้วยและเนื่องจากกระบวนการเผาไหม้มีเทอร์โมไดนามิกส์ กลศาสตร์ของไหล และการถ่ายเทความร้อนเข้ามามีส่วนร่วมสำคัญ การทำความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์การเผาไหม้จึงจำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อทำนายระหว่างความเข้มข้นและเวลาที่เกิดการเผาไหม้

ดังนั้นถ้าพิจารณาในภาพรวมแล้วไม่ว่าเชื้อเพลิงนั้นจะมีโครงสร้างโมเลกุลและสถานะใด เมื่อเกิดการเผาไหม้จนสมบูรณ์แล้ว สามารถเขียนปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้ดังนี้
ถ้ามีการเผาไหม้สมบูรณ์จะเกิดปฏิกริยา

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 \qquad (2.21)$$

ถ้ามีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะเกิดปฏิกริยา

$$C+0.5O_2 \longrightarrow CO \qquad (2.22)$$

$$H_2+0.5O_2 \longrightarrow H_2O \qquad (2.23)$$

ได้ คาร์บอนไดออกไซค์ คาร์บอนมอนอกไซค์ และไอน้ำ
ถ้าเชื้อเพลิงมีกำมะถันอยู่ จะเกิดปฏิกริยา

$$S+O_2 \longrightarrow SO_2 \qquad (2.24)$$

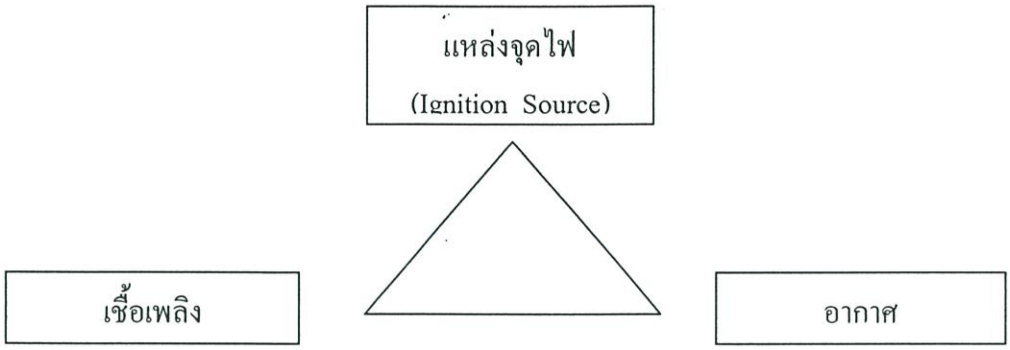
ได้ ซัลเฟอร์ไดออกไซค์

ถ้าเชื้อเพลิงมีไนโตรเจนจะเกิดไนโตรเจนออกไซค์และถ้าใช้อากาศไนโตรเจนจากอากาศส่วนหนึ่งจะกลายเป็นไนโตรเจนออกไซค์ด้วย แต่เนื่องจากปฏิกริยาการออกซิไดซ์ไนโตรเจนใช้พลังงานสูงมากจึงเกิดปฏิกริยาได้น้อย ปริมาณแก๊สไนโตรเจนออกไซค์ในฟลูแก๊สมีน้อยอยู่ในระดับต่ำกว่าพันส่วนในล้านส่วน ในการพิจารณาทั่วไปจึงไม่นำมาพิจารณาเว้นแต่ต้องคำนวณผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม

2.3.3 สภาวะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกริยา

2.3.3.1 องค์ประกอบการเกิดปฏิกริยา

ปฏิกริยาจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีตัวทำปฏิกิริยาและที่สภาวะเหมาะสม ปฏิกิริยาการเผาไหม้คือปฏิกิริยาการออกซิไดซ์เชื้อเพลิงให้เกิดเป็นออกไซค์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นต่อเนื่องจนสมบูรณ์ การเผาไหม้โดยทั่วไปตัวทำปฏิกริยาคือเชื้อเพลิง (ซึ่งเป็นคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่)และอากาศซึ่งจะเริ่มเกิดปฏิกิริยาได้ต่อเมื่อมีสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งคือ แหล่งความร้อนเพื่อจุดไฟ (Ignition source) ซึ่งแสดงองค์ประกอบได้สามประการคือ



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบที่จำเป็นในการเกิดปฏิกริยาการเผาไหม้

การเริ่มต้นปฏิกิริยาการเผาไหม้ซึ่งเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่เริ่มต้นด้วยการแตกตัวของโมเลกุลของเชื้อเพลิงเป็นอนุมูลอิสระก่อน แหล่งจุดไฟจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากเพราะจะให้พลังงานส่วนแรกแก่ส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนทำให้เชื้อเพลิงเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระจำนวนมากพอที่จะไปทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเผาไหม้เมื่อเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้แล้วแหล่งจุดไฟจะไม่จำเป็นอีกต่อไปเพราะพลังงานการเผาไหม้ส่วนต้นมากพอที่จะไปทำให้เชื้อเพลิงส่วนที่เหลืออยู่เกิดการแตกตัวและการเผาไหม้ต่อเนื่องกันไปได้เองจนสมบูรณ์

2.3.3.2 ขีดจำกัดการเกิดเปลวไฟ (Flammability limits)

ปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นเนื้อเดียวกันสามารถเกิดได้ในช่วงความดันและอุณหภูมิกว้างถ้าส่วนผสมระหว่างแก๊สเชื้อเพลิงและอากาศเกิดปฏิกิริยาภายใต้ความดันสูงจะเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเร็วเหนือเสียง (Supersonic Reaction) เรียกว่าการระเบิดและถ้าส่วนผสมระหว่างแก๊สเชื้อเพลิงและอากาศเกิดปฏิกิริยาที่ความดันบรรยากาศหรือภายใต้ความดันต่ำจะเป็นปฏิกิริยาที่เร็วต่ำกว่าเสียง (Subsonic Reaction) เรียกว่าการเผาไหม้ด้วยความร้อนแต่คำนิยมใช้มากกว่าคือการเกิดเปลวไฟ (Flame) เพราะมีความดันปกติแนวหรือขอบเขตของการเผาไหม้ปรากฏเป็นแสงสว่างมองได้ด้วยตาเปล่า

2.3.3.3 เปลวไฟ (Flame)

เป็นบริเวณการเผาไหม้ (Combustion Zone) ที่เคลื่อนที่เข้าหาส่วนผสมระหว่างแก๊สเชื้อเพลิงและอากาศ การที่จะเกิดเปลวไฟขึ้นได้นั้นต้องเริ่มจากส่วนผสมที่เหมาะสม ถ้าเริ่มจากเชื้อเพลิงอย่างเดียวการเผาไหม้จะเกิดขึ้นไม่ได้ ถ้าเริ่มจากอากาศหรือสารออกซิไดซ์อย่างเดียวการเผาไหม้ก็เกิดขึ้นไม่ได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงมีช่วงผสมที่เหมาะสมที่จะเกิดเปลวไฟขึ้นได้ อยู่ระหว่างส่วนผสมที่เชื้อเพลิงเจือจางที่จุด (Lean Mixture) ที่จะเกิดเปลวไฟขึ้นได้เรียกขีดจำกัดขั้นต่ำของการเกิดเปลวไฟ (Lower limit of flammability) และส่วนผสมที่เข้มข้นที่สุด (Rich Mixture) ที่

ยังคงเกิดเปลวไฟได้เรียกว่าขีดจำกัดขั้นสูงของการเกิดเปลวไฟ (Limit of flammability) เชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีขีดจำกัดเปลวไฟต่างกันทั้งช่วงกว้างและค่าขีดจำกัดทั้งขั้นสูงและขั้นต่ำดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขีดจำกัดการเกิดเปลวไฟของเชื้อเพลิงบางชนิดผสมอากาศที่ความดัน 1 บรรยากาศ

เชื้อเพลิง	ส่วนผสมที่เชื้อเพลิงเจือจางที่สุด (%)	ส่วนผสมเชื้อเพลิงที่เข้มข้นที่สุด (%)
Acetone	3.10	11.50
Acetylene	2.50	80.00
Ammonia	16.1	26.60
Benzene	1.41	7.10
Butane	1.86	8.41
Butyl	1.45	11.25
Butylene	1.98	9.65
Carbon monoxide	12.5	74.2
Ethane	3.22	12.45
Ethyl	4.25	18.95
Ethylene	3.05	28.6
Haptane	1.00	6.70
Hexane	1.27	6.90
Hydrogen	4.00	74.2
Methane	5.00	14.00
Methyl	7.1	36.5
Octane	0.95	-
Pentane	1.42	7.80
Propane	2.37	9.50
Propyl	2.15	13.5
Propylene	2.40	10.30
Propylene oxide	2.10	21.50

2.3.4 พลังงานความร้อนของการเผาไหม้

ปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ซึ่งเป็นปฏิกริยาคายความร้อน จากความรู้เบื้องต้นทางด้านความร้อนของปฏิกิริยาสามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนของปฏิกิริยาใดๆ เช่น คำนวณจากความร้อนปฏิกิริยาที่สถาวะมาตรฐาน(Standard heat of reaction , ΔH_r°) คือ ความดัน 1 บรรยากาศและอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสหรือคำนวณจากความร้อนของการเกิด(ของค่าใดๆ) ที่สถาวะมาตรฐาน (Standard heat of formation , ΔH_f°) ความร้อนของปฏิกริยาที่สภาวะมาตราฐาน และ ความร้อนของการเกิดที่สภาวะมาตรฐานดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากตารางหนังสือการเผาไหม้ ปฏิกริยาการเผาไหม้แสดงเป็นความร้อนของการเผาไหม้ที่สภาวะมาตรฐาน (Standard heat of combustion , ΔH_c°) สามารถคำนวณได้ลักษณะเดียวกัน เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนจึงมีค่าเป็นลบเสมอ ถ้ามีค่าเป็นบวก แสดงว่าสารนั้นไม่สามารถเผาไหม้ได้

2.3.4.1 ค่าความร้อน

ในการคำนวณพลังงานจากปฏิกริยาการเผาไหม้ให้ค่าเป็นลบ ซึ่งไม่สะดวกแก่การใช้งาน จึงนิยมใช้เทอม ค่าความร้อน (Heating value หรือ Calorific value) ซึ่งมีค่าเท่ากับความร้อนของการเผาไหม้ที่สภาวะมาตรฐานแต่มีค่าเป็นบวก สำหรับเชื้อเพลิงธรรมชาติไม่ว่าจะเป็น ถ่านหิน , น้ำมันและผลิตภัณฑ์หรือชีวมวลเป็นสารประกอบไม่บริสุทธิ์จึงไม่สามารถคำนวณจากความร้อนของปฏิกริยาจึงจำเป็นต้องทำการทดลองในเครื่องมือเฉพาะที่เรียกว่า บอมบ์ แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและของเหลว

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง หมายถึง พลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยออกจากเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ในกระบวนการไหลคงที่และผลิตภัณฑ์กลับสู่สภาวะของสารปฏิกิริยา ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้นขึ้นอยู่กับสถานะของน้ำในผลิตภัณฑ์ แต่ถ้ากรณีน้ำในผลิตภัณฑ์อยู่ในสภาวะของเหลวเรียกว่าค่าความร้อนสูง (HHV) ถ้ากรณีน้ำในผลิตภัณฑ์อยู่ในสภาวะไอเรียกว่า ค่าความร้อนต่ำ (LHV) และแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$HHV = LHV + (Nh_{fg,25})_{H_2O} \qquad kJ/kg \tag{2.25}$$

เมื่อ N คือ Mass Fraction ของน้ำในผลิตภัณฑ์

$h_{fg,25}$ คือ ค่าเอนทาลปีของการกลายเป็นไอของน้ำที่ 25 $^{\circ}c$ kJ/kg

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงสามารถหาได้จากการทดสอบโดยอุปกรณ์ Bomb calorimeter

2.3.4.2 อุณหภูมิเปลวไฟอะเดียเบติก(adiabatic flame temp)

ในปฏิบัติการการเผาไหม้จำเป็นที่จะต้องทราบถึงอุณหภูมิในเตาเผาไหม้และอุณหภูมิของแก๊สผลผลิตหรือฟลูแก๊ส (Fuel gas) ที่ได้จากการเผาไหม้เพื่อใช้ในการออกแบบเกี่ยวกับอุปกรณ์การถ่ายเทความร้อนหรือคำนวณเกี่ยวกับปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายโอนให้กับวัสดุภายในเตาเผาหรือให้แก่ไอน้ำในระบบดังกล่าวผลผลิตทั้งหมดที่เป็นแก๊สจะออกจากระบบด้วยกันทั้งหมดเป็นกระแสเดียว อุณหภูมิของฟลูแก๊สทั้งหมดจะสูงขึ้นเรียกว่า อุณหภูมิเปลวไฟ (Flame Temperature) ถ้าเป็นปฏิกิริยาเผาไหม้ด้วยออกซิเจน อากาศในปริมาณที่ต้องการตามทฤษฎีเกิดอย่างสมบูรณ์และไม่มีการสูญเสียออกจากระบบ อุณหภูมิจะสูงสุดอะเดียเบติก (Maximum adiabatic flame temperature) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงสุดของเปลวไฟที่เชื้อเพลิงชนิดหนึ่งๆ จะทำได้

ที่อุณหภูมิสูง โมเลกุลของผลผลิตของการเผาไหม้ได้แก่ แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ ไนโตรเจน และออกซิเจนเกินพอที่มีอยู่ชั่วขณะ จะเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลและอะตอมที่ว่องไว ซึ่งปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นปฏิกริยาดูดความร้อนจึงมีผลให้ปริมาณความร้อนในระบบน้อยลง อุณหภูมิของเปลวไฟจึงลดลงเราสามารถใช้ค่าสมดุลการแตกตัวคำนวณอุณหภูมิของเปลวไฟที่คำนึงการถึงการแตกตัวของโมเลกุลที่อุณหภูมิสูงได้และเรียกอุณหภูมินี้ว่าอุณหภูมิอะเดียแบติคที่แก้ค่าแล้ว (Corrected adiabatic flame temperature)

ตารางที่ 2.2 ค่าความร้อนและอณุหภูมิเปลวไฟอะเดียเบติก

Fuel	HHV(kJ/kg)	LHV(kJ/kg)	T_{ad}(^{O}K)
Methane	55526	50016	2226
Acetylene	49923	48225	2539
Ethene	50131	47161	2369
Ethane	51901	47489	2259
Propane	48936	45784	2334
1-Butene	48471	45319	2322
n-Butane	49546	45742	2270
1-Pentene	48152	45000	2314
n-Pentane	49032	45355	2272
Benzene	42277	40579	2342
1-Hexene	47955	44803	2308
n-Hexane	48696	45105	2273
1-Haptene	47817	44665	2305

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ค่าความร้อนและอุณหภูมิเปลวไฟอะเดียเบติก

n-Haptane	48456	44926	2274
1-Octane	47712	44560	2302
n-Octane	48275	44791	2275
1-Nonene	47631	44478	2300
n-Nonane	48134	44686	2276
1-Decene	47565	44413	2298
n-Decane	48020	44602	2277

2.3.5 ค่าอัตราส่วนสมมูล (Equivalent Ratio ϕ)

ค่าอัตราส่วนสมมูล(ϕ) คือ ค่าที่บ่งบอกถึงสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้งานจริงมีค่ามากหรือค่าน้อยกว่าสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเชิงทฤษฎี ถ้าค่า ϕ มีค่ามากกว่า 1.0 แสดงว่าเป็นส่วนผสมหนา(rich mixture) คือสัดส่วนของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้มีค่าน้อยกว่าเชื้อเพลิง แต่ถ้าค่า ϕ มีค่าน้อยกว่า 1.0 แสดงว่าส่วนผสมบาง (lean mixture) คือสัดส่วนของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้มีค่ามากกว่าเชื้อเพลิง

$$\phi = (A/F)_{stoic} \;/\; (A/F)_{actual} \qquad (2.26)$$

เมื่อ

$(A/F)_{stoic}$ คือ อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงทางทฤษฎี

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

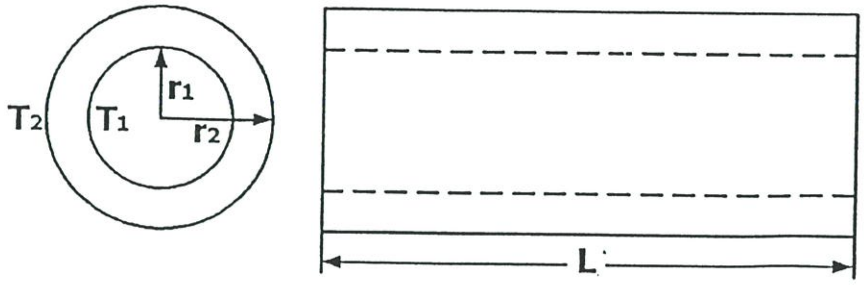
โดยที่

$(A/F) = m_a / m_{fuel}$

เมื่อ m_a คือ อัตราการจ่ายของอากาศ (kg/s)

m_{fuel} คือ อัตราการจ่ายน้ำมัน (kg/s)

2.3.6 การถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 2.3 แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวทรงกระบอก

การถ่ายเทความร้อนจากการเผาไหม้เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบด้านอุณหภูมิการเผาไหม้ เนื่องจากถ้าการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวผนังได้มาก จะทำให้สมมติฐานในรูปการถ่ายเทความร้อนของทรงกระบอก ดังรูปที่ 2.3

สมการการถ่ายเทความร้อน

$$Q_{cond} = \frac{2\pi\left(T_1 - T_2\right)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \qquad (2.27)$$

เมื่อ

T_1 คือ อุณหภูมิด้านในของทรงกระบอก , (°K)

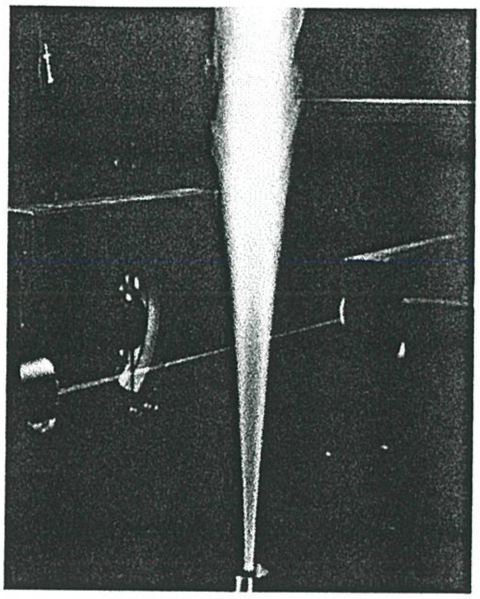
T_2 คือ อุณหภูมิด้านนอกของทรงกระบอก , (°K)

r_1 คือ รัศมีด้านในของทรงกระบอก , (m)

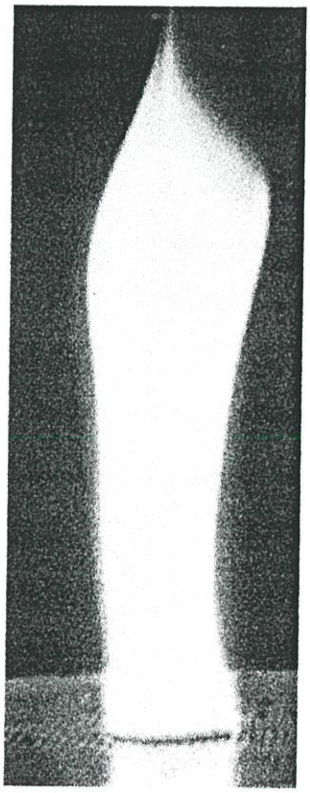
r_2 คือ รัศมีด้านนอกของทรงกระบอก , (m)

2.3.7 การผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง

การผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้นั้นมีส่วนสำคัญในการเผาไหม้เนื่องจากการผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงที่ดีจะช่วยลดการเกิดเขม่าและควันจากการเผาไหม้ได้ ซึ่งทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์และยังเพิ่มประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิ ความเสถียรของเปลวไฟขณะทำการเผาไหม้



a) Premix Flame



b) Diffusion Flame

รูปที่ 2.4 เปลวไฟแบบไม่มีการผสมและแบบมีการผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้

2.3.8 อุณหภูมิของการจุดติดไฟ (Ignition Temperature)

อุณหภูมิของการจุดติดไฟ หมายถึง อุณหภูมิซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้มากกว่าความร้อนที่สูญเสียไปกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้น กระบวนการเผาไหม้จึงกลายเป็นกระบวนการดำเนินได้เอง (self- sustaining)

อุณหภูมิติดไฟและสารที่เผาไหม้ได้จะแปรตามชนิดของสารนั้น จากตารางที่ 2.3 จะแสดงอุณหภูมิต่ำสุดและช่วงอุณหภูมิในอากาศสำหรับเชื้อเพลิงและองค์ประกอบของสารเผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิงซึ่งมีองค์ประกอบหลายอย่างที่มีผลต่ออุณหภูมิการติดไฟ เช่น ความดัน , ความเร็ว , ระบบที่ล้อมรอบ (Enclose Configuration) , วัสดุที่เป็นตัวเร่ง (Catalytic Materials) , การผสมกันของอากาศและเชื้อเพลิง

อุณหภูมิติดไฟ (Ignition Temperature) จะลดลงซึ่งขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของความดันและเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.3 อุณหภูมิติดไฟของเชื้อเพลิงในอากาศ

สารที่เผาไหม้ได้	สูตรเคมี	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)
Sulfur	S	470
Charcoal	C	650
Fix Carbon (Semibituminous coal)	C	765
Fix Carbon (anthracite)	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

2.3.9 การสูญเสีย (Losses)

ความร้อนของเชื้อเพลิงไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปเป็นความร้อนทั้งหมด มีบางส่วนที่ถูกดูดซับโดยเตาเผานอกจากนั้นบางส่วนของเชื้อเพลิงก็ไม่ถูกเผาไหม้ทำให้เกิดคาร์บอนคงเหลืออยู่ในรูปของเถ้าหรือคาร์บอนถูกเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์แทนที่จะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งโดยปกติแล้วออกซิเจนในเชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้ทั้งหมด ความร้อนที่สูญเสียจึงเป็น

การสูญเสียที่ปล่องเพราะความร้อนในเชื้อเพลิงจะคำนวณที่ความดันบรรยากาศ ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจากการเผาไหม้ถูกทำให้เย็นจนเท่ากัน ถ้าหากความร้อนทั้งหมดถูกนำไปใช้ประโยชน์ซึ่งความร้อนที่สูญเสียจะประกอบด้วย

- Sensible heat ของไอเสียแห้ง
- Sensible heat ในความชื้นของอากาศ
- Sensible heat น้ำในเชื้อเพลิง
- Latent heat ของความชื้นในเชื้อเพลิง

ในทางปฏิบัติการเผาไหม้ต้องการอากาศมากกว่าในทางทฤษฎี ซึ่งอากาศที่เหลือจากการเผาไหม้จะทำให้เกิดการสูญเสียในกระบวนการเผาไหม้

ตารางที่ 2.4 ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้กับเชื้อเพลิงที่ใช้กับเตาเผา

เชื้อเพลิง	ชนิดหัวเผา	ปริมาณอากาศเกินพอ (%โดยน้ำหนัก)
Pulverize coal	Completely water-cooled furnance for slag-tap or dry-ash-removal Partially water-cooled furnance for dry-ash-remaval	15-20
Crushed coal	Cyclone Furnance-pressure or suction	15-40
Coal	Spreader-Stoker	10-15
	Water-cooled vibrating-grate stoker	30-60
	Chain-grate and traveling-grate stokers	15-50
	Under stoker	20-50
Fuel oil	Oil burner , register type	5-10
	Mutifuel burner and flat-flame	10-20
Acid sludge	Cone and flat-flame typeburner , stream-atomized	10-15
Natural , coke-oven and refinery gas	Register-type burner	5-10
	Multifuel burner	7-12
Blast-furnance gas	Intertube nozzle-type burner	15-18
Wood	Dutch oven(10-23% through grat) and Hoft-type	20-25
Begass	All furnance	25-35
Black liquore	Recovery furnance for kraft and soda-pulping	5-7

นอกจากนี้ยังมี Inherent heat losses ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้และยังมีความร้อนที่สูญเสียหลายอย่างที่สามารถควบคุมเพียงบางส่วนซึ่งเป็นผลเนื่องมาจาก

- การกระจายของผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศ
- ความชื้นในองค์ประกอบของเชื้อเพลิงรวมกับผลรวมของไฮโดรเจนกับออกซิเจนในเชื้อเพลิง

เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการสูญเสียความร้อนเพื่อที่จะสามารถออกแบบที่ดีและการควบคุมการทำงานที่มีประสิทิภาพ ซึ่งสามารถลดการสูญเสียสามารถที่จะทำได้โดย

- การควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกิน
- การปล่อยของแข็งที่ไม่สามารถเผาได้ปนมาในเถ้าหรือการของเสียจากการเผาไหม้
- การปล่อยให้แก๊สที่ไม่ถูกเผาไหม้ปล่อยออกไปกับแก๊สเสีย
- การใช้ฉนวนหุ้มอุปกรณ์ต่างๆเพื่อลดการสูญเสีย

2.4 คุณสมบัติของแก๊ส LPG

2.4.1 คุณสมบัติทางเคมี

คุณสมบัติเคมีของแก๊ส LPG หมายความรวมถึงแก๊ส ไฮโดรเจนที่มีส่วนประกอบของคาร์บอนในระดับ C3 และ C4 ซึ่งในระดับนี้ไฮโดรคาร์บอนจะสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวได้ ภายใต้ความดันที่ไม่สูงมากนัก ที่อุณหภูมิปกติไฮโดรคาร์บอนกลุ่มนี้ประกอบด้วย

โพรเพน	Propane	C_3H_8
โพรพีลีน	Propylene	C_3H_6
บิวเทน	Butane	C_4H_{10}
บิวทีลีน	Butylene	C_4H_8

และมีสารประกอบที่ไม่ใช่ ไฮโดรคาร์บอน รวมอยู่บ้างเล็กน้อยเนื่องจากความหลากหลายของส่วนประกอบทำให้มีการตั้งมาตรฐานของแก๊ส LPG ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงให้แน่ชัดและเป็นข้อมูลในการออกแบบระบบให้ถูกต้องและปลอดภัย

อย่างไรก็ตาม C3 และ C4 ที่ปรากฏอยู่ในส่วนผสมของแก๊ส LPG อาจแบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือพวก Saturated และ Unsaturated ซึ่งทั้งสองกลุ่มนี้ต่างกันตรงลักษณะการจับตัวของคาร์บอนอะตอม

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

กลุ่ม Unsaturated hydrocarbon ได้แก่ Propylene , N-Butylene , iso-Butylene

2.4.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

2.4.2.1 สถานะของเหลว

เนื่องจาก LPG นั้นมีจุดเดือดต่ำมาก คือโพรเพน -42.045 องศาเซลเซียส นอร์มัลบิวเทน -0.5 องศาเซลเซียส ไอโซบิวเทน -11.72 องศาเซลเซียส ดังนั้น LPG จะมีจุดเดือดและมีสถานะเป็นแก๊สที่บรรยากาศ เว้นเสียแต่ถูกอัดด้วยความดันอยู่ถายในถัง ค่าความดันที่ทำให้เป็นของเหลวคือความดันของ LPG เอง

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของ LPG สถานะของเหลว

	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

2.4.2.2 สถานะแก๊ส

ช่วงการลุกไหม้ แก๊สที่สันดาปได้จะมีช่วงส่วนผสมกับอากาศเพียงช่วงเดียวที่จุดไฟแล้วลุกไหม้ได้ เพราะอากาศผสมอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะช่วงการลุกไหม้จะแสดงค่าเป็นร้อยละของปริมาตร แก๊สต่ออากาศ ค่าความเข้มสูงสุดของการลุกไหม้เรียกว่าค่าขอบบนส่วนทางด้านต่ำเรียกว่า ค่าขอบล่าง LPG (ของผสมระหว่างโพรเพนกับบิวเทน) จะลุกไหม้ในช่วง 2-9 % โดยโพรเพน มีช่วงการลุกไหม้ 2.4-9.5 % ในอากาศและบิวเทน มีช่วงการลุกไหม้ 1.8-8.4 % ในอากาศถ้าส่วนผสมมากหรือน้อยกว่านี้จะไม่ติดไฟ

อุณหภูมิของการจุดติดไฟ

เมื่อค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิให้กับเชื้อเพลิงจนเลยอุณหภูมิค่าหนึ่งแล้ว แม้จะไม่มีประกายไฟหรือสาเหตุของการติดไฟ เชื้อเพลิงก็จะลุกไหม้เองตามธรรมชาติอุณหภูมิต่ำสุดที่เริ่มเกิดการลุกไหม้ตามธรรมชาตินี้เรียกว่าอุณหภูมิการจุดติดไฟ ของโพรเพนคือ 460-580 องศาเซลเซียส ของ บิวเทนคือ 540-50 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของเปลวไฟ

อุณหภูมิของเปลวไฟที่ได้จากการเผาไหม้ของแก๊สหุงต้มมีสูงมากพบที่จะหลอมละลายโลหะต่างๆได้เช่น เหล็กหล่อ ทองเหลือง อะลูมิเนียม และแก้วเป็นต้น โดย โพรเพน มีอุณหภูมิเปลวไฟในอากาศ 1930 องศาเซลเซียส บิวเทน 1900 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนปริมาตรของเหลวต่อแก๊ส

แก๊สหุงต้มเหลวเมื่ออยู่ในสถานะแก๊ส ปริมาตรจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากโดย โพรเพน 1 หน่วยปริมาตรเมื่อกลายเป็นแก๊สแล้วจะมีปริมาตรเป็น 27 หน่วยที่ 15.5 องศาเซลเซียส ส่วน บิวเทน 1 หน่วยปริมาตร เมื่อกลายเป็นแก๊สแล้วจะมีปริมาตรเป็น 233 หน่วยที่ 15.5 องศาเซลเซียส

ค่าความร้อนของการเผาไหม้

ค่าความร้อนของการเผาไหม้หมายถึง ปริมาณความร้อนที่เกิดจากการนำเอาแก๊ส LPG 1 หน่วยน้ำหนัก หรือ 1 หน่วยปริมาตร มาทำการเผาไหม้ที่ความดันและอุณหภูมิปกติ (25 องศาเซลเซียส) ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าความร้อนของการเผาไหม้แก๊ส LPG

ที่อุณหภูมิ 25	โพรเพน	นอร์มัลบิวเทน	ไอโซบิวเทน
Gross :			
กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม	11943	11742	11714
บีทียู/ปอนด์	21497	21135	21085
กิโลแคลอรี่/ลบ.เมตร	23700	30600	30500
บีทียู/ลบ.ฟุต	2663	3438	3427
Net:			
กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม	10989	10837	10810
บีทียู/ปอนด์	19780	19506	19458
กิโลแคลอรี่/ลบ.เมตร	22250	29400	29200
บีทียู/ลบ.ฟุต	2500	3304	3281

ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Air Requirement)

แก๊สออกซิเจนเป็นแก๊สที่มีผสมอยู่ในอากาศ 21 % โดยปริมาตรและเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าไปในห้องเผาไหม้ จะต้องมีปริมาณที่แน่นอน ในกรณีที่แก๊ส LPG เผาไหม้อย่างสมบูรณ์ทั้งหมด ก็จะกลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงสามารถเขียนเป็นสมการเคมีได้ดังนี้

โพรเพน $C_3H_8+5O_2 \longrightarrow 3CO_2+4H_2O$ (2.32)

บิวเทน $C_4H_{10}+6.5O_2 \longrightarrow 4CO_2+5H_2O$ (2.33)

ดังจะเป็นจากสมการเหล่านี้ ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะเป็น 5 เท่า ในกรณีของโพรเพนและจะเป็น 6.5 เท่าในกรณีของบิวเทน เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในอากาศมีประมาณ 21 % ฉะนั้นในการเผาไหม้โพรเพนอย่างสมบูรณ์ 1 ลบ.เมตร จะต้องใช้อากาศ 24 ลบ.เมตรส่วนบิวเทน 1 ลบ.เมตร จะต้องใช้อากาศ 31 ลบ.เมตร ดังนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินแล้ว LPG ต้องการอากาศมากกว่าเล็กน้อย

สี กลิ่น ความเป็นพิษและการละลาย

LPG บริสุทธิ์จะไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตจึงต้องเติมสารประกอบที่มีกลิ่นเหม็นลงไปด้วยเพื่อให้ผู้ใช้รู้เมื่อเกิดการรั่วเกิดขึ้น สารประกอบที่ใส่ลงไปจะเป็นสาร เมอร์แคปเทน (Mercaptan) แก๊ส LPG เป็นแก๊สที่ไม่มีพิษแต่ในกรณีเกิดการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์จะเกิดแก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์ได้เช่นกัน เนื่องจาก LPG ไม่มีสารพิษร้ายแรงเช่น Tetraethy Lead ซึ่งมีอยู่ในน้ำมันเบนซิน ฉะนั้นแก๊สเสียของ LPG จึงสะอาดเมื่อเทียบกับการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซิน

นอกจากนั้นแก๊ส LPG มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายเช่นเดียวกับพวกน้ำมันระเหยจึงสามารถทำให้อุปกรณ์ต่างๆที่ทำมาจากยางธรรมชาติเสียคุณสมบัติได้เช่น ปะเก็น หรือ ซีลต่างๆ ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้กับถังที่บรรจุแก๊สธรรมชาติ ควรใช้วัสดุอื่นที่ไมได้ทำมาจากยางธรรมชาติ เช่น ยางสังเคราะห์เป็นต้น

2.5 คุณสมบัติของน้ำมันพืช(Properties of Vegetable Oil)[4]

คุณสมบัติของน้ำมันพืชที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหัวเผาจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบสำหรับการเผาไหม้เช่น คุณสมบัติการจุดติดไฟ จุดเกิดควัน เป็นต้น คุณสมบัตินี้เป็นปัจจัยที่นำมาพิจารณาเลือกเชื้อเพลิงใช้ในหัวเผา โดยคำนึงถึงเชื้อเพลิงที่มีมาจากการผลิตทางการเกษตรภายในประเทศ ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกน้ำมันปาล์มมาใช้งาน เนื่องจากหาได้ง่ายราคาถูก และเป็นที่นิยมใช้ในท้องตลาด

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติน้ำมันพืช

ชนิดของน้ำมันพืช	จุดเกิดควัน($^{\circ}$C)	จุดติดไฟ($^{\circ}$C)
น้ำมันละหุ่ง	200	335
น้ำมันมะพร้าว	194	292
น้ำมันปาล์ม	196	318
น้ำมันข้าวโพด	227	359
น้ำมันถั่วเหลือง	256	356

2.5.1 ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะหมายถึงค่าความหนาแน่นของน้ำมันโดยวัดความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิมาตรฐาน 15 องศาเซลเซียสเครื่องมือที่ใช้วัดความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเรียกว่า ไฮโดรมิเตอร์ ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันแต่ละชนิดไม่เท่ากันดังนั้นความบริสุทธิของน้ำมันแต่ละชนิดสามารถบอกได้ค่าความถ่วงจำเพาะ

2.5.2 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น หมายถึง มวลน้ำมันต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ความหนาแน่นของน้ำมันขึ้นอยู่กับค่า ซาปอนนิฟิเคชั่น ค่าไอโอดีน ปริมาณกรดอิสระ ปริมาณน้ำ และอุณภูมิของน้ำมัน โดยที่ค่าความหนาแน่นจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อค่าซาปอนนิฟิเคชั่นและค่าไอโอดีนเพิ่มขึ้นโดยที่ค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.920 ที่ 20 องศาเซลเซียส

2.5.3 ค่าความร้อนจำเพาะ

ค่าความร้อนจำเพาะ หมายถึง ปริมาณค่าความร้อนที่ทำให้น้ำมัน 1 หน่วยมวลมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียสที่สถาวะความดันคงที่หรือปริมาตรคงที่
ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมันพืชและไขมันสามารถหาได้จากสมการ

$$C_p = 0.47 + 0.00073T \qquad (2.34)$$

เมื่อ

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะ ,(kCal/kg°C)

T คือ อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำมัน , (°C)

โดยอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำมันปาล์มมีค่าเท่ากับ 270 °C ดังนั้นความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์มจึงมีค่าเท่ากับ 0.6671 kCal/kg°C

2.5.4 ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ

ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอหมายถึงปริมาณความร้อนที่ทำให้สารหนึ่งหน่วยมวลเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ที่อุณหภูมิและความดันคงที่ สามารถหาค่าดังกล่าวได้จากสมการ

$$L = (110.9 - 0.09t)(2.328/Spgr) \qquad (2.35)$$

เมื่อ

L คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ,(kJ/kg)

t คือ อุณหภูมิการกลายเป็นไอ ,(°F)

$Spgr$ คือ ความถ่วงจำเพาะที่ 60 °F

2.5.5 จุดเดือด (Boiling point)

จุดเดือด หมายถึง อุณหภูมิของเชื้อเพลิงซึ่งความดันไอของเชื้อเพลิงเหลวมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศที่กระทำที่ผิวหน้าของเชื้อเพลิงโดยจุดเดือดของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทำการทดลองมีค่าเทากับ 270 องศาเซลเซียส

2.5.6 จุดวาบไฟและจุดติดไฟ (Flash point and Fire point)

จุดวาบไฟ หมายถึง อุณหภูมิต่ำสุดของของไหลที่ไอของน้ำมันเกิดติดไฟและดับทันที จุดนี้สามารถหาได้จากค่อยๆ ให้ความร้อนแก่น้ำมันพอถึงจุดๆ หนึ่งอุณหภูมิจะเกิดเปลวไฟกวาดไปบนพื้นผิวหน้าน้ำมันวาบหนึ่งและดับส่วนจุดติดไฟคืออุณหภูมิที่ไอน้ำมันเกิดติดไฟและอยู่ได้เกิด 5 วินาที โดยจุดวาบไฟของน้ำมันปาล์มที่นำมาใช้ทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 320 องศาเซลเซียส

2.5.7 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของน้ำมันมีอิทธิพลต่อรูปร่างของน้ำมันที่ฉีดออกมาจากหัวฉีด หากน้ำมันมีคามหนืดสูงจะทำให้การฉีดเป็นละอองฝอยไม่ดี ละอองน้ำมันมีขนาดใหญ่พุ่งไกลและเป็นสายทำให้น้ำมันรวมกับอากาศได้ไม่ดีทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์หากน้ำมันมีความหนืดต่ำไปจะทำให้น้ำมันที่พ่นออกมาเป็นละอองฝอยละเอียดมากจึงพุ่งไปไม่ไกลเท่าที่ควรการเผาไหม้จะไม่ดี โดยทั่วไปน้ำมันเชื้อเพลิงมักมีค่าความหนืดอยู่ที่ 1.8-4.1 Cst ที่ 40 องศาเซลเซียส

2.5.8 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช

น้ำมันพืชเป็นสารประกอบอินทรีย์สารจำพวกเอสเทอร์ เกิดจากปฏิกริยาของสารพวกแอลกอฮอล์ที่เรียกว่ากลีเซอรอลกับกรดอินทรีย์ที่เรียกว่ากรดไขมัน ซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบไตรกลีเซอไรค์ดังรูป น้ำมันพืชจะสลายตัวให้เกิดกลีเซอรอลและกรดไขมันที่อุณหภูมิสูงๆกรดไขมันเกิดออกซิเดชั่นทำให้เกิดการลุกไหม้ได้แต่กลีเซอรอลจะไม่เกิดการลุกไหม้

CH_2-OH H-O-CO-R1 CH_2-O-CO-R1
| + |
CH-OH + H-O-CO-R2 CH-O-CO-R2
| + |
CH_2-OH H-O-CO-R3 CH_2-O-CO-R3

กลีเซอรอล กรดไขมัน ไตรกลีเซอไรค์

กรดไขมันเป็นกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic Acid:-COOH) อยู่กับไฮโดรคาร์บอน ความแตกต่างของกรดไขมันอยู่ที่จำนวนอะตอมคาร์บอน ระดับและตำแหน่ง ความไม่อิ่มตัว กรดไขมันในธรรมชาติส่วนใหญ่จะเป็นไฮโดรคาร์บอนสายตรงยาวต่ออยู่กับหมู่คาร์บอกซิลิกหมู่เดียว

กรดไขมันที่พบในธรรมชาติส่วนมากอะตอมคาร์บอนจะเป็นเลขคู่อยู่ในช่วง 4- 30 อะตอม แต่ส่วนใหญ่พบอยู่ระหว่าง 12-24 อะตอม โดยเฉพาะอย่างยิ่งคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ กรดไขมันมีเฉพาะพันธะเดียวเรียกว่ากรดไขมันอิ่มตัว(Saturated Fatty Acid) พบในปริมาณสูงในไขมันสัตว์ ส่วนกรดไขมันที่มีเฉพาะพันธะคู่รวมอยู่ด้วยเรียกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) พบมากในน้ำมันพืช

การนับตำแหน่งของคาร์บอนเพื่อบอกตำแหน่งพันธะคู่มี 2 วิธีคือนับจากคาร์บอนที่ใช้สัญลักษณ์ Δ(Delta) หากนับจากปลายเมทธิลจะใช้สัญลักษณ์ n หรือ ω (Omega) ในการกำหนดถึงกรดไขมันแต่ละชนิดนิยมเขียนในรูปรหัสซึ่งบอกจำนวนคาร์บอน จำนวนพันธะคู่และตำแหน่ง เช่นกรดลิโนเลอิกมีคาร์บอน 18 อะตอม 2 พันธะคู่ อยู่ที่ตำแหน่ง 9 และ 12 หรือ n-6 จะมีรหัสเป็น $C_{18::2}$, Δ9 , 12; n-6

กรดไขมันที่มีความยาวโมเลกุลตั้งแต่ 16-18 คาร์บอนจัดเป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากหรือกรดปาล์มมิอิก (Palmmitic Acid) และกรดสเตียริก (Stearic Acid) ส่วนไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากที่สุดคือกรดโอเลอิก (Oleic Acid)

CH_3-$(CH_2)_{14}$-COOH	Palmitic Acid
CH_3-$(CH_2)_{15}$-COOH	Stearic Acid
CH_3-$(CH_2)_7$-CH=CH-$(CH_2)_7$-COOH	Oleic Acid

2.5.9 คุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม[5]

คุณสมบัติของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการวิเคราะห์จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ โดยมีผลของการวิเคราะห์ผลค่าต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติทางเคมีน้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์ม	น้ำมันใหม่	ผ่านการใช้งาน (ทอดปลาท่องโก๋)	หน่วย
Gross heat of combustion	9386	9247	Cal/g
Sulphur	0.01	0.01	%(Mass)
Carbon	76.4	75.6	%(Mass)
Hydrogen	11.4	11.3	%(Mass)
Nitrogen	0.19	0.19	%(Mass)
Oxygen	12	12.9	%(Mass)
Ash	0.006	0.005	%(Mass)

ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติทางกายภาพน้ำมันปาล์ม

Properties of Palm Oil		Unit	
Catane Number	50		ASTM D-613
Spacific gravity at 15.6 °C	0.92		ASTM D-1298
Viscosity at 40 °C	40.9	cSt	ASTM D-445
Flash point	>300	°C	ASTM D-93
Water and sediment	Traces	%	ASTM D-2709

2.6 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว

2.6.1 การกลายเป็นไอ

การกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงมีความสำคัญมากต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงและมีผลต่อการควบคุมอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว โดยองค์ประกอบที่มีผลกระทบต่อการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงเหลวมีหลายประการดังนี้

1 การแพร่กระจายของเชื้อเพลิงเหลวซึ่งทำให้องค์ประกอบที่มีผลกระทบต่อการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นโดยการแพร่กระจายทำให้อัตราการเผาไหม้มากขึ้น ปกติทำได้โดยให้เชื้อเพลิงเป็นละอองฝอย

2. พลังงานความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอในกระบวนการเผาไหม้

3. ความดันขณะที่เชื้อเพลิงเหลวกลายเป็นไอมีความสำคัญกล่าวคือ ขณะที่ความดันเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นทำให้เชื้อเพลิงกลายเป็นไอได้มากขึ้นและเชื้อเพลิงเหลวที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากเมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการแตก

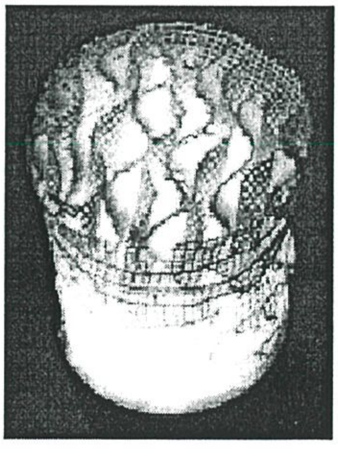
ตัวแพร่กระจายของเชื้อเพลิงเหลวได้ดี และการให้ความดันแก่เชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านหัวฉีดทำให้เชื้อเพลิงเป็นละออง หยดเชื้อเพลิงที่ออกจากหัวฉีดจะมีความดันไม่คงที่ ละอองน้ำมันจะเกิดการผสมกับอากาศทำให้เกิดปฏิกิริยาก่อนการเผาไหม้

2.6.2 ความหนืด

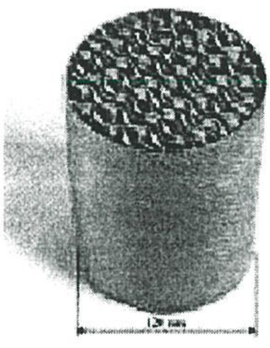
เป็นค่าที่แสดงถึงแรงต้านทานการไหลของของเหลว มีความสำคัญมากโดยเฉพาะการใช้หัวเผาที่ต้องทำให้เชื้อเพลิงเป็นละอองฝอย ถ้าของเหลวมีค่าความหนืดสูงจะทำให้ละอองของเชื้อเพลิงมีอนุภาคใหญ่และเคลื่อนที่ไปได้ไกลแต่อาจเกิดการเผาไหม้ได้ไม่สมบูรณ์

2.7 คุณสมบัติของวัสดุพรุน[6][7]

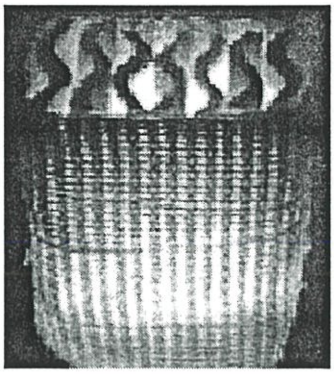
วัสดุพรุนที่นำมาทำการเลือกใช้คือ เซรามิคที่มีส่วนผสมของอลูมิน่าเป็นส่วนประกอบโดยนำมาทำการเรียงซ้อนกันในห้องเผาไหม้ วัสดุพรุนมีคุณสมบัติคือเป็นวัสดุที่มีพื้นผิวต่อปริมาตรสูงทนต่ออุณหภูมิได้สูง และมีบทบาทที่สำคัญต่อการเผาไหม้คือเป็นตัวทำให้เกิดการหมุนเวียนพลังงานภายในระบบโดยวัสดุพรุนจะทำหน้าที่ดูดซับเอนทราปีบางส่วนของแก๊สร้อนไว้และแผ่รังสีความร้อนออกมาที่กระแสบนของการเผาไหม้ (Upstream) และเนื่องจากวัสดุพรุนมีพื้นที่ในการสัมผัสกับของไหลสูงหรืออัตราส่วนระหว่างพื้นผิวต่อปริมาตรสูงดังนั้นการถ่ายเทความร้อนจึงมีประสิทธิภาพสูงซึ่งปัจจุบันวัสดุพรุนถูกผลิตในรูปแบบต่างๆกันเนื่องมาจากมีผู้สนใจใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้เป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังมีแนวโน้มในการนำวัสดุพรุนไปใช้กับอุปกรณ์ให้ความร้อนอื่นๆ



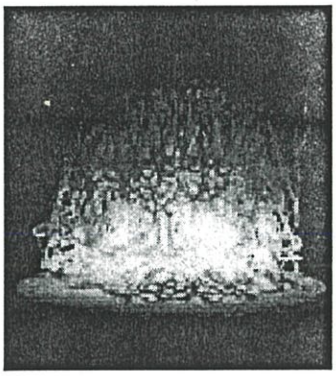
(a)



(b)



(c)

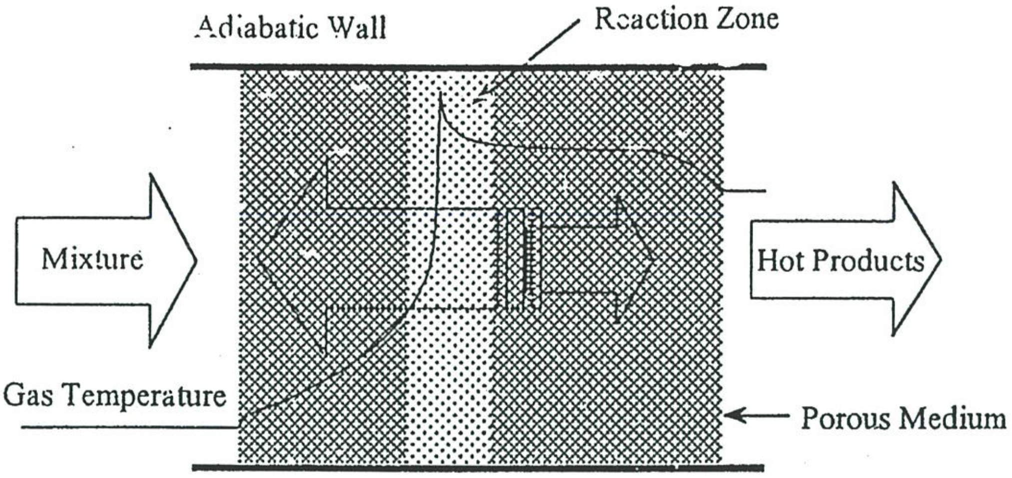


(d)

รูปที่ 2.5 วัสดุพรุนจากวัสดุต่างๆ (a) โครงสร้างแบบ Al_2O_3 fiber (b) โครงสร้างแบบ C/SiC (d) โครงสร้างแบบ Zirconia (e) โครงสร้างแบบ Fe-Cr-Al-allot

2.7.1 หลักการถ่ายเทความร้อนของวัสดุพรุน

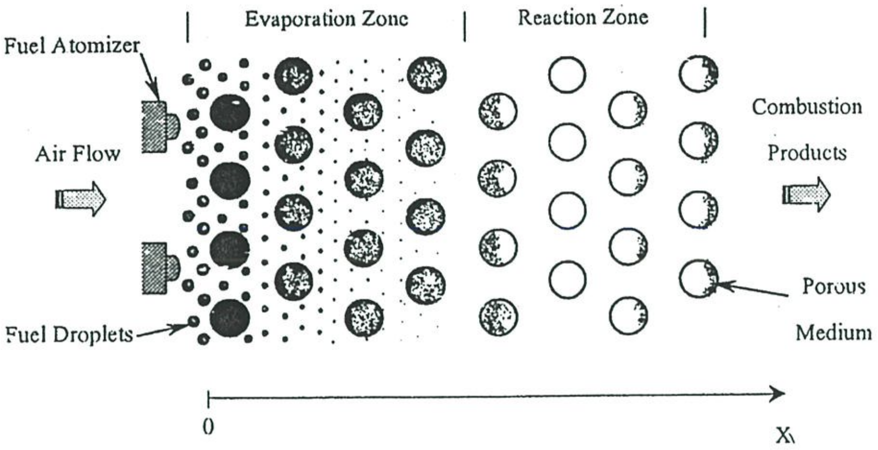
วัสดุพรุนเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ทนอุณหภูมิได้สูง และมีบทบาทที่สำคัญในการเผาไหม้คือ เป็นตัวทำให้เกิดการหมุนเวียนพลังงาน (Energy Recirculation) ในระบบโดยวัสดุพรุนจะทำหน้าที่ดูดซับเอนทาลปีบางส่วนของแก๊สร้อน (Hot Product) ไว้แล้วแผ่รังสีความร้อนออกมาทางด้าน Upstream และเนื่องจากวัสดุพรุนมีพื้นที่ในการสัมผัสกับของไหลสูงหรือมีอัตราส่วนพื้นที่ต่อปริมาตรสูง (Surface Area to Volume Ratio) สูง ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนจึงมีประสิทธิภาพดี วัสดุพรุนจึงจัดว่าเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งปัจจุบันวัสดุพรุนได้ถูกผลิตขึ้นมาในรูปแบบต่างๆกัน เนื่องมาจากมีผู้สนใจมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพของหัวเผา (Burner) เป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังมีแนวโน้มที่นำวัสดุพรุนไปใช้กับอุปกรณ์ความร้อนอื่นๆเช่น เครื่องยนต์ความร้อน (Heat Engine) อุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนคุณภาพสูง จากรูปที่ 2.6 แสดงหลักการทำงานของวัสดุพรุน มีดังนี้คือ เมื่อแก๊สร้อนจากการเผาไหม้ไหลผ่านวัสดุพรุน วัสดุพรุนจะทำหน้าที่ดูดซับเอนทาลปีส่วนหนึ่งจากแก๊สร้อนเอาไว้ และแผ่รังสีความร้อนส่วนใหญ่ไปยังวัสดุพรุนบริเวณ Upstream ดังนั้นเมื่ออากาศและเชื้อเพลิงที่มีอุณหภูมิต่ำไหลผ่านก็จะได้รับความร้อนที่วัสดุพรุนดูดซับไว้ทำให้อากาศและเชื้อเพลิงมีค่าเอนทาลปีสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากหลักการดังกล่าวทำให้ระบบการเผาไหม้ภายใต้การแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพรุนมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงและประหยัดเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับระบบการเผาไหม้



รูปที่ 2.6 หลักการทำงานของวัสดุพรุน

เตาเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนโดยใช้หลักการหมุนเวียนพลังงานในระบบด้วยการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพรุนนั้น นอกจากละอองน้ำมันเชื้อเพลิงจะช่วยในการระเหยกลายเป็นไอ ได้ดีขึ้นแล้วไอดียังถูกอุ่นให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนการเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้ความร้อนส่วนหนึ่งของเปลวไฟและไอเสียที่ถูกดูดซับ (Absorb) โดยวัสดุพรุนขณะเดียวกันวัสดุพรุนก็ทำหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสีความร้อน (Emitter) ไปในบริเวณ Upstream ที่อากาศและละอองเชื้อเพลิงเหลวถูกฉีดเข้าไป ซึ่งเป็นคุณสมบัติพิเศษของวัสดุพรุน หลักการดังกล่าวนับว่าเป็นการส่งเสริมการเผาไหม้ไอดีของเชื้อเพลิงเหลวให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นทำให้เกิดการเผาไหม้แบบ Self-sustaining Combustion เกิดขึ้นและมีอุณหภูมิเปลวไฟสูงเมื่อมีการติดตั้งวัสดุพรุนในเตาเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวจะเห็นได้ว่าจะเป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่าง แก๊ส ของเหลว และของแข็ง

เมื่อแก๊สร้อนจากการเผาไหม้ผ่านวัสดุพรุน วัสดุพรุนจะทำหน้าที่ดูดซับเอนทราปีส่วนหนึ่งจากแก๊สร้อนไว้แล้วแผ่รังสีความร้อนส่วนใหญ่ไปยังวัสดุพรุนด้านกระแสบนของการเผาไหม้ (Upstream) ดังนั้นเมื่ออากาศและเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่ำไหลผ่านก็จะได้รับความร้อนที่วัสดุพรุนรับเอาไว้ทำให้อากาศและเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจากหลักการดังกล่าวทำให้ระบบการเผาไหม้ภายใต้การแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพรุนมีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงและเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงที่นำมาใช้งาน



รูปที่ 2.7 แบบจำลองทางกายภาพของวัสดุพรุน

2.7.2 การนำวัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ[8]

เนื่องจากวัสดุพรุนมีคุณสมบัติและลักษณะที่เด่นชัดที่มีข้อดีหลายประการเช่นขนาดที่เล็กกระทัดรัด มลภาวะจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น ให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงและนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ได้ในช่วงความร้อนที่กว้างดังนั้นจึงมาการนำเอาวัสดุพรุนไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ มากมาย เช่น ในโรงไฟฟ้าก้นกำลัง เครื่องยนต์สันดาปภายใน งานอุตสาหกรรมรวมทั้งเครื่องใช้ในครัวเรือนอีกด้วย

2.7.2.1 การนำวัสดุพรุนไปประยุกต์ใช้ภายในครัวเรือน

นิยมนำไปใช้กับระบบทำความร้อนของอากาศและน้ำ (Air and Warm Water Heating system) โดยหัวเผาสำหรับที่ความร้อนแก่ระบบต้องการความร้อนในช่วงกว้างซึ่งอาจจำเป็นที่ต้องใช้หัวเผาจำนวนที่มากขึ้นหรือไม่ก็ต้องใช้ขนาดหัวเผาที่ใหญ่ขึ้นเป็นการส่งผลให้เกิดมลภาวะมากยิ่งขึ้นด้วยการนำวัสดุพรุนมาใช้ในกรณีนี้นอกจากจะเป็นการลดขนาดของหัวเผาลงและยังเป็นการลดการเกิดมลภาวะที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดีและยังเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูงขึ้นนอกจากนั้นยังสามารถที่จะประยุกต์ใช้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้อีกด้วย

2.7.2.2 การนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมชนิด Convectional Pre-Mixed Industrial Burner

เมื่อหัวเผาโดยใช้วัสดุพรุนถูกนำไปทำการติดตั้งรวมกับหัวเผาในอุตสาหกรรมชนิด Convectional Pre Mixed Industrial Burner จะทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงขึ้นมากโดยหัวเผาชนิด Convectional Pre Mixed Industrial Burner เพียงอย่างเดียวนั้นเปลี่ยนระดับช่วงความร้อน (Thermal power range)ได้น้อยแต่เมื่อทำการติดตั้งวัสดุพรุนเข้าไปจะช่วยเพิ่มระดับช่วงความร้อนได้กว้างขึ้น

2.7.2.3 การนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์

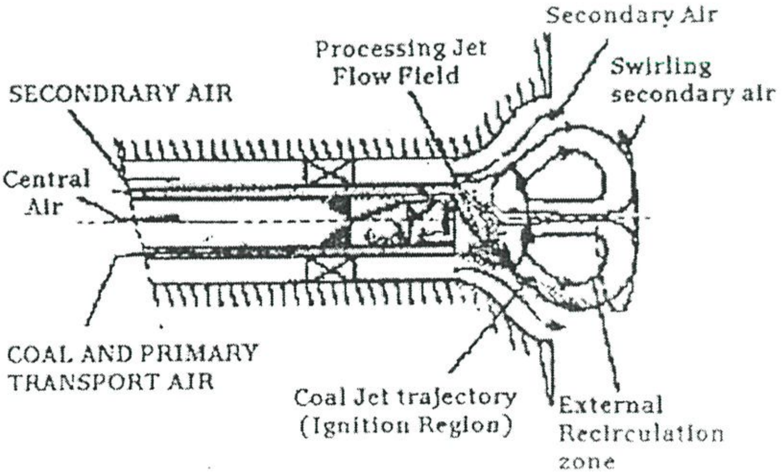
เครื่องยนต์แก๊สเทอรไบน์หากกำลังลดลงต่ำกว่า 50 % ของกำลังสูงสุดการเผาไหม้จะเป็นไปอย่างไม่เสถียร ดังนั้นเพื่อให้กำลังงานสูงขึ้นและรักษาเสถียรภาพการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้จึงมีการประยุกต์ใช้วัสดุพรุนมาทำการประยุกต์ใช้ภายในห้องเผาไหม้ของวัสดุพรุน

2.8 ประเภทของหัวเผา[9]

หัวเผาที่มีการใช้งานอยู่ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายรูปแบบ โดยสามารถที่จะจำแนกประเภทของหัวเผาตามชนิดการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งสามารถแยกได้เป็น 4 ประเภทหลักดังนี้

2.8.1 หัวเผาเชื้อเพลิงแข็ง (Coal burner)

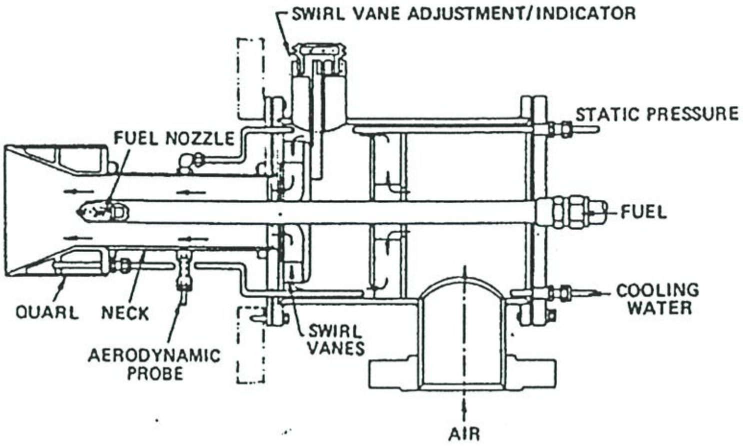
หัวเผาเชื้อเพลิงแข็งส่วนใหญ่มีการใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำงานมีราคาที่ต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น และมีมากในหลายประเทศส่งผลให้สามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้ เช่น ถ่านหิน เป็นต้น โดยหัวเผาชนิดนี้ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรม เช่น การถลุงเหล็ก การผลิตกระแสไฟฟ้า หัวเผาชนิดนี้ใช้การจ่ายอากาศด้วยความเร็วสูงที่เปลี่ยนทิศทางโดยแผ่นกั้น ทำให้อากาศหมุนวนผสมกับผงถ่านหินแล้วเกิดการเผาไหม้บริเวณด้านหน้าหัวเผา โดยอากาศส่วนหนึ่งจากช่องทางด้านข้างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางการเผาไหม้แต่ในหัวเผาชนิดนี้มีปัญหาที่เกิดขึ้นด้านมลภาวะที่ปล่อยออกจากการเผาไหม้ซึ่งควรที่มีการบำบัดก่อนการปล่อยสู่บรรยากาศ



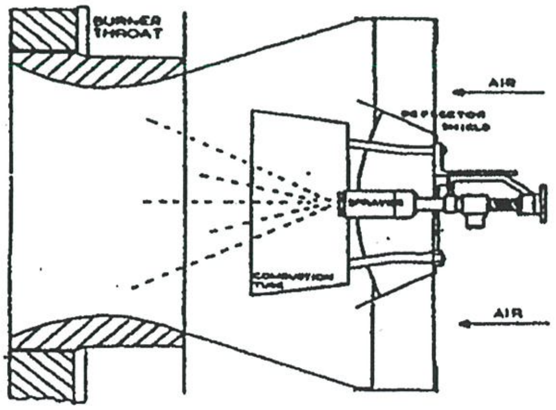
รูปที่ 2.8 หัวเผาเชื้อเพลิงแข็ง

2.8.2 หัวเผาเชื้อเพลิงเหลว (Liquid Burner)

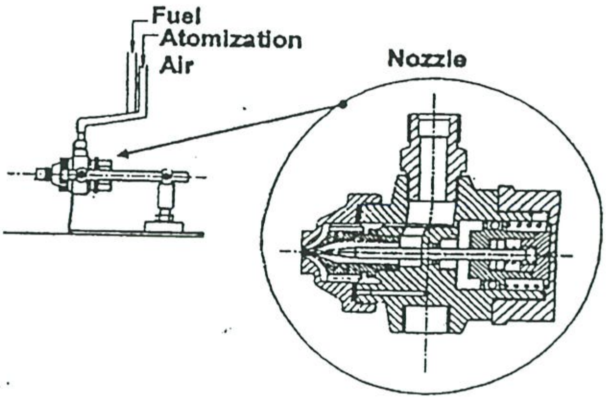
หัวเผาที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวมีการใช้งานในอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก เช่นเตาเผาขยะ เตาเผาศพ หม้อไอน้ำ เป็นต้น เนื่องจากมีความสะดวกในส่วนเชื้อเพลิงที่หาได้ง่าย โดยใช้เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ เช่นน้ำมันดีเซล น้ำมันเบนซิล น้ำมันเตา เป็นต้น หัวเผาในลักษณะนี้อาศัยหลักการทำให้เชื้อเพลิงมีการกระจายตัวเข้าไปยังห้องเผาไหม้ด้วยแรงดันสูงผสมกับอากาศที่มีการหมุนวน ซึ่งผลดีจากหัวเผาชนิดนี้คือ ทำให้ประหยัดเชื้อเพลิง การเผาไหม้มีความสมบูรณ์ และ มลภาวะจากการเผาไหม้น้อยกว่าหัวเผาแบบเชื้อเพลิงแข็ง



รูปที่ 2.9 หัวเผาเชื้อเพลิงเหลว (แบบไม่มีห้องเผาไหม้ช่วย)



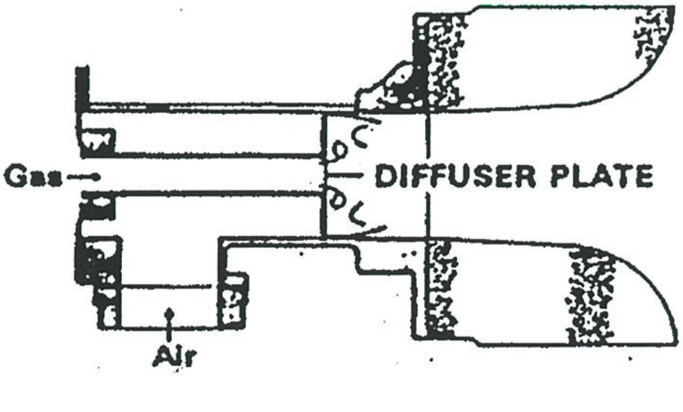
รูปที่ 2.10 หัวเผาเชื้อเพลิงเหลว (แบบไม่มีห้องเผาไหม้ช่วย)



รูปที่ 2.11 หัวฉีดผสมเชื้อเพลิงของหัวเผาแบบเชื้อเพลิงเหลว

2.8.3 หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส (Gas burner)

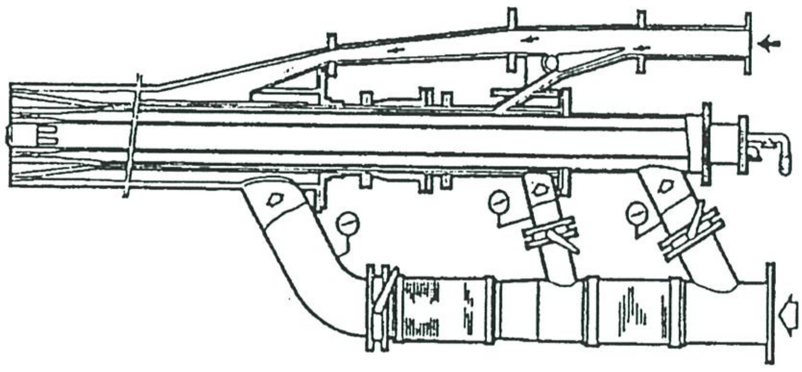
หัวเผาที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สการใช้งานส่วนใหญ่จะอยู่ในอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก เช่น เตาเผาในอุตสาหกรรมการผลิตแก้ว เตาเผาขยะ เตาหุงต้มในครัวเรือน เป็นต้นโดยเชื้อเพลิงส่วนใหญ่จะเป็นพวก LPG หลักการทำงานของหัวเผาจะใช้การผสมระหว่างอากาศที่มีความเร็วกับเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยออกจากถังที่เก็บบริเวณปลายหัวเผาโดยอาจทำให้อากาศมีการหมุนวนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ ข้อดีของการเผาไหม้ชนิดนี้คือ ให้ค่าความร้อนสูง มลภาวะที่พบน้อย ส่วนข้อเสียคือ การจัดเก็บเชื้อเพลิงต้องมีความระมัดระวังสูง จุดเชื่อมต่อของเชื้อเพลิงต้องไม่มีการรั่วระหว่างขณะทำงาน



รูปที่ 2.12 หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส

2.8.4 หัวเผาเชื้อเพลิงร่วม (Multi-Fuel burner)

หัวเผาที่ใช้เชื้อเพลิงหลายชนิดถูกออกแบบเพื่อการใช้งานที่รองรับกับการขาดแคลนเชื้อเพลิงในขณะทำงานชั่วขณะหรือใช้เชื้อเพลิงอื่นทดแทนในช่วงที่มีการทำงาน ทำให้หัวเผาสามารถที่จะทำงานได้อย่างต่อเนื่อง หัวเผามีการออกแบบให้ช่องทางของเชื้อเพลิงแต่ละส่วนแยกออกจากกัน และสามารถที่จะตัดการทำงานของเชื้อเพลิงได้เมื่อทำการเปลี่ยนเชื้อเพลิง โดยค่อยๆ ลดเชื้อเพลิงได้เมื่อมีการเปลี่ยนเชื้อเพลิง เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนที่ให้กับระบบได้



รูปที่ 2.13 หัวเผาเชื้อเพลิงร่วม

2.9 การปลดปล่อยและการควบคุมมลพิษจากการเผาไหม้[10]

ผลผลิตจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักคือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ แต่ในทางปฏิบัติ การเผาไหม้มักเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ แก๊สกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด และอนุภาคแขวนลอย ได้แก่ เขม่าควันในแก๊สด้วย อันตรายของผลผลิตเหล่านี้ไม่น่าจะมีมากนักถ้ากระจายออกสู่บรรยากาศ อย่างไรก็ดีเรามักจะมีแหล่งผลิตจำนวนมากอยู่บริเวณหนึ่งๆ จึงทำให้การกระจายออกถูกจำกัดโดยสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศ นอกจากนั้นแก๊สมลพิษและอนุภาคมลพิษหลายชนิดทำปฏิกิริยาเสริมกัน จึงเร่งให้เกิดผลทวีคูณขึ้น แก๊สคาร์บอนมอนอไซด์ แก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด จะเกิดปฏิกิริยาเมื่อมีแสงอาทิตย์ให้หมอกควันทางโฟโต้เคมี แก๊สกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ที่รวมตัวกันจนเข้มข้นขึ้นเฉพาะบริเวณก็ให้ผลเช่นเดียวกัน

แม้แต่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งไม่ใช่แก๊สที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้เช่นเดียวกันผิวโลกรังสีอินฟราเรดในช่วง 13-18 ไมโครเมตร ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์ดูดซับไว้ได้ดีมาก ทำให้

รังสีดังกล่าวถูกกักเก็บไว้ในชั้นบรรยากาศและอุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้นเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก แก๊สเรือนกระจกส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงใต้พิภพ โดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นประมาณ 300 ส่วนในล้านส่วนประมาณ 1 ส่วนในล้านส่วนทุกปี ถึงแม้แก๊สชนิดอื่นทำให้เกิดผลกระทบนี้ได้สูงกว่า เช่น มีเทน ซึ่งได้จากการปลูกข้าว แต่เกิดในปริมาณน้อยกว่า มีการทำนายว่าถ้าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นสองเท่าจะมีผลให้อุณหภูมิผิวโลกเพิ่มขึ้น 2 องศาเคลวิน ซึ่งมีผลร้ายแรงต่อการละลายของยอดเขาภูเขาน้ำแข็งที่ขั้วโลก และส่งผลให้โลกร้อนขึ้นต่อไปได้อีก

นอกจากสภาวะอากาศจะได้รับผลการะทบจากการเผาไหม้เนื่องจากแก๊สมลพิษแล้ว ยังได้รับผลกระทบจากอนุภาค แขวนลอย ได้แก่ เขม่าและเถ้าจากถ่านหิน และน้ำมันเตาด้วย ซึ่งมีผลต่อสุขภาพและยังมีส่วนร่วมในการเร่งปฏิกิริยาการเกิดหมอกควันทางโฟโตเคมีอีกด้วย

แหล่งกำเนิดมลพิษจากการเผาไหม้แบ่งออกเป็นแหล่งที่เคลื่อนที่ได้ ได้แก่ รถยนต์ และแหล่งที่อยู่กับที่ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม อาคารที่พักอาศัย

<u>ภาวะมลพิษในอากาศ</u>

ความหมายทั่วไป

ภาวะมลพิษทางอากาศ หมายถึงการที่มีอากาศมีสารใดๆเพิ่มจากที่มีอยู่ อาจเป็นสารที่มีอยู่แล้วหรือเป็นสารใหม่ที่เจือปนอยู่หรือปนเปื้อนเข้าไป เรียกว่าสารมีพิษส่งผลกระทบต่อสภาวะต่างๆให้ผิดไปจากปกติ เช่น ต่อสุขภาพมนุษย์ การเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต ทำลายสิ่งปลูกสร้าง ผลเสียต่อภาวะพื้นโลกเป็นต้น สารมลพิษที่มีอยู่แล้วในอากาศแต่มีอยู่น้อย ได้แก่คาร์บอนไดออกไซค์ ไนตรัสออกไซค์ เป็นต้น สารมลพิษที่เจือปนอยู่แล้วในอากาศมีมากมาย ส่วนใหญ่มักมาจากการกระทำของมนุษย์มากกว่าเหตุที่เกิดจากธรรมชาติ สามารถแบ่งมลพิษออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ อนุภาค แก๊ส และกัมมันตรังสี

<u>อนุภาค</u>

สารมลพิษที่เป็นอนุภาค ได้แก่ ของแข็งหรือหยดของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ หรือแก๊สที่อุณหภูมิและความดันปกติ ยกเว้นไอน้ำ ที่มีขนาดตั้งแต่ 0.1 ไมโครเมตร ขึ้นไปจนถึงขนาดเล็กกว่า 200 ไมโครเมตร คำที่ใช้เรียกที่รู้จักกันคือ ฝุ่นละออง เถ้า เขม่า ควัน และละอองสเปร์ย เป็นต้น คำเหล่านี้บ่งบอกถึงสภาพแต่ไม่บอกว่าเป็นสารประกอบใด

สารมลพิษที่เป็นแก๊สหรือไอระเหยมีหลายชนิดทั้งที่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ และอุตสาหกรรมอื่นๆ ทั้งที่เป็นแก๊ส เช่น คาร์บอนไดอกไซค์ คาร์บอนิลซัลไฟด์ แก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซค์ แก๊สกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซค์ คลอรีน มีเทน เป็นต้น และที่เป็นไอระเหย เช่นแอมโมเนีย ไอไฮโดรคาร์บอน ไอกรดซีลฟุริก ไอกรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น

<u>มาตรฐานการควบคุม</u>

ในปัจจุบัน ทั่วโลกตื่นตัวทางด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมทั้งอากาศ น้ำ ดินและโลก ประเทศต่างๆ จึงมีกฎหมายหรือพระราชบัญญัติที่กำหนดข้อปฏิบัติและมาตรฐานที่เข้มงวดมากขึ้นสำหรับภาคเศรษฐกิจต่างๆทั้งสาขาขนส่ง อุตสาหกรรม และคมนาคม ข้อปฏิบัติและมาตรฐานเหล่านี้แตกต่างกันไปแม้ในประเทศเดียวกัน

2.10 การวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อน[11]

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน คือ ความร้อนสุทธิที่ได้ออกมาจากระบบเมื่อเทียบกับความร้อนทั้งหมดที่ป้อนให้กับระบบ โดยปกติแล้วความร้อนสุทธิได้ออกมาจากระบบนั้นจะมีค่าน้อยกว่าความร้อนที่ป้อนให้กับระบบเสมอ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ความร้อนบางส่วนสูญเสียไปในระหว่างขบวนการการถ่ายเทความร้อนให้กับระบบ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ได้จากระบบต่อความร้อนที่ป้อนให้กับระบบจะเป็นตัววัดประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบ เรียกว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการเผาไหม้ (Thermal efficiency , η_{th})

$$\%\eta_{th} = \frac{m_{H_2O} \times C_{p,H_2O}(T_f - T_i)}{\nu \times LHV \times t} \times 100 \qquad (2.36)$$

เมื่อ

η_{th} คือ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผา

C_{p,H_2O} คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ , $(kJ/kg^{\circ}C)$

m_{H_2O} คือ มวลของน้ำ ,(kg)

T_f คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ , $(^{\circ}C)$

T_i คือ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ ,$(^{\circ}C)$

ν คือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ใช้ ,(m^3/s)

t คือ เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ ,(s)

LHV คือ Low heating value of fuel ,(kJ/kg)

บทที่ 3

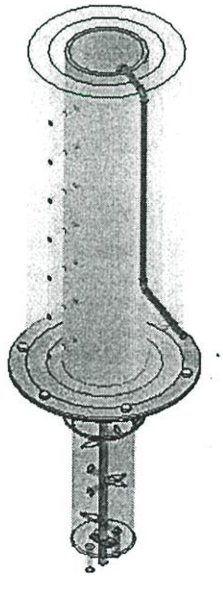
การออกแบบหัวเผา

3.1 บทนำ

ในการสร้างหัวเผาได้คำนึงถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของหัวเผา และ รูปแบบหัวเผาที่มีการใช้งานอยู่ การออกแบบหัวเผาเป็นกระบวนการส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญที่ควรคำนึงถึงก่อนการสร้างหัวเผา โดยการออกแบบจะมุ่งเน้นถึงการใช้อุปกรณ์ที่หาซื้อได้ง่าย การซ่อมแซมไม่ยุ่งยาก ความทนทานต่อการใช้งานและมีความสะดวกในการใช้งานซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้วัสดุพรุนที่ทำมาจาก Alumina Ceramic ที่มีจุดหลอมเหลวที่สูงและการเลือกใช้น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเนื่องมาจากน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่หาได้ง่ายในท้องตลาดมีปริมาณการใช้งานอย่างแพร่หลายและมีราคาถูก และปั๊มจ่ายน้ำมันที่ดัดแปลงมาจากปั๊มดูดน้ำมันจากถังเชื้อเพลิงรถยนต์ ตัวหัวเผาทำจากเหล็กท่อกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 90 มม. ยาว 400 มม. และท่อส่งน้ำมันทำจากเหล็กท่อกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มม.

3.2 หัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุน

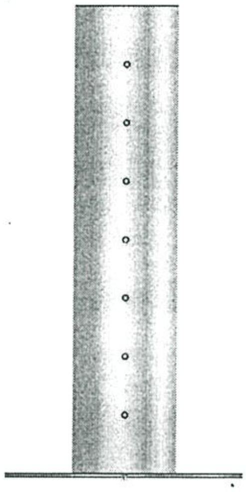
หัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุนที่สร้างขึ้นมาในวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อการศึกษาในทฤษฎีที่เกี่ยวกับการเผาไหม้พื้นฐานและเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและการสร้างหัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุน



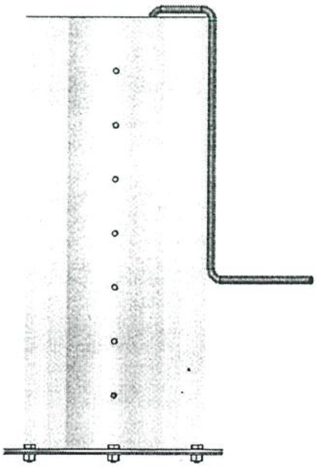
รูปที่ 3.1 หัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุน

3.2.1 ห้องเผาไหม้

ห้องเผาไหม้ของหัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุนประกอบด้วยท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 90 มม.ยาว 400 มม.บรรจุด้วยวัสดุพรุนที่ทำจาก alumina ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.4 มม.และทำการเจาะรูสำหรับ Thermocouple และยึดติดอยู่กับท่อลำเลียงน้ำมันพืชที่เข้าทางด้านบนของห้องเผาไหม้เพื่อช่วยการอุ่นน้ำมันก่อนการเผาไหม้และยึดติดกับตะแกรงอยู่ทางด้านล่างเพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุพรุนตกและเป็นทางเข้าของอากาศและ LPG เมื่อทำการอุ่นวัสดุพรุน ซึ่งอุปกรณ์ในแต่ละส่วนสามารถที่จะแยกออกจากกันเพื่อทำความสะอาดหรือเพื่อทำการซ่อมแซมได้ง่าย



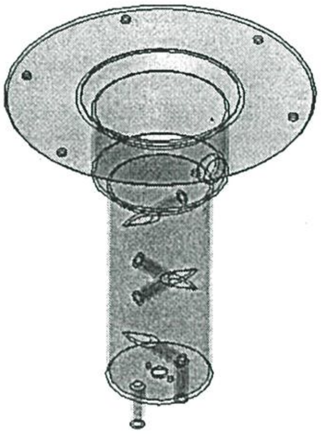
รูปที่ 3.2 ห้องเผาไหม้



รูปที่ 3.3 ห้องเผาไหม้เมื่อต่อรวมกับท่อส่งน้ำมันพืชและตะแกรงอยู่ทางด้านล่าง

3.2.2 ชุดป้อนอากาศและแก๊ส LPG

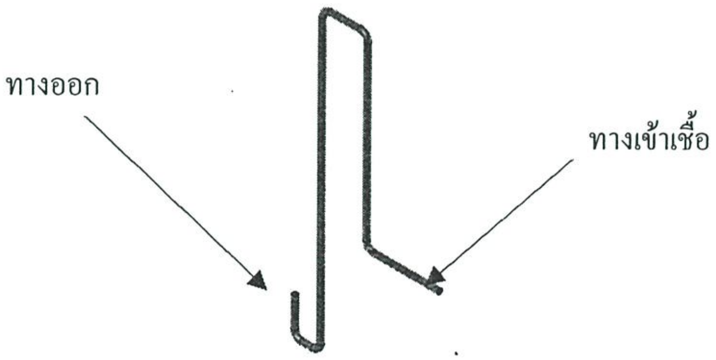
ชุดป้อนอากาศประกอบด้วยทางเข้าอากาศทางแนวแกนและแนวรัศมีเชื่อมยึดติดกับ Air Supply Unit ที่สามารถควบคุมน้ำในระบบอากาศและสามารถควบคุมความดันของอากาศก่อนเข้ายังห้องเผาไหม้ และชุดป้อนแก๊ส LPG ซึ่งเชื่อมยึดในแนวแกนของชุดป้อนอากาศ



รูปที่ 3.4 ชุดป้อนอากาศและแก๊ส LPG

3.2.3 ท่อจ่ายเชื้อเพลิง

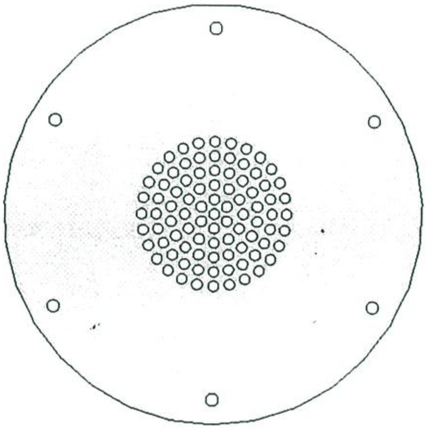
เนื่องจากท่อจ่ายน้ำมันที่ใช้ทำการทดลองต้องสัมผัสกับความร้อนโดยตรงจึงเลือกใช้ท่อ สแตนเลสและการออกแบบท่อจ่ายเชื้อเพลิงจะให้เชื้อเพลิงทางด้านบนของห้องเผาไหม้เพื่อเป็นการอุ่นเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้



รูปที่ 3.5 ท่อจ่ายเชื้อเพลิง

3.2.4 ตะแกรงเหล็กและยางกันรั่ว

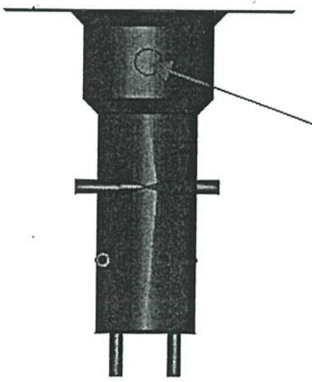
เป็นตะแกรงเหล็กที่มีรูให้อากาศผ่านซึ่งทำหน้าที่รองรับวัสดุพรุนและเป็นทางเข้าของอากาศทางด้านล่างของหัวเผาจึงเป็นส่วนที่ไม่ต้องรับความร้อนสูงและเป็นส่วนที่อากาศไหลผ่านตลอดเวลาจึงเลือกใช้แผ่นเหล็กที่มีขนาดความหนา 3 มม.และเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม.บริเวณตรงกลางเพื่อให้อากาศไหลผ่านจากทางด้านล่างขึ้นสู่ทางด้านบน



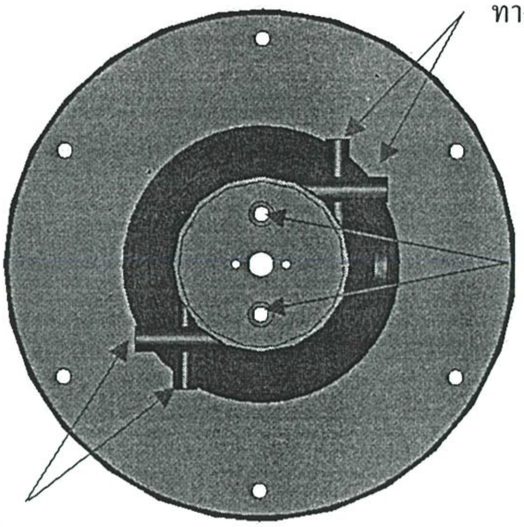
รูปที่ 3.6 ตะแกรงเหล็ก

3.2.5 ท่อจ่ายอากาศ

ได้ออกแบบให้มีการวางท่ออากาศเข้าในทิศทางต่างๆ ในแนวแกนและทำให้เกิดการหมุนวน โดยจ่ายอากาศในแนวแกน 2 ทางและในแนวการไหลวนอีก 4 ทางโดยแต่ละทางมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม.



a) ท่อจ่ายอากาศทางด้านข้าง

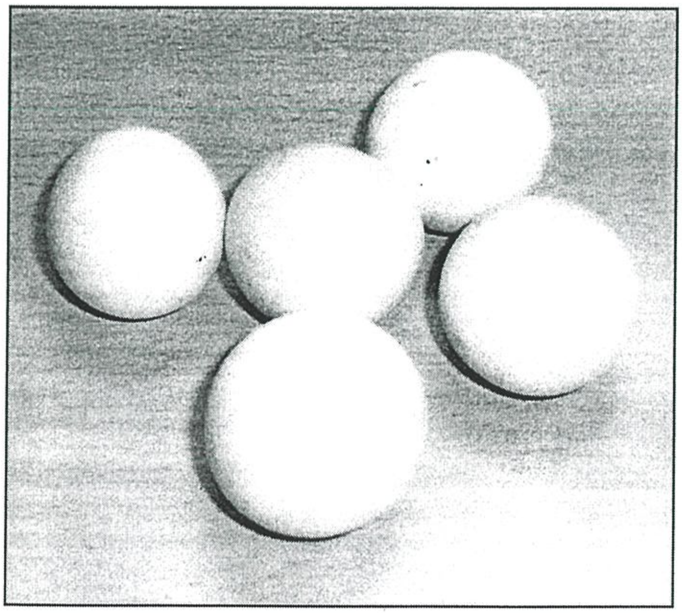


b) ท่อจ่ายอากาศทางด้านล่าง

รูปที่ 3.7 ท่อจ่ายอากาศ

3.2.6 วัสดุพรุน

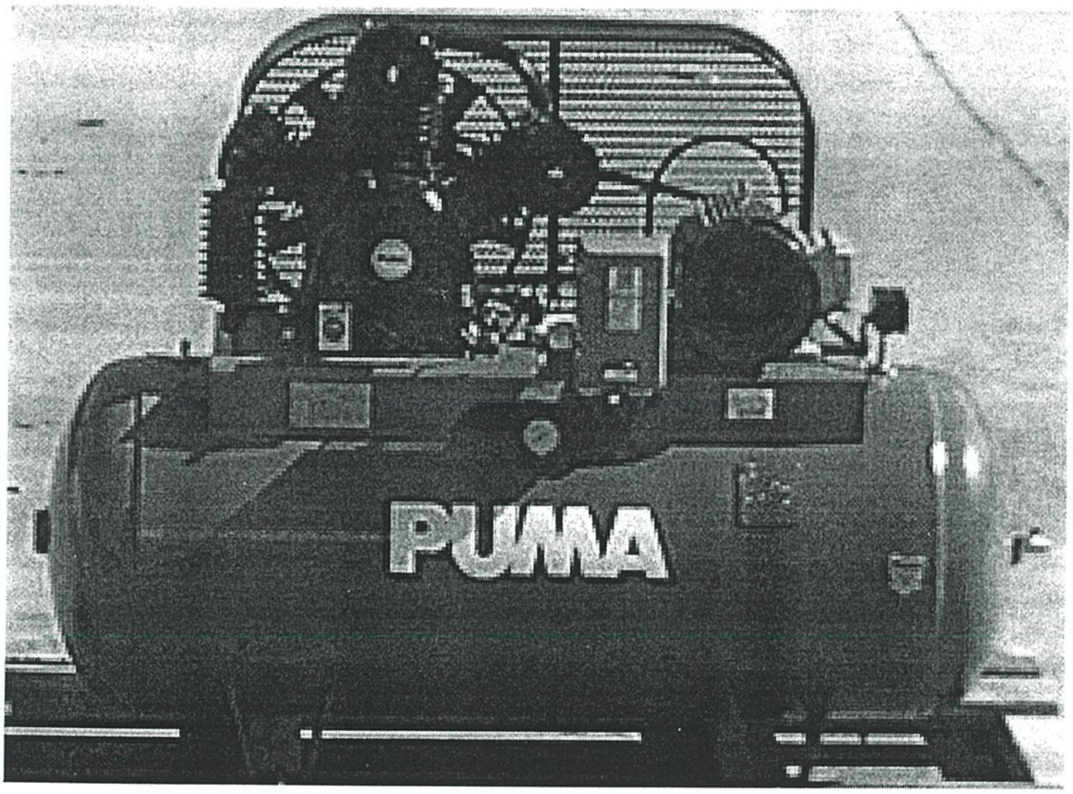
ประกอบด้วยวัสดุหลักคือ Alumina Ceramic ที่สามารถหาได้ง่ายและทนต่ออุณหภูมิได้สูงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 25.4 มม. เรียงซ้อนกันภายในห้องเผาไหม้



รูปที่ 3.8 วัสดุพรุน

3.2.7 อุปกรณ์จ่ายอากาศ

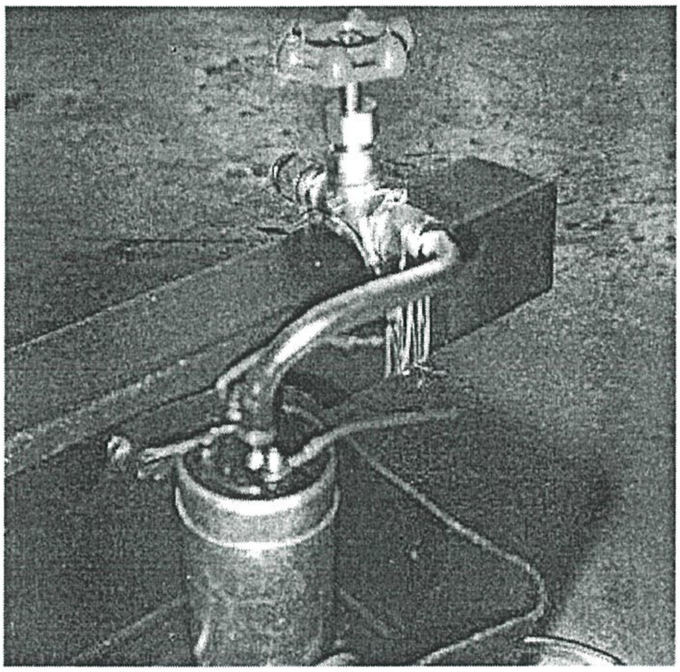
ในการทำงานของหัวเผานอกจากการจ่ายเชื้อเพลิงแล้ว จำเป็นต้องมีอุปกรณ์จ่ายอากาศให้กับหัวเผาขณะที่มีการทำงาน เพื่อให้กระบวนการเผาไหม้มีความสมบูรณ์และมีความต่อเนื่อง เนื่องจากมีผลกระทบต่อการเกิดปฏิกริยาการเผาไหม้ที่ส่งผลโดยตรงกับความเสถียรของเปลวไฟและช่วงการทำงานของหัวเผาซึ่งคุณสมบัติที่มีความจำเป็นต่ออุปกรณ์การจ่ายอากาศจะต้องมีความต่อเนื่องและสามารถสำรองปริมาณอากาศไว้ได้ชั่วขณะ ซึ่งมีส่วนช่วยในการปฏิบัติงานจึงเป็นเหตุผลในการเลือกใช้เครื่องอัดอากาศ ในการทำงานหัวเผาจะถูกแยกออกจากอุปกรณ์การจ่ายอากาศเพื่อลดการสัมผัสความร้อนโดยตรง ที่อาจทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายได้จึงใช้ชุดส่งอากาศผ่านท่อเหล็กไปยังข้อต่อทางเข้าของอากาศที่บริเวณทางเข้าของหัวเผา



รูปที่ 3.9 ชุดจ่ายอากาศ

3.2.8 ชุดจ่ายน้ำมัน

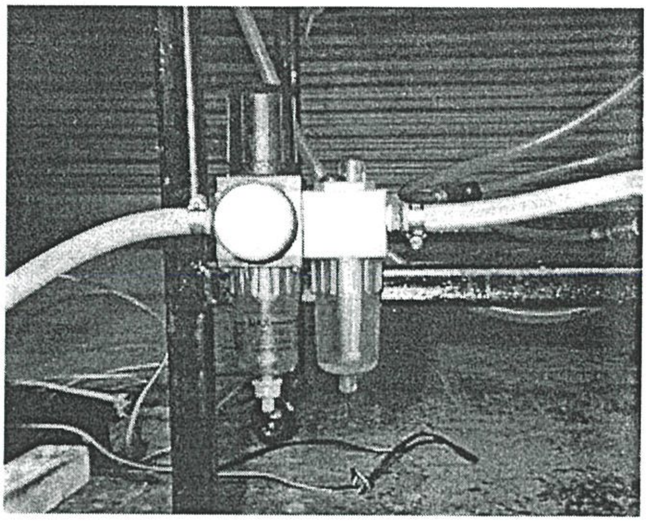
ชุดจ่ายน้ำมันถูกดัดแปลงมาจากชุดปั๊มในถังพักของรถยนต์ จึงหาได้ง่ายและราคาไม่แพงง่ายต่อการบำรุงรักษาและมีวาล์วที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ส่งผ่านยังท่อส่งน้ำมันพืชเข้าสู่หัวเผา



รูปที่ 3.10 ชุดจ่ายเชื้อเพลิง

3.2.9 อุปกรณ์ควบคุมความดันอากาศ

อุปกรณ์ควบคุมความดันอากาศที่ใช้ในการทดลองใช้ Air Supply Unit ที่ใช้ในอุปกรณ์ Pneumatic ที่สามารถดักน้ำออกจากระบบอากาศเพราะหาได้ง่ายและราคาไม่แพงโดยสามารถปรับความดันได้ตั้งแต่ 0 ถึง 10 Bar



รูปที่ 3.11 อุปกรณ์ปรับความดันอากาศ

3.3 การคำนวณ

3.3.1 การคำนวณเพื่อออกแบบขนาดหัวเผา[12]

การออกแบบหัวเผา
ที่ดีนั้นต้องออกแบบให้มีความร้อนสูญเสียน้อยที่สุดเพื่อให้ได้ความร้อนใช้งานสูงสุดแต่บางครั้งต่องคำนึงถึงองค์ประกอบหลายประการ เช่น ค่าใช้จ่ายในการผลิต ความยากในการผลิตและการซ่อมแซมบำรุงรักษา เป็นต้น ปัจจัยต่างๆเหล่านี้มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของหัวเผาโดยตรง ทำให้เมื่อผลิตออกมาไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่คาดไว้

การถ่ายเทความร้อนที่เกิดในหัวเผามี 3 ประเภทคือ การนำความร้อน , การพาความร้อน ,การแผ่รังสีความร้อน การนำความร้อนจะผ่านจากผนังของหัวเผาด้านในออกสู่ด้านนอกในรูปการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน ดังสมการดุลความร้อนดังนี้

$$q'_{cond} = q'_{conv} + q'_{rad} \tag{3.1}$$

เมื่อ

q'_{cond} คืออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยความยาวโดยการนำความร้อนผ่านผนังหัวเผาจากด้านในสู่ด้านนอก (W/m^2)

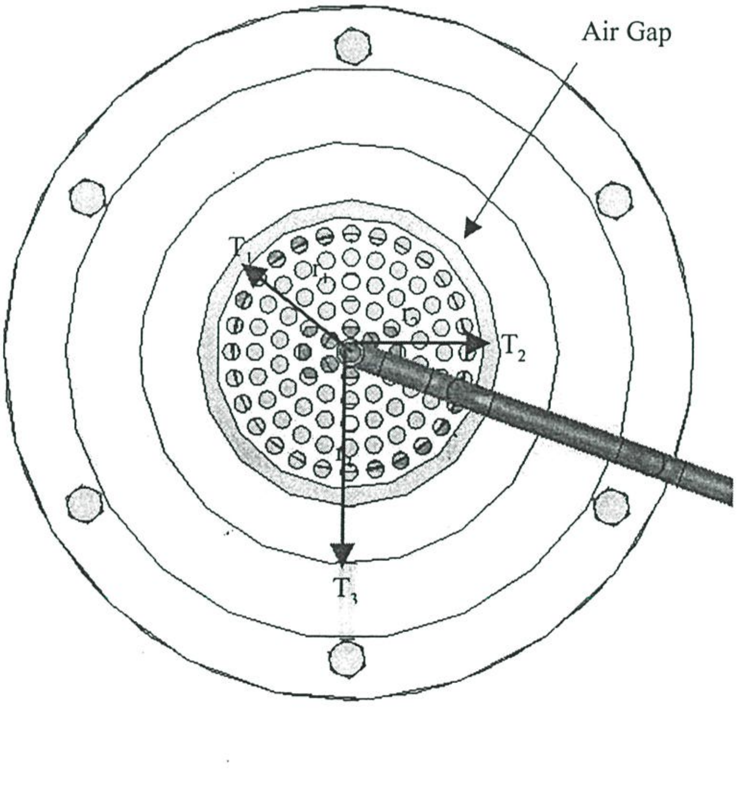
q'_{conv} คืออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยความยาวโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (W/m^2)

q'_{rad} คืออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยความยาวโดยการแผ่รังสีความร้อน (W/m^2)

อาจเขียนอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้

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

จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิสูงสุดของเปลวไฟจากน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 1300 องศาเซลเซียสดังนั้นวัสดุที่ใช้ทำหัวเผาต้องสามารถทนความร้อนได้มากกว่า 1300 องศาเซลเซียสและมีค่าการนำความร้อนที่ไม่สูงมากรวมทั้งต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรงต่อการใช้งานด้วยโดยงานวิจัยได้ทำการเลือกสแตนเลสเป็นวัสดุที่ใช้ทำหัวเผาซึ่งสามารถทนความร้อนได้สูงระหว่าง 1400-1500 องศาเซลเซียสมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) = 16.3 W/m °K



รูปที่ 3.12 รูปหน้าตัดหัวเผา

เมื่อ

T_1 คืออุณหภูมิผนังด้านในของหัวเผา ,(°K)

T_2 คืออุณหภูมิผนังด้านนอกของหัวเผา ,(°K)

T_3 คืออุณหภูมิผนังด้านในของฉนวน ,(°K)

r_1 คือรัศมีด้านในของหัวเผา ,(m)

r_2 คือรัศมีด้านนอกของหัวเผา ,(m)

r_3 คือรัศมีด้านในของฉนวน ,(m)

ε_1 คือ emissivity ของหัวเผา

ε_2 คือ emissivity ของฉนวน

เมื่อพิจารณาพจน์ของการพาความร้อนและพจน์การแผ่รังสีความร้อน พบว่ายิ่ง r_2 และ r_3 น้อยการถ่ายเทความร้อนก็จะยิ่งน้อยลงซึ่งเป็นไปตามความต้องการในการออกแบบหัวเผา แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำให้ r_2 และ r_3 ที่ค่าหนึ่งเพราะว่าเมื่อ r_2 น้อยถึงจุดๆหนึ่ง จะทำให้หัวเผามีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนได้น้อยเกินไป ทำให้เกิดความร้อนสะสมที่ผนังหัวเผามากขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุให้หัวเผาละลายได้จึงได้ทำการเลือกค่า r_2 เท่ากับ 45 มม.

พิจารณาพจน์ของการพาความร้อนสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ [1]

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

เมื่อ

Ra_c^* คือค่า Reyleigh number สำหรับทรงกระบอกใดๆ

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

สภาวะที่ใช้คำนวณจะเป็นจุดที่อุณหภูมิสูงสุดซึ่งเป็นจุดที่ทำให้หัวเผาเกิดการเสียหายขึ้นได้

T_2 มีค่าเท่ากับ 1300 $^\circ c$ หรือ 1573 °K

T_3 มีค่าเท่ากับ 700 $^\circ c$ หรือ 1573 °K(เป็นค่าที่ได้จากการวัด)

จากตารางคุณสมบัติของอากาศที่ 1273 °K

$K = 80.461X10^{-3}$ W/mK $\Pr = 0.72143$ $\alpha = 234.22\ X10^{-6}$ m^2/s

$\nu = 179.106\ X10^{-6}$ m^2/s $\beta = 0.0007855\ K^{-1}$

จาก

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

แทนค่า Ra_c^* ลงในสมการ (3.3) จะได้

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

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

แทนค่าเงื่อนไขทั้งหมดลงในสมการข้างต้นเพื่อแก้สมการหาค่า r_3 จะได้ค่า r_3 เท่ากับ 62 มม. และแทนค่ากลับไปเพื่อหา Ra_c^* จะได้ Ra_c^* เท่ากับ 41.852 ซึ่งน้อยกว่า 100 แสดงว่าตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

ดังนั้นระยะ gap ที่อากาศนิ่งระหว่างผนังและฉนวนมีค่าเท่ากับ 62-45 = 17 มม.

ขั้นต่อไปพิจารณาพจน์การแผ่รังสีความร้อนจะเห็นได้ว่าการเลือกชนิดของวัสดุทำฉนวนมีความสำคัญต่อการแผ่รังสีความร้อนโดยตรงจากสมการค่าของ ε_2 ควรที่จะมีค่าต่ำเอาไว้เพื่อลดอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนของหัวเผาเราจึงเลือกสแตนเลสเป็นฉนวนเนื่องจากมีค่า emissivity ค่อนข้างต่ำ(0.4 ที่ 1300 °C) อีกทั้งหาได้ง่ายและราคาไม่แพง

ดังนั้นเราจึงได้อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมต่อหน่วยความยาวที่ออกจากหัวเผาดังสมการ

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

จากสมการข้างบนเราสามารถหาค่าของ r_1 ได้ถ้าเรากำหนดค่าของ T_1 ได้อย่างเหมาะสมนับว่าเป็นการสมเหตุสมผลที่นำสมการการถ่ายเทความร้อนแบบอุณหภูมิแปรผันแบบเชิงเส้นกับรัศมีมาใช้ในการคำนวณดังสมการข้างบนเนื่องจากสแตนเลสมีการกระจายตัวความร้อนได้ดี ประกอบกับความหนาของหัวเผาไม่มากนัก ทำให้อุณหภูมิด้านในและด้านนอกของหัวเผาต่างกันเล็กน้อยจึงอาจพิจารณาให้อุณหภูมิแปรผันแบบเชิงเส้นกับรัศมีได้ ค่า T_1 มากนัก 1330 °C เป็นค่าที่กำหนดไว้เพื่อความปลอดภัย

ทำการแก้สมการข้างบนแล้วจะได้ค่า r_1 เท่ากับ 40 มม.ดังนั้นจะได้ความหนาของหัวเผามีค่าเท่ากับ 45-40 = 5 มม.

3.3.2 สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง[13]

สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยที่สร้างผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของหัวเผา ซึ่งเป็นองค์ประกอบในการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการเผาไหม้ เพื่อให้ทราบความสมบูรณ์ของการเผาไหม้ ในรูปแบบสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง โดยมักจะเขียนในรูปสัดส่วนเชิงมวล และสามารถจะคำนวณได้จากสมการ

อัตราส่วนสมมูล

$$\phi = (A/F)_{stoic} \ / \ (A/F)_{actual} \tag{3.6}$$

เมื่อ

$(A/F)_{stoic}$ คือ อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงทางทฤษฎี

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

$$(A/F) = m_a / m_{fuel} \tag{3.7}$$

เมื่อ

M_a คือ อัตราการจ่ายของอากาศ (kg/s)

M_{fuel} คือ อัตราการจ่ายน้ำมัน (kg/s)

อัตราการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงหาได้จาก

$$\dot{m}_{air} = \dot{\rho}_{air} \times \dot{Q}_{air}$$

(3.8)

$$\dot{m}_{fuel} = \dot{\rho}_{fuel} \times \dot{Q}_{fuel} \tag{3.9}$$

เมื่อ

$\dot{\rho}_{air}$ คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศที่ความดันที่ใช้ในการทดลอง

$\dot{\rho}_{fuel}$ คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์ม(0.89 kg/liter)

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

$\dot{Q}_{fuel}$ คือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (m^3/s)

อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงทางทฤษฎีหาได้จาก

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

เมื่อ

MW_{air} คือ Molecular weight ของอากาศ

MW_{fuel} คือ Molecular weight ของเชื้อเพลิง

a คือ ค่าคงที่หาได้จากสมการการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์ม

3.3.3 สมการการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์[5]

$Y_s = 0.0001$

$Y_c = 0.764$

$Y_H = 0.114$

$Y_N = 0.00019$

$Y_O = 0.12$

$MW_S = 32.064$ kg/kmol

$MW_C = 12.01115$ kg/kmol

$MW_H = 1.00797$ kg/kmol

$MW_N = 14.0067$ kg/kmol

$MW_O = 15.999$ kg/kmol

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

$$MW_{mix} = \frac{1}{\left[\left(0.0001/32.064\right)+\left(0.764/12.01115\right)+\left(0.114/1.00797\right)+\left(0.0019/14.0067\right)+\left(0.12/15.9994\right)\right]}$$

$MW_{mix} = 5.424659583$ kg/kmol

$$X_i = \left(Y_i.MW_{mix}\right)/MW_i$$

$X_S = 1.69182X10^{-5}$

$X_C = 0.345039331$

$X_H = 0.613521427$

$X_N = 0.000735852$

$X_O = 0.040686473$

$(0.0000169182S+0.345039331C+0.613521427H+0.000735852N+0.040686473O)$

$+A(O_2+3.76N_2) \longrightarrow BCO_2+DH_2O+EN_2+FSO_2$

$S : 0.0000169182 = F$

$C : 0.3450393312 = B$

$H : 0.6135214272 = 2D \quad ;D = 0.306760714$

$N : 0.000735852+7.52A = 2E$

$O : 0.040686473+2A = 2B+D+2F$

$0.040686473+2A = 2(0.345039331)+0.306760714+2(0.0000169182)$

$A = 0.478093370$

ดังนั้น

$0.000735852+7.52(0.47809337) = 2E$

$E = 1.797998996$

ดังนั้นถ้าเชื้อเพลิง 1 *kmol* จะได้น้ำ 0.306760714 *kmol*

1 *kmol* x MW_{mix} : (0.306760714) x MW_{H_2O}

(1 *kmol*)(5.424659583 *kg/kmol*) : (0.306760714 *kmol*)(18.015 *kg/kmol*)

5.424659583 kg : 5.526294263 kg

ดังนั้นถ้าเชื้อเพลิง 1 kg จะได้น้ำ $\frac{5.526294263}{5.424659583} = 1.018735679$

$P_{H_2O} = X_{H_2O}(P_o)$

$P_{H_2O} = (0.306760714)(101.325kPa)$

$P_{H_2O} = 31.08252935kPa$

$h_{EVAP} = h_{fg @ P=31.08252935\,kPa} = 2334.270525kJ/kg$

$(1.018735679)(2334.270525kJ/kg)=2378.004669kJ/kg$

ดังนั้น

$LHV=HHV-2378.004669\ kJ/kg$

$=39271024.00-237800.669\ J/kg$

$=36893019.33\ J/kg$

$(A/F)stoic = 4.76A(MW_{air}/MW_{fuel})$

$= 4.76x0.478093370x(28.85/5.424659583)$

$= 12.1029991143$

3.3.4 สมการการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว[5]

$Y_s = 0.0001$

$Y_c = 0.756$

$Y_H = 0.113$

$Y_N = 0.00019$

$Y_O = 0.129$

$MW_S = 32.064$ kg/kmol

$MW_C = 12.01115$ kg/kmol

$MW_H = 1.00797 \quad kg/kmol$

$MW_N = 14.0067 \quad kg/kmol$

$MW_O = 15.999 \quad kg/kmol$

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

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

$MW_{mix} = 5.45704 \quad kg/kmol$

$X_i = \left(Y_i . MW_{mix}\right)/MW_i$

$X_S = 0.000017019$

$X_C = 0.3434742421$

$X_H = 0.611769478$

$X_N = 0.000740244$

$X_O = 0.043999018$

$(0.000017019S+0.3434742421C+0.611769478H+0.000740244N+0.043999018O)$

$+A(O_2+3.76N_2) \longrightarrow BCO_2+DH_2O+EN_2+FSO_2$

$S : 0.000017019 = F$

$C : 0.343474242 = B$

$H : 0.611769478 = 2D \quad ; D = 0.305884739$

$N : 0.000740244+7.52A = 2E$

$O : 0.043999018+2A = 2B+D+2F$

$0.0439990183+2A = 2(0.3434742421)+0.305884739+2(0.000017019)$

$A = 0.474434122$

ดังนั้น

$0.000740244+7.52(0.474434122) = 2E$

$E = 1.784242419$

ดังนั้นถ้าเชื้อเพลิง 1 *kmol* จะได้น้ำ 0.305884739 *kmol*

$1\ kmol \times MW_{mix} : (0.305884739) \times MW_{H_2O}$

(1 *kmol*)(5.47037879 *kg/kmol*) : (0.3058847 *kmol*)(18.015 *kg/kmol*)

5.457037879 kg : 5.510513573 kg

ดังนั้นถ้าเชื้อเพลิง 1 kg จะได้น้ำ $\frac{5.510513517}{5.457037879} = 1.009799389$

$P_{H_2O} = X_{H_2O}(P_o)$

$P_{H_2O} = (0.3058847)(101.325kPa)$

$P_{H_2O} = 30.99376723kPa$

$h_{EVAP} = h_{fg@P=31.08252935kPa} = 2334.420533kJ/kg$

(1.009799389)(2334.420533kJ/kg)=2573.296428kJ/kg

ดังนั้น

LHV=HHV-2334420.533 J/kg

38689448.00-2334420.533 J/kg

=36355027.473 J/kg

$(A/F)stoic = 4.76A(MW_{air}/MW_{fuel})$

$= 4.76x0.474434122x(28.85/5.45704)$

$= 11.9390988957$

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวกับอุปกรณ์การวัดค่า และอุปกรณ์อื่นที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งวิธีการทดลองหาค่าต่างๆ ด้านสมรรถนะการทำงานของหัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุนโดยการปรับเปลี่ยนตัวแปรด้านสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เพื่อให้ทราบพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจากการทำงานของหัวเผา

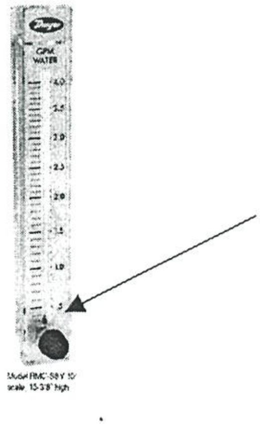
4.2 อุปกรณ์การทดลอง

4.2.1 วัสดุพรุน (Porous Media)

วัสดุพรุนที่นำมาทำการประยุกต์ใช้ได้เลือกใช้ alumina ทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 25.4 มม.โดยสามารถทนอุณหภูมิได้ 1800 องศาเซลเซียส

4.2.2 เครื่องมือวัดอัตราการไหลอากาศ (Air Flow Meter)

ในการทดลองหาค่าสมรรถนะของหัวเผา จะใช้การปรับเปลี่ยนสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเพื่อดูพฤติกรรมการทำงานของหัวเผาที่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงต้องมีเครื่องมือที่ใช้ทำการวัดและควบคุมอัตราการไหลของอากาศ โดยปกติเครื่องมือที่ใช้วัดส่วนใหญ่จะวัดเป็นหน่วยของปริมาตรต่อเวลา ในการทดลองนี้เลือกใช้เครื่องมือวัดโดยอาศัยหลักการทำงานโดยการให้อากาศวิ่งผ่านเครื่องมือวัดและสามารถที่จะทำการปรับอัตราการไหลของอากาศเพื่อควบคุมสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ ในการใช้นั้นจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงย่านการทำงานของหัวเผารวมทั้งค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดดังกล่าวเพื่อป้องกันการเสียหายและค่าที่ทำการวัดอาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ได้จริง

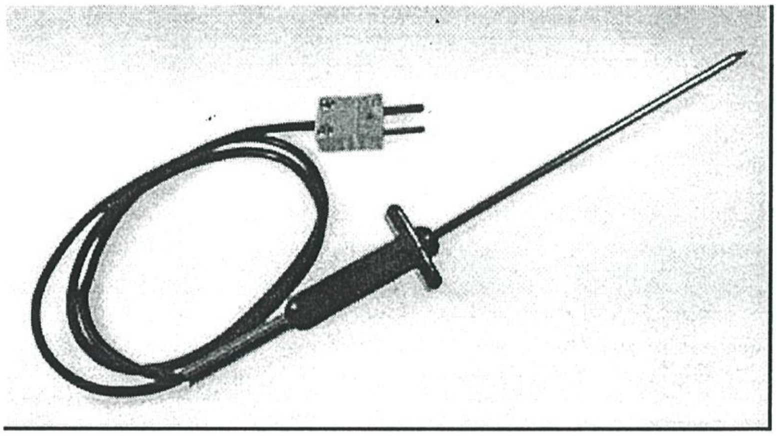


รูปที่ 4.1 เครื่องวัดอัตราการไหลอากาศ

4.2.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Thermocouple and Display)

ในการทดลองหาค่าสมรรถนะของหัวเผา เพื่อทำการปรับค่าสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงการวัดอุณหภูมิในแต่ละช่วงมีความจำเป็นในการศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจากการทำงาน แต่การทำงานของหัวเผาพบว่าอุณหภูมิที่ได้จากการเผาไหม้สูง จึงมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่สามารถวัดอุณหภูมิได้สูง ซึ่งเลือกใช้ Thermocouple Type K ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิได้สูงสุด 1275 องศาเซลเซียส และอุปกรณ์การแสดงผลโดยการเลือกใช้ประเภทของ Thermocouple ต้องศึกษาลักษณะงานและอุณหภูมิที่ทำการวัดเพื่อป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์ การทำงานของเครื่องมือนี้จำเป็นต้องมีการปรับเทียบกับค่าอุณหภูมิพื้นฐานและความผิดผลาดของเครื่องมือวัดจากคู่มือการใช้งาน

การทดลองเลือกใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิที่แสดงผลระบบดิจิตอลที่สามารถวัดอุณหภูมิภายในหัวเผาได้ 7 จุดในสภาวะเดียวกันและสามารถต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ผลได้

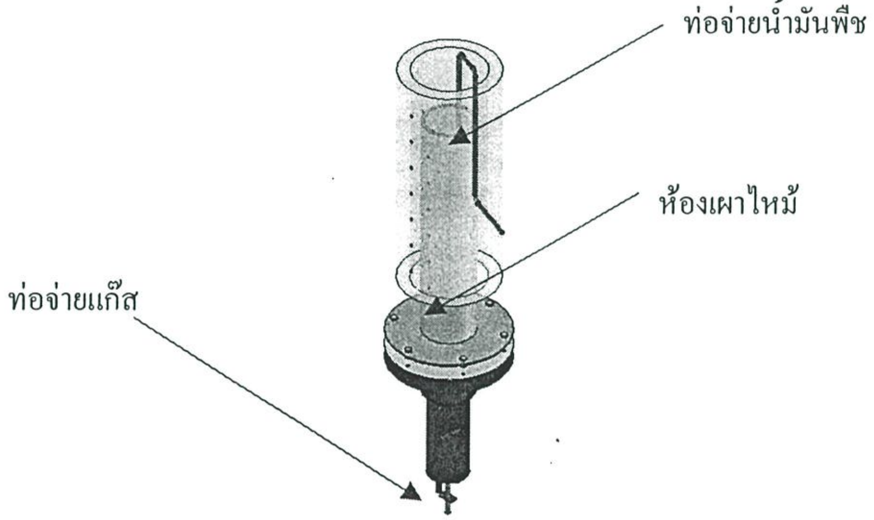


รูปที่ 4.2 Thermocouple

รูปที่4.3 Data Logger

4.2.4 หัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุน

หัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุนได้ถูกทำการออกแบบให้ใช้ได้กับเชื้อเพลิงเหลวทุกชนิดรวมทั้งเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งานมาแล้วโดยทำการติดตั้งวัสดุพรุนภายในห้องเผาไหม้



รูปที่ 4.4 หัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุน

4.2.5 เครื่องวัดไอเสีย (Gas Analyzer)

อุปกรณ์วิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (Gas Analyzer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่ออกจากหัวเผาโดยใช้เครื่อง Telegan รุ่น Sprint 2000 ดังแสดงในรูปที่ 4.5 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ก๊าซไอเสีย โดยมีช่วงการตรวจจับปริมาณของก๊าซต่างๆจะแสดงในตารางที่ 4.1 และ Probe นำก๊าซไอเสียดังแสดงในรูปที่ 4.6 สามารถทนอุณหภูมิได้ 800 องศาเซลเซียส

Instrument:

Range: -10º to 50ºC

Battery: rechargeable Ni-MH. Life >6 hours

Charger input voltage: 115V or 230V; 50/60 Hz AC

Fuels: natural gas, LPG, light oil, heavy oil, + other (specified)

Display: backlit LCD

Header: customer programmable

Data logging: 25 sets of readings

Time and date: 24 hour clock

Dimensions: 500g

Casing: rubber case (option)

Conforms to: BS7927

Probes:

Standard efficiency probe

Construction: pistol grip; 250mm probe length; 2500mm hose length

K-type thermocouple: Accuracy +/-0.3%; +/-1°C

Maximum temperature: 800°C

Combined air/surface/liquid probe (option)

Usage: Room, radiator and tap water temperatures

Temperature range: -50°C to 400°C

Gases:

Draught/pressure measurement:

Range: +/-25%

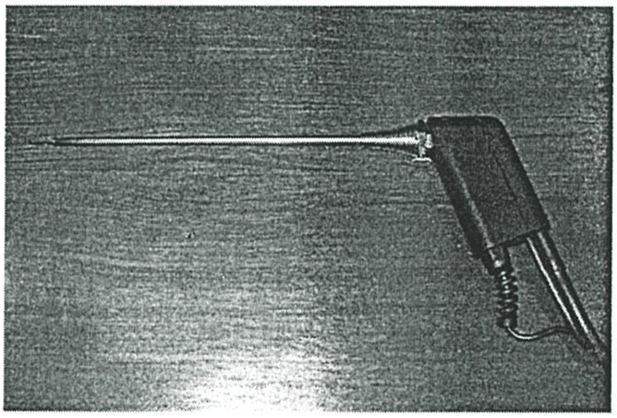
Resolution: 0.01mbar

Accuracy: +/-0.5% fsd

ตารางที่ 4.1 แสดงช่วงของปริมาณไอเสียที่สามารถวิเคราะห์ได้

	Range	Resolution	Accuracy
Oxygen	0 – 25%	0.1%	+/-0.3%
Carbon monoxide	0 – 10,000ppm	+/- 1ppm	<100ppm; +/- 5ppm
Carbon dioxide (calculated)	0 – 25%		
CO/CO_2 ratio	0 – 0.9999		
Combustion efficiency	0 – 100%		
Gas leak sensor (option)	20 – 10,000ppm		

รูปที่ 4.5 เครื่องวัดไอเสีย Telegan รุ่น Sprint 2000



รูปที่ 4.6 Probe นำก๊าซไอเสีย

4.3 วิธีการทดลอง

ในการทำงานของหัวเผาที่ถูกสร้างขึ้นมามีความจำเป็นที่จะต้องทำการทดลองเพื่อหาสมรรถนะการเผาไหม้ที่เกิดระหว่างการทำงานของหัวเผาในด้านต่างๆและทำการเปรียบเทียบระหว่างเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งานแล้วกับเชื้อเพลิงใหม่ซึ่งสามารถแบ่งการทดสอบได้ดังนี้

4.3.1 กรณีศึกษาผลของชั้นความหนาของวัสดุพรุนต่อเสถียรภาพการเผาไหม้

ในการทำงานของหัวเผาจำเป็นต้องทำการอุ่นวัสดุพรุนก่อนการใช้งานจึงจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาถึงชั้นความหนาของวัสดุพรุนที่จะสามารถทำให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวที่สมบูรณ์และเพื่อเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงแก๊ส โดยจะมีวิธีการทดลองดังนี้

4.3.1.1 ทำการบรรจุวัสดุพรุนลงในหัวเผาโดยเริ่มจากระยะ 50 มม. จากฐานของวัสดุพรุน

4.3.1.2 ทำการเผาวัสดุพรุนด้วยแก๊ส LPG

4.3.1.3 ใช้ Thermocouple วัดอุณหภูมิที่บริเวณปลายทางออกของเชื้อเพลิงเหลวทำการจับเวลารอจนอุณหภูมิสูงถึง 500 องศาเซลเซียส

4.3.1.4 ทำการปิดเชื้อเพลิงแก๊สและทำการปล่อยน้ำมันพืชที่อัตราการไหล 0.556 g/s เข้าไปยังหัวเผาทำการวัดอุณภูมิที่เกิดขึ้นที่ระยะ 50 มม.จากฐานหัวเผา

4.3.1.5 วัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ระยะผิวของวัสดุพรุน

4.3.1.6 ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 1 แต่ทำการเปลี่ยนระยะความสูงของวัสดุพรุนเป็น 100 ,150 ,200 ,250 ,300 ,350 ,400 ตามลำดับ

4.3.2 กรณีศึกษาผลของผลกระทบของอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอัตราส่วนสมมูลของน้ำมันพืชที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและผ่านการใช้งานมาแล้ว

4.3.2.1 ทำการบรรจุวัสดุพรุนลงในหัวเผาหลักโดยให้มีความสูงของวัสดุพรุนเท่ากับ 300 มม.จากฐานของหัวเผาหลัก

4.3.2.2 ใช้ Thermocouple วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง 50 ,100 ,150 ,200 ,250 ,300 , 350 400 ตามลำดับ

4.3.2.3 ทำการอุ่นวัสดุพรุนด้วยแก๊ส LPG รอจนอุณหภูมิที่ Thermocouple ที่ตำแหน่ง 300 มม.อ่านอุณหภูมิได้ 500 องศาเซลเซียส

4.3.2.4 ทำการปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ไม่ผ่านการใช้งานเท่ากับ 0.167 g/s และปรับอัตราการจ่ายอากาศให้ได้ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.4 วัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาที่ระยะ 50 ,100 ,150 ,200 ,250 ,300 ,350 , 400 ตามลำดับ

4.3.2.5 วัดความยาวของเปลวไฟโดยวัดจากปลายหัวเผา

4.3.2.6 เปลี่ยนค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.6 ,0.8 ,1.0 ,1.2 ,1.4 ตามลำดับและวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นดังข้อ 4.3.2.4 และวัดความยาวของเปลวไฟดังข้อ 4.3.2.5

4.3.2.7 ทำการเปลี่ยนอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเป็น 0.167 ,0.208 ,0.333 ,0.556 g/s และเปลี่ยนค่าอัตราส่วนสมมูลวัดความร้อนที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาและความยาวเปลวไฟที่เกิดขึ้นดังข้อ 4.3.2.4 และ 4.2.2.5

4.3.2.8 ทำการเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งานแล้วและทำการทดลองและบันทึกผลการทดลองดังข้อง 4.3.2.1 ถึง 4.3.2.7

4.3.3 กรณีศึกษาผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาในแนวรัศมีที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0 ของเชื้อเพลิงใหม่

4.3.3.1 ทำการบรรจุวัสดุพรุนลงในหัวเผาหลักโดยให้มีความสูงของวัสดุพรุนเท่ากับ 250 มม.จากฐานของหัวเผาหลัก

4.3.3.2 ใช้ Thermocouple วัดอุณหภูมิที่บริเวณปลายทางออกของเชื้อเพลิงเหลวทำการจับเวลารอจนอุณหภูมิสูงถึง 500 องศาเซลเซียส

4.3.3.3 ทำการปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ไม่ผ่านการใช้งานเท่ากับ 1.66 g/s และปรับอัตราการจ่ายอากาศให้ได้ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0 วัดความร้อนที่เกิดขึ้นในแนวรัศมีของหัวเผาที่ระยะ 50 มม.จากฐานหัวเผา โดยวัดที่จุดกึ่งกลางของหัวเผา 0 , 5 ,10 ,15 ,20 ,25 ,30 ,35 ,40 ตามลำดับ

4.3.4 การวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อน

4.3.4.1 จัดอุปกรณ์หัวเผาน้ำมันพืชและเครื่องวัดอัตราการไหล

4.3.4.2 เติมน้ำลงในภาชนะหนัก 1 กิโลกรัมวัดอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ

4.3.4.3 เปิดแก๊ส LPG เพื่อทำการอุ่นวัสดุพรุน

4.3.4.4 ทำการปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงให้ได้ค่าตามที่ต้องการ

4.3.4.5 นำภาชนะบนหัวเผาพร้อมทั้งเริ่มจับเวลา

4.3.4.6 เมื่อน้ำอุณหภูมิถึง 90 องศาเซลเซียสหยุดทำการจับเวลา

4.3.4.7 บันทึกปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไป

4.3.4.8 คำนวณหาประสิทธิภาพความร้อนที่เกิดขึ้น

4.3.5 การวัดก๊าซไอเสีย

4.3.5.1 นำปล่องนำแก๊สที่มีความยาว 2 ม.ติดตั้งที่ปลายของหัวเผาเพื่อลดอุณหภูมิของก๊าซก่อนการวัด

4.3.5.2 ทำการปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ไม่ผ่านการใช้งานเท่ากับ 0.115 g/s และปรับอัตราการจ่ายอากาศให้ได้ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.1

4.3.5.3 ทำการอ่านค่าของแก๊สไอเสียและบันทึกค่า

4.3.5.4 เปลี่ยนอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.2 , 0.3 , 0.4 และอ่านค่าของแก๊สไอเสียตามลำดับ

4.3.5.5 เปลี่ยนอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง 0.167 ,0.208 ,0.333 g/s และทำการวัดดังหัวข้อ 4.3.5.2 ตามลำดับ

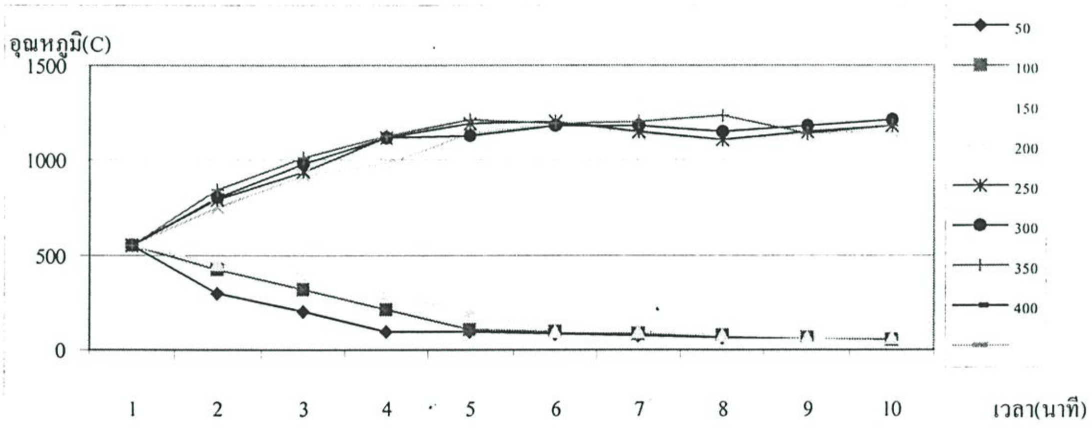
บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 บทนำ

ในการหาสมรรถนะการทำงานของหัวเผาในด้านต่างๆของวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นการนำเสนอผลการทดลองเช่นชั้นความหนาของชั้นวัสดุพรุนต่อเสถียรภาพการเผาไหม้ การกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อเปลี่ยนอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงทั้งเชื้อเพลิงไม่ผ่านการใช้งานและผ่านการใช้งานแล้วและอัตราส่วนสมมูล ความยาวของเปลวไฟที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงและอัตราส่วนสมมูล การกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวรัศมี

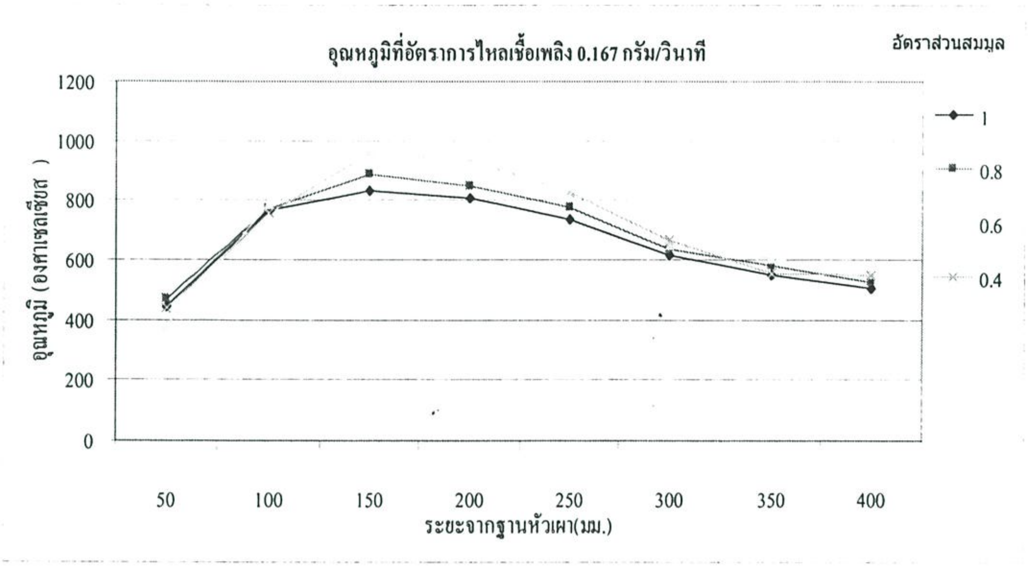
5.2 ชั้นความหนาของวัสดุพรุนต่อเสถียรภาพการเผาไหม้



รูปที่ 5.1 ชั้นความหนาของวัสดุพรุนต่อเสถียรภาพการเผาไหม้

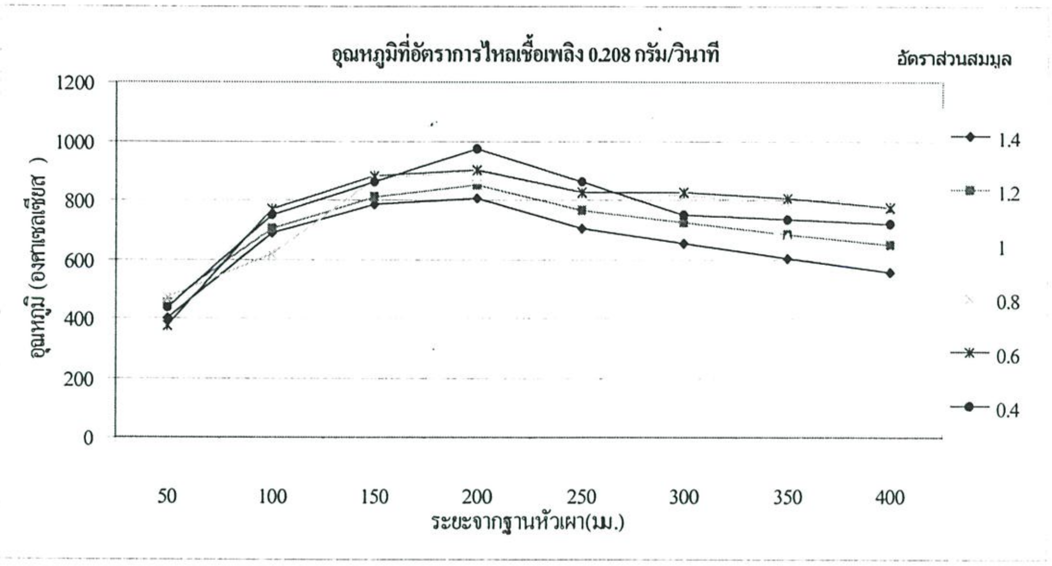
จากรูปที่ 5.1 แสดงเสถียรภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนชั้นความหนาของวัสดุพรุนจากการทดลองพบว่าที่ชั้นความหนาของวัสดุที่ 50 ถึง 150 มม.จากฐานหัวเผาพบว่าเมื่อทำการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าไปภายในหัวเผาจะทำให้หัวเผาที่ทำงานอยู่ค่อยๆ ดับทั้งนี้เนื่องมาจากอัตราการระเหยเป็นไอของเชื้อเพลิงเหลวที่จ่ายเข้าไปเกิดขึ้นน้อยกว่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงทำให้เปลวไฟค่อยๆดับลง จากรูปการเผาไหม้ต่อเนื่องจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อชั้นความหนาของวัสดุพรุนมากกว่า 200 มม.เป็นต้นไปแต่จากการทดลองพบว่าที่ระยะ 200 มม.จะสังเกตเห็นมีละอองน้ำมันกระเด็นออกมาจากหัวเผาซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเวลาในการเกิดการเผาไหม้สั้นเกินไป จากการทดลองจึงเลือกชั้นความหนาของวัสดุพรุนที่ 300 มม.ใช้ในการทดลอง

5.3 การศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอัตราส่วนสมมูลของน้ำมันพืชที่ยัง ไม่ผ่านการใช้งานที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในหัวเผา



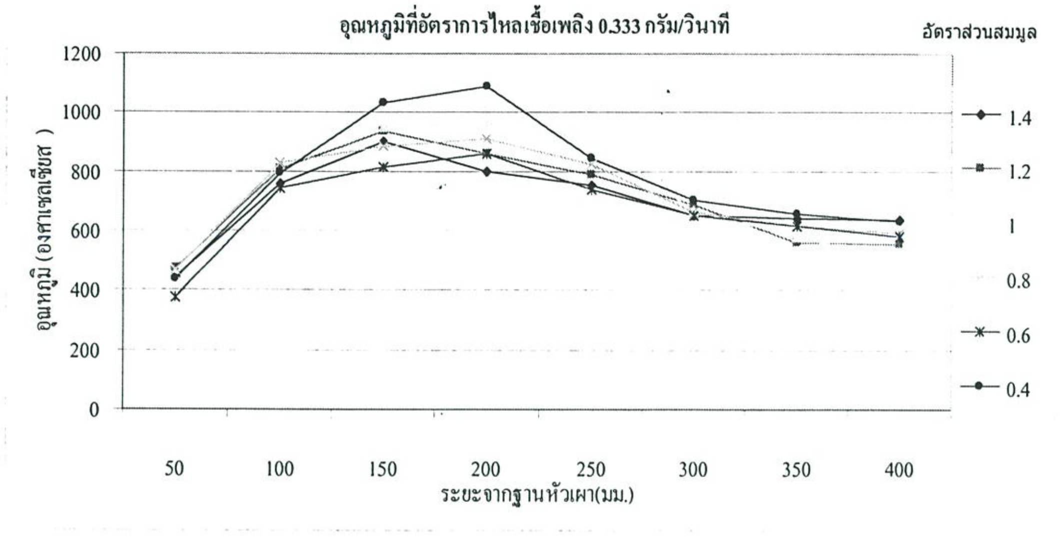
รูปที่ 5.2 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงยังไม่ผ่านการใช้งาน 0.167 กรัม/วินาที

จากรูปที่ 5.2 จะสังเกตเห็นได้ว่าจะเกิดอุณหภูมิสูงสุดที่ระยะ 150 มม.จากฐานของหัวเผาและอุณหภูมิจะลดต่ำลงเรื่อยๆ จนถึงที่ระยะ 300 ถึง 400 มม.อุณหภูมิจะมีแนวโน้มลดลงทั้งนี้เนื่องจากเป็นระยะที่ไม่มีวัสดุพรุนอยู่ทำให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นไม่คงที่ จากการทดลองอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 960.1 องศาเซลเซียสที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.4 และที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.8 และ 0.6 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเป็นการเผาไหม้ภายในหัวเผาไม่มีเปลวไฟออกมาจากปลายหัวเผาซึ่งเนื่องมาจากอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเข้าไปภายในหัวเผาที่ต่ำทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาและความร้อนที่สูญเสียไม่เท่ากัน จากการทดลองที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.4 มีควันเกิดขึ้นจากหัวเผาซึ่งอาจมีความเป็นไปได้ที่เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นภายในหัวเผาทำให้เกิดควันออกมา



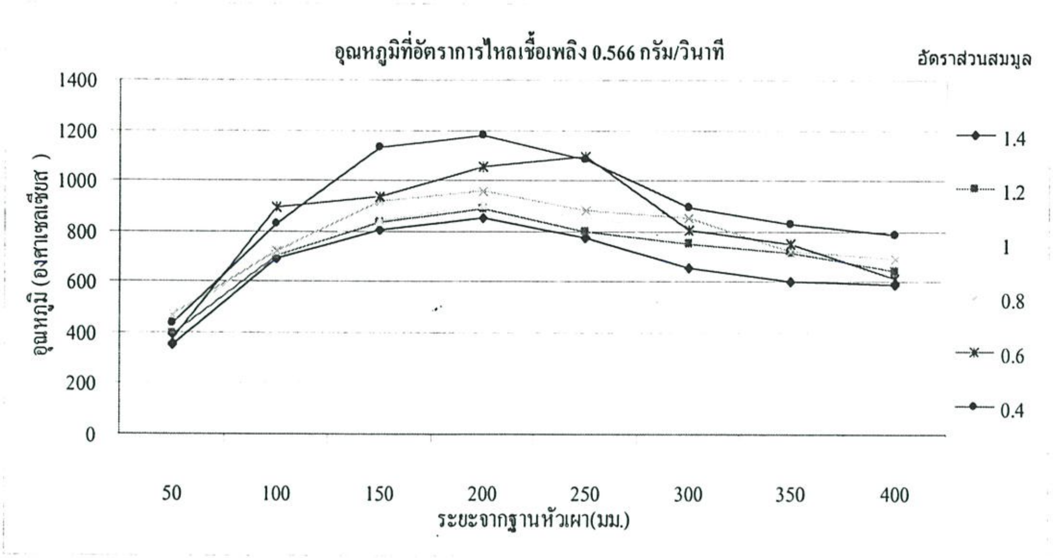
รูปที่ 5.3 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงยังไม่ผ่านการใช้งาน 0.208 กรัม/วินาที

จากรูปที่ 5.3 จะสังเกตเห็นได้ว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากระยะ 50 มม.จนถึงระยะ 200มม.ซึ่งเป็นจุดที่เกิดอุณหภูมิสูงสุดซึ่งจะสามารถอธิบายได้ว่าในช่วงระยะตั้งแต่ 50 มม.เชื้อเพลิงเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊สและเริ่มเกิดการเผาไหม้ขึ้นจนถึงระยะ 200 มม.จะเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และอุณหภูมิจะลดต่ำลงเรื่อยๆจนถึงระยะที่ 250 มม.และจะค่อนค้างที่จะคงที่จนถึงระยะที่ 400 มม.เพราะเป็นระยะที่หัวเผาไม่มีวัสดุพรุนอยู่ อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในหัวเผามีค่าเท่ากับ 971.2 องศาเซลเซียสที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.4 และที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.8 และ 0.6 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.4 จะสังเกตว่าเกิดควันขึ้นภายในหัวเผาซึ่งทั้งนี้เพราะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นทำให้มีเขม่าควันเกิดขึ้น



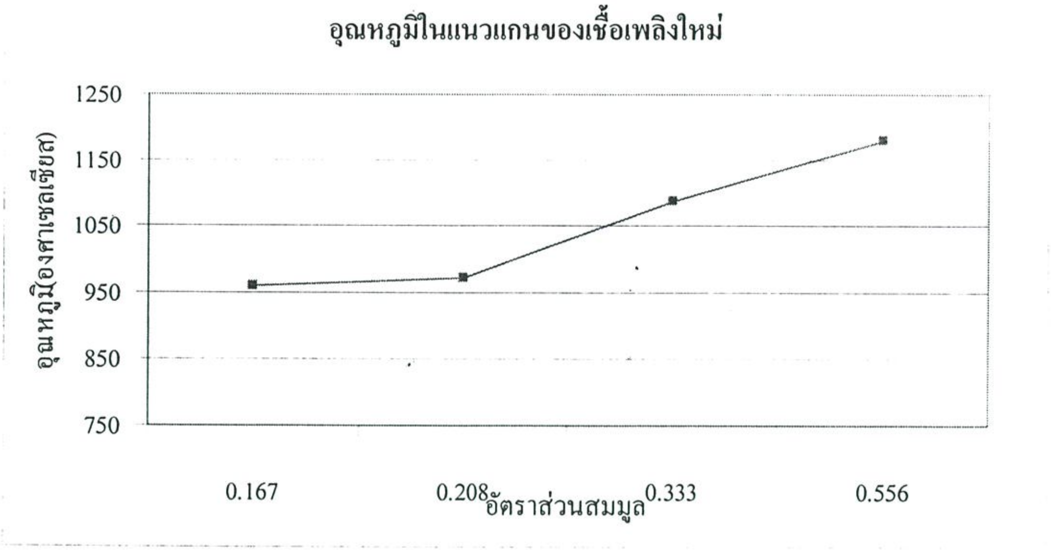
รูปที่ 5.4 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงยังไม่ผ่านการใช้งาน 0.333 กรัม/วินาที

จากรูปที่ 5.4 จะสังเกตเห็นได้ว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากระยะ 50 มม.จนถึงระยะที่ 200 มม.จากฐานหัวเผาซึ่งในช่วงแรกระยะระหว่าง 100 จนถึงระยะ 200 มม.จะเป็นระยะที่เชื้อเพลิงเปลี่ยนสถานะจากเชื้อเพลิงเหลวเป็นแก๊สและเริ่มเกิดการเผาไหม้เกิดขึ้นจนถึงระยะที่ 200มม.เป็นจุดที่เกิดการเผาไหม้ขึ้นสมบูรณ์และอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่จนถึงระยะ 250 มม.ทั้งนี้เพราะเป็นระยะที่มีวัสดุพรุนอยู่และจากระยะ 250 มม.จนถึงระยะ 400 มม.อุณหภูมิภายในหัวเผาจะลดลงอย่างต่อเนื่องทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดการสูญเสียความร้อนให้แก่สภาวะแวดล้อม จากรูปพบว่าอุณหภูมิสูงสุดภายในหัวเผาเท่ากับ 1088.5 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0 และที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.2 และ 0.8 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.4 จะสังเกตว่าเกิดควันขึ้นภายในหัวเผาซึ่งทั้งนี้เพราะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นทำให้มีเขม่าควันเกิดขึ้น



รูปที่ 5.5 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงยังไม่ผ่านการใช้งาน 0.556 กรัม/วินาที

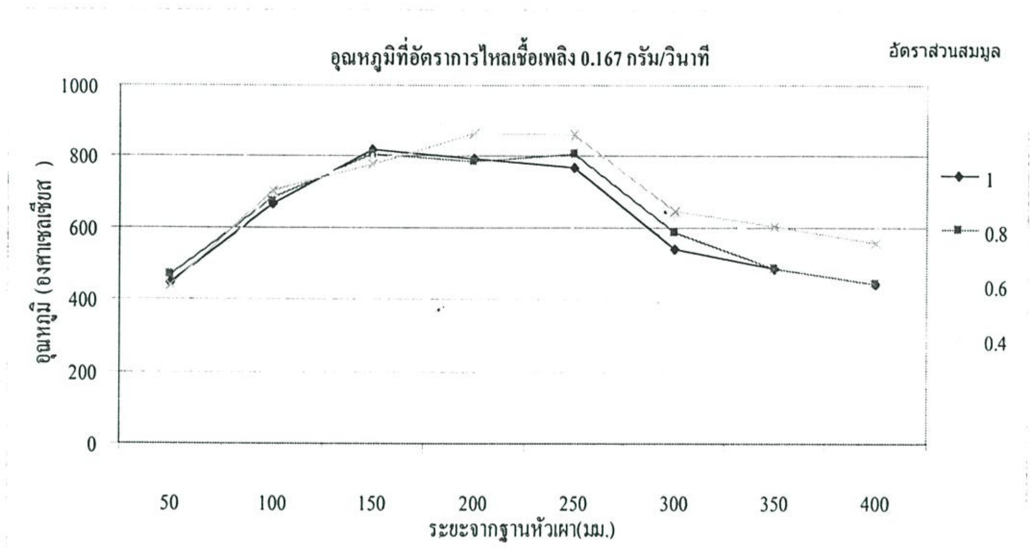
จากรูปที่ 5.5 จะสังเกตเห็นได้ว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากระยะ 50 มม.จนถึงระยะที่ 200 มม.จากฐานหัวเผาซึ่งในช่วงแรกระยะระหว่าง 100 จนถึงระยะ 200 มม.จะเป็นระยะที่เชื้อเพลิงเปลี่ยนสถานะจากเชื้อเพลิงเหลวเป็นแก๊สและเริ่มเกิดการเผาไหม้เกิดขึ้นจนถึงระยะที่ 200มม.เป็นจุดที่เกิดการเผาไหม้ขึ้นสมบูรณ์และอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่จนถึงระยะ 250 มม.ทั้งนี้เพราะเป็นระยะที่มีวัสดุพรุนอยู่และจากระยะ 250 มม.จนถึงระยะ 400 มม.อุณหภูมิภายในหัวเผาจะลดลงอย่างต่อเนื่องทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดการสูญเสียความร้อนให้แก่สภาวะแวดล้อม จากรูปพบว่าอุณหภูมิสูงสุดภายในหัวเผาเท่ากับ 1180.5 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.4 และที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.8 และ 0.6 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.4 จะสังเกตว่าเกิดควันขึ้นภายในหัวเผาซึ่งทั้งนี้เพราะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นทำให้มีเขม่าควันเกิดขึ้น



รูปที่ 5.6 อุณหภูมิสูงสุดของเชื้อเพลิงยังไม่ผ่านการใช้งานที่อัตราการจ่ายเชื้อเพลิงต่างๆ

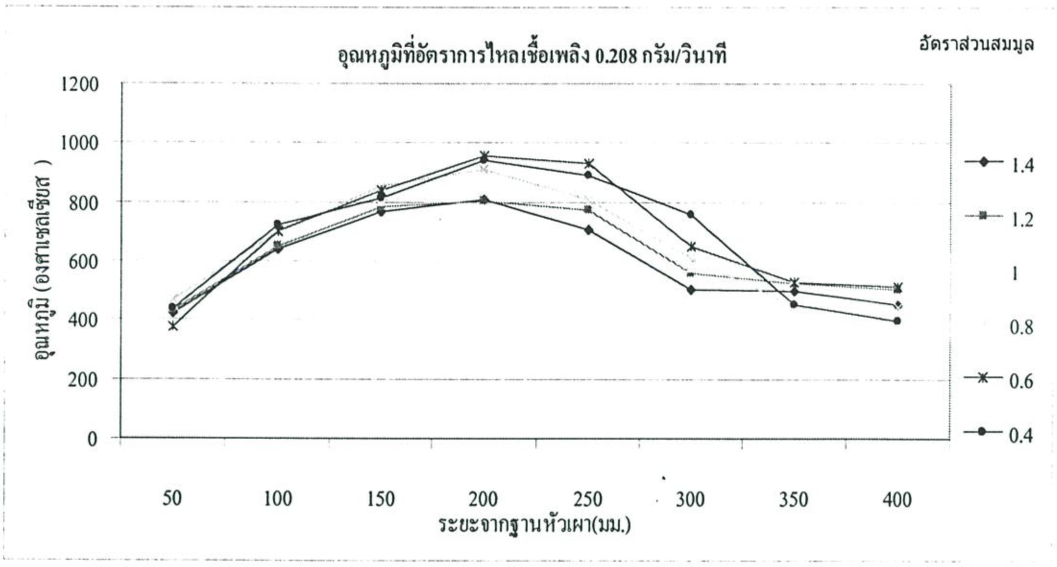
จากรูปที่ 5.6 จะแสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมื่อเพิ่มอัตรการไหลของเชื้อเพลิงจะเห็นได้ว่าว่า ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.556 กรัมต่อวินาที ที่ 1180.5 องศาเซลเซียสจะให้อุณหภูมิสูงสุดและที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.167 กรัมต่อวินาที ที่ 960.1 องศาเซลเซียสจะให้อุณหภูมิต่ำสุดทั้งนี้เนื่องมาจากที่อัตราการไหลต่ำอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นและการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นภายในหัวเผามีค่าไม่ต่างกันมากเป็นผลให้เกิดอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงสูง

5.4 การศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอัตราส่วนสมมูลของน้ำมันพืชทผ่านการใช้งานแล้วที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในหัวเผา



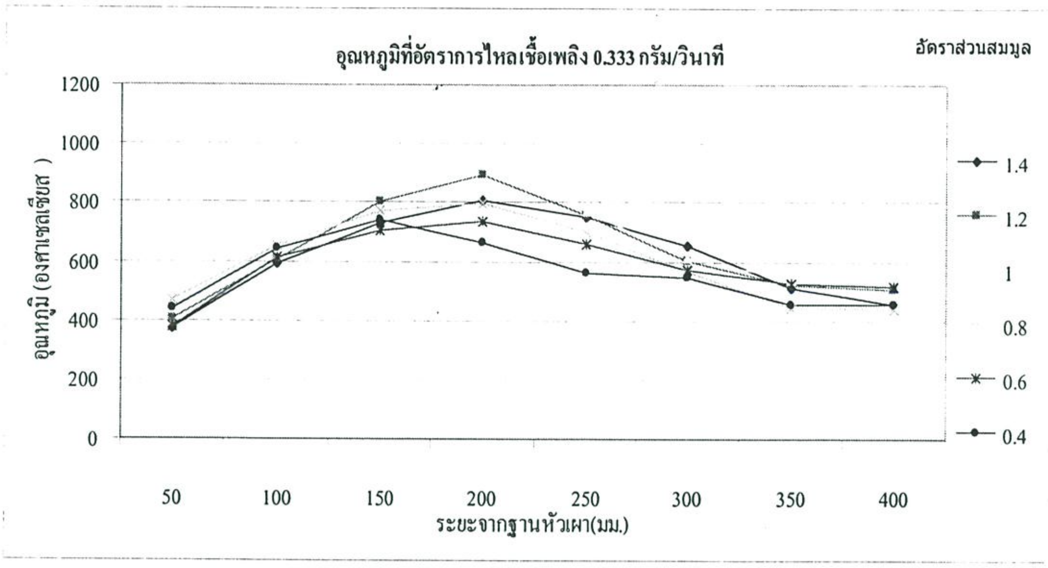
รูปที่ 5.7 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งาน 0.167 กรัม/วินาที

จากรูปที่ 5.7 จะสังเกตเห็นได้ว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากระยะ 50 มม.จนถึงระยะที่ 200 มม.จากฐานหัวเผาซึ่งในช่วงแรกระยะระหว่าง 100 จนถึงระยะ 200 มม.จะเป็นระยะที่เชื้อเพลิงเปลี่ยนสถานะจากเชื้อเพลิงเหลวเป็นแก๊สและเริ่มเกิดการเผาไหม้เกิดขึ้นจนถึงระยะที่ 200มม. เป็นจุดที่เกิดการเผาไหม้ขึ้นสมบูรณ์และอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่จนถึงระยะ 250 มม.ทั้งนี้เพราะเป็นระยะที่มีวัสดุพรุนอยู่และจากระยะ 250 มม.จนถึงระยะ 400 มม.อุณหภูมิภายในหัวเผาจะลดลงอย่างต่อเนื่องทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดการสูญเสียความร้อนให้แก่สภาวะแวดล้อม จากรูปพบว่าอุณหภูมิสูงสุดภายในหัวเผาเท่ากับ 866.9 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.4 และที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.6 และ 0.8 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.4 พบว่ามีเขม่าควันเกิดขึ้นทั้งนี้เนื่องมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จากการทดลองพบว่าไม่เกิดเปลวไฟออกมาภายนอกหัวเผาซึ่งเป็นการเกิดการเผาไหม้ขึ้นภายในวัสดุพรุน



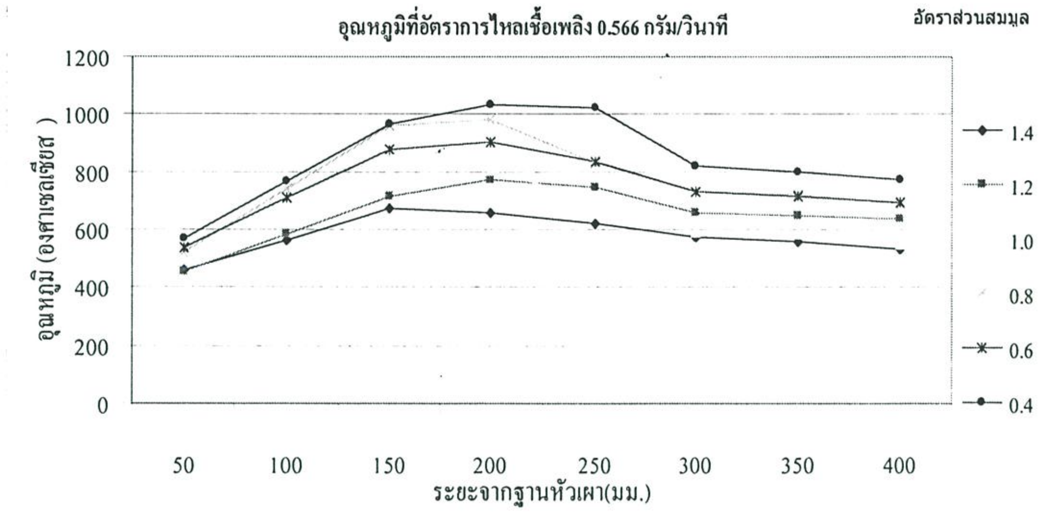
รูปที่ 5.8 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งาน 0.208 กรัม/วินาที

จากรูปที่ 5.8 จะสังเกตเห็นได้ว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากระยะ 50 มม.จนถึงระยะ 200มม.ซึ่งเป็นจุดที่เกิดอุณหภูมิสูงสุดซึ่งจะสามารถอธิบายได้ว่าในช่วงระยะตั้งแต่ 50 มม.เชื้อเพลิงเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊สและเริ่มเกิดการเผาไหม้ขึ้นจนถึงระยะ 200 มม.จะเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และอุณหภูมิจะลดต่ำลงเรื่อยจนถึงระยะที่ 250 มม.และจะค่อนค่างที่จะคงที่จนถึงระยะที่ 400 มม.เพราะเป็นระยะที่หัวเผาไม่มีวัสดุพรุนอยู่ อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในหัวเผามีค่าเท่ากับ 954.2 องศาเซลเซียสที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.6 และที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.8 และ 0.4 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.4 จะสังเกตว่าเกิดควันขึ้นภายในหัวเผาซึ่งทั้งนี้เพราะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นทำให้มีเขม่าควันเกิดขึ้น



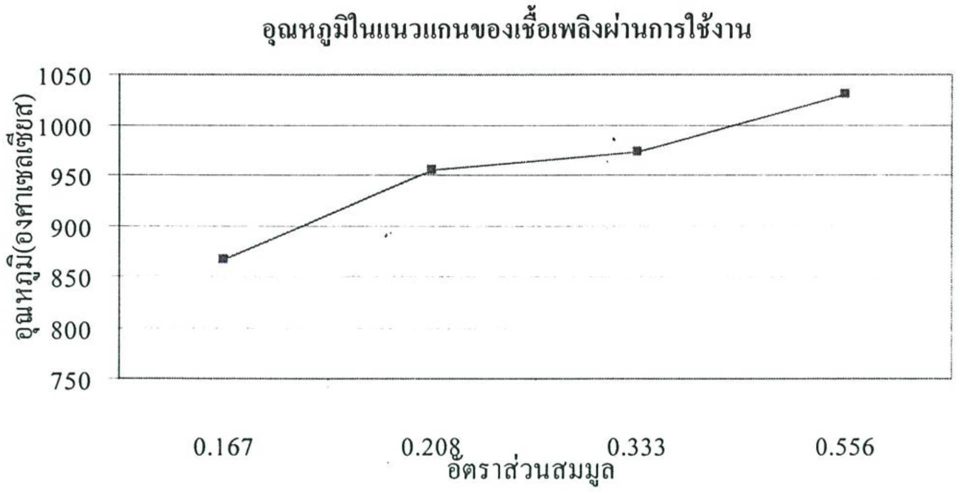
รูปที่ 5.9 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งาน 0.333 กรัม/วินาที

จากรูปที่ 5.9 จะสังเกตเห็นได้ว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากระยะ 50 มม.จนถึงระยะที่ 200 มม.จากฐานหัวเผาซึ่งในช่วงแรกระยะระหว่าง 100 จนถึงระยะ 200 มม.จะเป็นระยะที่เชื้อเพลิงเปลี่ยนสถานะจากเชื้อเพลิงเหลวเป็นแก๊สและเริ่มเกิดการเผาไหม้เกิดขึ้นจนถึงระยะที่ 200มม.เป็นจุดที่เกิดการเผาไหม้ขึ้นสมบูรณ์และอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่จนถึงระยะ 250 มม.ทั้งนี้เพราะเป็นระยะที่มีวัสดุพรุนอยู่และจากระยะ 250 มม.จนถึงระยะ 400 มม.อุณหภูมิภายในหัวเผาจะลดลงอย่างต่อเนื่องทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดการสูญเสียความร้อนให้แก่สภาวะแวดล้อม จากรูปพบว่าอุณหภูมิสูงสุดภายในหัวเผาเท่ากับ 972.0 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.4 และที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.6 และ 0.8 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.4 จะสังเกตว่าเกิดควันขึ้นภายในหัวเผาซึ่งทั้งนี้เพราะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นทำให้มีเขม่าควันเกิดขึ้น



รูปที่ 5.10 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาที่อัตราคารไหลของเชื้อเพลิงผ่านการใช้งาน 0.556 กรัม/วินาที

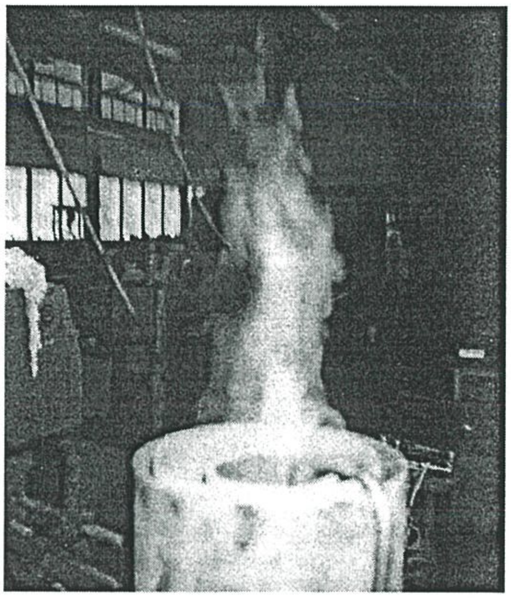
จากรูปที่ 5.10 จะสังเกตเห็นได้ว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากระยะ 50 มม.จนถึงระยะที่ 200 มม.จากฐานหัวเผาซึ่งในช่วงแรกระยะระหว่าง 100 จนถึงระยะ 200 มม.จะเป็นระยะที่เชื้อเพลิงเปลี่ยนสถานะจากเชื้อเพลิงเหลวเป็นแก๊สและเริ่มเกิดการเผาไหม้เกิดขึ้นจนถึงระยะที่ 200มม.เป็นจุดที่เกิดการเผาไหม้ขึ้นสมบูรณ์และอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่จนถึงระยะ 250 มม.ทั้งนี้เพราะเป็นระยะที่มีวัสดุพรุนอยู่และจากระยะ 250 มม.จนถึงระยะ 400 มม.อุณหภูมิภายในหัวเผาจะลดลงอย่างต่อเนื่องทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดการสูญเสียความร้อนให้แก่สภาวะแวดล้อม จากรูปพบว่าอุณหภูมิสูงสุดภายในหัวเผาเท่ากับ 1030.6 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.4 และที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.6 และ 0.8 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.2 จะสังเกตว่าเกิดควันขึ้นภายในหัวเผาซึ่งทั้งนี้เพราะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นทำให้มีเขม่าควันเกิดขึ้น



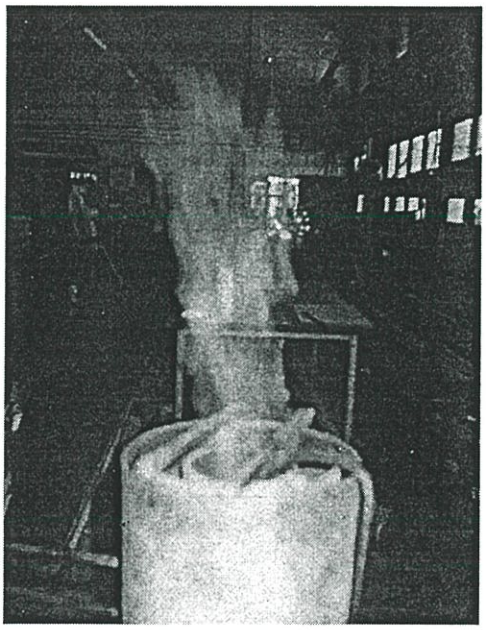
รูปที่ 5.11 อุณหภูมิสูงสุดของเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งานที่อัตราการจ่ายเชื้อเพลิงต่างๆ

จากรูปที่ 5.11 จะแสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของเชื้อเพลิงจะเห็นได้ว่า ว่าที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.556 กรัมต่อวินาที ที่ 1030.6 องศาเซลเซียสจะให้อุณหภูมิสูงสุดและที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.208 กรัมต่อวินาที ที่ 866.9 องศาเซลเซียสจะให้อุณหภูมิต่ำสุดทั้งนี้เนื่องมาจากที่อัตราการไหลต่ำอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นและการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นภายในหัวเผามีค่าไม่ต่างกันมากเป็นผลให้เกิดอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงสูง

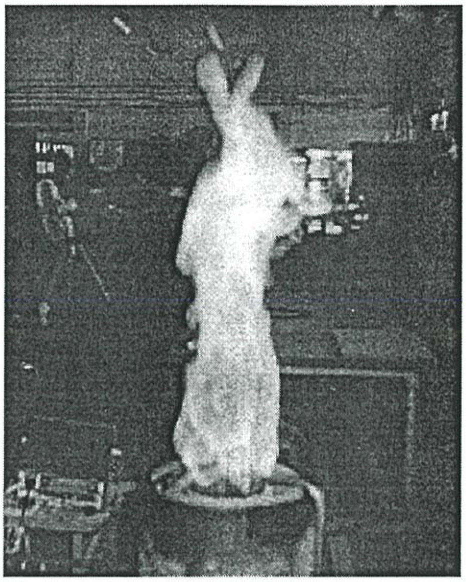
5.5 การศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอัตราส่วนสมมูลของน้ำมันพืชที่ยังไม่ผ่านการใช้งานที่มีผลต่อความยาวเปลวไฟที่เกิดขึ้น



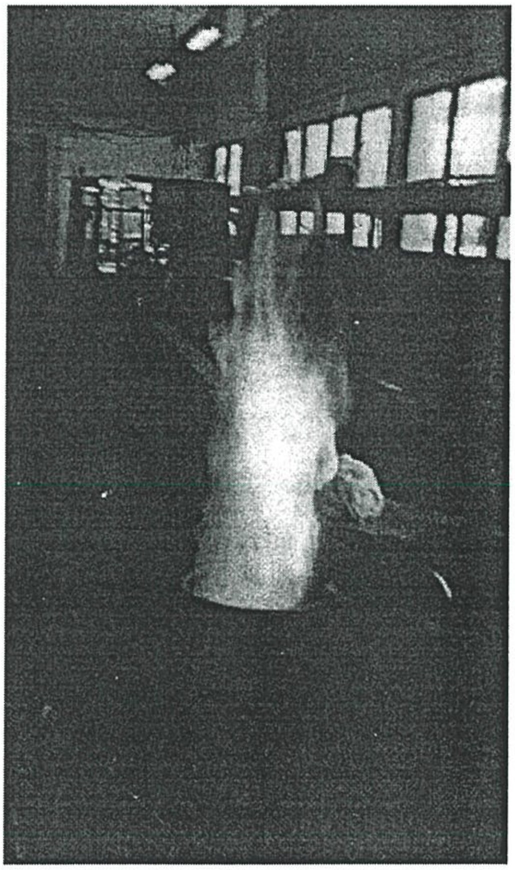
รูปที่ 5.12 เปลวไฟที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.167 กรัม/วินาที



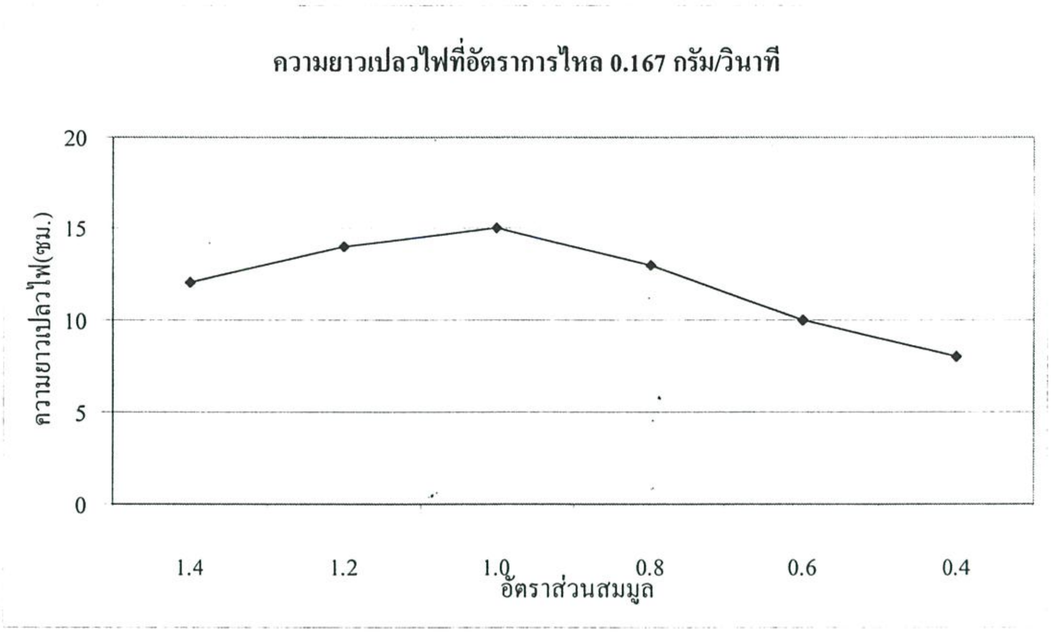
รูปที่ 5.13 เปลวไฟที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.208 กรัม/วินาที



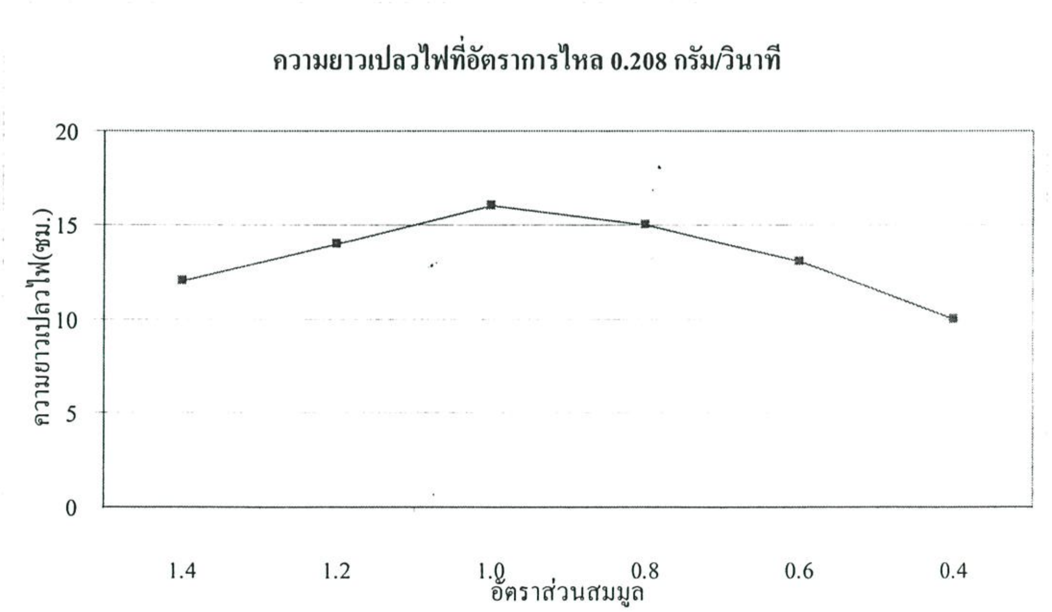
รูปที่ 5.14 เปลวไฟที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.333 กรัม/วินาที



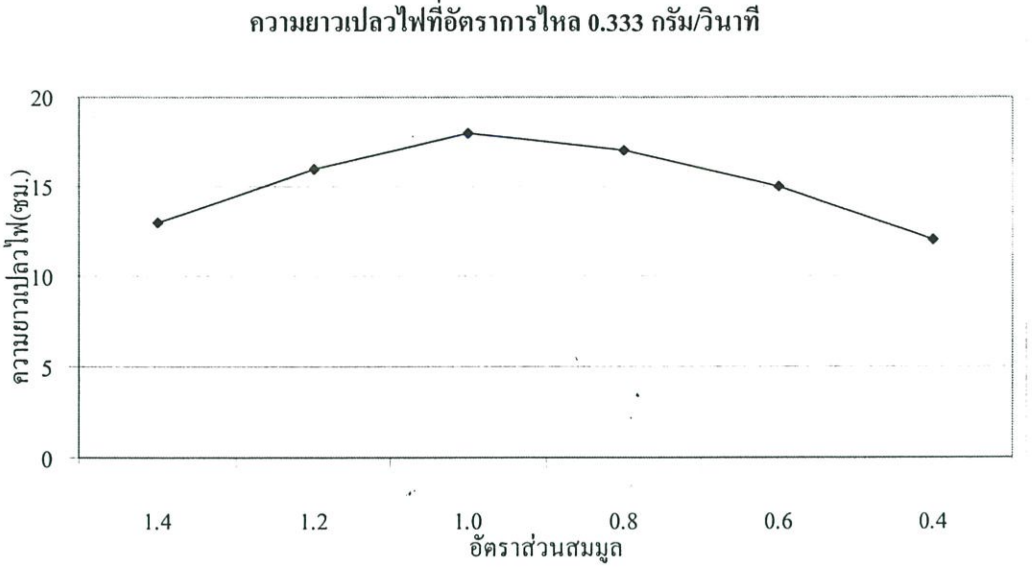
รูปที่ 5.15 เปลวไฟที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.556 กรัม/วินาที



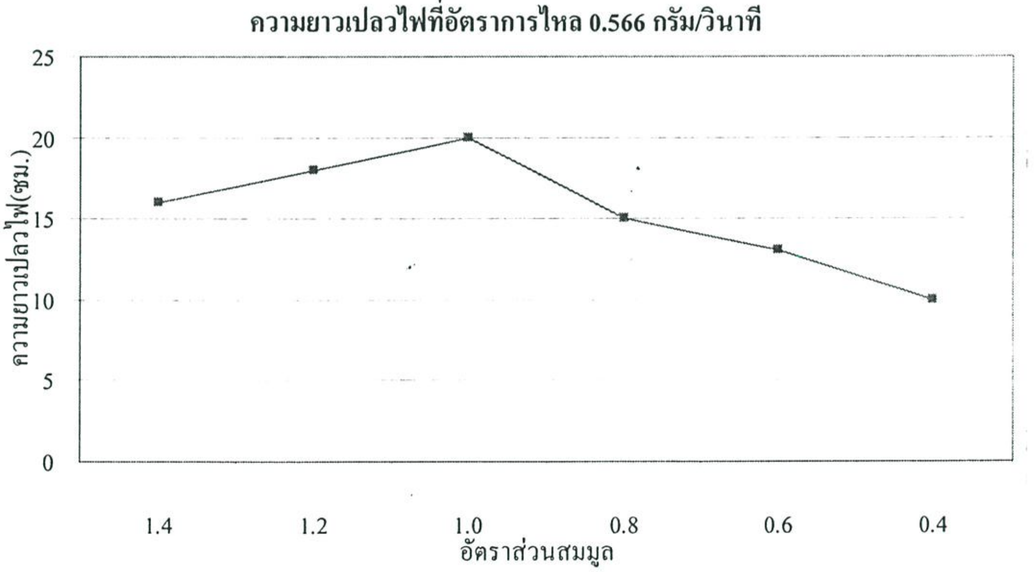
รูปที่ 5.16 ความยาวของเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.167 กรัม/วินาที



รูปที่ 5.17 ความยาวของเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.208 กรัม/วินาที



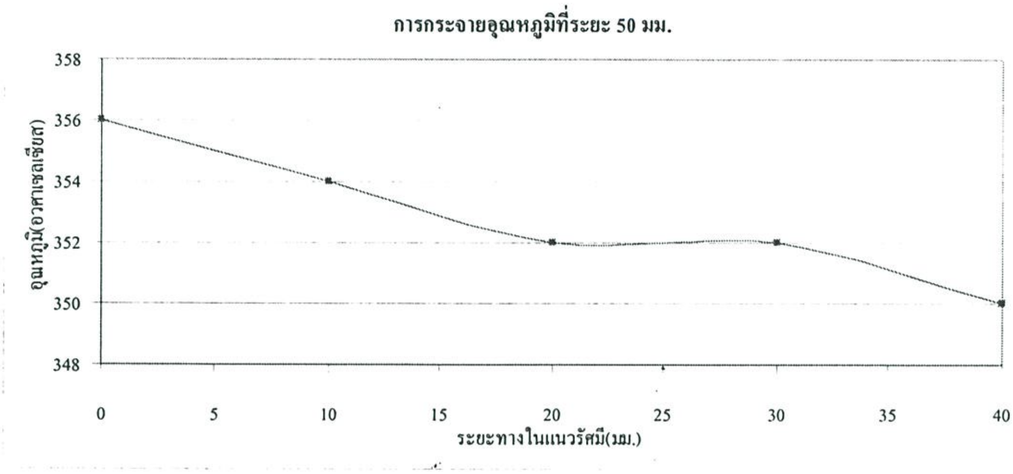
รูปที่ 5.18 ความยาวของเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.333 กรัม/วินาที



รูปที่ 5.19 ความยาวของเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.556 กรัม/วินาที

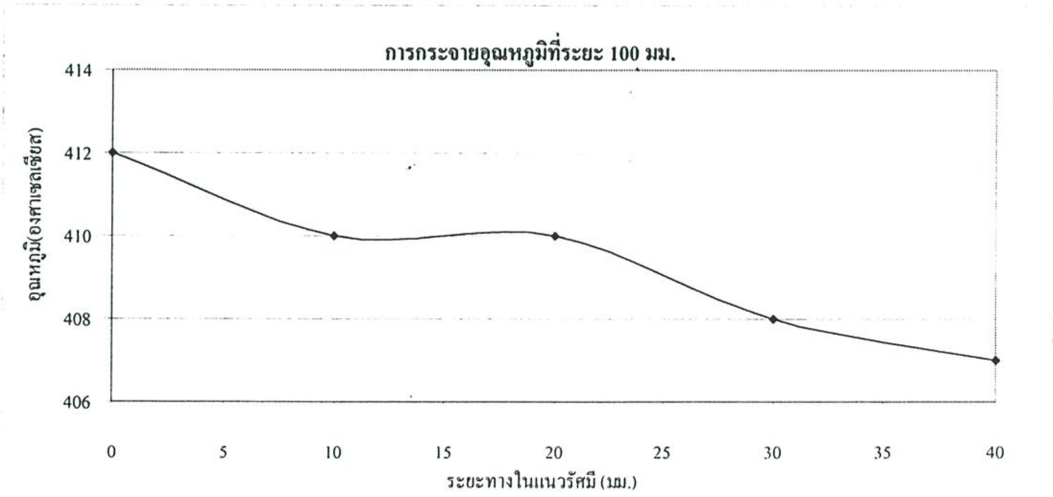
จากรูปที่ 5.16 ถึง 5.19 จะพบว่าที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 ความยาวของเปลวไฟจะเกิดขึ้นยาวที่สุดและที่อัตราส่วนสมมูลต่ำลงความยาวของเปลวไฟจะมีความยาวลดลง

5.6 การศึกษาผลกระทบของการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในแนวรัศมีที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0



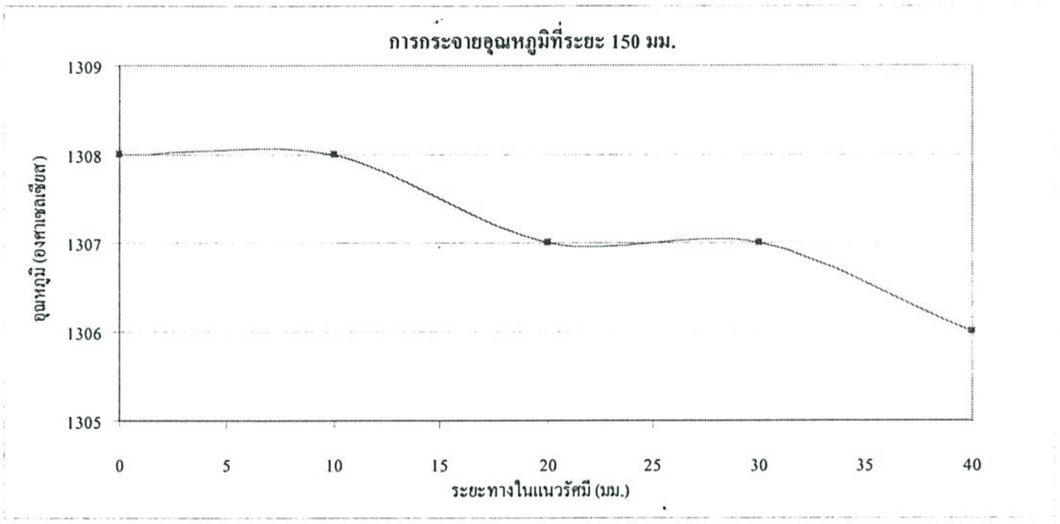
รูปที่ 5.20 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระยะ 50 มม.จากฐานหัวเผา

จากรูปที่ 5.20 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเกิดขึ้นสูงสุดที่กึ่งกลางของหัวเผาและมีแนวโน้มที่จะลดลงจนถึงผนังของหัวเผา จากรูปพบว่าอุณหภูมิระหว่างจุดกึ่งกลางของหัวเผาและที่ผนังของหัวเผามีอุณหภูมิต่างกันประมาณ 5 องศาเซลเซียส



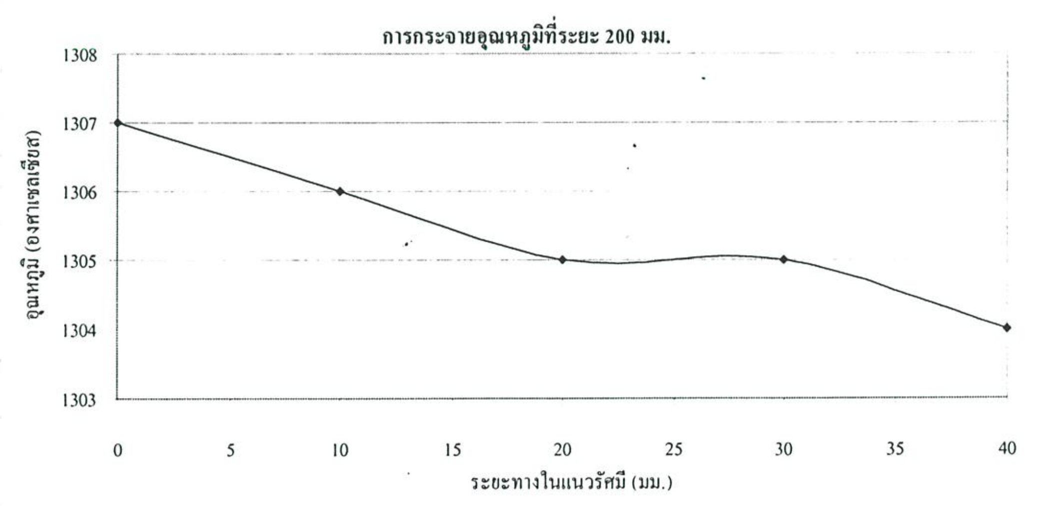
รูปที่ 5.21 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระยะ 100 มม.จากฐานหัวเผา

จากรูปที่ 5.21 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเกิดขึ้นสูงสุดที่กึ่งกลางของหัวเผาและมีแนวโน้มที่จะลดลงจนถึงผนังของหัวเผา จากรูปพบว่าอุณหภูมิระหว่างจุดกึ่งกลางของหัวเผาและที่ผนังของหัวเผามีอุณหภูมิต่างกันประมาณ 7 องศาเซลเซียส



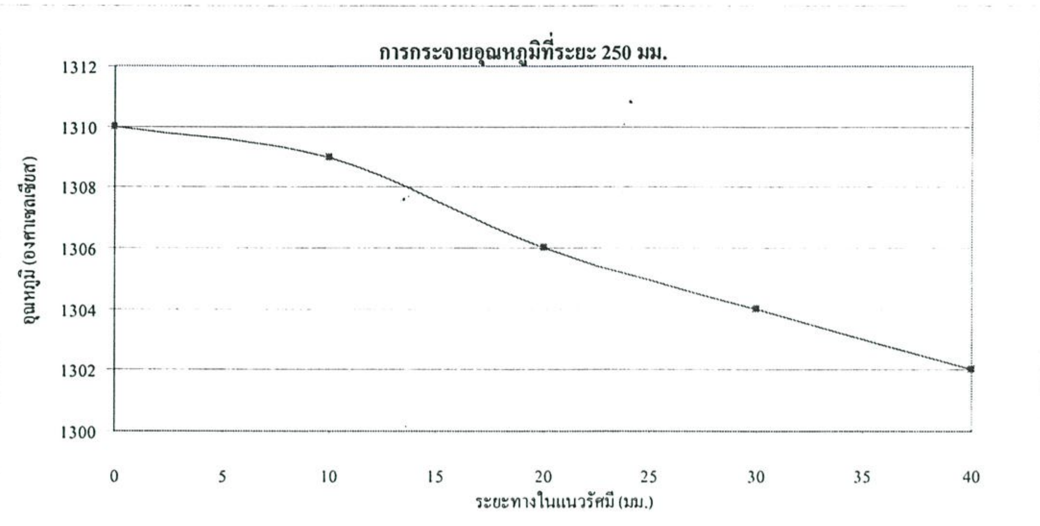
รูปที่ 5.22 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระยะ 150 มม.จากฐานหัวเผา

จากรูปที่ 5.22 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเกิดขึ้นสูงสุดที่กึ่งกลางของหัวเผาและมีแนวโน้มที่จะลดลงจนถึงผนังของหัวเผา จากรูปพบว่าอุณหภูมิระหว่างจุดกึ่งกลางของหัวเผาและที่ผนังของหัวเผามีอุณหภูมิต่างกันประมาณ 3 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.23 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระยะ 200 มม.จากฐานหัวเผา

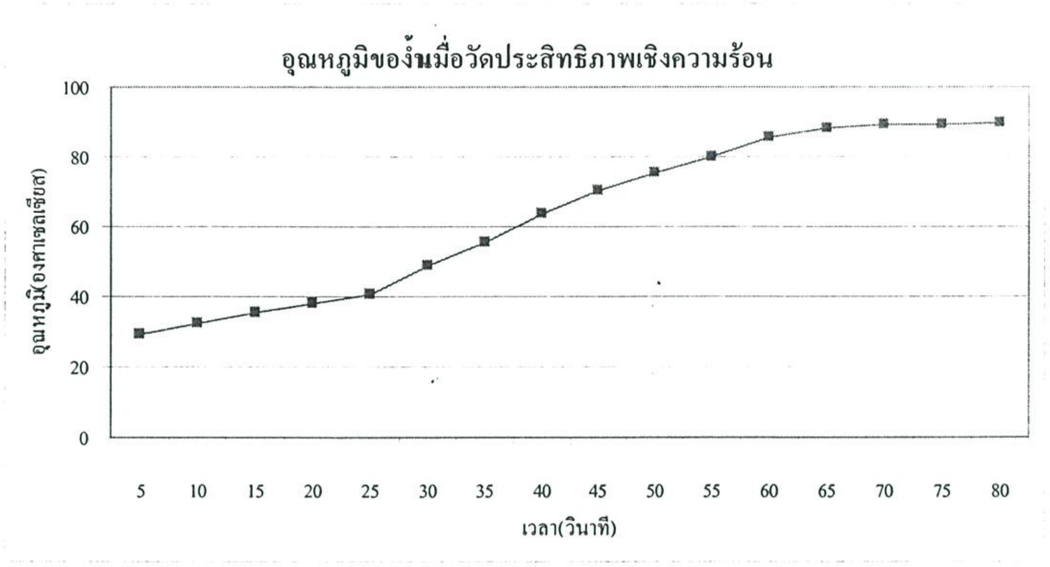
จากรูปที่ 5.23 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเกิดขึ้นสูงสุดที่กึ่งกลางของหัวเผาและมีแนวโน้มที่จะลดลงจนถึงผนังของหัวเผา จากรูปพบว่าอุณหภูมิระหว่างจุดกึ่งกลางของหัวเผาและที่ผนังของหัวเผามีอุณหภูมิต่างกันประมาณ 7 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.24 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระยะ 250 มม.จากฐานหัวเผา

จากรูปที่ 5.24 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเกิดขึ้นสูงสุดที่กึ่งกลางของหัวเผาและมีแนวโน้มที่จะลดลงจนถึงผนังของหัวเผา จากรูปพบว่าอุณหภูมิระหว่างจุดกึ่งกลางของหัวเผาและที่ผนังของหัวเผามีอุณหภูมิต่างกันประมาณ 8 องศาเซลเซียส

5.7 การวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อน



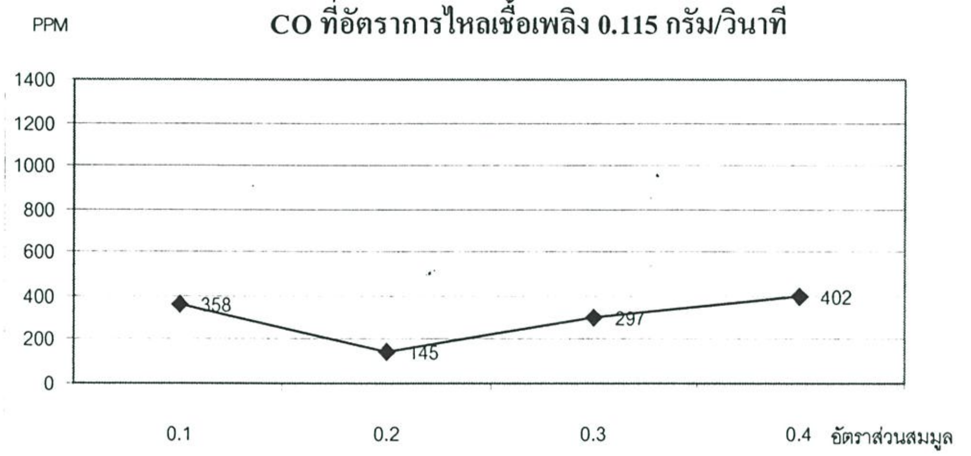
รูปที่ 5.25 อุณหภูมิของน้ำเมื่อทำการวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากรูปที่ 5.25 จะแสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำที่นำมาหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำเท่ากับ 29.3 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิของน้ำสุดท้ายที่ทำการวัดเท่ากับ 90 องศาเซลเซียสและใช้น้ำหนักเท่ากับ 1.00 กิโลกรัมจากการทดลองใช้เวลาเท่ากับ 79 วินาที ซึ่งสามารถหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ 59.25 %

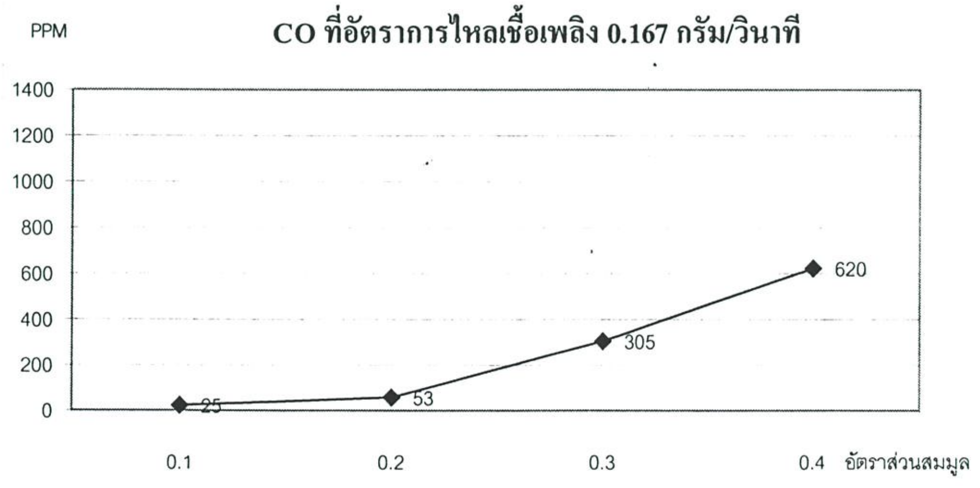
5.8 การวัดแก๊สไอเสีย

5.8.1 ปริมาณ CO

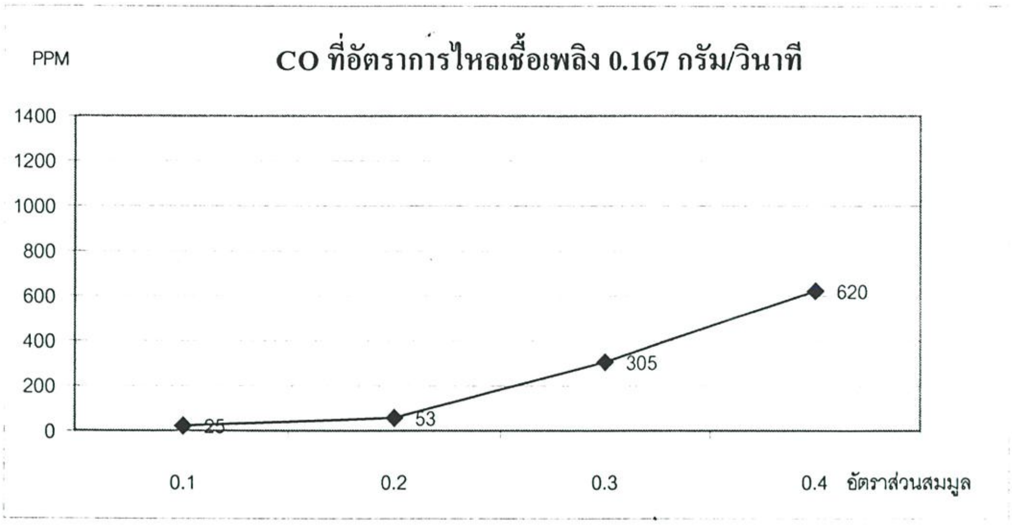
การวัด CO โดยทำการเปลี่ยนปริมาณการไหลของเชื้อเพลิงและค่าอัตราส่วนสมมูลโดยทำการวัดหลายครั้งและหาค่าเฉลีย



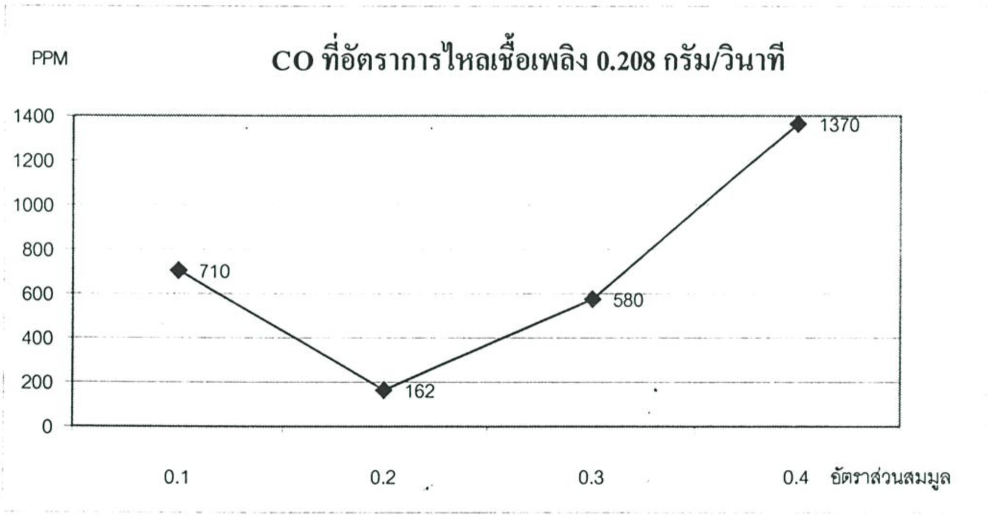
รูปที่ 5.26 แก๊ส CO ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.115 กรัม/วินาที



รูปที่ 5.27 ก๊าซ CO ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.167 กรัม/วินาที



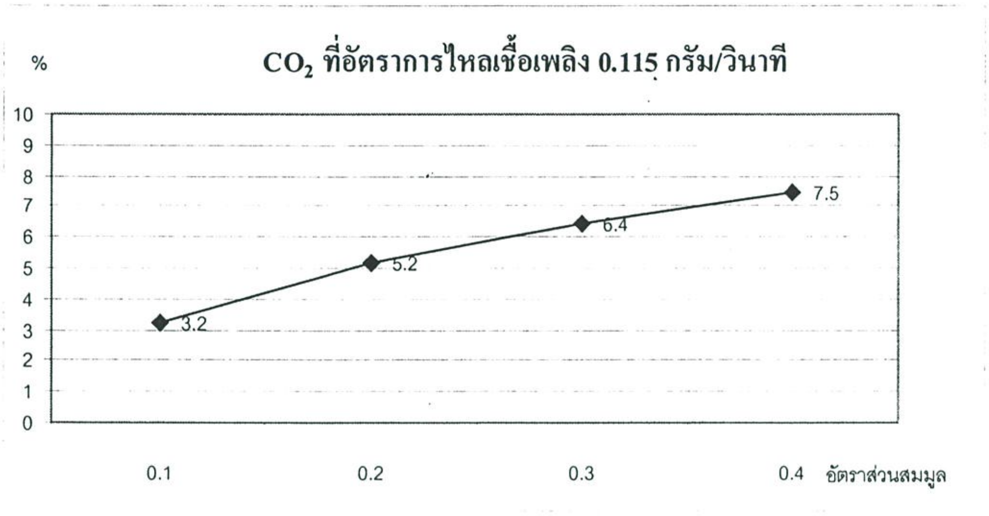
รูปที่ 5.27 ก๊าซ CO ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.167 กรัม/วินาที



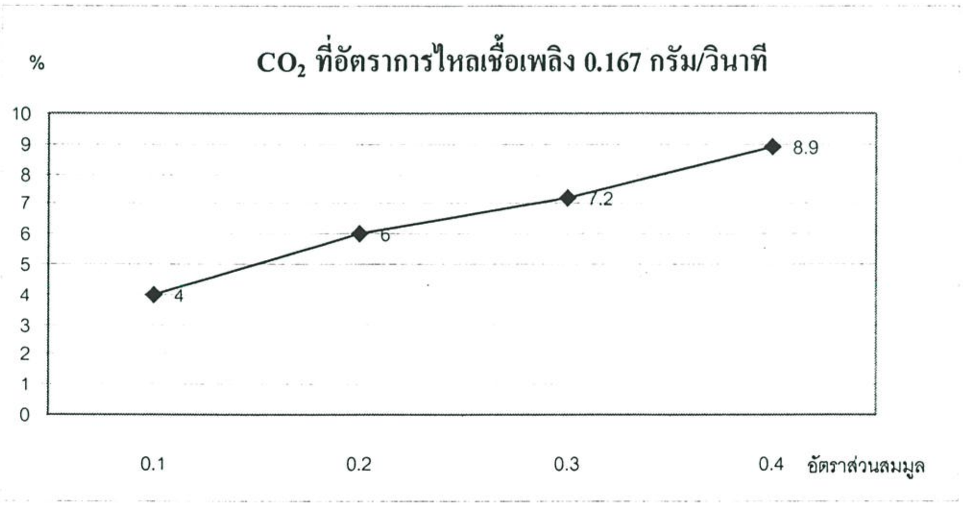
รูปที่ 5.28 แก๊ส CO ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.208 กรัม/วินาที

5.8.2 ปริมาณ CO_2

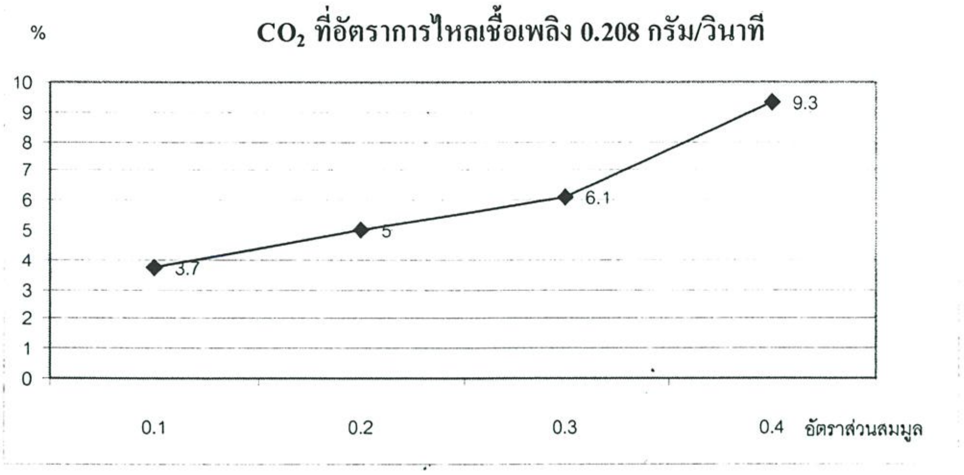
การวัด CO_2 โดยทำการเปลี่ยนปริมาณการไหลของเชื้อเพลิงและค่าอัตราส่วนสมมูล โดยทำการวัดหลายครั้งและหาค่าเฉลี่ย



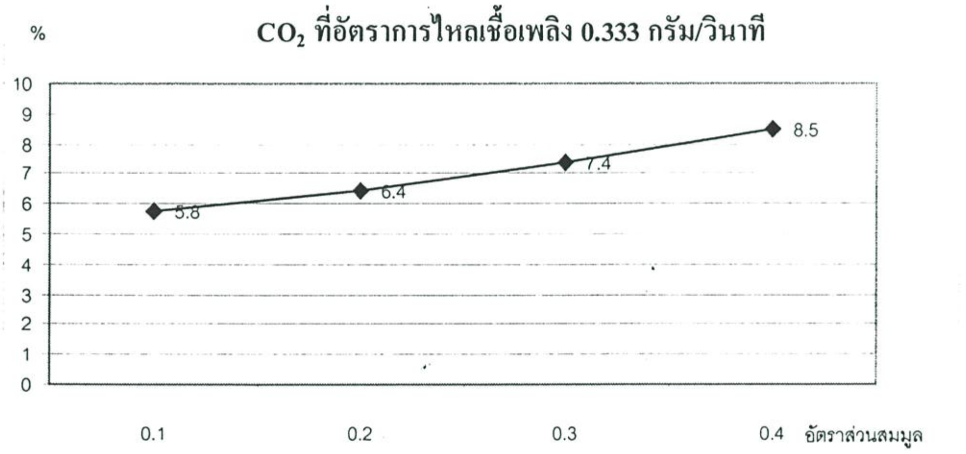
รูปที่ 5.30 แก๊ส CO_2 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.115 กรัม/วินาที



รูปที่ 5.31 แก๊ส CO_2 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.167 กรัม/วินาที



รูปที่ 5.32 แก๊ส CO_2 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.208 กรัม/วินาที

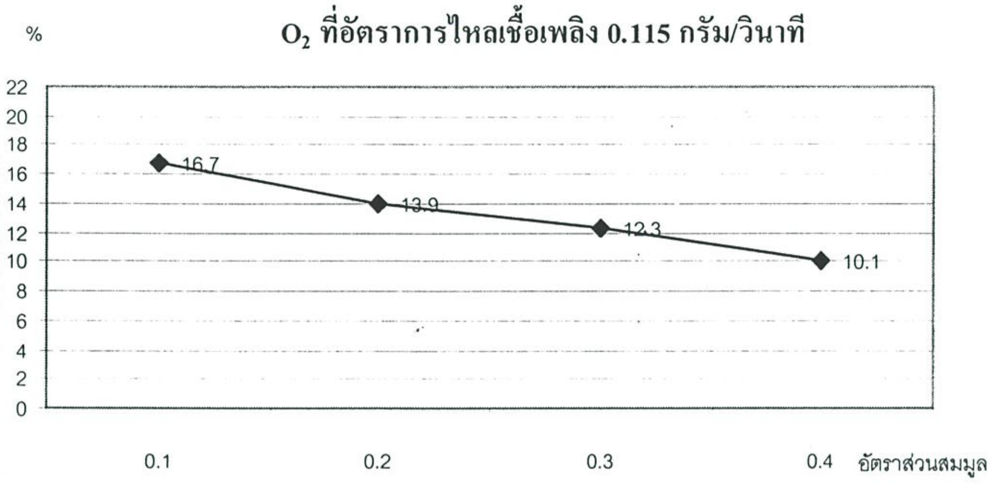


รูปที่ 5.33 แก๊ส CO_2 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.333 กรัม/วินาที

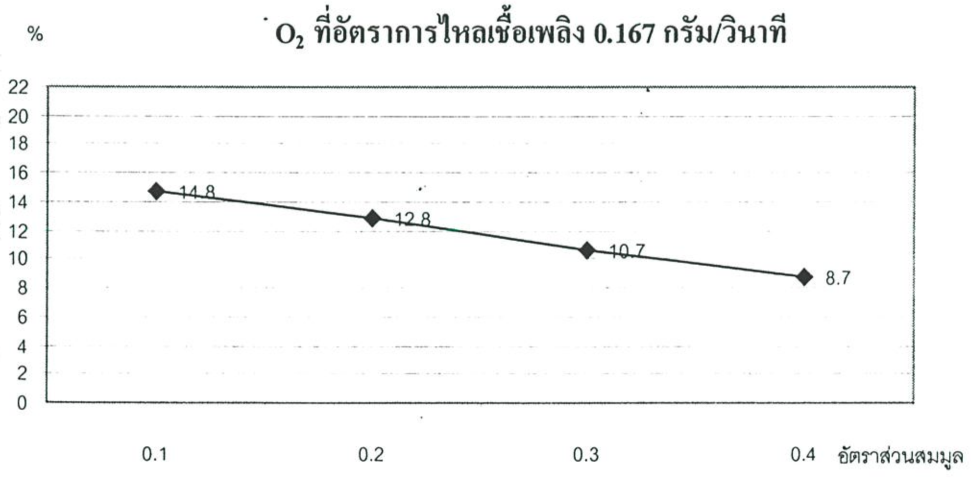
จากรูปที่ 5.30 ถึง 5.33 จะพบว่าเมื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนสมมูลจะทำให้ค่า CO_2 มีค่าสูงตามไปด้วย

5.8.3 ปริมาณ O_2

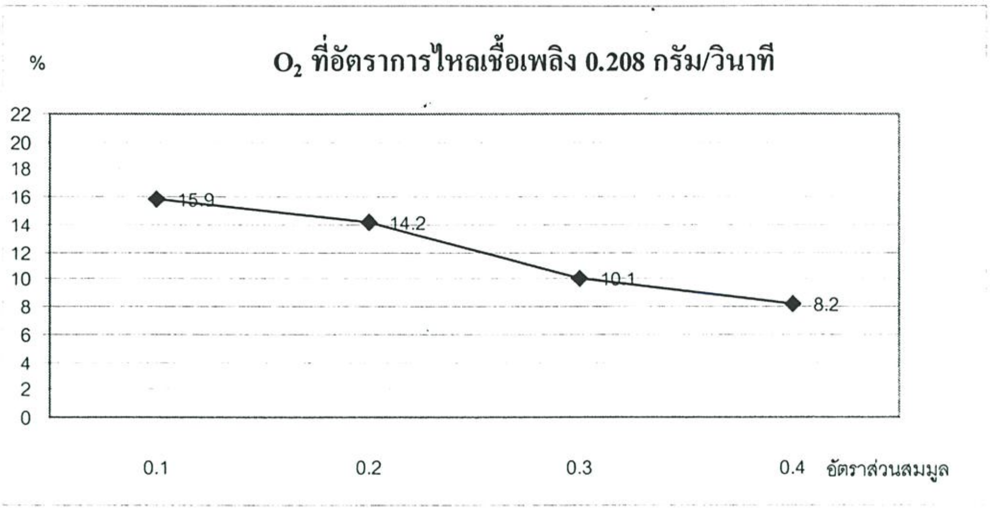
การวัด O_2 โดยทำการเปลี่ยนปริมาณการไหลของเชื้อเพลิงและค่าอัตราส่วนสมมูลโดยทำการวัดหลายครั้งและหาค่าเฉลี่ย



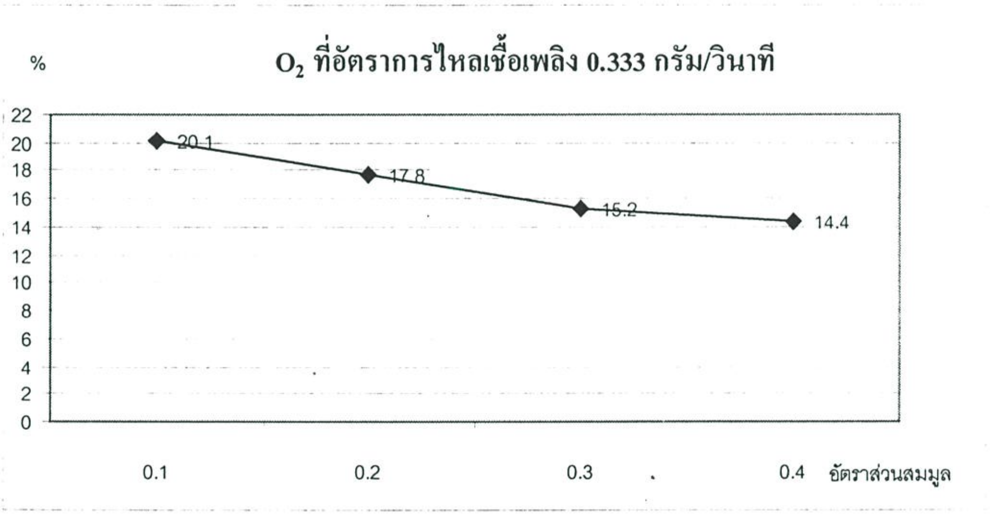
รูปที่ 5.34 แก๊ส O_2 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.115 กรัม/วินาที



รูปที่ 5.35 แก๊ส O_2 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.167 กรัม/วินาที



รูปที่ 5.36 แก๊ส O_2 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.208 กรัม/วินาที

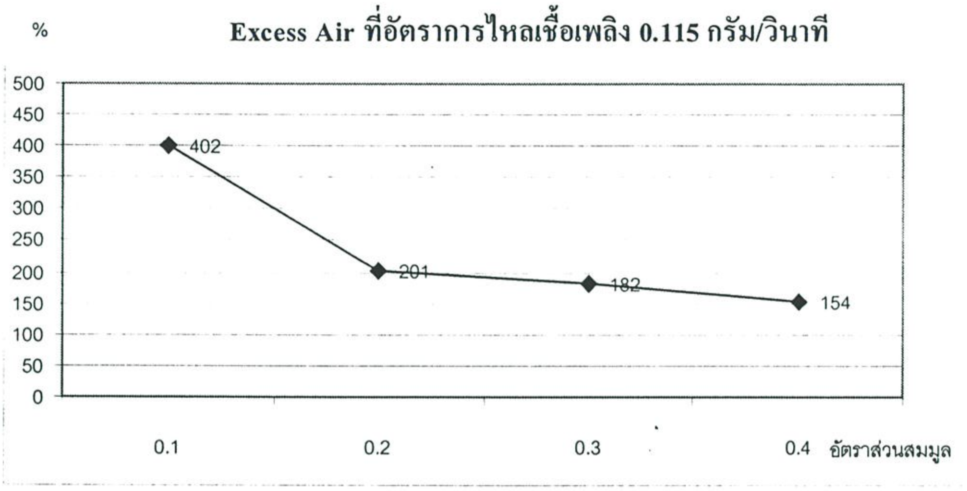


รูปที่ 5.37 แก๊ส O_2 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.333 กรัม/วินาที

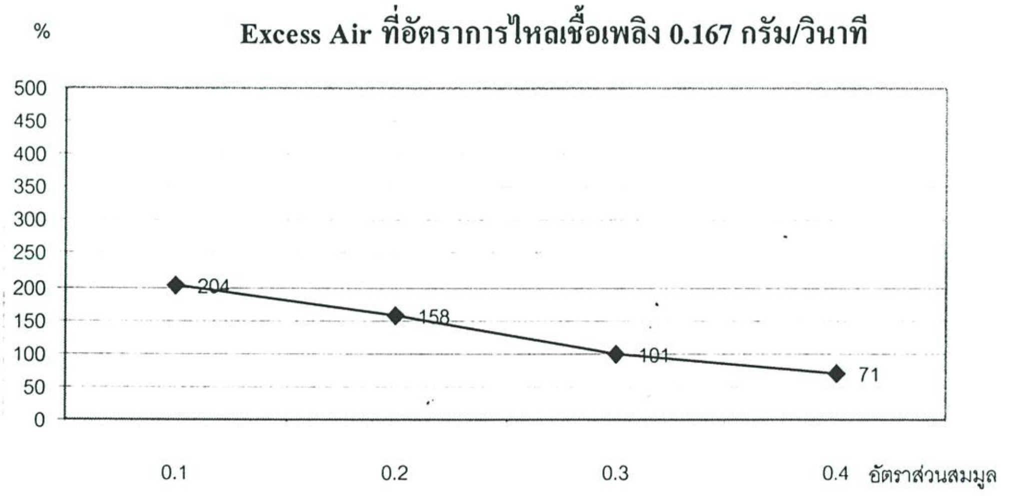
จากรูปที่ 5.34 ถึง 5.37 พบว่าเมื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนสมมูลจะทำให้ปริมาณ O_2 ลดลงซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีเพราะที่อัตราส่วนสมมูลต่ำจะมี O_2 มากจึงทำให้เหลือ O_2 ในไอเสีย

5.8.4 ปริมาณ Excess Air

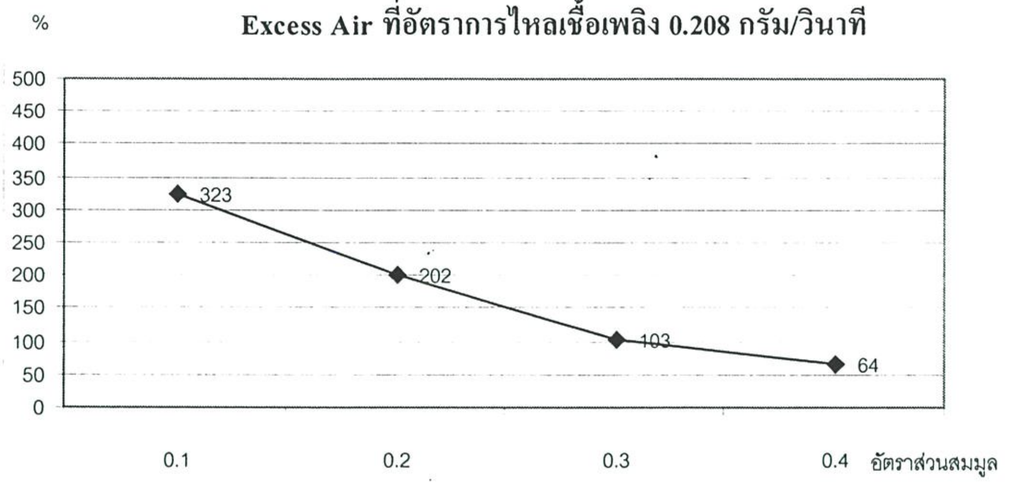
การวัด Excess Air โดยทำการเปลี่ยนปริมาณการไหลของเชื้อเพลิงและค่าอัตราส่วนสมมูลโดยทำการวัดหลายครั้งและหาค่าเฉลี่ย



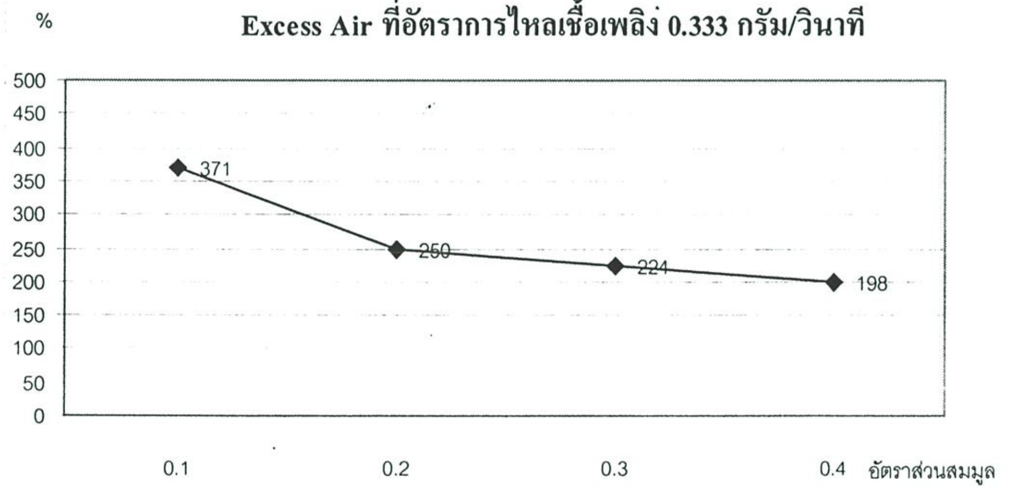
รูปที่ 5.38 Excess Air ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.115 กรัม/วินาที



รูปที่ 5.39 Excess Air ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.167 กรัม/วินาที



รูปที่ 5.40 Excess Air ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.208 กรัม/วินาที



รูปที่ 5.41 Excess Air ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.333 กรัม/วินาที

จากรูปที่ 5.38 ถึง 5.41 พบว่าเมื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนสมมูลจะทำให้ปริมาณอากาศลดลงซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีเพราะที่อัตราส่วนสมมูลต่ำจะมีอากาศมากจึงทำให้เหลืออากาศในไอเสีย

5.9 สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยพบว่าหัวเผาที่ทำการพัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้ทั้งเชื้อเพลิงที่ไม่ผ่านการใช้งานและเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งานแล้วโดยไม่จำเป็นต้องใช้หัวฉีดทำให้เชื้อเพลิงเป็นละอองฝอยก่อนจากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1 ชั้นความหนาของวัสดุพรุนมีผลต่อเสถียรภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเนื่องมาจากถ้าชั้นความหนาของวัสดุพรุนสั้นเกิดไปจะส่งผลให้อัตราการระเหยเป็นไอของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นน้อยเกินกว่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงซึ่งเป็นผลให้ไม่เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องทำให้เปลวไฟดับลงได้ แต่ถ้าชั้นความหนาของวัสดุพรุนหนาเกินไปจะมีผลให้ระยะเวลาในการอุ่นวัสดุพรุนนานขึ้น จากการทดลองพบว่าการเผาไหม้เกิดเสถียรภาพที่ชั้นความหนาของวัสดุพรุนตั้งแต่ 200 มม. ขึ้นไปแต่พบว่ามีละอองของน้ำมันกระเด็นออกมาจากหัวเผาแต่เมื่อเปลี่ยนชั้นความหนาของวัสดุพรุนที่ 300 มม.จากฐานหัวเผาพบว่าไม่มีละอองน้ำมันกระเด็นออกมาจากหัวเผา

2 เมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลของเชื้อเพลิงจะมีผลต่ออุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาโดยที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงสูงจะทำให้อุณหภูมิสูงกว่าที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงต่ำทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียในการเผาไหม้และจากการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงที่ไม่ผ่านการใช้งานอุณหภูมิสูงสุดที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.4 และที่เชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งานแล้วอุณหภูมิเกิดขึ้นสูงสุดที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.4 เช่นเดียวกัน

3 จุดที่มีอุณหภูมิสูงสุดภายในหัวเผาจะเกิดที่ 200 มม.จากฐานหัวเผาทั้งนี้เนื่องมาจากเป็นระยะที่เชื้อเพลิงระเหยเป็นไอและเกิดการเผาไหม้เกิดขึ้นสมบูรณ์ซึ่งอุณหภูมิที่สูงอาจทำลายหัวเผาได้

4 ความยาวของเปลวไฟที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงพบว่าที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงสูงจะทำให้ความยาวเปลวไฟยาวกว่าที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงต่ำทั้งนี้เนื่องจากเกิดการเผาไหม้ภายนอกหัวเผาขึ้น

5 การกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวรัศมีของหัวเผาจะพบว่าอุณหภูมิจะเกิดขึ้นสูงสุดที่แนวกึ่งกลางของหัวเผาและจะค่อยๆลดลงจนถึงผนังของหัวเผา

6 จากการทดลองพบว่าหัวเผาสามารถที่จะทำงานได้ในช่วงอัตราการไหลระหว่าง 0.167 กรัมต่อวินาที จนถึง 0.556 กรัมต่อวินาที เพราะจากการทดลองเพิ่มอัตราการไหลมากกว่า 0.556 กรัมต่อวินาทีจะพบน้ำมันที่ไม่ถูกเผาไหม้เป็นจำนวนมากและทำให้หัวเผาดับลงในที่สุด

7 จากการทดลองจะสามารถนำหัวเผาไปประยุกต์ใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น เครื่องทำความร้อน เครื่องอบกระดาษ และ เตาเผา เป็นต้น

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

ในวิทยานิพนธ์ได้ทำการสร้างหัวเผาแบบวัสดุพรุนโดยใช้เซรามิคที่มีส่วนประกอบหลักประกอบด้วยอลูมิน่าเป็นส่วนประกอบหลักและหัวเผาไม่ใช้หัวฉีดทำให้เชื้อเพลิงเป็นละอองฝอย และทำการศึกษาเชิงทดลองเมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนสมมูล เพื่อทำการศึกษาถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาในแนวแกนและแนวรัศมี ความยาวของเปลวไฟที่เกิดขึ้นรวมทั้งทำการศึกษาถึงชั้นความหนาที่เหมาะสมต่อเสถียรภาพการเผาไหม้ สมรรถนะย่านการทำงานของหัวเผา ในการทดสอบจะให้หัวเผาทำงานที่บรรยากาศโดยใช้มาตรวัดอัตราการไหลเป็นตัวปรับปริมาณอากาศและให้อัตราการไหลของเชื้อเพลิงคงที่ จากการทดลองสามารถที่จะสรุปผลได้ดังนี้

6.1.1 ชั้นความหนาของวัสดุพรุนมีผลต่อเสถียรภาพการเผาไหม้

ชั้นความหนาของวัสดุพรุนมีผลต่อเสถียรภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเนื่องมาจากถ้าชั้นความหนาของวัสดุพรุนสั้นเกิดไปจะส่งผลให้อัตราการระเหยเป็นไอของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นน้อยเกินกว่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงซึ่งเป็นผลให้ไม่เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องทำให้เปลวไฟดับลงได้แต่ถ้าชั้นความหนาของวัสดุพรุนหนาเกินไปจะมีผลให้ระยะเวลาในการอุ่น

จากการทดลองพบว่าที่ระยะ 200 มม.จากฐานหัวเผามีเสถียรภาพของการเผาไหม้แต่มีละอองน้ำมันกระเด็นออกมาจากหัวเผาเนื่องจากระยะเวลาในการเผาไหม้สั้นเกินไป

จากการทดลองเมื่อเปลี่ยนชั้นความหนาของวัสดุพรุนที่ระยะ 250 มม.จากฐานหัวเผาจะเกิดเสถียรภาพของการเผาไหม้และไม่มีละอองน้ำมันกระเด็นออกมาจากหัวเผา

6.1.2 ทำการศึกษาผลกระทบถึงอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงที่ไม่ผ่านการใช้งานที่มีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในหัวเผา

เมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลของเชื้อเพลิงจะมีผลต่ออุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาโดยที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงสูงจะทำให้อุณหภูมิสูงกว่าที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงต่ำทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียในการเผาไหม้

อุณหภูมิเกิดขึ้นสูงสุด 1180 องศาเซลเซียสที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.556 กรัมต่อวินาที ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.4 โดยเกิดที่ระยะ 200 มม.จากฐานหัวเผา

หัวเผาสามารถทำงานได้ในย่านอัตราส่วนตั้งแต่ 0.4 จนถึง 1.4 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.167 กรัมต่อวินาที แต่ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงต่ำกว่า 0.167 กรัมต่อวินาที หัวเผาที่ทำงานอยู่จะดับลง

6.1.3 ทำการศึกษาผลกระทบถึงอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งานที่มีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในหัวเผา

เมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลของเชื้อเพลิงจะมีผลต่ออุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาโดยที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงสูงจะทำให้อุณหภูมิสูงกว่าที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงต่ำทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียในการเผาไหม้

อุณหภูมิเกิดขึ้นสูงสุด 1030 องศาเซลเซียสที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.556 กรัมต่อวินาที ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.4 โดยเกิดที่ระยะ 200 มม.จากฐานหัวเผา

หัวเผาสามารถทำงานได้ในย่านอัตราส่วนตั้งแต่ 0.4 จนถึง 1.4 ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.167 กรัมต่อวินาที แต่ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงต่ำกว่า 0.167 กรัมต่อวินาที หัวเผาที่ทำงานอยู่จะดับลง

6.1.4 ทำการศึกษาถึงความยาวเปลวไฟที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงต่างกันของเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งานแล้วและเชื้อเพลิงใหม่

เมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลของเชื้อเพลิงจะทำให้ความยาวของเปลวไฟต่างกันออกไปคือที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงสูงความยาวของเชื้อเพลิงจะสูงกว่าที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงต่ำทั้งนี้เนื่องมาจากที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงสูงจะเกิดการเผาไหม้ภายนอกของหัวเผาเกิดขึ้น

ความยาวของเปลวไฟสูงสุดเกิดที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.567 กรัมต่อวินาที ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0

6.1.5 ทำการศึกษาถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวรัศมีที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0

การกระจายตัวในแนวรัศมีที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาจะมีค่าสูงสุดที่กึ่งกลางหัวเผาและจะมีค่าลดลงเรื่อยจนถึงผนังหัวเผาจะมีค่าต่ำสุด

การกระจายตัวในแนวรัศมีจะมีค่าต่างกันไม่มากทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติการกระจายความร้อนภายในวัสดุพรุน

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 วัสดุพรุนควรมีคุณสมบัติในการทนความร้อนและดูดกลืนความร้อนได้ดี
วัสดุที่ใช้ทำหัวเผาควรเป็นวัสดุที่ทนความร้อนได้สูง

6.2.2 เทอร์โมคับเปลที่ใช้วัดอุณหภูมิควรมีขนาดเล็กและมีย่านการใช้งานที่เหมาะสมต่อการทดลอง

6.2.3 ปั๊มจ่ายเชื้อเพลิงควรมีอัตราการไหลที่สม่ำเสมอ

6.2.4 วาล์วควบคุมอัตราการไหลของเชื้อเพลิงควรที่จะสามารถปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงได้ละเอียด

6.2.5 ท่อจ่ายเชื้อเพลิงเข้าไปภายในหัวเผาควรทำเป็นเกลียวเพื่อช่วยในการอุ่นน้ำมัน

6.2.6 มาตรวัดอัตราการไหลของอากาศควรมีความละเอียดและความแม่นยำในการวัดทั้งนี้เนื่องจากเป็นผลถึงความแม่นยำถูกต้องในผลการทดลอง

6.2.7 Data Logger ควรที่จะอ่านอุณหภูมิได้หลายจุดพร้อมกันในเวลาเดียวกันเพื่อความถูกต้องในการทำงาน

หนังสืออ้างอิง

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

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

[3] Hsisto and C , Fraid ,Thermodynamic-Fluid and combustion Research Division Vol.3 , 1998,pp 214-247

[4] ศตวรรษ สันติสุรัตน์และคณะ , "การพัฒนาหัวเผาน้ำมันพืชเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรม" , ปริญานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2545

[5] http:/www.fuel.com

[6] อนิรุตต์ มันธุจักร์ และ สำเริง จักรใจ , "การพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบวัสดุพรุนร่วมกับห้องเผาไหม้แบบวัสดุพรุนชนิดใช้เชื้อเพลิงเหลวโดยไม่มีการแตกตัวเป็นฝอยละออง" , การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16,2546

[7] M.Cossalopov ,Field of Application of the porous Media Burner concept 1997 ,pp14-57

[8] D.Trimis,Basic Principle of the Porous Media Technology Vol.2 ,1995 ,pp141-161

[9] สนธยา มีเลียง , "การพัฒนาและการศึกษาสมรรถนะของหัวเผาน้ำมันมะพร้าว" ,วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,2544

[10] Howell ,JR.,Hall ,M.J.and Ellzey ,J.L.,1996, "Combustion of Hydrocabon Fuel within Porous Iner Mrdia ," Progress in Energy Combustion Science ,Vol 22 pp.121-145

[11] ชานนท์ ชื่นจิตร์ , "การศึกษาเชิงทดลองอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประสิทธิภาพสูง" , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2544

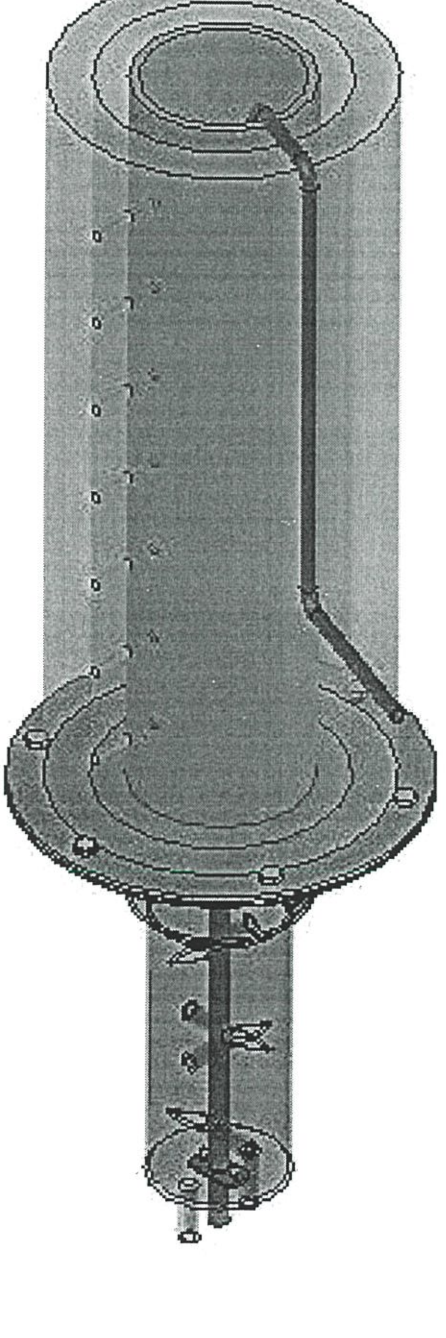
[12] Frank P.Incropera and David P.DeWill , "Introduction to Heat Transfer" ,Wiley ,Third Edition

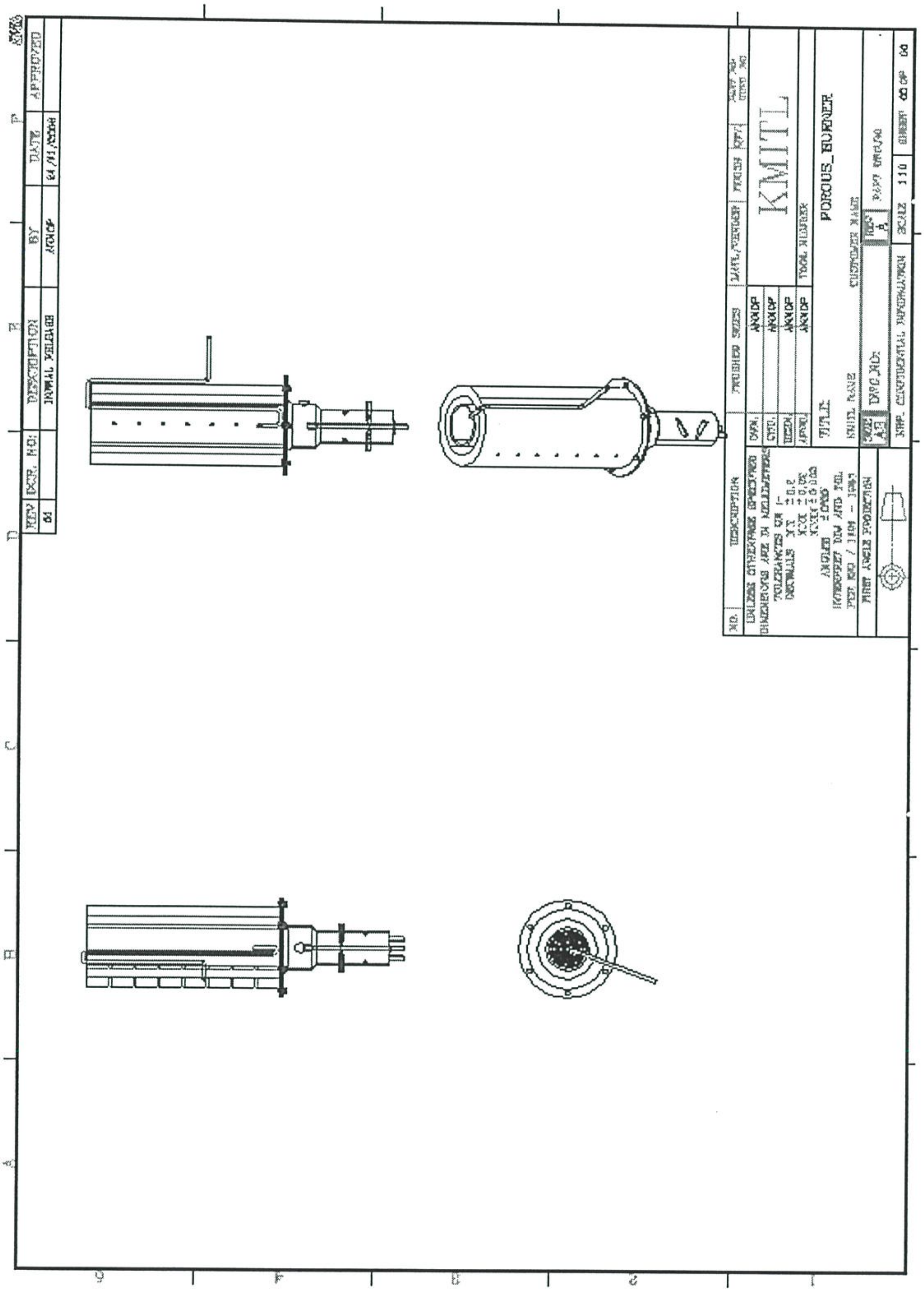
[13] Stephen R.Turns ,"An Introduction to combustion Concept and Application",Mc Graw-Hill,1996

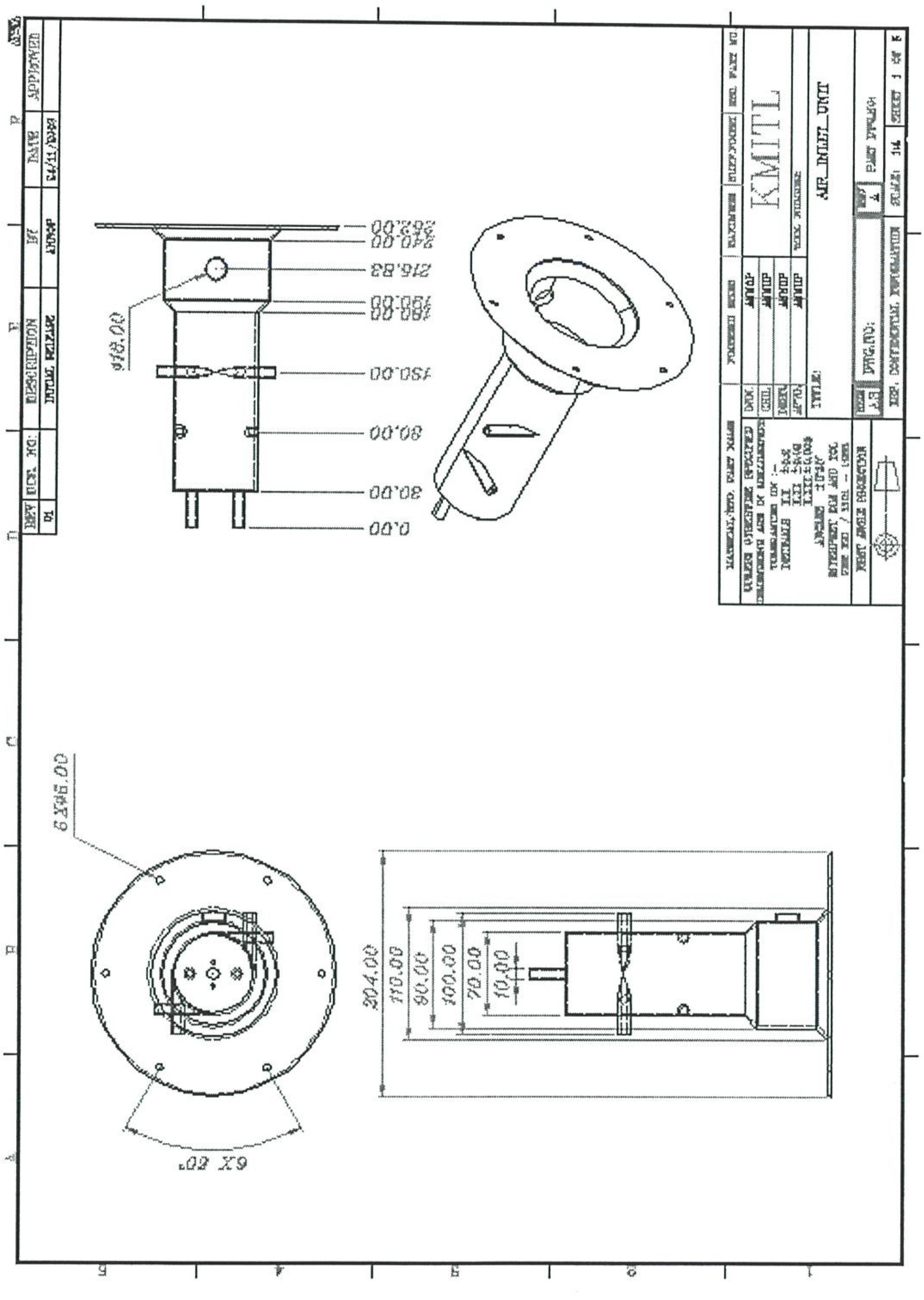
[14] David R.Lide , "CRC Handbook of Chemistry and Physics" CRC Press

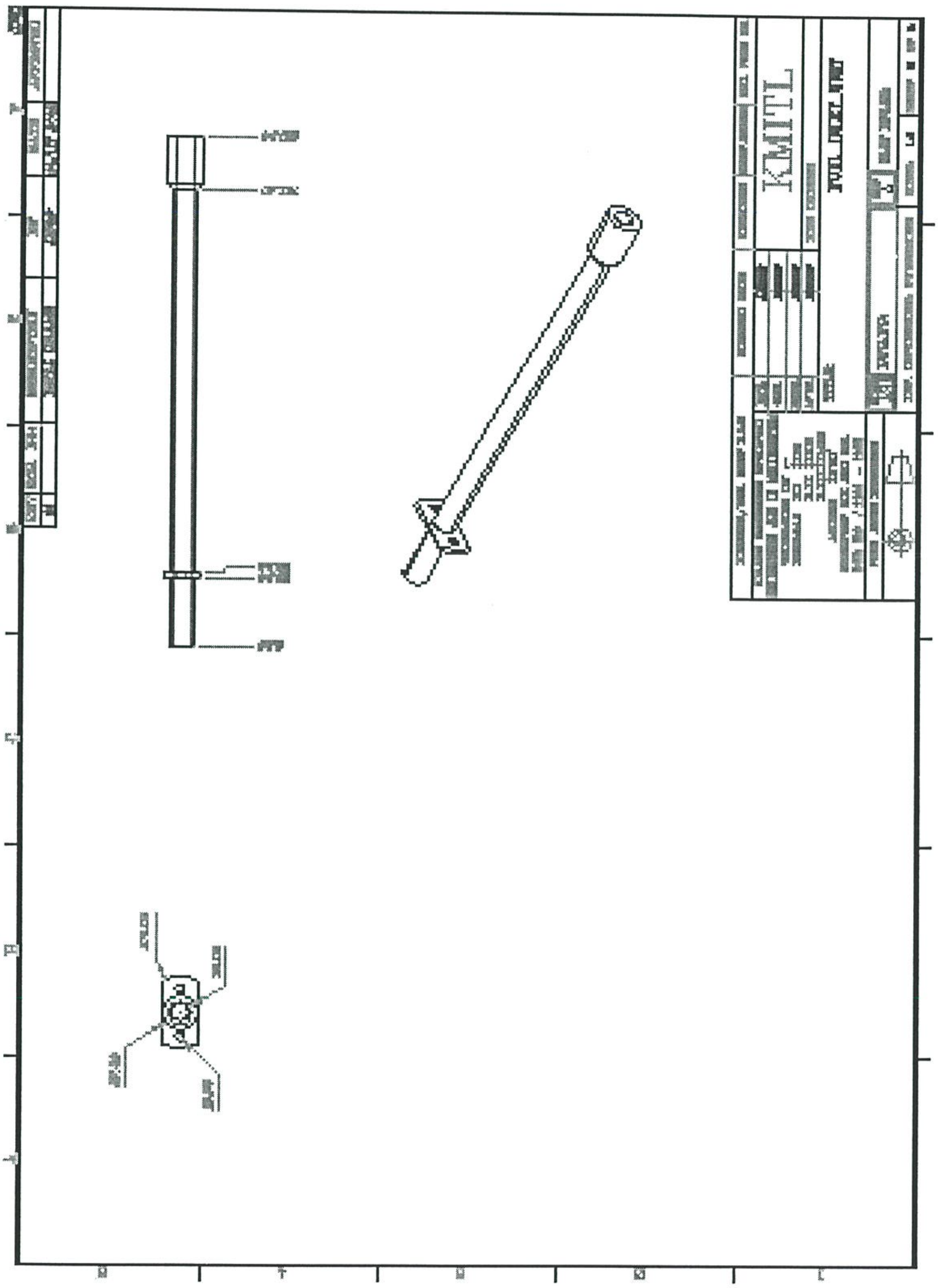
ภาคผนวก ก.

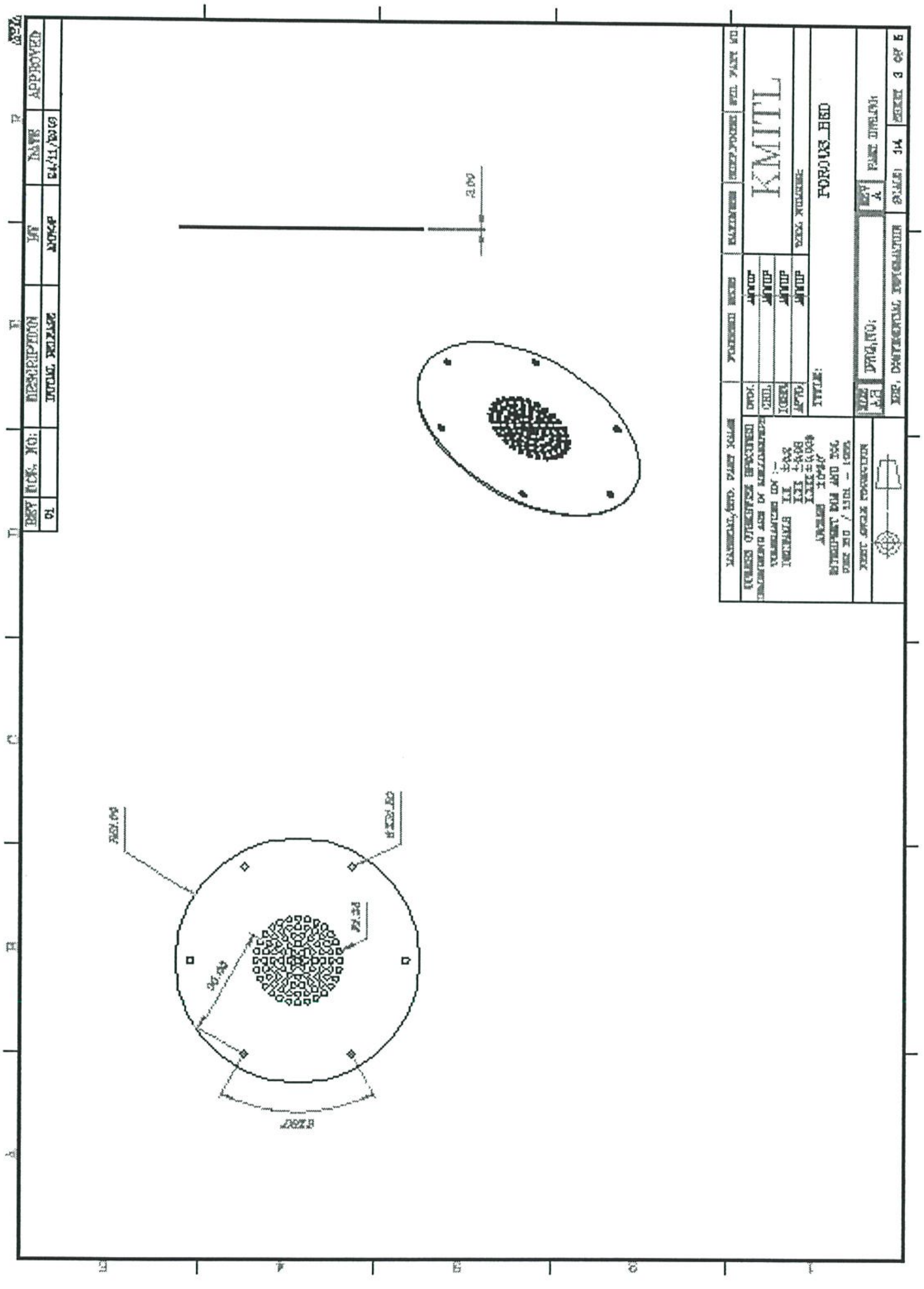
แบบหัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุน

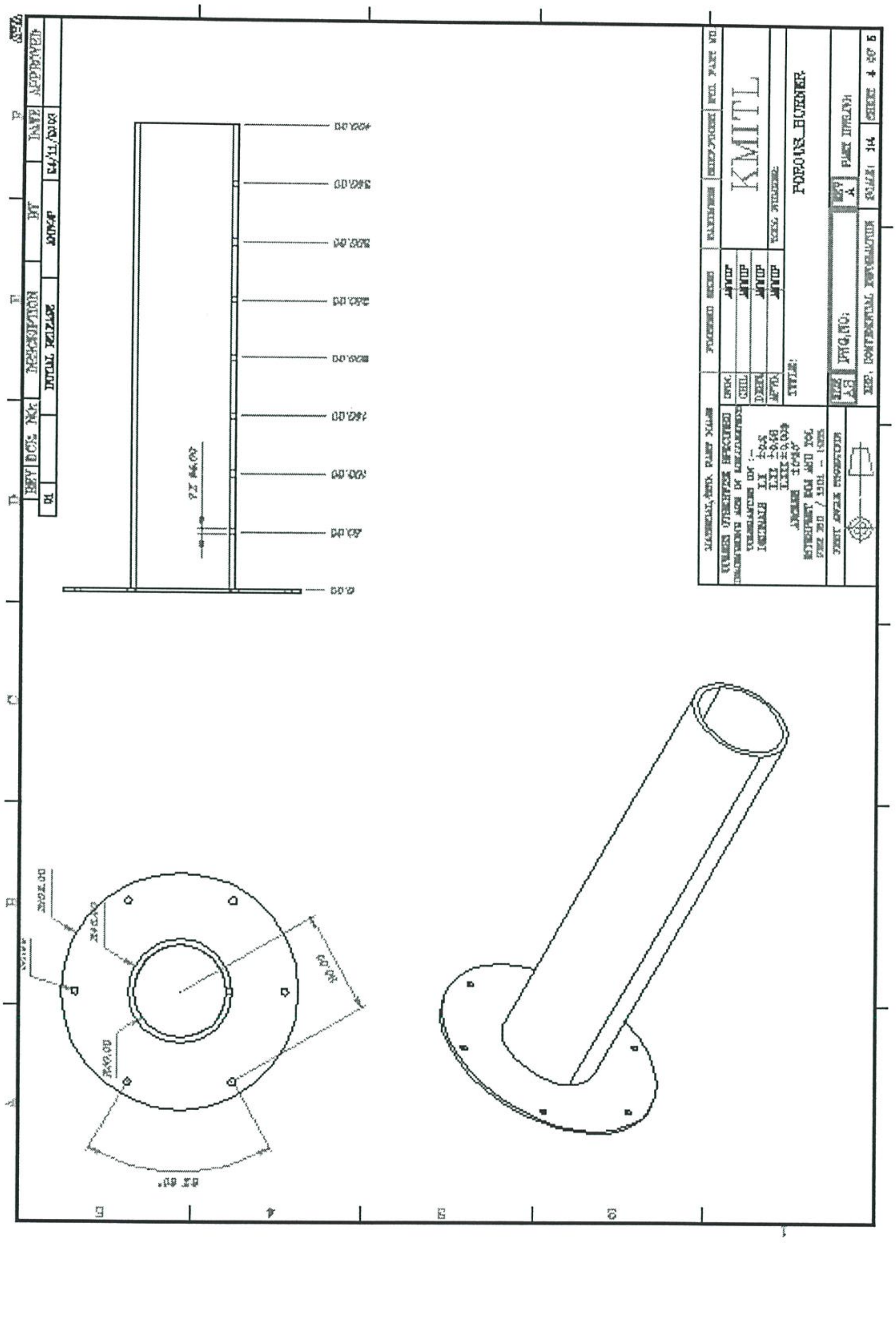


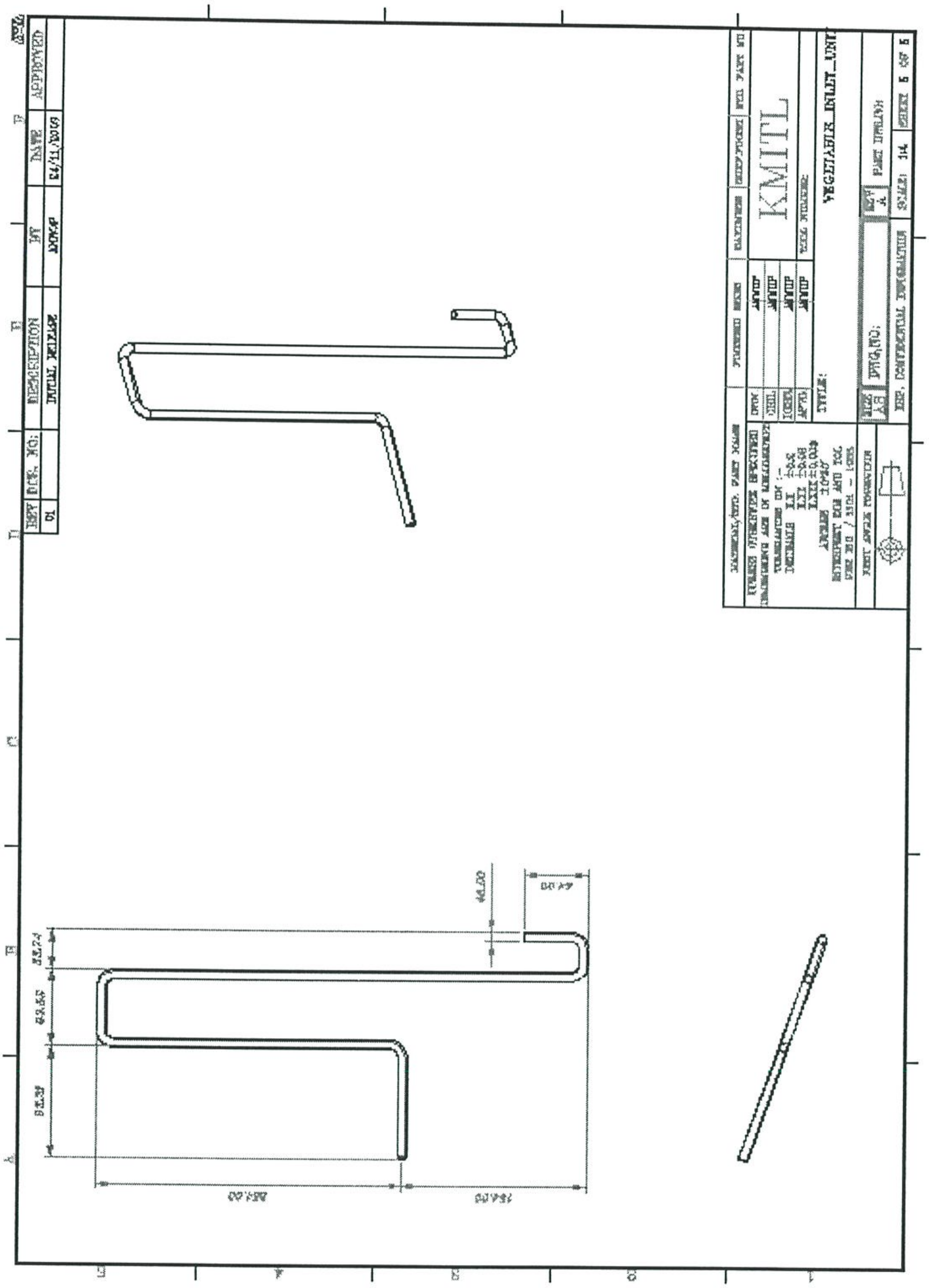

KMITL
POROUS_BURNER

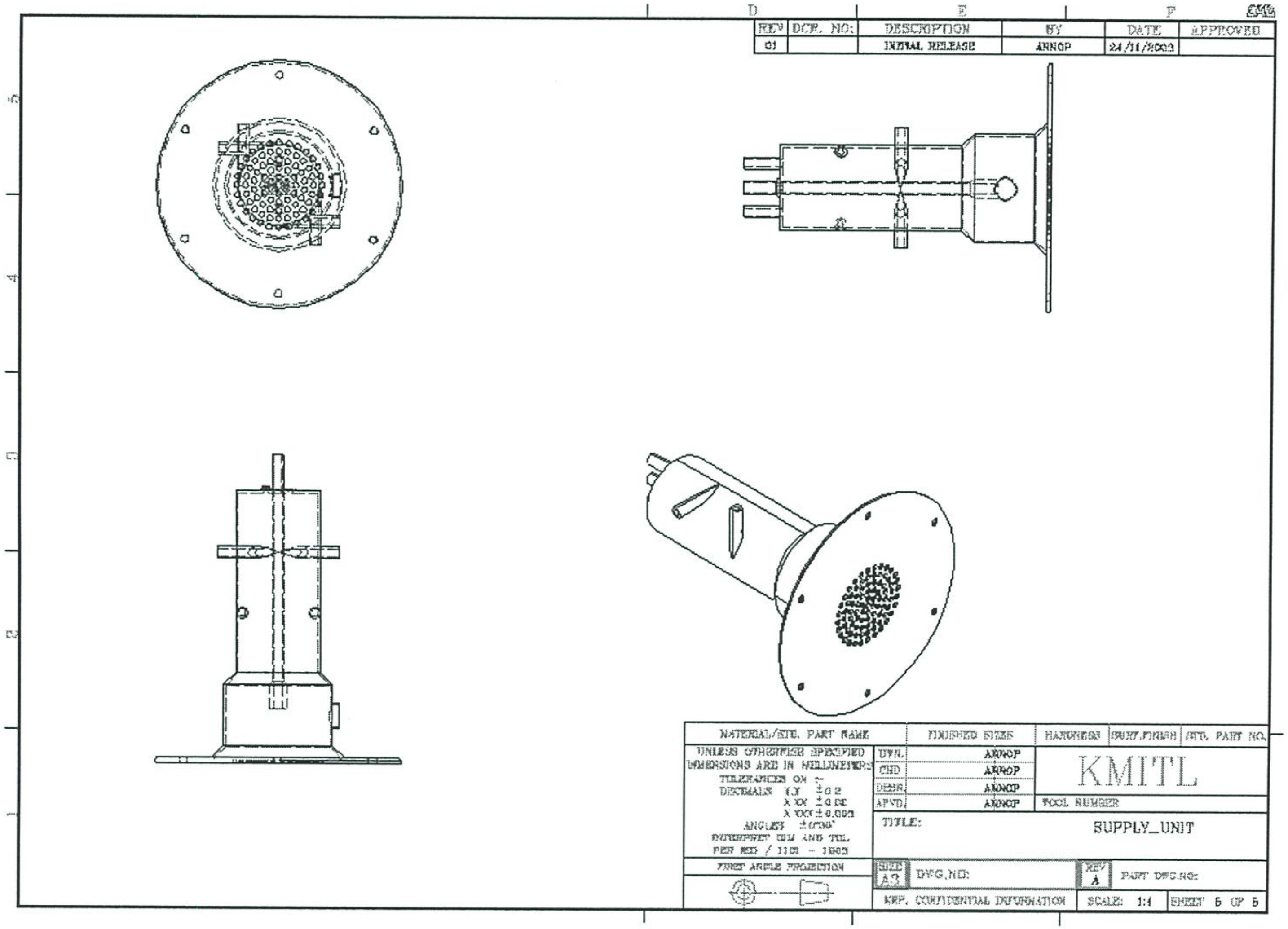

KMITL
AIR_INLET_UNIT

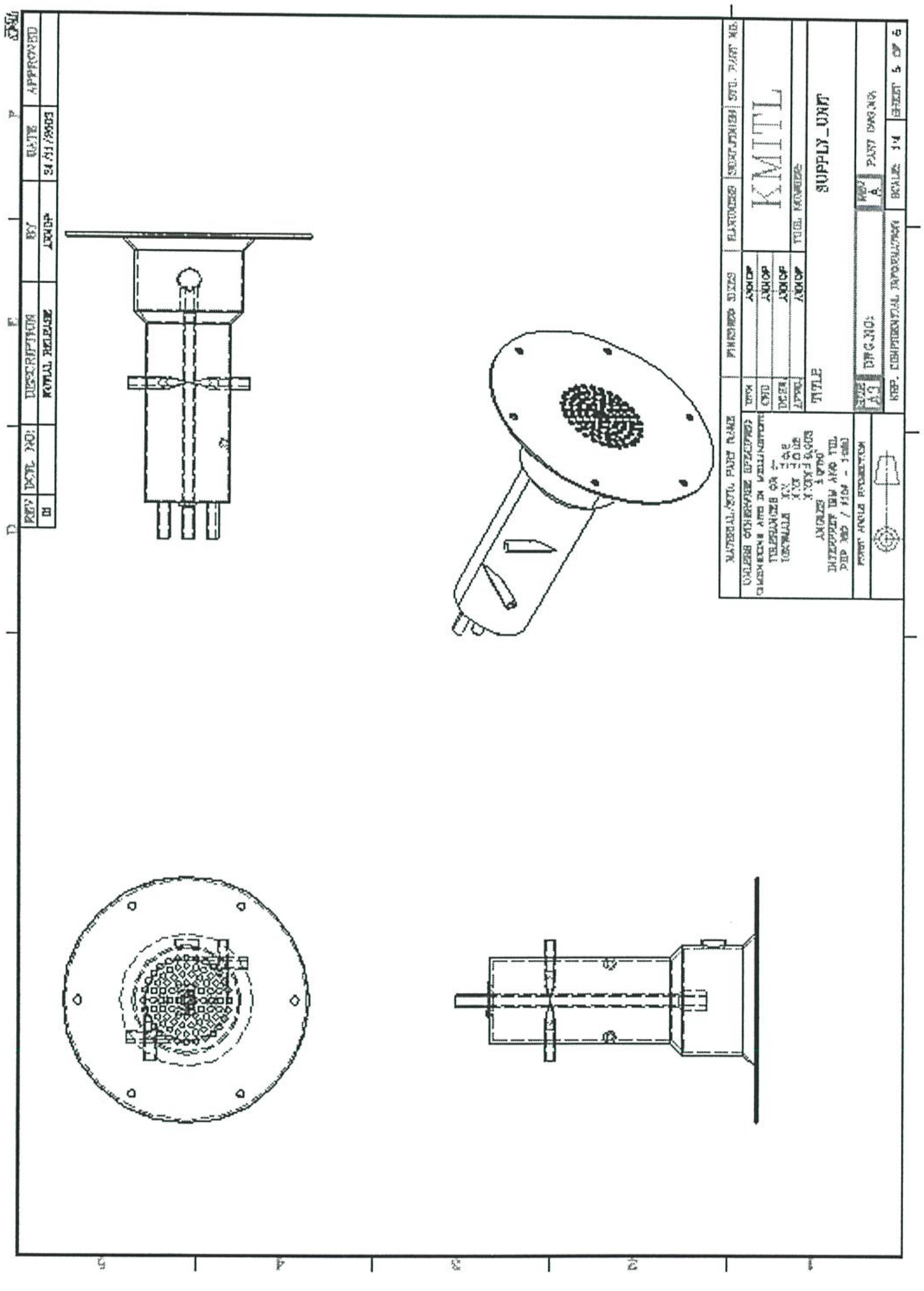

KMITL

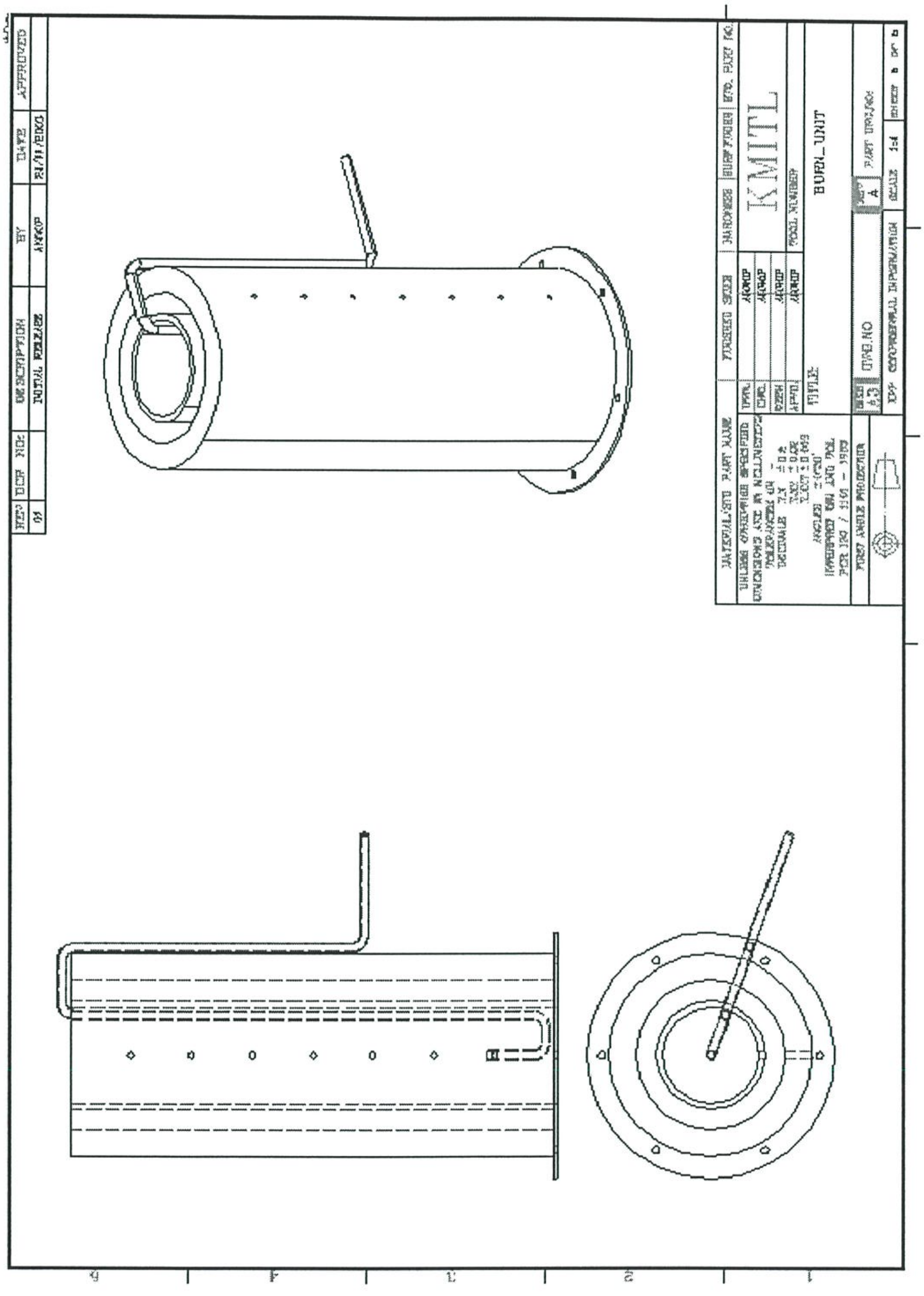

KMITL
POROUS_BED

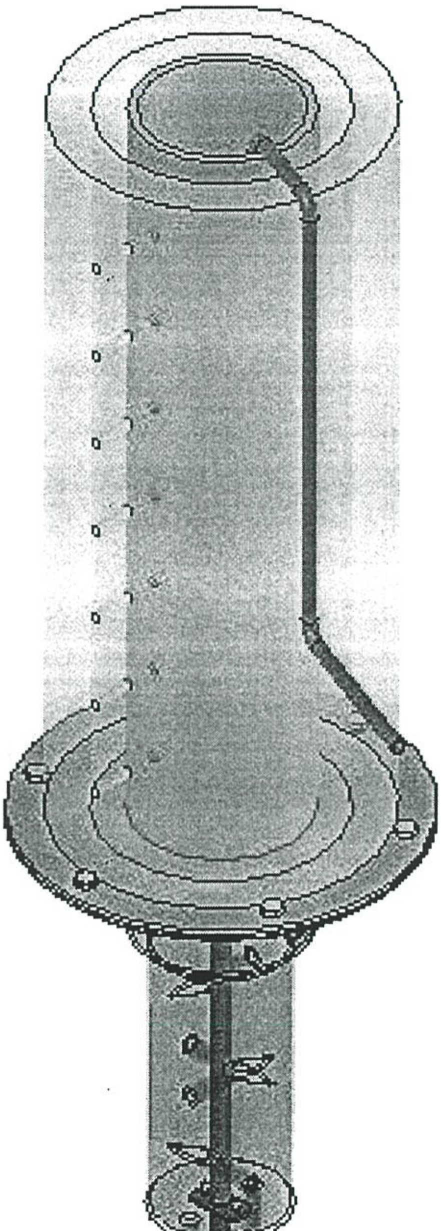

KMITL
POROUS_BURNER
INITIAL RELEASE
DESCRIPTION
APPROVED


KMITL


REV
DCR. NO:
DESCRIPTION
BY
DATE
APPROVED
01
INITIAL RELEASE
ARNOP
24/11/2003
MATERIAL/STD. PART NAME
FINISHED SIZES
HARDNESS
SURF.FINISH
STD. PART NO.
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
FIRST ANGLE PROJECTION
DWN.
CHD
DESN.
APVD.
KMITL
TOOL NUMBER
TITLE:
SUPPLY_UNIT
DWG.NO:
PART DWG.NO:
SHEET 5 OF 5


KMITL
SUPPLY_UNIT

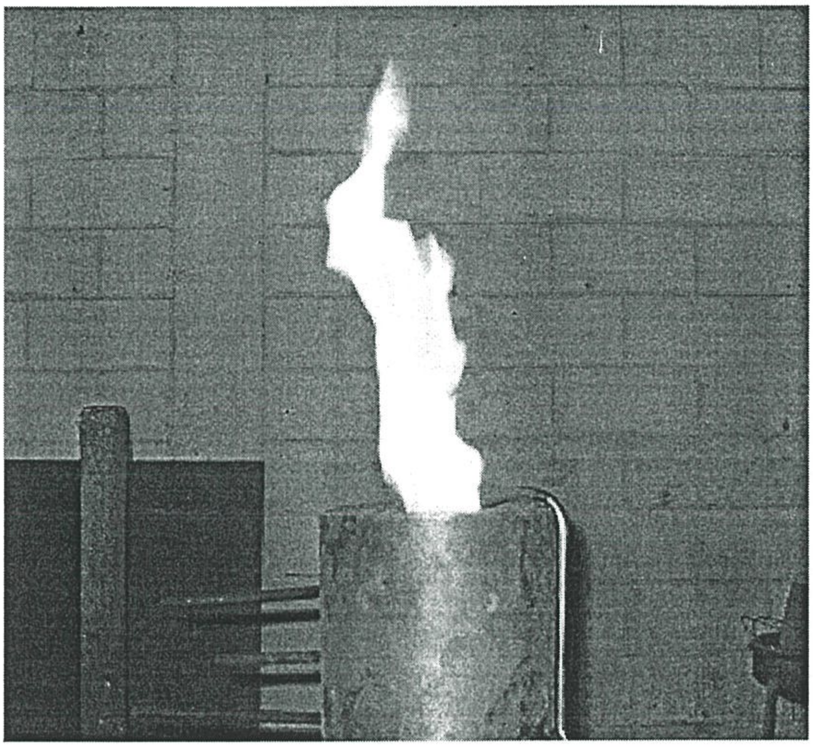

DESCRIPTION
INITIAL RELEASE
BY
DATE
APPROVED
KMITL
TITLE
BURN_UNIT
DWG.NO
A3
SCALE 1:4
FIRST ANGLE PROJECTION



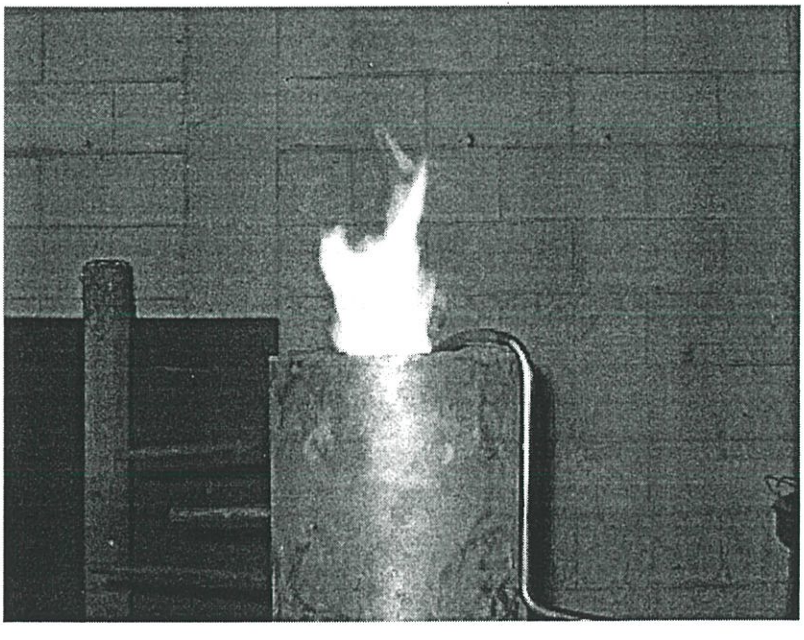
ภาคผนวก ข

รูปเปลวไฟที่อัตราการไหลต่างๆ

อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.167 กรัม/วินาที

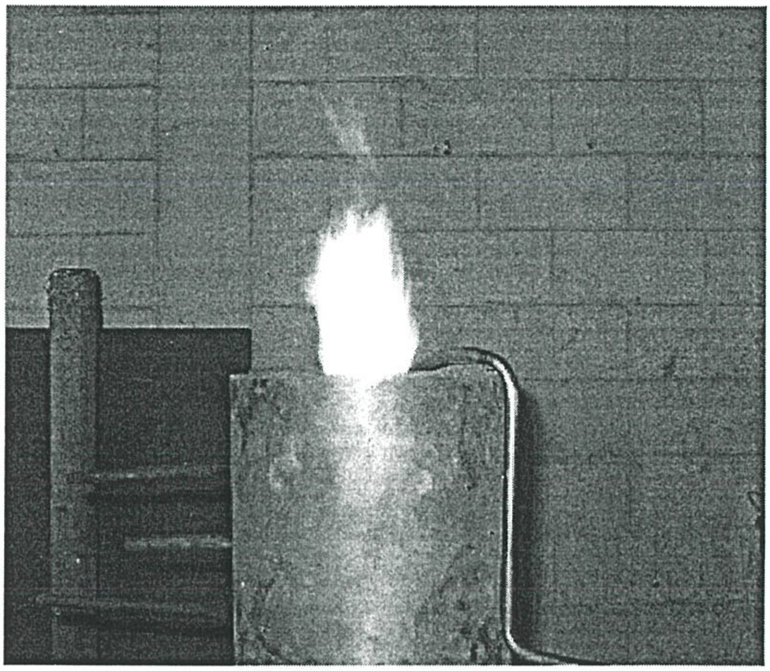


รูปที่ ข.1 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.167 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 1.0

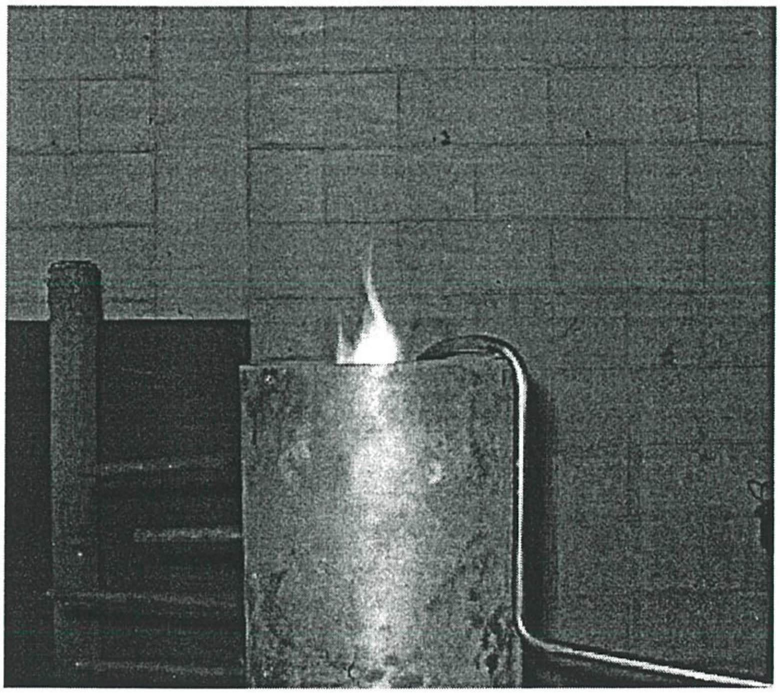


รูปที่ ข.2 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.167 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.8

รูปที่ ข.2 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.167 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.8



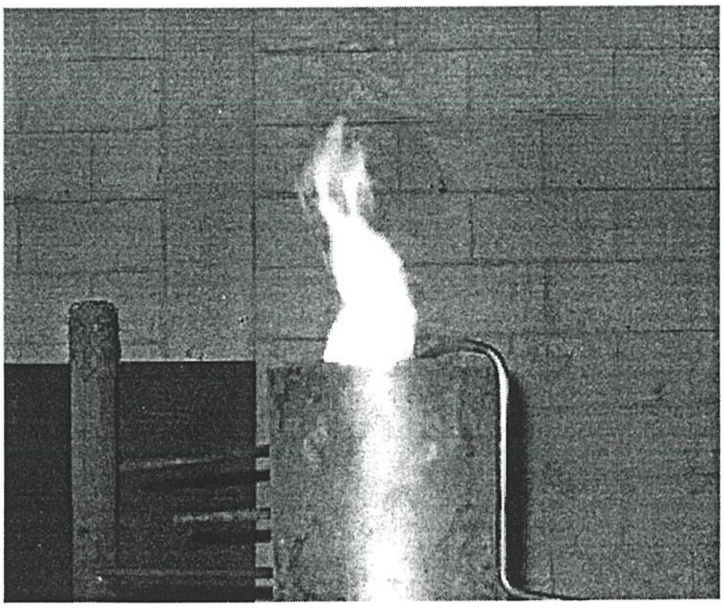
รูปที่ ข.3 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.167 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.6



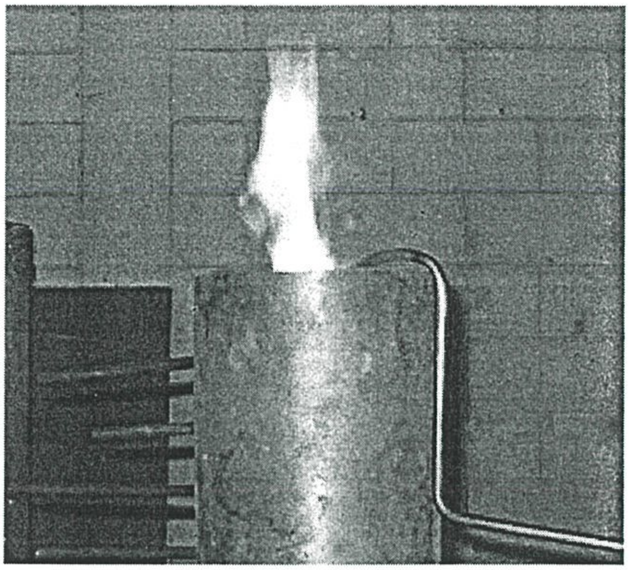
รูปที่ ข.4 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.167 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.4

อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.208 กรัม/วินาที

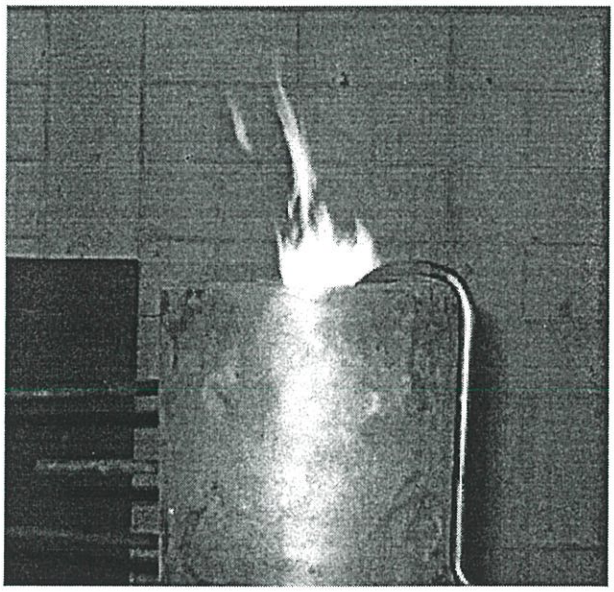
รูปที่ ข.5 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.208 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 1.2



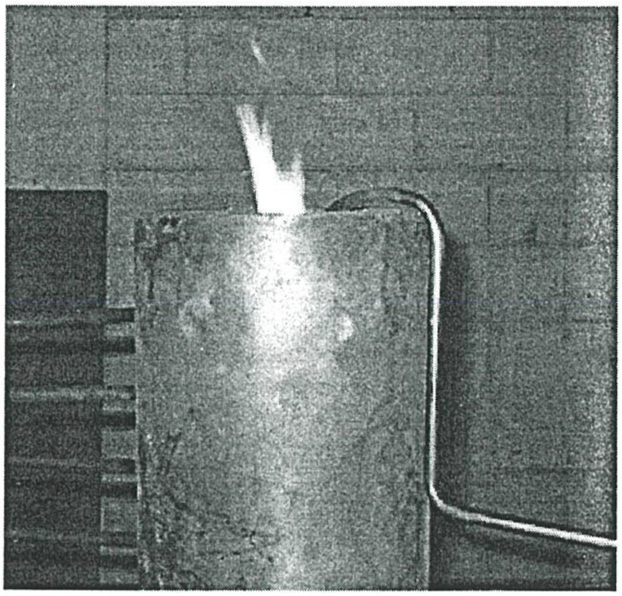
รูปที่ ข.6 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.208 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 1.0



รูปที่ ข.7 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.208 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.8

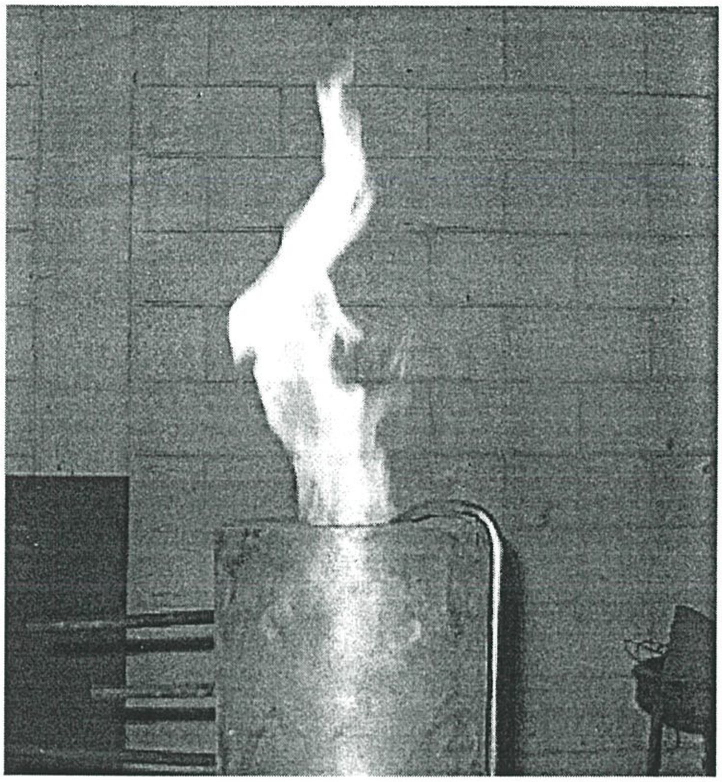


รูปที่ ข.8 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.208 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.6

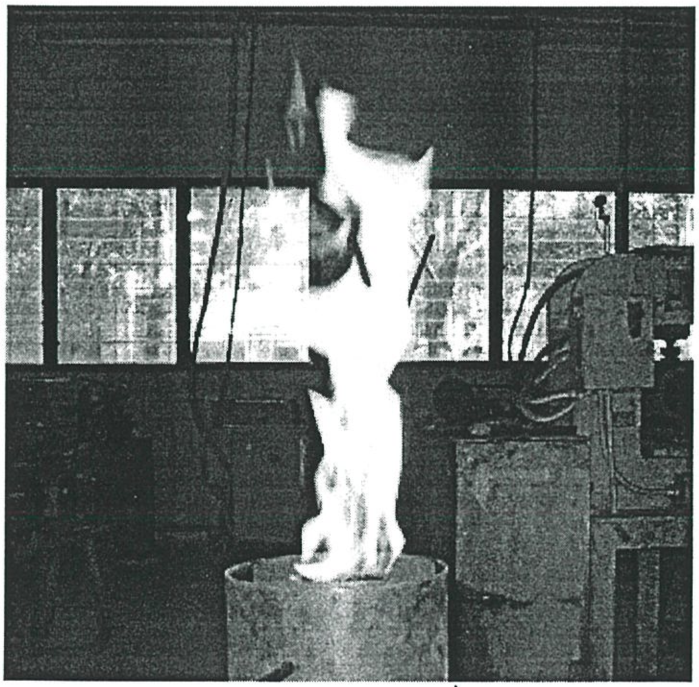


รูปที่ ข.9 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.208 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.4

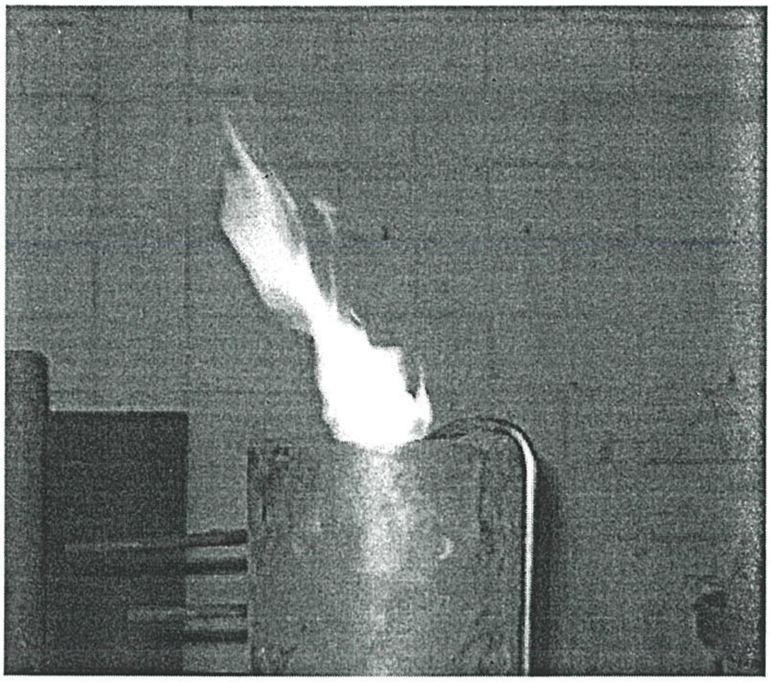
อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.333 กรัม/วินาที



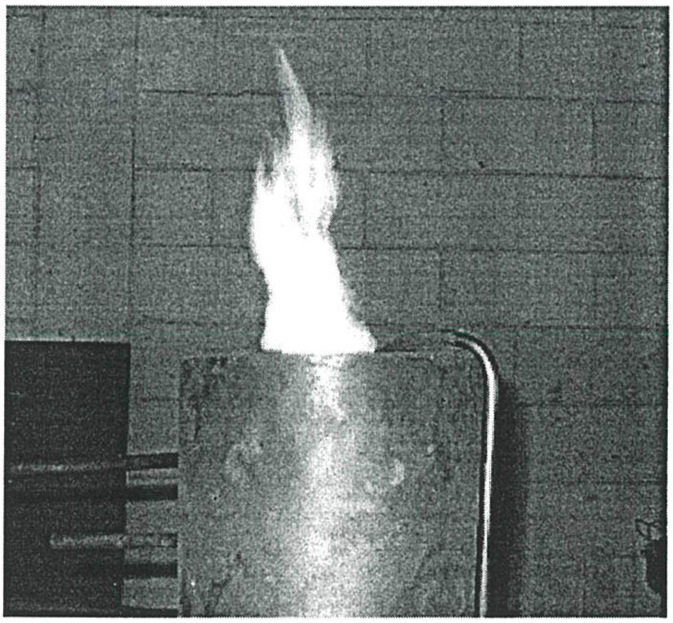
รูปที่ ข.10 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.333 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 1.2



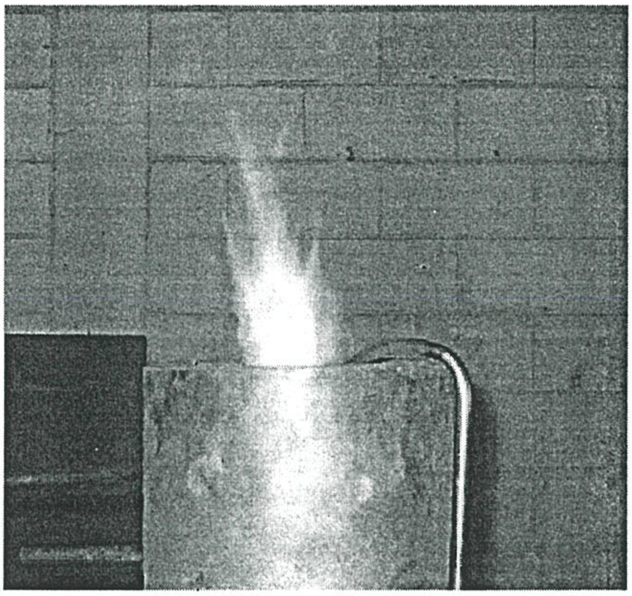
รูปที่ ข.11 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.333 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 1.0



รูปที่ ข.12 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.333 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.8

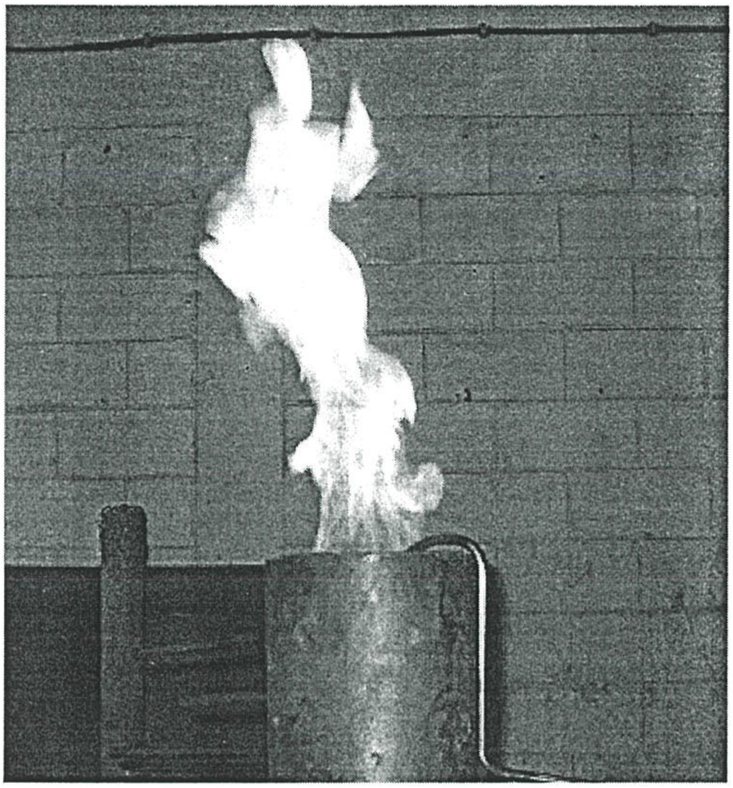


รูปที่ ข.13 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.333 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.6

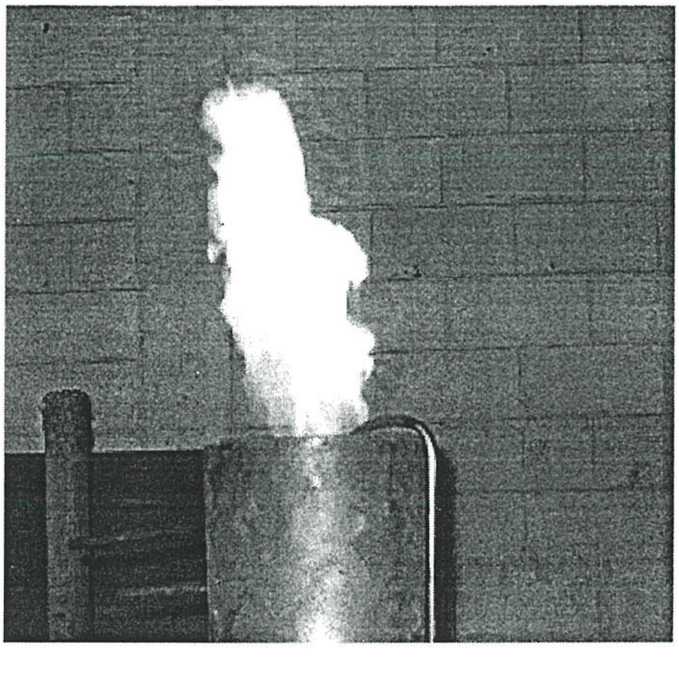


รูปที่ ข.14 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.333 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.4

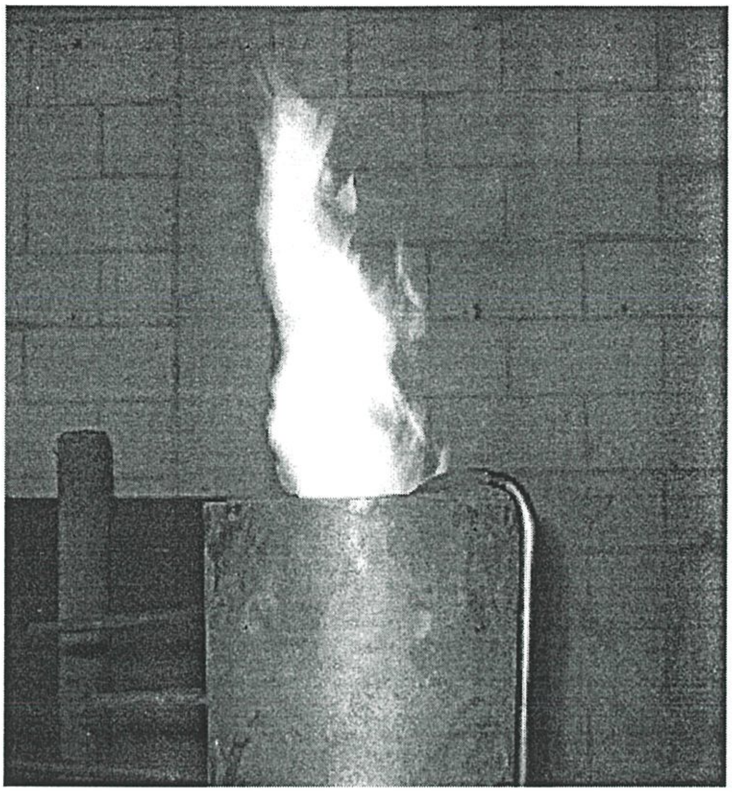
อัตราการไหลเชื้อเพลิง 0.556 กรัม/วินาที



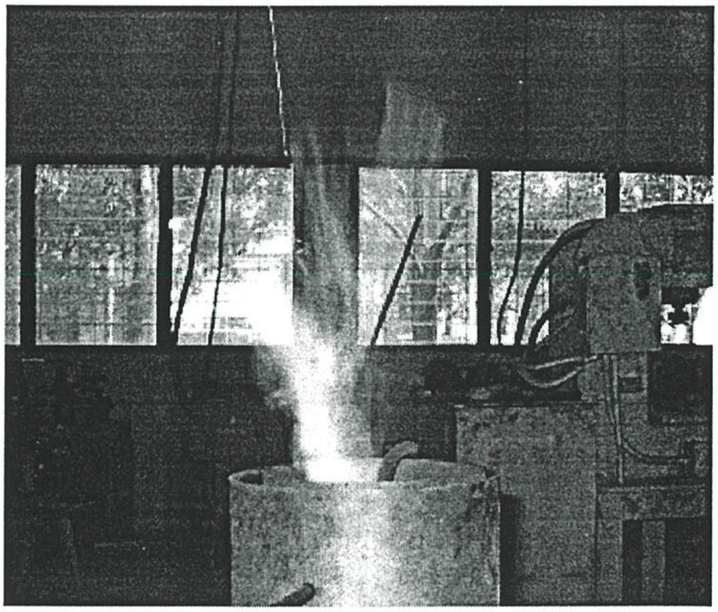
รูปที่ ข.15 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.556 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 1.2



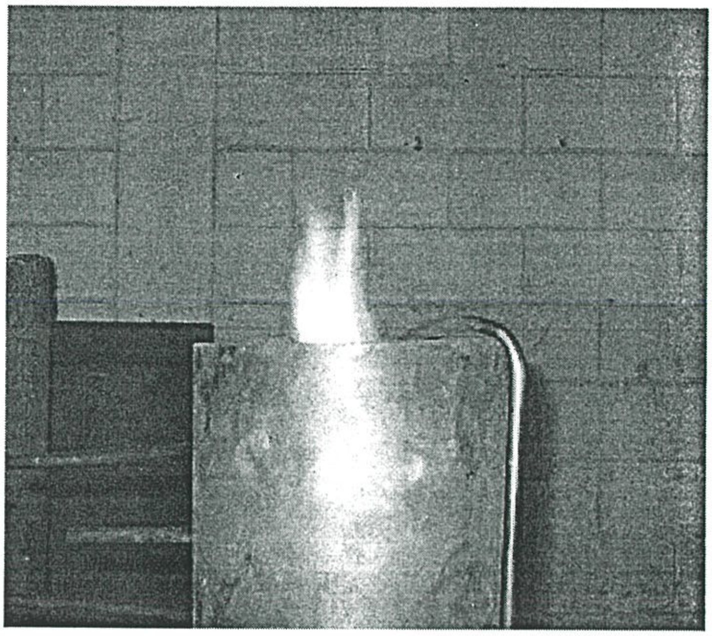
รูปที่ ข.16 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.556 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 1.0



รูปที่ ข.18 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.556 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.8



รูปที่ ข.19 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.556 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.6



รูปที่ ข.20 รูปเปลวไฟที่อัตราการไหล 0.556 กรัม/วินาที อัตราส่วนสมมูล 0.4

ภาคผนวก ค

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

ลาดกระบัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 มิถุนายน 2546

1. วงจรไดเร็คบูสแตรปซีมอสชมิทท์ทริกเกอร์ความเร็วสูง — 1
คำผอง คงสมบูรณ์ สุกัญญา แพรสมบูรณ์ สุรพล บุญจันทร์ กอบชัย เดชหาญ

2. วงจรบูตสแตรปไบซีมอสไดนามิคส์ความเร็วสูงและแกว่งได้เต็มย่าน — 7
ทวิช ชูเมือง กอบชัย เดชหาญ กิตติภัทร์ ภู่ระหงษ์ สุรพล บุญจันทร์

3. วงจรคูณสัญญาณแบบ 4 ควอดแรนท์ใช้แหล่งจ่าย 1.5 โวลท์ — 13
มนตรี คำเงิน กอบชัย เดชหาญ พันทิพย์ภา บุญสมพงษ์ สุรพล บุญจันทร์

4. การออกแบบและสร้างตัวกรองเชิงเลขแบบ Notch โดยปรับปรุงอัลกอริทึมการวาง Pole-Zero — 17
สุรพันธ์ ยิ้มมั่น วิธรพงศ์ หินจิตร์ สมพงษ์ จองสถาพร ฟูศักดิ์ ชีวสุวิทย์ ชูสิทธิ์ ประดับเพชร์

5. การหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของซินเฟตแบบพลานาร์ — 23
กุลนาถ ทีปประพันธ์มณี สุรศักดิ์ เนียมเจริญ

6. การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยและโครงข่ายประสาทชนิด Probabilistic สำหรับระบุตำแหน่งฟอลต์ในสายส่ง — 29
อรรถพล เง่าพิทักษ์กุล คุลี บรรจงจิตร

7. การประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตและโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับแบ่งประเภทฟอลต์ในสายส่งวงจรเดี่ยว — 35
อรรถพล เง่าพิทักษ์กุล คุลี บรรจงจิตร

8. การใช้คอมพิวเตอร์ประเมินค่าพิกัดแสงจ้าแยงตาของไฟสนามกีฬาภายนอกอาคาร (สนามเทนนิส) — 41
นวลวรรณ จิรวิวัฒนา จงรักษ์ บุญเส็ง

9. การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณค่าความเข้มแสงแต่ละจุดบนพื้นสนามกีฬาภายนอกอาคาร (สนามเทนนิส) — 47
นวลวรรณ จิรวิวัฒนา จงรักษ์ บุญเส็ง

10. การเลือกสายไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่าย 22 เควีของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค — 53
ทรงวุฒิ พรพันธ์เดชวิทยา สมชาติ จิรวิภากร

11. การศึกษาเครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติระบบหัวฉีดประจำสูบ — 59
สมศักดิ์ เพ็ชร์กุล จินดา เจริญพรพาณิชย์

12. การประยุกต์ใช้หัวเผาน้ำมันพืชโดยใช้วัสดุพรุน — 65
จารุวัตร เจริญสุข อรรณพ ผาบเพ็ง

13. การวิเคราะห์ผลกระทบของค่าครึ่งมุมของแม่พิมพ์ในกระบวนการดึงขึ้นรูปเส้นลวดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ — 71
อดิศักดิ์ ชมมิ สมชัย นรเศรษฐ์โศภน

14. การศึกษาลักษณะสนามการไหลเชิงตัวเลขของลำเจ็ทคู่ขนาน — 76
ปรีดา บัวสาตร์ ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ สมิทธ์ เอี่ยมสอาด

15. การสอบเทียบกล้องสเตริโอร่วมกับ Epipolar Rectification — 82
ธีรวัฒน์ เทพมณี เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์

16. การสืบค้นข้อมูลแบบเป็นลำดับชั้นในพื้นที่ที่สนใจและการทำดัชนีสำหรับระบบค้นคืนข้อมูลรูปภาพ — 88
ทา บุนทัน อรฉัตร จิตต์โสภักตร์ สมศักดิ์ มิตะถา

17. อัลกอริธึมสร้างเส้นทางแบบคำนึงถึงคุณภาพของการให้บริการที่มีความสามารถในการตอบสนองต่อความผิดพลาดของการกำหนดเส้นทาง — 94
สมพร กันทะวงศ์ มยุรี เลิศเวชกุล ประกิจ ตังติสานนท์

การประยุกต์ใช้หัวเผาน้ำมันพืชโดยใช้วัสดุพรุน

Application Porous Burner with vegetable Fuel

จารุวัตร เจริญสุข อรรณพ ผาบเพ็ง

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบสร้างหัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุนเพื่อใช้ในเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตรยาว 300 มิลลิเมตรบรรจุวัสดุพรุนมีส่วนประกอบหลักเป็นแกรนิตซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 10 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถหาได้ง่ายการออกแบบไม่จำเป็นที่จะใช้หัวฉีดเชื้อเพลิงให้เป็นละอองเนื่องมาจากคุณสมบัติของวัสดุพรุนที่ช่วยส่งเสริมการระเหยตัวของเชื้อเพลิงจึงสามารถนำหัวเผาชนิดนี้ไปประยุกต์ใช้กับเชื้อเพลิงที่มีสิ่งปนเปลื้อนหรือเชื้อเพลิงที่ผ่านการใช้งานมาแล้วได้ โดยมีอากาศไหลเข้าทางด้านล่างและทำการปรับอัตราส่วนสมมูล Φ เท่ากับ 0.6,0.8,1.0 และ 1.2 เทียบกับการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่างๆของหัวเผา จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการกระจายตัวในแนวรัศมีภายในหัวเผาจะค่อนค้างที่จะสม่ำเสมอ และอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 1310 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0 ที่ตำแหน่ง 150 มม.จากฐานของหัวเผา

Abstract

This article presents the constructive design of vegetable porous burner for propose of industrial usage .This burner has cylindrical shape with diameter 90 mm.and 300 mm. length, filled with porous materials mainly composed of granite (round shape witch average 10 mm. diameter) and don't have spay atomizer so we can use this burner in low calorific fuel or recycle fuel .The burner will let the air flow through its bottom.Comparions were made between the temperature distribution to various locations, the burner will level equivalent ratio to 0.6,0.8,1.0 and 1.2 accordingly.From the study, the result showed that the temperature is distributed at every cross section along the burner axis.The heighest temperature is at 1310 C at equivalent ratio 1.0 around 150 mm. from the burner base.

1.บทนำ

ปัจจุบันปัญหาเศรษฐกิจตกต่ำได้ส่งผลกระทบให้ทุกประเทศมีการแข่งขันทางด้านต่างๆมากขึ้นเพื่อความอยู่รอดของประเทศ สิ่งสำคัญคือการลดต้นทุนการผลิตและการใช้พลังงานให้คุ้มค่าเพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่จำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด และจำเป็นต้องคำนึงถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงมากขึ้นทุกขณะ จึงเกิดแนวความคิดที่จะหาวิธีการใหม่ที่จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและปลดปล่อยมลภาวะออกสู่บรรยากาศน้อยที่สุด จึงมีผู้หันมาใช้เชื้อเพลิงที่ได้จากการเกษตรมาใช้มากขึ้นเนื่องมาจากสามารถที่จะสร้างขึ้นมาทดแทนได้แต่เชื้อเพลิงที่ได้จากการเกษตรส่วนใหญ่มักจะมีค่าความร้อนต่ำ จึงนำเทคนิคที่ได้รับความสนใจอยู่ในปัจจุบันคือการใช้วัสดุพรุนในการเผาไหม้มาประยุกต์ใช้งาน การเผาไหม้เชื้อเพลิงในวัสดุพรุนมีลักษณะเด่นกล่าวคือ วัสดุพรุนเป็นได้ทั้งตัวรับความร้อนและตัวแผ่รังสีความร้อน ระบบการเผาไหม้เมื่อให้ไอดีที่มีความร้อนต่ำไหลผ่านเข้าไปในวัสดุพรุนที่ดูดกลืนความร้อนส่วนหนึ่งไว้จะก่อให้เกิดการอุ่นไอดีโดยวัสดุพรุนทำให้ไอดีมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อให้เกิดการหมุนเวียนพลังงานในระบบและไม่จำเป็นที่จะต้องใช้หัวฉีดเชื้อเพลิงเพราะการเผาไหม้ในวัสดุพรุนจะช่วยส่งเสริมการระเหยตัวของเชื้อเพลิงอันเนื่องมาจากคุณลักษณะของการหมุนเวียนความร้อนจากการเผาไหม้และเชื้อเพลิงที่ใช้ไม่จำเป็นที่มีสิ่งเจือปนได้

2.ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 คุณสมบัติน้ำมันพืช

ส่วนประกอบของน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทำการทดลองจะประกอบไปด้วย Lauric acid 0.35 % Stearic acid 4.23% Palmitic acid 42.21 % Oleic acid 42.53 % Linoleic acid 10.68 % ซึ่งน้ำมันปาล์มจะเกิดควันที่อุณหภูมิ 196 องศาเซลเซียส และจุดติดไฟที่อุณหภูมิ 318 องศาเซลเซียส เหตุผลที่เลือกน้ำมันปาล์มมาทำการทดสอบเนื่องจากหาได้ง่ายและราคาถูก

2.2 ทฤษฎีการเผาไหม้

การเผาไหม้คือปฏิกริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับเชื้อเพลิง ซึ่งประกอบไปด้วยสารประกอบ 3 ตัวคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถันสำหรับปฏิกริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + 3.28 \quad \text{MJ/kg}$$

$$2H_2 + O_2 \rightarrow H_2O + 142.1 \quad \text{MJ/kg}$$

ซึ่งเป็นปฏิกริยาคายความร้อน โดยปลดปล่อยความร้อนออกมาประมาณ 32.8 MJ/kg ของคาร์บอน และ 142.1 MJ/kg ของไฮโดรเจนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต้องอาศัยปัจจัยต่างๆเช่น เวลาในการเผาไหม้ต้องเพียงพอเพื่อให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ได้หมด อุณหภูมิต้องสูงพอให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง การผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงควรอยู่ในลักษณะของการผสมอย่างปั่นป่วน

องค์ประกอบที่ใช้วิเคราะห์การเผาไหม้เพื่อที่ใช้ทดสอบช่วงการทำงานของหัวเผา แสดงได้จากค่าอัตราส่วนสมมูลเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้จริงต่อทางทฤษฎี ซึ่งสามารถหาได้ตามสมการ

$$\Phi = \frac{(m_a / m_f)_{stoic}}{(m_a / m_f)_{act}} \qquad (1)$$

เมื่อ m_a คือ อัตราการไหลของอากาศ (kg/s)

m_f คือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (kg/s)

โดยที่ $\Phi < 1.0$ คือ อัตราส่วนผสมบาง (Lean)

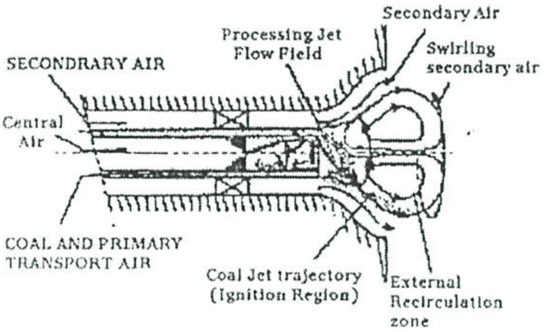
$\Phi = 1.0$ คือ อัตราส่วนผสมพอดี (Stoichiometric)

$\Phi > 1.0$ คือ อัตราส่วนผสมหนา (Rich)

2.3 ประเภทขอหัวเผา

2.3.1 หัวเผาเชื้อเพลิงแข็ง

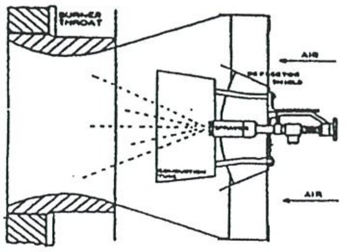
เป็นหัวเผาที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหินในการเผาไหม้โดยการพ่นถ่านหินผ่านช่องทางด้านข้างอากาศที่มีความเร็วสูงไหลผ่านบริเวณแกนกลางหัวฉีดไปปะทะแผ่นกั้นด้านปลายทำให้อากาศเกิดการหมุนวนและผสมกับถ่านหินที่ปลายหัวเผา โดยที่อากาศที่ผ่านช่องทางด้านในช่วยในการเผาไหม้



รูปที่ 1 หัวเผาเชื้อเพลิงของแข็ง

2.3.2 หัวเผาเชื้อเพลิงเหลว

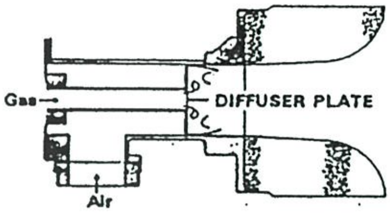
เป็นหัวเผาที่ใช้น้ำมันหรือเชื้อเพลิงเหลวอย่างอื่นในการเผาไหม้โดยฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูงเป็นละอองผสมกับอากาศที่ผ่านแผ่นกั้นทำให้เกิดการหมุนวนไปผสมกับเชื้อเพลิง



รูปที่ 2 หัวเผาเชื้อเพลิงเหลว

2.3.3หัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ

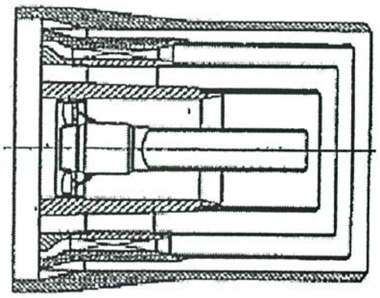
เป็นหัวเผาที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซในการเผาไหม้ก๊าซจะไหลผ่านช่องกลางหัวเผา ช่วงปลายที่ก๊าซออกความเร็วจะลดลงและมีการหมุนวน ทำให้ผสมกับอากาศที่มาจากด้านข้างได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 3 หัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ

2.3.4 หัวเผาเชื้อเพลิงร่วม

เป็นหัวเผาที่ใช้เชื้อเพลิงหลายประเภทในการทำงาน จุดติดโดยก๊าซและเปลี่ยนเชื้อเพลิงในการทำงานได้เช่น ผงถ่านหิน น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา น้ำมันพืช

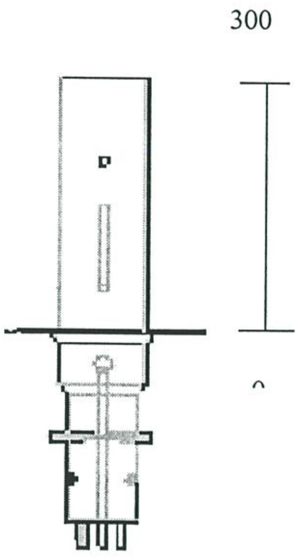


รูปที่ 4 หัวเผาเชื้อเพลิงร่วม

2.4 หัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุน

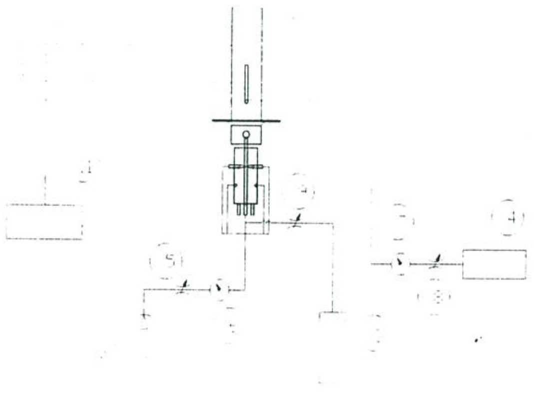
หัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุนมีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตรบรรจุวัสดุพรุนมีส่วนประกอบหลักเป็นแกรนิตซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 10 มิลลิเมตรติดอยู่กับ Air

supply port ทางด้านล่างของหัวเผา ซึ่งมีชุดอุ่นวัสดุพรุนด้วยก๊าซรวมอยู่ด้วย



รูปที่ 5 หัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุน

2.5 ชุดทดลองการทำงานของหัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุน



(1) Porous Burner

(2) Air Compressor

(3) Gas Supply

(4) Fuel Supply Tank

(5) Valve control flow rate air

(6) LPG Flow rate Indicator

(7) Vegetable Flow rate Indicator

(8) Valve control flow rate fuel

(9)Valve control flow rate LPG

(10)Thermocouple

(11)Temp Indicator

(12)Fuel tube

3 วิธีการทดลอง

3.1 ทดสอบเวลาการอุ่นวัสดุพรุนกับปริมาณวัสดุพรุนที่ใส่ลงในหัวเผา

1. ทำการบรรจุวัสดุพรุนลงในหัวเผาที่ระยะ 50 มม.จากฐานหัวเผา
2. ติดตั้ง Thermo Couple ที่ระยะ 50 มม. โดยผนังของหัวเผาเจาะเป็นรูไว้สำหรับเสียบ Thermo Couple
3. ทำการอุ่นวัสดุพรุนโดยใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซแอลพีจี
4. ทำการอ่านค่าของอุณหภูมิที่ Temp indicator
5. ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนความหนาของวัสดุพรุนที่ 100 150 200 250 300 มม. ตามลำดับ

3.2 ทดสอบอัตราส่วนสมมูลกับการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวแกนและแนวรัศมี

1. บรรจุวัสดุพรุนลงในหัวเผาจนวัสดุพรุนมีความสูง 300 มม.จากฐานหัวเผาและทำการอุ่นหัวเผาโดยใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซแอลพีจีจนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาประมาณ 500 อาศาเซลเซียสเพื่อให้ถึง Ignition Temperature ของน้ำมันพืชที่ใช้ในการทดสอบและทำการหยุดจ่ายก๊าซแอลพีจี
2. ทำการปรับอัตราการไหลของอากาศและอัตราการป้อนเชื้อเพลิงให้ได้อัตราส่วนสมมูลที่ 0.6 วัดความร้อนที่ได้จาก Thermocouple ที่ติดตั้งไว้ห่างจากหน้าแปลนยึดหัวเผาที่ระยะ 50 มิลลิเมตร อ่าน

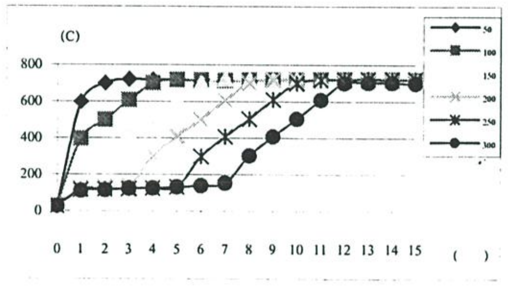
อุณหภูมิที่ระยะ 0 ,10,20,30,40 มิลลิเมตร (จากกึ่งกลางของเตา) ตามลำดับ

3. เปลี่ยนตำแหน่งวัดอุณหภูมิที่ระยะ 100,150,200,250 มม.และอ่านอุณหภูมิในแนวรัศมีตามข้อ 2
4. เปลี่ยนค่าอัตราส่วนสมมูลที่ 0.8,1.0,1.2 และทำการทดลองตามข้อ 2 และ 3

4.ผลการทดลอง

4.1 ระยะเวลาการอุ่นวัสดุพรุนกับปริมาณวัสดุพรุนที่ใส่ลงในหัวเผา

รูปที่ 6 แสดงระยะเวลาในการอุ่นวัสดุพรุนเมื่อวัสดุเมื่อเปลี่ยนปริมาณวัสดุพรุ่นที่ใส่ลงในหัวเผาโดยทำการใส่ในความสูง 50,100,150,200,250 และ 300 มม.

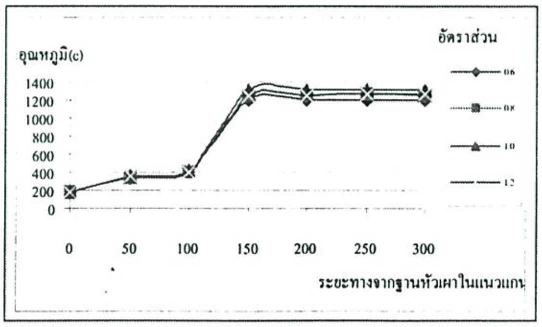


รูปที่ 6 เวลาการอุ่นวัสดุพรุนกับอุณหภูมิ

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิตั้งต้นของอากาศที่เข้ามายังหัวเผาจะมีอุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส และในช่วงเวลา 0 ถึง 1 นาที่อุณหภูมิที่วัดได้จะมีค่าสูงกว่า 100 องศาเซลเซียสเนื่องมาจากความร้อนจากไอเสียของการเผาไหม้ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มชั้นความหนาของวัสดุพรุนจะใช้เวลาในการอุ่นวัสดุพรุนมากขึ้นเนื่องมาจากการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซเอลพีจี ให้กับวัสดุพรุนที่หนาขึ้นต้องใช้เวลาในการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น จากรูปจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิสุดท้ายในการอุ่นวัสดุพรุนจะอยู่ที่ประมาณ 700 องศาเซลเซียสทุกการทดลองทำการเปลี่ยนชั้นความหนาของวัสดุพรุน

4.2 อัตราส่วนสมมูลกับการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวแกน

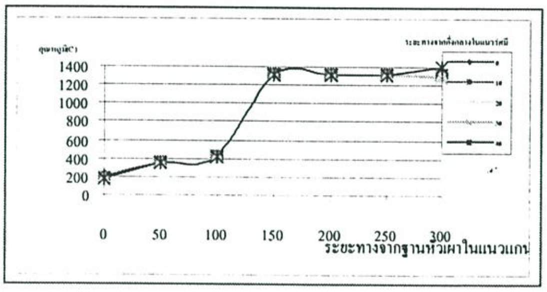
จากรูปที่ 7 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาเมื่อเปลี่ยนค่าอัตราส่วนสมมูลที่ค่า 0.6,0.8,1.0 และ 1.2 ซึ่งวัดในแนวกึ่งกลางของหัวเผาซึ่งทำการวัดที่ตำแหน่ง 0,50,100,150,200,250,300 มม.ในแนวแกนของหัวเผา จากรูปแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นสูงสุดที่ 1310 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0 ซึ่งเกิดที่ระยะ 150 มม.จากฐานหัวเผาซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดการเผาไหม้ได้สมบูรณ์ ที่ตำแหน่ง 0 ถึง 100 มม.อุณหภูมิทางเข้าของอากาศจะมีค่าประมาณ 180 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นตำแหน่งที่วัสดุพรุนทำหน้าที่คายความร้อนให้กับอากาศที่เข้ามาสู่หัวเผาที่ระยะ 50 มม.ถึง 100 มม.ความชันของกราฟจะมีความชันลดลงซึ่งเป็นผลมาจากวัสดุพรุนต้องสูญเสียความร้อนในการทำให้เชื้อเพลิงเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซ และอุณหภูมิจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วที่ตำแหน่ง 150 มม.ซึ่งเป็นตำแหน่งที่น้ำมันพืชเริ่มเกิดการเผาไหม้และอุณหภูมิจะเริ่มลดลงที่ตำแหน่ง 300 มม.ซึ่งอยู่บริเวณทางออกของไอเสียซึ่งมีอิทธิผลของสภาวะแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง



รูปที่ 7 การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนสมมูลที่ 0.6,0.8,1.0 และ1.2

4.3 การกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวรัศมีที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0

จากรูปที่ 8 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวรัศมีที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0 โดยที การวัดที่ตำแหน่ง 0,50,100,150,200,250 และ 300 มม.จากฐานของหัวเผาซึ่งการวัดในแนวรัศมีจะทำ ก า ร วั ด ที่ ตํ า แ ห น่ ง 0 (กึ่งกลางของหัวเผา),10,20,30,40 มม.จากรูปแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในแนวรัศมีในตำแหน่งต่างๆภายในหัวเผาค่อนค้างที่จะใกล้เคียงกันมาก



รูปที่ 8 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0 ในแนวรัศมี

5.สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาจะเกิดขึ้นค่อนข้างจะสม่ำเสมอและอุณหภูมิสูงสุด 1310 องศาเซลเซียสจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 150 มม.จากฐานของหัวเผาที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0 และการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวรัศมีจะเกิดขึ้นใกล้เคียงกันมาก จากการทดลองพบว่าชั้นความหนาของวัสดุพรุนมีผลต่อระยะเวลาในการอุ่นอากาศแต่เมื่อทำการทดลองฉีดน้ำมันพืชเข้าไปในชั้นความหนาของวัสดุพรุนที่สั้นพบว่าเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์คือเกิดหยดของน้ำมันพืชกระเด็นออกมาจากหัวเผาแต่เมื่อทำการเพิ่มความหนาของชั้นวัสดุพรุนขึ้นเรื่อยๆพบว่าละอองหยดน้ำมันพืชเกิดขึ้นน้อยลงเรื่อยๆจนถึงระยะที่ 300 มม.จากฐานของหัวเผาจะไม่เกิดหยดน้ำมันพืชกระเด็นออกมาจากหัวเผา การทดลองนี้สามารถที่จะเกิดการเผาไหม้ขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องทำสเปรย์ละอองของเชื้อเพลิงจึงสามารถที่จะนำไปใช้กับเชื้อเพลิงที่มีสิ่งปนเปลือนอยู่ได้ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าสามารถที่จะประยุกต์ใช้หัวเผาน้ำมันพืชแบบวัสดุพรุนในทางอุตสาหกรรมได้เนื่องจากสามารถทำอุณหภูมิได้สูงและเมื่อเกิดการเผาไหม้จะไม่มีเขม่าควันเกิดขึ้นจากการทดลองพบว่าเมื่อเกิดการเผาไหม้ยังมีกลิ่นน้ำมันจากการเผาไหม้ออกมา

6.เอกสารอ้างอิง

[1] Weinberg,F.,1996, “Heat-Recalculating Burner:Principles and Some Recent Devolopments” Combustion Science and Technology,Vol 121 ,pp.3-22.

[2] Hanamura,K.,Echigo,R.and Zhdanok ,S.A.1993, “Superadiabatic Combustion in porous media” ,International Journal Heat and mass transfer ,Vol .36 ,No.13,pp. 3201-3209

[3] Hoffmann,J.G.,Echigo,R.,Yoshida,H.and tada S.,1997, “Experimental Study on combustion in porous media with a Reciprocating Flow system”,Combustion and flame,pp. 181-195

[4] S.Jugjai ,Experimental study on cyclic flow reversal combustion in porous media ,combustion science and thecnology ,Vol.193,pp. 245-260 ,2001

[5] www.doa-vegetoil.com

[6] Stephen R.Turn “An Introduction to combustion concept and application” ,2nd McGraw-Hill International Edition

[7] www.combustionscience.com

[8] Felix J.Weinberg F.R.S. “Advance Combustion Method”, Academic Press

[9] Marc David Rumminger “Numerical and Experimental Investigation of Heat Transfer and Pollutant Formation in porous Direct-Fired Radiation Burner” , Doctor of Philosophy Thesis University of California Berkeley

[10] กัญจนา บุณยเกียรติ "เชื้อเพลิง และ การเผาไหม้" , สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นาย อรรณพ ผาบเพ็ง
วัน เดือน ปีเกิด	16 เมษายน 2519
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ประสบการณ์การทำงาน	
2544:(จนถึงปัจจุบัน)	บริษัท เค.อาร์.พรีซิชั่น จำกัด(มหาชน) 162 ตำบล ลำไทร อำเภอ วังน้อย จังหวัด พระนครศรีอยุธยา