

อิทธิพลของขนาดของเมล็ดต่อคุณลักษณะการเผาไหม้

EFFECT OF RICE HUSK SIZES ON COMBUSTION CHARACTERISTICS

สมศักดิ์ โปธะวิดเกียรติ

SOMSAK POTHAWILKIAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-643-851-1

อิทธิพลของขนาดของแกลบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้

EFFECT OF RICE HUSK SIZES ON COMBUSTION CHARACTERISTICS

สมศักดิ์ โพธิ์ถวิลเกียรติ

SOMSAK PHOTHAWILKIAT

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 43301
วัน, เดือน, ปี 26 ส.ค. 2545

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-851-1

EFFECT OF RICE HUSK SIZES ON COMBUSTION CHARACTERISTICS

SOMSAK PHOTHAWILKIAT

**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 TECHNOLOGY LADKRABANG**

2002

ISBN 974-648-851-1

COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของขนาดของเกลบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้
นักศึกษา	นายสมศักดิ์ โพธิ์ธวิลเกียรติ์
รหัสประจำตัว	42062013
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ทำการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของขนาดเกลบ และลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค ขนาดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองนี้มีสองขนาดอยู่ในช่วง 0.18-1.18 มม. และ ขนาดเกลบปกติ (ประมาณ 2.0 x 8.0 มม.) การทดลองกระทำโดยปรับอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงให้เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.30 kg/min สำหรับแต่ละขนาดของเกลบ โดยที่ปรับค่าอัตราส่วนสมมูล, Φ เท่ากับ 0.8, 1.0 และ 1.2 ที่แต่ละอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเกลบ ขณะเดียวกันก็ปรับอัตราส่วนของอัตราการไหลของอากาศหุดิยภูมิต่ออากาศทั้งหมด, (λ) ให้เท่ากับ 0, 0.15 และ 0.25 เพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงเกลบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ ที่ค่าต่างๆของอัตราส่วนสมมูล อากาศหุดิยภูมิ และอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงเกลบ จากผลการทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงขนาด 0.18-1.18 มม. สำหรับ $\Phi = 1.0$, $\lambda = 0.25$ และปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.30 kg/min พบว่าลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาสม่ำเสมอ และมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1235 °C นอกจากนี้ยังพบว่า การเผาไหม้ในเตาเผา มีความเสถียรสูงและง่ายต่อการควบคุม จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียของเตาเผา พบว่าจะประกอบด้วย $O_2 = 3.5\%$, $CO_2 = 6.8\%$ และ $CO = 195$ ppm.

Thesis Title	Effect of Rice Husk Sizes on Combustion Characteristics
Student	Mr. Somsak Phothawilkiat
Student ID.	42062013
Degree	Master of engineering
Programme	Mechanical Engineering
Year	2002
Thesis Advisor	Asso.Prof.Dr. Pongjet Promvonge

ABSTRACT

The thesis deals with the study of influence of rice husk particle sizes on combustion characteristics in a vortex combustor. In the present experiment, two sizes of rice husk are employed: 0.18-1.18 mm and 2.0 x 8.0 mm sizes. Experiments are made by adjusting the feeding rate to be 0.20, 0.25 and 0.30 kg/min for each particle size used. For each of the particle feeding rate, the combustion air is varied to let the equivalence ratio, Φ , be 0.8, 1.0 and 1.2 in which the ratio of volumetric flow rate of the secondary air to the total air, (λ), is set to 0, 0.15 and 0.2 of each Φ . The effect of rice husk sizes on combustion characteristics is investigated at various equivalence ratios, ratios of volumetric flow rate of the secondary air to total air and the fuel feeding rates. The experiment shows the maximum temperature of about 1235 °C in the upper combustion chamber for the rice husk particle size range of 0.18-1.18 mm, $\Phi = 1.0$, $\lambda = 0.25$ and 0.30 kg/min fuel feeding rate. Besides, the combustor has a high combustion stability with ease of operating control. The emissions of exhaust gas from the stack are composed of O₂=3.5%, CO₂=6.8% and CO=195 ppm.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ด้วยคำสั่งสอน, คำแนะนำ, คำปรึกษา และความกรุณาของ รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ลูกศิษย์คนนี้ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ นายวิศิษฐ์ ลีลาผาคีกุล, นายสุภชัย เลื่อนลอย, นายสมชาย ศรีพัฒนะพิพัฒน์, นายสมิทธิ์ เอี่ยมสะอาด, นายยุทธนา พลอยฉาย และเพื่อนรุ่นนักศึกษาปริญญาโททุกท่านที่ไม่กล่าวไว้ในที่ รวมถึงนักศึกษารุ่นน้องปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 ที่ช่วยให้คำแนะนำ, ค้นคว้าข้อมูล, การเก็บข้อมูล และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้การสนับสนุนเงินทุนในการวิจัยนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ทุนสนับสนุนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา และมารดาของผู้วิจัยเป็นอย่างยิ่งที่เฝ้าเลี้ยงดู อบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจตั้งแต่เริ่มต้นเข้ารับการศึกษาจนสำเร็จสมความตั้งใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ถ้าปราศจากบุคคลเหล่านี้แล้ว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเช่นนี้ ซึ่งคุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สมศักดิ์ โพธิ์ถวิลเกียรติ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยในอดีต.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 3 ทฤษฎี.....	14
3.1 ประเภทของเชื้อเพลิง.....	14
3.1.1 เชื้อเพลิงก๊าซ (Gaseous Fuels)	14
3.1.2 เชื้อเพลิงเหลว (Liquid Fuels).....	14
3.1.3 เชื้อเพลิงแข็ง (Solid Fuels).....	14
3.2 การเผาไหม้.....	15
3.2.1 ปฏิกิริยาเคมีของการเผาไหม้.....	15
3.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้.....	16
3.2.2.1 การปั่นป่วนหรือการผสมคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ.....	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2.2 อุณหภูมิที่สูงพอต่อขบวนการเผาไหม้.....	16
3.2.2.3 อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ.....	17
3.2.2.4 เวลาที่เพียงพอในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง.....	17
3.3 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง	17
3.4 อุณหภูมิอะเดียแบติก (Adiabatic Flame Temperature).....	19
3.5 องค์ประกอบของอากาศ	20
3.6 อัตราส่วนอากาศผสมมูล (Φ).....	21
3.7 ออร์ฟิส (Orifice)	22
บทที่ 4 การออกแบบและการคำนวณ	24
4.1 การออกแบบเตาเผาออร์เทค.....	24
4.2 การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี	26
บทที่ 5 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	30
5.1 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง	30
5.1.1 เตาเผาออร์เทค.....	30
5.1.2 ระบบป้อนเชื้อเพลิง	31
5.1.3 ระบบป้อนอากาศ	33
5.1.4 ระบบวัดอัตราการไหลของอากาศ.....	34
5.1.5 ระบบวัดอุณหภูมิ	35
5.1.6 ระบบดักจับเถ้าลอย.....	36
5.1.7 ระบบอุ่นเตา.....	37
5.1.8 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย.....	37
5.3 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง.....	38
5.3 การเตรียมเชื้อเพลิงแกลบในการทดลอง.....	39
5.4 ขั้นตอนการอุ่นเตา	39
5.5 วิธีการทดลอง	39
บทที่ 6 ผลการทดลองและวิจารณ์	41
6.1 แกลบปกติ (2.0 x 8.0 มม.).....	41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.1.1	อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงกลบปกติต่อการเผาไหม้ กรณี $m_f = 0.20$ kg/min	41
6.1.2	อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงกลบปกติต่อการเผาไหม้ กรณี $m_f = 0.25$ kg/min	43
6.1.3	อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงกลบปกติต่อการเผาไหม้ กรณี $m_f = 0.30$ kg/min	44
6.1.4	อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงกลบปกติต่อองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย กรณี $m_f = 0.30$ kg/min.....	46
6.2	กลบละเอียดช่วงขนาด (0.18-1.18 มม.).....	47
6.2.1	อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงกลบละเอียดต่อการเผาไหม้ กรณี $m_f = 0.20$ kg/min ..	48
6.2.2	อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงกลบละเอียดต่อการเผาไหม้ กรณี $m_f = 0.25$ kg/min ..	49
6.2.3	อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงกลบละเอียดต่อการเผาไหม้ กรณี $m_f = 0.30$ kg/min ..	50
6.2.4	อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงกลบละเอียดต่อองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย กรณี $m_f = 0.30$ kg/min.....	52
6.3	อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงกลบ	53
6.3.1	อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิง กรณี $m_f = 0.20$ kg/min	53
6.3.2	อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิง กรณี $m_f = 0.25$ kg/min	56
6.3.3	อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิง กรณี $m_f = 0.30$ kg/min	58
บทที่ 7	สรุปและข้อเสนอแนะ	61
7.1	สรุปผลงานวิจัย.....	61
7.2	ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อ.....	62
เอกสารอ้างอิง.....		63
ภาคผนวก ก.....		65
ภาคผนวก ข.....		68
ภาคผนวก ค.....		71
ภาคผนวก ง.....		75
ประวัติผู้เขียน		83

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ.....	26
4.2 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.20 kg/min.....	29
4.3 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.25 kg/min.....	29
4.4 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.30 kg/min.....	29
5.1 แสดงช่วงของปริมาณสูงสุด และต่ำสุดของก๊าซไอเสียที่สามารถวิเคราะห์ได้.....	38
ก-1 คุณสมบัติของแกลบ	65
ก-2 การเปรียบเทียบเชื้อเพลิง	66
ก-3 ปริมาณชีวมวลในปี 2540 และ 2544.....	67
ค-1 แสดงอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.30 kg/min	72
ค-2 แสดงความสูงของระดับน้ำในมานอร์มิเตอร์ของอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.30 kg/min.....	73
ค-3 แสดงอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.25 kg/min	73
ค-4 แสดงความสูงของระดับน้ำในมานอร์มิเตอร์ของอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.25 kg/min.....	73
ค-5 แสดงอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.20 kg/min	74
ค-6 แสดงความสูงของระดับน้ำในมานอร์มิเตอร์ของอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.20 kg/min.....	74
ง-1 แสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานของตะแกรงแบบอเมริกัน, เทเลอร์และแบบมาตรฐาน อุตสาหกรรมญี่ปุ่น.....	75

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด	4
2.2 แสดงลักษณะเตาเผา และอุปกรณ์การทดลอง	6
2.3 เตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรแบบใช้อากาศหมุนวน	7
2.4 แสดงแผนภูมิอุปกรณ์การทดลอง	7
2.5 ลักษณะของห้องเผาไหม้แบบจำลอง	9
2.6 ลักษณะของห้องเผาไหม้จริง	9
2.7 แสดงองค์ประกอบต่างๆของเตา.....	10
2.8 แสดงแผนผังและอุปกรณ์การทดลอง.....	11
2.9 แสดงแผนภูมิอุปกรณ์การทดลอง.....	12
3.1 ปฏิบัติการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง.....	18
3.2 แสดงการไหลผ่านออริฟิส (Orifice).....	22
4.1 ลักษณะการไหลภายในเตาเผาแบบวอร์เทค	24
4.2 แสดงรายละเอียดของเตาเผา วอร์เทค	25
5.1 เตาเผาแบบวอร์เทค และท่อทิ้งขี้เถ้าลอย	30
5.2 ระบบป้อนเชื้อเพลิงแบบ	31
5.3 อินเวอร์เตอร์	32
5.4 มอเตอร์	32
5.5 สกัลป์เดเตอร์	32
5.6 ฮอปเปอร์	33
5.7 Blower.....	33
5.8 Power Supply	34
5.9 ลักษณะของแผ่นออริฟิส	34
5.10 มาโนมิเตอร์	35
5.11 เทอร์โมคัปเปิ้ล	35
5.12 Digital Indicator	36
5.13 Cyclones.....	36
5.14 แสดงลักษณะหัวเผา	37
5.15 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย Visit 01-LLR.....	37
5.16 แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผา วอร์เทค.....	38

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.1 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดเกลบปกติ ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.20 kg/min	42
6.2 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดเกลบปกติ ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.25 kg/min	44
6.3 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดเกลบปกติ ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.30 kg/min	45
6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของก๊าซไอเสียกับ Equivalence ratio ของเชื้อเพลิง เกลบปกติ ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.30 kg/min	47
6.5 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดเกลบละเอียด ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.20 kg/min.....	48
6.6 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดเกลบละเอียด ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.25 kg/min.....	50
6.7 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดเกลบละเอียด ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.30 kg/min.....	51
6.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของก๊าซไอเสียกับ Equivalence ratio ของเชื้อเพลิง เกลบละเอียด ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.30 kg/min	52
6.9 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดเชื้อเพลิงปกติ และละเอียด อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.20 kg/min ที่ $\lambda = 0.25$	54
6.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของก๊าซไอเสียกับ Equivalence ratio ที่ขนาดเชื้อเพลิงปกติ และละเอียด เมื่อ $m_f = 0.20$ kg/min	55
6.11 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดเชื้อเพลิงปกติ และละเอียด อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.25 kg/min ที่ $\lambda = 0.25$	57
6.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของก๊าซไอเสียกับ Equivalence ratio ที่ขนาดเชื้อเพลิงปกติ และละเอียด เมื่อ $m_f = 0.25$ kg/min	58
6.13 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดเชื้อเพลิงปกติ และละเอียด อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.30 kg/min ที่ $\lambda = 0.25$	59
6.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของก๊าซไอเสียกับ Equivalence ratio ที่ขนาดเชื้อเพลิงปกติ และละเอียด เมื่อ $m_f = 0.30$ kg/min.....	60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข-1 standard orifice plate	68
ข-2 แสดงโครงสร้างเชิงเรขาคณิต และจุดวัดความดันของออริฟิส	68
ข-3 แสดงการไหลผ่านแผ่นออริฟิส	69
ข-4 ออริฟิสแบบต่างๆ	69
ค-1 จุดวัดความดันของออริฟิสมิเตอร์	71

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

AF	สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง
C_d	discharge coefficient
D	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในเตาเผาออร์เทค, (mm.)
H_p	เอนทาลปีของผลิตภัณฑ์
H_R	เอนทาลปีของสารตั้งต้น
MW	มวลโมเลกุล, (kmol)
m_{air}	มวลของอากาศ
m_{fuel}	มวลของเชื้อเพลิง
N	จำนวน โมล
m_f	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง, (kg/min)
R	รัศมีภายในของเตาเผาออร์เทค, (mm.)
r	พิกัดในแนวรัศมีภายในเตาเผาออร์เทค, (mm.)
T	อุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทค, ($^{\circ}C$)
x	ความสูงของเตาเผาออร์เทคในแนวตั้ง, (m.)
V	ปริมาตร, (m^3)
Φ	อัตราส่วนสมมูลของอากาศกับเชื้อเพลิง
γ	น้ำหนักจำเพาะ, (N/m^3)
λ	อัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุกชนิดต่ออากาศทั้งหมด
ρ	ความหนาแน่น
Δh	ความสูงของระดับน้ำในมานอมิเตอร์, (cm.)

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันมีการใช้พลังงานในปริมาณมากมายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งพลังงานที่ได้นั้นส่วนใหญ่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน ลิกไนต์ ซึ่งนับวันจะหมดลงไปเรื่อยๆ แต่อัตราการใช้เชื้อเพลิงเหล่านี้ก็เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆทุกปี เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่าประเทศต่างๆ พยายามที่จะใช้เชื้อเพลิงอย่างอื่นมาทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้อยู่

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยก็ได้มีการหาเชื้อเพลิงมาทดแทนเชื้อเพลิงที่ใช้ในปัจจุบัน ซึ่งต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ทำให้ต้องสูญเสียเงินตรา และขาดดุลการค้ากับต่างประเทศมากขึ้น ดังนั้นถ้ามีการนำเอาสิ่งที่มีอยู่มากมายภายในประเทศทั้งที่ได้จากเกษตรกรรมและสิ่งที่เหลือจากกิจกรรมในเมืองหลวงของประเทศ เช่น ชี้อเลื่อย ฟาง แกลบ ขยะ กากตะกอน ฯลฯ มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านพลังงาน ทดแทนการใช้น้ำมัน ก๊าซ หรือ ถ่านหินก็สามารถช่วยลดการนำเข้า และยังสามารถลดปัญหามลพิษด้านสถานะแวดล้อมได้ด้วย

เนื่องจากประเทศไทย ในอดีตจนถึงปัจจุบันประเทศไทยได้ขึ้นชื่อว่าเป็นประเทศเกษตรกรรม พื้นที่แทบทุกภาคของประเทศจะมีการทำนา วัสดุที่เหลือจากการเก็บเกี่ยว คือ ฟางข้าว เมื่อมีการเก็บเกี่ยวแล้วต้องนำไปสี วัสดุที่เหลือจากโรงสี คือ แกลบ ซึ่งถ้าสีข้าว 1 ตัน จะได้แกลบออกมาถึง 220 กิโลกรัมหรือคิดเป็นร้อยละ 22 สำหรับประเทศไทยมีการประเมินได้ว่าแต่ละปีจะมีแกลบประมาณ 4.4 ถึง 4.6 ล้านตัน โดยจะพบว่ามีปริมาณมาก และมีศักยภาพเชิงความร้อนเทียบเท่าการใช้น้ำมันดิบ 1.46 ถึง 1.53 ล้านตัน เพราะฉะนั้น แกลบ จึงเป็นเชื้อเพลิงหนึ่งที่น่าสนใจ ค่าความร้อนของแกลบ (overall gross calorific value of rice husk) ประมาณ 2900 ถึง 4560 kcal/kg เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความก้น้ำมันเตา ที่มีค่าความร้อนประมาณ 9900 kcal/kg จะเห็นว่าค่าความร้อนของแกลบมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำมันเตาแต่ราคาถูกกว่ามาก

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาการกระจายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาแบบวอร์เทค
2. ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทคได้แก่ ขนาดของเชื้อเพลิงแกลบ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบ อัตราส่วนสมมูล และปริมาณอากาศทุกชนิดที่มีต่ออากาศทั้งหมด
3. วิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1. เป็นระบบที่ไม่คิดการสูญเสียความร้อนให้แก่สิ่งแวดล้อม (Adiabatic)
2. ควบคุมความปริมาณความชื้นในเชื้อเพลิงแกลบให้คงที่
3. ลักษณะของอากาศภายในห้องเผาไหม้มีลักษณะการไหลแบบหมุนวน

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เตาออร์เทคเป็นเตาที่ใช้เทคนิคการไหลแบบหมุนวนความเร็วสูง เพื่อช่วยเพิ่มเวลาในการเผาไหม้ และทำให้เปลวไฟภายในเตามีความเสถียรยิ่งขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. ขนาดของเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 0.18–1.18 มม. และเชื้อเพลิงแกลบขนาดปกติ 2.0 x 8.0 มม. ตามลำดับ โดยเชื้อเพลิงมีความชื้นประมาณ 11 %
2. อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบอยู่ในช่วง 0.20, 0.25 และ 0.30 kg/min
3. ทำการปรับค่าอัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio) เท่ากับ 0.8, 1.0 และ 1.2
4. ทำการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ โดยกำหนดให้อัตราส่วนของปริมาณอากาศตุนิยมต่ออากาศทั้งหมด (λ) เท่ากับ 0, 0.15 และ 0.25
5. ทำการวัดการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา ณ ตำแหน่ง T_1 - T_8 โดยตำแหน่งที่ T_1 - T_5 จะวัดค่าอุณหภูมิ 5 ตำแหน่งในแนวรัศมี และ T_6 - T_8 วัดค่าอุณหภูมิ 6 ตำแหน่งตามแนวรัศมี
6. วิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบขนาดต่างๆ

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

1. ทำการศึกษารวบรวมทฤษฎีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง และคุณสมบัติต่างๆของเชื้อเพลิงแกลบ
2. ศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเตาเผาในอดีต เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาทดลอง
3. ทำการทดลองหาค่าตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ภายในเตาเผาออร์เทค และบันทึกผลการทดลอง
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง
5. สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอ

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำวัสดุที่เหลือใช้จากการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านพลังงานความร้อน
2. สามารถนำความร้อนที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับภาคอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ
3. ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ
4. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษา และพัฒนาเตาเผาให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 2

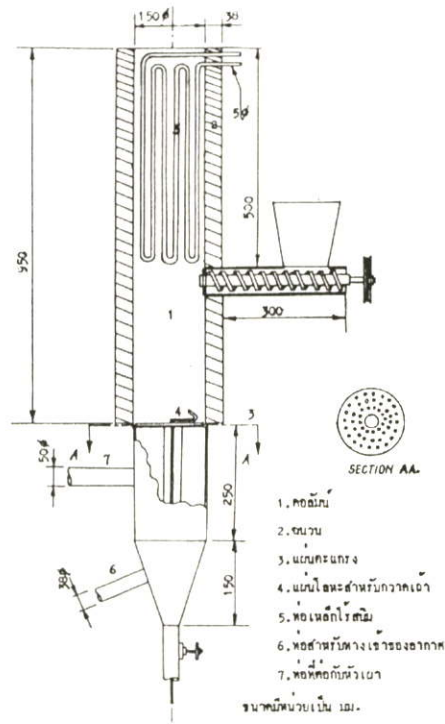
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในดำรงชีวิต และการพัฒนาประเทศทางด้านอุตสาหกรรม พลังงานสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆดังนี้ พลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้า และพลังงานเคมี พลังงานทั้งสิ้นได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นเชื้อเพลิงที่ได้จาก น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน และลิกไนต์ เชื้อเพลิงดังกล่าวมีปริมาณน้อยลงทุกปี แต่มีราคาสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีการหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทนเช่น เชื้อเพลิงชีวมวลได้แก่ แกลบ ชี้อ้อย และชานอ้อย ซึ่งเชื้อเพลิงดังกล่าวเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพต่ำ การนำมาใช้งานจำเป็นต้องมีการออกแบบระบบเผาไหม้ให้มีประสิทธิภาพสูง จึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบการเผาไหม้ในลักษณะต่างๆทั้งในประเทศ และต่างประเทศ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

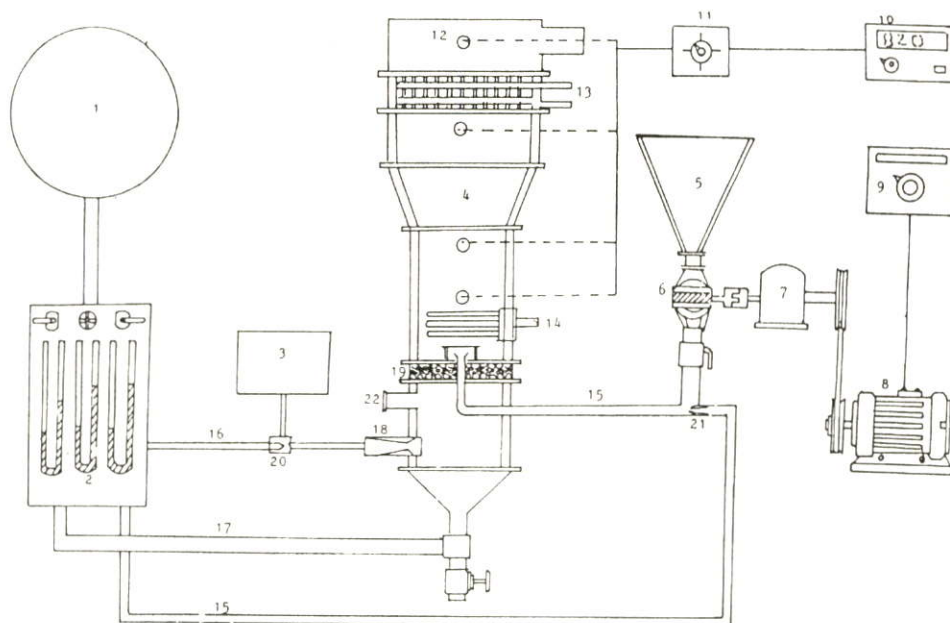
ศศิวิมล สูงสว่าง [1] ทำการศึกษาวิจัยการเผาไหม้แกลบในฟลูอิดไดซ์เบด โดยศึกษาคุณลักษณะของเชื้อเพลิงแกลบ และหลักการทำงานของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ดังแสดงใน



รูปที่ 2.1 ลักษณะของห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด[1]

รูปที่ 2.1 ทำการพิจารณาถึงตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการเผาไหม้ เช่น อัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิของการเผาไหม้ เพื่อหาความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของความร้อนที่เกิดขึ้น เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด จากการทดลองทำการปรับค่าความเร็วของอากาศอยู่ในช่วง 20.62 ถึง 45.67 เมตรต่อนาที่ และกำหนดอุณหภูมิของการเผาไหม้อยู่ในช่วง 500 ถึง 800 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเผาไหม้แกลบในเตาเผา ฟลูอิดไคซ์เบด เมื่ออัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 3.05 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความเร็วของอากาศที่ใช้เท่ากับ 32.77 เมตรต่อนาที่ และอุณหภูมิของการเผาไหม้เท่ากับ 700 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ร้อยละ 96.91 นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบเชื้อเพลิงที่ได้จากการเผาไหม้ที่ใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่ากับเชื้อเพลิงที่ได้จากการเผาไหม้ในฟลูอิดไคซ์เบด พบว่าประสิทธิภาพของการเผาไหม้โดยฟลูอิดไคซ์เบดจะสูงกว่าประมาณร้อยละ 47 ถึง 53

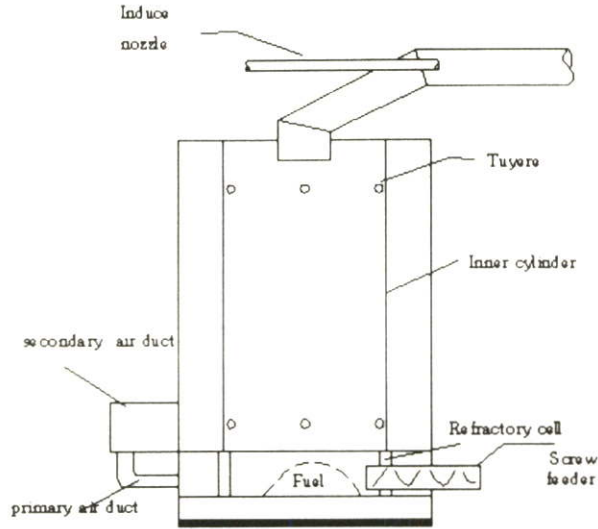
อภิชัย เทอดเทียนวงษ์ [2] ศึกษาทดลองและออกแบบเตาเผาไหม้ชีวมวลแบบฟลูอิดไคซ์เบด เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง ความเร็วของอากาศในการฟลูอิดไคซ์เบด ขนาดของทรายที่ใช้ทำเบดที่มีผลต่อการเผาไหม้ และศึกษาถึงการถ่ายเทความร้อนระหว่างเบดกับท่อน้ำรับความร้อน การศึกษาทดลองได้ทำการออกแบบเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่อง ดังแสดงดังรูปที่ 2.2 และเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบ 2 ชนิดคือ เชื้อเพลิงขี้เลื่อย และเชื้อเพลิงแกลบ จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และอุณหภูมิสูงสุดคือ 9:1 ถึง 10:1 อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงที่เหมาะสมเท่ากับ 8.5:1 เทียบเป็นอากาศมากเกินพอประมาณ 50 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วของอากาศมีค่า 2 ถึง 4 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไคซ์เบด (ประมาณ 85 เซนติเมตรต่อวินาที) เนื่องจากอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่มากกว่าจะให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่า และใช้อัตราส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ขนาดของทรายที่ใช้ทำเบดที่มีขนาดเล็กกว่า (ประมาณ 40 ถึง 50 เมช) เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ อุณหภูมิสูงกว่า และอัตราส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงต่ำกว่า ทรายขนาดใหญ่กว่า (ประมาณ 30-40 เมช) ซึ่งช่วยลดการสูญเสียความร้อนไปกับก๊าซร้อนที่ออกจากเตาเผาได้ กรณีการถ่ายเทความร้อนของเตาฟลูอิดไคซ์เบดพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างเบดกับท่อน้ำรับความร้อน มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วของอากาศ และขนาดของทรายที่เล็กกว่าจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าทรายขนาดใหญ่ สำหรับท่อน้ำรับความร้อนในเบดจะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนอยู่ในช่วง 190 ถึง 260 วัตต์ต่อเมตร² พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนให้ท่อน้ำที่อยู่ในเบดสูงกว่า การถ่ายเทความร้อนระหว่างก๊าซร้อนกับท่อน้ำประมาณ 23 เท่า



- 1 ระบบอัดอากาศ 2 เครื่องควบคุมความเร็วอากาศและน้ำ 3 ถังก๊าซ 4 ฟลูอิดไดซ์เบดคอลัมน์ 5 ที่ใส่เชื้อเพลิงชีวมวล
6 ระบบป้อนเชื้อเพลิงแบบหมุนวน 7 เกียร์ทด 8 มอเตอร์ 9 เครื่องปรับความเร็วรอบมอเตอร์ 10 เครื่องอ่านอุณหภูมิ
11 Selector switch 12 Thermocouple 13 ท่อน้ำรับความร้อนเหนือเบด 14 ท่อน้ำรับความร้อนในเบด 15 ท่ออากาศ
16 ท่ออากาศผสมก๊าซเชื้อเพลิง 17 ท่ออากาศสำหรับการฟลูอิดไดซ์เบด 18 หัวเผา 19 ตัวกระจายลม
20 ระบบผสมก๊าซเชื้อเพลิงกับอากาศ 21 หัวพันอากาศ 22 ช่องคูไฟ

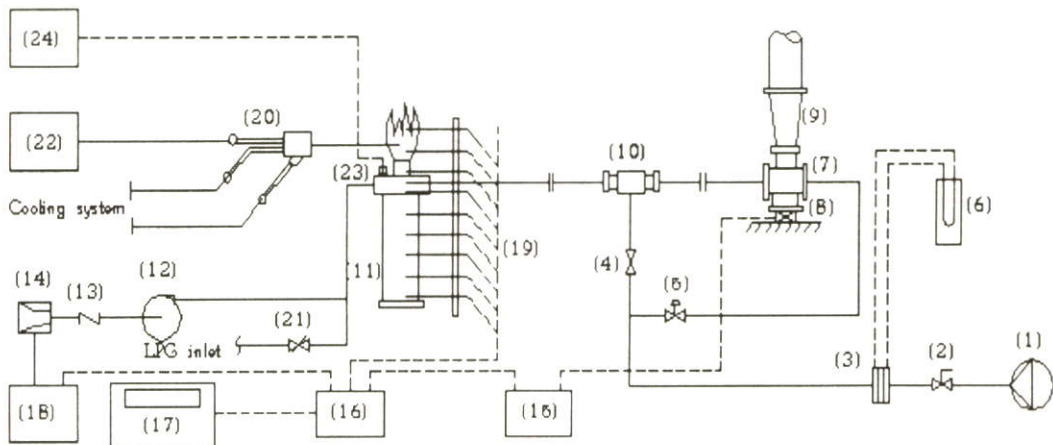
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะเตาเผา และอุปกรณ์ในการทดลอง[2]

รัชชัย ท้วถวิล และ สันติ วัชรอากาศไพบูลย์ [3] ทำการศึกษาทดลองเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรแบบใช้อากาศหมุนวน ได้ทำการพัฒนาระบบการเผาไหม้เดิมให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยห้องเผาไหม้มีลักษณะดังรูปที่ 2.3 จากการทดลองทำการเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F ratio) ที่มีผลต่ออุณหภูมิของก๊าซร้อน และทำการศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านพัดลมดูดต่ออุณหภูมิของก๊าซร้อนที่อัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงคงที่ การทดลองให้อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.225 กิโลกรัมต่อนาที และกำหนดค่าอัตราการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงมีค่า 5:1, 6:1, 7:1, 8:1 และ 9:1 ท่ออากาศปฐมภูมิและท่ออากาศทุติยภูมิเปิดประมาณ 30 และ 60 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ท่อตามลำดับ ช่องพัดลมดูดอากาศเปิดที่ 100 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนของอากาศต่ออัตราส่วนของเชื้อเพลิงเท่ากับ 6:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากอุณหภูมิของก๊าซร้อนสูงสุดเท่ากับ 595 องศาเซลเซียส และปริมาณความร้อนที่ได้รับอยู่ในปริมาณสูง และเมื่อทำการทดลองหาการเปลี่ยนแปลงช่องเปิดของพัดลมดูดที่ 0, 20, 60 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงเท่ากับ 6:1 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดของก๊าซร้อนเท่ากับ 639 องศาเซลเซียส โดยที่ไม่ใช้พัดลมดูดอากาศ



รูปที่ 2.3 เตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรแบบใช้อากาศหมุนวน[3]

เรือโทประจักษ์ จิตรพิทย์ [4] ทำการศึกษาวิจัยการเผาเชื้อเพลิงในเตาเผาไซโคลน ได้ทำการศึกษา รูปแบบการไหลของอนุภาคเชื้อเพลิงใช้ห้องเผาไหม้ที่ผลิตจากพลาสติกไฮแอลคาไรด์ (Alcaride) ลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ซึ่งทำการปรับเปลี่ยนค่าอัตราส่วนสมมูล, Φ (Equivalence Ratio) ที่



- | | | | |
|-------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1. Air compressor | 7. Gas/Solid injector | 13. Butterfly valve | 19. Thermocouple |
| 2. Needle valve | 8. Load cell | 14. Nozzle | 20. Probe |
| 3. Orifice plate | 9. Hopper | 15. Load cell indicator | 21. LPG regulator |
| 4. Gate valve | 10. Air pump | 16. Remote scanner | 22. Combustion analyzer |
| 5. Globe valve | 11. Cyclone combustor | 17. Recorder | 23. Spark plug |
| 6. Manometer | 12. Air blower | 18. Digital manometer | 24. Ignitor |

รูปที่ 2.4 แสดงแผนภูมิอุปกรณ์การทดลอง[4]

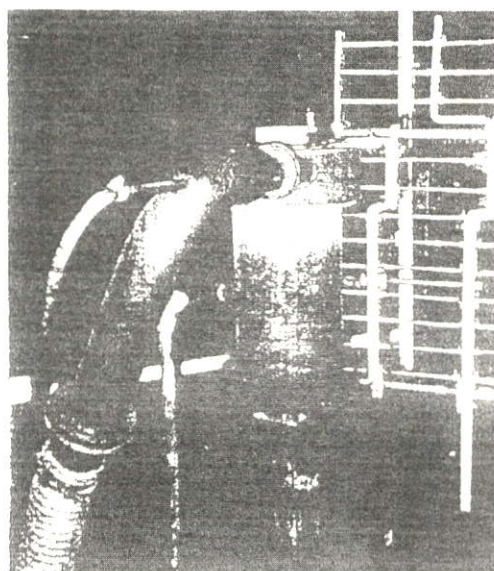
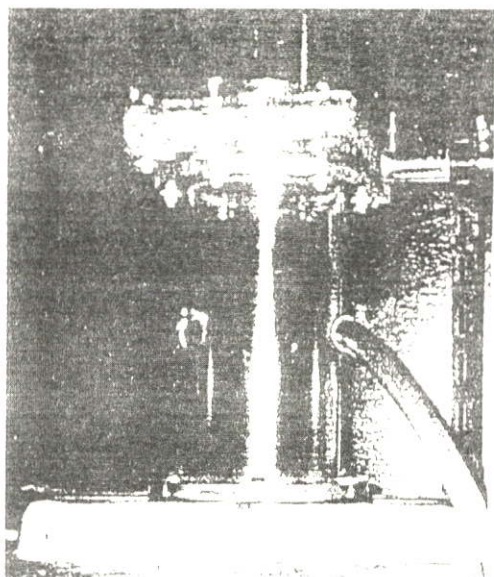
ค่าต่างๆ และทำการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น ในการทดลองใช้ห้องเผาไหม้แบบไซโคลนดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 155 มิลลิเมตร ขนาดของปากทางออกของห้องเผาไหม้เท่ากับ 68.5 มิลลิเมตร ความสูงของห้องเผาไหม้เท่ากับ 310 มิลลิเมตร

การสังเกตลักษณะการไหลของห้องเผาไหม้จำลองพบว่า อนุภาคของเชื้อเพลิงได้รับอิทธิพลจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากการหมุนวน และเกิดการเคลื่อนที่วนเป็นเกลียวสู่ก้นไซโคลน แล้วไหลย้อนกลับจากก้นไซโคลนตามแนวแกนออกสู่ปากทางออก การป้อนเฉพาะอากาศปฐมภูมิ ลักษณะการไหลวนเป็นเกลียวเดียว กรณีที่ป้อนทั้งอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมินั้นอนุภาคการเคลื่อนที่จะแยกตัวออกเป็น 2 กลุ่ม ถ้าการป้อนอากาศให้มีอัตราการไหลมากขึ้นจะทำให้ระยะห่างของเกลียวยาวขึ้น การทดลองหาลักษณะการแพร่กระจายอุณหภูมิของเปลวไฟ ที่ค่า $\phi < 1.5$ เป็นการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินในช่วงต่ำ จะเกิดการเผาไหม้บริเวณช่วงกลางจนถึงเหนือทางออกของห้องเผาไหม้ มีเชื้อเพลิงที่ไม่เกิดการเผาไหม้ตกค้างอยู่มาก ก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) สูงมากประมาณ 3000 ppm. ปริมาณออกซิเจน (O₂) ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ เปลวไฟไม่เสถียรเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ช่วง ϕ มากกว่า 1.5 ถึง 2.0 การเผาไหม้เกิดเป็นบริเวณกว้างทั่วทั้งเตา เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้หมดไม่มีตกค้างอยู่ เปลวไฟมีความเสถียรสูง องค์ประกอบของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ อยู่ในช่วง 900 ถึง 1000 ppm. กรณีที่ค่า $\phi > 2.0$ ปริมาณอากาศที่ใช้มากเกินไป การเผาไหม้เกิดขึ้นตั้งแต่บริเวณก้นของเตาเผาขึ้นมาเกือบบริเวณรอบๆผนังห้องเผาไหม้ ลักษณะของขี้เถ้าจะมีเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ติดออกมาจำนวนมาก อุณหภูมิของเปลวไฟอยู่ในช่วง 1000 ถึง 1100 องศาเซลเซียส ลักษณะของเปลวไฟไม่เสถียร

สุพจน์ นำนานโซค [5] ได้ทำการศึกษาวิจัยการเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้แบบไซโคลนชนิดอากาศเข้าหลายช่องทาง ศึกษาอิทธิพลของอากาศทุติยภูมิต่อลักษณะการเผาไหม้ โดยการทดลองใช้ห้องเผาไหม้แบบจำลอง เพื่อศึกษาลักษณะการไหลภายในของอนุภาคเชื้อเพลิงที่เคลื่อน และห้องเผาไหม้จริงเพื่อศึกษาลักษณะของการเผาไหม้ภายใน ซึ่งองค์ประกอบของห้องเผาไหม้ทั้ง 2 มีลักษณะคล้ายคลึงกันคือ ทางเข้าของอากาศปฐมภูมิอยู่บริเวณส่วนบนของห้องเผาไหม้ไซโคลน บริเวณกึ่งกลางของห้องเผาไหม้จะมีอากาศทุติยภูมิป้อนเข้าทางด้านข้างในแนวสัมผัส และทางออกของก๊าซไอเสียอยู่บริเวณส่วนบนสุดของไซโคลน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6

การศึกษาลักษณะการไหลของอนุภาคเชื้อเพลิงพบว่า เมื่อทำการเพิ่มค่าอัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิ และลดค่าอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิเพื่อให้ปริมาณอัตราการไหลของอากาศทั้งระบบมีปริมาณเท่าเดิม ทำให้ระยะพิทของเกลียวและความชันของเกลียวน้อยลง ส่งผลให้จำนวนเกลียวเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนของอากาศทุติยภูมิ มีผลต่อการไหลเวียนของอนุภาคเชื้อเพลิงอยู่ภายในห้องเผาไหม้ได้นานขึ้น จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีขึ้น ส่วนการศึกษา

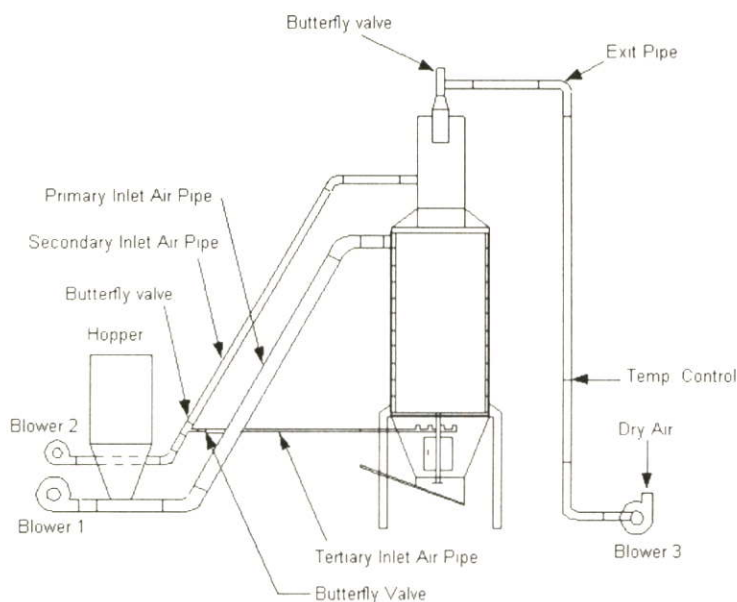
ลักษณะการเผาไหม้นั้น ทำการปรับค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงในช่วง 0.128 ถึง 0.135 กิโลกรัม ต่อนาที อัตราการไหลของอากาศอยู่ในช่วง 0.687 ถึง 1.010 กิโลกรัมต่อนาที และทำการคงที่ค่า อัตราการไหลของอากาศหตุยภูมิเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการปรับค่า ϕ ในช่วง 1.0 ถึง 1.5 พบว่าในส่วนที่ทำการปรับค่า $\phi = 1.5$ ทำให้เกิดการเผาไหม้ในบริเวณกว้างทั่วทั้งห้องเผาไหม้ ก๊าซไอเสียประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ประมาณ 885 ถึง 2120 ppm. ปริมาณออกซิเจนอยู่ในช่วง 7.1 ถึง 14.2 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1200 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าที่ค่า ϕ อื่นๆ การศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณอากาศหตุยภูมิต่อลักษณะการเผาไหม้ โดยคงที่ค่า $\phi = 1.5$ ทำการปรับค่าปริมาณอากาศหตุยภูมิให้มีค่าเท่ากับ 5, 10, และ 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่ปริมาณอากาศหตุยภูมิเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ การเผาไหม้เกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้างคือ เกิดการเผาไหม้บริเวณก้นของห้องเผาไหม้จนถึงปากทางออก องค์ประกอบของก๊าซไอเสียมีปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำอยู่ในช่วง 885 ถึง 2120 ppm. ปริมาณออกซิเจนประมาณ 7.1 ถึง 14.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปรับค่าอากาศหตุยภูมิมากขึ้นจะเกิดการเผาไหม้บริเวณกว้างภายในห้องเผาไหม้ เนื่องจากอากาศหตุยภูมิจะทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงไหลวนภายในห้องเผาไหม้ได้นานขึ้น จึงเป็นเหตุให้มีเวลาในการเผาไหม้นานขึ้นด้วย



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของห้องเผาไหม้แบบจำลอง รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของห้องเผาไหม้จริง[5]

อดิศักดิ์ ชูจินดา [6] ศึกษาและทำการออกแบบสร้างเตาเผาแลกเปลี่ยนสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบดขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง ลักษณะห้องเผาไหม้เป็นห้องเผาไหม้ทรงกระบอกความสูง 2.75 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.37 เมตร ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2.7 อัตราการป้อนแลกเปลี่ยนเท่ากับ 120 ถึง 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศ 1.11 กิโลกรัมต่อ

วินาที เชื้อเพลิงและอากาศถูกป้อนเข้าห้องเผาไหม้ในแนวสัมผัส เพื่อให้เชื้อเพลิงเกิดการไหลวนภายในห้องเผาไหม้ การทดลองปรับค่าความสูงของตระแกรง 30, 45, 50 และ 60 เซนติเมตร อุณหภูมิเฉลี่ยภายในประมาณ 293, 296, 296 และ 297 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ถ้าความสูงของตระแกรงต่ำกว่า 30 เซนติเมตร เกิดผลต่อการเผาไหม้คือ แกลบจะเข้ามารวมกันอยู่บนตะแกรง ทำให้อุณหภูมิแกว่งในช่วงล่าง แต่ถ้าความสูงของตระแกรงสูงกว่า 60 เซนติเมตร มีผลต่อการเกิดไซโคลน จากการทดลองพบว่าความสูงของเบดที่เหมาะสมเท่ากับ 50 เซนติเมตร อัตราการป้อนแกลบ 126 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศร้อน 296 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบประมาณ 61 ถึง 63 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการเผาไหม้จากเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในซีเถ้าเท่ากับ 85 ถึง 92 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของคาร์บอนที่เผาไหม้จากการวิเคราะห์คาร์บอนในก๊าซเท่ากับ 94 เปอร์เซ็นต์

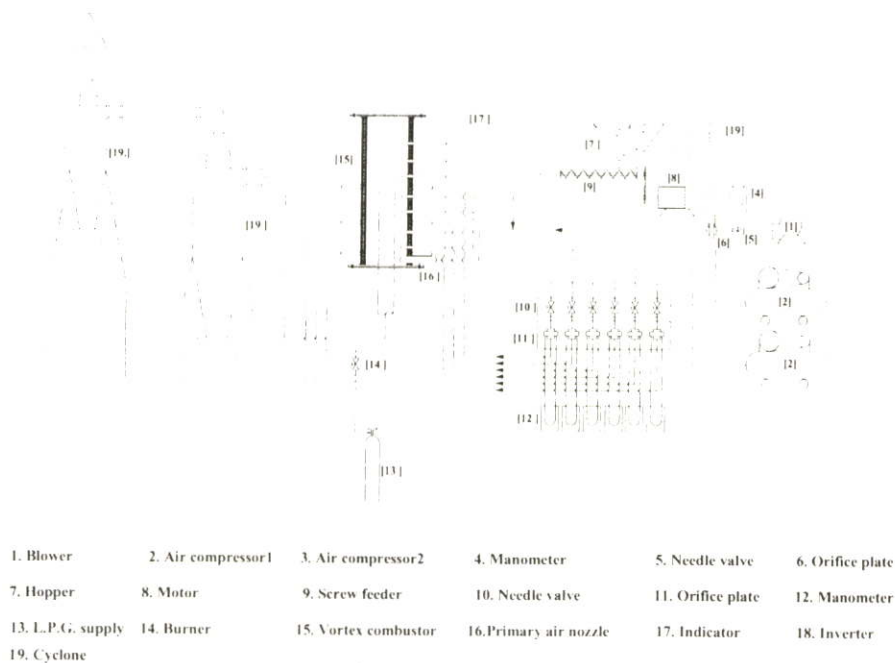


รูปที่ 2.7 แสดงองค์ประกอบต่างๆของเตา[6]

บุญเรือง ศรีสวัสดิ์ [7] ได้ศึกษาวิจัยปรับปรุงสมรรถนะของเตาเผาแกลบสำหรับอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไคซ์เบด ต่อเนื่องจากงานวิจัยของ อติศักดิ์ ชูจินดา โดยใช้ห้องเผาไหม้ในลักษณะเดิม และปรับปรุงในส่วนต่างๆดังนี้ ชุดกระจายลมด้านล่างเตาเผาแกลบ (Tertiary air) หุ้มฉนวนบริเวณส่วนบนห้องเผาไหม้ ปรับปรุงชุดใบปาดซีเถ้าแกลบ เพิ่มความแข็งแรงของตัวรองรับตะแกรง ประตูทางเข้าห้องเผาไหม้ ระบบควบคุมต่างๆ ระบบส่งกำลังของใบปาดซีเถ้า และปรับปรุงชุดป้อนเชื้อเพลิงแกลบ อัตราการป้อนแกลบ 110 ถึง 136 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เชื้อเพลิงและอากาศถูกป้อนเข้าห้องเผาไหม้ในแนวสัมผัสทำให้เกิดการไหลวนภายในห้องเผาไหม้ จากการทดลองพบว่าที่ความสูงของตระแกรง 30, 45, 50 และ 60 เซนติเมตร อากาศส่วนเกิน 260 ถึง 350

เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิเฉลี่ยก่อนออกจากระบบห้องเผาไหม้อยู่ในช่วง 295 ถึง 311 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทั้งระบบ 57 ถึง 73 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอน 89 ถึง 96 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองความสูงของขี้เถ้าในตระแกรงที่เหมาะสมเท่ากับ 50 เซนติเมตร โดยมีอัตราการป้อนแกลบ 110 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอากาศส่วนเกิน 350 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนทั้งระบบ 73 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอน 69 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นตามปริมาณของอากาศส่วนเกิน และความสูงของขี้เถ้าแกลบบนตระแกรงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ

นิวัติ พิริยะรุ่งโรจน์ [8] ได้ทำการศึกษาทดลองเตาเผาออร์เทค ทำการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาแบบออร์เทค โดยทำการวัดการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ตำแหน่งต่างๆ และก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ในการทดลองปรับค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงคงที่เท่ากับ 0.2 กิโลกรัมต่อนาที ค่า Equivalence ratio, (Φ) เท่ากับ 0.7, 0.8, 1.0 และ 1.2 ตามลำดับ การเผาไหม้กำหนดค่าอัตราส่วนของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศหตุยภูมิต่ออัตราการไหลของอากาศทั้งหมด, (λ) เท่ากับ 0, 0.2 และ 0.4 ลักษณะของเตาเผาและอุปกรณ์การทดลองดังแสดงในรูปที่ 2.8 จากการทดลองพบว่า ที่ค่า $\Phi = 1.0$ มีการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาสูงกว่าการกระจายอุณหภูมิที่ค่า Φ อื่นๆ และผลของอัตราส่วนของอากาศหตุยภูมิต่ออัตราการไหลของอากาศทั้งหมดที่เหมาะสมต่อกระบวนการเผาไหม้เท่ากับ $\lambda = 0.4$ เนื่องจากการเพิ่มอากาศหตุยภูมิจะช่วยเพิ่ม

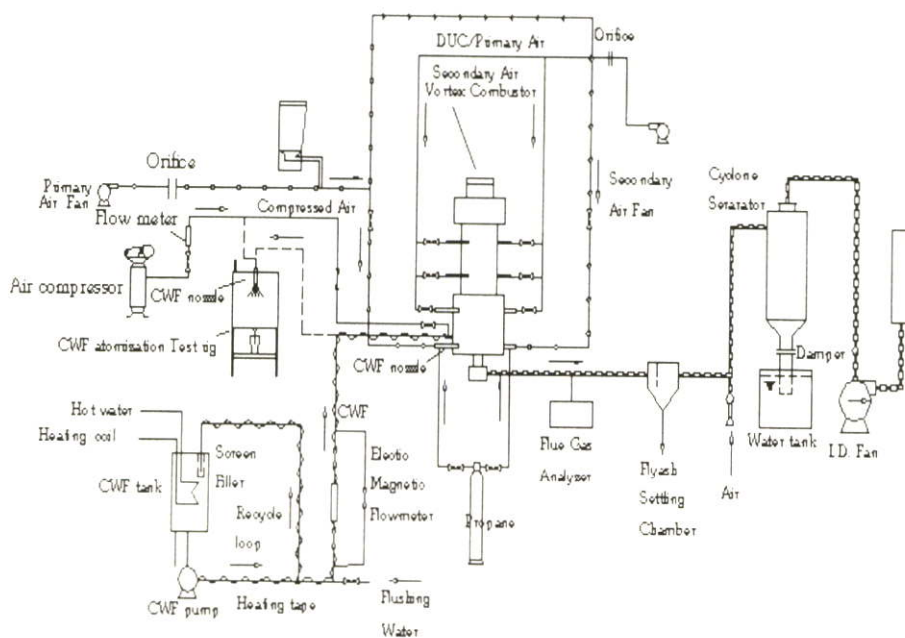


รูปที่ 2.8 แสดงแผนผังและอุปกรณ์การทดลอง[8]

การไหลวนของอากาศ ทำให้เชื้อเพลิงมีเวลาอยู่ในเตาเผาสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงขึ้น อุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้ประมาณ 1135°C และการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำ ประกอบด้วย ออกซิเจนประมาณ 4.41 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ 15.34 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนมอนอกไซด์ประมาณ 130.25 ppm. และปริมาตรของ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ประมาณ 764 ppm.

Tim T. Fu and Sen Nieh [9] ทำการศึกษาทดลองเตาเผาออร์เทค รายละเอียดของอุปกรณ์และลักษณะของเตาเผาแสดงในรูปที่ 2.9 ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ซึ่งถ่านหินที่นำมาทดสอบมี 2 ชนิดคือ DUC (Dry Ultrafine Coal) เป็นเชื้อเพลิงถ่านหินที่นำมาบดให้เป็นผงเหมือนกับแป้งมีขนาดเท่ากับ $11.5\ \mu\text{m}$ และ CWF (Coal Water Fuel) เป็นเชื้อเพลิงถ่านหินที่มีน้ำปนอยู่มีลักษณะคล้ายกับโคลน การทดสอบทำการวัดอุณหภูมิภายในและวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น

จากการทดลองพบว่า การเผาไหม้มีอัตราความร้อนเท่ากับ $0.15\ \text{MB/H}$ ($0.15 \times 10^6\ \text{Btu/hr}$) และอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้บริเวณส่วนล่างของห้องเผาไหม้จะมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 2000°F อุณหภูมิจะลดลงเมื่อความสูงของห้องเผาไหม้สูงขึ้น บริเวณส่วนบนสุดของห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิเท่ากับ 1100°F และบริเวณทางออกของท่อไอเสียอุณหภูมิเท่ากับ 1650°F จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ประกอบด้วย O_2 , CO_2 , CO , NO_x , SO_x และคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ ปริมาณของ O_2 จะลดลงตามความสูงของห้องเผาไหม้ เนื่องจาก O_2 ถูกนำไปใช้เพื่อเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ ปริมาณก๊าซ CO บริเวณส่วนล่างของห้องเผาไหม้เท่ากับ 550 ppm. และบริเวณท่อทางออกของก๊าซไอเสียมีปริมาณ CO เท่ากับ 250 ppm.



รูปที่ 2.9 แสดงแผนภูมิอุปกรณ์การทดลอง[9]

อิทธิพลของอากาศหุดิภูมิภาคต่อการเผาไหม้โดยใช้เชื้อเพลิง DUC พบว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ในกรณีที่ไม่มีอากาศหุดิภูมิภาคเท่ากับ 98 เปอร์เซ็นต์ และกรณีที่ใช้อากาศหุดิภูมิภาคประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 98.5 เปอร์เซ็นต์ เพราะเนื่องจากอากาศหุดิภูมิภาคทำให้เชื้อเพลิงและอากาศผสมกันได้ดีขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มขึ้น และปริมาณ NO_x ต่ำกว่า 50 ppm. ปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงลดลงถึง 4 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในอดีตพบว่า ได้มีการพัฒนารูปแบบของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในลักษณะต่างๆ โดยเฉพาะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ แต่ยังไม่มีการวิจัยใดที่ทำการศึกษาคอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ในเตาเผาแบบวอร์เทค ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการศึกษาวิจัย

บทที่ 3

ทฤษฎี

เชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถให้พลังงานออกมาเมื่อเกิดขบวนการเผาไหม้ โดยพื้นฐานของเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้สามารถจำแนกได้ 2 ประเภทคือ เชื้อเพลิงที่ได้จากการทับถมของซากพืชซากสัตว์เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน และเชื้อเพลิงอีกประเภทหนึ่งคือ เชื้อเพลิงชีวมวลได้แก่ แกลบ ไม้ และชานอ้อย ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน ดังนั้นการเลือกใช้เชื้อเพลิงจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

3.1 ประเภทของเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงคือ สารซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้กับอากาศ หรือออกซิเจน แล้วให้พลังงานความร้อนออกมาในปริมาณสูงซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเมื่อเกิดการเผาไหม้อยู่ในระดับที่สามารถควบคุมได้ โดยเชื้อเพลิงเป็นสารประกอบจำพวก ไฮโดรคาร์บอน หรือสารประกอบที่มีคาร์บอน และไฮโดรเจนอยู่เป็นส่วนใหญ่ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ เชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงก๊าซ

3.1.1 เชื้อเพลิงก๊าซ (Gaseous Fuels)

หมายถึง เชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้อง เช่น ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซหุงต้ม (LPG) ก๊าซชีวภาพ ก๊าซชีวมวล เป็นต้น เป็นเชื้อเพลิงที่นิยมใช้ในครัวเรือน ยานพาหนะ และอุตสาหกรรม

3.1.2 เชื้อเพลิงเหลว (Liquid Fuels)

หมายถึง เชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม ได้แก่ น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา (fuel oil) เป็นต้น ตลอดจนแอลกอฮอล์ซึ่งได้จากการหมักพืชผลทางการเกษตร เชื้อเพลิงเหลวเป็นเชื้อเพลิงที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมต่างๆ และยานพาหนะ เพราะสะดวกในการใช้และให้ค่าความร้อนสูง

3.1.3 เชื้อเพลิงแข็ง (Solid Fuels)

หมายถึง เชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เช่น ไม้ ฟืน ถ่านไม้ แกลบ หิน น้ำมัน ถ่านหิน ลิกไนต์ ถ่านโค้ก เชื้อเพลิงอัดแท่ง (fuel briquettes) เป็นต้น เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถใช้ประโยชน์ได้แพร่หลาย เช่น เป็นเชื้อเพลิงของหม้อน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม โรงจักรกังหันไอน้ำ ตลอดจนเป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน

เชื้อเพลิงชีวมวลโดยทั่ว ๆ ไป เป็นเชื้อเพลิงแข็ง มีปริมาณความชื้นสูงและ ความหนาแน่นน้อย องค์ประกอบของเชื้อเพลิงจะแตกต่างกันตามประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวล และการที่เชื้อเพลิงชีวมวลมีปริมาณความชื้นและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน จึงทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าแตกต่างกันด้วย ดังนี้

แกลบ	มีคุณค่าทางความร้อนเท่ากับ	3,300	kcal/kg
ขี้เลื่อย	มีคุณค่าทางความร้อนเท่ากับ	4,000	kcal/kg
ชานอ้อย	มีคุณค่าทางความร้อนเท่ากับ	1,900	kcal/kg
ขยะ	มีคุณค่าทางความร้อนเท่ากับ	2,000	kcal/kg

ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวมวลที่นิยมนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน ส่วนมากจะเป็น ขี้เลื่อยและแกลบ เพราะให้ค่าความร้อนสูงและความชื้นต่ำ

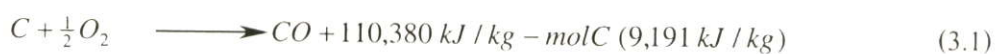
3.2 การเผาไหม้

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ (Combustion reaction) หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับสารเผาไหม้ได้ (Combustible element) ของเชื้อเพลิงชนิดหนึ่ง ๆ สารเผาไหม้ได้ในที่นี้มีธาตุหลัก 3 ตัว คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน สำหรับกำมะถันขณะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนจะให้ความร้อนไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับคาร์บอนและไฮโดรเจน ในทางตรงกันข้ามกลับเพิ่มปัญหาในด้านการกัดกร่อนชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ รวมทั้งทำให้เกิดปัญหาหมอกพิษในอากาศ

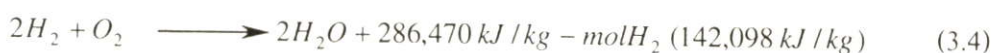
3.2.1 ปฏิกิริยาเคมีของการเผาไหม้

สารประกอบส่วนใหญ่ในเชื้อเพลิงประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และสารประกอบอื่นๆปนอยู่บ้างเช่น กำมะถัน เมื่อเกิดการเผาไหม้จะได้ปฏิกิริยาเคมีดังสมการ

สำหรับการเผาไหม้ของคาร์บอนกับออกซิเจน



สามารถเขียนสมการการเผาไหม้รวมได้เป็น



ซึ่งจะพบว่าปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน โดยปลดปล่อยความร้อนออกมาด้วยหลังจากเกิดปฏิกิริยาเป็นสารประกอบใหม่

3.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้

ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้ที่สำคัญมี 4 ประการ คือ Turbulent (การปั่นป่วนหรือการผสมคลุกเคล้า), Temperature (อุณหภูมิ), Theoretical Air (ปริมาณอากาศที่ต้องการ) และ Time (เวลาที่เพียงพอในการเผาไหม้)

3.2.2.1 การปั่นป่วนหรือการผสมคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ

การผสมหรือการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจน คือ การที่อนุภาคของเชื้อเพลิงสัมผัสกับโมเลกุลของออกซิเจนได้อย่างทั่วถึง ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นก๊าซในการผสมจะเป็นไปได้ง่าย แต่ถ้าเป็นเชื้อเพลิงแข็งหรือของเหลวการผสมจะยุ่งยากขึ้น ในกรณีที่เชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นของเหลวจะมีการทำให้เป็นอนุภาคเล็ก โดยใช้หัวพ่นแล้วจึงทำการเผาไหม้ ซึ่งจะทำให้รวมตัวกับอากาศได้ง่ายขึ้น

ส่วนเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งนั้น แต่ละโมเลกุลของออกซิเจนจะสัมผัสกับผิวของเชื้อเพลิงเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ จากนั้นออกซิเจนจะเข้าผสมกับก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ทำให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในที่สุด ดังนั้นจะกล่าวได้ว่า จุดประสงค์ของการทำให้เกิดการปั่นป่วนขึ้นก็เพื่อที่จะทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง ทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วและทำให้เกิดบริเวณของพื้นผิวที่จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นใหม่

3.2.2.2 อุณหภูมิที่สูงพอต่อขบวนการเผาไหม้

ขบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหรืออัตรารวมตัวกันทางเคมีของเชื้อเพลิงกับอากาศนั้นขึ้นโดยตรงกับอุณหภูมิ การเผาไหม้จะเกิดขึ้นในตอนแรก ๆ และเกิดต่อไปเรื่อย ๆ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ก็จะเพิ่มอุณหภูมิของเชื้อเพลิงและอากาศให้มากขึ้น ทำให้อัตราการเผาไหม้มากขึ้นด้วย ฉะนั้นสิ่งที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้แบบเกิดขึ้นเอง (Spontaneous Combustion) จะประกอบด้วย

1. อุณหภูมิสูงพอสำหรับขบวนการเผาไหม้
2. สารเชื้อเพลิง
3. อากาศที่เพียงพอ

ขบวนการเผาไหม้นั้นไม่ได้เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นได้เอง โดยส่วนใหญ่จะใช้ปริมาณความร้อนจากภายนอกช่วยเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ และให้ปริมาณความร้อนออกมาเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นสิ่งที่สำคัญสำหรับการเผาไหม้แบบต่อเนื่องก็คือ อุณหภูมิ ซึ่งถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปก็ทำ

ให้เชื้อเพลิงไม่สามารถถูกไหม้แบบต่อเนื่องได้ แต่ถ้าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงพอเพียง การถูกไหม้ก็จะเกิดต่อไปได้เรื่อย ๆ โดยปกติแล้วการเผาไหม้นั้นต้องการให้มีอุณหภูมิสูงเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้เร็ว แต่การที่จะให้อุณหภูมิจะสูงได้มากน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ ซึ่งจะสามารถให้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ในกรณีอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นสารที่ไม่ต้องการได้ เช่น สารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน หรือ เกิดเถ้าหลอมรวมตัวเป็นซิลิคา (slag) ก็จะเกาะติดอยู่บนผนังเหล็ก ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนทำให้เกิดการกัดกร่อนได้

3.2.2.3 อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเชื้อเพลิงกับปริมาณอากาศ

อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเชื้อเพลิงกับปริมาณอากาศที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้ เพื่อให้ได้ผลอย่างสมบูรณ์นั้น จะต้องมีสัดส่วนที่พอดีกันระหว่างปริมาณเชื้อเพลิงกับปริมาณออกซิเจน ตามสมการเผาไหม้ ปริมาณของอากาศตามทฤษฎี (Theoretical air) คือปริมาณน้อยที่สุดของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ จนคาร์บอน, ไฮโดรเจน และกำมะถัน เปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, น้ำ และ ก๊าซซัลเฟอร์ไดร็อกไซด์ ตามลำดับ ในทางปฏิบัติจริงของอากาศที่ต้องการตามทฤษฎีไม่พอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ การสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ คือ การเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และ คาร์บอนในก๊าซไอเสีย

3.2.2.4 เวลาที่เพียงพอในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง

เวลาที่เพียงพอในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง คือเวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในเตาเผาควรรานพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้มากที่สุด แต่การเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์เป็นไปได้ยากเพราะต้องใช้เวลาาน และเสียค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้องใช้เตาเผาที่มีความสูงมากๆ ดังนั้นจึงนำเทคนิคการหมุนวนความเร็วสูงของเตาเผาออร์ทอกมาเพื่อช่วยให้เกิดการไหลหมุนวน (Reciculating Flow) ของเชื้อเพลิงกับอากาศ ขณะเกิดการเผาไหม้ภายใน ทำให้เวลาในการเผาไหม้นานขึ้น จึงเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

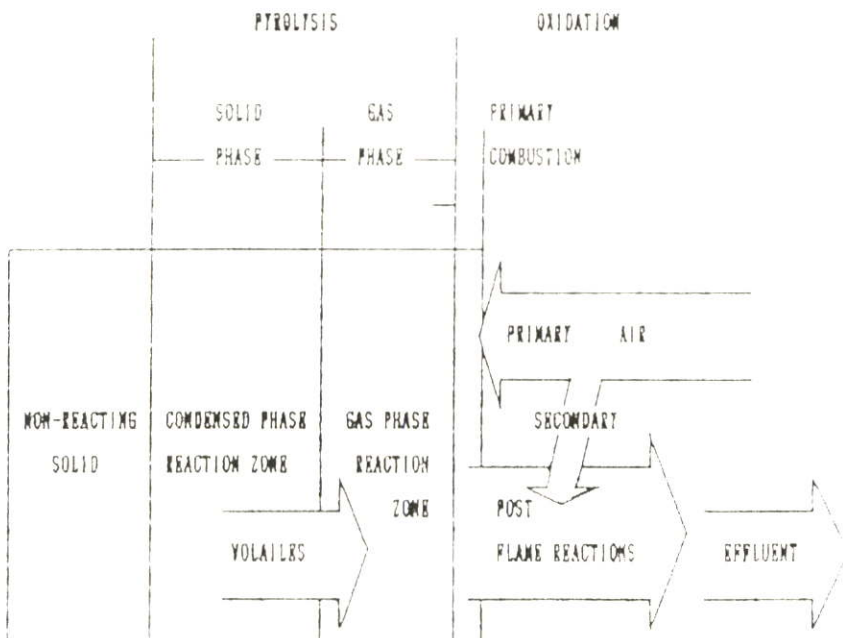
3.3 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

เชื้อเพลิงแข็งที่ใช้อยู่ทั่ว ๆ ไปมีหลายชนิด เช่น ไม้ วัสดุชีวมวล เป็นต้น ขบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งจะมีความแตกต่างไปจากเชื้อเพลิงเหลว และก๊าซเชื้อเพลิง เนื่องจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแข็ง มักเป็นสารประกอบที่มีส่วนผสมของสารต่าง ๆ มากมายและผสมกันอย่างไม่เป็นเนื้อเดียวกันนัก อีกทั้งอัตราส่วนของสารต่าง ๆ ภายในเชื้อเพลิงแข็งยังไม่แน่นอน นอกจากนี้การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งยังขึ้นอยู่กับขนาดของเชื้อเพลิงแข็งด้วย เชื้อเพลิงแข็งประกอบด้วยสารต่าง ๆ ซึ่งมีทั้งสามารถเผาไหม้ได้และ ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้เรียกว่า สารเฉื่อย

(Inert) สารเหล่านี้สามารถเปรียบเทียบได้กับ ก๊าซไนโตรเจนในอากาศ ซึ่งไม่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ แต่ในบางครั้งสารเฉื่อยเหล่านี้ ก็อาจเกิดปฏิกิริยาได้ในบางขบวนการของการเผาไหม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขบวนการที่มีอุณหภูมิสูง ๆ สารเฉื่อยที่ประกอบอยู่ในเชื้อเพลิงแข็งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ความชื้น และสารอนินทรีย์ที่ประกอบเป็นขี้เถ้า ซึ่งสารเหล่านี้ส่วนมากเป็นสารจำพวก ซิลิเกต (Silicates) ซัลไฟด์ (Sulfides) เป็นต้น เมื่อเผาไหม้สารเหล่านี้จะกลายเป็นขี้เถ้า บางส่วนจะตกอยู่ภายในห้องเผาไหม้ บางส่วนที่มีน้ำหนักเบาจะปลิวออกไปกับก๊าซไอเสีย เรียกว่า เถ้าปลิว (Fly Ash)

เชื้อเพลิงแข็ง เป็นวัสดุที่มีส่วนผสมเป็นสารประกอบที่รวมตัวกับออกซิเจน อาจเกิดปฏิกิริยาและไม่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้รวมกัน สารประกอบที่เกิดการเผาไหม้แบ่งออกได้ 2 ชนิด ชนิดที่เป็นสารระเหย (Volatile matter) ในที่นี้จะหมายถึง สารประกอบที่ระเหยในช่วงอุณหภูมิการเผาไหม้ เช่น ไฮโดรเจน ไฮโดรคาร์บอน ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ และชนิดที่ไม่เป็นสารระเหย (Nonvolatile) หรือ เป็นสารที่น้ำหนักโมเลกุลสูงนั่นเอง เช่น คาร์บอน โพลีเมอร์ลิก (Polymeric)

ในขบวนการไพโรไลซิส สารที่ระเหยได้ในเชื้อเพลิงจะระเหยออกจากผิวอนุภาคของเชื้อเพลิง และผสมกับอากาศรอบ ๆ เกิดการเผาไหม้ขึ้น ซึ่งเรียกช่วงนี้ว่า การเผาไหม้ช่วงแรก (Primary Combustion) หลังจากเผาไหม้แล้วยังมีบางส่วนที่ยังเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เมื่อมาพบกับอากาศส่วนที่สอง (Secondary Air) จะเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ต่อไปและออกมาเป็นก๊าซไอเสียในที่สุด ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

ในส่วนของสารที่ไม่ระเหยที่อยู่ในเชื้อเพลิงแข็ง เช่น คาร์บอนเมื่อเกิดขบวนการเผาไหม้ ออกซิเจนจะเข้าไปสัมผัสกับผิวคาร์บอนตามขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาของคาร์บอนดังนี้



หลังจากที่เกิดปฏิกิริยาทั้ง 3 สมการ จะให้ผลิตภัณฑ์ไพโรซีส ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องทำปฏิกิริยาต่อไปอีก มีสองสถานะ คือ ก๊าซ และของแข็ง สำหรับก๊าซประกอบด้วย CO, CO₂, H₂, O₂, H₂O และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอีกเล็กน้อยที่ปล่อยออกมารอบ ๆ อนุภาคเชื้อเพลิง เมื่อปฏิกิริยาสารระเหยต่อพื้นที่ผิว (Surface Flux of Volatile) ของอนุภาคน้อย ออกซิเจนจะเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซดังกล่าว เกิดการเผาไหม้แบบผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกันของก๊าซแต่ละชนิด ในทางตรงกันข้าม ถ้าปริมาณของสารระเหยต่อพื้นที่ผิวมาก จะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซ เป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาหรือเกิดน้อย ฉะนั้นจึงต้องใช้เวลาเพื่อให้ปริมาณของสารระเหยเจือจางลงจึงจะเกิดปฏิกิริยา ในส่วนที่เป็นของแข็งจำพวกถ่าน จะไม่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ในเวลานั้น เนื่องจากก๊าซที่เกิดในกระบวนการไพโรซีสจะป้องกันไม่ให้ออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยาและอุณหภูมิยังไม่สูงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้ แต่หลังจากก๊าซต่าง ๆ เกิดปฏิกิริยาจะถ่ายเทความร้อนให้กับคาร์บอนทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดที่เกิดปฏิกิริยา และ มีขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาดังนี้



อัตราการเกิดปฏิกิริยาของการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับของเชื้อเพลิงแข็ง และเชื้อเพลิงแข็งนี้จะได้รับการถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีมากที่สุด

ในส่วนของสารที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ เช่น ความชื้น ซึ่งจะระเหยออกไปในขณะที่เกิดการเผาไหม้ และออกไปกับก๊าซไอเสีย ความชื้นเหล่านี้จะทำให้อุณหภูมิจากการเผาไหม้ลดลงเพราะจะต้องสูญเสียความร้อน เพื่อทำให้ความชื้นระเหยตัว และมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิการเผาไหม้ และสารที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้จำพวก สารอนินทรีย์ต่าง ๆ จะเกิดเป็นขี้เถ้า ถ้าอุณหภูมิสูงมาก ๆ สารเหล่านี้จะละลายกลายเป็นสแลก (Slag)

3.4 อุณหภูมิอะเดียแบติก (Adiabatic Flame Temperature)

ในกรณีไม่มีงานเกี่ยวข้องและไม่มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์หรือพลังงานศักย์ พลังงานเคมีที่ปล่อยออกมาในระหว่างการเผาไหม้นั้นอาจสูญเสียไปสู่สิ่งแวดล้อม ในรูปของพลังงานความร้อนหรืออาจถูกใช้ไปในการเพิ่มอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ ถ้าการสูญเสียความร้อนมีค่าน้อยอุณหภูมิ

ของผลิตภัณฑ์ก็จะสูง ค่าจำกัดของมันคือเมื่อไม่มีการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม ($Q=0$) และ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ก็จะมีค่าสูงที่สุด ซึ่งเราเรียกอุณหภูมินี้ว่าอุณหภูมิเปลวอะเดียแบติก (Adiabatic flame temperature)

อุณหภูมิดังกล่าวนี้หาได้จากการให้ Q และ W มีค่าเท่ากับศูนย์ในกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งจะได้ว่า

$$H_P = H_R \quad (3.11)$$

หรือ

$$\sum N_P (\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_P = \sum N_R (\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_R \quad (8.12)$$

เมื่อรู้สถานะของสารตั้งต้นเราก็สามารถหา H_R ได้โดยง่าย แต่การหา H_P นั้นไม่เป็นเรื่องที่ย่างนักเพราะเรายังไม่รู้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการคำนวณเปลวอะเดียแบติก (Adiabatic flame temperature) จะต้องใช้วิธีสมมติค่าจนกว่าจะได้ $H_P = H_R$ (เรียกว่า “iterative procedure”) ถ้าเป็นการเผาไหม้ด้วยอากาศซึ่งประกอบด้วย N_2 ส่วนใหญ่ ค่าอุณหภูมิแรกที่เราควรจะเดา คือการสมมติว่าผลิตภัณฑ์ทั้งหมดเป็น N_2

อุณหภูมิสูงสุดในห้องเผาไหม้นั้นถูกจำกัดโดยความทนทานของวัตถุ ดังนั้นอุณหภูมิเปลวอะเดียแบติกจึงมีความสำคัญมากในการออกแบบห้องเผาไหม้ เครื่องยนต์กังหันก๊าซ และหัวฉีด อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์เหล่านี้ที่จริงแล้วจะน้อยกว่าอุณหภูมิเปลวอะเดียแบติกมาก ทั้งนี้เนื่องจากการเผาไหม้อาจไม่สมบูรณ์ มีการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม รวมทั้งก๊าซบางชนิดอาจแยกตัวออก (Dissociate) อุณหภูมิสูงสุดในห้องเผาไหม้อาจควบคุมได้โดยการปรับแต่งปริมาณของอากาศส่วนที่เกิน (Excess air) ซึ่งเปรียบเสมือนการระบายความร้อน

3.5 องค์ประกอบของอากาศ

ปฏิกิริยาเคมีซึ่งเชื้อเพลิงทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (เรียกว่าถูก Oxidized) และให้พลังงานออกมาเป็นจำนวนมากเรียกว่า การสันดาป หรือ การเผาไหม้ (Combustion) อากาศเป็นตัว Oxidizer ที่ใช้บ่อยที่สุดในกระบวนการเผาไหม้ ทั้งนี้เพราะมันสามารถหาได้ง่ายและไม่เสียค่าใช้จ่าย ส่วนออกซิเจนบริสุทธิ์ (pure Oxygen : O_2) นั้นถูกใช้เป็นตัว Oxidizer เฉพาะในกรณีพิเศษซึ่งไม่สามารถใช้อากาศได้ ดังนั้นเราจึงจะพิจารณาองค์ประกอบของอากาศก่อนที่จะไปพิจารณาด้านอื่นๆ เช่น พลังงานจากการเผาไหม้

ตามจำนวนโมล (หรือปริมาตร) นั้นพบว่าอากาศแห้งประกอบด้วยออกซิเจน 20.9 % ไนโตรเจน 78.1 % อาร์กอน 0.9 % และสารอื่นๆ จำนวนเล็กน้อย ในการวิเคราะห์กระบวนการเผาไหม้อาร์กอนในอากาศจะพิจารณาว่าเป็นไนโตรเจน และสารอื่นๆ ที่มีจำนวนเล็กน้อยจะไม่นำมาพิจารณา ดังนั้นจึงจะพิจารณาว่าอากาศแห้งประกอบไปด้วยออกซิเจน 21 % ไนโตรเจน 79 % (ตาม

จำนวนโมล) ดังนั้นแต่ละโมลของออกซิเจนจะมีไนโตรเจนจำนวน 3.76 โมลผสมอยู่ด้วยในอากาศ นั่นคือ

$$1 \text{ kmol}_{\text{O}_2} + 3.76 \text{ kmol}_{\text{N}_2} = 4.76 \text{ kmol}_{\text{air}} \quad (3.13)$$

ที่อุณหภูมิการเผาไหม้ปกติ ไนโตรเจนมีพฤติกรรมเป็นก๊าซเฉื่อย ซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นถึงอย่างไรก็ตาม แม้ไนโตรเจนไม่ทำปฏิกิริยาแต่ก็มีผลต่อกระบวนการเผาไหม้อย่างมากทั้งนี้เพราะไนโตรเจนจะเข้าสู่ห้องเผาไหม้ในปริมาณมากที่อุณหภูมิต่ำ และออกจากห้องเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นการดูดซับพลังงานเคมีส่วนหนึ่งที่ถูกปล่อยออกมาระหว่างกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งจะสมมุติว่าไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อยโดยสมบูรณ์ ที่อุณหภูมิสูงไนโตรเจนจำนวนหนึ่ง(ซึ่งอาจไม่มากนัก) จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนให้สารพิษ เช่น Nitric oxide

อากาศที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้จะมีละอองน้ำปนอยู่ ละอองน้ำนี้จะต้องนำมาพิจารณาเพราะแม้ว่าในกระบวนการเผาไหม้ส่วนใหญ่ซึ่งจะคิดให้เป็นก๊าซเฉื่อยเช่นเดียวกับไนโตรเจน อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิสูงละอองน้ำอาจแยกตัว(Dissociate) เป็น H_2 และ O_2 รวมทั้งอาจแยกเป็น H , O , OH และเมื่อก๊าซจากการเผาไหม้ทำให้เย็นลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature) ของละอองน้ำ จะทำให้ละอองน้ำส่วนหนึ่งกลั่นตัวออกมาเป็นหยดน้ำ และจำเป็นที่จะต้องรู้อุณหภูมิจุดน้ำค้างนี้เพราะหยดน้ำมักจะรวมตัวกับ Sulfur dioxide ซึ่งอาจมากับก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ กลายเป็นกรดกำมะถัน(Sulfuric acid) ซึ่งทำให้เกิดการสึกกร่อนอย่างมาก

ปริมาณที่ใช้ในการวิเคราะห์การเผาไหม้ ได้แก่ สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air-Fuel ratio : AF) ปกติแล้วมันจะเขียนอยู่ในรูปสัดส่วนเชิงมวลและมีค่าจำกัดความเป็น มวลของอากาศต่อมวลเชื้อเพลิง ในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ นั่นคือ

$$AF = \frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{fuel}}} \quad (3.14)$$

มวลสาร (m) ของสารนั้นสัมพันธ์กับจำนวนโมล (N) โดยสมการเขียนเป็นสมการได้ว่า $m = NM$ โดยที่ M คือ มวลโมเลกุล (Molar mass) ของสาร

สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงนี้สามารถเขียนอยู่ในรูปของจำนวนโมลได้เป็นจำนวนโมล ของอากาศต่อจำนวนโมลของเชื้อเพลิง ดังนั้นจะได้ว่า ส่วนกลับของ AF จึงเรียกว่า สัดส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ (Fuel-Air ratio)

3.6 อัตราส่วนสมมูล (Φ)

ในการเผาไหม้จริงปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้อาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่าทางทฤษฎี ถ้าปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎีจะเรียกว่า อัตราส่วนผสมบาง (Lean

Mixture) ตรงกันข้ามหากปริมาณอากาศที่ใช้น้อยกว่าจะเรียกว่า อัตราส่วนผสมหนา (Rich Mixture) เพื่อความสะดวกในการแสดงปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริง จึงกำหนดให้อยู่ในรูปของ อัตราส่วนของเชื้อเพลิงต่ออากาศ $(F/A)_{\text{stoic}} = (m_{\text{fuel}} / m_{\text{air}})_{\text{stoic}}$ และอัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio, Φ) จะหมายถึง

$$\Phi = \frac{(F/A)_{\text{Actual}}}{(F/A)_{\text{Stoic}}} \quad (3.15)$$

หรือถ้าอยู่ในรูปของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

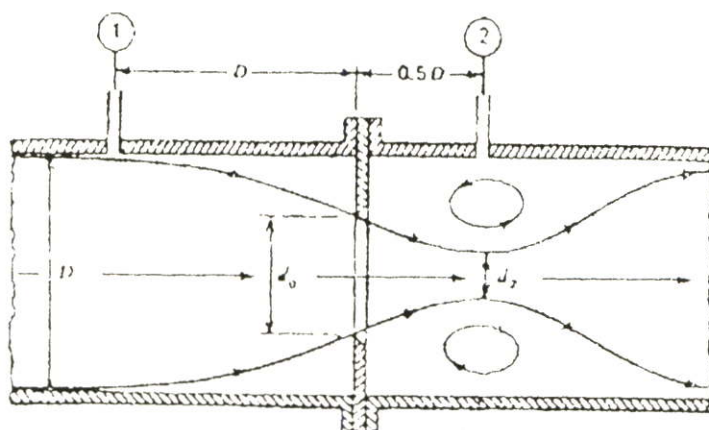
$$\Phi = \frac{(A/F)_{\text{Stoic}}}{(A/F)_{\text{Actual}}} \quad (3.16)$$

Fuel rich mixture	$\Phi > 1$	ปริมาณอากาศที่ใช้น้อยกว่าปริมาณที่ต้องใช้ทางทฤษฎี
Stoichiometric	$\Phi = 1$	ปริมาณอากาศที่ใช้เท่ากับปริมาณที่ต้องใช้ทางทฤษฎี
Fuel lean mixture	$\Phi < 1$	ปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าปริมาณที่ต้องใช้ทางทฤษฎี

3.7 ออร์ฟิส (Orifice)

สมมติฐานเบื้องต้นสำหรับการวัดอัตราการไหลด้วยออร์ฟิสในการทดลองนี้คือของไหลที่อยู่ภายในท่อไม่สามารถอัดตัวได้ ความเร็วของของไหลมีค่าคงที่ตลอดหน้าตัด (โดยไม่คิดบริเวณที่เรียกว่า บริเวณกระแสไหลวน) ของไหลไม่มีความหนืดและการไหลเกิดขึ้นแบบ Steady flow (อัตราการไหลมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับเวลา) โดยใช้มาตรฐาน (ANSI/API 2530) [14]

สมการ Bernoulli สามารถนำมาใช้อธิบายคุณสมบัติในการไหลที่จุดต่างๆ ภายในท่อได้ดังนั้นสมการ Bernoulli สำหรับจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของการไหลดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงการไหลผ่านแผ่น ออร์ฟิส (Orifice)

$$Q_{ac} = C_d A_o \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\rho g \left[1 - \left(\frac{d_o}{D} \right)^4 \right]}} \quad (3.17)$$

เมื่อ

P = ความดันสถิตย์ของของไหล (N/m^2)

γ = น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight, N/m^3)

Subscript 1t = ค่าที่จุดที่ 1 ในทางทฤษฎี

Subscript 2t = ค่าที่จุดที่ 2 ในทางทฤษฎี

A_o = พื้นที่หน้าตัดรูออริฟิส (m^2)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

d_o = เส้นผ่านศูนย์กลางรูออริฟิส

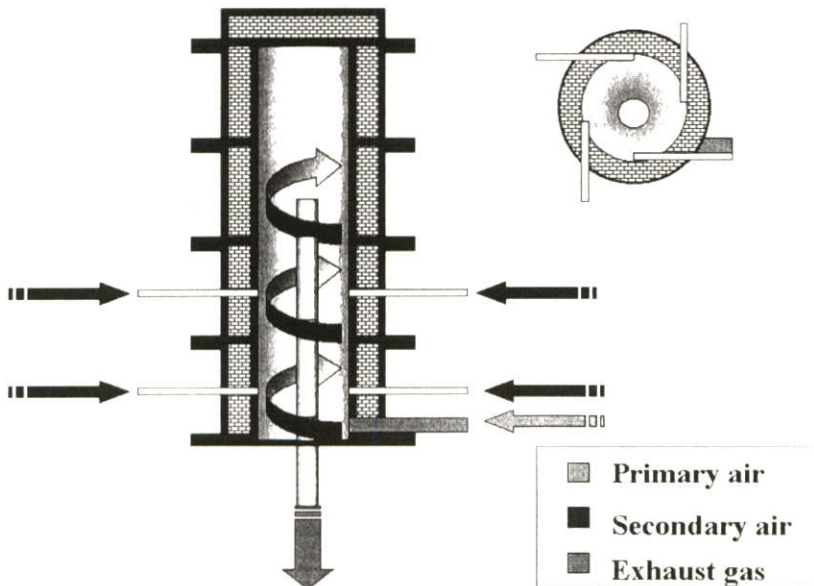
C_d = discharge coefficient (การปรับเทียบ แสดงในภาคผนวก ค.)

บทที่ 4

การออกแบบและการคำนวณ

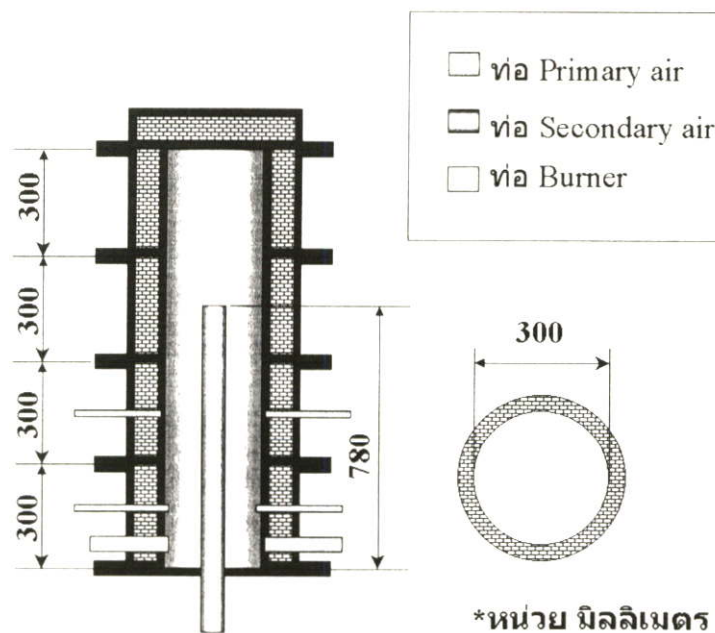
4.1 การออกแบบเตาเผาออร์เทค

เตาออร์เทคเป็นเตาเผาที่ถูกพัฒนาขึ้นหลังจากเตาเผาแบบ Fluidized bed โดยเตาออร์เทคนั้นจะรวมข้อดีของเตาไซโคลน, เตาถ่านหินผง(Pulverized Coal), ห้องสันดาปของเครื่องยนต์กังหันก๊าซ และเตา Fluidized bed เข้าด้วยกันเพื่อแก้ปัญหาในเรื่องของ slag, เเขม่า, ขี้เถ้า รวมถึงการเพิ่มเวลาในการเผาไหม้เพื่อการเผาไหม้ที่ดีขึ้น ทำให้เตาเผาออร์เทคมีขนาดเล็ก และสามารถควบคุมได้ง่าย เตาออร์เทคใช้เทคนิคของไหลแบบหมุนวนความเร็วสูง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 การหมุนวนได้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเสถียรของเปลวไฟ เพิ่มการผสมคลุกเคล้าของเชื้อเพลิงและอากาศ และช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน นอกเหนือจากช่วยเพิ่มเวลาอยู่ในเตาของเชื้อเพลิง (Fuel residence time) และช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ การหมุนวนช่วยเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลวนไปมาในบริเวณกึ่งกลางของเตา (Central recirculation zone) เป็นผลให้เกิดความปั่นป่วนอย่างรุนแรงขึ้นในแต่ละชั้นระหว่างการไหลวนไปมาและการไหลของชั้นภายนอกซึ่งช่วยทำให้เปลวไฟในเตาเสถียรยิ่งขึ้น โครงสร้างของความปั่นป่วนในการไหลแบบหมุนวนความเร็วสูงนี้โดยทั่วไปมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนมาก การไหลวนไปมา (Recirculation) อันเป็นผลจากการหมุนวนสามารถนำไปสู่ การเพิ่มประสิทธิภาพการสันดาป



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการไหลภายในเตาเผาออร์เทค

ลักษณะของเตาเผาแบบวอร์เทคมีห้องเผาไหม้เป็นทรงกระบอก และมีท่อทิ้งขี้เถ้าลอยอยู่ภายใน ซึ่งห้องเผาไหม้จะประกอบด้วยท่อเหล็ก 2 ชั้น ท่อชั้นในมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 300 มิลลิเมตร (กำหนดให้มีขนาดเท่ากับ D) ท่อเหล็กชั้นนอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 400 มิลลิเมตร ซึ่งท่อทั้ง 2 มีความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ช่องว่างระหว่างท่อชั้นในและท่อชั้นนอกหล่อด้วยอิฐทนไฟมีความหนาเท่ากับ 40 มิลลิเมตร เป็นฉนวนเพื่อช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากห้องเผาไหม้สู่บรรยากาศ และความสูงของห้องเผาไหม้ในแต่ละตอนมีขนาดเท่ากับ 300 มิลลิเมตร ในการทดลองใช้ความสูงของห้องเผาไหม้เท่ากับ 1200 มิลลิเมตร (มีขนาดความสูงเท่ากับ 4D) ห้องเผาไหม้ในแต่ละตอนจะถูกยึดติดด้วยหน้าแปลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 480 มิลลิเมตร ด้านล่างและด้านบนของห้องเผาไหม้ปิดด้วยฝาปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 480 มิลลิเมตร และด้านในของฝาหล่อด้วยอิฐทนไฟ ท่อทิ้งขี้เถ้าลอยทำจากท่อสแตนเลสมีความยาวเท่ากับ 1100 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 75 มิลลิเมตร และความหนาเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศส่วนที่ 1 (Primary Air) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 50 มิลลิเมตร และอากาศส่วนที่ 2 (Secondary Air) ถูกแบ่งออกเป็น 8 ส่วน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ตำแหน่งการป้อนแยกออกเป็น 2 ชุดเท่าๆกัน โดยชุดแรกจะป้อนสูงจากด้านล่างห้องเผาไหม้เท่ากับ 150 มิลลิเมตร และชุดที่ 2 มีระยะห่างจากชุดแรกเท่ากับ 300 มิลลิเมตร อากาศส่วนที่ 1 และอากาศส่วนที่ 2 ป้อนในแนวสัมผัสกับห้องเผาไหม้ ตำแหน่งของการวัดการกระจายอุณหภูมิภายใน 8 ตำแหน่งตามความสูงของห้องเผาไหม้ ซึ่งตำแหน่งที่ 1 สูงจากด้านล่างของเตาเผาเท่ากับ 75 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างตำแหน่งการวัดอุณหภูมิเท่ากับ 150 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4.2



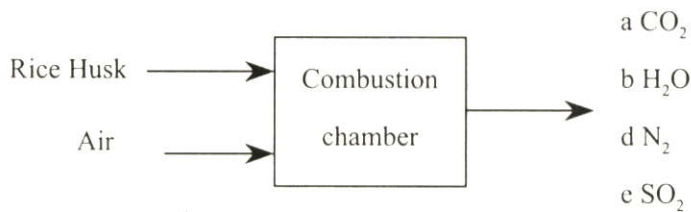
รูปที่ 4.2 แสดงรายละเอียดของเตาเผาแบบวอร์เทค

4.2 การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการในการเผาไหม้ทางทฤษฎี

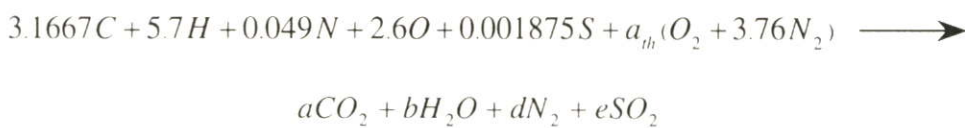
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์	น้ำหนักโมเลกุล	จำนวน โมล
คาร์บอน	38.0	12	3.1667
ไฮโดรเจน	5.7	1	5.7
ไนโตรเจน	0.69	14	0.049
ออกซิเจน	41.6	16	2.6
ซัลเฟอร์	0.06	32	0.001875
ขี้เถ้า	19.8	-	-

การสมดุลปฏิกิริยาเคมี



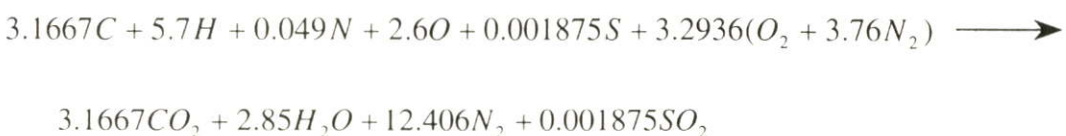
สามารถเขียนเป็นปฏิกิริยาเคมีได้ดังนี้



ทำการสมดุลสมการจะได้

$$\begin{aligned} C : \quad 3.1667 &= a &\longrightarrow & a = 3.1667 \\ H : \quad 5.7 &= 2b &\longrightarrow & b = 2.85 \\ S : \quad 0.001875 &= e &\longrightarrow & e = 0.001875 \\ O : \quad 2.6 + 2a_{th} &= 2a + b + 2e &\longrightarrow & a_{th} = 3.2936 \\ N : \quad 0.049 + a_{th}(2 \times 3.76) &= 2d &\longrightarrow & d = 12.406 \end{aligned}$$

ทำการแทนค่าลงในสมการจะได้



จำนวน โมลของอากาศแห้งมีค่าเท่ากับ

$$4.76a_{th} = 4.76 \times 3.2936 = 15.678 \text{ kmol}$$

เนื่องจากการสมดุลสมการใช้กับอากาศแห้ง แต่ในการทดลองไม่สามารถทำให้เป็นอากาศแห้งได้ เพราะฉะนั้นจะต้องทำการคิดปริมาณความชื้นในอากาศเข้าไปในสมการการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงด้วย โดยกำหนดสถานะของอากาศดังนี้

อากาศมีอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb temperature) เท่ากับ 33°C

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity , RH) เท่ากับ 53%

เพราะฉะนั้นทำการหาค่าความดันย่อยในอากาศที่สถานะนี้ได้เท่ากับเปิดค่าจากตาราง จะได้

$$P_{sat,H_2O} @ 33^{\circ}\text{C} = 5.0752 \text{ kPa}$$

$$\therefore P_{v,air} = \Phi_{air} P_{sat,H_2O} = 0.53 \times 5.0752 = 2.690 \text{ kPa}$$

จำนวน โมลของละอองน้ำในอากาศจากสมการ

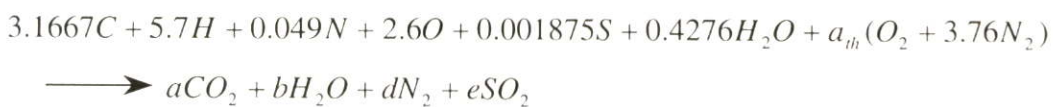
$$\left(\frac{N_{v,H_2O,air}}{N_{v,total}} \right) = \left(\frac{P_{v,air}}{P_{v,total}} \right)$$

$$N_{v,H_2O,air} = \left(\frac{P_{v,air}}{P_{v,total}} \right) N_{v,total}$$

$$= \left(\frac{2.690 \text{ kPa}}{101.325 \text{ kPa}} \right) \times (15.678 + N_{v,H_2O,air}) \text{ kmol}$$

$$\therefore N_{v,H_2O,air} = 0.4276 \text{ kmol}$$

เพราะฉะนั้นทำการสมดุลสมการการเผาไหม้สำหรับอากาศชื้นใหม่จะได้ดังนี้



ทำการสมดุลสมการจะได้

$$C : \quad 3.1667 \quad \quad \quad = a \quad \quad \quad \longrightarrow \quad a = 3.1667$$

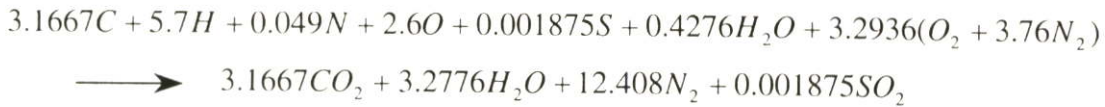
$$H : \quad 5.7 + (0.4276 \times 2) \quad \quad = 2b \quad \quad \quad \longrightarrow \quad b = 3.2776$$

$$S : \quad 0.001875 \quad \quad \quad = e \quad \quad \quad \longrightarrow \quad e = 0.001875$$

$$O : \quad 2.6 + 0.4276 + (a_{th} \times 2) \quad \quad = 2a + b + 2e \quad \quad \longrightarrow \quad a_{th} = 3.2936$$

$$N : \quad 0.049 + (a_{th} \times 3.76 \times 2) \quad \quad = 2d \quad \quad \quad \longrightarrow \quad d = 12.408$$

นำค่าตัวแปรที่ทำการคำนวณได้แทนค่ากลับในสมการจะได้สมการเผาไหม้ของอากาศชั้น
กับเชื้อเพลิงแกลบที่อัตราการเผาไหม้พอ คือ



จากนั้นทำการหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง จากสมการ

$$\left(\frac{A}{F}\right)_{ratio} = \frac{m_{air}}{m_{fuel}}$$

มวลของอากาศเท่ากับ

$$m_{air} = n_{air} \times MW_{air} = (n_{dryair} \times MW_{dryair}) + (n_{H_2O} \times MW_{H_2O}) \\ = (3.2936 \times 4.76 \text{ kmol}) \left(28.97 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}\right) + (0.4276 \text{ kmol} \times 18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}) \\ = 461.875 \text{ kg}$$

มวลของเชื้อเพลิงเท่ากับ

$$m_{fuel} = n_{fuel} \times MW_{fuel} = (n_C \times MW_C) + (n_H \times MW_H) + (n_N \times MW_N) + (n_O \times MW_O) \\ + (n_S \times MW_S) \\ = (3.1667 \times 12) + (5.7 \times 1) + (0.049 \times 14) + (2.6 \times 16) + (0.001875 \times 32) \text{ kg} \\ = 86.046 \text{ kg}$$

ดังนั้น

$$\left(\frac{A}{F}\right)_{ratio} = \frac{461.875 \text{ kg}}{86.046 \text{ kg}} \\ = 5.368$$

จากสมการอัตราส่วนสมมูล

$$\Phi = \frac{(A/F)_{stoic}}{(A/F)_{act}} = \frac{(F/A)_{Actual}}{(F/A)_{Stoic}}$$

Fuel rich mixture	$\Phi > 1$	ปริมาณอากาศที่ใช้น้อยกว่าปริมาณที่ต้องใช้ทางทฤษฎี
Stoichiometric	$\Phi = 1$	ปริมาณอากาศที่ใช้เท่ากับปริมาณที่ต้องใช้ทางทฤษฎี
Fuel lean mixture	$\Phi < 1$	ปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าปริมาณที่ต้องใช้ทางทฤษฎี

เพราะฉะนั้นทำการหาอัตราการใช้มวลของอากาศที่ใช้ในการทดลองเมื่อกำหนดอัตราการใช้มวลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.2 kg/min จะได้

$$\left(\frac{A}{F}\right) = 5.368$$

$$\begin{aligned} A &= 5.368 \times 0.2 \text{ kg/min} \\ &= 1.073 \text{ kg/min} \\ &= 0.0179 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

ดังนั้นในกรณีอัตราส่วนผสมพอดี (Stoichiometric) จะได้ว่า

อัตราการใช้มวลอากาศเท่ากับ 0.0179 kg/s

อัตราการใช้มวลเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.0033 kg/s

ตารางที่ 4.2 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองที่อัตราการใช้มวลเชื้อเพลิง 0.20 kg/min

Φ	Primary Air (kg/sec)			Secondary Air (kg/sec)	
	100%	85%	75%	15%	25%
0.8	0.0224	0.0190	0.0168	0.0034	0.0056
1.0	0.0179	0.0152	0.0134	0.0027	0.0045
1.2	0.0149	0.0127	0.0112	0.0022	0.0037

ตารางที่ 4.3 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองที่อัตราการใช้มวลเชื้อเพลิง 0.25 kg/min

Φ	Primary Air (kg/sec)			Secondary Air (kg/sec)	
	100%	85%	75%	15%	25%
0.8	0.0280	0.0238	0.0210	0.0070	0.0042
1.0	0.0224	0.0190	0.0168	0.0056	0.0034
1.2	0.0186	0.0158	0.0140	0.0047	0.0028

ตารางที่ 4.4 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองที่อัตราการใช้มวลเชื้อเพลิง 0.30 kg/min

Φ	Primary Air (kg/sec)			Secondary Air (kg/sec)	
	100%	85%	75%	15%	25%
0.8	0.0336	0.0285	0.0252	0.0050	0.0084
1.0	0.0268	0.0228	0.0201	0.0040	0.0067
1.2	0.0224	0.0190	0.0168	0.0034	0.0056

บทที่ 5

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

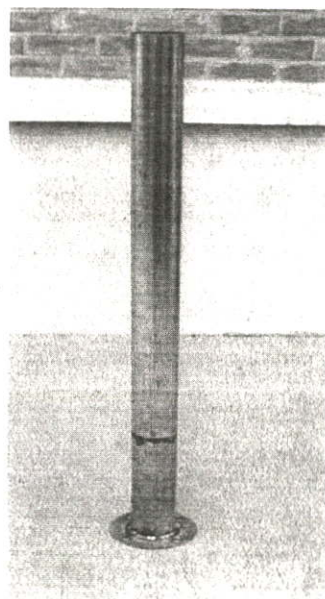
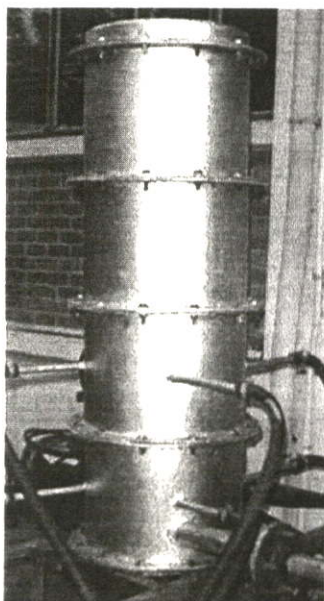
การดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งขั้นตอนออกเป็น 5 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ ขั้นตอนที่หนึ่งเป็นการเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง ขั้นตอนที่สองคือการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง ขั้นตอนที่สามเป็นการเตรียมเชื้อเพลิงแก๊สในการทดลอง ขั้นตอนที่สี่คือการอุ่นเตา และขั้นตอนสุดท้ายเป็นขั้นตอนการทดลองและบันทึกผลการทดลอง โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังนี้

5.1 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาลักษณะการเผาไหม้ และหาองค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองมีหลายชนิดประกอบเข้าด้วยกัน รายละเอียดต่างๆของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

5.1.1 เตาเผาเวอร์เทค

ลักษณะห้องเผาไหม้ของเตาเผาเวอร์เทคมีลักษณะทรงกระบอก มีท่อทิ้งเถ้าลอยและก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้อยู่ด้านในดังแสดงในรูปที่ 5.1 ผนังของห้องเผาไหม้ประกอบด้วยท่อเหล็กทรงกระบอก 2 ชั้น โดยท่อเหล็กชั้นนอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 400 มิลลิเมตร

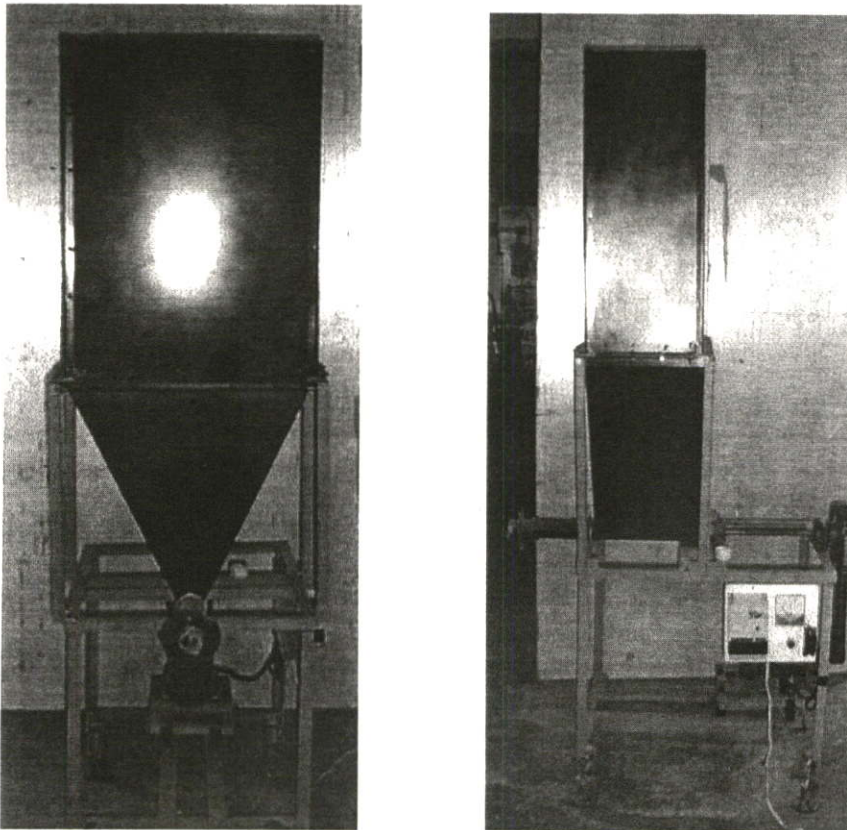


รูปที่ 5.1 เตาเผาแบบเวอร์เทค และท่อทิ้งเถ้าลอย

และท่อเหล็กชั้นในมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 300 มิลลิเมตร (เท่ากับ D) ท่อเหล็กทั้งสองมีความยาวในแต่ละท่อนเท่ากับ 300 มิลลิเมตร และความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ความสูงของห้องเผาไหม้ที่ใช้ในการทดลองมีความสูงเท่ากับ 1200 มิลลิเมตร (เท่ากับ 4D) ช่องว่างระหว่างท่อเหล็กทั้งสองจะถูกหล่อด้วยอิฐทนไฟหนา 40 มิลลิเมตร เพื่อเป็นฉนวนช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากห้องเผาไหม้สู่บรรยากาศ ท่อทิ้งก๊าซไอเสียและเถ้าลอยมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 75 มิลลิเมตร มีความยาวเท่ากับ 1100 มิลลิเมตร และมีความหนาเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ทำจากสแตนเลส ด้านบนและด้านล่างของเตาเผามีแผ่นเหล็กปิดซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 480 มิลลิเมตร

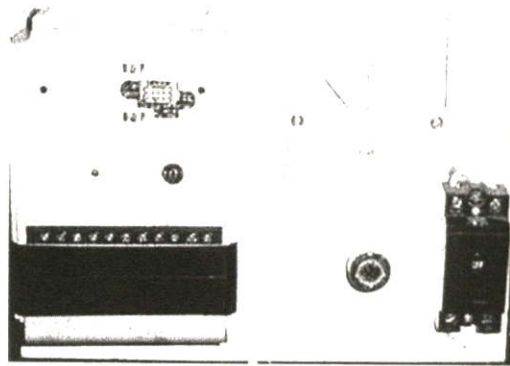
5.1.2 ระบบป้อนเชื้อเพลิง

ระบบป้อนเชื้อเพลิงสามารถป้อนเชื้อเพลิงเข้าเตาเผาอย่างต่อเนื่อง และสามารถปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงตามที่ต้องการ ระบบป้อนเชื้อเพลิงประกอบด้วย อินเวอร์เตอร์(Inverter) มอเตอร์(Motor) สกรูฟีดเดอร์(Screw Feed) และฮอปเปอร์(Hopper) ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



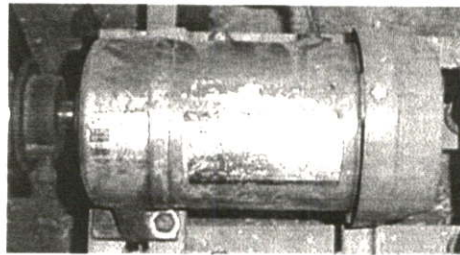
รูปที่ 5.2 ระบบป้อนเชื้อเพลิงแบบ

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คืออุปกรณ์ที่นำมาใช้สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ เพื่อปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิง มีกำลังขับ 0.22 KW 1.5A Model FR-A024-0.2 KP โดยอินเวอร์เตอร์สามารถปรับความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 1650 RPM ดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 อินเวอร์เตอร์

มอเตอร์ (Motor) เป็นต้นกำลังในการขับ สกิวฟีเดอร์(Screw Feed) ดังแสดงในรูปที่ 5.4 โดยมอเตอร์ที่ใช้มีขนาดกำลังขับเท่ากับ 1/4 Hp



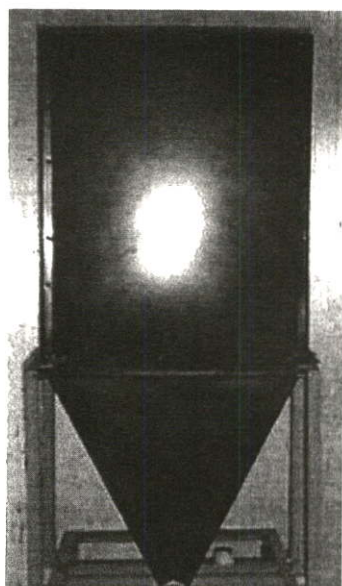
รูปที่ 5.4 มอเตอร์

สกิวฟีเดอร์ (Screw Feed) เป็นอุปกรณ์ลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่ท่ออากาศปฐมภูมิ สกิวฟีเดอร์สร้างขึ้นจากเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 สกิวฟีเดอร์

ฮอปเปอร์ (Hopper) คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบรรจุเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 5.6 มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมสามารถบรรจุเกลือได้สูงสุดเท่ากับ 0.05 m^3

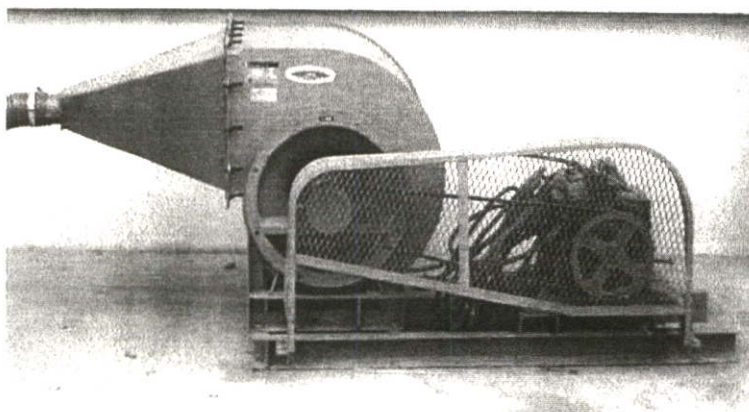


รูปที่ 5.6 ฮอปเปอร์

5.1.3 ระบบป้อนอากาศ

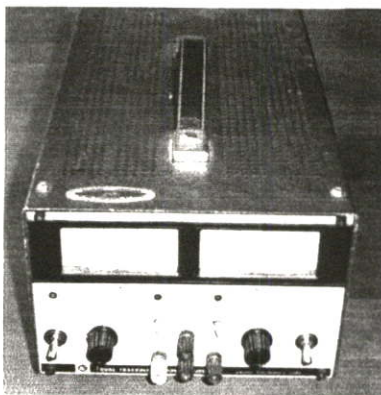
อากาศที่ป้อนเข้าสู่เตาเผาจะแยกออกเป็นสองส่วนด้วยกันคือ อากาศปฐมภูมิถูกป้อนพร้อมกับเชื้อเพลิงทางด้านล่างของเตาเผา และอากาศทุติยภูมิถูกป้อนทางด้านข้างของเตาเผาในแนวสัมผัส โดยอากาศทั้งสองส่วนได้จาก Blower ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

Blower ใช้มอเตอร์ขนาด 10 Hp เป็นแบบใบพัดคู่ของ EBBARA FAN สามารถป้อนอากาศให้มีอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ $100 \text{ m}^3/\text{min}$ ความดันสูงสุดเท่ากับ 200 mm.Aq และความเร็วรอบเท่ากับ 4050 min^{-1} ดังแสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 Blower

DC Power Supply ใช้สำหรับควบคุมความเร็วรอบของ Blower เพื่อป้อนอากาศให้เพียงพอกับความต้องการใช้งาน ความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 1650 RPM แรงบิดสูงสุดเท่ากับ 4 N/m ซึ่งแรงดันไฟฟ้าสามารถปรับได้ตั้งแต่ 0 - 80 Volt กระแสสูงสุดเท่ากับ 3 Amp ดังแสดงในรูปที่ 5.8

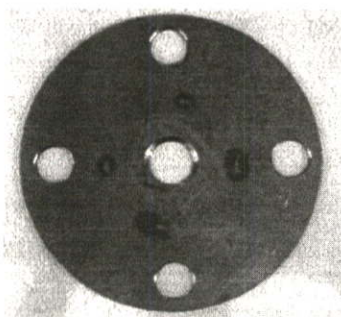


รูปที่ 5.8 DC Power Supply

5.1.4 ระบบวัดอัตราการไหลของอากาศ

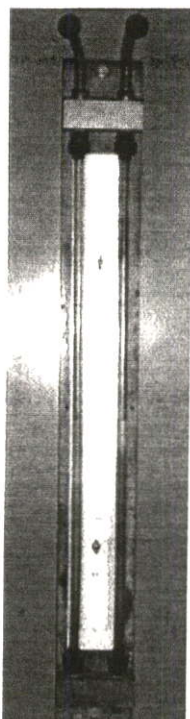
การวัดอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ และอากาศทุติยภูมิใช้ ออร์ฟิซ (Orifice) และค่าความดันตกคร่อมที่ผ่านออร์ฟิซสามารถอ่านค่าโดยใช้มาโนมิเตอร์ (Manometer) เพื่อนำมาเปรียบเทียบค่าอัตราการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

แผ่นออร์ฟิซ (Orifice plate) แบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ออร์ฟิซ 1 ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ และออร์ฟิซ 2 ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 5.9 การสร้างออร์ฟิซมิเตอร์ใช้มาตรฐาน (ANSI/API 2530) [14]



รูปที่ 5.9 ลักษณะของแผ่นออร์ฟิซ

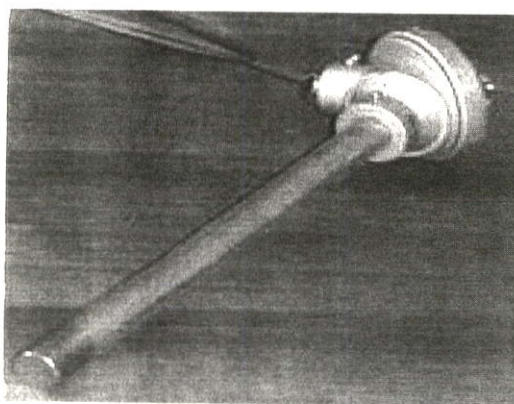
มาโนมิเตอร์ (Manometer) ถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด โดยชุดแรกใช้วัดผลต่างของความดันอากาศปฐมภูมิ และชุดที่สอง ใช้วัดผลต่างของความดันอากาศทุติยภูมิ ซึ่งใช้น้ำเป็นของเหลวภายในทั้งสองชุด ดังแสดงในรูปที่ 5.10



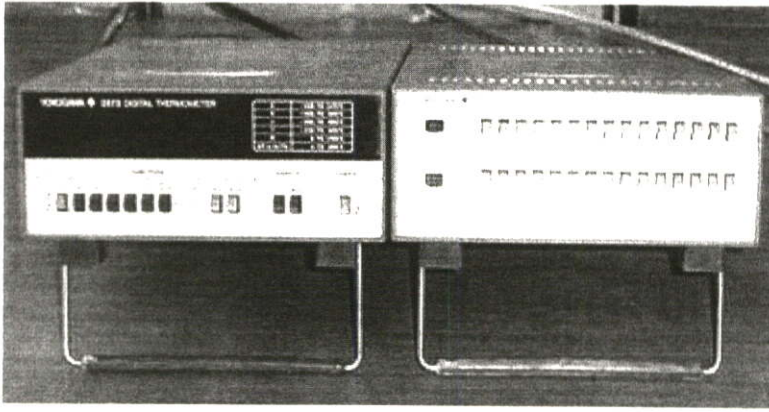
รูปที่ 5.10 มาโนมิเตอร์

5.1.5 ระบบวัดอุณหภูมิ

อุณหภูมิภายในเตาจะวัดโดยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ดังแสดงในรูปที่ 5.11 ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 1200°C ความยาวของเทอร์โมคัปเปิลเท่ากับ 300 มม. ในการทดลองใช้เทอร์โมคัปเปิลทั้งสิ้น 8 ตัว และนำมาต่อเข้ากับ Digital Indicator เพื่อแสดงผลของอุณหภูมิภายในเตาเผา ดังแสดงในรูปที่ 5.12 โดยสามารถอ่านค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง -200 ถึง 1370°C และสามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้ทั้งหมด 30 ตำแหน่ง



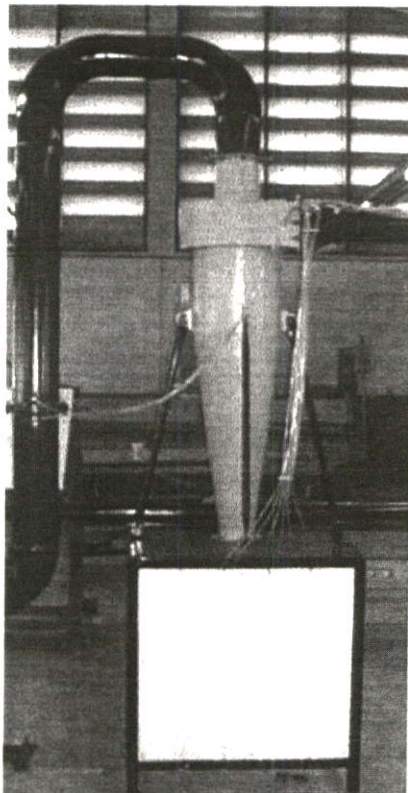
รูปที่ 5.11 เทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 5.12 Digital Indicator

5.1.6 ระบบดักจับเถ้าลอย

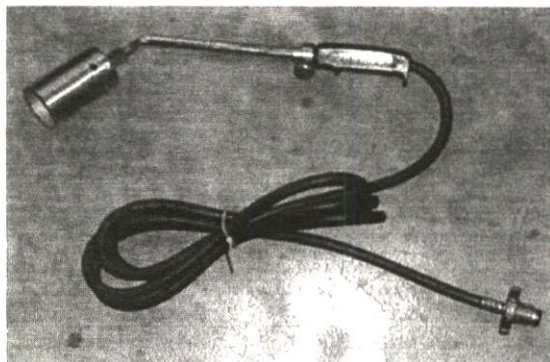
เป็นระบบดักจับเถ้าลอยที่เกิดขึ้นหลังจากการเผาไหม้ โดยใช้หลักการของ Cyclones ดังแสดงในรูปที่ 5.13 ประกอบด้วยท่อทางเข้าทรงกระบอก ส่วน Cyclone เป็นกรวย และก๊าซไอเสียจะถูกปล่อยออกทางด้านบนของไซโคลน และเถ้าจะถูกดักและปล่อยออกลงสู่ถังเก็บเถ้า เพื่อช่วยลดมลพิษทางอากาศ



รูปที่ 5.13 Cyclones

5.1.7 ระบบอุ่นเตา

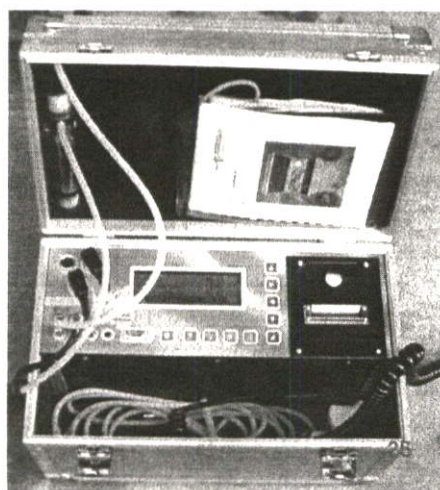
ระบบอุ่นเตาเป็นระบบที่มีความสำคัญอีกระบบหนึ่งคือ ก่อนทำการทดลองเผาไหม้จะต้องทำการอุ่นเตาให้มีอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงจนกระทั่งเชื้อเพลิงสามารถเผาไหม้ด้วยตัวเอง ระบบอุ่นเตาประกอบด้วย หัวเผา และ ถังเชื้อเพลิงก๊าซ LPG ซึ่งหัวเผามีขนาดเผาเท่ากับ 5.08 เซนติเมตร และสามารถปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG ดังแสดงในรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 แสดงลักษณะของหัวเผา

5.1.8 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย

ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลองสามารถวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Vist 01-L/LR ดังแสดงในรูปที่ 5.15 โดยที่เครื่องสามารถวัดได้ในช่วงอุณหภูมิเท่ากับ -30 ถึง 800°C และช่วงของปริมาณสูงสุด และต่ำสุดของก๊าซไอเสียที่สามารถวิเคราะห์ได้ดังแสดงในตารางที่ 5.1



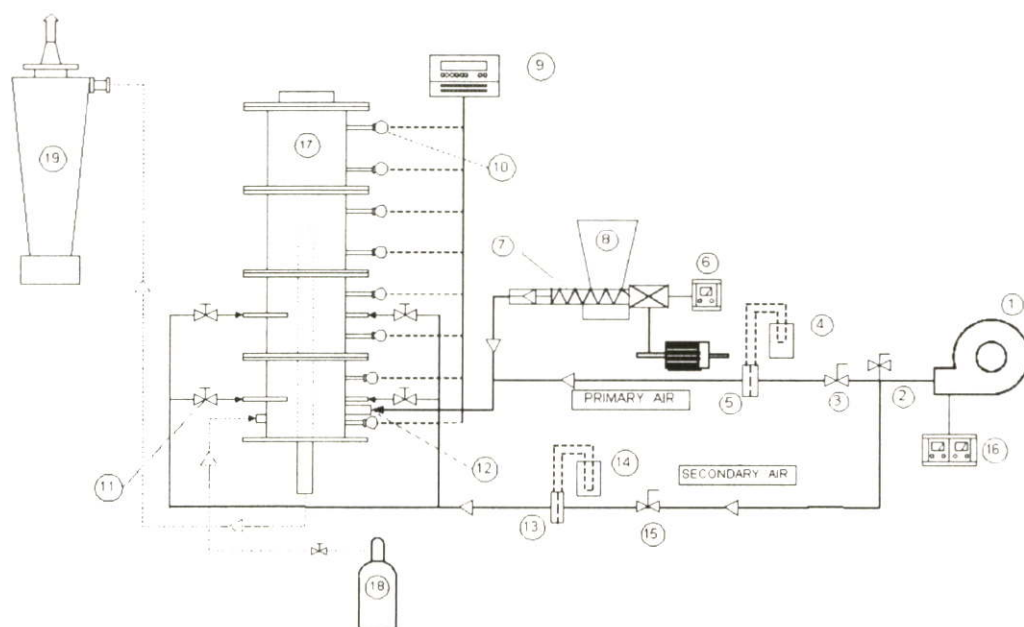
รูปที่ 5.15 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย Vist 01-LLR

ตารางที่ 5.1 แสดงช่วงของปริมาณสูงสุด และต่ำสุดของก๊าซไอเสียที่สามารถวิเคราะห์ได้

Gas	Range[ppm]
O ₂	0 – 21 %
CO ₂	0 – 25 %
CO	0 – 4,000

5.2 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง

อุปกรณ์การทดลองต่างๆที่กล่าวมาแล้วข้างต้น นำมาติดตั้งเป็นชุดการทดลองดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 5.16 ซึ่งชุดทดลองมีหลักการทำงานดังนี้ อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ได้จาก Blower (1) ถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ อากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ อากาศปฐมภูมิสามารถปรับอัตราการไหลด้วย Needle Valve (3) และวัดอัตราการไหลโดยออริฟิสมิเตอร์ (4, 5) อากาศปฐมภูมิช่วยลำเลียงแกลบจาก Screw Feeder (7) เข้าสู่ห้องเผาไหม้ทางด้านล่างในแนวสัมผัส (17) และอากาศทุติยภูมิสามารถปรับอัตราการไหลด้วย Needle Valve (15) และวัดอัตราการไหลโดยออริฟิสมิเตอร์ (13, 14) จากนั้นอากาศทุติยภูมิถูกแยกออกเป็น 8 ส่วน โดยป้อนเข้าทางด้านข้างของ



- | | | | |
|------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------|
| 1. Blower | 6. Inverter | 11. Motor | 16. Power Supply |
| 2. Bypass Valve | 7. Screw Feeder | 12. Primary Air Nozzle | 17. Vortex Combustor |
| 3. Needle Valve | 8. Hopper | 13. Orifice Plate | 18. LPG Supply |
| 4. Manometer | 9. Digital Indicator Selector | 14. Manometer | 19. Cyclone |
| 5. Orifice Plate | 10. Thermocouple Type K | 15. Needle Valve | |

รูปที่ 5.16 แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผาเวอร์เทค

ห้องเผาไหม้ในแนวสัมผัสเพื่อช่วยเพิ่มเกลียวการไหลแบบหมุนวน ส่งผลให้การเผาไหม้ดีขึ้น การวัดการกระจายอุณหภูมิ 8 จุดโดย Thermocouple ชนิด K (10) โดยตำแหน่งที่ทำการวัดสูงจากด้านล่างของเตา 7.5, 22.5, 37.5, 52.5, 67.5, 82.5, 97.5, และ 112.5 เซนติเมตร หลังจากเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้แล้วจะออกจากห้องเผาไหม้ทางท่อทิ้ง และขี้เถ้าจะถูกแยกออกจากก๊าซไอเสียโดยไซโคลอน (19)

5.3 การเตรียมเชื้อเพลิงแกลบในการทดลอง

ขนาดของเชื้อเพลิงแกลบละเอียดที่ใช้สำหรับการทดลองอยู่ในช่วง 0.18-1.18 มม. และขนาดแกลบปกติเท่ากับ 2.0 x 8.0 มม. ดังนั้นจึงต้องเตรียมเชื้อเพลิงแกลบก่อนทำการทดลอง โดยมีขั้นตอนในการเตรียมเชื้อเพลิงแกลบดังนี้

1. ทำการลดขนาดเชื้อเพลิงแกลบขนาดปกติ (2.0 x 8.0 มม.) โดยการบดด้วยเครื่องบด
2. นำเชื้อเพลิงแกลบที่ผ่านการบดเพื่อลดขนาดมาอุ่นด้วยตระแกรงเบอร์ 16 เพื่อแยกแกลบที่มีขนาดตั้งแต่ 1.18 มม. ลงมา
3. นำเชื้อเพลิงแกลบในข้อ 2 มาอุ่นผ่านตระแกรงเบอร์ 80 จะได้แกลบที่มีขนาดในช่วง 0.18-1.18 มม.

5.4 ขั้นตอนการอุ่นเตา

ก่อนทำการทดลองต้องทำการอุ่นเตา เพื่อให้ให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงขึ้นจนกระทั่งเชื้อเพลิงแกลบที่ป้อนเข้าไปสามารถเกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเองได้ การอุ่นเตาใช้หัวเผาโดยมีแก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง ขั้นตอนในการอุ่นเตาดังนี้ จุดไฟที่หัวเผาและทำการปรับวาล์วให้เปลวไฟที่หัวเผาเป็นสีน้ำเงิน หลังจากนั้นนำหัวเผาใส่เข้าตำแหน่งที่ใช้ในการอุ่นเตาบริเวณส่วนล่างของเตา จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาสูงประมาณ 400 °C จึงเริ่มป้อนแกลบให้มีอัตราการไหลต่างๆ เพื่อให้แกลบเผาไหม้และช่วยเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จนอุณหภูมิสูงประมาณ 750 ถึง 800 °C จึงหยุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊สที่หัวเผา และนำหัวเผาออกจากห้องเผาไหม้ เนื่องจากอุณหภูมิสูงพอที่ทำให้เชื้อเพลิงแกลบสามารถเผาไหม้ด้วยตนเองอย่างต่อเนื่องแล้วจึงเริ่มทำการทดลอง

5.5 วิธีการทดลอง

หลังจากทำการอุ่นเตาเผาแล้วจนกระทั่งอุณหภูมิภายในเท่ากับ 750 ถึง 800 °C จึงเริ่มทำการทดลอง และบันทึกผลการทดลองดังนี้

1. ป้อนเชื้อเพลิงแกลบละเอียด (1.18-0.18 มม.) ให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 0.20 กิโลกรัมต่อนาที

2. ปรับอัตราส่วนของ $\lambda = 0$
3. ปรับค่าอัตราการไหลของอากาศให้ค่า equivalence ratio เท่ากับ 0.8
4. บันทึกค่าอุณหภูมิภายในที่ตำแหน่งตามแนวแกนที่ $x = 0.075$ m, 0.255 m, 0.375 m, 0.525 m, 0.675 m. และที่ระยะ $r/R = 0.25$ และที่ตำแหน่ง $x = 0.825$ m, 0.975 m, 1.125 m ที่ระยะ $r/R = 0$ บันทึกผลของอุณหภูมิที่ 10 และนาที่ที่ 15 นาที่ สังเกตลักษณะสีเถ้า และควันที่เกิดจากการเผาไหม้ และวัดค่าไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้
5. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 3 ที่ตำแหน่งตามแนวแกนที่ $x = 0.075$ m, 0.255 m, 0.375 m, 0.525 m, 0.675 m. ที่ระยะ $r/R = 0.44, 0.63, 0.82$, และ 1.0 ตามลำดับ และตำแหน่ง $x = 0.825$ m, 0.975 m, 1.125 m. ที่ระยะ $r/R = 0.25, 0.44, 0.63, 0.82$, และ 1.0 ตามลำดับ
6. ทำการทดลองตามข้อที่ 2-5 โดยทำการปรับค่า equivalence ratio เท่ากับ 1.0, และ 1.2 ตามลำดับ
7. ทำการทดลองตามข้อที่ 2-6 ปรับอัตราส่วนของ $\lambda = 0.15$ และ 0.25 ตามลำดับ
8. ทำการทดลองตามข้อที่ 2-7 ปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.25 และ 0.30 กิโลกรัมต่อนาที
9. ทำการทดลองตามข้อที่ 2-8 เปลี่ยนขนาดเชื้อเพลิงกลมขนาดปกติ (2.0 x 8.0 มม.)

เมื่อ x คือ ความสูงของเตาเวิร์เทค

r/R คือ อัตราส่วนระหว่างตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิในแนวรัศมีกับรัศมีภายในเตาเผาเวิร์เทค

บทที่ 6

ผลการทดลองและวิจารณ์

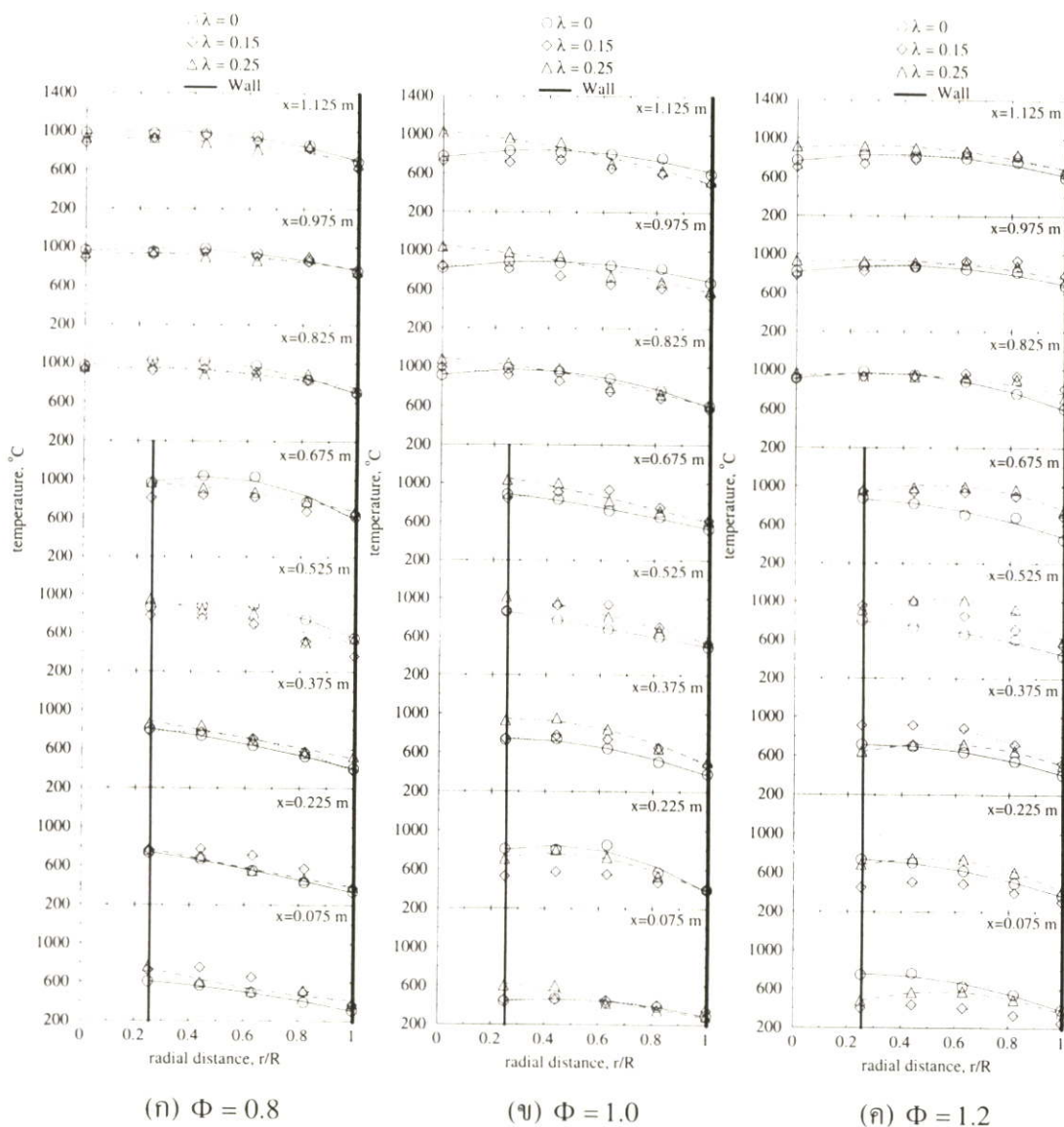
จากการทดลองและบันทึกผลการทดลอง โดยผลการทดลองจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ผลการทดลองการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาไหม้แบบวอร์เทค และผลขององค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ขนาดเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้ในการทดลองมี 2 ขนาดคือ แกลบปกติ (2.0 x 8.0 มม.) และแกลบละเอียด (0.18–1.18 มม.) ซึ่งทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา กับผลของอัตราส่วนผสม (Φ) อัตราส่วนระหว่างปริมาณอากาศ ทฤษฎีต่ออากาศทั้งหมด (λ) อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m_f) และขนาดของเชื้อเพลิงแกลบที่เหมาะสมต่อขบวนการเผาไหม้ ทำการพิจารณาลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตา การวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น และเถ้าลอยที่ได้จากการเผาไหม้ โดยการทดลองใช้เตาเผาแบบวอร์เทค มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเตาเผาเท่ากับ 300 มิลลิเมตร และมีความสูงของเตาเท่ากับ 1200 มิลลิเมตร ซึ่งบริเวณกึ่งกลางห้องเผาไหม้มีท่อทึงก๊าซไอเสีย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 75 มิลลิเมตร และมีความสูงจากฐานเตาเท่ากับ 780 มิลลิเมตร

6.1 แกลบปกติ (2.0 x 8.0 มม.)

การศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบปกติต่อการเผาไหม้ ซึ่งทำการศึกษาผลของอัตราส่วนผสมที่มีผลต่อการเผาไหม้ เมื่อปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงมากกว่าปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี ($\Phi = 0.8$), ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงเท่ากับปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี ($\Phi = 1.0$) และปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงน้อยกว่าปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี ($\Phi = 1.2$) โดยในแต่ละกรณีของอัตราส่วนผสมทำการปรับค่าปริมาณอากาศทฤษฎีต่ออากาศทั้งหมด 3 กรณี คือ $\lambda = 0, 0.15$ และ 0.25 ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.30 kg/min ตามลำดับ

6.1.1 อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบปกติต่อการเผาไหม้ กรณี $m_f = 0.20$ kg/min

การศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบปกติต่อการเผาไหม้ กรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.20 kg/min ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎีเท่ากับ 0.0179 kg/s ดังแสดงในรูปที่ 6.1 จากการทดลองพบว่า เมื่อทำการปรับค่าอัตราส่วนผสมให้ $\Phi = 0.8$ ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิภายในเตาสม่ำเสมอ อุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางวงแหวนของเตาเผา บริเวณด้านล่างของเตาเผา มีอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากเป็นการเริ่มต้นของขบวนการเผาไหม้ จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณอากาศทฤษฎีต่ออากาศทั้งหมด เมื่อ $\lambda = 0.15, 0.25$ พบว่า ไม่ส่งผลให้การ



รูปที่ 6.1 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดเกลสปกติ
ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.20 kg/min

กระจายอุณหภูมิภายในเตาสูงขึ้น อาจเนื่องจากอัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำ ทำให้ปริมาณอากาศปฐมภูมิมีปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อการเกิดการไหลวนภายในเตา โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 1000°C ดังแสดงในรูปที่ 6.1(ก)

สำหรับการเผาไหม้กรณี $\Phi = 1.0$ พบว่า ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิภายในเตาลดลงกับกรณี $\Phi = 0.8$ แต่มีการกระจายอุณหภูมิสูงกว่า เพราะไม่ต้องสูญเสียความร้อนบางส่วนให้กับอากาศส่วนเกิน อิทธิพลของปริมาณอากาศทุติยภูมิ (λ) มีผลที่บริเวณตำแหน่งของการฉีดอากาศทุติยภูมิอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 1100°C ดังแสดงในรูปที่ 6.1(ข)

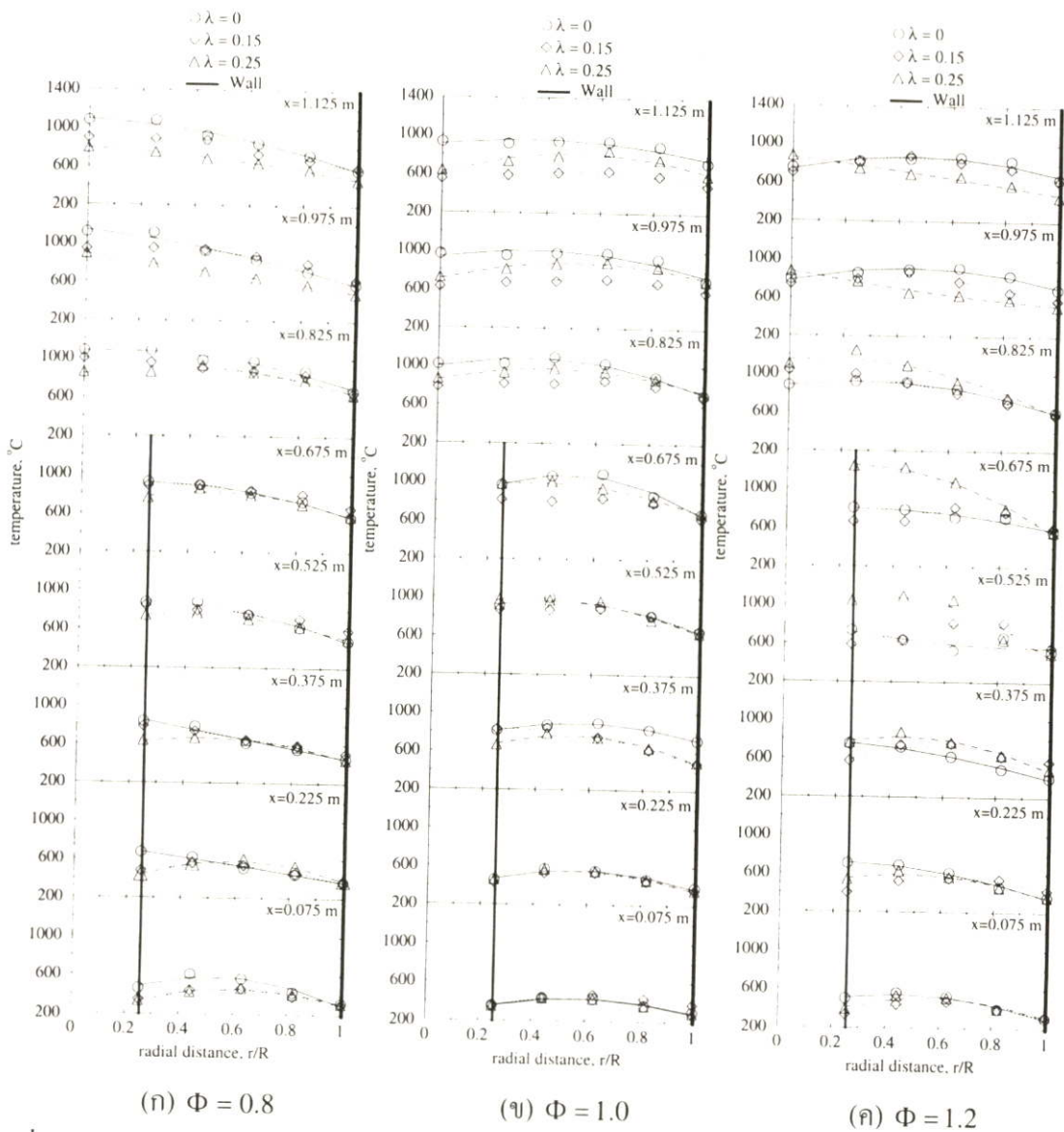
การเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบปกติที่ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงน้อยกว่าปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี ($\Phi = 1.2$) ดังแสดงในรูปที่ 6.1(ค) พบว่ามีลักษณะของการกระจายอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ อุณหภูมิสูงเกิดขึ้นที่บริเวณท่อทิ้งไอเสีย และมีอุณหภูมิต่ำบริเวณใกล้กับผนังห้องเผาไหม้ เนื่องจากอากาศที่ใช้ในขบวนการเผาไหม้ไม่เพียงพอ แต่เมื่อมีการให้ปริมาณอากาศทฤษฎีเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตาสูงขึ้น เนื่องจากอากาศทฤษฎีจะช่วยให้ให้อากาศและเชื้อเพลิงคลุกเคล้ากันได้มากขึ้น อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดมีค่าประมาณ 900°C ที่ $\lambda = 0.25$

6.1.2 อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบปกติต่อการเผาไหม้ กรณี $m_f = 0.25 \text{ kg/min}$

การศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบปกติต่อการเผาไหม้ กรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.25 kg/min ดังแสดงในรูปที่ 6.2 ปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎีเท่ากับ 0.0224 kg/s เมื่อทำการปรับอัตราส่วนของอากาศต่อปริมาณเชื้อเพลิงให้ $\Phi = 0.8$ เป็นการเผาไหม้กรณีที่ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงมากกว่าปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี กรณีป้อนอากาศปฐมภูมิเพียงส่วนเดียว ($\lambda = 0$) พบว่า มีการกระจายอุณหภูมิภายในเตาสูงสุด เช่นเดียวกับกรณีที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.20 kg/min แต่มีการกระจายอุณหภูมิภายในเตาสูงกว่า ดังแสดงในรูปที่ 6.2(ก) โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 1100°C

จากนั้นทำการปรับค่าปริมาณที่ใช้ในอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงเท่ากับปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี ($\Phi = 1.0$) พบว่า ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิภายในเตาสม่ำเสมอ อุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางวงแหวนของเตาเผา จากการศึกษาอิทธิพลของอากาศทฤษฎีกรณี $\lambda = 0.15$ และ 0.25 ไม่ส่งผลให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตาสูงขึ้น อาจเนื่องจากปริมาณอากาศปฐมภูมิส่วนที่เหลือมีปริมาณน้อย จึงทำให้ความเร็วในการไหลวนต่ำ จึงเกิดการเผาไหม้น้อยกว่า กรณี $\lambda = 0$ อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดมีค่าประมาณ 1000°C ดังแสดงในรูปที่ 6.2(ข)

สำหรับกรณีปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงน้อยกว่าปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี ($\Phi = 1.2$) พบว่า ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิภายในไม่สม่ำเสมอ มีอุณหภูมิสูงที่บริเวณใกล้ท่อทิ้งไอเสีย และมีอุณหภูมิต่ำบริเวณผนังของเตา เมื่อเพิ่มค่าปริมาณอากาศทฤษฎีต่ออากาศทั้งหมดให้ $\lambda = 0.15$ และ 0.25 ที่ตำแหน่ง $x = 0.375$ เมตร. ถึง $x = 0.825$ เมตร. มีการกระจายอุณหภูมิภายในเตาสูงกว่ากรณี $\lambda = 0$ เนื่องจากอากาศทฤษฎีช่วยให้เชื้อเพลิงและอากาศคลุกเคล้าได้ดีขึ้น ส่งผลให้การเผาไหม้เกิดได้ดีกว่า อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 900°C ดังแสดงในรูป 6.2 (ค)



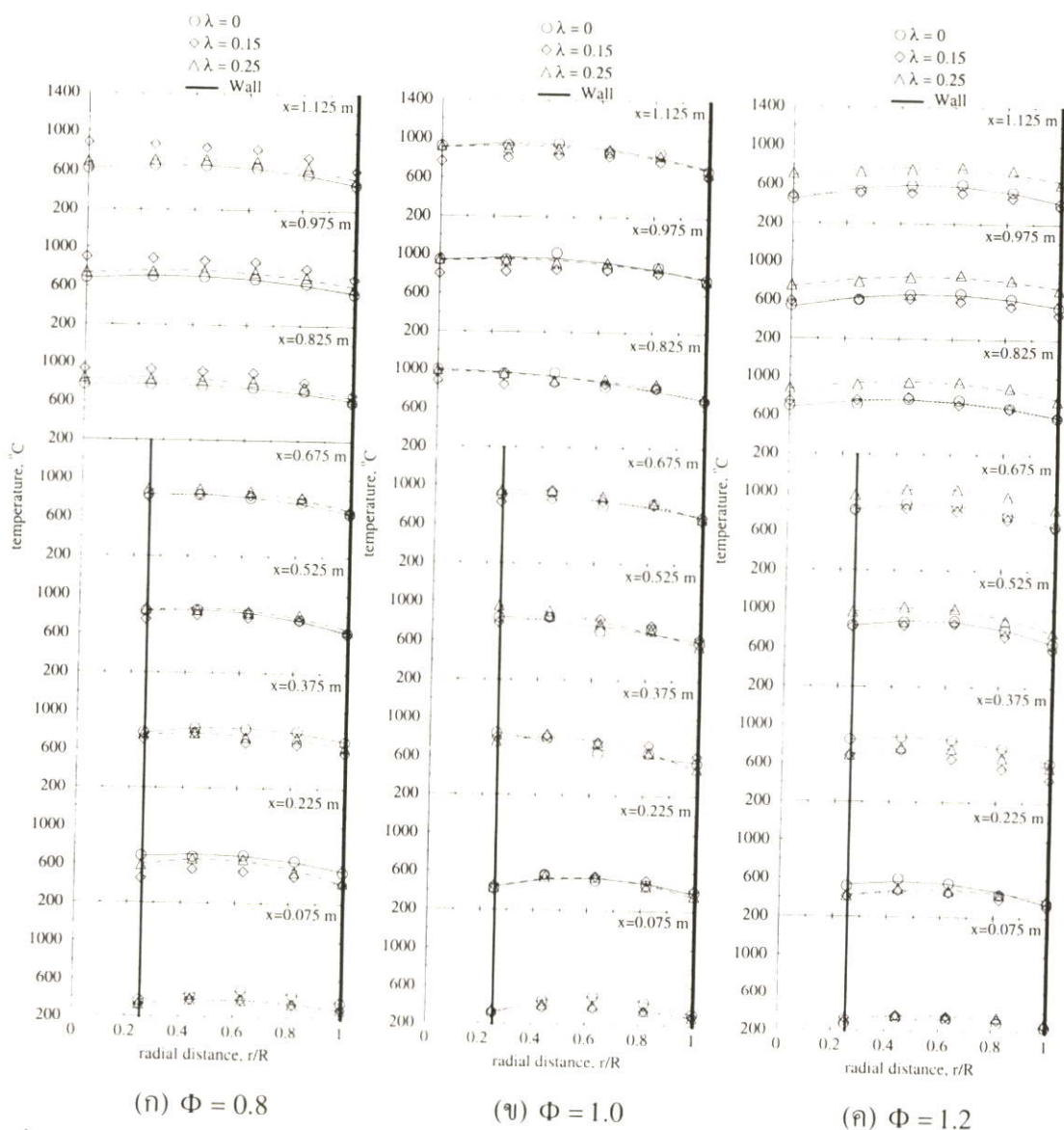
รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดเกลบปกติ
ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.25 kg/min

6.1.3 อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงเกลบปกติต่อการเผาไหม้ กรณี $m_f = 0.30$ kg/min

การศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงเกลบปกติต่อการเผาไหม้ในเตาเผาออร์เทค กรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.30 kg/min ซึ่งเป็นอัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูงสุด ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎีเท่ากับ 0.0268 kg/s ดังแสดงในรูปที่ 6.3 จากการทดลองทำการปรับค่าอัตราส่วนสมมูลให้ $\Phi = 0.8$ พบว่า ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิภายในเตามีความสม่ำเสมอทั่วทั้งเตา อุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางวงแหวนของเตาเผา เนื่องจากมีปริมาณอากาศมากกว่ากรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.20 และ 0.25 kg/min จึงทำให้การไหลวนภายในเตามีความแรงสูงกว่า จากการศึกษาค่าอิทธิพลของอากาศทฤษฎี พบว่า ที่ $\lambda = 0.15$ ให้ค่าอุณหภูมิภายในเตาสูงกว่า

กรณี $\lambda = 0$ แต่เมื่อทำการปรับค่า $\lambda = 0.25$ พบว่า อุณหภูมิภายในเตาดำต่ำกว่ากรณี $\lambda = 0.15$ เนื่องจากปริมาณอากาศปฐมภูมิจะถูกแบ่งให้กับอากาศทุติยภูมิมากเกินไป จึงอาจทำให้ความเร็วการไหลวนภายในเตาดำไม่เสถียร จากกระบวนการเผาไหม้อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดมีค่าประมาณ 900°C ดังแสดงในรูปที่ 6.3(ก)

สำหรับการเผาไหม้ที่ $\Phi = 1$ เป็นการเผาไหม้กรณีปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงเท่ากับปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี พบว่า ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิภายในเตามีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณี $\Phi = 0.8$ แต่มีอุณหภูมิภายในเตาเผาสูงกว่า เนื่องจากไม่ต้องสูญเสียความร้อนให้กับอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดมีค่าประมาณ 1000°C ดังแสดงในรูป 6.3(ข)



รูปที่ 6.3 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดเกลบปกติ ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.30 kg/min

กรณีการเผาไหม้ของปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงน้อยกว่าปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี ($\Phi = 1.2$) จากการทดลองพบว่า ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิภายในเตาสม่ำเสมอมากกว่า กรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.20 และ 0.25 kg/min แต่มีการกระจายอุณหภูมิภายในเตาดำกว่ากรณี $\Phi = 0.8$ และ 1.0 เนื่องจากปริมาณอากาศไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ส่งผลให้การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณอากาศทฤษฎีพบว่า กรณีที่เพิ่มปริมาณอากาศทฤษฎีจะส่งผลให้เกิดกระบวนการเผาไหม้มากขึ้น ทำให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตาส่งสูงกว่า กรณีไม่มีอากาศทฤษฎี ประมาณ $50-100^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงในรูปที่ 6.3(ค) โดยอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดมีค่าประมาณ 800°C

6.1.4 อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบปกติต่อองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย

กรณี $m_f = 0.30 \text{ kg/min}$

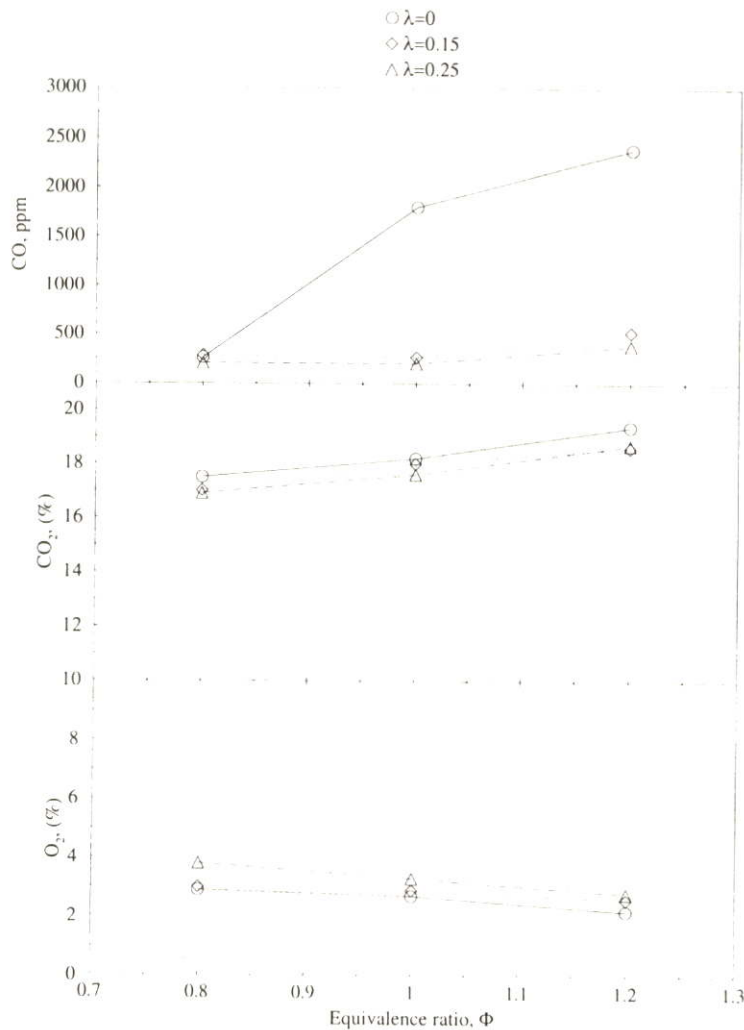
การศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบปกติต่อองค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากขบวนการเผาไหม้ กรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 0.30 kg/min พบว่าปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้จะแปรผันตรงกับปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลอง โดยที่ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะแปรผกผันกับปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ เนื่องจากปริมาณอากาศในการทดลองมากกว่าอากาศทางทฤษฎี เมื่อเกิดการเผาไหม้ทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ไม่ถูกใช้ในกระบวนการเผาไหม้เหลือเป็นจำนวนมาก และทำให้สัดส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณลดลง เมื่อทำการศึกษาองค์ประกอบของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้พบว่าที่ $\Phi = 1.0$ มีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำที่สุดมีค่าประมาณ 204 ppm. และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะสูงกรณี $\Phi = 1.2$ ที่ $\lambda = 0$ มีค่าประมาณ 2388 ppm. เนื่องจากอากาศที่ใช้ในขบวนการเผาไหม้ไม่เพียงพอ จึงเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 6.4

การพิจารณาสถานะที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบปกติ โดยพิจารณาความเหมาะสมจาก การกระจายอุณหภูมิภายในเตา และการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดจากขบวนการเผาไหม้จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

การศึกษาค่าอัตราส่วนสมมูล (Φ) ที่มีผลต่อการเผาไหม้พบว่า เมื่อ $\Phi = 1.0$ ทำให้เกิดการกระจายอุณหภูมิภายในเตาส่งสูงกว่ากรณี $\Phi = 0.8$ และ 1.2 ของแต่ละอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วง $1000 - 1100^{\circ}\text{C}$

การศึกษ้อัตราส่วนระหว่างอากาศทฤษฎีต่ออากาศทั้งหมด (λ) พบว่า ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.20 และ 0.25 kg/min เมื่อเพิ่มค่า $\lambda = 0.15$ และ 0.25 ไม่ช่วยทำให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตาส่งขึ้น แต่ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.30 kg/min เมื่อเพิ่มค่า λ จะช่วยทำให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตาส่งขึ้น

การศึกษายองศ์ประกอบของก๊าซไอเสียพบว่า เมื่อ $\Phi = 1.0$ ที่อัตราส่วนของปริมาณอากาศหุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมดเท่ากับ 0.25 และอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.30 kg/min ทำให้การกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 1000°C และมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 204 ppm. เมื่อลดปริมาณอากาศหุติยภูมิลงจะ ($\lambda = 0, 0.15$) ทำให้ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 2388 ppm. กรณี $\Phi = 1.2$ ที่ $\lambda = 0$



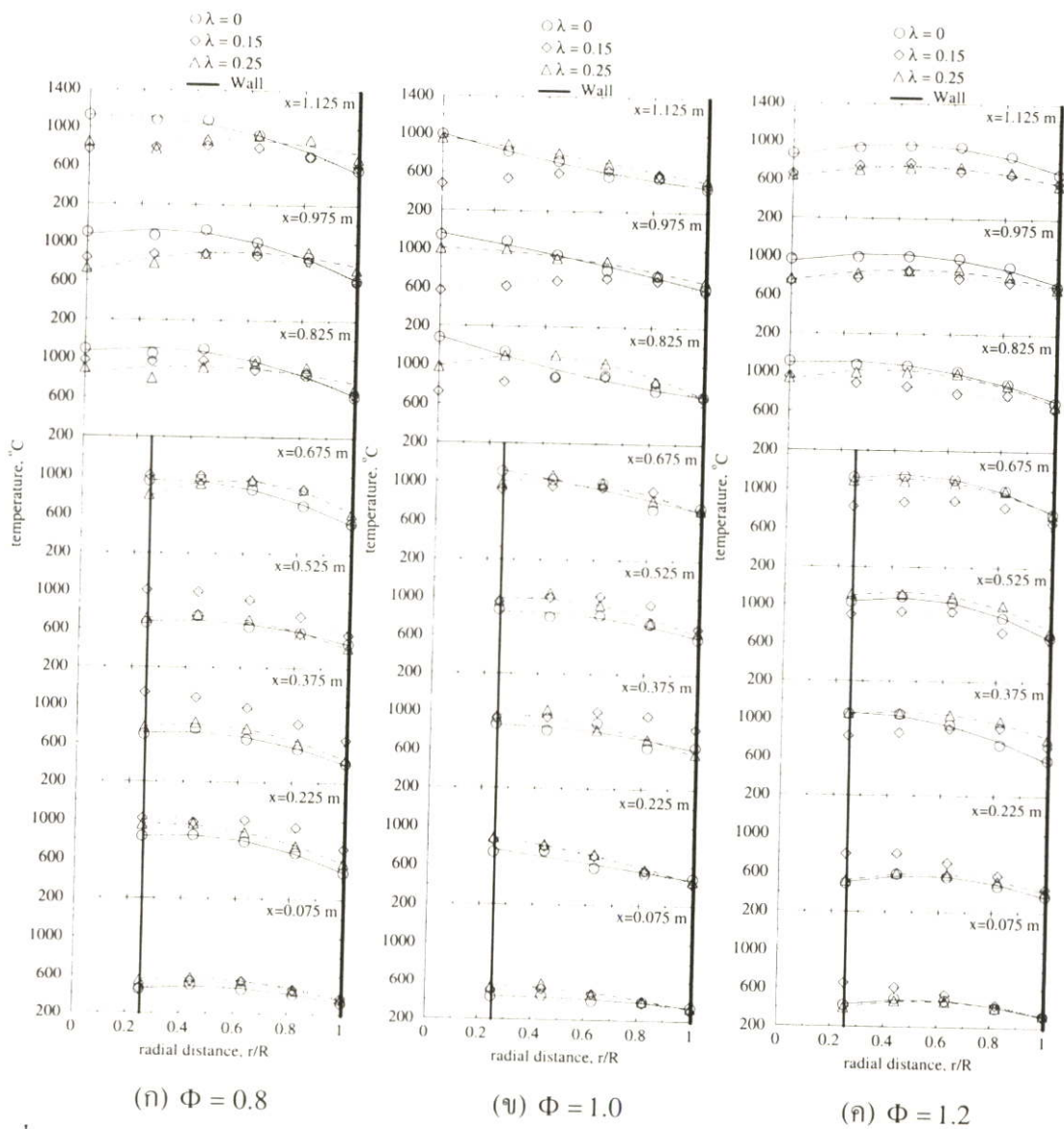
รูปที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของก๊าซไอเสียกับ Equivalence ratio ของเชื้อเพลิงแกลบปกติ ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.30 kg/min

6.2 แกลบละเอียดช่วงขนาด (0.18-1.18 มม.)

ในการศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบละเอียดต่อการเผาไหม้ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.30 kg/min โดยในแต่ละอัตราการป้อนเชื้อเพลิงทำการศึกษาผลของ อัตราส่วนสมมูลที่ $\Phi = 0.8, 1.0, 1.2$ และอัตราส่วนระหว่างปริมาณอากาศหุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมด (λ) เท่ากับ 0, 0.15 และ 0.25 ตามลำดับ

6.2.1 อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบละเอียดต่อการเผาไหม้ กรณี $m_f = 0.20 \text{ kg/min}$

ในการศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบละเอียดต่อการเผาไหม้ กรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 0.20 kg/min จากการทดลองทำการปรับค่า $\Phi = 0.8$ พบว่า ที่ $\lambda = 0$ ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิภายในเตาไม่สม่ำเสมอ อุณหภูมิสูงเกิดขึ้นที่บริเวณใกล้กับท่อทิ้งไอเสีย และอุณหภูมิต่ำบริเวณผนังห้องเผาไหม้ จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณอากาศชุดิยภูมิ เมื่อ $\lambda = 0.15$ ช่วยให้การกระจายอุณหภูมิบริเวณด้านล่างจนถึงบริเวณท่อทิ้งก๊าซไอเสียนี้อุณหภูมิสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มค่า $\lambda = 0.25$ การกระจายอุณหภูมิภายในเตาจะต่ำกว่ากรณี $\lambda = 0.15$ เนื่องจากอากาศชุดิยภูมิถูกแบ่งให้กับอากาศชุดิยภูมิมาก จึงทำให้ความเร็วของการไหลวนต่ำ และไม่เสถียร มีการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 1100°C ดังแสดงในรูปที่ 6.5(ก)



รูปที่ 6.5 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดแกลบละเอียดที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.20 kg/min

สำหรับการเผาไหม้กรณี $\Phi = 1.0$ คือปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงเท่ากับปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี พบว่า เมื่อป้อนอากาศปฐมภูมิเพียงส่วนเดียว ($\lambda = 0$) อุณหภูมิสูงสุดเกิดที่บริเวณเหนือท่อทิ้งก๊าซไอเสีย จากการเพิ่มค่า $\lambda = 0.15$ และ 0.25 พบว่า ช่วยให้เกิดลักษณะของการกระจายอุณหภูมิภายในเตาสม่ำเสมอ อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดมีค่าประมาณ 1100°C ดังแสดงในรูปที่ 6.5(ข)

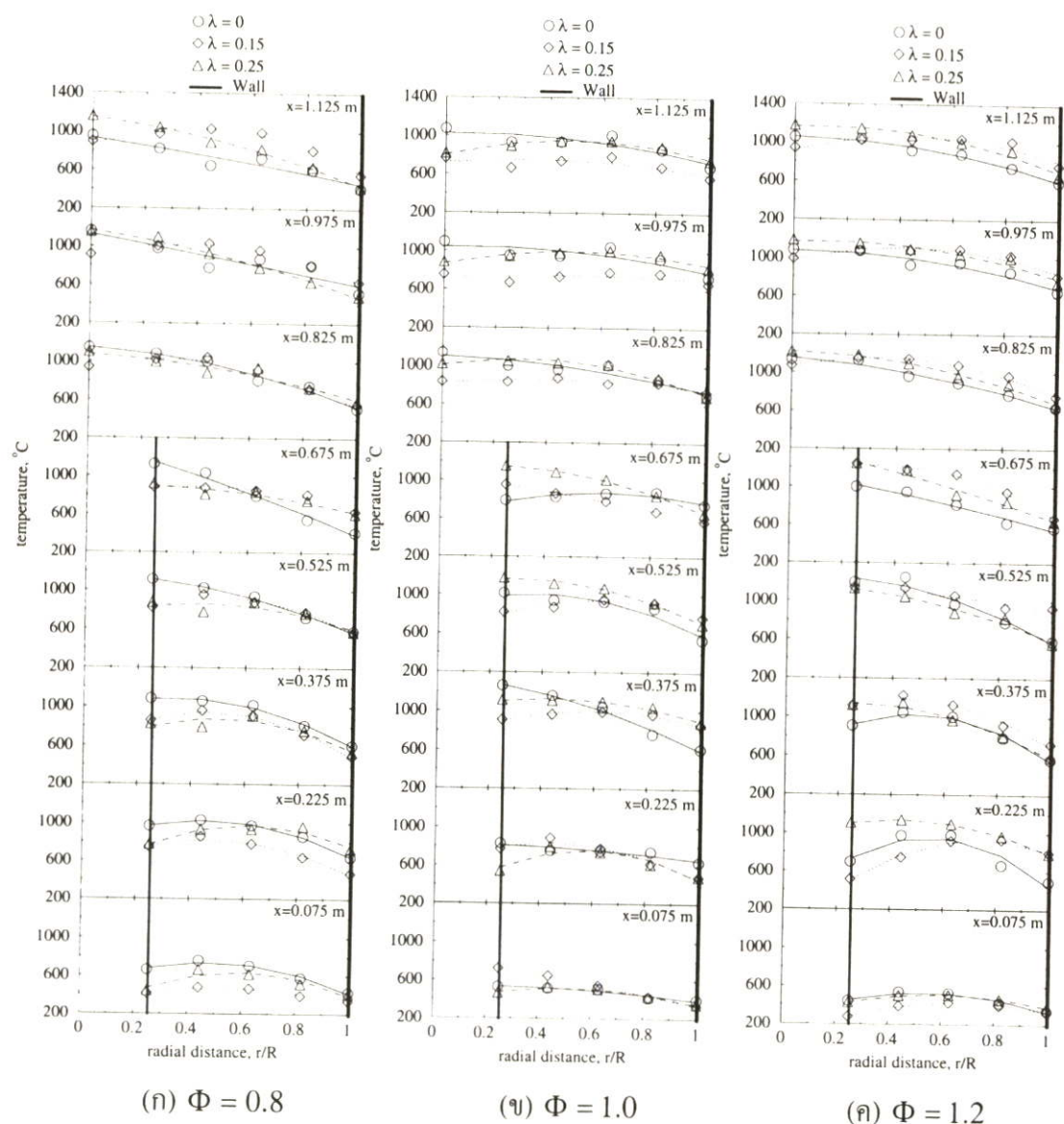
จากนั้นทำการปรับอัตราส่วนของปริมาณอากาศต่อปริมาณเชื้อเพลิงให้ $\Phi = 1.2$ ซึ่งเป็นการเผาไหม้กรณีอากาศที่ใช้ ในการเผาไหม้จริงน้อยกว่าปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี พบว่า ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิภายในมีแนวโน้มคล้ายกับกรณี $\Phi = 1.0$ แต่มีค่าอุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจากอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ไม่เพียงพอ จากการศึกษอิทธิพลของปริมาณอากาศทุติยภูมิพบว่า การเพิ่มค่า λ ไม่ส่งผลให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตาสูงขึ้น โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 1000°C ดังแสดงในรูป 6.5(ค)

6.2.2 อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบละเอียดต่อการเผาไหม้ กรณี $m_f = 0.25 \text{ kg/min}$

การศึกษาถึงอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบละเอียดต่อการเผาไหม้ กรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.25 kg/min จากการทดลองทำการปรับค่าอัตราส่วนสมมูลให้ $\Phi = 0.8$ เป็นการเผาไหม้กรณีอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงมากกว่าปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี พบว่า กรณีป้อนอากาศปฐมภูมิเพียงส่วนเดียว ($\lambda = 0$) ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ คล้ายกับกรณีของอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.20 kg/min เมื่อเพิ่มค่าปริมาณอากาศทุติยภูมิไม่ผลทำให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากปริมาณอากาศปฐมภูมามีปริมาณน้อยทำให้ความเร็วต่ำ ส่งผลให้การไหลวนภายในเตาต่ำไม่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ ดังนั้นการเผาไหม้จึงเกิดขึ้นได้น้อยกว่ากรณี $\lambda = 0$ ดังแสดงในรูปที่ 6.6(ก) อุณหภูมิภายในเตาเฉลี่ยสูงสุดมีค่าประมาณ 1100°C

เมื่อทำการปรับค่าอัตราส่วนสมมูลให้ $\Phi = 1.0$ และป้อนอากาศปฐมภูมิเพียงส่วนเดียว ($\lambda = 0$) พบว่า ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ แต่มีการกระจายอุณหภูมิสูงกว่ากรณี $\Phi = 0.8$ จากนั้นเพิ่มปริมาณอากาศทุติยภูมิ โดยให้ $\lambda = 0.15$ และ 0.25 พบว่า จะไม่ทำให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตาสูงขึ้นเช่นเดียวกับกรณี $\Phi = 0.8$ แต่จะช่วยให้ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิภายในเตาสม่ำเสมอมากขึ้น โดยอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 1100°C

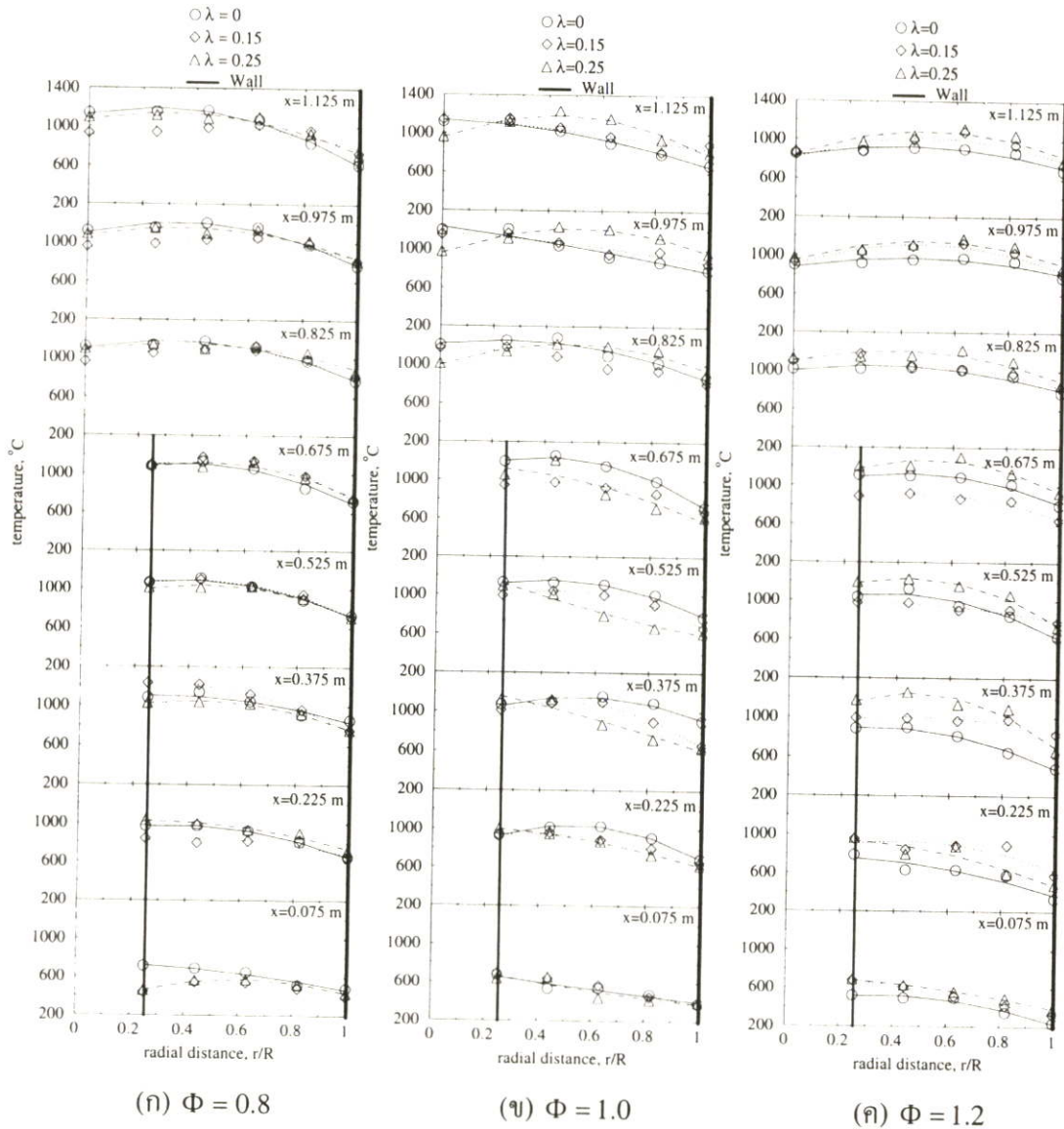
จากนั้นทำการศึกษาการเผาไหม้ในกรณีปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงน้อยกว่าปริมาณอากาศในการเผาไหม้ทางทฤษฎี ($\Phi = 1.2$) พบว่า ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ แต่เมื่อทำการเพิ่มค่าปริมาณอากาศทุติยภูมิพบว่า จะส่งผลให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาดีขึ้น อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดมีค่าประมาณ 1100°C ดังแสดงในรูปที่ 6.6(ค)



รูปที่ 6.6 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดเกลบละเอียด ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.25 kg/min

6.2.3 อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงเกลบละเอียดต่อการเผาไหม้ กรณี $m_f = 0.30$ kg/min

การศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงเกลบละเอียดต่อการเผาไหม้ กรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.30 kg/min เป็นอัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูงสุด จากการทดลองทำการปรับค่าอัตราส่วนสมมูลให้ $\Phi = 0.8$ เป็นการเผาไหม้ที่ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงมากกว่าปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎีพบว่า ลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในสม้าเสมอมากกว่า และมีการกระจายอุณหภูมิภายในเตาสูงกว่า กรณีของอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.20 และ 0.25 kg/min เมื่อทำการเพิ่มปริมาณอากาศทุกชนิดต่ออากาศทั้งหมด พบว่าจะช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์ อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดมีค่าประมาณ 1100°C



รูปที่ 6.7 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดเกลือบละเอียด

ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.30 kg/min

จากนั้นทำการปรับค่าอัตราส่วนสมมูลให้ $\Phi = 1.0$ พบว่า ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิภายในเตามีแนวโน้มคล้ายกับกรณี $\Phi = 0.8$ แต่มีอุณหภูมิภายในเตาสูงกว่า เนื่องจากไม่ต้องสูญเสียความร้อนบางส่วนให้กับอากาศที่มากเกินไป และจากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณอากาศทุติยภูมิพบว่า เมื่อเพิ่ม $\lambda = 0.15$ และ 0.25 จะช่วยทำให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตาสูงขึ้น อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดมีค่าประมาณ 1200°C

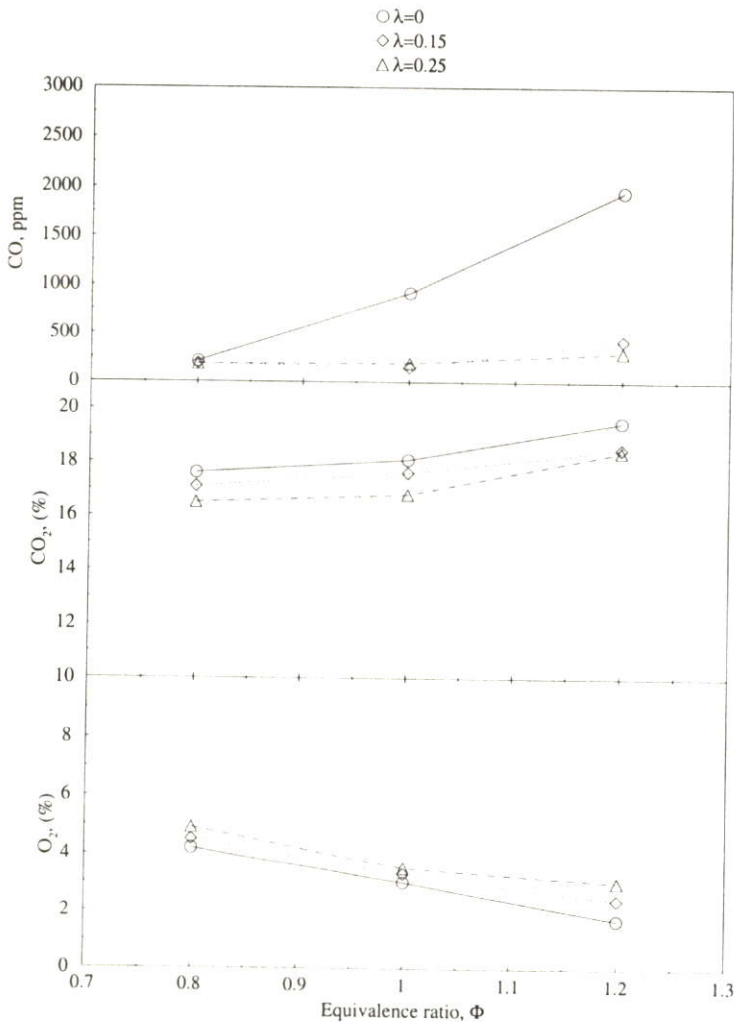
สำหรับปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงน้อยกว่าปริมาณอากาศที่ใช้เผาไหม้ทางทฤษฎี ($\Phi = 1.2$) พบว่า ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากปริมาณอากาศที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้ไม่เพียงพอ ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จากการศึกษาคอิทธิพลของปริมาณอากาศทุติยภูมิพบว่า เมื่อเพิ่ม $\lambda = 0.15$ และ 0.25 ทำให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตาสูง

กว่ากรณีที่ใช้อากาศปฐมภูมิเพียงส่วนเดียว ($\lambda=0$) อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดมีค่าประมาณ 1000°C ดังแสดงในรูปที่ 6.7(ค)

6.2.4 อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบละเอียดต่อองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย

กรณี $m_f = 0.30 \text{ kg/min}$

การศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบละเอียดต่อองค์ประกอบของก๊าซไอเสียกรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.30 kg/min จากการวิเคราะห์ห้ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นพบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนจะแปรผันตรงกับปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลอง และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะแปรผกผันกับปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ คล้ายกับกรณีของเชื้อเพลิงแกลบปกติ และเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศทุติยภูมิจะส่งผลให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้เพิ่มขึ้น แต่จะทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงดังแสดงในรูปที่ 6.8 โดยปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 195 ppm .



รูปที่ 6.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของก๊าซไอเสียกับ Equivalence ratio ของเชื้อเพลิงแกลบละเอียด ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.30 kg/min

เมื่อพิจารณาสภาวะการเผาไหม้ที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงของแกลบละเอียด โดยพิจารณาจากการกระจายอุณหภูมิภายในเตา และการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนสมมูล พบว่า เมื่อ $\Phi = 1.0$ และกรณีการป้อนเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 0.30 kg/min จะทำให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตามีอุณหภูมิสูงสุด โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 1200°C

การศึกษาถึงปริมาณอากาศทฤษฎีให้ว่า เมื่อ $\lambda = 0.25$ กรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.30 kg/min ที่ค่า $\Phi = 1$ จะทำให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตามีอุณหภูมิสูงสุด และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 195 ppm .

6.3 อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิง

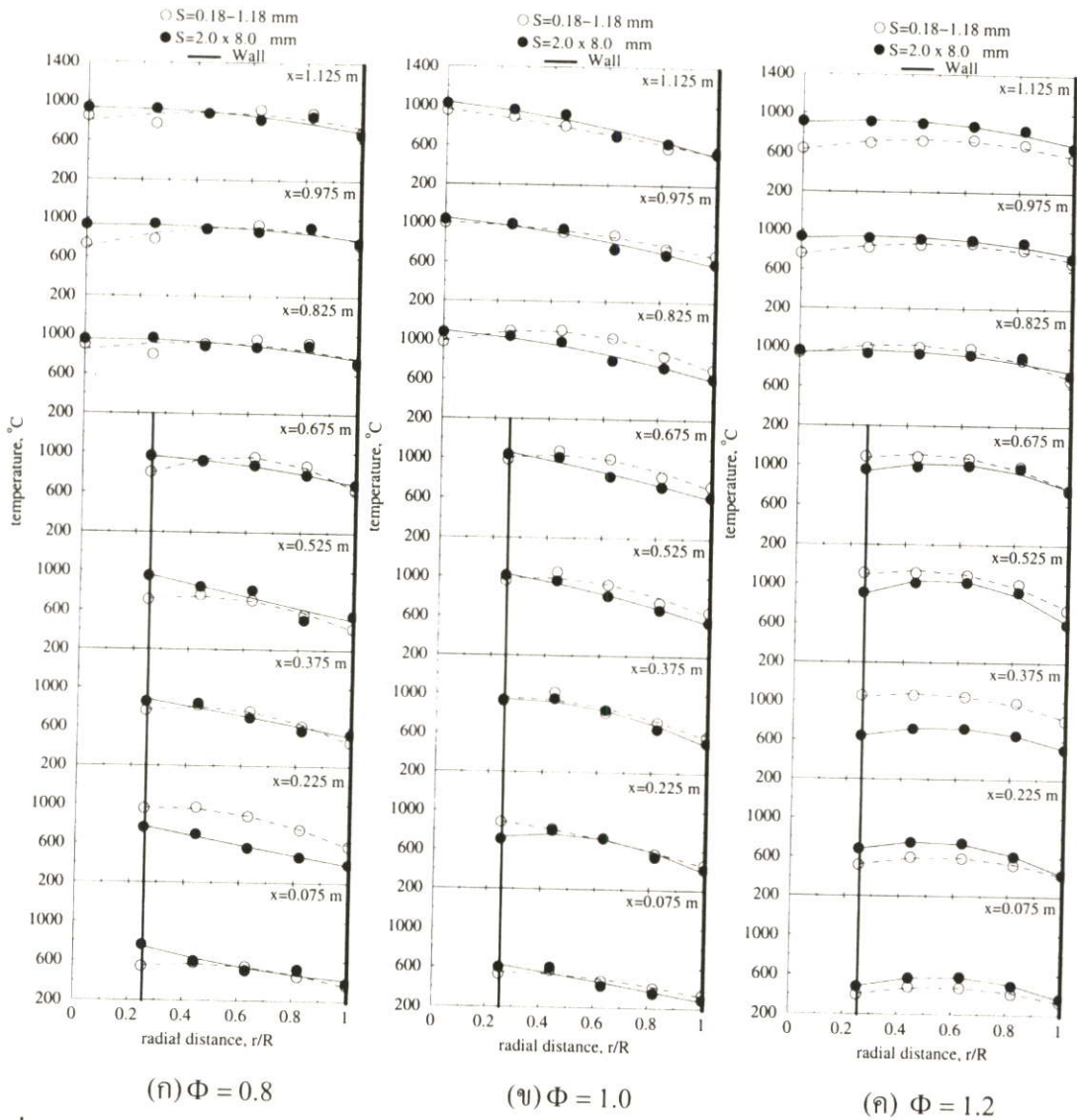
การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งจะเกิดการเผาไหม้ได้ยากกว่าเชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงก๊าซ ดังนั้นจึงมีการนำเชื้อเพลิงมาลดขนาดให้เล็กลง เพื่อให้อากาศและเชื้อเพลิงสามารถคลุกเคล้ากันได้ดีขึ้น เพราะเชื้อเพลิงขนาดเล็กจะมีพื้นที่ในการสัมผัสกับอากาศได้มากกว่าจึงเกิดการเผาไหม้ได้สมบูรณ์กว่าเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่ งานวิจัยนี้ทำการทดลองอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงต่อคุณลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค โดยการทดลองจะใช้เชื้อเพลิงแกลบในการทดลอง 2 ขนาดคือ เชื้อเพลิงแกลบปกติ ($2.0 \times 8.0 \text{ มม.}$) และเชื้อเพลิงแกลบละเอียด ($0.18\text{-}1.18 \text{ มม.}$) การศึกษาทดลองให้อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ $0.20, 0.25$ และ 0.30 kg/min เมื่อค่า $\lambda = 0.25$ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

6.3.1 อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิง กรณี $m_f = 0.20 \text{ kg/min}$

ในการศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ในเตาเผาแบบวอร์เทค เมื่ออัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.20 kg/min ดังแสดงในรูปที่ 6.9 ที่ค่า $\Phi = 0.8, 1.0$ และ 1.2 จากการทดลองพบว่า บริเวณด้านล่างของเตาเผามีอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากที่บริเวณด้านล่างของเตาเผาเป็นการเริ่มต้นในการเผาไหม้ และที่บริเวณส่วนกลางและส่วนบนของเตาเผาจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดการเผาไหม้ในส่วนนี้มาก โดยเฉพาะการกระจายอุณหภูมิของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบละเอียด ($0.18\text{-}1.18 \text{ มม.}$) มีการกระจายอุณหภูมิที่สูงกว่าการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงปกติ ($2.0 \times 8.0 \text{ มม.}$) ตั้งแต่ที่ตำแหน่ง $x=0.375$ เมตร. จนกระทั่งถึงบริเวณปากทางออกของท่อทิ้งก๊าซไอเสีย ส่วนบริเวณเหนือท่อทิ้งก๊าซไอเสียพบว่า การกระจายอุณหภูมิของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบปกติมีการกระจายอุณหภูมิสูงกว่า เนื่องจากเชื้อเพลิงแกลบละเอียดส่วนมากเกิดการเผาไหม้ที่บริเวณส่วนกลางของเตาเผา จึงทำให้ที่บริเวณส่วนบนของเตาเผามีอุณหภูมิต่ำ ในขณะที่การเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบปกติเกิดการเผาไหม้ที่บริเวณส่วนกลางของเตาเผาได้น้อยกว่า จึงมีเชื้อเพลิง

เหลือที่จะเกิดการเผาไหม้ที่ส่วนบนของเตาเผา ดังนั้นจะมีการกระจายอุณหภูมิที่สูงกว่ากรณีแลกเปลี่ยน

เมื่อทำการปรับให้ $\Phi = 0.8$ พบว่า มีการกระจายอุณหภูมิที่ต่ำกว่ากรณีอื่นๆ เพราะปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงมากกว่าปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี ดังนั้นจะมีอากาศเข้าสู่เตาเผามาก ส่งผลให้เชื้อเพลิงแลกเปลี่ยนบางส่วนที่ยังไม่เกิดการเผาไหม้หลุดออกมากับก๊าซไอเสีย และความร้อนบางส่วนจะสูญเสียไปกับอากาศที่มากเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 6.9(ก)

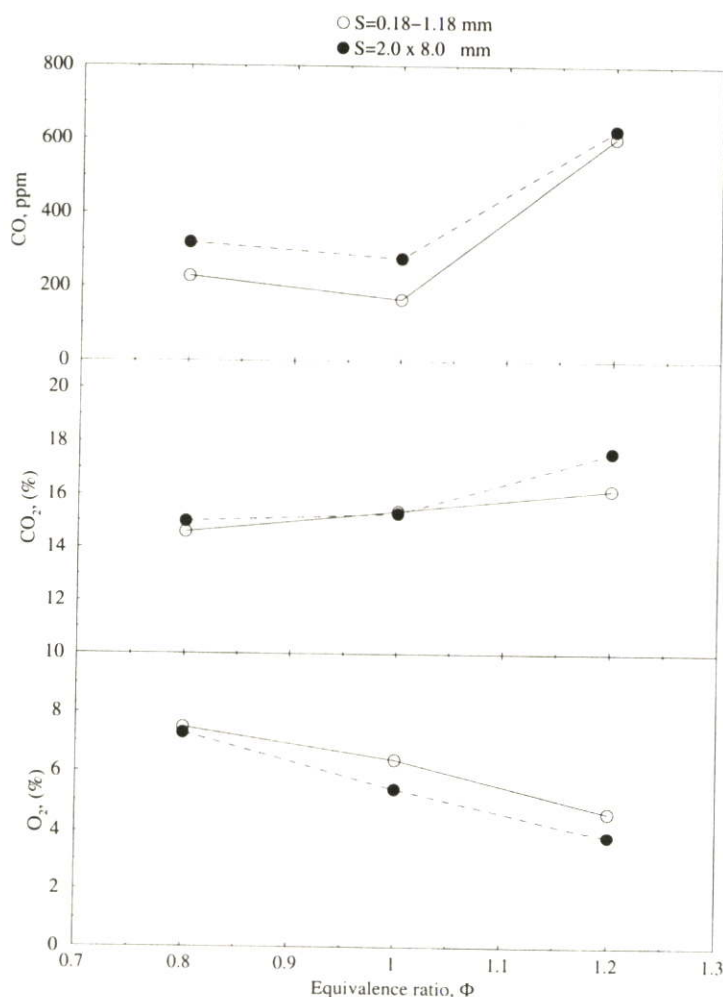


รูปที่ 6.9 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดเชื้อเพลิงปกติ และละเอียด อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.20 kg/min ที่ $\lambda = 0.25$

เมื่อทำการปรับค่า $\Phi = 1.0$ เป็นการเผาไหม้ในกรณีที่อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงเท่ากับปริมาณอากาศในการเผาไหม้ทางทฤษฎี มีการกระจายอุณหภูมิภายในสูง โดยมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1100 °C และในกรณีปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงน้อยกว่าอากาศที่ใช้ในการเผา

ไหม้ทางทฤษฎี หรือ $\Phi = 1.2$ จะมีการกระจายอุณหภูมิในการเผาไหม้ต่ำกว่ากรณี $\Phi = 1.0$ เนื่องจากอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ไม่เพียงพอกับปริมาณของเชื้อเพลิงแกลบ ดังแสดงในรูปที่ 6.9(ค)

การศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงต่อองค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากขบวนการเผาไหม้ ในกรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.20 kg/min พบว่า ปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงละเอียดมีปริมาณมากกว่า ในกรณีของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบปกติ เนื่องจากเชื้อเพลิงแกลบละเอียดเกิดการเผาไหม้ได้ง่ายกว่า ดังนั้นจึงใช้อากาศในการเผาไหม้น้อย เมื่อพิจารณาปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่กรณี $\Phi = 1.0$ พบว่า ปริมาณออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบละเอียดมีปริมาณมากกว่า กรณีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบปกติ แต่เมื่อพิจารณาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกัน ทั้งที่ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซออกซิเจน อาจเนื่องจากก๊าซออกซิเจนบางส่วนเกิดเข้าทำปฏิกิริยากับ ก๊าซไนโตรเจนเกิดเป็นก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เมื่อทำการพิจารณา



รูปที่ 6.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของก๊าซไอเสียกับ Equivalence ratio ที่ขนาดเชื้อเพลิงปกติ และละเอียด เมื่อ $m_f = 0.20 \text{ kg/min}$

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พบว่า กรณีเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซไนโตรเจนเกิดเป็นก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เมื่อทำการพิจารณาที่ขนาดเชื้อเพลิงแกลบปกติมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงกว่า กรณีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบละเอียด และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบละเอียดมีปริมาณน้อยกว่า เนื่องจากเชื้อเพลิงแกลบละเอียดมีพื้นที่ในการสัมผัสกับอากาศมากกว่าเชื้อเพลิงแกลบปกติ จึงเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำกว่า มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 165 ppm. ดังแสดงในรูปที่ 6.10 ลักษณะของขี้เถ้ากรณีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบปกติ มีลักษณะหยาบสีดำปนเทาเล็กน้อย ส่วนลักษณะขี้เถ้าของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบละเอียด มีสีดำปนเทาเล็กน้อยเช่นกัน แต่ขี้เถ้ามีลักษณะละเอียดกว่า

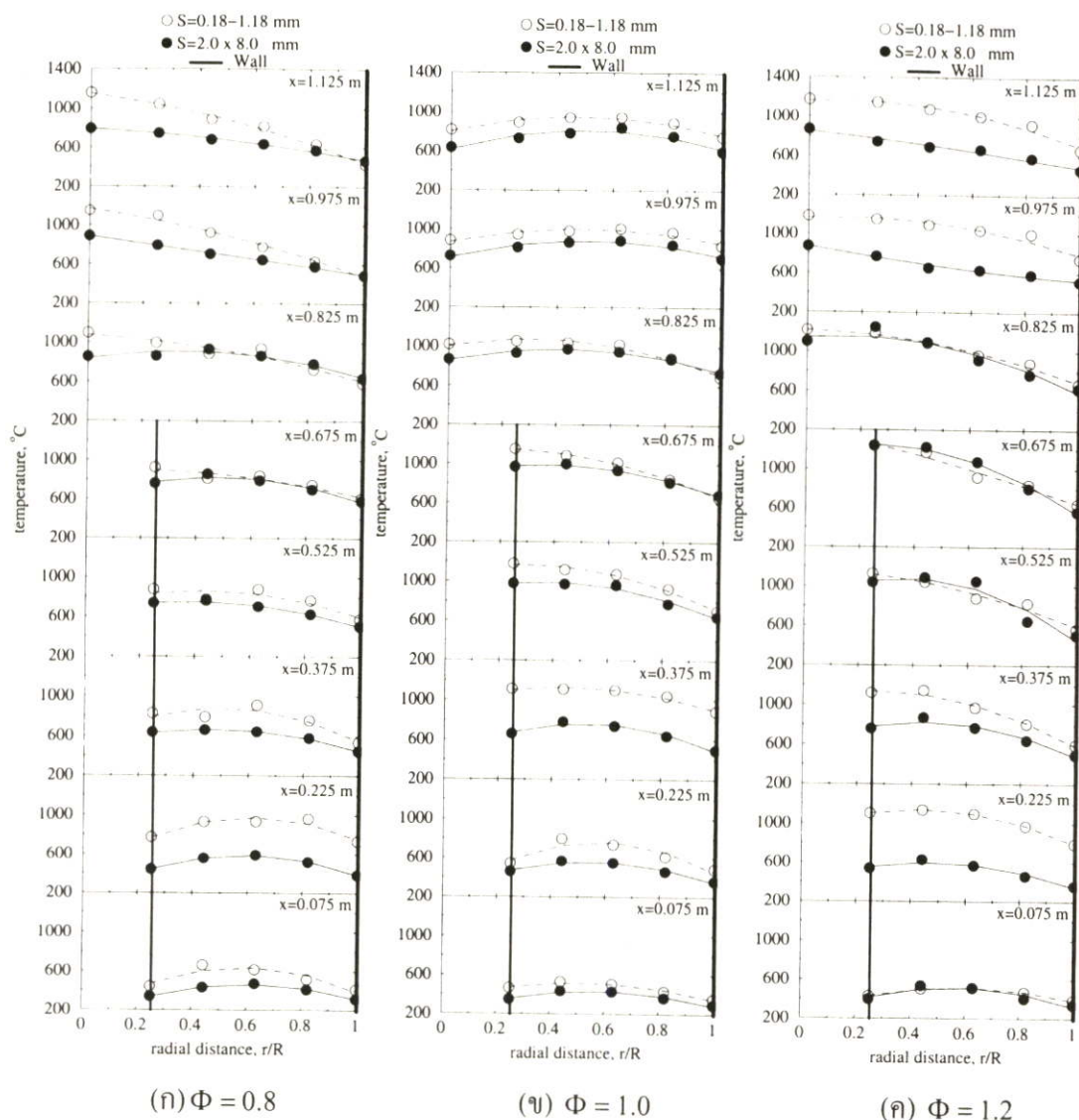
6.3.2 อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิง กรณี $m_f = 0.25 \text{ kg/min}$

การศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ในเตาเผาออร์เทค ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.25 kg/min ดังแสดงในรูปที่ 6.11 จากการทดลองพบว่า มีการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาสูงกว่า ในกรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.20 kg/min เนื่องจากมีปริมาณของเชื้อเพลิงที่เป็นสารตั้งต้นมากกว่า และการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบละเอียด มีการกระจายอุณหภูมิสูงกว่า การเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบปกติประมาณ $100\text{-}300 \text{ }^\circ\text{C}$ ตั้งแต่บริเวณส่วนล่างของเตาจนกระทั่งถึงส่วนบนของเตาเผา

การศึกษากรณีค่า $\Phi = 0.8$ การเผาไหม้ในกรณีปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงมากกว่าปริมาณอากาศที่ใช้ในทางทฤษฎีพบว่า การเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบละเอียดให้อุณหภูมิภายในสูงกว่า การเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบปกติตั้งแต่บริเวณด้านล่างของเตา ($x=0.075$ เมตร) จนถึงบริเวณส่วนบนของเตาเผา ($x=1.125$ เมตร) แสดงให้เห็นว่า เชื้อเพลิงแกลบละเอียดเกิดกระบวนการเผาไหม้ได้ดีกว่าเชื้อเพลิงแกลบปกติ โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ $1100 \text{ }^\circ\text{C}$

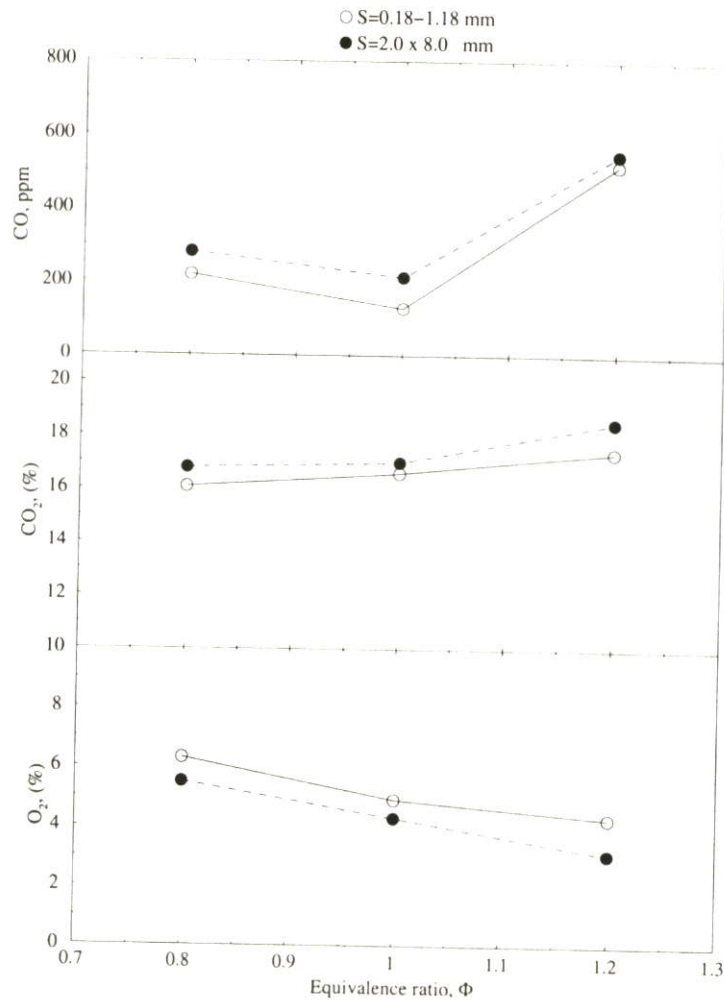
สำหรับการศึกษาในกรณีของปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงเท่ากับปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี ($\Phi = 1.0$) พบว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบละเอียด เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เนื่องจากมีขนาดของเชื้อเพลิงที่เล็กกว่า และมีพื้นที่ในการสัมผัสกับอากาศมากกว่า จึงทำให้มีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่เกิดจากการขบวนการเผาไหม้ได้มากกว่ากรณีของเชื้อเพลิงปกติ โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ $1100 \text{ }^\circ\text{C}$

เมื่อค่า $\Phi = 1.2$ การเผาไหม้กรณีที่ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงน้อยกว่าปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎีพบว่า ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิภายในเตาไม่สม่ำเสมอ อุณหภูมิสูงบริเวณใกล้กับท่อทิ้งไอเสีย และมีอุณหภูมิต่ำบริเวณผนังเตา เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ อาจเนื่องจากอากาศที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้ไม่เพียงพอกับปริมาณของเชื้อเพลิง การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบละเอียดให้อุณหภูมิภายในสูงกว่า อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ $1100 \text{ }^\circ\text{C}$



รูปที่ 6.11 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดเชื้อเพลิงปกติ และละเอียด อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.25 kg/min ที่ $\lambda = 0.25$

การศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงกลบต่อองค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากขบวนการเผาไหม้ เมื่ออัตราการป้อนเชื้อเพลิงกลบเท่ากับ 0.25 kg/min พบว่า ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกับกรณีที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงกลบเท่ากับ 0.20 kg/min แต่ปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่เกิดจากขบวนการเผาไหม้ มีปริมาณของก๊าซออกซิเจนน้อยกว่า ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ จะมีปริมาณที่ลดลงเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่ากรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.20 kg/min จากการทดลองที่ค่า $\Phi = 0.8$ มีปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้มากกว่ากรณีที่ค่า $\Phi = 1.0$ เนื่องจากอุณหภูมิบริเวณส่วนบนของห้องเผาไหม้ใกล้เคียงกับท่อที่ก๊าซไอเสีย กรณี $\Phi = 0.8$ มีอุณหภูมิสูงกว่ากรณี $\Phi = 1.0$ จึงทำให้คาร์บอนเกิดการแตกตัว และทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่เหลือ

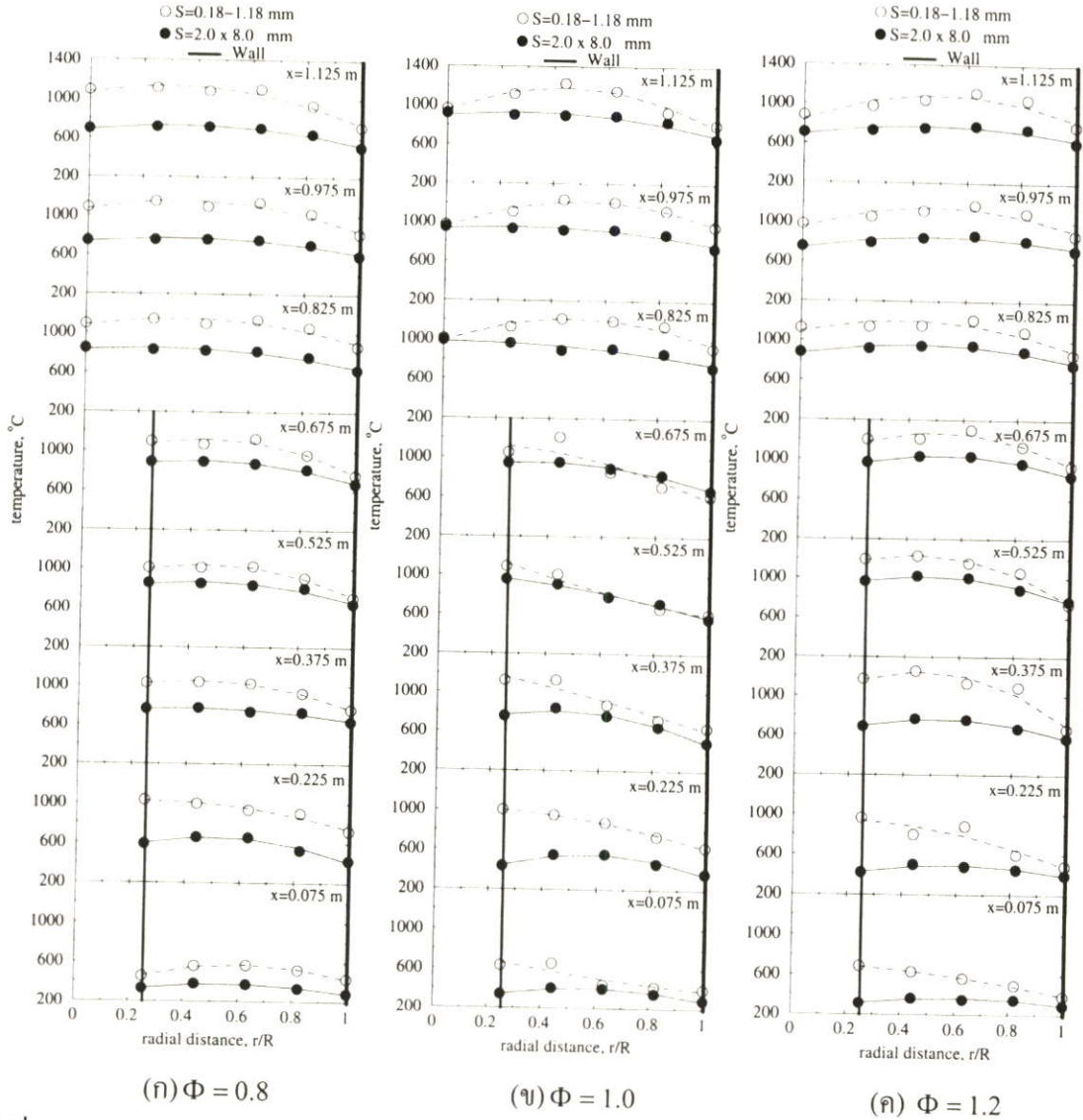


รูปที่ 6.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของก๊าซไอเสียกับ Equivalence ratio ที่ขนาดเชื้อเพลิงปกติ และละเอียด เมื่อ $m_f = 0.25$ kg/min

จากกระบวนการเผาไหม้ ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากกว่า จากการทดลองปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำสุดเท่ากับ 152 ppm. กรณี $\Phi = 1.0$ ของเชื้อเพลิงแกลบละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 6.12 ลักษณะนี้คล้ายกับกรณีที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.20 kg/min

6.3.3 อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิง กรณี $m_f = 0.30$ kg/min

การศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ในเตาเผาเวอร์เทค กรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.30 kg/min โดยทำการปรับค่า $\Phi = 0.8, 1.0$ และ 1.2 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6.13 เมื่อทำการพิจารณาที่ค่า $\Phi = 0.8$ พบว่า ลักษณะการกระจายอุณหภูมิมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งเตาเผา และอุณหภูมิสูงเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางวงแหวนในแนวรัศมี การกระจายอุณหภูมิภายในของขนาดเชื้อเพลิงแกลบละเอียด (0.18-1.18 มม.) มีการกระจายอุณหภูมิสูงกว่า การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบปกติ (2.0 x 8.0 มม.) ประมาณ 300°C เนื่องจากเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ทำให้มีการปลดปล่อยพลังงานออกมาได้มาก ดังแสดงในรูปที่ 6.13(ก)

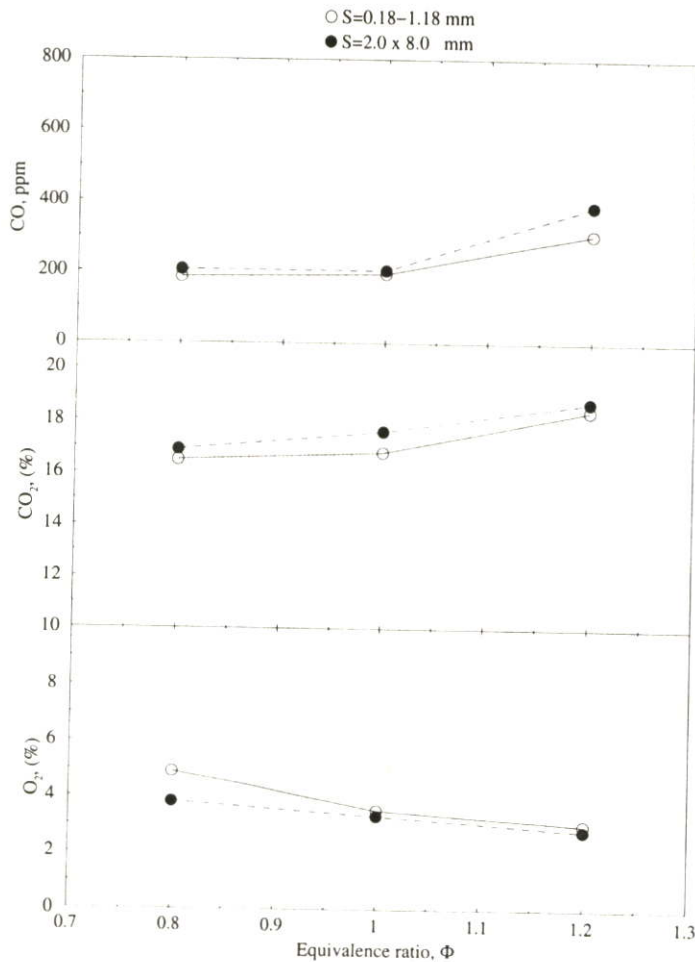


รูปที่ 6.13 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาของขนาดเชื้อเพลิงปกติ และละเอียด อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.30 kg/min ที่ $\lambda = 0.2$

จากนั้นทำการปรับให้ $\Phi = 1.0$ พบว่า ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิภายในมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณี $\Phi = 0.8$ แต่มีการกระจายอุณหภูมิภายในสูงกว่า อาจเนื่องจากไม่ต้องสูญเสียความร้อนให้กับอากาศส่วนเกินให้มีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิภายในเตาเผา อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบละเอียดเท่ากับ $1234.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงในรูปที่ 6.13(ข)

เมื่อพิจารณาการเผาไหม้ที่ $\Phi = 1.2$ พบว่า การกระจายอุณหภูมิภายในของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบละเอียด มีการกระจายอุณหภูมิสูงกว่าการกระจายอุณหภูมิในกรณีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบปกติอย่างเห็นได้ชัดเจน เพราะพื้นที่สัมผัสอากาศมากกว่าทำให้การเผาไหม้ได้มากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 6.13(ค)

การศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงต่อองค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ กรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.30 kg/min ดังแสดงในรูปที่ 6.14 พบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนจะลดลงเมื่อเชื้อเพลิงมีขนาดใหญ่ขึ้น และทำการเปรียบเทียบกับกรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.20 และ 0.25 kg/min มีปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้น้อยกว่าทั้งสองกรณี ในขณะที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบปกติมีปริมาณมากกว่า กรณีของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบละเอียด เมื่อพิจารณากรณีค่า $\Phi = 1.0$ พบว่าปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะไม่เป็นสัดส่วนกับปริมาณของก๊าซออกซิเจน เนื่องจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงอาจจะทำให้ก๊าซออกซิเจนบางส่วนทำปฏิกิริยากับก๊าซไนโตรเจน จึงทำให้เกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ทำให้ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เป็นสัดส่วนกับก๊าซออกซิเจน สำหรับปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบปกติ มีปริมาณมากกว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงละเอียด โดยปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เท่ากับ 195 ppm. กรณี $\Phi = 1.0$ ลักษณะซีเฝ้าของเชื้อเพลิงแกลบปกติ มีลักษณะหยาบสีดำปนเทามาก ส่วนซีเฝ้าของเชื้อเพลิงแกลบละเอียด มีลักษณะละเอียดเป็นผงสีดำปนเทา



รูปที่ 6.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของก๊าซไอเสียกับ Equivalence ratio ที่ขนาดเชื้อเพลิงปกติ และละเอียด เมื่อ $m_f = 0.30$ kg/min

บทที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลงานวิจัย

จากผลการศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค โดยเปรียบเทียบคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบปกติ (2.0 x 8.0 มม.) และเชื้อเพลิงแกลบละเอียด (0.18-1.18 มม.) ซึ่งทำการพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเผาไหม้ครั้งนี้ ผลของอัตราส่วนสมมูล ผลของปริมาณอากาศหุติยภูมิ และผลของอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. อิทธิพลของเชื้อเพลิงแกลบปกติโดยการทดลองกำหนดให้อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.30 kg/min และทำการทดลองที่ $\Phi = 0.8, 1.0$ และ 1.2 จากการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงเท่ากับปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี ($\Phi = 1.0$) ทำให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตาสูงกว่ากรณี $\Phi = 0.8$ และ 1.2 ของแต่ละอัตราการป้อนเชื้อเพลิง ในกรณีการป้อนเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 0.30 kg/min พบว่ามีลักษณะของการกระจายอุณหภูมิภายในเตาสม่ำเสมอ และมีการกระจายอุณหภูมิสูงกว่ากรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 0.20 และ 0.25 kg/min ในการศึกษาผลของปริมาณอากาศหุติยภูมิ (λ) ที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบปกติ โดยทำการทดลองที่ $\lambda = 0, 0.15$ และ 0.25 พบว่า ปริมาณของอากาศหุติยภูมิไม่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิที่สูงขึ้นในกรณี $\Phi = 0.8$ และ 1.0 ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 0.20 และ 0.25 kg/min จากการทดลองกรณีที่มีค่า $\Phi = 1.0$ เมื่อ $\lambda = 0.25$ และมีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 0.30 kg/min มีการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 1100°C ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้มีค่าเท่ากับ 3.3% ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 17.6% และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 204 ppm.

2. อิทธิพลของเชื้อเพลิงแกลบละเอียด จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio, Φ) ที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ คือ ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงเท่ากับปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี ($\Phi = 1.0$) ของแต่ละอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบ เมื่อพิจารณาปริมาณอากาศหุติยภูมิต่อปริมาณอากาศทั้งหมด (λ) พบว่า ปริมาณของอากาศหุติยภูมิไม่มีต่อการกระจายอุณหภูมิที่สูงขึ้นในกรณี $\Phi = 0.8$ และ 1.0 ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 0.20 และ 0.25 kg/min ในกรณี $\Phi = 1.0$ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.30 kg/min และปริมาณอากาศหุติยภูมิกรณี $\lambda = 0.25$ ทำให้อุณหภูมิภายในเตาเฉลี่ยสูงสุดมีค่าประมาณ 1200°C ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เหลือจากการระบวนการเผาไหม้มีค่าเท่ากับ 3.5% ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 16.8% และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เท่ากับ 195 ppm.

3. อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบ จากการทดลองเมื่อป้อนเชื้อเพลิงแกลบละเอียด (0.18-1.18 มม.) ลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผามีความสม่ำเสมอมากกว่า กรณีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบปกติ (2.0 x 8.0 มม.) การกระจายอุณหภูมิของแกลบละเอียดจะมีการกระจายอุณหภูมิสูงกว่ากรณีของแกลบปกติ (โดยมีอุณหภูมิสูงกว่าประมาณ 300-400 °C) ดังนั้นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบละเอียดเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์กว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบปกติ เนื่องจากเชื้อเพลิงละเอียดมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสอากาศได้มากกว่า จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ได้มากกว่าเชื้อเพลิงแกลบปกติ ดังนั้นในการเลือกใช้เชื้อเพลิงแกลบควรคำนึงถึงอุณหภูมิที่ต้องการใช้งาน เนื่องจากต้นทุนของเชื้อเพลิงแกลบละเอียดสูงกว่าเชื้อเพลิงแกลบปกติ

7.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อไป

1. ควรทำการศึกษถึงอิทธิพลของจำนวน และตำแหน่งของชุดป้อนอากาศทุติยภูมิ ต่อลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค
2. ควรทำการศึกษาถึงขนาด และความสูงของท่อทิ้งไอเสียต่อคุณลักษณะการเผาไหม้
3. ศึกษาถึงอิทธิพลของระยะความสูงของห้องเผาไหม้ที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้

เอกสารอ้างอิง

- [1] นางสาวศศิวิมล สูงสว่าง. 2526 “การเผาไหม้แก๊สในฟลูอิดไดซ์เบด” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] นายอภิชัย เทอดเทียนวงษ์. 2528 “เตาเผาไหม้ชีวมวลแบบฟลูอิดไดซ์เบด” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [3] นายรัชชัย ท้วถวิล และนายสันติ วัชรอาภาไพบูลย์. 2534 “เตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรแบบใช้อากาศหมุนวน 2” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [4] เรือโทประจักษ์ จิตรพิทย์. 2536 “การศึกษารูปแบบการไหลและลักษณะการสันดาปของห้องเผาไหม้แบบไซโคลอนที่ใช้เชื้อเพลิง” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [5] นายสุพจน์ น่านำโชค. 2536 “การเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้แบบไซโคลอนชนิดอากาศเข้าหลายช่องทาง” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [6] นายอดิศักดิ์ ชูจินดา. 2540 “เตาเผาแก๊สสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบด” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [7] นานบุญเรือง ศรีสวัสดิ์. 2541 “การปรับปรุงสมรรถนะเตาเผาแก๊ส” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [8] นายนิวัติ พิริยะรุ่งโรจน์. 2544 “การศึกษาเชิงทดลองของเตาเผาแบบวอร์เทค” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [9] Nieh, S. , et al. “Testing of a 0.15 MBtu/hr Vortex Combustor.” Technical report to Naval Civil Engineering Laboratory. April 1989.
- [10] Stephen R. Turns. **An Introduction to Combustion**. McGraw – Hill. International Edition. 1996. pp 8-49

- [11] Yonus.A.Cengl Michael A.Boles. **Thermodynamic An Engineering Approach.** Second Edition. 1994. pp 733-746
- [12] กัญจนา บุญเกียรติ. **เชื้อเพลิงและการเผาไหม้.** กรุงเทพฯ พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ปี2544. หน้า 179-219
- [13] รองศาสตราจารย์มนตรี พิรุณเกษตร. 2540. **อุณหพลศาสตร์2.** กรุงเทพฯ พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์บริษัทพิมพ์ดี จำกัด. ปี 2540. หน้า 416 – 465
- [14] สมศักดิ์ กীরติวุฒิสเรษฐ “หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม” พิมพ์ครั้งที่ 3, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2539
- [15] สุวิทย์ เตีย และ คณะ(2542) “การเผาไหม้ชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด” วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 22 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม, หน้า 47-63

ภาคผนวก ก

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแกลบ (Rice Husk)

แกลบเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว ในการสีข้าวเปลือก 1 ตัน จะได้แกลบออกมาทั้งหมดประมาณ 220 กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 22 สำหรับประเทศไทยประเมินได้ว่าในแต่ละปีจะมีแกลบประมาณ 4.4-4.6 ล้านตัน มีศักยภาพเชิงความร้อนเทียบเท่ากับการใช้น้ำมันดิบ 1.46-1.53 ล้านตัน แต่ตามความเป็นจริงถูกนำมาใช้ในครัวเรือนและอุตสาหกรรมทั่วไปเพียงร้อยละ 12 เท่านั้น ทั้งนี้เพราะวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเหล่านี้อยู่กระจัดกระจาย มีความหนาแน่นไม่มากเป็นผลให้การขนส่งมีราคาแพง ปัจจุบันการใช้แกลบเป็นพลังงานอยู่ในวงจำกัดปริมาณการใช้แกลบน้อย โดยที่แกลบอาจนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้หลายวิธี เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในเตาเผา เพื่อผลิตความร้อนให้หม้อน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า ใช้ผลิตแก๊สเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ ทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งใช้แทนฟืน และใช้อบโดยวิธีไพโรไลซิส(Pyrolysis) เพื่อใช้แทนถ่าน เป็นต้น

คุณสมบัติทางกายภาพ

แกลบมีคุณสมบัติทางการเป็นเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดีพอสมควร แต่จะมีข้อเสียคือเมื่อทำการเผาไหม้แกลบจะมีปริมาณสูงถึงประมาณร้อยละ 15.8-24.9 ค่าความร้อนของแกลบจะอยู่ระหว่าง 2,900-4,580 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ค่าความชื้น โดยประมาณ 1.1-9.8% กิโลกรัม

ตารางที่ ก-1 คุณสมบัติของแกลบ

Proximate Analysis	Moisture	(%)	1.1-9.8
	Fixed	(%)	12.7-17.4
Ultimate Analysis	Volatile matter	(%)	56.4-69.3
	Ash	(%)	15.8-24.9
	Carbon	(%)	38.2-55.8
	Silica	(%)	14.7
	Hydrogen	(%)	0.2-5.31
	Oxygen	(%)	29.9-31.7
	Sulphur	(%)	0.07-0.12

ตารางที่ ก-2 การเปรียบเทียบเชื้อเพลิง

	เชื้อเพลิงแข็ง	เชื้อเพลิงเหลว	แก๊สเชื้อเพลิง
การขนส่ง	- ขนส่งง่ายแต่ลำบากในการขนย้าย	- ขนส่งง่ายและขนย้ายง่าย	- แก๊สธรรมชาติขนส่งและขนย้ายง่าย
การเก็บ	- ต้องใช้พื้นที่กว้าง	- ต้องใช้ถัง	- ต้องบรรจุในภาชนะพิเศษ
คุณสมบัติ	- คุณภาพเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน - ค่าความร้อนต่อหน่วยต่ำ - ژی้เถ้ามาก - ประสิทธิภาพในการสันดาปต่ำ - ต้องการอากาศส่วนเกินในการสันดาปเป็นจำนวนมาก - มีความยุ่งยากในการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ	- คุณภาพค่อนข้างคงที่ - ค่าความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักสูง - ประสิทธิภาพในการสันดาปสูง - ต้องการอากาศในการสันดาปน้อย - ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติง่าย	- คุณภาพคงที่ - ค่าความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักมีค่าสูง - ไม่มีเถ้า - ประสิทธิภาพในการสันดาปสูงสุด - ต้องการอากาศส่วนเกินจำนวนน้อยมาก - ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติง่าย
อุปกรณ์สันดาป	- ขนาดเล็กไม่ซับซ้อน	- ขนาดเล็ก	- ขนาดค่อนข้างใหญ่
มลภาวะ	- จำเป็นต้องมีการป้องกันการเกิดมลภาวะต่อบรรยากาศ	- จำเป็นต้องมีการป้องกันการเกิดมลภาวะต่อบรรยากาศ	- มีผลกระทบต่อการเกิดมลภาวะของบรรยากาศน้อย
ราคา	- ถูก	- ค่อนข้างแพง	- แพงที่สุดต่อความร้อน 1 หน่วย

ตารางที่ ก-3 ปริมาณชีวมวลในปี 2540 และ 2544 (หน่วย :ตัน)

ชีวมวล	ปี พ.ศ.	
	2540 [*]	2544 ^{**}
กากอ้อย	15,410,636	19,357,826.64
แกลบ	5,962,548	5,582,426.4
ลำต้นมันสำปะหลัง	1,591,353	1,656,557.81
ซังข้าวโพด	9,066,220	6,905,058.88
กากถั่วเหลือง	141,483	259,574.21
เส้นใย/เปลือกผลปาล์ม	680,029	1,449,985.40

หมายเหตุ * ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปีเพาะปลูก 2540/44

** ประมาณการ

ภาคผนวก ข

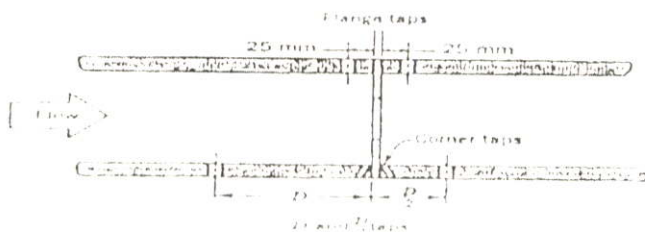
ออริฟิส(Orifice)

ออริฟิส ชนิดต่างๆ คล้ายคลึงกันสามารถอธิบายด้วยกันได้แต่ละชนิดแตกต่างกันที่ pressure tapping ซึ่งออริฟิส มาตรฐานกำหนดดังนี้รูปร่างลักษณะ (description) ออริฟิสได้แสดงหน้าตัดต่างๆดังรูปที่ ข-1



รูปที่ ข-1 standard orifice plate

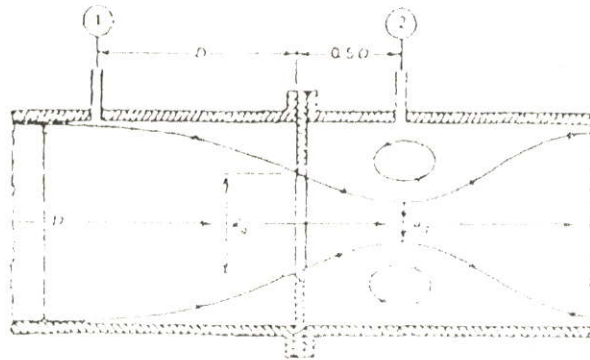
แผ่นออริฟิสเป็นแผ่นบางๆ ที่ถูกจับยึดระหว่างขอบของท่อเนื่องจากมีรูปทรงเรขาคณิตอย่างง่ายๆ ดังนั้นจึงมีราคาถูก และง่ายในการติดตั้ง หรือการย้ายตำแหน่งแต่อย่างไรก็ตามขอบของแผ่นอาจจะมีการสึกกร่อนได้อันเนื่องจากการชนของอนุภาคเล็กๆ ที่กระจายอยู่ในของไหล ข้อเสียอีกประการก็คือ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมการขยายของด้านล่างของกระแสทำให้มี head loss ถาวรที่สูงมาก จุดวัดความดันสำหรับออริฟิสนั้นสามารถกำหนดตำแหน่งได้หลายตำแหน่งดังรูปที่ ข-2 เนื่องจากตำแหน่งของจุดวัดความดันมีอิทธิพลต่อการหาสัมประสิทธิ์การไหล



รูปที่ ข-2 แสดง โครงสร้างเชิงเรขาคณิต และจุดวัดความดันของออริฟิส

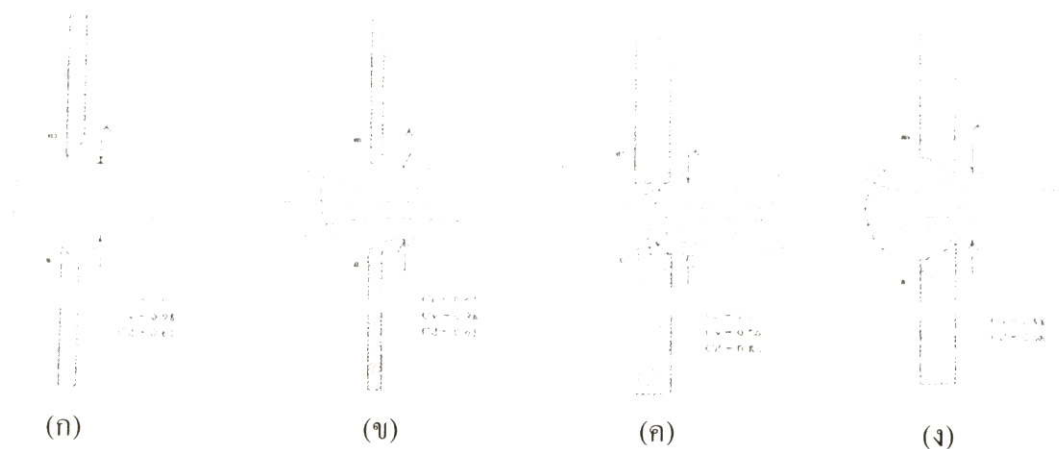
สำหรับการวัด อัตราการไหลของของไหลภายในท่อและจัดได้ว่า ออริฟิสเป็นเครื่องมือวัดที่ขีดขวางการไหลของพื้นที่หน้าตัดให้ของไหล ไหลผ่านออริฟิสมีขนาดน้อยกว่าพื้นที่หน้าตัดของท่อ

ดังรูปที่ ข-3 ดังนั้นเมื่อนำออร์ฟิสไปติดตั้งกับท่อซึ่งมีของไหลไหลผ่านจะทำให้เกิดความดันตกคร่อมออร์ฟิสซึ่งความดันตกคร่อมนี้จะแปรเปลี่ยนไปตามอัตราการไหล กล่าวคือถ้าอัตราการไหลมีค่าสูง ความดันตกคร่อมออร์ฟิสก็จะมีค่าสูง และอัตราการไหลมีค่าต่ำความดันตกคร่อมออร์ฟิสก็จะมีค่าต่ำ โดยทั่วไปออร์ฟิสจะนำไปหาอัตราการไหลที่สถานะ steady state เท่านั้นไม่นิยมนำไปใช้วัดอัตราการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Dynamic Response)



รูปที่ ข-3 แสดงการไหลผ่านแผ่นออร์ฟิส

ในบรรดาเครื่องมือวัดอัตราการไหลทั้งหลาย ออร์ฟิสถือว่าเป็นเครื่องมือที่มีผู้นำไปใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุดดังนั้นการทดลองชุดนี้จึงได้มีการนำเอาการวัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิสมาใช้ ออร์ฟิสมาตรฐานที่มีขอบคม ดังรูปที่ ข-4(ก) หรือขอบเป็นรูปสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ ข-4(ข) นั้นจะสัมพันธ์ลำน้ำที่ไหลผ่านในลักษณะที่เป็นการสัมผัสแบบเส้นส่วนออร์ฟิส ดังรูปที่ ข-4(ค) และ รูปที่ ข-4(ง) นั้นไม่ใช่เป็นออร์ฟิสมาตรฐาน ทั้งนี้เพราะลำน้ำที่ผ่านรู ออร์ฟิสนั้นถูกกระทบจากความหนาแน่นของแผ่นวัดคู่กับความหยابของผิวและรัศมีความโค้ง ดังนั้นจึงต้องมีการสอบเทียบเพื่อความถูกต้อง



รูปที่ ข-4 ออร์ฟิสแบบต่างๆ

ข้อดีของออริฟิส คือมีราคาต่ำกว่าเครื่องมือวัดชนิดอื่นๆ ที่อาศัยหลักการเดียวกัน และสะดวกในการสร้างเพราะมีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน รวมทั้งมีข้อมูลของการทำวิจัยที่เกี่ยวกับพฤติกรรมการวัดของไหลที่มีเงื่อนไขต่างๆ ไว้อย่างมากมาย ของไหลเมื่อไหลผ่าน square-edged orifice ซึ่งเป็นออริฟิสที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ จะมีทิศทางการไหลเป็นไปดังรูป สมมติว่าของไหลก่อนเข้าปะทะกับออริฟิสมีความเร็วคงที่ตลอดหน้าตัดของท่อ (หน้าตัดวงกลม) เท่ากับ V_1 เมตรต่อวินาที ของไหลที่บริเวณด้านหลังของออริฟิส จะมีลักษณะเป็นลำของไหล ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของลำของไหลลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งมีค่าเท่ากับ $D/2$ เมตร ณ บริเวณจุดวัดความดันที่ 2 ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุดที่มีพื้นที่หน้าตัดของการไหลน้อยที่สุด (Vena Contracta) ของ Jet ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Jet จะมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อของไหลเคลื่อนที่ผ่านจุดที่ 2 หรือมีความดันสถิตยต่ำสุด (จากสมการของ Bernoulli)

สมมติฐานเบื้องต้นสำหรับการวัดอัตราการไหลด้วยออริฟิสในการทดลองนี้คือของไหลที่อยู่ภายในท่อไม่สามารถอัดตัวได้ ความเร็วของของไหลมีค่าคงที่ตลอดหน้าตัด (โดยไม่คิดบริเวณที่เรียกว่า บริเวณกระแสไหลวน) ของไหลไม่มีความหนืดและการไหลเกิดขึ้นแบบ steady flow (อัตราการไหลมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับเวลา)

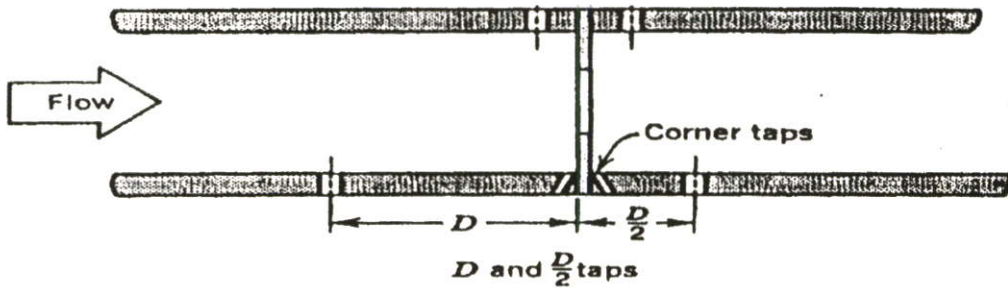
จากสมการของ Bernoulli สามารถนำมาใช้อธิบายคุณสมบัติการไหลที่จุดต่างๆ ภายในท่อได้ ดังนั้น สมการของ Bernoulli สำหรับจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของการไหลดังแสดงในรูปที่ 3.5

$$\dot{m} = \frac{C_d A_t \sqrt{2\rho(\Delta P)}}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_t}{D}\right)^4}}$$

- เมื่อ
- P = ความดันสถิตยของของไหล (N/m^2)
 - ρ = น้ำหนักจำเพาะ (specific weight, N/m^3)
 - d_t = เส้นผ่านศูนย์กลางรูออริฟิส (m)
 - D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)
 - A_t = พื้นที่หน้าตัดรูออริฟิส (m^2)
 - C_d = discharge coefficient

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการวัดอัตราการไหลของอากาศโดยใช้ ออร์ฟิสมิเตอร์



รูปที่ ค-1 จุดวัดความดันของออร์ฟิสมิเตอร์

ตัวอย่างการคำนวณ ความสูงของระดับน้ำในมานอร์มิเตอร์
กำหนดให้

- | | | | |
|--|-----------------|------------------------|----------------------|
| 1. Equivalent ratio เท่ากับ 1 | | | |
| 2. อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงเชิงทฤษฎี | $A/F_{ratio} =$ | 5.372 | kg_{air}/kg_{fuel} |
| 3. อัตราการไหลของอากาศทั้งหมด | $=$ | 0.3 | kg/min |
| 4. ใช้อากาศอากาศปฐมภูมิเท่ากับ 75 % | $=$ | 0.020175 | kg/s |
| 5. ใช้อากาศทุติยภูมิเท่ากับ 25% | $=$ | 6.725×10^{-3} | kg/s |
| 6. ความหนาแน่นของอากาศ | $\rho_a =$ | 1.2 | kg/m^3 |
| 7. ความหนาแน่นของแกลบ | $\rho_r =$ | 100 | kg/m^3 |
| 8. ความหนาแน่นของน้ำ | $\rho_w =$ | 1000 | kg/m^3 |
| 9. พื้นที่หน้าตัดอากาศท่อปฐมภูมิ | $A_p =$ | 1.64×10^{-3} | m^2 |
| 10. อัตราส่วน เบต้า ของท่อปฐมภูมิ | $\beta_p =$ | 0.6 | |
| 11. พื้นที่หน้าตัดอากาศท่ออากาศทุติยภูมิ | $A_s =$ | 8.04×10^{-4} | m^2 |
| 12. อัตราส่วน เบต้า ของอากาศทุติยภูมิ | $\beta_s =$ | 0.62 | |
| 13. สัมประสิทธิ์การไหลผ่าน | $C =$ | 0.62 | |

จากสมการ

ความสูงของระดับน้ำในมานอร์มิเตอร์ของอากาศปฐมภูมิ

$$\begin{aligned}\dot{m}_p &= \frac{CA_p \sqrt{2\rho\Delta P}}{\sqrt{1-\beta^4}} \\ 0.0202 &= \frac{0.62(1.64 \times 10^{-3})\sqrt{(2 \times 1.2)\Delta P}}{\sqrt{1-(0.6)^4}} \\ \Delta P &= 142.77 \text{ N/m}^2 \\ \Delta P &= \rho_w gh \\ 142.77 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} &= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \Delta h \\ \Delta h &= 1.45 \text{ cm.}\end{aligned}$$

จากสมการ

ความสูงของระดับน้ำในมานอร์มิเตอร์ของอากาศทุติยภูมิ

$$\begin{aligned}\dot{m}_s &= \frac{CA_s \sqrt{2\rho\Delta P}}{\sqrt{1-\beta^4}} \\ 6.725 \times 10^{-3} &= \frac{0.62(8.04 \times 10^{-4})\sqrt{(2 \times 1.2)\Delta P}}{\sqrt{1-(0.62)^4}} \\ \Delta P &= 64.63 \text{ N/m}^2 \\ \Delta P &= \rho_w gh \\ 64.63 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} &= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \Delta h \\ \Delta h &= 0.66 \text{ cm.}\end{aligned}$$

ตารางที่ ค-1 แสดงอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.3kg/min

Φ	Primary Air (kg/sec)			Secondary Air (kg/sec)	
	100%	85%	75%	15%(8 ท่อ)	25%(8 ท่อ)
0.8	0.0336	0.0285	0.0252	0.0050	0.0084
1	0.0269	0.0228	0.0202	0.0040	0.0067
1.2	0.0224	0.0190	0.0168	0.0033	0.0056

ตารางที่ ค-2 แสดงความสูงของระดับน้ำในมานอร์มิเตอร์ของอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.3kg/min

Φ	Primary Air (Δh)cm.			Secondary Air (Δh)cm.	
	100%	85%	75%	15%	25%
0.8	4.03	2.91	2.27	0.37	1.03
1	2.58	1.87	1.45	0.24	0.66
1.2	1.79	1.29	1.00	0.16	0.46

ตารางที่ ค-3 แสดงอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.25kg/min

Φ	Primary Air (kg/sec)			Secondary Air (kg/sec)	
	100%	85%	75%	15%(8 ท่อ)	25%(8 ท่อ)
0.8	0.0280	0.0238	0.0210	0.0042	0.0070
1	0.0224	0.0190	0.0168	0.0034	0.0056
1.2	0.0187	0.0159	0.0140	0.0028	0.0047

ตารางที่ ค-4 แสดงความสูงของระดับน้ำในมานอร์มิเตอร์ของอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.25kg/min

Φ	Primary Air (Δh)cm.			Secondary Air (Δh)cm.	
	100%	85%	75%	15%	25%
0.8	2.80	2.02	1.58	0.26	0.71
1	1.79	1.29	1.00	0.17	0.46
1.2	1.25	0.90	0.70	0.11	0.32

ตารางที่ ค-5 แสดงอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง
เท่ากับ 0.2kg/min

Φ	Primary Air (kg/sec)			Secondary Air (kg/sec)	
	100%	85%	75%	15%(8 ท่อ)	25%(8 ท่อ)
0.8	0.0224	0.0190	0.0168	0.0036	0.0056
1	0.0179	0.0152	0.0134	0.0026	0.0044
1.2	0.0149	0.0126	0.0111	0.0022	0.0037

ตารางที่ ค-6 แสดงความสูงของระดับน้ำในมานอร์มิเตอร์ของอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ
อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.2kg/min

Φ	Primary Air (Δh) cm.			Secondary Air (Δh) cm.	
	100%	85%	75%	15%	25%
0.8	1.80	1.29	1.01	0.17	0.46
1	1.15	0.83	0.64	0.11	0.30
1.2	0.79	0.58	0.45	0.07	0.20

หมายเหตุ: วิธีการปรับเทียบแผ่นออริฟิสที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลของอากาศมีรายละเอียดดังนี้

1. ติดตั้งแผ่นออริฟิสเข้ากับท่ออากาศทุติยภูมิ โดยวัดอัตราการไหลของอากาศผ่านชุดมานอร์มิเตอร์ (อ่านค่าระดับความสูงของน้ำในมานอร์มิเตอร์) ตามตารางข้างต้น
2. นำ Anemometer วัดความเร็วของอากาศหลังจากผ่านชุดออริฟิส โดยขนาดของท่ออากาศทุติยภูมิ และขนาดของใบพัดของ Anemometer มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 50.8 มม.
3. อ่านค่าความเร็วจากเครื่อง Anemometer เพื่อหาค่าอัตราการไหลของอากาศ
4. นำค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Anemometer กับค่าทางทฤษฎี (ค่าที่ได้จากการคำนวณ) มา Fit Curve เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
5. นำค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด รวมกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง-1 แสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานของตระแกรงแบบอเมริกัน, เทเลอร์และแบบมาตรฐาน
อุตสาหกรรมญี่ปุ่น

ตะแกรงมาตรฐาน แบบอเมริกัน		ตะแกรงมาตรฐาน แบบเทเลอร์		ตะแกรงมาตรฐาน แบบมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น		
หมายเลข ของ ตระแกรง	ขนาดของ ช่องเมช (มม.)	เมช	ขนาดของ เมช (มม.)	ขนาด (ไมครอน)	ขนาดของ เมช (มม.)	เมช
3 $\frac{1}{2}$	5.66	-	-	5,660	5.66	3
4	4.76	4	4.699	-	-	-
5	4.00	-	-	-	-	-
6	3.83	6	3.327	3,360	3.36	6
7	3.36	-	-	-	-	-
8	2.38	8	2.362	2,380	2.38	8
10	2.00	-	-	-	-	-
12	1.68	10	1.651	1,680	1.68	10
14	1.41	-	-	-	-	-
16	1.19	14	1.168	1,190	1.19	14
18	1.00	-	-	-	-	-
20	0.84	20	0.833	840	0.84	20
25	0.71	-	-	-	-	-
30	0.59	28	0.589	590	0.59	28
35	0.50	-	-	-	-	-
40	0.48	35	0.417	480	0.48	35
45	0.35	-	-	-	-	-
50	0.297	48	0.295	297	0.297	48
60	0.250	-	-	-	-	-
70	0.210	65	0.208	210	0.21	65
80	0.177	-	-	-	-	-
100	0.149	100	0.147	149	0.149	100
120	0.125	-	-	-	-	-
140	0.105	150	0.104	105	0.105	150
170	0.088	-	-	-	-	-
200	0.074	200	0.074	74	0.074	200
230	0.062	250	0.061	62	0.062	250
270	0.053	270	0.021	53	0.053	270



วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง

JOURNAL OF KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ISSN 0858-8430 Vol. 9 No. 1 April 2001 ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 เมษายน 2544

2544

บทความวิจัย

- อิทธิพลของขนาดของแกลบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ 1
สมศักดิ์ โพธิ์วิลเกียรติ์ นีวัติ พิริยะรุ่งโรจน์ พงษ์เจด พรหมวงค์
- อิทธิพลของความชื้นของแกลบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ 7
ศุภชัย เลื่อนลอย นีวัติ พิริยะรุ่งโรจน์ พงษ์เจด พรหมวงค์
- ผลของขนาดชิ้นสัลดั๊กต่ออัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีนและอายุการเก็บรักษาที่ 12°ซ 13
ระติพร หาเรือนกิจ เจนจิรา เจริญยิ่ง
- ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเจลค้ำหูลอด : ตอนที่ 1 พันธุ์ถั่ว การแช่ถั่ว และอุณหภูมิการเกิดเจล 18
น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป สุพร พิษกมฺพร
- ชนิดและวิธีการแปรรูปต่อส่วนประกอบทางเคมีในของเสียจากตู้เกิดลูกไก่ 25
วิชัย ศุภลักษณ์ อรุษา แสงโสภณ กนกรัตน์ ศรีกิจเกษมวัฒน์
- ผลของการเสริมยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ที่มีชีวิตในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตในไก่กระตาง 31
อาทิตย์ พลาขมาศ หทัยรัตน์ พงศ์พิพัฒนาการ

บทความวิชาการ

- เทคโนโลยีใหม่กับปัญหาการว่างงานในประเทศไทย 35
เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์
- Building Theory from Multiple Case Studies in Operations Management
Is it Really Soft and Fuzzy? 42

Duangpun Kritchanchai

อิทธิพลของขนาดของแกลบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้

Effect of Rice Husk Sizes on Combustion Characteristics

สมศักดิ์ โพธิ์ดวิลเกียรติ นิวัติ พิริยะรุ่งโรจน์* พงษ์เจต พรหมวงศ์
 นักศึกษาปริญญาโท อาจารย์ รองศาสตราจารย์
 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 *ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาทดลองถึงพฤติกรรมการเผาไหม้ของขนาดเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาแบบวอร์เทค ขนาดของเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้ในการทดลองมีสองขนาดอยู่ในช่วง 0.84-1.00 และ 1.19-1.41 มม. การทดลองปรับค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.3 kg/min สำหรับแต่ละขนาดของเชื้อเพลิงแกลบ ส่วนค่า Equivalence ratio, Φ , เท่ากับ 0.8, 1.0, และ 1.2 อัตราส่วนของอัตราการไหลอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมด (λ) เท่ากับ 0.2, 0.3 และ 0.4 จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในเตาเผาแกลบแบบวอร์เทคมีค่าสูงสุดประมาณ 1,000 °C ที่บริเวณกึ่งกลางเตา ผลของอากาศทุติยภูมิมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตา ในกรณีที่ $\Phi \geq 1$ เชื้อเพลิงแกลบขนาด 0.84-1.00 มม. ให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง นอกจากนี้ยังพบว่าการเผาไหม้ในเตาเผามีความเสถียรสูง และง่ายต่อการควบคุม

Abstract

The paper presents the experimental study of rice husk particle size influence on combustion characteristics in a vortex combustor. The fuel particles used in this experiment have two sizes in the ranges of 0.84 – 1.00 and 1.19 – 1.41 mm. Experiment are made by adjusting the mass flow rate of the fuel to be 0.3 kg/min for each of the particle sizes. For each of the particle feeding rate, the combustion air was varied to let the equivalence ratio, Φ , be 0.8, 1.0 and 1.2. The ratio of volumetric flow rate of the secondary air to the total air, (λ), was set to be 0.2, 0.3 and 0.4. The experiment shows the maximum temperature of about 1,000 °C in the annular chamber. Effect of secondary air on the temperature distribution inside combustor for $\Phi \geq 1$ is found to be slightly significant. Less particle size of rice husk gives better combustion efficiency. Besides, the combustor has a high combustion stability with ease of operating control.

คำสำคัญ: เตาวอร์เทค, ขนาดเชื้อเพลิงแกลบ, การเผาไหม้

Key words: Vortex combustor, rice husk fuel sizes, combustion

1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานมีอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในภาคโรงงานอุตสาหกรรม พลังงานส่วนใหญ่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน ลิกไนต์ ซึ่งพลังงานเหล่านี้มีปริมาณลดลงไปเรื่อยๆ และราคาของเชื้อเพลิงฟอสซิลมีราคาสูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการหาแหล่งพลังงานส่วนอื่นๆ มาทดแทน สำหรับประเทศไทยนั้นเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่มีการปลูกข้าว

และหลังจากสีข้าวเปลือกแล้วจะได้แกลบประมาณ 22% โดยน้ำหนักของข้าวเปลือก การประเมินแต่ละปีจะมีแกลบประมาณ 4.4-4.6 ล้านตัน และมีศักยภาพเชิงความร้อนเทียบเท่าการใช้ น้ำมันดิบ 1.46-1.53 ล้านตัน ค่าทางความร้อนของแกลบ (overall gross calorific value of rice husk) ประมาณ 2,900-4,560 kcal/kg เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเตา (ค่าทางความร้อนเท่ากับ 9,900 kcal/kg) จะเห็นได้ว่าค่าทางความร้อน

ร้อนมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งแต่มีราคาถูกกว่ามาก ดังนั้นแกลบจึงเป็นเชื้อเพลิงหนึ่งที่น่าสนใจ

เตาเวิร์เทคมีการใช้เทคนิคของไหลแบบหมุนวนความเร็วสูงมาช่วยในการเผาไหม้ การไหลแบบหมุนวนความเร็วการหมุนวนได้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเสถียรของเปลวไฟ เพิ่มการผสมคลุกเคล้าของเชื้อเพลิงกับอากาศ และช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน นอกเหนือจากช่วยเพิ่มเวลาอยู่ในเตาของเชื้อเพลิงและช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ เพราะว่าการหมุนวนช่วยเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลวนไปมาในบริเวณกึ่งกลางของเตาเป็นผลให้เกิดความปั่นป่วนอย่างรุนแรงขึ้นในแต่ละชั้นระหว่างการไหลวนไปมาและการไหลของชั้นภายนอกซึ่งช่วยทำให้เปลวไฟในเตาเสถียรยิ่งขึ้น โครงสร้างของความปั่นป่วนในการไหลแบบหมุนวนความเร็วสูงนี้โดยทั่วไปมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนมาก การไหลวนไปมาอันเป็นผลจากการหมุนวนสามารถนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการสันดาป ลดมลภาวะที่ปล่อยออก ลดความยาวของเปลวเพลิงและเป็นผลให้เตาเผามีขนาดเล็กลง เพิ่มความเสถียรของการสันดาป ซึ่งเตาเวิร์เทคนี้ถูกออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในเตาที่กล่าวในช่วงต้น โดยเตาเวิร์เทคนั้นจะรวมข้อดีของเตาไซโคลน, เตาถ่านหินผง, ห้องสันดาปของเครื่องยนต์กังหันก๊าซ และเตาฟลูอิดไคซ์เบด เข้าด้วยกันเพื่อแก้ปัญหาในเรื่องของ slag, เขม่า, ฝุ่น, ควัน รวมถึงการเพิ่มเวลาในการเผาไหม้เพื่อการเผาไหม้ที่ดีขึ้น และมีขนาดที่เล็กลงกว่าเตาที่กล่าวมาแล้ว

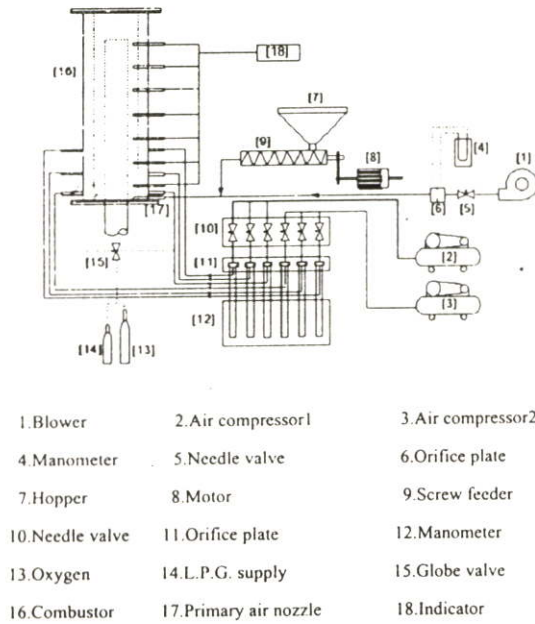
ในอดีตได้มีนักวิจัยทำการวิจัยที่เกี่ยวกับงานเตาเผา มีลักษณะใกล้เคียงกันดังนี้ ของสุพจน์ นานาโชค [1] ศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเตาเผาไหม้แบบไซโคลน งานวิจัยของรัชชัช ทั่ววล และสันติ วัชรอากาศไพบูลย์ [2] ทำการพัฒนา เตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรโดยใช้อากาศหมุนวนและใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง งานวิจัยของ เรือโท ประจักษ์ จิตร์พิทย์ [3] ทำการศึกษาทดลองเผาไหม้เชื้อเพลิงในเตาเผาแบบไซโคลน งานวิจัยของอดิศักดิ์ ชูจินดา [4] มีการสร้างเตาเผาแกลบสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไคซ์เบดขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง โดยได้ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาทั้งระบบประมาณ 59-60% งานวิจัยของบุญเรือง ศรีสวัสดิ์ [5] ได้ปรับปรุงสมรรถนะของเตาเผาแกลบสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไคซ์เบดต่อเนื่องจากของอดิศักดิ์ ชูจินดา

โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาทั้งระบบเป็น 73% Sen Nieh และ Tim T.Fu [6] ทำการทดสอบการไหลในเตาแบบจำลอง Cold models และ Hot models ของเตาแบบเวิร์เทคโดยใช้ถ่านหินผง รวมถึงงานวิจัยต่อเนื่องมาถึงการทดสอบเตาเผาแบบเวิร์เทค โดยใช้เชื้อเพลิง Dry Ultra fine Coal และ Coal Water Fuel

บทความนี้ทำการศึกษาทดลองถึงพฤติกรรมของการเผาไหม้ของขนาดเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาแบบเวิร์เทค การกระจายอุณหภูมิในเตาเผา ความเสถียรของเปลวไฟ ฝุ่น และ ควันที่เกิดจากการเผาไหม้ของแกลบภายในเตาเผา เพื่อศึกษาหาขนาดของเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการพัฒนาเตาเผาแกลบให้มีประสิทธิภาพสูงต่อไป

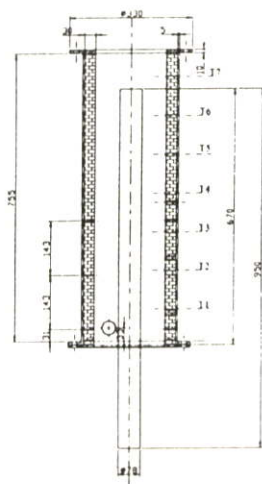
2. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

การทดลองการเผาไหม้ในเตาเผาแบบเวิร์เทคใช้เชื้อเพลิงแกลบในการทดสอบอยู่สองขนาดคือ 0.84-1.00 และ 1.19-1.41 มม. ความชื้นที่ 9.2% เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 1 ก่อนทำการทดลองต้องทำการอุ่นเตาโดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG เพื่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนกระทั่งเชื้อเพลิงแกลบสามารถเผาไหม้ด้วยตัวเองได้ การติดเตาเผาจะใช้อากาศป้อนจาก Blower ในการลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่ภายในห้องเผาไหม้ หลังจากอุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงจนสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบได้เอง จึงหยุดการอุ่นเตาด้วย LPG อากาศอัดจาก Air compressor 1 และ 2 ส่งอากาศผ่าน Needle valve และวัดอัตราการไหลของอากาศ โดย Orifice และ Manometer อากาศส่วนที่ 2 จะเข้าไปในเตาเผาในแนวสัมผัสตำแหน่งในการป้อนอากาศส่วนที่ 2 มี 3 ระดับ คือ 0.031, 0.174, และ 0.317 เมตร จากด้านล่างของเตา เชื้อเพลิงแกลบถูกบรรจุใน Hopper จะลำเลียงเข้าสู่ท่อ อากาศส่วนที่ 1 โดยใช้ Screw feed ซึ่งมีต้นกำลังมาจาก Motor การปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงแกลบโดยใช้ Inverter ควบคุมความเร็วรอบของ Motor การวัดการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาใช้ Thermocouple type K ทำการวัดทั้งสิ้น 7 จุด มีระยะห่างของแต่ละจุดเท่ากับ 0.1 เมตร จากด้านล่างของเตาเผาตามลำดับและอ่านค่าอุณหภูมิได้จาก Indicator



รูปที่ 1. อุปกรณ์การทดลอง

ลักษณะของเตาเผาออร์เทคเป็นท่อรูปทรงกระบอก 2 ชั้น ท่อชั้นนอกประกอบด้วยเหล็กและอิฐทนไฟมีความสูงเท่ากับ 0.755 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.2 เมตร ท่อชั้นในเป็นท่อสแตนเลสมีความสูงเท่ากับ 0.950 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.078 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องป้อนอากาศทุติยภูมิ เท่ากับ 0.005 เมตร ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2. ลักษณะและขนาดเตาเผาแบบออร์เทค

3. การทดลอง

ก่อนการทดลองต้องทำการอุ่นเตาเผาออร์เทคโดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG จนเตามีอุณหภูมิประมาณ 400 °C จึงเริ่มป้อนแกลบ และอากาศปฐมภูมิเพียงส่วนเดียวจนเกิดการเผาไหม้ และอุณหภูมิภายในเตาเท่ากับ 700 °C จึงเริ่มทำการทดลอง การทดลองสามารถแบ่งขั้นตอนการทดลองได้ดังต่อไปนี้

- 3.1 ทำการปรับอัตราการไหลของอากาศให้ค่า Equivalence ratio เท่ากับ 0.8
- 3.2 ป้อนเชื้อเพลิงแกลบขนาด 0.84-1.00 มม. โดยให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 0.3 kg/min
- 3.3 บันทึกผลของอุณหภูมิการเผาไหม้ 15 นาที เก็บถ้ำจากปล่องไอเสีย และสังเกตลักษณะควันที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้
- 3.4 ทำการปรับอัตราการไหลของอากาศให้ค่า Equivalence ratio 1.0 และ 1.2 ตามลำดับ และทำซ้ำตามข้อ 3.3) สำหรับแต่ละค่าของ Equivalence ratio
- 3.5 ทำทดลองซ้ำตามข้อที่ 3.1) ถึง 3.4) โดยเปลี่ยนขนาดของเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 1.19-1.41 มม.

การเผาไหม้เชื้อเพลิงค่า equivalence ratio จะใช้เป็นค่าที่แสดงปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ การคำนวณค่า equivalence ratio ต้องทราบค่าองค์ประกอบของเชื้อเพลิง ดังแสดงในตารางที่ 1 สามารถหาค่าได้จาก

$$\Phi = \frac{(m_a/m_f)_{act}}{(m_a/m_f)_{sto}} \tag{1}$$

เมื่อ m_a คืออัตราการไหลของอากาศ(kg/min)

m_f คืออัตราการไหลของเชื้อเพลิง(kg/min)

โดยสัดส่วนผสมจะเรียกว่า

- ส่วนผสมหนา Rich เมื่อ $\Phi < 1$
- ส่วนผสมพอดี Stoichiometric เมื่อ $\Phi = 1$
- ส่วนผสมบาง Lean เมื่อ $\Phi > 1$

ขนาดของเชื้อเพลิงแกลบปกติโดยทั่วไปจะมีขนาดประมาณ 2.0 x 8.0 มม. เพราะฉะนั้นการแยกขนาดของเชื้อเพลิงแกลบจึงต้องนำเชื้อเพลิงแกลบขนาดปกติมาบดให้มีขนาดเล็กกลง จากนั้นนำมาแยกด้วยตะแกรง เบอร์ 14 และ 16 จะได้เชื้อเพลิงแกลบขนาด 1.19-1.41 มม. สำหรับเชื้อเพลิง

แถบขนาด 0.84-1.00 มม.สามารถแยกโดยตะแกรงเบอร์ 18 และ 20

ตารางที่ 1. ข้อมูลองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแถบ [4]

องค์ประกอบเชื้อเพลิงแถบ	
Carbon	36.8 %
Hydrogen	5.8 %
Oxygen	37.4 %
Nitrogen	0.14 %
Sulfur	0.1 %
Moisture	7.8 %
Ash	18.9 %
Gross heat of combustion	3,308 kcal/kg
Stoichiometric air	3.2731 kg/kg fuel

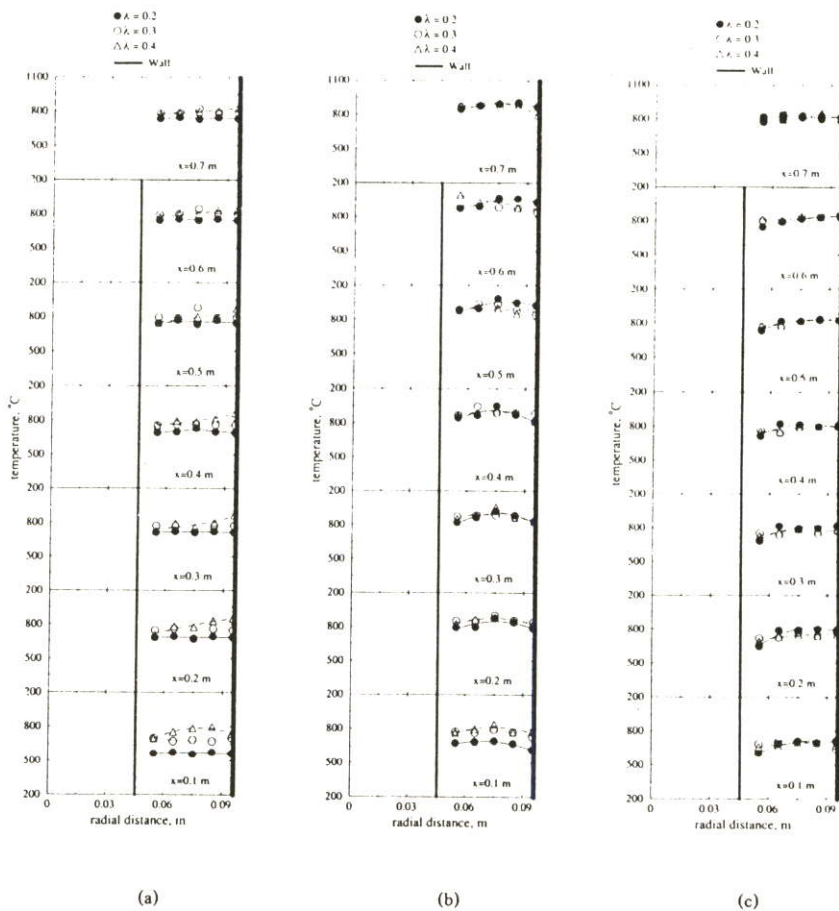
4. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองการวัดการกระจายอุณหภูมิภายในเตาทั้งสี่ตำแหน่งตามแนวแกนที่ตำแหน่ง $x=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6,$ และ 0.7 เมตร

4.1 อิทธิพลของค่า Equivalence Ratios

ลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทคสำหรับ $\Phi = 0.8, \Phi = 1.0$ และ $\Phi = 1.2$ โดยใช้เชื้อเพลิงแถบขนาด 0.84-1.00 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3a, 3b และ 3c ตามลำดับซึ่งมีค่าความชื้นของเชื้อเพลิงแถบเท่ากับ 9.2% และมีอัตราการไหลของเชื้อเพลิงแถบคงที่เท่ากับ 0.3 kg/min

อุณหภูมิภายในเตาเผามีลักษณะที่สม่ำเสมอ อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 900 °C ที่บริเวณกึ่งกลางห้องเผาไหม้ในส่วนบนของเตาเผา ลักษณะของขี้เถ้ามีแถบที่ไม่เผาไหม้ปนอยู่ และมี



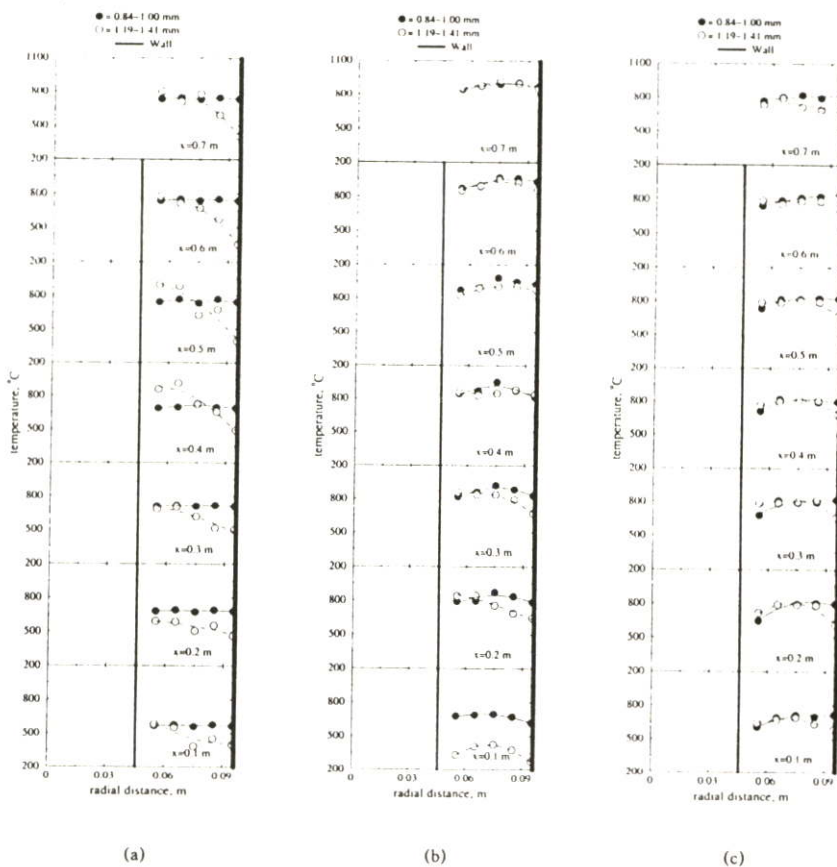
รูปที่ 3. การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ขนาดเชื้อเพลิงแถบเท่ากับ 0.84-1.00 มม. (a) $\Phi = 0.8$, (b) $\Phi = 1.0$, และ (c) $\Phi = 1.2$

ควันทีค่ามาก สำหรับการกระจายอุณหภูมิภายในเตาที่ $\Phi = 1.0$ โดยปริมาณอากาศที่ใช้ นั้นเท่ากับอากาศทางทฤษฎี (Stoichiometric) ดังแสดงในรูปที่ 3b พบว่าลักษณะของการกระจายอุณหภูมิภายในเตาสม่ำเสมอ บริเวณด้านบนของเตามีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1000°C ที่กึ่งกลางของห้องเผาไหม้ ลักษณะของซี้ดำสีน้ำตาล และควันที่ออกจากท่อปล่อยไอเสียน้อย รูปที่ 3c แสดงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเมื่อให้ปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี (lean) ที่ $\Phi = 1.2$ ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอมีลักษณะใกล้เคียงกับการกระจายอุณหภูมิที่ $\Phi = 1.0$ อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 900°C ที่บริเวณกึ่งกลางของห้องเผาไหม้ และส่วนที่ใกล้กับผนังของห้องเผาไหม้จะมีอุณหภูมิต่ำ โดยที่ด้านบนของเตามีอุณหภูมิสูงกว่าด้านล่างของเตา ลักษณะของซี้ดำสีน้ำตาล และควันที่ออกจากท่อปล่อยไอเสียน้อย

4.2 อิทธิพลของปริมาณอัตราการไหลของอากาศทุกชนิดต่ออากาศทั้งหมด

อัตราการไหลของอากาศทุกชนิดต่ออากาศทั้งหมด ($\lambda = Q_s / Q_t$) เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงปริมาณการเกิดการไหลวนภายในเตาเผามากขึ้น โดยการไหลวนจะช่วยให้อากาศและเชื้อเพลิงถูกเคล้าได้ดีขึ้น และช่วยเพิ่มระยะเวลาในการเผาไหม้ การทดลองจะเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิที่ $\lambda = 0.2, 0.3$ และ 0.4 ตามลำดับที่ค่า equivalence ratio ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3

จากรูปที่ 3a ที่ค่า $\Phi = 0.8$ จะพบว่าเมื่อทำการปรับค่า $\lambda = 0.4$ ทำให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตามีค่าสูงกว่า $\lambda = 0.3$ และ 0.2 ตามลำดับ ดังนั้นการเพิ่มค่า λ ขึ้นจะช่วยให้การกระจายอุณหภูมิต่ำลงที่ค่า $\Phi = 1.0$ บริเวณส่วนบนเตา การเพิ่มค่า λ จะไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของการกระจายอุณหภูมิ



รูปที่ 4. การเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทคที่ขนาดเชื้อเพลิงแตกต่างกัน 0.84-1.00 มม. และ 1.19-1.41 มม. $\lambda = 0.2$

(a) $\Phi = 0.8$, (b) $\Phi = 1.0$, และ (c) $\Phi = 1.2$

แต่ที่บริเวณส่วนล่างของเตาการเพิ่มค่า λ จะมีผลให้การกระจายอุณหภูมิสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3b เมื่อปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าค่าทางทฤษฎีที่ $\Phi = 1.2$ พบว่าค่า λ จะไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของการกระจายอุณหภูมิภายในเตาดังรูปที่ 3c

4.3 อิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบ

ขนาดของเชื้อเพลิงแกลบเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือ ขนาดของเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันพื้นที่ในการกลุ่กละระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงก็จะแตกต่างกันตามขนาดของเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพในการเผาไหม้แตกต่างกัน ในการทดลองใช้ขนาดเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 0.84-1.00 มม. และ 1.19-1.41 มม. ที่ค่า $\Phi = 0.8, 1.0$ และ 1.2 อัตราส่วนระหว่างอากาศหุ่กลุ่ต่ออากาศทั้งหมด $\lambda = 0.2$ ดังแสดงในรูปที่ 4a, 4b และ รูปที่ 4c ตามลำดับ

สำหรับรูปที่ 4a ลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาของขนาดเชื้อเพลิงแกลบ 0.84-1.00 มม. ค่า $\Phi = 0.8$ มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งห้องเผาไหม้ และอุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางของห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิประมาณ 800°C และขนาดเชื้อเพลิงแกลบ 1.19-1.41 มม. การกระจายอุณหภูมิภายในเตาไม่สม่ำเสมอ โดยส่วนล่างของเตาจะมีอุณหภูมิค่าอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 900°C บริเวณใกล้กับท่อปล่อยไอเสีย รูปที่ 4b ค่า $\Phi = 1.0$ พบว่าที่ขนาดเชื้อเพลิงแกลบ 0.84-1.00 มม. การกระจายอุณหภูมิภายในเตามีความสม่ำเสมอที่อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1000°C แต่ที่ขนาดเชื้อเพลิงแกลบ 1.19-1.41 มม. การกระจายอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอสังเกตได้จากในส่วนล่างของเตามีอุณหภูมิค่า อุณหภูมิสูงสุดมีค่าประมาณใกล้เคียงกับขนาดเชื้อเพลิงแกลบ 0.84-1.00 มม. ค่า $\Phi = 1.2$ แสดงในรูปที่ 4c ลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาของขนาดเชื้อเพลิงแกลบทั้ง 2 ขนาดมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งเตา อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 900°C

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณอากาศที่ใช้เท่ากับปริมาณอากาศทางทฤษฎี ($\Phi = 1$) ผลของการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทคมีความสม่ำเสมอจึงทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงสุด ส่วนค่า λ จะไม่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิมากนักเมื่อ $\Phi \geq 1$ นอกจากนั้นยังพบว่าเมื่อใช้เชื้อเพลิงแกลบขนาด 0.84-1.00 มม. การกระจายอุณหภูมิภายในเตามีความ

สม่ำเสมอว่าการใช้เชื้อเพลิงแกลบขนาด 1.19-1.41 มม. และยังใช้ปริมาณอากาศน้อยกว่าอีกด้วย แต่ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายการลดขนาดเชื้อเพลิง

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ให้การสนับสนุน

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุพจน์ นำน้าโชค "การเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้แบบไซโคลนชนิดอากาศเข้าหลายช่องทาง" วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2539.
- [2] ธัชชัย ท้ววลิล และ สันติ วัชรอากาศ "เตาเผาวัสดุทางการเกษตรโดยใช้อากาศหมุนวน" วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2534.
- [3] เรือโท ประจักษ์ จิตรีพิทย์ "การศึกษารูปแบบการไหลและลักษณะการสันดาปของห้องเผาไหม้แบบไซโคลนที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิง" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2535
- [4] อติศักดิ์ ชูจินดา "เตาเผาแกลบสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไคซ์เบด" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.
- [5] บุญเรือง ศรีสวัสดิ์ "การปรับปรุงสมรรถนะเตาเผาแกลบ" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2541.
- [6] Sen Nieh and Tim T. Fu, "Development of a Non-Slagging Vortex Combustor (VC) for Space/Water Heating Applications" Proc. 5th International Coal Conf., 1988, pp. 761-768.

ประวัติผู้เขียน

นายสมศักดิ์ โพธิ์วิลเกียรติ์ เกิดเมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดนครปฐม สำเร็จ การศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการศึกษา 2541 และในปีการศึกษา 2542 ได้เข้ารับการศึกษาระดับปริญญาโททางวิศวกรรม ศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง