



เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบวอร์เทค
BIOMASS FIRED VORTEX COMBUSTOR



ป.พ.
ก 4567
2544

เลขทอม.....
เลขทะเบียน..... 46004
วัน, เดือน, ปี 27 ก.พ. 2546

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 256

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบวอร์เทก

BIOMASS FIRED VORTEX COMBUSTOR

คณะผู้จัดทำ

1. นาย กมลเทพ กิจเจริญเสรี รหัสประจำตัว 41014558
2. นาย กิตติ คิลกสัมพันธ์ รหัสประจำตัว 41014565
3. นาย ชนนัทธรร บุญผ่อง รหัสประจำตัว 41014590
4. นาย ชาตรี เกตุทอง รหัสประจำตัว 41014599



Mr. Dr.
(รศ.ดร. พงษ์เจตน์ พรหมวงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบวอร์เทค

นาย กมลเทพ	กิจเจริญเสรี	41014558
นาย กิตติ	ติลกสัมพันธ์	41014565
นาย ชนินทร์	บุญผ่อง	41014590
นาย ชาตรี	เกตุทอง	41014599
รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2544		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา และพัฒนาเตาเผาแบบวอร์เทค โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงทำการศึกษา โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงทำการศึกษาโดยการปรับขนาดความสูงของเตาเผาแบบวอร์เทคให้มีขนาดความสูงต่างกัน 3 ขนาดคือ 900, 1200 และ 1500 mm. ซึ่งในแต่ละขนาดความสูงจะมีระยะความสูงของท่อทิ้งคงที่เท่ากับ 780 mm. ทำการทดลองโดยป้อนแกลบเข้าสู่เตาเผาด้วยอัตราการไหลเชิงมวลคงที่เท่ากับ 0.3 kg/min ซึ่งที่อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศปฐมภูมิต่ออากาศทุติยภูมิ 3 ค่าคือ 100:0, 85:15 และ 75:25 และค่าอัตราส่วนสมมูล 3 ค่า คือ 0.8, 1.0 และ 1.2 สำหรับแต่ละขนาดความสูงของเตา จากการทดลองพบว่าขนาดความสูงของเตาเผาที่ 1200 mm. ที่อัตราส่วนระหว่างอัตราส่วนเชิงปริมาตรของอากาศปฐมภูมิต่ออากาศทุติยภูมิ เท่ากับ 75:25 และ ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0 พบว่าลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทคสม่ำเสมอทั่วทั้งเตาในแนวรัศมี และมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 850 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Biomass Fired Vortex Combustor

Kamolthep Kitcharoenseree

Kitti Diloksampan

Chanontorn Boonpong

Chatri Kedthong

Assoc. Prof. Dr. Pongjet Promvonge

Advisor

ABSTRACT

The project presents the study and development of a vortex combustor using rice husk as fuel. The experiments are made by varying the combustor height to be 900, 1200 and 1500 mm and the exhaust gas pipe is 780 mm. long for all the tests. The mass flow rate of rice husk is set to 0.3 kg/min and kept constant. The ratios of volumetric flow rates of the primary air to secondary air are set to be 75:25, 85:15 and 100:0. The equivalence ratio is adjusted to be 0.8, 1.0 and 1.2 for each the combustor length used. The experiments shows the best distribution in radial axis of temperature in combustor for the combustor length of 1200 mm. with the ratio of volumetric flow rates of 75:25 and the equivalence ratio of 1.0. The maximum temperature is found to be 850 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ด้วยการให้คำปรึกษาและความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตรฉบับนี้ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลืออย่างเต็มที่เสมอมา คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณ เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเหล่าคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ

ขอขอบคุณสำนักงานพลังงานแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนปริญญาบัตรฉบับนี้

ขอขอบคุณ พี่ๆ นักศึกษาปริญญาโท พี่ๆ นักศึกษาภาคต่อเนื่อง และเพื่อนๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ การเก็บผลในการทดลอง และ กำลังใจ จนข้าพเจ้าสำเร็จในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ลุงมณฑา เทียมเมืองที่ให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือต่างๆตลอดมา

ขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่งของข้าพเจ้า ซึ่งได้เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาได้อย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเสมอมาจนได้สำเร็จการทำปริญญาบัตรฉบับนี้ ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

คณะผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยในอดีต	3
บทที่ 3 ทฤษฎี	12
3.1 เตาเผาแบบวอร์เทค	12
3.2 เชื้อเพลิงและการเผาไหม้	12
3.3 ปฏิกริยาทางเคมี	12
3.3.1 การเผาไหม้แบบสตอยคิโอเมตริก	14
3.3.2 อากาศส่วนเกิน (Excess air)	14
3.4 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง	15
3.5 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง	15
3.5.1 แบบจำลอง Unreacted core	16
3.6 การวัดอัตราการไหล	17
บทที่ 4 การออกแบบและการคำนวณ	19
4.1 การออกแบบเตาเผา วอร์เทค	19
4.2 การคำนวณอากาศที่ต้องการใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี	20
บทที่ 5 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	24
5.1 การเตรียมอุปกรณ์ในการทดลอง	24
5.1.1 เตาวอร์เทค	24
5.1.2 ชุดป้อนอากาศที่ primary และ secondary	24
5.1.3 ชุดป้อนเชื้อเพลิงกลบ	26

เอกสารนี้เป็นสมบัติของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านใด ๆ
 5.1.4 ชุดอุณหมาตรวัดอุณหภูมิ
 27

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

5.1.5	อุปกรณ์วัดและเก็บผลการทดลอง	28
5.2	การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง	29
5.3	การอุ่นเตาก่อนการทดลอง	29
5.4	วิธีการทดลอง	30
บทที่ 6	ผลการทดลอง	32
6.1	การทดลองที่เตาขนาดความสูง 900 mm.	32
6.1.1	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่า Equivalence ratio เท่ากับ 0.8	33
6.1.2	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่า Equivalence ratio เท่ากับ 1.0	36
6.1.3	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่า Equivalence ratio เท่ากับ 1.2	39
6.2	การทดลองที่เตาขนาดความสูง 1200 mm.	42
6.2.1	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่า Equivalence ratio เท่ากับ 0.8	43
6.2.2	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่า Equivalence ratio เท่ากับ 1.0	47
6.2.3	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่า Equivalence ratio เท่ากับ 1.2	51
6.3	การทดลองที่เตาขนาด 1500 mm.	55
6.3.1	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่า Equivalence ratio เท่ากับ 0.8	56
6.3.1	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่า Equivalence ratio เท่ากับ 1.0	61
6.3.3	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่า Equivalence ratio เท่ากับ 1.2	66
บทที่ 7	สรุปและข้อเสนอแนะ	71
7.1	สรุป	71
7.2	ข้อเสนอแนะ	72
ภาคผนวก		
	ภาคผนวก ก	73
	ภาคผนวก ข	118
	ภาคผนวก ค	121
บรรณานุกรม		124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 1.1	แสดงข้อมูลผลผลิตข้าวจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์	1
ตารางที่ 2.1	แสดงผลการทดสอบเตาของ นาย รัชชัย ท้วถวิล และ นาย สันติ วัชรธาดาไพบูลย์	3
ตารางที่ 2.2	ขนาดห้องเผาไหม้ที่ใช้ในงานวิจัยของนาย สุพจน์ น่านาโชค	4
ตารางที่ 4.1	องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบสมดุลการเผาไหม้ทางเคมีของแกลบ	20
ตารางที่ 4.2	แสดงปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลอง	21
ตารางที่ 4.3	แสดงอัตราการไหลและความสูงของระดับน้ำในमानอมิเตอร์ของอากาศปฐมภูมิ	23
ตารางที่ 4.4	แสดงอัตราการไหลและความสูงของระดับน้ำในमानอมิเตอร์ของอากาศทุติยภูมิ	23
ตารางที่ ก-1	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi = 0.8$ ที่ $\lambda = 75:25$	73
ตารางที่ ก-2	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi = 0.8$ ที่ $\lambda = 85:15$	74
ตารางที่ ก-3	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi = 0.8$ ที่ $\lambda = 100:0$	75
ตารางที่ ก-4	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi = 1.0$ ที่ $\lambda = 75:25$	76
ตารางที่ ก-5	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi = 1.0$ ที่ $\lambda = 85:15$	77
ตารางที่ ก-6	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi = 1.0$ ที่ $\lambda = 100:0$	78
ตารางที่ ก-7	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi = 1.2$ ที่ $\lambda = 75:25$	79
ตารางที่ ก-8	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi = 1.2$ ที่ $\lambda = 85:15$	80
ตารางที่ ก-9	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi = 1.2$ ที่ $\lambda = 100:0$	81
ตารางที่ ก-10	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi = 0.8$ ที่ $\lambda = 75:25$	82
ตารางที่ ก-11	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi = 0.8$ ที่ $\lambda = 85:15$	84
ตารางที่ ก-12	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi = 0.8$ ที่ $\lambda = 100:0$	86
ตารางที่ ก-13	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi = 1.0$ ที่ $\lambda = 75:25$	88
ตารางที่ ก-14	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi = 1.0$ ที่ $\lambda = 85:15$	90
ตารางที่ ก-15	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi = 1.0$ ที่ $\lambda = 100:0$	92
ตารางที่ ก-16	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi = 1.2$ ที่ $\lambda = 75:25$	94
ตารางที่ ก-17	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi = 1.2$ ที่ $\lambda = 85:15$	96
ตารางที่ ก-18	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi = 1.2$ ที่ $\lambda = 100:0$	98
ตารางที่ ก-19	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi = 0.8$ ที่ $\lambda = 75:25$	100
ตารางที่ ก-20	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi = 0.8$ ที่ $\lambda = 85:15$	102
ตารางที่ ก-21	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi = 0.8$ ที่ $\lambda = 100:0$	104
ตารางที่ ก-22	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi = 1.0$ ที่ $\lambda = 75:25$	106
ตารางที่ ก-23	แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi = 1.0$ ที่ $\lambda = 85:15$	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารวิจัยที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้าที่

ตารางที่ ก-24 แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi = 1.0$ ที่ $\lambda = 100:0$	110
ตารางที่ ก-25 แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi = 1.2$ ที่ $\lambda = 75:25$	112
ตารางที่ ก-26 แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi = 1.2$ ที่ $\lambda = 85:15$	114
ตารางที่ ก-27 แสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi = 1.2$ ที่ $\lambda = 100:0$	116
ตารางที่ ค-1 คุณสมบัติของแกลบ	121
ตารางที่ ค-2 การเปรียบเทียบเชื้อเพลิง	122
ตารางที่ ค-3 ปริมาณชีวมวลในปี 2540 และ 2544	123
ตารางที่ ค-4 ปริมาณการใช้ชีวมวลโดยเฉลี่ยต่อโรง	123



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้าที่

รูปที่ 2.1	แสดงห้องเผาไหม้ของนาย สุพจน์ นานาโชค	4
รูปที่ 2.2	แสดงอุปกรณ์การเผาไหม้ของชนิด สวีตตี้เสรี และ คณะ	5
รูปที่ 2.3	แสดงอุปกรณ์การทดลองของ สราวุธ เฟื่องฟู และ คณะ	6
รูปที่ 2.4	แสดงอุปกรณ์การทดลองของนิวัติ พิริยะรุ่งโรจน์	8
รูปที่ 2.5	แสดง Bench scale VC cold flow testของ Jian Zhang and Sen Nieh	9
รูปที่ 2.6	(a) แสดงความเร็วในแนวแกน และแนวสัมผัส (b) แสดงเส้น steam line	9
รูปที่ 2.7	(a) แสดงความเร็วในแนวแกนและ ความเร็วสัมผัส (b) แสดงเส้น steam line	10
รูปที่ 3.1	สารทำปฏิกิริยาและสารจากการเผาไหม้	13
รูปที่ 3.2	แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง	16
รูปที่ 3.3	บริเวณการเกิดการเผาไหม้	16
รูปที่ 3.4	ลักษณะชั้นเชื้อเพลิงระหว่างการเผาไหม้	16
รูปที่ 3.5	แสดงการไหลผ่านแผ่นออริฟิซ	17
รูปที่ 4.1	แสดงลักษณะของเตาเผาแบบวอร์เทค	19
รูปที่ 5.1	แสดงภาพด้านบนและด้านหน้าของเตาเผาแบบวอร์เทคแต่ละชั้น	24
รูปที่ 5.2	แสดง Blower และ Motor	25
รูปที่ 5.3	แสดง DC Supply	25
รูปที่ 5.4	แสดง Orifice plate	25
รูปที่ 5.5	แสดง Manometer	26
รูปที่ 5.6	แสดง ชุดแยกอากาศที่ secondary	26
รูปที่ 5.7	แสดง ชุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส	27
รูปที่ 5.8	แสดง Motor และ ชุดสายพาน	27
รูปที่ 5.9	แสดงถังแก๊ส	27
รูปที่ 5.10	แสดง หัวเผา	28
รูปที่ 5.11	แสดง Thermometer และ Multichannel	28
รูปที่ 5.12	แสดง Thermocouple	28
รูปที่ 5.13	แสดงระบบบออากาศภายในเตา	29
รูปที่ 5.14	แสดงอุปกรณ์การทดลองของเตาเผาแบบวอร์เทค	30
รูปที่ 5.15	แสดงขนาดความสูงของเตาเผาแบบวอร์เทคที่ใช้ในการทดลอง	30
รูปที่ 5.16	แสดงตำแหน่งการบันทึกอุณหภูมิภายในเตา	31
รูปที่ 6.1	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 75 mm.	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 6.2	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 225 mm.	33
รูปที่ 6.3	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 375 mm.	34
รูปที่ 6.4	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 525 mm.	34
รูปที่ 6.5	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 675 mm.	35
รูปที่ 6.6	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 825 mm.	35
รูปที่ 6.7	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 75 mm.	36
รูปที่ 6.8	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 225 mm.	36
รูปที่ 6.9	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 375 mm.	37
รูปที่ 6.10	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 525 mm.	37
รูปที่ 6.11	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 675 mm.	38
รูปที่ 6.12	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 825 mm.	38
รูปที่ 6.13	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 75 mm.	39
รูปที่ 6.14	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 225 mm.	39
รูปที่ 6.15	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 375 mm.	40
รูปที่ 6.16	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 525 mm.	40
รูปที่ 6.17	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 675 mm.	41
รูปที่ 6.18	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 825 mm.	41
รูปที่ 6.19	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 75 mm.	43
รูปที่ 6.20	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 225 mm.	43
รูปที่ 6.21	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 375 mm.	44
รูปที่ 6.22	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 525 mm.	44
รูปที่ 6.23	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 675 mm.	45
รูปที่ 6.24	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 825 mm.	45
รูปที่ 6.25	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 975 mm.	46
รูปที่ 6.26	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 1125 mm.	46
รูปที่ 6.27	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 75 mm.	47
รูปที่ 6.28	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 225 mm.	47
รูปที่ 6.29	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 375 mm.	48
รูปที่ 6.30	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 525 mm.	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 6.31	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 675 mm.	49
รูปที่ 6.32	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 825 mm.	49
รูปที่ 6.33	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 975 mm.	50
รูปที่ 6.34	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 1125 mm.	50
รูปที่ 6.35	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 75 mm.	51
รูปที่ 6.36	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 225 mm.	51
รูปที่ 6.37	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 375 mm.	52
รูปที่ 6.38	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 525 mm.	52
รูปที่ 6.39	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 675 mm.	53
รูปที่ 6.40	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 825 mm.	53
รูปที่ 6.41	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 975 mm.	54
รูปที่ 6.42	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 1125 mm.	54
รูปที่ 6.43	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 75 mm.	56
รูปที่ 6.44	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 225 mm.	56
รูปที่ 6.45	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 375 mm.	57
รูปที่ 6.46	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 525 mm.	57
รูปที่ 6.47	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 675 mm.	58
รูปที่ 6.48	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 825 mm.	58
รูปที่ 6.49	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 975 mm.	59
รูปที่ 6.50	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 1125 mm.	59
รูปที่ 6.51	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 1275 mm.	60
รูปที่ 6.52	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 1425 mm.	60
รูปที่ 6.53	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 75 mm.	61
รูปที่ 6.54	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 225 mm.	61
รูปที่ 6.55	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 375 mm.	62
รูปที่ 6.56	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 525 mm.	62
รูปที่ 6.57	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 675 mm.	63
รูปที่ 6.58	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 825 mm.	63
รูปที่ 6.59	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 975 mm.	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 6.60	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 1125 mm.	64
รูปที่ 6.61	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 1275 mm.	65
รูปที่ 6.62	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 1425 mm	65
รูปที่ 6.63	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 75 mm.	66
รูปที่ 6.64	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 225 mm.	66
รูปที่ 6.65	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 375 mm.	67
รูปที่ 6.66	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 525 mm.	67
รูปที่ 6.67	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 675 mm.	68
รูปที่ 6.68	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 825 mm.	68
รูปที่ 6.69	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 975 mm.	69
รูปที่ 6.70	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 1125 mm.	69
รูปที่ 6.71	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 1275 mm.	70
รูปที่ 6.72	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm. $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 1425 mm	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

โลกในยุคปัจจุบันที่อุตสาหกรรมได้พัฒนาและขยายตัวไปอย่างรวดเร็ว ยิ่งอุตสาหกรรมเจริญเติบโตมากขึ้นเท่าไร ย่อมมีการใช้พลังงานในปริมาณมากขึ้น ซึ่งพลังงานเหล่านี้ส่วนใหญ่แล้วได้มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งเชื้อเพลิงเหล่านี้วันจะหมดลงไปเรื่อยๆ แต่ในทางกลับกันความต้องการพลังงานของอุตสาหกรรมที่กำลังเจริญเติบโตกลับมีมากยิ่งขึ้นเพราะนั่นเราจึงเห็นว่าประเทศอุตสาหกรรมหลายประเทศเริ่มตระหนักเห็นถึงปัญหานี้ โดยพยายามใช้เชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างคุ้มค่า และ พยายามหาแหล่งพลังงานจากเชื้อเพลิงชนิดใหม่เข้ามาทดแทน

ประเทศไทยเป็นอีกประเทศหนึ่งที่กำลังก้าวเข้ามาสู่การเป็นประเทศอุตสาหกรรมแต่ส่วนใหญ่แล้วผลผลิตหลักของประเทศยังอยู่ในภาคเกษตรกรรม เห็นได้จาก ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตข้าวส่งออกเป็นรายใหญ่ในตลาดโลก เมื่อมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตและนำข้าวไปสี ปริมาณแกลบที่ได้มานั้นนับว่ามีปริมาณที่มากเห็นได้จาก เมื่อสีข้าว 1 ตัน จะได้แกลบออกมาประมาณ 260 กิโลกรัม ปริมาณแกลบที่เหลือนี้สามารถนำมาเผาไหม้เพื่อเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานนำมาทดแทนแหล่งเชื้อเพลิงเก่าๆ ได้เป็นอย่างดี โดยที่ค่าความร้อนของแกลบ (overall gross calorific value rice husk) ประมาณ 2900-4560 kcal/kg เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับน้ำมันเตาซึ่งมีค่าความร้อนประมาณ 9900 kcal/kg แล้วมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งแต่แกลบมีราคาถูกกว่าน้ำมันเตามาก

ตารางที่ 1.1 แสดงข้อมูลผลผลิตข้าวจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [1]

ปี	ผลิตข้าวภายในประเทศ		ผลผลิตข้าวของโลก	
	ข้าว(ล้านตัน)	แกลบ(ล้านตัน)	ข้าว(ล้านตัน)	แกลบ(ล้านตัน)
2539	22.016	5.750	568.098	148.387
2540	22.332	2.833	575.563	150.337
2541	23.580	6.159	564.011	147.319
2542	24.676	6.445	-	-

จากข้อมูลที่แสดงใน ตารางที่ 1.1 เห็นได้ว่าในแต่ละปีมีแกลบเหลือจากการสีข้าวในปริมาณที่มากสามารถนำมาทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงต่างๆ ที่กำลังจะหมดไปได้เป็นอย่างดี และ ปัจจุบันประเทศไทยต้องนำเข้าเชื้อเพลิงมาจากต่างประเทศ ซึ่งทำให้สูญเสียเงินตราต่างประเทศ และ ทำให้ขาดดุลการค้ากับต่างประเทศมากขึ้นด้วย ดังนั้นถ้าเราหันมาใช้เชื้อเพลิงที่มีอยู่ภายในประเทศและสามารถหาได้ง่ายอย่างเช่นแกลบแล้วไม่เพียงช่วยเศรษฐกิจของประเทศแต่เป็นการใช้ทรัพยากรภายในประเทศให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่าที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดความสูงของห้องเผาไหม้ส่วนบนที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีการเผาไหม้
2. ออกแบบและสร้างเตาเผาแบบวอร์เทค
3. ในการทดลองใช้เกลบเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้โดยกำหนดอัตราการป้อนเท่ากับ 0.3 kg/min
4. ในการวัดอุณหภูมิใช้ Thermocouple Type k วัดอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค
5. ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเตาเผาแบบวอร์เทคเท่ากับ 300 mm. ที่ความสูง 900, 1200, และ 1500 mm.
6. กำหนดอัตราส่วนระหว่างอากาศทางทฤษฎีต่ออากาศทางการทดลองที่ค่า Equivalence ratio 0.8, 1.0 และ 1.2
7. กำหนดอัตราส่วนของอากาศปฐมภูมิต่ออากาศทุติยภูมิเท่ากับ 100:0, 85:15, 75:25

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. พัฒนาเตาเผาให้มีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีกว่าเดิมและสามารถนำไปใช้งานได้จริง
2. นำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์
3. เป็นแหล่งพลังงานทดแทนแหล่งใหม่
4. สามารถนำความร้อนที่ได้นำไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยในอดีต

นาย ชัชชัย ท้วถวิล และ นาย สันติ วัชรอากาศไพบูลย์[2] ได้ทำการทดลองเรื่องเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรโดยใช้อากาศหมุนวน 2 ซึ่งทำการศึกษากออกเป็น 2 ส่วน คือ อัตราส่วนของมวลอากาศต่อมวลเชื้อเพลิงที่มีผลต่อปริมาณความร้อนและอุณหภูมิของแก๊สร้อนที่ได้รับ และอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศผ่านพัดลมดูดต่ออุณหภูมิของแก๊สร้อนที่อัตราส่วนมวลอากาศต่อมวลเชื้อเพลิงคงที่ค่าหนึ่ง

การทดลองเพื่อหาอัตราส่วนมวลอากาศต่อมวลต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสม ทำการทดลองที่มุมอากาศ 30 องศา ช่องเปิดอากาศปฐมภูมิและท่ออากาศทุติยภูมิเป็น 60% และ 30% ของพื้นที่ท่อตามลำดับพัดลมดูดทำงานที่มุมแอมเปอร์เปิด 100% สามารถแสดงผลดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงผลการทดสอบเตาของ นาย ชัชชัย ท้วถวิล และ นาย สันติ วัชรอากาศไพบูลย์[2]

A/F ratio	อุณหภูมิของเตา	% แก๊สไอเสียโดยปริมาตร		ปริมาณความร้อนที่ได้รับ(kw)	ประสิทธิภาพของเตา(%)
	โดยเฉลี่ย ณ.ตำแหน่งที่ 4 (° C)	CO ₂	O ₂		
5:1	588	3.54	13.64	10.48	18.42
6:1	595	5.05	13.13	12.73	22.39
7:1	513	5.05	14.14	12.67	22.28
8:1	495	4.28	14.26	13.93	24.50
9:1	463	5.05	16.16	14.58	25.64

-A/F ratio 6:1 จะได้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงที่สุดคือ 595 ° C และปริมาณความร้อนที่ได้รับมีค่าพอสมควร คือ 12.73 kw

-A/F ratio 9:1 0จะได้ปริมาณความร้อนมากที่สุดคือ 14.58 kw และประสิทธิภาพสูงสุด คือ 25.64% การทดสอบเพื่อศึกษาผลของพัดลมดูดต่ออุณหภูมิที่ได้จากการเผาไหม้ พบว่า การใช้พัดลมดูดไม่มีผลกับเตาเมื่อพิจารณาจากอุณหภูมิของแก๊สร้อนและปริมาณความร้อนที่ได้รับเป็นหลัก

นาย สุพจน์ นำน้าโชค[3] ได้ทำการทดลองเรื่องการเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้แบบไซโคลนชนิดอากาศเข้าหลายทิศทาง ซึ่งศึกษาถึงผลกระทบของอากาศส่วนที่สองที่มีผลต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้แบบไซโคลน โดยทำการทดลองด้วยห้องเผาไหม้ 2 ชุด คือห้องเผาไหม้จำลองและห้องเผาไหม้จริงซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 2.2 ขนาดห้องเผาไหม้ที่ใช้ในงานวิจัยของนาย สุพจน์ นำน้าโชค[3]

ขนาด(มิลลิเมตร)	ห้องเผาไหม้จำลอง	ห้องเผาไหม้จริง
D_o	164	155
D_c	84	80
$D1$	28	28
$D2$	28	28
$D3$	17	14
L	388	310
S^*	6.42	6.33
วัสดุ	พลาสติคใส	เหล็ก

รูปที่ 2.1 แสดงห้องเผาไหม้ของนาย สุพจน์ นำน้าโชค[3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ห้องเผาไหม้จำลองทำจากพลาสติก เพื่อดูลักษณะการไหล พบว่าเมื่อเพิ่มอากาศส่วนที่สอง โดยอัตราไหลอากาศรวมคงที่ พบว่าขนาดเกลียวของอนุภาคมีขนาดระยะพิทสั้นลง เป็นผลให้อนุภาคซีเล็กลงในเตาได้นานขึ้น เวลาในการเผาไหม้จึงนานขึ้น

-ห้องเผาไหม้จริง ทำการทดลองที่อากาศส่วนที่สองเป็น 5%,10%,15% และ Φ ratio ที่ 1,1.2,1.5 พบว่าที่ปริมาณอากาศส่วนที่สอง 15% และค่า Φ ratio 1.5 จะเกิดการสันดาปกว้างที่สุดเกือบครอบคลุมห้องเผาไหม้ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำสุด คือ 885-2120 ppm

จึงพบว่าปริมาณอากาศส่วนที่สองมีผลต่อการเผาไหม้ โดยช่วยให้อนุภาคซีเล็กลงในเตาได้นานขึ้น เวลาในการเผาไหม้จึงนานขึ้นด้วย

3. ธนิต สวัสดิ์เสรี และ คณะ[4] ทำการศึกษาเรื่อง “Prototype of cyclonic rice husk furnace” ซึ่งการศึกษาที่เพื่อออกแบบ สร้าง และ ทดลอง เตาเผาแกลบแบบฟลูอิดไดซ์เบดสำหรับเครื่องอบแห้งขนาด 10 tons/h เตาเผาเป็นรูปทรงกระบอกขนาด 1.37 เมตร สูงขนาด 2.75 เมตร อัตราการป้อนแกลบที่ 110-136 kg/h ที่ความสูงของซีเล็บบนตะแกรงขณะเผาไหม้ 30, 40, 50 และ 60 เซนติเมตร อากาศส่วนเกิน 265-350 % แบ่งอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เป็น 3 ส่วนคือ Primary, Secondary, Tertiary ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ดังนี้



- | | | |
|---|----------------------|-------------------|
| 1 combustion chamber | 5 primary air duct | 9 exit air duct |
| 2 rice husk hopper | 6 secondary air duct | 10 suction blower |
| 3 conveying fan of rice husk feeding system | 7 tertiary air duct | 11 screw conveyor |
| 4 conveying fan of air feeding system | 8 butterfly valve | |

รูปที่ 2.2 แสดงอุปกรณ์การเผาไหม้ของ ธนิต สวัสดิ์เสรี และ คณะ[4]

1. อากาศส่วนเกินที่ใช้ในการเผาไหม้มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเตา เมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินมากขึ้นจาก 260% ถึง 350% ประสิทธิภาพของเตาเพิ่มขึ้นจาก 57% ถึง 73%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Air distribution ใน Tertiary duct ไม่มีผลกระทบที่แน่ชัดต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอน และ ประสิทธิภาพของเตา
3. ความสูงของขี้เถ้าไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเตา
4. ปริมาณการไหลอากาศ มีผลกระทบต่อ carbon conversion efficiency ถ้าปริมาณการไหลอากาศสูง แกลบที่เผาไหม้ก็ออกจากเตาเร็ว เป็นผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และปริมาณคาร์บอนในขี้เถ้าสูง
5. ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของเตาคือ 73% จากปริมาณอากาศส่วนเกินคือ 350%

4. **สรารูช เฟื่องฟู และ คณะ[5]** ทำการศึกษาอิทธิพลของความชื้น และขนาดของแกลบต่อการเผาไหม้ของเตาออร์เทค โดยลักษณะของเตาจะเป็นทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 เมตร สูง 0.755 เมตร แกลบที่ใช้มี 2 ขนาดคือ แกลบขนาด 1.19-1.41 มิลลิเมตร และแกลบขนาด 0.54-1.0 เมตร ค่าความชื้น 3 ค่า คือ 9.2%, 12% และ 15% อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min อัตราการไหลของอากาศที่ 0.812828-1.22741 m³/min ได้อากาศส่วนที่ 2 ที่ 20%, 30% และ 40% พบว่า



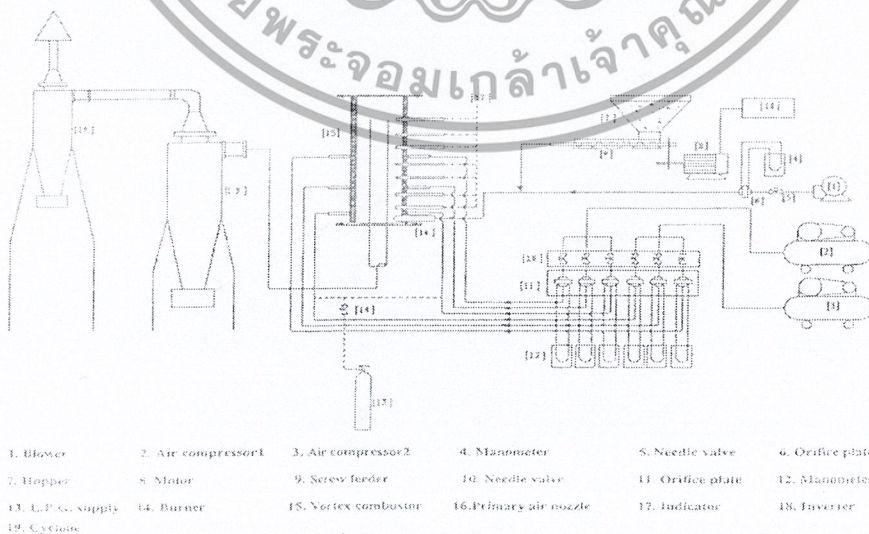
รูปที่ 2.3 แสดงอุปกรณ์การทดลองของ สรารูช เฟื่องฟู และ คณะ[5]

- แกลบที่มีความชื้นน้อย 9.2% เมื่อทำการเผาไหม้จะได้อุณหภูมิสูงที่สุด ปริมาณควันที่ออกมามีน้อย ลักษณะเป็นสีขาว ขี้เถ้าสีดำปนเทา ส่วนแกลบที่มีความชื้นที่ 12%, 15% เมื่อทำการเผาไหม้จะได้อุณหภูมิในการเผาไหม้ที่ต่ำกว่าแกลบความชื้น 9.2% เนื่องจากต้องสูญเสียความร้อนในการไล่ความชื้นภายในของแกลบ จึงทำให้ควันมีสีดำปริมาณมาก ขี้เถ้ามีสีดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แกลบที่มีขนาด 0.84-1.0 มิลลิเมตร จะมีการเผาไหม้ที่ต่ำกว่าแกลบขนาด 1.13-1.41 มิลลิเมตร เนื่องจากแกลบขนาด 0.84-1.0 มิลลิเมตร มีการคลุกเคล้าระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงดีกว่าขนาด 1.13-1.41 มิลลิเมตร
- ในการทดลองปรับปริมาณอากาศพบว่าที่ $\lambda = 0.8$ (ส่วนผสมหนา) พบการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ อุณหภูมิที่ได้ต่ำกว่า, ส่วน $\lambda = 0.3-1.0$ เผาไหม้สมบูรณ์, $\lambda = 1.1, 1.2$ พบอุณหภูมิภายในเตาดำ
- การปรับอากาศส่วนที่ 2 ที่ 20% ของอากาศทั้งหมดเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ได้อุณหภูมิต่ำกว่า 30% และ 40% เพราะเกิดการคลุกเคล้าระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงได้น้อย
- การปรับตำแหน่งของ Thermocouple พบว่าระยะที่ใกล้ผนังเตามีความร้อนต่ำและจะเพิ่มขึ้นถึงกึ่งกลางของเตาซึ่งอยู่ในระยะที่ 3 ($r_s = 7.5$ เซนติเมตร) ส่วนที่ใกล้กับท่อทิ้งเถ้าลอยหรือระยะที่ 5 ($r_s = 5.5$ เซนติเมตร) จะมีอุณหภูมิลดลงแต่ไม่มากนัก เพราะมีการสูญเสียความร้อน ในท่อทิ้ง ส่วนระดับความสูงของ Thermocouple พบว่าที่ T1 อุณหภูมิต่ำ เพราะเป็นช่วงแรกของการเผาไหม้ T2-T7 เป็นช่วงของการเผาไหม้ จึงให้อุณหภูมิสูง T3-T6 เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด เพราะเป็นช่วงในการคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ โดยมี secondary air เป็นตัวช่วย T8 เป็นอุณหภูมิของท่อทิ้งเถ้าลอย ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำไม่สูงมากนัก

5. นวัตกรรมปิยะรุ่งโรจน์[6] ทำการศึกษาเชิงทดลองของเตาเผาแบบจอร์เทค โดยศึกษาถึงการออกแบบสร้างและทดสอบ หาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาแบบจอร์เทค การทดลองทำโดยกำหนดอัตราไหลเชิงมวลของแกลบละเอียด 0.2 kg/min ปรับค่าอัตราส่วนสมมูล (Φ) เท่ากับ 0.7, 0.8, 1.0 และ 1.2 ปรับค่าอัตราส่วนของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศต่อนิวตริตต่ออัตราการไหลของอากาศทั้งหมด (λ) เท่ากับ 0, 0.2 และ 0.4 ทำการทดลองกับเตาที่มีความสูงเท่ากับ 950 มิลลิเมตร ลักษณะทรงกระบอกประกอบด้วยท่อเหล็ก 2 ชั้น โดยท่อเหล็กชั้นแรกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 280 มิลลิเมตร ท่อเหล็กชั้นที่สองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ระหว่างท่อเหล็ก หล่อปูนทนไฟเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกเตา ท่อทิ้งทำจากสเตนเลสมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 80 เซนติเมตร สูง 755 มิลลิเมตร ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 2.4 แสดงอุปกรณ์การทดลองของนวัตกรรมปิยะรุ่งโรจน์[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ขั้นตอนการออกแบบ การคิดเตาเผาออร์เทคได้ง่ายสามารถเผาได้ต่อเนื่องมีอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูง โดยไม่ใช่เชื้อเพลิงอื่นในการอุ่นเตา เกิดการเผาไหม้กลับได้อย่างหมดจด เนื่องจากท่อทิ้งเถ้าลอยอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของตัวเตา ซึ่งทำให้เชื้อเพลิงกลับขนาดใหญ่ไม่สามารถหลุดออกมาจากท่อทิ้งเถ้าลอยได้จนกว่าจะถูกเผาไหม้จนหมด ทำให้เฉพาะเถ้าเล็กที่สามารถหลุดออกมาได้

2. ขั้นตอนการทดลอง ผลการทดลองศึกษา ถึงปริมาณแก๊สไอเสีย อัตราส่วนสมมูลและอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศหุ้ญมิต่ออัตราไหลของอากาศทั้งหมดที่มีความเหมาะสมต่อกระบวนการเผาไหม้

การศึกษาถึง Φ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ เมื่อ $\lambda = 0$ พบว่า ที่ $\Phi = 1.0$ เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงกว่า $\Phi = 0.7, 0.8$ และ 1.2 เกิดอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 926 องศาเซลเซียส เมื่อ $\Phi = 0.8$ ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยมีค่าต่ำสุด 113.5 ppm

$\lambda = 0.2$ พบว่า ที่ $\Phi = 1.0$ พบว่าเกิดการกระจายตัวสูงกว่า กรณี $\Phi = 0.7, 0.8, 1.2$ เกิดการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 1,012 องศาเซลเซียส และทำให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 134.25 ppm

$\lambda = 0.4$ พบว่า ที่ $\Phi = 1.0$ เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงกว่า กรณี $\Phi = 0.7, 0.8, 1.2$ เกิดการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 1,135 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำสุดเท่ากับ 130.25 ppm

จากผลการทดลอง พบอัตราส่วนสมมูลที่มีความเหมาะสมต่อการเผาไหม้ของเตาเผาแบบวอร์เทค เมื่อ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$ คือ $\Phi = 1.0$ ซึ่งทำให้เกิดการกระจายอุณหภูมิที่สูง และได้ปริมาณแก๊สไอเสียต่ำ

การศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ เมื่อ $\Phi = 0.7$ พบว่าที่ $\lambda = 0.4$ ทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงกว่ากรณี $\lambda = 0, 0.2$ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูงสุด มีค่า 400 ppm

เมื่อ $\Phi = 0.8$ พบว่าที่ $\lambda = 0.4$ เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงกว่า $\lambda = 0, 0.2$ และทำให้เกิดการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 1,086 องศาเซลเซียส และ เมื่อ $\lambda = 0$ ทำให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เหลือมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 113.5 ppm

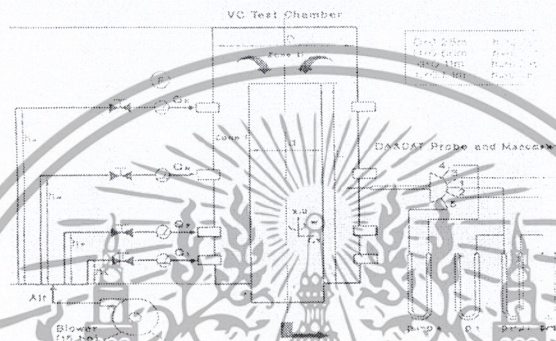
เมื่อ $\Phi = 1.0$ พบว่าที่ $\lambda = 0.4$ เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงกว่า $\lambda = 0, 0.2$ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 1,135 องศาเซลเซียส และทำให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เหลือมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 130.25 ppm

เมื่อ $\Phi = 1.2$ พบว่าที่ $\lambda = 0.4$ เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงกว่า $\lambda = 0, 0.2$ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 1,064 องศาเซลเซียส และทำให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เหลือมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 348.75 ppm

จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศหุ้ญมิต่ออัตราการไหลของอากาศทั้งหมด ที่มีความเหมาะสมต่อการเผาไหม้ เมื่อ $\Phi = 0.7, 0.8, 1.0$ และ 1.2 คือ $\lambda = 0.4$ ประการแรก จะช่วยทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผามากขึ้น เกลบไม่จับตัวเป็นก้อน เกิดการผสมหรือสัมผัสกันอย่างทั่วถึง ระหว่างเชื้อเพลิงกลับกับอากาศ และ ประการสอง การเคลื่อนที่แบบหมุนวนภายในเตาเผาช่วยทำให้กลับเพิ่มเวลาของการเผาไหม้ภายในเตาอีกด้วย ซึ่งจากการทดลองทั้งหมดพบว่าที่ $\Phi = 1.0$ และ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\lambda = 0.4$ ทำให้อุณหภูมิสูงสุดจากการเผาไหม้เท่ากับ 1,135 องศาเซลเซียส คิวมีปริมาณน้อย มีการเผาไหม้ที่ต่อเนื่อง ขี้เถ้าที่ออกมามีสีดำปนเทา ส่วนการวิเคราะห์ไอเสียพบว่า O_2 เหลือเท่ากับ 4.41% CO_2 เท่ากับ 15.34% มีปริมาณ CO เหลือต่ำ 130.25 ppm มีปริมาณ NO_x เหลือ 764.00 ppm

6. Jian Zhang and Sen Nieh [7] ศึกษาการจำลองทางระเบียบวิธีการเชิงตัวเลขซึ่งเป็นผลกระทบของท่อแกนกลาง และ อากาศเข้าหลายช่องทาง ในเตาเผาแบบวอร์เทค โดยเปรียบเทียบค่าจากการทดลองจริงกับเตาเผาแบบวอร์เทค ขนาด I.D. 25 เซนติเมตร และ สูง 66 เซนติเมตร ท่อแกนกลาง I.D. 11 เซนติเมตร และ O.D. 13 เซนติเมตร ทำการขยับความสูงของท่อแกนกลาง 3 ค่า คือ 5, 30 และ 45 เซนติเมตร วัดจากด้านล่าง

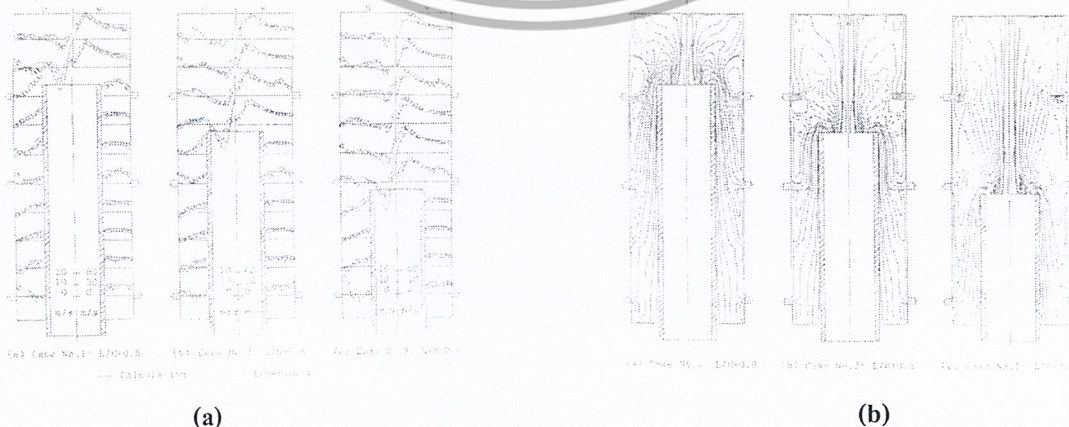


รูปที่ 2.5 แสดง Bench scale VC cold flow test ของ Jian Zhang and Sen Nieh [7]

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ผลกระทบของท่อแกนกลาง และ ผลกระทบของอากาศเข้าหลายช่องทาง

6.1 ผลกระทบของท่อแกนกลาง

-ท่อแกนกลางแบ่งการไหลภายในเตาออกเป็น 2 ช่วง คือ พื้นที่ด้านข้างของท่อแกนกลาง (ZONE 1) และพื้นที่ด้านบนของท่อแกนกลาง (ZONE 2) ซึ่งการไหลของ 2 ส่วนมีค่าต่างกัน ZONE 1 ความเร็วตามแนวแกนสัมผัสของแก๊สค่อนข้างมีรูปแบบ ZONE 2 เป็นการรวมกระหว่าง forced-free (Rankine) vortex มีการไหลวนที่อ่อนๆ เพราะไม่มีการถูกล็อกโดยท่อแกนกลาง



รูปที่ 2.6 (a) แสดงความเร็วในแนวแกน และแนวสัมผัส (b) แสดงเส้น steam line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-การเปลี่ยนแปลงของความสูงของท่อแกนกลาง ส่งผลกระทบต่อไหลโดยจะทำให้เกิด short-circulating ของการไหล ซึ่งจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดความสูงของท่อแกนกลาง ซึ่งจะทำให้ส่วนที่ยังไม่เผาไหม้หลุดออกไปก่อน จากรูปที่ 2.6(b) จะเห็นได้ว่าความสูงของท่อแกนกลางมีความสูงกว่าท่ออากาศเข้า เพราะ แก๊สจาก ZONE 1 จะออกตรงสู่ท่อแกนกลางได้รวดเร็ว และความสูงของท่อแกนกลางช่วยให้มีความแข็งแรงของการไหลแบบปั่นป่วนมากขึ้นใน ZONE 2

-ผลกระทบต่อแกนกลางต่อ Pressure drop มีผลกระทบเล็กน้อยในช่วง $L/H = 0.4-0.8$ แต่จะมีผลมากขึ้นเมื่อ เข้าใกล้ $L/H = 0.4$

-ผลกระทบต่อแกนกลางต่อการกระจายของ Turbulence kinetic energy (tke) ที่ $r/R = 0.8$ จะพบค่าจุดที่ใกล้กับช่องอากาศเข้า $x/H = 0.73$ จะเกิดผลต่างของ tke สำหรับ $L/H = 0.4, 0.6$ ดังนั้นความสูงของท่อแกนกลางควรมีความสูงกว่าท่ออากาศเข้าเพื่อความแข็งแรงของการไหลแบบปั่นป่วนที่ ZONE 2

6.2 ผลกระทบของ Multiple Air Injection



รูปที่ 2.7 (a) แสดงความเร็วในแนวแกนและ ความเร็วสัมผัส (b)แสดงเส้น steam line

- การเพิ่มขึ้นของปริมาณการไหล(flow rate)ของอากาศโดยจำนวนหัวฉีดอากาศ (nozzle) คงที่ (อากาศที่แต่ละ nozzle ไม่เท่ากัน NO.1, Case NO. 4) เป็นการเพิ่มทั้งความเร็วตามแนวแกน และ ความเร็วตามแกนสัมผัส ซึ่งในกรณีความเร็วในแนวแกนจะลดเวลาในการเผาไหม้(residence time) แต่กรณีความเร็วตามแนวสัมผัสเพิ่มขึ้นจะช่วยให้เวลาการเผาไหม้เพิ่มขึ้น

- การเพิ่มของจำนวน nozzle แต่ flow rate คงที่ ช่วยให้ความเร็วทั้งสองแนวแกนเพิ่มขึ้น ช่วยให้เกิดการหมุนวนที่คงที่

-จำนวนของ nozzle ต่างกันแต่ flow rate รวมใกล้เคียงกันของ case NO. 4 และ case NO.5 จะเห็นว่าความเร็วในแนวสัมผัสของ NO.4 มีค่ามากกว่า NO.5 ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการช่วยทำให้การหมุนวนแข็งแรงขึ้นในเตาเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำหรับรูปร่างของ streamlines สำหรับ NO.1, NO.4 ซึ่งมีจำนวนของ nozzle เท่ากันแต่ต่างกันที่ flow rate ไม่เห็นผลชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับ NO.5 ที่ให้ nozzle 2 ตัว ซึ่งจะมีความแตกต่างบริเวณ nozzle ตัวบนสุด
- และเมื่อ plot กราฟของ pressure drop การเพิ่มขึ้นของ air flow rate จะเพิ่ม pressure drop ด้วย (เป็นกราฟ linear)
- ในการดูถึง tke ที่ $r/R = 0.8$ พบว่า ที่จำนวนของ nozzle เท่ากัน (NO.1, NO.4) จะมีผลกระทบเล็กน้อยในการเพิ่ม flow rate ในกรณีของจำนวน nozzle ที่น้อยกว่า (NO.1, NO.5) พบว่าจะมีผลต่างกราฟมาก ซึ่งสรุปได้ว่า Multiple Air Injection ช่วยในการผสมกันของแก๊สได้ดีมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎี

3.1 เตาเผาแบบวอร์เทค

เตาเผาแบบวอร์เทคเป็นเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบหนึ่งที่รวมเอาข้อดีของ Cyclone combustor, Swirl burner, Multistage combustion และ Fluidized bed combustor โดยเป็นเตาที่ใช้เทคนิคของไหลแบบหมุนวนความเร็วสูงเพื่อเพิ่มความเสถียรของเปลวไฟ การคลุกเคล้าของเชื้อเพลิงกับอากาศ และช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน นอกเหนือจากช่วยเพิ่มเวลาอยู่ในเตาของเชื้อเพลิง (fuel residence time) และช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ เพราะว่าการหมุนวนช่วยเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลวนไปมา ในบริเวณกึ่งกลางของเตา (central recirculation zone) เป็นผลให้เกิดความปั่นป่วนอย่างรุนแรงขึ้นในแต่ละชั้นระหว่างการไหลวนไปมา และการไหลของชั้นนอกซึ่งช่วยให้เปลวไฟในเตาเสถียรยิ่งขึ้น การไหลวนไปมา (recirculation) อันเป็นผลจากการหมุนวนสามารถนำไปสู่ผลต่อไปนี้

- ก. เพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้
- ข. ลดมลภาวะที่ปล่อยออก
- ค. ลดความยาวของเปลวเพลิง และเป็นผลให้เตามีขนาดเล็กลง
- ง. เพิ่มความเสถียรของการเผาไหม้

3.2 เชื้อเพลิงและการเผาไหม้ [8]

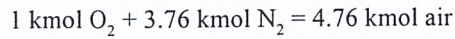
เชื้อเพลิง หมายถึง วัสดุใดๆก็ตามที่สามารถเผาไหม้แล้วปลดปล่อยพลังงานออก โดยมีองค์ประกอบพื้นฐาน คือ ไฮโดรเจน และคาร์บอน เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซ

การเผาไหม้ หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับสารที่เผาไหม้ได้ (combustion component) ของเชื้อเพลิงชนิดนั้นๆ ในที่นี้สารเผาไหม้ที่เป็นตัวหลักในเชื้อเพลิง คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน สำหรับ กำมะถันขณะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนให้ค่าความร้อนไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับคาร์บอน และไฮโดรเจน ในทางตรงกันข้ามกลับเพิ่มปัญหาในการกักต้อนขึ้นส่วน หรือ อุปกรณ์ รวมทั้งยังทำให้เกิดปัญหาด้านมลพิษทางอากาศ

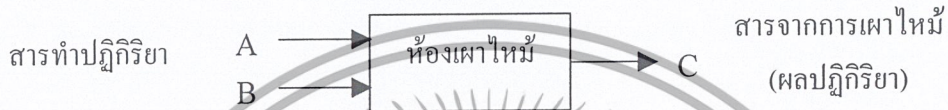
3.3 ปฏิกิริยาทางเคมี

ปฏิกิริยาทางเคมีในขณะที่เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยากับอากาศและสามารถปล่อยพลังงานออกมา เราถือว่าการสันดาป (combustion) อากาศแห้งจะประกอบด้วยออกซิเจน (O_2) 20.9% ไนโตรเจน (N_2) 78.1% อาร์กอน (Ar) 0.9% และอื่นๆ ซึ่งมีน้อยมาก เช่น คาร์บอน ไดออกไซด์ (CO_2) ฮีเลียม (He) นีออน (Ne) ไฮโดรเจน (H_2)

ในการสันดาปเราอาจไม่นำมาคิดเพราะมีน้อยมาก ดังนั้น เราให้อากาศแห้งมีปริมาณของออกซิเจน 21% และไนโตรเจน 79% โดยจำนวนโมล ในแต่ละโมลของออกซิเจนที่เข้าสู่ห้องสันดาปจะมีค่า 283000/12 โมล ของไนโตรเจน นั่นคือ



ธาตุที่สามารถเกิดการสันดาปในเชื้อเพลิงได้แก่ไฮโดรเจน คาร์บอน และ ซัลเฟอร์ กระบวนการสันดาปที่สมบูรณ์จะเกิดขึ้น เมื่อคาร์บอนในเชื้อเพลิงการเผาไหม้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด ไฮโดรเจนเผาไหม้เป็นน้ำ (H₂O) ทั้งหมด และซัลเฟอร์เกิดเป็น (SO₂) ทั้งหมด



รูปที่ 3.1 สารทำปฏิกิริยาและสารจากการเผาไหม้

สารทำปฏิกิริยา (reactants) หมายถึง สารองค์ประกอบของระบบก่อนปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเกิดขึ้น สารจากการเผาไหม้, ผลปฏิกิริยา (Product) หมายถึง สารองค์ประกอบของระบบหลังเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้

สมการการสันดาปที่สมบูรณ์ คือ



ข้อการสังเกตในการสันดาป

1. การสันดาปทางทฤษฎีจะไม่มีออกซิเจนอิสระ และเชื้อเพลิงที่ไม่ได้เผาไหม้เหลืออยู่ในสารจากการเผาไหม้
2. การสันดาปอย่างสมบูรณ์ หมายถึง สารองค์ประกอบเผาไหม้ได้ (combustible components) ทั้งหมดเผาไหม้หมดไม่มีเหลือ
3. การสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ พบว่าสารจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์นั้นจะมีเชื้อเพลิงที่ไม่ได้เผาไหม้หลงเหลืออยู่ในองค์ประกอบรูปร่างของ C, H₂, CO หรือ CH เป็นต้น

การเริ่มต้นของการสันดาป อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ต้องถึงระดับอุณหภูมิจุดประกายไฟ (ignition temperature) เชื้อเพลิงจึงเผาไหม้ เช่น คาร์บอน 400°C ไฮโดรเจน 500°C และสัดส่วนของเชื้อเพลิงและอากาศจะต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

ปริมาณที่ใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการสันดาป จำนวนทั้งหมดของเชื้อเพลิงและอากาศ คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air-Fuel Ratio: AF) หมายถึง อัตราส่วนมวลของอากาศต่อมวลของเชื้อเพลิง สำหรับกระบวนการในการสันดาป คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$AF = \frac{M_{air}}{M_{fuel}} \tag{3.1}$$

$$m = Nm \tag{3.2}$$

เมื่อ

m = มวลของสาร

N = จำนวนโมล

M = มวลโมเลกุล

อากาศจำนวนน้อยที่สุดที่ต้องการ สำหรับการสันดาปแบบสมบูรณ์ของเชื้อเพลิง เรียกว่า สโตยคิโอเมตริก (stoichiometric) หรืออากาศทางทฤษฎี (theoretical Air)

อากาศทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการสันดาป อาจแสดงในเทอมของอัตราส่วนสมมูล (Equivalence Ratio) ซึ่งคืออัตราส่วนของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้น จริงต่ออัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสโตยคิโอเมตริก

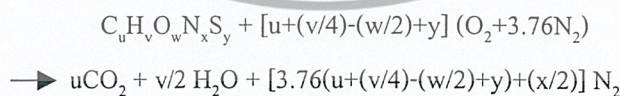
สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\Phi = \frac{(m_f / m_a)_{actual}}{(m_f / m_a)_{stioc}} = \frac{(m_a / m_f)_{stioc}}{(m_a / m_f)_{actual}} \tag{3.3}$$

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

3.3.1 การเผาไหม้แบบสโตยคิโอเมตริก

เชื้อเพลิงแข็งสามารถเขียนเป็นรูปสูตรทางเคมีพื้นฐานได้แก่ $C_uH_vO_wN_xS_y$ ปฏิกริยาการเผาไหม้แบบสโตยคิโอเมตริกระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ สามารถเขียนเป็นสมการทางเคมีพื้นฐานได้ดังนี้



เมื่อแทนค่าต่างๆลงในสมการจะได้ปริมาณอากาศพอดีในการเผาไหม้ตามทฤษฎี

3.3.2 อากาศส่วนเกิน (Excess air)

เป็นปริมาณอากาศที่ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ แต่ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนเนื่องจากความร้อนสัมผัสเพิ่มขึ้นการสูญเสียความร้อนไปกับแก๊สเสียจะมีค่าสูงขึ้นที่อุณหภูมิของแก๊สเสียสูง การที่ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินมากขึ้น จะเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์การเผาไหม้ต่ำลง และแก๊สที่ได้จากการเผาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหม่จะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าด้วย ซึ่งมีผลให้มีการถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีเกิดขึ้นภายในอุปกรณ์ลดลง แต่จะเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยการพา ดังนั้นการสูญเสียความร้อนในแก๊สเสีย เนื่องจากอากาศส่วนเกินจึงเป็นปริมาณที่ต้องพิจารณาระดับของปริมาณอากาศส่วนเกิน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง โดยการพิจารณาถึงความสามารถในการผสม ระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงภายในอุปกรณ์การเผาไหม้

3.4 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

เชื้อเพลิงแข็งที่เราใช้ในปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น ถ่านหิน ฝืน ขี้เลื่อย แกลบ ฟางข้าวโพด เป็นต้น ขบวนการการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง จะมีความแตกต่างไปจากเชื้อเพลิงเหลว และแก๊ส เพราะว่า คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแข็ง มักจะเป็นสารประกอบที่มีส่วนผสมของสารต่างๆ ภายในไม่แน่นอน นอกจากนี้ การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง ยังขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคเชื้อเพลิงแข็งด้วย เพราะเชื้อเพลิงแข็งประกอบไปด้วยสารประกอบต่างๆ ซึ่งมีทั้งเผาไหม้ได้ และไม่สามารถเผาไหม้ได้

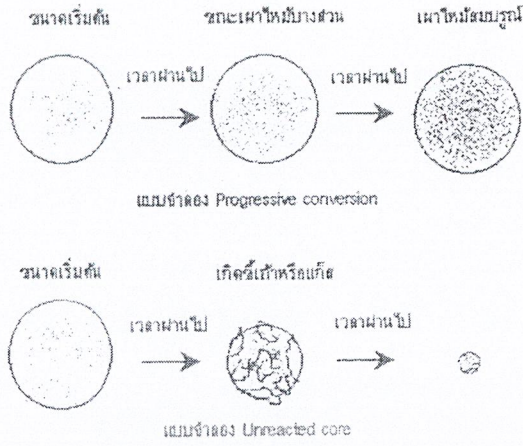
สารที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ เราเรียกว่าสารเฉื่อย (inert) สารเฉื่อยนี้สามารถเปรียบเทียบได้กับก๊าซไนโตรเจนในอากาศ ซึ่งจะไม่ช่วยในการสันดาป แต่ในบางครั้ง สารเฉื่อยเหล่านี้ ก็อาจจะเกิดปฏิกิริยาได้ในบางขบวนการของการเผาไหม้ โดยเฉพาะในขบวนการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงๆ สารเฉื่อยที่อยู่ในเชื้อเพลิงแข็งสามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ ความชื้น และสารประกอบเคมีที่ประกอบขึ้นเป็นขี้เถ้า สารอนินทรีย์เหล่านี้โดยมากจะเป็นพวกซิลิเกต(silicates) ซัลไฟด์ (sulfides) และเกลือฮาโลเจน (halogen salts) เป็นต้น เมื่อเราเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง สารเหล่านี้จะกลายเป็นขี้เถ้า บางส่วนจะตกในห้อยที่เผาไหม้ ส่วนที่มีน้ำหนักเบาจะปลิวไปกับไอเสียที่เราเรียกว่า เถ้าปลิว (fly ash) เชื้อเพลิงแข็งที่สามารถแยกได้เป็นส่วนที่ระเหยได้ (volatile) และส่วนที่ไม่ได้ระเหย (non-volatile) ในส่วนที่ไม่ได้ระเหยนี้ ประกอบด้วยคาร์บอน สารประกอบคาร์บอน C_xH_y โดยที่ค่า x มีค่ามากกว่า y มากๆ หรือเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงนั่นเอง ส่วนสารที่ระเหยได้ในที่นี้ หมายถึง สารประกอบที่ระเหยใช้ในช่วงของการเผาไหม้ ซึ่งจะประกอบไปด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ

3.5 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. แบบจำลอง Progressive conversion ใช้อธิบายเมื่อในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ขนาดของเชื้อเพลิงไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อทำการเผาไหม้แล้ว ไม่เกิดขี้เถ้า ผลิตภัณฑ์ที่ได้คงรูปเดิม เช่น การเผาแร่กำมะถัน
2. แบบจำลอง Unreacted core ใช้อธิบายเมื่อทำการเผาไหม้แล้ว ขนาดของเชื้อเพลิงเปลี่ยนไป เช่น ไม้ แกลบ ถ่านหิน

โดยเราจะมุ่งเน้นศึกษาที่แบบจำลอง Unreacted core ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้อธิบายการเผาไหม้ของแกลบ



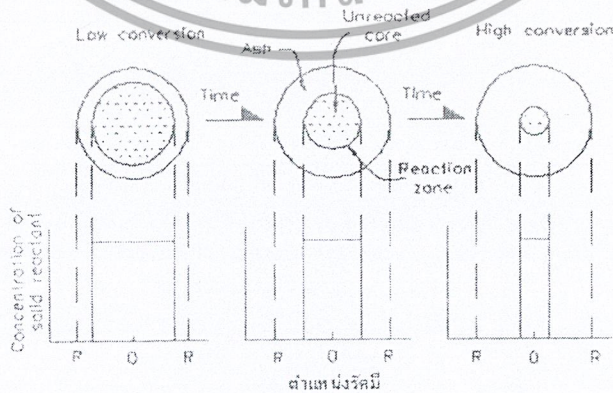
รูปที่ 3.2 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

3.5.1 แบบจำลอง Unreacted core

ปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเกิดขึ้นครั้งแรกที่ผิวนอกสุดของเชื้อเพลิง หลังจากนั้นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาจะค่อยๆ กินลึกเข้าไปภายใน ทั้งบริเวณที่ได้ทำปฏิกิริยาไปแล้วในสภาพที่เถ้า ดังนั้นที่เวลาใดๆ ส่วนลึกเข้าไปภายในชั้นเชื้อเพลิง หรือที่เรียกว่า แก่น จะค่อยๆ มีขนาดลดลงในระหว่างการทำปฏิกิริยา



รูปที่ 3.3 บริเวณการเกิดการเผาไหม้



รูปที่ 3.4 ลักษณะชั้นเชื้อเพลิงระหว่างการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาของแบบจำลองนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ

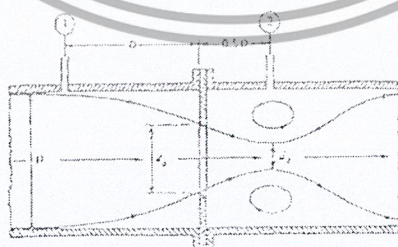
1. อากาศแพร่กระจายผ่านชั้นฟิล์มเข้าสู่ชั้นจีเด้า
2. อากาศผ่านชั้นจีเด้าเข้าสู่ผิวของเชื้อเพลิงในส่วนที่ยังไม่ทำปฏิกิริยา
3. เกิดปฏิกิริยาระหว่างอากาศกับผิวของเชื้อเพลิง
4. ผลิตภัณฑ์ในรูปของแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ซึมผ่านชั้นจีเด้ากลับสู่ชั้นฟิล์มของแก๊ส
5. ผลิตภัณฑ์แก๊สซึมผ่านชั้นฟิล์มกลับคืนสู่ภายนอกบรรยากาศรอบๆ โดยความต้านทานในแต่ละขั้นตอนอาจจะแตกต่างกันมากขั้นตอนที่มีความต้านทานสูงสุดจะเป็นตัวควบคุมอัตราการเร็วของการเผาไหม้

สิ่งที่มีผลต่ออัตราการเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

1. อุณหภูมิ โดยทั่วไปขั้นตอนของปฏิกิริยาเคมีจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
2. เวลาของการแพร่กระจายของอากาศผ่านชั้นฟิล์ม หรือชั้นจีเด้า
3. ขนาดของเชื้อเพลิง
4. ความต้านทานของชั้นจีเด้ากับชั้นฟิล์ม โดยปกติความต้านทานของชั้นจีเด้าจะสูงกว่าชั้นฟิล์มมาก ดังนั้นค่าความต้านทานของชั้นฟิล์มจึงอาจจะตัดทิ้งได้
5. ความต้านทานรวม ซึ่งรวมทั้งความต้านทานของแก๊สฟิล์มชั้นจีเด้า และปฏิกิริยาการเผาไหม้

3.6 การวัดอัตราการไหล

ในการทำการทดลองทำการวัดอัตราการไหลของอากาศโดยใช้เครื่องมือวัดคือ ออร์ฟิซ ในการทดลองนี้มีสมมติฐานคือ ของไหลที่อยู่ภายในท่อไม่สามารถอัดตัวได้ ความเร็วของของไหลมีค่าคงที่ตลอดหน้าตัดของไหลไม่มีความหนืดและการไหลเกิดขึ้นแบบ steady flow เมื่อของไหลถูกบังคับผ่านหน้าออร์ฟิซเกิดเป็นลำ (jet) จุดที่คอดที่สุดของลำเรียกว่า Vena Contracts ในการวัดอัตราการไหลใช้แผ่นออร์ฟิซแบบแผ่นเรียบ ช่องออร์ฟิซจะเจาะเรียบตรง แต่แบบที่ใช้งานโดยทั่วไปอาจเป็นแบบผายช่องออร์ฟิซ (Bevel) ซึ่งมีจุดประสงค์การออกแบบต่างกันไป



รูปที่ 3.5 แสดงการไหลผ่านแผ่นออร์ฟิซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณอัตราการไหลของมวลภายในท่อที่มีออริฟิซติดตั้งคือ

$$\dot{m} = \frac{C_d A_t \sqrt{2\rho(\Delta P)}}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_t}{D}\right)^4}} \quad (3.4)$$

- เมื่อ
- P = ความดันสถิตย์ของของไหล (N/m²)
 - ρ = น้ำหนักจำเพาะ (specific weight, N/m³)
 - d_t = เส้นผ่านศูนย์กลางรูออริฟิซ (m)
 - D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)
 - A_t = พื้นที่หน้าตัดรูออริฟิซ (m²)
 - C_d = discharge coefficient



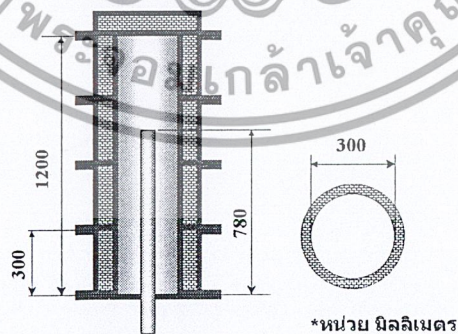
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบและการคำนวณ

4.1 การออกแบบเตาเผาเวอร์เทค

เตาเผาแบบเวอร์เทคเป็นเตาเผาที่มีห้องเผาไหม้ลักษณะทรงบอกล และ ท่อทิ้งเถ้าลอยค้ำใน โดยประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนหลายๆ ส่วนซึ่งแต่ละส่วนมีผนังของห้องเผาไหม้ที่ประกอบขึ้นจากท่อเหล็กทรงกระบอก 2 ชั้นมีความสูงเท่ากับ 300 มิลลิเมตร ท่อเหล็กชั้นนอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 400 มิลลิเมตร ท่อเหล็กชั้นใน มีขนาดเส้นศูนย์กลางภายในเท่ากับ 300 มิลลิเมตร โดยท่อเหล็กชั้นนอกมีความหนา 4 มิลลิเมตร ชั้นในมีความหนา 6 มิลลิเมตร ตามลำดับ ช่องว่างระหว่างของท่อเหล็กทั้งสองจะถูกหล่อด้วยปูนทนไฟที่มีความหนา 40 มิลลิเมตร เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากห้องเผาไหม้ ที่ส่วนล่างของแต่ละส่วนจะมีแผ่นเหล็กลักษณะวงแหวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 480 มิลลิเมตร และ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 300 มิลลิเมตร เชื่อมปิดอยู่เพื่อรองรับปูนทนไฟ และ ที่วงแหวนเจาะรูขนาด 12 มิลลิเมตร ตามแนวรัศมีจำนวน 12 รู ระยะจากขอบเท่ากับ 20 มิลลิเมตร ไว้สำหรับยึดน๊อต เพื่อประกอบเตาแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน โดยความหนาของแผ่นเหล็กวงแหวนนี้มีค่าเท่ากับ 6 มิลลิเมตร ที่ขอบบนของแต่ละชั้นส่วนก็เช่นเดียวกัน มีแผ่นเหล็กลักษณะวงแหวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 480 มิลลิเมตร และ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 400 มิลลิเมตร มีความหนาเท่ากับ 6 มิลลิเมตร เชื่อมติดอยู่เพื่อยึดประกอบกับส่วนอื่นๆ ท่อทิ้งเถ้าลอยค้ำในทำจากสแตนเลสมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 73 มิลลิเมตร มีความหนาเท่ากับ 3 มิลลิเมตร มีความสูงเท่ากับ 78 มิลลิเมตร ที่ส่วนบนและส่วนล่างสุดของเตาเผาจะมีฝาปิดอยู่ โดยฝาปิดด้านบนเป็นแผ่นเหล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 480 มิลลิเมตร โดยมีปูนทนไฟหล่ออยู่ภายใน ฝาปิดด้านล่างเป็นแผ่นเหล็กวงแหวนมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 480 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 81 มิลลิเมตร มีความหนาเท่ากับ 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของเตาเผาแบบเวอร์เทค

โดยหลักการทำงานของเตาเผาจะใช้อากาศ 2 ส่วน อากาศส่วนที่ 1 เป็นอากาศที่ใช้ลำเลียงแกลบเข้าเตาเผาโดยใช้ Blower เป็นแหล่งจ่ายอากาศทำให้เกิดการไหลของอากาศผ่านท่อซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

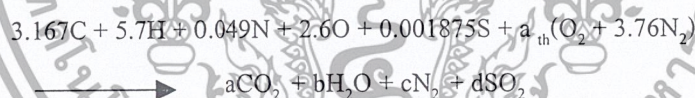
กับภายนอกเท่ากับ มิลลิเมตร มีความหนาเท่ากับ มิลลิเมตร และ อากาศส่วนที่ 2 (Secondary air) เป็นอากาศ ไหลเข้าเพื่อช่วยให้เกิดการหมุนวนของเชื้อเพลิงในเตาเผาให้มากขึ้น โดยใช้ Blower เป็นแหล่งจ่ายอากาศ อากาศส่วนที่ 2 นี้ถูกแบ่งออกเป็น 8 ส่วนเท่าๆ กัน ไหลผ่านท่ออากาศที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 12 มิลลิเมตร มีความหนาเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ตำแหน่งของท่ออากาศมีระดับความสูงอยู่ที่ 150 และ 450 มิลลิเมตร โดยวัดจากด้านล่างของเตาเผา ซึ่งอัตราการไหลของอากาศทั้ง 2 ส่วนนี้ควบคุมอัตราการไหลด้วย วาล์วควบคุมและวัดค่าอัตราการไหลโดยใช้ออริฟิส

4.2 การคำนวณอากาศที่ต้องการใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบสมมูลการเผาไหม้ทางเคมีของแกลบ [6]

สาร		%	MW	จำนวนโมล
คาร์บอนไดออกไซด์	C	38	12	3.167
ไฮโดรเจน	H	5.7	1	5.7
ออกซิเจน	O	41.6	16	2.6
ไนโตรเจน	N	0.69	14	0.049
ซัลเฟอร์	S	0.06	32	0.001875
ขี้เถ้า	Ash	19.8	-	-

สมมูลการเผาไหม้ทางเคมีของแกลบ



ค่าที่หาได้จากการดุลสมการ

$$C : 3.167 = a$$

$$H : 5.7 = 2b$$

ได้ค่า

$$b = 2.8$$

$$S : 0.001875 = d$$

$$O : 2.6 + (a_{th} \times 2) = 2a + b + 2d$$

$$a_{th} = \frac{(2 \times 3.167) + 2.85 + (2 \times 0.001875) - 2.6}{2}$$

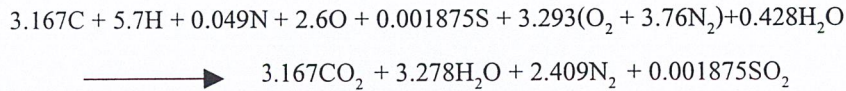
$$= 3.293$$

$$N : 0.049 + (a_{th} \times 2) = 2c$$

$$c = 12.409$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าลงในสมการ



จากสมการ

$$(A/F)_{ratio} = (m_{air}/m_{fuel})$$

$$m_{air} = 3.293(4.76 \times 29) + (0.428 \times 18) \text{ kmol} \times \text{kg/kmol}$$

$$= 462.269 \text{ kg}$$

$$m_{fuel} = (3.167 \times 12) + (5.7 \times 1) + (0.049 \times 14) + (2.6 \times 16) + (0.001875 \times 32) \text{ kmol} \times \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$= 86.05 \text{ kg}$$

ดังนั้น

$$(A/F)_{ratio} = \frac{462.269}{86.05} = 5.372$$

จากสมการ

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

เมื่อ A/F ratio = 5.372

ในการทดลองใช้แก๊สที่มีอัตราการไหล = 0.3 kg/min

เพราะฉะนั้นจะใช้อากาศเท่ากับ = 0.3 × 5.372 kg/min

$$= 1.61163 \text{ kg/min}$$

$$= 0.02686 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลอง

φ	Primary Air (kg/sec)			Secondary Air (kg/sec)			
	100%	85%	75%	15%(8ท่อ)	1ท่อ	25%(8ท่อ)	1ท่อ
0.8	0.033575	0.02854	0.02518	5.036×10^{-3}	6.295×10^{-3}	8.39×10^{-3}	1.049×10^{-3}
1.0	0.02686	0.02283	0.02014	4.029×10^{-3}	5.036×10^{-3}	6.715×10^{-3}	8.394×10^{-3}
1.2	0.02238	0.01902	0.01678	3.357×10^{-3}	4.196×10^{-3}	5.595×10^{-3}	6.994×10^{-3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาการไหลผ่านออร์ฟิส

ความหนาแน่นของอากาศ	$\rho_{\text{air}} = 1.2 \text{ kg/m}^3$
ความหนาแน่นของน้ำ	$\rho_{\text{water}} = 1000 \text{ kg/m}^3$
ความหนาแน่นของเกลือบ	$\rho_r = 10 \text{ kg/m}^3$
เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของท่ออากาศปฐมภูมิ	$D_p = 0.0762 \text{ m.}$
เส้นผ่านศูนย์กลางกลางออร์ฟิสของท่ออากาศปฐมภูมิ	$D_{tp} = 0.04572 \text{ m.}$
เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของท่ออากาศทุติยภูมิ	$D_s = 0.0508 \text{ m.}$
เส้นผ่านศูนย์กลางกลางออร์ฟิสของท่ออากาศทุติยภูมิ	$D_t = 0.032 \text{ m.}$
Discharge coefficient	$C_d = A_{tp}/A_p = 0.62$

ตัวอย่างการคำนวณ Primary Air 100%, $\phi = 0.8$

จากตารางแสดงปริมาณอากาศได้ $\dot{m} = 0.033575 \text{ kg/s}$

จากสมการ(3.4)

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

เมื่อ

$$C_d = 0.62$$

$$\dot{m} = 0.033575 \text{ kg/s}$$

$$\rho_{\text{air}} = 1.2 \text{ kg/m}^3$$

$$A_{tp} = \frac{\pi D_{tp}^2}{4} = \frac{\pi (0.04572)^2}{4} = 1.642 \times 10^{-3}$$

$$A_{ts} = \frac{\pi D_t^2}{4} = \frac{\pi (0.032)^2}{4} = 8.038 \times 10^{-3}$$

$$\beta = \frac{D_{tp}}{D_p} = \frac{0.04572}{0.0762} = 0.6$$

$$\text{แทนค่า } 0.033575 = \frac{0.62 \times 1.642 \times 10^{-3} \sqrt{2 \times 1.2 (\Delta P)}}{\sqrt{1 - (0.6)^4}}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น } \Delta P = 394.466 \text{ N/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \Delta P &= \rho_{\text{water}} g \Delta h \\ \Delta h &= \frac{394.466}{1000 \times 9.81} = 0.0402 \text{ m.} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราการไหลและความสูงของระดับน้ำในมานอรัมิเตอร์ของอากาศปฐมภูมิ

Φ	Primary Air (kg/sec)		
	100%	85%	75%
0.8	0.0336	0.02856	0.0252
1.0	0.0269	0.022865	0.020175
1.2	0.0224	0.01904	0.0168
Φ	Δh (cm.)		
0.8	4.03	2.91	2.27
1.0	2.58	1.87	1.45
1.2	1.79	1.29	1

ตารางที่ 4.4 แสดงอัตราการไหลและความสูงของระดับน้ำในมานอรัมิเตอร์ของอากาศทุติยภูมิ

Φ	Secondary Air (kg/s)	
	15%	25%
0.8	5.04×10^{-3}	8.40×10^{-3}
1.0	4.035×10^{-3}	6.725×10^{-3}
1.2	3.36×10^{-3}	5.60×10^{-3}
Φ	Δh (cm.)	
0.8	0.37	1.03
1.0	0.24	0.66
1.2	0.16	0.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในการทดลองการเผาไหม้ในเตาเผาแบบวอร์เทค แบ่งขั้นตอนในการทดลองออกเป็น 4 ส่วน คือ การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง การอุ่นเตา วอร์เทค การทดลอง และเก็บผลการทดลอง

5.1 การเตรียมอุปกรณ์ในการทดลอง

อุปกรณ์การทดลองแบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ เตาวอร์เทค ชุดป้อนอากาศที่ primary และ secondary ชุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส ชุดอุ่นเตา ชุดอุปกรณ์วัด และ เก็บผลการทดลอง

5.1.1 เตาวอร์เทค

ลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ตัวเตาทำจากเหล็ก ซึ่งทำการแบ่งขนาดของเตาออกเป็น 5 ชั้น เพื่อสะดวกในการประกอบ ซึ่งแต่ละชั้นส่วน มีความสูง 300 mm. เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน(I.D.) 300 mm. หนา 6 mm. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก(O.D.) 400 mm. หนา 4 mm. ระหว่างทั้งสองชั้นทำการหล่อด้วยปูนทนไฟ ท่อแกนกลางทำจากสแตนเลส SS-304 มี O.D.75 mm. มีความสูง 1100 mm.

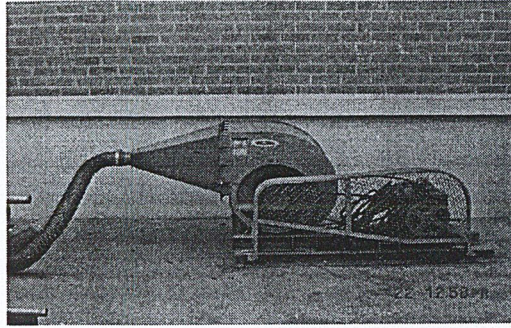


รูปที่ 5.1 แสดงภาพของเตาเผาแบบวอร์เทคที่ใช้ทดลอง

5.1.2 ชุดป้อนอากาศที่ primary และ secondary

ประกอบด้วย Blower ชนิดใบพัดคู่ ของ EBARA FAN Capacity 100 m³/min Pressure 200 mm.Aq Speed 4050 min⁻¹

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



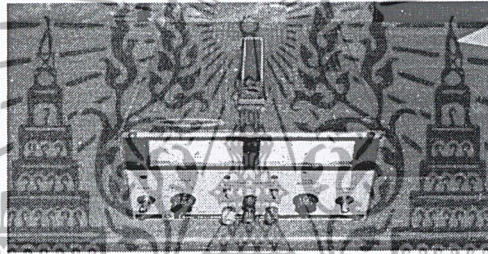
รูปที่ 5.2 แสดง Blower และ Motor

Motor เป็นตัวขับ Blower ขนาด 7.5 kw 1400 rpm 15 A 380 V 4 Pole

Driving motor เป็นตัวตัดต่อการทำงานของมอเตอร์ ขนาด 4 Pole 1800 rpm 19.5 O 50/60 Hz

1350-100/1650-120 rpm Torque 4.8/4.0 N·m

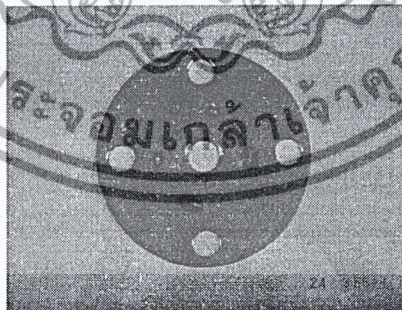
DC Supply เป็นตัวจ่ายไฟเลี้ยงให้ Driving motor ขนาด 3 A 70 V max



รูปที่ 5.3 แสดง DC Supply

Orifice plate ใช้ในการวัดอัตราการไหลของอากาศที่ Primary และ secondary ใช้ตามมาตรฐาน

ANSI/API 2530

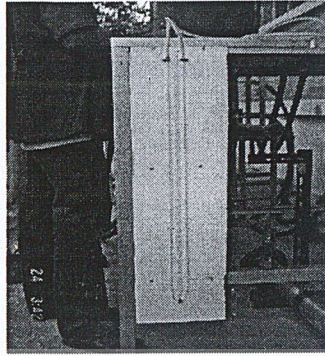


รูปที่ 5.4 แสดง Orifice plate

Valve ที่ใช้ในการปรับปริมาณอากาศ ที่ primary ใช้ gate valve ขนาด 3 นิ้ว และ secondary ใช้ gate valve ขนาด 2 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Manometer ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง มี 2 ตัว ที่ primary และ secondary



รูปที่ 5.5 แสดง Manometer

ชุดแยกอากาศที่ secondary แยกออกเป็น 8 ท่อ เท่าๆ กัน โดยใช้หางปลาเป็นตัวยึดกับสายยางที่ต่อจากท่อของsecondary ใช้สายยางขนาด I.D. 1 cm



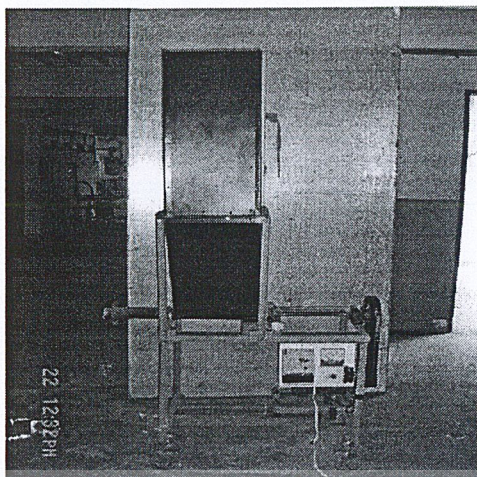
รูปที่ 5.6 แสดง ชุดแยกอากาศที่ secondary

5.1.3 ชุดป้อนเชื้อเพลิงแกลบ

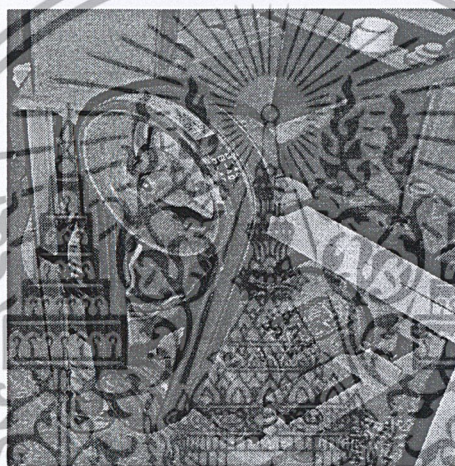
ประกอบด้วย Inverter ชนิด FR-A024-0.2KP ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของ Motor ที่ใช้ในการขับ Screw feed ในการควบคุมอัตราการไหลของแกลบปรับความเร็วรอบได้สูงสุดที่ 1600 rpm 1.5 A

Motor ใช้ในการขับ Screw feed ขนาด 0.2 kw

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดง ชุดป้อนเชื้อเพลิงกลับ



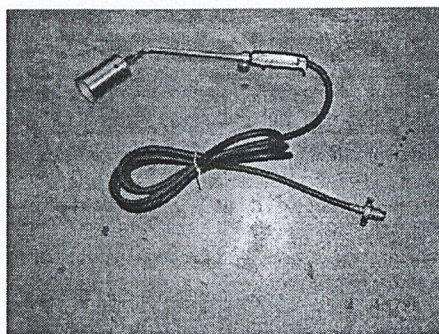
รูปที่ 5.8 แสดง Motor และ ชุดสายพาน

5.1.4 ชุดอุ่นเตา

ประกอบด้วย ถังแก๊ส LPG ขนาด 15 kg และหัวเผา ขนาด 2 นิ้ว



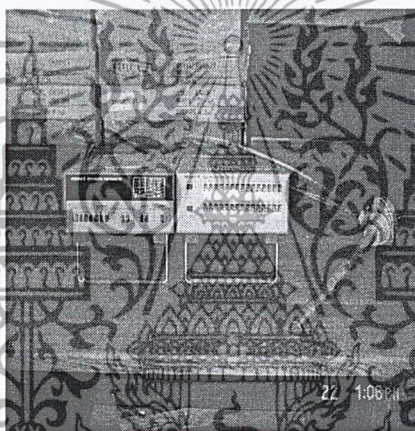
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่ 5.9 แสดงถังแก๊ส นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 แสดง หัวเผา

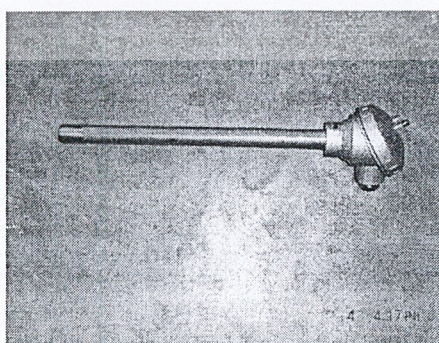
5.1.5 อุปกรณ์วัดและเก็บผลการทดลอง

Thermometer และ Multichannel ใช้ในการอ่านค่าจาก Thermocouple ซึ่งสามารถอ่านค่าได้ 30 channel



รูปที่ 5.11 แสดง Thermometer และ Multichannel

Thermocouple ชนิด Type K สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -200°C ถึง 1370°C ใช้ในการวัดการกระจายอุณหภูมิภายในเตา ใช้ทั้งหมด 10 ตัว



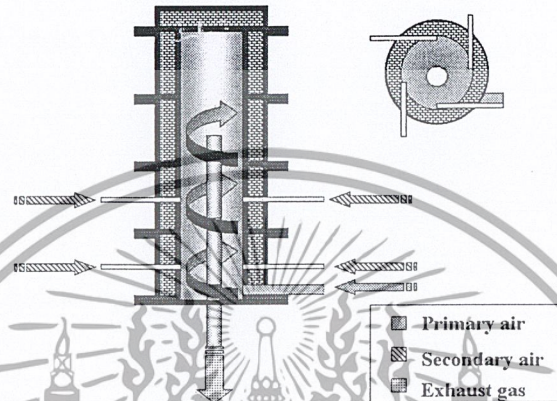
รูปที่ 5.12 แสดง Thermocouple

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง

ทำการประกอบตัวเตาแต่ละส่วนที่ใช้ในการทดลอง โดยแต่ละส่วนจะถูกซีลด้วยประเก็นทนไฟ และถูกยึดกันด้วยน๊อต ซึ่งความสูงที่ใช้ทำการทดลองคือ 3D, 4D, 5D

อากาศที่ primary และ secondary มาจาก Blower มี Motor เป็นต้นกำลังถูกควบคุมด้วย Driving moter ทำหน้าที่คล้ายคลึงต์ในการตัดต่อกำลัง โดยมี DC Supply ส่งไฟเลี้ยง ซึ่งสามารถปรับความเร็วรอบได้จากปริมาณการจ่ายไฟที่ DC Supply ซึ่งในที่นี้ใช้ไฟประมาณ 0-10 V.



รูปที่ 5.13 แสดงระบบอากาศภายในเตา

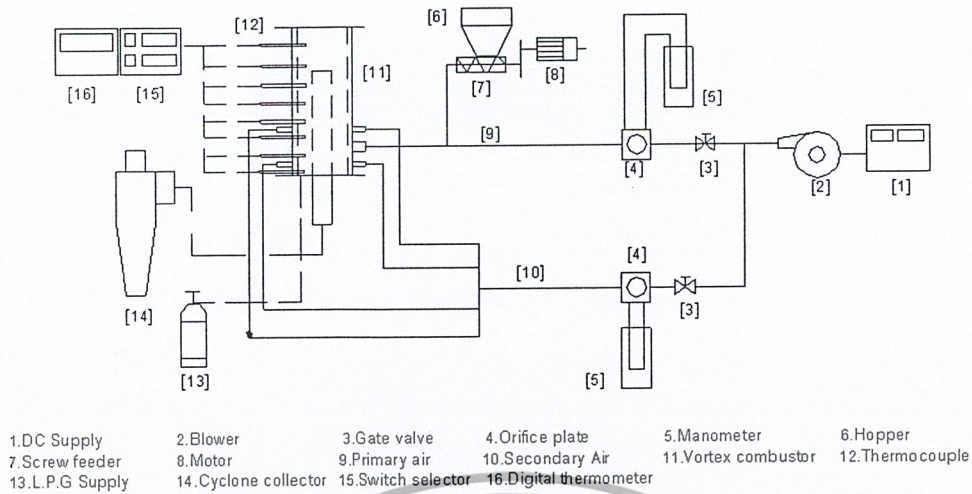
อากาศที่ออกมาจาก Blower จะไหลมาตามท่อหลักและจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ primary และ secondary โดยอากาศที่ primary ไหลผ่าน Orifice plate และ Manometer เพื่อวัดอัตราการไหลของอากาศ และไหลต่อเข้ากับชุดลำเลียงแก๊ส ซึ่งอากาศจะผสมกับแก๊ส เข้าส่วนล่างของเตา อากาศที่ secondary ไหลผ่าน Orifice plate และ Manometer เพื่อวัดอัตราการไหลของอากาศ และ ไหลต่อเข้าสู่ท่อแยกอากาศออกเป็น 8 ท่อ โดยแต่ละท่อต่อกับสายยาง และสวมเข้ากับช่องทางเข้าของอากาศ secondary ที่ตัวเตา เนื่องจากในขณะที่ทำการเผาไหม้จะเกิดความร้อนขึ้น จึงใช้ผ้าชุบน้ำพันที่ท่อเพื่อทำการหล่อเย็น

วัดอุณหภูมิโดยใช้ Thermocouple เสียบเข้าไปตัวเตาในตำแหน่งต่างๆทำการต่อเข้ากับ Thermometer และ Multichannel เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิ

5.3 การอุ่นเตาก่อนการทดลอง

การอุ่นเตาเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพื่อให้เชื้อเพลิงแก๊สที่ป้อนเข้าไปภายในเตาสามารถเกิดการเผาไหม้ได้ด้วยตัวเอง วิธีการอุ่นเตานั้นจะใช้หัวเผาที่มีแก๊สเป็นเชื้อเพลิง โดยเริ่มเปิดวาล์วและจุดไฟที่หัวเผา ปรับให้เปลวไฟเป็นสีน้ำเงินแล้วนำเข้าไปที่ตำแหน่งที่ใช้ในการอุ่นเตาในระหว่างนี้เปิดอากาศที่ secondary เล็กน้อยเพื่อช่วยในการเผาไหม้ จากนั้นเมื่ออุณหภูมิถึง 400°C เริ่มป้อนแก๊สเข้าไปพร้อมกับ primary air ทีละน้อยเพื่อให้แก๊สเผาไหม้ รองอุณหภูมิภายในเตาสูงขึ้นจนถึงประมาณ 450°C ถึง 550°C จากนั้นทำการสังเกตุสีเถ้าที่ออกมา เพื่อดูว่าเชื้อเพลิงแก๊สที่ป้อนเข้าไปในเตาเกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องแล้วจึงหยุดการใช้หัวเผาแล้วจึงเริ่มทำการทดลองต่อไป

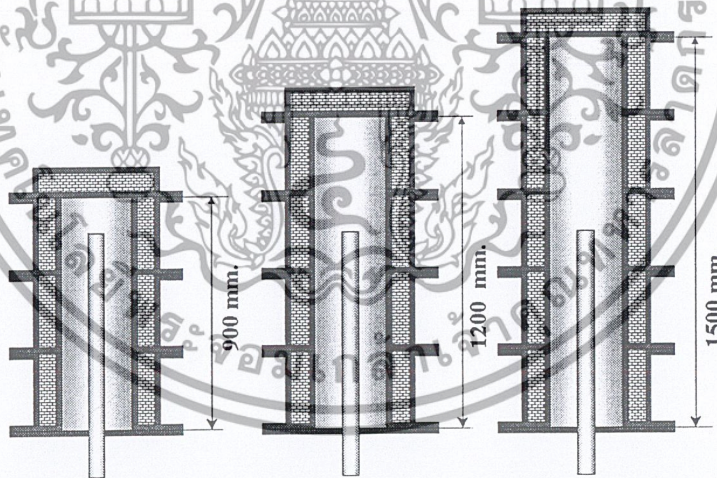
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 แสดงอุปกรณ์การทดลองของเตาแบบวอร์เทค

5.4 วิธีการทดลอง

เมื่ออุ่นเตาเผาวอร์เทคจนมีอุณหภูมิภายในเตาประมาณ 450°C ถึง 550°C และปรับอัตราการไหลของแกลบให้เท่ากับ 0.3 kg/min ก็เริ่มทำการทดลองดังต่อไปนี้



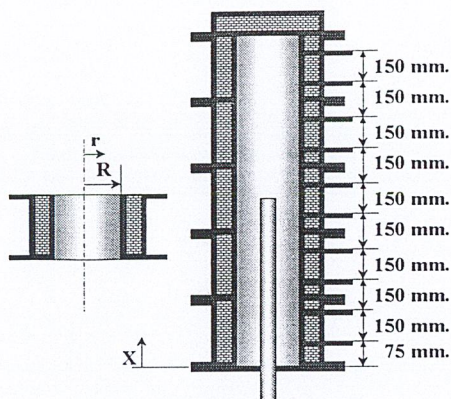
รูปที่ 5.15 แสดงขนาดความสูงของเตาเผาแบบวอร์เทคที่ใช้ในการทดลอง

1. เมื่อขนาดความสูงของเตาเผาวอร์เทคเท่ากับ 1500 mm.
2. เมื่ออัตราส่วนของ Primary air ต่อ Secondary air มีค่าเท่ากับ 100/0
3. ปรับอัตราการไหลของอากาศให้ค่า Equivalence ratio มีค่าเท่ากับ 0.8
4. เริ่มทำการบันทึกอุณหภูมิจาก Thermo couple ที่ระยะ $x = 825\text{mm.}, 975\text{mm.}, 1125\text{mm.}, 1275\text{mm.}$

และ 1425mm. ที่ตำแหน่ง $r/R = 0$ ทำการบันทึกทุกๆ 3 นาทีเป็นระยะเวลาทั้งหมด 9 นาที บันทึกผลการทดลอง

สังเกตควันและเก็บขี้เถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 แสดงตำแหน่งการบันทึกอุณหภูมิภายในเตา

5. ทำการเลื่อนตำแหน่ง Thermo couple มาที่ $r/R = 0.27$ ให้มีตำแหน่งเท่ากับ Thermo couple ที่ระยะ $x = 75\text{mm.}, 225\text{mm.}, 375\text{mm.}, 525\text{mm.}$ และ 675mm. ทำการบันทึกอุณหภูมิจาก Thermo couple ทั้งหมด ทุกๆ 3 นาทีเป็นระยะเวลาทั้งหมด 9 นาที บันทึกผลการทดลองสังเกตควันและเก็บเชื้อได้

6. ทำการทดลองตามข้อที่ 5 โดยเลื่อนตำแหน่ง Thermo couple ทั้งหมดมาที่ตำแหน่ง $r/R = 0.6$ และ 1 ตามลำดับ

7. ทำการทดลองตามข้อที่ 3-6 โดยปรับอัตราการไหลของอากาศให้ค่า Equivalence ratio เท่ากับ 1.0 และ 1.2 ตามลำดับ

8. ทำการทดลองตามข้อที่ 2-7 โดยปรับอัตราส่วน Primary air ต่อ Secondary air เท่ากับ 85/15 และ 75/25 ตามลำดับ

9. ทำการทดลองตามข้อที่ 1-8 โดยเปลี่ยนขนาดความสูงของเตาส่วนบนเป็น 900mm. และ 1200mm ตามลำดับ

บทที่ 6

ผลการทดลอง

หลังจากที่ได้จัดเตรียมอุปกรณ์การทดลอง , ทำการทดลอง และทำการบันทึกผลการทดลอง ซึ่งผลการทดลองที่แสดงถึงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค ได้นำเสนออยู่ในส่วนของภาคผนวก ก โดยผลการทดลองที่ได้กล่าวมานี้ได้มุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาถึงขนาดความสูงของเตาเผาแบบวอร์เทค, อัตราส่วนสมมูล(ϕ) และอัตราส่วนระหว่างอัตราการใช้ไฮโดรเจนปริมาณของอากาศป้อนภูมิต่ออัตราการใช้ไฮโดรเจนปริมาณของอากาศหุติภูมิ(λ) ที่มีความเหมาะสมต่อกระบวนการเผาไหม้ โดยทำการพิจารณาจากการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค, จี๊เอที่ได้ออกจากการเผาไหม้ เมื่อกำหนดให้อัตราการใช้ไฮโดรเจนของเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 0.3 kg/min ตลอดการทดลอง

6.1 การทดลองที่เตาขนาดความสูง 900 mm.

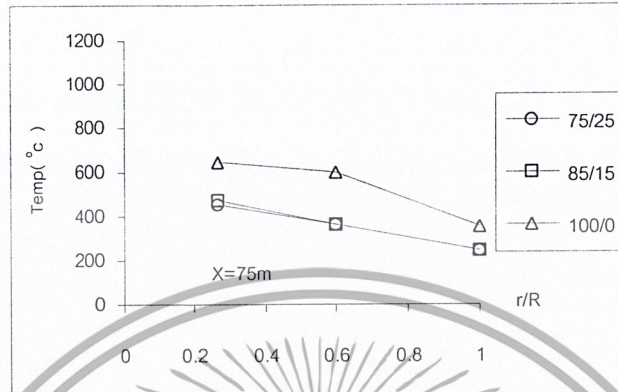
ในการทดลองที่เตาขนาด 900 mm. จะทำการทดลองที่ค่า ϕ 3 ค่า คือ 0.8, 1.0 และ 1.2 ซึ่งในแต่ละค่าของ ϕ จะทำการทดลองที่ λ 3 ค่า คือ 75:25, 85:15 และ 100:0 ซึ่งผลการทดลองจะแสดงในรูปที่ 6-1 ถึง 6-18

กรณีที่ค่า ϕ เท่ากับ 0.8 เมื่อทำการพิจารณาการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค จะพบว่าที่ λ เท่ากับ 75:25 จะให้ลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทคที่สม่ำเสมอทั่วทั้งเตา และ เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค จะพบว่าที่ λ เท่ากับ 100:0 จะให้อุณหภูมิภายในเตาที่สูงสุด เนื่องจากปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ภายในเตามีมากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี ซึ่งที่ λ เท่ากับ 75:25 และ 85:15 จะมีการจ่ายอากาศหุติภูมิจะทำให้อุณหภูมิภายในเตาลดลง

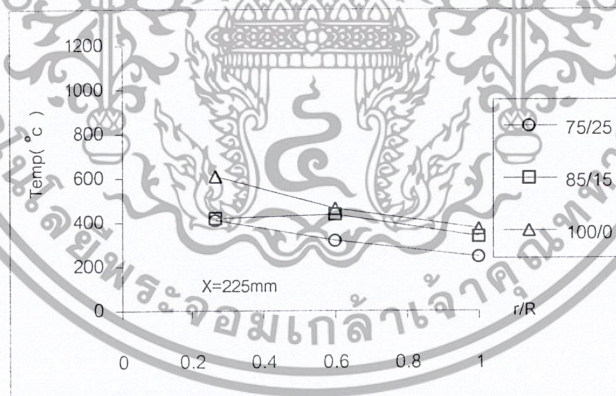
กรณีที่ค่า ϕ เท่ากับ 1.0 เมื่อทำการพิจารณาการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค จะพบว่าที่ λ เท่ากับ 75:25 จะให้ลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทคที่สม่ำเสมอทั่วทั้งเตา และ เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค จะพบว่าที่ λ เท่ากับ 75:25 และ 85:15 ให้อุณหภูมิภายในเตาที่สูงกว่า λ เท่ากับ 100:0 เนื่องจากการจ่ายอากาศหุติภูมิจะช่วยในการหมุนวนทำให้การคลุกเคล้าของอากาศกับแกลบเป็นไปอย่างทั่วถึง

กรณีที่ค่า ϕ เท่ากับ 1.2 เมื่อทำการพิจารณาการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค จะพบว่าที่ λ เท่ากับ 75:25 จะให้ลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทคที่สม่ำเสมอทั่วทั้งเตา และ เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค จะพบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณอากาศหุติภูมิจะทำให้อุณหภูมิภายในเตาที่สูงขึ้นเนื่องจากการจ่ายอากาศหุติภูมิจะช่วยในการหมุนวนทำให้การคลุกเคล้าของอากาศกับแกลบเป็นไปอย่างทั่วถึง

6.1.1 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่า Equivalence ratio เท่ากับ 0.8

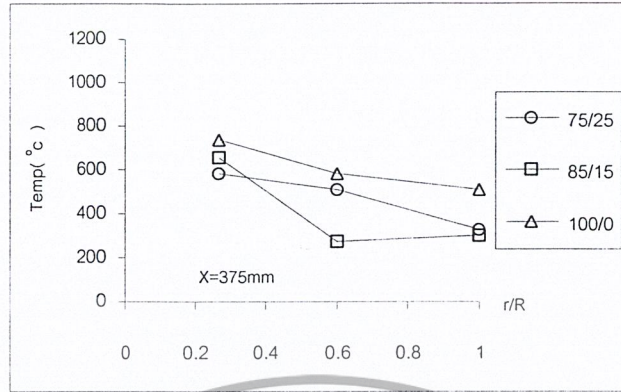


รูปที่ 6.1 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 75 mm



รูปที่ 6.2 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 225 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

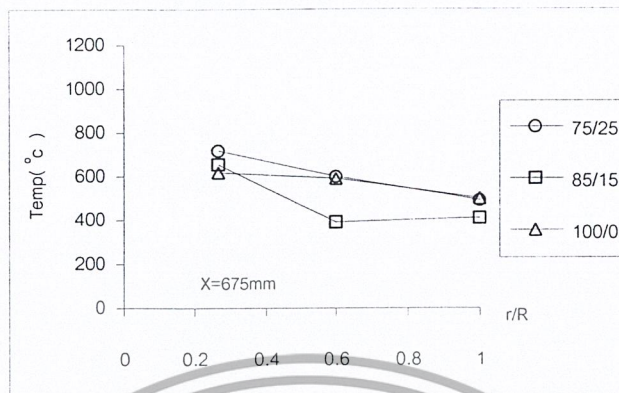


รูปที่ 6.3 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 375 mm



รูปที่ 6.4 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 525 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



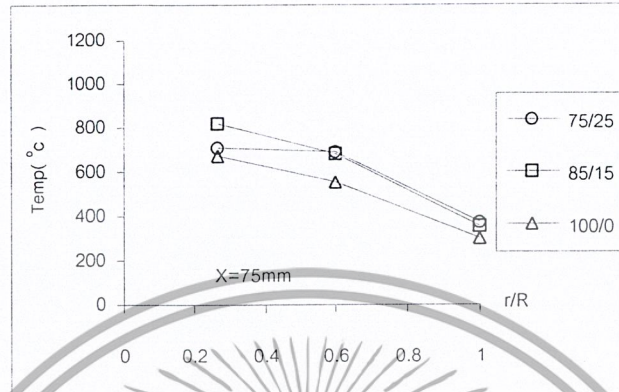
รูปที่ 6.5 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 675 mm



รูปที่ 6.6 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 825 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.2 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่า Equivalence ratio เท่ากับ 1.0

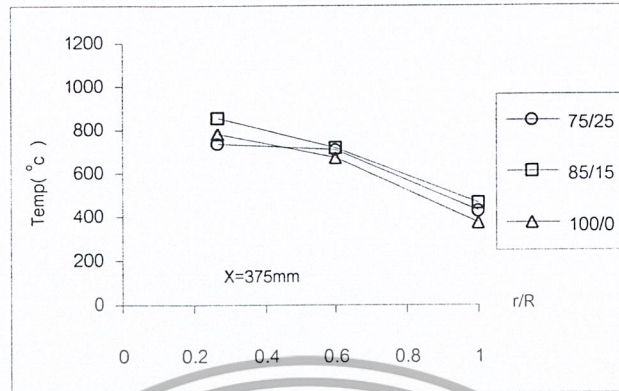


รูปที่ 6.7 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 75 mm

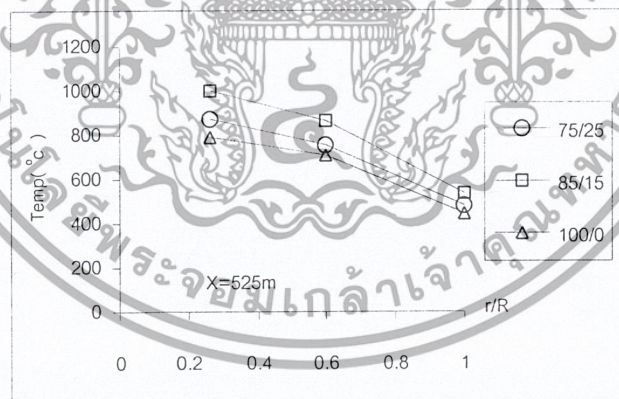


รูปที่ 6.8 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 225 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

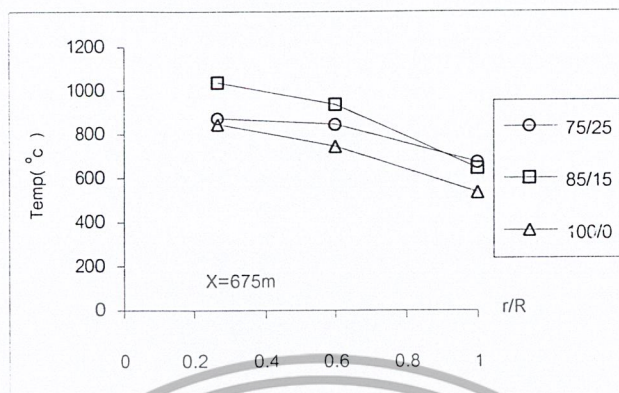


รูปที่ 6.9 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 375 mm



รูปที่ 6.10 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 525 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



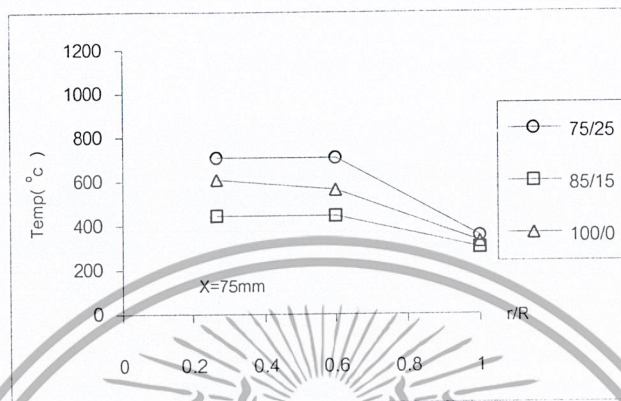
รูปที่ 6.11 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 675 mm



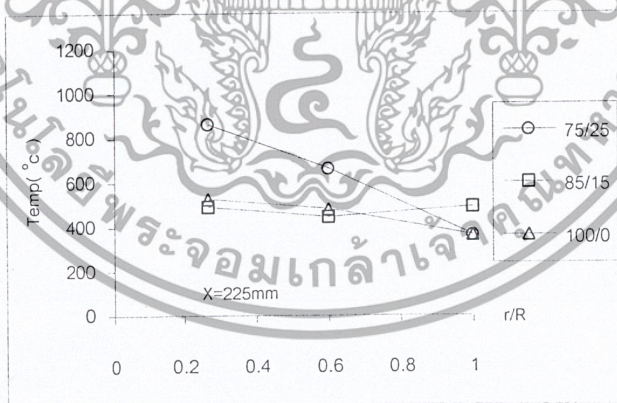
รูปที่ 6.12 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 825 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.3 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่าEquivalence ratio เท่ากับ 1.2

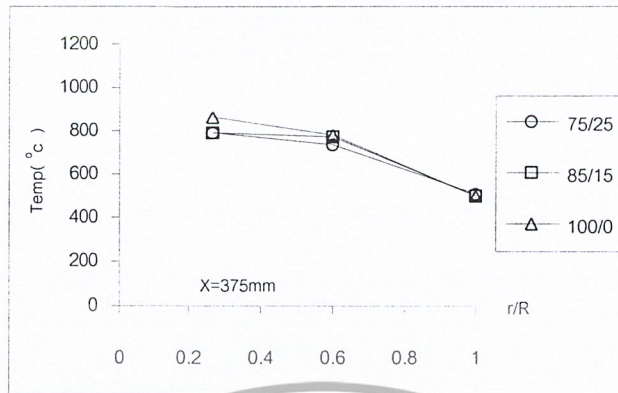


รูปที่ 6.13 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 75 mm



รูปที่ 6.14 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 225 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

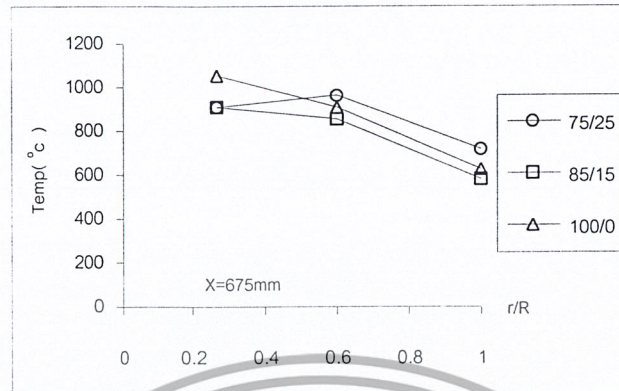


รูปที่ 6.15 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 375 mm

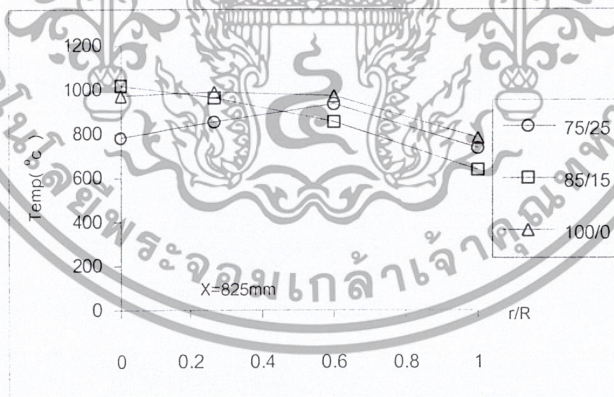


รูปที่ 6.16 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 525 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.17 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 675 mm



รูปที่ 6.18 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 900 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 825 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การทดลองที่เตาขนาดความสูง 1200 mm

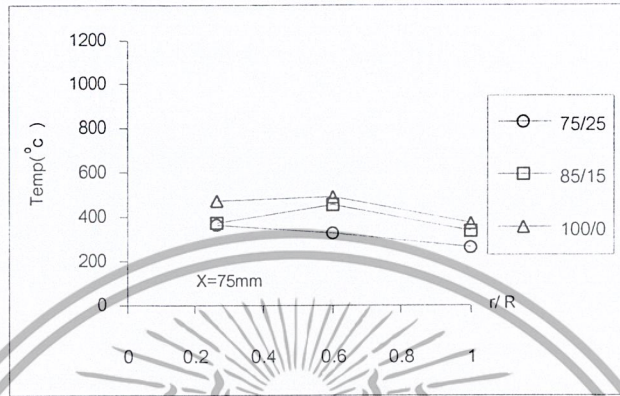
ในการทดลองที่เตาขนาด 1200 mm จะทำการทดลองที่ค่า ϕ 3 ค่า คือ 0.8, 1.0 และ 1.2 ซึ่งในแต่ละค่าของ ϕ จะทำการทดลองที่ λ 3 ค่า คือ 75:25, 85:15 และ 100:0 ซึ่งผลการทดลองจะแสดงในรูปแบบที่ 6.19 ถึง 6.42

กรณีที่ค่า ϕ เท่ากับ 0.8 เมื่อทำการพิจารณาการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค จะพบว่าที่ λ เท่ากับ 75:25 จะให้ลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทคที่สม่ำเสมอทั่วทั้งเตา และ เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค จะพบว่าที่ λ เท่ากับ 75:25 และ 85:15 ให้อุณหภูมิภายในเตาที่สูงกว่า λ เท่ากับ 100:0 เนื่องจากที่ λ เท่ากับ 75:25 และ 85:15 จะมีการจ่ายอากาศทุติยภูมิจะช่วยในการหมุนวนทำให้การคลุกเคล้าของอากาศกับแกลบเป็นไปอย่างทั่วถึง

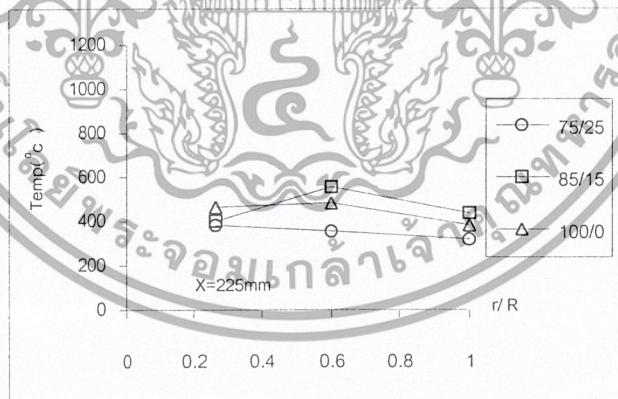
กรณีที่ค่า ϕ เท่ากับ 1.0 เมื่อทำการพิจารณาการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค จะพบว่าที่ λ เท่ากับ 75:25 จะให้ลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทคที่สม่ำเสมอทั่วทั้งเตา และ เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค จะพบว่าที่ระดับความสูง 0 – 780 mm ค่า λ เท่ากับ 75:25 และ 85:15 ให้อุณหภูมิภายในเตาที่สูงกว่า λ เท่ากับ 100:0 เนื่องจากการจ่ายอากาศทุติยภูมิจะช่วยในการหมุนวนทำให้การคลุกเคล้าของอากาศกับแกลบเป็นไปอย่างทั่วถึง แต่ที่ระดับเหนือตำแหน่งท่อแกนกลาง ที่ λ เท่ากับ 100:0 จะให้อุณหภูมิสูงสุดเนื่องจากมีปริมาณแกลบที่เผาไหม้ไม่หมดมากกว่าในกรณีของ λ เท่ากับ 75:25 และ 85:15 จึงทำให้มีการเผาไหม้เกิดขึ้นมากกว่า

กรณีที่ค่า ϕ เท่ากับ 1.2 เมื่อทำการพิจารณาการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค จะพบว่าที่ λ เท่ากับ 75:25 จะให้ลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทคที่สม่ำเสมอทั่วทั้งเตา และ เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค จะพบว่า ค่า λ เท่ากับ 75:25 และ 85:15 ให้อุณหภูมิภายในเตาที่สูงกว่า λ เท่ากับ 100:0 เนื่องจากการจ่ายอากาศทุติยภูมิจะช่วยในการหมุนวนทำให้การคลุกเคล้าของอากาศกับแกลบเป็นไปอย่างทั่วถึง

6.2.1 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่า Equivalence ratio เท่ากับ 0.8

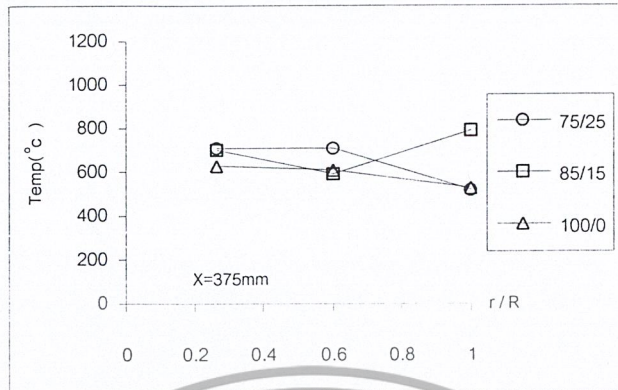


รูปที่ 6.19 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 75 mm

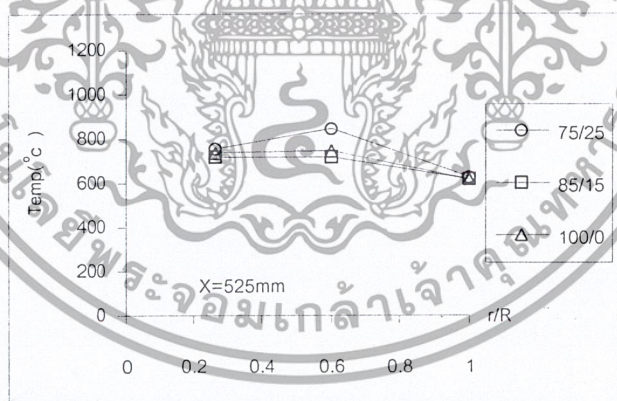


รูปที่ 6.20 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 225 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

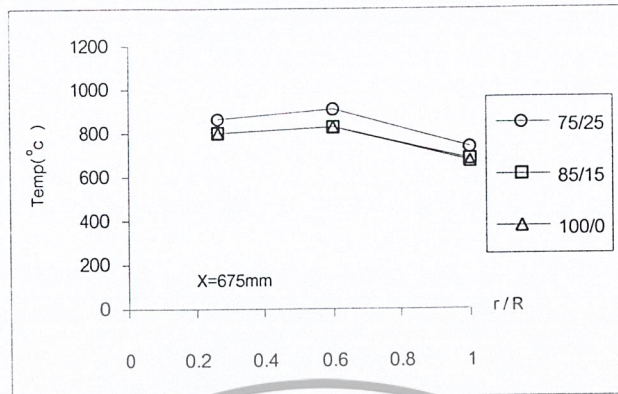


รูปที่ 6.21 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 375 mm

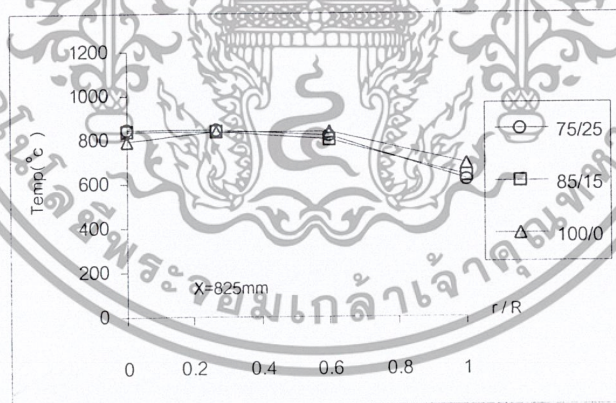


รูปที่ 6.22 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 525 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

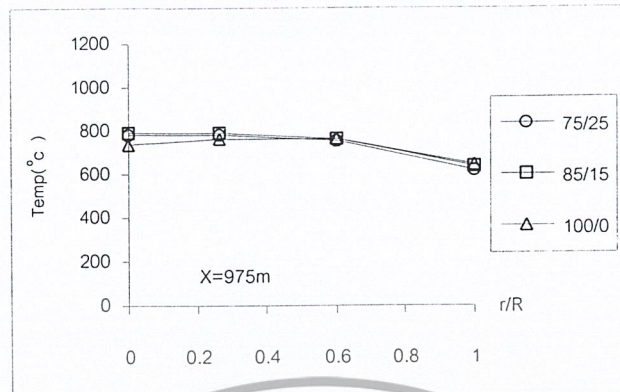


รูปที่ 6.23 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 675 mm



รูปที่ 6.24 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 825 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



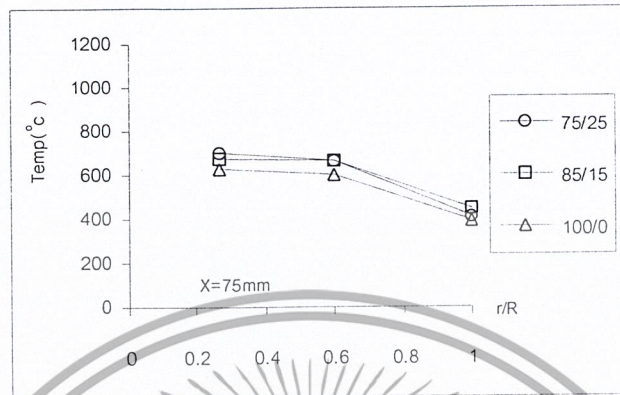
รูปที่ 6.25 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 975 mm



รูปที่ 6.26 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 1125 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่าEquivalence ratio เท่ากับ 1.0

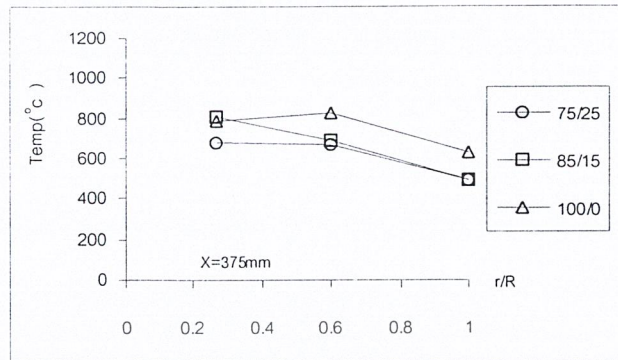


รูปที่ 6.27 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 75 mm



รูปที่ 6.28 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 225 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

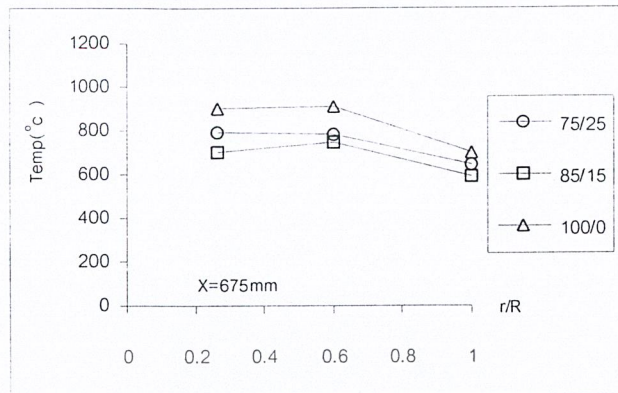


รูปที่ 6.29 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 375 mm



รูปที่ 6.30 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 525 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

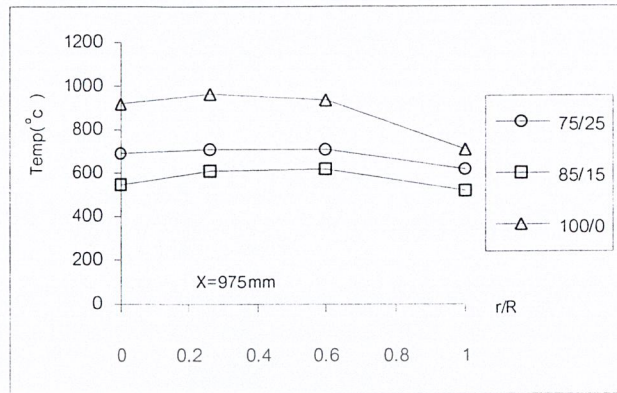


รูปที่ 6.31 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 675 mm



รูปที่ 6.32 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 825 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



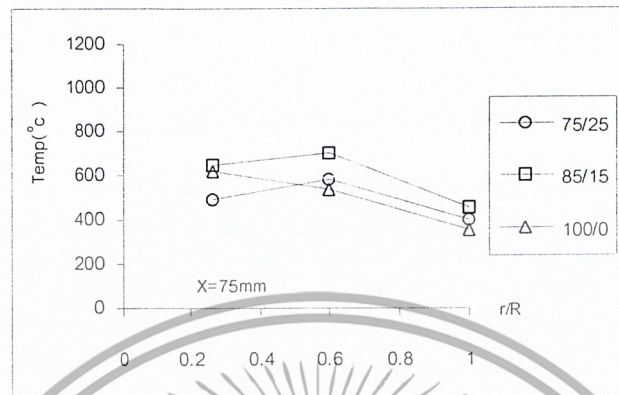
รูปที่ 6.33 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 975 mm



รูปที่ 6.34 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 1125 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.3 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่าEquivalence ratio เท่ากับ 1.2

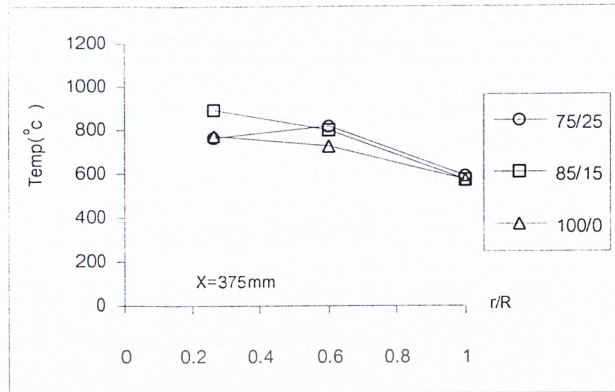


รูปที่ 6.35 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 75 mm



รูปที่ 6.36 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 225 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

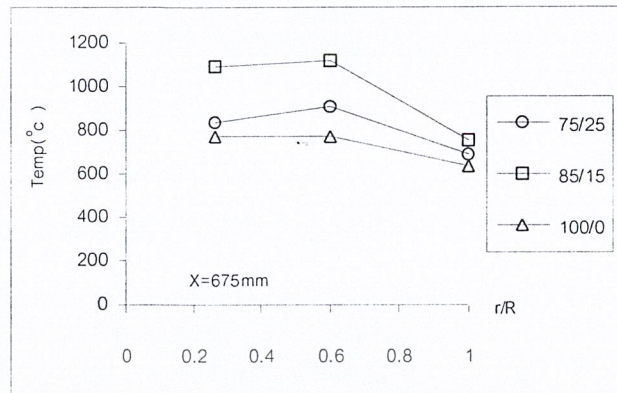


รูปที่ 6.37 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 375 mm



รูปที่ 6.38 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 525 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

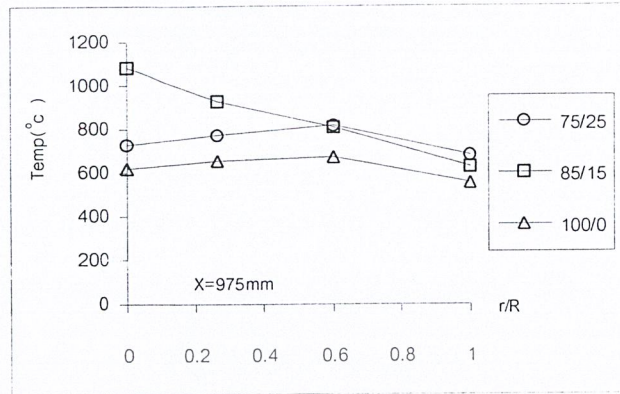


รูปที่ 6.39 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 675 mm



รูปที่ 6.40 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 825 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.41 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 975 mm



รูปที่ 6.42 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1200 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 1125 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

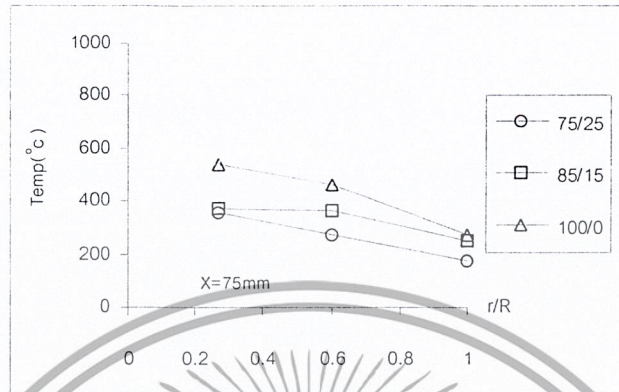
6.3 การทดลองที่เตาขนาด 1500 mm

ในการทดลองที่เตาขนาด 1500 mm จะทำการทดลองที่ค่า ϕ 3 ค่า คือ 0.8, 1.0 และ 1.2 ซึ่งในแต่ละค่าของ ϕ จะทำการทดลองที่ λ 3 ค่า คือ 75:25, 85:15 และ 100:0 ซึ่งผลการทดลองจะแสดงในรูปที่ 6.43 ถึง 6.72

กรณีที่ค่า ϕ เท่ากับ 0.8 และ 1.0 เมื่อทำการพิจารณาการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค จะพบว่าที่ λ เท่ากับ 75:25 จะให้ลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทคที่สม่ำเสมอทั่วทั้งเตา และ เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค จะพบว่าที่ ระดับความสูง 0 – 780 mm ค่า λ เท่ากับ 75:25 และ 85:15 จะให้อุณหภูมิภายในเตาที่สูงกว่า λ เท่ากับ 100:0 เนื่องจากการจ่ายอากาศหุติยภูมิจะช่วยในการหมุนวนทำให้การคลุกเคล้าของอากาศกับแกลบเป็นไปอย่างทั่วถึง แต่ที่ระดับเหนือตำแหน่งท่อแกนกลาง ที่ λ เท่ากับ 100:0 จะให้อุณหภูมิสูงสุดเนื่องจากมีปริมาณแกลบที่เผาไหม้ไม่หมดมากกว่าในกรณีของ λ เท่ากับ 75:25 และ 85:15 จึงทำให้มีการเผาไหม้เกิดขึ้นมากกว่า

ส่วนในกรณีที่ค่า ϕ เท่ากับ 1.2 เมื่อทำการพิจารณาการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค จะพบว่าที่ λ เท่ากับ 75:25 จะให้ลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทคที่สม่ำเสมอทั่วทั้งเตา และ เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค จะพบว่า ค่า λ ทั้ง 3 ค่าจะให้อุณหภูมิภายในเตาที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แสดงว่าในกรณีนี้อากาศหุติยภูมิไม่ค่อยส่งผลกระทบต่อการเผาไหม้

6.3.1 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่าEquivalence ratio เท่ากับ 0.8

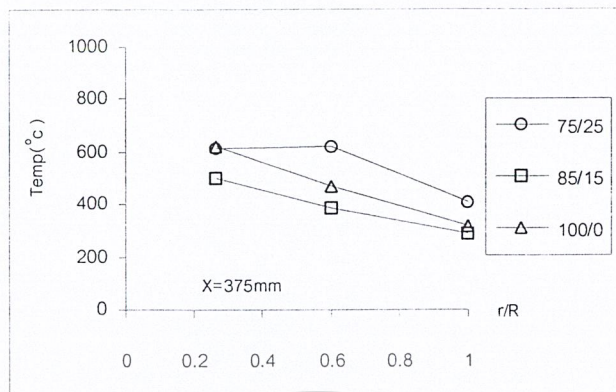


รูปที่ 6.43 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 75 mm



รูปที่ 6.44 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 225 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

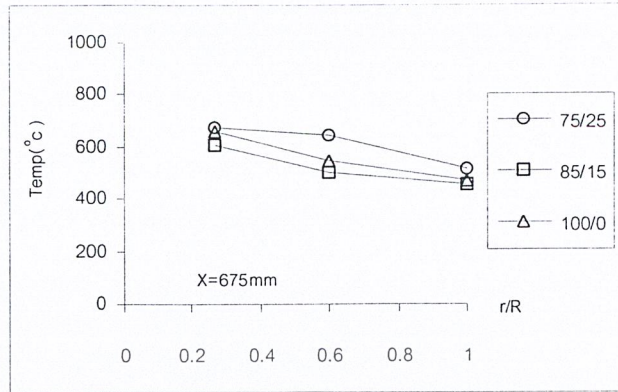


รูปที่ 6.45 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 375 mm



รูปที่ 6.46 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 525 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

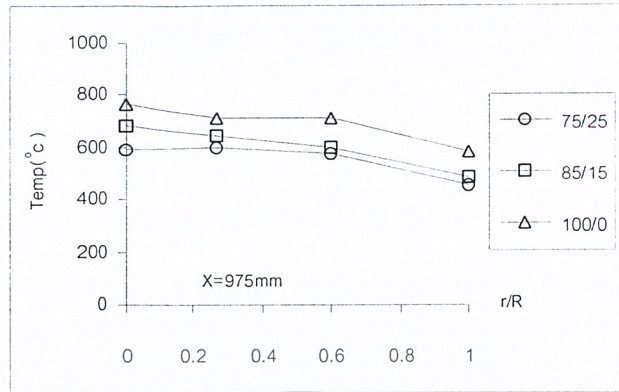


รูปที่ 6.47 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 675 mm



รูปที่ 6.48 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 825 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

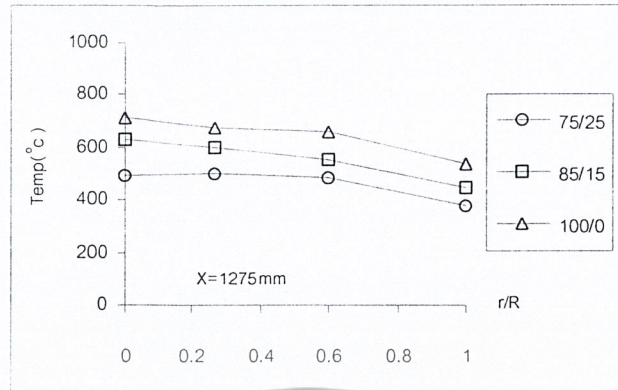


รูปที่ 6.49 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 975 mm



รูปที่ 6.50 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 1125 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



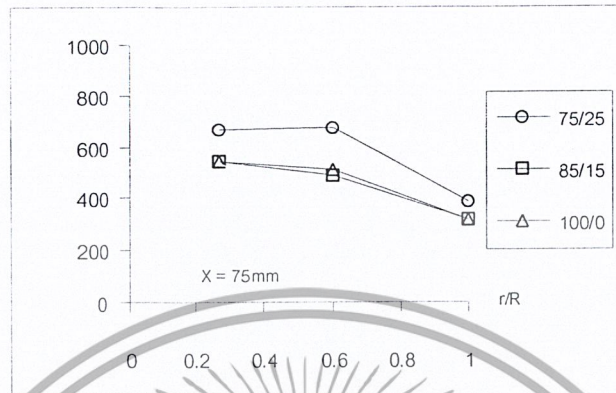
รูปที่ 6.51 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 1275 mm



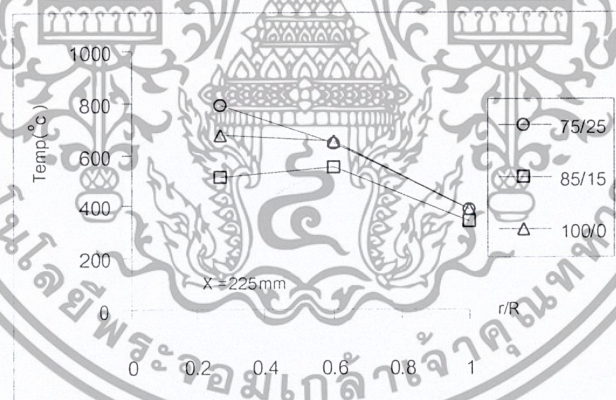
รูปที่ 6.52 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=0.8$ ที่ระดับความสูง 1425 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.2 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่าEquivalence ratio เท่ากับ 1.0

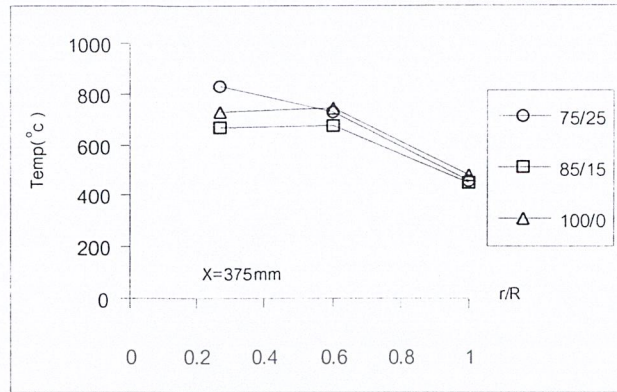


รูปที่ 6.53 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 75 mm



รูปที่ 6.54 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 225 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

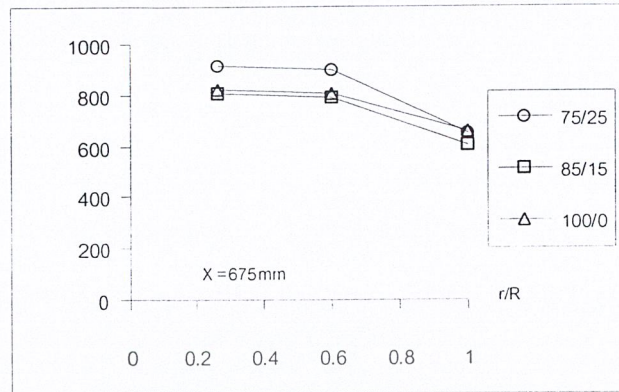


รูปที่ 6.55 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 375 mm



รูปที่ 6.56 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 525 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

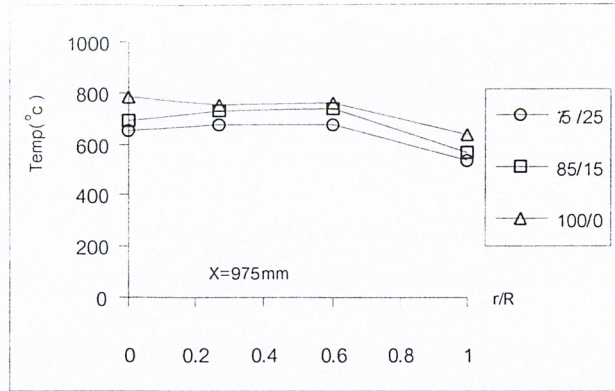


รูปที่ 6.57 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 675 mm



รูปที่ 6.58 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 825 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

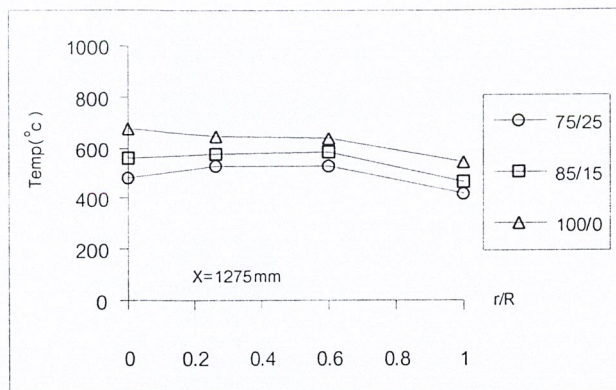


รูปที่ 6.59 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 975 mm

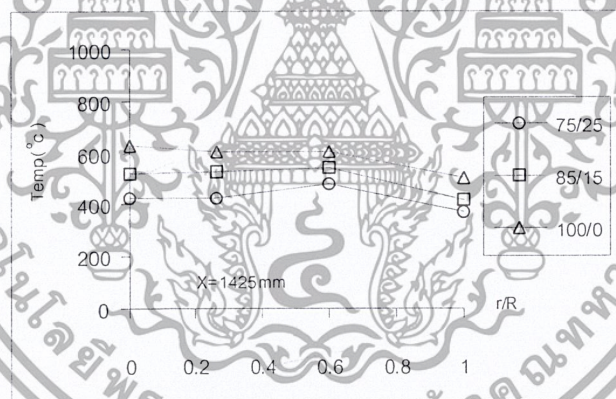


รูปที่ 6.60 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 1125 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



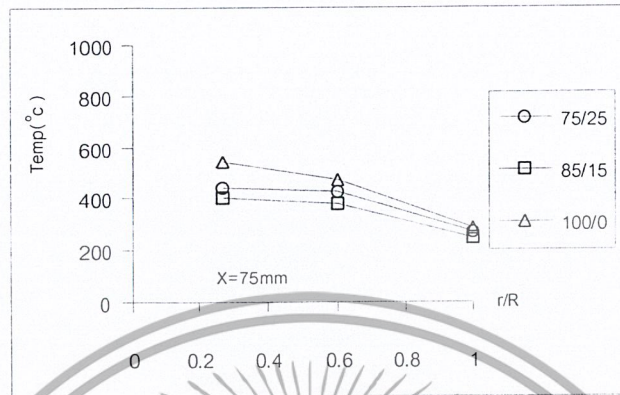
รูปที่ 6.61 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 1275 mm



รูปที่ 6.62 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.0$ ที่ระดับความสูง 1425 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.3 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตา เมื่อค่าEquivalence ratio เท่ากับ 1.2

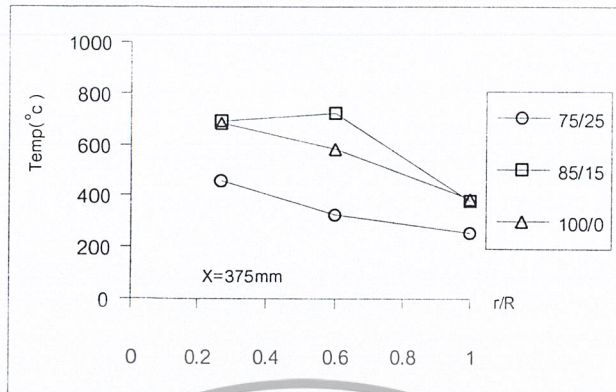


รูปที่ 6.63 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 75 mm



รูปที่ 6.64 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 225 mm

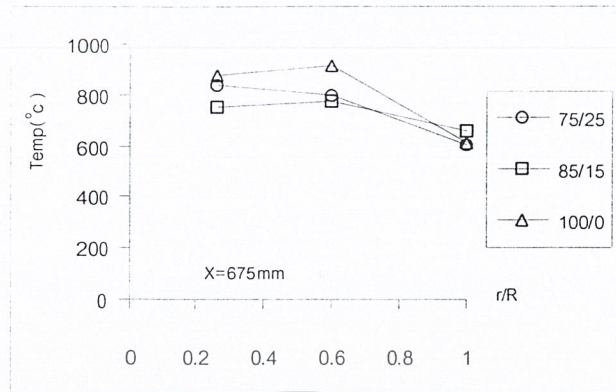
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.65 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 375 mm



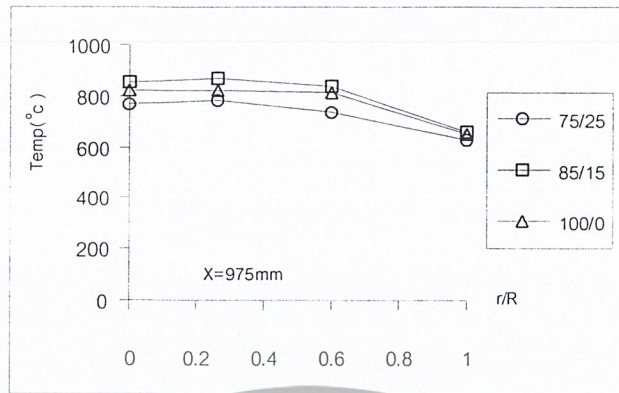
รูปที่ 6.66 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 525 mm



รูปที่ 6.67 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 675 mm



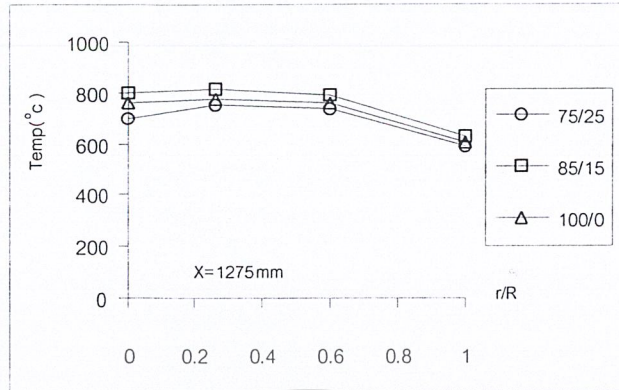
รูปที่ 6.68 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 825 mm



รูปที่ 6.69 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 975 mm



รูปที่ 6.70 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 1125 mm



รูปที่ 6.71 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 1275 mm



รูปที่ 6.72 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขนาด 1500 mm $\phi=1.2$ ที่ระดับความสูง 1425 mm

บทที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุป

ในโครงการนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเตาเผาแบบวอร์เทคโดยใช้เกลบเป็นเชื้อเพลิงในการทำการทดลองซึ่งเป็น เชื้อเพลิงที่มีอยู่มากภายในประเทศไทยและมีราคาถูก เพื่อนำมาเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของแหล่งพลังงานแหล่งใหม่โดยการทดลองมุ่งเน้นศึกษาไปที่ อัตราส่วนสมมูล, อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศปฐมภูมิต่ออากาศทุติยภูมิ, และขนาดความสูงของเตาเผาแบบวอร์เทค จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การศึกษาถึงอัตราส่วนสมมูล(Equivalence Ratio, ϕ)ที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ จากการคำนวณพบว่าอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงแกลบทางทฤษฎีเท่ากับ 4.850 : 1 โดยมวล (โดยในโครงการกำหนดให้อัตราการไหลเชื้อเพลิงแกลบในถังที่เท่ากับ 0.3 kg/min) โดยทำการทดลองที่ $\phi = 0.8, 1.0$ และ 1.2 จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองเท่ากับปริมาณอากาศทางทฤษฎี($\phi = 1.0$)สามารถทำให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทคดีกว่ากรณี $\phi = 0.8$ และ 1.2

2. การศึกษาถึงอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศปฐมภูมิต่ออากาศทุติยภูมิที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ โดยทำการทดลองที่อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศปฐมภูมิต่ออากาศทุติยภูมิเท่ากับ 100 : 0, 85 : 15 และ 75 : 25 โดยการจ่ายอากาศส่วนที่ 2 จะถูกจ่ายอากาศในแนวสัมผัสกับผนังด้านในของเตาเผาแบบวอร์เทคซึ่งจะช่วยทำให้เกิด การเผาไหม้แบบหมุนวนภายในเตาเผาแบบวอร์เทค ซึ่งส่งผลดีต่อการเผาไหม้ 2 ประการหลักๆ คือ ประการแรกจะช่วยทำให้เกิดการผสมหรือการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเชื้อเพลิงแกลบกับอากาศมากขึ้น ประการที่ 2 เป็นการเพิ่มระยะเวลาในการเผาไหม้ภายในเตาเผาแบบวอร์เทคให้นานมากขึ้น ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนอากาศส่วนที่ 1 ต่ออากาศส่วนที่ 2 เท่ากับ 75 : 25 จะทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทคดีกว่า อัตราส่วนอากาศส่วนที่ 1 ต่ออากาศส่วนที่ 2 เท่ากับ 100 : 0 และ 85 : 15

3. การศึกษาถึงขนาดความสูงของเตาเผาแบบวอร์เทคที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ โดยทำการทดลองที่ขนาดความสูงเตาเผาแบบวอร์เทค เท่ากับ 900. mm, 1200 mm. และ 1500mm. จากการทดลองพบว่าเมื่อขนาดความสูงเตาเผาแบบวอร์เทค เท่ากับ 1200 mm. สามารถทำให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทคดีกว่าเตาเผาแบบวอร์เทคขนาดความสูงเท่ากับ 900mm. และ 1500 mm. ทั้งนี้เป็นเพราะว่าขนาดความสูงเตาเผาแปรผันตรงกับระยะเวลาในการเผาไหม้ โดยขนาดความสูงของเตาเผาแบบวอร์เทค ที่สั้นเกินไปจะทำให้ระยะเวลาในการเผาไหม้ลดลงซึ่งส่งผลทำให้เชื้อเพลิงแกลบบางส่วนที่ยังเผาไหม้ไม่เสร็จสิ้นหลุดออกไปทางท่อทิ้งก่อน ทำให้ได้ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบไม่เต็มที่ แต่ในทางกลับกันกรณีที่ขนาดความสูงของเตาเผาแบบวอร์เทคที่สูงเกินไป แม้จะส่งผลทำให้ระยะเวลาในการเผาไหม้จะเพิ่มขึ้น แต่ก็จะทำให้ความร้อนบางส่วนถ่ายเทไปยังส่วนบนที่ไม่มีเผาไหม้ ทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิก่อนข้างกว้างและมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาตัวแปรทั้งหมดจากการทดลองพบว่าที่เตาเผาแบบวอร์เทคขนาดความสูง 1200 mm., $\phi = 1.0$ และอัตราส่วนระหว่าง อัตราส่วนเชิงปริมาตรของอากาศปฐุมภูมิต่ออากาศหุติยภูมิ เท่ากับ 75 : 15 ทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาสม่ำเสมอ คว้นที่เกดขึ้นมีปริมาณน้อย มีการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง ชี้เถ้าที่ออกมามีสีดำปนเทา

7.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเตาเผาออร์เทคนี้เป็นโครงการเริ่มต้น ซึ่งการทดลองมุ่งเน้นในการศึกษาถึงขนาดความสูงของเตาเผาแบบวอร์เทค, อัตราส่วนสมมูล และอัตราส่วนระหว่างอัตราส่วนเชิงปริมาตรอากาศปฐุมภูมิต่ออากาศหุติยภูมิ โดยพิจารณาจากการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค และสังเกตคว้น และชี้เถ้าที่เกดจากการเผาไหม้ ซึ่งเป็นการศึกษาตัวแปรต่างๆ ในระดับหนึ่ง ฉะนั้นแล้วจึงควรมีการศึกษาในสัดส่วนที่ละเอียดขึ้นรวมถึงการศึกษาถึงตัวแปรอื่นๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบให้ได้เตาเผาแบบวอร์เทคที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1. ศึกษาถึงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาและปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เมื่อมีการหุ้มนวนอย่างดี
2. ศึกษาถึงขนาดความสูงของเตาเผาแบบวอร์เทค โดยศึกษาช่วงขนาดความสูงที่ละเอียดมากขึ้นกว่าเดิม
3. ศึกษาถึงอัตราส่วนสมมูล โดยศึกษาให้มีช่วงของอัตราส่วนสมมูลที่ละเอียดมากขึ้นกว่าเดิม
4. ศึกษาถึงอัตราส่วนระหว่างอัตราส่วนเชิงปริมาตรอากาศปฐุมภูมิต่ออากาศหุติยภูมิ โดยศึกษาให้มีช่วงอัตราส่วนกว้างกว่าเดิม
5. ศึกษาถึงอิทธิพลของความสูงของท่อทั้งต่อการเผาไหม้ภายในเตาเผาแบบวอร์เทค
6. ศึกษาถึงการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่นๆ เช่น ชี้เฝอย ฟางข้าว ชานอ้อยกับเตาเผาแบบวอร์เทค
7. คิดตั้งระบบแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อหาประสิทธิภาพของเตา

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ ก-1

ความสูงเตา 900 mm Equivalence ratio 0.8

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 75:25

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	462.5	451	443.5	452.33
		9	374.1	357.4	350.9	360.8
		15	258.5	242.1	229.1	243.23
2	225	4	416.4	410.7	406.7	411.267
		9	335.8	315.8	300	317.2
		15	256	245.1	235.3	245.67
3	375	4	591.9	579.5	585.8	585.73
		9	538.7	514.1	476.4	509.73
		15	353.9	325.2	304.5	327.867
4	525	4	611.6	676.7	723.3	670.53
		9	514	489.1	467.6	490.23
		15	398.8	386.8	373.7	386.43
5	675	4	665.7	733.9	764.3	721.3
		9	613.7	597	590.6	600.43
		15	505.2	492.7	482.7	493.53
6	825	0	728.6	737.1	653.5	706.4
		4	597.6	621.5	647.1	622.067
		9	622.9	604.1	617.2	614.73
		15	566.1	563.8	562.4	564.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2

ความสูงเตา 900 mm Equivalence ratio 0.8

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 85:15

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	449.4	476.8	496.8	474.33
		9	334.5	367.6	379.2	360.43
		15	264.4	231.8	228	241.4
2	225	4	357.7	415.5	488.8	420.67
		9	459.2	426.5	420.7	435.467
		15	338.5	296.7	279.4	338.2
3	375	4	624.5	656.9	671.1	650.83
		9	320.9	260.9	227.4	269.73
		15	268.7	297	320.8	295.5
4	525	4	319.9	351.4	397.2	356.167
		9	383.2	339.7	321.2	348.033
		15	319.9	351.4	397.2	356.167
5	675	4	676.5	694.5	603.2	658.067
		9	424.8	388.4	373.3	395.3
		15	374.8	413.9	437.6	408.767
6	825	0	412.3	374	379.5	388.6
		4	518.4	574.6	552.3	548.43
		9	451.1	420.9	409.4	427.13
		15	417.4	431	448.8	432.4

ตารางที่ ก-3

ความสูงเตา 900 mm Equivalence ratio 0.8

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 100 : 0

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5_min	7_min	9_min	average
1	75	4	646	643.5	640.5	643.33
		9	597.96	600	596.8	598.13
		15	375.7	353.7	338	355.8
2	225	4	582.3	615.4	630.5	609.4
		9	503.2	461	438.7	467.63
		15	375	373.7	372.3	373.67
3	375	4	725.9	741	746.7	737.867
		9	603	575.3	567	581.767
		15	507	508.7	507.9	507.867
4	525	4	608.7	625.6	645.4	626.567
		9	575.7	566.3	570.7	570.9
		15	477.3	473	470.3	473.53
5	675	4	591	617.2	634.4	614.2
		9	588.3	580.8	590.5	586.53
		15	503.2	500.9	500	501.367
6	825	0	620.9	612.1	616.6	616.467
		4	660.9	681.8	687.9	676.867
		9	639.6	631.8	630.8	634.067
		15	533.5	526.1	519.1	526.23

ตารางที่ ก-4

ความสูงเตา 900 mm Equivalence ratio 1.0

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 75 : 25

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5_min	7_min	9_min	average
1	75	4	693.1	712.1	727.2	710.8
		9	702.6	692.1	691.1	695.267
		15	409.1	368.3	351.6	376.33
2	225	4	844.4	833.5	866.7	848.2
		9	702.3	667.8	652.7	674.267
		15	426.4	387	363.3	392.23
3	375	4	709.7	729.7	766.3	735.23
		9	710.9	711.2	707.7	709.93
		15	458.1	418.7	400.7	425.83
4	525	4	864.3	866.2	898.5	876.33
		9	795.7	745.6	727.2	756.167
		15	505.8	476.3	464.8	482.3
5	675	4	849.9	865.8	898.5	871.4
		9	862.5	848.3	837.8	849.53
		15	682.3	681.2	666	676.567
6	825	0	686	704.1	734.1	708.067
		4	782.5	795.2	833.1	803.6
		9	823.9	850.6	876	850.167
		15	739	725.6	727.6	730.73

ตารางที่ ก-5

ความสูงเตา 900 mm Equivalence ratio 1.0

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 85 : 15

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	818	819.9	827.4	821.767
		9	702	679	665.5	682.167
		15	377	344.4	331	350.8
2	225	4	660.3	652.8	662.2	658.43
		9	500	465.6	443.7	469.767
		15	311	287.1	276	291.367
3	375	4	850.8	857.7	862.7	857.067
		9	724.2	716	711.4	717.2
		15	482.1	463.1	453.7	466.3
4	525	4	565	530.1	515.4	536.83
		9	861.7	871.1	866	866.267
		15	565	530.1	515.4	536.83
5	675	4	1045.2	1055.1	1001.6	1033.967
		9	944.8	949.5	913.2	935.83
		15	667.6	639.4	621.2	642.73
6	825	0	1079.1	1080.6	1018	1059.23
		4	1026.1	1036.7	990.2	1017.67
		9	893.6	869	862.6	875.067
		15	722.4	698.7	683.8	701.63

ตารางที่ ก-6

ความสูงเตา 900 mm Equivalence ratio 1.0

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 100 : 0

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	657.3	670.9	678.5	668.9
		9	575.1	556.6	544.5	558.73
		15	313.9	295.8	277.7	295.8
2	225	4	607.4	612.8	635.2	618.467
		9	584.2	523.4	506.8	538.13
		15	334.3	316.8	296.1	315.73
3	375	4	782.2	777.9	792.3	784.13
		9	719	647	638.9	668.3
		15	396.8	376.4	352	375.067
4	525	4	792.7	788.5	796.6	792.6
		9	724	721.9	677.1	707.67
		15	459	444.3	440	447.767
5	675	4	845.8	843.5	842.3	843.867
		9	732.2	752.8	752.8	745.93
		15	540.3	541.5	531.5	537.767
6	825	0	780.7	781.4	756	772.7
		4	787.2	750.3	785.3	774.267
		9	732.8	736	739.9	736.23
		15	555.9	551.9	545.3	551.03

ตารางที่ ก-7

ความสูงเตา 900 mm Equivalence ratio 1.2

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 75 : 25

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	703.4	714.3	721.1	712.93
		9	710.2	712.2	712.5	711.63
		15	373.2	350.6	336.5	353.43
2	225	4	874.2	858.5	845.3	859.3
		9	686.1	662.3	647.2	665.2
		15	380.7	365	354.7	366.8
3	375	4	781.7	788	793.9	787.867
		9	743	739.8	739.6	740.8
		15	516.6	505	495.2	505.6
4	525	4	893.5	909.5	919.6	907.53
		9	962.3	957.1	950.5	956.63
		15	641.9	625.7	612.4	626.67
5	675	4	894.6	907.9	919.7	907.3
		9	970.6	958	954.1	960.9
		15	717.4	720.1	722.1	719.867
6	825	0	765.6	777.1	791.4	778.03
		4	846.1	853.9	863.1	854.367
		9	928.4	932.5	937.6	932.83
		15	729.4	734.6	739.9	734.63

ตารางที่ ก-8

ความสูงเตา 900 mm Equivalence ratio 1.2

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 85 : 15

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	441.6	444.6	446.1	444.1
		9	447.9	447.5	446.9	447.43
		15	306.7	295.3	285.6	295.867
2	225	4	489.4	483.8	487.3	486.83
		9	447.2	443.2	441.2	443.867
		15	334.7	323	312.6	323.43
3	375	4	783.7	792.2	795.6	790.5
		9	782.4	775.5	767	775.03
		15	513.3	496.7	482.7	497.567
4	525	4	994.2	997.1	994.6	995.3
		9	889.1	853.6	837.6	860.1
		15	588.3	572	559.8	573.367
5	675	4	902.5	917.3	917.9	912.567
		9	865.8	848.3	835.6	855.9
		15	596.5	580.6	569.1	582.067
6	825	0	1005.2	1026.2	1028	1019.8
		4	978.2	960.3	951.8	963.43
		9	862.4	859.1	853.8	858.43
		15	655.7	634	619.6	636.43

ตารางที่ ก-9

ความสูงเตา 900 mm Equivalence ratio 1.2

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 100 : 0

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	603.2	609	613.5	608.567
		9	573.7	566.4	557.5	565.867
		15	345.6	330	316.4	330.67
2	225	4	520	525.2	528.9	524.7
		9	487.7	480.6	477.8	482.03
		15	373.6	362	351.7	362.43
3	375	4	854.8	859.3	863.6	859.23
		9	793.1	780.2	772.2	781.83
		15	520.8	503.5	488.4	504.23
4	525	4	1001.9	1031.8	1037.8	1023.833
		9	960.6	955.6	952.7	956.3
		15	662.9	643.3	625.3	643.83
5	675	4	1070.7	1055.8	1044.1	1056.867
		9	925.8	906	895.1	908.967
		15	641.8	625.1	609.5	625.467
6	825	0	973	969	970.1	970.7
		4	983.2	990.3	1005	992.83
		9	974.3	972.1	973	973.13
		15	792.8	779.7	768.7	780.4

ตารางที่ ก-10

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 0.8

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 75 : 25

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	362.1	365	362	363.03
		9	341.4	325.7	311.6	326.23
		15	285	266.2	251.2	267.467
2	225	4	377.1	386.9	377.2	380.4
		9	358.1	346.5	367.5	357.367
		15	350	319.6	297.5	322.367
3	375	4	673.7	715.5	748.5	712.567
		9	730.2	702.2	694	708.8
		15	578	507.8	463.3	516.367
4	525	4	755	755.2	755.6	755.267
		9	830.5	849.2	865.5	848.4
		15	697.4	617.9	574.2	629.83
5	675	4	854.1	861.4	876.6	864.03
		9	903.1	907.4	905.6	905.367
		15	800	727.9	681.5	736.467
6	825	0	834.3	848.7	861.2	848.067
		4	851.3	843.2	846.7	847.067
		9	815.2	814	813.4	814.2
		15	664.3	615.4	584.8	621.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-10(ต่อ)

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 0.8

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 75 : 25

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
7	975	0	769.1	779.4	783.6	777.367
		4	784.9	784.1	785.5	784.83
		9	762.6	760.4	752	758.33
		15	658.5	614.7	587.4	620.2
8	1125	0	723.8	730	731.3	728.367
		4	738.9	740.2	739.5	739.53
		9	723.6	720.3	713	718.967
		15	626.2	579.5	545.7	583.8

ตารางที่ ก-11

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 0.8

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 85 : 15

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	321.5	375.1	421.4	372.67
		9	448	452.4	456.2	452.2
		15	385.5	334.9	305.4	332.93
2	225	4	351.5	401.9	457.7	403.7
		9	529	555.7	590.3	558.33
		15	502.4	431.2	387.2	440.267
3	375	4	672.9	697.9	715.8	695.53
		9	624	563.4	587.3	591.567
		15	525.4	491.7	469.1	495.4
4	525	4	696.5	715.7	730.4	714.2
		9	724.2	708.6	732.7	721.83
		15	651.2	606.1	586.3	614.53
5	675	4	757.1	807.1	832.2	798.8
		9	842.5	818.9	831.7	831.03
		15	746.3	677.1	629	684.13
6	825	0	816	840.1	851.1	835.73
		4	841.7	834.2	838.9	838.267
		9	821.3	793	798.6	804.3
		15	678.4	624	598.5	633.63

ตารางที่ ก-11(ต่อ)

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 0.8

อัตราการป้อนแก๊ส 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 85 : 15

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
7	975	0	770.4	789.9	805.7	788.67
		4	792.3	782	790.4	788.23
		9	777.7	760.1	757.6	765.13
		15	679.6	637.5	604.9	640.67
8	1125	0	729.3	745.8	758.6	744.567
		4	754.1	748.3	753.4	751.93
		9	743.5	731	730.7	735.067
		15	645.9	598.1	564.5	602.83

ตารางที่ ก-12

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 0.8

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 100 : 0

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	442.6	464.5	498.2	468.43
		9	491.7	480.4	489.5	487.2
		15	423.3	362.9	335.9	374.03
2	225	4	430.2	447.7	521.6	466.5
		9	522.4	470.1	443	478.5
		15	408	380	361.6	383.2
3	375	4	604.2	619.3	648.2	623.93
		9	626.1	607.4	603.1	612.2
		15	557	515.3	498.7	523.67
4	525	4	721.7	736.3	752.1	736.7
		9	751.7	746.9	725.3	741.3
		15	657.4	616.4	584.8	619.53
5	675	4	806.9	798.1	806.4	803.8
		9	830.5	827.3	816.8	824.867
		15	716.3	668	642.8	675.7
6	825	0	767.7	784.3	813.6	788.53
		4	821.1	832.5	839.2	831.93
		9	840	838.4	818.6	832.33
		15	728.5	684.4	660.8	691.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-12(ต่อ)

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 0.8

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 100 : 0

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
7	975	0	717.9	740.1	753.8	737.267
		4	756.6	764.6	774.3	765.167
		9	778.1	770.1	755.5	767.9
		15	686.5	642.9	612.1	647.167
8	1125	0	689.2	703.1	718	703.43
		4	718.1	725.7	735.6	726.467
		9	736.7	729.5	718.2	728.13
		15	646.2	597.7	564.7	602.867

ตารางที่ ก-13

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 1.0

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 75 : 25

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	679.5	698.3	711.4	696.4
		9	687.7	659.7	635.1	660.833
		15	479	390.5	360.5	410
2	225	4	527.9	533.2	533	531.367
		9	500.8	477.7	456.6	478.367
		15	398.2	355.5	337.5	363.73
3	375	4	651.3	680.1	704.7	678.7
		9	685.1	668	656.3	669.8
		15	546.6	480.1	455.6	494.1
4	525	4	886.4	887.5	881.4	885.1
		9	841.7	828.3	852.4	840.8
		15	707.9	645.6	633.3	662.267
5	675	4	775.5	791.3	803.1	789.67
		9	779.7	770.1	797.6	782.467
		15	687.4	628	617.8	644.4
6	825	0	755.5	758.9	766.7	760.367
		4	760.5	772.7	780.7	771.3
		9	740.3	743.9	750.2	744.8
		15	694.1	662.3	631.6	662.67

ตารางที่ ก-13(ต่อ)

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 1.0

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 75 : 25

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R.) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
7	975	0	683.5	688	690.8	687.43
		4	695.2	705.3	716.7	705.73
		9	710.6	708.7	712.8	710.7
		15	638.8	615.3	595.3	616.467
8	1125	0	636.1	641.5	644	640.53
		4	645.8	651.4	659.3	652.167
		9	664	662.7	666.3	664.33
		15	596.5	554.6	529.5	560.2

ตารางที่ ก-14

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 1.0

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 85 : 15

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	669.7	670.1	676.3	672.03
		9	666.6	664.3	669.7	666.867
		15	488.1	434.2	405.1	442.467
2	225	4	730.8	731.8	749.2	737.267
		9	810.5	838.8	855.5	834.93
		15	578.3	499.1	450.1	509.167
3	375	4	797.2	807.6	810.6	805.13
		9	720.2	681.7	649.1	683.67
		15	527.2	485.8	460.8	491.267
4	525	4	726.4	757.2	770	751.2
		9	734.1	733.9	768.6	745.53
		15	649.1	592.3	551.3	597.567
5	675	4	674.8	701.6	730.2	702.2
		9	746.3	740.4	742.8	743.167
		15	622.2	585.8	555.4	587.8
6	825	0	634.4	657.3	688.5	660.067
		4	719.5	722.8	728.6	723.63
		9	716	709.1	683.5	702.867
		15	645	613.8	594.8	617.867

ตารางที่ ก-14(ต่อ)

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 1.0

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 85 : 15

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5_min	7_min	9_min	average
7	975	0	526.2	541.6	561.1	542.967
		4	596.8	613.5	629.8	613.367
		9	635.7	623.3	600.2	619.73
		15	548.6	512.2	493.2	518
8	1125	0	474.9	487.8	504.1	488.93
		4	538.4	555.8	572.4	555.53
		9	584.8	577.1	560.2	574.03
		15	510.6	469.8	444.1	474.83

ตารางที่ ก-15

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 1.0

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 100 : 0

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	592.2	618.1	665.4	625.23
		9	633.9	600.7	577.9	604.167
		15	451.1	383.8	344.2	393.03
2	225	4	620.5	652	686.4	652.967
		9	653.4	637.3	620.5	637.067
		15	501.3	436.6	396.8	444.9
3	375	4	768.4	782.3	802	784.23
		9	820.6	835.9	828.1	828.2
		15	672.7	625.6	603.7	634
4	525	4	824.1	829.5	834.2	829.267
		9	805	780.4	769.1	784.83
		15	614.4	555.4	522.9	564.23
5	675	4	880	899.9	922.1	900.67
		9	914.7	906.6	904.5	908.6
		15	731.9	684.6	672.4	696.3
6	825	0	961.4	974.5	987.3	974.4
		4	1034.2	1025.2	1033.7	1031.03
		9	962.2	947.6	937.2	949
		15	783.4	730.6	697	737

ตารางที่ ก-15(ต่อ)

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 1.0

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 100 : 0

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
7	975	0	912.9	916.7	934.9	921.5
		4	959.2	945.2	977.9	960.767
		9	963.8	926.7	910.6	933.7
		15	755.8	702.9	662.6	707.1
8	1125	0	860.9	861.5	876.2	866.2
		4	888.1	896.8	909.1	898
		9	898	889.8	893.3	893.7
		15	768.4	723.8	702	731.4

ตารางที่ ก-16

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 1.2

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 75 : 25

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	449.3	494.6	542.2	495.367
		9	581.7	583.8	586.9	584.13
		15	460.5	391.2	352	401.23
2	225	4	680.4	749.4	811.8	747.2
		9	847.9	825.2	802.2	825.1
		15	594.8	503.1	446	514.63
3	375	4	733	760.5	799.7	764.7
		9	882.2	823.8	811.8	819.267
		15	659.2	581.5	529.2	589.967
4	525	4	809.7	820.9	835.9	822.167
		9	863.7	894.4	936.6	898.23
		15	720.4	657.9	613.5	663.93
5	675	4	819.9	839.2	861.5	840.2
		9	901.4	911.4	916.8	909.867
		15	737.8	681.4	665	694.73
6	825	0	786.1	811.3	834.1	810.5
		4	868.9	889.8	896.5	885.067
		9	931.5	917.9	918.1	922.5
		15	821.2	766.7	754.4	780.767

ตารางที่ ก-16(ต่อ)

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 1.2

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 75 : 25

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
7	975	0	712.9	721.9	738.5	724.43
		4	760	769.7	776.4	768.7
		9	819	822	821.4	820.8
		15	725.9	671.6	646.3	681.267
8	1125	0	680.6	686.1	697.3	688
		4	709.3	715.9	721.3	715.5
		9	740.8	749	751.9	747.23
		15	660.4	603.5	576.2	613.367

ตารางที่ ก-17

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 1.2อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 85 : 15

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	604.3	639.3	690.9	644.83
		9	706.1	698.7	695.1	699.967
		15	512.1	446.6	409.1	455.93
2	225	4	748.5	788.9	852.6	796.67
		9	856.9	822.5	802.8	827.4
		15	596	525.2	480	533.73
3	375	4	892.9	884.7	883.5	887.03
		9	833.1	799	781.2	804.43
		15	617	572	540.6	576.53
4	525	4	939.2	944.6	956.6	946.8
		9	890.7	878.8	922.9	897.467
		15	677.2	613.5	569.3	620
5	675	4	1084.3	1095.8	1105.7	1095.267
		9	1109.3	1119.6	1129.7	1119.53
		15	819.3	754	698.5	757.267
6	825	0	1110.9	1135.1	1175	1140.33
		4	1163.4	1131	1115.8	1136.73
		9	1021.5	980.2	948.1	983.267
		15	827.5	770.7	739.7	779.3

ตารางที่ ก-17(ต่อ)

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 1.2

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 85 : 15

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
7	975	0	1061.4	1081.4	1102.3	1081.7
		4	972.7	914.9	890.1	925.9
		9	826.6	809.3	794.5	810.13
		15	685.1	622.8	585	630.967
8	1125	0	947.5	944.1	937	942.867
		4	888.8	862.4	845	865.4
		9	802.2	786	770.4	786.2
		15	683	625	590.6	632.867

ตารางที่ ก-18

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 1.2

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 100 : 0

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	622.3	621	618.6	620.63
		9	572.2	530	511.4	537.867
		15	393.2	348.1	323	354.767
2	225	4	669.8	655.6	643.8	656.4
		9	596.8	551.1	542.6	563.5
		15	436.5	393	364.5	398
3	375	4	756.5	775.1	795.9	775.83
		9	658	758.4	764.7	727.03
		15	598.2	564.8	542.7	568.567
4	525	4	797.4	820.5	805.3	807.73
		9	778.4	808.1	831.5	806
		15	664.5	622.3	608.8	631.867
5	675	4	778.4	783.9	768.4	776.9
		9	761.1	769.2	796.9	775.73
		15	665.8	630.2	613.9	636.63
6	825	0	714.6	721	713.1	716.23
		4	725.1	750.9	763.7	746.567
		9	773.4	775.5	785.3	778.067
		15	678.6	646.6	625.8	650.33

ตารางที่ ก-18(ต่อ)

ความสูงเตา 1200 mm Equivalence ratio 1.2

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 100 : 0

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
7	975	0	604.2	617.5	619.8	613.83
		4	632.5	654.8	663.7	650.33
		9	670.7	676	684.9	677.2
		15	583.4	549	527.3	553.23
8	1125	0	547.2	562.2	570.1	559.83
		4	589.1	608.5	616	604.53
		9	632.6	638	642.7	637.767
		15	544.3	505.4	479.2	509.63

ตารางที่ ก-19

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 0.8

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 75 : 25

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5_min	7_min	9_min	average
1	75	4	366.8	358	348	357.6
		9	285.9	272.4	255.3	271.2
		15	184.2	176.4	170	176.867
2	225	4	217.3	212.4	207.6	212.43
		9	174.9	168.3	163.7	168.967
		15	157.5	157	156.9	157.13
3	375	4	616.8	611	611.4	613.067
		9	612	622.4	619	617.8
		15	437.3	407.3	393.6	412.73
4	525	4	720.5	716.3	700.7	712.5
		9	613.1	619.1	613.9	615.367
		15	720.5	716.3	700.7	712.5
5	675	4	714.4	661.3	639.3	671.67
		9	645.8	642.4	647.3	645.167
		15	543	514.6	492.5	516.7
6	825	0	685.8	664.9	674.8	675.167
		4	675.6	646	629.1	650.23
		9	649	646.1	643.3	646.13
		15	538.1	507.5	487.5	511.03

ตารางที่ ก-19(ต่อ)

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 0.8

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 75 : 25

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
7	975	0	591.7	588.6	587.6	589.3
		4	612.5	595.3	582.3	596.7
		9	578.7	579.1	576.5	578.1
		15	473.6	448.6	430.7	450.97
8	1125	0	536	533.3	534.7	534.67
		4	560.7	548.7	538.1	549.167
		9	529.7	530	528.2	529.3
		15	416.4	394.3	377.2	395.967
9	1275	0	491.3	489.5	492	490.93
		4	509.1	501.6	493.5	501.4
		9	486.1	487.1	484.1	485.767
		15	394.4	374.2	359	375.867
10	1425	0	464	463.4	465.9	464.43
		4	478	472.2	466.1	472.1
		9	452.4	453.1	447.3	450.93
		15	363.1	345.8	332.1	347

ตารางที่ ก-20

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 0.8

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 85 : 15

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5_min	7_min	9_min	average
1	75	4	366.2	370.4	371.3	369.3
		9	367.6	363.2	354	361.6
		15	261.8	248.7	241.5	250.67
2	225	4	544.1	524.7	558.9	542.567
		9	578.8	519	468.1	521.967
		15	328.7	302.6	280	303.767
3	375	4	542.5	459.2	489.2	496.967
		9	367.8	414.3	369	383.7
		15	293.2	281.7	283.3	286.07
4	525	4	565.5	562.5	611.7	579.9
		9	481.5	465.5	448.8	465.267
		15	396.6	383.3	381.3	387.067
5	675	4	583.6	591.8	651.4	608.93
		9	517.3	496.4	485.6	499.767
		15	458.9	450.5	460.6	456.67
6	825	0	701.2	672.1	703.3	692.2
		4	612.7	606.5	633.3	617.5
		9	567.7	540.5	524.7	544.3
		15	514.3	510.5	494	506.267

ตารางที่ ก-20(ต่อ)

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 0.8

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 85 : 15

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5_min	7_min	9_min	average
7	975	0	696.8	673.5	681.4	683.9
		4	651.5	635.6	649.1	645.4
		9	610.6	593.7	580.2	594.83
		15	505.6	489.2	466.5	487.1
8	1125	0	669.8	653.9	655.9	659.867
		4	631.9	619.9	627.9	626.567
		9	587.9	572.6	560.8	573.767
		15	467.6	448	428.6	448.067
9	1275	0	639.7	627	626.8	631.167
		4	603.3	592.9	601.5	599.23
		9	563.6	549.2	538.1	550.3
		15	461.1	446	428.6	445.23
10	1425	0	619.9	609.4	607.7	612.33
		4	589.1	581.2	587.9	586.067
		9	550.5	537.3	527.3	538.367
		15	446.6	430.2	413.1	429.967

ตารางที่ ก-21

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 0.8

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 100 : 0

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	544.8	540.1	539	541.3
		9	477.1	460.7	445.1	460.967
		15	293.6	270.9	254.3	272.93
2	225	4	377.3	387.7	400.1	388.367
		9	407.6	396.6	406.6	403.6
		15	309	283.3	266.7	286.33
3	375	4	606.3	641.6	620.1	622.67
		9	485.2	477.1	436.3	466.2
		15	325.9	317.2	304.1	315.73
4	525	4	714.7	709	653.2	692.3
		9	520.4	505.3	486.9	504.2
		15	408.7	397.1	383.7	396.5
5	675	4	700.2	680	605.2	661.8
		9	543.1	541.7	545.4	543.4
		15	481.6	467.5	454.4	467.83
6	825	0	793.5	771.4	764.7	776.53
		4	695.9	680.3	668.4	681.53
		9	677.7	670.6	663.9	670.73
		15	602.3	585.3	572.1	586.567

ตารางที่ ก-21(ต่อ)

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 0.8

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 100 : 0

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
7	975	0	774.7	756.6	756.7	762.67
		4	725.3	715.9	710.5	717.23
		9	715.4	711.9	708.7	712
		15	602.6	582.1	565.7	583.467
8	1125	0	750.6	742.7	732.6	741.967
		4	706.3	700.1	697.6	701.33
		9	689.6	685.7	682.3	685.867
		15	552.1	530.8	515.1	532.67
9	1275	0	716.8	712.1	702.4	710.43
		4	681.1	675.4	672.1	676.2
		9	664.3	660	655.6	659.967
		15	555	535.3	519.6	536.63
10	1425	0	694.2	690	681.4	688.53
		4	664.6	658.8	655.4	659.6
		9	642.6	638.2	634.2	638.33
		15	526.3	507.9	493.5	509.23

ตารางที่ ก-22

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 1.0

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 75 : 25

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5_min	7_min	9_min	average
1	75	4	654.6	664	675.1	664.567
		9	686.8	676.8	671.2	678.267
		15	416.2	380.2	363.4	386.6
2	225	4	811.4	791.7	775.4	792.83
		9	666	641.9	623.4	643.767
		15	419.5	382	360	387.167
3	375	4	835.4	833.7	829.7	832.93
		9	739.6	722.3	714.5	725.467
		15	487.9	451.5	433.4	457.6
4	525	4	871.1	893.3	903.4	889.267
		9	824.2	814.7	795.4	811.43
		15	545.5	532.7	526.8	535
5	675	4	907.7	899.6	925.4	910.9
		9	880.7	904.4	914.9	900
		15	671.7	643.1	630.7	648.5
6	825	0	787.2	776.7	800.5	788.13
		4	775.9	773.3	783.9	777.7
		9	762.1	765.5	777.3	768.3
		15	639.1	620.9	611.3	623.767

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-22(ต่อ)

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 1.0

อัตราการป้อนแก๊ส 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 75 : 25

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
7	975	0	646.7	647.3	661.8	651.93
		4	668.9	674	677.3	673.4
		9	673.7	674.2	675	674.3
		15	546.9	528.7	520.2	531.93
8	1125	0	548.8	554	565.6	556.13
		4	584.7	589.9	593.4	589.33
		9	583.9	587.2	590.3	587.13
		15	451	431	422.4	434.8
9	1275	0	471.4	476.8	485	477.73
		4	521.6	525.2	527	524.6
		9	522.4	526	527.6	525.33
		15	433.7	416.3	409.4	419.8
10	1425	0	417.8	424	432.2	424.67
		4	468.9	472.5	475.6	472.33
		9	477.8	481.9	483.5	481.067
		15	380.8	368.1	363.4	370.767

ตารางที่ ก-23

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 1.0

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 85 : 15

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5_min	7_min	9_min	average
1	75	4	544.7	546.7	547	546.13
		9	503.4	486	481.7	491.367
		15	339.8	319.1	304.2	321.03
2	225	4	483.5	512.2	545.9	513.867
		9	543.4	556	559.6	553
		15	368.5	338.8	318.8	342.03
3	375	4	652.9	668.5	687.9	669.767
		9	664.3	669.9	692.2	675.467
		15	482	449.6	428.8	453.467
4	525	4	760.4	759.8	735.5	751.9
		9	716.8	717.1	723.2	719.03
		15	589.1	572.3	569	576.8
5	675	4	820.7	806.2	800.3	809.067
		9	791.1	787.2	795.7	791.33
		15	619	604	597.8	606.93
6	825	0	752.4	736.6	762.2	750.4
		4	793.5	802.6	802.5	799.53
		9	813.3	825	834.2	824.167
		15	663.1	651.8	644.5	653.13

ตารางที่ ก-23(ต่อ)

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 1.0

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 85 : 15

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
7	975	0	693.3	682	694.5	689.93
		4	715	734.6	738.4	729.33
		9	733.3	740.1	737.4	736.93
		15	577	566.6	558.2	567.267
8	1125	0	625.4	616.3	618.8	620.167
		4	627.1	646.3	652.2	641.867
		9	648.4	654.1	650.7	651.067
		15	488.1	468.1	457	471.067
9	1275	0	552.7	553.5	556.9	554.367
		4	560.6	576	583.1	573.23
		9	579.3	582.6	585.2	582.367
		15	479.3	459.8	449.9	463
10	1425	0	519.1	517	519.8	518.63
		4	520.3	530.3	536.5	529.03
		9	535.1	540.9	543	539.67
		15	429.6	413.8	405.6	416.33

ตารางที่ ก-24

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 1.0

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 100 : 0

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	531.8	543.5	547.6	540.967
		9	526.3	510.8	497.5	511.53
		15	353.3	315.5	290.8	319.867
2	225	4	657.3	678.9	691.1	675.767
		9	663.3	649.6	634.5	649.13
		15	435.3	383.2	349.3	389.267
3	375	4	735.6	730.4	722.2	729.4
		9	725.2	741.7	775.1	747.33
		15	534.6	476.1	440.9	483.867
4	525	4	858.5	859.4	841.9	853.267
		9	749.8	821	810.9	793.9
		15	615.6	566.2	542.5	574.767
5	675	4	845.3	818.4	805.4	823.03
		9	751.1	823.7	846	806.93
		15	694.1	645.9	631.9	657.3
6	825	0	864.2	826.9	840.4	843.83
		4	805.9	798.4	793.2	799.167
		9	793.4	806.6	810.8	803.6
		15	716.4	685.7	672.6	691.567

ตารางที่ ก-24(ต่อ)

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 1.0

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 100 : 0

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
7	975	0	811.3	761	776.2	782.83
		4	752.6	753.8	749.9	752.1
		9	751.7	756.2	775.1	761
		15	651	629.4	627.3	635.9
8	1125	0	747.6	712.4	712.1	724.03
		4	702.3	698.3	695.8	698.8
		9	679.9	683	688	683.63
		15	565.2	536.6	530	540.93
9	1275	0	689.4	667	660.8	672.4
		4	648.5	643.7	640.3	644.167
		9	631.2	633.7	641.7	635.53
		15	558.4	533.5	530.5	540.8
10	1425	0	646.4	625.8	621	631.067
		4	609.7	607.1	604.3	607.03
		9	600.2	605.7	613.7	606.53
		15	516.4	500.1	503.7	506.73

ตารางที่ ก-25

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 1.2

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 75 : 25

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	446.3	446.4	444.5	445.73
		9	429.4	422.3	425.2	425.63
		15	292.6	265.6	252	270.067
2	225	4	291.9	296.4	295.9	294.73
		9	236	228.5	220.8	228.43
		15	199.3	190.7	185.6	191.867
3	375	4	464.2	454.7	447.3	455.4
		9	341.2	321.3	312.9	325.13
		15	267.1	256.9	251.2	258.4
4	525	4	501.7	497.7	490.7	496.7
		9	361.4	356.2	348.5	355.367
		15	289.2	274.5	266.4	276.7
5	675	4	835.7	837.2	837.6	836.83
		9	836.7	782.9	781.2	800.267
		15	632.4	602.1	580.4	604.967
6	825	0	828.5	818.2	841.1	829.267
		4	815.3	798.4	782	798.567
		9	844.6	801.9	847.9	831.467
		15	673.5	662.7	672.4	669.53

ตารางที่ ก-25(ต่อ)

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 1.2

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 75 : 25

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
7	975	0	760.3	762.5	780.9	767.9
		4	784.1	785.2	783.5	784.267
		9	735.6	734.5	747.7	739.267
		15	639.2	621.9	612.2	624.43
8	1125	0	727.1	730	746.4	734.5
		4	778.7	775.3	770	774.67
		9	761	751	760.7	757.567
		15	592.3	570.2	559	573.83
9	1275	0	688.4	692	708.6	696.33
		4	752.5	749.7	744	748.73
		9	742.6	732.8	743.4	739.6
		15	604.3	586.9	575.2	588.8
10	1425	0	655.8	660.1	676.9	664.267
		4	729.5	726.1	720.8	725.467
		9	717.5	711.8	721	716.767
		15	567.6	546.8	535	549.8

ตารางที่ ก-26

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 1.2

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 85 : 15

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	409.7	403.9	400.8	404.8
		9	385.7	379.3	373.3	379.43
		15	266	243.6	228.2	245.93
2	225	4	479.9	478.4	477.9	478.73
		9	442.5	431.8	419.2	431.167
		15	305.5	279.8	260.8	282.03
3	375	4	684.2	687.5	693.2	688.3
		9	744.4	721.5	686.2	717.367
		15	410.1	375.3	353	379.467
4	525	4	764.2	766.5	795.9	775.53
		9	848.2	863	903	871.4
		15	530.6	489.6	457.1	492.43
5	675	4	724.6	753.2	770	749.267
		9	721	769.9	844.5	778.467
		15	682.6	661.8	643.7	662.7
6	825	0	880.8	884.7	907.8	891.1
		4	822.1	851.2	854.3	842.33
		9	796.1	775.2	752.2	774.5
		15	653.1	642.4	631.4	642.3

ตารางที่ ก-26(ต่อ)

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 1.2

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 85 : 15

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5_min	7_min	9_min	average
7	975	0	841.8	844.4	861.7	849.3
		4	850.3	873.5	876.6	866.8
		9	860.5	837.7	813.2	837.13
		15	676.2	657.1	642.5	658.6
8	1125	0	821.7	823.4	839.4	828.167
		4	828.3	847.7	850.6	842.2
		9	837.5	820.1	808.6	822.067
		15	620.9	604.6	593.8	606.43
9	1275	0	795.2	794.9	808.4	799.5
		4	801.7	816.6	818.6	812.3
		9	805.5	790.5	779.7	791.9
		15	644	630.9	615.6	630.167
10	1425	0	775.8	775.3	786.4	779.167
		4	780.9	792.5	794.9	789.43
		9	775	762.8	754.5	764.1
		15	615.7	603.3	592.6	603.867

ตารางที่ ก-27

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 1.2

อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 100 : 0

No.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5 min	7 min	9 min	average
1	75	4	542.4	540.9	535.2	539.5
		9	479.5	471.3	463	471.267
		15	300.1	284.5	272.2	285.6
2	225	4	578.6	578.5	575.9	577.667
		9	537.2	533.6	531.3	534.03
		15	358.1	340	324.8	340.967
3	375	4	682.6	681.7	675	679.767
		9	585.7	577	571	577.9
		15	400.5	384.5	374.9	386.63
4	525	4	916.3	923.2	877.6	905.7
		9	689.6	695	764.2	716.267
		15	507.7	496.4	494.4	499.5
5	675	4	861	882.5	892.1	878.53
		9	913.7	929.5	906.1	916.43
		15	623.3	611.5	602.8	612.53
6	825	0	871.4	889.8	892.2	884.467
		4	829.8	846	856.2	844
		9	894.9	886.1	858.2	879.73
		15	678	668.5	663.7	670.067

ตารางที่ ก-27(ต่อ)

ความสูงเตา 1500 mm Equivalence ratio 1.2

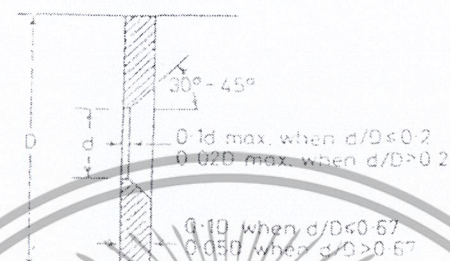
อัตราการป้อนแกลบ 0.3 kg/min Primary Air / Secondary Air 100 : 0

No. Thermo.	ความสูง(H) (mm)	ระยะวัด(R) (mm)	Temperature(celcius)			
			5_min	7_min	9_min	average
7	975	0	811.9	829.1	831.7	824.23
		4	811.3	818.2	826.6	818.7
		9	820.8	812.9	801.7	811.8
		15	661.9	653.8	649.2	654.967
8	1125	0	779.9	791	793.8	788.23
		4	798.5	804.6	810.1	804.4
		9	784.9	787.7	788.5	787.03
		15	597.8	588.1	581.8	589.23
9	1275	0	753.4	762.3	763.6	759.767
		4	769.7	774.7	778.8	774.4
		9	764.3	759.8	756.9	760.33
		15	615.2	605.7	603.2	608.03
10	1425	0	734.4	741.3	741.9	739.367
		4	743.5	745.4	747.3	745.4
		9	741.2	731.3	725.2	732.567
		15	581.9	578	579.6	579.83

ภาคผนวก ข

ออริฟิส

ออริฟิส ชนิดต่างๆ คล้ายคลึงกันสามารถอธิบายด้วยกันได้แต่ละชนิดแตกต่างกันที่ pressure tapping ซึ่ง ออริฟิส มาตรฐานกำหนดดังนี้รูปร่างลักษณะ (description) ออริฟิสได้แสดงหน้าตัดต่างๆดังรูปที่ 3.5



รูปที่ ข-1 standard orifice plate

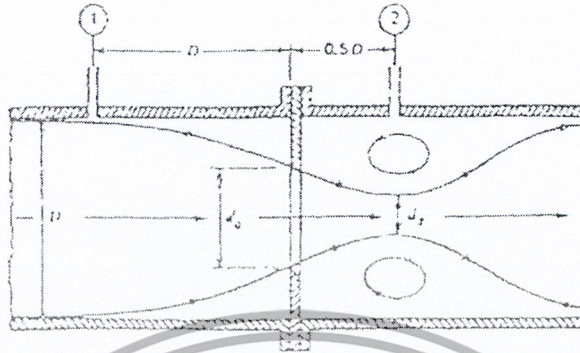
แผ่นออริฟิสเป็นแผ่นบางๆ ที่ถูกจับยึดระหว่างขอบของท่อเนื่องจากมีรูปทรงเรขาคณิตอย่างง่ายๆ ดังนั้นจึงมีราคาถูก และง่ายในการติดตั้ง หรือการย้ายตำแหน่งแต่อย่างไรก็ตามขอบของแผ่นอาจจะมีการสึกกร่อนได้อันเนื่องจากการชนของอนุภาคเล็กๆ ที่กระจายอยู่ในของไหล ข้อเสียอีกประการก็คือ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมการขยายของด้านล่างของกระแสทำให้มี head loss ถาวรที่สูงมาก จุดวัดความดันสำหรับออริฟิสนั้นสามารถกำหนดตำแหน่งได้หลายตำแหน่งดังรูปที่ 3.5 เนื่องจากตำแหน่งของจุดวัดความดันมีอิทธิพลต่อการหาสัมประสิทธิ์การไหล



รูปที่ ข-2 แสดงโครงสร้างเชิงเรขาคณิต และจุดวัดความดันของออริฟิส

สำหรับการวัด อัตราการไหลของของไหลภายในท่อและจัดได้ว่า ออริฟิสเป็นเครื่องมือวัดที่ขีด ขวางการไหลของพื้นที่หน้าตัดให้ของไหล ไหลผ่านออริฟิสมีขนาดน้อยกว่าพื้นที่หน้าตัดของท่อ ดังรูป 3.5 ดังนั้นเมื่อนำออริฟิสไปติดตั้งกับท่อซึ่งมีของไหลไหลผ่านจะทำให้เกิดความดันตกคร่อมออริฟิสซึ่งความ ดันตกคร่อมนี้จะแปรเปลี่ยนไปตามอัตราการไหล กล่าวคือถ้าอัตราการไหลมีค่าสูง ความดันตกคร่อมออริ ฟิสก็จะมีค่าสูง และอัตราการไหลมีค่าต่ำความดันตกคร่อมออริฟิสก็จะมีค่าต่ำ โดยทั่วไปออริฟิสจะนำไป การค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาอัตราการไหลที่สภาวะ steady state เท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้วัดอัตราการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Dynamic Response)



รูปที่ ข-3 แสดงการไหลผ่านแผ่นออริฟิส

ในบรรดาเครื่องมือวัดอัตราการไหลทั้งหลาย ออริฟิสถือว่าเป็นเครื่องมือที่มีผู้นำไปใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุดดังนั้นการทดลองชุดนี้จึงได้มีการนำเอาการวัดอัตราการไหลแบบออริฟิสมาใช้ออริฟิสมาตรฐานที่มีขอบคม ดังรูป หรือขอบเป็นรูปสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ นั้นจะสัมพันธ์ลำน้ำที่ไหลผ่านในลักษณะที่เป็น การสัมพันธ์แบบเส้นส่วนออริฟิส ดังรูปที่ และ รูปที่ นั้นไม่ใช่เป็นออริฟิสมาตรฐาน ทั้งนี้เพราะลำน้ำที่ผ่านรู ออริฟิสนั้นถูกกระทบจากความหนาแน่นของแผ่นวัดกับความหนายของผิวและรัศมีความโค้ง ดังนั้นจึงต้องมีการสอบเทียบเพื่อความถูกต้อง



รูปที่ ข-4 ออริฟิสแบบต่างๆ

ข้อดีของออริฟิส คือมีราคาต่ำกว่าเครื่องมือวัดชนิดอื่นๆ ที่อาศัยหลักการเดียวกัน และสะดวกในการสร้างเพราะมีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน รวมทั้งมีข้อมูลของการทำวิจัยที่เกี่ยวกับพฤติกรรมการวัดของไหลที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีเงื่อนไขต่างๆ 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 ภายในท่อได้ดังนี้ สมการของ Bernoulli สำหรับจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของการไหลดังแสดงในรูปที่ 3.5

$$m = \frac{C_d A_t \sqrt{2\rho(\Delta P)}}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_1}{D}\right)^4}}$$

เมื่อ $P =$ ความดันสถิตยของของไหล (N/m^2)

$\rho =$ น้ำหนักจำเพาะ (specific weight, N/m^3)

$d_1 =$ เส้นผ่านศูนย์กลางรูออริฟิส (m)

$D =$ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)

$A_t =$ พื้นที่หน้าตัดรูออริฟิส (m^2)

$C_d =$ discharge coefficient

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 ทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งใช้แทนฟืนและใช้อบโดยวิธีไพโรไลซิส(Pyrolysis) เพื่อใช้แทนถ่าน เป็นต้น

คุณสมบัติทางกายภาพ

แกลบมีคุณสมบัติทางด้านการเป็นเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดีพอสมควร แต่จะมีข้อเสียคือเมื่อทำการเผาไหม้แล้วแกลบจะมีปริมาณสูงถึงประมาณร้อยละ 15.8-24.9 ค่าความร้อนของแกลบจะอยู่ระหว่าง 2,900-4,580 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ค่าความชื้นโดยประมาณ 1.1-9.8% กิโลกรัม

ตารางที่ ก-1 คุณสมบัติของแกลบ

Proximate Analysis	Moisture	(%)	1.1-9.8
	Fixed	(%)	12.7-17.4
	Volatile matter	(%)	56.4-69.3
	Ash	(%)	15.8-24.9
	Carbon	(%)	38.2-55.8
Ultimate Analysis	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 - ชี้อ่อนมาก - ประสิทธิภาพในการสันดาปต่ำ - ต้องการอากาศส่วนเกินในการสันดาปเป็นจำนวนมาก - มีความยุ่งยากในการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ	- คุณภาพค่อนข้างคงที่ - ค่าความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักรวมสูง - ประสิทธิภาพในการสันดาปสูง - ต้องการอากาศในการสันดาปน้อย - ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติได้ง่าย	- คุณภาพคงที่ - ค่าความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักรวมสูง - ไม่มีชี้อ่อน - ประสิทธิภาพในการสันดาปสูงสุด - ต้องการอากาศส่วนเกินจำนวนน้อยมาก - ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติได้ง่าย
อุปกรณ์สันดาป	- ขนาดเล็กไม่ซับซ้อน	- ขนาดเล็ก	- ขนาดค่อนข้างใหญ่
มลภาวะ	- จำเป็นต้องมีการป้องกันกำเริบมลภาวะต่อบรรยากาศ	- จำเป็นต้องมีการป้องกันกำเริบมลภาวะต่อบรรยากาศ	- 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

ตารางที่ ก-4 ปริมาณการใช้ชีวมวลโดยเฉลี่ยต่อโรง

ชีวมวล	ปี พ.ศ.			
	ตะวันออกเฉียงเหนือ	เหนือ	กลาง	ใต้
ไม้ฟืน	279.71	528.29	342.16	541.39
ซังข้าวโพด	1,008	178.23	1,250	-
ถ่านไม้	0.48	0.174	0.021	0.041
ต้นข้าวโพดเหลือทิ้ง	-	-	90	-
แกลบ	185.30	383.65	3,729.64	4.14
เส้นใย/เปลือกผลปาล์ม	-	-	70	14,390
ฟางข้าว	700	17	50	-
เส้นใย/เปลือกผลมะพร้าว	-	66	21	101
กากอ้อย	352,805.83	525,984	174,594	-
ลำต้นมันสำปะหลัง	-	-	80	-
ต้นอ้อยเหลือทิ้งในไร่	-	-	70	-
กากถั่วเหลือง	-	-	90	-

บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (1998): สถิติการเกษตรของประเทศไทย. <http://oac.go.th/statistic/year/1998-99>
- [2] รัชชัย ท้าววิล และ สันติ วัชรอากาศไพบูลย์ (2534): “เตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรแบบใช้อากาศหมุนวน 2” ปรินญาตวีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [3] สุพจน์ นำนานาโชค(2536): “การเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้แบบไซโคลนชนิดอากาศเข้าหลายทิศทาง” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [4] Swasdisevi , T.,Soponronnarit,S.,Thepent,V.,Shujinda,A. and Srisawa,B.(1999) “Prototype of cyclonic rice husk furnace”, To be presented in the 19th ASEAN Seminar on Postharvest Technology in Vietnam,November 1999.
- [5] สราวุธ เพ็องฟู,ประดิษฐ์ พันธิกิจนันท์ และ เอกสิทธิ์ อิมอ่ำ(2543): “การศึกษาอิทธิพลของความชื้นและขนาดของเกล็ดต่อการเผาไหม้ของเตาออร์เทค” ปรินญาตวีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- [6] นิวัต พิริยะรุ่งโรจน์(2544): “การศึกษาเชิงการทดลองของเตาเผาแบบออร์เทค” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [7] Zhang , J., and S.,Nieh, “Numerical Simulation of Effects of Center of Center tube and Multiple Air Injection on Gas Flow Field in a Vortex Combustion”, Combustion Science and Technology, Vol. 88, No. 1-2, pp. 43-57, 1992.
- [8] Stephen R. Turns. An Introduction to Combustion. McGraw – Hill. International Edition. 1994. pp 8 - 49