

การศึกษาเชิงทดลองของเตาเผาแบบวอร์เทกซ์

EXPERIMENTAL STUDY OF A RICE HUSK FIRED
VORTEX COMBUSTOR



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-643-367-6

การศึกษาเชิงทดลองของเตาเผาแบบวอร์เทก

EXPERIMENTAL STUDY OF A RICE HUSK FIRED
VORTEX COMBUSTOR



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN

974-648-367-6

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **40615**
วัน, เดือน, ปี **18. ๓. ๒๕๔๔**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EXPERIMENTAL STUDY OF A RICE HUSK FIRED
VORTEX COMBUSTOR**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING OF MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2001

ISBN

974-648-367-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2001

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเชิงการทดลองของเตาเผาแบบวอร์เทค
EXPERIMENTAL STUDY OF A RICE HUSK FIRED VORTEX
COMBUSTOR
ชื่อนักศึกษา นายนิวัติ พิริยะรุ่งโรจน์
รหัสประจำตัว 42062020
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงส์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	
ดร.ชินรัชย์	เชียรพงษ์	
ดร.จินดา	เจริญพรพาณิชย์	
ผศ.มิ่ง	โลกิจแสงทอง	
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงส์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 26 กรกฎาคม 2544 เวลา 13.30-15.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-403)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัคร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....๓.....เดือน.....สิงหาคม.....พ.ศ.....๒๕๔๔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาเชิงการทดลองของเตาเผาแบบวอร์เทค

นักศึกษา

นายนิติ พิริยะรุ่งโรจน์

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

พ.ศ.

2544

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาเบื้องต้นของการออกแบบ สร้าง และทดสอบหาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาแบบวอร์เทค โดยทำการวัดและสังเกตการกระจายอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ภายในเตา, ชี้อัด และควันที่ออกมาพร้อมกับแก๊สไอเสีย ในการวัดจะกำหนดอัตราการไหลเชิงมวลของแกลบละเอียดเท่ากับ 0.2 กิโลกรัม/นาที่ โดยตลอดและทำการปรับค่า Equivalence ratio, Φ , เท่ากับ 0.7, 0.8, 1.0 และ 1.2 ในการเผาแต่ละครั้งจะกำหนดอัตราส่วนของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศสดเทียบกับอัตราการไหลของอากาศทั้งหมด, λ , เท่ากับ 0, 0.2 และ 0.4 ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ $\Phi = 1.0$ และ $\lambda = 0.4$ อุณหภูมิภายในเตาเผาจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,135 องศาเซลเซียส ควันที่ได้ออกมาน้อยมากและแก๊สไอเสียโดยประมาณที่ปล่อยออกจากปล่องของเตาเผาประกอบไปด้วย $O_2 = 4.41\%$, $CO_2 = 15.34\%$, $CO = 130.25$ ppm และ $NO_x = 764.0$ ppm

Thesis Titale	Experimental Study of a Rice Husk Fired Vortex Combustor
Student	Mr.Niwat Piriyarungroj
Student ID.	42062020
Degree	Master Degree
Programme	Mechanical Engineering
Year	2001
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Pongjet Promvonge

Abstract

The thesis presents the fundamental study on a design construction and test of combustion characteristics of rice husk fuel in an annular vortex combustor (VC). The temperature distribution for selected locations inside the VC, including flyash and smoke from its exhaust gas were measured and observed. Measurement were made by setting a constant mass flow rate of fine rice husk to be 0.2 kg/min throughout and by varying the equivalence ratio, Φ to be 0.7, 0.8, 1.0 and 1.2. The ratio of volumetric flow rates of the secondary air to the total air, λ , was set to be 0, 0.2 and 0.4 for each run. The experiment shows maximum temperature of about 1135 °C in the annular chamber with less smoke of flue gas for $\Phi = 1.0$ and $\lambda = 0.4$. The emissions of exhaust gas from the stack are composed of $O_2 = 4.41\%$, $CO_2 = 15.34\%$, $CO = 130.25$ ppm และ $NO_x = 764.0$ ppm

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยการให้คำปรึกษาและความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ให้ความช่วยเหลือทั้งด้านอุปกรณ์และสถานที่ที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ทุนสนับสนุนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ นางสาวกรรณิการ์ เทียรเวชสุนทร, เพื่อนๆ นักศึกษาปริญญาโท และ กลุ่มนักศึกษาชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบิดามารดาของผู้วิจัย ที่ให้กำลังใจผู้วิจัยจนสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณและประ โยชน้อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอขอบแต่ผู้มีพระคุณ
ทุกท่าน

นิวัตติ พิริยะรุ่งโรจน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 งานวิจัยในอดีต	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 ทฤษฎี	16
3.1 พลังงานจากชีวมวล	16
3.2 ชีวมวลที่นำมาใช้เป็นพลังงาน	16
3.2.1 ชีวมวลที่มาจากพืช	16
3.2.2 ชีวมวลที่มาจากสัตว์	16
3.3 การใช้พลังงานจากชีวมวล	17
3.3.1 การเผาไหม้โดยตรง(direct combustion)	17
3.3.2 ขบวนการไพโรไลซิส(pyrolysis)	17
3.3.3 ขบวนการก๊าซซิฟิเคชัน(gasification)	17
3.3.4 ก๊าซชีวมวล(biogas)	18
3.3.5 แอลกอฮอล์(alcohol)	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3.6 การใช้น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์ดีเซล	19
3.4 การเผาไหม้.....	19
3.4.1 ปฏิกริยาเคมีของการเผาไหม้.....	19
3.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้.....	19
3.4.3 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็ง	20
3.5 อัตราส่วนสมมูล	22
3.6 คุณสมบัติของอากาศชื้น	23
3.6.1 ความดันไอ	23
3.6.2 ความชื้น	23
3.6.3 ความชื้นสัมพัทธ์	23
3.6.4 อัตราส่วนความชื้นหรือความชื้นจำเพาะ	24
3.7 ออร์บิส	24
บทที่ 4 การออกแบบและการคำนวณ	26
4.1 การออกแบบเตาเผาออร์เทค.....	26
4.2 การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี	27
บทที่ 5 อุปกรณ์และวิธีการการทดลอง	31
5.1 การเตรียมอุปกรณ์ในการทดลอง.....	31
5.1.1 เตาเผาออร์เทค.....	31
5.1.2 แหล่งจ่ายอากาศในการทดลอง	32
5.1.3 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ.....	33
5.1.4 การป้อนอัตโนมัติ	34
5.1.5 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ	35
5.1.6 ไซโคลน	36
5.1.7 อุปกรณ์วัดความชื้น	37
5.1.8 อุปกรณ์วิเคราะห์แก๊สไอเสีย	38
5.2 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.3 ขั้นตอนการอุ่นเตาก่อนทำการทดลอง	39
5.4 วิธีการทดลอง	40
บทที่ 6 ผลการทดลองและการอภิปราย	41
6.1 อัตราส่วนสมมูล	41
6.1.1 การศึกษาถึง Φ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ เมื่อ $\lambda = 0$	41
6.1.2 การศึกษาถึง Φ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ เมื่อ $\lambda = 0.2$	42
6.1.3 การศึกษาถึง Φ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ เมื่อ $\lambda = 0.4$	46
6.2 อัตราส่วนของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศหุ้ญญิตต่ออัตราการไหลของอากาศทั้งหมด(λ)	47
6.2.1 การศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อการเผาไหม้เมื่อ $\Phi = 0.7$	47
6.2.2 การศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อการเผาไหม้เมื่อ $\Phi = 0.8$	48
6.2.3 การศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อการเผาไหม้เมื่อ $\Phi = 1.0$	48
6.2.4 การศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อการเผาไหม้เมื่อ $\Phi = 1.2$	52
บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ	54
7.1 สรุป	54
7.2 ข้อเสนอแนะ	55
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก ก	58
ภาคผนวก ข	82
ภาคผนวก ค	83
ภาคผนวก ง	86
ภาคผนวก จ	87
ภาคผนวก ฉ	88
ภาคผนวก ช	89
ประวัติผู้เขียน	99

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงข้อมูลผลผลิตข้าวจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.....	1
4.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงกลบ.....	29
4.2 แสดงปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลอง.....	30
5.1 แสดงรายละเอียดของขนาด Cyclones.....	37
5.2 แสดงช่วงความสามารถของเครื่องที่จะวัดแก๊สไอเสียได้.....	38
ก-1 แสดงผลการทดลองกรณี $\Phi = 0.7, \lambda = 0$	58
ก-2 แสดงผลการทดลองกรณี $\Phi = 0.8, \lambda = 0$	60
ก-3 แสดงผลการทดลองกรณี $\Phi = 1.0, \lambda = 0$	62
ก-4 แสดงผลการทดลองกรณี $\Phi = 1.2, \lambda = 0$	64
ก-5 แสดงผลการทดลองกรณี $\Phi = 0.7, \lambda = 0.2$	66
ก-6 แสดงผลการทดลองกรณี $\Phi = 0.8, \lambda = 0.2$	68
ก-7 แสดงผลการทดลองกรณี $\Phi = 1.0, \lambda = 0.2$	70
ก-8 แสดงผลการทดลองกรณี $\Phi = 1.2, \lambda = 0.2$	72
ก-9 แสดงผลการทดลองกรณี $\Phi = 0.7, \lambda = 0.4$	74
ก-10 แสดงผลการทดลองกรณี $\Phi = 0.8, \lambda = 0.4$	76
ก-11 แสดงผลการทดลองกรณี $\Phi = 1.0, \lambda = 0.4$	78
ก-12 แสดงผลการทดลองกรณี $\Phi = 1.2, \lambda = 0.4$	80
ข-1 บัณฑิตแก๊สไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้.....	82
ค-1 แสดงอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ.....	85
ค-2 แสดงความสูงของระดับน้ำในมานอร์มิเตอร์ของอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ.....	85
ง-1 องค์ประกอบข้าวเปลือก 100 kg.....	86

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพส่วนประกอบของเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดชั้นพื้นฐาน	5
2.2 เตาเผาแกลบแบบ Inclined step grate	6
2.3 เตาเผาแบบอากาศหมุนวน	7
2.4 แผนภูมิอุปกรณ์การทดลอง	8
2.5 อุปกรณ์การทดลอง	9
2.6 อากาศปฐมภูมิมากกว่าอากาศทุติยภูมิ 2	10
2.7 เมื่อลดอากาศปฐมภูมิ เพิ่มอากาศทุติยภูมิ 2	10
2.8 ไลอะแกรมขบวนการของเตาเผาแกลบ	11
2.9 อุปกรณ์การทดลองเตาเผาแบบหมุนวน	12
2.10 แสดงอุปกรณ์การทดลอง	13
2.11 ชุดอุปกรณ์เป่าลมฝอย	14
2.12 ระบบการทดลองแบบเตาเผาแบบ Vortex	16
2.13 การแพร่กระจายของอุณหภูมิภายในเตาเผาใหม่	16
3.1 แสดงการไหลผ่านแผ่น ออร์ริฟิส (Orifice)	25
4.1 เตาเผาแกลบแบบวอร์เทค	26
5.1 เตาเผาแกลบแบบวอร์เทค	31
5.2 Air compressor 1	32
5.3 Air compressor 2	32
5.4 Blower	32
5.5 Orifice meter 2	33
5.6 Manometer	33
5.7 Inclined manometer	33
5.8 Inverter	34
5.9 Motor	34
5.10 Screw Feed	34
5.11 Hopper	35
5.12 Indicator	35
5.13 Thermocouple	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.14 Cyclones.....	36
5.15 โครงสร้างมาตรฐานของไซโคลน.....	36
5.16 Psychro metor.....	37
5.17 เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย GA-40 T plus.....	38
5.18 แสดงอุปกรณ์การทดลอง.....	39
5.19 แสดงจุดวัดอุณหภูมิในแนวรัศมี.....	40
6.1 แสดงการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยที่ $\lambda = 0$ เมื่อ $\Phi = 0.7, 0.8, 1.0, 1.2$	43
6.2 แสดงการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยที่ $\lambda = 0.2$ เมื่อ $\Phi = 0.7, 0.8, 1.0, 1.2$	43
6.3 แสดงการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยที่ $\lambda = 0.4$ เมื่อ $\Phi = 0.7, 0.8, 1.0, 1.2$	44
6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของก๊าซออกซิเจน กับ equivalence ratio.....	45
6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กับ equivalence ratio.....	45
6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ กับ equivalence ratio.....	45
6.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ กับ equivalence ratio.....	46
6.8 แสดงการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยที่ $\Phi = 0.7$ เมื่อ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$	49
6.9 แสดงการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยที่ $\Phi = 0.8$ เมื่อ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$	49
6.10 แสดงการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยที่ $\Phi = 1.0$ เมื่อ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$	50
6.11 แสดงการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยที่ $\Phi = 1.2$ เมื่อ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$	50
6.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของก๊าซออกซิเจน กับ λ	51
6.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กับ λ	51
6.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ กับ λ	51
6.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ กับ λ	52
ก-1 จุดวัดความดันของออร์ฟิสมิเตอร์.....	83
ฉ-1 โครงสร้างมาตรฐานของไซโคลน.....	88
ซ-1 Standard orifice plate.....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IX อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ช-2 แสดง โครงสร้างเชิงเรขาคณิตและจุดวัดความดันของออร์ฟิส	89
ช-3 แสดงการไหลผ่านแผ่นออร์ฟิส(Orifice)	90
ช-4 ออร์ฟิสแบบต่างๆ	90



รายการคำย่อและสัญลักษณ์

RH	ความชื้นสัมพัทธ์ , (%)
η	ประสิทธิภาพทางความร้อน , (%)
T_{∞}	อุณหภูมิบรรยากาศอากาศ , ($^{\circ}C$)
$T_{\infty,ave}$	อุณหภูมิบรรยากาศอากาศเฉลี่ย , ($^{\circ}C$)
T	อุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทค , ($^{\circ}C$)
x	ความสูงของเตาเผาออร์เทคในแนวตั้ง , (cm.)
D_0	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในเตาเผาออร์เทค , (cm.)
r	พิกัดในแนวรัศมีภายในเตาเผาออร์เทค , (cm.)
R	รัศมีภายในของเตาเผาออร์เทค , (cm.)
Φ	อัตราส่วนสมมูลของอากาศกับเชื้อเพลิง
λ	อัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุกชนิดต่ออากาศทั้งหมด
HHV	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง , (kJ/Kg)
ϕ	ความชื้นสัมพัทธ์
w	อัตราส่วนความชื้นหรือความชื้นจำเพาะ
Y	เศษส่วน โมล
N	จำนวน โมล
d	ความหนาแน่น

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ในยุคปัจจุบันนี้จะเห็นได้ว่าวงการอุตสาหกรรม ได้พัฒนาขยายตัวไปอย่างรวดเร็ว ทำให้เครื่องจักรกล เครื่องยนต์กลไกที่ถ่ายส่งกำลังทุกประเภทที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆ มาใช้ ในการออกแบบสร้างเครื่องจักรกลให้มีประสิทธิภาพและความสามารถในการทำงานสูงขึ้น เช่นทำงานได้อย่างรวดเร็วขึ้น สามารถผลิตชิ้นงานได้เป็นจำนวนมากๆ มีความเที่ยงตรง สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยลง และประหยัดพลังงานมากขึ้น

ในปัจจุบันนี้ยิ่งโลกเราเจริญมากขึ้นเท่าไร ก็จะมีการใช้พลังงานในปริมาณมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งพลังงานต่างๆ จะได้มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน ก๊าซต่างๆ ซึ่งเชื้อเพลิงเหล่านี้วันหนึ่งวันจะหมดลงไปเรื่อยๆ แต่ความต้องการที่จะใช้เชื้อเพลิงเหล่านี้กลับมีมากขึ้นเช่นกัน เพราะฉะนั้นเราจะเห็นได้ว่าทุกประเทศพยายามที่จะใช้พลังงานเชื้อเพลิงอย่างคุ้มค่า ให้มีประโยชน์มากที่สุด และพยายามที่จะหาพลังงานจากเชื้อเพลิงอย่างอื่นมาทดแทนเชื้อเพลิงที่กำลังจะหมดไป

ประเทศไทยขึ้นชื่อว่าเป็นแหล่งผลิตข้าวส่งออกที่สำคัญของโลกประเทศหนึ่ง เนื่องจากประเทศไทย ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันนี้เป็นประเทศเกษตรกรรม พื้นที่ทุกภูมิภาคของประเทศจะมีการทำนา เมื่อมีการเก็บเกี่ยวแล้วต้องนำไปสีข้าว เพื่อที่จะเอาเมล็ดข้าวมาบริโภค แต่ก็จะมีวัสดุที่เหลือจากการเก็บเกี่ยว ฟางข้าว และวัสดุที่เหลือจากโรงสีข้าว คือ แกลบ ซึ่งถ้าสีข้าว 1 ตัน จะได้แกลบออกมาประมาณ 260 กิโลกรัม (ภาคผนวก ง)

ตารางที่ 1.1 แสดงข้อมูลผลผลิตข้าวจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์[1]

ปี	ผลผลิตข้าวภายในประเทศ		ผลผลิตข้าวของโลก	
	ข้าว(ล้านตัน)	แกลบ(ล้านตัน)	ข้าว(ล้านตัน)	แกลบ(ล้านตัน)
2539	22.016	5.750	568.098	148.387
2540	22.332	5.833	575.563	150.337
2541	23.580	6.159	564.011	147.319
2542	24.676	6.445	-	-

จากข้อมูลดังกล่าวยังทำให้ทราบอีกว่าจังหวัดที่ผลิตข้าวนาปรังได้มากที่สุดคือจังหวัดสุพรรณบุรีซึ่ง ในปี 2542 สามารถผลิตได้เท่ากับ 731,709 ตัน ทวีปเอเชียเป็นทวีปที่ผลิตข้าวได้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุดเท่ากับ 515.359 ล้านตัน และประเทศจีนเป็นประเทศที่ผลิตข้าวได้มากที่สุดในโลก ในปี 2541 สามารถผลิตข้าวได้เท่ากับ 192.971 ล้านตัน ฉะนั้นแล้วถ้าประมาณให้แกลบเป็น 26.12 เปอร์เซ็นต์ของข้าว พบว่า ในปี 2541 ประเทศไทยมีแกลบที่เหลือจากการสีข้าวประมาณ 6.1591 ล้านตัน และปริมาณแกลบทั้งโลกในปี 2541 เท่ากับ 147.3197 ล้านตัน จะเห็นว่าแกลบเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีปริมาณมาก เพราะฉะนั้นแกลบ จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะนำมาทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงต่างๆที่กำลังจะหมดไปในอนาคต ซึ่งค่าความร้อนของแกลบ (Overall gross calorific Value of rice husk) ประมาณ 3580 kcal/kg ในปัจจุบันนี้ประเทศไทยต้องนำเข้าเชื้อเพลิงมาจากต่างประเทศ ซึ่งทำให้สูญเสียเงินตราต่างประเทศ และจะทำให้ขาดดุลการค้ากับต่างประเทศมากขึ้นด้วย ดังนั้น ถ้าหันมารณรงค์ ใช้น้ำมันที่มีอยู่มากมายภายในประเทศทั้งที่ได้มาจากเกษตรกรรมและสิ่งที่เหลือจากกิจกรรมต่างๆ ภายในประเทศ เช่น ขยะ ขี้เลื่อย แกลบ ฟางข้าว และ กากตะกอนต่างๆ มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านพลังงานทดแทน แทนการใช้พลังงานเชื้อเพลิงต่างๆ ที่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศจะช่วยลดการนำเข้าได้ และยังช่วยลดปัญหามลพิษด้านสถานะแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการออกแบบและสร้างเตาเผาแบบบอร์เทค
2. ศึกษาถึงพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบภายในเตาเผาแบบบอร์เทค โดยพิจารณาถึงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาบอร์เทค ขี้เถ้า และ องค์ประกอบของก๊าซ ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้

1.3 ขอบเขต

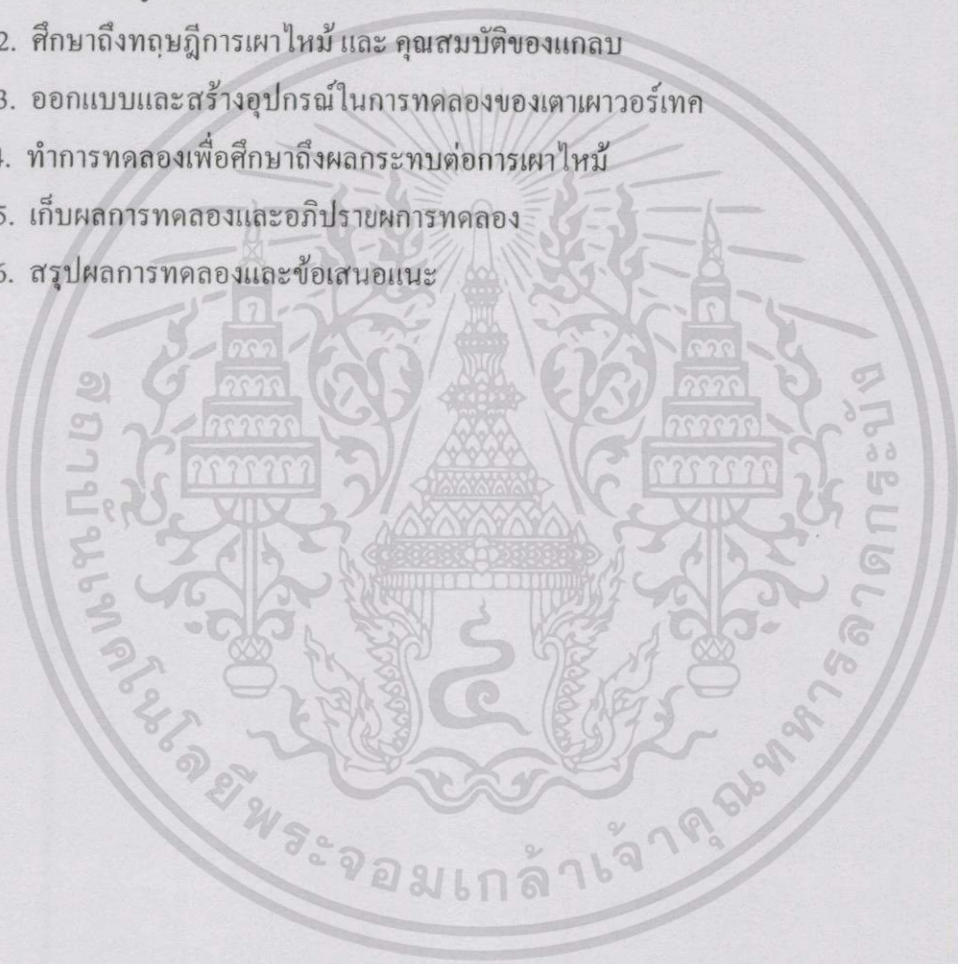
1. ออกแบบและสร้างเตาเผาแบบบอร์เทค
2. การทดลองใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ซึ่งกำหนดให้อัตราการไหลของแกลบเท่ากับ 0.2 kg/min
3. การศึกษาถึงพฤติกรรมการเผาไหม้เมื่อ อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุกชนิดต่ออัตราการไหลของอากาศทั้งหมด(λ)เท่ากับ 0 , 0.2 , 0.4
4. การศึกษาถึงพฤติกรรมการเผาไหม้เมื่อ equivalence ratio เท่ากับ 0.7 , 0.8 , 1 และ 1.2

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. พัฒนาเตาเผาให้มีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีกว่าเดิมและสามารถนำไปใช้งานได้จริง
2. นำแกลบที่เหลือจากงานเกษตรมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในรูปของพลังงานความร้อน
3. ได้พลังงานที่มีต้นทุนราคาถูก ช่วยลดค่าใช้จ่ายกระบวนการผลิตได้
4. สามารถนำพลังงานความร้อนจากเตาเผาออร์เทคไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการต่างๆ

1.5 โครงร่างวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ โครงสร้างและหลักการทำงานเตาเผาในอดีต
2. ศึกษาถึงทฤษฎีการเผาไหม้ และ คุณสมบัติของแกลบ
3. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ในการทดลองของเตาเผาออร์เทค
4. ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อการใช้การเผาไหม้
5. เก็บผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ



บทที่ 2

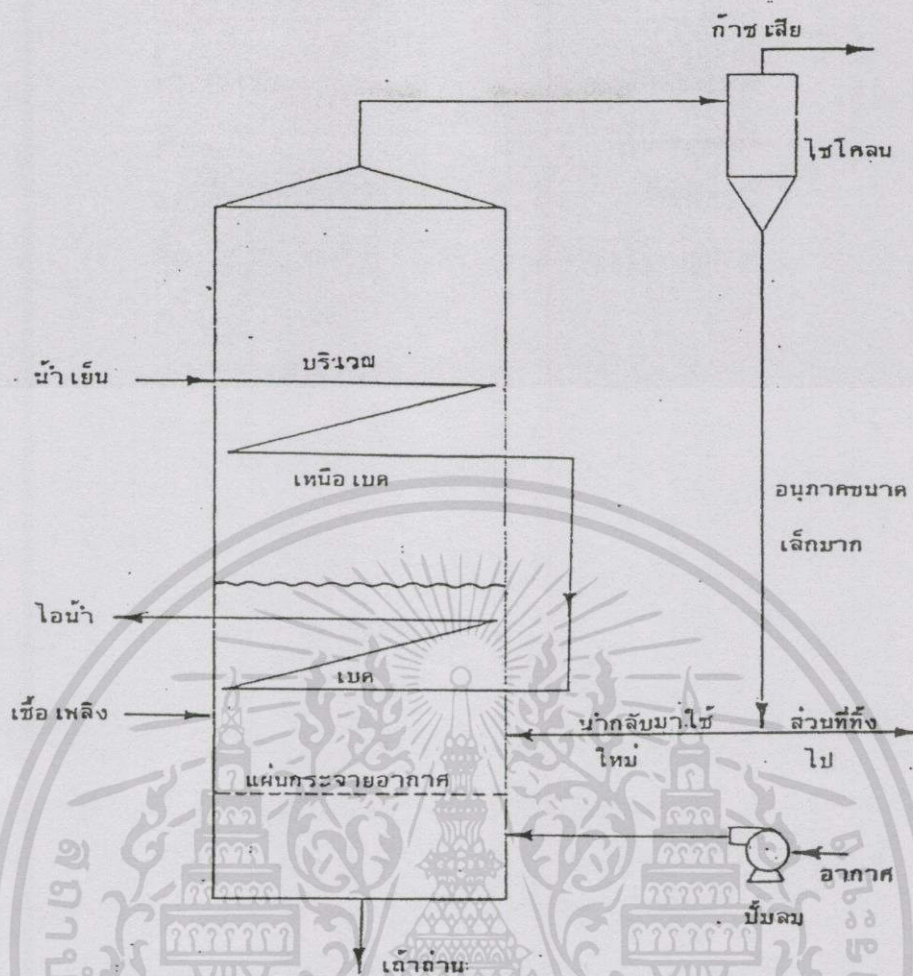
งานวิจัยในอดีต

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนา มีการปรับปรุงระบบเศรษฐกิจของประเทศให้ เกิดการพัฒนาด้านอุตสาหกรรม จึงทำให้มีการใช้น้ำมันดิบสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว บวกกับการใช้พลังงานอย่างฟุ่มเฟือยในส่วนอื่นๆ เช่น การขนส่ง การเกษตร ทำให้ประเทศต้องสั่งน้ำมันดิบเข้ามาซึ่งมีมูลค่ามหาศาล เมื่อเกิดวิกฤตการณ์น้ำมัน ราคา น้ำมันดิบพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่การใช้ นอกจะไม่ลดแล้วยังเพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นจึงได้มีความพยายามแก้ไขปัญหาด้านพลังงานทั้งหมดสอง ทางคือการแสวงหาพลังงานใหม่มาทดแทน น้ำมัน ก๊าซ และ ถ่านหิน สองคือการประหยัดพลังงาน หมายถึงใช้พลังงานเท่าที่จำเป็นและเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์และกระบวนการผลิต ดังนั้นจึง ได้มีโครงการที่เกี่ยวกับการแสวงหาเชื้อเพลิงทดแทนออกมาอย่างต่อเนื่อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นายวสันต์ แสงจันทร์[2] ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยปี 2527 เรื่องการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนท์ในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนท์ในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดจะขึ้นกับปริมาณอากาศที่เหมาะสมสำหรับ ปริมาณถ่านหินลิกไนท์ที่ป้อนเข้าไปในเตาเผา ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนท์อย่างสมบูรณ์ในการทดลองครั้งนี้พบว่า เมื่ออัตราการป้อนถ่านหินลิกไนท์และ หินปูนคงที่เท่ากับ 0.09 kg/min ที่อัตราความเร็วของอากาศในเตาเผาเท่ากับ 0.65 m/s จะทำให้ อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณเบดและเหนือเบดเท่ากับ $701 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $169 \text{ }^{\circ}\text{C}$ นั้นจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในเตาเผาสูงสุดบริเวณเบดและเหนือเบดเท่ากับ 248.6 และ $56.5 \text{ kcal/h/m}^2\text{/}^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในบริเวณเบดสูงกว่าบริเวณเหนือเบดประมาณ 4 เท่า

การลดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO_2)ที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนท์ในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยใช้หินปูนเป็นตัวกำจัดและใช้อัตราส่วนระหว่างถ่านหินลิกไนท์กับหินปูนเท่ากับ $2.4 : 1$ หรืออัตราส่วน $\text{Ca} : \text{S}$ เท่ากับ $3 : 1$ นั้นจะสามารถลดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ถึงร้อยละ 63.46 ที่อุณหภูมิ $730 \text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้จะเท่ากับ 285 ppm ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดไว้จะต้องไม่เกิน 500 ppm ซึ่งเป็นข้อกำหนดของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม



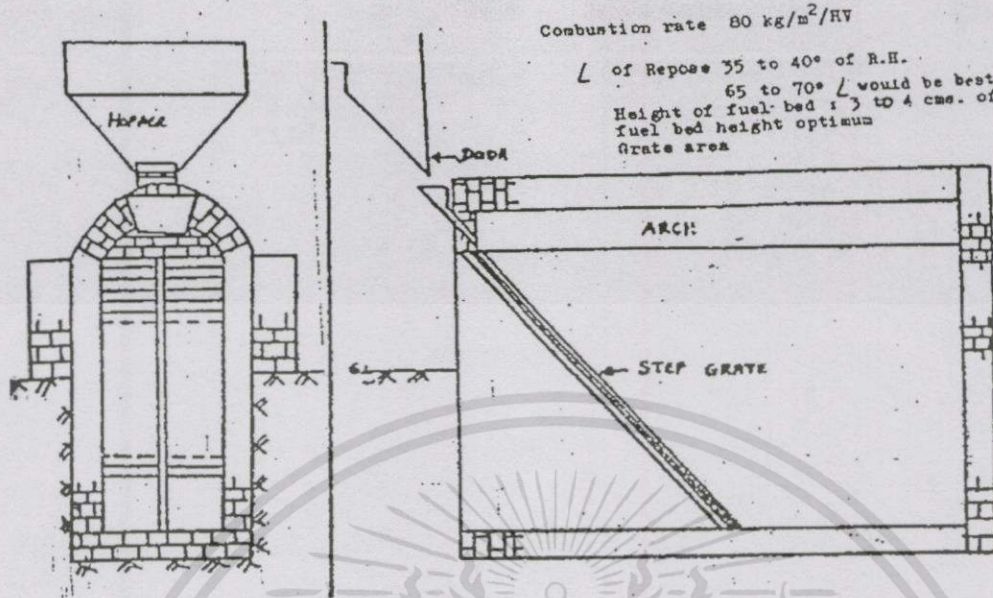
รูปที่ 2.1 แผนภาพส่วนประกอบของเตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบดชั้นพื้นฐาน[2]

นายกิตติ วิวัฒน์วรวงศ์ และ คณะ [3] ได้ทำการพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาเกลบที่ใช้กับโรงสีข้าวโครงการนี้เป็นการออกแบบและคำนวณเพื่อสร้างเตาเผาเกลบ โดยจำลองรูปแบบมาจากของจริง เตาเผาเกลบที่สร้างขึ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะนำไปใช้กับ Boiler แบบ water tube ขนาด 45 kg/hr ที่ความดัน 5 bar และ ไอน้ำที่ได้เป็นไอน้ำอัมฉัดพื้นที่ตะกรับที่ใช้เท่ากับ 0.3 m² ตะกรับที่ใช้เป็นแบบ Inclined step grate ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เตาที่สร้างขึ้นนี้สามารถปรับมุมเอียงของแผ่นตะกรับได้ 4 มุม คือ มุม 70 , 60 , 50 และ 40 องศา

จากการทดลองพบว่ามุมเอียงของตะกรับแบบ Flat grate และ Inclined step grate ที่ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อน้ำมีค่าสูงสุด และเกิดการเผาไหม้ของเกลบสมบูรณ์อยู่ที่มุม 60 องศาเหมือนกันทั้ง 2 แบบ และเมื่อเปรียบเทียบการใช้ตะกรับทั้ง 2 แบบที่มุมเดียวกันแล้ว จะพบว่าแบบ Inclined step grate จะเกิดการเผาไหม้ที่ดีกว่าและทำให้ประสิทธิภาพของหม้อน้ำสูงกว่าแบบ Flat grate

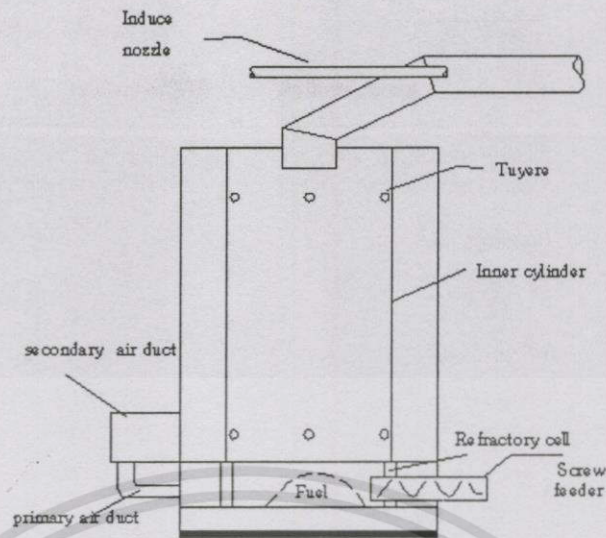
A CONVENTIONAL INCLINED STEP GRATE FURNACE

FIGURE-3
step heating tubes



รูปที่ 2.2 เตาเผาแกลบแบบ Inclined step grate[3]

นาย รัชชัย ท้วฉวิล และนายสันติ วัชรอากาศไพบูลย์ [4] โครงการได้เสนอเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรโดยใช้อากาศหมุนวน เป็นโครงการที่จัดทำขึ้นเพื่อเพิ่มเติมระบบการเผาให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.3 จากนั้นจึงทำการทดสอบเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีผลต่อปริมาณความร้อนและอุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ได้ และศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านพัดลมดูดต่ออุณหภูมิของก๊าซร้อนที่อัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงคงที่ค่าหนึ่ง จากการทดลองที่อัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงมีค่า 5:1 , 6:1 , 7:1 , 8:1 และ 9:1 เพื่อหาค่าอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงที่เหมาะสม พบว่าที่อัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิง 6 : 1 จะเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากให้อุณหภูมิของก๊าซร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 595 °C และปริมาณความร้อนที่ได้รับอยู่ในปริมาณสูง และเมื่อทดสอบเตาที่อัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิง 6 : 1 โดยทำการเปลี่ยนแปลงช่องเปิดของพัดลมดูดเป็น 0 , 20 , 60 และ 100 % เพื่อศึกษาถึงผลของพัดลมดูดต่ออุณหภูมิก๊าซร้อน พบว่าก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้โดยไม่ใช่พัดลมดูดจะให้อุณหภูมิสูงที่สุดเท่ากับ 639 °C



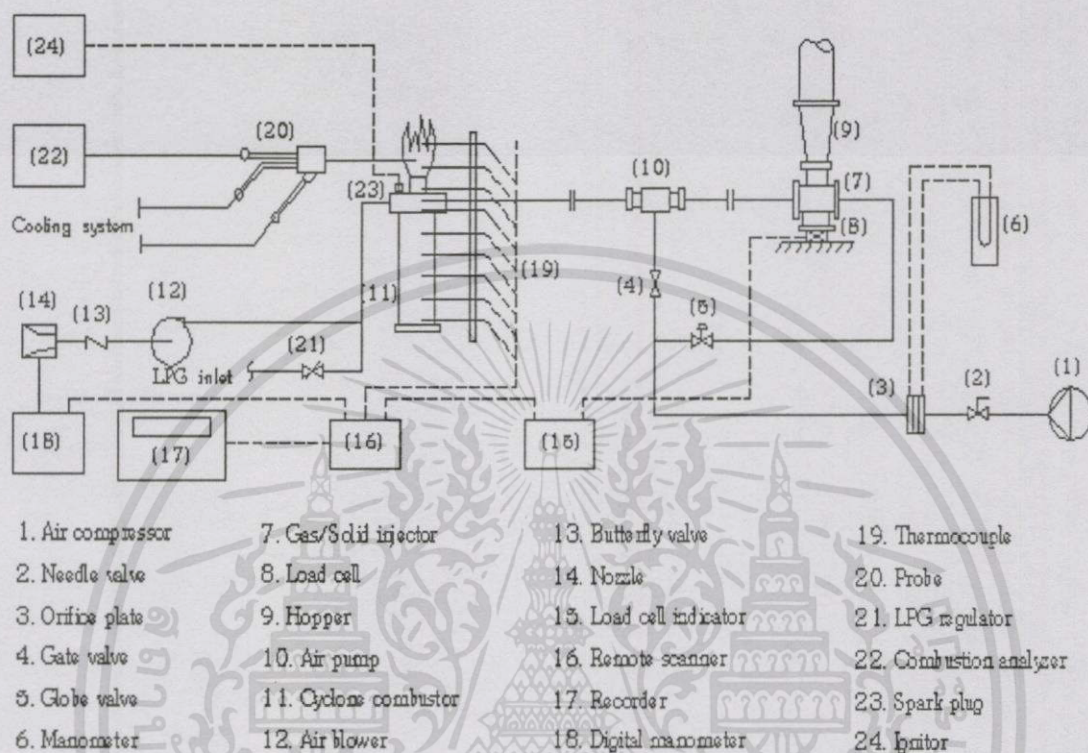
รูปที่ 2.3 เตาเผาแบบอากาศหมุนวน[4]

เรือโทประจักษ์ จิตร์พิทย์ [5] ได้ทำการทดลองเผาเชื้อเพลิงในเตาเผาแบบไซโคลน เพื่อการศึกษารูปแบบการไหลของเชื้อเพลิง ลักษณะการสันดาปหรือการเผาไหม้รวมทั้งวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ ในการศึกษาถึงลักษณะการเผาไหม้และองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ได้ทำการทดลองจากห้องเผาไหม้แบบไซโคลนที่ติดตั้งในแนวดิ่ง ทำจากเหล็กกล้า เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 155 mm. เส้นผ่านศูนย์กลางปากทางออก 68.5 mm. ความสูง 310 mm. ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยมีอัตราส่วนผสมอากาศกับเชื้อเพลิง หรืออัตราส่วนสมมูล (Equivalence Ratio)เป็นตัวแปร

การเผาไหม้เชื้อเพลิง ที่ค่าอัตราส่วนสมมูล น้อยกว่า 1.5 จะเกิดการเผาไหม้ ตั้งแต่ช่วงกลางห้องเผาไหม้ถึงเหนือปากทางออกของห้องเผาไหม้ จะมีเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมดเหลือตกค้างปริมาณสูง ก๊าซจากการเผาไหม้ ประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากกว่า 3,000 ppm ขณะที่ปริมาณออกซิเจนไม่เกิน 10% ลักษณะเปลวไฟมีความแปรปรวนสูง จัดว่าเป็นการเผาไหม้ที่มีอากาศส่วนเกินอยู่ในช่วงต่ำ และส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และที่ค่าอัตราส่วนสมมูล มากกว่า 1.5 ถึง 2.0 เกิดการเผาไหม้ในบริเวณกว้าง คือ ตั้งแต่ส่วนล่างของห้องเผาไหม้ถึงปากทางออก ไม่ปรากฏเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมดเหลือตกค้างอยู่ ลักษณะเปลวไฟมีความแปรปรวนต่ำ องค์ประกอบของก๊าซประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในช่วง 1,700 ถึง 3,000 ppm และออกซิเจนประมาณ 8 ถึง 10% อุณหภูมิเปลวไฟอยู่ในช่วง 900 ถึง 1,000 °C และที่ผนังด้านใน 700 °C จัดว่าเป็นช่วงค่าอัตราส่วนสมมูลที่เหมาะสมกับการเผาไหม้ ถึงแม้ว่าเป็นช่วงที่มีอากาศส่วนเกินค่อนข้างสูง สำหรับค่าอัตราส่วนสมมูลที่มากกว่า 2.0 จะเกิดการเผาไหม้ตั้งแต่ส่วนล่างของห้องเผาไหม้ขึ้นไป ยกเว้นบริเวณรอบๆ ผนังตลอดความยาว เนื่องจากมีอุณหภูมิที่ผนังสูงสุดเพียง 550 °C อันเนื่องจากอากาศส่วนเกินมีปริมาณมาก ในกรณีที่มีอากาศส่วนเกินมากแล้ว ความเร็วของก๊าซจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

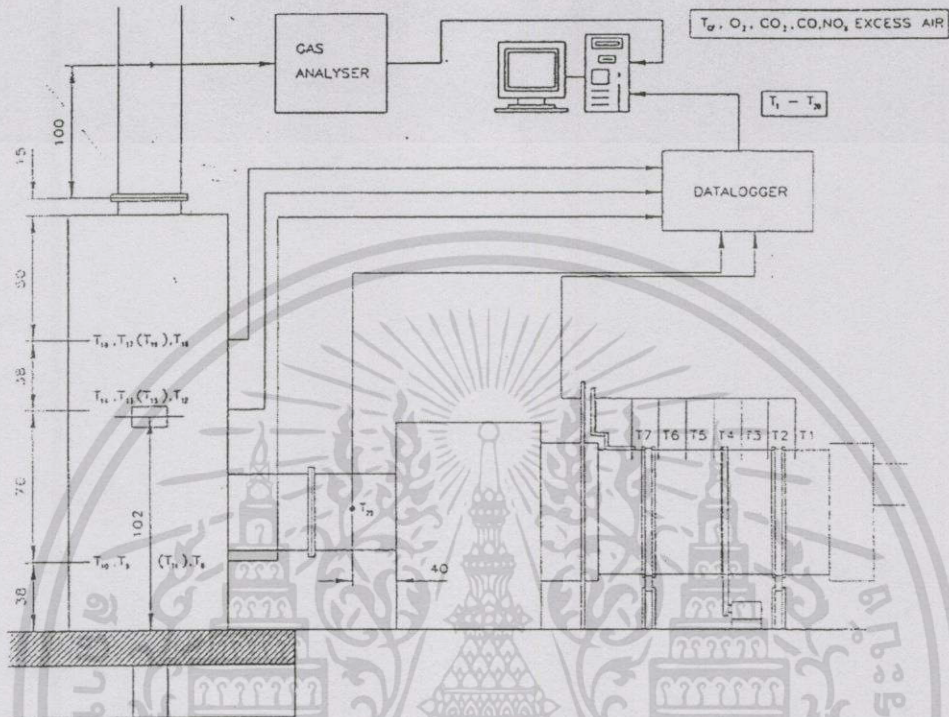
สูงตาม ขณะเดียวกันทำให้ช่วงเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ลดลง ในกรณีนี้พบว่าเชื้อเพลิงเผาไหม้ไม่หมด ปลิวปนออกมากับก๊าซไอเสีย แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิเปลวไฟประมาณ 1,000 ถึง 1,100 °C ลักษณะเปลวไฟมีความแปรปรวนสูง



รูปที่ 2.4 แผนภูมิอุปกรณ์การทดลอง[5]

นายอรรถกร คำจันทร์ และ นายอำนาจ ตั้งคนวานิชย์ [6] ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเผาขยะชุมชน ในเตาเผาขยะแบบหมุนต่อขยะมูลฝอยของ โรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารสำเร็จรูป จุดมุ่งหมายในโครงการนี้ คือ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับเผาขยะชุมชนในเตาเผาขยะแบบหมุน โดยใช้กากวัสดุที่เหลือจากขบวนการผลิตใน โรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารสำเร็จรูปแห่งหนึ่งเป็นกรณีศึกษา จุดเด่นของเตาแบบนี้คือ เผาขยะได้ในอัตราสูง และเผาขยะได้ทั้งของแข็งและของเหลว ขยะจะถูกเผาในเตาเผาหมุนส่วนหน้า แยกเถ้าปริมาณมากออกที่เตาส่วนล่าง ก๊าซที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้แรกจะถูกดูดเข้าไปทำการเผาไหม้ซ้ำด้วย อุณหภูมิ , เวลา และ การคลุกเคล้าที่เหมาะสมในเตาเผาส่วนหลังดังแสดงในรูปที่ 2.5 สำหรับการทดลองเผาขยะในรูปไขมัน และ สลัดจ์ ที่ลอยตัวแยกออกจากน้ำในบ่อบำบัดน้ำเสียของ โรงงานซึ่งทาง โรงงานต้องการจะกำจัดให้ถูกสุขลักษณะ มีข้อสรุปเบื้องต้นเกี่ยวกับการเผาไหม้ในเตาเผาขยะแบบหมุนดังนี้ เตาเผาขยะที่ถูกอุ่นให้ร้อนด้วยการเผาซึ่งข้าวโพดสามารถระเหยน้ำออกจากขยะไขมัน แล้วขยะจะติดไฟได้เอง โดยไม่ต้องจุดหัวเผาช่วย ตรงกันข้ามกับสลัดจ์ ซึ่งต้องป้อนซึ่งข้าวโพดพร้อมกับจุดหัวเผาเพื่อช่วยในการ

เผาไหม้ ในส่วนของก๊าซมลพิษขณะที่เผาไหม้น้ำมัน CO มีค่าสูงมากกว่า 10,000 ppm ปริมาณอากาศส่วนเกินลดลงต่ำ 2-5% อุณหภูมิสูง 900 °C NO_x 100-200 ppm คาร์บอนมอนอกไซด์ และ มีไอน้ำดี เหลืองเทา และมีไอน้ำดีในก๊าซไอเสียปริมาณมาก



รูปที่ 2.5 อุปกรณ์การทดลอง[6]

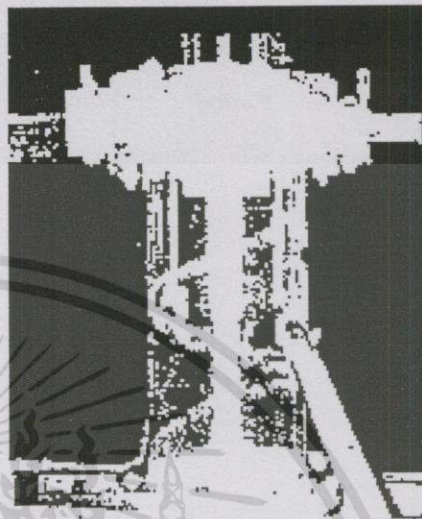
นายสุพจน์ นานาโชค [7] ได้ทำการวิจัยการเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้แบบไซโคลนชนิดอากาศเข้าหลายช่องทาง จากการวิเคราะห์พบว่า เชื้อเพลิงมีค่าความร้อนประมาณ 4000-4300 Kcal/kg ห้องเผาไหม้แบบไซโคลนที่ใช้ในการวิจัยนี้จะมีช่องทางสำหรับป้อนอากาศกับเชื้อเพลิงตามแนวสัมผัสเส้นรอบวงทางด้านบนของห้องเผาไหม้ ช่องก๊าซเสียออกจะอยู่ด้านบนในแนวแกนของห้องเผาไหม้ นอกจากนี้ยังมีการป้อนอากาศทุติยภูมิ (Secondary Air) ในแนวสัมผัสเส้นรอบวง ที่บริเวณกึ่งกลางของห้องเผาไหม้ เพื่อช่วยให้เกิดการคลุกเคล้า การกระจายตัวระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศได้ดีขึ้น ส่งผลให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นด้วย ห้องเผาไหม้แบบไซโคลนนี้ อุณหภูมิได้จากการเผาไหม้ประมาณ 1,200 °C ผลการทดลองลักษณะรูปแบบการไหลตามภาพที่ 2.6 และ 2.7 จะพบว่าการไหลของอนุภาคเชื้อเพลิง โดยการนำพาของอากาศส่วนแรกและอากาศจาก Blower จะพบว่าการไหลเวียนเป็นเกลียวรอบห้องเผาไหม้และมีระยะพิทช์ ความชันของเส้นเกลียวค่าหนึ่ง เมื่อมีการเพิ่มอากาศส่วนที่สอง โดยดึงจากอากาศจากส่วนแรกบางส่วนเพื่อให้ปริมาณอากาศรวมเท่าเดิมพบว่า ระยะพิทช์ของเกลียว และความชันของเกลียวน้อยลง นั่นคือ มีจำนวนรอบของเกลียวมากขึ้น และเมื่อมีการเพิ่มอากาศส่วนที่สองขึ้นอีกโดยให้ปริมาณอากาศรวมคงที่ พบว่าระยะพิทช์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกลียวและความชันของเกลียวน้อยลงอีก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มอากาศส่วนที่สองมากขึ้นจะทำให้อนุภาคที่เล็กลงไหลเวียนอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น ส่งผลให้การเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ดีขึ้นด้วย



รูปที่ 2.6 อากาศปฐมภูมิมากกว่าอากาศทุติยภูมิ 2



รูปที่ 2.7 เมื่อลดอากาศปฐมภูมิ เพิ่มอากาศทุติยภูมิ 2

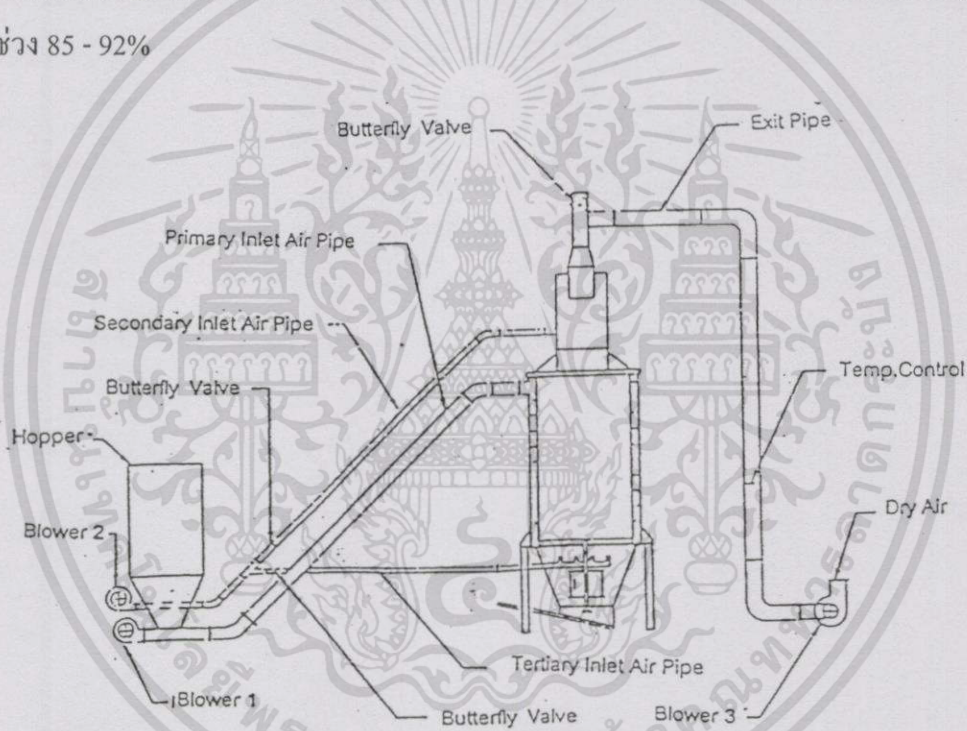
การทดลองใช้อัตราการป้อนอนุภาคที่เล็กลง ตั้งแต่ 0.2054 ถึง 0.3333 kg/min อัตราป้อนอากาศตั้งแต่ 12.185 kg/min และมีการแปรค่า ปริมาณอากาศส่วนที่สองเป็น 5% , 10% และ 15% และทดลองโดยคงที่ค่าอากาศส่วนที่สอง 15% และแปรค่าอัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio (Φ)) เป็น 1.0 , 1.2 และ 1.5

ผลการทดลองพบว่า ปริมาณอากาศทุติยภูมิ(15%) ของอากาศทั้งหมด และปรับเปลี่ยนค่า Φ ซึ่งพบว่า $\Phi = 1.5$ จะเกิดการเผาไหม้เป็นบริเวณกว้างทั่วห้องเผาไหม้ มีเปลวไฟออกมาช่องทางออกน้อย ก๊าซจากการเผาไหม้ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ 885 ถึง 2,120 ppm นับว่าต่ำสุด และปริมาณก๊าซออกซิเจนอยู่ในช่วง 7.1 ถึง 14.2 % แสดงว่าเกิดการเผาไหม้ค่อนข้างจะสมบูรณ์กว่าค่า Φ อื่นๆ เพราะมีปริมาณอากาศเพียงพอ

ในการทดลองลักษณะการเผาไหม้เมื่อคงที่ ค่า $\Phi = 1.5$ และแปรค่าอากาศส่วนที่สองเป็น 5% , 10% และ 15% พบว่าปริมาณอากาศทุติยภูมิ 15% บริเวณการเผาไหม้จะกว้างที่สุด คือตั้งแต่ส่วนล่างไซโคลนถึงปากช่องทางออก มีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำสุด คือ 885 – 2,120 ppm ก๊าซออกซิเจน 7.1 ถึง 14.2 % สรุปแล้วจะเห็นว่า เมื่อใช้ปริมาณอากาศทุติยภูมิมากขึ้น จะเกิดการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้เป็นบริเวณกว้างขึ้นด้วย เนื่องจากอากาศส่วนที่สอง ทำให้อนุภาคของซีเล็กลงไหลวนอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น หมายถึงมีเวลาในการเผาไหม้มากขึ้นด้วย

นายอดิศักดิ์ ชูจินดา [8] ในโครงการนี้ได้ศึกษาออกแบบสร้างและทดสอบเตาเผาแกลบ สำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไคซ์เบดขนาด 10,000 kg/hr ลักษณะของเตาเผาจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.37 m สูง 2.75 m ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งมีอัตราการป้อนแกลบ 2 – 2.5 kg/min. และอัตราการไหลของอากาศที่เข้าที่อุดของพัดลม 1.11 kg/min อากาศและแกลบจะเข้าห้องเผาไหม้ในแนวสัมผัส และเกิดการหมุนวนในห้องเผาไหม้ อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางออกของเตาที่ความสูงซี่ไถ่ 60 cm มีค่าเท่ากับ 504 °C และอุณหภูมิเฉลี่ยก่อนเข้าพัดลมดูด อยู่ในช่วง 293 - 297 °C ที่ความสูงซี่ไถ่ 30 , 45 , 50 และ 60 เซนติเมตร ตามลำดับ อุณหภูมิของอากาศภายนอก 32 - 34 °C

ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาทั้งระบบประมาณ 59 - 60% ปริมาณของคาร์บอนที่เผาไหม้ จากการวิเคราะห์คาร์บอนในก๊าซจะมีค่าเท่ากับ 94% และจากการวิเคราะห์คาร์บอนในซี่ไถ่จะอยู่ในช่วง 85 - 92%

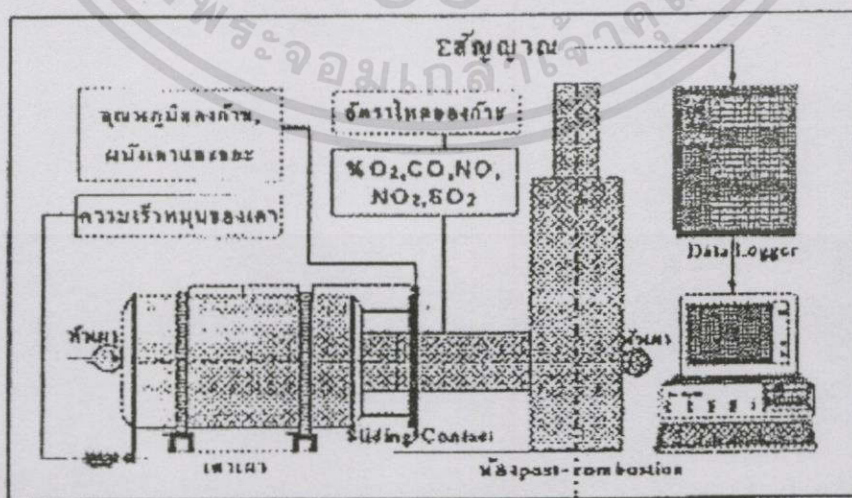


รูป 2.8 ไดอะแกรมขบวนการของเตาเผาแกลบ[8]

นายบุญเรือง ศรีสวัสดิ์ [9] ได้นำเสนอโครงการต่อเนื่องจากโครงการต่อจากโครงการของนายอดิศักดิ์ ชูจินดา[8] เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของเตาเผาแกลบสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ ฟลูอิดไคซ์เบดขนาด 10,000 kg/hr เตาเผาแกลบจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.37 m. สูง 2.75 m. ดังแสดงในรูปที่ 2.8 แกลบจะถูกป้อนเข้าในแนวสัมผัสและเกิดการหมุนในห้องเผาไหม้ จากการทดลองพบว่า ที่ความสูงของซี่ไถ่บนตะแกรงขะเผาไหม้ 30 , 45 , 50 และ 60 cm. อัตราการป้อนแกลบ 1.833 – 2.26 kg/min อากาศส่วนเกิน 260 - 350 % ในระยะ

เวลาการเผาไหม้ 3 hr อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ยก่อนออกจากระบบเตาอยู่ในช่วง 295 - 341 °C ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทั้งระบบ 57 - 73 % ประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอน 87 - 97 % ในการทดลองพบว่า ความสูงของชี้ไถ่บนตะแกรงที่เหมาะสม 50 cm. โดยมีอัตราการป้อนแกลบ 1.833 kg/min และอากาศส่วนเกิน 350 % ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทั้งระบบ 73 % ประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอน 96 % ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นตามปริมาณอากาศส่วนเกิน ส่วนความหนาของชี้ไถ่แกลบบนตะแกรงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ

นายสมรัฐ เกิดสุวรรณ [10] ได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเผาไหม้มูลฝอยติดเชื้อในเตาเผาแบบหมุนต่อผลของการเคลื่อนตัวของมูลฝอยติดเชื้อต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลของการเคลื่อนตัวของมูลฝอยติดเชื้อที่มีต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ในเตาเผาแบบหมุนดังแสดงในรูปที่ 2.9 ที่มีความสามารถในการเผาไหม้ชั่วโมงละ 50 kg โดยใช้มูลฝอยจำลองซึ่งมีองค์ประกอบและลักษณะสมบัติคล้ายมูลฝอยติดเชื้อจริงในการทดลอง การทดลองแบ่งเป็นสองส่วน ในส่วนแรกเป็นการทดลองเผาเตาไม่มีมูลฝอยเพื่อศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาจากนั้นเป็นการทดลองเผามูลฝอยจำลอง โดยกำหนดความชื้นโดยมวลของมูลฝอยเป็นร้อยละ 30 น้ำหนักมูลฝอยที่ป้อนแต่ละครั้งเป็น 8 kg เวลาที่ให้ห้องเผาไหม้หลักทำงานเป็น 7 นาที การเคลื่อนตัวของมูลฝอยกำหนดให้เตาเริ่มหมุน 10 องศา ทุกๆ 3 นาทีและเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 องศา จนมีตำแหน่งสูงสุดที่ 90 องศา ประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้คำนึงถึงอุณหภูมิสูงสุดของก๊าซที่เพียงพอต่อการเผาทำลายเชื้อโรคในมูลฝอยและความเข้มข้นของก๊าซเผาไหม้ที่ระบายออกสู่บรรยากาศ ผลการทดลองพบว่าการเคลื่อนตัวของมูลฝอยติดเชื้อในเตาเผาขยะที่เหมาะสมอยู่ในช่วงการหมุน 40 ถึง 50 องศาทุกๆ 3 นาที โดยมีอุณหภูมิของก๊าซเฉลี่ยสูงกว่า 1,100 °C ทั้งนี้แม้ว่าการหมุนเตาอย่างต่อเนื่องจะสามารถทำให้อัตราการเผาไหม้เกิดขึ้นรวดเร็วกว่าแต่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์



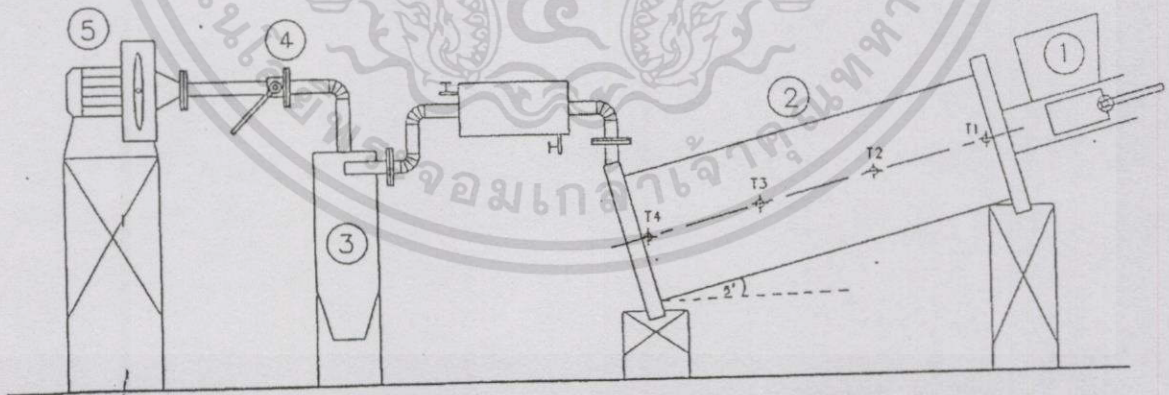
รูปที่ 2.9 อุปกรณ์การทดลองเตาเผาแบบหมุนวน [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นายกฤษ มณีรัตน์ [11] ได้ออกแบบและศึกษาประสิทธิภาพของเตาเผาแบบ Rotary Kiln ดังแสดงในรูปที่ 2.10 จุดประสงค์ของการศึกษานี้เป็นการออกแบบเตาเผาขยะชุมชนแบบ Rotary Kiln ขนาดเล็กและทำการทดลองเพื่อประเมินสมรรถนะการใช้งานของเตา โดยคำนวณค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้และประสิทธิภาพการกำจัดขยะด้วยเตาเผาที่ออกแบบนี้

ในการศึกษาขั้นแรกเป็นการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติของขยะที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง เพื่อนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณขนาดของเตาเผา ปริมาณขยะ และปริมาณอากาศที่ต้องใช้ในการเผาไหม้ จากการศึกษาขยะชุมชนของกรุงเทพมหานครในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาพบว่า มีส่วนประกอบดังนี้ กระดาษ 34 % พลาสติก 34 % ไม้ 17% ผ้า 11% และยาง 4% สำหรับขยะที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นขยะที่สังเคราะห์ขึ้น โดยสัดส่วนของขยะที่ใช้ได้จากการศึกษาดังกล่าวข้างต้น ขยะสังเคราะห์มีองค์ประกอบเชิงธาตุ ดังนี้ $C = 50.6\%$, $H = 6.11\%$, $O = 42.6\%$, $N = 0.69\%$

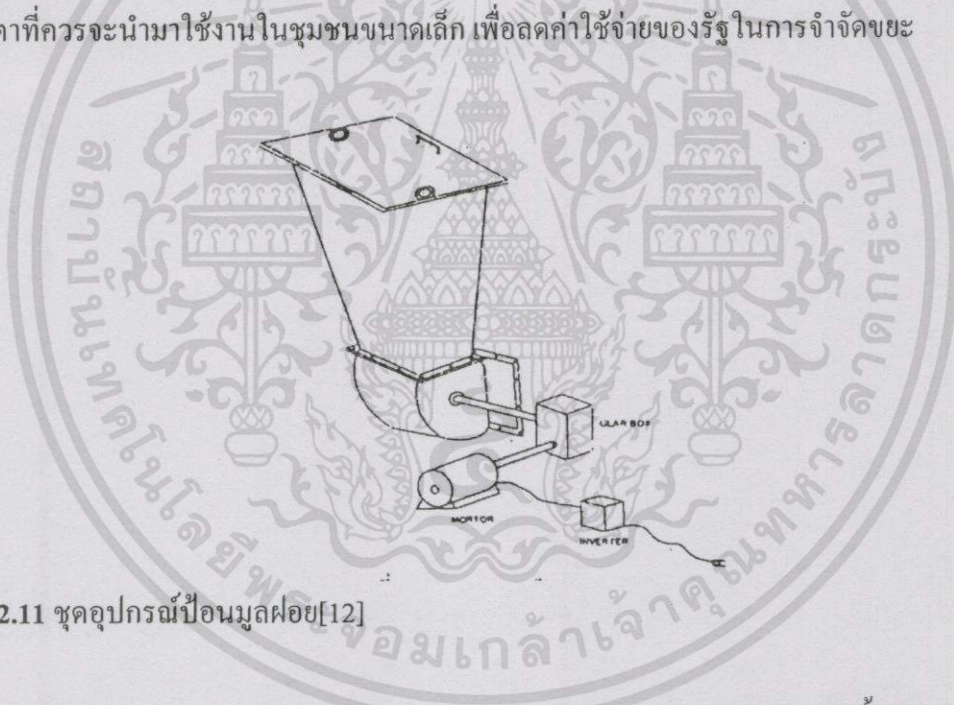
การทดลองเพื่อคำนวณประสิทธิภาพของเตาในรูปของ ประสิทธิภาพการเผาไหม้และประสิทธิภาพการทำลายขยะ ได้ทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการเผาไหม้ 3 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการป้อนอากาศที่ 150, 200 และ 250 % ของอากาศส่วนเกิน อัตราการป้อนขยะที่ 15 , 20 และ 25 kg/hr ความเร็วรอบที่หมุนของเตาเผา 0.6 , 0.8 และ 1 รอบต่อนาที จากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าสภาวะการทดลองที่เหมาะสม คือ อัตราการป้อนอากาศ 250 % ของอากาศส่วนเกิน อัตราการป้อนขยะ 20 kg/hr และความเร็วรอบของเตาเผา 0.6 rpm อุณหภูมิภายในเตาเผาที่สภาวะคงที่ให้ค่าสูงสุดประมาณ $790\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีปริมาณก๊าซ CO , SO_x และ NO_x ประมาณ 3200 ppm, 20 ppm. และ 60 ppm. ตามลำดับ ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุดเท่ากับ 96.07% และประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 94.3%



1.ระบบป้อนขยะ 2.เตาเผาแบบหมุน 3.ไซโคลน 4.วาล์วควบคุมอัตราการป้อนอากาศ 5. พัดลม
T1 = อุณหภูมิจุดที่ 1 T2 = อุณหภูมิจุดที่ 2 T3 = อุณหภูมิจุดที่ 3 T4 = อุณหภูมิจุดที่ 4

รูปที่ 2.10 แสดงอุปกรณ์การทดลอง[11]

สมศรี จรุงเรือง ชินเทพ เพ็ญชาติ และ สุทิน ลิตติกรณ์ [12] ได้ทำการวิจัยผลของการใช้ อุปกรณ์ป้อนมูลฝอยชนิดโรตารีต่อการเผาไหม้ในเตาเผาโครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ อุปกรณ์ป้อนมูลฝอยชนิดโรตารีต่อการเผาไหม้ในเตาเผาดังแสดงในรูปที่ 2.11 มูลฝอยที่ใช้ ทำวิจัยเป็นใบไม้แห้ง ทำการป้อนมูลฝอยด้วยอัตรา 0.4166 kg/min ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินตาม 0 % , 20 % , 40 % และ 60 % เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบผลของการใช้ อุปกรณ์ป้อน ชนิดโรตารีกับการป้อนด้วยแรงงานคน ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น 41 % เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20 % คือเมื่อไม่มี อุปกรณ์ป้อนอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องเผาไหม้มีค่าสูงสุด 590 °C ถ้าใช้ อุปกรณ์ป้อนมีค่าเป็น 660 °C ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อใช้ อุปกรณ์ป้อนมีค่าต่ำกว่าเมื่อป้อนด้วยแรงงานคน ปริมาณก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำสุดมีค่า 886 ppm. แต่ถ้าใช้ อุปกรณ์ป้อนจะมีค่า 810 ppm. แสดงว่า อุปกรณ์ป้อนมูลฝอยช่วยให้มูลฝอยผสมผสานกับอากาศได้ดีกว่าการป้อนด้วยแรงงานคนอย่างเดียว เตาเผามูลฝอยที่มีอุปกรณ์ป้อนนี้เป็นเตาเผาที่มีราคาถูกใช้งานได้ดีไม่ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ เป็นเตาที่ควรจะนำมาใช้งานในชุมชนขนาดเล็ก เพื่อลดค่าใช้จ่ายของรัฐในการกำจัดขยะ



รูปที่ 2.11 ชุดอุปกรณ์ป้อนมูลฝอย[12]

Tim T. Fu and Sen Nich [13] ได้ทำการทดสอบเตาเผาแบบ Vortex โดยใช้เชื้อเพลิง DUC (Dry Ultrafine Coal) และ CWF (Coal Water Fuel) อัตราความร้อน 0.15 MB/H ดังแสดงในรูปที่ 2.12 จากผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิที่ส่วนล่างของเตาเผา เท่ากับ 1,093 °C และลดลงเหลือ 594 °C ที่บริเวณส่วนบนของเตาเผา บริเวณทางออก มีอุณหภูมิเท่ากับ 899 °C อุณหภูมิของก๊าซที่ห้องเผาไหม้ ส่วนล่างจะเพิ่มขึ้นตาม Firing Rate การเพิ่มอากาศจะเป็นผลเสียต่อสมรรถนะการสันดาป เพราะมีการสูญเสียความร้อนเพิ่มขึ้น

ก๊าซที่ได้รับจากการสันดาป ประกอบด้วย O_2 , CO_2 , CO สารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ NO_x และ SO_x

ปริมาณ O_2 จะลดลงตามความสูงของเตาเผา ที่ส่วนล่างของห้องเผาไหม้มีปริมาณ CO เท่ากับ 550 ppm. และ 250 ppm. ที่ทางออก

เปลวไฟของการสันดาป มีลักษณะการไหลหมุนวนเป็นเกลียววงแหวนแบบปั่นป่วนรอบท่อศูนย์กลางภายในเตาเผา ความเร็วของอากาศปฐมภูมิ เป็นปัจจัยสำคัญต่อความเสถียรและคุณลักษณะของเปลวไฟ

ผลกระทบของการเปลี่ยนอัตราความร้อน สำหรับการเผาไหม้ DUC มีประสิทธิภาพการสันดาปเท่ากับ 98% (ไม่มีอากาศปฐมภูมิ) และ 98.5% (มีอากาศปฐมภูมิ)

ความแรงของการหมุนวนในเตาเผาแบบ Vortex ขึ้นอยู่กับความเร็ว อัตราการไหลและมุมของอากาศปฐมภูมิ และอากาศปฐมภูมิ อากาศปฐมภูมิให้ออกซิเจนสำหรับการสันดาปเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ทำให้การผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศดีขึ้น ปฏิบัติการสันดาปประสิทธิภาพการสันดาปเพิ่มขึ้น 0.5% คาร์บอนในขี้เถ้าลดลงจาก 30% เป็น 26 % ที่ทางออกของเตาจะมีปริมาณ NO_x ต่ำกว่า 50 ppm.

สมรรถนะการดำเนินงาน การเผาไหม้ DUC และ CWF ในเตาเผาแบบ Vortex เริ่มต้นในช่วง Start-up จะเผาไหม้ Propane 30 นาที เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงถึง $899^\circ C$ สำหรับ DUC ($927^\circ C$ สำหรับ CWF) CWF และ DUC เข้าเตาเผาใช้เวลาประมาณ 30 นาที การเผาไหม้จะเข้าสู่สภาวะสม่ำเสมอ DUC และ DWF จะแตกต่างกันในช่วง Restart หลังจากหยุดให้ DUC 25 นาที ยังสามารถ Re-ignited ถ้าอุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงกว่า $649^\circ C$ อย่างไรก็ตาม CWF มีอุณหภูมิวิกฤตที่ $732^\circ C$ ระหว่างช่วง Restart อัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิเป็นปัจจัยสำคัญ อากาศปฐมภูมิที่มากเกินไป จะลดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้และทำให้ Restart ได้ลำบาก อัตราการไหลที่ต่ำ ทำให้อุณหภูมิห้องเผาไหม้ลดลง

ผนังอิฐภายในเตาเผา จะเกิดการสึกกร่อน เป็นผลมาจาก “ Sand blasting” ของการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของอนุภาคถ่านหินในการไหลหมุนวนที่รุนแรง

จากโครงการในอดีตข้างต้นทั้งหมดพบว่าพลังงานพลังที่นำมาใช้แทนพลังงานจากฟอสซิลคือพลังงานที่ได้จากชีวมวลเช่น ใบไม้ แกลบ และ ชี้เลี้ยง เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่จำนวนมากและมีราคาถูก ดังนั้นในงานวิจัยในอดีตต่างๆ จะถูกใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญในการออกแบบเตาเผาออร์เทคเพื่อให้ความเหมาะสมต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้มากที่สุด

บทที่ 3

ทฤษฎี

สิ่งที่เราเรียกว่าพลังงานนั้นมีคุณสมบัติโดยทั่วไป 2 ประการคือ สามารถทำงานได้และสามารถเปลี่ยนรูปได้ ดังนั้นความหมายของพลังงานอย่างง่ายที่สุดคือ ความสามารถที่ทำงานได้ ซึ่งพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจะได้อมาจากหลายแหล่งเช่น พลังงานฟอสซิล พลังงานจากแหล่งน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากชีวมวล พลังงานลม พลังงานนิวเคลียร์ และ พลังงานความร้อนใต้พิภพ ซึ่งการเลือกใช้แหล่งพลังงานก็แล้วแต่ความเหมาะสม

3.1 พลังงานจากชีวมวล[17]

การจำแนกพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ได้ 2 แหล่งคือ พลังงานฟอสซิล ซึ่งฟอสซิล หมายถึงซากพืชซากสัตว์ที่ทับถมจมอยู่ใต้ดินเป็นเวลานานหลายพันปีแรงอัดของโลกและความร้อนใต้ผิวโลกทำให้มันเปลี่ยนสภาพไปเป็นสารเชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นทั้งของแข็ง ของเหลว และ ก๊าซ ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน และ ก๊าซธรรมชาติตามลำดับ และ พลังงานจากชีวมวล ซึ่งชีวมวล หมายถึงสิ่งที่ได้จากสิ่งมีชีวิต หรือองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต หรือสารอินทรีย์ต่างๆ พลังงานจากชีวมวลจึงเป็นพลังงานที่ได้จากพืชและสัตว์ โดยขบวนการเปลี่ยนแปลงความร้อนทางเคมีหรือขบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยอาศัยจุลินทรีย์

3.2 ชีวมวลที่นำมาใช้เป็นพลังงาน

3.2.1 ชีวมวลที่มาจากพืช

ชีวมวลที่มนุษย์นำมาใช้เป็นพลังงาน ส่วนที่มาจากพืชได้แก่ ไม้ชนิดต่าง ๆ ทั้งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง สำหรับทะเลที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูง วัชพืชบกน้ำ เช่น หญ้า ผักตบชวา เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืช เช่น เศษไม้ ขี้เลื่อย แกลบ ยอดอ้อย ฟางข้าว เปลือก และ ชังข้าวโพด เปลือกผลไม้ ขานอ้อย และ กากน้ำตาล รวมทั้งของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

3.2.2 ชีวมวลที่มาจากสัตว์

ชีวมวลที่มนุษย์นำมาใช้เป็นพลังงาน ส่วนที่มาจากสัตว์ได้แก่ มูลสัตว์ต่างๆ เช่น มูลวัว ควาย หมู เป็ด และ ไก่

3.3 การใช้พลังงานจากชีวมวล

เราสามารถเลือกใช้พลังงานชีวมวลได้หลายแบบตามความเหมาะสมดังนี้

3.3.1 การเผาไหม้โดยตรง(direct combustion)

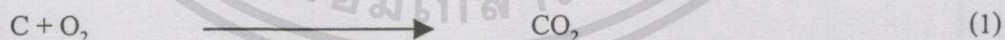
การเผาไหม้โดยตรงเป็นขบวนการที่เกิดการสันดาปอย่างสมบูรณ์สารอินทรีย์จากชีวมวลจะถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เช่นการใช้ไม้ฟืนในการหุงต้มอาหารในชีวิตประจำวัน นอกจากนี้ยังนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตไม้อัดและกระดาษได้อีกด้วย

3.3.2 ขบวนการไพโรไลซิส(pyrolysis)

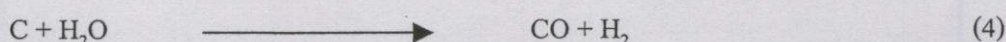
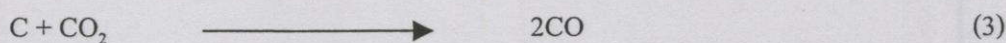
ขบวนการไพโรไลซิสเป็นขบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพของสารอินทรีย์โดยการให้ความร้อนแก่สารในที่มีอากาศจำกัด สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบประเภทชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงในรูปของก๊าซ ของเหลว และของแข็ง ซึ่งเป็นขบวนการทางเคมี ปฏิกิริยาของการไพโรไลซิสคือปฏิกิริยาที่ทำให้สารประเภทลิกโนเซลลูโลส(ligno-cellulose)สลายตัวไปอยู่ในสภาพของถ่านและน้ำมันโดยใช้ความร้อนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแล้วก็จะเกิดต่อเนื่องกันไป ความร้อนที่ใช้ในขบวนการอาจได้จากการเผาวัตถุดิบส่วนหนึ่ง ปริมาณและคุณภาพของก๊าซ น้ำมัน และถ่านที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของเตา คุณสมบัติของวัตถุดิบ ความชื้นของวัตถุดิบและอุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยา โดยทั่วไปแล้วถ้าให้อากาศเข้ามาจะทำให้อุณหภูมิของขบวนการสูง สัดส่วนของก๊าซที่ได้จะสูง ถ้าให้อากาศเข้าน้อย อุณหภูมิของขบวนการจะต่ำ ทำให้ผลที่ได้จากขบวนการมีน้ำมันและถ่านมากขึ้น ในประเทศที่กำลังพัฒนาจะเก็บผลผลิตมาใช้เพียงแต่ถ่านเท่านั้น

3.3.3 ขบวนการก๊าซซิฟิเคชัน(gasification)

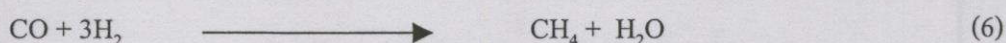
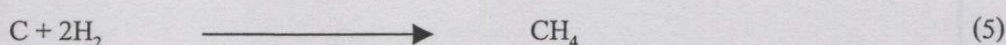
ขบวนการก๊าซซิฟิเคชันเป็นขบวนการที่เปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งเช่น ถ่านและไม้ ไปเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในสภาพก๊าซ เรียกว่า producer gas ก๊าซที่ได้นี้อาจจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แบบการสันดาปภายในหรือใช้ในขบวนการให้ความร้อนต่างๆ ได้ การเกิดก๊าซชีวมวลในเตาผลิตก๊าซเป็นขบวนการทางเคมี การสันดาปจะเกิดขึ้นระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจนกับออกซิเจนในอากาศจะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำดังนี้

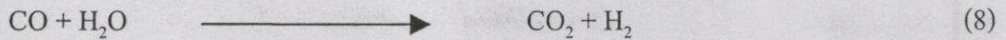
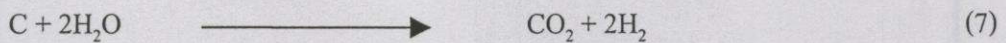


ถ้าให้คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำไหลผ่านเชื้อเพลิงที่กำลังลุกไหม้อยู่ คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำจะทำปฏิกิริยาได้คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนดังนี้



นอกจากปฏิกิริยา (3) และ (4) แล้วปฏิกิริยาดังต่อไปนี้อาจเกิดขึ้นได้





ส่วนผสมของก๊าซชีววมวลจะไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง ซึ่งก๊าซที่ถูกใหม่ได้ในก๊าซชีววมวลก็คือ คาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรเจน และ มีเทน ซึ่งในหลักการควรทำให้มีมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ ปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์ในก๊าซจะขึ้นอยู่กับเวลาที่คาร์บอนไดออกไซด์จะเปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์มากแค่ไหน ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเร็วระหว่างก๊าซกับถ่าน และพื้นที่ที่ก๊าซสัมผัสกับถ่าน ถ้าต้องการให้คาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ทั้งหมด อุณหภูมิจะต้องสูงเกิน 1,100 °C ถ้าเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นถ่าน ปฏิกิริยา (3) จะเป็นปฏิกิริยาเดียว ซึ่งได้ส่วนประกอบของก๊าซส่วนใหญ่ก็คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ แต่ถ้ามีไอน้ำผสมอยู่ด้วยก็จะมีไฮโดรเจนและมีเทนเกิดตามปฏิกิริยา (4) , (5) , (6) , (7) และ (8) ปฏิกิริยาที่ (4) มีความสำคัญมากเช่นกัน เพราะทำให้ส่วนผสมของไฮโดรเจนในก๊าซมีมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ก๊าซมีค่าพลังงานความร้อนสูงขึ้น ดังนั้น จึงได้มีการฉีดน้ำเข้าไปในเตาผลิตก๊าซเพื่อช่วยในให้เกิดไฮโดรเจนมากที่สุด แต่ถ่าน้ำมีเกินไปไอน้ำอาจทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนตามปฏิกิริยา (8) ซึ่งทำให้ส่วนประกอบของคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง หากเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสด เช่น ไม้หรือชีววมวลชนิดอื่นๆ ก็ไม่จำเป็นต้องฉีดน้ำเพราะมีน้ำผสมอยู่กับเชื้อเพลิงมากพอแล้ว

3.3.4 ก๊าซชีววมวล(biogas)

ก๊าซชีวภาพ หมายถึง ก๊าซที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน โดยแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน(anaerobic bacteria)ทำให้เกิดผลผลิตในรูปของก๊าซผสมประกอบด้วย มีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนใหญ่ ก๊าซอื่นๆ เล็กน้อย เช่น ไฮโดรเจน (H_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) ออกซิเจน (O_2) และไนโตรเจน (N_2) เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่คงตัวและไม่ติดไฟ ดังนั้น คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้จึงขึ้นอยู่กับก๊าซมีเทน ก๊าซชีวภาพจุดไฟติดในบรรยากาศที่อุณหภูมิและความดันปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับถ่าน ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร จะให้ความร้อนเทียบเท่ากับถ่านไม้ชนิด 0.74 กิโลกรัม

3.3.5 แอลกอฮอล์(alcohol)

เนื่องจากวิกฤตการณ์ทางพลังงานที่เกิดขึ้น จึงทำให้มีการนำเอเอธิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) มาใช้เป็นพลังงานทดแทน ซึ่งก็ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากโดยการนำเอเอธิลแอลกอฮอล์มาผสมกับแก๊สโซลีนในอัตราร้อยละ 10 : 90 หรือ 20 : 80 เรียกว่า ก๊าซโซฮอล (gasohol) ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ ความเหมาะสมในการใช้แอลกอฮอล์เพื่อเป็นพลังงานทดแทนยังต้องได้รับการศึกษาและปรับปรุงอีกมากเพราะต้นทุนในการผลิตยังสูงอยู่

3.3.6 การใช้น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์ดีเซล

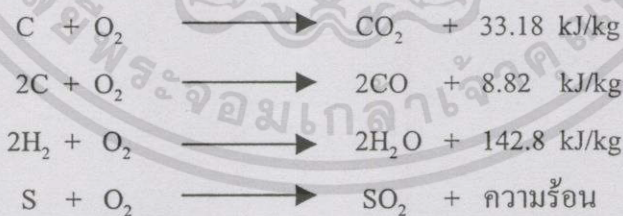
ความพยายามในการค้นหาพลังงานอื่นมาทดแทนน้ำมันเช่น การใช้แอลกอฮอล์และก๊าซชีววมวลกับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ลม น้ำ ตลอดจนก๊าซชีวภาพ เป็นต้น นับได้ว่าก้าวหน้าพอสมควร แต่สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้มีการทดลองนำก๊าซชีวภาพมาทดลองเติมเครื่องยนต์ร่วมกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ผลปรากฏว่าเครื่องยนต์เดินได้ดีและประหยัดน้ำมันดีเซลได้อีกด้วยจึงได้ทดลองเอาน้ำมันพืชหลายชนิดรวมกับก๊าซชีวภาพแล้วใช้เติมในเครื่องยนต์ปรากฏว่าเป็นไปได้แต่มีปัญหาในเรื่องมียางเหนียวติดลูกสูบและชิ้นส่วนอื่นๆ ของเครื่องยนต์ จึงได้พยายามคิดค้นหาน้ำมันพืชชนิดใหม่จนพบว่าน้ำมันจากเมล็ดพืชชนิดหนึ่งซึ่งมีชื่อเรียกต่างๆ กันออกไปสามารถเดินเครื่องยนต์ดีเซลได้ดี พืชชนิดนี้ภาคกลางเรียกว่า ต้นสบู่ดำ (physic nut หรือ purging nut)

3.4 การเผาไหม้[8]

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาการรวมตัวกันของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว พร้อมกับการเกิดลูกไหม้และคายความร้อน ในการเผาไหม้ส่วนใหญ่ไม่ใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ เพราะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงจะใช้ออกซิเจนในอากาศ จะมีก๊าซออกซิเจนและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ก๊าซอื่นมีน้อยมากจนไม่มีความสำคัญ ออกซิเจนจะมีอยู่ในอากาศร้อยละ 21 และไนโตรเจนร้อยละ 79 โดยปริมาตร หรือมีออกซิเจนประมาณ ร้อยละ 23 และไนโตรเจนประมาณร้อยละ 77 โดยน้ำหนัก

3.4.1 ปฏิกิริยาเคมีของการเผาไหม้

เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ประกอบด้วย คาร์บอน , ไฮโดรเจน และปริมาณธาตุอื่นปนอยู่บ้างเช่น กำมะถันเมื่อเผาไหม้จะเกิดปฏิกิริยาเคมีดังสมการต่อไปนี้



3.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้

1. อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเชื้อเพลิงกับปริมาณออกซิเจนหรืออากาศที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้ เพื่อให้ได้ผลอย่างสมบูรณ์นั้นจะต้องมีสัดส่วนที่พอดีกันระหว่างปริมาณเชื้อเพลิงกับปริมาณออกซิเจน ตามสมการการเผาไหม้ ปริมาณของอากาศตามทฤษฎี (Theoretical air) คือปริมาณน้อยที่สุดของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์จนคาร์บอน , ไฮโดรเจน และกำมะถันเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, น้ำ และ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตามลำดับ ใน

ทางปฏิบัติจริงของอากาศที่ต้องการตามทฤษฎีไม่พอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ การสันดาปที่ไม่สมบูรณ์คือการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนในก๊าซไอเสีย

2. การผสมหรือการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจน คือการที่อนุภาคของเชื้อเพลิงสัมผัสกับโมเลกุลของออกซิเจนได้อย่างทั่วถึง ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นก๊าซ การผสมจะเป็นไปได้ง่าย แต่ถ้าเป็นเชื้อเพลิงแข็งหรือของเหลวการผสมจะยุ่งยากขึ้น ในกรณีที่เชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นของเหลวจะมีการทำให้เป็นอนุภาคเล็ก โดยใช้หัวพ่นแล้วจึงทำการเผาไหม้ซึ่งจะทำให้รวมตัวกับอากาศได้ง่ายขึ้น

3. อุณหภูมิที่สูงพอต่อการเผาไหม้ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหรือการรวมตัวกันทางเคมีของเชื้อเพลิงกับอากาศจะขึ้นโดยตรงกับอุณหภูมิ การเผาไหม้จะเกิดขึ้นในตอนแรกและเกิดต่อไปเรื่อยๆ ความร้อนที่ได้จะเพิ่มอุณหภูมิของเชื้อเพลิงและอากาศให้สูงขึ้น ทำให้อัตราการเผาไหม้สูงขึ้นด้วย ฉะนั้นการเผาไหม้แบบเกิดขึ้นเองและต่อเนื่อง (Spontaneous combustion) ต้องมีความร้อนจากภายนอกช่วยเพิ่มปฏิกิริยาการเผาไหม้และให้ปริมาณความร้อนมากขึ้นจนอุณหภูมิสูงพอต่อการเผาไหม้แบบต่อเนื่อง โดยปกติแล้วการเผาไหม้นั้นต้องการให้มีอุณหภูมิสูงเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้เร็ว แต่การที่อุณหภูมิจะสูงได้มากน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ ซึ่งจะสามารถให้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ในกรณีอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นสารที่ไม่ต้องการได้ เช่น สารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน หรือ เกิดเถ้าหลอมรวมตัวเป็นขี้เถ้าเหลว (slag) เกาะติดอยู่บนผนังเหล็กที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนทำให้เกิดการกัดกร่อนได้

4. เวลาที่เพียงพอในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง คือเวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในเตาเผาควรนานพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้มากที่สุด แต่การเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์เป็นไปได้ยากเพราะต้องใช้เวลานาน

3.4.3 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เป็นเชื้อเพลิงแข็ง

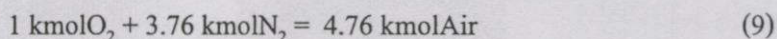
ประกอบด้วยกันทั้งหมด 4 ขั้นตอนคือ

1. เริ่มด้วยออกซิเจนสัมผัสกับผิวคาร์บอน
2. เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
3. เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกมาที่ผิว
4. แล้วเกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์กับออกซิเจนเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากสาเหตุดังกล่าว ปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเร่งการเกิดปฏิกิริยาได้โดยบดเชื้อเพลิงแข็งให้เล็กลงซึ่งเป็นการเพิ่มผิวสัมผัสมากขึ้น เพราะเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งจะเกิดการผสมแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) ทำให้พื้นผิวที่สัมผัสกับออกซิเจนจำกัด

แกลบที่ถูกเผาไหม้จะให้พลังงานออกมา ปฏิกิริยาที่แกลบทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (oxidized) และทำให้ได้พลังงานจำนวนมากเรียกว่าการสันดาป หรือการเผาไหม้ (Combustion) "Oxidizer" ที่

ใช้บ่อยที่สุดในกระบวนการเผาไหม้คืออากาศ อากาศแห้งประมาณได้ว่าประกอบไปด้วย ออกซิเจน 21% และ ไนโตรเจน 79% ตามสัดส่วนจำนวนโมล ดังนี้



ที่อุณหภูมิการเผาไหม้ปกติ ไนโตรเจนมีพฤติกรรมเป็นก๊าซเฉื่อยและไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ

องค์ประกอบก่อนกระบวนการเผาไหม้เรียกว่าสารตั้งต้น(reactants) ส่วนองค์ประกอบหลัก การเผาไหม้เรียกว่าผลิตภัณฑ์(products)สมการเคมีนั้นสมดุลโดยการใช้อนุพันธ์มวลซึ่งกล่าวว่า มวลทั้งหมดของแต่ละธาตุ(element)จะมีค่าคงที่ในระหว่างการทำปฏิกิริยา สัดส่วน เจริญมวลของอากาศ ต่อเชื้อเพลิงในระหว่างการเผาไหม้เรียกว่า สัดส่วนเจริญมวลของอากาศต่อเชื้อเพลิงในระหว่างการเผาไหม้เรียกว่า สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง(air-fuel ratio)

$$AF = \frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{fuel}}} \quad (10)$$

โดยที่

$$m_{\text{air}} = (NM)_{\text{air}} \quad \text{และ} \quad m_{\text{fuel}} = \sum (N_i M_i)_{\text{fuel}}$$

การเผาไหม้จะเป็นไปโดยสมบูรณ์ถ้าคาร์บอนทั้งหมดในเชื้อเพลิงเปลี่ยนไปเป็น CO_2 ไฮโดรเจนทั้งหมดเป็น H_2O และกำมะถัน ทั้งหมด(ถ้ามี)เป็น SO_2 ปริมาณอากาศจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงหนึ่งๆ เป็นไปโดยสมบูรณ์เรียกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี (stoichiometric หรือ theoretical air)ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นปริมาณของอากาศที่ถูกต้องทางเคมี หรือ 100% theoretical air กระบวนการการเผาไหม้ทางอุดมคติซึ่งเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้โดยสมบูรณ์เรียกว่า stoichiometric หรือ theoretical combustion ของเชื้อเพลิงนั้น ๆ อากาศปริมาณที่เกินจำนวนทางทฤษฎีเรียกว่า “excess air” และมักบอกเป็น “percent excess air” หรือ “percent theoretical air” ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาเคมีพันธะเคมี(chemical bonds) บางส่วนจะแตกออก และบางส่วนจะถูกก่อตัวขึ้นมาใหม่ ดังนั้นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีจะเกี่ยวพันกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีด้วย เนื่องจากองค์ประกอบก่อนและหลังปฏิกิริยาเคมีเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจำเป็นต้องกำหนดสภาวะอ้างอิงมาตรฐาน(standard reference state)สำหรับทุกสารซึ่งได้แก่ที่ 25°C และ 1 atm

ผลต่างของเอนทาลปีของผลิตภัณฑ์ และสารตั้งต้นที่สภาวะที่กำหนดสำหรับปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ (complete reaction)เรียกว่าเอนทาลปีของการเกิดปฏิกิริยา(enthalpy of reaction ; h_R) ผลต่างดังกล่าวสำหรับการเผาไหม้เรียกว่าเอนทาลปีของการเผาไหม้(enthalpy of combustion; h_C) ซึ่ง

แสดงถึงปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกมาในระหว่างการเผาไหม้แบบคงตัวโดยสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงจำนวน 1 kmol ที่อุณหภูมิและความดันที่กำหนด เอนทาลปีของสารที่สถานะหนึ่งๆ อันเป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมีเรียกว่าเอนทาลปีของการเกิดสารประกอบ (enthalpy of formation ; h_f) ค่า h_f นี้เท่ากับศูนย์สำหรับธาตุที่เสถียร (stable element) ทั้งหมดที่ 25 °C และ 1 atm ค่าความร้อน (heating value) ของเชื้อเพลิงนั้นมีค่าจำกัดความเป็นปริมาณ พลังงานที่ส่งถ่ายออกมาในขณะที่เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้โดยสมบูรณ์ในกระบวนการไหลแบบคงตัว และ ผลิตภัณฑ์กลับคืนสู่สถานะของสารตั้งต้น ค่าความร้อนนี้เท่ากับค่าสมบูรณ์ของเอนทาลปีของการเผาไหม้ (enthalpy of combustion)

$$\text{Heating value} = |h_c| \quad (11)$$

ค่าความร้อนเรียกว่า “higher heating value” (HHV) เมื่อน้ำในผลิตภัณฑ์อยู่ในสถานะของเหลว และเรียกว่า “lower heating value” (LHV) เมื่อน้ำในผลิตภัณฑ์อยู่ในสถานะไอ ทั้งสองค่าสัมพันธ์กันโดย

$$\text{HHV} = \text{LHV} + (N \bar{h}_{fg})_{\text{H}_2\text{O}} \quad (12)$$

โดยที่ N คือจำนวนโมลของ H_2O ใน “products” และ \bar{h}_{fg} คือ “enthalpy of vaporization” ของน้ำที่ 25 °C

3.5 อัตราส่วนสมมูล

ในการเผาไหม้จริงปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้อาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่าทางทฤษฎี ถ้าปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎีจะเรียกว่า อัตราส่วนผสมบาง (Lean Mixture) ตรงกันข้ามหากปริมาณอากาศที่ใช้น้อยกว่าจะเรียกว่า อัตราส่วนผสมหนา (Rich Mixture) เพื่อความสะดวกในการแสดงปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริง จึงกำหนดให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง $(A/F)_{\text{stoic}} = (m_{\text{air}}/m_{\text{fuel}})_{\text{stoic}}$ และอัตราส่วนสมมูล (equivalence ratio, Φ) จะหมายถึง

$$\Phi = \frac{(A/F)_{\text{Stoic}}}{(A/F)_{\text{Actual}}} = \frac{(F/A)_{\text{Actual}}}{(F/A)_{\text{Stoic}}} \quad (13)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 คุณสมบัติของอากาศชื้น

การที่จะศึกษากระบวนการต่างๆ จำเป็นต้องรู้คุณสมบัติของอากาศชื้น

3.6.1 ความดันไอ (P ; kPa)

คือความดันย่อย (partial pressure) ของโมเลกุลไอน้ำที่อยู่ในอากาศชื้น ถ้าใช้บาโรมิเตอร์วัดความดันอากาศชื้น ความดันที่วัดได้ คือความดันรวม (P_B) ซึ่งจะเท่ากับผลบวกของความดันย่อยอากาศแห้ง (P_a) และความดันย่อยของไอน้ำ (P_v)

$$P_{\text{total}} = P_a + P_v \quad \text{kPa} \quad (14)$$

3.6.2 ความชื้น (Humidity)

เรียกไอน้ำที่ผสมกับอากาศแห้งในบรรยากาศว่าความชื้น ปกติไอน้ำนี้คือไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (superheated steam) ซึ่งหน่วยความดัน (P) ต่ำมาก

3.6.3 ความชื้นสัมพัทธ์ (ϕ , เปอร์เซ็นต์)

คือเศษส่วนโมล (mole fraction) ของไอน้ำในอากาศชื้น ต่อ เศษส่วน โมลของไอน้ำในอากาศอิ่มตัว ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศเดียวกัน

$$\phi = \left(\frac{Y}{Y_s} \right)_{t, P_B} \quad (15)$$

จาก

$$Y_i = \frac{N_i}{N} = \frac{P_i}{P}$$

และทราบว่าก๊าซทุกชนิดที่มีความดันต่ำมากจะมีพฤติกรรมคล้ายกับก๊าซอุดมคติฉะนั้น

$$\phi = \left(\frac{Y}{Y_s} \right)_{t, P_B} = \left(\frac{P}{P_s} \right)_{t, P_B} = \left(\frac{d}{d_s} \right)_{t, P_B} \quad (16)$$

กำหนดให้

Y คือ เศษส่วน โมล

N คือ จำนวน โมล

d คือ ความหนาแน่น

3.6.4 อัตราส่วนความชื้นหรือความชื้นจำเพาะ (w ; kg water vapor/kg dry air)

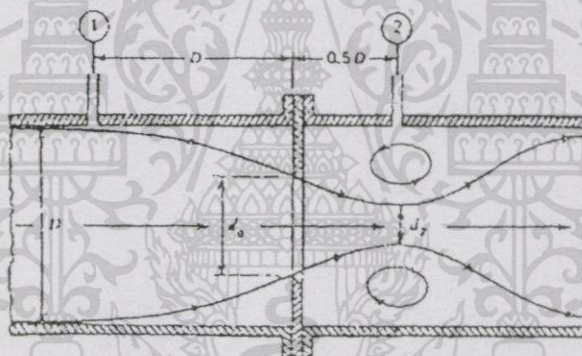
คือน้ำหนักไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศต่อน้ำอากาศแห้ง เนื่องจากถือได้ว่าไอน้ำในอากาศและอากาศแห้งในบรรยากาศเป็นก๊าซอุดมคติ ฉะนั้นน้ำหนักไอน้ำในอากาศคือ

$$w = \frac{m_w}{m_a} \quad \text{kg water vapor / kg dry air} \quad (17)$$

3.7 ออริฟิส (Orifice)

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

สมการ Bernoulli สามารถนำมาใช้อธิบายคุณสมบัติในการไหลที่จุดต่างๆ ภายในท่อได้ดังนั้น สมการ Bernoulli สำหรับจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของการไหลดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 แสดงการไหลผ่านแผ่นออริฟิส (Orifice)

$$Q_{ac} = C_d A_o \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma \left[1 - \left(\frac{d_o}{D} \right)^4 \right]}} \quad (18)$$

เมื่อ

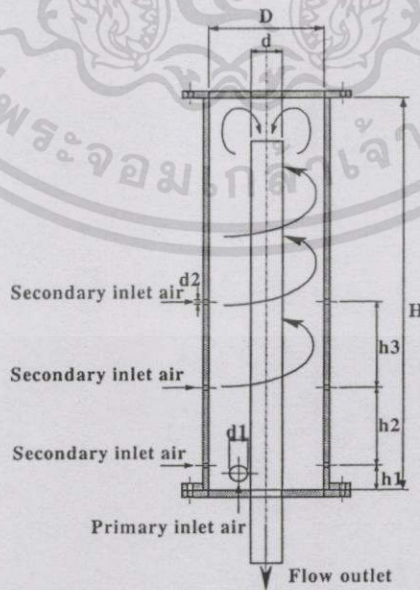
- | | |
|--|---|
| P = ความดันสถิตย์ของของไหล (N/m^2) | D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ |
| γ = น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight, N/m^3) | d_o = เส้นผ่านศูนย์กลางรูออริฟิส |
| Subscript 1t = ค่าที่จุดที่ 1 ในทางทฤษฎี | C_d = discharge coefficient |
| Subscript 2t = ค่าที่จุดที่ 2 ในทางทฤษฎี | A_o = พื้นที่หน้าตัดรูออริฟิส (m^2) |

บทที่ 4

การออกแบบและการคำนวณ

4.1 การออกแบบเตาเผาเวอร์เทค

เตาเวอร์เทคเป็นเตาที่ใช้เทคนิคของไหลแบบหมุนวนความเร็วสูงช่วยในการเผาไหม้ การไหลแบบหมุนวนความเร็วสูงได้ถูกนำมาใช้ในงานทางด้านอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก เช่น เตาเผาเครื่องยนต์สันดาปภายใน เครื่องยนต์กังหันก๊าซ และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ ในระบบการเผาไหม้นั้น การหมุนวนได้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเร็วของเปลวไฟ เพิ่มการผสมคลุกเคล้าของเชื้อเพลิงและอากาศ และช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน นอกเหนือจากช่วยเพิ่มเวลาอยู่ในเตาของเชื้อเพลิง และช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ เพราะว่าการหมุนวนช่วยเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลวนไปมาในบริเวณกึ่งกลางของเตาเป็นผลให้เกิดความปั่นป่วนอย่างรุนแรงขึ้นในแต่ละชั้น ระหว่างการไหลวนไปมาและการไหลของชั้นภายนอกซึ่งช่วยทำให้เปลวไฟในเตาเสถียรยิ่งขึ้น โครงสร้างของความปั่นป่วนในการไหลแบบหมุนวนความเร็วสูงนี้โดยทั่วไปมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนมาก การไหลวนไปมาอันเป็นผลจากการหมุนวนสามารถนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการสันดาป ลดมลภาวะที่ปล่อยออก ลดความยาวของเปลวเพลิงและเป็นผลให้เตาเผามีขนาดเล็กลง เพิ่มความเร็วของการสันดาป ซึ่งเตาเวอร์เทคนี้ถูกออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาต่างที่เกิดขึ้นในเตาที่กล่าวในข้างต้น โดยเตาเวอร์เทคนั้นจะรวมข้อดีของเตาไซโคลอน, เตาถ่านหินผง, ห้องสันดาปของเครื่องยนต์กังหันก๊าซ และเตาฟลูอิดไดซ์เบด เข้าด้วยกันเพื่อแก้ปัญหาในเรื่องของ slag, เเขม่า, ฝุ่น รวมถึงการเพิ่มเวลาในการเผาไหม้เพื่อการเผาไหม้ที่ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 4.1 เตาเผาแบบเวอร์เทค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาเผาแบบวอร์เทคประกอบด้วยห้องเผาไหม้ที่เป็นลักษณะทรงกระบอก และท่อทิ้งเถ้าลอยด้านใน ซึ่งผนังของห้องเผาไหม้จะประกอบไปด้วยท่อเหล็กทรงกระบอก 2 ชั้นมีความสูง(H)เท่ากับ 755 mm. ท่อเหล็กชั้นแรกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับเท่ากับ 280 mm. ท่อเหล็กชั้นที่สองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับเท่ากับ 200 mm. โดยที่เหล็กทั้ง 2 ท่อนมีความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร และช่องว่างระหว่างท่อเหล็กทั้งสองจะถูกหล่อด้วยอิฐทนไฟเพื่อช่วยลดการถ่ายเทความร้อนออกจากห้องเผาไหม้ ท่อทิ้งเถ้าลอยด้านในทำมาจาก สแตนเลสมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก(d) เท่ากับ 80 cm. และมีความหนาเท่ากับ 3 มิลลิเมตร มีความสูงเท่ากับ 950 mm. และมีแผ่นปิดทั้งด้านบนและล่างของเตาที่เป็นเหล็ก โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง(D)เท่ากับ 330 มิลลิเมตร โดยหลักการการทำงานของอุปกรณ์จำลองเตาเผาแบบวอร์เทคจะใช้อากาศ 2 ส่วน อากาศส่วนที่ 1 (Primary Air) เป็นอากาศที่ใช้ในการลำเลียงแกลบเข้าสู่เตาเผาโดยใช้ Blower เป็นแหล่งจ่ายอากาศทำให้เกิดการไหลของอากาศผ่านท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง(d_1)เท่ากับ 22 มิลลิเมตร ในการทดลองกำหนดให้มีอัตราการไหลของอากาศส่วนที่ 1 ในช่วง 0.0135 kg/s ถึง 0.027 kg/s และอากาศส่วนที่ 2 (Secondary Air) เป็นอากาศที่ไหลเข้าเพื่อช่วยให้เกิดการหมุนวนของเชื้อเพลิงแบบวอร์เทคในเตาเผาให้มากขึ้น ซึ่งใช้ Air compressor เป็นต้นกำลังที่ทำให้เกิดการไหลของอากาศ ซึ่งสามารถปรับอัตราการไหลของอากาศให้มีอัตราการไหลตั้งแต่ 0 kg/s ถึง 0.0108 kg/s โดยที่อากาศส่วนที่ 2 จะถูกแบ่งออกเป็น 6 ส่วนเท่ากันแล้วการป้อนอากาศผ่านหัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(d_2) เท่ากับ 5 mm. ตำแหน่งของหัวฉีดทั้ง 6 หัวที่ใช้ปล่อยอากาศส่วนที่สองมีความสูงต่างกัน 3 ระดับ ในแต่ละระดับจะมีหัวฉีด 2 จุด ซึ่งระดับที่ 1 (h_1) มีความสูงเท่ากับ 3.1 cm. ระดับที่ 2 (h_2) มีความสูงเท่ากับ 17.4 cm. และ ระดับที่ 3 (h_3) มีความสูงเท่ากับ 31.7 cm. จากด้านล่างของเตา ซึ่งอัตราการไหลของอากาศทั้งสองส่วนจะถูกควบคุมการไหลด้วยวาล์วควบคุมและวัดค่าอัตราการไหลออกมาโดยชุดออร์ฟิสมิเตอร์

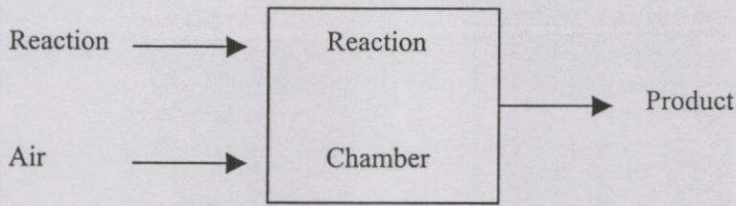
4.2 การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ [ภาคผนวก จ]

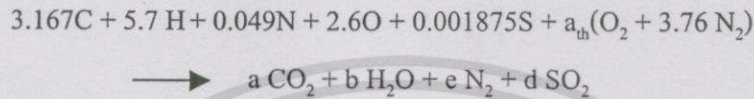
สาร	%	MW	จำนวน โมล
คาร์บอนมอนไดออกไซด์ C	38	12	3.167
ไฮโดรเจน H	5.7	1	5.7
ออกซิเจน O	41.6	16	2.6
ไนโตรเจน N	0.69	14	0.049
ซัลเฟอร์ S	0.06	32	0.001875
เถ้า Ash	19.8	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสมดุลสมการทางเคมี



จะได้ดังนี้



หาค่าที่ได้จากการสมดุลสมการ

$$\begin{aligned} C &: 3.167 &= & a \\ H &: 5.7 &= & 2b \\ \therefore & b &= & 2.85 \\ S &: 0.001875 &= & d \\ O &: 2.6 + (a_{th} \times 2) &= & 2a + b + 2d \\ & a_{th} &= & \frac{(2 \times 3.167) + 2.85 + (2 \times 0.001875) - 2.6}{2} \\ & &= & 3.293 \\ N &: 0.049 + (a_{th} \times 3.76 \times 2) &= & 2e \\ & e &= & 12.409 \end{aligned}$$

การหาปริมาณความชื้นในอากาศอากาศแห้งเท่ากับ

$$4.76a_{th} = 4.76 \times 3.293 = 15.788 \text{ kmol}$$

ความดันย่อยของละอองน้ำในอากาศเท่ากับ

$$T_{db} = \text{Dry - bulb temperature} = 33^\circ\text{C}$$

$$RH = \text{Relative humidity} = 53\%$$

$$P_{v,air} = \phi_{air} P_{sat} @ 33^\circ\text{C} = 0.53 \times 5.0752 \text{ kPa} = 2.690 \text{ kPa}$$

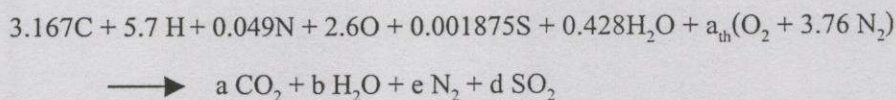
จำนวนโมลของไอน้ำในอากาศเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad N_{v,air} &= \left(\frac{P_{v,air}}{P_{total}} \right) N_{total} \\ &= \left(\frac{2.690 \text{ kPa}}{101.325 \text{ kPa}} \right) (15.78845 + N_{v,air}) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_{v,air} = 0.428 \text{ kmol}$$

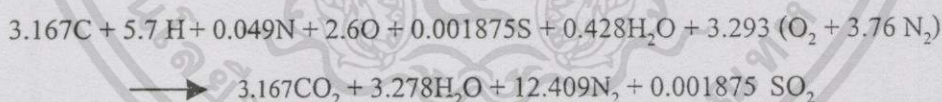
ทำการสมดุลสมการทางเคมี โดยเอาจำนวนโมลของละอองน้ำมาแทนลงในสมการ



ทำการสมดุลย์สมการ

$$\begin{aligned} C : \quad 3.167 &= a \\ H : \quad 5.7 + (0.428 \times 2) &= 2b \\ \therefore b &= 3.278 \\ S : \quad 0.001875 &= d \\ O : \quad 2.6 + 0.428 + (a_{th} \times 2) &= 2a + b + 2d \\ a_{th} &= \frac{(2 \times 3.167) + 3.278 + (2 \times 0.001875) - 2.6 - 0.428}{2} \\ &= 3.293 \\ N : \quad 0.049 + (a_{th} \times 3.76 \times 2) &= 2e \\ e &= 12.409 \end{aligned}$$

∴ นำค่าที่ได้จากการสมดุลย์สมการสมการมาแทนค่า จะได้สมการเผาไหม้พอดีดังต่อไปนี้



จากสมการ 3.10

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

$$\begin{aligned} m_{air} &= 3.293(4.76 \times 29) \text{ kmol} \times \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \\ &= 454.686 \text{ kg} \\ m_{fuel} &= (3.167 \times 12) + (5.7 \times 1) + (0.049 \times 14) + (2.6 \times 16) \\ &\quad + (0.001875 \times 32) + (0.482 \times 18) \text{ kmol} \times \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \\ &= 93.75 \text{ kg} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\left(\frac{A}{F}\right)_{\text{ratio}} = \frac{454.686505}{93.754} = 4.850$$

จากสมการ 3.13

$$\Phi = \frac{(A/F)_{\text{Stioc}}}{(A/F)_{\text{Actual}}} = \frac{(F/A)_{\text{Actual}}}{(F/A)_{\text{Stioc}}}$$

Fuel rich mixtures , $\Phi > 1$ ปริมาณอากาศที่ใช้น้อยกว่าปริมาณที่ต้องใช้ทางทฤษฎี

Stoichiometric mixtures , $\Phi = 1$ ปริมาณอากาศที่ใช้เท่ากับปริมาณที่ต้องใช้ทางทฤษฎี

Fuel lean mixtures , $\Phi < 1$ ปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าปริมาณที่ต้องใช้ทางทฤษฎี

เมื่อ $A/F \text{ ratio} = 4.850$

$$\begin{aligned} \text{ในการทดลองใช้แก๊สมี้อตราคาร์ไฮล} &= 0.2 \text{ kg/min} \\ \text{ฉะนั้นจะใช้อากาศเท่ากับ} &= 0.2 \times 4.850 \text{ kg/min} \\ &= 0.97 \text{ kg/min} \\ &= 0.0162 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลอง

Φ	Primary Air (kg/sec)			Secondary Air (kg/sec)			
	100%	80%	60%	20%(6 ท่อ)	1 ท่อ	40%(6 ท่อ)	1 ท่อ
0.7	0.027	0.0216	0.0162	0.0054	9×10^{-4}	0.0108	1.8×10^{-3}
0.8	0.0203	0.0162	0.0121	0.0040	6.76×10^{-4}	0.0081	1.35×10^{-3}
1	0.0162	0.0129	0.0097	0.0032	5.4×10^{-4}	0.0064	1.08×10^{-3}
1.2	0.0135	0.0108	0.0081	0.0027	4.5×10^{-4}	0.0054	0.9×10^{-3}

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

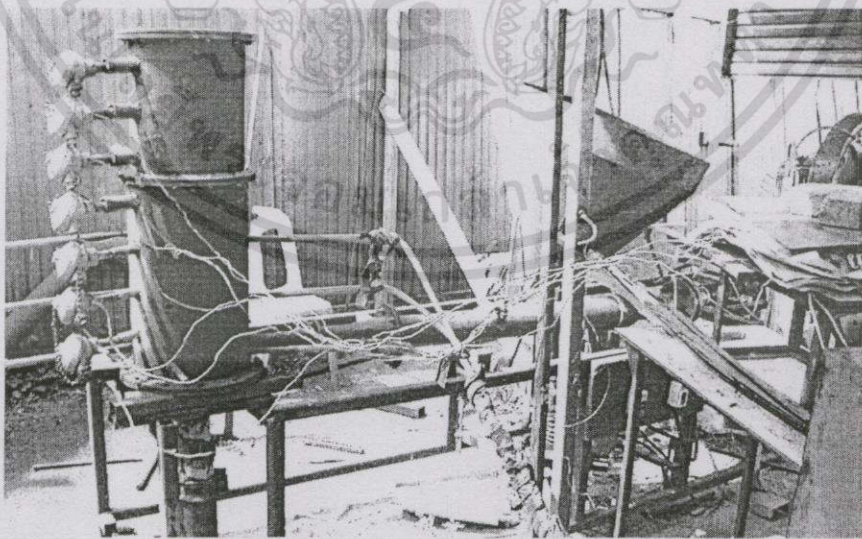
ในการทดลองของชุดเตาเผาออร์เทคสามารถแบ่งขั้นตอนการทดลองออกเป็น 4 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมอุปกรณ์ในการทดลอง ขั้นตอนที่สองการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง ขั้นตอนที่สามเป็นการอุ่นเตาออร์เทค ขั้นตอนที่สี่เป็นขั้นตอนการทดลองและเก็บผลการทดลอง

5.1 การเตรียมอุปกรณ์ในการทดลอง

ในการศึกษาถึงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทค ควันและองค์ประกอบของแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งเป็นงานวิจัยเริ่มแรกและเป็นงานวิจัยเชิงการทดลอง การจัดเตรียมและสร้างอุปกรณ์ในการทดลองจึงมีจำนวนมาก ฉะนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

5.1.1 เตาเผาออร์เทค

เตาเผาแบบออร์เทคประกอบด้วยห้องเผาไหม้ที่เป็นลักษณะทรงกระบอกและท่อทิ้งเถ้าลอยด้านในดังแสดงในรูปที่ 5.1 ซึ่งผนังของห้องเผาไหม้จะประกอบไปด้วยท่อเหล็กทรงกระบอก 2 ชั้นมีความสูงเท่ากับ 950 mm. ท่อเหล็กชั้นแรกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับเท่ากับ 280 mm. ท่อเหล็กชั้นที่สองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับเท่ากับ 200 mm. โดยเหล็กทั้ง

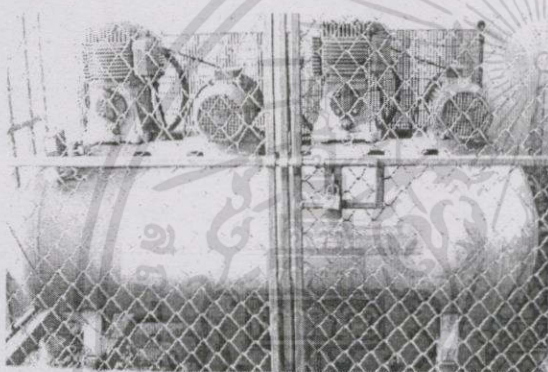


รูปที่ 5.1 เตาเผาแบบออร์เทค

2 ท่อนมีความหนาเท่ากับ 5 mm. และช่องว่างระหว่างท่อเหล็กทั้งสองจะถูกหล่อด้วยอิฐทนไฟเพื่อช่วยลดการถ่ายเทความร้อนออกจากห้องเผาไหม้ ท่อทิ้งเถ้าลอยค้ำในท่ามาจาก สแตนเลสมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 80 cm. และมีความหนาเท่ากับ 3 mm. มีความสูงเท่ากับ 755 mm. และมีแผ่นปิดทั้งด้านบนและล่างของเตาที่เป็นเหล็ก โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 330 mm.

5.1.2 Supply Air

Air compressor 1 ดังแสดงในรูปที่ 5.2 เป็นปั๊มลมแบบ 2 ลูกสูบสามารถให้อัตราการไหลของอากาศสูงสุดเท่ากับ $7 \text{ m}^3/\text{min}$ Air compressor 2 ดังแสดงในรูปที่ 5.3 เป็นปั๊มลมที่มีถังเก็บลม 2 ถัง สามารถให้อัตราการไหลของอากาศสูงสุดเท่ากับ $7 \text{ m}^3/\text{min}$ ปั๊มลมทั้ง 2 ตัว ได้ติดตั้งอุปกรณ์ในการปรับปรุงคุณภาพอากาศเพื่อไม่ให้น้ำปะปนกับอากาศที่ใช้ในการทดลอง และ อากาศที่ได้จาก Air compressor 1 และ Air compressor 2 จะนำไปใช้เป็นอากาศส่วนที่ 2 ในการทดลอง

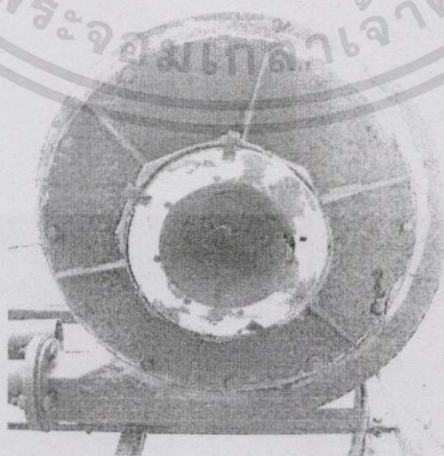


รูปที่ 5.2 Air compressor 1



รูปที่ 5.3 Air compressor 2

Blower เป็นแหล่งจ่ายอากาศส่วนที่ 1 ซึ่งเป็น Blower แบบ 9 ใบพัด ขนาด 3 Hp หรือ 2.2 kW ใช้ไฟ 380 W. ดังแสดงในรูปที่ 5.4 สามารถให้อัตราการไหลของอากาศสูงสุดเท่ากับ $10.18 \text{ m}^3/\text{min}$



รูปที่ 5.4 Blower

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ

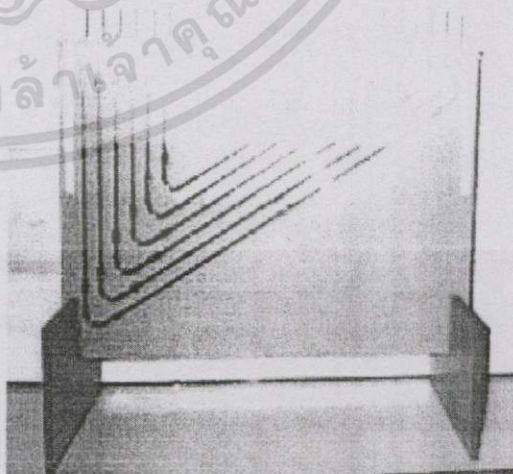
Orifice meter เป็นอุปกรณ์ในการวัดอัตราการไหลของอากาศส่วนที่ 1 และอากาศส่วนที่ 2 โดย Orifice meter จะแบ่งออกเป็น 2 ชุดคือ Orifice meter 1 เป็นชุดวัดอัตราการไหลของอากาศส่วนที่ 1 และ Orifice meter 2 เป็นชุดวัดอัตราการไหลของอากาศส่วนที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 5.5 โดยอากาศส่วนที่ 2 จะถูกแบ่งออกเป็น 6 ส่วนเท่าๆ กันจึงทำให้มีชุด Orifice meter ทั้งหมด 6 ตัว ในการสร้างอุปกรณ์ Orifice meter 1 และ Orifice meter 2 ได้สร้างตามมาตรฐานของ JIS(JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD) Measurement of Fluid Flow by Means of orifice Plate , Nozzles and Venturi Tube JIS Z 8762

รูปที่ 5.5 Orifice meter 2

Manometer ใช้วัดความแตกต่างของความดัน เพื่อใช้หาอัตราการไหลของอากาศส่วนที่ 1 ดังแสดงในรูป 5.6 ในขณะที่วัดความแตกต่างของความดัน เพื่อวัดอัตราการไหลของอากาศส่วนที่ 2 จะใช้ inclined manometer ดังแสดงในรูป 5.7 เนื่องจากความแตกต่างของความดันมีค่าน้อย ซึ่งจะทำให้สามารถทำให้อ่านค่าของระดับน้ำได้มีความถูกต้องมากขึ้น



รูปที่ 5.6 Manometer



รูปที่ 5.7 Inclined manometer

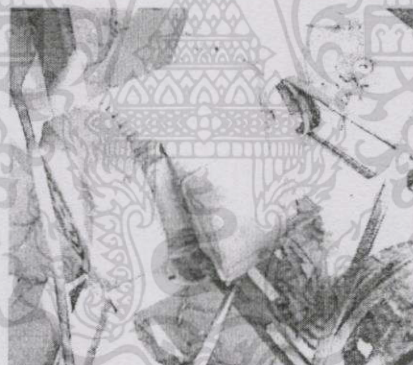
5.1.4 Auto feed

Inverter ถูกนำมาใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ขับ Screw Feed ในการควบคุมอัตราการไหลของเกลบให้ได้ตามที่กำหนดดังแสดงในรูปที่ 5.8 โดย Inverter สามารถปรับความเร็วรอบได้สูงสุดเท่ากับ 1800 rpm. และมีค่าความละเอียดในการปรับความเร็วรอบในหลักหน่วย 380 W.



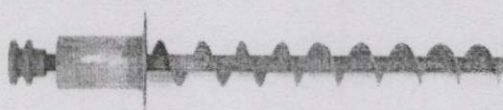
รูปที่ 5.8 Inverter

Motor เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน Screw Feed ดังแสดงในรูปที่ 5.9 ขนาด 3 Hp 380 W.



รูปที่ 5.9 Motor

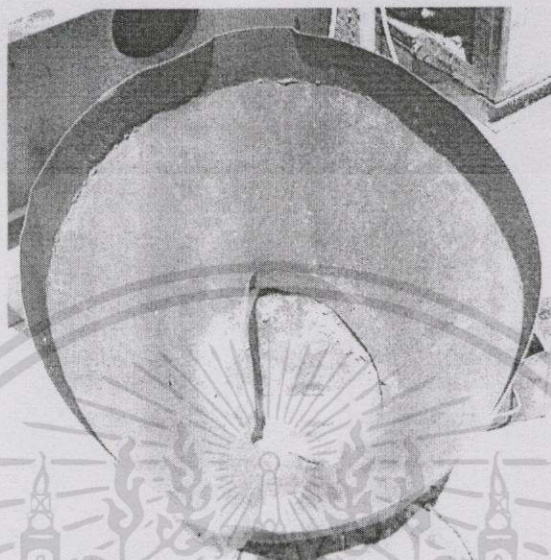
Screw Feed เป็นตัวขับทำให้เกลบเคลื่อนที่เข้าสู่ท่อที่ใช้ลำเลียงอากาศส่วนที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 5.10 โดย Screw Feed สร้างจากเหล็ก มีทั้งหมด 9 เกลียว ระยะห่างระหว่างเกลียวเท่ากับ 5 cm. เส้นผ่าศูนย์กลางของเกลียวเท่ากับ 5 cm. เส้นผ่าศูนย์กลางของแกนเท่ากับ 2 cm.



รูปที่ 5.10 Screw Feed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

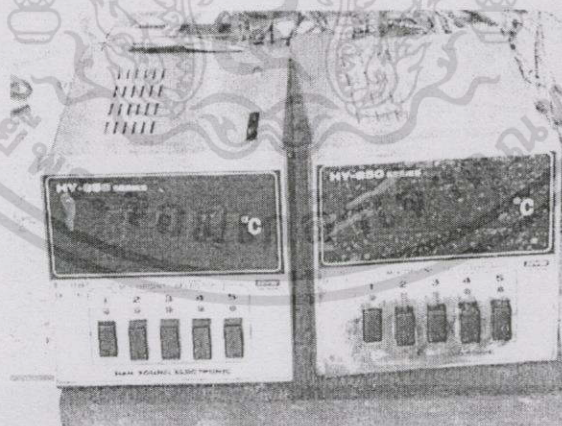
Hopper เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบรรจุแกลบในการทดลองซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกรวยหงาย ดังแสดงในรูปที่ 5.11 บรรจุแกลบได้เท่ากับ 0.055 m^3 ซึ่งปริมาณมากเพียงพอสำหรับทำปฏิกิริยาแกลบได้อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 5.11 Hopper

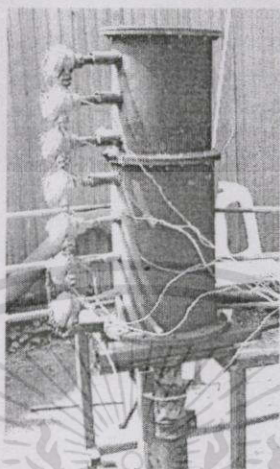
5.1.5 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

Indicator เป็นหน้าจอแสดงอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์ทเทคที่ตำแหน่งต่างๆดังแสดงในรูปที่ 5.12 สามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้ทั้งหมด 10 ตำแหน่ง และใช้กับอุณหภูมิไม่เกิน $1199 \text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 5.12 Indicator

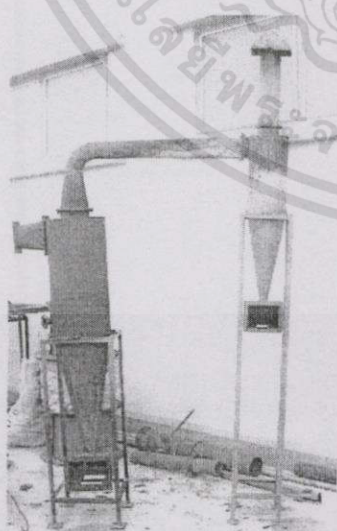
Thermocouple อุปกรณ์ที่ใช้วัดการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทคดังแสดงในรูปที่ 5.13 ซึ่งเป็น Thermocouple type K ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิได้สูงสุดเท่ากับ 1200 °C และใช้ Thermocouple ในการทดลองทั้งหมด 7 ตัว



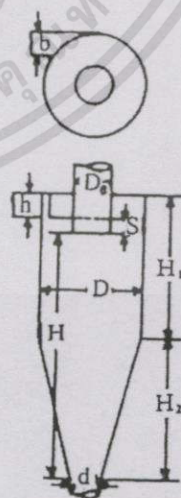
รูปที่ 5.13 Thermocouple

5.1.6 Cyclones

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการดักเก็ลลอยที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ของเตาเผาออร์เทคโดยมีลักษณะแบบ Dual Cyclones ดังแสดงในรูปที่ 5.14 จากหนังสือคู่มืออุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี (ภาคผนวก ก) ของศาสตราจารย์ ชิกะฟูมิ ฟุจิตะ ดังแสดงในรูปที่ 5.15 โดยโครงสร้างของไซโคลน ประกอบด้วยช่องไหลเข้า, ส่วนทรงกระบอก, ส่วนกรวย และท่อทางออก และขนาดของ Cyclones ทั้ง 2 จะแสดงในตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.14 Cyclones



รูปที่ 5.15 โครงสร้างมาตรฐานของไซโคลน

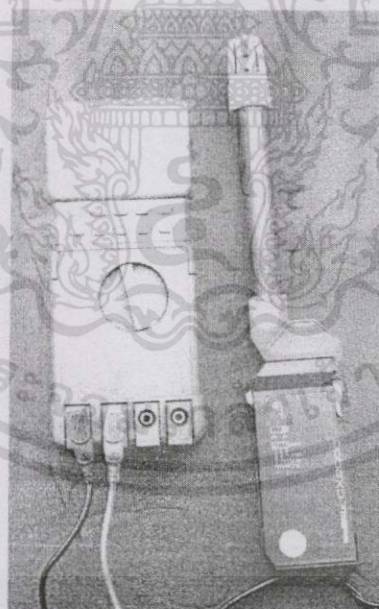
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงรายละเอียดของขนาด Cyclones

	Cyclone 1(cm.)	Cyclone 2(cm.)
H	105	70
H ₁	60	40
H ₂	60	40
D	30	20
D _c	15	10
H	15	10
D	8	5
B	9	6

5.1.7 อุปกรณ์วัดความชื้น

Psychro meter CX 2000 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความชื้นของอากาศในขณะที่ทำการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 5.16 และยังสามารถใช้วัดอุณหภูมิ, ความเข้มของแสง และ ความเร็วของอากาศได้ เมื่อเปลี่ยนหัววัดที่ตำแหน่งด้านบนของด้ามจับ



รูปที่ 5.16 Psychro meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.8 อุปกรณ์วิเคราะห์แก๊สไอเสีย

เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย GA-40 T plus ดังแสดงในรูปที่ 5.17 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์แก๊สไอเสียที่ออกจากเตาเผาออร์เทคโดยช่วงการตรวจวัดปริมาณของแก๊สต่างๆ จะแสดงในตารางที่ 5.2 หัววัดอุณหภูมิของเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสียทำจาก NiCr-Ni ซึ่งมีช่วงวัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง 50 – 800 °C (อุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ 1,100°C)



รูปที่ 5.17 เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย GA-40 T plus

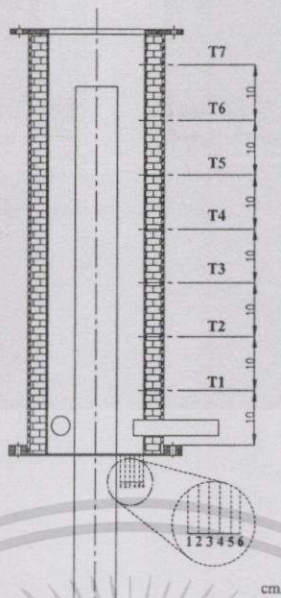
ตารางที่ 5.2 แสดงช่วงความสามารถของเครื่องที่จะวัดแก๊สไอเสียได้

Gas	Range[ppm]
O ₂	0 – 20.9 %
CO ₂	0 – 50 %
CO	0 – 4,000
NO _x	0 – 5,000
SO ₂	0 – 5,000

5.2 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง

เตาเผาออร์เทคอาศัยการเผาไหม้แบบหมุนวน โดยจะใช้อากาศ 2 ส่วนเพื่อช่วยในการเผาไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 5.18 อากาศส่วนแรกซึ่งได้มาจาก Blower[1] และใช้ Needle valve[5]ในการคุมอัตราการไหล และวัดอัตราการไหลโดยออร์ฟิสมิเตอร์[6]อากาศส่วนแรกอากาศปฐมภูมิจะช่วยทำการลำเลียงแคลบจากชุดป้อนแคลบ (Feed screw)[9] ไปยังเตาเผาแคลบแบบวอร์เทคเตาเผา[16] ในขณะที่อากาศส่วนที่สองหรืออากาศทุติยภูมิถูกอัดจาก Air compressor [2,3] โดยแบ่งอากาศเป็น 6 ส่วนเท่าๆกันและจะถูกป้อนอากาศตั้งฉากกับรัศมีภายในเตาเผาของเตาเผาออร์เทคซึ่งมีทิศทวนเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 แสดงจุดวัดอุณหภูมิในแนวรัศมี

5.4 วิธีการทดลอง

เมื่ออุ่นเตาเผาเวิร์เทคให้มีอุณหภูมิภายในประมาณ $750 - 800^{\circ}\text{C}$ เมื่อปรับอัตราการไหลของแก๊สให้เท่ากับ 0.2 kg/min ก็เริ่มทำการทดลอง

1. เมื่อ $\lambda = 0$
2. ปรับอัตราการไหลของอากาศให้ค่า equivalence ratio เท่ากับ 0.7
3. เริ่มบันทึกอุณหภูมิที่ตำแหน่ง $x = 0.1 \text{ m}, 0.2 \text{ m}, 0.3 \text{ m}, 0.4 \text{ m}, 0.5 \text{ m}, 0.6 \text{ m}$ ที่ $r/R = 0.4 \text{ m}$ ที่ และ ที่ตำแหน่ง $x = 0.7 \text{ m}$ ที่ $r/R = 0.2$ ที่ บันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 3 นาที เป็นระยะเวลาทั้งหมด 9 นาที , บันทึกผลการทดลอง สังเกตควันและเก็บชิ้นได้จากการเผาไหม้ , วิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้
4. ทำการทดลองซ้ำข้อ 3 ที่ตำแหน่ง $x = 0.1 \text{ m}, 0.2 \text{ m}, 0.3 \text{ m}, 0.4 \text{ m}, 0.5 \text{ m}, 0.6 \text{ m}$ วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง $r/R = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0$ ตามลำดับ และที่ตำแหน่ง $x = 0.7 \text{ m}$ ทำการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง $r/R = 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0$ ตามลำดับ
5. ทำการทดลองตามข้อที่ 2-4 ปรับอัตราการไหลของอากาศให้ค่า equivalence ratio เท่ากับ 0.8, 1, 1.2 ตามลำดับ
6. ทำการทดลองตามข้อที่ 2-5 เมื่อ $\lambda = 0.2$
7. ทำการทดลองตามข้อที่ 2-5 เมื่อ $\lambda = 0.4$

เมื่อ x คือ ความสูงของเตาเผาเวิร์เทค

r/R คือ อัตราส่วนระหว่างตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิในแนวรัศมีกับรัศมีภายในเตาเผาเวิร์เทค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและการอภิปราย

หลังจากที่ได้จัดเตรียมอุปกรณ์การทดลอง , การทำการทดลอง และทำการบันทึกผลการทดลอง ซึ่งผลการทดลองที่แสดงถึงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทคซึ่งได้นำเสนออยู่ในส่วนของภาคผนวก ก และการผลการทดลองที่บันทึกปริมาณก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ได้นำเสนออยู่ในส่วนของภาคผนวก ข โดยผลการทดลองที่ได้กล่าวมานี้ได้มุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาถึงอัตราส่วนสมมูล(Φ) และอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุกชนิดต่ออัตราการไหลของอากาศทั้งหมด (λ) ที่มีความเหมาะสมต่อกระบวนการเผาไหม้ โดยพิจารณาความเหมาะสมต่อกระบวนการเผาไหม้จากการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทค , การวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย , แก๊สลอยที่ได้ที่ได้จากการเผาไหม้เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.2 kg/min ตลอดการทดลอง

6.1 อัตราส่วนสมมูล(Φ)

ในการศึกษาถึงอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่มีผลต่อการเผาไหม้ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาทั้งหมด 3 กรณีคือ กรณีแรกศึกษาถึงปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองน้อยกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี($\Phi = 1.2$) ที่มีผลต่อการเผาไหม้ กรณีที่สองศึกษาถึงปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองเท่ากับปริมาณอากาศทางทฤษฎี($\Phi = 1.0$) ที่มีผลต่อการเผาไหม้ กรณีสุดท้ายศึกษาถึงปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองมากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี($\Phi = 0.7, 0.8$) ที่มีผลต่อการเผาไหม้ เมื่อ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$ ตามลำดับ

6.1.1 การศึกษาถึง Φ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ เมื่อ $\lambda = 0$

เป็นการทดลองที่ใช้เฉพาะอากาศส่วนที่ 1 ในการเผาไหม้ จากการทดลองพบว่า เมื่อการปรับการไหลของอากาศให้ $\Phi = 0.8, 1.0$ และ 1.2 พบว่าทำให้มีการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทคใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 6.1 แต่เมื่อปรับอัตราการไหลของอากาศให้ $\Phi = 0.7$ พบว่ามีกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทคลดลงอย่างมาก เนื่องจากการปรับปริมาณอากาศให้ $\Phi = 0.7$ จะทำให้เหลือปริมาณอากาศที่ไม่ได้ใช้ในกระบวนการเผาไหม้จำนวนมาก ซึ่งปริมาณอากาศส่วนเกินนี้จะทำให้แก๊สที่อยู่ภายในเตาเผาออร์เทคบางส่วนมีอุณหภูมิไม่สูงพอต่อการเผาไหม้ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และอุณหภูมิที่ได้จากการเผาไหม้ต่ำ จากการทดลองพบว่าที่ $\Phi = 1.0$ ทำให้เกิดการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ $916 \text{ }^\circ\text{C}$ ดังแสดงในรูปที่ 6.1

ในการศึกษาถึง Φ ที่มีผลต่อก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้พบว่า ปริมาณก๊าซออกซิเจนเฉลี่ยที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้จะแปรผันตรงกับปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลอง โดยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยจะแปรผกผันกับปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ เนื่องจากถ้ามีการใช้ปริมาณอากาศในการทดลองมากกว่าอากาศทางทฤษฎี เมื่อเกิดการเผาไหม้จะทำให้เหลือปริมาณออกซิเจนที่ไม่ได้ใช้ในการเผาไหม้จำนวนมาก และจะทำให้สัดส่วนของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงดังแสดงในรูปที่ 6.4 และ 6.5 จากการทดลองพบว่า เมื่อ $\Phi = 0.8$ จะทำให้ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยมีค่าต่ำสุด ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 113.5 ppm ดังแสดงในรูปที่ 6.6 และจากการทดลองยังพบอีกว่าการปรับ Φ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ได้จากการเผาไหม้น้อยมาก เนื่องจากปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์จะขึ้นกับอุณหภูมิในการเผาไหม้ ซึ่งการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทกไม่แตกต่างกันมากนักจึงทำให้ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์เฉลี่ยที่ได้จากการเผาไหม้มีค่าใกล้เคียงกันด้วยดังแสดงในรูปที่ 6.7

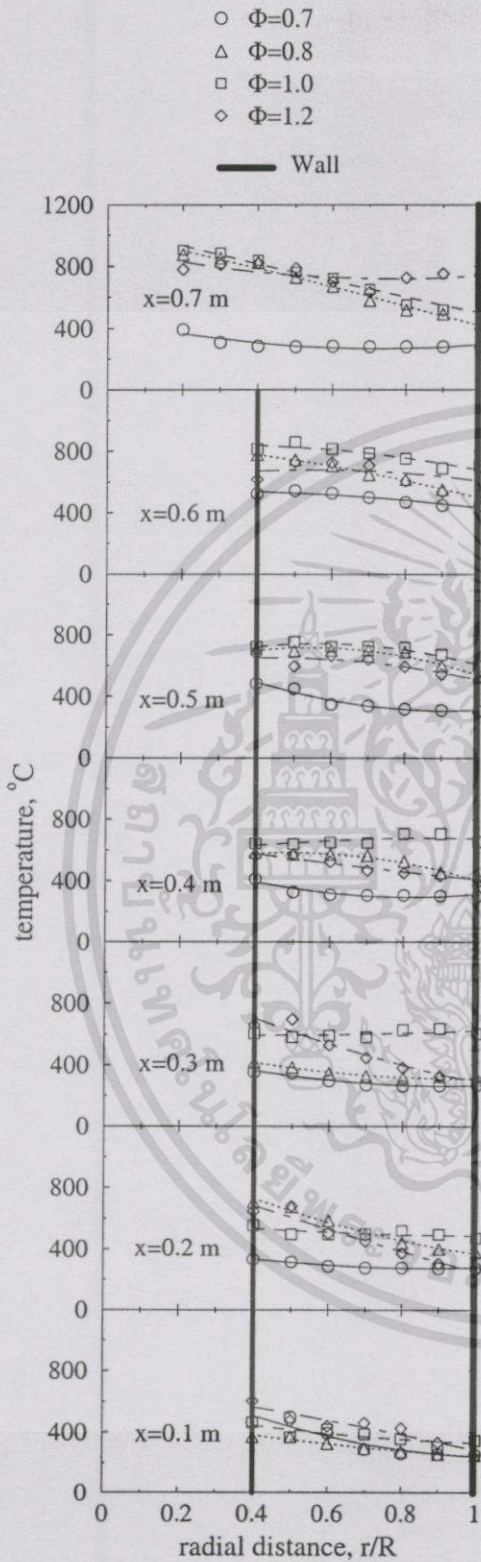
6.1.2 การศึกษาถึงอัตราส่วนสมมูล(Φ)ที่มีผลต่อการเผาไหม้เมื่อ $\lambda = 0.2$

เป็นการศึกษากระบวนการเผาไหม้โดยใช้ปริมาณอากาศส่วนที่สองให้เป็น 20% ของอากาศทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 6.2 จากการทดลองพบว่า การกระจายอุณหภูมิมิลักษณะคล้ายกับกรณีที่ $\lambda = 0$ แต่มีการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทกที่สูงกว่า เมื่อปรับอัตราการใช้ให้ $\Phi = 1.0$ พบว่ามีการกระจายอุณหภูมิสูงกว่า $\Phi = 0.7, 0.8, 1.2$ ซึ่งทำให้เกิดการเผาไหม้มีอุณหภูมิที่สูงสุดเท่ากับ $1,012^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงในรูปที่ 6.2

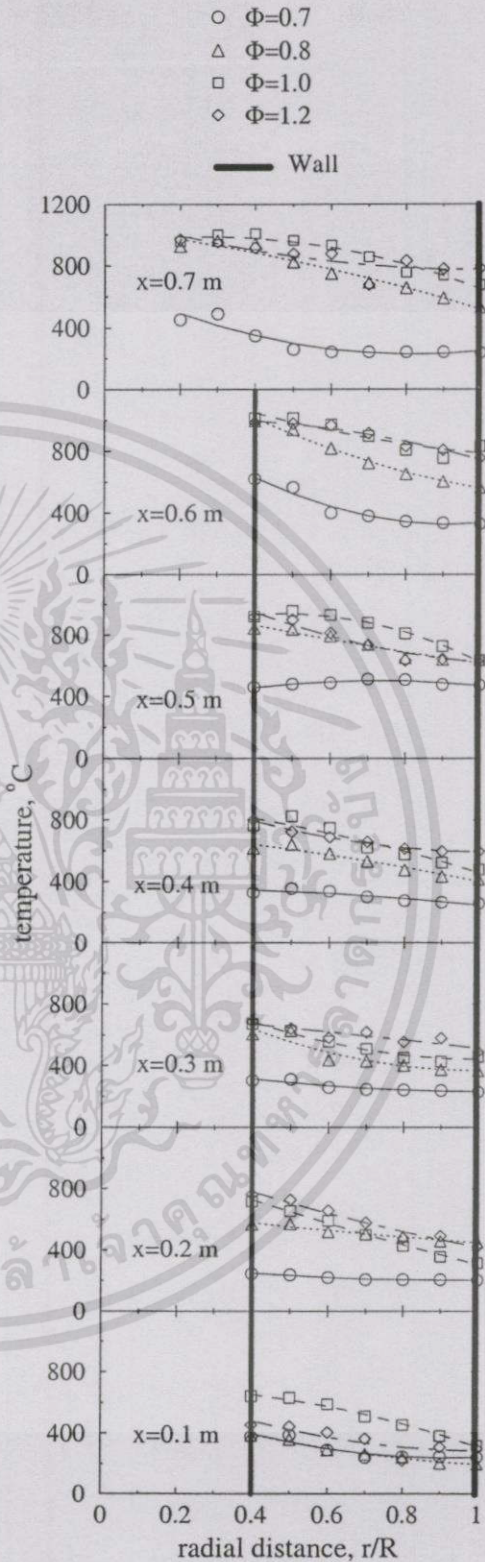
ในการศึกษาถึง Φ ที่มีผลต่อก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้พบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการเผาไหม้มีแนวโน้มเป็นเช่นเดียวกับกรณี $\lambda = 0$ แต่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนมากกว่า และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่า เมื่อเทียบที่ Φ เดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 6.4 และ รูปที่ 6.5 เมื่อปรับอัตราการใช้ให้ $\Phi = 1.0$ พบว่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยต่ำสุดซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 134.25 ppm ดังแสดงในรูปที่ 6.6 และปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์เฉลี่ยมากขึ้นซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 783.00 ppm ดังแสดงในรูปที่ 6.7

6.1.3 การศึกษาถึงอัตราส่วนสมมูล(Φ)ที่มีผลต่อการเผาไหม้เมื่อ $\lambda = 0.4$

เป็นการศึกษาถึงการใช้ปริมาณอากาศส่วนที่สองเท่ากับ 40% ของอากาศทั้งหมด ซึ่งกระจายอุณหภูมิตลอดภายในเตาเผาออร์เทกจะมีค่ามากขึ้นเมื่อ r/R น้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 6.3 จากการทดลองพบว่า เมื่อปรับอัตราการใช้ให้ $\Phi = 1.0$ มีการกระจายอุณหภูมิตลอดภายในเตาเผาออร์เทกที่สูงกว่า $\Phi = 0.7, 0.8, 1.2$ และทำให้เกิดการเผาไหม้มีอุณหภูมิที่สูงสุดเท่ากับ $1,135^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงในรูปที่ 6.3

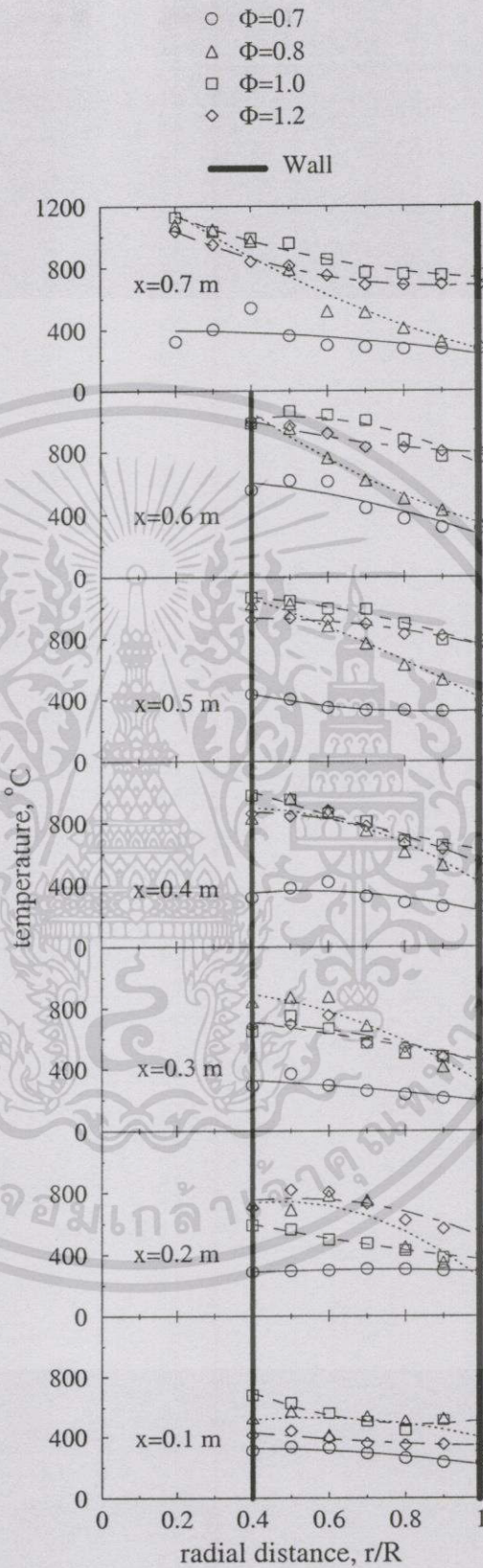


รูปที่ 6.1 แสดงการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยที่ $\lambda = 0$ เมื่อ $\Phi = 0.7, 0.8, 1.0, 1.2$



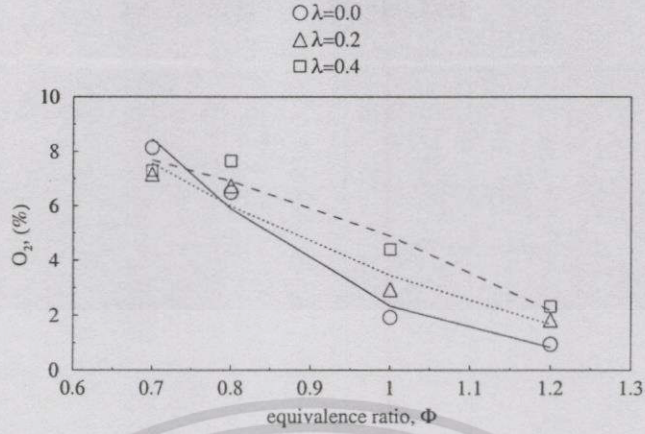
รูปที่ 6.2 แสดงการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยที่ $\lambda = 0.2$ เมื่อ $\Phi = 0.7, 0.8, 1.0, 1.2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

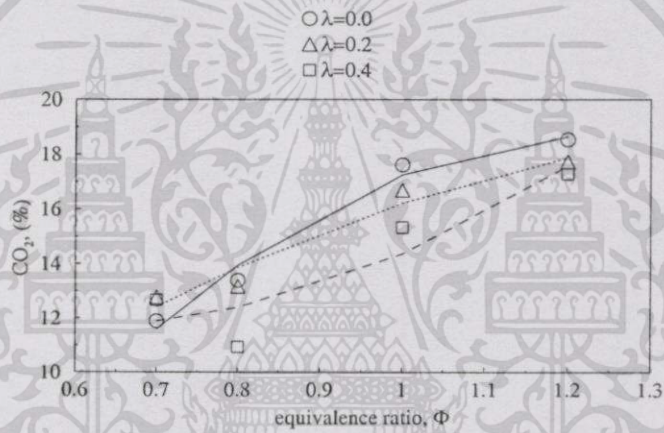


รูปที่ 6.3 แสดงการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยที่ $\lambda = 0.4$ เมื่อ $\Phi = 0.7, 0.8, 1.0, 1.2$

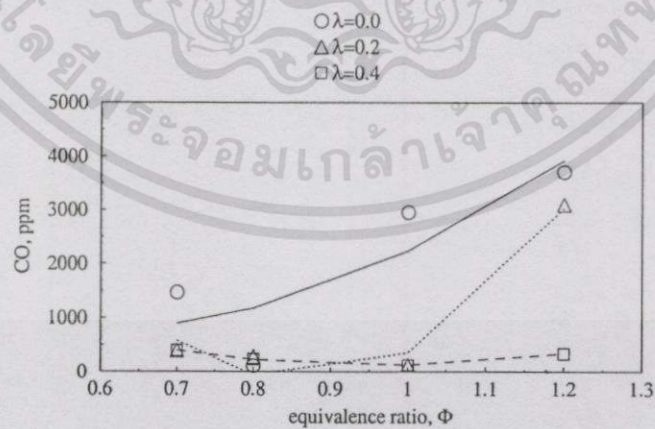
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของก๊าซออกซิเจน กับ equivalence ratio

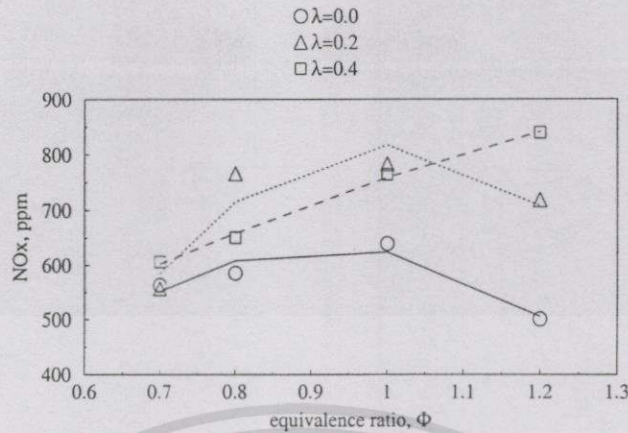


รูปที่ 6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ กับ equivalence ratio



รูปที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ กับ equivalence ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ กับ equivalence ratio

ในการศึกษาถึง Φ ที่มีผลต่อก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้พบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการเผาไหม้มีแนวโน้มเป็นเช่นเดียวกับกรณี $\lambda = 0, 0.2$ แต่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนมากขึ้นและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยลงเมื่อเทียบกับ Φ เดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 6.4 และ รูปที่ 6.5 ในการวัดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์พบว่ามีค่าต่ำสุดซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 130.25 ppm ที่ $\Phi = 1.0$ ดังแสดงในรูปที่ 6.6 และปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มากที่สุด ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 839.50 ppm ที่ $\Phi = 1.2$ ดังแสดงในรูปที่ 6.7

ในการพิจารณาถึงอัตราส่วนสมมูลที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ โดยพิจารณาความเหมาะสมจากการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทค จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้(โดยจะพิจารณาจากปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นหลักเพราะ ปริมาณของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักเมื่อเทียบกับปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์)ทำให้สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

การศึกษาถึง Φ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ เมื่อ $\lambda = 0$ พบว่าที่ $\Phi = 1.0$ ทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงกว่ากรณี $\Phi = 0.7, 0.8, 1.2$ และ ทำให้เกิดการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 916°C เมื่อ $\Phi = 0.8$ ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยมีค่าต่ำสุด ซึ่งปริมาตรเท่ากับ 113.5 ppm

การศึกษาถึง Φ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ เมื่อ $\lambda = 0.2$ พบว่าที่ $\Phi = 1.0$ ทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงกว่ากรณี $\Phi = 0.7, 0.8, 1.2$ และ ทำให้การเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ $1,012^{\circ}\text{C}$ และ ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยมีค่าต่ำสุด ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ 134.25 ppm

การศึกษาถึง Φ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ เมื่อ $\lambda = 0.4$ พบว่าที่ $\Phi = 1.0$ ทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงกว่ากรณี $\Phi = 0.7, 0.8, 1.2$ และ ทำให้การเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ $1,135^{\circ}\text{C}$ และ ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยมีค่าต่ำสุด ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ 130.25 ppm

จากผลการทดลองพบอัตราส่วนสมมูลที่มีความเหมาะสมต่อการเผาไหม้ของเตาเผาแบบวอร์เทคเมื่อ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$ คือ การปรับอัตราการใช้ปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ ปริมาณอากาศทางทฤษฎี ($\Phi = 1.0$) ซึ่งจะทำให้เกิดการกระจายอุณหภูมิที่สูงและได้ปริมาณก๊าซไอเสียที่ต่ำ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น

6.2 อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทฤษฎีต่ออัตราการไหลของอากาศทั้งหมด (λ)

ในการศึกษาถึงอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทฤษฎีต่ออัตราการไหลของอากาศทั้งหมดที่มีผลต่อการเผาไหม้ ซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 กรณี คือ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ เมื่อ $\Phi = 0.7, 0.8, 1.0$ และ 1.2 ตามลำดับ

6.2.1 การศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อการเผาไหม้เมื่อ $\Phi = 0.7$

จากการทดลองพบว่าในการปรับอัตราการไหลให้ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$ ทำให้เกิดผลต่างของการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทคไม่มากนักดังแสดงในรูปที่ 6.8 เนื่องจากปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณมากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี ($\Phi = 0.7$) ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อปรับอัตราไหลให้ $\lambda = 0.4$ พบว่าจะทำให้ได้อุณหภูมิที่สูงสุดในการเผาไหม้เท่ากับ 670°C เกิดควันจากกระบวนการเผาไหม้เป็นช่วงๆ และพบแก๊สบางส่วนที่ยังไม่เกิดการเผาไหม้ออกจากเตาเผาแบบวอร์เทคทำให้เถ้าลอยออกมามีสีน้ำตาลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิง

ในการศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ จากการทดลองพบว่า การปรับอัตราการไหลให้ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$ ตามลำดับ พบว่าการเปลี่ยนแปลง λ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจน, ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ไม่มากนัก แต่จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการเผาไหม้ดังแสดงในรูปที่ 6.12 - 6.15 พบว่าโดย $\lambda = 0.4$ จะทำให้ได้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการเผาไหม้ต่ำสุดซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ 400 ppm

6.2.2 การศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ เมื่อ $\Phi = 0.8$

จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองมากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูงกว่ากรณีที่ปรับอัตราการไหลอากาศให้ $\Phi = 0.7$ เนื่องจากมี

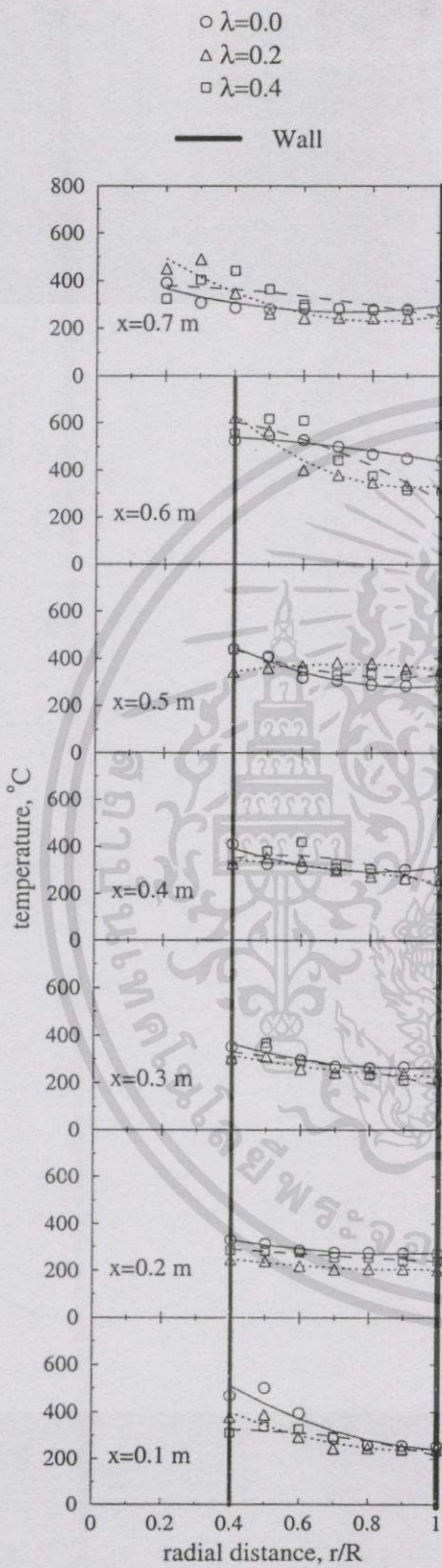
ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ไม่ได้ถูกใช้ในการเผาไหม้ลดลง ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น อุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทคสูงขึ้นตามดังแสดงในรูปที่ 6.9 และเมื่อทดลองปรับอัตราการไหลของอากาศให้ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$ พบว่ามีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทค คือเมื่อทำการปรับปริมาณอากาศให้ $\lambda = 0.4$ จะทำให้มีการกระจายอุณหภูมิที่สูงกว่า $\lambda = 0, 0.2$ ตามลำดับ ที่ $\lambda = 0.4$ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิที่สูงสุดเท่ากับ $1,086\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงในรูปที่ 6.9 ปริมาณควันที่ออกจากเตาเผาออร์เทคมีปริมาณน้อย ใกล้เคียงที่ได้มีสีเทาปนดำ

ในการศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ พบว่าการปรับอัตราการไหลให้ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$ ตามลำดับ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้น้อยมาก(เมื่อเทียบกับจากการทดลองทั้งหมด)ปริมาณของก๊าซออกซิเจน ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ที่ได้จากการเผาไหม้มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ดังแสดงในรูปที่ 6.12 - 6.15 จากข้อสังเกตพบว่าเนื่องจากการทดลองที่ใช้ปริมาณอากาศในการทดลองมากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี($\Phi = 0.8$)จึงทำให้มีปริมาณก๊าซออกซิเจนเหลือจากการเผาไหม้สูงสุดที่ $\lambda = 0.4$ ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ 7.64 % ดังแสดงในรูปที่ 6.12 เมื่อ $\lambda = 0$ ทำให้ได้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำลง ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ 113.5 ppm ดังแสดงในรูปที่ 6.14

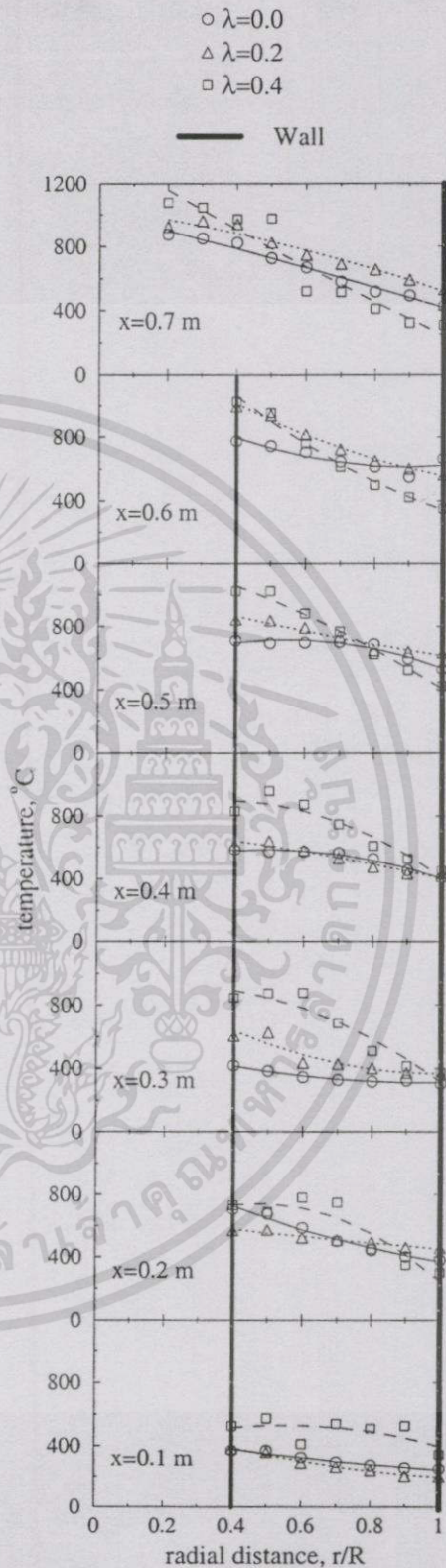
6.2.3 การศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อการเผาไหม้เมื่อ $\Phi = 1.0$

ในการศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทคเมื่อปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองเท่ากับปริมาณอากาศทางทฤษฎี จากการทดลองพบว่าเมื่อทดลองปรับอัตราการไหลของอากาศให้ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$ ทำให้มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทคดังแสดงในรูปที่ 6.10 (ซึ่งลักษณะคล้ายกับกรณี $\Phi = 0.8$ แต่มีอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทคที่สูงกว่า) เมื่อทำการปรับอัตราการไหลของอากาศให้ $\lambda = 0.4$ พบว่ามีการกระจายอุณหภูมิที่สูงกว่า $\lambda = 0, 0.2$ โดยเฉพาะที่ $\lambda = 0.4$ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิที่สูงสุดเท่ากับ $1,135\text{ }^{\circ}\text{C}$ ควันที่ออกจากเตาเผาออร์เทคมีปริมาณน้อยมาก ใกล้เคียงที่ได้มีสีเทาปนดำ

ในการศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ จากการทดลองพบว่าเมื่อปรับอัตราการไหลให้ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$ ตามลำดับ จะทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ได้จากการเผาไหม้มากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 6.12 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการเผาไหม้ลดลงดังแสดงในรูปที่ 6.13 เมื่อทดลองปรับอัตราการไหลให้ $\lambda = 0.4$ พบว่าจะช่วยทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น และอุณหภูมิในการเผาไหม้สูงขึ้น ฉะนั้นปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์จากการเผาไหม้จึงมีปริมาตรลดต่ำลง ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ 130.25 ppm ดังแสดงในรูปที่ 6.14 และปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ได้จากการเผาไหม้มากขึ้น ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ 764 ppm ดังแสดงในรูปที่ 6.15

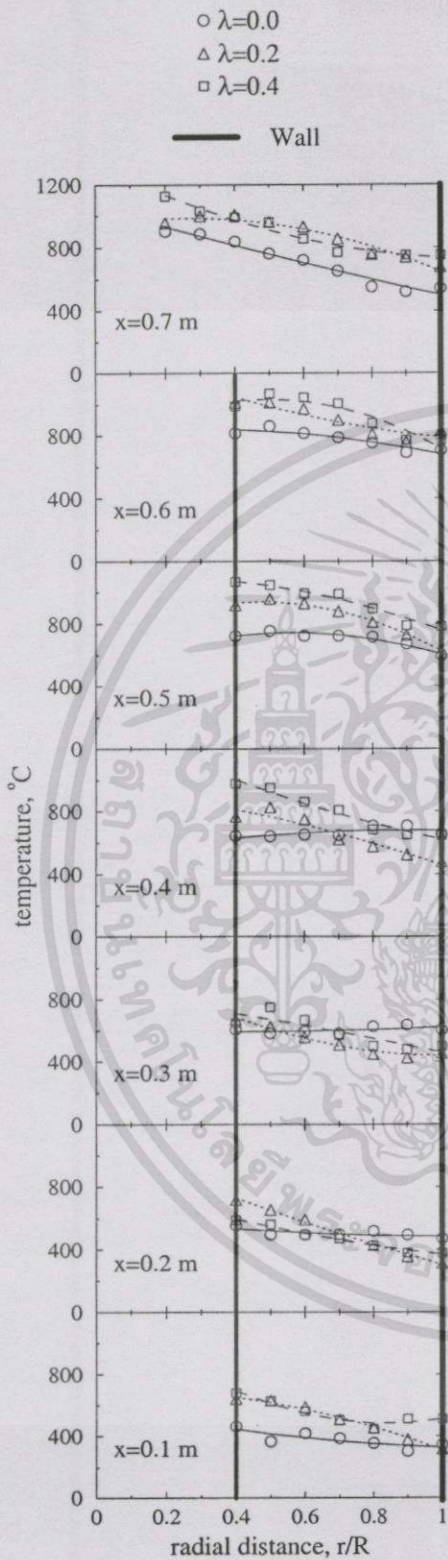


รูปที่ 6.8 แสดงการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยที่ $\Phi = 0.7$ เมื่อ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$

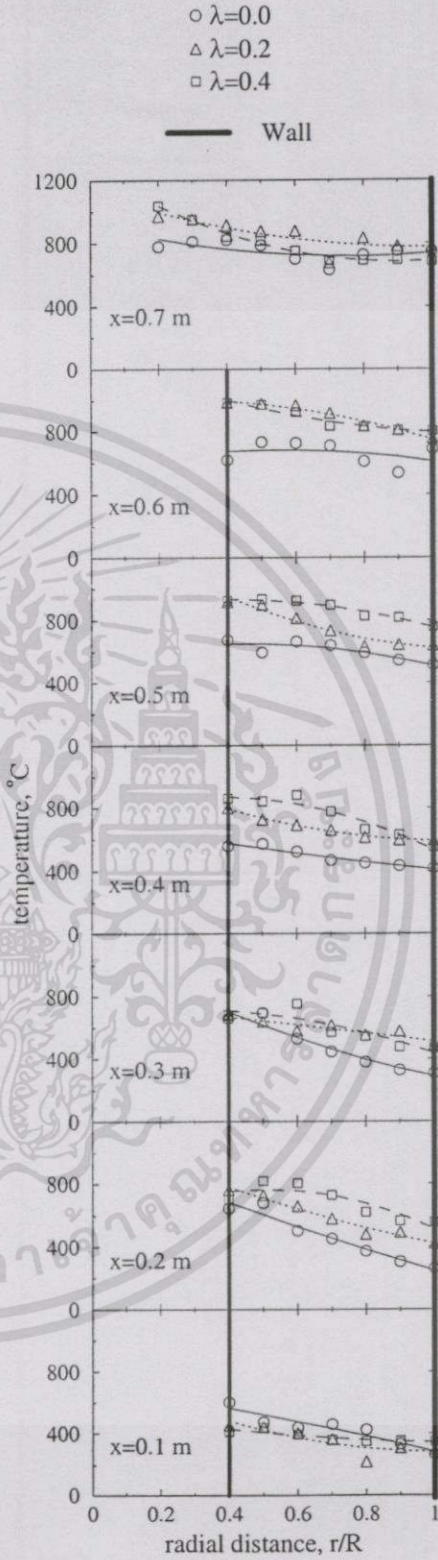


รูปที่ 6.9 แสดงการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยที่ $\Phi = 0.8$ เมื่อ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

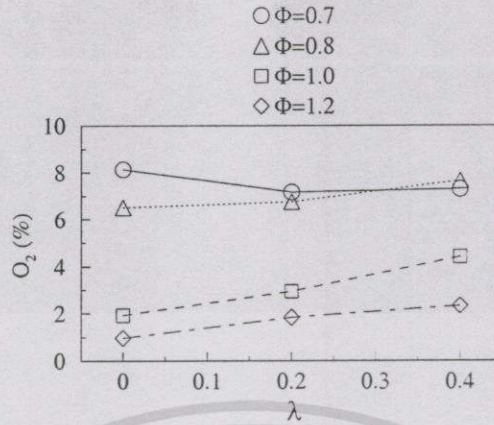


รูปที่ 6.10 แสดงการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยที่ $\Phi = 1.0$ เมื่อ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$

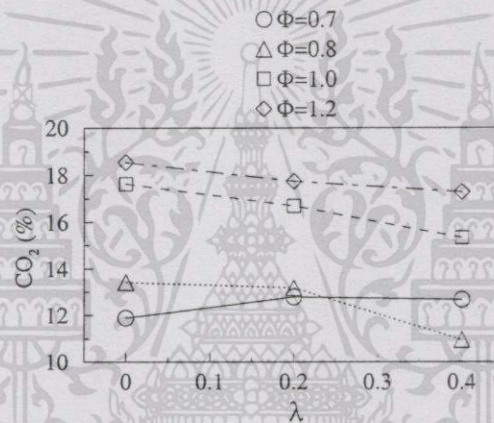


รูปที่ 6.11 แสดงการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยที่ $\Phi = 1.2$ เมื่อ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$

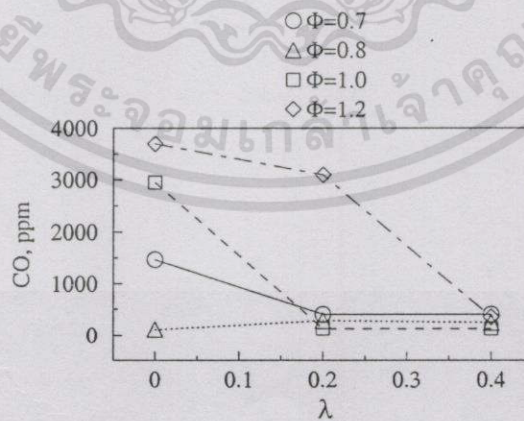
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



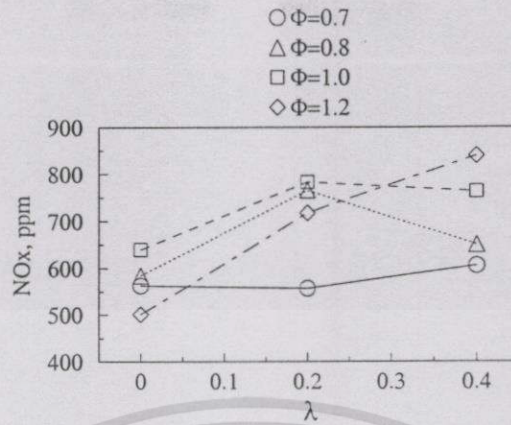
รูปที่ 6.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของก๊าซออกซิเจน กับ λ



รูปที่ 6.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กับ λ



รูปที่ 6.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ กับ λ



รูปที่ 6.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ กับ λ

6.2.4 การศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อการเผาไหม้เมื่อ $\Phi = 1.2$

ในการศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทคเมื่อปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองน้อยกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎีจากการทดลองพบว่า เมื่อทำการปรับอัตราการใช้ของอากาศให้ $\lambda = 0.4$ พบว่ามีการกระจายอุณหภูมิที่สูงกว่า $\lambda = 0, 0.2$ (ซึ่งลักษณะการกระจายอุณหภูมิจะมีลักษณะคล้ายกับกรณี $\Phi = 0.8$ และ 1.0) โดยเฉพาะที่ $\lambda = 0.4$ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิที่สูงสุดเท่ากับ $1,064^{\circ}\text{C}$ แสดงในรูปที่ 6.11

ในการศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ จากการทดลองพบว่าเมื่อปรับอัตราการใช้ให้ $\lambda = 0, 0.2, 0.4$ ตามลำดับ พบว่าเนื่องจากการทดลองใช้ปริมาณอากาศในการทดลองน้อยกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี ($\Phi = 1.2$) จะส่งผลให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ไม่เพียงพอต่อปริมาณของเชื้อเพลิงจึงส่งผลให้มีปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ออกจากการเผาไหม้มีปริมาณต่ำดังแสดงในรูปที่ 6.12 โดยเฉพาะปรับอัตราการใช้ของอากาศให้ $\lambda = 0$ และ 0.2 เกิดวันสีขาวขึ้นมีปริมาณไม่มากแต่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อทดลองปรับอัตราการใช้ให้ $\lambda = 0.4$ จะช่วยทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิในการเผาไหม้สูงขึ้น จึงทำให้ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์จากการเผาไหม้ลดต่ำลง ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 348.75 ppm ดังแสดงรูปที่ 6.14 และปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ได้จากการเผาไหม้มากขึ้น ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 839.50 ppm ดังแสดงรูปที่ 6.15

ในการพิจารณาถึงอัตราส่วนระหว่างอัตราการใช้ปริมาณของอากาศทุกชนิดต่ออัตราการใช้ของอากาศทั้งหมดที่มีความเหมาะสมต่อการเผาไหม้ โดยพิจารณาความเหมาะสมจากการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทค จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ทำให้สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

การศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ เมื่อ $\Phi = 0.7$ พบว่าที่ $\lambda = 0.4$ ทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงกว่ากรณี $\lambda = 0, 0.2$ และ ทำให้เกิดการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 670°C และเมื่อ $\lambda = 0.4$ ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เฉลี่ยมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 400 ppm

การศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ เมื่อ $\Phi = 0.8$ พบว่าที่ $\lambda = 0.4$ ทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงกว่ากรณี $\lambda = 0, 0.2$ และ ทำให้เกิดการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ $1,086^{\circ}\text{C}$ และเมื่อ $\lambda = 0$ ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เฉลี่ยมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 113.5 ppm

การศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ เมื่อ $\Phi = 1.0$ พบว่าที่ $\lambda = 0.4$ ทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงกว่ากรณี $\lambda = 0, 0.2$ และ ทำให้เกิดการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ $1,135^{\circ}\text{C}$ และเมื่อ $\lambda = 0.4$ ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เฉลี่ยมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 130.25 ppm

การศึกษาถึง λ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ เมื่อ $\Phi = 1.2$ พบว่าที่ $\lambda = 0.4$ ทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงกว่ากรณี $\lambda = 0, 0.2$ และ ทำให้เกิดการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ $1,064^{\circ}\text{C}$ และเมื่อ $\lambda = 0.4$ ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เฉลี่ยมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 348.75 ppm

จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุติยภูมิต่ออัตราการไหลของอากาศทั้งหมดที่มีความเหมาะสมต่อการเผาไหม้ของเตาเผาแบบวอร์เทค เมื่อ $\Phi = 0.7, 0.8, 1.0, 1.2$ คือ การปรับอัตราการไหลของอากาศให้อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุติยภูมิต่ออัตราการไหลของอากาศทั้งหมดเท่ากับ 0.4 (ใช้ปริมาณอากาศส่วนที่ 2 เป็น 40 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณอากาศทั้งหมด) จะช่วยทำให้เกิดการกระจายตัวของแก๊สภายในเตาเผา วอร์เทคมากขึ้น แก๊สจึงไม่สามารถจับตัวเป็นก้อนได้ทำให้เกิดการผสมหรือการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ และ การเคลื่อนที่แบบหมุนวนภายในเตาเผา วอร์เทคจะช่วยให้แก๊สเพิ่มระยะเวลาการเผาไหม้ของแก๊สที่อยู่ภายในเตาเผา วอร์เทค ซึ่งจะทำให้เกิดการกระจายอุณหภูมิที่สูงและได้ปริมาณก๊าซไอเสียที่ต่ำดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น

บทที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุป

ในโครงการนี้ได้ออกแบบและสร้างเตาเผาออร์เทคเพื่อใช้ในการเผาไหม้ชีวมวลที่มาจากพืช โดยชีวมวลที่ใช้ในการทดลองคือแกลบที่มีอยู่มากภายในประเทศไทยและราคาถูก เพื่อมาเป็นพลังงานทดแทนแหล่งพลังงานเดิมที่ได้จากฟอสซิลที่มีปริมาณลดลง จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการออกแบบและข้อสังเกตจากการทดลองพบว่า สามารถคิดเตาเผาออร์เทคได้ง่าย และสามารถทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง มีอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงโดยไม่ใช้เชื้อเพลิงอื่นช่วยในการเผาไหม้นอกเสียจากการขั้นตอนการอุ่นเตา (โดยการอุ่นเตาจะใช้แก๊สเชื้อเพลิง เพื่อช่วยให้การเผาไหม้ให้เกิดขึ้นได้เองและต่อเนื่อง (Spontaneous Combustion)) และเกิดการเผาไหม้แกลบได้อย่างหมดจดทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย เนื่องจากท่อทิ้งเถ้าลอยอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของเตาออร์เทค ซึ่งทำให้เชื้อเพลิงแกลบที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถหลุดออกมาจากท่อทิ้งเถ้าลอยได้จนกว่าจะถูกเผาไหม้จนหมดทำให้ได้เถ้าเฉพาะที่มีขนาดเล็กจึงจะสามารถหลุดออกมาได้

2. การศึกษาถึงอัตราส่วนสมมูล (Equivalence Ratio, Φ) ที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ จากการคำนวณพบว่าอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงแกลบทางทฤษฎีเท่ากับ 4.850 : 1 โดยน้ำหนัก (ซึ่งงานวิจัยนี้กำหนดให้อัตราการไหลเชื้อเพลิงแกลบให้คงที่เท่ากับ 0.2 kg/min) โดยจะทำการทดลองที่ $\Phi = 0.7, 0.8, 1.0$ และ 1.2 จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองเท่ากับปริมาณอากาศทางทฤษฎี ($\Phi = 1.0$) สามารถทำให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตาออร์เทคสูงกว่ากรณี $\Phi = 0.7, 0.8$ และ 1.2 และในการศึกษาถึงอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศต่ออัตรการไหลของอากาศทั้งหมด (λ) ที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ โดยทำการทดลองที่ $\lambda = 0, 0.2$ และ 0.4 โดยการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่ 2 จะมีปริมาณมากขึ้นตามอัตราส่วนที่ระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ การจ่ายอากาศส่วนที่ 2 จะถูกจ่ายอากาศในแนวสัมผัสกับผนังด้านในของเตาเผาออร์เทคซึ่งจะช่วยทำให้เกิดการเผาไหม้แบบหมุนวนภายในเตาเผาออร์เทค ดังนั้นเมื่อ λ มากขึ้นจะเป็นการเพิ่มการเผาไหม้แบบหมุนวนมากขึ้นตาม ซึ่งจะส่งผลต่อการเผาไหม้ 2 ประการหลักๆ คือ ประการแรกจะช่วยทำให้เกิดการผสมหรือการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเชื้อเพลิงแกลบกับอากาศมากขึ้น ประการที่ 2 เป็นการเพิ่มระยะเวลาในการเผาไหม้ภายในเตาเผาออร์เทคให้นานมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้มากขึ้น ซึ่งจากการทดลองพบว่า $\Phi = 1.0$ และ $\lambda = 0.4$ ทำให้ได้อุณหภูมิสูงสุดจากการเผาไหม้เท่ากับ $1,135^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดของการทดลอง ควันทที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อย มีการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง ขี้เถ้าที่ออกมามีสีดำ

ปนเทา และจากการวิเคราะห์แก๊สไอเสียพบว่า O_2 เหลือเท่ากับ 4.41 % CO_2 เหลือเท่ากับ 15.34 % มีปริมาณ CO เหลือต่ำซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 130.25 ppm., มีปริมาณ NO_x เหลือเท่ากับ 764.00 ppm.

7.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเตาเผาออร์เทคนี้เป็นโครงการเริ่มต้น ซึ่งการทดลองได้มุ่งเน้นในการศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทค สังเกตดูแลรอยที่ออกจากเตา ควัน และ แก๊สไอเสีย ที่เกิดจากการเผาไหม้ซึ่งเป็นการควบคุมในระดับหนึ่งฉะนั้นแล้วควรจะมีการศึกษาถึงตัวแปรอื่นๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบให้ได้เตาเผาออร์เทคที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น

1. ศึกษาถึงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาและปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เมื่อมีการหุ้มฉนวนอย่างดีมาก

2. ศึกษาถึงอัตราการไหลของเชื้อเพลิงแก๊ส ที่อัตราการไหลต่างๆ กันที่มีผลต่อการเผาไหม้

3. ศึกษาถึงปริมาณความชื้นที่มีผลต่อการเผาไหม้

4. ศึกษาถึงขนาดของห้องเผาไหม้ที่มีผลต่อการเผาไหม้

5. ศึกษาถึงการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่นๆ เช่น ชีวเตี้ย ฟางข้าว ชานอ้อยกับเตาเผาออร์เทค

6. ติดตั้งระบบแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อหาประสิทธิภาพของเตา

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 1998. สถิติการเกษตรของประเทศไทย. <http://oac.go.th/statistic/year/1998-99>
- [2] นายวสันต์ แสงจันทร์. 2527. “เรื่องการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนท์ในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] นายกิตติ วิวัฒน์บวรวงศ์ และคณะ. 2531. “การพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาเกลือที่ใช้กับโรงสีข้าว.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [4] นายรัชชัย ท้าววิล และนายสันติ วัชรอาภาไพบูลย์. 2534. “เตาเผาวัสดุทางการเกษตรโดยใช้อากาศหมุนวน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [5] เรือโท ประจักษ์ จิตริพิทย์. 2535. “การศึกษารูปแบบการไหลและลักษณะการสันดาปของห้องเผาไหม้แบบไซโคลนที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิง.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [6] นายอรรถกร คำนิทร์ และ นายอำนาจ ตั้งคนาวณิชย์. 2537. “ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเผาขยะชุมชนในเตาเผาขยะแบบหมุนต่อขยะมูลฝอยของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารสำเร็จรูป.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [7] สุพจน์ นานาโชค. 2539. “การเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้แบบไซโคลนชนิดอากาศเข้าหลายช่องทาง.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [8] นายอดิศักดิ์ ชูจิตา. 2540. “ออกแบบสร้างและทดสอบเตาเผาเกลือสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบดขนาด 10 ton/hr เตาเผาวัสดุทางการเกษตรโดยใช้อากาศหมุนวน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

- [9] นายบุญเรือง ศรีสวัสดิ์. 2541. “การปรับปรุงสมรรถนะของเตาเผาเคลือบสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ ฟลูอิดไคซ์เบดขนาด 10 ton/hr เตาเผาวัสดุทางการเกษตรแบบหมุนวน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [10] สมรัฐ เกิดสุวรรณ. 2541. “การศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเผาไหม้มูลฝอยติดเชื้อในเตาเผาแบบหมุน:ผลของการเคลื่อนตัวของมูลฝอยติดเชื้อต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [11] นายกฤษ มณีรัตน์. 2542. “ออกแบบและศึกษาประสิทธิภาพของเตาเผาแบบ Rotary Kiln.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [12] สมศรี จรุงเรือง และ คณะ. 2543. “การวิจัยผลของการใช้อุปกรณ์ป้อนมูลฝอยชนิดโรตารีต่อการเผาไหม้ในเตาเผา.” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์. ครั้งที่ 14 :319-323
- [11] Nieh, S. , et al. “Testing of a 0.15 MBtu/hr Vortex Combustor.” technical report to Naval Civil Engineering Laboratory. April 1989.
- [12] Yonus.A.Cengel Michael A.Boles. **Thermodynamic An Engineering Approach.** Second Edition . 1994. pp 733-746
- [13] Stephen R. Turns. **An Introduction to Combustion.** McGraw – Hill. International Edition. 1996 . pp 8-49
- [14] สุรีย์ แขวงโสภาก และคณะ. พลังงาน. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์ อักษรเจริญทัศน์. ปี 2531. pp 9-92
- [15] ผศ.สุรพล พฤกษมานิช. การปรับอากาศ. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์. ปี 2529. pp 11-29

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ ก-1 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 0.7, $\lambda = 0$

x (m)	r/R	เวลาที่ใช้ในการบันทึกผลการทดลอง									T_{ave} ($^{\circ}\text{C}$)	RH_{ave} %	$T_{\infty,ave}$ ($^{\circ}\text{C}$)
		(3min)			(6min)			(9min)					
		T_1 ($^{\circ}\text{C}$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}\text{C}$)	T_2 ($^{\circ}\text{C}$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}\text{C}$)	T_3 ($^{\circ}\text{C}$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}\text{C}$)			
0.1	0.4	453	60.7	33	471	63.1	33	477	64.6	33	467	62.8	33
	0.5	507	63.4	32	498	64.5	32	493	65.1	32	499	64.3	32
	0.6	407	61.1	32	392	62.9	32	381	64.1	32	393	62.7	32
	0.7	296	63.1	32	286	62.1	32	279	63.7	32	287	63.0	32
	0.8	260	63.1	32	259	63.7	32	258	62.4	32	259	63.0	32
	0.9	256	61.8	32	257	62.6	32	258	62.1	32	257	62.2	32
	1.0	254	60.8	32	253	62.0	32	255	62.0	32	254	61.6	32
0.2	0.4	340	61.1	33	370	62.2	33	282	62.3	33	331	61.8	33
	0.5	323	62.3	32	313	62.6	32	305	62.5	32	314	62.5	32
	0.6	287	62.9	32	284	63.0	32	283	62.7	32	285	62.8	32
	0.7	276	63.7	32	276	62.1	32	276	63.2	32	276	63.0	32
	0.8	276	64.5	32	276	63.8	32	275	62.4	32	276	63.6	32
	0.9	274	63.2	32	273	62.3	32	273	61.4	32	273	62.3	32
	1.0	271	62.2	32	273	63.7	32	270	62.4	32	271	62.8	32
0.3	0.4	347	60.5	33	348	62.7	33	365	63.3	33	353	62.2	33
	0.5	352	63.5	32	354	64.6	32	340	63.2	32	349	63.8	32
	0.6	306	61.6	32	295	62.5	32	290	62.4	32	297	62.2	32
	0.7	271	63.6	32	270	63.0	32	269	62.9	32	270	63.2	32
	0.8	264	63.4	32	264	64.3	32	264	62.7	32	264	63.5	32
	0.9	266	61.9	32	267	63.1	32	268	62.0	32	267	62.3	32
	1.0	265	63.4	32	264	62.4	32	266	62.6	32	265	62.8	32
0.4	0.4	427	60.6	33	411	62.3	33	400	63.4	33	413	62.1	33
	0.5	329	65.3	32	325	64.7	32	322	64.1	32	325	64.7	32
	0.6	312	61.6	32	311	62.5	32	310	62.0	32	311	62.0	32
	0.7	306	63.8	32	306	63.8	32	306	63.2	32	306	63.6	32
	0.8	306	63.5	32	306	64.3	32	305	62.4	32	306	63.4	32
	0.9	304	61.9	32	304	63.7	32	303	62.3	32	304	62.6	32
	1.0	301	62.6	32	302	63.3	32	300	62.0	32	301	62.6	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 0.7 , $\lambda = 0$ (ต่อ)

0.5	0.4	406	61.0	32	457	61.7	32	457	61.4	32	440	61.4	32
	0.5	391	61.1	32	424	60.4	32	412	61.7	32	409	61.0	32
	0.6	301	61.6	32	325	59.6	32	330	59.3	32	319	60.2	32
	0.7	294	59.9	32	316	61.9	32	312	60.8	32	307	60.9	32
	0.8	279	61.9	32	296	62.0	32	291	61.6	32	289	61.8	32
	0.9	268	61.6	32	291	61.9	32	290	62.6	32	283	62.1	32
	1.0	265	61.6	33	286	61.1	33	284	61.8	33	278	61.5	33
0.6	0.4	509	61.3	33	520	62.9	33	544	63.2	33	524	62.4	33
	0.5	549	63.2	32	546	64.7	32	541	63.9	32	545	63.9	32
	0.6	530	62.4	32	528	63.1	32	525	61.9	32	528	62.5	32
	0.7	503	63.9	32	499	64.0	32	494	63.5	32	499	63.8	32
	0.8	471	63.7	32	468	64.5	32	465	63.2	32	468	63.8	32
	0.9	453	61.3	32	449	63.3	32	443	62.9	32	448	62.5	32
	1.0	449	62.4	32	447	64.0	32	441	63.9	32	446	63.4	32
0.7	0.2	390	61.6	33	397	62.2	33	385	64.2	33	391	62.6	33
	0.3	312	63.1	32	308	64.9	32	303	62.5	32	308	63.5	32
	0.4	288	62.5	32	286	63.1	32	283	62.0	32	286	62.5	32
	0.5	277	64.0	32	279	64.6	32	281	63.6	32	279	64.1	32
	0.6	283	63.7	32	283	64.8	32	283	64.1	32	283	64.2	32
	0.7	282	61.9	32	281	62.5	32	281	62.6	32	281	62.3	32
	0.8	280	62.7	32	280	62.8	32	280	63.9	32	280	63.1	32
	0.9	280	62.5	32	280	63.6	32	278	64.4	32	279	63.5	32
	1.0	280	63.1	32	279	64.6	32	287	62.6	32	282	63.4	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 0.8, $\lambda = 0$

x (m)	r/R	เวลาที่ใช้ในการบันทึกผลการทดลอง									T_{ave} (°C)	RH_{ave} %	$T_{\infty,ave}$ (°C)
		(3min)			(6min)			(9min)					
		T_1 (°C)	RH %	T_{∞} (°C)	T_2 (°C)	RH %	T_{∞} (°C)	T_3 (°C)	RH %	T_{∞} (°C)			
0.1	0.4	361	41.9	35	370	40.1	35	378	41.1	35	370	41.0	35
	0.5	384	41.7	35	367	41.7	35	358	41.1	34.5	370	41.5	35
	0.6	334	42.7	35	321	42.1	35	316	41.1	35	324	42.0	35
	0.7	307	41.4	35	287	41.3	35	284	41.6	34.5	293	41.4	35
	0.8	281	40.3	34.5	275	41.8	35	269	42.3	35	275	41.5	35
	0.9	259	42.7	35	257	42.4	35.5	253	41.6	35	256	42.2	35
	1.0	249	42.5	35	247	42.7	35	247	42.1	35	248	42.4	35
0.2	0.4	705	41.6	35	708	40.0	35	712	40.3	35	708	40.7	35
	0.5	696	41.1	35	673	41.3	34.5	659	42.0	34.5	676	41.5	35
	0.6	599	42.7	35	583	42.5	35	578	41.2	35	587	42.1	35
	0.7	526	41.5	35	485	41.8	35	486	41.2	35	499	41.5	35
	0.8	454	40.3	34.5	435	42.3	35	432	42.1	35	440	41.6	35
	0.9	408	42.0	35	398	43.3	35.5	389	43.1	35	398	42.8	35
	1.0	374	42.8	35	379	43.0	35	386	42.2	35	380	42.7	35
0.3	0.4	425	41.7	35	419	39.7	35	413	40.7	35	419	40.7	35
	0.5	399	42.2	35	371	43.0	34.5	379	41.9	34.5	383	42.3	35
	0.6	349	42.6	35	334	42.2	35	360	40.7	35	348	41.9	35
	0.7	328	41.0	35	331	41.0	35	332	41.9	35	330	41.3	35
	0.8	318	40.3	35	319	41.5	35	320	41.4	34.5	319	41.1	35
	0.9	330	43.2	35	326	42.6	35.5	321	42.4	35	326	42.7	35
	1.0	304	42.6	35	306	42.7	35	306	42.5	35	305	42.6	35
0.4	0.4	594	41.6	35	587	40.2	35	578	40.4	35	586	40.7	35
	0.5	574	41.9	35	576	41.9	35	571	41.9	35	574	41.9	35
	0.6	572	43.0	35	572	41.8	34.5	578	43.0	34.5	574	42.6	35
	0.7	570	41.4	35	562	41.0	35	562	41.0	35	565	41.1	35
	0.8	549	40.5	35	529	40.8	35	504	42.2	34.5	527	41.1	35
	0.9	472	42.8	35	454	42.6	35	442	41.6	35	456	42.3	35
	1.0	421	42.5	35	403	43.2	35	395	41.7	35	406	42.5	35
0.5	0.4	722	41.1	35	712	40.1	35	709	41.0	35	714	40.7	35
	0.5	695	41.5	35	695	41.6	35	701	42.1	35	697	41.7	35
	0.6	691	42.3	35	701	41.5	34.5	702	41.4	34.5	698	41.8	35
	0.7	700	41.9	35	698	41.6	35	707	41.2	34.5	702	41.5	35
	0.8	700	39.8	35	693	40.6	35	678	41.7	34.5	690	40.7	35
	0.9	624	41.8	35	596	42.1	34.5	577	41.5	35	599	41.8	35
	1.0	548	42.6	35	525	42.4	35	519	42.1	35	531	42.4	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 0.8 , $\lambda = 0$ (ต่อ)

0.6	0.4	789	40.8	35	771	40.2	35	769	40.7	35	776	40.6	35
	0.5	747	42.1	35	743	42.0	35	748	42.3	34.5	746	42.1	35
	0.6	710	42.2	34.5	710	41.3	35	708	41.8	34.5	709	41.7	35
	0.7	659	42.8	35	645	41.1	35	646	41.6	35	650	41.8	35
	0.8	628	41.4	35	617	41.9	35	612	42.3	34.5	619	41.9	35
	0.9	566	42.5	35	547	42.8	35	539	42.4	35	551	42.6	35
	1.0	480	42.4	35	503	41.8	35	515	41.9	35	500	42.0	35
0.7	0.2	867	40.5	35	879	40.3	35	882	40.3	35	876	40.4	35
	0.3	855	41.9	35	851	41.9	35	846	42.3	35	851	42.0	35
	0.4	826	41.7	34.5	828	41.3	34.5	821	41.9	34.5	825	41.6	35
	0.5	738	42.8	35	723	40.9	35	716	41.8	34.5	726	41.8	35
	0.6	682	41.8	35	668	42.8	35	659	42.0	35	670	42.2	35
	0.7	591	42.5	35	578	42.3	35	569	42.5	35	579	42.4	35
	0.8	523	43.4	35	515	42.0	35	511	41.8	35	516	42.4	35
	0.9	476	40.2	35	494	39.2	35	502	40.1	35	491	39.8	35
	1.0	417	39.5	35	425	39.4	35	432	39.5	35	425	39.5	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 1 , $\lambda = 0$

x (m)	r/R	เวลาที่ใช้ในการบันทึกผลการทดลอง									T_{ave} ($^{\circ}C$)	RH_{ave} %	$T_{\infty,ave}$ ($^{\circ}C$)
		(3min)			(6min)			(9min)					
		T_1 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)	T_2 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)	T_3 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)			
0.1	0.4	462	62.6	35	453	62.6	35	476	62.6	35	464	62.6	35
	0.5	369	59.8	35	369	59.4	35	358	59.4	34.5	365	59.5	35
	0.6	465	60.5	35	468	60.1	35	321	59.4	35	418	60.0	35
	0.7	385	59.8	35	372	59.2	35	401	62.1	34.5	386	60.4	35
	0.8	355	58.4	34.5	361	59.1	35	355	62.0	35	357	59.8	35
	0.9	283	56.0	35	296	55.1	35.5	335	58.6	35	305	56.6	35
	1.0	346	57.2	35	346	56.0	35	345	56.4	35	346	56.5	35
0.2	0.4	561	60.1	35	538	60.1	35	564	58.4	35	554	59.5	35
	0.5	470	59.6	35	505	58.0	34.5	518	59.6	34.5	498	59.0	35
	0.6	477	60.8	35	526	59.3	35	483	60.8	35	495	60.3	35
	0.7	477	58.2	35	496	59.8	35	527	60.7	35	500	59.6	35
	0.8	523	59.1	34.5	516	58.9	35	519	59.1	35	519	59.0	35
	0.9	501	55.6	35	497	54.5	35.5	494	56.4	35	497	55.5	35
	1.0	476	57.0	35	472	56.1	35	468	59.2	35	472	57.4	35
0.3	0.4	620	59.2	35	599	59.5	35	596	58.0	35	605	58.9	35
	0.5	552	58.0	35	596	57.9	34.5	596	59.2	34.5	581	58.3	35
	0.6	596	59.8	35	599	58.8	35	576	60.8	35	590	59.8	35
	0.7	567	58.6	35	585	59.7	35	595	58.5	35	582	58.9	35
	0.8	628	58.7	35	621	58.8	35	635	58.8	34.5	628	58.8	35
	0.9	635	54.7	35	627	55.4	35.5	644	58.2	35	635	56.1	35
	1.0	605	57.5	35	601	56.2	35	605	60.4	35	604	58.0	35
0.4	0.4	660	60.4	35	635	60.4	35	636	57.7	35	644	59.5	35
	0.5	633	58.2	35	644	57.5	35	645	59.3	35	641	58.3	35
	0.6	655	59.8	35	658	59.8	34.5	648	60.9	34.5	654	60.2	35
	0.7	643	60.6	35	647	60.9	35	653	60.5	35	648	60.6	35
	0.8	695	58.8	35	704	58.3	35	724	56.5	34.5	708	57.9	35
	0.9	713	54.7	35	705	55.1	35	704	56.3	35	707	55.3	35
	1.0	659	57.8	35	654	56.9	35	651	59.4	35	655	58.0	35
0.5	0.4	742	59.4	35	715	59.4	35	714	59.4	35	724	59.4	35
	0.5	745	60.0	35	762	59.0	35	753	58.9	35	753	59.3	35
	0.6	730	59.8	35	725	60.1	34.5	715	59.4	34.5	723	59.8	35
	0.7	717	59.8	35	720	60.3	35	735	61.8	34.5	724	60.6	35
	0.8	711	58.7	35	715	58.1	35	727	59.7	34.5	718	58.8	35
	0.9	677	54.8	35	670	54.7	34.5	670	56.6	35	672	55.3	35
	1.0	608	56.6	35	593	56.1	35	582	56.9	35	594	56.5	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 1 , $\lambda = 0$ (ต่อ)

0.6	0.4	848	59.2	35	800	59.2	35	795	59.2	35	814	59.2	35
	0.5	861	58.6	35	868	58.5	35	849	59.1	34.5	859	58.7	35
	0.6	824	60.0	34.5	809	59.7	35	810	58.7	34.5	814	59.5	35
	0.7	784	60.8	35	787	59.5	35	790	61.2	35	787	60.5	35
	0.8	750	57.7	35	751	62.5	35	755	58.2	34.5	752	59.4	35
	0.9	695	54.5	35	690	56.1	35	690	56.4	35	692	55.6	35
	1.0	711	56.2	35	709	55.8	35	691	58.0	35	704	56.7	35
0.7	0.2	889	58.1	35	905	58.1	35	916	58.1	35	903	58.1	35
	0.3	891	57.5	35	883	59.6	35	887	57.9	35	887	58.3	35
	0.4	848	59.5	34.5	842	63.9	34.5	828	57.6	34.5	839	60.3	35
	0.5	758	59.3	35	760	58.8	35	766	62.0	34.5	761	60.0	35
	0.6	718	59.6	35	718	61.2	35	722	58.6	35	719	59.8	35
	0.7	655	55.9	35	650	56.1	35	651	56.3	35	652	56.1	35
	0.8	561	56.1	35	548	55.5	35	545	56.5	35	551	56.0	35
	0.9	525	56.1	35	518	59.9	35	515	58.3	35	519	58.1	35
	1.0	527	56.5	35	541	55.9	35	553	55.3	35	540	55.9	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-4 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 1.2, $\lambda = 0$

x (m)	r/R	เวลาที่ใช้ในการบันทึกผลการทดลอง									T_{ave} ($^{\circ}C$)	RH_{ave} %	$T_{\infty,ave}$ ($^{\circ}C$)
		(3min)			(6min)			(9min)					
		T_1 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)	T_2 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)	T_3 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)			
0.1	0.4	619	54.5	33.5	641	52.9	35.5	550	53.3	35.5	603	53.6	35
	0.5	498	52.4	35	472	52.8	35	452	54.6	35	474	53.3	35
	0.6	450	54.2	35	431	54.3	35	436	50.0	35	439	52.8	35
	0.7	457	49.4	35	462	47.7	35	464	45.1	35	461	47.4	35
	0.8	458	47.5	35	417	48.1	35	401	47.5	35	425	47.7	35
	0.9	384	49.8	36	319	43.0	36	293	48.1	36	332	47.0	36
	1.0	278	49.5	36	267	51.9	36	256	47.7	36	267	49.7	36
0.2	0.4	594	53.7	35.5	648	52.7	35.5	698	53.2	35.5	647	53.2	36
	0.5	744	53.1	35	666	52.9	35	630	54.2	35	680	53.4	35
	0.6	558	55.2	35	486	53.6	35	469	49.6	35	504	52.8	35
	0.7	473	46.7	35	447	49.4	35	439	48.0	35	453	48.0	35
	0.8	409	45.6	35	364	49.1	35	342	45.2	35	372	46.6	35
	0.9	315	45.9	36	302	41.7	36	293	48.9	36	303	45.5	36
	1.0	209	50.0	36	293	51.7	36	282	48.9	36	261	50.2	36
0.3	0.4	631	52.8	35.5	640	52.0	35.5	702	54.5	35	658	53.1	35
	0.5	736	52.6	35	696	52.9	35	656	53.4	35	696	53.0	35
	0.6	606	53.5	35	505	53.8	35	482	50.2	35	531	52.5	35
	0.7	458	46.6	35	451	47.3	35.5	433	46.7	35	447	46.8	35
	0.8	397	45.7	35	378	47.2	35.5	367	44.5	35	381	45.8	35
	0.9	345	46.9	36	325	43.8	36	319	48.4	36	330	46.4	36
	1.0	314	50.4	36	305	48.3	36	302	51.2	36	307	50.0	36
0.4	0.4	545	53.3	35.5	561	51.4	35.5	567	53.2	35	558	52.6	35
	0.5	585	53.9	35	571	53.1	35	563	54.5	35	573	53.8	35
	0.6	555	52.4	35	528	53.8	35	492	49.6	35.5	525	51.9	35
	0.7	475	45.8	35	471	48.5	35	465	44.7	35	470	46.3	35
	0.8	456	45.9	35	452	45.2	35	449	46.4	35	452	45.8	35
	0.9	443	48.0	35	433	44.1	35	425	45.1	36	434	45.7	35
	1.0	425	49.7	36	416	47.7	36	408	51.0	36	416	49.5	36
0.5	0.4	666	53.1	35.5	675	51.3	35.5	679	53.9	35.5	673	52.8	36
	0.5	582	54.2	35	573	53.5	35	629	56.0	35	595	54.6	35
	0.6	665	53.8	35	660	54.4	35	663	50.4	35	663	52.9	35
	0.7	647	48.0	35	638	51.0	35.5	635	45.7	35.5	640	48.2	35
	0.8	610	46.0	35	587	49.2	35	577	48.9	35	591	48.0	35
	0.9	560	48.1	36	538	49.7	36	528	46.2	36	542	48.0	36
	1.0	520	52.1	36	512	49.0	36	503	49.8	36	512	50.3	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้

ตารางที่ ก-4 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 1.2 , $\lambda = 0$ (ต่อ)

0.6	0.4	581	52.8	35.5	623	52.9	35.5	653	53.7	35	619	53.1	35
	0.5	719	54.1	35	733	54.9	35	740	55.3	35	731	54.8	35
	0.6	716	53.8	35	716	52.9	35	747	49.9	35	726	52.2	35
	0.7	715	49.2	35.5	700	48.9	35.5	704	47.9	35.5	706	48.6	36
	0.8	640	46.6	35	602	46.9	35	581	47.2	35	608	46.9	35
	0.9	557	47.8	36	533	47.0	36	519	46.3	36	536	47.0	36
	1.0	597	50.5	36	705	47.6	36	755	49.4	36	686	49.2	36
0.7	0.2	756	54.3	35.5	782	53.9	35.5	802	54.5	35.5	780	54.2	36
	0.3	810	54.1	35	808	55.7	35	810	55.6	35	809	55.1	35
	0.4	817	53.6	35	823	50.7	35	822	51.3	35	821	51.8	35
	0.5	793	48.6	35.5	783	49.0	35.5	781	48.9	35.5	786	48.8	36
	0.6	720	47.9	35	698	47.4	35	683	45.1	35	700	46.8	35
	0.7	647	49.6	36	625	47.4	36	618	47.7	36	630	48.3	36
	0.8	686	57.1	36	727	49.4	36	756	49.9	35.5	723	52.2	36
	0.9	754	51.0	36	752	49.1	36	750	48.7	36	752	49.6	36
1.0	749	51.7	36	745	50.1	36	745	50.1	36	746	50.6	36	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-5 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 0.7, $\lambda = 0.2$

x (m)	r/R	เวลาที่ใช้ในการบันทึกผลการทดลอง									T_{ave} ($^{\circ}\text{C}$)	RH_{ave} %	$T_{\infty,ave}$ ($^{\circ}\text{C}$)
		(3min)			(6min)			(9min)					
		T_1 ($^{\circ}\text{C}$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}\text{C}$)	T_2 ($^{\circ}\text{C}$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}\text{C}$)	T_3 ($^{\circ}\text{C}$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}\text{C}$)			
0.1	0.4	365.0	54.9	34	366.0	53.0	34	402.0	55.8	34	378	54.6	34
	0.5	388.0	58.2	33	378.0	55.5	33	393.0	54.7	33	386	56.1	33
	0.6	300.0	56.9	33	294.0	57.3	33	282.0	58.5	33	292	57.6	33
	0.7	243.0	55.3	33	243.0	59.7	33	244.0	56.2	33	243	57.0	33
	0.8	242.0	57.0	33	248.0	58.4	33	252.0	61.1	33	247	58.9	33
	0.9	254.0	61.4	33	244.0	60.5	33	238.0	62.8	33	245	61.6	33
	1.0	244.0	55.9	33	240.0	56.5	33	238.0	57.0	33	241	56.5	33
0.2	0.4	247.0	55.1	34	246.0	55.0	34	243.0	55.4	34	245	55.2	34
	0.5	240.0	55.8	33	238.0	56.1	33	238.0	57.0	33	239	56.3	33
	0.6	222.0	56.3	33	219.0	56.6	33	215.0	57.8	33	219	56.9	33
	0.7	203.0	55.8	33	207.0	59.4	33	204.0	56.4	33	205	57.2	33
	0.8	205.0	57.9	33	209.0	58.3	33	206.0	62.0	33	207	59.4	33
	0.9	206.0	61.1	33	207.0	60.7	33	207.0	62.2	33	207	61.3	33
	1.0	204.0	61.3	33	202.0	61.4	33	201.0	61.2	33	202	61.3	33
0.3	0.4	294.0	54.6	34	305.0	54.7	34	318.0	55.7	34	306	55.0	34
	0.5	310.0	55.8	33	315.0	56.8	33	311.0	57.1	33	312	56.5	33
	0.6	230.0	56.2	33	277.0	57.0	33	270.0	57.9	33	259	57.0	33
	0.7	246.0	55.9	33	246.0	59.1	33	243.0	56.2	33	245	57.1	33
	0.8	239.0	55.0	33	242.0	58.9	33	244.0	61.4	33	242	58.4	33
	0.9	244.0	61.1	33	241.0	61.0	33	235.0	61.8	33	240	61.3	33
	1.0	232.0	59.4	33	230.0	62.0	33	227.0	61.2	33	230	60.9	33
0.4	0.4	320.0	54.3	34	326.0	54.1	34	338.0	55.0	34	328	54.4	34
	0.5	350.0	55.3	33	354.0	57.4	33	355.0	58.6	33	353	57.1	33
	0.6	343.0	57.1	33	339.0	57.0	33	332.0	57.7	33	338	57.3	33
	0.7	301.0	56.1	33	298.0	58.8	33	295.0	56.8	33	298	57.2	33
	0.8	276.0	58.7	33	274.0	59.0	33	272.0	61.4	33	274	59.7	33
	0.9	269.0	61.5	33	266.0	61.5	33	264.0	61.3	33	266	61.5	33
	1.0	260.0	61.3	33	257.0	61.3	33	254.0	61.1	33	257	61.2	33
0.5	0.4	464.7	59.8	33	459.7	58.8	33	452.7	60.8	33	459	59.8	33
	0.5	464.7	57.6	33	474.6	58.7	33	502.5	58.5	33	481	58.3	33
	0.6	492.5	58.7	33	487.6	58.8	33	484.6	58.8	33	488	58.8	33
	0.7	512.4	56.7	33	512.4	56.4	33	509.4	58.2	33	511	57.1	33
	0.8	509.4	58.5	33	507.5	57.4	33	504.5	59.4	33	507	58.4	33
	0.9	479.6	59.4	33	477.6	60.2	33	472.6	58.8	33	477	59.5	33
	1.0	472.6	58.5	33	474.6	57.7	33	477.6	59.9	33	475	58.7	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-5 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 0.7 , $\lambda = 0.2$ (ต่อ)

0.6	0.4	612.0	56.6	34	626.0	57.4	34	625.0	57.4	34	621	57.1	34
	0.5	582.0	55.2	33	568.0	57.6	33	546.0	58.9	33	565	57.2	33
	0.6	402.0	57.4	33	394.0	53.2	33	404.0	57.1	33	400	55.9	33
	0.7	388.0	58.1	33	379.0	58.7	33	372.0	56.7	33	380	57.8	33
	0.8	359.0	58.2	33	344.0	60.2	33	335.0	61.4	33	346	59.9	33
	0.9	336.0	61.8	33	335.0	62.6	33	333.0	61.3	33	335	61.9	33
	1.0	330.0	61.2	33	327.0	61.7	33	323.0	61.6	33	327	61.5	33
0.7	0.2	448.0	54.1	34	456.0	54.6	34	449.0	55.5	34	451	54.7	34
	0.3	499.0	56.0	33	494.0	57.6	33	476.0	58.7	33	490	57.4	33
	0.4	366.0	57.8	33	347.0	58.8	33	328.0	57.9	33	347	58.1	33
	0.5	267.0	55.9	33	262.0	59.2	33	254.0	56.0	33	261	57.0	33
	0.6	243.0	58.1	33	243.0	61.2	33	244.0	61.6	33	243	60.3	33
	0.7	245.0	61.8	33	244.0	61.9	33	243.0	61.9	33	244	61.9	33
	0.8	242.0	62.0	33	242.0	61.9	33	241.0	61.1	33	242	61.7	33
	0.9	241.0	62.7	33	243.0	66.0	33	242.0	62.0	33	242	63.6	33
	1.0	240.0	61.8	33	241.0	62.4	33	241.0	62.4	33	241	62.2	33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-6 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 0.8, $\lambda = 0.2$

x (m)	r/R	เวลาที่ใช้ในการบันทึกผลการทดลอง									T_{ave} ($^{\circ}C$)	RH_{ave} %	$T_{\infty,ave}$ ($^{\circ}C$)
		(3min)			(6min)			(9min)					
		T_1 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)	T_2 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)	T_3 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)			
0.1	0.4	370.0	57.2	34	377.0	57.3	34	402.0	58.1	34	383	57.5	34
	0.5	373.0	54.7	35	360.0	53.6	35	347.0	55.2	35	360	54.5	35
	0.6	300.0	55.4	35	289.0	55.3	35	281.0	53.1	35	290	54.6	35
	0.7	265.0	53.5	35	261.0	54.3	35	260.0	53.1	35	262	53.6	35
	0.8	258.0	54.3	35	237.0	53.5	35	227.0	53.9	35	241	53.9	35
	0.9	206.0	53.2	34	203.0	53.7	34	200.0	53.3	34	203	53.4	34
	1.0	201.0	53.4	34	200.0	53.0	34	199.0	54.7	34	200	53.7	34
0.2	0.4	575.4	56.4	34	571.2	57.0	34	560.7	58.3	34	569	57.3	34
	0.5	575.4	54.2	35	573.3	53.3	35	569.1	55.8	35	573	54.4	35
	0.6	533.4	55.7	35	527.1	55.1	35	497.7	52.6	35	519	54.5	35
	0.7	510.3	53.3	35	508.2	54.2	35	506.1	53.2	35	508	53.5	35
	0.8	491.4	54.0	35	489.3	52.8	35	485.1	53.2	35	489	53.3	35
	0.9	464.1	53.4	34	457.8	54.1	34	455.7	54.3	34	459	53.9	34
	1.0	459.9	53.5	34	453.6	54.3	34	451.5	53.2	34	455	53.6	34
0.3	0.4	608.4	56.7	34	686.4	57.4	34	526.5	53.5	34	607	55.9	34
	0.5	651.3	54.6	35	631.8	54.7	35	594.8	56.4	35	626	55.2	35
	0.6	436.8	55.6	35	438.7	54.7	35	436.8	53.0	35	437	54.4	35
	0.7	431.0	52.9	35	432.9	55.2	35	427.1	53.6	35	430	53.9	35
	0.8	421.2	54.5	35	391.9	53.0	35	393.9	53.0	35	402	53.5	35
	0.9	374.4	53.7	34	374.4	53.5	34	374.4	54.2	34	374	53.8	34
	1.0	358.8	53.2	34	370.5	53.4	34	372.4	54.6	34	367	53.7	34
0.4	0.4	612.0	56.4	34	636.0	57.9	34	606.0	57.6	34	618	57.3	34
	0.5	639.0	54.7	35	650.0	54.9	35	638.0	56.8	35	642	55.5	35
	0.6	595.0	55.3	35	583.0	53.1	35	571.0	54.9	35	583	54.4	35
	0.7	539.0	53.9	35	533.0	55.6	35	526.0	54.3	35	533	54.6	35
	0.8	481.0	54.5	35	476.0	54.0	35	473.0	52.8	35	477	53.7	35
	0.9	446.0	53.5	34	431.0	53.2	34	426.0	54.3	34	434	53.7	34
	1.0	420.0	54.7	34	419.0	54.6	34	416.0	54.2	34	418	54.5	34
0.5	0.4	837.0	56.3	34	848.0	56.7	34	852.0	57.3	34	846	56.8	34
	0.5	835.0	54.3	35	834.0	54.4	35	841.0	56.1	35	837	54.9	35
	0.6	796.0	55.5	35	792.0	53.2	35	786.0	55.2	35	791	54.7	35
	0.7	744.0	54.0	35	737.0	54.6	35	734.0	53.9	35	738	54.2	35
	0.8	661.0	54.4	35	650.0	53.7	35	643.0	53.0	35	651	53.7	35
	0.9	635.0	54.2	34	641.0	53.9	34	642.0	54.0	34	639	54.0	34
	1.0	640.0	53.1	34	634.0	53.9	34	631.0	54.3	34	635	53.8	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-6 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 0.8 , $\lambda = 0.2$ (ต่อ)

0.6	0.4	990.0	56.1	34	989.0	57.2	34	1002.0	57.7	34	994	57.0	34
	0.5	937.0	54.6	35	940.0	55.2	35	942.0	57.0	35	940	55.6	35
	0.6	822.0	55.5	35	824.0	53.3	35	812.0	54.9	35	819	54.6	35
	0.7	732.0	54.2	35	722.0	53.7	35	722.0	53.3	35	725	53.7	35
	0.8	667.0	54.8	35	660.0	54.4	35	630.0	53.2	35	652	54.1	35
	0.9	585.0	53.5	34	610.0	54.0	34	622.3	53.6	34	605	53.7	34
	1.0	573.0	53.8	34	548.0	53.6	34	572.0	53.6	34	565	53.7	34
0.7	0.2	923.0	56.4	34	928.0	58.2	34	923.0	56.8	34	925	57.1	34
	0.3	967.0	54.6	35	960.0	55.5	35	962.0	56.8	35	963	55.6	35
	0.4	925.0	55.6	35	917.0	55.2	35	988.0	54.1	35	943	55.0	35
	0.5	827.0	54.3	35	826.0	53.3	35	817.0	53.2	35	823	53.6	35
	0.6	745.0	54.0	35	758.0	54.1	35	746.0	54.0	35	750	54.0	35
	0.7	700.0	53.5	34	684.0	53.9	34	685.0	53.7	34	690	53.7	34
	0.8	675.0	52.2	34	673.0	51.9	34	617.0	51.4	34	655	51.9	34
	0.9	601.0	51.8	34	569.0	51.5	34	599.0	51.4	34	590	51.6	34
	1.0	530.0	53.4	34	532.0	53.7	34	528.0	53.4	34	530	53.5	34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-7 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 1 , $\lambda = 0.2$

x (m)	r/R	เวลาที่ใช้ในการบันทึกผลการทดลอง									T_{ave} (°C)	RH_{av} %	$T_{\infty,ave}$ (°C)
		(3min)			(6min)			(9min)					
		T_1 (°C)	RH %	T_{∞} (°C)	T_2 (°C)	RH %	T_{∞} (°C)	T_3 (°C)	RH %	T_{∞} (°C)			
0.1	0.4	618	50.6	35.5	642	49.4	35	657	46.6	35.5	639	48.9	35.2
	0.5	664	49.6	35	612	46.2	35	613	46.7	35	630	47.5	35
	0.6	615	49.5	35	584	46.2	35	570	42.5	35	590	46.1	35
	0.7	523	45.4	35	504	45.6	35	499	44.1	35	509	45.0	35
	0.8	490	41.7	35	438	42.4	35	435	41.5	35	454	41.9	35
	0.9	429	40.3	35	371	40.7	35	344	43.7	35	381	41.5	35
	1.0	345	44.2	35	311	44.4	35	301	45.1	35	319	44.6	35
0.2	0.4	695	50.8	35	723	50.4	35	739	46.9	35	719	49.4	35
	0.5	702	48.6	35	643	46.6	35	627	46.0	35	657	47.1	35
	0.6	616	47.8	35	585	46.6	35	575	46.0	35	592	46.8	35
	0.7	514	45.6	35	499	45.3	35	492	44.4	35	502	45.1	35
	0.8	459	42.0	35	415	42.6	35	410	41.9	35	428	42.2	35
	0.9	392	40.5	35	344	41.4	35	330	43.5	35	355	41.8	35
	1.0	323	44.1	35	308	46.6	35	307	45.5	35	313	45.4	35
0.3	0.4	657.5	49.6	35	667.5	48.1	35	685	46.7	35	670	48.1	35
	0.5	672.5	49.2	35	587.5	41.7	35	622.5	46.1	35	628	45.7	35
	0.6	552.5	49.3	35	552.5	45.6	35	562.5	43.7	35	556	46.2	35
	0.7	505	45.8	35	487.5	45.3	35	537.5	45.2	35	510	45.4	35
	0.8	475	41.3	35	437.5	41.9	35	440	41.4	35	451	41.6	35
	0.9	432.5	40.0	35	432.5	41.1	35	412.5	42.5	35	426	41.2	35
	1.0	420.9	43.1	35	473.2	43.8	35	475.9	45.3	35	457	44.1	35
0.4	0.4	770	48.9	35	764	47.9	35	762	46.6	35	765	47.8	35
	0.5	746	49.1	35	985	44.3	35	746	46.9	35	826	46.8	35
	0.6	782	49.6	35	747	44.5	35	720	44.9	35	750	46.3	35
	0.7	603	45.5	35	639	45.1	35	619	42.9	35	620	44.5	35
	0.8	599	41.5	35	568	41.8	35	561	40.9	35	576	41.4	35
	0.9	546	39.3	35	520	41.3	35	502	42.6	35	523	41.1	35
	1.0	509	44.0	35	460	43.4	35	469	45.7	35	479	44.3	35
0.5	0.4	900	47.5	35	911	47.6	35	950	47.3	35	920	47.5	35
	0.5	961	48.0	35	954	46.4	35	958	46.1	35	958	46.8	35
	0.6	947	45.3	35	925	46.5	35	923	44.9	35	932	45.5	35
	0.7	886	45.7	35	877	45.3	35	870	44.4	35	878	45.2	35
	0.8	823	43.6	35	802	42.7	35	801	41.8	35	809	42.7	35
	0.9	778	38.7	35	707	42.4	35	697	42.8	35	727	41.3	35
	1.0	652	45.9	35	637	45.5	35	622	46.0	35	637	45.8	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-7 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 1 , $\lambda = 0.2$ (ต่อ)

0.6	0.4	998	49.1	35	1012	48.3	35	1027	47.0	35	1012	48.1	35
	0.5	1012	45.1	35	1011	45.8	35	1010	45.1	35	1011	45.3	35
	0.6	977	46.9	35	969	45.3	35	962	45.1	35	969	45.8	35
	0.7	912	44.9	35	891	45.3	35	892	42.5	35	898	44.2	35
	0.8	836	44.2	35	799	43.4	35	794	42.0	35	810	43.2	35
	0.9	765	38.7	35	750	41.6	35	750	43.8	35	755	41.4	35
	1.0	788	45.6	35	832	46.5	35	880	44.4	35	833	45.5	35
0.7	0.2	939	49.4	35	947	48.0	35	979	46.9	35	955	48.1	35
	0.3	992	46.3	35	1000	45.8	35	1012	45.1	35	1001	45.7	35
	0.4	1012	45.3	35	1011	45.1	35	998	45.4	35	1007	45.3	35
	0.5	980	46.2	35	942	45.2	35	964	43.6	35	962	45.0	35
	0.6	940	42.9	35	928	43.1	35	932	41.8	35	933	42.6	35
	0.7	895	39.3	35	806	42.8	35	863	43.3	35	855	41.8	35
	0.8	787	45.2	35	778	45.7	35	702	44.5	35	756	45.1	35
	0.9	751	42.4	35	731	42.6	35	729	42.3	35	737	42.5	35
	1.0	676	43.0	35	676	42.7	35	677	42.3	35	676	42.6	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-8 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 1.2, $\lambda = 0.2$

x (m)	r/R	เวลาที่ใช้ในการบันทึกผลการทดลอง									T_{ave} ($^{\circ}\text{C}$)	RH_{ave} %	$T_{\infty,ave}$ ($^{\circ}\text{C}$)
		(3min)			(6min)			(9min)					
		T_1 ($^{\circ}\text{C}$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}\text{C}$)	T_2 ($^{\circ}\text{C}$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}\text{C}$)	T_3 ($^{\circ}\text{C}$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}\text{C}$)			
0.1	0.4	450.3	41.9	36	452.2	42.8	36	454.1	41.8	36	452	42.1	36
	0.5	454.1	44.6	36	444.6	43.6	35	435.1	43.9	35	445	44.1	35
	0.6	418.9	46.0	35	400.9	44.7	35	395.2	45.1	34.5	405	45.3	35
	0.7	388.6	45.0	36	357.2	45.6	35	347.7	44.6	35	365	45.1	35
	0.8	319.2	44.1	35	31.3	43.2	35	311.6	46.1	35	221	44.5	35
	0.9	306.9	43.9	35	307.8	44.9	35	307.8	44.0	35	308	44.3	35
	1.0	301.2	43.6	36	301.2	43.5	36	295.5	43.4	35	299	43.5	36
0.2	0.4	764.8	42.2	36	761.9	42.8	36	764.8	41.5	36	764	42.2	36
	0.5	744.8	44.1	36	726.8	43.8	35	708.7	44.8	35	727	44.2	35
	0.6	673.6	45.9	35	655.5	44.6	35	645.1	45.3	34.5	658	45.2	35
	0.7	609.9	44.3	36	563.3	45.2	35	560.5	44.3	35	578	44.6	35
	0.8	483.6	44.0	35	479.8	44.6	35	476.0	44.0	35	480	44.2	35
	0.9	487.4	43.9	35	501.6	43.4	35	495.0	43.5	35	495	43.6	35
	1.0	431.3	44.0	36	420.9	44.7	36	409.5	43.3	35	421	44.0	36
0.3	0.4	702.1	42.9	36	662.2	42.3	36	679.3	43.0	36	681	42.7	36
	0.5	641.3	44.0	36	650.8	43.5	35	631.8	44.9	35	641	44.2	35
	0.6	596.6	45.1	35	575.7	45.4	35	572.8	45.1	35	582	45.2	35
	0.7	624.2	45.1	36	609.0	45.6	35	613.7	44.7	35	616	45.1	35
	0.8	554.8	44.0	35	552.9	45.3	35	552.9	43.6	35	554	44.3	35
	0.9	593.8	43.3	35	585.2	43.2	35	555.8	43.4	35	578	43.3	35
	1.0	502.6	44.4	36	486.4	44.2	36	478.8	43.5	36	489	44.0	36
0.4	0.4	826.7	43.0	36	796.2	41.8	36	779.1	44.0	36	801	42.9	36
	0.5	735.3	46.1	36	720.2	44.3	35	716.5	44.1	35	724	44.9	35
	0.6	695.2	44.6	35	687.6	45.1	35	685.1	44.8	35	689	44.8	35
	0.7	664.9	44.7	36	659.8	44.7	35	657.3	44.5	35	661	44.6	35
	0.8	619.5	44.5	35	610.4	44.9	35	609.1	44.4	35	613	44.6	35
	0.9	602.2	43.5	35	595.6	43.5	35	594.3	44.6	35	597	43.9	35
	1.0	601.5	43.7	36	592.2	44.0	36	592.2	43.9	35	595	43.9	36
0.5	0.4	920.7	42.6	36	920.7	41.8	36	910.8	44.8	36	917	43.1	36
	0.5	917.8	44.1	36	901.4	44.2	35	882.9	44.0	35	901	44.1	35
	0.6	824.0	45.2	35	813.1	44.7	35	806.6	45.2	35	815	45.0	35
	0.7	743.4	44.9	36	732.5	44.5	35	722.7	44.1	35	733	44.5	35
	0.8	644.2	43.9	35	634.4	45.4	35	623.5	44.6	35	634	44.6	35
	0.9	639.8	43.3	35	643.1	43.7	35	647.5	44.0	35	644	43.7	35
	1.0	636.6	43.9	36	640.9	43.9	36	644.2	43.8	350	641	43.9	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-8 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 1.2 , $\lambda = 0.2$ (ต่อ)

0.6	0.4	965.0	42.5	36	990.0	41.6	36	1000.0	44.1	36	985	42.7	36
	0.5	976.0	44.3	36	979.0	44.2	35	981.0	44.2	35	979	44.2	35
	0.6	961.0	44.3	35	962.0	44.5	35	974.0	45.3	35	966	44.7	35
	0.7	926.0	44.9	36	908.0	44.5	35	909.0	44.2	35	914	44.5	35
	0.8	841.0	43.5	35	831.0	45.6	35	824.0	45.1	35	832	44.7	35
	0.9	815.0	43.5	35	811.0	43.9	35	803.0	44.3	35	810	43.9	35
	1.0	759.0	44.4	36	755.0	44.2	36	754.0	43.6	35	756	44.1	36
0.7	0.2	957.0	42.9	36	971.0	41.6	36	980.0	44.7	36	969	43.1	36
	0.3	953.0	44.4	36	951.0	44.8	35	953.0	44.8	35	952	44.6	35
	0.4	910.0	44.8	35	910.0	44.8	35	927.0	46.1	35	916	45.2	35
	0.5	868.0	44.9	35	878.0	44.9	35	884.0	44.3	35	877	44.7	35
	0.6	872.0	43.3	35	876.0	45.0	35	878.0	44.9	35	875	44.4	35
	0.7	706.0	43.7	35	672.0	43.9	35	649.0	44.5	35	676	44.1	35
	0.8	831.0	43.5	36	829.0	44.1	36	831.0	43.8	35	830	43.8	36
	0.9	784.0	43.7	35	779.0	43.7	35	776.0	43.6	35	780	43.7	35
	1.0	778.0	43.7	35	783.0	43.7	35	786.0	43.7	35	782	43.7	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-9 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 0.7 , $\lambda = 0.4$

x (m)	r/R	เวลาที่ใช้ในการบันทึกผลการทดลอง									T_{ave} ($^{\circ}C$)	RH_{ave} %	T_{ave} ($^{\circ}C$)
		(3min)			(6min)			(9min)					
		T_1 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)	T_2 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)	T_3 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)			
0.1	0.4	314	59.7	32	310	61.7	32	307	60.8	32	310	60.8	32
	0.5	325	63.6	33	333	63.3	33	351	64.2	33	336	63.7	33
	0.6	335	61.6	33	326	61.9	33	322	61.1	33	328	61.5	33
	0.7	298	61.7	33	295	60.8	33	292	60.6	33	295	61.0	33
	0.8	266	60.8	33	261	59.1	33	257	58.4	33	261	59.4	33
	0.9	237	60.5	33	235	59.8	33	233	60.5	33	235	60.3	33
	1.0	234	61.3	33	232	60.4	33	231	61.4	33	232	61.0	33
0.2	0.4	288	59.2	32	285	62.1	32	281	60.6	32	285	60.6	32
	0.5	274	64.7	33	280	64.5	33	296	64.5	33	283	64.6	33
	0.6	279	61.4	33	276	61.4	33	274	61.3	33	276	61.4	33
	0.7	256	62.4	33	256	60.9	33	255	60.6	33	256	61.3	33
	0.8	255	61.1	33	254	58.7	33	253	58.4	33	254	59.4	33
	0.9	243	60.4	33	242	61.6	33	240	60.4	33	242	60.8	33
	1.0	240	60.5	33	241	60.8	33	242	60.6	33	241	60.6	33
0.3	0.4	309	59.7	32	293	61.6	32	285	60.4	32	296	60.6	32
	0.5	371	63.6	33	373	64.1	33	363	64.2	33	369	64.0	33
	0.6	305	61.4	33	296	60.8	33	280	61.2	33	294	61.1	33
	0.7	264	61.4	33	260	61.0	33	258	61.1	33	261	61.2	33
	0.8	235	61.1	33	235	58.3	33	231	58.0	33	234	59.1	33
	0.9	214	60.6	33	213	62.0	33	209	60.1	33	212	60.9	33
	1.0	210	61.4	33	208	60.5	33	207	61.3	33	208	61.1	33
0.4	0.4	323	59.7	32	323	61.4	32	319	60.7	32	322	60.6	32
	0.5	358	63.5	33	380	64.2	33	409	64.3	33	382	64.0	33
	0.6	499	61.4	33	391	60.5	33	375	61.0	33	422	60.9	33
	0.7	335	61.6	33	327	60.9	33	321	61.3	33	328	61.2	33
	0.8	292	61.1	33	287	58.6	33	283	57.9	33	287	59.2	33
	0.9	260	60.5	33	260	61.9	33	259	60.0	33	260	60.8	33
	1.0	257	61.1	33	259	61.4	33	256	60.7	33	257	61.1	33
0.5	0.4	498.3	60.9	33	561	61.6	33	377.3	62.0	33	479	61.5	33
	0.5	463.1	60.8	33	442.2	62.0	33	425.7	62.0	33	444	61.6	33
	0.6	388.3	61.1	33	381.7	62.2	33	379.5	62.3	33	383	61.8	33
	0.7	365.2	62.3	33	365.2	62.6	33	365.2	62.5	33	365	62.5	33
	0.8	365.2	62.9	33	365.2	63.0	33	363	62.7	33	365	62.8	33
	0.9	360.8	63.7	33	358.6	62.1	33	358.6	63.2	33	359	63.0	33
	1.0	355.3	64.5	33	358.6	63.8	33	353.1	62.4	33	356	63.6	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-9 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 0.7, $\lambda = 0.4$ (ต่อ)

0.6	0.4	552	60.2	32	556	61.3	32	556	60.7	32	555	60.7	32
	0.5	570	62.8	33	608	63.2	33	670	62.6	33	616	62.9	33
	0.6	617	61.4	33	615	61.4	33	596	60.4	33	609	61.1	33
	0.7	468	61.6	33	442	60.3	33	415	61.1	33	442	61.0	33
	0.8	381	61.5	33	374	58.5	33	366	57.8	33	374	59.3	33
	0.9	311	54.7	33	312	61.3	33	324	60.1	33	316	58.7	33
	1.0	307	59.8	33	309	59.6	33	315	60.4	33	310	59.9	33
0.7	0.2	329	60.6	32	320	61.8	32	319	60.5	32	323	61.0	32
	0.3	380	63.3	33	390	63.2	33	437	62.3	33	402	62.9	33
	0.4	443	61.1	33	461	61.7	33	419	60.4	33	441	61.0	33
	0.5	374	61.0	33	362	60.4	33	348	61.8	33	361	61.0	33
	0.6	305	61.5	33	300	58.6	33	293	58.3	33	299	59.5	33
	0.7	288	59.8	33	284	60.9	33	277	60.8	33	283	60.5	33
	0.8	275	61.8	33	275	62.0	33	274	61.6	33	275	61.8	33
	0.9	274	61.6	33	274	60.9	33	275	62.6	33	274	61.7	33
	1.0	273	61.6	33	274	61.1	33	274	61.8	33	274	61.5	33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-10 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 0.8 , $\lambda = 0.4$

x (m)	r/R	เวลาที่ใช้ในการบันทึกผลการทดลอง									T_{ave} ($^{\circ}C$)	RH_{ave} %	$T_{\infty,ave}$ ($^{\circ}C$)
		(3min)			(6min)			(9min)					
		T_1 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)	T_2 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)	T_3 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)			
0.1	0.4	518	54.9	35	527	54.8	35	530	52.4	35	525	54.0	35
	0.5	584	54.7	35	532	52.8	35	611	55.5	35	576	54.3	35
	0.6	375	53.1	35	409	55.9	35	448	55.6	35	411	54.9	35
	0.7	534	52.0	35.5	545	49.6	35.5	541	51.7	35.5	540	51.1	36
	0.8	528	51.2	35.5	504	53.2	35.5	495	53.1	35.5	509	52.5	36
	0.9	499	52.0	35	528	53.2	35	547	53.1	35	525	52.8	35
	1.0	369	51.0	35	344	49.7	35	316	48.3	35	343	49.6	35
0.2	0.4	648	54.6	35	836	55.1	35	711	51.7	35	732	53.8	35
	0.5	687	57.2	35	673	54.9	36	709	55.3	35.5	690	55.8	36
	0.6	816	53.1	35	648	55.5	35	882	54.9	35	782	54.5	35
	0.7	841	51.5	35.5	750	51.4	35.5	656	51.9	35.5	749	51.6	36
	0.8	473	51.5	35.5	428	53.4	35.5	439	53.9	35.5	447	52.9	36
	0.9	361	52.3	35	346	53.8	35	336	53.5	35	348	53.2	35
	1.0	305	50.2	35	299	49.7	35	294	48.8	35	299	49.6	35
0.3	0.4	825	56.7	35	838	54.9	35	865	52.6	35	843	54.7	35
	0.5	842	54.7	35	900	54.0	35	875	56.7	35	872	55.1	35
	0.6	820	53.2	35	890	55.2	35	921	53.8	35	877	54.1	35
	0.7	773	51.5	35.5	668	52.0	35.5	614	51.6	35.5	685	51.7	36
	0.8	532	51.7	35.5	507	53.8	35.5	482	54.2	35.5	507	53.2	36
	0.9	425	53.6	35	416	53.7	35	408	53.3	35	416	53.5	35
	1.0	387	52.3	35	375	49.8	35	357	48.7	35	373	50.3	35
0.4	0.4	763	55.1	35	816	53.6	35	919	52.5	35	833	53.7	35
	0.5	968	55.2	35	969	55.1	36	945	55.4	35.5	961	55.2	36
	0.6	847	54.3	35	877	54.3	35	902	53.9	35	875	54.2	35
	0.7	792	50.2	35.5	742	53.4	35.5	710	51.7	35.5	748	51.8	36
	0.8	636	51.4	35.5	611	54.1	35.5	588	54.5	35.5	612	53.3	36
	0.9	540	51.8	35	526	53.6	35	512	52.1	35	526	52.5	35
	1.0	470	50.3	35	453	49.4	35	432	48.5	35	452	49.4	35
0.5	0.4	1017	54.5	35	1021	53.2	35	1033	53.0	35	1024	53.6	35
	0.5	1031	54.7	35	1032	54.1	35	1005	54.7	35.5	1023	54.5	35
	0.6	881	54.9	35	880	54.1	35	884	54.3	34.5	882	54.4	35
	0.7	807	50.5	35.5	764	56.4	35.5	731	52.9	35.5	767	53.3	36
	0.8	653	51.9	35.5	622	54.4	35.5	601	54.3	35.5	625	53.5	36
	0.9	547	51.5	35	526	53.0	35	510	53.2	35	528	52.6	35
	1.0	446	51.2	35	422	59.7	35	398	47.1	35	422	52.7	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-10 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 0.8 , $\lambda = 0.4$ (ต่อ)

0.6	0.4	1071	54.6	35	1033	52.5	35	978	52.4	35	1027	53.2	35
	0.5	960	53.0	35	940	54.5	35	959	53.6	35.5	953	53.7	35
	0.6	762	56.1	35	763	54.3	35	767	54.4	34.5	764	54.9	35
	0.7	645	50.0	35.5	617	57.2	35.5	591	52.6	35.5	618	53.3	36
	0.8	522	51.2	35.5	496	54.0	35.5	479	54.9	35.5	499	53.4	36
	0.9	435	53.1	35	423	52.9	35	410	52.2	35	423	52.7	35
	1.0	366	51.4	35	352	48.8	35	337	47.8	35	352	49.3	35
0.7	0.2	1069	57.2	35	1078	52.4	35	1086	52.4	35	1078	54.0	35
	0.3	1064	53.1	36	1059	54.4	36	1016	53.4	35.5	1046	53.7	36
	0.4	943	55.5	35	970	54.3	35	1005	54.9	34.5	973	54.9	35
	0.5	863	50.4	35.5	779	53.9	35.5	726	54.5	35.5	789	52.9	36
	0.6	364	51.3	35.5	605	53.6	35.5	588	53.7	35.5	519	52.9	36
	0.7	536	52.1	35	512	52.3	35	493	53.4	35	514	52.6	35
	0.8	430	50.1	35	409	49.1	35	387	48.0	35	409	49.1	35
	0.9	326	49.6	35.5	324	48.1	35.5	321	48.0	35.5	324	48.6	36
	1.0	311	48.1	36	309	48.7	36	308	48.3	36	309	48.4	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-11 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 1 , $\lambda = 0.4$

x (m)	r/R	เวลาที่ใช้ในการบันทึกผลการทดลอง									T_{ave} ($^{\circ}C$)	RH_{ave} %	T_{ave} ($^{\circ}C$)
		(3min)			(6min)			(9min)					
		T_1 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)	T_2 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)	T_3 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)			
0.1	0.4	670	52.2	36	682	46.5	36	684	45.3	36	679	48.0	36
	0.5	619	43.6	35	580	42.1	35	680	43.2	35	626	43.0	35
	0.6	560	44.4	36	565	45.3	36	555	44.5	36	560	44.7	36
	0.7	515	48.5	36	508	50.0	36	491	47.4	36	505	48.6	36
	0.8	450	45.9	36	446	44.6	36	441	45.4	36	446	45.3	36
	0.9	497	43.5	35	516	47.1	35	525	45.1	35	513	45.2	35
	1.0	499	44.5	35	514	43.9	35	520	44.3	35	511	44.2	35
0.2	0.4	577	45.4	36	592	46.2	36	598	44.5	36	589	45.3	36
	0.5	583	42.4	35	553	42.9	35	554	42.4	35	563	42.6	35
	0.6	502	44.5	36	493	45.2	36	490	44.5	36	495	44.7	36
	0.7	476	45.6	36	474	49.6	36	472	47.5	36	474	47.5	36
	0.8	436	45.7	36	425	44.6	36	418	44.8	36	426	45.0	36
	0.9	383	44.8	35	380	46.8	35	377	44.8	35	380	45.5	35
	1.0	381	44.4	36	382	44.7	36	375	47.6	36	379	45.6	36
0.3	0.4	713	44.4	36	763	44.6	36	469	43.8	36	648	44.3	36
	0.5	753	43.5	35	743	43.1	35	752	43.0	35	749	43.2	35
	0.6	677	44.0	36	675	45.4	36	651	44.5	36	668	44.6	36
	0.7	605	48.6	36	586	49.6	36	525	48.1	36	572	48.8	36
	0.8	510	45.7	36	500	44.7	36	496	44.7	36	502	45.0	36
	0.9	501	44.6	35	495	46.2	35	449	44.1	35	482	45.0	35
	1.0	502	44.5	35	491	44.8	35	497	44.4	35	497	44.6	35
0.4	0.4	964	44.7	36	980	45.4	36	986	44.4	36	977	44.9	36
	0.5	948	43.9	35	951	44.2	35	949	42.8	35	949	43.6	35
	0.6	857	45.2	36	865	44.6	36	859	43.2	36	860	44.3	36
	0.7	815	48.8	36	821	44.2	36	793	48.4	36	810	47.1	36
	0.8	697	45.5	36	683	45.5	36	673	44.9	36	684	45.3	36
	0.9	654	44.6	35	651	44.6	35	648	45.0	35	651	44.7	35
	1.0	648	44.6	36	650	44.2	36	643	44.1	36	647	44.3	36
0.5	0.4	1010	46.0	36	1090	44.6	36	1093	44.5	36	1064	45.0	36
	0.5	1090	44.1	35	1033	43.3	35	1014	44.1	35	1046	43.8	35
	0.6	986	44.9	36	992	45.0	36	1004	45.4	36	994	45.1	36
	0.7	976	48.6	36	980	49.3	36	1016	48.9	36	991	48.9	36
	0.8	885	45.2	36	919	46.2	36	887	44.7	36	897	45.3	36
	0.9	788	44.7	35	790	45.7	35	793	46.9	35	790	45.7	35
	1.0	780	45.2	35	781	45.4	35	790	44.6	35	784	45.1	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-11 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 1 , $\lambda = 0.4$ (ต่อ)

0.6	0.4	972	45.6	36	988	43.1	36	1003	45.5	36	988	44.7	36
	0.5	1062	43.8	35	1066	44.1	35	1074	43.3	35	1067	43.7	35
	0.6	1026	44.8	36	1043	44.9	36	1066	45.7	36	1045	45.2	36
	0.7	1018	48.7	36	1002	49.3	36	997	45.3	36	1006	47.8	36
	0.8	870	47.0	36	875	46.7	36	890	44.8	36	878	46.2	36
	0.9	783	45.0	35	768	45.0	35	760	46.8	35	770	45.6	35
	1.0	781	46.1	35	766	45.0	35	756	46.2	35	768	45.8	35
0.7	0.2	1110	45.2	36	1127	45.2	36	1135	43.8	36	1124	44.7	36
	0.3	1029	42.5	35	1034	44.5	35	1029	44.2	35	1031	43.8	35
	0.4	972	44.7	36	986	44.9	36	1010	45.6	36	989	45.1	36
	0.5	969	48.9	36	960	44.6	36	950	48.3	36	960	47.3	36
	0.6	856	47.4	36	857	46.6	36	858	44.9	36	857	46.3	36
	0.7	777	46.2	35	770	45.3	35	762	46.4	35	770	45.9	35
	0.8	761	46.1	35	760	45.1	35	757	45.0	35	759	45.4	35
	0.9	755	45.6	35	753	44.5	35	751	45.2	35	753	45.1	35
	1.0	754	44.7	35	752	45.0	35	750	45.0	35	752	44.9	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

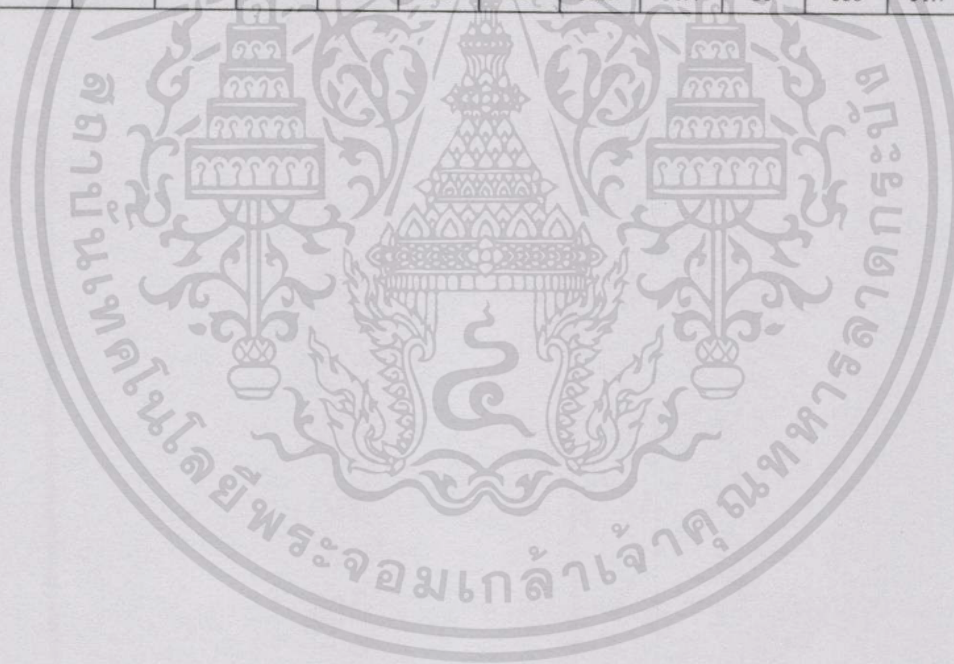
ตารางที่ ก-12 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 1.2 , $\lambda = 0.4$

x (m)	r/R	เวลาที่ใช้ในการบันทึกผลการทดลอง									T_{ave} ($^{\circ}C$)	RH_{ave} %	$T_{\infty,ave}$ ($^{\circ}C$)
		(3min)			(6min)			(9min)					
		T_1 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)	T_2 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)	T_3 ($^{\circ}C$)	RH %	T_{∞} ($^{\circ}C$)			
0.1	0.4	404.0	51.4	35	412.0	50.9	35	417.0	54.1	35	411	52.1	35
	0.5	433.0	53.5	34	437.0	54.6	34	449.0	55.3	34	440	54.5	34
	0.6	394.0	51.5	35	387.0	52.2	35	399.0	51.4	35	393	51.7	35
	0.7	363.0	51.7	34	359.0	54.6	34	353.0	52.2	34	358	52.8	34
	0.8	336.0	51.5	34	375.0	52.8	34	341.0	50.3	34	351	51.5	34
	0.9	355.0	52.5	35	352.0	52.2	35	351.0	54.1	35	353	52.9	35
	1.0	352.0	51.4	34	350.0	52.7	34	350.0	52.3	34	351	52.1	34
0.2	0.4	627.0	51.4	35	718.2	51.5	35	756.2	53.7	35	701	52.2	35
	0.5	801.8	53.0	34	818.9	53.9	34	830.3	56.7	34	817	54.5	34
	0.6	811.3	51.5	35	805.6	52.4	35	798.0	51.2	35	805	51.7	35
	0.7	735.3	51.1	34	725.8	54.6	34	723.9	52.6	34	728	52.8	34
	0.8	628.9	51.1	34	619.4	52.9	34	617.5	51.2	34	622	51.7	34
	0.9	573.8	52.5	35	562.4	52.2	35	558.6	53.9	35	565	52.9	35
	1.0	570.0	51.2	34	560.5	52.5	34	551.0	52.7	34	561	52.2	34
0.3	0.4	723.9	51.6	35	684.0	51.7	35	632.7	53.2	35	680	52.2	35
	0.5	655.5	52.7	34	697.3	53.6	34	729.6	56.3	34	694	54.2	34
	0.6	779.0	52.4	35	746.7	51.5	35	737.2	50.6	35	754	51.5	35
	0.7	573.8	51.2	34	575.7	54.7	34	564.3	53.2	34	571	53.0	34
	0.8	541.5	50.8	34	539.6	51.4	34	547.2	51.2	34	543	51.2	34
	0.9	484.5	52.5	35	476.9	52.1	35	471.2	53.2	35	478	52.6	35
	1.0	476.9	52.6	34	471.2	52.8	34	461.7	52.3	34	470	52.6	34
0.4	0.4	847.4	51.5	35	868.3	52.2	35	860.7	53.4	35	859	52.4	35
	0.5	844.5	52.8	34	841.7	53.6	34	845.5	56.1	34	844	54.1	34
	0.6	853.1	52.6	35	898.7	51.8	35	891.1	51.1	35	881	51.8	35
	0.7	794.2	52.5	34	770.5	53.6	34	763.8	53.7	34	776	53.3	34
	0.8	677.4	50.3	34	661.2	51.4	34	650.8	51.0	34	663	50.9	34
	0.9	634.6	52.2	35	625.1	52.2	35	620.4	53.3	35	627	52.5	35
	1.0	568.1	51.5	34	546.3	52.5	34	540.6	52.7	34	552	52.2	34
0.5	0.4	908.2	50.7	35	930.1	52.2	35	936.7	53.1	35	925	52.0	35
	0.5	928.1	52.6	34	934.8	53.9	34	939.5	55.5	34	934	54.0	34
	0.6	925.3	53.4	35	922.5	52.3	35	927.2	51.2	35	925	52.3	35
	0.7	899.7	52.8	34	894.0	54.2	34	894.0	53.7	34	896	53.6	34
	0.8	833.2	50.7	34	825.6	51.1	34	818.0	50.5	34	826	50.8	34
	0.9	815.1	51.6	35	816.0	52.1	35	820.8	53.1	35	817	52.3	35
	1.0	770.5	51.6	34	757.2	52.1	34	749.6	52.6	34	759	52.1	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-12 แสดงผลการทดลองกรณี Equivalence ratio = 1.2 , $\lambda = 0.4$ (ต่อ)

0.6	0.4	974.7	50.7	35	981.1	52.1	35	992.7	52.9	35	983	51.9	35
	0.5	976.5	52.7	34	974.3	54.0	34	957.3	54.7	34	969	53.8	34
	0.6	949.4	54.2	35	911.2	52.1	35	910.1	51.3	35	924	52.5	35
	0.7	836.0	52.6	34	833.8	54.6	34	829.5	53.6	34	833	53.6	34
	0.8	827.3	50.9	34	822.9	51.5	34	832.8	51.2	34	828	51.2	34
	0.9	806.6	51.7	35	802.2	51.2	35	801.2	53.0	35	803	51.9	35
	1.0	804.4	53.5	34	797.9	53.5	34	801.2	53.8	34	801	53.6	34
0.7	0.2	1014.0	50.8	35	1025.0	52.9	35	1064.0	52.6	35	1034	52.1	35
	0.3	943.0	52.5	34	982.0	53.8	34	923.0	55.8	34	949	54.1	34
	0.4	846.0	53.8	35	844.0	51.7	35	831.0	51.0	35	840	52.1	35
	0.5	805.1	52.8	34	816.1	54.0	34	824.9	53.2	34	815	53.3	34
	0.6	755.5	50.8	34	751.1	51.3	34	744.4	51.4	34	750	51.2	34
	0.7	694.6	51.7	35	689.0	51.7	35	683.4	52.6	35	689	52.0	35
	0.8	684.4	51.3	35	690.0	52.2	35	694.5	52.9	35	690	52.1	35
	0.9	689.6	50.5	35	694.1	52.7	35	696.3	52.3	35	693	51.8	35
	1.0	684.9	51.8	35	689.4	51.9	35	682.7	51.4	35	686	51.7	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

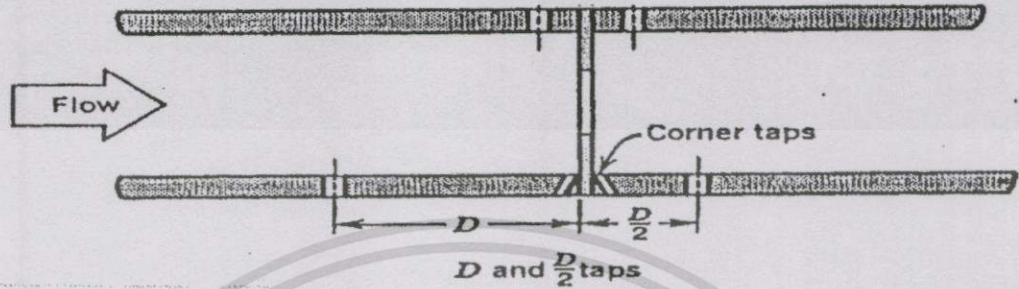
ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข-1 บันทึก เกิดไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้

Gas	Primary Air 100%		Primary Air 80% Secondary Air 20%		Primary Air 60% Secondary Air 40%		
	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	
Φ	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	
O ₂ (%)	8.13	6.50	7.16	6.74	7.29	7.64	
CO ₂ (%)	11.89	13.41	12.79	13.18	12.68	10.95	
CO(ppm)	1469	113.5	401	287	400	246	
NO _x (ppm)	563.33	585.00	557.00	765.75	606.33	650.66	
N ₂ (%)	79.79	80.03	79.96	79.99	80.33	81.33	
				80.27	80.049	80.17	
							1
							1.2
							4.41
							15.34
							130.25
							764.00
							839.50
							80.28

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการวัดอัตราการไหลของอากาศโดยใช้ ออร์ฟิสมิเตอร์



รูปที่ ค-1 จุดวัดความดันของออร์ฟิสมิเตอร์

ตัวอย่างการคำนวณ ความสูงของระดับน้ำในมานอริมิเตอร์
กำหนดให้

- | | | |
|--|-----------------|-------------------------------|
| 1. Equivalent ratio เท่ากับ 1 | | |
| 2. อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงเชิงทฤษฎี | $A/F_{ratio} =$ | 4.850 kg_{air}/kg_{fuel} |
| 3. อัตราการไหลของอากาศทั้งหมด | $=$ | 0.2 kg/min |
| 4. ใช้อากาศอากาศปฐมภูมิเท่ากับ 60 % | $=$ | 9.70×10^{-3} kg/s |
| 5. ใช้อากาศทุติยภูมิเท่ากับ 40% | $=$ | 6.46×10^{-3} kg/s |
| 6. ความหนาแน่นของอากาศ | $\rho_a =$ | 1.2 kg/m^3 |
| 7. ความหนาแน่นของแกลบ | $\rho_f =$ | 100 kg/m^3 |
| 8. ความหนาแน่นของน้ำ | $\rho_w =$ | 1000 kg/m^3 |
| 9. พื้นที่หน้าตัดอากาศที่อปฐมภูมิ | $A_p =$ | 5.63×10^{-4} m^2 |
| 10. อัตราส่วน เบต้า ของท่อปฐมภูมิ | $\beta_p =$ | 0.48 |
| 11. พื้นที่หน้าตัดอากาศที่อากาศทุติยภูมิ | $A_s =$ | 1.0862×10^{-4} m^2 |
| 12. อัตราส่วน เบต้า ของอากาศทุติยภูมิ | $\beta_s =$ | 0.4 |
| 13. สัมประสิทธิ์การไหลผ่าน | $C =$ | 0.61 |

จากสมการ

ความสูงของระดับน้ำในมานอร์มิเตอร์ของอากาศปรุภูมิภาค

$$\dot{m}_p = \frac{CA_p \sqrt{2\rho\Delta P}}{\sqrt{1-\beta^4}}$$

$$9.70 \times 10^{-3} = \frac{0.61(5.6 \times 10^{-4})\sqrt{(2 \times 1.2)\Delta P}}{\sqrt{1-(0.48)^4}}$$

$$\Delta P = 305.17 \text{ N/m}^2$$

$$\Delta P = \rho_w gh$$

$$305.17 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \Delta h \text{ m}$$

$$\Delta h = 3.15 \text{ cm.}$$

จากสมการ

ความสูงของระดับน้ำในมานอร์มิเตอร์ของอากาศทุกภูมิภาค

$$\dot{m}_s = \frac{CA_s \sqrt{2\rho\Delta P}}{\sqrt{1-\beta^4}}$$

$$1.0766 \times 10^{-3} = \frac{0.61(1.086 \times 10^{-4})\sqrt{(2 \times 1.2)\Delta P}}{\sqrt{1-(0.4)^4}}$$

$$\Delta P = 104.48 \text{ N/m}^2$$

$$\Delta P = \rho_w gh$$

$$104.48 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \Delta h \text{ m}$$

$$\Delta h = 1.05 \text{ cm.}$$

มานอร์มิเตอร์เอียง 30 องศา กับแนวระดับ

ฉะนั้น

$$\Delta h = \frac{1.05}{\sin 30} \text{ cm.}$$

$$\Delta h = 2.1 \text{ cm.}$$

ตารางที่ ค-1 แสดงอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ

Φ	Primary Air (kg/sec)			Secondary Air (kg/sec)			
	100%	80%	60%	20%(6 ท่อ)	1 ท่อ	40%(6 ท่อ)	1 ท่อ
0.6	0.027	0.0216	0.0162	0.0054	9×10^{-4}	0.0108	1.8×10^{-3}
0.8	0.0203	0.0162	0.0121	0.00406	6.76×10^{-4}	0.00812	1.35×10^{-3}
1	0.0162	0.0129	0.0097	0.00324	5.4×10^{-4}	0.00648	1.08×10^{-3}
1.2	0.0135	0.0108	0.0081	0.0027	4.5×10^{-4}	0.0054	0.9×10^{-3}

ตารางที่ ค-2 แสดงความสูงของระดับน้ำในมานอร์มิเตอร์ของอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ

Φ	Primary Air (Δh) cm.			Secondary Air (Δh) cm.	
	100%	80%	60%	20%(1 ท่อ)	40%(1 ท่อ)
0.6	24.33	15.576	8.76	0.729	2.916
0.8	13.75	8.805	4.95	0.4122	1.648
1	8.76	5.607	3.15	0.2625	1.05
1.2	6.08	3.894	2.19	0.1823	0.729

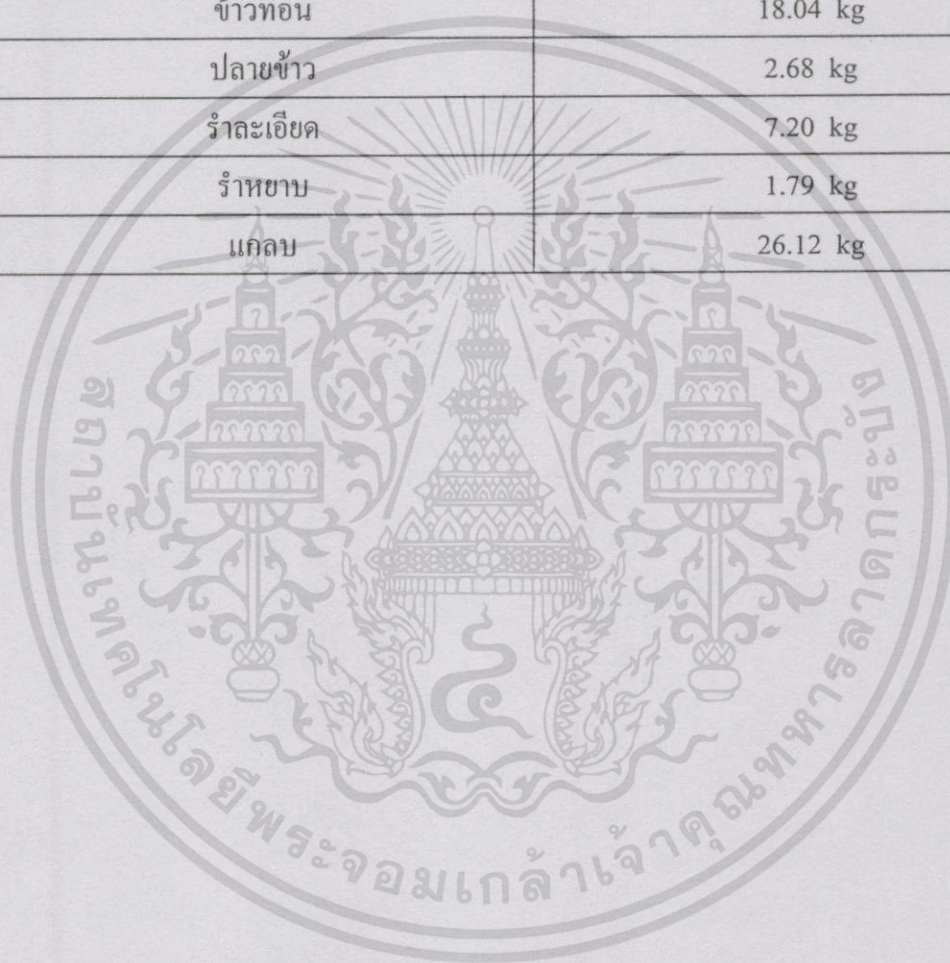
ภาคผนวก ง

ข้อมูลจากห้างหุ้นส่วนจำกัดอัครควัฒนกิจ(โรงสี คู่เจริญ)

โทร : 02 – 543-1462-3

ตารางที่ ง-1 องค์ประกอบข้าวเปลือก 100 kg

ข้าวสาร	44.14 kg
ข้าวท่อน	18.04 kg
ปลายข้าว	2.68 kg
รำละเอียด	7.20 kg
รำหยาบ	1.79 kg
แกลบ	26.12 kg



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ



แบบ วศ. 1ก

.....ตัวอย่าง
.....รายการ

ที่ วว 0504/ 87

ถึง นายนิวัติ พิริยะรุ่งโรจน์

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ วัตถุตัวอย่าง ตาม คำร้อง
ลงวันที่ 13 พฤศจิกายน 2543 เลขรับ 6464 วันที่ 13 พฤศจิกายน 2543

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 13 พฤศจิกายน 2543

กอง เคมี
โทร. 2017216



รายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง เครื่องหมาย หมายเลข
ตามและผู้ส่งเรียก ที่ระบุตัวอย่าง ปฏิบัติการ

แกลบละเอียด	UZ.638	Moisture, %	10.3
		Ash, %	14.0
		Volatile matter, %	55.6
		Fixed carbon, %	20.1
		Carbon, %	38.0
		Hydrogen, %	5.7
		Nitrogen, %	0.69
		Oxygen, %	41.6
		Sulphur, %	0.06
		Calorific value, cal/g	3580

หมายเหตุ : ใช้สภาพของตัวอย่างตามที่ได้รับเป็นเกณฑ์ในการคำนวณผลการวิเคราะห์นี้

สำเนาถูกต้อง

(นางสาวชุติมา สุขจิตกุล)
หัวหน้าฝ่ายสารบรรณ

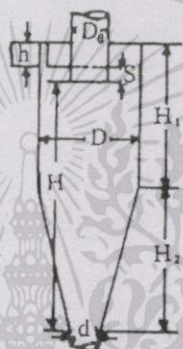
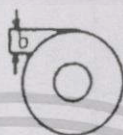
กานดา โกมลวิเศษชัย
(นางสาวกานดา โกมลวิเศษชัย)
นักวิทยาศาสตร์ 5

ค่าธรรมเนียมการวิเคราะห์ 2,800.00 บาท (สองพันแปดร้อยบาทถ้วน)

รายงานนี้ : - รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ เท่านั้น
- ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง

ภาคผนวก ฉ

จากหนังสือคู่มืออุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี ของศาสตราจารย์ ขิเกะฟูมิ ฟุซิตะ ดังแสดงในรูปที่ 5.15 โดยโครงสร้างของไซโคลน ประกอบด้วยช่องไหลเข้า , ส่วนทรงกระบอก , ส่วนกรวย และท่อทางออก



รูปที่ ฉ-1 โครงสร้างมาตรฐานของไซโคลน

เมื่อกำหนดให้ D_c เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทางออกซึ่งตัวอย่างของมีมาตรฐานของแต่ละส่วนมีดังนี้

$$D = (2 \sim 3) D_c$$

$$H_1 = H_2 = 4 D_c$$

$$H \geq 7 D_c$$

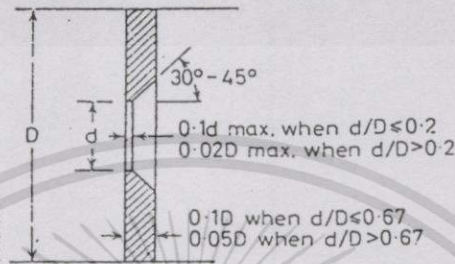
$$d = (0.5 \sim 0.7) D_c$$

$$b = h \leq (0.5 \sim 1) D_c$$

$$S = (0.3 \sim 0.5) D_c$$

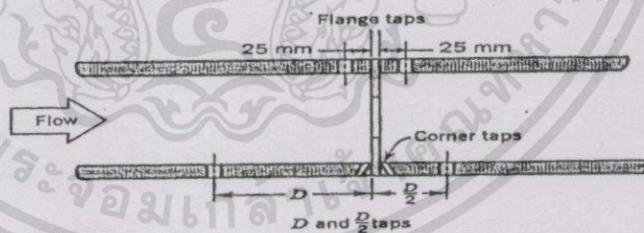
ภาคผนวก ข

ออริฟิส ชนิดต่างๆ คล้ายคลึงกันสามารถอธิบายด้วยกันได้แต่ละชนิดแตกต่างกันที่ pressure tapping ซึ่ง orifice มาตรฐานกำหนดดังนี้รูปร่างลักษณะ (description) ออริฟิต (orifice) ได้แสดงหน้าตัดต่างๆ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ ข-1 Standard orifice plate

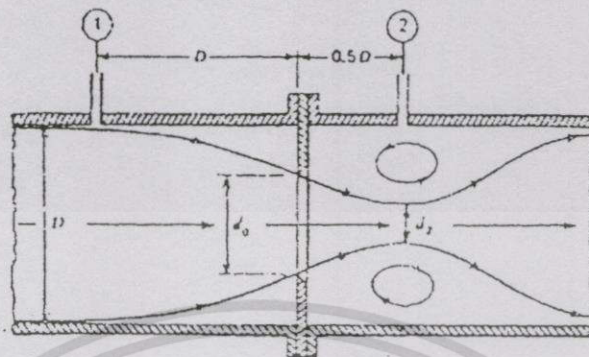
แผ่นออริฟิสเป็นแผ่นบางๆ ที่ถูกจับยึดระหว่างขอบของท่อเนื่องจากมีรูปทรงเรขาคณิตอย่างง่ายๆ ดังนั้นจึงมีราคาถูก และง่ายในการติดตั้ง หรือการย้ายตำแหน่งแต่อย่างไรก็ตามขอบของแผ่นอาจจะมีการสึกกร่อนได้อันเนื่องจากการชนของอนุภาคเล็กๆ ที่กระจายอยู่ในของไหล ข้อเสียอีกประการก็คือ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมการขยายของด้านล่างของกระแส ทำให้มี head loss ต่ำกว่าที่สูงมาก จุดวัดความดันสำหรับออริฟิสนั้นสามารถกำหนดตำแหน่งได้หลายตำแหน่งดังรูปที่ 3.2 เนื่องจากตำแหน่งของจุดวัดความดันมีอิทธิพลต่อการหาสัมประสิทธิ์การไหล



รูปที่ ข-2 แสดง โครงสร้างเชิงเรขาคณิต และจุดวัดความดันของออริฟิส

สำหรับการวัด อัตราการไหลของของไหลภายในท่อและจัดได้ว่า ออริฟิสเป็นเครื่องมือวัดที่ขีดขวางการไหลของพื้นที่หน้าตัดให้ของไหล ไหลผ่านออริฟิสมีขนาดน้อยกว่าพื้นที่หน้าตัดของท่อ ดังรูป 3.3 ดังนั้นเมื่อนำออริฟิสไปติดตั้งกับท่อซึ่งมีของไหลไหลผ่านจะทำให้เกิดความดันตกคร่อมออริฟิสซึ่งความดันตกคร่อมนี้จะแปรเปลี่ยนไปตามอัตราการไหล กล่าวคือถ้าอัตราการไหลมีค่าสูง ความดันตกคร่อมออริฟิสก็จะมีค่าสูง และถ้าอัตราการไหลมีค่าต่ำความดันตกคร่อมออริฟิสก็

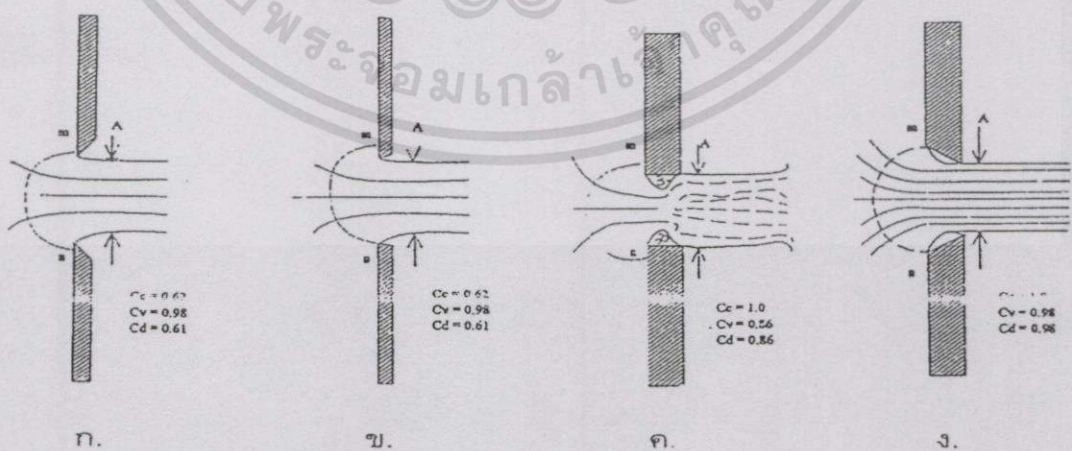
จะมีค่าต่ำ โดยทั่วไปออริฟิสจะถูกนำไปใช้ในการหาอัตราการไหลที่สภาวะ Steady state เท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้วัดอัตราการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Dynamic Response)



รูปที่ ข-3 แสดงการไหลผ่านแผ่น ออริฟิส (Orifice)

ในบรรดาเครื่องมือวัดอัตราการไหลทั้งหลาย ออริฟิสถือว่าเป็นเครื่องมือที่มีผู้นำไปใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุด ดังนั้นการทดลองชุดนี้จึงได้มีการนำเอาการวัดอัตราการไหลแบบออริฟิสมาใช้ออริฟิสมาตรฐานที่มีขอบคม ดังรูปที่ ข-4ก หรือของเป็นรูปสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ ข-4ข นั้นจะสัมพันธ์ลำนํ้าที่ไหลผ่านในลักษณะที่เป็นการสัมพันธ์แบบเส้นส่วนออริฟิส ดังรูปที่ ข-4ค และ ข-4ง นั้นไม่ใช่เป็นออริฟิสมาตรฐาน ทั้งนี้เพราะลำนํ้าที่ไหลผ่านรู ออริฟิสนั้น ถูกกระทบจากความหนาของแผ่นวัตถุ กับ ความหยาบของผิวและ รัศมีของความโค้ง ดังนั้นจึงต้องมีการสอบเทียบเพื่อความถูกต้อง

ข้อดีของออริฟิส คือมีราคาต่ำกว่าเครื่องมือวัดชนิดอื่นๆ ที่อาศัยหลักการวัดเดียวกัน และสะดวกในการสร้างเพราะมีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน รวมทั้งมีข้อมูลของการทำวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมในการวัดของไหลที่มีเงื่อนไขต่างไว้อย่างมากมาย ของไหลเมื่อไหลผ่าน square - edged orifice ซึ่งเป็นออริฟิสที่นำมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ จะมีทิศทางการไหลเป็นไปดังรูป สมมุติว่าของไหลก่อน



รูปที่ ข-4 ออริฟิสแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าปะทะกับออริฟิสมิความเร็วคงที่ตลอดหน้าตัดของท่อ (หน้าตัดวงกลม) เท่ากับ V_1 เมตรต่อวินาที ของไหลที่บริเวณด้านหลังของออริฟิสมิ จะลักษณะเป็นลำของไหล ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของลำของไหลลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งที่มีค่าเท่ากับ $D/2$ เมตร ณ.บริเวณจุดวัดความดันที่ 2 ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุดที่มีพื้นที่หน้าตัดของการไหลน้อยที่สุด (Vena Contracta) ของ Jet ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Jet จะมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อของไหลเคลื่อนที่ผ่านจุดที่ 2 ไปแล้ว จุดที่ 2 หรือเรียกว่าจุด Vena Contracta ถือได้ว่าเป็นจุดที่ของไหลที่มีความเร็วเฉลี่ยสูงสุด หรือ มีความดันสถิตยต่ำสุด (จากสมการของ Bernulli)

สมมติฐานเบื้องต้นสำหรับการวัดอัตราการไหลด้วยออริฟิสมิในการทดลองนี้คือของไหลที่อยู่ภายในท่อไม่สามารถอัดตัวได้ ความเร็วของของไหลมีค่าคงที่ตลอดหน้าตัด (โดยไม่คิดบริเวณที่เรียกว่า บริเวณกระแสไหลวน) ของไหลไม่มีความหนืดและการไหลเกิดขึ้นแบบ Steady flow (อัตราการไหลมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับเวลา)

สมการ Bernoulli สามารถนำมาใช้อธิบายคุณสมบัติในการไหลที่จุดต่างๆ ภายในท่อได้ดังนั้น สมการ Bernoulli สำหรับจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของการไหลดังแสดงในรูปที่ 3.3

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

เมื่อ

- P = ความดันสถิตยของของไหล (N/m^2)
 A_o = พื้นที่หน้าตัดรูออริฟิสมิ (m^2)
 γ = น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight, N/m^3)
 D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ
 d_o = เส้นผ่านศูนย์กลางรูออริฟิสมิ
 C_d = discharge coefficient

Subscript 1t = ค่าที่จุดที่ 1 ในทางทฤษฎี

Subscript 2t = ค่าที่จุดที่ 2 ในทางทฤษฎี



วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง

JOURNAL OF KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ISSN 0858-8430 Vol. 8 No. 3 December 2000 ปีที่ 8 ฉบับที่ 3 เดือนธันวาคม 2543 **2543**

บทความวิจัย

การทำนาถาวร ไหลแบบปั่นป่วนในช่องขนานที่มีคريب.....	1
	พงษ์เจต พรหมวงศ์ ปุทธนา พลอยฉาย
การศึกษาการถ่ายเทความร้อนของดั่งผสมแบบไม่เดิมอากาศและห่อเดิมอากาศ.....	7
	ราชศักดิ์ เจริญเพชร พงษ์เจต พรหมวงศ์
การศึกษาเชิงตัวเลขของการไหลหมุนวนแบบปั่นป่วนในเคาเส.....	13
	ปริญญา รวมภักดีกุล นิคม ศรีศิริสิทธิกุล พงษ์เจต พรหมวงศ์
การศึกษาเชิงทดลองของการกระจายอุณหภูมิในเคาเสเคลือบแบบวอร์เทค.....	19
	พงษ์เจต พรหมวงศ์ นวัตกรรม วีระรุ่งโรจน์ สมศักดิ์ ไชยธวัชเกียรติ
ชนิดและวิธีการให้ความร้อนต่อส่วนประกอบทางเคมีในของเสียจากการฟักไข่.....	25
	อนุชา แสงโสภณ วิชัย ศุภลักษณ์ กนกกรัตน์ ศรีกิจเกษมวัฒน์
ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์: การประยุกต์ใช้เพื่อการจัดการ และบริหารพื้นที่เพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ในเขตจังหวัดฉะเชิงเทรา.....	31
	วัฒน์ชัย หงษ์นาค สุนทร ชุนทิพัฒน์

บทความวิชาการ

การแยกส่วนค่าโคสแควร์จากตารางแจกแจงสองทาง.....	38
	อุมาพร จันทร์พร
ความสำคัญของอิทธิพลตัวเบบเชิงบวกในแผนการทดลอง.....	45
	ศิริรัชช เจริญเศรษฐศิลป์
อิทธิพลของระดับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผลน้อยหน่าพันธุ์หนังสีทอง.....	50
	สมชาย กล้าหาญ อภิรัตน์ เพ็ชรดี
Zinc in Human Nutrition.....	57
	Tyanrung Lursinsap

การศึกษาเชิงทดลองของการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาแกลบแบบวอร์เทค

Experimental Study of Temperature Distribution in a Rice Husk Fired Vortex Combustor

พงษ์เจต พรหมวงศ์

นิวัติ ทิริยะรุ่งโรจน์

สมศักดิ์ โพธิ์ฉวิลเกียรติ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

นักศึกษาปริญญาโท

นักศึกษาปริญญาโท

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาเบื้องต้นถึงพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบในเตาเผาแกลบแบบวอร์เทค โดยพิจารณาถึงการกระจายอุณหภูมิภายในเตา ขี้เถ้า และ ควัน ที่เกิดจากการเผาไหม้ การทดลองจะใช้แกลบละเอียดเป็นเชื้อเพลิงและป้อนแกลบละเอียดสู่เตาเผาโดยปรับอัตราการไหลเชิงมวลอยู่ในช่วง 0.3, ถึง 0.5 kg/min ปรับค่า Equivalence ratio เท่ากับ 0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 1.0 และ 1.05 สำหรับแต่ละค่าของอัตราการไหลของแกลบ จากการทดลองพบว่า เมื่อป้อนแกลบด้วยอัตราการไหลของแกลบเท่ากับ 0.3 kg/min และปรับค่า Equivalence ratio เท่ากับ 0.95 พบว่าอุณหภูมิในเตาเผาแกลบแบบวอร์เทคที่ตำแหน่งที่เลือกไว้สูงเท่ากับ 1,030 °C ควันที่ได้ออกมาน้อย เถ้าลอยที่ได้มีขนาดใหญ่กว่าเถ้าลอยที่ได้จากการป้อนแกลบที่ค่าอัตราการไหลของแกลบเท่ากับ 0.4 และ 0.5 kg/min ที่ Equivalence ratio เดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่าเตาเผาไหม้ในเตาเผานี้มีความเสถียรสูง และง่ายต่อการควบคุม

Abstract

The paper presents the study of flow and combustion characteristics of rice husk fuel in a vortex combustor. The temperature distributions inside the combustor including the ashes and smokes from flue gas are measured and observed. Measurements are made by setting mass flow rates of fine rice husk in a range from 0.3 to 0.5 kg/min and varying the equivalence ratio to be 0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 1.0 and 1.05 for each rice husk flow rate. The experiment showing that the maximum temperature of 1,030 °C, at selected location in the combustor with less smoke in flue gas, is found for the rice husk with 0.3 kg/min flow rate and the equivalent ratio of 0.95. The fly ash sizes of the above mentioned case are the largest among the three rates of mass flow at the same equivalence ratio. Besides, this combustor has high combustion stability with ease of operating control.

คำสำคัญ: เตาวอร์เทค, แกลบ, การเผาไหม้

Key words: Vortex combustor, rice husk, combustion

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการใช้พลังงานในปริมาณมากมายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งพลังงานที่ได้นั้นส่วนใหญ่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน ลิกไนต์ ซึ่งนับวันจะหมดลงไปเรื่อยๆ แต่อัตราการใช้เชื้อเพลิงเหล่านี้ก็เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆทุกปี เพราะฉะนั้นเราจะเห็นได้ว่าประเทศต่างๆ พยายามที่จะใช้เชื้อเพลิงอย่างอื่นมาทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้อยู่ สำหรับประเทศไทยประเมินได้ว่าแต่ละปีจะมีแกลบประมาณ 4.4-4.6 ล้านตัน

และมีศักยภาพเชิงความร้อนเทียบเท่าการใช้ น้ำมันดิบ 1.46-1.53 ล้านตัน โดยจะพบว่าแกลบมีปริมาณมากเพราะฉะนั้นแกลบจึงเป็นเชื้อเพลิงหนึ่งที่น่าสนใจ

ในปัจจุบันได้มีนักวิจัยทำวิจัยเกี่ยวกับงานเตาเผาที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน เช่น ของสุพจน์ นานาโชค [1] ซึ่งศึกษาการเผาไหม้ขี้เถ้าในห้องเผาไหม้แบบไซโคลอน งานของรัชชัย ท้วฉวิล และสันติ วัชรอากาศไพบูลย์ [2] ทำการพัฒนา เตาเผาเสขวัสดุทางการเกษตรโดยใช้อากาศหมุนวนและใช้แกลบเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เชื้อเพลิง โดยศึกษาการทำงานทั้งหมดของเตาเผาและความสัมพันธ์ระหว่าง Air-fuel ratio งานของ เรือโท ประจักษ์ จิตร์พิทย์ [3] ได้ทำการทดลองเผาเชื้อเพลิงในเตาเผาแบบไซโคลนเพื่อศึกษารูปแบบการไหลของเชื้อเพลิง ลักษณะการสันดาปหรือการเผาไหม้รวมทั้งวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ งานของอดิศักดิ์ ชูจินดา [4] ทำเตาเผาแบบสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไคซ์เบดขนาด 10 ต้นต่อชั่วโมง ลักษณะเตาเผาเป็นทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.37 m. สูง 2.75 m. อัตราการป้อนแกลบ 1.11 kg/min อากาศและแกลบจะเข้าห้องเผาไหม้ในแนวสัมผัส และเกิดการหมุนวนในห้องเผาไหม้ อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางออกของเตาที่ความสูงเชื้อเพลิง 60 cm. มีค่าเท่ากับ 504°C และอุณหภูมิก่อนเข้าพัดลมดูดอยู่ในช่วง $293\text{--}297^{\circ}\text{C}$ ที่ความสูงเชื้อเพลิง 30, 45, 50 และ 60 cm. ตามลำดับ อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม $32\text{--}34^{\circ}\text{C}$ โดยได้ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาทั้งระบบประมาณ 59-60% งานของบุญเรือง ศรีสวัสดิ์ [5] ได้ปรับปรุงสมรรถนะของเตาเผาแบบสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไคซ์เบดต่อเนื่องจากของอดิศักดิ์ ชูจินดา โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาทั้งระบบเป็น 73% Sen Nieh และ Tim T.Fu [6] ทำการทดสอบการไหลในเตาแบบจำลอง Cold models และ Hot models ของเตาแบบวอร์เทคโดยใช้ถ่านหินผง รวมถึงงานวิจัยต่อเนื่องมาถึงการทดสอบเตาเผาแบบวอร์เทค โดยใช้เชื้อเพลิง Dry Ultra fine Coal และ Coal Water Fuel

เตาวอร์เทคเป็นเตาที่ใช้เทคนิคของไหลแบบหมุนวนความเร็วสูงช่วยในการเผาไหม้ การไหลแบบหมุนวนความเร็วสูงได้ถูกนำมาใช้ในงานทางด้านอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก เช่น เตาเผา หัวยา เครื่องยนต์สันดาปภายใน เครื่องยนต์กังหันก๊าซ และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ ในระบบการเผาไหม้นั้น การหมุนวนได้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเสถียรของเปลวไฟเพิ่ม การผสมคลุกเคล้าของเชื้อเพลิงกับอากาศ และช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน นอกเหนือจากช่วยเพิ่มเวลาอยู่ในเตาของเชื้อเพลิง และช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้นี้ เพราะว่าการหมุนวนช่วยเหนี่ยวทำให้เกิดการไหลวนไปมาในบริเวณกึ่งกลางของเตาเป็นผลให้เกิดความปั่นป่วนอย่างรุนแรงขึ้นในแต่ละชั้นระหว่างการไหลวนไปมาและการไหลของชั้นภายนอกซึ่งช่วยทำให้เปลวไฟในเตาเสถียรยิ่งขึ้น โครงสร้างของความปั่นป่วนในการไหลแบบหมุนวนความเร็วสูงนี้โดย

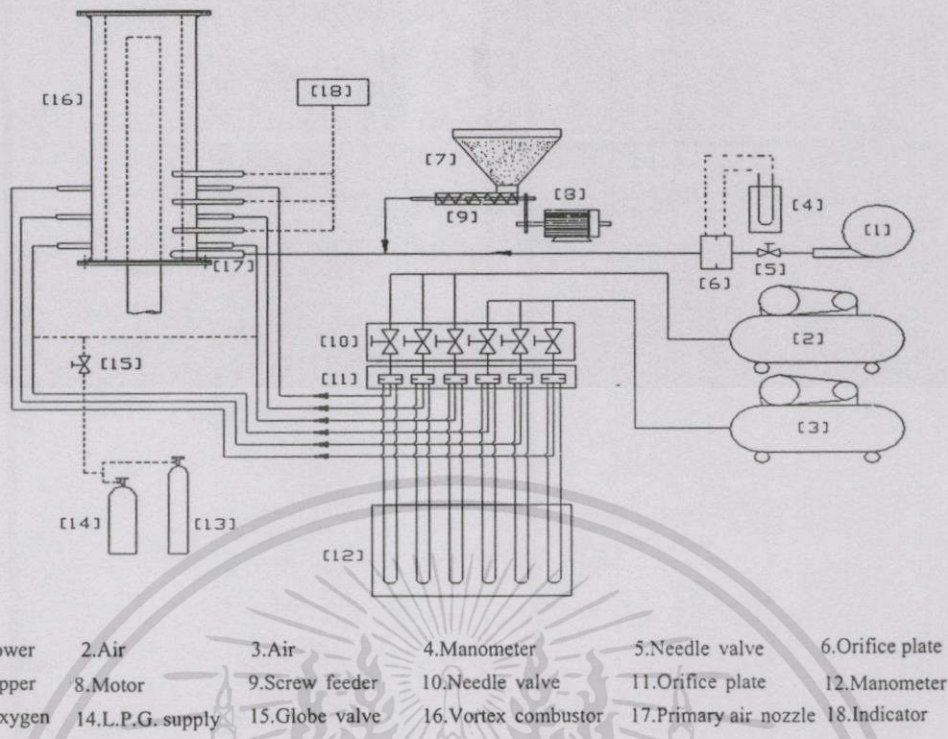
ทั่วไปมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนมาก การไหลวนไปมาอันเป็นผลจากการหมุนวนสามารถนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการสันดาป ลดมลภาวะที่ปล่อยออก ลดความยาวของเปลวเพลิง และเป็นผลให้เตาเผามีขนาดเล็กลง เพิ่มความเสถียรของการสันดาป ซึ่งเตาวอร์เทคนี้ถูกออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในเตาที่กล่าวในข้างต้น โดยเตาวอร์เทคนั้นจะรวมข้อดีของเตาไซโคลน, เตาถ่านหินผง, ห้องสันดาปของเครื่องยนต์กังหันก๊าซ และเตาฟลูอิดไคซ์เบด เข้าด้วยกันเพื่อแก้ปัญหาในเรื่องของ slag, เเขม่า, ฝุ่น รวมถึงการเพิ่มเวลาในการเผาไหม้เพื่อการเผาไหม้ที่ดียิ่งขึ้น และที่แน่นอนย่อมนำไปสู่ขนาดที่เล็กกว่าเตาที่กล่าวมาแล้ว

ในบทความนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา วอร์เทค ความเสถียรของเปลวไฟ การควบคุมอุณหภูมิในเตาเผา เชื้อเพลิง และ ถ่านที่เกิดจากการเผาไหม้ของแกลบภายในเตาเผาที่มีการไหลแบบหมุนวนหรือวอร์เทคที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลเข้าของอากาศส่วนที่สอง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเตาเผาแบบให้มีประสิทธิภาพสูงต่อไป

2. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

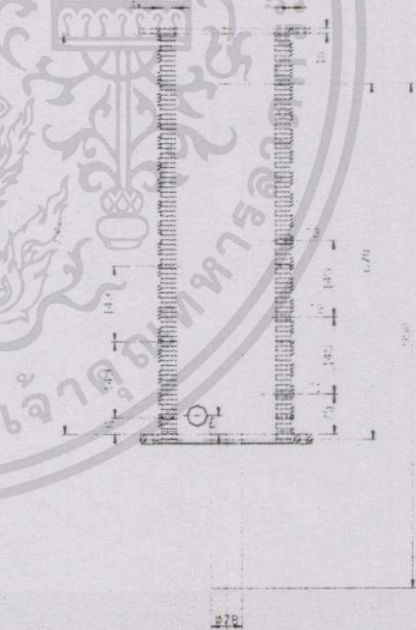
ในการทดลองเตาเผาแบบวอร์เทคสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบละเอียดได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นช่วยในการเผาไหม้ แต่ก่อนเริ่มทำการทดลองมีความจำเป็นที่ต้องใช้แก๊สเชื้อเพลิงเหลว LPG เพื่อช่วยในการอุ่นเตาเผาทำให้อุณหภูมิภายในเตาเผาสูงขึ้นจนสามารถทำให้เชื้อเพลิงแกลบเกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเองได้ ในการติดเตาต้องใช้เฉพาะอากาศส่วนที่ 1 ที่ได้จาก Blower เพื่อช่วยลำเลียงแกลบละเอียดเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการติดเตา ไฟที่ได้จากแก๊สเชื้อเพลิงเหลว LPG ถูกจ่ายเข้าไปยังส่วนล่างของเตา ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งที่จ่ายอากาศส่วนที่ 2 เมื่ออุณหภูมิภายในเตาเผา วอร์เทค ประมาณ 700°C แล้วจึงปิดหรือหยุดการอุ่นเตาด้วย LPG

เตาเผา วอร์เทคจะใช้อากาศ 2 ส่วน ซึ่งอากาศส่วนที่ 1 ได้จาก Blower(1) ขนาด 3 Hp อากาศจะถูกควบคุมอัตราการไหลโดย Needle valve(5) และสามารถวัดอัตราการไหลโดยใช้ชุด Orifice meter(4,6) แกลบละเอียดที่ใช้ในการทดลองจะถูกบรรจุไว้ภายใน Hopper(7) ซึ่งมีความจุเท่ากับ 0.055 m^3 ซึ่งลำเลียงจาก Hopper เข้าสู่ท่อ อากาศส่วนที่ 1 โดยใช้ Screw



รูปที่ 1. อุปกรณ์การทดลอง

feed ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจาก Motor(8) ฉะนั้นการปรับอัตราการ
 ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจาก Motor(8) ฉะนั้นการปรับอัตราการไหล
 ของของแกลบละเอียดโดยใช้ Inverter ควบคุมความเร็วรอบ
 ของ Motor เพื่อให้ได้อัตราการไหลของแกลบละเอียดได้ตาม
 ความต้องการ ในการป้อนอากาศส่วนที่ 2(Secondary Air) ซึ่ง
 อากาศได้จาก Air compressor (2,3) อากาศส่วนที่ 2 จะถูกส่ง
 ผ่านชุด Orifice meter(11,12) ทั้งหมด 6 ชุดสามารถปรับอัตรา
 การไหลทั้ง 6 ชุดโดยใช้ needle valve(10) ทั้งหมด 6 ตัวซึ่งจะ
 ทำให้อากาศส่วนที่ 2 ที่เข้าไปยังเตาเผาออร์ตเทคมีอัตราการไหล
 อากาศเท่ากันทุกจุด ตำแหน่งในการป้อนอากาศส่วนที่ 2 มี 3
 ระดับ คือ 3.1 cm, 17.4 cm, 31.7 cm. จากด้านล่างของเตาในแต่ละ
 ระดับมีจุดที่จ่ายอากาศส่วนที่ 2 ทั้งหมด 2 จุด ซึ่งอยู่ตรงข้าม
 กัน 180 องศา หัวจ่ายอากาศส่วนที่ 2 จะจ่ายอากาศแนวตั้งฉาก
 กับรัศมีภายในเตาเผาออร์ตเทคซึ่งมีทิศทางวนเข็มนาฬิกาทุกจุดทำ
 ให้เกิดการหมุนวนอากาศในทิศทางเดียวกัน การวัดอุณหภูมิ
 ภายในเตาเผาออร์ตเทคใช้ Thermocouple type K มีทั้งหมด 3
 ระดับ คือ 7.5 cm, 22.0 cm, 36.5 cm. ตามลำดับจากด้านล่าง
 ของเตา และสามารถอ่านอุณหภูมิได้จาก Indicator(18)



รูปที่ 2. ลักษณะและขนาดเตาเผาแกลบแบบวอร์เทค

3. การทดลอง

ก่อนเริ่มทำการทดลองต้องทำการอุ่นเตาเผาออร์ตเทคโดยโดยใช้
 เชื้อเพลิงเหลว LPG จนเตามีอุณหภูมิประมาณ 700 °C จึงเริ่ม

ทำการทดลอง ในการทดลองสามารถแบ่งขั้นตอนการทดลอง ได้ดังต่อไปนี้

1. ปรับอัตราการใช้ของอากาศให้ค่า Equivalence ratio เท่ากับ 0.8
2. ให้อัตราการใช้ของแกลบเท่ากับ 0.3 kg/min
3. บันทึกอุณหภูมิในช่วงของการเผาไหม้ 15 นาที เก็บได้จากปล่องไอเสียและถ่ายรูปลักษณ์
4. ปรับอัตราการใช้ของอากาศให้ค่า Equivalence ratio 0.85, 0.9, 0.95, 1.0, 1.05 ตามลำดับ และทำซ้ำตามข้อ 3) สำหรับแต่ละค่าของ Equivalence ratio
5. ทำซ้ำตามข้อที่ 1) โดยเปลี่ยนอัตราการใช้ของแกลบเท่ากับ 0.4 kg/min และ 0.5 kg/min ตามลำดับ

ในกระบวนการเผาไหม้ปกติแล้วค่า equivalence ratio จะใช้เป็นค่าที่แสดงปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ ถ้าปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎีเรียกว่า อัตราส่วนผสมบาง (lean) ถ้าปริมาณอากาศที่ใช้น้อยกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎีเรียกว่า อัตราส่วนผสมหนา (rich) และ ถ้าปริมาณอากาศที่ใช้เท่ากับปริมาณอากาศทางทฤษฎีเรียกว่า stoichiometric ค่า equivalence ratio สามารถหาค่าได้จาก

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

เมื่อ m_a คืออัตราการใช้ของอากาศ(kg/min)
 m_f คืออัตราการใช้ของเชื้อเพลิง(kg/min)

โดยสัดส่วนผสมจะเรียกว่า

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

ตารางที่ 1. ข้อมูลองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ [4]

องค์ประกอบเชื้อเพลิงแกลบ	เปอร์เซ็นต์โดยมวล
Carbon	36.8
Hydrogen	5.8
Oxygen	37.4
Nitrogen	0.14
Sulfur	0.1
Moisture	7.8
Ash	18.9

ตารางที่ 2. เงื่อนไขของการทดลอง [4]

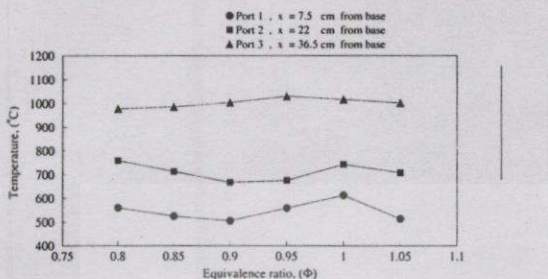
เงื่อนไข	ค่าที่ใช้
อัตราการไหลของเชื้อเพลิงแกลบ	0.3, 0.4, 0.5 kg/min
อัตราการไหลของอากาศ	0 – 0.86 kg/min
Stoichiometric air	3.2731 kg/kg fuel
Gross heat of combustion	3,308 kcal/kg

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

เนื่องจากการทดสอบเตาเผาเวอร์เทกเป็นการศึกษาขั้นเริ่มต้น ดังนั้นข้อมูลที่ได้จึงไม่มาก ฉะนั้นข้อมูลที่นำเสนอในบทความนี้ได้แก่ อุณหภูมิภายในเตาเผาซึ่งมีเพียง 3 จุด, กว้นที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้, ชี้อัดที่ได้จากการเผาไหม้ ดังนั้นในการทำการทดลองครั้งต่อไป จะวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาเวอร์เทกให้มากขึ้น, วัดอุณหภูมิของท่อทางออกของชี้อัด, เปรียบเทียบปริมาณของชี้อัดต่อหน่วยเวลาเมื่ออัตราการใช้ของแกลบเปลี่ยนไป, วัดปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซอื่นเพื่อวิเคราะห์ถึงก๊าซที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิในทุกตำแหน่งที่ 3 มากกว่า ทุกตำแหน่งที่ 2 และ ทุกตำแหน่งที่ 1 ตามลำดับ เนื่องจากการป้อนแกลบเข้าสู่ทางด้านล่างของเตา ฉะนั้นที่ด้านล่างของเตาจะเป็นตำแหน่งเริ่มต้นของการหมุนวนของแกลบที่ป้อนเข้ามาใหม่ และเป็นตำแหน่งเริ่มต้นของการเผาไหม้ของแกลบ ฉะนั้นการวัดอุณหภูมิในตำแหน่งด้านล่างจึงเป็นการวัดอุณหภูมิของแกลบที่ป้อนเข้ามาใหม่ที่เพิ่งเริ่มติดไฟจึงมีอุณหภูมิต่ำ เมื่อแกลบถูกเผาไหม้บางส่วนจะทำให้มีน้ำหนักเบาทำให้สามารถเกิดการเผาไหม้แบบหมุนวนในตำแหน่งที่สูงขึ้น ฉะนั้นอุณหภูมิในตำแหน่งที่ 2 และ 3 จะมีอุณหภูมิสูงกว่าในตำแหน่งที่ 1 ตามลำดับ

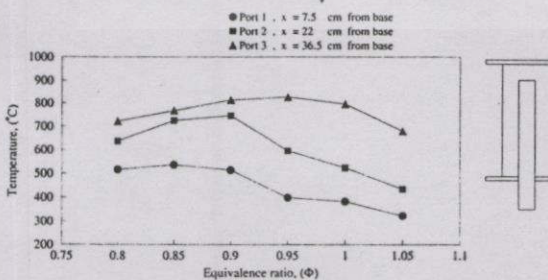
จากรูปที่ 3 พบว่าเมื่อให้ปริมาณอากาศที่ใช้น้อยกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี (rich) ที่ Φ เท่ากับ 0.8 อุณหภูมิตำแหน่งที่ 3 ในเตาเผาเวอร์เทกประมาณ 970 °C กว้นที่ออกมา มีสีขาว เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศมากขึ้นพบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปริมาณกว้นที่เกิดขึ้นน้อยลง และอุณหภูมิในเตาเผาสูงสุดเมื่อ Φ เท่ากับ 0.95 ซึ่งมีอุณหภูมิในตำแหน่งที่ 3 เท่ากับ 1,030 °C เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศที่ใช้เท่ากับปริมาณอากาศทางทฤษฎีพบว่าอุณหภูมิภายในเตาเผาเวอร์เทกตำแหน่งที่ 1 และ 2 สูงขึ้น ส่วนในตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิลดลง และปริมาณของกว้นมีลักษณะเช่นเดียวกับที่ Φ เท่ากับ 0.95 เมื่อให้

ปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่า(lean)ปริมาณอากาศทางทฤษฎีพบว่าอุณหภูมิในเตาเผาออร์เทกมีค่าลดลงวันที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อย อุณหภูมิเฉลี่ยในทุกตำแหน่งที่ 2 เท่ากับ 700 °C และอุณหภูมิเฉลี่ยในทุกตำแหน่งที่ 1 เท่ากับ 550 °C



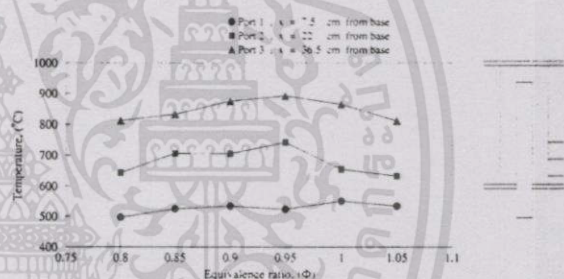
รูปที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่าง Equivalence ratio กับ อุณหภูมิ (°C) ที่ อัตราการไหลของแก๊สเท่ากับ 0.3 kg/min

จากรูปที่ 4 พบว่าลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทกที่อัตราการไหลของแก๊สละเอียดเท่ากับ 0.4 kg/min มีลักษณะเช่นเดียวกับการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทกที่อัตราการไหลของแก๊สละเอียดเท่ากับ 0.3 kg/min (รูปที่ 3) แต่อุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละทุกตำแหน่งมีค่าต่ำกว่า คือ อุณหภูมิเฉลี่ยในทุกตำแหน่งที่ 1 เท่ากับ 500 °C อุณหภูมิเฉลี่ยในทุกตำแหน่งที่ 2 เท่ากับ 650 °C และ อุณหภูมิเฉลี่ยในทุกตำแหน่งที่ 3 เท่ากับ 810 °C ตามลำดับ การที่เพิ่มอัตราการไหลของแก๊สละเอียดให้มากขึ้นก็ต้องเพิ่มปริมาณอากาศมากขึ้นตามเมื่อเทียบที่ตำแหน่ง Φ เดียวกัน ผลของการเพิ่มปริมาณอากาศที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 29 °C ให้มากขึ้นจะทำให้แก๊สละเอียดที่ป้อนเข้ามาใหม่สามารถเคลื่อนที่หมุนวนภายในเตาเผาออร์เทกในตำแหน่งที่สูงขึ้น ฉะนั้นการเผาไหม้ภายในเตาเผาออร์เทก ณ ทุกตำแหน่งวัดอุณหภูมิที่ 1, 2 และ 3 จะต้องเสียความร้อนส่วนหนึ่งให้กับ แก๊สใหม่และอากาศที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 29 °C ที่มีปริมาณมากขึ้น ทำให้ปริมาณความร้อนของเตาเผาออร์เทก ณ ทุกตำแหน่งวัดอุณหภูมิที่ 1, 2 และ 3 ลดลง

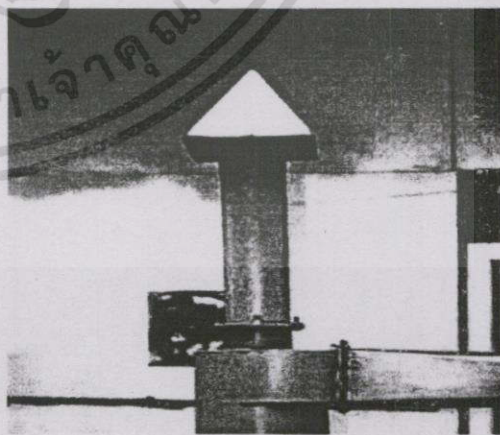


รูปที่ 4. ความสัมพันธ์ระหว่าง Equivalence ratio กับ อุณหภูมิ (°C) ที่ อัตราการไหลของแก๊สเท่ากับ 0.4 kg/min

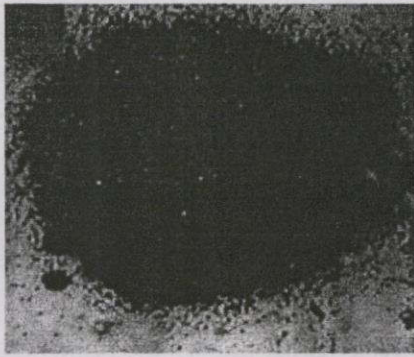
จากรูปที่ 5 พบว่าเมื่อให้ปริมาณอากาศที่ใช้น้อยปริมาณอากาศทางทฤษฎี(rich)ที่ Φ เท่ากับ 0.8 อุณหภูมิทุกตำแหน่งที่ 3 ในเตาเผาออร์เทกประมาณ 700 °C เกิดควันสีดำจำนวนมากตามรูปที่ 6 ถ้าลดส่วนใหญ่ที่ออกมาจะมีสีดาขนาดเล็กลงตามรูปที่ 7 เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศมากขึ้นพบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปริมาณควันที่เกิดขึ้นน้อยลง และเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศจนค่า Φ เท่ากับ 0.95 พบว่า อุณหภูมิในตำแหน่งที่ 3 มีค่าสูงสุดประมาณ 800 °C และเมื่อป้อนอากาศที่ใช้ให้เท่ากับปริมาณอากาศทางทฤษฎี (Φ=1) และมากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี(Φ > 1) พบว่าอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทก ณ ตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 ลดลง เนื่องจากแก๊สที่ป้อนเข้ามาใหม่และอากาศที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 29 °C มีปริมาณมากขึ้น ทำให้ต้องสูญเสียความร้อนส่วนหนึ่งใช้ในการเผาไหม้แก๊สและอากาศที่มากขึ้น ทำให้ความร้อนภายในเตาเผาออร์เทก ณ ตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 ลดลงอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 5. ความสัมพันธ์ระหว่าง Equivalence ratio กับ อุณหภูมิ (°C) ที่ อัตราการไหลของแก๊สเท่ากับ 0.5 kg/min

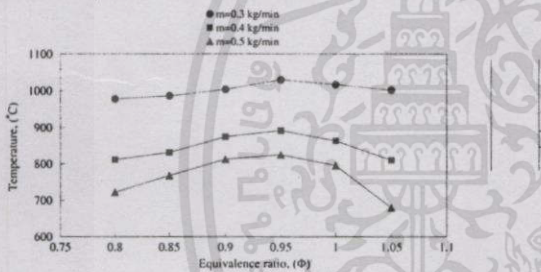


รูปที่ 6. ควันที่เกิดหลังจากการเผาไหม้ที่ Equivalence ratio เท่ากับ 0.8 อัตราการไหลของแก๊สเท่ากับ 0.5 kg/min



รูปที่ 7. เถ้าที่ได้หลังจากการเผาไหม้ Equivalence ratio เท่ากับ 0.8 อัตราการไหลของแกลบเท่ากับ 0.5 kg/min

จากรูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ทุกตำแหน่งที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของแกลบเท่ากับ 0.3 kg/min, 0.4 kg/min และ 0.5 kg/min ซึ่งพบว่าที่ Φ เท่ากับ 0.95 เป็นตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 1,030 °C, 892 °C และ 826 °C ตามลำดับ สังเกตจากกราฟจะพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของแกลบมากขึ้น อุณหภูมิในเตาเผาที่ตำแหน่งที่เลือกไว้จะลดลง



รูปที่ 8. ความสัมพันธ์ระหว่าง Equivalence ratio กับ อุณหภูมิ (°C) ที่ตำแหน่ง port 3 ที่อัตราการไหลของแกลบต่างๆ

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าเมื่อให้ปริมาณอากาศที่ใช้น้อย ปริมาณอากาศทางทฤษฎี (rich) อุณหภูมิในเตาเผาต่ำ คว้นที่ออกมามีสีดำปริมาณมาก เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศที่ใช้มากขึ้น พบว่าอุณหภูมิในเตาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปริมาณคว้นที่เกิดขึ้นน้อยลง จนกระทั่ง Φ เท่ากับ 0.95 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ทำให้ อุณหภูมิในตำแหน่งที่ 3 มีค่าสูงสุด เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศที่ใช้ เท่ากับปริมาณอากาศทางทฤษฎีและ ปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่า (lean) ปริมาณอากาศทางทฤษฎีพบว่าอุณหภูมิในเตาเผาหรือ เตาที่มีค่าลดลงคว้นที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อย เถ้าที่ได้จากการป้อน แกลบในอัตราการ 0.3 kg/min จะมีขนาดของขี้เถ้าที่ใหญ่กว่าขี้เถ้าที่ได้จาก 0.4 kg/min และ 0.5 kg/min ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้สำเร็จไปด้วยดีต้องขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ทำให้การสนับสนุนอุปกรณ์การทดลองและนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ที่ช่วยเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

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

ประวัติผู้เขียน

นายนิวัติ พิริยะรุ่งโรจน์ เกิดเมื่อวันที่ 1 ตุลาคม 2517 ที่จังหวัด ศรีสะเกษ อำเภอกันทรลักษ์ สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการศึกษา 2541

ปี พ.ศ. 2542 ได้ศึกษาต่อที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขา วิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต และปัจจุบันทำงานเป็นอาจารย์ประจำ ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

