

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เตาเผาแกลบแบบวอร์เทกซ์

DOUBLE RICE HUSK FIRED VORTEX COMBUSTOR



โดย



นายจันทร์ณรงค์ ปรางค์รัตน์

นายดิษฐพร ตุงโธธานนท์

นายวิวัฒน์ เทียนทอง

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. พงษ์เจตน์ พรหมวงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 50152

รับเดือน ปี 2 1 ๒๕.ย. 2547

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2545

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เตาเผาแกลบแบบวอร์เทกซ์

DOUBLE RICE HUSK FIRED VORTEX COMBUSTOR

ผู้จัดทำ

1. นาย จันทร์ฉรงค์ ปราบภูรีรัตน์ รหัสประจำตัว 43015412
2. นาย ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ รหัสประจำตัว 43015417
3. นาย นิตส์สัน เทียนทอง รหัสประจำตัว 43015425



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาเผาเคลือบแบบวอร์เทคคู่

นาย จันทร์ณรงค์ ปราบภูรัตน์ 43015412

นาย คิชูพร ดุงโสธานนท์ 43015417

นาย นิตส์น เทียนทอง 43015425

รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงค์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาถึงคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเคลือบในเตาเผาแบบวอร์เทคคู่ โดยลักษณะภายในตัวเตาประกอบไปด้วยห้องเผาไหม้สองห้องคือ ห้องเผาไหม้ปฐมภูมิ และห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ โดยจะมีคอคอดและกรวยคั่นระหว่างสองห้องนี้ มีความสูงภายในห้องเผาไหม้ทั้งหมด 1800 mm. ห้องผสมมีความสูง 150 mm. เส้นผ่าศูนย์กลาง 150 mm. โดยการศึกษาจะกำหนดค่าอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงเคลือบเท่ากับ 0.30 kg/min อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศจะปรับให้มีค่าอัตราส่วนสมมูล (Φ) หรืออากาศส่วนเกิน เท่ากับ 0.5(100%), 0.6(66.67%), 0.7(42.86%) และ 0.8(25%) สำหรับค่าอัตราครป้อนและที่อัตราส่วนสมมูลทำการกำหนดให้มีอัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมด, λ เท่ากับ 0, 0.15 และ 0.25 เพื่อเปรียบเทียบหาสภาวะที่เหมาะสมของการกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่เหมาะสม จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ $\Phi = 0.6$ และ $\lambda = 0$ อุณหภูมิภายในเตาเผาจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 940 °C ที่ระยะ 1.575 m. แต่ช่วงที่การกระจายอุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ที่ $\Phi = 0.7$ ซึ่งเหมาะสมกับการใช้งานของเตาเผาลักษณะนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Double Rice Husk Fired Vortex Combustor

Jannarong Prakodrat

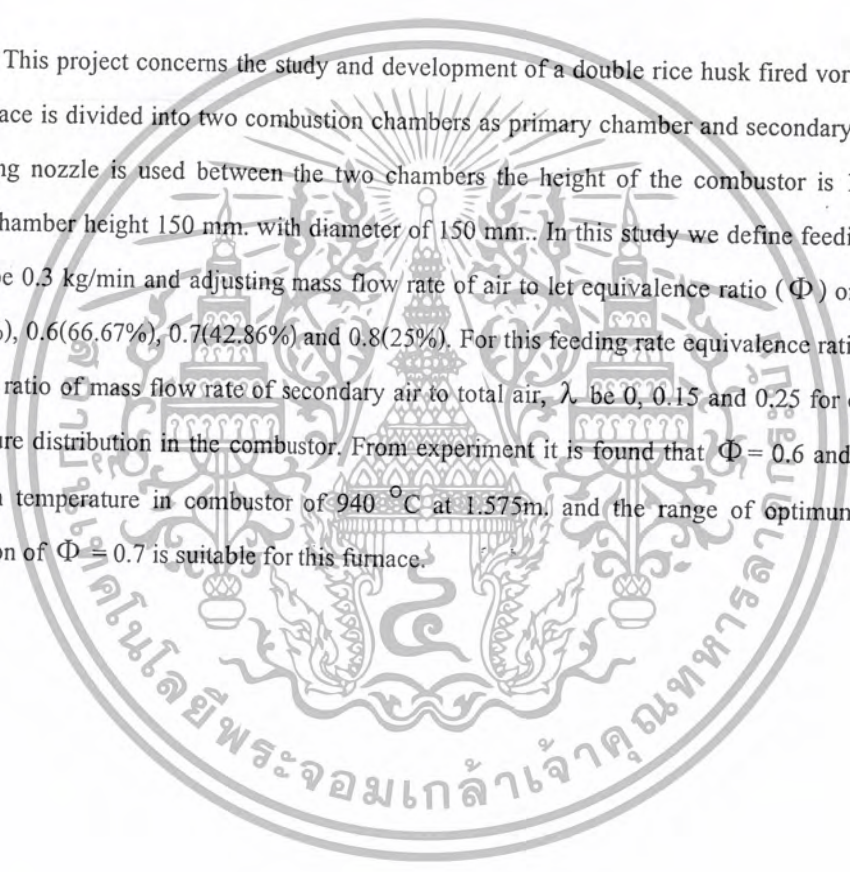
Dithaporn Thungsothanon

Nitat Thienthong

Assoc. Prof.Dr.Pongjet Promvong Advisor

ABSTRACT

This project concerns the study and development of a double rice husk fired vortex combustor. The furnace is divided into two combustion chambers as primary chamber and secondary chamber. The converging nozzle is used between the two chambers the height of the combustor is 1800 mm. and mixing chamber height 150 mm. with diameter of 150 mm.. In this study we define feeding rate of rice husk to be 0.3 kg/min and adjusting mass flow rate of air to let equivalence ratio (Φ) or excess air be 0.5(100%), 0.6(66.67%), 0.7(42.86%) and 0.8(25%). For this feeding rate equivalence ratios are defined to let the ratio of mass flow rate of secondary air to total air, λ be 0, 0.15 and 0.25 for comparison of temperature distribution in the combustor. From experiment it is found that $\Phi = 0.6$ and $\lambda = 0$ give a maximum temperature in combustor of 940°C at 1.575m, and the range of optimum temperature distribution of $\Phi = 0.7$ is suitable for this furnace.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณที่ปริญาโท ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา รวมทั้งข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ดุจมนชา เทียมเมือง ที่ให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือต่างๆตลอดมา

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่คำแนะนำ และเพื่อนๆกลุ่มเตาเผาที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆและให้กำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้



นาย จันทรรัตน์ ปรากฏรัตน์
นาย ดิษฐพร ดุงโสธานนท์
นาย นิตส์น เทียนทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.2 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.3 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทนำ	4
2.2 งานวิจัยที่ผ่านมา	4
2.2.1 งานวิจัยของ นวัตกรรมรุ่งโรจน์	4
2.2.2 งานวิจัยของ วิศิษฐ์ สีสลาหาคกุล	6
2.2.3 งานวิจัยของ สมศักดิ์ โพธิ์ถวิลเกียรติ	6
2.2.4 งานวิจัยของ ศุภชัย เลื่อนลอย	7
2.2.5 งานวิจัยของ Jian Zhang and Sen Nieh	8
บทที่ 3 ทฤษฎี	11
3.1 ผลงานจากชีวมวล	11
3.2 การใช้พลังงานจากชีวมวล	11
3.2.1 การเผาไหม้โดยตรง	11
3.2.2 ขบวนการไพโรไลซิส	11
3.2.3 ขบวนการก๊าซซิฟิเคชัน	12
3.2.4 ก๊าซชีวมวล	13
3.2.5 แอลกอฮอล์	13
3.2.6 การใช้น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์ดีเซล	13
3.3 ทฤษฎีการเผาไหม้	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.1 การผสม	14
3.3.2 การติดไฟหรือการลุกไหม้	15
3.4 รูปแบบของเตาเผาที่ใช้กับเชื้อเพลิงแข็ง	16
3.4.1 เตาแบบตะกรับ	16
3.4.2 เตาเผาไซโคลน	16
3.4.3 เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด	17
3.4.4 เตาเผาแบบวอร์เทค	17
3.5 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง	17
3.5.1 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง	19
3.5.2 แบบจำลอง Unreacted core	19
3.6 อากาศชั้น	20
3.6.1 อากาศแห้งและอากาศชื้น	21
3.6.2 ความดันย่อยของอากาศและความดันไอ	21
3.6.3 อัตราส่วนความชื้น	21
3.6.4 ความชื้นสัมพัทธ์	22
3.6.5 อุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก	23
3.7 อัตราส่วนสมมูล	23
3.8 ออร์ฟิส	23
บทที่ 4 การออกแบบและการคำนวณ	27
4.1 บทนำ	27
4.2 การออกแบบเตาเผาวอร์เทคคู่	27
4.2.1 ระบบป้อนอากาศส่วนที่สอง	28
4.2.2 ระบบป้อนเชื้อเพลิง	28
4.3 การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี	29
4.4 การคำนวณความสูงของระดับน้ำของมาโนมิเตอร์	32
บทที่ 5 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	37
5.1 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง	37
5.1.1 เตาเผาแบบวอร์เทคคู่	37
5.1.2 ระบบป้อนเชื้อเพลิง	39
5.1.3 ระบบป้อนอากาศ	41
5.1.4 ระบบวัดอัตราการไหลของอากาศ	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1.5 ชุดแยกอากาศหตุติขุมิ	43
5.1.6 ระบบวัดอุณหภูมิ	43
5.1.7 ชุดอุ่นเตาเผา	44
5.1.8 ระบบคักจับฝุ่นจิ้เล้า	45
5.1.9 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย	46
5.2 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง	46
5.3 การอุ่นเตา	47
5.4 การทดลองและบันทึกผลการทดลอง	48
บทที่ 6 ผลการทดลองและวิจารณ์	49
6.1 บทนำ	49
6.2 อิทธิพลของอัตราส่วนสมมูล (Φ)	49
6.2.1 อิทธิพลของ $\Phi = 0.5$ ที่ค่า $\lambda = 0.00, 0.15$ และ 0.25	49
6.2.2 อิทธิพลของ $\Phi = 0.6$ ที่ค่า $\lambda = 0.00, 0.15$ และ 0.25	50
6.2.3 อิทธิพลของ $\Phi = 0.7$ ที่ค่า $\lambda = 0.00, 0.15$ และ 0.25	51
6.2.4 อิทธิพลของ $\Phi = 0.8$ ที่ค่า $\lambda = 0.00, 0.15$ และ 0.25	52
6.3 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผนังห้องผสม	52
บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ	54
7.1 สรุปผลการทดลอง	54
7.2 ข้อเสนอแนะ	54
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก	58
ภาคผนวก ก. คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแก๊ส	59
ภาคผนวก ข. แบบเตาเผาเวอร์เทคคู่	63
ภาคผนวก ค. ตารางบันทึกผลการทดลอง	71

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ	29
ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลอง	32
ตารางที่ 4.3 แสดงความสูงของระดับน้ำในमानอมิเตอร์ของอากาศปฐมภูมิและทุติยภูมิ ที่อัตราการป้อนแกลบเท่ากับ 0.3 kg/min	36



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงอุปกรณ์การทดลองเตาแบบวอร์เทคของ นิวัติ พิริยะรุ่งโรจน์	5
รูปที่ 2.2 แสดงอุปกรณ์การทดลองของเตาแบบวอร์เทคของ วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล	6
รูปที่ 2.3 แสดง Bench scale VC cold flow test ของ Jian Zhang and Sen Nieh	8
รูปที่ 2.4 (a) แสดงความเร็วในแนวแกน และแนวสัมผัส	9
รูปที่ 2.4 (b) แสดงเส้น steam line	9
รูปที่ 2.5 (a) แสดงความเร็วในแนวแกน และแนวสัมผัส	9
รูปที่ 2.5 (b) แสดงเส้น steam line	9
รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง	18
รูปที่ 3.2 ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง	18
รูปที่ 3.3 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง	19
รูปที่ 3.4 บริเวณการเกิดการเผาไหม้	19
รูปที่ 3.5 ลักษณะชั้นเชื้อเพลิงระหว่างการเผาไหม้	20
รูปที่ 3.6 แผ่นออริฟิสมมาตรฐาน	24
รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างเชิงเรขาคณิต และจุดวัดความดันของออริฟิส	24
รูปที่ 3.8 แสดงการไหลผ่านแผ่น ออริฟิส (Orifice)	25
รูปที่ 3.9 ออริฟิสแบบต่างๆ	25
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของเตาเผาแบบวอร์เทคคู่	28
รูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่ง Primary Air และ Secondary Air	29
รูปที่ 5.1 เตาเผาแลกเปลี่ยนแบบวอร์เทคคู่	37
รูปที่ 5.2 ท่อทิ้งก๊าซไอเสียและน้ำเต้า	37
รูปที่ 5.3 ห้องเผาไหม้ธรรมดา	38
รูปที่ 5.4 ห้องเผาไหม้แบบมีท่ออากาศส่วนที่ 2 และช่องหัวเผา	38
รูปที่ 5.5 กรวย	38
รูปที่ 5.6 คอกออก	38
รูปที่ 5.7 ห้องผสม	39
รูปที่ 5.8 ฝาปิดด้านบน	39
รูปที่ 5.9 ระบบป้อนเชื้อเพลิงแลกเปลี่ยน	39
รูปที่ 5.10 Inverter	40
รูปที่ 5.11 Motor	40
รูปที่ 5.12 Screw Feed	40
รูปที่ 5.13 Hopper	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

A_o	พื้นที่หน้าตัดรูออริฟิส , (m ²)
A_p	พื้นที่หน้าตัดท่ออากาศปฐมภูมิ , (m ²)
A_s	พื้นที่หน้าตัดท่ออากาศทุติยภูมิ , (m ²)
A/F	อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง
$(A/F)_{actual}$	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางปฏิบัติ
$(A/F)_{stoic}$	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี
C_d	discharge coefficient
D_p	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออากาศปฐมภูมิ , (m)
D_s	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออากาศทุติยภูมิ , (m)
DW	น้ำหนักของแกลบแห้ง , (kg)
d_p	เส้นผ่านศูนย์กลางรูของออริฟิสของท่ออากาศปฐมภูมิ , (m)
d_s	เส้นผ่านศูนย์กลางรูของออริฟิสของท่ออากาศทุติยภูมิ , (m)
g	ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก , (m/s ²)
MC_{wet}	ปริมาณความชื้นตามมาตรฐานเปียก , (%)
MW	มวลโมเลกุล , (kmol)
m_a	มวลของอากาศแห้ง , (kg)
m_g	ปริมาณไอน้ำในอากาศสูงสุดที่อุณหภูมิใด ๆ , (kg)
m_v	มวลของไอน้ำ , (kg)
\dot{m}_{air}	อัตราการไหลของอากาศ (kg/s)
\dot{m}_{fuel}	อัตราการป้อนแกลบ , (kg/min)
n	จำนวนโมล
P	ความดันของอากาศขึ้น , (Pa)
P_a	ความดันย่อยของอากาศแห้ง , (Pa)
P_g	ความดันของอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิใด ๆ , (Pa)
P_v	ความดันไอ , (Pa)
Q_{ac}	อัตราการไหลจริงเชิงปริมาตร , (m ³ /s)
R	รัศมีภายในของเตาเผาออร์ต , (m)
R_a	ค่าคงที่ของอากาศ , (kJ/kg·K)
R_v	ค่าคงที่ของไอน้ำ , (kJ/kg·K)
r	พิคัดในแนวรัศมีภายในเตาเผาออร์ต , (m)
T	อุณหภูมิ, (°C)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T_{db}	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง, ($^{\circ}C$)
T_{wb}	อุณหภูมิกระเปาะเปียก, ($^{\circ}C$)
V	ปริมาตร, (m^3)
WW	น้ำหนักของแกลบเปียก, (kg)
X	ความสูงของเตาเผาออร์เทคในแนวตั้ง, (m)
x	ระยะตำแหน่งความสูงของเตาเผาออร์เทคในแนวตั้ง, (m)
Φ	อัตราส่วนสมมูล
ϕ	ความชื้นสัมพัทธ์
ω	อัตราส่วนความชื้น, (kg/kg-dry air)
ρ_a	ความหนาแน่นของอากาศ, (kg/m^3)
ρ_g	ความหนาแน่นของอากาศอิมคั่วที่อุณหภูมิใด ๆ, (kg/m^3)
ρ_v	ความหนาแน่นของไอน้ำ, (kg/m^3)
ρ_w	ความหนาแน่นของน้ำ, (kg/m^3)
γ	น้ำหนักจำเพาะ, (N/m^3)
β	อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางรูของออร์ฟิสต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ
Δh	ความสูงของระดับน้ำในมานอมิเตอร์, (m)
λ	อัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุกชนิดต่ออากาศทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

โลกในยุคปัจจุบันที่อุตสาหกรรมได้พัฒนาและขยายตัวไปอย่างรวดเร็ว ยิ่งอุตสาหกรรมเจริญเติบโตมากขึ้นเท่าไร ย่อมมีการใช้พลังงานในปริมาณมากขึ้น ซึ่งพลังงานเหล่านี้ส่วนใหญ่แล้วได้มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ ซึ่งเชื้อเพลิงเหล่านี้วันจะหมดลงไปเรื่อยๆ แต่ในทางกลับกันความต้องการพลังงานของอุตสาหกรรมที่กำลังเจริญเติบโตกลับมีมากยิ่งขึ้น เพราะฉะนั้นเราจึงเห็นว่าประเทศอุตสาหกรรมหลายประเทศเริ่มตระหนักเห็นถึงปัญหานี้ โดยพยายามใช้เชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างคุ้มค่าและ พยายามหาแหล่งพลังงานจากเชื้อเพลิงชนิดใหม่เข้ามาทดแทน

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

ดังนั้นจึงได้มีความคิดในการที่จะพัฒนานำแกลบ ซึ่งแกลบนี้จัดเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลประเภทเชื้อเพลิงแข็งชนิดหนึ่ง มาเป็นแหล่งพลังงานทดแทนให้เกิดประโยชน์มากที่สุด โดยได้ปรับปรุงเตาเผาแกลบแบบวอร์เทคซึ่งหลักการของวอร์เทคนี้ได้รับข้อคิดของเตาเผาแบบไซโคลนกับเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดเข้าด้วยกันเพื่อแก้ปัญหาการเกิดตะกอน (slag) เขม่าที่เกิดขึ้นกับเตา โดยใช้เทคนิคการไหลแบบหมุนวนความเร็วสูง การหมุนวนได้ถูกนำมาเพื่อเพิ่มความเสถียรของเปลวไฟ ช่วยในการคลุกเคล้าอากาศกับเชื้อเพลิงให้ดีขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ในโครงการนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาเตาเผาแกลบแบบวอร์เทคคู่เพื่อเปรียบเทียบหาสภาวะที่เหมาะสมของการกระจายอนุภาคน้ำมันในห้องเผาไหม้ เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาและพัฒนาต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาการออกแบบสร้างเพื่อพัฒนาและทดสอบเตาเผาแบบวอร์เทคคู่
2. ศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบปกติ (มีขนาดประมาณ 2 mm.× 8 mm.) [7] ในเตาเผาแบบวอร์เทคคู่
3. ทดสอบหาขอบเขตของการติดไฟของเชื้อเพลิงแกลบกับอากาศในการเผาไหม้
4. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศทุกมิติต่ออากาศทั้งหมด (λ) กับการกระจายอนุภาคน้ำมันในห้องเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 สมมติฐานของการศึกษา

สมมติให้ระบบที่ทำการศึกษาก็คือเป็นระบบแบบอะเดียบาติกและเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้ในการทดลองเป็นแกลบขนาดปกติ (2 mm.× 8 mm.)[7]

1.3 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เตาเผาที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเตาเผาแบบวอร์เทค ซึ่งเป็นการนำเอาข้อดีของเตาเผาแบบไซโคลน, เตาฟลูอิด ไดซ์เบด, ห้องเผาไหม้ถ่านหินแบบหมุนวน , การเผาไหม้หลายชั้นตอน มาใช้เป็นแนวคิดในการออกแบบ ซึ่งอาศัยแนวคิดการหมุนวนของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้เพื่อให้เกิดความปั่นป่วนซึ่งส่งผลให้เกิดการผสมคลุกเคล้ากันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงได้ดีขึ้นเพราะว่าเชื้อเพลิงแกลบนั้นเป็นเชื้อเพลิงแข็งมีความยุ่งยากกว่าเชื้อเพลิงก๊าซและของเหลวที่จะให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์โดยที่ความปั่นป่วนภายในห้องเผาไหม้จะทำให้เชื้อเพลิงที่เกิดจากการเผาไหม้หลุดออกจากผิวแกลบที่เกิดการเผาไหม้แล้วทำให้ได้พื้นที่ผิวสำหรับออกซิเจนจากอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาทางเคมีกับเชื้อเพลิงแกลบส่วนที่เหลือและอากาศสุดท้ายก็ยังช่วยเพิ่มระยะเวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในห้องเผาไหม้ได้นานยิ่งขึ้นทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์เพิ่มขึ้น

1.4 ขอบเขตของโครงการงาน

1. ศึกษาทฤษฎีการเผาไหม้
2. ออกแบบสร้างและพัฒนาเตาเผาแกลบแบบวอร์เทค
3. ทำการทดสอบการเผาไหม้เตาเผาแกลบแบบวอร์เทค
4. อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 0.30 kg/min
5. อัตราการไหลของอากาศสุดท้ายต่ออากาศทั้งหมด (λ) เท่ากับ 0.00, 0.15 และ 0.25
6. อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio, Φ) เท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8
7. แกลบที่ใช้ในการทดลองเป็นแกลบปกติมีขนาดประมาณ 2 mm.× 8 mm. ความชื้นประมาณ 11%
8. ใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K วัดอุณหภูมิภายในเตาเผาจำนวน 13 จุดและวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล Type J จำนวน 1 จุด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเป็นต้นแบบในการออกแบบสร้างและพัฒนาเตาเผาแกลบให้มีความเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานจริง
2. สามารถนำพลังงานความร้อนที่ได้จากเตาเผาแบบวอร์เทคไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมหรืองานด้านอื่นๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สามารถนำวัสดุที่เหลือใช้ในทางการเกษตร มาใช้เป็นพลังงานทดแทนและก่อให้เกิดประโยชน์
4. สามารถที่จะนำพลังงานความร้อนที่ได้ ไปใช้ในทางเกษตรกรรม เช่น การอบแห้งพืชผล
5. สามารถลดปริมาณของแกลบ ซึ่งเป็นเศษวัสดุที่เหลือใช้จากกระบวนการสีข้าวให้น้อยลงก่อนที่จะเกิดสภาวะมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

การศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นการค้นคว้า ทดสอบ และพัฒนาเพื่อหาแหล่งพลังงานทดแทนแหล่งพลังงานที่มีอยู่ทั่วไป ซึ่งความต้องการในการใช้พลังงานในปัจจุบันนี้มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นพลังงานทดแทนจึงมีความสำคัญและมีความต้องการอย่างสูง เนื่องจากราคาถูก เป็นพลังงานที่สะอาดแทบไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่นทั่วไป อาทิเช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวล เป็นต้น ซึ่งในส่วนของการศึกษาและพัฒนาเพื่อหาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ให้เหมาะสมต่อการใช้งาน และพิจารณาความเหมาะสมทางเศรษฐกิจและสังคม สำหรับผู้ใช้ในเมืองและชนบท

2.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

การค้นคว้าเกี่ยวกับคุณลักษณะของเตาเผาเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน สำหรับประเทศไทยมีการค้นคว้าวิจัยเตาเผาหลายประเภทด้วยกัน เช่น เตาเผาแบบวอร์เทค, เตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบด หรือ เตาเผาแบบไซโคลน เป็นต้น แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะเตาเผาแบบวอร์เทคเท่านั้น ซึ่งในอดีตจนถึงปัจจุบันมีการวิจัยทั้งในและต่างประเทศอย่างมากมาย

2.2.1 งานวิจัยของ นวัตกรรมรุ่งโรจน์[3] ทำการศึกษาเบื้องต้นของการออกแบบ สร้าง และทดสอบหาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาแบบวอร์เทค โดยทำการวัดและสังเกตการกระจายอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ภายในเตา, จี๊ถั่ว และควันที่ออกมาที่กับแก๊สไอเสีย ในการวัดจะกำหนดอัตราการไหลเชิงมวลของแกลบละเอียดเท่ากับ 0.2 kg/min โดยตลอดและทำการปรับค่า Equivalence ratio (Φ) เท่ากับ 0.7, 0.8, 1.0 และ 1.2 ในการเผาแต่ละครั้งจะกำหนดอัตราส่วนของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศหุดยุมิต่ออัตราการไหลของอากาศทั้งหมด, λ , เท่ากับ 0, 0.2 และ 0.4 จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการออกแบบและข้อสังเกตจากการทดลองพบว่า สามารถติดเตาเผาแบบวอร์เทคได้ง่าย และสามารถทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง มีอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูง โดยไม่ใช่เชื้อเพลิงอื่นช่วยในการเผาไหม้นอกเสียจากการขั้นตอนการอุ่นเตา โดยการอุ่นเตาจะใช้แก๊สเชื้อเพลิงเหลวเพื่อช่วยให้การเผาไหม้ให้เกิดขึ้นได้เองและต่อเนื่อง (Spontaneous Combustion) และเกิดการเผาไหม้แกลบได้อย่างหมดจดทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย เนื่องจากท่อทิ้งถ้ำลอยอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของเตาเผา ซึ่งทำให้เชื้อเพลิงแกลบที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถหลุดออกมาจากท่อทิ้งถ้ำลอยได้จนกว่าจะถูกเผาไหม้จนหมดทำให้ได้ถ้ำที่มีขนาดเล็กจึงจะสามารถหลุดออกมาได้

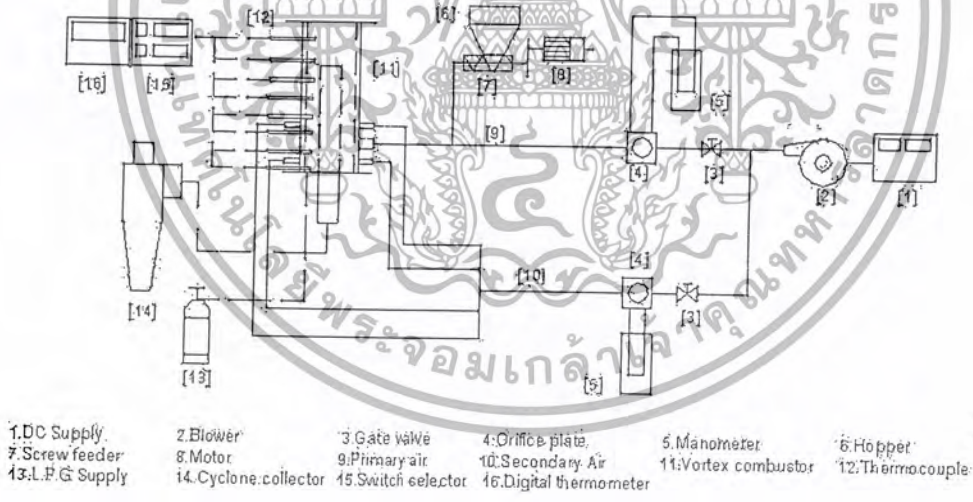
2. ศึกษาถึงอัตราส่วนสมมูล (Equivalence Ratio, Φ) ที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ จากการ

คำนวณพบว่าอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงแกลบทางทฤษฎีเท่ากับ 4.850 : 1 โดยน้ำหนัก (ซึ่งงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต)

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลางภายนอกเท่ากับ 75 มิลลิเมตร มีความหนา 3 มิลลิเมตร ความสูง 1,100 มิลลิเมตร ส่วนประกอบเป็น
 ตัวเตามีความสูงทั้งสิ้น 1,200 มิลลิเมตร และมีการติดตั้งตำแหน่งท่อฉีดอากาศไว้ในแนวสัมผัสรอบๆผนัง
 เตาเผา เพื่อทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศภายใน ขนาดของเตาเผาส่วนบนและส่วนล่าง ถูกออกแบบให้
 สามารถปรับเปลี่ยนขนาดจาก 1.0D เป็น 0.75D และ 0.5D ตามที่มีการออกแบบไว้ ส่วนตำแหน่งในการวัด
 อุณหภูมิกำหนดไว้ที่ตำแหน่งความสูงของตัวเตา $x = 0.075 \text{ m}, 0.225 \text{ m}, 0.375 \text{ m}, 0.525 \text{ m}, 0.675 \text{ m}$ และ
 ที่ตำแหน่ง $r/R = 0.00, 0.25, 0.44, 0.63, 0.82$ และ 1.00 ตามลำดับ การเปลี่ยนขนาดเตาส่วนบนและส่วน
 ล่างนี้ ก่อให้เกิดการหมุนวนหลายชั้นภายในเตาเผาใหม่ โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของการกระจาย
 อุณหภูมิสูงสุดภายในเตา เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าอัตราส่วนสมมูล (Φ) เท่ากับ 0.8, 1.0 และ 1.2 โดยแต่
 ละการทดลองจะกำหนดอัตราส่วนของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศหตุยภูมิต่ออัตราการไหลของ
 อากาศทั้งหมด (λ) เท่ากับ 0.0, 0.15 และ 0.25 ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงแกลบคงที่เท่ากับ 0.3 kg/min
 จากทดลอง เตาเผาส่วนบนและส่วนล่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.5D และ 1.0D ตามลำดับ ที่ค่า Φ
 เท่ากับ 0.8 และที่ค่า λ เท่ากับ 0.0 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดภายในเตาเท่ากับ 1,192.9 องศาเซลเซียส ที่บริเวณ
 วงแหวนของห้องเผาไหม้ โดยฉนวนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้มีปริมาณน้อย และ จากการวิเคราะห์ก๊าซไอ
 เสี่ยงของเตาเผาออร์เทค พบว่า ก๊าซออกซิเจน เท่ากับ 1.5% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 18.3% และ
 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับ 205 ppm.



รูปที่ 2.2 แสดงอุปกรณ์การทดลองของเตาแบบออร์เทคของ วิศิษฐ์ ติลาผาดิกุล[5]

2.2.3 งานวิจัยของ สมศักดิ์ โพธิ์ถวิลเกียรติ[6] นำเสนอการศึกษาทดลองถึงพฤติกรรมการเผา
 ไหม้ของขนาดเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาแกลบในเตาเผาแบบออร์เทคและการกระจายอุณหภูมิภายในห้อง
 เตาเผาไหม้ ซึ่งขนาดเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้ในการทดลองมีสองขนาดอยู่ในช่วง 0.84-1.00 และ 1.19-1.41 มม.
 การทดลองปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 0.3 kg/min สำหรับแต่ละขนาดของเชื้อเพลิง
 แกลบ ส่วนค่าอัตราส่วนสมมูล (Φ) เท่ากับ 0.8, 0.9, 1.0, 1.1 และ 1.2 อัตราส่วนการไหลต่ออากาศหตุยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนและงานวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำ
 ไปทำกำไรใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ออากาศทั้งหมด (λ) เท่ากับ 0.2, 0.3 และ 0.4 ซึ่งลักษณะเตาเผาออร์เทคเป็นท่อรูปทรงกระบอก 2 ชั้นผนังห้องเผาไหม้ชั้นนอกประกอบด้วยเหล็ก และผนังห้องเผาไหม้ด้านในทำจากอิฐทนไฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยทำการวัดการกระจายอุณหภูมิภายในเตาทั้งสิ้น 7 ตำแหน่งตามแนวแกน ที่ตำแหน่ง $x = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6$ และ 0.7 เมตร และ 5 ตำแหน่งตามแนวรัศมีที่ $r = 0.055, 0.065, 0.075, 0.085$ และ 0.095 เมตร

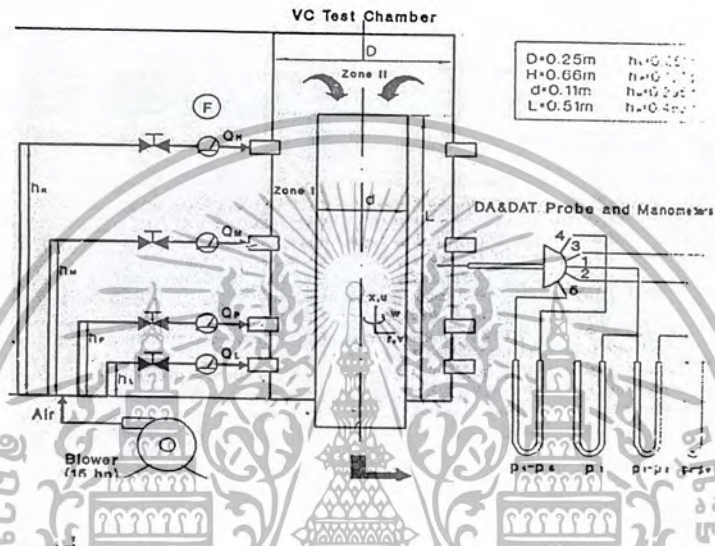
จากการทดลองพบว่า อิทธิพลของค่าอัตราส่วนสมมูล ในช่วง 0.9-1.0 ให้ลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอทั่วทั้งเตาเผาในแนวรัศมี อุณหภูมิภายในเตาเผามีค่าสูงสุดประมาณ 1000°C สำหรับอิทธิพลของปริมาตรอัตราการไหลของอากาศทุกชนิดต่ออากาศทั้งหมดที่ค่า $\lambda = 0.3$ จะให้อุณหภูมิภายในเตาเผาสูงสุด แต่ในช่วง $\Phi \leq 1$ จะไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา ในส่วนอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบ เมื่อนำลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผามาเปรียบเทียบกับ พบว่าช่วง Φ เท่ากับ 0.9-1.0 ขนาดของเชื้อเพลิงแกลบ 0.84-1.00 และ 1.19-1.41 มม. จะมีการกระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอ อุณหภูมิภายในเตาเผาที่ขนาดของเชื้อเพลิงแกลบ 0.84-1.00 มม. มีอุณหภูมิสูงกว่าที่ขนาดเชื้อเพลิงแกลบ 1.19-1.41 มม. เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ค่าเชื้อเพลิงแกลบขนาด 0.84-1.00 มม. จะสิ้นเปลืองในการเตรียมเชื้อเพลิงสูง ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงความสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการลดขนาดของเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็กลง

2.2.4 งานวิจัยของ ศุภชัย เลื่อนลอย[7] ได้ทำการศึกษาของอุณหภูมิลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบที่มีความชื้นภายในเตาเผาแบบวอร์เทค ระดับความชื้นของแกลบจำนวน 3 ค่า ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ 9.2%, 12% และ 15% โดยนำหนัก การทดลองทำการกำหนดค่าอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.3 kg/min โดยตลอด อัตราการไหลโดยมวลของอากาศจะปรับให้มีค่าอัตราส่วนสมมูล (Φ) เท่ากับ 0.8, 0.9, 1.0, 1.1 และ 1.2 สำหรับแต่ละอัตราการไหล ที่แต่ละอัตราส่วนสมมูลจะกำหนดสัดส่วนอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุกชนิดต่ออากาศทั้งหมด (อากาศปฐมภูมิ+อากาศทุติยภูมิ), (λ) เท่ากับ 0.2, 0.3 และ 0.4 เพื่อตรวจสอบอิทธิพลจากค่า λ ในการทดลองนี้เราจะทำการทดลองกับเชื้อเพลิงแกลบละเอียดซึ่งมีขนาดเท่ากับ 0.84-1.00 มม.

ซึ่งการทดลองสามารถสรุปผลได้ว่าการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค ที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.9-1.0 ให้การกระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอและมีค่าสูง สำหรับค่าปริมาณความชื้นในเชื้อเพลิงแกลบที่ 9.2 % จะให้การกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้มีค่าสูงสุดประมาณ 1000°C และหากความชื้นเชื้อเพลิงแกลบสูงเกินกว่า 15% จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่ต่อเนื่องเพราะจะทำให้เกิดการดับซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ต่ำกว่าจุดติดไฟได้เองของเชื้อเพลิงแกลบ ส่วนผลของอากาศทุติยภูมิที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่ λ เท่ากับ 0.3 จะให้การกระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอและมีค่าสูงที่สุด แต่ผลของอากาศทุติยภูมินี้จะไม่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เมื่ออัตราส่วนสมมูล < 1.0 แต่จะมีผลในการช่วยลดขนาดของขี้เถ้าลอยที่ออกจากห้องเผาไหม้ ดังนั้นในการนำเชื้อเพลิงแกลบที่มีความชื้นมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเราจะต้องทำการลดปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในแกลบให้มีค่าที่ต่ำ เพื่อลดปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปในการไล่ความชื้นและจะทำให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงขึ้นอีกด้วย ซึ่งส่งผล

เอกสารนี้เขียนโดยผู้วิจัยที่ส่งมอบไปสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 Jian Zhang and Sen Nieh[8] ศึกษาการจำลองทางระเบียบวิธีการเชิงตัวเลขซึ่งเป็นผลกระทบของท่อแกนกลาง และ อากาศเข้าหลายช่องทาง ในเตาเผาแบบวอร์เทค โดยเปรียบเทียบค่าจากการทดลองจริงกับเตาเผาแบบวอร์เทค ขนาด I.D. 25 เซนติเมตร และ สูง 66 เซนติเมตร ท่อแกนกลาง I.D. 11 เซนติเมตร และ O.D. 13 เซนติเมตร ทำการขยับความสูงของท่อแกนกลาง 3 ค่า คือ 5, 30 และ 45 เซนติเมตร วัดจากด้านล่าง



รูปที่ 2.3 แสดง Bench scale VC cold flow test ของ Jian Zhang and Sen Nieh

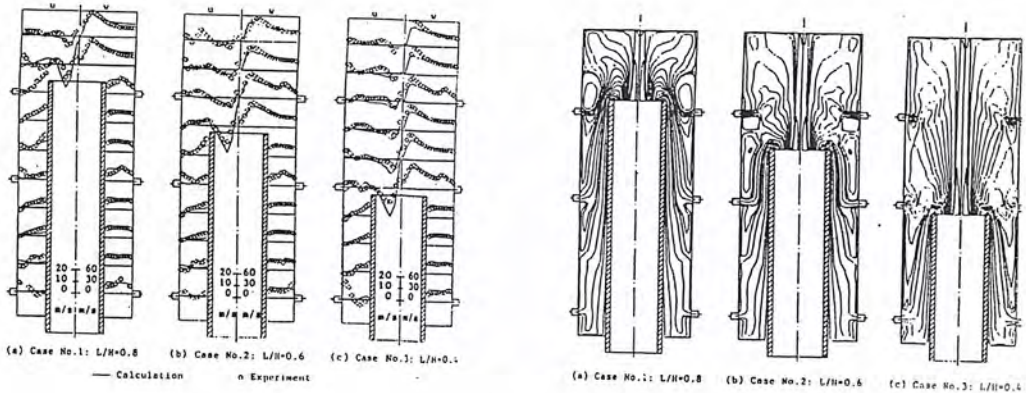
ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ผลกระทบของท่อแกนกลาง และ ผลกระทบของอากาศเข้าหลายช่องทาง

1. ผลกระทบของท่อแกนกลาง

- ท่อแกนกลางแบ่งการไหลภายในเตาออกเป็น 2 ช่วง คือ พื้นที่ด้านข้างของท่อแกนกลาง (ZONE1)

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

- การเปลี่ยนแปลงของความสูงของท่อแกนกลาง ส่งผลกระทบการไหลโดยจะทำให้เกิด short-circulating ของการไหล ซึ่งจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดความสูงของท่อแกนกลาง ซึ่งจะทำให้ส่วนที่ยังไม่เผาไหม้หลุดออกไปก่อน จากรูปที่ 2.4(b) จะเห็นได้ว่าความสูงของท่อแกนกลางมีความสูงกว่าท่ออากาศเข้า

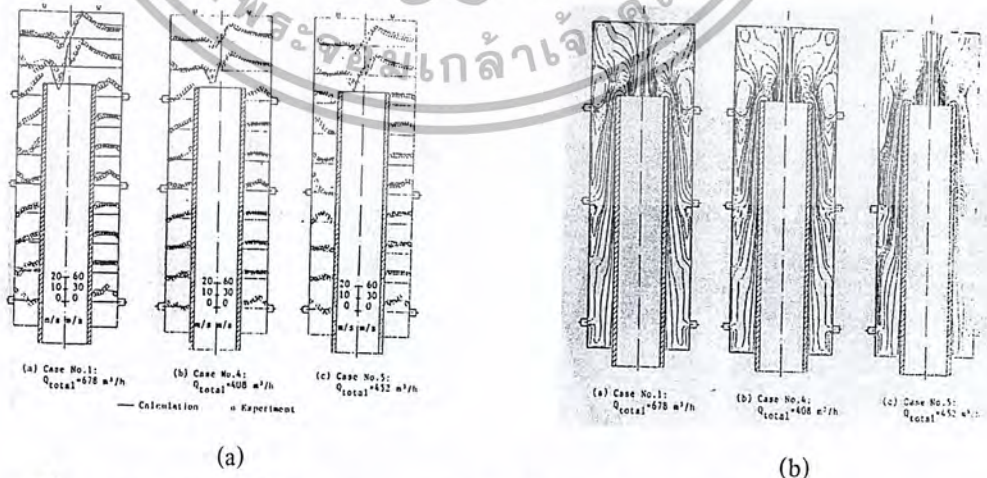


(a) (b)
รูปที่ 2.4 (a) แสดงความเร็วในแนวแกน และแนวสัมผัส (b) แสดงเส้น steam line

เพราะ แก๊สจาก ZONE 1 จะออกตรงสู่ท่อแกนกลางได้รวดเร็ว และความสูงของท่อแกนกลางช่วยให้มีความแข็งแรงของการไหลแบบปั่นป่วนมากขึ้นใน ZONE 2

- ผลกระทบท่อแกนกลางต่อ Pressure drop มีผลกระทบเล็กน้อยในช่วง $L/H = 0.4-0.8$ แต่จะมีผลมากขึ้นเมื่อ เข้าใกล้ $L/H = 0.4$
- ผลกระทบท่อแกนกลางต่อการกระจายของ Turbulence kinetic energy ที่ $r/R = 0.8$ จะพบค่าจุดที่ใกล้กับช่องอากาศเข้า $x/H = 0.73$ จะเกิดผลต่างของ Turbulence kinetic energy สำหรับ $L/H = 0.4, 0.6$ ดังนั้นความสูงของท่อแกนกลางควรมีความสูงกว่าท่ออากาศเข้าเพื่อความแข็งแรงของการไหลแบบปั่นป่วนที่ ZONE 2

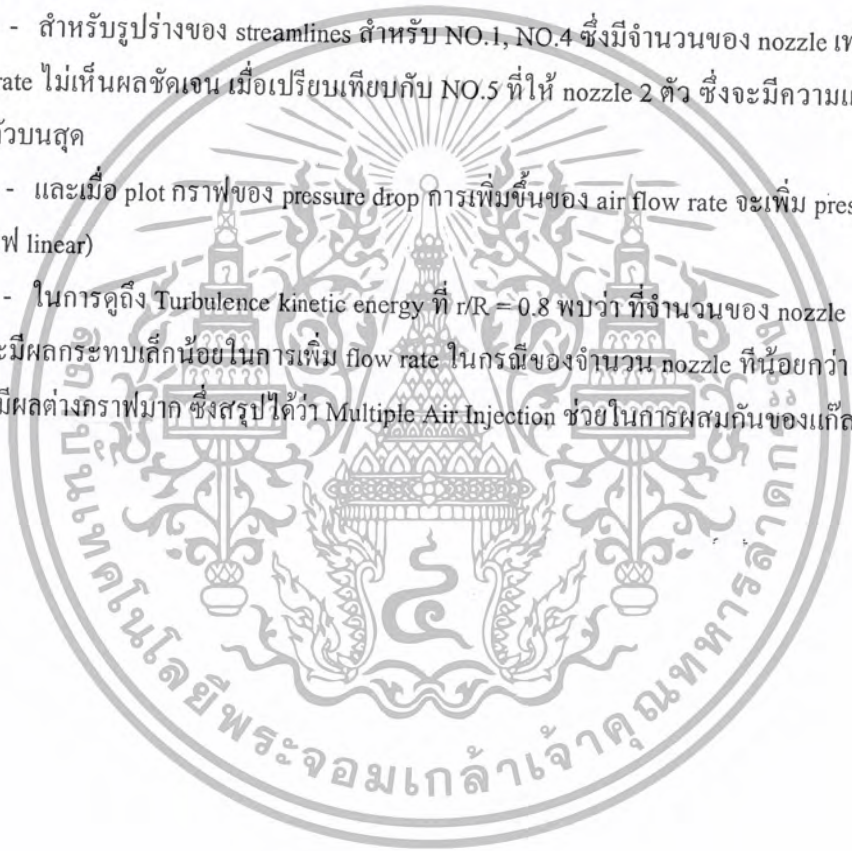
2. ผลกระทบของ Multiple Air Injection



(a) (b)
รูปที่ 2.5 (a) แสดงความเร็วในแนวแกนและ ความเร็วสัมผัส (b)แสดงเส้น steam line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเพิ่มขึ้นของปริมาณการไหล (flow rate) ของอากาศโดยจำนวนหัวฉีดอากาศ (nozzle) คงที่ (อากาศที่แต่ละ nozzle ไม่เท่ากัน NO.1, Case NO. 4) เป็นการเพิ่มทั้งความเร็วตามแนวแกน และ ความเร็วตามแกนสัมผัส ซึ่งในกรณีความเร็วในแนวแกนจะลดเวลาในการเผาไหม้ (residence time) แต่กรณีความเร็วตามแนวสัมผัสเพิ่มขึ้นจะช่วยให้เวลาการเผาไหม้เพิ่มขึ้น
- การเพิ่มของจำนวน nozzle แต่ flow rate คงที่ ช่วยให้ความเร็วทั้งสองแนวแกนเพิ่มขึ้น ช่วยให้เกิดการหมุนวนที่คงที่
- จำนวนของ nozzle ต่างกันแต่ flow rate รวมใกล้เคียงกันของ case NO. 4 และ case NO.5 จะเห็นว่า ความเร็วในแนวสัมผัสของ NO.4 มีค่ามากกว่า NO.5 ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการช่วยทำให้การหมุนวนแข็งแกร่งขึ้นในเตาเผา
- สำหรับรูปร่างของ streamlines สำหรับ NO.1, NO.4 ซึ่งมีจำนวนของ nozzle เท่ากันแต่ต่างกันที่ flow rate ไม่เห็นผลชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับ NO.5 ที่ให้ nozzle 2 ตัว ซึ่งจะมีความแตกต่างบริเวณ nozzle ด้วนที่สุด
- และเมื่อ plot กราฟของ pressure drop การเพิ่มขึ้นของ air flow rate จะเพิ่ม pressure drop ด้วย (เป็นกราฟ linear)
- ในการดูถึง Turbulence kinetic energy ที่ $r/R = 0.8$ พบว่า ที่จำนวนของ nozzle เท่ากัน (NO.1, NO.4) จะมีผลกระทบเล็กน้อยในการเพิ่ม flow rate ในกรณีของจำนวน nozzle ที่น้อยกว่า (NO.1, NO.5) พบว่าจะมีผลต่างกราฟมาก ซึ่งสรุปได้ว่า Multiple Air Injection ช่วยในการผสมกันของแก๊สได้ดีมาก



บทที่ 3 ทฤษฎี

การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งนั้นมีความยุ่งยากซับซ้อนกว่าเชื้อเพลิงก๊าซและของเหลวมาก เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของออกซิเจนกับคาร์บอนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงจะต้องอาศัยพื้นผิวใหม่ของเชื้อเพลิงในการให้ออกซิเจนไปจับตัวกับคาร์บอนส่วนที่เหลือในเชื้อเพลิงเพื่อเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ต่อเนื่องจนกระทั่งเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาถึงทฤษฎีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งและตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

3.1 พลังงานจากชีวมวล

การจำแนกพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ได้ 2 แหล่งคือ พลังงานฟอสซิล ซึ่งฟอสซิล หมายถึงซากพืชซากสัตว์ที่ทับถมจมอยู่ใต้ดินเป็นเวลานานหลายพันปี แรงอัดของเปลือกโลกและความร้อนใต้ผิวโลกทำให้มันเปลี่ยนสภาพไปเป็นสารเชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นทั้งของแข็ง ของเหลว และ ก๊าซ ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน และ ก๊าซธรรมชาติ ตามลำดับ และ พลังงานจากชีวมวล ซึ่งชีวมวล หมายถึงสิ่งที่ได้จากสิ่งมีชีวิต หรือองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต หรือสารอินทรีย์ต่างๆ พลังงานจากชีวมวลจึงเป็นพลังงานที่ได้จากพืชและสัตว์ โดยขบวนการเปลี่ยนแปลงความร้อนทางเคมีหรือขบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยอาศัยจุลินทรีย์

3.2 การใช้พลังงานจากชีวมวล

เราสามารถเลือกใช้พลังงานชีวมวลได้หลายแบบตามความเหมาะสมดังนี้

3.2.1 การเผาไหม้โดยตรง (direct combustion)

การเผาไหม้โดยตรงเป็นขบวนการที่เกิดการสันดาปอย่างสมบูรณ์ สารอินทรีย์จากชีวมวลจะถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เช่นการใช้ไม้ฟืนในการหุงต้มอาหารในชีวิตประจำวัน นอกจากนี้ยังนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตไม้อัดและกระดาษได้อีกด้วย

3.2.2 ขบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis)

ขบวนการไพโรไลซิสเป็นขบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพของสารอินทรีย์โดยการให้ความร้อนแก่สารในที่มีอากาศจำกัด สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบประเภทชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงในรูปของก๊าซของเหลว และของแข็ง ซึ่งเป็นขบวนการทางเคมี ปฏิกิริยาของการไพโรไลซิสคือปฏิกิริยาที่ทำให้สารประเภทลิกโนเซลลูโลส (ligno-cellulose) สลายตัวไปอยู่ในสภาพของถ่านและน้ำมัน โดยใช้ความร้อนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแล้วก็จะเกิดต่อเนื่องกันไป ความร้อนที่ใช้ในขบวนการอาจได้จากการเผาวัตถุดิบส่วนหนึ่ง ปริมาณและคุณภาพของก๊าซ น้ำมัน และถ่านที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของเตา คุณสมบัติของวัตถุดิบ ความชื้นของวัตถุดิบและอุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยา โดยทั่วไปแล้วถ้าให้อากาศเข้ามาจะทำให้อุณหภูมิของขบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

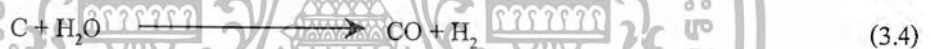
สูง สักส่วนของก๊าซที่ได้จะสูง ถ้าให้อากาศเข้าน้อยอุณหภูมิของขบวนการจะต่ำ ทำให้ผลที่ได้จากขบวนการมีน้ำมันและถ่านมากขึ้น ในประเทศที่กำลังพัฒนาจะเก็บผลผลิตมาใช้เพียงแค่ถ่านเท่านั้น

3.2.3 ขบวนการก๊าซซิฟิเคชัน (gasification)

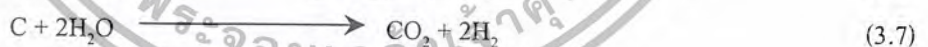
ขบวนการก๊าซซิฟิเคชันเป็นขบวนการที่เปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งเช่น ถ่านและไม้ ไปเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในสภาพก๊าซ เรียกว่า ก๊าซชีวมวล (producer gas) ก๊าซที่ได้นี้อาจจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แบบการสันดาปภายในหรือใช้ในขบวนการให้ความร้อนต่างๆ ได้ การเกิดก๊าซชีวมวลในเตาผลิตก๊าซเป็นขบวนการทางเคมี การสันดาปจะเกิดขึ้นระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ ปฏิกริยาระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจนกับออกซิเจนในอากาศจะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำดังนี้



ถ้าให้คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำไหลผ่านเชื้อเพลิงที่กำลังลุกไหม้อยู่ คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำจะทำปฏิกิริยาได้คาร์บอนมอนนอกไซด์และไฮโดรเจนดังนี้



นอกจากปฏิกิริยา (3.3) และ (3.4) แล้วปฏิกิริยาดังต่อไปนี้ อาจเกิดขึ้นได้



ส่วนผสมของก๊าซชีวมวลจะไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง ซึ่งก๊าซที่ลุกไหม้ได้ในก๊าซชีวมวลก็คือ คาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรเจน และ มีเทน ซึ่งในหลักการควรทำให้มีมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ ปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์ในก๊าซจะขึ้นอยู่กับเวลาที่คาร์บอนไดออกไซด์จะเปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์มากแค่ไหน ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเร็วระหว่างก๊าซกับถ่านและพื้นที่ที่ก๊าซสัมผัสกับถ่าน ถ้าต้องการให้คาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ทั้งหมด อุณหภูมิจะต้องสูงเกิน $1,100^\circ\text{C}$ ถ้าเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นถ่าน ปฏิกิริยา (3.3) จะเป็นปฏิกิริยาเดียว ซึ่งได้ส่วนประกอบของก๊าซส่วนใหญ่ก็คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ แต่ถ้ามีไอน้ำผสมอยู่ด้วยก็จะมีไฮโดรเจนและมีเทนเกิด

ตามปฏิกิริยา (3.4), (3.5), (3.6), (3.7) และ (3.8) ปฏิกิริยาที่ (3.4) มีความสำคัญมากเช่นกัน เพราะทำให้ส่วนผสมของไฮโดรเจนในก๊าซมีมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ก๊าซมีค่าพลังงานความร้อนสูงขึ้น ดังนั้น จึงได้มี

การฉีดน้ำเข้าไปในเตาผลิตก๊าซเพื่อช่วยในให้เกิดไฮโดรเจนมากที่สุด แต่ถ้าน้ำมีเกินไปอาจทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนตามปฏิกิริยา (3.8) ซึ่งทำให้ส่วนประกอบของคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง หากเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสด เช่น ไม้หรือชีวมวลชนิดอื่นๆ ก็ไม่จำเป็นต้องฉีดน้ำเพราะมีน้ำผสมอยู่กับเชื้อเพลิงมากพอแล้ว

3.2.4 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 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง ได้จึงขึ้นอยู่กับก๊าซมีเทน ก๊าซชีวภาพจุดไฟติดในบรรยากาศที่อุณหภูมิและความดันปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับถ่าน ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร จะให้ความร้อนเทียบเท่ากับถ่านไม้ชนิด 0.74 กิโลกรัม

3.2.5 แอลกอฮอล์ (alcohol)

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

3.2.6 การใช้น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์ดีเซล

ความพยายามในการค้นหาพลังงานอื่นมาทดแทนน้ำมันเช่น การใช้แอลกอฮอล์และก๊าซชีววมวลกับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ลม น้ำ ตลอดจนก๊าซชีวภาพ เป็นต้น นับได้ว่าก้าวหน้าพอสมควร แต่สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลยังพลังงานทดแทนที่มีราคาถูกพอสมควรไม่ได้ อย่างไรก็ตาม ได้มีการทดลองนำก๊าซชีวภาพมาทดลองเติมเครื่องยนต์ร่วมกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ผลปรากฏว่าเครื่องยนต์เดินได้ดีและประหยัดน้ำมันดีเซลได้อีกด้วยจึงได้ทดลองเอาน้ำมันพืชหลายชนิดรวมกับก๊าซชีวภาพแล้วใช้เติมในเครื่องยนต์ ปรากฏว่าเป็นไปได้แต่มีปัญหาในเรื่องมียางเหนียวติดลูกสูบและชิ้นส่วนอื่นๆ ของเครื่องยนต์ จึงได้พยายามคิดค้นหาน้ำมันพืชชนิดใหม่จนพบว่าน้ำมันจากเมล็ดพืชชนิดหนึ่งซึ่งมีชื่อเรียกต่างๆ กันออกไปสามารถเดินเครื่องยนต์ดีเซลได้ดี พืชชนิดนี้ภาคกลางเรียกว่า ต้นสบู่ดำ (physic nut หรือ purging nut)

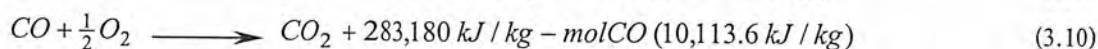
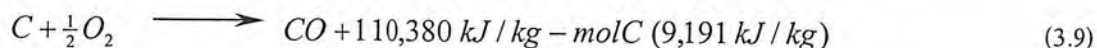
3.3 ทฤษฎีการเผาไหม้

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ (combustion reaction) หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับสารเผาไหม้ได้ (combustible element) ของเชื้อเพลิงชนิดหนึ่ง ๆ สารเผาไหม้ได้ในที่นี้มีธาตุหลัก 3 ตัว คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน สำหรับกำมะถันขณะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน

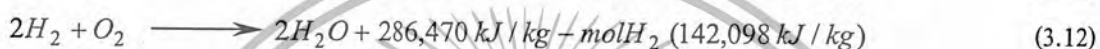
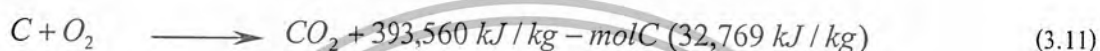
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะให้ความร้อนไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับคาร์บอนและไฮโดรเจน ในทางตรงกันข้ามกลับเพิ่มปัญหา
ในด้านการกักความร้อนขึ้นส่วนหรืออุปกรณ์ รวมทั้งทำให้เกิดปัญหามลพิษในอากาศ

สำหรับการเผาไหม้ของคาร์บอนกับออกซิเจนนั้น เขียนเป็นสมการได้ดังนี้



เราสามารถเขียนสมการการเผาไหม้รวมได้เป็น



ซึ่งจะพบว่าปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน โดยปลดปล่อยความร้อนออกมาด้วยหลังจาก
เกิดปฏิกิริยาเป็นสารประกอบใหม่คั้งนั้นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต้องอาศัยปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ คือ
กฎ 3T's (Time, Turbulence and Temperature)

ถ้าอากาศไหลผ่าน (มีกระแสลมแรง) แต่ไม่มีเวลาเพียงพอที่จะผสมกับเชื้อเพลิง ไม่มีการปั่นป่วน
เพื่อให้มวลของแก๊สเชื้อเพลิงและอากาศสัมผัสกัน และมีบางบริเวณที่อุณหภูมิไม่สูงพอ การเผาไหม้ที่
สมบูรณ์ไม่อาจเกิดขึ้นได้ การจัดให้มีองค์ประกอบที่เหมาะสมทั้งสามประการขึ้นอยู่กับการป้อนอากาศ
และปริมาณอากาศ

การป้อนอากาศ แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ อากาศส่วนแรก และอากาศส่วนที่สอง อากาศส่วน
แรก (primary air) คือ ส่วนที่ป้อนเข้ามาพร้อมกับเชื้อเพลิงหรือส่วนที่สัมผัสกับเชื้อเพลิงก่อนอากาศส่วนที่
สอง (secondary air) คือ ส่วนที่ป้อนเข้ามาสัมผัสกับเชื้อเพลิงหรือผลผลิตจากการไพโรไลส์หรือการเผา
ไหม้เชื้อเพลิงในระยะถัดไป ตัวอย่างเช่น การเผาไหม้บนตะแกรงเตา อากาศที่ป้อนผ่านตะแกรงเตาขึ้นมาคือ
อากาศส่วนแรก ส่วนที่ป้อนเข้ามาเหนือตะแกรงเตา เพื่อทำปฏิกิริยากับสารระเหยได้และควันที่เกิดขึ้นคือ
อากาศส่วนที่สอง

สัดส่วนและปริมาณการป้อนอากาศส่วนแรกและอากาศส่วนที่สองมีความสำคัญมาก และมีผล
เป็นอย่างมากต่อการเกิดควันและความสมบูรณ์ของปฏิกิริยา ซึ่งขึ้นอยู่กับเชื้อเพลิงที่ใช้ อัตราการเผาไหม้
ระบบการเผาไหม้ที่ใช้ และรูปแบบการไหลของแก๊สผ่านระบบด้วย

3.3.1 การผสม

การรวมตัวที่กระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจน ก็คือ การที่อนุภาคของเชื้อเพลิงสัมผัสกับโมเลกุล
ของออกซิเจนได้อย่างทั่วถึง ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นก๊าซ การผสมกันนั้นจะเป็นไปได้ง่าย แต่ถ้าเชื้อเพลิง
เป็นของแข็งหรือของเหลว การผสมกันนั้นก็ยุ่งยากมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นของเหลว ส่วนใหญ่ก็จะมีการทำให้เป็นอนุภาคเล็ก ๆ ก่อนหรือเป็นฝอย แล้วจึงจะทำการเผาไหม้ซึ่งจะทำให้รวมตัวได้ง่ายกับอากาศและเกิดการลุกไหม้ได้ดี เหมือนเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ

ส่วนเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งนั้น แต่ละโมเลกุลของออกซิเจนจะสัมผัสกับพื้นผิวของเชื้อเพลิง เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซที่ติดไฟได้พร้อมกับได้ความร้อนออกมา ส่วนหนึ่ง จากนั้นออกซิเจนจะเข้าไปผสมกับคาร์บอนมอนนอกไซด์ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ คือ เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ในที่สุดซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่ติดไฟได้เองแล้วพร้อมกับได้ความร้อนออกมาด้วย

ฉะนั้นกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งนั้นจะประกอบด้วยพฤติกรรม 4 ขั้นตอน คือ

1. เริ่มต้นด้วยออกซิเจนสัมผัสกับพื้นผิวของเชื้อเพลิงที่เป็นคาร์บอน
2. เกิดการรวมตัวของคาร์บอนกับออกซิเจนกลายเป็นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ออกมาพร้อมกับความร้อน
3. มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ได้จากการเผาไหม้ออกจากผิวของเชื้อเพลิง
4. มีการรวมตัวกันของคาร์บอนมอนนอกไซด์กับออกซิเจนอีกครั้งจนกระทั่งกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ดังนั้นจะกล่าวได้ว่า อัตราการเผาไหม้นั้นขึ้นอยู่กับสาเหตุที่กล่าวมาแล้ว และสามารถเร่งปฏิกิริยาการเกิดได้โดยการบดเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งให้เป็นผงซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสให้มากขึ้น

3.3.2 การติดไฟหรือการลุกไหม้

การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงหรืออัตราการรวมตัวกันทางเคมีของเชื้อเพลิงกับอากาศนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ การเผาไหม้จะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในตอนแรกและเกิดต่อไปเรื่อย ๆ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ก็จะไปเพิ่มอุณหภูมิของเชื้อเพลิงและอากาศให้มากขึ้น ทำให้อัตราการเผาไหม้เพิ่มขึ้นด้วย ฉะนั้นสิ่งที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้แบบเกิดขึ้นได้เอง (spontaneous combustion) นั้นต้องมี

1. บริเวณที่จำกัดสำหรับการสะสมความร้อน
2. สารเชื้อเพลิง
3. อากาศ

การลุกไหม้นั้นไม่ได้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เองส่วนใหญ่จะใช้ปริมาณความร้อนจากภายนอกช่วยเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ และให้ปริมาณความร้อนออกมามากขึ้น นอกจากนั้นสิ่งที่สำคัญสำหรับการเผาไหม้แบบต่อเนื่องก็คือ อุณหภูมิ ซึ่งถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปก็ทำให้เชื้อเพลิงไม่สามารถลุกไหม้แบบต่อเนื่องได้ แต่ถ้าอุณหภูมิของการเผาไหม้สูง การลุกไหม้ก็จะเกิดต่อไปได้เรื่อย ๆ

ดังนั้นการติดไฟหรือการลุกไหม้นั้นขึ้นอยู่กับหลายสิ่ง เช่น ชนิดของสารเชื้อเพลิง , สถานะของเชื้อเพลิง และอัตราส่วนของเชื้อเพลิงกับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 รูปแบบของเตาเผาที่ใช้กับเชื้อเพลิงแข็ง

3.4.1 เตาแบบตะกรับ

เตาชนิดนี้ในปัจจุบันใช้กันอยู่ในโรงสีข้าว โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ตะกรับที่ใช้มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ

1. แบบเรียบ (Flat grate)
2. แบบขั้นบันไดเอียงเป็นมุม (Inclined step grate)

เตาแบบนี้เชื้อเพลิงจะไหลลงบนตะกรับเอียงเป็นขั้นบันไดและเกิดการเผาไหม้โดยการเผาภายในเตา ซึ่งเป็นการก่อก่อโดยใช้เชื้อและขี้เถ้าจะไหลลงสู่ด้านล่างของตะกรับ

ข้อดี

1. ราคาถูก
2. โครงสร้างไม่ซับซ้อน
3. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานถูก

ข้อเสีย

1. ประสิทธิภาพต่ำ
2. เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ไม่หมด
3. ต้องใช้คนเขี่ยขี้เถ้าออกจากเตา

3.4.2 เตาเผาไซโคลน (Cyclone Furnaces)

การเผาไหม้ในเตาไซโคลน นำมาใช้ในราวปลายคริสต์ทศวรรษที่ 1930 นับเป็นระบบเผาไหม้ถ่านหินระบบที่สามที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา เตาเผาไซโคลนได้รับการออกแบบจากแนวคิดที่ต้องการให้ใช้ได้กับถ่านหินทุกชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ่านหินเกรดต่ำ จึงเป็นที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน เตาเผาลักษณะนี้เผาถ่านหินที่มีปริมาณขี้เถ้าสูงและอุณหภูมิอ่อนตัวของขี้เถ้าที่ 1425°C หรือต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับระบบถ่านหินผง

ข้อดี

1. ปริมาณฝุ่นขี้เถ้าจากการเผาไหม้น้อย
2. ขนาดของเตามีขนาดเล็ก
3. ราคาการเตรียมเชื้อเพลิงต่ำ

ข้อเสีย

1. ต้องใช้ความดันของพัดลมเป่าลมแรงสูง
2. เกิดการรวมกันของออกไซด์ของไนโตรเจน NO_x เพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นมลภาวะทางอากาศในกระบวนการเผาไหม้

ในปัจจุบันเตาเผาชนิดนี้ถูกนำมาพัฒนาดัดแปลงให้สามารถใช้กับเชื้อเพลิงแข็งชนิดอื่น เช่น แกลบและขี้เลื่อย เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized – Bed Combustor)

เป็นเตาเผาที่มีการนำมาใช้เมื่อไม่นานมานี้ เชื้อเพลิงจะถูกพ่นเข้าไปให้แก่กระจายตลอดช่วง ตะแกรงจ่ายอากาศ อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ถูกเป่าผ่านตะแกรงออกมา โดยมีความเร็วส่งขึ้นเพียงพอที่จะทำให้อนุภาคเชื้อเพลิงไหลแบบของไหล คือ ทำให้อนุภาคลอยขึ้นขณะเผาไหม้ สำหรับคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้จะถูกดักเก็บไว้ในเครื่องแยกไซโคลน (Cyclone Separation) เพื่อส่งกลับให้เกิดการสันดาปอีกครั้งหนึ่ง

ข้อดี

1. สามารถจำกัดกำมะถันจากเชื้อเพลิงระหว่างการสันดาป การจำกัดกำมะถันที่ได้ผล คือ เพิ่มปูนขาวโดยตรงเข้าสู่เตาเผา
2. เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์
3. ประหยัด
4. มีการสันดาปที่อุณหภูมิต่ำ
5. ประหยัดวัสดุก่อสร้าง

ข้อเสีย

1. การป้อนถ่านหินปูนขาวเข้าสู่เบดร่วมกันยังมีปัญหาอยู่

3.4.4 เตาเผาแบบวอร์เทก (Vortex Combustor)

เตาชนิดนี้ได้ถูกพัฒนามาจากเตาเผาแบบไซโคลน (Cyclone Furnaces) มีลักษณะเป็นทรงกระบอก มีช่องอากาศตามแนวสัมผัสเส้นรอบวงที่ผนังของห้องเผาไหม้ การทำงานจะอาศัยอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ อากาศปฐมภูมิและเชื้อเพลิง ซึ่งจะถูกบังคับออกมาจาก Screw Feed เข้ายังห้องเผาไหม้ในแนวสัมผัสกับผิวด้านใน แล้วจะไหลในลักษณะหมุนวนเป็นเกลียว (Helical Motion) ขึ้นสู่ด้านบนของห้องเผาไหม้ ภายใต้อิทธิพลของแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) ของไหลจะวนพาเชื้อเพลิงไปทิศทางเดียวกัน ตามแนวแกนออกสู่ทางออก ซึ่งมีลักษณะเป็นแกนที่อยู่กลางห้องเผาไหม้ ขณะที่เชื้อเพลิงและอากาศผสมกันและตั้งตัวขึ้นสู่ด้านบนจะมีอากาศทุติยภูมิออกจากหัวฉีดที่ฝังไว้ข้างเตา ในตำแหน่งต่าง ๆ ช่วยในการเพิ่มเกลียวและลักษณะจะถี่ขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดผลดี คือ จะช่วยเพิ่มเวลาในการเผาไหม้ (Residence Time) ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ เนื่องจากเกิดการไหลวน (Swirl flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence Flow) ซึ่งอำนวยต่อการคลุกเคล้าของอากาศกับเชื้อเพลิง เตาเผาแบบนี้เพิ่งได้รับการพัฒนาเมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมา

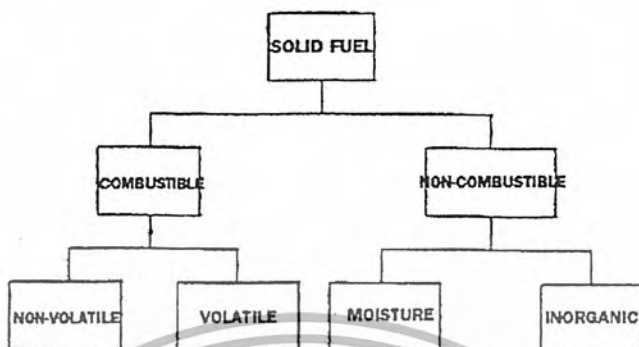
3.5 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

เชื้อเพลิงแข็งที่เราใช้ในปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น ถ่านหิน ฝืน ชี้อ้อย แกลบ ฟางข้าว ชังข้าวโพด เป็นต้น ขบวนการการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง จะมีความแตกต่างไปจากเชื้อเพลิงเหลว และแก๊ส เพราะว่า

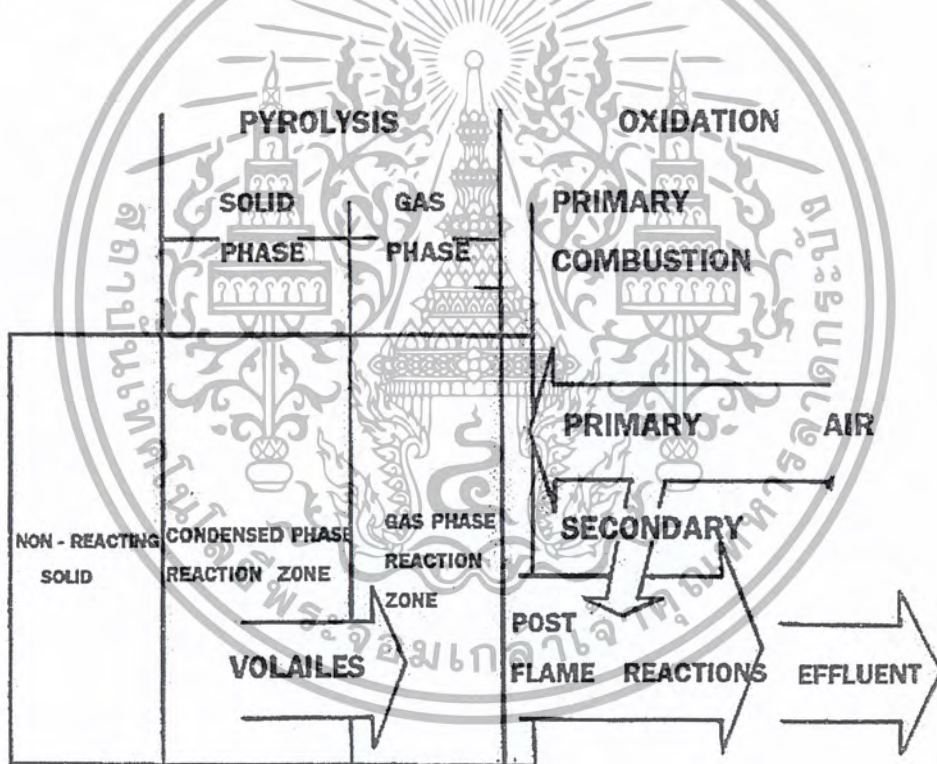
คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแข็ง มักจะเป็นสารประกอบที่มีส่วนผสมของสารต่างๆ ภายในไม่แน่นอน นอกจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งยังขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคเชื้อเพลิงแข็งด้วย เพราะเชื้อเพลิงแข็งประกอบไปด้วยสารประกอบต่างๆ ซึ่งมีทั้งเผาไหม้ได้ และไม่สามารถเผาไหม้ได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง



รูปที่ 3.2 ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

สารที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ เรียกว่า สารเฉื่อย (inert) สารเฉื่อยนี้สามารถเปรียบเทียบกับก๊าซไนโตรเจนในอากาศ ซึ่งจะไม่ช่วยในการเผาไหม้ แต่ในบางครั้งสารเฉื่อยเหล่านี้ก็อาจจะเกิดปฏิกิริยาได้ในบางขบวนการของการเผาไหม้ โดยเฉพาะในขบวนการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงๆ สารเฉื่อยที่อยู่ในเชื้อเพลิงแข็งสามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ ความชื้น และสารประกอบเคมีที่ประกอบขึ้นเป็นขี้เถ้า สารอนินทรีย์เหล่านี้

นี้โดยมากจะเป็นพวกซิลิเกต (silicates) ซัลไฟด์ (sulfides) และเกลือฮาโลเจน (halogen salt) เป็นต้น เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกลักษณ์ที่ตรงกันแต่สำหรับสารเชิงอินทรีย์ที่ต่างกัน เมื่อนำมาเผาไหม้จะเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง สารเหล่านี้จะกลายเป็นขี้เถ้า บางส่วนจะตกในห้องที่เผาไหม้ ส่วนที่มีน้ำหนักเบาจะปลิวไปกับไอเสียที่เรียกว่า เถ้าลอย (fly ash) เชื้อเพลิงแข็งที่สามารถแยกได้เป็นส่วนที่ระเหยได้ (volatile) และส่วนที่ไม่ระเหย (non-volatile) ในส่วนที่ไม่ระเหยนี้ ประกอบด้วยคาร์บอน สารประกอบคาร์บอน C_xH_y โดยที่ค่า x มีค่ามากกว่า y มากๆ หรือเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงนั่นเอง ส่วนสารที่ระเหยได้ในที่นี้ หมายถึง สารประกอบที่ระเหยใช้ในช่วงของการเผาไหม้ ซึ่งจะประกอบไปด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ หลักในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้นดังรูปที่ 3.2

3.5.1 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

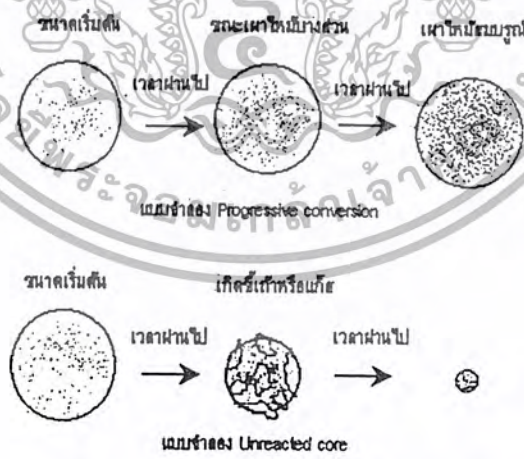
แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. แบบจำลอง Progressive conversion ใช้อธิบายเมื่อในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ขนาดของเชื้อเพลิงไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อทำการเผาไหม้แล้ว ไม่เกิดขี้เถ้าผลิตภัณฑ์ที่ได้คงรูปเดิม เช่น การเผาแอมโมเนียม
2. แบบจำลอง Unreacted core ใช้อธิบายเมื่อทำการเผาไหม้แล้ว ขนาดของเชื้อเพลิงเปลี่ยนไป เช่น ไม้ แกลบ ถ่านหิน เป็นต้น

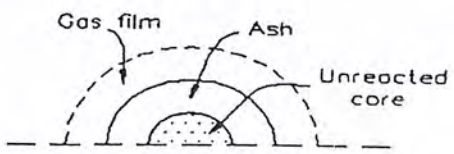
โดยจะมุ่งเน้นศึกษาที่แบบจำลอง Unreacted core ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้อธิบายการเผาไหม้ของแกลบ

3.5.2 แบบจำลอง Unreacted core

ปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเกิดขึ้นครั้งแรกที่ผิวนอกสุดของเชื้อเพลิง หลังจากนั้นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาจะค่อยๆ กินลึกเข้าไปภายใน ทั้งบริเวณที่ได้ทำปฏิกิริยาไปแล้วในสภาพขี้เถ้า ดังนั้นที่เวลาใดๆ ส่วนลึกเข้าไปภายในชั้นเชื้อเพลิง หรือที่เรียกว่า แก่น จะค่อยๆ มีขนาดลดลงในระหว่างการนำปฏิกิริยา

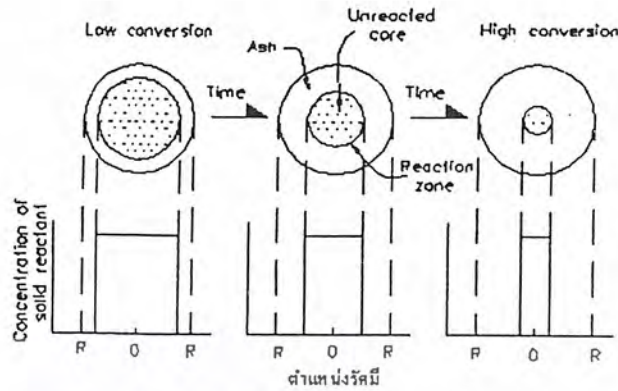


รูปที่ 3.3 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง



รูปที่ 3.4 บริเวณการเกิดการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะทางเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ลักษณะชั้นเชื้อเพลิงระหว่างการเผาไหม้

ปฏิกิริยาของแบบจำลองนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ

1. อากาศแพร่กระจายผ่านชั้นฟิล์มชั้นเชื้อเพลิง
2. อากาศผ่านชั้นเชื้อเพลิงเข้าสู่ผิวของเชื้อเพลิงในส่วนที่ยังไม่ทำปฏิกิริยา
3. เกิดปฏิกิริยาระหว่างอากาศกับผิวของเชื้อเพลิง
4. ผลิตภัณฑ์ในรูปของแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ซึมผ่านชั้นฟิล์มชั้นฟิล์มของแก๊ส
5. ผลิตภัณฑ์แก๊สซึมผ่านชั้นฟิล์มกลับคืนสู่ภายนอกบรรยากาศรอบๆ โดยความต้านทานในแต่ละขั้นตอนอาจจะแตกต่างกันมากขั้นตอนที่มีความต้านทานสูงสุดจะเป็นตัวควบคุมอัตราความเร็วของการเผาไหม้

สิ่งที่มีผลต่ออัตราความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

1. อุณหภูมิ โดยทั่วไปขั้นตอนของปฏิกิริยาเคมีจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
2. เวลาของการแพร่กระจายของอากาศผ่านชั้นฟิล์ม หรือชั้นเชื้อเพลิง
3. ขนาดของเชื้อเพลิง
4. ความต้านทานของชั้นเชื้อเพลิงกับชั้นฟิล์ม โดยปกติความต้านทานของชั้นเชื้อเพลิงจะสูงกว่าชั้นฟิล์มมาก ดังนั้นค่าความต้านทานของชั้นฟิล์มจึงอาจจะตัดทิ้งได้
5. ความต้านทานรวม ซึ่งรวมทั้งความต้านทานของแก๊สฟิล์มชั้นเชื้อเพลิง และปฏิกิริยาการเผาไหม้

3.6 อากาศชื้น

อากาศชื้นเป็นก๊าซอุดมคติที่ประกอบด้วยอากาศแห้งและไอน้ำความดันต่ำ โดยทั่วไปอากาศชื้นมีภาวะการใช้งานที่อุณหภูมิหนึ่งๆซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤตของไอน้ำ จึงทำให้เมื่ออากาศชื้นเปลี่ยนสถานะอาจมีการระเหยหรือการควบแน่นของไอน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องกับผลก็คือจะทำให้เกิดของผสมสองสถานะในการวิเคราะห์ก๊าซผสมอุดมคติที่เป็นอากาศชื้นจะกำหนดข้อสมมติฐานดังต่อไปนี้

1. ขณะเกิดการควบแน่นของไอน้ำความดันต่ำในอากาศชื้น น้ำควบแน่นนั้นจะไม่ละลายก๊าซของค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารประกอบการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในอากาศชื้นเฉพาะสถานะก๊าซเท่านั้นจะสมมติให้เป็นก๊าซผสมอุดมคติ (ในสถานะก๊าซประกอบด้วยอากาศแห้งและไอน้ำความดันต่ำ)
3. ถ้าหากปรากฏอากาศชื้น (สถานะไอ) ร่วมกับสถานะน้ำควบแน่น ภายใต้ความดันและอุณหภูมิหนึ่ง ๆ สมดุลเฟสระหว่างเฟสไอน้ำกับเฟสน้ำควบแน่นนั้นจะไม่ขึ้นอยู่กับอากาศแห้งที่ประกอบรวม ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ภายใต้สมดุลเฟสระหว่างอากาศชื้นกับน้ำควบแน่นที่ความดันและอุณหภูมิหนึ่ง ๆ ความดันย่อยของไอน้ำในอากาศชื้นนั้นจะเท่ากับความดันอิ่มตัวที่อุณหภูมิขณะนั้น

3.6.1 อากาศแห้งและอากาศชื้น

อากาศในบรรยากาศนั้นปกติประกอบด้วยอากาศแห้ง (dry air) และไอน้ำความดันต่ำในอากาศหรือบรรยากาศนั้นเรียกว่า อากาศชื้น (atmospheric air) อากาศแห้งมีองค์ประกอบเป็นไนโตรเจน 78.10% , ออกซิเจน 20.95% , อาร์กอน 0.92% โดยโมล และที่เหลือเป็นก๊าซอื่น ๆ การวิเคราะห์ที่อากาศชื้นนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ของผสมที่ซึ่งประกอบด้วยของอากาศแห้งและไอน้ำนั่นเอง องค์ประกอบของอากาศชื้นที่เป็นอากาศแห้งจะมีปริมาณคงที่ ส่วนองค์ประกอบที่เป็นไอน้ำในอากาศชื้นนั้นจะเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับการระเหยตัวของน้ำจากมหาสมุทร แม่น้ำ ลำคลอง ทะเลสาบ รวมถึงจากร่างกายของมนุษย์เข้าสู่บรรยากาศหรือการควบแน่นของไอน้ำออกจากอากาศชื้นนั้น

3.6.2 ความดันย่อยของอากาศและความดันไอ

อากาศชื้นสามารถสมมติให้เป็นก๊าซผสมอุดมคติได้ ดังนั้นความดันของอากาศชื้น (P) ย่อมเท่ากับ ผลบวกของความดันย่อยของอากาศแห้ง (P_a) และความดันไอ (P_v) ซึ่งเขียนเป็นสมการดังนี้

$$P = P_a + P_v \quad (3.14)$$

ความดันย่อยของอากาศแห้ง (P_a) หมายถึงความดันในส่วนที่กระทำโดยโมเลกุลของอากาศแห้งในอากาศชื้นนั้น

ความดันไอ (P_v) หมายถึงความดันในส่วนที่กระทำโดยโมเลกุลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศชื้น ในกรณีที่อากาศชื้นอยู่ในภาวะอิ่มตัวที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง ความดันไอก็คือความดันไ่อิ่มตัวหรือความดันอิ่มตัวที่อุณหภูมินั้น

ภายใต้ภาวะอิ่มตัวของอากาศชื้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า

$$P_v = P_{sat@T} \text{ (ภายใต้ภาวะอิ่มตัว)}$$

3.6.3 อัตราส่วนความชื้น

ปริมาณไอน้ำในอากาศชื้นสามารถกำหนดได้ในหลาย ๆ ลักษณะตามนิยามของอัตราส่วนความชื้น (humidity ratio, ω) หรือความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity, ϕ) ดังนี้

อัตราส่วนความชื้น (ω) หมายถึงมวลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศชื้นต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง มีหน่วยเป็น kg/kg-dry air หรืออาจเรียกว่า ความชื้นสัมบูรณ์หรือความชื้นจำเพาะ

พิจารณาอากาศชื้น ที่ P, T ซึ่งยึดครองปริมาตร V อัตราส่วนความชื้นที่สถานะนี้พิจารณาจากกฎของดาลตันภายใต้ปริมาตร V และอุณหภูมิ T เดียวกับอากาศชื้น (ซึ่งพิจารณาเป็นก๊าซผสมอุดมคติ) นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าอากาศแห้งมีความดันย่อยเท่ากับ P_v ปริมาตรเท่ากับ V และอุณหภูมิเท่ากับ T และไอน้ำมีความดันย่อยเท่ากับ P_v ปริมาตรเท่ากับ V และอุณหภูมิเท่ากับ T ดังนั้น

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v V / R_v T}{P_a V / R_a T} = \frac{P_v R_a}{P_a R_v} \quad (3.15)$$

ในที่นี้ $R_a = 0.2870 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ และ $R_v = 0.46152 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ แทนค่าในสมการ (3.14) จะได้

$$\omega = 0.622 \frac{P_v}{P_a} = \frac{0.622 P_v}{P - P_v} \quad (3.16)$$

โดยที่ P คือ ความดันของอากาศชื้นหรือความดันทั้งหมด

ในที่นี้สำหรับอากาศแห้งนั้นจะไม่มีไอน้ำเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นอัตราส่วนความชื้น $\omega = 0$ หากเพิ่มไอน้ำ (ความชื้น) ให้กับอากาศแห้งนั้นพบว่าอัตราส่วนความชื้นจะเพิ่มขึ้น และถ้าเพิ่มไอน้ำต่อไปจนกระทั่งถึงจุดหนึ่งซึ่งอากาศชื้นนั้นจะไม่สามารถรับไอน้ำได้อีกต่อไป แสดงว่าอากาศได้รับไอน้ำในปริมาณสูงสุดและอิ่มตัว อากาศชื้นที่สภาวะนี้เรียกว่า อากาศอิ่มตัว (saturated air) ซึ่งที่สภาวะอิ่มตัวนี้ ความดันไอก็คือความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิขณะนั้นของอากาศชื้น

3.6.4 ความชื้นสัมพัทธ์

การบ่งบอกปริมาณไอน้ำในอากาศชื้นโดยคำนึงถึงผลต่อความรู้สึกสบายของมนุษย์ในบรรยากาศทั้งนี้ จะเปรียบเทียบปริมาณไอน้ำในอากาศชื้นที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ กับปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศสามารถรับไว้ได้ภายใต้อุณหภูมิเดียวกัน อัตราส่วนที่ได้นี้เรียกว่าความชื้นสัมพัทธ์ (ϕ)

ความชื้นสัมพัทธ์ (ϕ) หมายถึงอัตราส่วนของปริมาณไอน้ำในอากาศ (m_v) ต่อปริมาณไอน้ำสูงสุดในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน (m_g)

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v V / R_v T}{P_g V / R_g T} = \frac{P_v}{P_g} \quad (3.17)$$

โดยที่ $P_g = P_{sat @ T}$

ดังนั้นจากสมการ (3.15) และ (3.16) จะได้

$$\phi = \frac{\omega P}{(0.622 + \omega) P_g} \quad (3.18)$$

และ

$$\omega = \frac{0.622 \phi P_g}{P - \phi P_g} \quad (3.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (3.16) นั้นพบว่าความชื้นสัมพัทธ์ก็คือ อัตราส่วนของความดันไอของไอน้ำในอากาศ (เศษส่วนโดยโมลของไอน้ำในอากาศ) ต่อความดันไอของไอน้ำในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน (เศษส่วนโดยโมลของไอน้ำในอากาศอิ่มตัว) ความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าตั้งแต่ 0 – 100% หรือเขียนเป็นสมการ ในรูปของ

$$\phi = \frac{P_v}{P_g} = \frac{v_g}{v_v} = \frac{\rho_v}{\rho_g} \quad (3.20)$$

3.6.5 อุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature, T_{db}) หมายถึงอุณหภูมิของอากาศชื้นซึ่งชั้บอบบนเทอร์โมมิเตอร์แบบธรรมดา อุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature, T_{wb}) หมายถึงอุณหภูมิของอากาศชื้นซึ่งชั้บอบบนเทอร์โมมิเตอร์โดยมีผ้ากอซเปียกหุ้มอยู่ที่กระเปาะ ขณะวัดอุณหภูมิต้องทำให้อากาศไหลผ่านด้วยความเร็วไม่ต่ำกว่า 3 เมตรต่อวินาที ทั้งนี้ต้องการให้เกิดการถ่ายเทความร้อนอยู่ในแบบของการพาความร้อนมากกว่าการแผ่รังสีความร้อน กระบวนการที่เกิดขึ้นขณะวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกนี้เรียกว่า กระบวนการทำให้อากาศอิ่มตัวแบบอะเดียแบติก

3.7 อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio)

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

$$\Phi = \frac{(A/F)_{Stoic}}{(A/F)_{Actual}} = \frac{(F/A)_{Actual}}{(F/A)_{Stoic}} \quad (3.21)$$

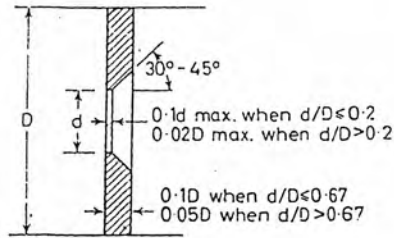
Fuel – rich mixtures,	$\Phi > 1$	มีเชื้อเพลิงมาก อากาศน้อย
Stoichiometric mixtures,	$\Phi = 1$	ปริมาณอากาศที่ใช้เท่ากับปริมาณที่ต้องใช้ทางทฤษฎี
Fuel – lean mixtures,	$\Phi < 1$	มีเชื้อเพลิงน้อย อากาศมาก

3.8 ออร์ฟิส (Orifice)

ออร์ฟิส ชนิดต่างๆคล้ายคลึงกันสามารถอธิบายด้วยกันได้แต่ละชนิดแตกต่างกันที่ pressure tapping ซึ่งออร์ฟิสมาตรฐานกำหนดคั้งนี้รูปร่างลักษณะรายละเอียดของออร์ฟิสได้แสดงหน้าตัดต่างๆ ดัง

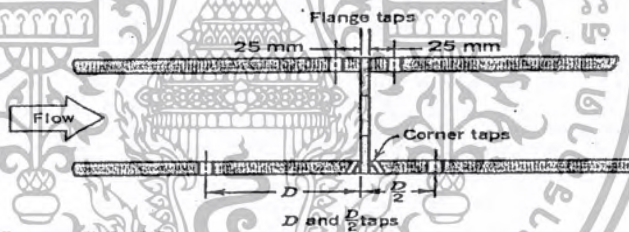
รูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แผ่นออริฟิสมมาตรฐาน

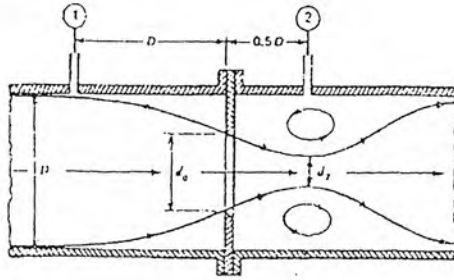
แผ่นออริฟิสเป็นแผ่นบางๆ ที่ถูกจับยึดระหว่างขอบของท่อเนื่องจากมีรูปทรงเรขาคณิตอย่างง่าย ดังนั้นจึงมีราคาถูก และง่ายในการติดตั้ง หรือการย้ายตำแหน่งแต่อย่างไรก็ตามขอบของแผ่น อาจจะมีการสึกกร่อนได้อันเนื่องจากการชนของอนุภาคเล็กๆ ที่กระจายอยู่ในของไหล ข้อเสียอีกประการก็คือ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมการขยายของด้านข้างของกระแส ทำให้มี head loss ถาวรที่สูงมาก จุดวัดความดันสำหรับออริฟิสนั้นสามารถกำหนดตำแหน่งได้หลายตำแหน่งดังรูปที่ 3.7 เนื่องจากตำแหน่งของจุดวัดความดันมีอิทธิพลต่อการหาสัมประสิทธิ์การไหล



รูปที่ 3.7 แสดง โครงสร้างเชิงเรขาคณิต และจุดวัดความดันของออริฟิส

สำหรับการวัดอัตราการไหลของของไหลภายในท่อและจัดได้ว่า ออริฟิสเป็นเครื่องมือวัดที่ขีดขวางการไหลของพื้นที่หน้าตัดให้ของไหล ไหลผ่านออริฟิสมีขนาดน้อยกว่าพื้นที่หน้าตัดของท่อ ดังรูป 3.8 ดังนั้นเมื่อนำออริฟิสไปติดตั้งกับท่อซึ่งมีของไหลไหลผ่านจะทำให้เกิดความดันตกคร่อมออริฟิสซึ่งความดันตกคร่อมนี้จะแปรเปลี่ยนไปตามอัตราการไหล กล่าวคือถ้าอัตราการไหลมีค่าสูง ความดันตกคร่อมออริฟิสก็จะมีค่าสูง และถ้าอัตราการไหลมีค่าต่ำความดันตกคร่อมออริฟิสก็จะมีค่าต่ำ โดยทั่วไปออริฟิสจะถูกนำไปใช้ในการหาอัตราการไหลที่สภาวะ Steady state เท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้วัดอัตราการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Dynamic Response)

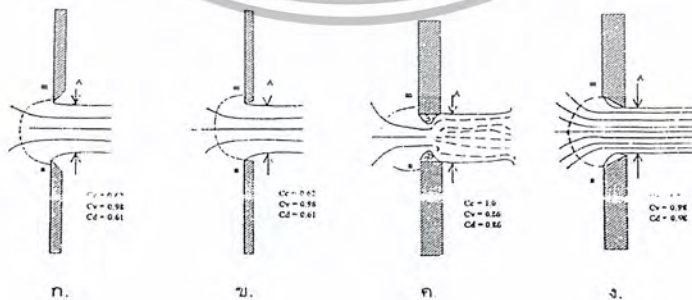
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงการไหลผ่านแผ่น ออร์ฟิส (Orifice)

ในบรรดาเครื่องมือวัดอัตราการไหลทั้งหลาย ออร์ฟิสถือว่าเป็นเครื่องมือที่มีผู้นำไปใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุด ดังนั้นการทดสอบชุดนี้จึงได้มีการนำเอาการวัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิสมาใช้ ออร์ฟิสมาตรฐานที่มีขอบคม ดังรูป 3.9 ก หรือของเป็นรูปสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 3.9 ข นั้นจะสัมผัสลำน้ำที่ไหลผ่านในลักษณะที่เป็นการสัมผัสแบบเส้นส่วนออร์ฟิส ดังรูปที่ 3.9 ค และ ง นั้นไม่ใช่เป็นออร์ฟิสมาตรฐาน ทั้งนี้เพราะลำน้ำที่ไหลผ่านรู ออร์ฟิสนั้น ถูกกระทบจากความหนาของแผ่นวัตถุ กับ ความหยาบของผิวและรัศมีของความโค้ง ดังนั้นจึงต้องมีการสอบเทียบเพื่อความถูกต้อง

ข้อดีของออร์ฟิส คือมีราคาต่ำกว่าเครื่องมือวัดชนิดอื่นๆ ที่อาศัยหลักการวัดเดียวกัน และสะดวกในการสร้างเพราะมีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน รวมทั้งมีข้อมูลของการทำวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมในการวัดของไหลที่มีเงื่อนไขต่าง ใว้อย่างมากมาย ของไหลเมื่อไหลผ่าน square - edged orifice ซึ่งเป็นออร์ฟิสที่นำมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ จะมีทิศทางการไหลเป็น ไปดังรูป สมมุติว่าของไหลก่อนเข้าปะทะกับออร์ฟิสมีความเร็วคงที่ตลอดหน้าตัดของท่อ (หน้าตัดวงกลม) เท่ากับ V , เมตรต่อวินาที ของไหลที่บริเวณด้านหลังของออร์ฟิส จะลักษณะเป็นลำของไหล ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของลำของไหลลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งมีค่าเท่ากับ $D/2$ เมตร ณ บริเวณจุดวัดความดันที่ 2 ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุดที่มีพื้นที่หน้าตัดของการไหลน้อยที่สุด (Vena Contracta) ของ Jet ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเจ็ต



รูปที่ 3.9 ออร์ฟิสแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อของไหลเคลื่อนที่ผ่านจุดที่ 2 ไปแล้ว จุดที่ 2 หรือเรียกว่าจุด Vena Contracta ถือได้ว่าเป็นจุดที่ของไหลที่มีความเร็วเฉลี่ยสูงสุด หรือ มีความดันสถิตย์ต่ำสุด (จากสมการของ Bernoulli)

สมมติฐานเบื้องต้นสำหรับการวัดอัตราการไหลด้วยออริฟิสในการทดลองนี้คือของไหลที่อยู่ภายในท่อไม่สามารถอัดตัวได้ ความเร็วของของไหลมีค่าคงที่ตลอดหน้าตัด (โดยไม่คิดบริเวณที่เรียกว่าบริเวณกระแสไหลวน) ของไหลไม่มีความหนืดและการไหลเกิดขึ้นแบบ Steady flow (อัตราการไหลมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับเวลา)

สมการ Bernoulli สามารถนำมาใช้อธิบายคุณสมบัติในการไหลที่จุดต่างๆภายในท่อได้ดังนี้สมการเบอร์นูลลี สำหรับจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของการไหล คือ

$$Q_{ac} = C_d A_o \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\rho g \left[1 - \left(\frac{D_o}{D_i} \right)^4 \right]}} \quad (3.22)$$

เมื่อ

V = ความเร็วเฉลี่ยของของไหล (m/s)

P = ความดันสถิตย์ของของไหล (N/m²)

γ = น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight, N/m³)

Subscript 1 = ค่าที่จุดที่ 1 ในทางทฤษฎี (อยู่ทางด้านหน้าของออริฟิส)

Subscript 2 = ค่าที่จุดที่ 2 ในทางทฤษฎี (อยู่ทางด้านหลังของออริฟิส)

A_o = พื้นที่หน้าตัดรูออริฟิส (m²)



บทที่ 4

การออกแบบและการคำนวณ

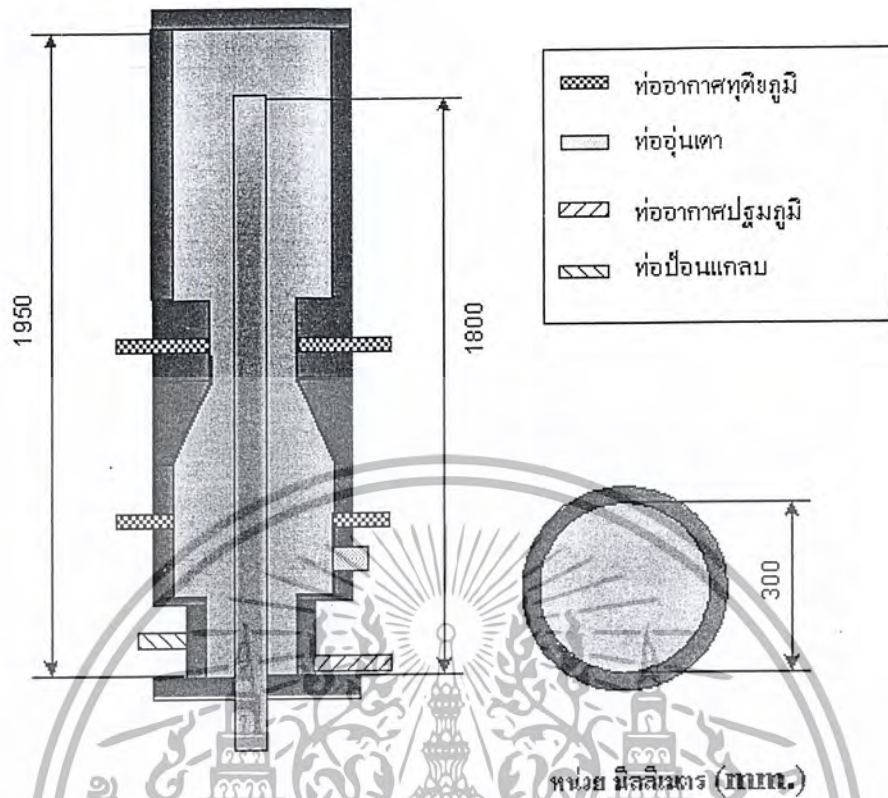
4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงหัวข้อสำคัญ 2 หัวข้อ คือ การออกแบบและการคำนวณ ซึ่งการออกแบบเตาเผาออร์เทคคู่นี้ได้ใช้หลักการแบ่งห้องเผาไหม้แบบวอร์เทคออกเป็นสองส่วน ศึกษาถึงผลกระทบกรณีที่มีการแบ่งห้องเผาไหม้ออกเป็นสองส่วน การกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ทั้งสอง ส่วนในหัวข้อการคำนวณยึดหลักทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ของสสาร เพื่อคำนวณหาค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

4.2 การออกแบบเตาเผาออร์เทคคู

เตาเผาแบบวอร์เทคคูเป็นเตาเผาที่มีห้องเผาไหม้ลักษณะทรงบอกล และ ท่อทิ้งเถ้าลอยด้านใน โดยประกอบขึ้นจากหลายๆชิ้นส่วนซึ่งในชิ้นส่วนธรรมดาแต่ละส่วนมีผนังของห้องเผาไหม้ที่ประกอบขึ้นจากท่อเหล็กทรงกระบอก 2 ชั้นมีความสูงเท่ากับ 300 มิลลิเมตร ท่อเหล็กชั้นนอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 400 มิลลิเมตร ท่อเหล็กชั้นใน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 300 มิลลิเมตร โดยท่อเหล็กชั้นนอกมีความหนา 4 มิลลิเมตร ชั้นในมีความหนา 6 มิลลิเมตร ตามลำดับ ช่องว่างระหว่างของท่อเหล็กทั้งสองจะถูกหล่อด้วยปูนทนไฟที่มีความหนา 40 มิลลิเมตร เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากห้องเผาไหม้ ที่ส่วนล่างของแต่ละส่วนจะมีแผ่นเหล็กลักษณะวงแหวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 480 มิลลิเมตร และ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 300 มิลลิเมตร เชื่อมปิดอยู่เพื่อรองรับปูนทนไฟ และ ที่วงแหวนเจาะรูขนาด 12 มิลลิเมตร ตามแนวรัศมีจำนวน 12 รู ระยะจากขอบเท่ากับ 20 มิลลิเมตร ไว้สำหรับยึดนอตเพื่อประกอบเตาแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน โดยความหนาของแผ่นเหล็กวงแหวนนี้มีค่าเท่ากับ 6 มิลลิเมตร ที่ขอบบนของแต่ละชิ้นส่วนก็เช่นเดียวกัน มีแผ่นเหล็กลักษณะวงแหวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 480 มิลลิเมตร และ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 400 มิลลิเมตร มีความหนาเท่ากับ 6 มิลลิเมตร เชื่อมติดอยู่เพื่อยึดประกอบกับส่วนอื่นๆ ในส่วนของห้องผสมระหว่างอากาศปฐมภูมิและเชื้อเพลิงแกลบ มีความสูง 150 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 150 มิลลิเมตร จัดวางตำแหน่งของท่อของท่อป้อนแกลบกับท่ออากาศปฐมภูมิไว้ด้านตรงข้ามกัน ภายในตัวเตาระหว่างห้องเผาไหม้ปฐมภูมิและห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ มีลักษณะเป็นกรวยและคอคอดโดยตัวกรวยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในในใหญ่สุด 300 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเล็กสุด 150 มิลลิเมตร และ ส่วนของคอคอดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 150 มิลลิเมตรท่อทิ้งเถ้าลอยด้านในทำจากสแตนเลสมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 73 มิลลิเมตร มีความหนาเท่ากับ 3 มิลลิเมตร มีความสูงอยู่ในตัวเตาเท่ากับ 1800 มิลลิเมตรที่ส่วนบนและส่วนล่างสุดของเตาเผาจะมีฝาปิดอยู่ โดยฝาปิดด้านบนเป็นแผ่นเหล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 480 มิลลิเมตร โดยมีปูนทนไฟหล่ออยู่ภายใน ฝาปิดด้านล่างเป็นแผ่นเหล็กวงแหวนมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 480 มิลลิเมตรเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 81 มิลลิเมตร มีความหนาเท่ากับ 6 มิลลิเมตร โดยมีปูนทนไฟหล่ออยู่ภายในเช่นเดียวกัน กับฝาปิดด้านบน และที่ตำแหน่งอุ่นเตา (Burner) ก็มีปูนทนไฟเป็นฉนวนอยู่ด้วยเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่หวังกำไรใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของเตาเผาแบบวอร์เทค

4.2.1 ระบบป้อนอากาศส่วนที่สอง (Secondary Air)

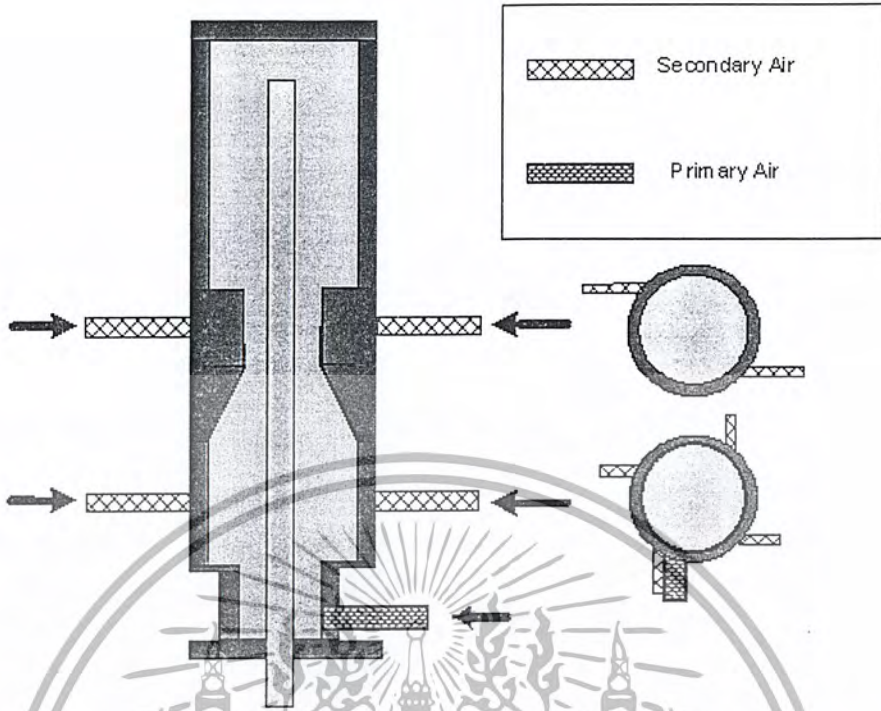
อากาศส่วนที่สองเป็นลมแบ่งมาจาก Blower และทำการแบ่งแยกอากาศส่วนที่สองออกเป็นท่อเล็ก ๆ (nozzle) จำนวน 6 จุด จัดวางตำแหน่งการฉีดเข้าในแนวสัมผัสตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งอากาศส่วนที่สองนี้จะช่วยเพิ่มความเข้มข้นของการหมุนวนของอากาศ เพื่อเพิ่มความสามารถในการผสมคลุกเคล้าและปริมาณของออกซิเจนสามารถเข้าไปสัมผัสกับเชื้อเพลิงมากยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 4.2

4.2.2 ระบบป้อนเชื้อเพลิง

ระบบป้อนเชื้อเพลิงได้ใช้ระบบเครื่องลำเลียงเกลบอัตโนมัติ โดยใช้เกลียว (Screw Feeder) เป็นตัวลำเลียงเกลบเข้าสู่เตาเผาโดยตรงที่ห้องผสมระหว่างเกลบและอากาศส่วนแรกตามอัตราการป้อนเกลบที่ได้กำหนดไว้ซึ่งในการป้อนเกลบลักษณะนี้ทำให้สามารถควบคุมอัตราการป้อนได้ดีกว่า ช่วยลดปัญหาการติดขัดของเชื้อเพลิงเกลบในท่อนำเข้าเตาได้ด้วย

อากาศที่ใช้ในการทดลองจะใช้อากาศสองส่วน คือ อากาศส่วนที่ 1 (Primary Air) และ อากาศส่วนที่ 2 (Secondary Air) อากาศส่วนที่ 1 จะถูกป้อนเข้าห้องผสมก่อน โดยใช้ Blower ที่มีขนาด 7.5 kw เป็นแหล่งจ่ายอากาศเข้าสู่ท่อจ่ายอากาศมีขนาด 75 มิลลิเมตร ในการทดลองกำหนดให้ใช้อากาศส่วนที่ 1 มีอัตราการไหลอยู่ในช่วง 0.02517 – 0.05372 kg/s และอากาศส่วนที่ 2 เป็นอากาศที่จ่ายเข้าไปในแนวสัมผัสเพื่อช่วยให้เกิดการหมุนวนมากยิ่งขึ้น โดยอาศัย Blower เป็นแหล่งจ่ายอากาศเช่นเดียวกัน ในการฉีด

อากาศส่วนที่ 2 ให้ท่อจ่ายลมขนาด 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่ง Primary Air และ Secondary Air

จำนวน 6 ท่อ แบ่งลมในปริมาณที่เท่ากันฉีดเข้าไปในแนวสัมผัสกับผนังเตา ส่วนตำแหน่งในการฉีดก็แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ที่ห้องเผาไหม้ส่วนที่ 1 จำนวน 4 จุดและที่บริเวณคอคอดก่อนเข้าห้องเผาไหม้ส่วนที่ 2 จำนวน 2 จุดมีอัตราการไหลอยู่ในช่วง 0.00503 – 0.01343 kg/s ในส่วนของการควบคุมอัตราการไหลของอากาศ ควบคุมด้วยวาล์วควบคุม(Gate Valve)และวัดอัตราการไหล โดยชุด Orifice Plateและอ่านค่าโดย Manometer

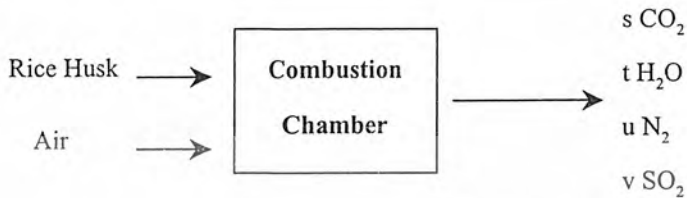
4.3 การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์	มวล โมเลกุล	จำนวน โมล
คาร์บอน , C	38.0	12	3.1667
ไฮโดรเจน , H	5.7	1	5.7
ไนโตรเจน , N	0.69	14	0.049
ออกซิเจน , O	41.6	16	2.6
ซัลเฟอร์ , S	0.06	32	0.001875
ขี้เถ้า , ash	19.8		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

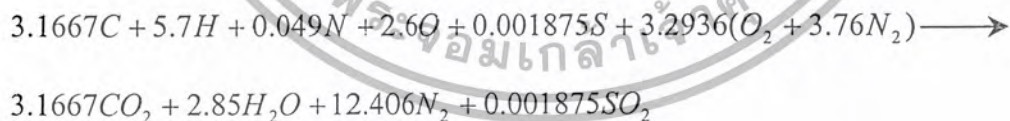
กำหนดให้การเผาไหม้เป็นการเผาไหม้ทางทฤษฎี คือ มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยที่เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยากับอากาศให้ผลเกิดผลิตภัณฑ์ใหม่คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), น้ำ (H_2O), ไนโตรเจน (N_2) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เมื่อเราทำการพิจารณาเชื้อเพลิงจำนวน 1 kmol สมการการเผาไหม้สามารถเขียนได้



ทำการสมดุลสมการจะได้เป็น

สมดุล C :	3.1667	= s	→	s = 3.1667
สมดุล H :	5.7	= 2t	→	t = 2.85
สมดุล S :	0.001875	= v	→	v = 0.001875
สมดุล O :	$2.6 + 2a_{th}$	= 2s + t + 2v	→	$a_{th} = 3.2936$
สมดุล N :	$0.049 + a_{th}(2 \times 3.76)$	= 2u	→	u = 12.406

จะได้



หาค่าจำนวนโมลของอากาศแห้งมีค่าเท่ากับ

$$3.2936(\text{O}_2 + 3.76\text{N}_2) = 3.2936 \times 4.76 = 15.678\text{kmol}$$

แต่เนื่องจากสมการข้างต้นที่ทำการหาค่าเป็นอากาศแห้ง แต่ในการทดลองในอากาศมีความชื้นผสมอยู่ด้วย เพราะฉะนั้นจะต้องทำการรวมเอาปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอากาศเข้าไปในสมการการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงด้วย โดยที่จะทำการกำหนดสภาวะอากาศมาตรฐานดังนี้

อากาศมีอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb temperature) เท่ากับ 33°C

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH) เท่ากับ 53%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการเปิดตารางหาค่าความดันย่อยของน้ำในอากาศได้เท่ากับ

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

จากสมการ

$$\phi = \frac{P_v}{P_g}$$

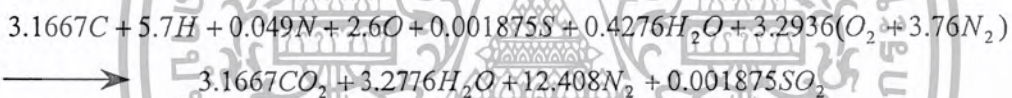
แทนค่าลงในสมการ ได้ว่า

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

สมมติว่าเป็นก๊าซอุดมคติ จำนวนโมลของละอองน้ำในอากาศ ($N_{v,air}$) เท่ากับ

$$\begin{aligned} \left(\frac{N_{v,air}}{N_{total}} \right) &= \left(\frac{P_{v,air}}{P_{total}} \right) \\ N_{v,air} &= \left(\frac{P_{v,air}}{P_{total}} \right) N_{total} \\ N_{v,air} &= \left(\frac{2.690 \text{ kPa}}{101.325 \text{ kPa}} \right) \times (15.678 + N_{v,air}) \text{ kmol} \\ \therefore N_{v,air} &= 0.4276 \text{ kmol} \end{aligned}$$

สมการการเผาไหม้ซึ่งรวมละอองน้ำ ได้แก่



จากนั้นทำการหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง จากสมการ

$$A/F = \frac{m_{air}}{m_{fuel}}$$

มวลของอากาศเท่ากับ

$$\begin{aligned} m_{air} &= n_{air} \times MW_{air} = (n_{dryair} \times MW_{dryair}) + (n_{v,air} \times MW_{v,air}) \\ &= (3.2936 \times 4.76 \text{ kmol}) \left(28.97 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right) + (0.4276 \text{ kmol} \times 18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}) \\ &= 461.875 \text{ kg} \end{aligned}$$

มวลของเชื้อเพลิงเท่ากับ

$$\begin{aligned} m_{fuel} &= n_{fuel} \times MW_{fuel} = (n_C \times MW_C) + (n_H \times MW_H) + (n_N \times MW_N) + (n_O \times MW_O) \\ &\quad + (n_S \times MW_S) \\ &= (3.1667 \text{ kmol} \times 12 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}) + (5.7 \text{ kmol} \times 1 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}) + (0.0049 \text{ kmol} \times 14 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}) \\ &\quad + (2.6 \text{ kmol} \times 16 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}) + (0.001875 \text{ kmol} \times 32 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}) \\ &= 86.046 \text{ kg} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$A/F = \frac{461.875 \text{ kg}}{86.046 \text{ kg}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ระบุไว้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 5.368

จากสมการ

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

- Fuel – rich mixtures , $\Phi > 1$ มีเชื้อเพลิงมาก อากาศน้อย
- Stoichiometric mixtures, $\Phi = 1$ ปริมาณอากาศที่ใช้เท่ากับปริมาณที่ต้องใช้ทางทฤษฎี
- Fuel – lean mixtures, $\Phi < 1$ มีเชื้อเพลิงน้อย อากาศมาก

พิจารณาที่ $(A/F)_{ratio} = 6.715$ และ $\Phi = 0.8$

ในการทดลองใช้อัตราการป้อนแกลบ = 0.3 $\frac{kg}{min}$
 ฉะนั้นต้องใช้อากาศ = $0.3 \times 6.715 = 0.03357 \frac{kg}{s}$

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลอง

Φ	Primary Air (kg/s)			Secondary Air (kg/s)		
	100%	85%	75%	0%	15%(6ท่อ)	25%(6ท่อ)
0.5	0.05372	0.04566	0.04029	-	0.00805	0.01343
0.6	0.04476	0.03804	0.03357	-	0.00671	0.01119
0.7	0.03837	0.03261	0.02877	-	0.00575	0.00959
0.8	0.03357	0.02853	0.02517	-	0.00503	0.00839

4.4 การกำหนดความสูงของระดับน้ำของมาโนมิเตอร์

ทำการพิจารณาการไหลของแกลบเท่ากับ 0.3 $\frac{kg}{min}$ จากสมการที่เรานำมาใช้จะต้องทราบค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- อัตราการป้อนแกลบ $\dot{m}_{fuel} = 0.3 \frac{kg}{min}$
- ความหนาแน่นของอากาศ $\rho_a = 1.184 \frac{kg}{m^3}$
- ความหนาแน่นของน้ำ $\rho_w = 1000 \frac{kg}{m^3}$
- เส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออากาศปฐมภูมิ $D_p = 0.0762 m$
- เส้นผ่านศูนย์กลางของออร์ฟิซสำหรับท่ออากาศปฐมภูมิ $d_o = 0.04572 m$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออากาศทุติยภูมิ	$D_s = 0.0508 \text{ m}$
เส้นผ่านศูนย์กลางของออร์ฟิสสำหรับท่ออากาศทุติยภูมิ	$d_s = 0.032 \text{ m}$
อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในทางทฤษฎี	$AF = 5.368$
Discharge Coefficient	$C_d = 0.62$
พื้นที่หน้าตัดของท่ออากาศปฐมภูมิ	$A_p = \frac{\pi D_p^2}{4}$ $= \frac{\pi \times (0.0762)^2}{4}$ $= 4.56 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
พื้นที่หน้าตัดของท่ออากาศทุติยภูมิ	$A_s = \frac{\pi D_s^2}{4}$ $= \frac{\pi \times (0.0508)^2}{4}$ $= 2.027 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

ในการทดลองเราทำการคำนวณหาค่าความสูงของระดับน้ำในमानometer ที่ให้ ณ อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio) ต่าง ๆ โดยทำการหาได้จากสมการ

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

สำหรับการทดลองนี้ได้กำหนดค่าอัตราส่วนสมมูลไว้เท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 ตามลำดับ สำหรับการทดลองจะทำการแบ่งปริมาณอากาศที่ใช้ออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. อากาศปฐมภูมิ (Primary air) จะเข้าสู่เตาเผาในแนวสัมผัสที่ห้องผสมด้านล่าง
2. อากาศทุติยภูมิ (Secondary air) จะเข้าสู่เตาเผาทางด้านข้างในแนวสัมผัสเพื่อให้เกิดการหมุนวนภายในเตา โดยจะเข้าสู่เตาเผา 2 ระดับ คือ ระยะ 0.15 และ 0.975 mm จากฐานเตา

กรณีที่ 1 อัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ 100% อากาศทุติยภูมิ 0% อัตราส่วนสมมูล (Φ) เท่ากับ 0.8 เราจะสามารถคำนวณระดับน้ำในमानometer ของท่ออากาศปฐมภูมิได้เป็น

อัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิจะ $= 0.03357 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

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

เมื่อ $A_p = \frac{\pi d_p^2}{4} = \frac{\pi \times (0.04572 \text{ m})^2}{4}$

$$= 1.642 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\beta = \frac{d_p}{D_p} = \frac{0.04572}{0.0762} = 0.6$$

ทำการแทนค่าจะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$0.03357 \text{ kg/s} = \frac{0.62 \times 1.642 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{\sqrt{1-(0.6)^4}} \sqrt{2 \times 1.184 \text{ kg/m}^3 \times \Delta P}$$

$$0.03357 = \frac{1.018 \times 10^{-3}}{0.933} \sqrt{2.368 \times \Delta P}$$

$$946.608 = 2.368 \times \Delta P$$

$$\Delta P = 399.750 \text{ N/m}^2$$

จากสมการ

$$\Delta P = \rho g \Delta h$$

\therefore

$$\Delta h = \frac{\Delta P}{\rho g}$$

แทนค่า

$$\Delta h = \frac{399.750 \text{ N/m}^2}{1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$\Delta h = 0.04074 \text{ m}$$

$$= 40.74925 \text{ mm}$$

กรณีที่ 2 อัตราการไหลของอากาศปรุภูมิ 85% , อากาศทุติยภูมิ 15% อัตราส่วนสมมูล (Φ) เท่ากับ 0.8 จะหาระดับน้ำในमानอมิเตอร์ของอากาศปรุภูมิได้เป็น

$$\text{อัตราการไหลของอากาศปรุภูมิ} = 0.02853 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

แทนค่าลงในสมการจะได้เป็น

$$0.02853 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = \frac{0.62 \times 1.642 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{\sqrt{1-(0.6)^4}} \sqrt{2 \times 1.184 \text{ kg/m}^3 \times \Delta P}$$

$$683.708 = 2.368 \times \Delta P$$

$$\Delta P = 288.728 \text{ N/m}^2$$

แทนค่าลงในสมการ

$$\Delta h = \frac{\Delta P}{\rho g}$$

$$\Delta h = \frac{288.728 \text{ N/m}^2}{1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$\Delta h = 0.02943 \text{ m}$$

$$= 29.432 \text{ mm}$$

ทำการหาระดับน้ำในमानอมิเตอร์ของอากาศทุติยภูมิ

$$\text{อัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิ} = 0.00503 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

จากสมการ

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

โดยที่

$$A_{ts} = \frac{\pi d_s^2}{4} = \frac{\pi \times (0.032 \text{ m})^2}{4} = 8.04 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ $\beta = \frac{0.032}{0.0508} = 0.63$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าลงในสมการจะได้ว่า

$$0.00503 \frac{kg}{s} = \frac{0.62 \times 8.04 \times 10^{-4} m^2}{\sqrt{1 - (0.63)^4}} \sqrt{2 \times 1.184 kg/m^3 \times \Delta P}$$

$$0.00503 \frac{kg}{s} = \frac{4.98 \times 10^{-4} m^2}{0.918} \sqrt{2.368 kg/m^3 \times \Delta P}$$

$$85.973 = 2.368 \times \Delta P$$

$$\Delta P = 36.306 N/m^2$$

จากสมการ

$$\Delta h = \frac{\Delta P}{\rho g}$$

จะได้

$$\Delta h = \frac{36.306 N/m^2}{1000 kg/m^3 \times 9.81 m/s^2}$$

$$= 0.00370 m$$

$$= 3.7009 mm$$

กรณีที่ 3 อัตราการไหลของอากาศปรุภูมิ 75% , อากาศทุติยภูมิ 25% และอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.8 จะหาระดับน้ำในมานอมิเตอร์ของอากาศปรุภูมิได้เป็น

$$\text{อัตราการไหลของอากาศปรุภูมิ} = 0.02517 \frac{kg}{s}$$

เพราะฉะนั้นทำการแทนค่าลงในสมการจะได้เป็น

$$0.02517 \frac{kg}{s} = \frac{0.62 \times 1.642 \times 10^{-3} m^2}{\sqrt{1 - (0.6)^4}} \sqrt{2 \times 1.184 kg/m^3 \times \Delta P}$$

$$\Delta P = 224.684 N/m^2$$

ดังนั้นระดับในมานอมิเตอร์เท่ากับ

$$\Delta h = \frac{\Delta P}{\rho g}$$

$$\Delta h = \frac{224.684 N/m^2}{1000 kg/m^3 \times 9.81 m/s^2}$$

$$= 0.02290 m$$

$$= 22.903 mm$$

$$\text{อัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิ} = 0.00839 \frac{kg}{s}$$

แทนค่าลงในสมการจะได้เป็น

$$0.00839 \frac{kg}{s} = \frac{0.62 \times 8.04 \times 10^{-4} m^2}{\sqrt{1 - (0.63)^4}} \sqrt{2 \times 1.184 kg/m^3 \times \Delta P}$$

$$\Delta P = 100.786 N/m^2$$

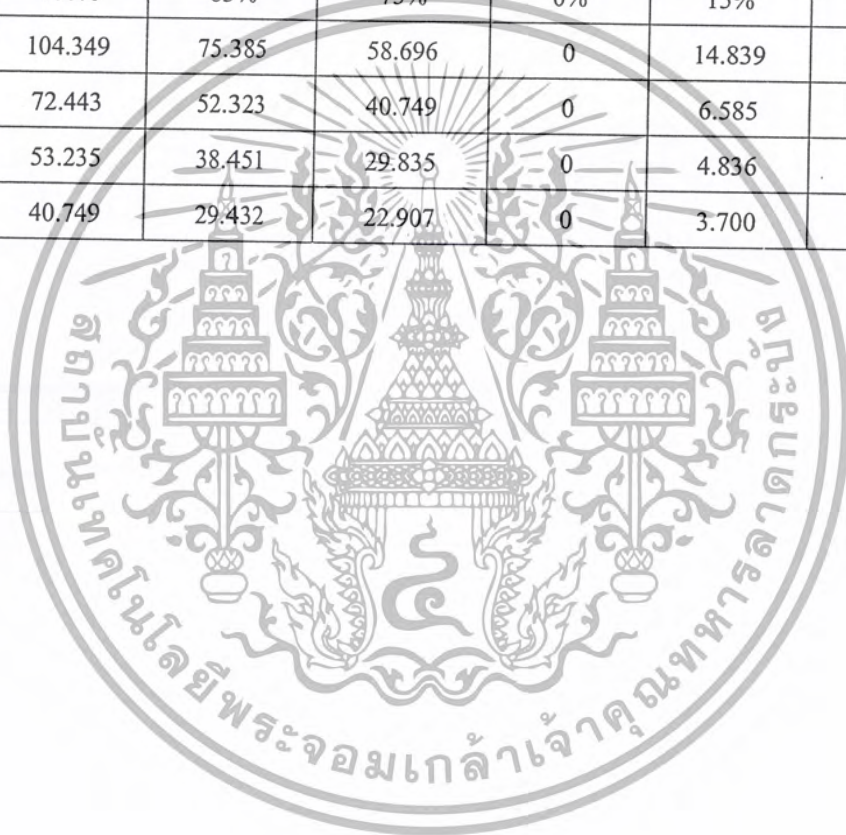
หาระดับน้ำในมานอมิเตอร์ได้เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\Delta h &= \frac{100.786 \text{ N/m}^2}{1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2} \\ &= 0.01027 \text{ m} \\ &= 10.273 \text{ mm}\end{aligned}$$

ตารางที่ 4.3 แสดงความสูงของระดับน้ำในมานอมิเตอร์ของอากาศปฐมภูมิและทุติยภูมิที่อัตราการป้อน
 แกลบเท่ากับ $0.3 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$

Φ	Δh ของ Primary air (mm)			Δh ของ Secondary air (mm)		
	100%	85%	75%	0%	15%	25%
0.5	104.349	75.385	58.696	0	14.839	26.383
0.6	72.443	52.323	40.749	0	6.585	18.316
0.7	53.235	38.451	29.835	0	4.836	13.452
0.8	40.749	29.432	22.907	0	3.700	10.184



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดลองเตาเผาแลกเปลี่ยนแบบวอร์เทคคู่ เราสามารถแบ่งขั้นตอนในเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. การจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง
2. การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง
3. การอุ่นเตา
4. การทดลองและบันทึกผลการทดลอง

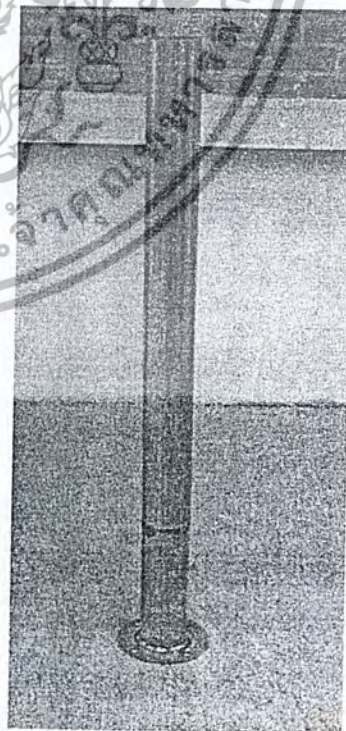
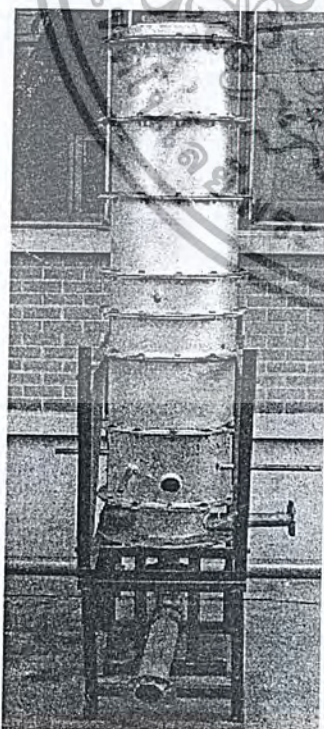
โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนที่ทำการทดลองมีดังนี้

5.1 การจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

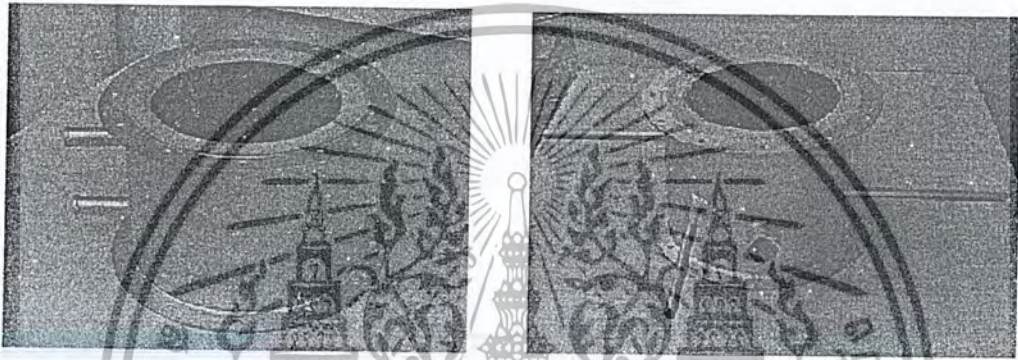
ในการศึกษาถึงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทคคู่ และองค์ประกอบของแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งเป็นงานวิจัยเชิงการทดลอง การจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลองมีหลายชนิดประกอบเข้าด้วยกัน รายละเอียดต่างๆของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

5.1.1 เตาเผาแบบวอร์เทคคู่

ลักษณะห้องเผาไหม้ของเตาเผาแบบวอร์เทคคู่มีลักษณะทรงกระบอก มีท่อทิ้งขี้เถ้าและก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้อยู่ด้านใน ซึ่งลักษณะภายนอกของเตาเผา ดังแสดงในรูปที่ 5.1



ท่อทึงก๊าซไอเสียและซีดีเอ็มมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 75 มิลลิเมตร มีความยาวเท่ากับ 1800 มิลลิเมตร และมีความหนาเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ทำจากสแตนเลส ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ผนังของห้องเผาไหม้ประกอบด้วยท่อเหล็กทรงกระบอก 2 ชั้น โดยท่อเหล็กชั้นนอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 400 มิลลิเมตรและท่อเหล็กชั้นในมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 300 มิลลิเมตร ท่อเหล็กทั้งสองมีความยาวในแต่ละท่อนเท่ากับ 300 มิลลิเมตร และความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.3 แสดงให้ลักษณะห้องเผาไหม้ธรรมดา และ รูปที่ 5.4 ห้องเผาไหม้แบบมีท่ออากาศส่วนที่ 2 และช่องหัวเผา ความสูงของห้องเผาไหม้ที่ใช้ในการทดลองมีความสูงเท่ากับ 1950 มิลลิเมตร ช่องว่างระหว่างท่อเหล็กทั้งสองจะถูกหล่อด้วยอิฐทนไฟ เพื่อเป็นฉนวนช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากห้องเผาไหม้สู่บรรยากาศ

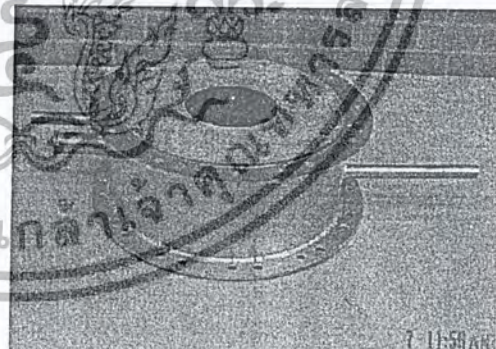


รูปที่ 5.3 ห้องเผาไหม้ธรรมดา

รูปที่ 5.4 ห้องเผาไหม้แบบมีท่ออากาศส่วนที่ 2 และช่องหัวเผา



รูปที่ 5.5 กรวย



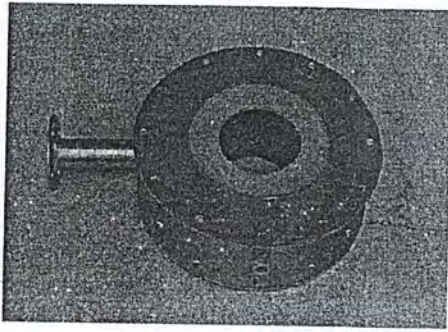
รูปที่ 5.6 คอคอด

ห้องเผาไหม้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน โดยจะมีกรวยและคอคอดกั้นระหว่างห้องเผาไหม้ทั้งสองไว้ ดังแสดงในรูปที่ 5.5 และ 5.6 ห้องเผาไหม้ด้านล่างสุดของเตาเผาที่ทำการออกแบบได้สร้างห้องผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ หลักการออกแบบนั้น โดยส่วนล่างสุดจะเป็นห้องผสมระหว่างอากาศปฐมภูมิและเชื้อเพลิงกลบ มีความสูง 150 mm. เส้นผ่าศูนย์กลาง 150 mm. ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ด้านบนของเตาเผามีแผ่นเหล็กปิดซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 480 มิลลิเมตรดังแสดงในรูปที่ 5.8 ส่วนด้านล่างจะมีฝาปิดไว้และ

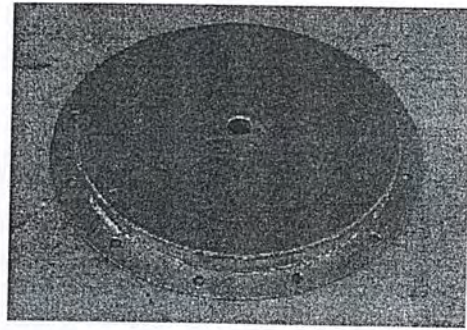
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

มีของของท่อทึงก๊าซไอเสีย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



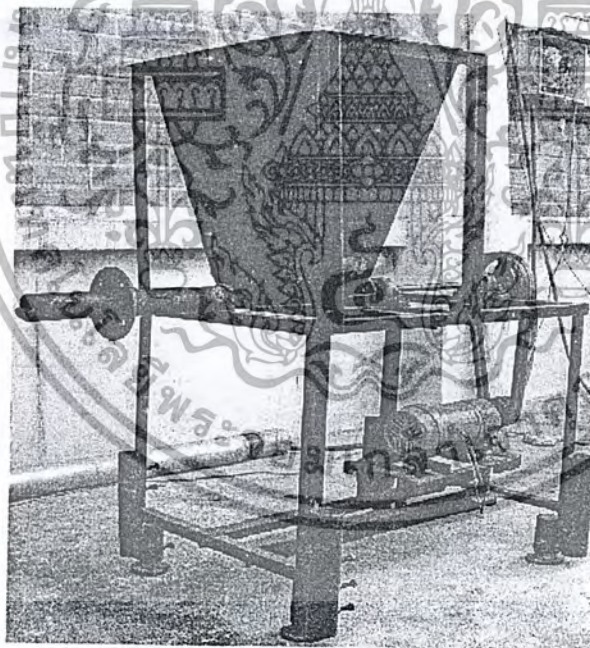
รูปที่ 5.7 ห้องผสม



รูปที่ 5.8 ฝาปิดด้านบน

5.1.2 ระบบป้อนเชื้อเพลิง

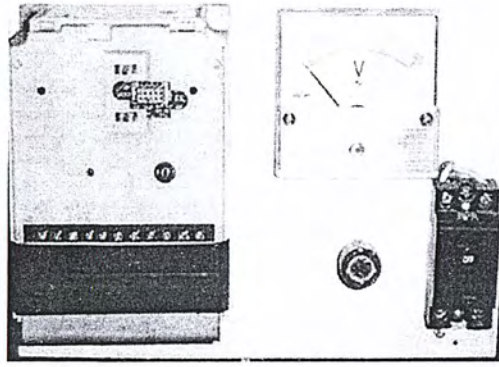
ระบบป้อนเชื้อเพลิงสามารถป้อนเชื้อเพลิงเข้าเตาเผาอย่างต่อเนื่อง และสามารถปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงตามที่ต้องการ ระบบป้อนเชื้อเพลิงประกอบด้วย Inverter, Motor, Screw Feed และ Hopper ดังแสดงในรูปที่ 5.9 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 5.9 ระบบป้อนเชื้อเพลิงแถบ

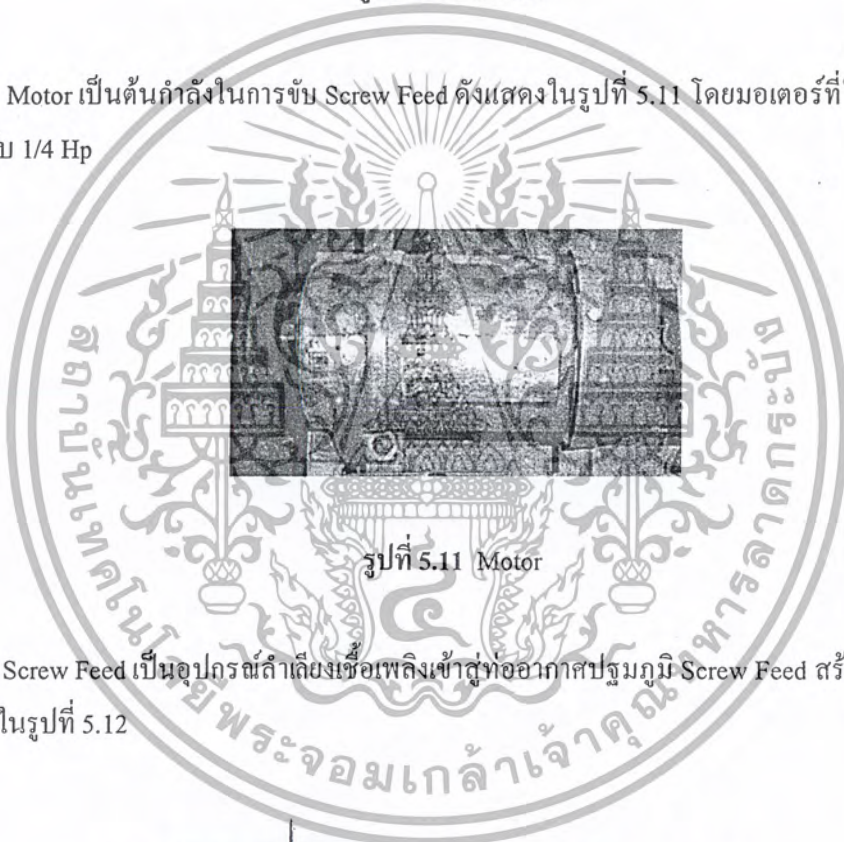
Inverter คือ อุปกรณ์ที่นำมาใช้สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ เพื่อปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิง มีกำลังขับ 0.22 KW 1.5A Model FR-A024-0.2 KP โดย Inverter สามารถปรับความเร็วรอบ - สูงสุดเท่ากับ 1,650 RPM ดังแสดงในรูปที่ 5.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



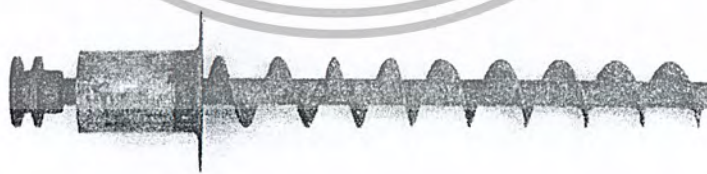
รูปที่ 5.10 Inverter

Motor เป็นต้นกำลังในการขับ Screw Feed ดังแสดงในรูปที่ 5.11 โดยมอเตอร์ที่ใช้มีขนาดกำลัง
ขับเท่ากับ 1/4 Hp



รูปที่ 5.11 Motor

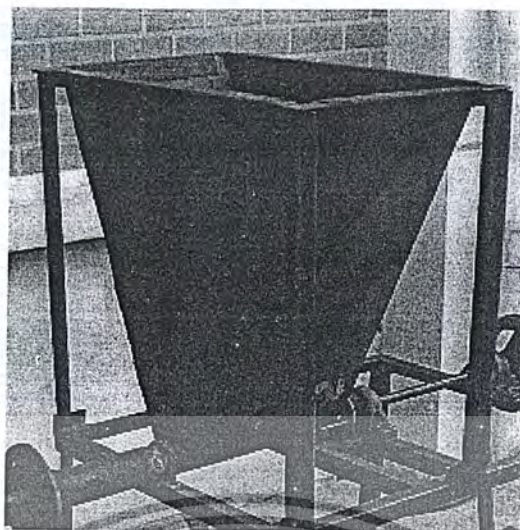
Screw Feed เป็นอุปกรณ์กำลังเชิงเฟืองเข้าสู่ท่ออากาศป้อนภูมิ Screw Feed สร้างขึ้นจากเหล็ก
ดังแสดงในรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 Screw Feed

Hopper คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบรรจุเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 5.13 มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่
เหลี่ยมสามารถบรรจุเกลือได้สูงสุดเท่ากับ 0.05 m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

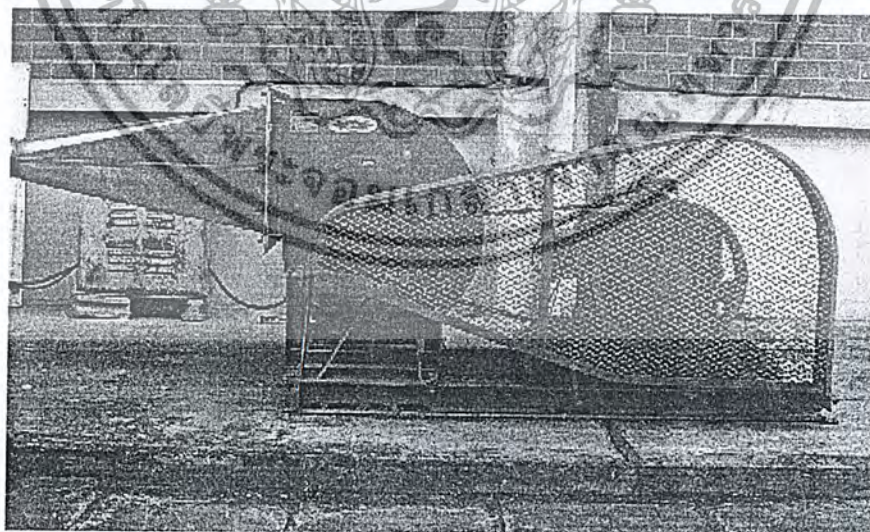


รูปที่ 5.13 Hopper

5.1.3 ระบบป้อนอากาศ

อากาศที่ป้อนเข้าสู่เตาเผาจะแยกออกเป็นสองส่วนด้วยกันคือ อากาศปฐมภูมิถูกป้อนพร้อมกับเชื้อเพลิงทางด้านล่างของเตาเผา และอากาศทุติยภูมิถูกป้อนทางด้านข้างของเตาเผาในแนวสัมผัส โดยอากาศทั้งสองส่วนได้จาก Blower ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

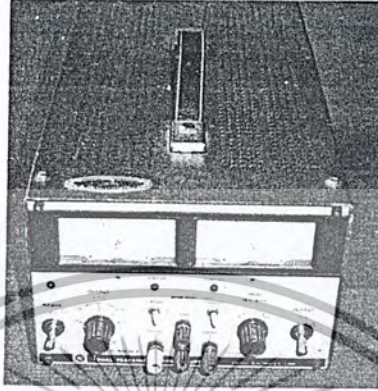
Blower ใช้มอเตอร์ขนาด 10 Hp เป็นแบบใบพัดคู่ของ EBBARA FAN สามารถป้อนอากาศให้มีอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ $100 \text{ m}^3/\text{min}$ ความดันสูงสุดเท่ากับ 200 mm.Aq และความเร็วรอบเท่ากับ 4050 min^{-1} ดังแสดงในรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 Blower

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC Power Supply ใช้สำหรับควบคุมความเร็วรอบของ Blower เพื่อป้อนอากาศให้เพียงพอกับความต้องการใช้งาน ความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 1650 RPM แรงบิดสูงสุดเท่ากับ 4 N/m ซึ่งแรงดันไฟฟ้าสามารถปรับได้ตั้งแต่ 0 - 80 Volt กระแสสูงสุดเท่ากับ 3 Amp ดังแสดงในรูปที่ 5.15

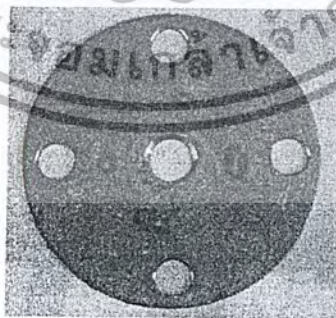


รูปที่ 5.15 DC Power Supply

5.1.4 ระบบวัดอัตราการไหลของอากาศ

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

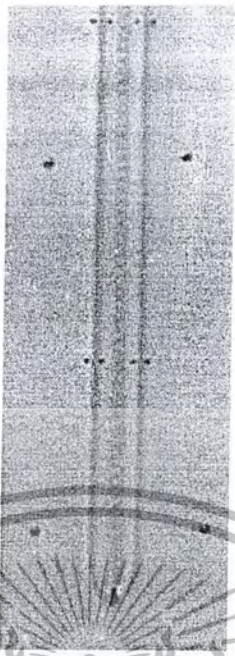
แผ่นออร์ฟิซ (Orifice plate) แบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ออร์ฟิซ 1 ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ และออร์ฟิซ 2 ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 5.16 การสร้างออร์ฟิซมิเตอร์ใช้มาตรฐาน (ANSI/API 2530)



รูปที่ 5.16 ลักษณะของแผ่นออร์ฟิซ

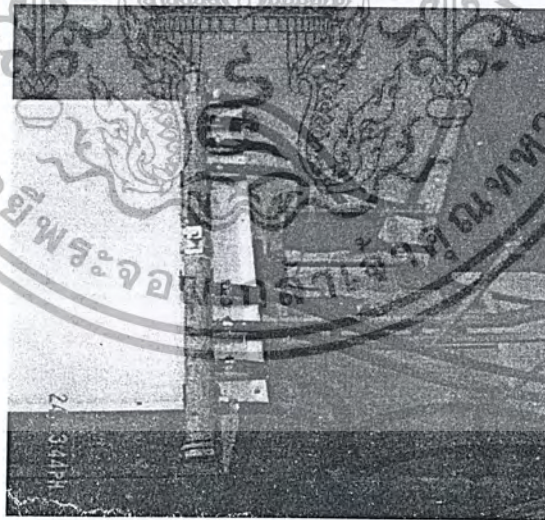
มานิมิเตอร์ (Manometer) ถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด โดยชุดแรกใช้วัดผลต่างของความดันอากาศปฐมภูมิ และชุดที่สอง ใช้วัดผลต่างของความดันอากาศทุติยภูมิ ซึ่งใช้น้ำเป็นของเหลวภายในทั้งสองชุด

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 มาโนมิเตอร์

5.1.5 ชุดแยกอากาศหุติยภูมิ แยกออกเป็น 8 ท่อ เท่าๆ กัน โดยใช้หางปลาเป็นตัวยึดกับสายขางที่ต่อจากท่อของอากาศหุติยภูมิ ใช้สายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1 เซนติเมตรคั้งแสดงในรูปที่ 5.18



รูปที่ 4.18 แสดงชุดแยกอากาศหุติยภูมิ

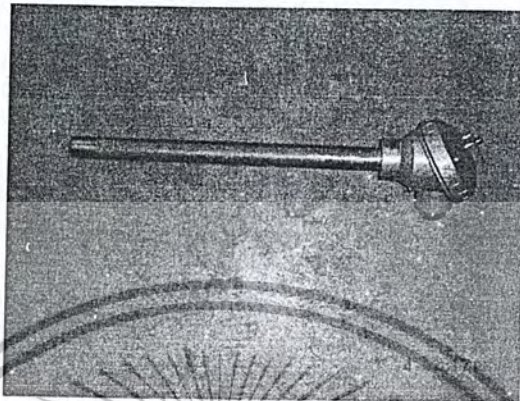
5.1.6 ระบบวัดอุณหภูมิ

อุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทกซ์ จะวัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จำนวน 12 ตัว ดังแสดง

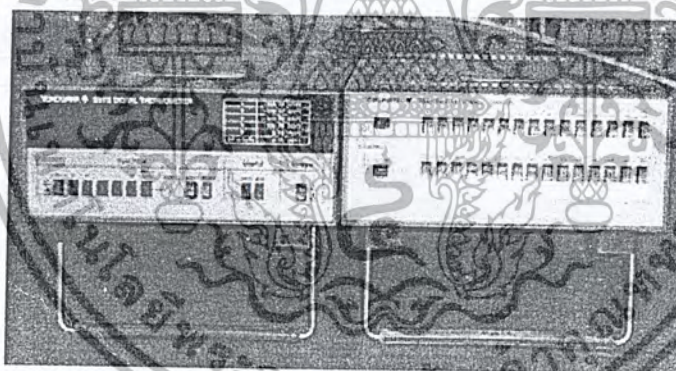
ในรูปที่ 5.19 ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 1200 °C ความยาวของเทอร์โมคัปเปิลเท่ากับ 300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิเมตร อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมจะวัดโดยเทอร์โมคัปเปิลชนิด J จำนวน 1 ตัว และนำมาต่อเข้ากับ Digital Indicator เพื่อแสดงผลของอุณหภูมิภายในเตาเผาซึ่งแสดงในรูปแบบที่ 5.20 โดยสามารถอ่านค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง -200 ถึง 1370°C และสามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้ทั้งหมด 30 ตำแหน่ง



รูปที่ 5.19 เทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 5.20 Digital Indicator

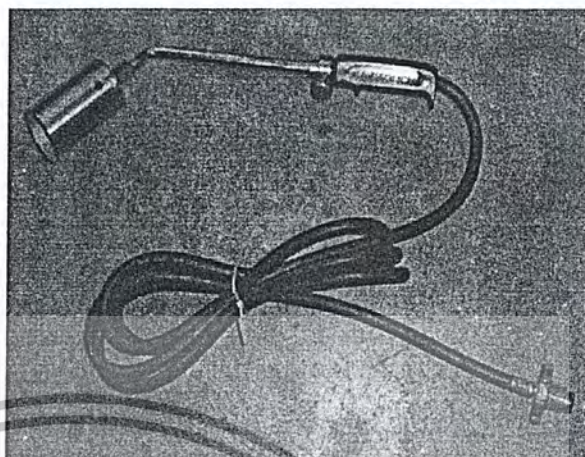
5.1.7 ชุดอุ่นเตาเผา

ชุดอุ่นเตาเผาเป็นระบบที่มีความสำคัญอีกระบบหนึ่งคือ ก่อนทำการทดลองเผาไหม้จะต้องทำการอุ่นเตาให้มีอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงจนกระทั่งเชื้อเพลิงสามารถเผาไหม้ด้วยตัวเอง ระบบอุ่นเตาประกอบด้วย หัวเผา และ ถังเชื้อเพลิงก๊าซ LPG ซึ่งหัวเผามีขนาดเผาเท่ากับ 5.08 เซนติเมตร และสามารถปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG ดังแสดงในรูปที่ 5.21 และ 5.22 ประกอบด้วย ถังแก๊ส LPG ขนาด 15 kg และหัวเผา ขนาด 2 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 แสดงถังแก๊ส



รูปที่ 5.22 แสดงลักษณะของหัวเผา

5.1.8 ระบบดักจับฝุ่นซีเมนต์

เป็นระบบดักจับฝุ่นซีเมนต์ที่เกิดขึ้นหลังจากการเผาไหม้ โดยใช้หลักการของ Cyclone ดังแสดงในรูปที่ 5.23 ประกอบด้วยท่อทางเข้าทรงกระบอก ส่วน Cyclone เป็นกรวยและก๊าซไอเสียจะถูกปล่อยออกทางด้านบนของไซโคลอน และซีเมนต์จะถูกดักและปล่อยออกลงสู่ถังเก็บซีเมนต์ เพื่อช่วยลดปริมาณมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

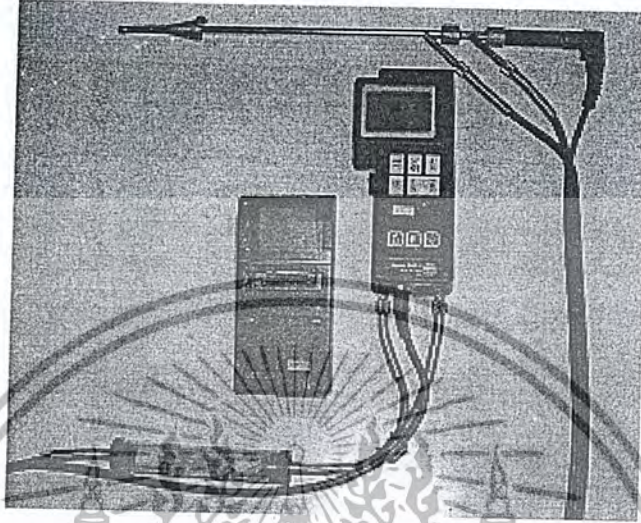


รูปที่ 5.23 Cyclone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.9 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย

ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลองสามารถวิเคราะห์ค่าปริมาณของแก๊สต่างๆที่ออกมาด้วยเครื่องวิเคราะห์ไอเสีย TESTO 342-1 ดังแสดงในรูปที่ 5.24

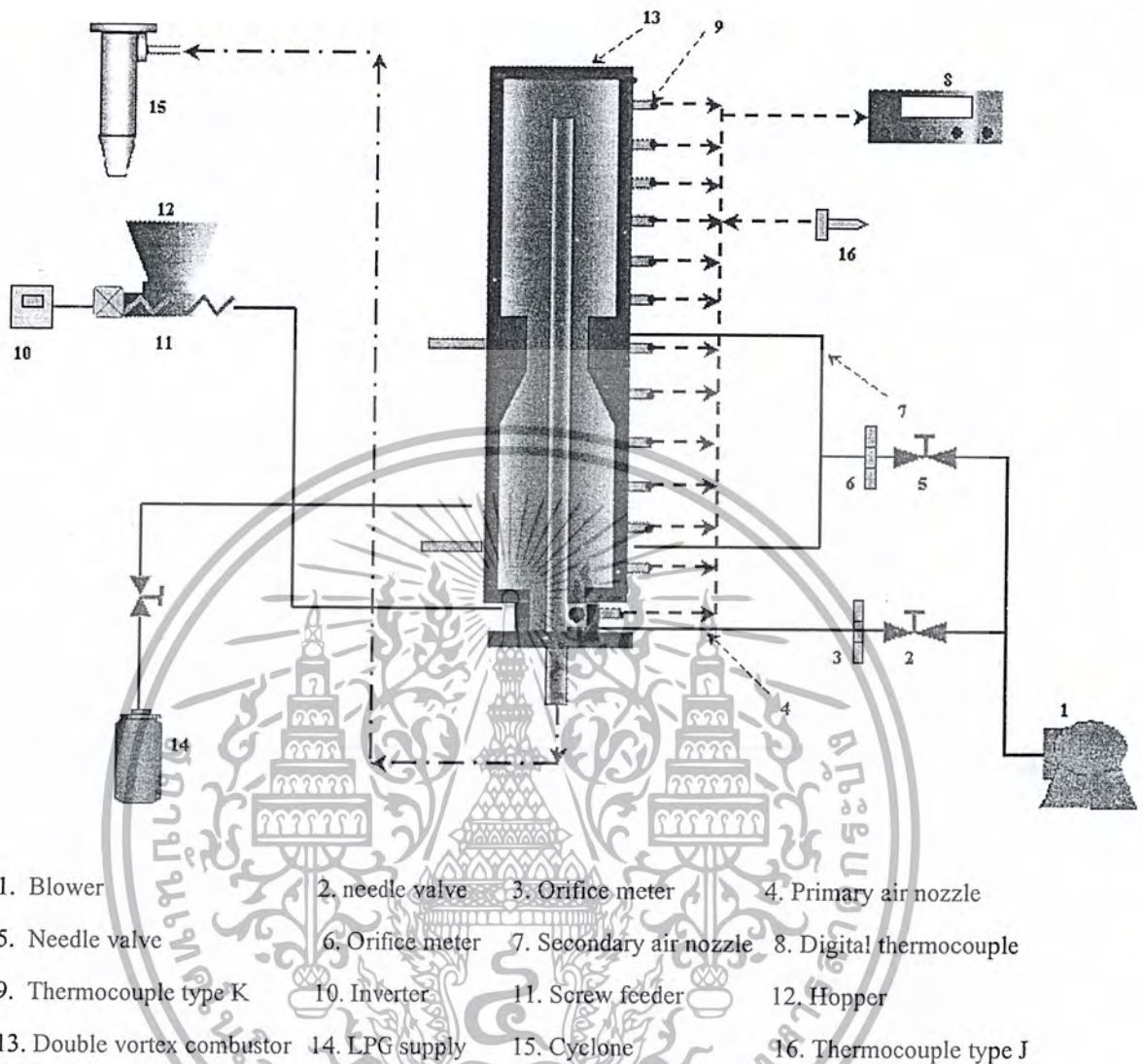


รูปที่ 5.24 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 342-1

5.2 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง

การออกแบบเตาเผาออร์เทกซ์ที่ใช้ในการทดลอง มีความสูงของห้องเผาไหม้ทั้งหมด 1800 mm. เส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่สุด 300 mm. เส้นผ่าศูนย์กลางเล็กสุด 150 mm. โดยส่วนล่างสุดจะเป็นห้องผสมระหว่างอากาศปฐมภูมิและเชื้อเพลิงแก๊ส มีความสูง 150 mm. เส้นผ่าศูนย์กลาง 150 mm. จัดวางตำแหน่งของท่อของท่อป้อนแก๊สกับท่ออากาศปฐมภูมิไว้ด้านตรงข้ามกัน ภายในตัวเตาระหว่างห้องเผาไหม้ปฐมภูมิและห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ มีลักษณะเป็นกรวยและลอคอคอด ส่วนของอากาศทุติยภูมิจะทำการแบ่งการฉีดอากาศออกเป็น 2 ตำแหน่ง ที่ระยะความสูงของห้องเผาไหม้ 150 mm. จำนวน 4 จุด และที่ระยะความสูงของห้องเผาไหม้ 825 mm. จำนวน 2 จุด ในการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองมีหลักการทำงานดังนี้ คือ อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ได้มาจาก Blower (1) แยกเป็นสองส่วน คือ อากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ โดยใช้ needle valve (2) และ Orifice meter (3) ในการปรับอัตราการไหลและวัดอัตราการไหลตามลำดับของอากาศปฐมภูมิ ในส่วนของอากาศทุติยภูมิสามารถปรับอัตราการไหล โดยใช้ needle valve (5) และใช้ Orifice meter (6) ในการวัดอัตราการไหล ส่วนในการป้อนแก๊สจะใช้ Screw feeder (11) ซึ่งสามารถควบคุมอัตราการป้อนแก๊สโดยใช้ Inverter (10) ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ในตอนเริ่มทำการทดลองจำเป็นต้องใช้แก๊สเชื้อเพลิงเหลว LPG (14) เพื่อช่วยในการอุ่นเตาทำให้อุณหภูมิภายใน เตาสูงจนสามารถทำให้เชื้อเพลิงแก๊สเกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเองได้ การวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K (9) วัดการกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ 12 จุด วัดอุณหภูมิห้องผสม 1 จุด ที่ตำแหน่งจากด้านล่างเตา 0.075 m,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.25 แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผาแบบวอร์เทคคู่

0.255 m, 0.375 m, 0.525 m, 0.675 m, 0.825 m, 0.975 m, 1.125 m, 1.275 m, 1.425 m, 1.575 m, 1.725 m และ 1875 m. ตามลำดับ และวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 1 จุดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล Type J (16) หลังจากนั้นส่วนผสมที่เกิดการเผาไหม้แล้วจะออกทางท่อทิ้งที่ตำแหน่งกึ่งกลางของตัวเตาและชี้ไถ่จะถูกแยกออกด้วย Cyclone (15)

5.3 การอุ่นเตา

ก่อนทำการทดลองต้องทำการอุ่นเตา เพื่อให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงขึ้นจนกระทั่งเชื้อเพลิงแกลบที่ป้อนเข้าไปสามารถเกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเองได้ การอุ่นเตาใช้หัวเผาโดยมีแก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง ขั้นตอนในการอุ่นเตาดังนี้ จุดไฟที่หัวเผาและทำการปรับวาล์วให้เปลวไฟที่หัวเผาเป็นสีน้ำเงิน หลังจากนั้นนำหัวเผาไปเสียบตำแหน่งที่ใช้ในการอุ่นเตาบริเวณส่วนล่างของเตา จนกระทั่งอุณหภูมิภายในไม่ต่ำกว่า 400 องศาเซลเซียส อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาสูงประมาณ $400^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$ จึงเริ่มป้อนแกสให้มีอัตราการไหลต่างๆ เพื่อให้แกสเผาไหม้และช่วยเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จนอุณหภูมิสูงประมาณ $700^{\circ}\text{C} - 750^{\circ}\text{C}$ จึงหยุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊สที่หัวเผา และนำหัวเผาออกจากห้องเผาไหม้ เนื่องจากอุณหภูมิสูงพอที่ทำให้เชื้อเพลิงแกสสามารถเผาไหม้ด้วยตนเองอย่างต่อเนื่องแล้วจึงเริ่มทำการทดลอง

5.4 การทดลองและบันทึกผลการทดลอง

1. ทำการอุ่นเตา โดยใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG จนกระทั่งอุณหภูมิ ภายในเตามีค่าประมาณ $400^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$ จากนั้นเริ่มป้อนเชื้อเพลิงแกส(มีขนาดประมาณ $2\text{ mm.} \times 8\text{ mm.}$)เข้าสู่ห้องเผาไหม้ พร้อมกับอากาศปฐมภูมิ จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาประมาณ $700^{\circ}\text{C} - 750^{\circ}\text{C}$ แล้วทำการเอาชุดอุ่นเตาออก
2. ป้อนเชื้อเพลิงแกสให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 0.3 kg/min
3. ปรับค่าอัตราการไหลของอากาศให้ค่า equivalence ratio เท่ากับ 0.8 และปรับอัตราส่วนของ $\lambda = 0$
4. บันทึกค่าอุณหภูมิภายในที่ตำแหน่งตามแนวแกนที่ $0.075\text{ m}, 0.255\text{ m}, 0.375\text{ m}, 0.525\text{ m}, 0.675\text{ m}, 0.825\text{ m}, 0.975\text{ m}, 1.125\text{ m}, 1.275\text{ m}, 1.425\text{ m}, 1.575\text{ m}, 1.725\text{ m}$ และ 1.875 m . ที่ระยะ $r/R = 0.25$ บันทึกผล ของอุณหภูมิทุก 3 นาที จำนวน 3 ครั้ง สังเกตลักษณะขี้เถ้า และควันที่เกิดจากการเผาไหม้ และวัดค่าไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้
5. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 4 ที่ตำแหน่งตามแนวแกนที่กำหนดไว้ ที่ระยะ $r/R = 0.40, 0.60, 0.80,$ และ 1.0 ตามลำดับ ที่ความสูงตามแนวแกน $= 0.675\text{ m}$ วัดที่ระยะ $r/R = 0.25, 0.40, 0.60$ และที่ความสูงตามแนวแกน $= 0.825\text{ m}$ วัดที่ระยะ $r/R = 0.25, 0.40$ และ 0.50 ตามลำดับ
6. ทำการทดลองตามข้อที่ 3 - 5 โดยทำการปรับอัตราส่วนของ $\lambda = 0.15$ และ 0.25 ตามลำดับ
7. ทำการทดลองตามข้อที่ 3 - 6 โดยปรับค่า equivalence ratio เท่ากับ $0.7, 0.6$ และ 0.5 ตามลำดับ

* r/R คือ อัตราส่วนระหว่างตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิในแนวรัศมีกับรัศมีภายในเตาเผาแบบวอร์เทกลู

บทที่ 6

ผลการทดลองและวิจารณ์

6.1 บทนำ

จากที่ได้ทำการทดลองที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 5 ในการทดลองนี้มุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาถึงผลกระทบบของเตาเผาแบบวอร์เทคคู่ ที่มีชุดกรวยและคอคอดคั่นระหว่างกลาง อัตราส่วนของปริมาณการไหลของอากาศหตุยภูมิต่อปริมาณการไหลของอากาศทั้งหมด(λ) และอัตราส่วนสมมูล (Φ) ที่มีความเหมาะสมต่อการเผาไหม้ โดยพิจารณาจาก การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทคคู่ เถ้าลอยที่ได้จากการเผาไหม้ โดยเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองกำหนด ดังนี้

1. อัตราป้อนแกลบ 0.3 kg/min
2. อัตราส่วนสมมูล (Φ) 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8
3. อัตราส่วนอากาศหตุยภูมิต่ออากาศทั้งหมด (λ) = 0.00, 0.15 และ 0.25

ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองสามารถวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาและปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ได้ดังต่อไปนี้

6.2 อิทธิพลของอัตราส่วนสมมูล (Φ)

จากการศึกษาถึงผลกระทบบของอัตราส่วนสมมูล (Φ) ที่ค่าอัตราป้อนแกลบ 0.3 kg/min ที่ค่าอัตราส่วนอากาศหตุยภูมิต่ออากาศทั้งหมด (λ) ต่างๆ ได้ผลดังต่อไปนี้

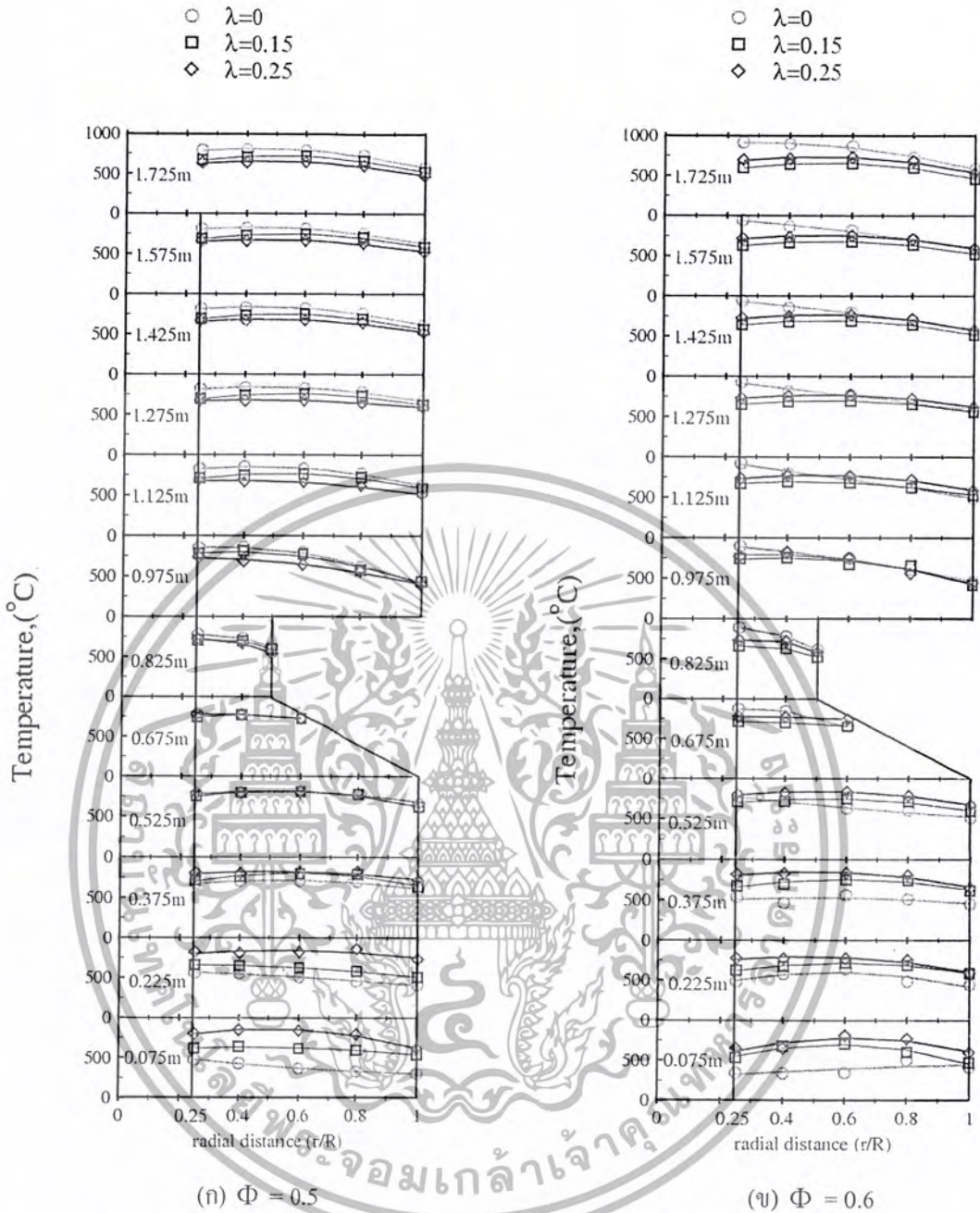
6.2.1 อิทธิพลของ $\Phi = 0.5$ ที่ค่า $\lambda = 0.00, 0.15$ และ 0.25

พิจารณาจากรูปที่ 6.1(ก) ที่ $\Phi = 0.5$ การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทคส่วนที่หนึ่ง การกระจายอุณหภูมิมีค่าสม่ำเสมอแต่มีค่าต่ำกว่าห้องเผาไหม้ส่วนที่สองซึ่งเป็นผลกระทบเนื่องมาจากปริมาณอากาศที่เข้ามาทำให้การกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ส่วนที่หนึ่งมีค่าต่ำกว่าห้องเผาไหม้ส่วนที่สอง พิจารณาผลกระทบบของอากาศส่วนที่สองที่ค่าที่กำหนดไว้ คือ $\lambda = 0.00, 0.15$ และ 0.25 ที่ห้องเผาไหม้ส่วนที่หนึ่ง เมื่อค่า λ เพิ่มขึ้นการกระจายอุณหภูมิก้จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเป็นผลจากเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดการหมุนวนเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้เพิ่มขึ้นตั้งแต่ห้องเผาไหม้ส่วนที่หนึ่ง แต่ที่ห้องเผาไหม้ส่วนที่สองเกิดผลกระทบบขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดห้องเผาไหม้มากกว่า และผลของอากาศส่วนที่สองกลับไม่เป็นผลดีเพราะเมื่อ λ เพิ่มขึ้น การกระจายอุณหภูมิก้เริ่มลดลงตามด้วยเล็กน้อย

เมื่อวิเคราะห์ผลของก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นในกรณีนี้ พิจารณาจากรูปที่ 6.3 เส้นกราฟที่ค่า $\Phi = 0.5$ และ $\lambda = 0.00$ มีปริมาณของ CO = 259 ppm ซึ่งน้อยกว่าค่า λ อื่นๆ เป็นผลเนื่องจาก O_2 สามารถมีระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับ C มากกว่าในกรณีอื่นๆจากรูป 6.4 สังเกตจากกราฟที่ $\Phi = 0.5$ และ $\lambda = 0.00$

มีปริมาณของ $CO_2 = 12.6\%$ ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกว่า O_2 สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับ C ได้มากกว่ากรณี λ ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.3 kg/min

อื่นๆ พิจารณารูปที่ 6.5 ที่ค่า $\Phi = 0.5$ และ $\lambda = 0.00$ มีปริมาณของ $O_2 = 8.3\%$ ซึ่งเป็นค่า O_2 ที่เหลือหลังจากทำการเผาไหม้แล้วสามารถบ่งบอกได้ว่า O_2 สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้มากกว่ากรณีค่า λ อื่นๆ ซึ่งผลการวิเคราะห์ไอเสียทั้งหมดบ่งบอกได้ว่าเมื่อมีการแบ่งอากาศส่วนที่สองเกิดขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นก็จริงแต่ไอเสียกลับมีค่ามากขึ้นด้วย

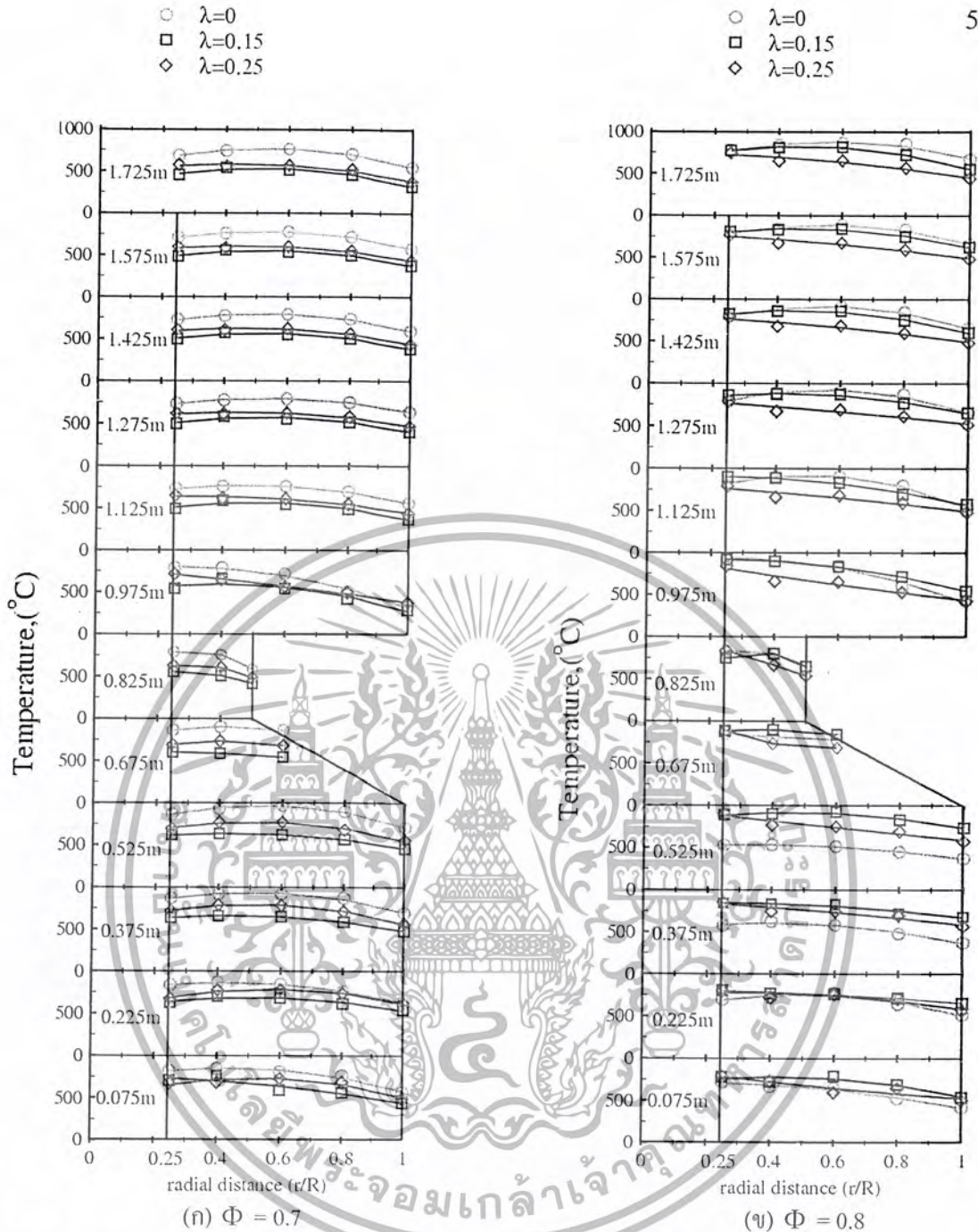
6.2.2 อิทธิพลของ $\Phi = 0.6$ ที่ค่า $\lambda = 0.00, 0.15$ และ 0.25

พิจารณาจากรูปที่ 6.1(ข) ที่ค่า $\Phi = 0.6$ ผลของการกระจายอุณหภูมิจึงมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณี

$\Phi = 0.5$ แต่การกระจายอุณหภูมิในกรณีนี้มีค่าสูงกว่า $\Phi = 0.5$ เป็นผลจากปริมาณอากาศที่เข้าไปน้อย

กว่าที่ $\Phi = 0.5$ เข้าใกล้อากาศทางทฤษฎีมากกว่า

ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.3 kg/min

พิจารณาผลของไอเสียที่ค่า $\Phi = 0.6$ ที่ค่า λ ต่างๆจากรูปที่ 6.3 ที่ค่า $\Phi = 0.6$ และ $\lambda = 0.15$ มีปริมาณของ CO = 173 ppm ซึ่งน้อยกว่าทุกกรณีของ λ ต่างๆพิจารณาจากรูปที่ 6.4 ที่ค่า $\Phi = 0.6$ และ $\lambda = 0.15$ มีปริมาณของ CO₂ = 11.9 % เป็นค่าที่มากที่สุดของกรณีค่า λ ต่างๆแสดงถึงความสามารถในการเผาไหม้ที่ดีของกรณีนี้ จากรูปที่ 6.5 ก็มีปริมาณของ O₂ น้อยที่สุดที่เหลือจากการเผาไหม้ที่ค่า $\Phi = 0.6$ และ $\lambda = 0.15$ เช่นเดียวกัน

6.2.3 อิทธิพลของ $\Phi = 0.7$ ที่ค่า $\lambda = 0.00, 0.15$ และ 0.25

พิจารณาการกระจายอุณหภูมิจากรูปที่ 6.2(ก) ที่ค่า $\Phi = 0.7$ และค่า λ ต่างๆ สังเกตจากรูปการเอกซารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การกระจายอุณหภูมิมักสม่ำเสมอทุกค่า λ แต่ที่ $\lambda = 0.00$ มีการกระจายอุณหภูมิสูงที่สุด เมื่อทำการเปิดไม่ว่างกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศส่วนที่สองการกระจายอุณหภูมิของห้องเผาไหม้ทั้งสองห้องมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอากาศส่วนที่สองขึ้นตามค่าที่กำหนดไว้

พิจารณาผลการวิเคราะห์ไอเสียที่ค่า $\Phi = 0.7$ และ $\lambda = 0.25$ เป็นสภาวะที่มีความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยาระหว่าง O_2 กับ C ได้มากกว่ากรณีค่า λ ค่าอื่นซึ่งสังเกตได้จากรูปที่ 6.3, 6.4 และ 6.5 ตามลำดับ

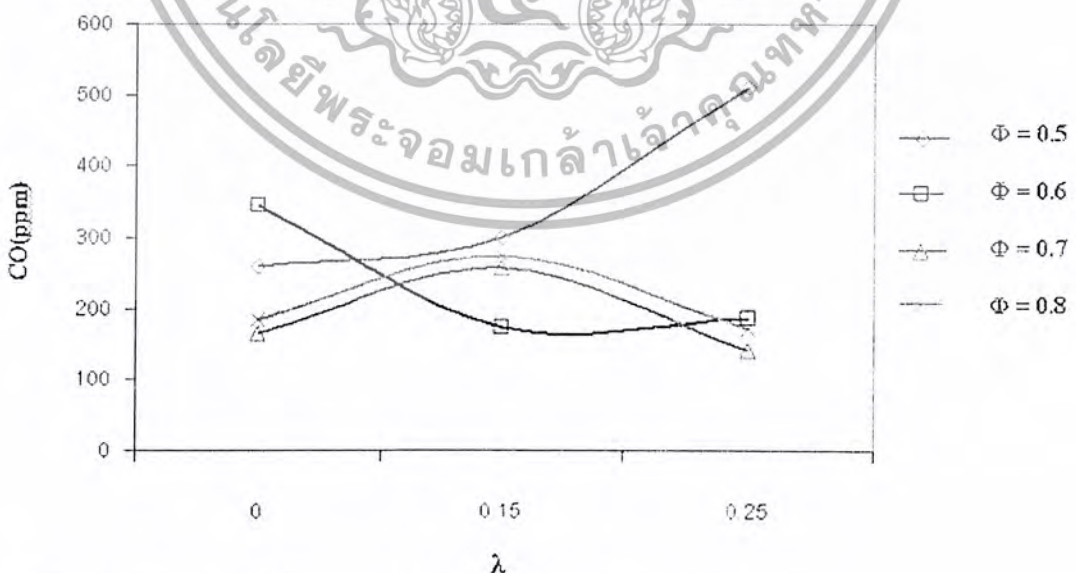
6.2.4 อิทธิพลของ $\Phi = 0.8$ ที่ค่า $\lambda = 0.00, 0.15$ และ 0.25

พิจารณาจากรูปที่ 6.2(ข) การกระจายอุณหภูมิที่ $\Phi = 0.8$ และค่า λ ต่างๆมีค่าไม่สม่ำเสมอทั้งสองห้องเผาไหม้ ซึ่งที่สภาวะนี้ไม่เหมาะสมต่อการใช้งานสำหรับเตาในลักษณะนี้

พิจารณาผลการวิเคราะห์ไอเสียที่ค่า $\Phi = 0.8$ มีผลเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันกับกรณี $\Phi = 0.7$ ทุกค่าของ λ แต่มีปริมาณของก๊าซไอเสียออกมามากกว่ากรณี $\Phi = 0.7$ จัดเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมสำหรับเตาในลักษณะนี้

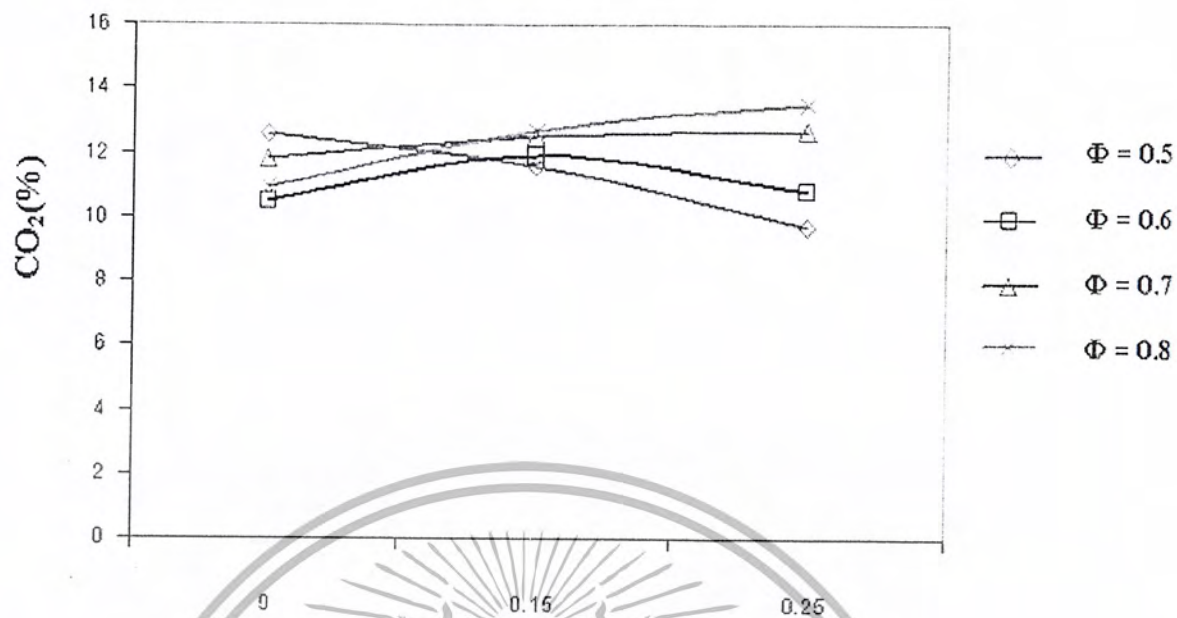
6.3 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผนังห้องผสม

พิจารณาจากรูปที่ 6.6 อุณหภูมิที่ห้องผสมมีค่าต่ำที่ Φ น้อยๆเมื่อค่า Φ เพิ่มขึ้นอุณหภูมิก็นมีแนวโน้มสูงตามขึ้นไปด้วยเนื่องจากปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งมีค่าลดลงเมื่อค่า Φ เพิ่มขึ้น พิจารณาที่ค่า λ ต่างๆเมื่อค่า λ เพิ่มขึ้นอุณหภูมิก็นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เป็นผลเนื่องจากการแบ่งอากาศออกเป็นสองส่วนทำให้อากาศส่วนที่หนึ่งลดลง ในส่วนของอุณหภูมิห้องผสมนี้หากมีค่าสูงเกินไปทำให้เกิดการลุกไหม้เร็วเกินไปไม่เป็นผลดีต่อการกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้และทำให้เกิดไฟย้อนกลับเข้าไปในชุดป้อนแก๊สเกิดการลุกไหม้ใน Hopper

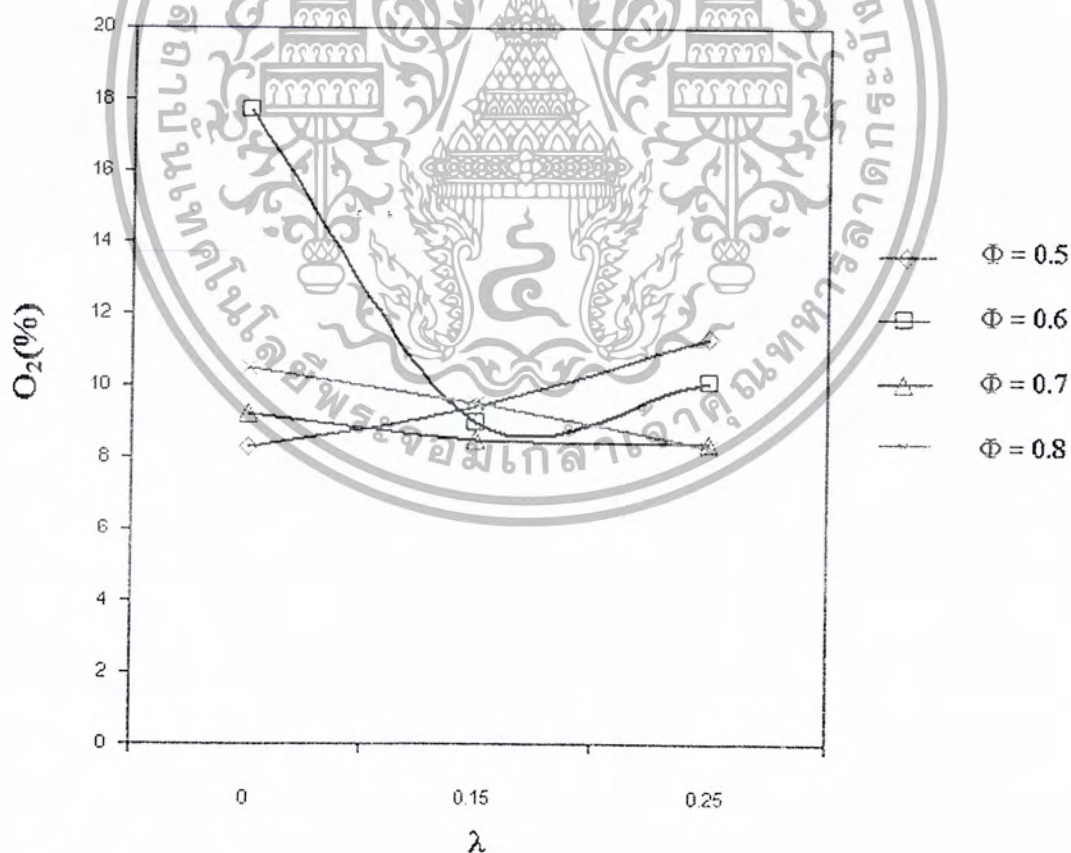


รูปที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซ CO กับ λ ที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

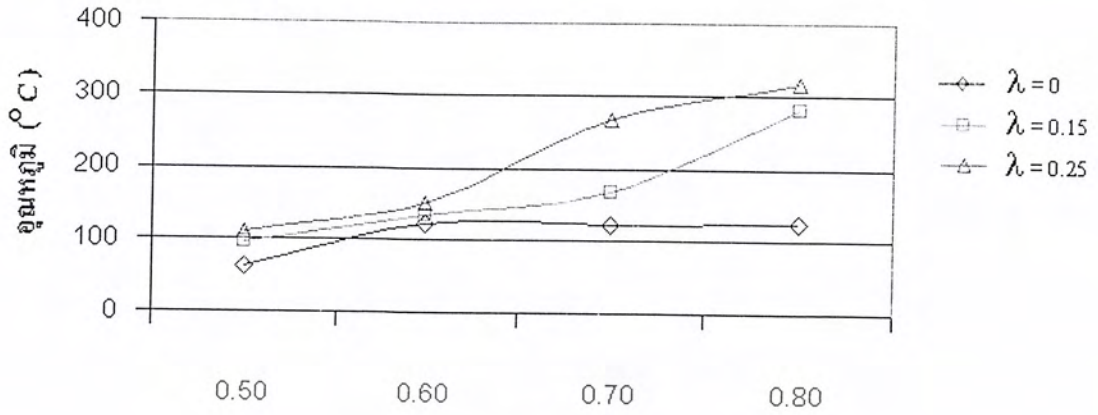


รูปที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซ CO₂ กับ λ ที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) ต่างๆ



รูปที่ 6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซ O₂ กับ λ ที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องผสม (°C) กับอัตราส่วนสมดุล (Φ) ที่ค่า λ ต่างๆ



รูปที่ 6.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลของอากาศ กับ Δh pressure drop ภายในเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ได้ทำการออกแบบ สร้าง และทดสอบเตาเผาเคลือบแบบวอร์เทคคู่ เพื่อเป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล โดยเฉพาะเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองคือ แกลบ ซึ่งมีอยู่ในปริมาณมากในประเทศไทยและราคาถูก เพื่อนำเป็นแหล่งพลังงานทดแทนแหล่งพลังงานเดิมที่ได้จากน้ำมันและฟอสซิลด้านหินที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งมีมูลค่าสูงและมีปริมาณลดน้อยลงๆเรื่อย จากการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. การศึกษาเกี่ยวกับผลของเตาเผาเคลือบแบบวอร์เทคคู่ จากผลการทดลอง พบว่าเตาวอร์เทคคู่ที่ได้สร้างขึ้นการเพิ่มเติมชิ้นส่วนของตัวเตาที่มีลักษณะทางเข้าห้องเผาไหม้ส่วนที่หนึ่งเป็นรูปกรวย ส่วนด้านนอกเป็นคอกคอกก่อนเข้าห้องเผาไหม้ส่วนที่สอง ปรากฏว่ามีผลทำให้การกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้มีความสม่ำเสมอและสูงขึ้นทุกค่าอัตราส่วนสมมูล แต่อากาศส่วนที่สองกลับทำให้การกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่สองลดลงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาห้องเผาไหม้ส่วนที่หนึ่ง โดยดูที่ด้านล่างสุดของห้องเผาไหม้ส่วนที่หนึ่งเป็นห้องผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ ซึ่งความเหมาะสมกับการใช้งาน ในกรณีอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.5 - 0.7 เป็นเพราะผลของปริมาณอากาศมากเกินพอที่ทำให้อุณหภูมิภายในห้องผสมไม่สูงเกินไป สำหรับการกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ส่วนที่หนึ่ง กรณีที่ไม่มีอากาศส่วนที่สอง การกระจายอุณหภูมิก่อนข้างต่ำและไม่สม่ำเสมอ แต่มีอากาศส่วนที่สองเข้ามาช่วยการกระจายอุณหภูมิเริ่มเพิ่มขึ้นและสม่ำเสมอขึ้น จากการทดลองในช่วงที่เหมาะสมต่อการใช้งาน คือ ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.5 - 0.7 แต่ที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้มากที่สุด คือ ที่อัตราส่วนสมมูล เท่ากับ 0.7 ที่ค่า $\lambda = 0$

จากผลการทดลองนี้ สังเกตได้ว่าขบวนการเผาไหม้ในทางปฏิบัติจริงๆ ไม่สามารถเผาไหม้ในอัตราส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงทางทฤษฎีได้ ดังนั้นการเผาไหม้ที่ดีจำเป็นต้องมีอากาศเกินจากที่คำนวณได้ทางทฤษฎีในปริมาณที่เพียงพอ สำหรับรูปแบบของห้องเผาไหม้ก็มีผลเช่นเดียวกันที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดี เพราะตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีในที่สุด

7.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเตาเผาเคลือบแบบวอร์เทคคู่นี้ เป็นการพัฒนาจากเตาเผาออร์เทคเดิมในอดีต ซึ่งการทดลองได้มุ่งเน้นในการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาในช่วงที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ สังเกตลักษณะซีล็ดลอยที่ออกจากตัวเตา คว้น ที่เกิดจากการเผาไหม้ ฉะนั้นแล้วควรจะมีการศึกษาตัวแปรอื่นๆที่ใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบให้ได้เตาเผาที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1. ศึกษาถึงผลกระทบกรณีที่ชิ้นส่วนที่แบ่งระหว่างห้องเผาไหม้ให้เป็นรูปกรวยทั้งสองด้าน
2. ศึกษาผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดและความสูงของท่อทิ้งในเตาเผาแบบวอร์เทค
3. ศึกษาถึงตำแหน่งการฉีดอากาศส่วนที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ศึกษาและปรับปรุงห้องผสม เพื่อไม่ให้เกิดไฟย้อนกลับเข้าไปในชุดป้อนแกลบ โดยหันกลับไปปรับปรุงชุดป้อนแกลบแบบเดิมที่มีการป้อนอากาศกับแกลบ
5. ควรนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น การอบแห้งพืชผลต่างๆ
6. ศึกษาถึงการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่นๆ เช่น ชานอ้อย กากปาล์ม ชีเสื่อย เป็นต้น
7. ควรหาแนวทางในการปรับปรุงชุดวัดอัตราการไหลให้มีค่าที่เที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] กัญจนา บุญเกียรติ, “เชื้อเพลิงและการเผาไหม้” สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544, 368 หน้า.
- [2] จิระวัฒน์ นารถพจนานนท์และคณะ(2544) “เตาเผาแกลบแบบวอร์เทค”ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [3] นิวัต พิริยะรุ่งโรจน์ (2544) “การศึกษาเชิงทดลองของเตาเผาแบบวอร์เทค” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] พงษ์เจต พรหมวงศ์ และคณะ (2543) “การศึกษาเชิงทดลองของการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาแกลบแบบวอร์เทค” วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง ปีที่ 8 ฉบับที่ 3 (ธันวาคม) , หน้า 19 - 24
- [5] วิศิษฐ์ ลีลาชาติกุล (2545) “เตาเผาแกลบแบบวอร์เทคหลายชั้น” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [6] สมศักดิ์ โพธิ์ถวิลเกียรติ (2545) “อิทธิพลของขนาดของแกลบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [7] ศุภชัย เลื่อนลอย (2545) “อิทธิพลของความชื้นของแกลบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [8] Sen Nieh and Tim T.Fu “Development of a Non-Slagging Vortex Combustor (VC) for Space/Water Heating Application” , Proc. 5th International Coal Conf., pp.761 – 768 , 1988
- [9] Zhang , J., and S.,Nieh, “Numerical Simulation of Effects of Center of Center tube and Multiple Air Injection on Gas Flow Field in a Vortex Combustion” ,Combustion Science and Technology, Vol. 88,No. 1-2,pp. 43-57,1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแกลบ (Rice Husk)

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

คุณสมบัติทางกายภาพ

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

ตารางที่ ก-1 คุณสมบัติของแกลบ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 การเปรียบเทียบเชื้อเพลิง

	เชื้อเพลิงแข็ง	เชื้อเพลิงเหลว	แก๊สเชื้อเพลิง
การขนส่ง	- ขนส่งง่ายแต่ลำบากในการขนย้าย	- ขนส่งง่ายและขนย้ายง่าย	- แก๊สธรรมชาติขนส่งและขนย้ายง่าย
การเก็บ	- ต้องใช้พื้นที่กว้าง	- ต้องใช้ถัง	- ต้องบรรจุในภาชนะพิเศษ
คุณสมบัติ	- คุณภาพเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน - ค่าความร้อนต่อหน่วยต่ำ - ขี้เถ้ามาก - ประสิทธิภาพในการสันดาปต่ำ - ต้องการอากาศส่วนเกินในการเผาไหม้เป็นจำนวนมาก - มีความยุ่งยากในการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ	- คุณภาพค่อนข้างคงที่ - ค่าความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักรวมสูง - ประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูง - ต้องการอากาศในการเผาไหม้น้อย - ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติได้ง่าย	- คุณภาพคงที่ - ค่าความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักรวมสูง - ไม่มีขี้เถ้า - ประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงสุด - ต้องการอากาศส่วนเกินจำนวนน้อยมาก - ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติได้ง่าย
อุปกรณ์สันดาป	- ขนาดเล็กไม่ซับซ้อน	- ขนาดเล็ก	- ขนาดค่อนข้างใหญ่
มลภาวะ	- จำเป็นต้องมีการป้องกันกรณีเกิดมลภาวะต่อบรรยากาศ	- จำเป็นต้องมีการป้องกันกรณีเกิดมลภาวะต่อบรรยากาศ	- มีผลกระทบต่อกรณีเกิดมลภาวะของบรรยากาศน้อย
ราคา	- ถูก	- ค่อนข้างแพง	- แพงที่สุดต่อความร้อน 1 หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 ปริมาณชีวมวลในปี 2540 และ 2544

หน่วย :ตัน

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

หมายเหตุ * ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปีเพาะปลูก 2540/44

** ประมาณการ

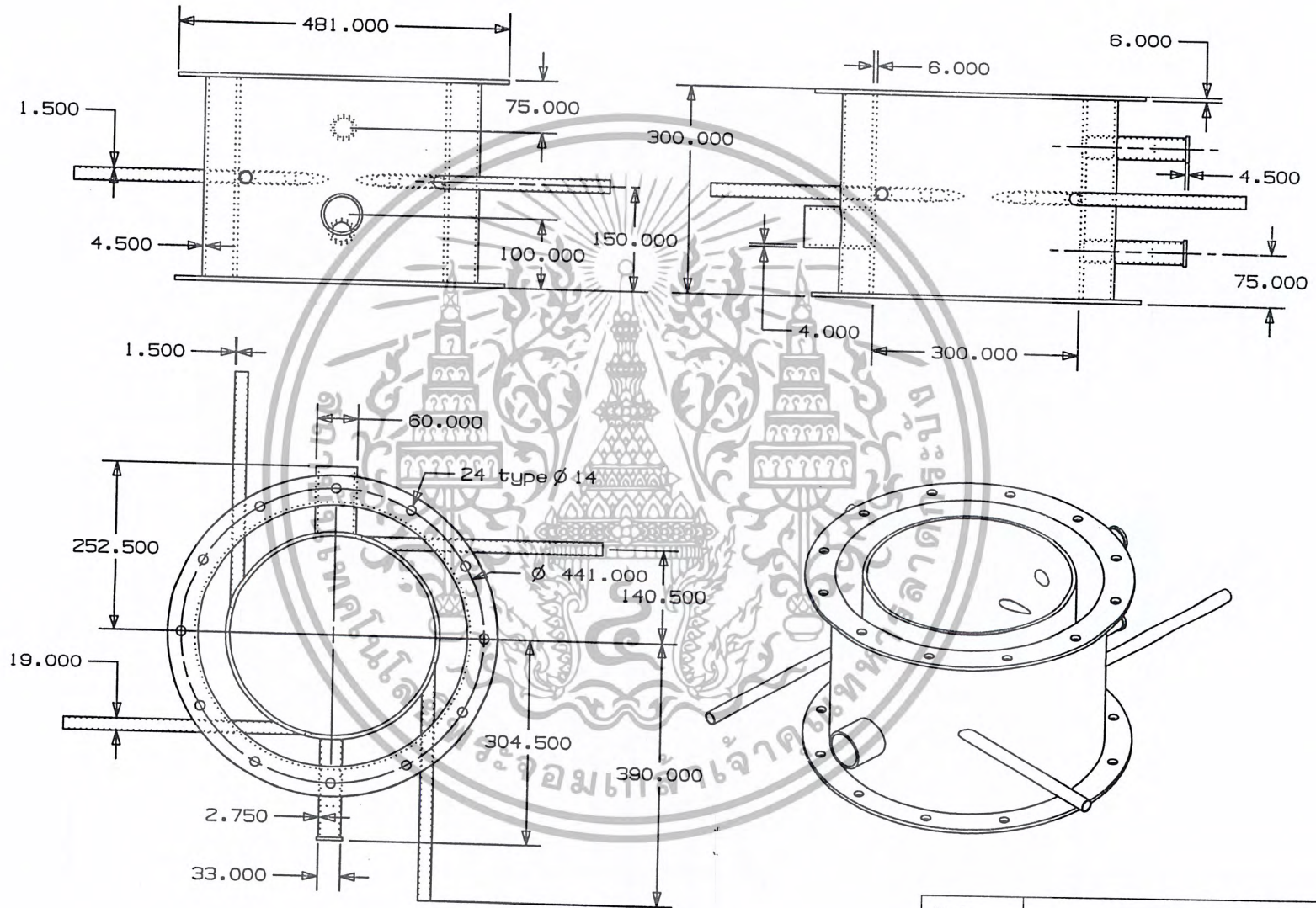
ตารางที่ ก-4 ปริมาณการใช้ชีวมวลโดยเฉลี่ยต่อโรง

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

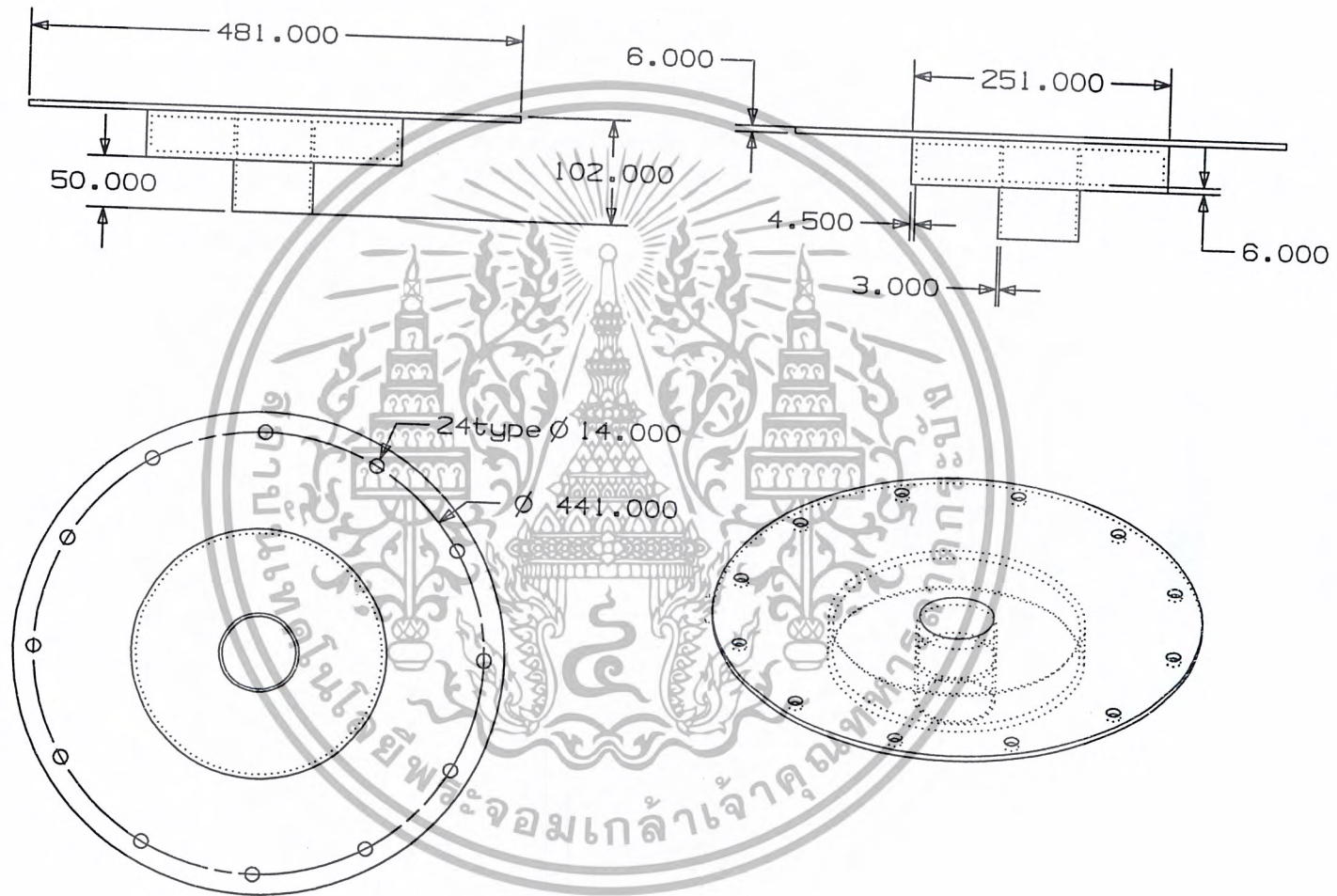
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



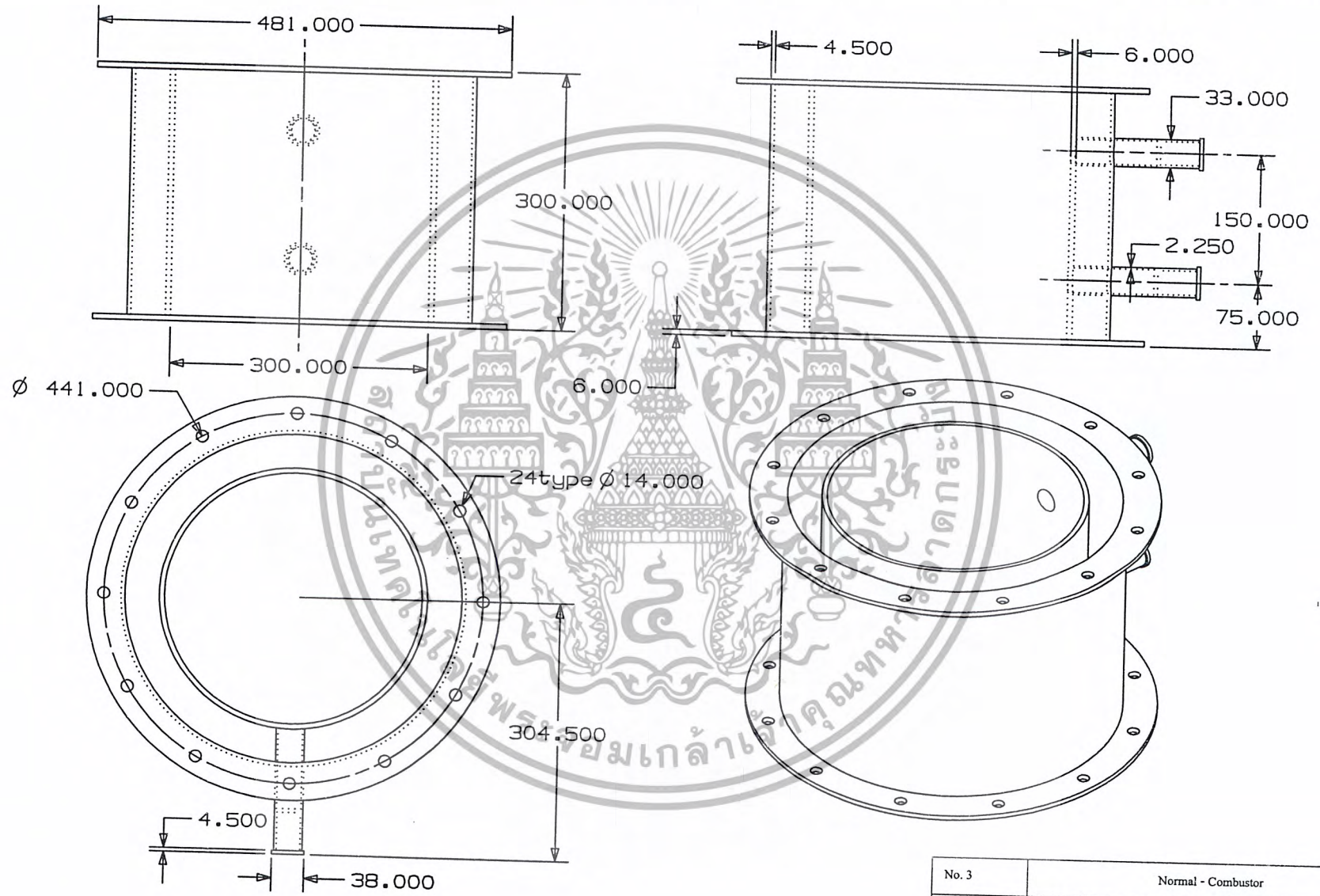
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



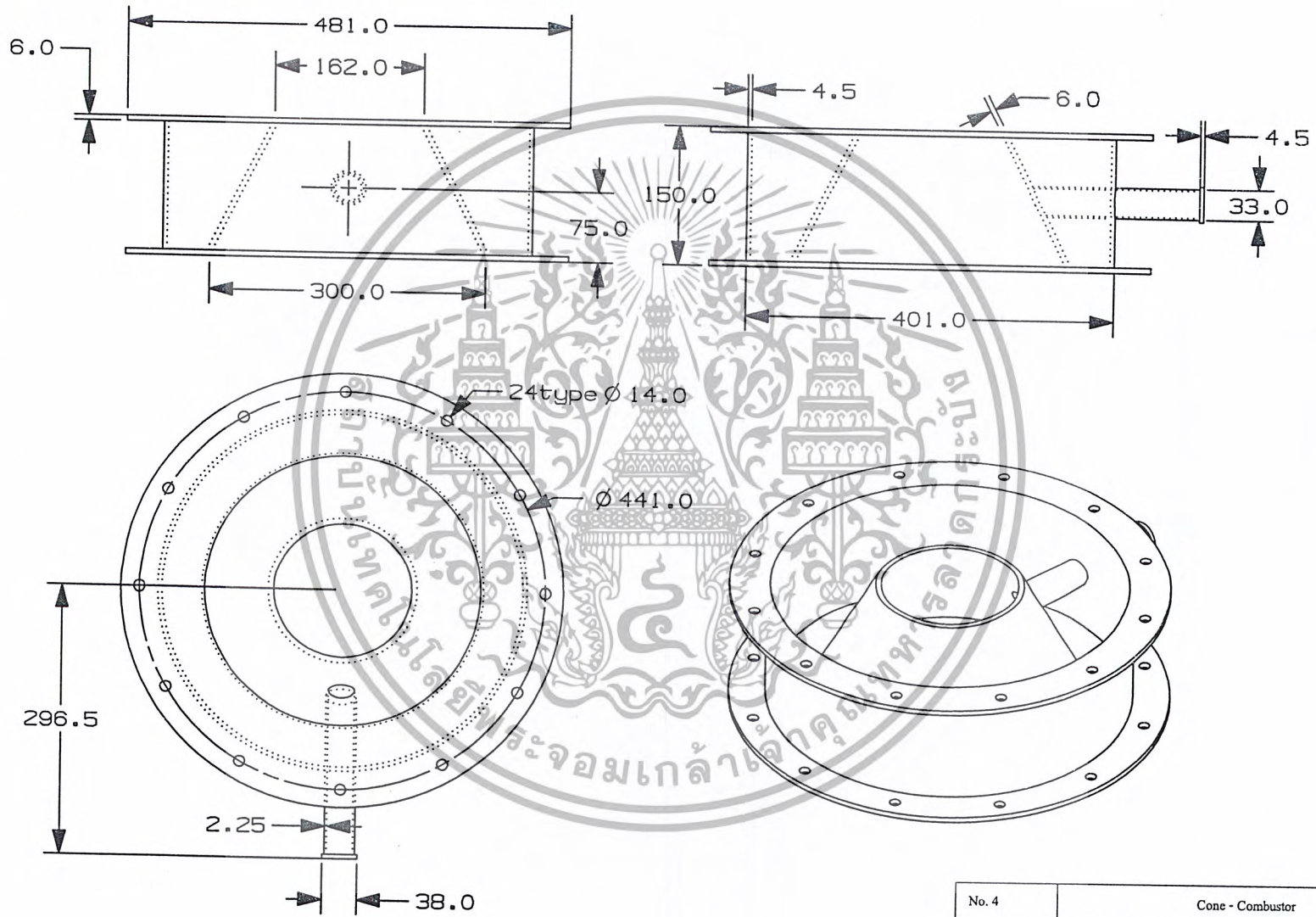
No. 1	Burner - Combustor	
Material	st 37	Double Rice Husk Fired Vortex Combustor
Designed By	Jannarong Prakodrat	September 2002
Drawn By	Dithaporn Thungsothanon	December 2002
Scale 1.5 : 10	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	



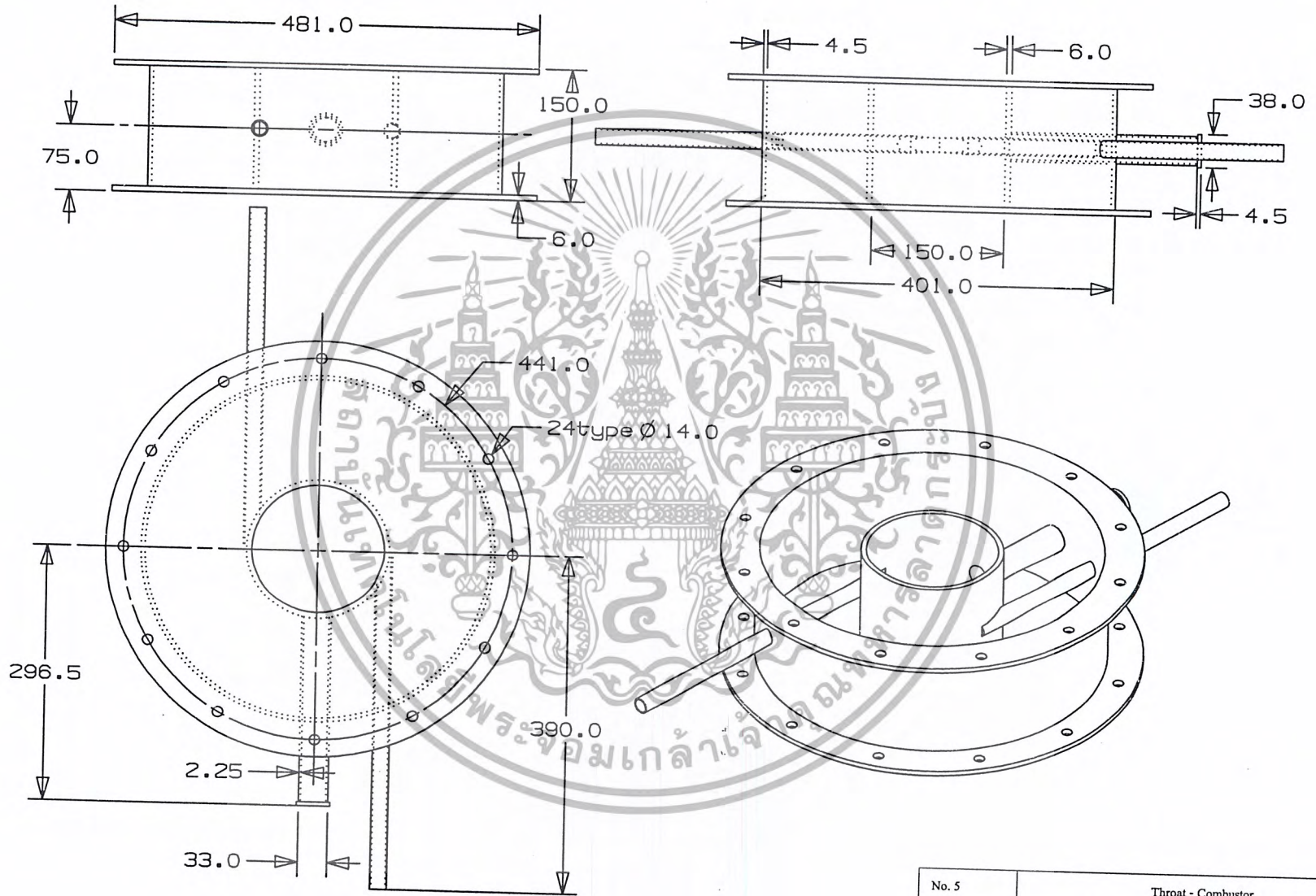
No. 2	Lower - Combustor	
Material	st 37	Double Rice Husk Fired Vortex Combustor
Designed By	Jannarong Prakodrat	September 2002
Drawn By	Dithaporn Thungsothon	December 2002
Scale 2 : 10	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	



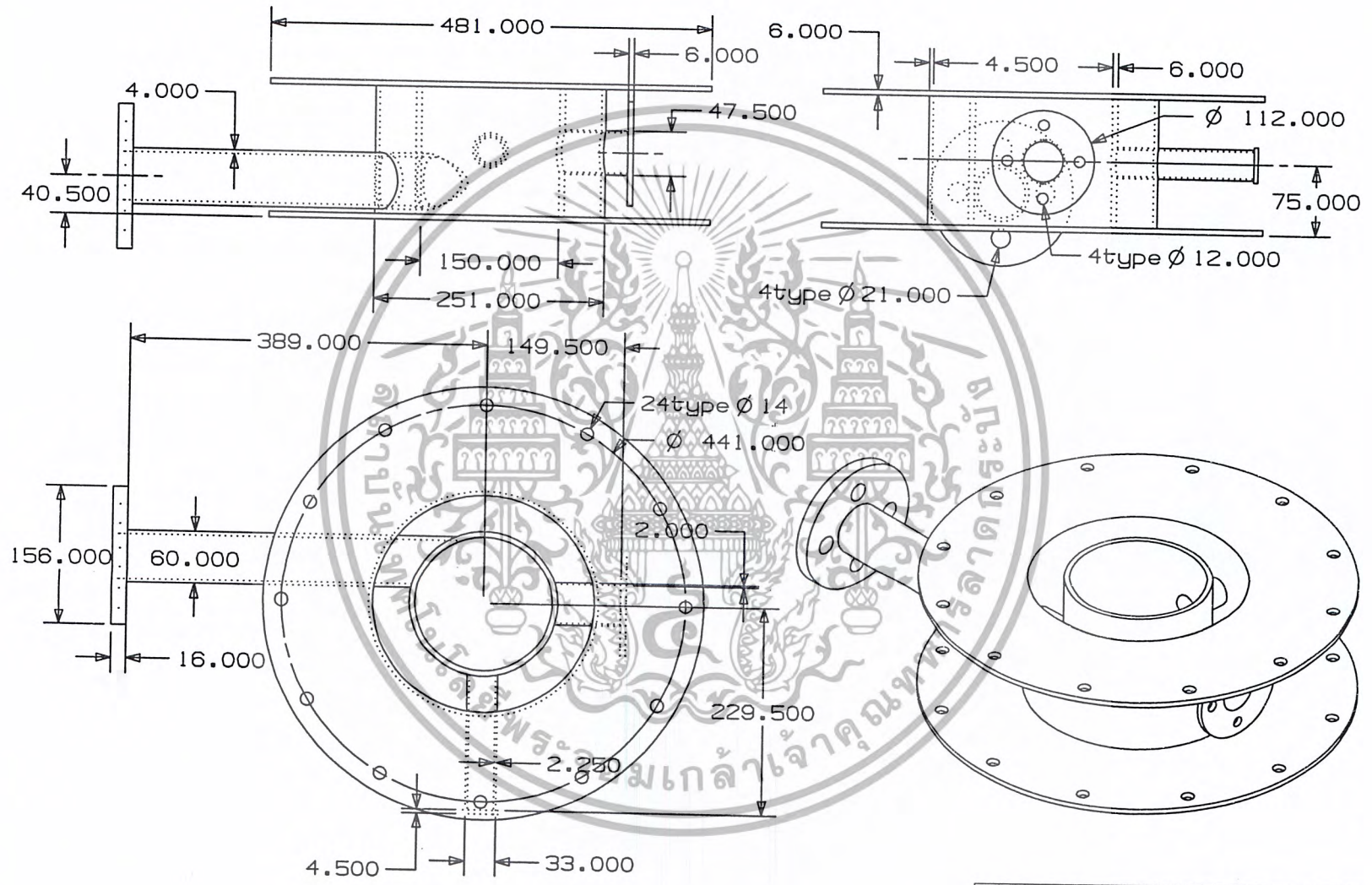
No. 3	Normal - Combustor	
Material	st 37	Double Rice Husk Fired Vertex Combustor
Designed By	Jannarong Prakodrat	September 2002
Drawn By	Dithaporn Thungsotanon	December 2002
Scale 2 : 10	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	



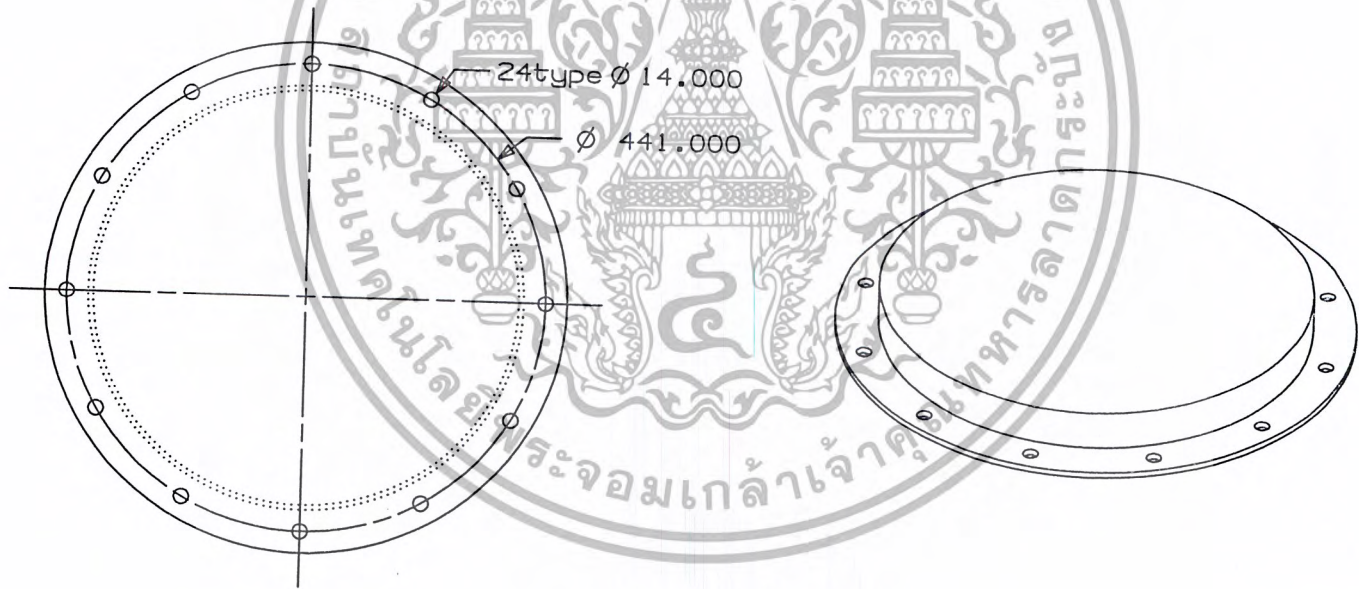
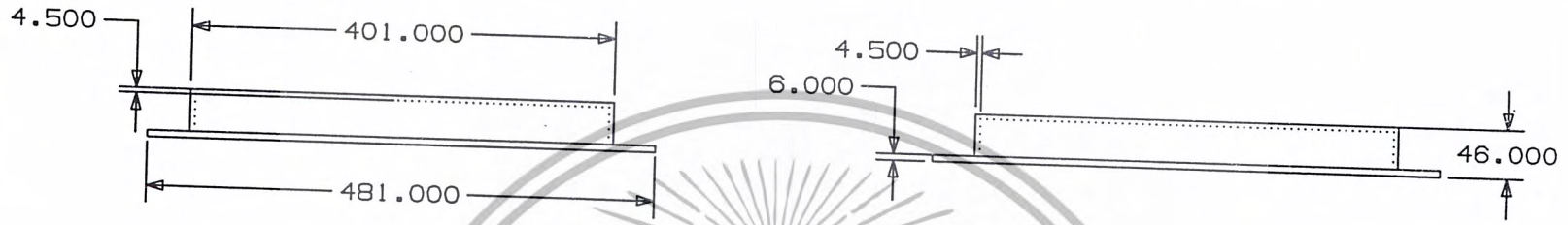
No. 4	Cone - Combustor	
Material	st 37	Double Rice Husk Fired Vortex Combustor
Designed By	Jannarong Prakodrat	September 2002
Drawn By	Dithaporn Thungsotanon	December 2002
Scale 2 : 10	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	



No. 5	Throat - Combustor	
Material	st 37	Double Rice Husk Fired Vortex Combustor
Designed By	Jannarong Prakodrat	September 2002
Drawn By	Dithaporn Thungsotanon	December 2002
Scale 2 : 10	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	



No. 6	Mixed - Combustor	
Material	st 37	Double Rice Husk Fired Vortex Combustor
Designed By	Jannarong Prakodrat	September 2002
Drawn By	Dithaporn Thungsotanon	December 2002
Scale 2 : 10	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	



No. 7	Top- Combustor	
Material	st 37	Double Rice Husk Fired Vortex Combustor
Designed By	Jannarong Prakodrat	September 2002
Drawn By	Dithaporn Thungsothanon	December 2002
Scale 2 : 10	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลอุณหภูมิ

การทดลองครั้งที่ 1

อัตราการป้อนเกลือ : 0.3 kg/min Primary Air : 100 % Date : 31/01/2546

อัตราส่วนสมดุล: 0.5 Secondary Air: 0 % Time: 06:30

เวลาที่ ใช้ใน การ ทดลอง (นาที)	ตำแหน่ง ความสูง เทอร์โม คัปเปิ้ล (m)	ระยะวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ระยะรัศมีที่กำหนดต่อรัศมีทั้งหมด (r/R)					หมายเหตุ
		0.25	0.4	0.6	0.8	1.0	
		อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		24.5	24.5	24.6	25.1	26.2	
3	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	469.9	440.5	380.9	324	319.1	
	0.375	548.9	563.4	518.7	457	414.2	
	0.525	675.8	711.2	718.4	694.4	623	
	0.675	757.7	794.8	797.2	-	-	
	0.825	781.5	777.1	740.1	-	-	
	0.975	768	736.9	644.7	536.1	444.3	
	1.125	834	869.3	836	653.3	456.1	
	1.275	821.1	845.6	862.1	776.4	644.5	
	1.425	816	831.4	850.8	794	687.5	
	1.575	810.8	825.2	839.2	773.8	639.9	
	1.725	802.7	814.2	827.3	769.3	648	
1.875	789.1	796.5	807.4	748.5	600		
อุณหภูมิเฉลี่ย ^o C		739.6	750.5	735.2	652.68	547.66	
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		24.2	24.8	25.6	25.0	26.7	
6	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	484.1	431.5	365.8	336.7	305	
	0.375	573.9	557.1	508.4	453.5	413.2	
	0.525	676.7	707.5	704.6	692.3	604.7	
	0.675	773	790.6	789.1	-	-	
	0.825	788.2	769	726.5	-	-	
	0.975	781.7	723.5	617.2	514.7	423.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	1.125	854.9	850.4	786.3	616.5	456.2	
	1.275	824	844.1	809.5	772.2	616.3	
	1.425	819.6	831.4	822.1	786.5	663.3	
	1.575	819.5	825.4	817.1	761.2	609.5	
	1.725	812.4	815.8	808	756.4	622	
	1.875	796.8	801.4	787.3	733.4	574.1	
อุณหภูมิเฉลี่ย ^o C		750.4	745.6	711.8	636.94	528.77	
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		24.0	24.7	26.1	24.9	27.0	
9	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	469.6	421.7	353.9	328.1	288.2	
	0.375	566.9	549.8	497	450.9	402.6	
	0.525	674	700.1	691.8	708.7	591	
	0.675	770.2	787.4	775.9	-	-	
	0.825	789.2	777.1	718.9	-	-	
	0.975	784.7	720.7	604.2	497.4	407	
	1.125	857.3	865.3	770.6	589.9	427.8	
	1.275	827.5	862.9	805.7	765.5	598.8	
	1.425	820.9	846.3	812.2	776.6	644.4	
	1.575	821.4	838.1	806.3	748.2	585.1	
	1.725	814	825.7	798.8	743.6	599.8	
	1.825	793.7	808.4	782.1	560.89	454.47	
อุณหภูมิเฉลี่ย ^o C		749.1	750.3	701.5	639.3	513.9	

การทดลองครั้งที่ 2

อัตราการป้อนเกลป : 0.3 kg/min Primary Air : 85 % Date : 31/0132546

อัตราส่วนผสม : 0.5 Secondary Air : 15 % Time : 05:30

เวลาที่ ใช้ในการ ทดลอง (นาที)	ตำแหน่ง ความสูง เทอร์โม คัปเปิ้ล (m)	ระยะวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ระยะรัศมีที่กำหนดต่อรัศมีทั้งหมด (r/R)					หมายเหตุ
		0.25	0.4	0.6	0.8	1.0	
		อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		24.2	24.9	25.5	25.2	24.3	
3	0.075						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	0.225	608.5	641	621.4	602.8	559	
	0.375	674.2	652	625.3	590.8	526.1	
	0.525	717.4	756.6	794.3	810.9	666.3	
	0.675	744.7	793.8	810.5	-	-	
	0.825	725.7	764.5	725.9	-	-	
	0.975	685.5	702.3	610.9	531.6	442.9	
	1.125	743.3	801.3	786.6	633.8	470.4	
	1.275	686.3	732.6	757.4	733.5	613.4	
	1.425	674.8	727.9	752.7	743	645.3	
	1.575	670.7	726	746.2	707.4	585.8	
	1.725	666.8	719.8	738.1	718.2	607.6	
	1.875	655.4	699.8	717.1	679.3	547.8	
	อุณหภูมิเฉลี่ย °C	687.8	726.5	723.9	675.13	566.46	
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	24.2	25.4	25.5	25.3	24.7	
6	0.075	-	-	-	-	-	-
	0.225	616	644.8	615	589.5	535.6	
	0.375	652.9	652.3	621.4	576.9	502.6	
	0.525	707.7	760.1	798.5	767.4	632.5	
	0.675	747.2	797.2	811.9	-	-	
	0.825	738.4	772.1	724.4	-	-	
	0.975	706.9	694.7	592.1	504.8	415.3	
	1.125	778.9	818.7	769.8	580.6	431.3	
	1.275	712.4	747.9	757.6	721.6	577.5	
	1.425	696.3	737.9	753.5	732.6	613.1	
	1.575	690.4	734.2	747	686.3	553	
	1.725	685.9	727.2	739.4	708.1	575.2	
	1.875	673	709.5	717.5	665.4	517	
	อุณหภูมิเฉลี่ย °C	700.5	733.1	720.7	653.32	535.31	
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	24.3	25.5	25.5	25.1	24.8	
9	0.075	-	-	-	-	-	-
	0.225	628.9	637.2	614.4	593.5	520.7	
	0.375	660.3	648.9	622	585.7	494.1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	0.525	719	763	799.4	787.5	622.4	
	0.675	762.2	799	815.7	-	-	
	0.825	755.5	769.4	723.7	-	-	
	0.975	726.8	690.3	583.3	489.1	399.1	
	1.125	803	820.2	760.3	555	416.7	
	1.275	733	752.6	761.2	720.2	565.8	
	1.425	715.9	744.2	755.9	727.7	601.4	
	1.575	709.4	740	749.4	673.3	538.2	
	1.725	704.2	732.2	742.9	696.4	562.3	
	1.825	688.9	712.4	722.7	653.8	505.2	
อุณหภูมิเฉลี่ย °C		717.3	734.1	720.9	648.22	522.59	

การทดลองครั้งที่ 3

อัตราการป้อนแกลบ : 0.3 kg/min Primary Air : 75 % Date : 1/02/2546

อัตราส่วนสมมูล: 0.5 Secondary Air: 25 % Time: 16:03

เวลาที่ ใช้ใน การ ทดลอง (นาที)	ตำแหน่ง ความสูง เทอร์โม คัปเปิล (m)	ระยะวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลที่ระยะรัศมีที่กำหนดรัศมีทั้งหมด (r/R)					หมายเหตุ
		0.25	0.4	0.6	0.8	1.0	
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	
		35.6	35.8	34.6	35.0	35.0	
3	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	789.2	840.1	839.6	764.1	676.6	
	0.375	810.6	798	812.4	849.6	743.3	
	0.525	789.4	790.4	806.4	827.7	723.1	
	0.675	779.7	789.7	800.8	-	-	
	0.825	767.5	764.5	726.1	-	-	
	0.975	719.1	668.7	563.7	467.6	374.6	
	1.125	734.6	683.4	649.1	585.5	419.9	
	1.275	684.7	659.3	661.4	628.4	515.7	
	1.425	671.7	662.1	674.9	660.5	656.2	
	1.575	664.5	658.5	673.4	654.9	529.8	
	1.725	655.3	649.4	662.7	644.9	530.2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	1.875	636.7	631.5	646.1	617.4	480	
	อุณหภูมิเฉลี่ย °C	725.3	716.3	709.7	670.06	564.94	
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	35.3	36	35.1	35.1	34.8	
6	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	796.9	839.2	848.1	800.1	610.1	
	0.375	823.5	807.2	824.8	857.4	726.2	
	0.525	808.5	800.2	819	819	713.1	
	0.675	794.1	797.9	810.6	-	-	
	0.825	782.1	774.7	725	-	-	
	0.975	728.2	664.5	539.5	446.1	363	
	1.125	743.3	687.8	646.2	564	393.9	
	1.275	691.9	665.9	658.8	614.8	503.8	
	1.425	678.9	669.1	675.4	649.1	556.3	
	1.575	671.4	665.5	673.8	642.9	517.2	
	1.725	662	657	663.9	632.9	520	
1.875	641	640.9	648.5	605	470.5		
	อุณหภูมิเฉลี่ย °C	735.2	722.5	711.1	633.13	537.41	
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	35.2	34.4	35.2	34.5	35.2	
9	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	817.1	861.7	832.5	812.6	561.4	
	0.375	833.2	820.4	821.9	867.8	725.5	
	0.525	830.5	810.8	817	817.4	701.4	
	0.675	807.9	802.9	810.2	-	-	
	0.825	785.4	779.4	723.9	-	-	
	0.975	726.5	663.4	528	433.4	365.4	
	1.125	732.9	688	643.9	554.4	381.2	
	1.275	682.7	670.2	657	607.4	502.7	
	1.425	673.8	676.3	673.7	639.3	556.6	
	1.575	668.5	672.9	672.4	630.4	510.8	
	1.725	659.6	664.5	663.3	620.6	515.3	
1.825	637.3	645.7	647.1	620.6	469.2		
	อุณหภูมิเฉลี่ย °C	739.9	729.7	707.6	660.39	528.95	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 4

อัตราการป้อนแกลบ : 0.3 kg/min Primary Air : 100 % Date : 30/01/2546

อัตราส่วนสมมูล : 0.6 Secondary Air : 0 % Time : 4:47

เวลาที่ ใช้ใน การ ทดลอง (นาที)	ตำแหน่ง ความสูง เทอร์โม คัปเปิ้ล (m)	ระยะวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ระยะรัศมีที่กำหนดต่อรัศมีทั้งหมด (r/R)					หมายเหตุ
		0.25	0.4	0.6	0.8	1.0	
		อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		27.6	27.4	27.5	27.9	28.0	
3	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	440.4	248	321.7	512.1	418.1	
	0.375	513	560.6	637.7	520.9	447.9	
	0.525	591.5	438.3	544.9	517.1	464.4	
	0.675	758.7	707.9	622.4	-	-	
	0.825	797.2	875.8	656.3	-	-	
	0.975	847.7	784.5	628.3	493	422.5	
	1.125	1010	738.5	753.7	626	504	
	1.275	969.5	755.7	744.5	612.8	521	
	1.425	961.9	794.8	779.3	679.4	600	
	1.575	964.2	852.3	810.9	694	594	
	1.725	960.8	864.1	830.2	695.4	601.1	
1.875	920	882	883	721.1	600.3		
อุณหภูมิเฉลี่ย ^o C		811.2	708.5	684.4	607.18	517.33	
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		27.4	27.8	27.9	28.0	28.2	
6	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	322.1	246.8	353.4	519.8	409.8	
	0.375	489.6	569.1	675.6	486.5	437.8	
	0.525	530.8	415.6	571	514.4	446.8	
	0.675	791.8	673.9	634.6	-	-	
	0.825	896	894.1	653.1	-	-	
	0.975	902	795.8	616	481.1	402.8	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	1.125	853.7	832.3	761.1	616.9	458.5	
	1.275	894.8	799.1	739	610.7	483.8	
	1.425	913.3	823.7	774.9	685.9	579.3	
	1.575	929.2	854.7	801.6	697.6	564.5	
	1.725	939.1	866.8	817.2	700.8	579.8	
	1.875	909.8	885.4	867.2	722	586.9	
อุณหภูมิเฉลี่ย ^o C		781	721.4	688.7	603.57	495	
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		27.3	27.9	27.9	28.2	27.8	
9	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	269.4	227	375	464.9	408	
	0.375	458.8	607.1	614.7	455.7	436.2	
	0.525	488.8	541.1	571	503.3	439.6	
	0.675	793.8	685.5	628.7	-	-	
	0.825	933.1	775.7	644.7	-	-	
	0.975	921.7	768.3	604.6	471.2	391.3	
	1.125	826.1	848.6	735.7	606.7	433.3	
	1.275	891.3	829.7	721.5	612.8	463.2	
	1.425	909	835.9	755.5	687.2	559.4	
	1.575	923.9	852.6	781.1	696.4	547.9	
	1.725	923.7	865.3	796.2	705	565	
1.825	906.1	906.6	844.7	732.9	569.5		
อุณหภูมิเฉลี่ย ^o C		770.5	728.6	672.8	593.61	481.34	

การทดลองครั้งที่ 5

อัตราการป้อนแกลบ : 0.3 kg/min Primary Air : 85 % Date : 31/01/2546

อัตราส่วนผสม : 0.6 Secondary Air: 15 % Time: 01:40

เวลาที่ ใช้ในการ ทดลอง (นาที)	ตำแหน่ง ความสูง เทอร์โม คัปเปิล (m)	ระยะวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลที่ระยะรัศมีที่กำหนดต่อรัศมีทั้งหมด (r/R)					หมายเหตุ
		0.25	0.4	0.6	0.8	1.0	
		อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		26.0	26.1	26.9	27.0	26.9	-
3	0.075	-	-	-	-	-	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	0.225	534.5	672.3	707.2	620.4	483.2	
	0.375	616.9	623.5	715.1	692	599.5	
	0.525	666.9	666.1	753.8	752.6	629.5	
	0.675	695.8	704	740.7	-	-	
	0.825	701.6	703.2	661.3	-	-	
	0.975	647.8	629.8	540.3	445.7	369.1	
	1.125	726.6	751	679.7	660.5	470.5	
	1.275	655.4	673	680.2	634.1	558.7	
	1.425	639.1	667.7	694.4	665.4	574.7	
	1.575	630	660.8	688.5	653.7	536.7	
	1.725	616.3	645	674.1	644.2	536.5	
	1.875	583.2	611	649.5	607.2	475.8	
	อุณหภูมิเฉลี่ย ^{°C}	642.8	667.3	682.1	637.58	523.42	
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	26.3	26.5	27.1	27.0	26.9	
6	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	529.3	663.4	709.9	606.3	465.3	
	0.375	628.5	661.6	720.8	689.3	582.6	
	0.525	682.4	698.3	730.6	741.3	612.3	
	0.675	724.1	720.8	748.8	-	-	
	0.825	725.8	702.8	658.3	-	-	
	0.975	659.6	626.6	516	426.8	352.7	
	1.125	738.1	767.5	671.9	660.5	413.7	
	1.275	672.7	700.3	677.3	621.9	524.6	
	1.425	653.7	688.8	692.4	653.4	555.6	
	1.575	641.9	678.5	686.2	638.5	511	
	1.725	627.9	663.7	672.3	631.7	518.6	
	1.875	596.8	640.6	646.3	592.5	454.6	
	อุณหภูมิเฉลี่ย ^{°C}	656.7	684.4	677.7	626.22	499.1	
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	26.3	26.4	26.8	27.0	27.1	
9	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	537.5	705.2	699.4	583.3	460.2	
	0.375	631.2	737	721.8	687.6	579.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ซึ่งอนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	0.525	678.1	732.4	776.4	742.5	609.4	
	0.675	712.7	726.8	760.4	-	-	
	0.825	715.7	701.4	660.7	-	-	
	0.975	670.3	631.4	509.1	414.1	341	
	1.125	756.7	753.4	674.8	658.2	377.6	
	1.275	683.3	712.8	686.4	614.4	505.5	
	1.425	663.5	705.4	698.4	646.1	542.2	
	1.575	652.4	695.4	691.4	630.7	493.8	
	1.725	638.5	681.7	679.7	626.7	506	
	1.825	608.6	664.1	653.5	588.3	441.4	
อุณหภูมิเฉลี่ย °C		662.4	703.9	684.3	619.19	485.68	

การทดลองครั้งที่ 6

อัตราการป้อนแถบ : 0.3 kg/min Primary Air : 75 % Date : 31/01/2546

อัตราส่วนผสม : 0.6 Secondary Air : 25 % Time : 2:30

เวลาที่ ใช้ในการ ทดลอง (นาที)	ตำแหน่ง ความสูง เทอร์โม คัปเปิล (m)	ระยะวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลที่ระยะรัศมีที่กำหนดต่อรัศมีทั้งหมด (r/R)					หมายเหตุ
		0.25	0.4	0.6	0.8	1.0	
		อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		26.3	28.2	26.2	26.0	25.4	
3	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	664.4	636	759	771.3	609	
	0.375	778.2	761.9	738	770.5	596.2	
	0.525	815.3	820.5	819.7	827.3	655.5	
	0.675	800.8	818.3	840.3	-	-	
	0.825	776.7	768	756.7	-	-	
	0.975	732.1	701.6	591.6	494.6	408.8	
	1.125	763.9	841.9	770.4	578.6	456.6	
	1.275	728.1	770.4	776.2	713.1	598.8	
	1.425	726.3	756.5	774.2	728.6	632.2	
	1.575	723.1	746.3	765.9	721.2	586	
	1.725	714.8	735.1	754.4	713.6	600.9	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	1.875	694.3	712.3	731.1	679.2	539.6	
	อุณหภูมิเฉลี่ย °C	743.2	755.7	756.5	699.8	568.36	
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	26.6	27.6	25.7	25.2	25.3	
6	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	651.9	640	824.6	772	590.3	
	0.375	778.4	758.8	804.8	760.7	580.9	
	0.525	815.5	821.6	848.9	820.5	645.8	
	0.675	799.3	821.4	833.2	-	-	
	0.825	777.3	764.2	738.9	-	-	
	0.975	731.2	694.2	577.8	479.1	397.3	
	1.125	765.5	824.4	742.2	559.4	442.2	
	1.275	729.1	765.6	761.7	710	586.4	
	1.425	728	756.5	766.9	721.4	619	
	1.575	725.3	746.7	760.6	711.5	565	
	1.725	716.9	734.2	750	707.3	584.7	
1.875	696.4	709.5	725.5	675.2	523.3		
	อุณหภูมิเฉลี่ย °C	742.9	753.09	761.25	700.71	3717.9	
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	26.5	27.3	27.1	24.8	25.8	
9	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	634.3	669.9	843	767.6	588.4	
	0.375	770.8	798.3	778	737.6	592.6	
	0.525	825.4	845.6	828.3	777.9	650.4	
	0.675	806.7	836.9	838	-	-	
	0.825	782.2	779.9	740.7	-	-	
	0.975	735.6	753	572	468.7	383.6	
	1.125	782.8	807.5	734.9	542.2	433.9	
	1.275	741.5	760.5	756	725.3	578.9	
	1.425	734.6	755.8	759.4	726.2	612.6	
	1.575	729.2	746.9	759.8	715.8	554.1	
	1.725	720.8	735.8	744.6	712.4	576.7	
1.825	701.5	715.5	721.9	680.8	516.9		
	อุณหภูมิเฉลี่ย °C	747.1	767.1	756.4	685.45	548.81	

เอกสารนี้เป็นเอกสารภายในของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 7

อัตราการป้อนแกลบ : 0.3 kg/min Primary Air : 100 % Date : 30/01/2546

อัตราส่วนสมมูล : 0.7 Secondary Air : 0 % Time : 0:05

เวลาที่ ใช้ใน การ ทดลอง (นาทื)	ตำแหน่ง ความสูง เทอร์โม คัปเปิ้ล (m)	ระยะวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ระยะรัศมีที่กำหนดต่อรัศมีทั้งหมด (r/R)					หมายเหตุ
		0.25	0.4	0.6	0.8	1.0	
		อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		31.0	29.3	30.7	32.5	29.2	
3	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	828.5	849.5	799.5	773.4	596.1	
	0.375	829.4	860.2	841.8	766.4	666	
	0.525	865.2	915	928.4	879	702.5	
	0.675	868.8	925.6	956	-	-	
	0.825	865.5	901.6	852.6	-	-	
	0.975	786	758.8	596.4	485.9	372	
	1.125	789	782.4	716.3	557.1	355.6	
	1.275	730.6	747.7	744.8	704.7	561.9	
	1.425	732.5	764.7	778.8	754.8	637.9	
	1.575	726.8	764.3	778	743.4	600.8	
1.725	709.7	749.6	763.5	726.6	585.9		
1.875	685.8	734.9	752.6	702.1	556.8		
อุณหภูมิเฉลี่ย ^o C		784.8	812.9	792.4	709.34	563.55	
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		30.9	29.1	31.0	33.0	29.2	
6	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	818.9	853.3	824.1	761.5	560.6	
	0.375	833	880.9	856.2	764	628.4	
	0.525	862.9	921	920.8	862.8	665.8	
	0.675	863.4	927.5	975	-	-	
	0.825	854.8	900	861.2	-	-	
	0.975	783.7	751.5	581	461.8	352	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	1.125	782.1	787	717.3	500.4	334	
	1.275	726.1	757.2	760	692.4	552.8	
	1.425	729.6	774.2	793.6	747.8	633.2	
	1.575	725	773.2	791	733.6	588.6	
	1.725	708.9	758.9	776.1	716.8	569.6	
	1.875	684.6	745.5	764.8	711.4	544.4	
	อุณหภูมิเฉลี่ย °C		781.1	819.2	801.8	695.25	542.94
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		31.3	29.5	31.8	29.2	29.6
9	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	824.6	837	805.4	765.7	543.5	
	0.375	848.8	858.9	836.2	757.5	614.8	
	0.525	884	916.7	905.7	865.7	648	
	0.675	876.1	930.7	975.7	-	-	
	0.825	867	904.9	866	-	-	
	0.975	795.3	754.2	576	448.7	339.3	
	1.125	797.9	801.1	725.2	460.2	323	
	1.275	740.7	763.4	770.9	691	570.4	
	1.425	740.5	780.1	801.1	745	637.1	
	1.575	735	780.1	800.1	727.6	583.4	
	1.725	717.9	766.6	785.9	707.7	569.3	
1.825	695.5	748.8	773.3	697.8	544.1		
	อุณหภูมิเฉลี่ย °C		793.6	820.2	801.8	686.69	537.29

การทดลองครั้งที่ 8

อัตราการป้อนเกลบ : 0.3 kg/min Primary Air : 85 % Date : 30/01/2546

อัตราส่วนสมมูล: 0.7 Secondary Air: 15 % Time: 21.02

เวลาที่ ใช้ในการ ทดลอง (นาที)	ตำแหน่ง ความสูง เทอร์โม คัปเปิล (m)	ระยะวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลที่ระยะรัศมีที่กำหนดต่อรัศมีทั้งหมด (r/R)					หมายเหตุ
		0.25	0.4	0.6	0.8	1.0	
		อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	30.2	29.9	29.8	28.8	28.0	
3	0.075	-	-	-	-	-	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	0.525	665	654.7	642.9	574.9	486.4	
	0.675	633.5	621.8	618.6	-	-	
	0.825	613.2	576.7	537.1	-	-	
	0.975	553.3	497.1	401.6	325.1	260.3	
	1.125	539.7	649.9	546	401.1	281.9	
	1.275	494	592.8	545	487.9	357	
	1.425	484.2	586	557.5	515.7	396.7	
	1.575	480.6	579.3	548.3	500.4	370.1	
	1.725	467	571	534.3	498	364.8	
	1.825	443.8	559.7	510	473.2	315.9	
อุณหภูมิเฉลี่ย °C		556.9	613.2	567.3	493.38	383.87	

การทดลองครั้งที่ 9

อัตราการป้อนเกลือ : 0.3 kg/min Primary Air : 75 % Date : 30/01/2546

อัตราส่วนสมมูล: 0.7 Secondary Air: 25 % Time: 22:00

เวลาที่ ใช้ใน การ ทดลอง (นาที)	ตำแหน่ง ความสูง เทอร์โม คัปเปิล (m)	ระยะวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลที่ระยะรัศมีที่กำหนดต่อรัศมีทั้งหมด (r/R)					หมายเหตุ
		0.25	0.4	0.6	0.8	1.0	
		อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		28.4	28.5	29.0	27.6	27.4	
3	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	629.8	671	743.5	666.6	505.7	
	0.375	613.3	784.7	783	786.5	673.5	
	0.525	687.7	794.5	808.1	749	602.1	
	0.675	666.7	756.9	792.9	-	-	
	0.825	659.1	709	704.2	-	-	
	0.975	585.9	602.4	491.9	318.7	302.7	
	1.125	700.7	685.7	589.3	503.6	399.5	
	1.275	638.2	634.8	650.4	550.4	464.8	
	1.425	601.7	626.2	650.5	600.9	497.7	
	1.575	582.3	614.1	638.6	576.3	459.4	
	1.725	574.5	595.1	617.7	564.6	455.9	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	1.875	559.8	566.2	587.6	533.6	400.7	
	อุณหภูมิเฉลี่ย °C	625	670.1	671.5	585.02	476.2	
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	28.1	29.0	29.3	27.9	25.0	
6	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	625.4	672.3	723.9	703	494.5	
	0.375	684.4	791.5	776.1	682.7	607.6	
	0.525	724.1	761.4	802.4	666.4	556.7	
	0.675	706.6	734.1	793.5	-	-	
	0.825	705.1	711.7	702.7	-	-	
	0.975	640.1	599.4	482.8	318.9	293.4	
	1.125	731.4	638.8	575	491.3	374.5	
	1.275	663.4	609.5	627	547.5	438	
	1.425	632.2	608.2	636.6	574.1	464.6	
	1.575	614.3	598.2	639	558.1	431.1	
	1.725	604.9	581.3	616.6	549.1	429.1	
1.875	583.9	555.8	584.4	527.4	372.8		
	อุณหภูมิเฉลี่ย °C	659.7	655.2	663.3	516.85	446.23	
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	28.0	28.6	29.6	27.4	27.7	
9	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	761.4	694.6	720.5	690.6	473.4	
	0.375	733	756	762.2	740.8	575.4	
	0.525	746.2	814.9	739.2	716.2	529.7	
	0.675	717.1	817.3	725	-	-	
	0.825	712.5	781.7	632.2	-	-	
	0.975	654.5	607.5	468	317.5	286.2	
	1.125	711.9	617.8	524	491.7	360.4	
	1.275	642.6	614.6	565	548.8	420	
	1.425	626.7	612	578.1	568.6	443.3	
	1.575	616.1	599	584.6	551.2	411.2	
	1.725	605.8	581.2	564.6	536.4	410.2	
1.825	582.8	554.7	529.4	501.7	355.5		
	อุณหภูมิเฉลี่ย °C	675.9	670.9	616.1	566.35	426.53	

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 10

อัตราการป้อนแกลบ : 0.3 kg/min Primary Air : 100 % Date : 01/02/2546

อัตราส่วนสมมูล : 0.8 Secondary Air : 0 % Time: 18:00

เวลาที่ ใช้ใน การ ทดลอง (นาที)	ตำแหน่ง ความสูง เทอร์โม คัปเปิล (m)	ระยะวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลที่ระยะรัศมีที่กำหนดต่อรัศมีทั้งหมด (r/R)					หมายเหตุ
		0.25	0.4	0.6	0.8	1.0	
		อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		27.9	28.0	27.9	27.8	27.2	
3	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	684.8	683.4	666.2	513.3	433.4	
	0.375	682.6	696.2	784.2	655.8	529.4	
	0.525	515.7	623.4	582.3	487.3	387.2	
	0.675	524.5	531.8	512.9	-	-	
	0.825	824.3	805.2	780.7	-	-	
	0.975	821.4	800.9	653.7	501.7	413.1	
	1.125	917.1	951.2	845.8	606.2	450.3	
	1.275	822.1	889.2	908.7	830.9	563.7	
	1.425	788.5	876.8	908.2	895.3	680	
	1.575	789.8	861.1	916.7	867.1	671.4	
	1.725	776.7	832.8	872.4	844.8	669.7	
1.875	767.3	822.7	851.3	863.9	651		
อุณหภูมิเฉลี่ย ^o C		742.9	781.2	773.6	706.63	544.92	
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		29.2	28.0	28.0	27.6	27.3	
6	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	734	661.9	636	524.5	412.5	
	0.375	702.2	710	762.2	640	511	
	0.525	583.4	621.1	580.6	479.7	368.7	
	0.675	528.8	532.2	513.2	-	-	
	0.825	844.5	819.9	780	-	-	
	0.975	831.6	806.1	633.4	494.1	399	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	1.125	915	943.4	842.4	607.6	433.6		
	1.275	821.2	897.9	911.2	794	531.6		
	1.425	801.6	892.3	905.2	868.2	649.9		
	1.575	799.6	875.1	913.7	852.7	648.8		
	1.725	792.5	845	891.5	833.5	655.5		
	1.875	781.4	837.1	868.4	848.6	662.8		
	อุณหภูมิเฉลี่ย ^o C		761.3	786.8	769.8	694.29	527.34	
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		28.1	28.0	27.8	27.7	27.5	
9	0.075	-	-	-	-	-		
	0.225	722.9	646.9	639.4	538	403.7		
	0.375	696	756.6	781.8	627.6	503.3		
	0.525	627.7	627.7	581.5	474	359.2		
	0.675	535	536.7	514.4	-	-		
	0.825	872.2	812.4	779.5	-	-		
	0.975	847	798.7	617.2	489.1	391.1		
	1.125	924.5	929.6	843.3	605.3	425.5		
	1.275	830.4	912.3	907.1	774.1	514.7		
	1.425	811.5	909.3	900.1	846.1	632		
	1.575	808.9	892.7	912.8	829.8	629		
	1.725	803.9	859.8	897.7	823.9	651.1		
1.825	788.3	850.2	869.9	847.6	689			
	อุณหภูมิเฉลี่ย ^o C		772.3	794.4	770.4	685.55	519.86	

การทดลองครั้งที่ 11

อัตราการป้อนเกลบ : 0.3 kg/min Primary Air : 85 % Date : 01/02/2546

อัตราส่วนสมมูล: 0.8 Secondary Air: 15 % Time: 19:03

เวลาที่ ใช้ในการ ทดลอง (นาที)	ตำแหน่ง ความสูง เทอร์โม คัปเปิล (m)	ระยะวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลที่ระยะรัศมีที่กำหนดต่อรัศมีทั้งหมด (r/R)					หมายเหตุ
		0.25	0.4	0.6	0.8	1.0	
		อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	อุณหภูมิ ^o C	
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	25.7	25.8	25.7	25.3	25.7	
3	0.075	-	-	-	-	-	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	0.225	759.9	714	785.4	715.9	567.6	
	0.375	808.3	770.4	752.5	715.5	664.2	
	0.525	836.5	829.5	822.3	749.6	688.5	
	0.675	873.7	889.2	903	-	-	
	0.825	868.3	890.4	839.1	-	-	
	0.975	821.1	799	662.8	546.6	458.2	
	1.125	916	906.6	814.7	744.8	553.3	
	1.275	882.5	894.4	849.1	713.2	592.8	
	1.425	831.5	873.5	883.2	779.6	661.5	
	1.575	805.7	849.8	868.3	761.4	621.9	
	1.725	794.3	823.1	850	755.2	631.5	
	1.875	778.9	801.9	826.2	727.5	565.5	
	อุณหภูมิเฉลี่ย ^o C	831.4	836.8	821.4	720.93	600.5	
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	25.7	26.3	26.5	25.5	25.8	
6	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	796.1	718.8	795.5	688.8	535.7	
	0.375	796.4	756.7	763.7	712	648.3	
	0.525	829.5	830.8	833.5	715.8	678.4	
	0.675	884.6	907.2	926.5	-	-	
	0.825	887.5	913.3	843.6	-	-	
	0.975	851.9	810.1	649.8	533.1	435.4	
	1.125	920.6	909.9	849.8	715.5	543.3	
	1.275	902.4	890.4	833.6	697.3	573.5	
	1.425	856.9	872.5	876	767.7	648.5	
	1.575	826.7	853	865.2	749.6	601.5	
	1.725	809.3	826	845.2	750.1	618.9	
	1.875	786.4	806	819	720.9	547.3	
	อุณหภูมิเฉลี่ย ^o C	845.7	841.2	825.1	705.08	579.48	
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	25.9	26.5	25.8	25.5	26	
9	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	795.1	740.4	788.8	672.3	513.4	
	0.375	819.2	775.8	768.7	712.3	640.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่สามารถแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	0.525	852.6	840.5	837.4	695.4	673.1	
	0.675	903.2	904.7	942.7	-	-	
	0.825	898.2	890	842	-	-	
	0.975	561.7	790.6	643.3	520.8	421.8	
	1.125	915.8	879.7	833.1	699.5	539.9	
	1.275	910	883	820.2	686.2	570	
	1.425	884.2	876.7	858.4	756.8	651.3	
	1.575	847.1	861.6	848.8	739.6	585.1	
	1.725	821.3	834.6	829.3	740.9	614.9	
	1.825	757.7	811.8	800.5	715.1	541.1	
	อุณหภูมิเฉลี่ย °C	830.5	840.8	817.8	693.89	575.12	

การทดลองครั้งที่ 12

อัตราการป้อนแถบ : 0.3 kg/min Primary Air : 75 % Date : 01/02/2546

อัตราส่วนสมมูล : 0.8 Secondary Air: 25 % Time: 20:30

เวลาที่ ใช้ในการ ทดลอง (นาที)	ตำแหน่ง ความสูง เทอร์โม คัปเปิล (m)	ระยะวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลที่ระยะรัศมีที่กำหนดต่อรัศมีทั้งหมด (r/R)					หมายเหตุ
		0.25	0.4	0.6	0.8	1.0	
		อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °C	
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม		24.7	25.1	24.5	24.4	24.4	
3	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	792.6	768.5	658.1	662.3	537.7	
	0.375	794.1	754.6	712.4	713.6	577.3	
	0.525	864.8	774.1	723.3	666.3	591.7	
	0.675	928.2	802.9	743.1	-	-	
	0.825	929.5	788	681.8	-	-	
	0.975	859.9	702.6	540.9	474.1	393.3	
	1.125	883.2	721.6	669.9	556.1	441.9	
	1.275	823.1	715.1	698.7	604.6	504.6	
	1.425	816.4	718.9	704.7	624.4	537.2	
	1.575	807.3	716.6	695	612.2	504.5	
1.725	791.7	707	680	605.4	502.2		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	1.875	767.8	688.1	657.2	577.3	460.8	
	อุณหภูมิเฉลี่ย °C	838.2	738.2	680.4	609.63	505.12	
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	25.0	24.7	24.5	24.2	24.2	
6	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	817.1	762.2	555.5	622.1	497.9	
	0.375	781.3	753.5	783.2	719.5	572.1	
	0.525	844.7	762.1	777.9	705.9	559.6	
	0.675	898.6	780.2	773.1	-	-	
	0.825	874.7	742.1	708	-	-	
	0.975	824.8	674.5	537.6	456.8	374.5	
	1.125	823.5	677.1	645.8	526.6	422.7	
	1.275	776	669.2	678.5	589.1	479.1	
	1.425	781.1	679.4	690.5	610	515.1	
	1.575	778.3	681.7	684.4	594.4	478	
	1.725	763.8	673.9	671.1	588.4	479.4	
1.875	737.1	648.6	651.5	560	439.5		
	อุณหภูมิเฉลี่ย °C	808.4	708.7	679.8	597.28	481.79	
	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	24.9	24.4	24.7	24.3	24.4	
9	0.075	-	-	-	-	-	
	0.225	757.8	656.9	572.4	648.2	468.1	
	0.375	824.7	664.5	777.5	671.2	556.3	
	0.525	852.9	686.6	725.6	706.8	544.8	
	0.675	877.4	710.5	727.6	-	-	
	0.825	863	661.8	662.8	-	-	
	0.975	814.5	618	531.8	441.3	360.4	
	1.125	810.2	580.1	649.2	515	417	
	1.275	764	597.8	667.1	585.8	463.2	
	1.425	767.4	621.2	680.1	607.8	497.1	
	1.575	765.3	632.3	679.5	589	457.8	
	1.725	750.7	625.1	670.7	585.7	460.8	
1.825	725.2	607.5	652.8	561.7	422.7		
	อุณหภูมิเฉลี่ย °C	797.8	638.5	666.4	591.25	466.62	

เอกสารนี้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น 591.25 องศาเซลเซียส ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลองอุณหภูมิผนังห้องผสม

อัตราการป้อนแกลบ : 0.3 kg/min Date : -

อัตราส่วนสมมูล: 0.5 Time -

เวลาที่ใช้ในการทดลอง (นาที)	อัตราส่วนอากาศส่วนที่ 2 ต่ออากาศทั้งหมด	ระยะวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ระยะรัศมีที่กำหนด ต่อรัศมีทั้งหมด (r/R)					อุณหภูมิเฉลี่ย °C
		0.25	0.4	0.6	0.8	1.0	
3	0.00	55	58	58	69	72	62
6	0.15	75	96	105	96	108	96
9	0.25	115	110	106	109	110	110

อัตราการป้อนแกลบ : 0.3 kg/min Date : -

อัตราส่วนสมมูล: 0.6 Time: -

เวลาที่ใช้ในการทดลอง (นาที)	อัตราส่วนอากาศส่วนที่ 2 ต่ออากาศทั้งหมด	ระยะวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ระยะรัศมีที่กำหนด ต่อรัศมีทั้งหมด (r/R)					อุณหภูมิเฉลี่ย °C
		0.25	0.4	0.6	0.8	1.0	
3	0.00	126	124	122	120	120	122.32
6	0.15	156	148	144	142	136	145
9	0.25	140	142	148	156	162	150

อัตราการป้อนแกลบ : 0.3 kg/min Date : -

อัตราส่วนสมมูล: 0.7 Time: -

เวลาที่ใช้ในการทดลอง (นาที)	อัตราส่วนอากาศส่วนที่ 2 ต่ออากาศทั้งหมด	ระยะวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ระยะรัศมีที่กำหนด ต่อรัศมีทั้งหมด (r/R)					อุณหภูมิเฉลี่ย °C
		0.25	0.4	0.6	0.8	1.0	
3	0.00	120	115	128	127	125	123
6	0.15	180	168	173	152	162	167
9	0.25	234	305	301	258	236	267

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการป้อนแคลบ : 0.3 kg/min Date : -

อัตราส่วนสมมูล: 0.8 Time: -

เวลาที่ใช้ในการทดลอง (นาที)	อัตราส่วนอากาศส่วนที่ 2 ต่ออากาศทั้งหมด	ระยะวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ระยะรัศมีที่กำหนด ต่อรัศมีทั้งหมด (r/R)					อุณหภูมิเฉลี่ย °C
		0.25	0.4	0.6	0.8	1.0	
3	0.00	101	115	128	140	143	125
6	0.15	295	264	299	294	254	281
9	0.25	226	276	369	337	370	316

ตารางบันทึกผลการวิเคราะห์ไอเสีย

Gas	อัตราส่วนอากาศส่วนที่สอง(λ)	อัตราส่วนสมมูล(Φ)			
		0.5	0.6	0.7	0.8
O ₂ (%)	0	8.3	17.7	9.2	10.5
	0.15	9.4	9	8.5	9.5
	0.25	11.3	10.1	8.4	8.3
CO ₂ (%)	0	12.6	10.5	11.8	10.9
	0.15	11.6	11.9	12.5	12.7
	0.25	9.7	10.8	12.7	13.5
CO (ppm)	0	259	346	166	185
	0.15	301	173	258	275
	0.25	509	186	142	172

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผล อัตราการไหลของอากาศ (Primary Air) กับ Δh pressure drop ภายในเตา

Primary Air		Δh pressure drop (cm.)
cm.	kg/s	
1	0.016629	0.4
2	0.023518	1.0
3	0.028803	1.4
4	0.033259	1.9
5	0.037185	2.2
6	0.040734	2.7
7	0.043998	3.2
8	0.047036	3.5
9	0.049889	4.0
10	0.052588	4.4
11	0.055155	4.8
12	0.057607	5.2
13	0.059960	5.7
14	0.062223	6.0
15	0.064407	6.4
16	0.066519	6.8
17	0.068567	7.1
18	0.070554	7.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้