

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เตาเผาแลกเปลี่ยนหมุนวนหลายชั้น
MULTIPLE- SWIRL COMBUSTOR FOR BURNING RICE HUSK



โดย



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 50179
วัน,เดือน,ปี 2 1 เม.ย. 2547

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เตาเผาแลกเปลี่ยนแบบหมุนวนหลายชั้น

MULTIPLE- SWIRL COMBUSTOR FOR BURNING RICE HUSK

คณะผู้จัดทำ

นายธนพงศ์ ทองโชติ รหัสประจำตัว 43515961

นายธีระพงษ์ น้าแสง รหัสประจำตัว 43515962

นายบุญเลิศ สุขสม รหัสประจำตัว 43515964



(Handwritten signature)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาเผาแบบหมุนหลายชั้น

นายธนพงศ์ ทองโชติ 43515961
 นายธีระพงษ์ คำแสง 43515962
 นายบุญเลิศ สุขสม 43515964
 รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงส์ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอและออกแบบสร้างเตาเผาแบบหมุนหลายชั้น โดยใช้กลีบเป็นเชื้อเพลิงซึ่งเตาเผาแบบนี้จะเป็นการรวมเอาส่วนดีของเตาเผาไซโรคลน และเตาเผาแบบวอร์เทค และภายในเตาจะแบ่งห้องเผาไหม้ออกเป็น 2 ส่วนคือ ด้านบนจะเป็นห้องผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงและห้องด้านล่างจะเป็นห้องเผาไหม้ทุติยภูมิซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการหมุนวน ซึ่งเตาเผานี้จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเตาเท่ากับ 300 มิลลิเมตร มีความสูง 1856 มิลลิเมตร โดยอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ประกอบด้วยอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ ซึ่งจะไหลเข้าไปภายในเตาตามแนวเส้นสัมผัส ในการวัดจะกำหนดอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สคงที่เท่ากับ 0.3 กิโลกรัม/นาที่ และทำการปรับอัตราส่วนสมมูล Φ เท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 ในการเผาแต่ละครั้งจะกำหนดอัตราส่วนของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมดเท่ากับ 0.0, 0.15 และ 0.25 จากการทดลองจะพบว่าการกระจายอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.5 และที่ $\lambda = 0.25$ อยู่บริเวณที่ตำแหน่งความสูง $x = 1.631 \text{ m}$ และที่ระยะ 0 m จากกึ่งกลางเตาตามแนวรัศมี ให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาสูงสุดประมาณ 950.8°C

Multiple- Swirl Combustor For Burning Rice Husk

Thanapong Thongchote

Treerapong Chumsang

Boonlert Suksom

Assoc.Prof.Dr. Pongjet Promvonge Advisor

ABSTRACT

The project presents the design and testing of a multiple - swirl Combustor using rice husk as fuel. Which this furnace combine strength point of cyclone furnace and vortex furnace and internal of furnace have divide combustor 2 part as top part is mizing chamber between air and fuel and bottom part is secondary combustor that occur a vortex. The combustor has a cylindrical shape with 300 mm. in diameter and 1856 mm. height. There are two air supply sources for the combustor: primary air and secondary air, entering tangentially into the combustor. The fuel mass flow rate is 0.3 kg/min and kept constant throughout. The equivalence ratio is set to be 0.5, 0.6, 0.7 and 0.8 for each test run. For each run, the volumetric air flow rate ratio of secondary air to total air is adjusted to be 0, 0.15 and 0.25. The experiment shows the distribution of maximum temperature at $\Phi=0.5$, $\lambda=0.25$, $x=1.631$ m. and at about 0 m. from the core in the middle region is the peak area. The experiment show that maximum temperature inside the combustor is found to be 950.8 °C.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยได้ทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยการให้คำปรึกษาและความเมตตาจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์เล่มนี้ รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่องานวิจัยได้เป็นอย่างดีตลอดมา คณะผู้วิจัยจึงมีความรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ได้ให้คำชี้แนะและช่วยเหลือต่างๆ

ขอขอบคุณผู้ที่ได้ให้เงินทุนสนับสนุนในการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งช่วยแบ่งเบาได้มาก

ขอขอบคุณพี่ นิยม ศรีศิริสิทธิกุล นักศึกษาปริญญาโทที่คอยให้ความช่วยเหลือและแนะนำ การเก็บผลในการทดลองมาโดยตลอด จนผู้วิจัยได้ทำปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ช่างสุริยัน ที่ได้ช่วยเหลือและเมตตาให้งานวิจัยนี้สำเร็จทันกำหนด

ขอขอบคุณ ลุงมณฑา เขียมเมือง ที่ได้ให้คำชี้แนะและช่วยเหลือต่างๆ

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา บุคคลที่มีความสำคัญที่สุดที่ได้ให้โอกาสและสนับสนุนในการศึกษา คณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณมากไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
รายการสัญลักษณ์	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 ทฤษฎี	13
3.1 ประเภทของเชื้อเพลิง	13
3.2 การเผาไหม้	14
3.3 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง	16
3.4 อุณหภูมิอะเดียแบติก (Adiabatic Flame Temperature)	18
3.5 องค์ประกอบของอากาศ	19
3.6 อัตราส่วนสมมูล	20
3.7 ออร์ฟิส (Orifice)	21
3.8 ทฤษฎีทางด้านกลศาสตร์ของไหล (fluid mechanics)	22
บทที่ 4 การออกแบบและการคำนวณ	27
4.1 การออกแบบเตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้น	27
4.2 การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการในการเผาไหม้ทางทฤษฎี	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
บทที่ 5 การดำเนินงานวิจัย	37
5.1 อุปรกรณ์ในการทดลอง	37
5.2 วิธีการทดลอง	46
บทที่ 6 ผลการทดลองและวิจารณ์	48
บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ	58
บรรณานุกรม	59
ภาคผนวก	61
ภาคผนวก ก.	61
ภาคผนวก ข.	63
ภาคผนวก ค.	70



สารบัญรูป

หน้าที่

รูปที่ 2.1 ลักษณะของห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบด	4
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะเตาเผา และอุปกรณ์ในการทดลอง	5
รูปที่ 2.3 เตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรแบบใช้อากาศหมุนวน	6
รูปที่ 2.4 แสดงแผนภูมิอุปกรณ์การทดลอง	7
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของห้องเผาไหม้แบบจำลอง	9
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของห้องเผาไหม้จริง	9
รูปที่ 2.7 แสดงองค์ประกอบต่างๆของเตา	10
รูปที่ 2.8 แสดงแผนผังและอุปกรณ์การทดลอง	11
รูปที่ 2.9 แสดงแผนภูมิอุปกรณ์การทดลอง	12
รูปที่ 3.1 ปฏิบัติการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง	17
รูปที่ 3.2 แสดงการไหลผ่านแผ่น ออร์ฟิส	21
รูปที่ 3.3 แสดงการไหลสวน	23
รูปที่ 3.4 วิธีต่างๆ สำหรับจัดวางทางเข้าของก๊าซและช่องปล่อยอนุภาคฝุ่นออก	24
รูปที่ 3.5 ลักษณะทั่วไปของวอร์เท็กซ์และการไหลวนย้อนกระแสหลัก (Eddy Flow) ภายในไซโคลนธรรมดา	25
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างของการกระจายความดันและความเร็วของการหมุนภายในไซโคลนธรรมดา	25
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการทำงานของเตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้น	27
รูปที่ 4.2 แสดงรายละเอียดของเตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้น	28
รูปที่ 5.1 เตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้น	37
รูปที่ 5.2 ห้องเผาไหม้	38
รูปที่ 5.3 ห้องอุ่นเบด	38
รูปที่ 5.4 ระบบป้อนอากาศทุติยภูมิ	39
รูปที่ 5.5 ฝาครอบ	39
รูปที่ 5.6 ห้องเผาไหม้ที่มีระบบป้อนอากาศทุติยภูมิ(ขนาดเล็ก)	40
รูปที่ 5.7 ท่อทิ้ง	40
รูปที่ 5.8 ระบบป้อนอากาศปฐมภูมิ	41
รูปที่ 5.9 หัวเผา	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 5.10 เทอร์โมคัปเปิ้ล	42
รูปที่ 5.11 แสดง Digital indicator	42
รูปที่ 5.12 มานอมิเตอร์	43
รูปที่ 5.13 แผ่นออริฟิส	43
รูปที่ 5.14 เครื่องป้อนแถบ	44
รูปที่ 5.15 โซโคลน	44
รูปที่ 5.16 ถังก๊าซ	45
รูปที่ 5.17 เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย	45
รูปที่ 5.18 ไดอะแกรมอุปกรณ์การทดลอง	46
รูปที่ 6.1 การเปรียบเทียบกระจายอุณหภูมิที่ $\Phi = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8$ ที่ $\lambda = 0.0$ และ 0.15 .	48
รูปที่ 6.2 การเปรียบเทียบกระจายอุณหภูมิที่ $\Phi = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8$ ที่ $\lambda = 0.25$	49
รูปที่ 6.3 การกระจายอุณหภูมิที่ $\lambda = 0.0, 0.15, 0.25$ ที่ $\Phi = 0.8$ และ $\Phi = 0.7$	51
รูปที่ 6.4 การกระจายอุณหภูมิที่ $\lambda = 0.0, 0.15, 0.25$ ที่ $\Phi = 0.6$ และ $\Phi = 0.5$	52
รูปที่ 6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงของเตากับอุณหภูมิผนังเตา ที่ $\lambda = 0$ ที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) ต่างๆ	53
รูปที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงของเตากับอุณหภูมิผนังเตา $\lambda = 0.15$ ที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) ต่างๆ	54
รูปที่ 6.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงของเตากับอุณหภูมิผนังเตา ที่ $\lambda = 0.25$ ที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) ต่างๆ	54
รูปที่ 6.8 ลักษณะซี่เต้าที่ $\lambda = 0.25$ ที่ $\Phi = 0.5$	55
รูปที่ 6.9 ลักษณะของซี่เต้าที่ $\lambda = 0.25$ ที่ $\Phi = 0.8$	55
รูปที่ 6.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซ CO_2 กับ λ ที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) ต่างๆ	56
รูปที่ 6.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซ CO กับ λ ที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) ต่างๆ	56
รูปที่ 6.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซ O_2 กับ λ ที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) ต่างๆ	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ	29
ตารางที่ 4.2 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.30 kg/min.	32
ตารางที่ 4.3 แสดงความสูงของระดับน้ำในमानometer ของอากาศปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ที่อัตราการป้อนแกลบเท่ากับ $0.3 \frac{kg}{min}$	36



รายการสัญลักษณ์

AF	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง
C_d	discharge coefficient
D	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในเตาเผาหมนวนหลายชั้น, (mm.)
H_p	เอนทาลปีของผลิตภัณฑ์
H_R	เอนทาลปีของสารตั้งต้น
MW	มวลโมเลกุล, (kmol)
m_{air}	มวลของอากาศ
m_{fuel}	มวลของเชื้อเพลิง
N	จำนวนโมล
m_f	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง, (kg/min)
R	รัศมีภายในของเตาเผาหมนวนหลายชั้น, (mm.)
r	พิถีในแนวรัศมีภายในเตาเผาหมนวนหลายชั้น, (mm.)
T	อุณหภูมิภายในเตาเผาหมนวนหลายชั้น, ($^{\circ}C$)
x	ความสูงของเตาเผาหมนวนหลายชั้นในแนวตั้ง, (m.)
V	ปริมาตร, (m^3)
Φ	อัตราส่วนสมมูลของอากาศกับเชื้อเพลิง
γ	น้ำหนักจำเพาะ, (N/m^3)
λ	อัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุกชนิดต่ออากาศทั้งหมด
ρ	ความหนาแน่น
Δh	ความสูงของระดับน้ำในมานอมิเตอร์, (cm.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันนี้หลายประเทศที่กำลังพัฒนากำลังเผชิญปัญหาด้านพลังงาน เนื่องจากน้ำมันมีราคาสูง และความต้องการด้านพลังงานมีเพิ่มมากขึ้นโดยพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน ลิกไนต์ ซึ่งนับวันจะหมดลงไปเรื่อยๆ เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่าประเทศต่างๆ พยายามที่จะหาพลังงานอย่างอื่น เช่น พลังงานลม, พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวล ฯลฯ มาทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้อยู่

1.1 ความเป็นมา

ประเทศไทยก็ได้มีแนวทางที่จะหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทนเชื้อเพลิงที่ใช้ในปัจจุบัน ซึ่งต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ทำให้ต้องสูญเสียเงินตรา และขาดดุลการค้ากับต่างประเทศมากขึ้น ดังนั้นถ้ามีการนำเอาสิ่งที่มีอยู่มากมายภายในประเทศทั้งที่ได้จากเกษตรกรรม เช่น ชี้อ้อย ฟาง แกลบ ขยะ กากตะกอน ฯลฯ มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านพลังงาน ทดแทนการใช้ น้ำมัน ก๊าซ หรือ ถ่านหินก็สามารถช่วยลดการนำเข้า และยังสามารถลดปัญหามลพิษด้านสภาวะแวดล้อมได้ด้วย

ประเทศไทยได้ขึ้นชื่อว่าเป็นประเทศเกษตรกรรม พื้นที่แทบทุกภาคของประเทศจะมีการทำนา วัสดุที่เหลือจากการเก็บเกี่ยว คือ ฟางข้าว เมื่อมีการเก็บเกี่ยวแล้วต้องนำไปใส่ วัสดุที่เหลือจากโรงสี คือ แกลบ ซึ่งถ้าสีข้าว 1 ตัน จะได้แกลบออกมากถึง 220 กิโลกรัมหรือคิดเป็นร้อยละ 22 สำหรับประเทศไทยมีการประเมินได้ว่าแต่ละปีจะมีแกลบประมาณ 4.4 ถึง 4.6 ล้านตัน โดยจะพบว่ามีปริมาณมาก และมีศักยภาพเชิงความร้อนเทียบเท่าการใช้ น้ำมันดิบ 1.46 ถึง 1.53 ล้านตัน [12] เพราะฉะนั้น แกลบ จึงเป็นเชื้อเพลิงหนึ่งที่น่าสนใจ ค่าความร้อนของแกลบ (overall gross calorific value of rice husk) ประมาณ 2900 ถึง 4560 kcal/kg เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเตา ที่มีค่าความร้อนประมาณ 9900 kcal/kg จะเห็นว่าค่าความร้อนของแกลบมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำมันเตาแต่ราคาถูกกว่ามาก

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงได้นำมาใช้ผลิตพลังงานให้เป็นประโยชน์นานแล้ว แต่เตาเผาที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันยังไม่เหมาะสมกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล เตาเผาที่น่าจะนำมาใช้ได้คือกับเชื้อเพลิงชีวมวลคือเตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้น (Multiple Swirl) จึงน่าจะมีการพัฒนานำเอาเตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้น มาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อให้ได้พลังงานนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ได้ โดยโครงการที่ทำมีจุดประสงค์เพื่อหาข้อมูลเบื้องต้น ดังต่อไปนี้

1. เพื่อทำการออกแบบสร้าง และทดสอบเตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้น
2. ศึกษาการกระจายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้น (Multiple & Swirl)

3. ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้นได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับโครงการวิจัยการศึกษาค้นคว้าเพื่อสนับสนุนการเรียนการสอนในชั้นเรียน ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.1 ขนาดของเชื้อเพลิงแกลบ
- 3.2 อัตราส่วนสมมูล
- 3.3 ปริมาณอากาศทฤษฎีภูมิต่ออากาศทั้งหมด

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1. เป็นระบบที่ไม่เกิดการสูญเสียความร้อนให้แก่สิ่งแวดล้อม (Adiabatic)
2. ควบคุมความปริมาณอัตราการการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงแกลบคงที่
3. ลักษณะของอากาศภายในห้องเผาไหม้มีลักษณะการไหลแบบหมุนวน

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้นเป็นเตาที่ใช้เทคนิคการไหลแบบหมุนวนความเร็วสูง เพื่อช่วยเพิ่มเวลาในการเผาไหม้ และทำให้เปลวไฟภายในเตามีความเสถียรยิ่งขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. ขนาดของเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 2.0×8.0 มม. โดยเชื้อเพลิงแกลบมีความชื้นประมาณ 11 โดยน้ำหนัก
2. อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบมีค่าคงที่เท่ากับ 0.30 kg/min ตลอดการทดลอง
3. ทำการปรับค่าอัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio, Φ) เท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 ตามลำดับ
4. ทำการศึกษาคุณสมบัติการเผาไหม้ โดยกำหนดให้อัตราส่วนของปริมาณอากาศทฤษฎีภูมิต่ออากาศทั้งหมด (λ) เท่ากับ 0, 0.15 และ 0.25 ตามลำดับ
5. ทำการวัดการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาในเรื่องของการนำเกลบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อที่จะลดต้นทุนต่างๆ และได้มีการค้นคว้ารูปแบบของเตาเผาที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยและต่างประเทศรวมไปถึงระบบการทำงานต่างๆที่จะทำให้ได้เตาเผาที่มีประสิทธิภาพ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

ศศิวิมล สูงสว่าง [1] ทำการศึกษาวิจัยการเผาไหม้เกลบในฟลูอิดไดซ์เบด โดยศึกษาคุณลักษณะของเชื้อเพลิงเกลบ และหลักการทำงานของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.1



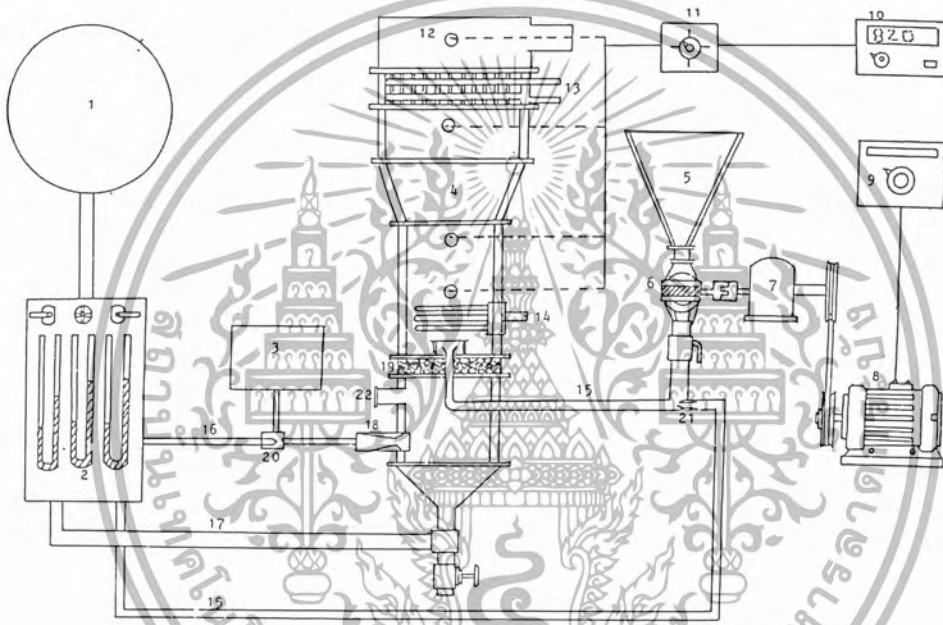
รูปที่ 2.1 ลักษณะของห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด [1]

ทำการพิจารณาถึงตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการเผาไหม้ เช่น อัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิของการเผาไหม้ เพื่อหาความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของความร้อนที่เกิดขึ้น เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการเผาไหม้เชื้อเพลิงเกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด จากการทดลองทำการปรับค่าความเร็วของอากาศอยู่ในช่วง 20.62 ถึง 45.67 เมตรต่อวินาที และกำหนดอุณหภูมิของการเผาไหม้อยู่ในช่วง 500 ถึง 800 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเผาไหม้เกลบในเตาเผา ฟลูอิดไดซ์เบด เมื่ออัตราการป้อนเชื้อเพลิงเกลบเท่ากับ 3.05 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความเร็วของอากาศที่ใช้เท่ากับ 32.77 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนาที และอุณหภูมิของการเผาไหม้เท่ากับ 700 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ร้อยละ 96.91 นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบขี้เถ้าแกลบที่ได้จากการเผาไหม้ที่ใช้อยู่ก่อนหน้านี้กับขี้เถ้าแกลบจากการเผาไหม้ในฟลูอิดไคซ์เบด พบว่าประสิทธิภาพของการเผาไหม้โดยฟลูอิดไคซ์เบดจะสูงกว่าประมาณร้อยละ 47 ถึง 53

อภิชัย เทอดเทียนวงษ์ [2] ศึกษาทดลองและออกแบบเตาเผาไหม้ชีวมวลแบบฟลูอิดไคซ์เบด เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง ความเร็วของอากาศในการฟลูอิดไคซ์เบด ขนาดของทรายที่ใช้ทำเบดที่มีผลต่อการเผาไหม้ และศึกษาถึงการถ่ายเทความร้อนระหว่างเบดกับท่อน้ำรับความร้อน การศึกษาทดลองได้ทำการออกแบบเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่อง ดังแสดงดังรูปที่ 2.2



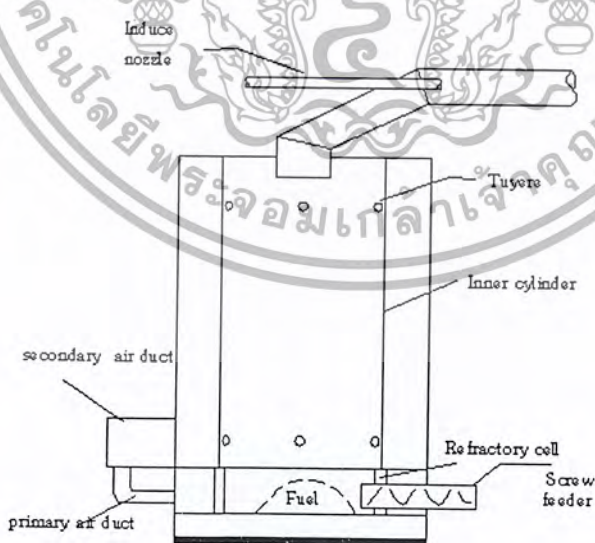
- 1 ระบบอัดอากาศ 2 เครื่องควบคุมความเร็วอากาศและน้ำ 3 ถังก๊าซ 4 ฟลูอิดไคซ์เบดคอลัมน์ 5 ที่ใส่เชื้อเพลิงชีวมวล
6 ระบบป้อนเชื้อเพลิงแบบหมุนวน 7 เกียร์ทด 8 มอเตอร์ 9 เครื่องปรับความเร็วรอบมอเตอร์ 10 เครื่องอ่านอุณหภูมิ
11 Selector switch 12 Thermocouple 13 ท่อน้ำรับความร้อนเหนือเบด 14 ท่อน้ำรับความร้อนในเบด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

รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะเตาเผาและอุปกรณ์ในการทดลอง [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบ 2 ชนิดคือ เชื้อเพลิงชี้เลี้ยง และเชื้อเพลิงแกลบ จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และอุณหภูมิสูงสุดคือ 9:1 ถึง 10:1 อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และที่อัตราการการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงที่เหมาะสมเท่ากับ 8.5:1 เทียบเป็นอากาศมากเกินพอประมาณ 50 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วของอากาศมีค่า 2 ถึง 4 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด (ประมาณ 85 เซนติเมตรต่อวินาที) เนื่องจากอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่มากกว่าจะให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่า และใช้อัตราส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ขนาดของทรายที่ใช้ทำเบดที่มีขนาดเล็กกว่า (ประมาณ 40 ถึง 50 เมช) เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ อุณหภูมิสูงกว่า และอัตราส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงต่ำกว่า ทรายขนาดใหญ่กว่า (ประมาณ 30-40 เมช) ซึ่งช่วยลดการสูญเสียความร้อนไปกับก๊าซร้อนที่ออกจากเตาเผาได้ กรณีการถ่ายเทความร้อนของเตาฟลูอิดไดซ์เบดพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างเบดกับท่อรับความร้อน มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วของอากาศ และขนาดของทรายที่เล็กกว่าจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าทรายขนาดใหญ่ สำหรับท่อรับความร้อนในเบดจะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนอยู่ในช่วง 190 ถึง 260 วัตต์ต่อเมตร² พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนให้ท่อที่อยู่ในเบดสูงกว่า การถ่ายเทความร้อนระหว่างก๊าซร้อนกับท่อรับความร้อนประมาณ 23 เท่า

รัชชัย ท้ววลี และ สันติ วัชรธาดาไพบูลย์ [3] ทำการศึกษาทดลองเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรแบบใช้อากาศหมุนวน ได้ทำการพัฒนาระบบการเผาไหม้เดิมให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยห้องเผาไหม้มีลักษณะดังรูปที่ 2.3



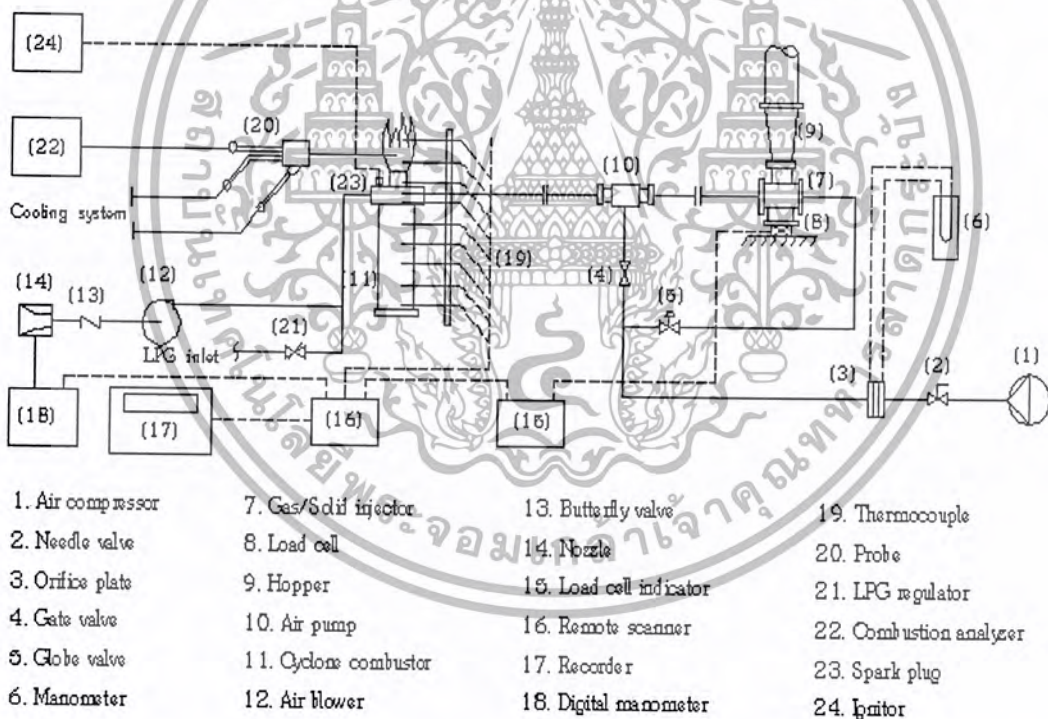
รูปที่ 2.3 เตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรแบบใช้อากาศหมุนวน [3]

จากการทดลองทำการเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F ratio) ที่มีผลต่อ

อุณหภูมิของก๊าซร้อน และทำการศึกษาลักษณะของอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านพัดลมดูดต่อ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิของก๊าซร้อนที่อัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงคงที่ การทดลองให้อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.225 กิโลกรัมต่อวินาที และกำหนดค่าอัตราการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงมีค่า 5:1, 6:1, 7:1, 8:1 และ 9:1 ท่ออากาศปฐมภูมิและท่ออากาศทุติยภูมิเปิดประมาณ 30 และ 60 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ท่อตามลำดับ ช่องพัดลมดูดอากาศเปิดที่ 100 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนของอากาศต่ออัตราส่วนของเชื้อเพลิงเท่ากับ 6:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากอุณหภูมิของก๊าซร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 595 องศาเซลเซียส และปริมาณความร้อนที่ได้รับอยู่ในปริมาณสูง และเมื่อทำการทดลองหาการเปลี่ยนแปลงช่องเปิดของพัดลมดูดที่ 0, 20, 60 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงเท่า 6:1 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดของก๊าซร้อนเท่ากับ 639 องศาเซลเซียส โดยที่ไม่ใช้พัดลมดูดอากาศ

เรือโทประจักษ์ จิตรพิทย [4] ทำการศึกษาวิจัยการเผาไหม้เลื่อนในเตาเผาไซโคลน ได้ทำการศึกษารูปแบบการไหลของอนุภาคเชื้อเพลิงใช้ห้องเผาไหม้ที่ผลิตจากพลาสติกไฮเอลดคาร์ไบด์ (Alcaride) ลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ซึ่งทำการปรับเปลี่ยนค่าอัตราส่วนสมมูล, Φ (Equivalence Ratio) ที่



รูปที่ 2.4 แสดงแผนภูมิอุปกรณ์การทดลอง[4]

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

การสังเกตลักษณะการไหลของห้องเผาไหม้จำลองพบว่า อนุภาคของเชื้อเพลิงได้รับอิทธิพลจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ส่งผลให้เกิดการหมุนวน และเกิดการเคลื่อนที่วนเป็นเกลียวคู่กัน ไซโคลนแล้วไหลย้อน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

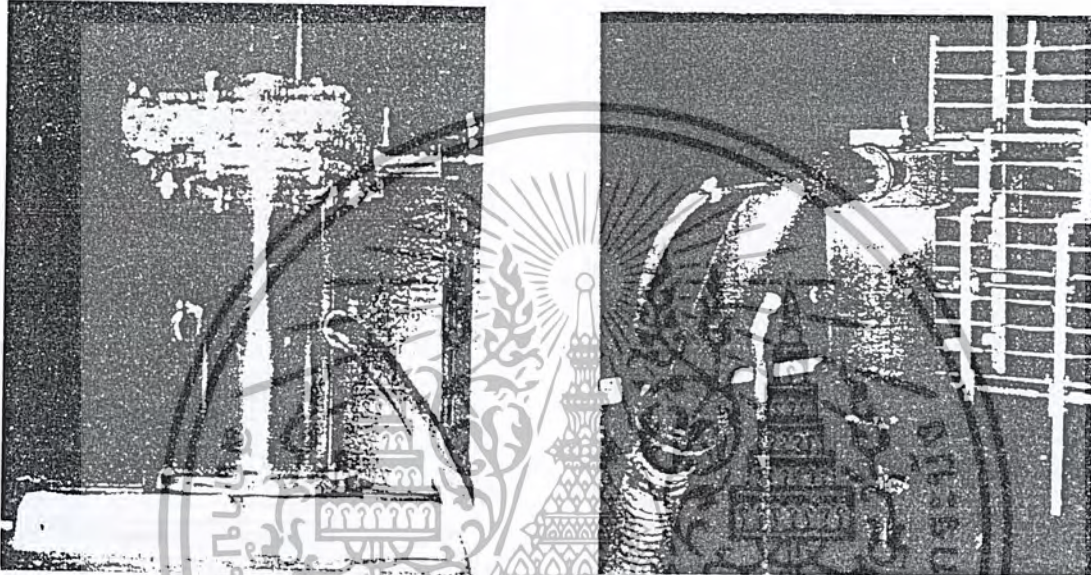
กลับจากกันไซโคลนตามแนวแกนออกสู่ปากทางออก การป้อนเฉพาะอากาศปฐมภูมิลักษณะการไหลวน เป็นเกลียวเดียว กรณีที่ป้อนทั้งอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมินั้นอนุภาคการเคลื่อนที่จะแยกตัวออกเป็น 2 กลุ่ม ถ้าการป้อนอากาศให้มีอัตราการไหลมากขึ้นจะทำให้ระยะห่างของเกลียวยาวขึ้น การทดลองหาลักษณะการแพร่กระจายอุณหภูมิของเปลวไฟ ที่ค่า $\Phi < 1.5$ เป็นการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินอยู่ในช่วงต่ำ จะเกิดการเผาไหม้บริเวณช่วงกลางจนถึงเหนือทางออกของห้องเผาไหม้ มีเชื้อเพลิงที่ไม่เกิดการเผาไหม้ตกค้างอยู่มาก ก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สูงมาก ประมาณ 3000 ppm ปริมาณออกซิเจน (O_2) ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ เปลวไฟไม่เสถียรเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ช่วง Φ มากกว่า 1.5 ถึง 2.0 การเผาไหม้เกิดเป็นบริเวณกว้างทั่วทั้งเตา เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้หมด ไม่มีตกค้างอยู่ เปลวไฟมีความเสถียรสูง องค์ประกอบของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในช่วง 900 ถึง 1000 ppm กรณีที่ค่า $\Phi > 2.0$ ปริมาณอากาศที่ใช้มากเกินไปมาก การเผาไหม้เกิดขึ้นตั้งแต่บริเวณก้นของเตาเผาขึ้นมาเกือบบริเวณรอบๆผนังห้องเผาไหม้ ลักษณะของเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ติดออกมาจำนวนมาก อุณหภูมิของเปลวไฟอยู่ในช่วง 1000 ถึง 1100 องศาเซลเซียส ลักษณะของเปลวไฟไม่เสถียร

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

การศึกษาลักษณะการไหลของอนุภาคเชื้อเพลิงพบว่า เมื่อทำการเพิ่มค่าอัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิ และลดค่าอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิเพื่อให้ปริมาณอัตราการไหลของอากาศทั้งระบบมีปริมาณเท่าเดิม ทำให้ระยะพิทของเกลียวและความชันของเกลียวน้อยลง ส่งผลให้จำนวนเกลียวเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนของอากาศทุติยภูมิ มีผลต่อการไหลเวียนของอนุภาคเชื้อเพลิงอยู่ในห้องเผาไหม้ได้นานขึ้น จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีขึ้น ส่วนการศึกษาลักษณะการเผาไหม้นั้น ทำการปรับค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงในช่วง 0.128 ถึง 0.135 กิโลกรัมต่อวินาที อัตราการไหลของอากาศอยู่ในช่วง 0.687 ถึง 1.010 กิโลกรัมต่อวินาที และทำการคงที่ค่าอัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการปรับค่า Φ ในช่วง 1.0 ถึง 1.5 พบว่าในส่วนที่ทำการปรับค่า $\Phi = 1.5$ ทำให้เกิดการเผาไหม้ในบริเวณกว้างทั่วทั้งห้องเผาไหม้ ก๊าซไอเสียประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ประมาณ 885 ถึง 2120 ppm ปริมาณออกซิเจนอยู่ในช่วง 7.1 ถึง 14.2 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1200 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าที่ค่า Φ อื่นๆ การศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณอากาศทุติยภูมิต่อลักษณะการเผาไหม้ โดยคงที่ค่า $\Phi = 1.5$ ทำการปรับค่าปริมาณอากาศทุติยภูมิให้มีค่าเท่ากับ 5, 10, และ 15 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่ได้โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าที่ปริมาณอากาศหุติภูมิเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ การเผาไหม้เกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้างคือ เกิดการเผาไหม้บริเวณก้นของห้องเผาไหม้จนถึงปากทางออก องค์ประกอบของก๊าซไอเสียมีปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำอยู่ในช่วง 885 ถึง 2120 ppm ปริมาณออกซิเจนประมาณ 7.1 ถึง 14.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปรับค่าอากาศหุติภูมิมากขึ้นจะเกิดการเผาไหม้บริเวณกว้างภายในห้องเผาไหม้ เนื่องจากอากาศหุติภูมิจะทำให้อนุภาคของเชื้อเพลิงไหลวนภายในห้องเผาไหม้ได้นานขึ้น จึงเป็นเหตุให้มีเวลาในการเผาไหม้นานขึ้นด้วย

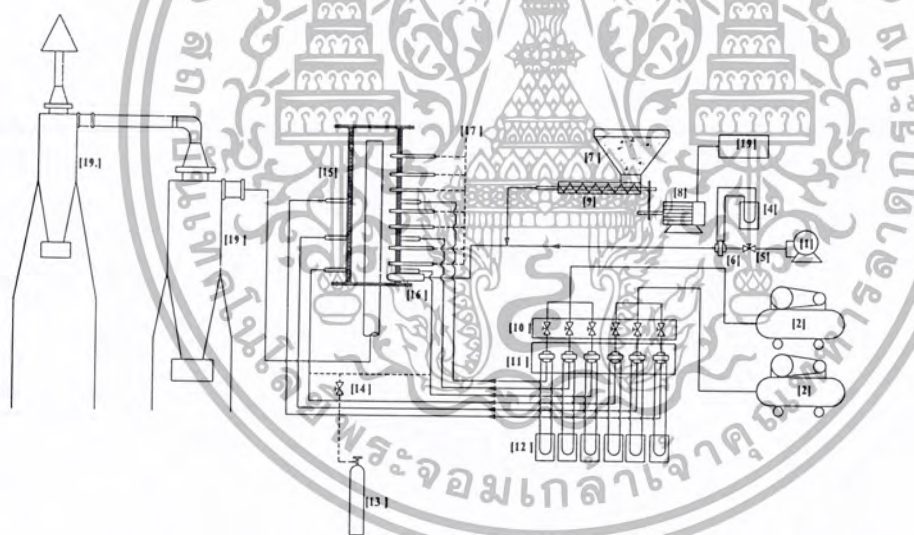


รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของห้องเผาไหม้แบบจำลอง รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของห้องเผาไหม้จริง[5]

อดิศักดิ์ ชูจินดา [6] ศึกษาและทำการออกแบบสร้างเตาเผาเคลือบสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบดขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง ลักษณะห้องเผาไหม้เป็นห้องเผาไหม้ทรงกระบอกความสูง 2.75 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.37 เมตร ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2.7 อัตราการป้อนแคลบเท่ากับ 120 ถึง 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศ 1.11 กิโลกรัมต่อวินาที เชื้อเพลิงและอากาศถูกป้อนเข้าห้องเผาไหม้ในแนวสัมผัส เพื่อให้เชื้อเพลิงเกิดการไหลวนภายในห้องเผาไหม้ การทดลองปรับค่าความสูงของซีเมนต์แคลบ 30, 45, 50 และ 60 เซนติเมตร อุณหภูมิเฉลี่ยภายในประมาณ 293, 296, 296 และ 297 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ถ้าความสูงของซีเมนต์ต่ำกว่า 30 เซนติเมตร เกิดผลต่อการเผาไหม้คือ แคลบจะเข้ามารวมกันอยู่บนตะแกรง ทำให้อุณหภูมิแกว่งในช่วงล่าง แต่ถ้าความสูงของซีเมนต์สูงกว่า 60 เซนติเมตร มีผลต่อการเกิดไซโคลน จากการทดลองพบว่าความสูงของเบดที่เหมาะสมเท่ากับ 50 เซนติเมตร อัตราการป้อนแคลบ 126 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศร้อน 296 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบประมาณ 61 ถึง 63 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการเผาไหม้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิวัต พิริยะรุ่งโรจน์ [8] ได้ทำการศึกษาทดลองเตาเผาออร์เทก ทำการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาแบบออร์เทก โดยทำการวัดการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ตำแหน่งต่างๆ และก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ในการทดลองปรับค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงคงที่เท่ากับ 0.2 กิโลกรัมต่ออนาที ค่า Equivalence ratio, (Φ) เท่ากับ 0.7, 0.8, 1.0 และ 1.2 ตามลำดับ การเผาไหม้กำหนดค่าอัตราส่วนของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศตุนิยมต่ออัตราการไหลของอากาศทั้งหมด, (λ) เท่ากับ 0, 0.2 และ 0.4 ลักษณะของเตาเผาและอุปกรณ์การทดลองดังแสดงในรูปที่ 2.8 จากการทดลองพบว่า ที่ค่า $\Phi = 1.0$ มีการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาสูงกว่าการกระจายอุณหภูมิที่ค่า Φ อื่นๆ และผลของอัตราส่วนของอากาศตุนิยมต่ออัตราการไหลของอากาศทั้งหมดที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้เท่ากับ $\lambda = 0.4$ เนื่องจากการเพิ่มอากาศตุนิยมจะช่วยเพิ่ม การไหลวนของอากาศ ทำให้เชื้อเพลิงมีเวลาอยู่ในเตานานขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงขึ้น อุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้ประมาณ 1135°C และการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น มีค่าต่ำประกอบด้วย ออกซิเจน ประมาณ 4.41 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ 15.34 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนมอนอกไซด์ประมาณ 130.25 ppm และปริมาณของไนโตรเจนไดออกไซด์ ประมาณ 764 ppm

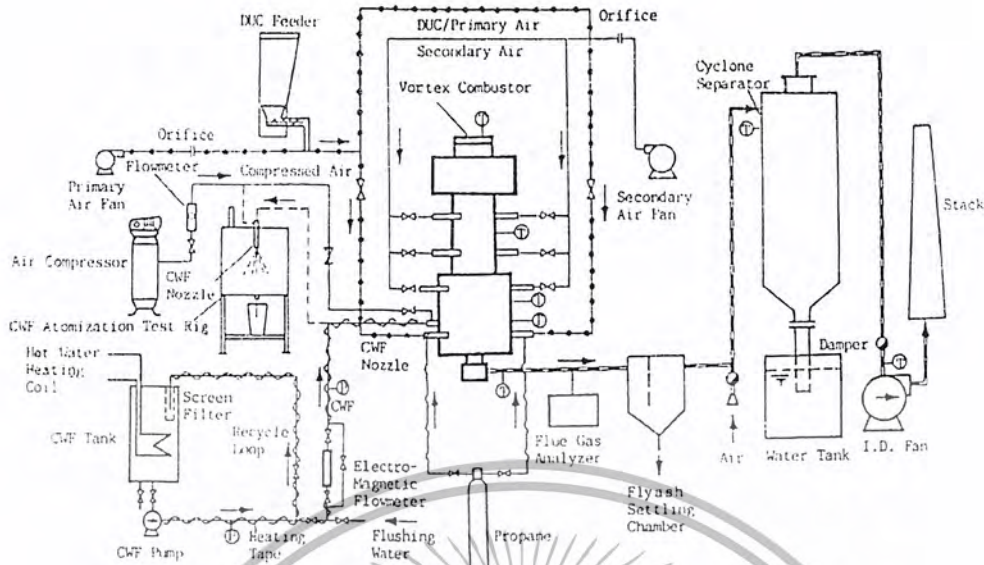


- | | | | | | |
|-------------------|--------------------|----------------------|------------------------|-------------------|------------------|
| 1. Blower | 2. Air compressor1 | 3. Air compressor2 | 4. Manometer | 5. Needle valve | 6. Orifice plate |
| 7. Hopper | 8. Motor | 9. Screw feeder | 10. Needle valve | 11. Orifice plate | 12. Manometer |
| 13. L.P.G. supply | 14. Burner | 15. Vortex combustor | 16. Primary air nozzle | 17. Indicator | 18. Inverter |
| 19. Cyclone | | | | | |

รูปที่ 2.8 แสดงแผนผังและอุปกรณ์การทดลอง[8]

Tim T. Fu and Sen Nieh [9] ทำการศึกษาทดลองเตาเผาออร์เทก รายละเอียดของอุปกรณ์และลักษณะของเตาเผาดังแสดงในรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงแผนภูมิอุปกรณ์การทดลอง[9]

ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ซึ่งถ่านหินที่นำมาทดสอบมี 2 ชนิด คือ DUC (Dry Ultrafine Coal) เป็นเชื้อเพลิงถ่านหินที่นำมาบดให้เป็นผงเหมือนกับแป้งมีขนาดเท่ากับ $11.5 \mu\text{m}$ และ CWF (Coal Water Fuel) เป็นเชื้อเพลิงถ่านหินที่มีน้ำปนอยู่มีลักษณะคล้ายกับโคลน การทดสอบทำการวัดอุณหภูมิภายในและวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น

จากการทดลองพบว่า การเผาไหม้มีอัตราความร้อนเท่ากับ 0.15 MB/H ($0.15 \times 10^6 \text{ Btu/hr}$) และอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้บริเวณส่วนล่างของห้องเผาไหม้จะมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 2000°F อุณหภูมิจะลดลงเมื่อความสูงของห้องเผาไหม้สูงขึ้น บริเวณส่วนบนสุดของห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิเท่ากับ 1100°F และบริเวณทางออกของท่อไอเสียอุณหภูมิเท่ากับ 1650°F จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ประกอบด้วย O_2 , CO_2 , CO , NO_x , SO_x และคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ ปริมาณของ O_2 จะลดลงตามความสูงของห้องเผาไหม้ เนื่องจาก O_2 ถูกนำไปใช้เพื่อเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ ปริมาณก๊าซ CO บริเวณส่วนล่างของห้องเผาไหม้เท่ากับ 550 ppm และบริเวณท่อทางออกของก๊าซไอเสียมีปริมาณ CO เท่ากับ 250 ppm อิทธิพลของอากาศสดุดีต่อการเผาไหม้โดยใช้เชื้อเพลิง DUC พบว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ในกรณีที่ไม่ใช้อากาศสดุดีเท่ากับ 98 เปอร์เซ็นต์ และกรณีที่ใช้อากาศสดุดีมีประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 98.5 เปอร์เซ็นต์ เพราะเนื่องจากอากาศสดุดีทำให้เชื้อเพลิงและอากาศผสมกันได้ดีขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มขึ้น และปริมาณ NO_x ต่ำกว่า 50 ppm ปริมาณคาร์บอนในซีเถ้าลดลงถึง 4 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎี

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

3.1 ประเภทของเชื้อเพลิง

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

3.1.1 เชื้อเพลิงก๊าซ (Gaseous Fuels)

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

3.1.2 เชื้อเพลิงเหลว (Liquid Fuels)

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

3.1.3 เชื้อเพลิงแข็ง (Solid Fuels)

หมายถึง เชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เช่น ไม้ ฟืน ถ่านไม้ แกลบ หินน้ำมัน ถ่านหิน ลิกไนต์ ถ่านโค้ก เชื้อเพลิงอัดแท่ง (fuel briquetts) เป็นต้น เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถใช้ประโยชน์ได้แพร่หลาย เช่น เป็นเชื้อเพลิงของหม้อน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม โรงจักรกังหันไอน้ำ ตลอดจนเป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน

เชื้อเพลิงชีวมวลโดยทั่ว ๆ ไป เป็นเชื้อเพลิงแข็ง มีปริมาณความชื้นสูงและ ความหนาแน่นน้อย องค์

ประกอบของเชื้อเพลิงจะแตกต่างกันตามประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวล และการที่เชื้อเพลิงชีวมวลมีปริมาณน้ำสูงส่งผลให้ค่าความร้อนที่แท้จริงต่ำกว่าที่คิดไว้ ดังนั้นในการคำนวณต้นทุนด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน จึงทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าแตกต่างกันด้วย ดังนี้

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

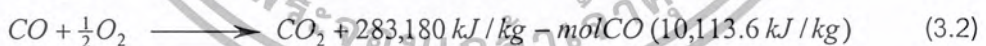
ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวมวลที่นิยมนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน ส่วนมากจะเป็น ขี้เลื่อยและแกลบ เพราะให้ค่าความร้อนสูงและความชื้นต่ำ

3.2 การเผาไหม้

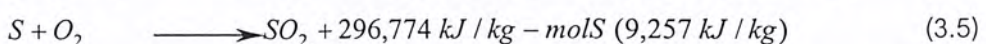
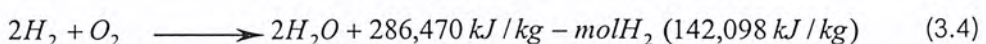
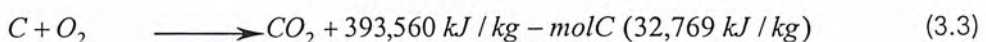
ปฏิกิริยาการเผาไหม้ (Combustion reaction) หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับสารเผาไหม้ได้ (Combustible element) ของเชื้อเพลิงชนิดหนึ่ง ๆ สารเผาไหม้ได้ในที่นี้มีธาตุหลัก 3 ตัว คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน สำหรับกำมะถันขณะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนจะให้ความร้อนไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับคาร์บอนและไฮโดรเจน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

3.2.1 ปฏิกิริยาเคมีของการเผาไหม้

สารประกอบส่วนใหญ่ในเชื้อเพลิงประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และสารประกอบอื่นๆ ปนอยู่บ้างเช่น กำมะถัน เมื่อเกิดการเผาไหม้จะได้ปฏิกิริยาเคมีดังสมการ สำหรับการเผาไหม้ของคาร์บอนกับออกซิเจน



สามารถเขียนสมการการเผาไหม้รวมได้เป็น



ซึ่งจะพบว่าปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน โดยปลดปล่อยความร้อนออกมาด้วยหลังจากเกิดปฏิกิริยาเป็นสารประกอบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้

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

1. การปั่นป่วนหรือการผสมคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ การผสมหรือการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจน คือ การที่อนุภาคของเชื้อเพลิงสัมผัสกับโมเลกุลของออกซิเจนได้อย่างทั่วถึง ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นก๊าซในการผสมจะเป็นไปได้ง่าย แต่ถ้าเป็นเชื้อเพลิงแข็งหรือของเหลวการผสมจะยุ่งยากขึ้น ในกรณีที่เชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นของเหลวจะมีการทำให้เป็นอนุภาคเล็ก โดยใช้หัวพ่นแล้วจึงทำการเผาไหม้ ซึ่งจะทำให้รวมตัวกับอากาศได้ง่ายขึ้น

ส่วนเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งนั้น แต่ละโมเลกุลของออกซิเจนจะสัมผัสกับผิวของเชื้อเพลิงเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ จากนั้นออกซิเจนจะเข้าผสมกับก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ทำให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในที่สุด ดังนั้นจะกล่าวได้ว่า จุดประสงค์ของการทำให้เกิดการปั่นป่วนขึ้นก็เพื่อที่จะทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง ทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วและทำให้เกิดบริเวณของพื้นผิวที่จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นใหม่

2. อุณหภูมิที่สูงพอต่อขบวนการเผาไหม้ ขบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหรืออัตราส่วนผสมทางเคมีของเชื้อเพลิงกับอากาศนั้นขึ้นโดยตรงกับอุณหภูมิ การเผาไหม้จะเกิดขึ้นในตอนแรก ๆ และเกิดต่อไปเรื่อย ๆ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ก็จะเพิ่มอุณหภูมิของเชื้อเพลิงและอากาศให้มากขึ้น ทำให้อัตราการเผาไหม้มากขึ้นด้วย ฉะนั้นสิ่งที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้แบบเกิดขึ้นเอง (Spontaneous Combustion) จะประกอบด้วย

1. อุณหภูมิสูงพอสำหรับการเผาไหม้
2. สารเชื้อเพลิง
3. อากาศที่เพียงพอ

ขบวนการเผาไหม้นั้นไม่ได้เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นได้เอง โดยส่วนใหญ่จะใช้ปริมาณความร้อนจากภายนอกช่วยเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ และให้ปริมาณความร้อนออกมามากขึ้น นอกจากนั้นสิ่งที่สำคัญสำหรับการเผาไหม้แบบต่อเนื่องก็คือ อุณหภูมิ ซึ่งถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปก็ทำให้เชื้อเพลิงไม่สามารถลุกไหม้แบบต่อเนื่องได้ แต่ถ้าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงพอเพียง การลุกไหม้ก็จะเกิดต่อไปได้เรื่อย ๆ โดยปกติแล้วการเผาไหม้นั้นต้องการให้มีอุณหภูมิสูงเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้เร็ว แต่การที่จะให้อุณหภูมิจะสูงได้มากน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ ซึ่งจะสามารถให้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ในกรณีที่อุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นสารที่ไม่ต้องการได้ เช่น สารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน หรือ เกิดเถ้าหลอมรวมตัวเป็นขี้โลหะ (slag) ก็จะเกาะติดอยู่บนผนังเหล็ก ที่ใช้

ในการถ่ายเทความร้อนทำให้เกิดการกัดกร่อนได้

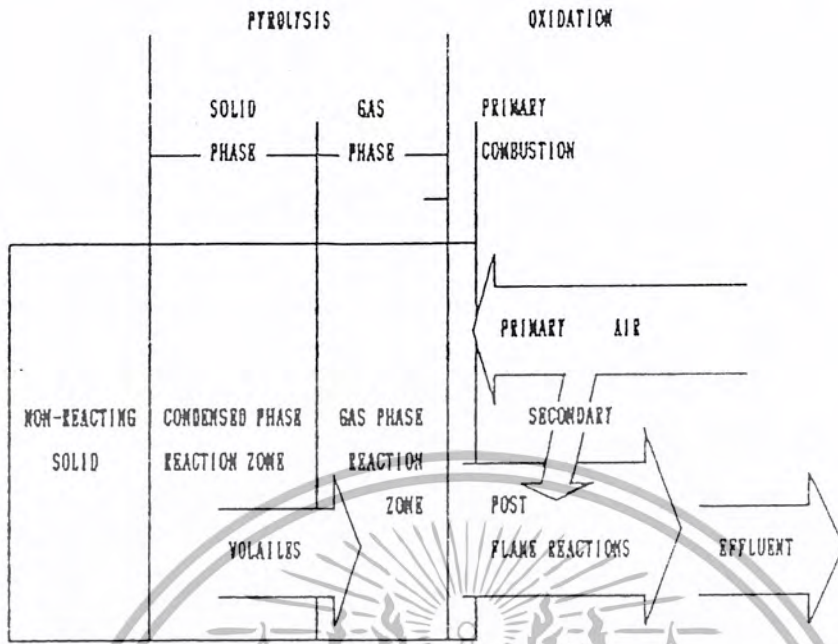
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเชื้อเพลิงกับปริมาณอากาศ อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเชื้อเพลิงกับปริมาณอากาศที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้ เพื่อให้ได้ผลอย่างสมบูรณ์นั้น จะต้องมีสัดส่วนที่พอดีกันระหว่างปริมาณเชื้อเพลิงกับปริมาณออกซิเจน ตามสมการเผาไหม้ ปริมาณของอากาศตามทฤษฎี (Theoretical air) คือปริมาณน้อยที่สุดของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ จนคาร์บอน, ไฮโดรเจน และกำมะถันเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, น้ำ และ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตามลำดับ ในทางปฏิบัติจริงของอากาศที่ต้องการตามทฤษฎีไม่พอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ การสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ คือ การเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และ คาร์บอนในก๊าซไอเสีย

4. เวลาที่เพียงพอในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง เวลาที่เพียงพอในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง คือเวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในเตาเผาครนวนานพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้มากที่สุด แต่การเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์เป็นไปได้ยากเพราะต้องใช้เวลานาน และเสียค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้องใช้เตาเผาที่มีความสูงมาก ๆ ดังนั้นจึงนำเทคนิคการหมุนวนความเร็วสูงของเตาเผาออร์ทอกมาเพื่อช่วยให้เกิดการไหลหมุนวน (Recirculation Flow) ของเชื้อเพลิงกับอากาศ ขณะเกิดการเผาไหม้ภายใน ทำให้เวลาในการเผาไหม้นานขึ้น จึงเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

3.3 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

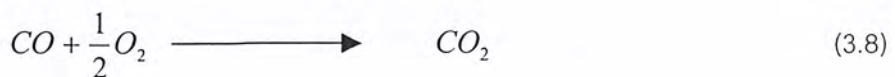
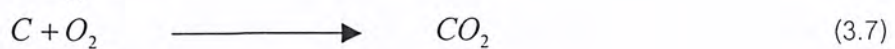
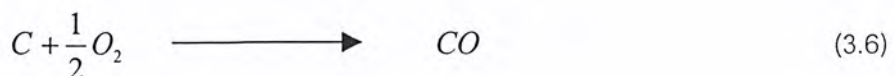
เชื้อเพลิงแข็งที่ใช้อยู่ทั่ว ๆ ไปมีหลายชนิด เช่น ไม้ วัสดุชีวมวล เป็นต้น ขบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งจะมีความแตกต่างไปจากเชื้อเพลิงเหลว และก๊าซเชื้อเพลิง เนื่องจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแข็ง มักเป็นสารประกอบที่มีส่วนผสมของสารต่าง ๆ มากมายและผสมกันอย่างไม่เป็นเนื้อเดียวกันนัก อีกทั้งอัตราส่วนของสารต่าง ๆ ภายในเชื้อเพลิงแข็งยังไม่แน่นอน นอกจากนี้การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งยังขึ้นอยู่กับขนาดของเชื้อเพลิงแข็งด้วย เชื้อเพลิงแข็งประกอบด้วยสารต่าง ๆ ซึ่งมีทั้งสามารถเผาไหม้ได้และไม่สามารถเผาไหม้ได้ ส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้เรียกว่า สารเฉื่อย (Inert) สารเฉื่อยนี้สามารถเปรียบเทียบได้กับ ก๊าซไนโตรเจนในอากาศ ซึ่งไม่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ แต่ในบางครั้งสารเฉื่อยเหล่านี้ ก็อาจเกิดปฏิกิริยาได้ในบางขบวนการของการเผาไหม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขบวนการที่มีอุณหภูมิสูง ๆ สารเฉื่อยที่ประกอบอยู่ในเชื้อเพลิงแข็งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ความชื้น และสารอนินทรีย์ที่ประกอบเป็นซีเมนต์ ซึ่งสารเหล่านี้ส่วนมากเป็นสารจำพวก ซิลิเกต (Silicates) ซัลไฟด์ (Sulfides) เป็นต้น เมื่อเผาไหม้สารเหล่านี้จะกลายเป็นซีเมนต์ บางส่วนจะตกอยู่ภายในห้องเผาไหม้ บางส่วนที่มีน้ำหนักเบาจะปลิวออกไปกับก๊าซไอเสีย เรียกว่า เถ้าปลิว (Fly Ash)



รูปที่ 3.1 ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

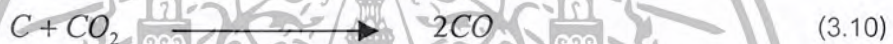
เชื้อเพลิงแข็ง เป็นวัสดุที่มีส่วนผสมเป็นสารประกอบที่รวมตัวกับออกซิเจน อาจเกิดปฏิกิริยา และไม่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ร่วมกัน สารประกอบที่เกิดการเผาไหม้แบ่งออกได้ 2 ชนิด ชนิดที่เป็นสารระเหย (Volatile matter) ในที่นี้จะหมายถึง สารประกอบที่ระเหยในช่วงอุณหภูมิการเผาไหม้ เช่น ไฮโดรเจน ไฮโดรคาร์บอน ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ และชนิดที่ไม่เป็นสารระเหย (Nonvolatile) หรือเป็นสารที่น้ำหนักโมเลกุลสูงนั่นเอง เช่น คาร์บอน โพลีเมอร์ลิก (Polymeric)

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่เกิดปฏิกิริยาทั้ง 3 สมการ จะให้ผลิตภัณฑ์ไฟโรซีส ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องทำปฏิกิริยาต่อไปอีก มีสองสถานะ คือ ก๊าซ และของแข็ง สำหรับก๊าซประกอบด้วย CO , CO_2 , H_2 , O_2 , H_2O และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอีกเล็กน้อยที่ปล่อยออกมารอบ ๆ อนุภาคเชื้อเพลิง เมื่อปฏิกิริยาสารระเหยต่อพื้นที่ผิว (Surface Flux of Volatile) ของอนุภาคน้อย ออกซิเจนจะเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซดังกล่าว เกิดการเผาไหม้แบบผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกันของก๊าซแต่ละชนิด ในทางตรงกันข้าม ถ้าปริมาณของสารระเหยต่อพื้นที่ผิวมาก จะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซ เป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาหรือเกิดน้อย ฉะนั้นจึงต้องใช้เวลาเพื่อให้ปริมาณของสารระเหยเจือจางลงจึงจะเกิดปฏิกิริยา ในส่วนที่เป็นของแข็ง จำพวกถ่าน จะไม่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ในเวลานั้น เนื่องจากก๊าซที่เกิดในกระบวนการไฟโรโรซีสจะป้องกันไม่ให้ออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยาและอุณหภูมิยังไม่สูงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้ แต่หลังจากก๊าซต่าง ๆ เกิดปฏิกิริยาจะถ่ายเทความร้อนให้กับคาร์บอนทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดที่เกิดปฏิกิริยา และมีขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาดังนี้



อัตราการเกิดปฏิกิริยาของการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับของเชื้อเพลิงแข็ง และเชื้อเพลิงแข็งนี้จะได้รับการถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีมากที่สุด

ในส่วนของสารที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ เช่น ความชื้น ซึ่งจะระเหยออกไปในขณะที่เกิดการเผาไหม้และออกไปกับก๊าซไอเสีย ความชื้นเหล่านี้จะทำให้อุณหภูมิจากการเผาไหม้ลดลงเพราะจะต้องสูญเสียความร้อน เพื่อทำความชื้นระเหยตัว และมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิการเผาไหม้ และสารที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้จำพวก สารอนินทรีย์ต่าง ๆ จะเกิดเป็นขี้เถ้า ถ้าอุณหภูมิสูงมาก ๆ สารเหล่านี้จะละลายกลายเป็นสแลก (Slag)

3.4 อุณหภูมิอะเดียแบติก (Adiabatic Flame Temperature)

ในกรณีไม่มีงานเกี่ยวข้องและไม่มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์หรือพลังงานศักย์ พลังงานเคมีที่ปล่อยออกมาในระหว่างการเผาไหม้นั้นอาจสูญเสียไปสู่สิ่งแวดล้อม ในรูปของพลังงานความร้อนหรืออาจถูกใช้ไปในการเพิ่มอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ ถ้าการสูญเสียความร้อนมีค่าน้อยอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ก็จะสูง ค่าจำกัดของมันคือเมื่อไม่มีการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม ($Q=0$) และ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ก็จะมีค่าสูงที่สุด ซึ่งเราเรียกอุณหภูมินี้ว่าอุณหภูมิเปลวอะเดียแบติก (Adiabatic flame temperature)

อุณหภูมิดังกล่าวนี้นหาได้จากกาให้ Q และ W มีค่าเท่ากับศูนย์ในกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งจะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ (3.11)
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$\sum N_p (\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_p = \sum N_R (\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_R \quad (3.12)$$

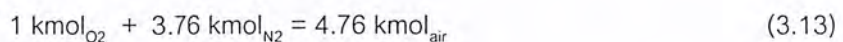
เมื่อรู้สถานะของสารตั้งต้นเราก็สามารถหา H_R ได้โดยง่าย แต่การหา H_p นั้นไม่เป็นเรื่องที่ย่ง่ายนัก เพราะเรายังไม่รู้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการคำนวณเปลวอะเดียแบติก (Adiabatic flame temperature) จะต้องใช้วิธีสมมติค่าจนกว่าจะได้ $H_p = H_R$ (เรียกว่า "iterative procedure") ถ้าเป็นการเผาไหม้ด้วยอากาศซึ่งประกอบด้วย N_2 ส่วนใหญ่ ค่าอุณหภูมิแรกที่เราควรจะได้ คือการสมมติว่าผลิตภัณฑ์ทั้งหมดเป็น N_2

อุณหภูมิสูงสุดในห้องเผาไหม้นั้นถูกจำกัดโดยความทนทานของวัสดุ ดังนั้นอุณหภูมิเปลว อะเดียแบติกจึงมีความสำคัญมากในการออกแบบห้องเผาไหม้ เครื่องยนต์กังหันก๊าซ และหัวฉีด อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์เหล่านี้ที่จริงแล้วจะน้อยกว่าอุณหภูมิเปลวอะเดียแบติกมาก ทั้งนี้เนื่องจากการเผาไหม้อาจไม่สมบูรณ์ มีการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม รวมทั้งก๊าซบางชนิดอาจแยกตัวออก (Dissociate) อุณหภูมิสูงสุดในห้องเผาไหม้อาจควบคุมได้โดยการปรับแต่งปริมาณของอากาศส่วนที่เกิน (Excess air) ซึ่งเปรียบเสมือนการระบายความร้อน

3.5 องค์ประกอบของอากาศ

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

ตามจำนวนโมล (หรือปริมาตร) นั้นพบว่าอากาศแห้งประกอบด้วยออกซิเจน 20.9 % ไนโตรเจน 78.1 % อาร์กอน 0.9 % และสารอื่น ๆ จำนวนเล็กน้อย ในการวิเคราะห์กระบวนการเผาไหม้อาร์กอนในอากาศจะพิจารณาว่าเป็นไนโตรเจน และสารอื่น ๆ ที่มีจำนวนเล็กน้อยจะไม่นำมาพิจารณา ดังนั้นจึงจะพิจารณาว่าอากาศแห้งประกอบไปด้วยออกซิเจน 21 % ไนโตรเจน 79 % (ตามจำนวน โมล) ดังนั้นแต่ละโมลของออกซิเจนจะมีไนโตรเจนจำนวน 3.76 โมลผสมอยู่ด้วยในอากาศ นั่นคือ



ที่อุณหภูมิการเผาไหม้ปกติ ไนโตรเจนมีพฤติกรรมเป็นก๊าซเฉื่อย ซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ถึงอย่างไรก็ตาม แม้ไนโตรเจนไม่ทำปฏิกิริยาแต่ก็มีผลต่อกระบวนการเผาไหม้อย่างมาก ทั้งนี้เพราะไนโตรเจนจะเข้าสู่ห้องเผาไหม้ในปริมาณมากที่อุณหภูมิต่ำ และออกจากห้องเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นการดูดซับพลังงานเคมีส่วนหนึ่งที่ถูกลอยออกมาระหว่างกระบวนการเผาไหม้ซึ่งจะสมมุติว่าไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การคัดลอกหรือการนำเอกสารไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยฯ จะถือว่าผิดกฎหมายและจะดำเนินการดำเนินคดีตามกฎหมายต่อไป

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นก๊าซเฉื่อยโดยสมบูรณ์ ที่อุณหภูมิสูงไนโตรเจนจำนวนหนึ่ง(ซึ่งอาจไม่มากนัก) จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนให้สารพิษ เช่น Nitric oxide

อากาศที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้มักจะมีละอองน้ำปนอยู่ ละอองน้ำนี้จะต้องนำมาพิจารณาเพราะแม้ว่าในกระบวนการเผาไหม้ส่วนใหญ่ซึ่งจะคิดให้เป็นก๊าซเฉื่อยเช่นเดียวกับไนโตรเจน อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิสูง ละอองน้ำอาจแยกตัว(Dissociate) เป็น H_2 และ O_2 รวมทั้งอาจแยกเป็น H, O, OH และเมื่อก๊าซจากการเผาไหม้ทำให้เย็นลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature) ของละอองน้ำ จะทำให้ละอองน้ำส่วนหนึ่งกลั่นตัวออกมาเป็นหยดน้ำ และจำเป็นที่จะต้องรู้อุณหภูมิจุดน้ำค้างนี้เพราะหยดน้ำมักจะรวมตัวกับ Sulfur dioxide ซึ่งอาจมากับก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ กลายเป็นกรดกำมะถัน(Sulfuric acid) ซึ่งทำให้เกิดการผุกร่อนอย่างมาก

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

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

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

สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงนี้สามารถเขียนอยู่ในรูปของจำนวนโมลได้เป็นจำนวนโมลของอากาศต่อจำนวนโมลของเชื้อเพลิง ดังนั้นจะได้ว่า ส่วนกลับของ AF จึงเรียกว่า สัดส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ (Fuel-Air ratio)

3.6 อัตราส่วนสมมูล (Φ)

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

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

หรือถ้าอยู่ในรูปของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

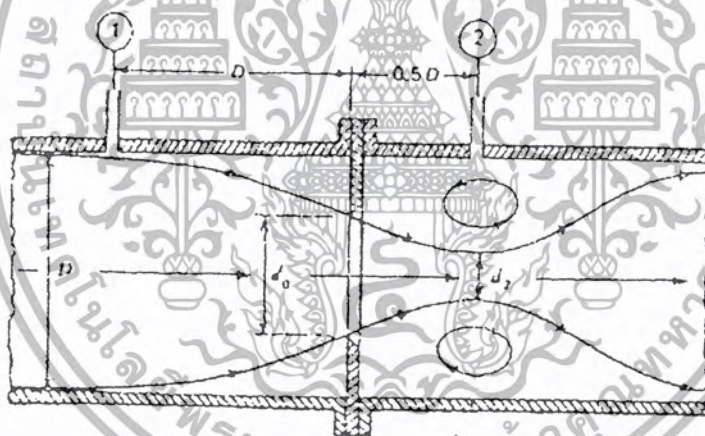
$$\Phi = \frac{(A/F)_{Stioc}}{(A/F)_{Actual}} \tag{3.16}$$

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

3.7 ออร์ฟิส (Orifice)

สมมติฐานเบื้องต้นสำหรับการวัดอัตราการไหลด้วยออร์ฟิสในการทดลองนี้คือของไหลที่อยู่ภายในท่อไม่สามารถอัดตัวได้ ความเร็วของของไหลมีค่าคงที่ตลอดหน้าตัด (โดยไม่คิดบริเวณที่เรียกว่า บริเวณกระแสไหลวน) ของไหลไม่มีความหนืดและการไหลเกิดขึ้นแบบ Steady flow (อัตราการไหลมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับเวลา) โดยใช้มาตรฐาน (ANSI/API 2530) [10]

สมการ Bernoulli สามารถนำมาใช้อธิบายคุณสมบัติในการไหลที่จุดต่างๆ ภายในท่อได้ดังนั้นสมการ Bernoulli สำหรับจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของการไหลดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงการไหลผ่านแผ่น ออร์ฟิส (Orifice)

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

เมื่อ

P = ความดันสถิตย์ของของไหล (N/m^2)

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

Subscript It

ค่าที่จุดที่ 1 ในทางทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Subscript 2t = ค่าที่จุดที่ 2 ในทางทฤษฎี
 A_o = พื้นที่หน้าตัดรูออริฟิส (m^2)
 D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ
 d_o = เส้นผ่านศูนย์กลางรูออริฟิส
 C_d = discharge coefficient (การปรับเทียบ แสดงในภาคผนวก ก.)

3.8 ทฤษฎีทางด้านกลศาสตร์ของไหล (fluid mechanics)

ทฤษฎีของกลศาสตร์ของไหลนั้นมีมาก แต่ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เรามุ่งเน้นทฤษฎีที่สำคัญเกี่ยวข้องกับ การวิจัยและศึกษา คือ

3.8.1 รูปแบบการไหลของของไหลในช่วง air pump กับช่องทางเข้าห้องเผาไหม้ การไหลของอากาศในช่วงนี้ ต้องเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ทั้งนี้เพื่อให้เชื้อเพลิง (แกลบ) คลุกเคล้ากับ ออกซิเจนก่อนที่จะเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ทั้งนี้ช่วยให้ห้องสันดาปเป็นไปอย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น การพิจารณาการไหลว่าเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) หรือการไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) เราพิจารณาได้จากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re)

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{v D}{\nu} \quad (3.18)$$

โดยที่ V คือ ความเร็วในการไหลของของไหล

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

ν คือ ค่า kinematic viscosity

การไหลจะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน เมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มากกว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์วิกฤต ($Re > Re_{critical}$)

ในกรณีที่เกิดการไหลเกิดขึ้นในท่อกลมนั้นค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์วิกฤตสามารถกำหนดได้ดังนี้

- ถ้าเป็นท่อผนังด้านในหยาบค่า $Re_{critical}$ จะประมาณ 2000 แต่ถ้าเป็นท่อผิวหยาบมากๆแล้วค่า $Re_{critical}$ อาจลดลงเหลือประมาณ 1000

- ถ้าเป็นท่อผนังด้านในเรียบมากค่า $Re_{critical}$ จะประมาณ 40000

การที่จะให้ค่าของไหลไหลแบบปั่นป่วนนั้นจำเป็นต้องใช้ความเร็วในการไหลที่ต่ำสุด

$$V_{cn} = \frac{Re_{cri} \nu}{D} \quad (3.19)$$

โดยที่ V_{cn} คือ ความเร็วในการไหลของของไหลที่น้อยที่สุดที่ก่อให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.2 การไหลวน (vortex flow) [11]

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของของไหลที่มีอนุภาคของแข็งปนอยู่(อากาศผสมขี้เลื่อย)ภายในห้องเผาไหม้ จะพบว่าของไหลซึ่งมีอนุภาคของแข็งปะปนอยู่จะเคลื่อนที่ในแบบไหลเวียนรอบห้องเผาไหม้ในลักษณะเป็นเกลียว 2 วง โดยวงแรกเป็นการไหลวนรอบนอก (outer vortex) มีทิศทางเวียนลงสู่ก้นไซโคลน ส่วนวงที่ 2 ระบบการไหลวนภายใน (inter vortex) จะไหลเวียนรอบห้องในลักษณะเดียวกับวงแรก แต่จะสวนทิศทางการกลับออกสู่ปากห้องเผาไหม้อีกทั้งบริเวณก้นห้องเผาไหม้จะมีการไหลวน (outer vortex flow) ผสมกับการไหลเข้าสู่ศูนย์กลาง (centrifugal flow) เราเรียกว่า การไหลแบบ sink flow ซึ่งจะทำให้อนุภาคที่มีน้ำหนักมากตกลงไปที่ห้องเผาไหม้ ขณะเดียวกันที่บริเวณเหนือก้นห้องเผาไหม้ก็จะมีการไหลวน (inter vortex flow) ผสมกับการไหลออกสู่ศูนย์กลางเราเรียกการไหลแบบ source flow ซึ่งจะทำให้อนุภาคน้ำเบาลอยตัวขึ้น



รูปที่ 3.3 แสดงการไหลวน

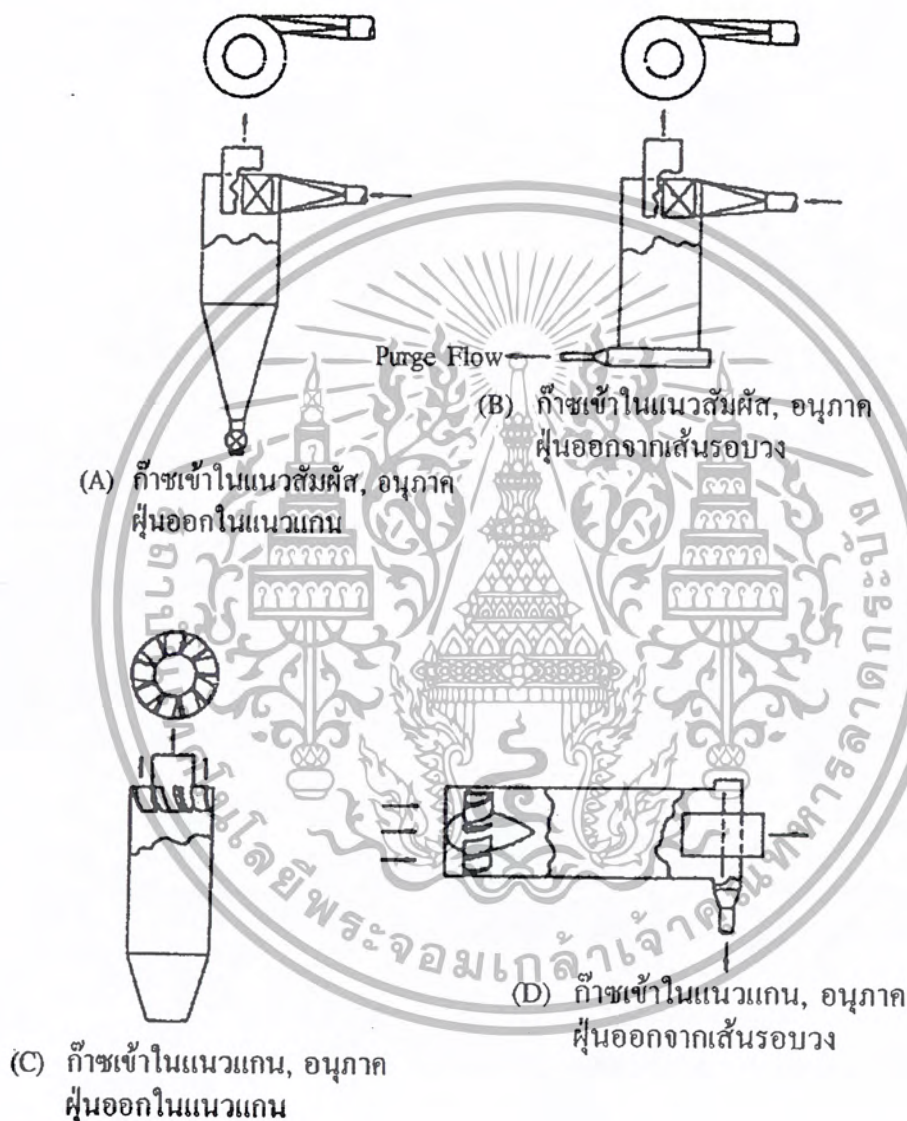
3.8.3 ลักษณะการไหลในไซโคลนในไซโคลน

ชิ้นส่วนสำคัญของโครงสร้างของไซโคลนคือทางเข้าของก๊าซที่ช่วยชักนำให้เกิดวอร์เทกซ์ (Vortex) ทางออกในแนวแกน (Axial Outlet) ของก๊าซสะอาด และช่องเปิดด้านล่างสำหรับปล่อยอนุภาคฝุ่นออก รูปที่ 3.4 แสดงวิธีต่างๆ สำหรับจัดวางทางเข้าของก๊าซและช่องปล่อยอนุภาคฝุ่นออก

ลักษณะการไหลแบบไซโคลนที่จะพูดถึงในที่นี้จะเป็นของกรณีการไหลแบบไซโคลนโดยทั่วไป (รูปที่ 3.4(A)) ก๊าซที่ไหลเข้าในแนวสัมผัสใกล้ด้านบนของตัวทรงกระบอกจะชักนำให้เกิดวอร์เทกซ์ หรือการไหลเวียนแบบก้นหอยในย่านระหว่างผนังของตัวไซโคลนและผนังของท่อทางออกของก๊าซ ในลักษณะที่หมุนวนด้านล่าง วอร์เทกซ์นี้เป็นวอร์เทกซ์แบบกึ่งอิสระ (Semi-Free Vortex) จะหมุนวนและเคลื่อนลงจนต่ำกว่าผนังของท่อทางออกของก๊าซ แต่เมื่อไปถึงย่านๆ หนึ่งใกล้กับก้นของกรวย วอร์เทกซ์นี้จะกลับทิศทางการเคลื่อนที่ในแนวแกนจากเคลื่อนลงเป็นเคลื่อนขึ้น โดยจะคงไว้ซึ่งการหมุนวน นั่นคือจะเปลี่ยนเป็นวอร์เทกซ์แบบบังคับ (Forced Vortex) ซึ่งเปรียบเสมือนการหมุนตัวของของแข็งในย่าน

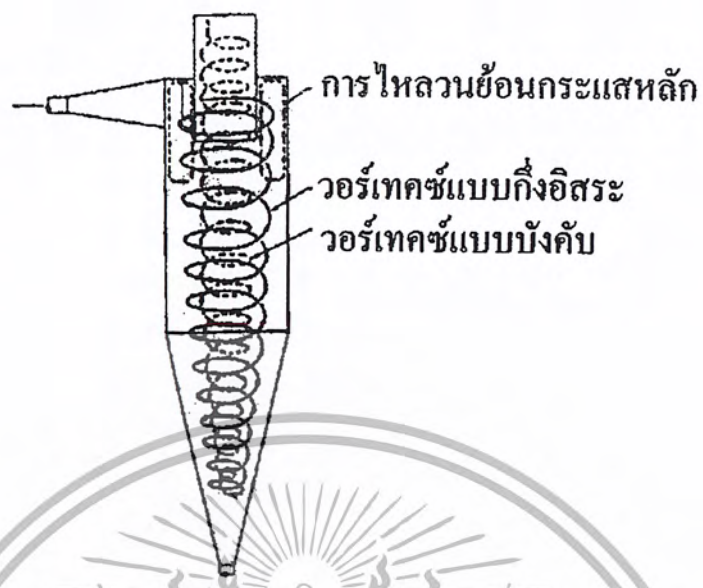
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อยู่ภายใต้ลิขสิทธิ์ของสถาบันการศึกษานี้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี่จะเป็นย่านความดันต่ำ และมีชื่อเรียกว่า แก่น (Core) รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะทั่วไปของวอร์เทคและการไหลวนย้อนกระแสหลัก (Eddy Flow) ภายในไซโคลนธรรมดา ส่วนรูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างของการกระจายความดันและของความเร็วของการหมุนวนภายในไซโคลนธรรมดา ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 3.6 ความเร็วในแนวสัมผัส (V_t) ของก๊าซในวอร์เทคสามารถแสดงในรูปของสมการต่อไปนี้

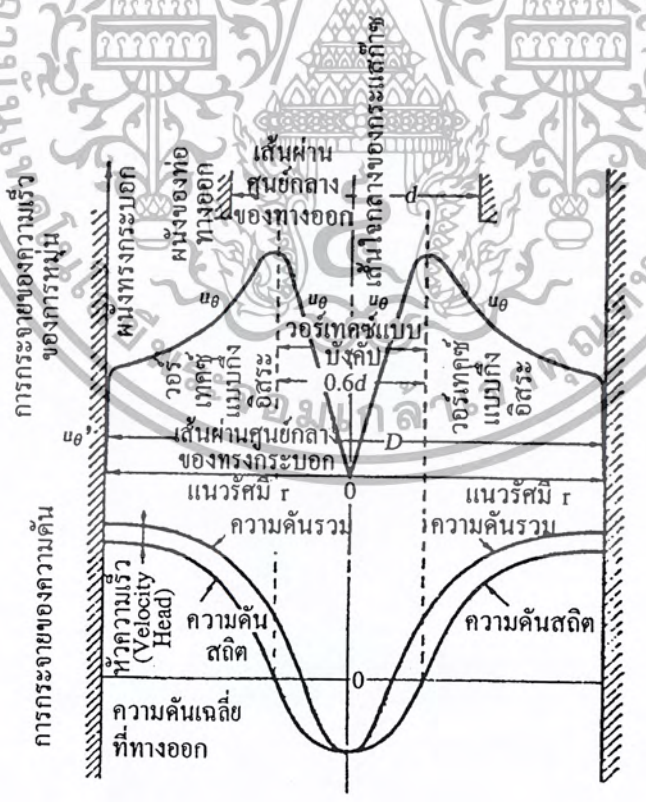


รูปที่ 3.4 วิธีต่างๆ สำหรับจัดวางทางเข้าของก๊าซและช่องปล่อยอนุภาคฝุ่นออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ลักษณะทั่วไปของวอร์เท็กซ์และการไหลวนย้อนกระแสน้ำหลัก (Eddy Flow) ภายในไซโคลนธรรมดา



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างของการกระจายความดันและความเร็วของการหมุนภายในไซโคลนธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $V_t = V_p(R_p/R)^n$
 ในที่นี้ R คือ รัศมี (ม.)
 R_p คือ รัศมีของตัวไซโคลน (ม.)
 V_t คือ ความเร็วในแนวเส้นสัมผัสของก๊าซที่รัศมี R (ม/วินาที)
 V_p คือ ความเร็วในแนวเส้นสัมผัสของก๊าซที่รัศมี R_p (ผนังตัวไซโคลน)(ม/วินาที)
 N คือ ตัวเลขยกกำลัง [-]

ในกรณีของวอร์เทกซิสระ (Free Vortex) ซึ่งไม่มีการสูญเสียความดัน n จะมีค่าเท่ากับ 1

ในกรณีที่ $0 < n < 1$ จะเรียกวอร์เทกซิสที่ได้ว่าเป็นแบบกึ่งอิสระ แต่ในภาคปฏิบัติแล้ว n ของวอร์เทกซิสระในไซโคลนจะมีค่าระหว่าง 0.5 ถึง 0.8 ส่วนในกรณีที่ n มีค่าเท่ากับ -1 จะเรียกวอร์เทกซิสที่ได้ว่าเป็นแบบบังคับ

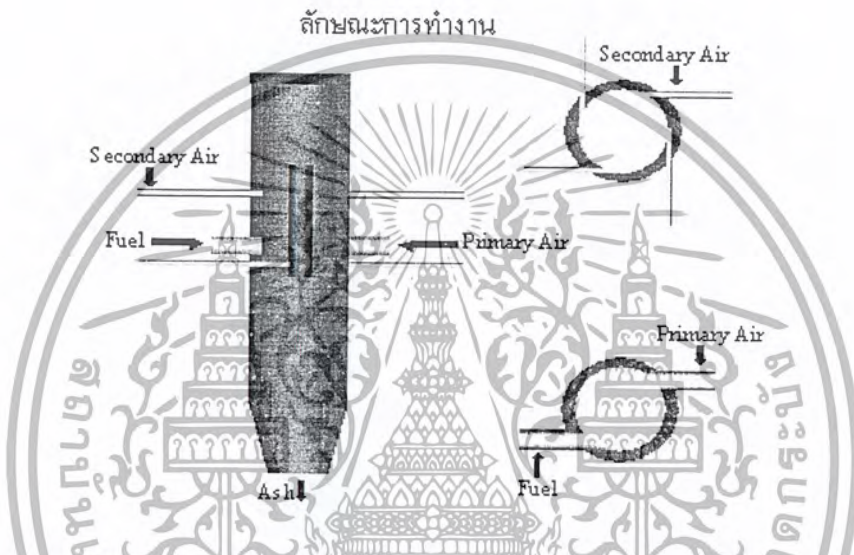
สิ่งที่น่าสังเกตในรูปที่ 3.5 ก็คือว่า นอกจากวอร์เทกซิสที่แสดงในรูปที่ 3.6 แล้ว ยังมีการไหลขึ้นของก๊าซเลียบผนังส่วนบนของทรงกระบอก ก๊าซที่ไหลเลียบขึ้นนี้จะพาอนุภาคติดไปด้วย และไหลตัดเข้าด้านใน แล้วจึงไหลลงเลียบผนังด้านนอกของท่อทางออกของก๊าซ การไหลนี้มีชื่อเรียกว่าการไหลวนย้อนกระแสหลัก (Eddy Flow) ในระหว่างไหลเลียบลงผ่านขอบล่างของท่อทางออก อนุภาคอาจหลุดติดไปกับก๊าซที่ไหลออกจากไซโคลนได้ ถ้าทางออกของก๊าซยังยื่นลึกเข้าไปในทรงกระบอก การไหลวนย้อนกระแสหลักที่เกิดขึ้นจะยิ่งรุนแรง แต่หากการกำจัดส่วนยื่นเข้านี้ให้หมดไปก็ไม่สามารถกำจัดการเกิดของการไหลวนย้อนนี้ได้ ไซโคลนที่ผลิตขายจะมีการออกแบบพิเศษเพื่อป้องกันผลกระทบจากการไหลวนนี้ อนึ่ง ไซโคลนแบบที่ก๊าซไหลเข้าในแนวแกนจะไม่เกิดการไหลวนย้อนกระแสหลักนี้

บทที่ 4

การออกแบบและการคำนวณ

4.1 การออกแบบเตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้น

เตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้นเป็นเตาเผาที่ถูกพัฒนาขึ้นจากเตาเผาแบบวอร์เทคและเตาเผาแบบไซโคลน โดยเตานี้จะรวมข้อดีของเตาไซโคลนและวอร์เทค เข้าด้วยกันเพื่อแก้ปัญหาในเรื่องของ slag, เชม่า, ขี้เถ้า รวมถึงการเพิ่มเวลาในการเผาไหม้เพื่อการเผาไหม้ที่ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการทำงานของเตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้น

เตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้นใช้เทคนิคของไหลแบบหมุนวนความเร็วสูง การหมุนวนได้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเสถียรของเปลวไฟ เพิ่มการผสมคลุกเคล้าของเชื้อเพลิงและอากาศ และช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน นอกเหนือจากช่วยเพิ่มเวลาอยู่ในเตาของเชื้อเพลิง (Fuel residence time) และช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ การหมุนวนช่วยเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลวนไปมาในบริเวณกึ่งกลางของเตา (Central recirculation zone) เป็นผลให้เกิดความปั่นป่วนอย่างรุนแรงขึ้นในแต่ละชั้นระหว่างการไหลวนไปมาและการไหลของชั้นภายนอกซึ่งช่วยให้เปลวไฟในเตาเสถียรยิ่งขึ้น โครงสร้างของความปั่นป่วนในการไหลแบบหมุนวนความเร็วสูงนี้ โดยทั่วไปมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนมาก การไหลวนไปมา (Recirculation) อันเป็นผลจากการหมุนวนสามารถนำไปสู่ การเพิ่มประสิทธิภาพการสันดาป โดยที่ชั้นแรกส่วนล่างสุดของเตาได้ดัดแปลงมาจากลักษณะของเตาเผาแบบไซโคลนส่วนชั้นที่สองความสูงเริ่มต้นที่ 956 มม.เป็นลักษณะของเตาเผาแบบวอร์เทค ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ลักษณะการทำงานจะเผาไหม้จากส่วนบนลงมาด้านล่างโดยป้อนเชื้อเพลิงและอากาศเข้าแนวสัมผัสบริเวณกึ่งกลางเตา ลักษณะการไหลภายในเตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้นมีห้องเผาไหม้เป็นทรงกระบอก ซึ่งห้องเผาไหม้จะประกอบด้วยท่อเหล็ก 2 ชั้น ท่อชั้นในมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 300 มิลลิเมตร (กำหนดให้มีขนาดเท่ากับ D) ท่อ

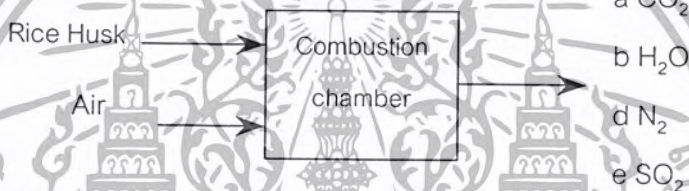
เอกสารนี้ให้ลิขสิทธิ์นอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 392 มิลลิเมตร ซึ่งท่อทั้ง 2 มีความหนาเท่ากับ 6 มม. ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการในการเผาไหม้ทางทฤษฎี

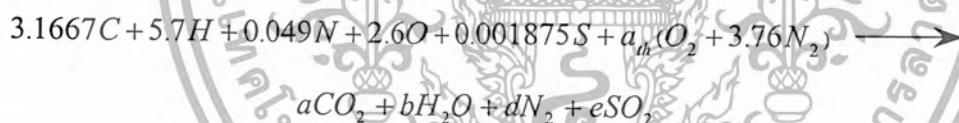
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ

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

การสมดุลปฏิกิริยาเคมี



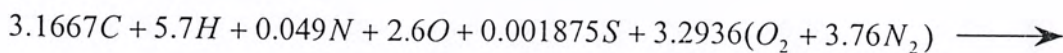
สามารถเขียนเป็นปฏิกิริยาเคมีได้ดังนี้



ทำการสมดุลสมการจะได้

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

ทำการแทนค่าลงในสมการจะได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนโมลของอากาศแห้งมีค่าเท่ากับ

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

เนื่องจากการสมดุลสมการ ใช้กับอากาศแห้ง แต่ในการทดลองไม่สามารถทำให้เป็นอากาศแห้งได้ เพราะฉะนั้นจะต้องทำการคิดปริมาณความชื้นในอากาศเข้าไปในสมการการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงด้วย โดยกำหนดสถานะของอากาศดังนี้

อากาศมีอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb temperature) เท่ากับ 33°C

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity , RH) เท่ากับ 53%

เพราะฉะนั้นทำการหาค่าความดันย่อยในอากาศที่สถานะนี้ได้เท่ากับ

เปิดค่าจากตาราง จะได้

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

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

จำนวนโมลของละอองน้ำในอากาศจากสมการ

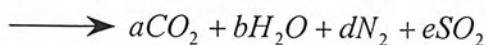
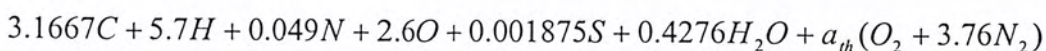
$$\left(\frac{N_{v,H_2O,air}}{N_{v,total}} \right) = \left(\frac{P_{v,air}}{P_{v,total}} \right)$$

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

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

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

เพราะฉะนั้นทำการสมดุลสมการการเผาไหม้สำหรับอากาศชื้นใหม่จะได้ดังนี้



ทำการสมดุลสมการจะได้

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

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

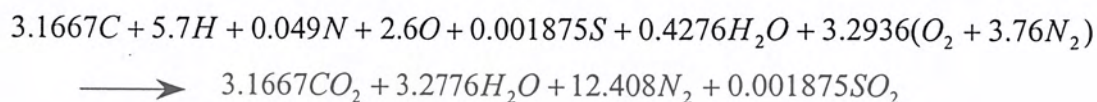
$$S : \quad 0.001875 \quad = \quad e \quad \longrightarrow \quad e = 0.001875$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เขียนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

นำค่าตัวแปรที่ทำการคำนวณได้แทนค่ากลับในสมการจะได้สมการเผาไหม้ของอากาศชื้นกับเชื้อเพลิงเหลวที่อัตราอากาศเผาไหม้พอ คือ



จากนั้นทำการหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง จากสมการ

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

มวลของอากาศเท่ากับ

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

มวลของเชื้อเพลิงเท่ากับ

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

ดังนั้น

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

$$= 5.368'$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกิจกรรมงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการอัตราส่วนสมมูล

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

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

เพราะฉะนั้นทำการหาอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการทดลองเมื่อกำหนดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.3 kg/min จะได้

$$\begin{aligned} \left(\frac{A}{F}\right) &= 5.368 \\ A &= 5.368 \times 0.3 \text{ kg/min} \\ &= 1.6104 \text{ kg/min} \\ &= 0.02684 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

ดังนั้นในกรณีอัตราส่วนสมมูล (Stoichiometric) จะได้ว่า

อัตราการป้อนอากาศเท่ากับ 0.02684 kg/s

อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.005 kg/s

ตารางที่ 4.2 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.30 kg/min

Φ	Primary Air (kg/sec)			Secondary Air (kg/sec)	
	100%	85%	75%	15%	25%
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

4.3 การคำนวณความสูงของระดับน้ำของมาโนมิเตอร์

ทำการพิจารณาการไหลของแกลบเท่ากับ $0.3 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$ จากสมการที่เรานำมาใช้จะต้องทราบค่าตัวแปร

ต่างๆ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการป้อนแก๊ส	$\dot{m}_{fuel} = 0.3 \frac{kg}{min}$
ความหนาแน่นของอากาศ	$\rho_a = 1.184 \frac{kg}{m^3}$
ความหนาแน่นของน้ำ	$\rho_w = 1000 \frac{kg}{m^3}$
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออากาศปฐมภูมิ	$D_p = 0.0762 \text{ m.}$
เส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิสสำหรับท่ออากาศปฐมภูมิ	$d_p = 0.04572 \text{ m}$
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออากาศทุติยภูมิ	$D_s = 0.0508 \text{ m}$
เส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิสสำหรับท่ออากาศทุติยภูมิ	$d_s = 0.032 \text{ m}$
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

$$A_s = \frac{\pi D_s^2}{4}$$

$$= \frac{\pi \times (0.0508)^2}{4}$$

$$= 2.027 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

ในการทดลองเราทำการคำนวณหาค่าความสูงของระดับน้ำในमानมิเตอร์ที่ให้ ณ อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio) ต่าง ๆ โดยทำการหาได้จากสมการ

$$\Phi = \frac{AF_{ac}}{AF_{th}}$$

สำหรับการทดลองนี้ได้กำหนดค่าอัตราส่วนสมมูลไว้ เท่ากับ 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 เราจะสามารถคำนวณระดับน้ำในमानมิเตอร์ของท่ออากาศปฐมภูมิได้เป็น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

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

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

จากสมการ

∴

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

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

แทนค่า

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

$$\Delta h = 0.04074925 \text{ m.}$$

$$= 40.74925 \text{ mm.}$$

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$= 29.432 \text{ mm}$$

ทำการหารระดับน้ำในमानอมิเตอร์ของอากาศหตุยภูมิ

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

จากสมการ

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

โดยที่

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

$$\beta = \frac{0.032}{0.0508} = 0.63$$

แทนค่าลงในสมการจะได้ว่า

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

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

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

$$\Delta P = 36.306 \text{ N/m}^2$$

จากสมการ

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

จะได้

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

$$= 0.00370 \text{ m}$$

$$= 3.7009 \text{ mm}$$

กรณีที่ 3 อัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ 75% , อากาศหตุยภูมิ 25% และอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.8 จะหารระดับน้ำในमानอมิเตอร์ของอากาศปฐมภูมิได้เป็น

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

เพราะฉะนั้นทำการแทนค่าลงในสมการจะได้เป็น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta P = 224.684 \text{ N/m}^2$$

ดังนั้นระดับในमानอมิเตอร์เท่ากับ

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

$$\begin{aligned} \Delta h &= \frac{224.684 \text{ N/m}^2}{1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2} \\ &= 0.02290 \text{ m} \\ &= 22.903 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

แทนค่าลงในสมการจะได้เป็น

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

$$\Delta P = 100.786 \text{ N/m}^2$$

หาระดับน้ำในमानอมิเตอร์ได้เท่ากับ

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

ตารางที่ 4.3 แสดงความสูงของระดับน้ำในमानอมิเตอร์ของอากาศปฐมภูมิและทุติยภูมิที่อัตราการป้อน

แลกเปลี่ยนเท่ากับ $0.3 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$

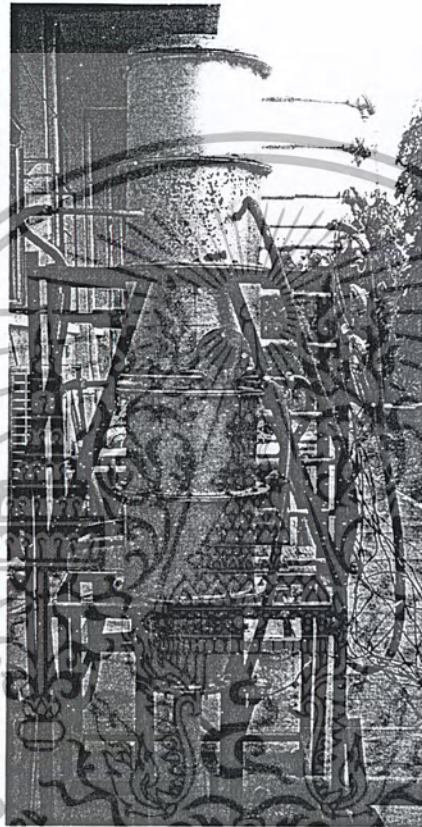
Φ	Δh ของ Primary air (mm)			Δh ของ Secondary air (mm)		
	100%	85%	75%	0%	15%	25%
0.5	104.349	75.385	58.696	0	14.839	26.383
0.6	72.443	52.323	40.749	0	6.585	18.316
0.7	53.235	38.451	29.835	0	4.836	13.452
0.8	40.749	29.432	22.907	0	3.700	10.184

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 การดำเนินงานวิจัย

5.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเตาเผาแลกเปลี่ยนเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

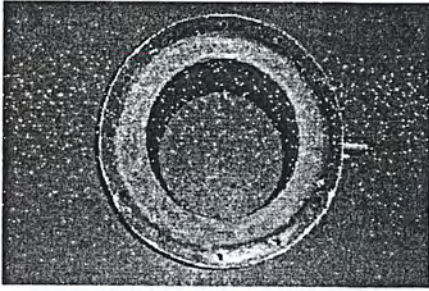


รูปที่ 5.1 เตาเผาแบบหมวนวนหลายชั้น

5.1.1 ห้องเผาไหม้

ประกอบไปด้วยโครงสร้างเหล็กทำเป็นลักษณะวงแหวนซ้อนกันอยู่ โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของวงแหวนวงในสุดมีค่าเท่ากับ 300 มิลลิเมตร เหล็กมีความหนา 6 มิลลิเมตร ระหว่างวงแหวนจะมีปูนทนไฟซึ่งมีความหนา 40 มิลลิเมตร วงแหวนภายนอกจะเป็นเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 392 มิลลิเมตร โดยใช้เหล็กหนา 6 มิลลิเมตร ด้านข้างจะมีท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตรสำหรับใส่เทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิ 2 ท่อด้วยกัน ห้องเผาไหม้มีความสูง 300 มิลลิเมตร แสดงได้ดังรูปที่ 5.2

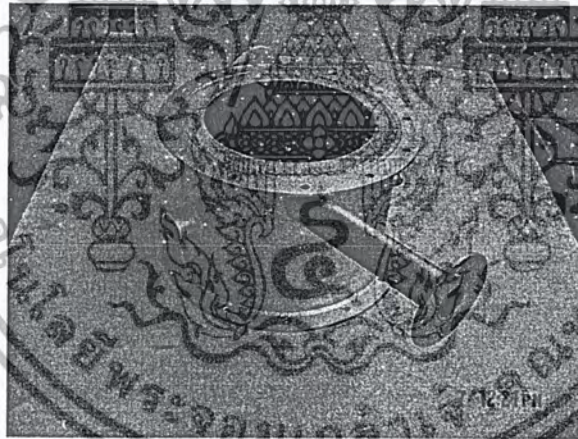
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 ห้องเผาไหม้

5.1.2 ห้องอุ่นเบค

ประกอบด้วยโครงสร้างเหล็กทำเป็นวงแหวนซ้อนกันอยู่ แต่จะมีความแตกต่างจากห้องเผาไหม้คือ จะเป็นส่วนที่ป้อนเชื้อเพลิงและอากาศในแนวสัมผัสมีลักษณะหมุนตามเข็มนาฬิกา บริเวณกึ่งกลางจะมีรูใส่หัวเผาเพื่อใช้ในการอุ่นเตา ห้องอุ่นเบคมีขนาดความสูง 300 มิลลิเมตร ระหว่างชั้นของวงแหวนจะมีปูนทนไฟซึ่งมีความหนา 40 มิลลิเมตร ในแต่ละด้านจะมีท่อซึ่งมีขนาดแตกต่างกันไป ทั้งสี่ด้านทำไว้เพื่อใส่เทอร์คิปเปิ้ล, ระบบป้อนเกลือ, และหัวเผา (Burner) แสดงได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ห้องอุ่นเบค

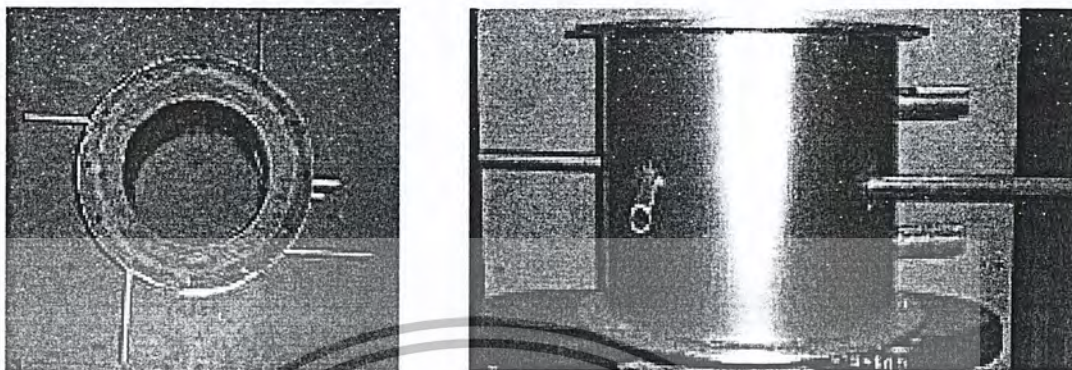
5.1.3 ห้องเผาไหม้ที่มีระบบป้อนอากาศทุติยภูมิ

ประกอบไปด้วยโครงสร้างเหล็กทำเป็นลักษณะวงแหวนซ้อนกันอยู่ โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของวงแหวนวงในสุดมีค่าเท่ากับ 300 มิลลิเมตร เหล็กมีความหนา 6 มิลลิเมตร ระหว่างวงแหวนจะมีปูนทนไฟซึ่งมีความหนา 40 มิลลิเมตร วงแหวนภายนอกจะเป็นเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 392 มิลลิเมตร โดยใช้เหล็กหนา 6 มิลลิเมตร ด้านข้างจะมีท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตรสำหรับใส่เทอร์โมคัปเปิ้ลเพื่อวัดอุณหภูมิ 2 ท่อด้วยกัน ห้องเผาไหม้มีความสูง 300

มิลลิเมตรจะมีท่อเหล็ก 4 ท่อซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 มิลลิเมตรวางในแนวสัมผัสในทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

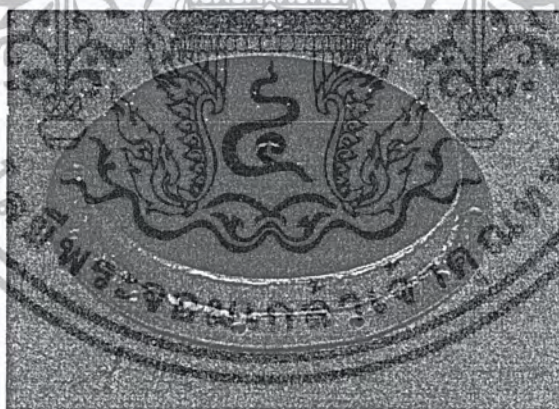
ตามเข็มนาฬิกาในลักษณะที่ต่อแต่ละท่อนตั้งฉากกันอยู่ที่ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความสูง เพื่อที่จะให้อากาศเข้าไปตามแนวสัมผัสเพื่อที่จะทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศ (Cyclone) ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ระบบป้อนอากาศทุติยภูมิ

5.1.4 ฝาครอบ

เป็นส่วนที่อยู่ด้านบนสุดของเตา มีรูตรงกลางไว้ส่งเกิดลักษณะของเปลวไฟที่พุ่งออกตรงกลาง ฐานของฝามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 481 มิลลิเมตร ชั้นในของฝามีฮีทเทินต์ไฟ แสดงได้ดังรูปที่ 5.5



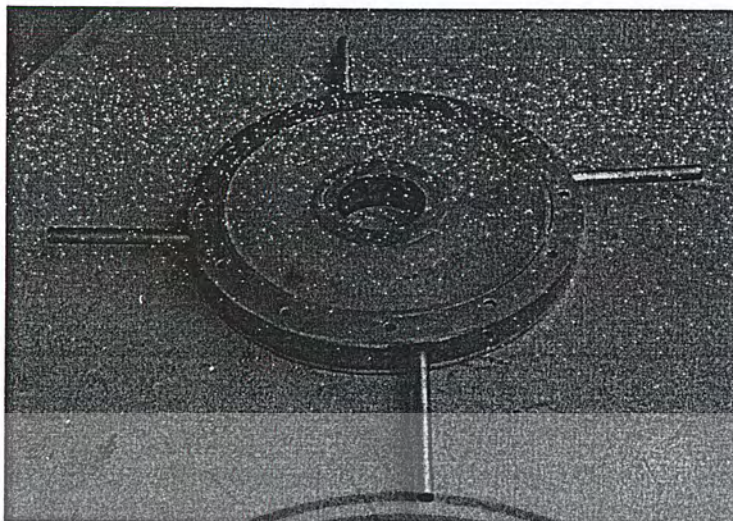
รูปที่ 5.5 ฝาครอบ

5.1.5 ห้องเผาไหม้ที่มีระบบป้อนอากาศทุติยภูมิ(ขนาดเล็ก)

มีลักษณะเหมือนกับห้องเผาไหม้ที่มีระบบป้อนอากาศทุติยภูมิ รูปที่ 5.4 แตกต่างกันที่

ความสูงของห้องเผาไหม้ที่มีขนาดเล็กลงเหลือ 62 มม. มีขนาดของการหุ้มชนวนกว้างเท่ากับ 140 mm. เพื่อ

เอกสารให้ลักษณะของก๊อกรเผาไหม้ที่ออกจากรูปที่ 5.4 มีลักษณะหมุนวนความเร็วสูงซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 ห้องเผาไหม้ที่มีระบบป้อนอากาศทุติยภูมิ(ขนาดเล็ก)

5.1.6 ท่อทิ้ง

มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อเท่ากับ 120.3 มม.หนา 3 มม.สูง 660 มม.มีหน้าแปลนขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกสุดเท่ากับ 481 มม.ดังรูป 5.7



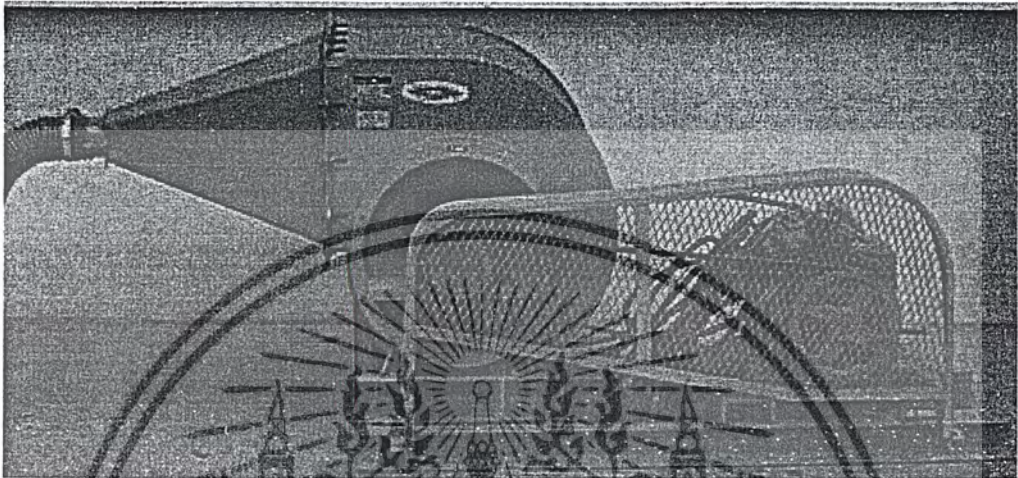
รูปที่ 5.7 ท่อทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.7 ระบบป้อนอากาศปฐมภูมิ (Primary air)

ประกอบไปด้วยมอเตอร์ขนาด 7.5 กิโลวัตต์ 3 เฟส พร้อมกับพัดลม แสดงได้ดังรูปที่

5.8

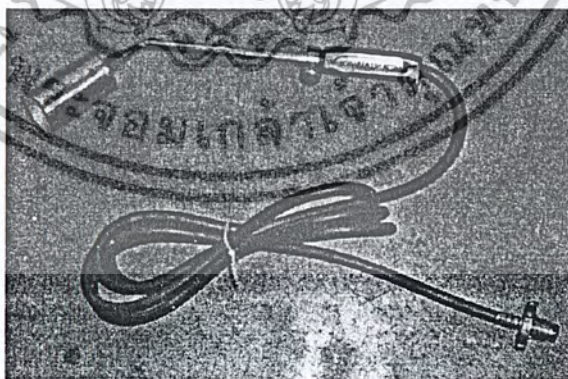


รูปที่ 5.8 ระบบป้อนอากาศปฐมภูมิ

5.1.8 หัวเผา (Burner)

ใช้สำหรับอุ่นเตา ซีห้อ KAWAGUCHI โดยปลายสายจะต่อเข้ากับถังก๊าซ ซึ่งมี

ลักษณะดังรูปที่ 5.9

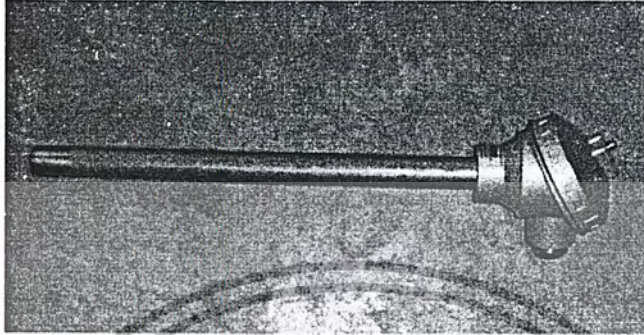


รูปที่ 5.9 หัวเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.9 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

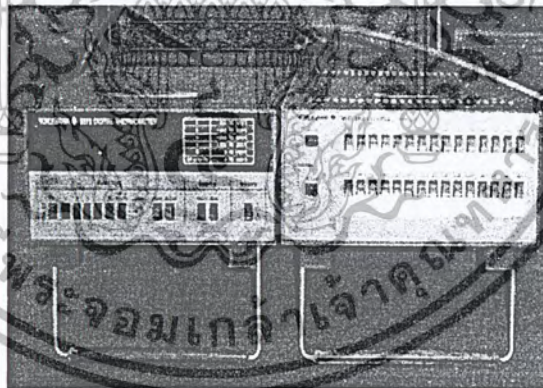
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิภายในเตา โดยเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้เป็น Type K ชื่อ MAXTHERMO วัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0 - 1200 องศาเซลเซียส มีลักษณะดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 เทอร์โมคัปเปิล

5.1.10 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Digital Indicator)

เป็นอุปกรณ์แสดงผลการวัดอุณหภูมิ ชื่อ MAXTHERMO รุ่น MC - 1730 แสดงผลได้ระหว่าง 0- 1200 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 Digital indicator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.11 มานอมิเตอร์



รูปที่ 5.12 มานอมิเตอร์

5.1.12 แผ่นออริฟิส

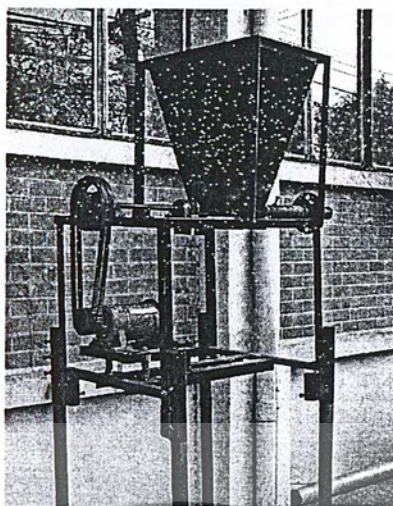


รูปที่ 5.13 แผ่นออริฟิส

5.1.13 ระบบป้อนเกลบ

แบ่งเป็นสองส่วน ด้านบนเป็นโครงเหล็กทำเป็นสี่เหลี่ยมเอาไว้สำหรับเก็บเกลบ ด้านล่างทำเป็นกรวยสี่เหลี่ยม ทำการป้อนเกลบโดยใช้สกรูในการขนส่ง (Screw feeder) โดยอัตราการป้อนเกลบ 0.3 กิโลกรัม / นาที โดยใช้มอเตอร์ขนาด 0.2 กิโลวัตต์ 3 เฟส 1 ตัว พร้อมกับอินเวอร์เตอร์ไว้ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ ดังรูปที่ 5.14

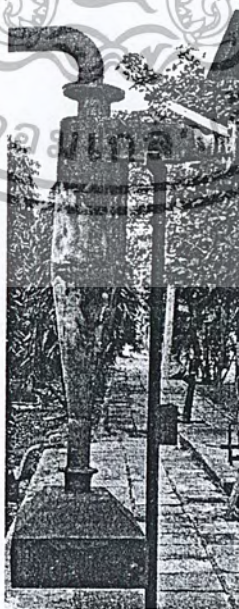
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 เครื่องป้อนแกลบ

5.1.14 ไชโคตลน

เป็นหอเหวี่ยงแยกฝุ่นจากการเผาไหม้ โดยต่อจากปล่องทางออกของเตาเผาแบบหมุน
วนหลายชั้น มีถาดรองรับซึ่งตั้งอยู่ด้านล่างมีลักษณะเป็นแบบล้นชัก ลักษณะของไชโคตลนแสดง
ได้ดังรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 ไชโคตลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 5.15 ไชโคตลนนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.15 ถังก๊าซ

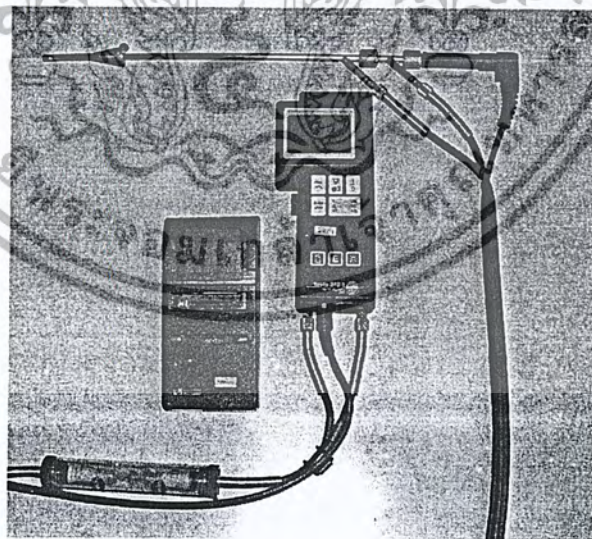
เป็นถังก๊าซที่ใช้สำหรับอุ่นเตาโดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซแอลพีจี โดยถังมีน้ำหนักสุทธิ 15 กิโลกรัม แสดงได้ดังรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 ถังก๊าซ

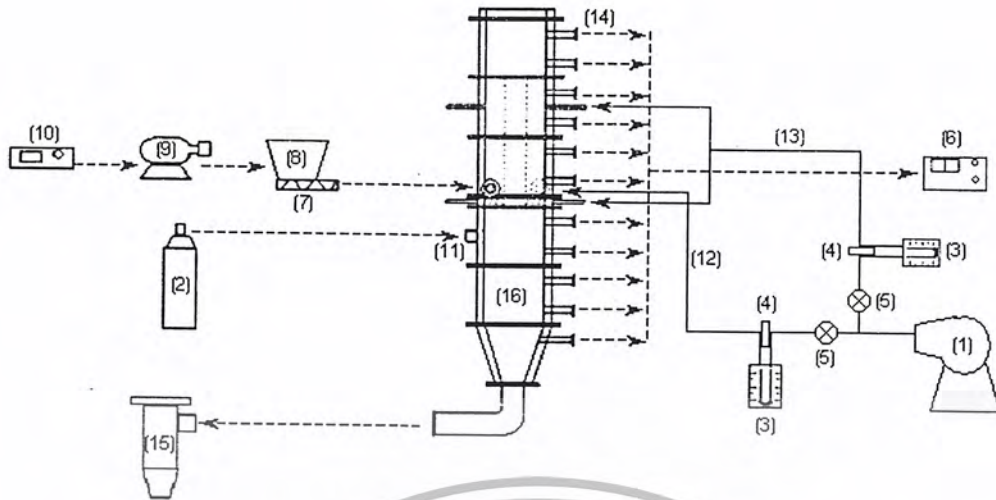
5.1.16 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้คือ Testo 342-1 ลักษณะของเครื่องวิเคราะห์ไอเสียสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป (1) Blower (2) LPG supply (3) Manometer (4) Orifice plate (5) Gate valve (6) Indicator
 (7) Screw feeder (8) hopper (9) Motor (10) Inverter (11) Burner (12) Primary air
 (13) Secondary air (14) Thermocouple (15) cyclone (16) Multiple-Swirl Combustor

รูปที่ 5.18 โค้ดแกรมอุปกรณ์การทดลอง

5.2 วิธีการทดลอง

ทำการจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือวัดดังรูปที่ 5.18

1. ทำการอุ่นเตาโดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซแอลพีจีจนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตามีค่าประมาณ 450 - 500 °C จากนั้นทำการป้อนเชื้อเพลิงแก๊สละเอียด พร้อมกับป้อนอากาศปฐมภูมิเพียงเล็กน้อยจนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาประมาณ 650 - 700 °C แล้วนำหัวเผาออกจากเตา

2. ทำการปรับอัตราการไหลของอากาศและอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้อัตราส่วนสมมูลตามที่กำหนดไว้คือ 0.8

3. ทำการปรับอัตราการไหลของปฐมภูมิ 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศทุติยภูมิ 0 เปอร์เซ็นต์

4. ทำการบันทึกอุณหภูมิที่ตำแหน่ง x เท่ากับ 0.225m., 0.375m., 0.525m., 0.675m., 0.825m., 1.631m., และ 1.781m. วัดจากส่วนล่างของเตาที่ตำแหน่งที่ x เท่ากับ 1.031m., 1.181m., 1.331m., และ 1.481m. เริ่มวัดที่ r/R เท่ากับ 0.4

5. Termo couple จะวัดอุณหภูมิ 6 ตำแหน่ง โดยวัดที่ r/R เท่ากับ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1 โดยวัดจากศูนย์กลางของเตาจนถึงขอบเตา

6. ทำการบันทึกค่าทุก 3 นาทีเมื่อครบจึงเปลี่ยนตำแหน่ง

7. ทำการปรับอัตราส่วนอากาศปฐมภูมิ 75 และ 85 เปอร์เซ็นต์ อากาศทุติยภูมิ 25 และ 15 ตามลำดับ แล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 5 และ ข้อ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำการปรับอัตราส่วนสมมูลเป็น 0.7, 0.6, และ 0.5 ตามลำดับ แล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 3 ถึง
ข้อ 7

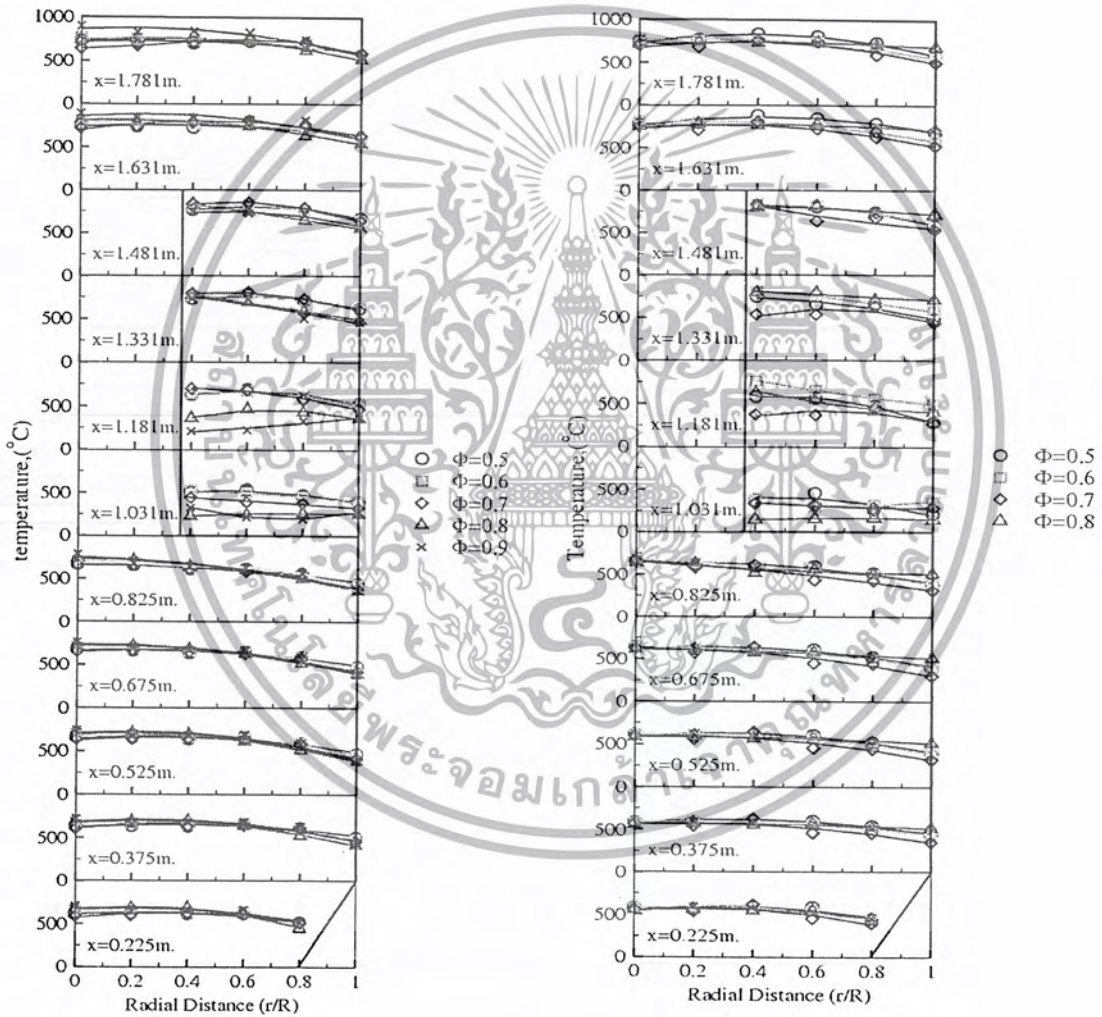


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองในบทที่ 5 โดยผลการทดลองมุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนสมมูล, (Φ) ปริมาณอากาศไหลของอากาศตุนภูมิต่อปริมาณอากาศทั้งหมด และที่มีความเหมาะสมต่อกระบวนการเผาไหม้ โดยพิจารณา การกระจายอุณหภูมิภายในเตาแบบหมุนวนหลายชั้นที่มีผลต่อการเผาไหม้ โดยกำหนดให้อัตราการป้อนของเชื้อเพลิงกลบเท่ากับ 0.3 kg / min ตลอดการทดลอง



(ก) $\lambda = 0.0$

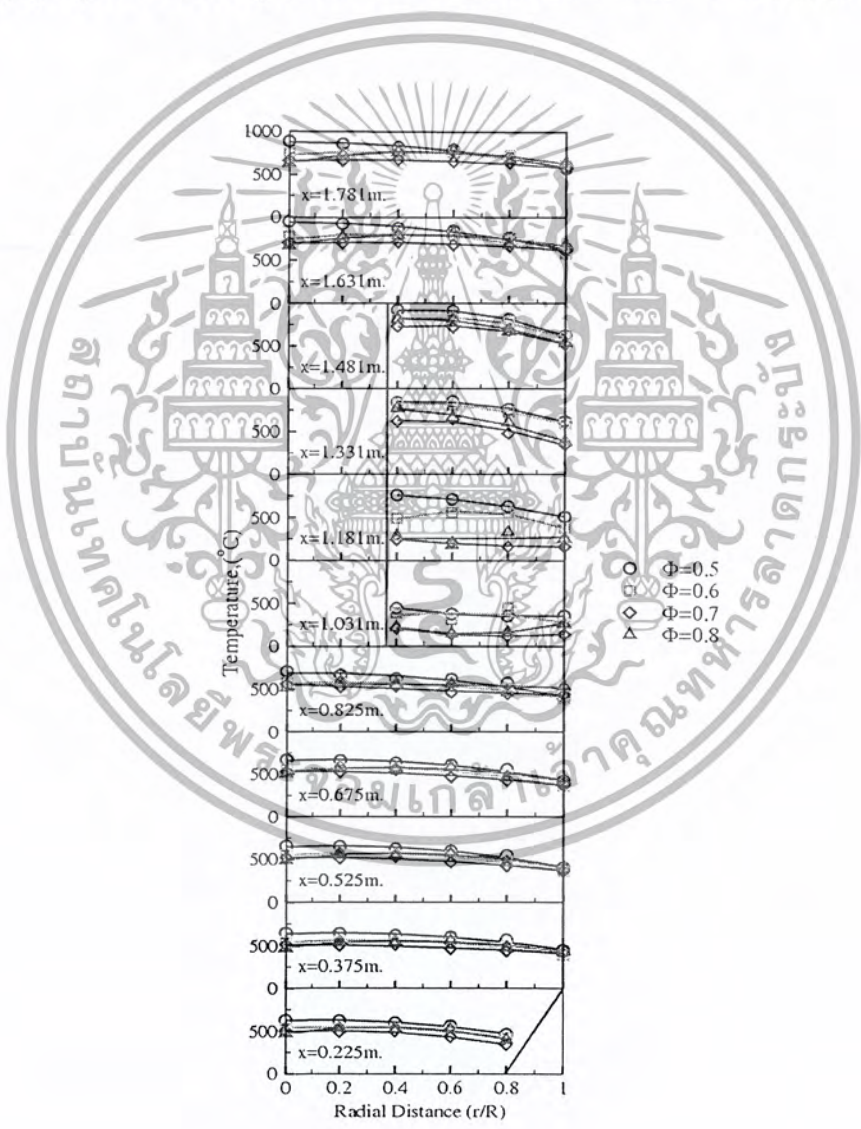
(ข) $\lambda = 0.15$

รูปที่ 6.1 การเปรียบเทียบกระจายอุณหภูมิที่ $\Phi = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8$ ที่ $\lambda = 0.0$ และ 0.15 ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนสมมูลที่มีผลต่อการเผาไหม้

จากรูปที่ 6.1 (ก) กรณีไม่มีการฉีดอากาศชุดิขุมิ ($\lambda = 0.0$) ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, และ 0.8 การกระจายอุณหภูมิ เมื่อพิจารณาที่การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ปฐมภูมิ(ที่ความสูง 1.031 m.) ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.5 จะมีการเผาไหม้ได้รวดเร็วเนื่อง จะมีอากาศเข้ามามาก ทำให้มีการคลุกเคล้ากัน ได้ดีระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง มีอุณหภูมิประมาณ 500°C เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.9 ซึ่งมีอากาศเข้าน้อย ทำให้การคลุกเคล้าไม่ค่อยดีมีอุณหภูมิประมาณ 250°C ที่ความสูงเท่ากับ 1.331 m. จะเริ่มมีการเผาไหม้มากขึ้นบริเวณกึ่งกลางเตาจะมีอุณหภูมิสูงประมาณ 750°C และค่อยๆลดต่ำลงที่ผนังเตาเนื่องจากบริเวณขอบเตาจะมีการถ่ายเทความร้อนให้กับบรรยากาศ ที่ความสูงเท่ากับ 1.631 m. เป็นช่วงที่มีการเผาไหม้ อุณหภูมิสูงสุดอยู่บริเวณส่วนบนสุดของเตา ที่กึ่งกลางของเตาประมาณ 950°C ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.9



$\lambda = 0.25$

เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 6.2 การเปรียบเทียบกระจายอุณหภูมิที่ $\Phi = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8$ ที่ $\lambda = 0.25$ ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ การกระจายอุณหภูมิค่อนข้างสม่ำเสมอและอุณหภูมิจะค่อยๆลดต่ำตามทิศทางการไหลของอากาศ เนื่องจากเชื้อเพลิงมีการเผาไหม้หมดแล้วในห้องเผาไหม้ปฐมภูมิ ที่ความสูงเท่ากับ 0.825 m ที่บริเวณกึ่งกลางเตาจะมีอุณหภูมิสูงประมาณ 700°C และค่อยๆลดต่ำลงจนถึงบริเวณขอบเตาอุณหภูมิประมาณ 500°C เนื่องจากบริเวณผนังเตาจะมีการถ่ายเทความร้อนให้กับบรรยากาศ และก่อนที่จะถึงท่อทางออกอุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 500°C ที่กึ่งกลางเตาและประมาณ 450°C บริเวณผนังเตา

จากรูปที่ 6.1 (ข) การกระจายอุณหภูมิที่อัตราส่วนสมมูล, Φ เท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, และ 0.8 ที่อากาศทุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมดเท่ากับ 0.15 ในห้องเผาไหม้ปฐมภูมิ ที่ความสูงเท่ากับ 1.031 m. เป็นช่วงการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.5 และ 0.6 จะมีการเผาไหม้ได้รวดเร็วเนื่องจากมีอากาศเข้ามามาก ทำให้มีการคลุกเคล้ากันได้ดีระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 400°C ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.8 จะมีอากาศส่วนเกินน้อยทำให้การคลุกเคล้ากันไม่ค่อยดีการเผาไหม้เลยทำได้ช้ากว่าซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 200°C ที่ความสูงของเตาเท่ากับ 1.331 m. เริ่มมีการเผาไหม้มากขึ้น ในแต่ละอัตราส่วนสมมูลอุณหภูมิกลิ่เคียงกันประมาณ 750°C ซึ่งบริเวณกึ่งกลางเตาจะมีอุณหภูมิสูงและค่อยๆลดต่ำลงจนถึงบริเวณผนังเตาประมาณ 650°C ที่ความสูงเท่ากับ 1.481 m. ช่วงนี้มีการเผาไหม้มากที่สุดและมีการฉีดอากาศทุติยภูมิ ทำให้บริเวณนี้มีการเผาไหม้ได้เร็ว และการกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วทั้งเตา อุณหภูมิสูงสุดอยู่บริเวณส่วนบนสุดของเตา ที่กึ่งกลางของเตาประมาณ 850°C ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.6

พิจารณาห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ ที่ทางออกของท่อทิ้ง(ที่ความสูงเท่ากับ 1.031 m.) จะมีการฉีดอากาศทุติยภูมิ อุณหภูมิจะค่อยๆลดต่ำตามทิศทางการไหลของอากาศ เนื่องจากเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้จนเกือบหมดแล้วในห้องแรก การกระจายอุณหภูมิก่อนข้างสม่ำเสมอทั่วทั้งเตาและอุณหภูมิจะใกล้เคียงกันในแต่ละอัตราส่วนสมมูล

จากรูปที่ 6.2 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, และ 0.8 ที่อากาศทุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมดเท่ากับ 0.25 ในห้องเผาไหม้ปฐมภูมิ (ที่ความสูงเท่ากับ 1.031 m.) เป็นช่วงการผสมกันของเชื้อเพลิงและอากาศ ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.5 จะมีการเผาไหม้ได้รวดเร็วเนื่องจากมีอากาศเข้ามามาก ทำให้มีการคลุกเคล้ากันได้ดีระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง มีอุณหภูมิประมาณ 500°C ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.8 จะมีอากาศส่วนเกินน้อยทำให้การคลุกเคล้ากันไม่ค่อยดีการเผาไหม้เลยทำได้ช้ากว่าซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 200°C ที่ความสูงของเตาเท่ากับ 1.481 m. เป็นช่วงเริ่มการเผาไหม้ อุณหภูมิภายในเตาจะเพิ่มขึ้นเร็วมากจากช่วงแรกและมีการฉีดอากาศทุติยภูมิ ทำให้บริเวณนี้มีการเผาไหม้ได้เร็วที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.5 มีอุณหภูมิประมาณ 800°C ที่บริเวณกึ่งกลางเตา อุณหภูมิสูงสุดอยู่บริเวณส่วนบนสุดของเตา ที่กึ่งกลางของเตาประมาณ 900°C ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.5

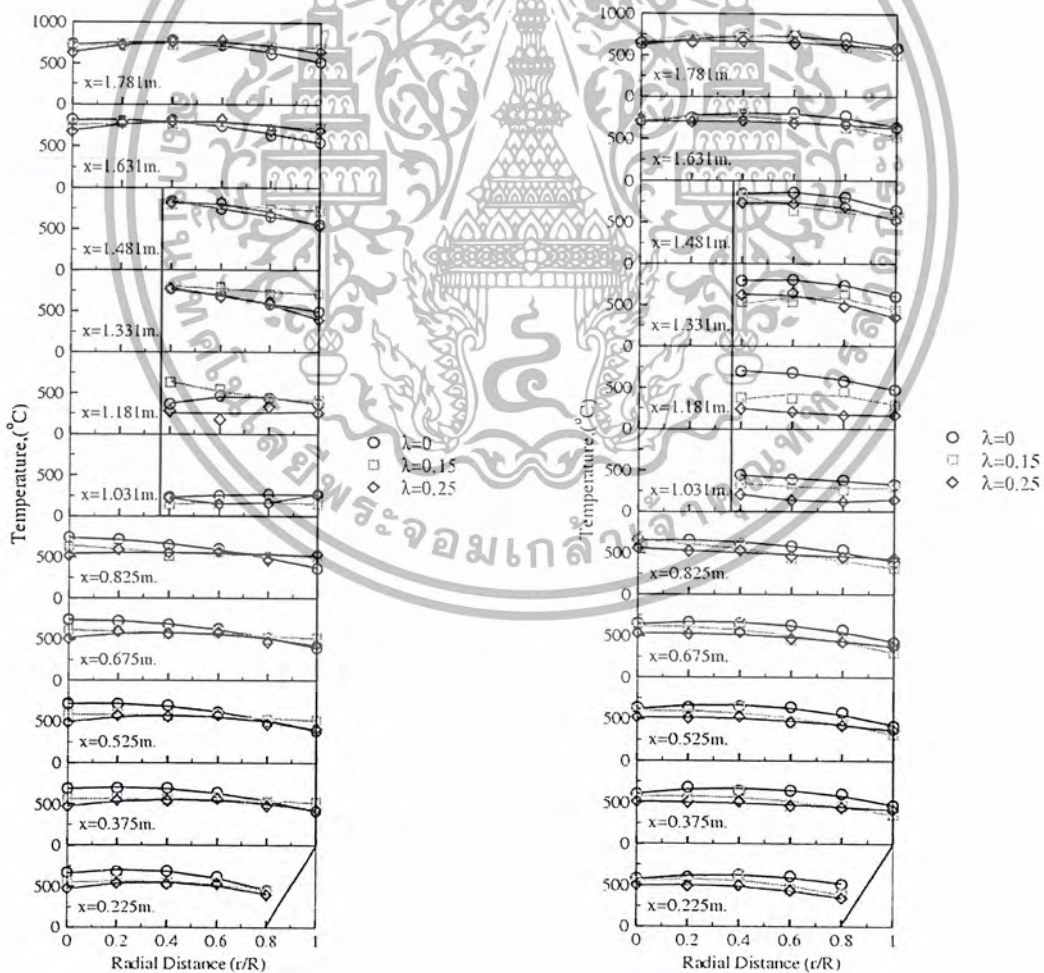
พิจารณาห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ ที่ทางออกของท่อทิ้ง(ที่ความสูงเท่ากับ 1.031 m.) จะมีการฉีดอากาศทุติยภูมิ อุณหภูมิจะค่อยๆลดต่ำตามทิศทางการไหลของอากาศ เนื่องจากเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้จนเกือบหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วในห้องแรก การกระจายอุณหภูมิค่อนข้างสม่ำเสมอทั่วทั้งเตาและอุณหภูมิจะใกล้เคียงกันในแต่ละอัตราส่วนผสม

อิทธิพลของปริมาณอัตราการไหลของอากาศชุดฤกษ์ต่อปริมาณอากาศทั้งหมด, (λ)

จากรูปที่ 6.3 (ก) ที่ $\Phi = 0.8$ พบว่าการกระจายของอุณหภูมิที่ห้องเผาไหม้ปฐมภูมิ จะพบว่าที่ $\lambda = 0.0$ จะมีการเผาไหม้ได้เร็วกว่าที่ $\lambda = 0.15$ และ 0.25 ซึ่งผลเนื่องมาจากที่ $\lambda = 0.0$ มีการหมุนวนที่เกิดจากอากาศปฐมภูมิซึ่งมีสัดส่วนของอากาศ 100% จะช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ในส่วนนี้ได้ดีกว่าที่ $\lambda = 0.25$ ที่ความสูงของเตาเท่ากับ 1.031 m ประมาณ 500°C เมื่อการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงมาถึง ความสูงเท่ากับ 1.481 m. เป็นช่วงของการเริ่มต้นการเผาไหม้และจุดนี้จะมีการฉีดอากาศชุดฤกษ์ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเร็วมากประมาณ 850°C การฉีดอากาศชุดฤกษ์ เข้าไป ทำให้เกิดการหมุนวนภายในเตามาก ซึ่งช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้ดียิ่งขึ้นจึงทำให้ที่ $\lambda = 0.15$ และ 0.25 มีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อเทียบกับ $\lambda = 0.0$ ที่บริเวณส่วนบนสุดของห้องเผาไหม้จะมีอุณหภูมิสูงและการกระจายอุณหภูมิก่อนข้างสม่ำเสมอที่ ความสูง 1.631m. จะมีอุณหภูมิสูงที่สุด ประมาณ 850°C



(ก) $\Phi = 0.8$

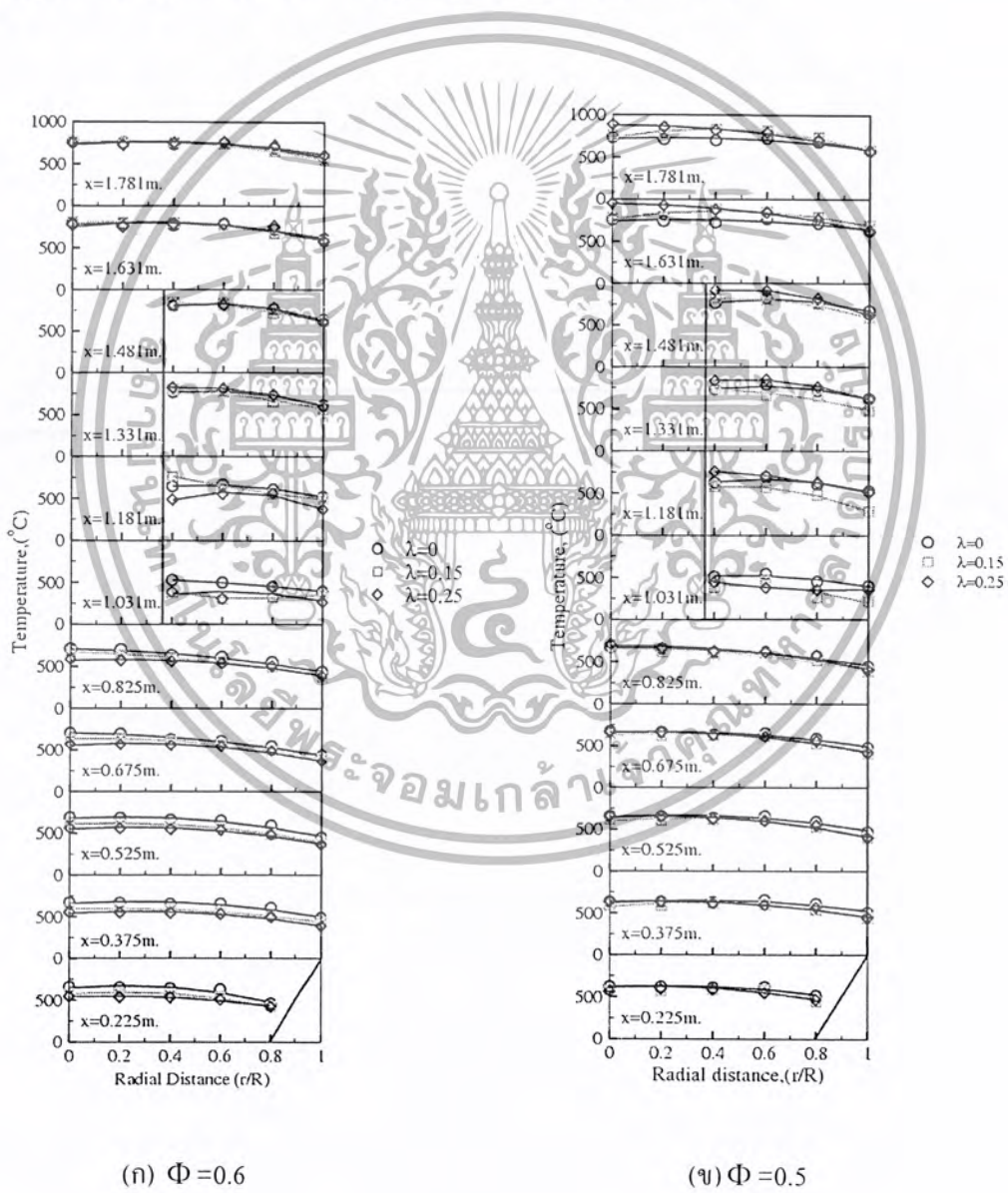
(ข) $\Phi = 0.7$

รูปที่ 6.3 การกระจายอุณหภูมิที่ $\lambda = 0.0, 0.15, 0.25$ ที่ $\Phi = 0.8$ และ $\Phi = 0.7$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเผาไหม้ทุติยภูมิ ที่ ความสูงเท่ากับ 1.031 m. จะมีอากาศทุติยภูมิเข้ามาในแนวสัมผัสทำให้มีการหมุนวนภายในเตาทำให้การเผาไหม้การกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วทั้งเตา ที่ $\lambda = 0.0$ จะมีอุณหภูมิที่สูงที่สุดที่บริเวณกึ่งกลางเตา แต่การกระจายอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ ซึ่งมีเหตุผลมาจากไม่มีอากาศทุติยภูมิทำให้ไม่มีการไหลวนทำให้การเผาไหม้จะอยู่บริเวณกึ่งกลางของเตา

จากรูปที่ 6.3 (ข) ที่ $\Phi = 0.7$ ที่ห้องเผาไหม้ปฐมภูมิ ที่ $\lambda = 0.0$ จะได้รับอิทธิพลของอากาศปฐมภูมิ ซึ่งมีสัดส่วนของอากาศ 100% ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้การเผาไหม้ได้รวดเร็ว ที่ความสูงเท่ากับ 1.481 m. ที่จุดนี้จะมีการฉีดอากาศทุติยภูมิ ซึ่งจะทำให้เกิดการหมุนวนมากซึ่งจะช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้ดียิ่งขึ้นและการกระจายอุณหภูมิก่อนข้างสม่ำเสมอทั่วทั้งเตาที่ ซึ่งเห็นได้จากที่ $\lambda = 0.15$ และ 0.25 มีอุณหภูมิสูงขึ้น ความสูงเท่ากับ 1.631 m. จะมีอุณหภูมิสูงที่สุด ประมาณ 850 °C



รูปที่ 6.4 การกระจายอุณหภูมิที่ $\lambda = 0.0, 0.15, 0.25$ ที่ $\Phi = 0.6$ และ $\Phi = 0.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

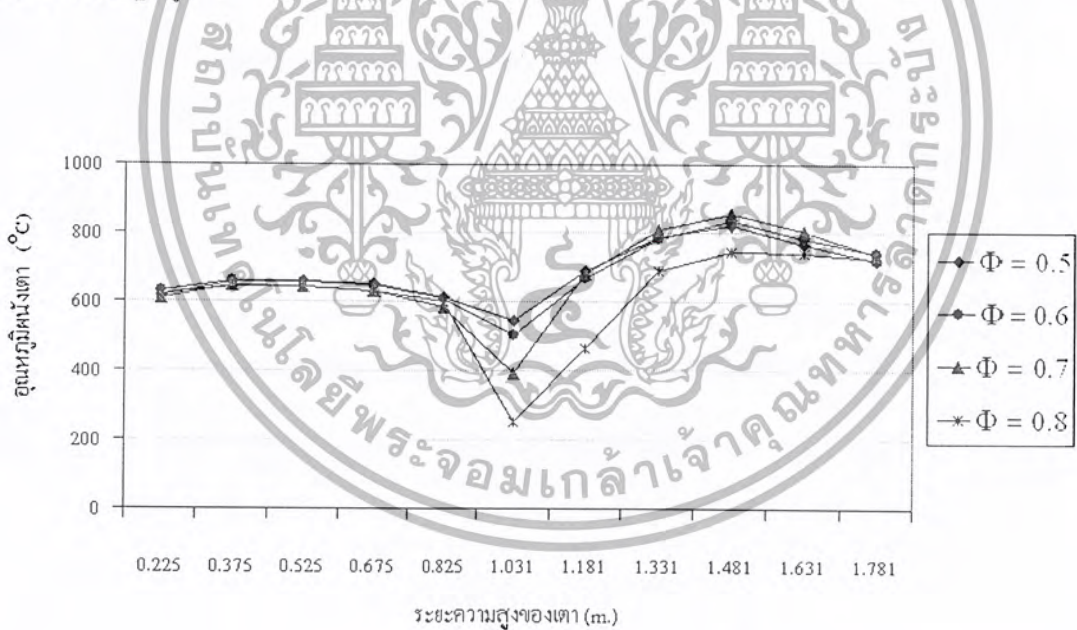
ในห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ การกระจายอุณหภูมิจะมีลักษณะสม่ำเสมอกระจายทั่วทั้งเตา ที่ $\lambda = 0.25$ จะมีการกระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอที่สุดเพราะมีอากาศทุติยภูมิมาก

จากรูปที่ 6.4 (ก) ที่ $\Phi = 0.6$ พบว่าการกระจายของอุณหภูมิที่ห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ จะพบว่าที่ $\lambda = 0.0$ จะมีการเผาไหม้ได้เร็วกว่าที่ $\lambda = 0.15$ และ 0.25 ซึ่งมีผลเนื่องมาจากที่ $\lambda = 0.0$ มีการหมุนวนที่เกิดจากอากาศปฐมภูมิซึ่งมีสัดส่วนของอากาศ 100% อุณหภูมิค่อนข้างสม่ำเสมอทั่วทั้งเตาเพราะที่ $\Phi = 0.6$ มีอากาศส่วนเกินมากทำให้มีการหมุนวนที่รุนแรงทำให้การกระจายอุณหภูมิทั่วทั้งเตาจะมีอุณหภูมิสูงที่สุดประมาณ $850\text{ }^{\circ}\text{C}$

พิจารณาการเผาในห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ ที่ $\lambda = 0.0$ จะมีการกระจายอุณหภูมิสูงที่สุดและมีการกระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอ

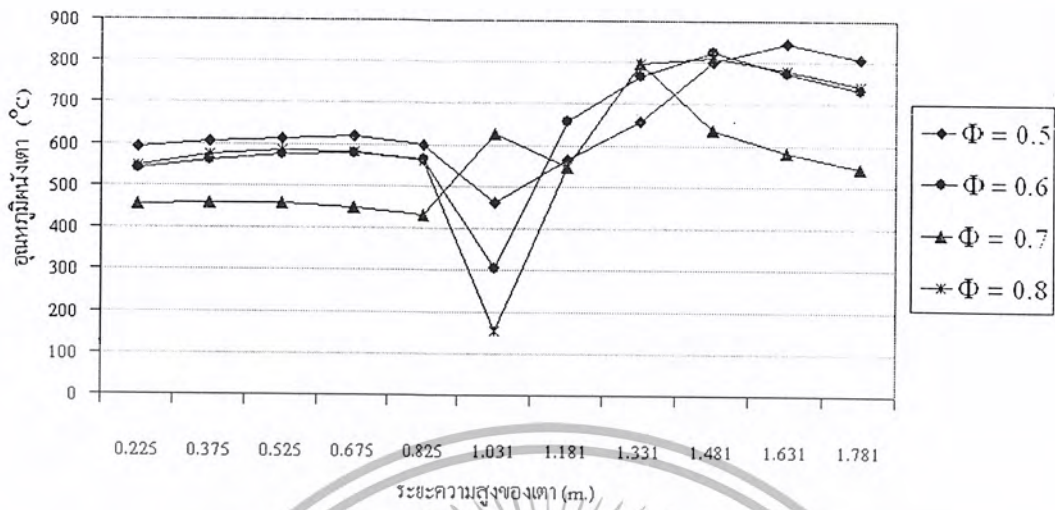
จากรูปที่ 6.4 (ข) ที่ $\Phi = 0.5$ ที่ห้องเผาไหม้ปฐมภูมิ การกระจายจะไม่ค่อยเท่ากัน ที่ $\lambda = 0.25$ จะให้อุณหภูมิที่สูงเมื่อได้เปรียบเทียบกับตำแหน่งเดียวกันจะมีอุณหภูมิสูงที่สุด ประมาณ $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่บริเวณบนสุดของเตา

เมื่อพิจารณาการเผาในห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ การกระจายอุณหภูมิจะมีลักษณะสม่ำเสมอกระจายทั่วทั้งเตา อุณหภูมิจะค่อยๆลดลงตามทิศทางการไหลของอากาศเนื่องจากได้มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงเกือบหมดหมดแล้วในห้องปฐมภูมิ



รูปที่ 6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงของเตากับอุณหภูมิผนังเตาที่ $\lambda = 0$ ที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงของเตากับอุณหภูมิผนังเตาที่ $\lambda = 0.15$ ที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) ต่างๆ



รูปที่ 6.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงของเตากับอุณหภูมิผนังเตาที่ $\lambda = 0.25$ ที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) ต่างๆ

จากรูปที่ 6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงของเตากับอุณหภูมิผนังเตาที่ $\lambda = 0$ ที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) ต่างๆ ที่ความสูงเท่ากับ 1.031 m. จะเป็นช่วงการผสมกันของอากาศและเชื้อเพลิง อุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงที่ความสูงเท่ากับ 1.481 m. เป็นช่วงที่อุณหภูมิสูงที่สุดหลังจากนั้น อุณหภูมิจะค่อยๆลดลงจนถึงทางออก จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการใช้อากาศส่วนเกินมากจะได้อุณหภูมิ

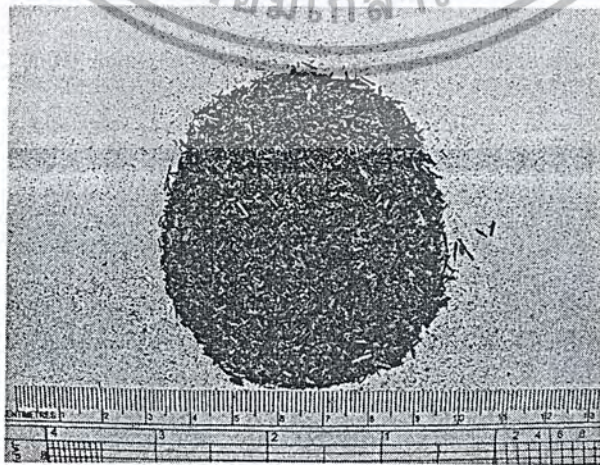
สูง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงของเตากับอุณหภูมิผนังเตาที่ $\lambda=0.15$ ที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) ต่างๆ ที่ความสูงเท่ากับ 1.031 m. จะเป็นช่วงการผสมกันของอากาศและเชื้อเพลิง อุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นที่ความสูงเท่ากับ 1.481 m. จะมีการขีดอากาศทุติยภูมิซึ่งมีผลให้ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.8 มีอุณหภูมิสูงมาก และบริเวณนี้จะเป็นช่วงที่มีการเผาไหม้มากที่สุด หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงจนถึงที่ทางออก

จากรูปที่ 6.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงของเตากับอุณหภูมิผนังเตาที่ $\lambda=0.25$ ที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) ต่างๆ ที่ความสูงเท่ากับ 1.031 m. จะเป็นช่วงการผสมกันของอากาศและเชื้อเพลิง อุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นที่ความสูงเท่ากับ 1.481 m. จะมีการขีดอากาศทุติยภูมิซึ่งมีผลให้ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.5 มีอุณหภูมิสูงมาก และบริเวณนี้จะเป็นช่วงที่มีการเผาไหม้มากที่สุด หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงจนถึงที่ทางออก



รูปที่ 6.8 ลักษณะขี้เถ้าที่ $\lambda = 0.25$ ที่ $\Phi = 0.5$

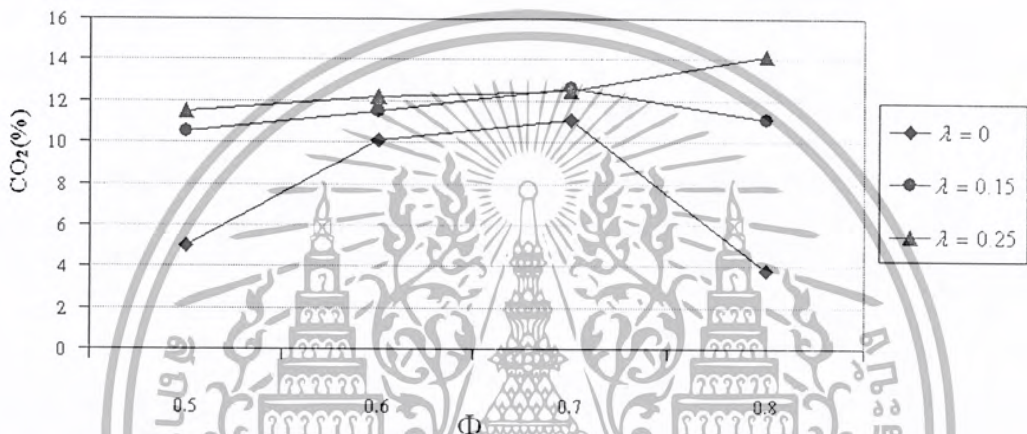


รูปที่ 6.9 ลักษณะของขี้เถ้าที่ $\lambda = 0.25$ ที่ $\Phi = 0.8$

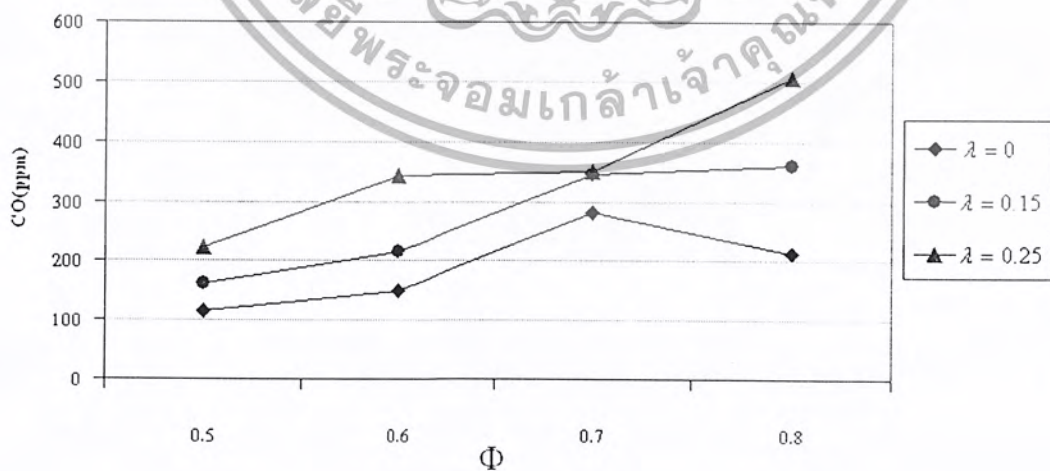
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.5 เมื่อได้ทำการทดลองที่ $\lambda = 0.25$ และ $\Phi = 0.5$ จะพบว่าซีเมนต์ที่ได้มีลักษณะละเอียดและมีสีเทาปนดำ ซึ่งมีผลมาจากมีอากาศส่วนเกินมากทำให้ภายในเตาเกิดการปั่นป่วนรุนแรงและประกอบกับมีการฉีดอากาศทุติยภูมิเข้าไปทำให้เกิดความปั่นป่วนมากขึ้นจึงทำให้เกลบละเอียดและมีการคลุกเคล้ากันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงได้ดีทำให้การเผาไหม้ได้สมบูรณ์

จากรูป 6.6 เมื่อได้ทำการทดลองที่ $\lambda = 0.25$ และ $\Phi = 0.8$ ลักษณะซีเมนต์จะหยาบสีดำนเทาซึ่งมีผลมาจากมีอากาศส่วนเกินน้อยทำให้การคลุกเคล้ากันไม่ค่อยดีการเผาไหม้จึงไม่ค่อยสมบูรณ์

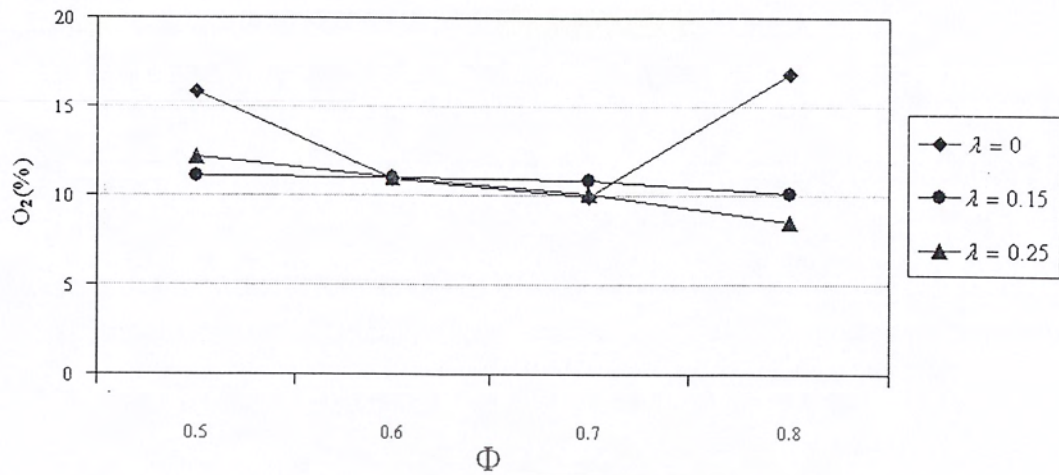


รูปที่ 6.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซ CO_2 กับ λ ที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) ต่างๆ



รูปที่ 6.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซ CO กับ λ ที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซ O₂ กับ λ ที่อัตราส่วนผสม (Φ) ต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบ, สร้าง, และทำการทดลองการเผาไหม้ภายในเตาแบบหมุนวนหลายชั้น โดยเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้มาจากพืชโดยเฉพาะเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเชื้อเพลิงแกลบที่มีอยู่มากมายในประเทศไทยและราคาถูก เพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนแหล่งพลังงานเดิมที่ได้จากน้ำมัน และถ่านหินที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งมีมูลค่าสูงและมีจำนวนน้อยลงทุกทีในปัจจุบัน จากการทดลองสรุปได้ดังต่อไปนี้

การศึกษาถึงอัตราส่วนสมมูล, Φ ที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้โดยทำการทดลองที่ $\Phi = 0.5, 0.6, 0.7$ และ 0.8 จากการทดลองพบว่า การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งต้องมี อากาศส่วนเกิน (excess air) (อากาศมากกว่าทางทฤษฎี) จึงจะทำให้การเผาไหม้ได้ดีเนื่องจากจากเชื้อเพลิงแข็งนั้นจะรวมกับเชื้อเพลิงได้ยาก เพราะฉะนั้นจำเป็นต้องมีอากาศส่วนเกินให้มากกว่าทางทฤษฎีเพื่อให้การคลุกเคล้าทำได้ง่ายขึ้น แต่ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้เตาดับได้ซึ่งมีผลมาจากอากาศส่วนเกินนี้เป็นตัวพาเอาความร้อนออกไปจากเตาอย่างรวดเร็ว ซึ่งจากการทดลอง พบว่าที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) เท่ากับ 0.5 มีอุณหภูมิสูงสุด ประมาณ $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่อุณหภูมิภายในเตาไม่ค่อยสม่ำเสมอ ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.6 การกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอภายในเตา และเสถียรจึงเป็นจุดที่เหมาะสม

การศึกษาอัตราส่วนของอากาศทุกชั้น ต่ออากาศทั้งหมด $\lambda = 0.0$ ทำให้การเผาไหม้เริ่มต้นเผาไหม้ได้รวดเร็ว และเมื่อการเผาไหม้ดำเนินไปเรื่อยๆ การเผาไหม้จะไม่ค่อยสม่ำเสมอทั่วทั้งเตา การเผาไหม้จะเป็นบริเวณตรงกลางของเตา เมื่อมีการฉีดอากาศทุกชั้นเข้าไปทำให้การเผาไหม้สม่ำเสมอทั่วทั้งเตา และการฉีดอากาศทุกชั้นจะให้ผลได้ดีเมื่อมีอัตราส่วนสมมูลหรืออากาศส่วนเกิน (excess air) ที่มากขึ้น $0.5, 0.6$ และทำให้การเผาไหม้ได้ดี

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้น เป็นการรวมของเตาแบบวอร์เทค และแบบไซโคลนซึ่งการทดลองได้มุ่งเน้นในการศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในเตา สังเกตเชื้อที่ออกจากเตา และควัน ที่ได้จากการเผาไหม้และควรมีการศึกษาตัวแปรอื่นๆเช่น

1. ศึกษาขนาดของห้องผสมให้เล็กลงเพื่อให้การหมุนวนรุนแรงมากขึ้น และทำให้การคลุกเคล้าได้ดี
2. ศึกษาการป้อนเชื้อเพลิงโดยการ ผสมเชื้อเพลิงและอากาศก่อนที่จะฉีดเข้าห้องเผาไหม้เพื่อแก้ปัญหาการดับของเตา
3. ศึกษาตำแหน่งการฉีดของอากาศทุกชั้น เพื่อศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในเตา
4. ศึกษาถึงความร้อนสูญเสียในขณะเกิดการเผาไหม้ เช่น การหุ้มฉนวน
5. ต่อบริเวณแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อนำไปใช้งาน
6. ศึกษาถึงการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอื่นๆ เช่น ชี้อ้อย ฟางข้าว ชานอ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] Cheromissonoff, N.A. Encyciopedia of Fluid Mechanic. Volume 4 Solid and Gas Solid Flow. Houston: Guff Publishing, 1986.
- [12] พงษ์เจต พรหมวงศ์, สุภชัย เกื้อนลอย และนิติ พิริยะรุ่งโรจน์.การตรวจสอบเชิงทดลองของคุณลักษณะการเผาไหม้แก๊สที่มีความชื้น.การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15, 28-30 พฤศจิกายน 2544 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก-1 คุณสมบัติของเกลือบ

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

ตารางที่ ก-2 การเปรียบเทียบเชื้อเพลิง

	เชื้อเพลิงแข็ง	เชื้อเพลิงเหลว	แก๊สเชื้อเพลิง
การขนส่ง	- ขนส่งง่ายแต่ลำบากใน การขนย้าย	- ขนส่งง่ายและขน ย้ายง่าย	- แก๊สธรรมชาติขน ส่งและขนย้ายง่าย
การเก็บ	- ต้องใช้พื้นที่กว้าง	- ต้องใช้ถัง	- ต้องบรรจุใน ภาชนะพิเศษ
คุณสมบัติ	- คุณภาพเปลี่ยนแปลงไม่ แน่นอน - ค่าความร้อนต่อ หน่วยต่ำ - ชี้อัดมาก - ประสิทธิภาพในการ สันดาปต่ำ - ต้องการอากาศส่วนเกิน ในการสันดาปเป็น จำนวนมาก - มีความยุ่งยากในการใช้	- คุณภาพค่อนข้างคงที่ ค่าความร้อนต่อ หน่วยน้ำหนักสูง - ประสิทธิภาพใน การสันดาปสูง - ต้องการอากาศใน การสันดาปน้อย - ใช้ระบบควบคุม อัตโนมัติง่าย	- คุณภาพคงที่ ค่าความร้อนต่อ หน่วยน้ำหนักมีค่า สูง - ไม่มีชี้อัด - ประสิทธิภาพ ในการสันดาป สูงสุด - ต้องการอากาศ ส่วนเกินจำนวน น้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ระบบควบคุมอัตโนมัติ		- ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติง่าย
อุปกรณ์สันดาป	- ขนาดเล็กไม่ซับซ้อน	- ขนาดเล็ก	- ขนาดค่อนข้างใหญ่
มลภาวะ	- จำเป็นต้องมีการป้องกันการเกิดมลภาวะต่อบรรยากาศ	- จำเป็นต้องมีการป้องกันการเกิดมลภาวะต่อบรรยากาศ	- มีผลกระทบต่อการเกิดมลภาวะของบรรยากาศน้อย
ราคา	- ถูก	- ค่อนข้างแพง	- แพงที่สุดต่อความร้อน 1 หน่วย

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

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

หมายเหตุ * ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปีเพาะปลูก 2540/44

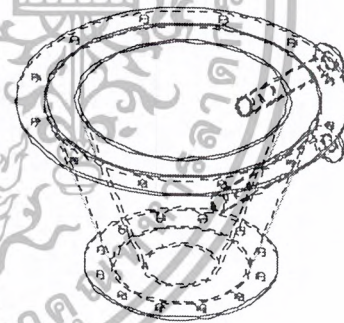
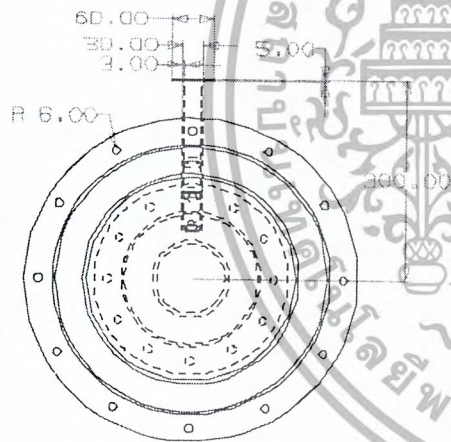
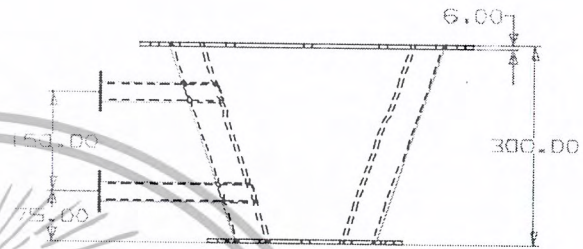
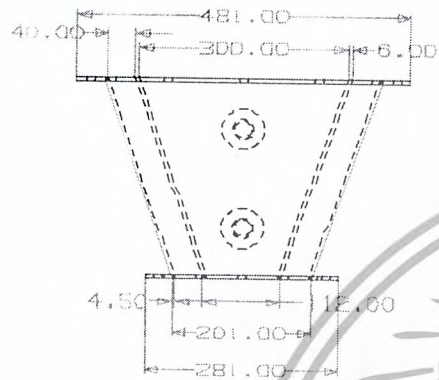
** ประมาณการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

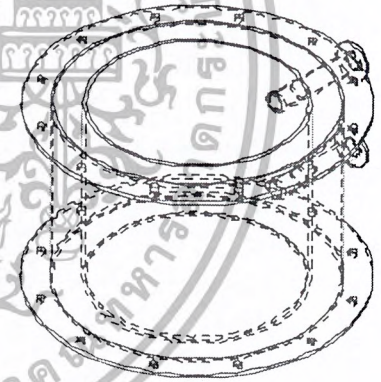
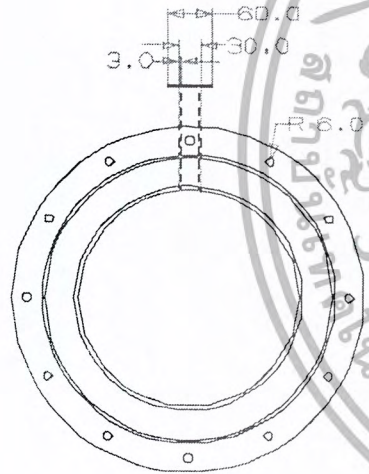
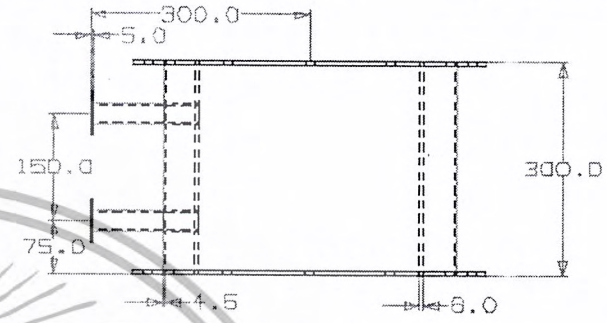
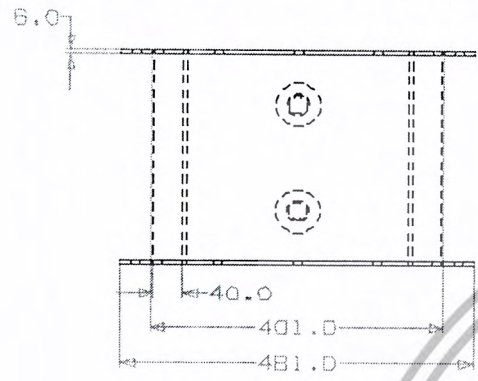


ภาคผนวก ข

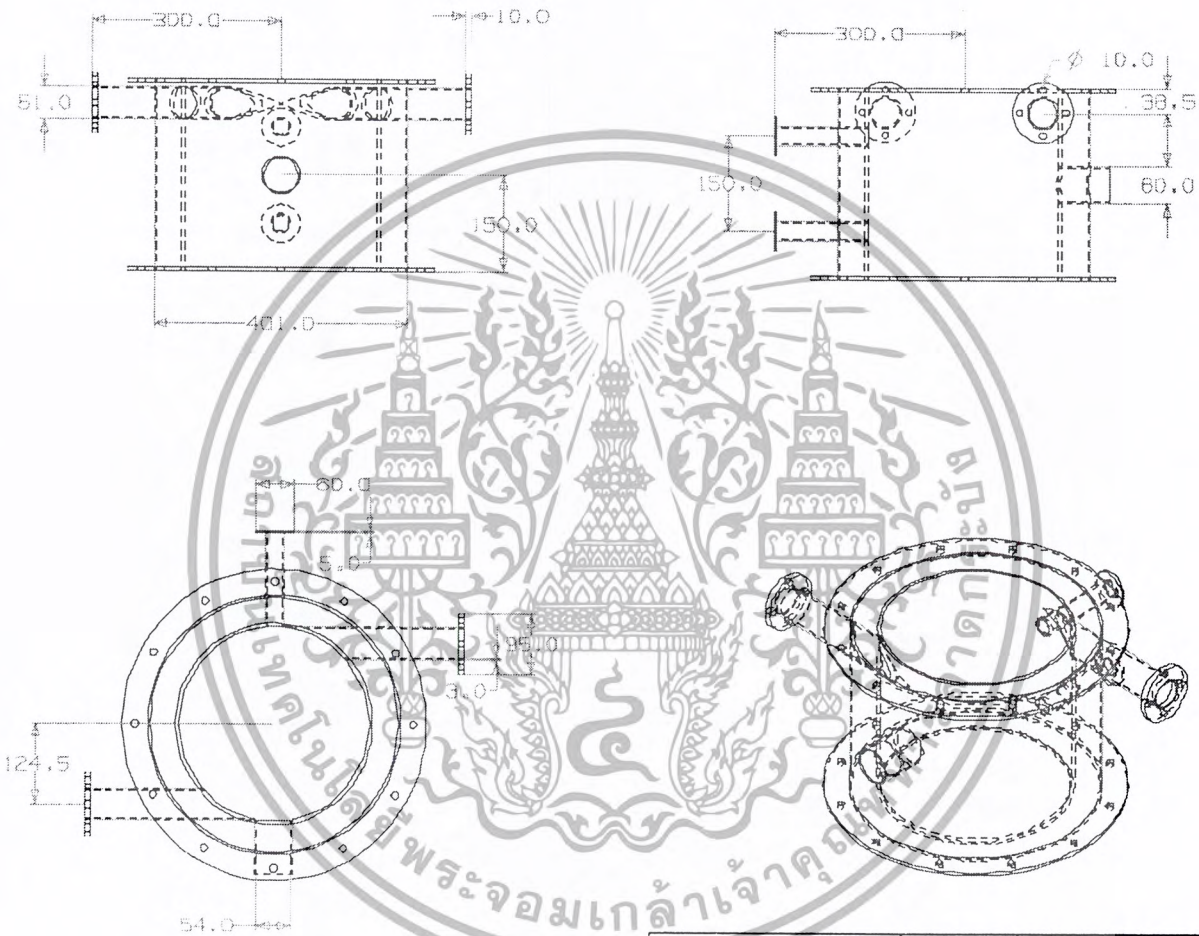
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



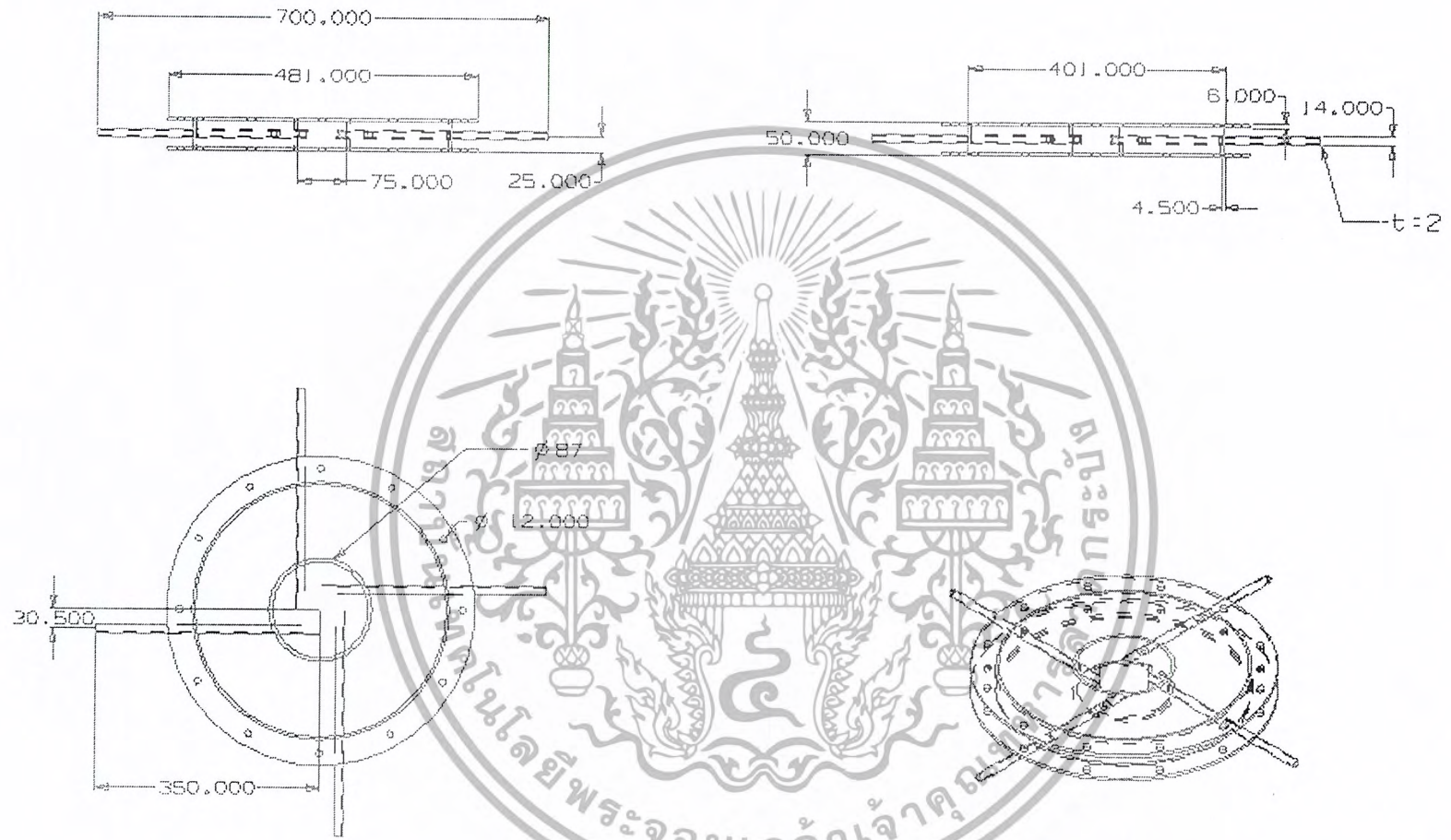
[Verwendungsbericht]	[Zul. Abw.]	[Oberfl.]	Material t1	[Gewicht]
			Material: Holzzeug Schicht-Mtl Nadel- oder Gewebe-Mtl	
			Benennung	
		Erwerb: 18.11.11 XXX		
		Erpr.: 18.11.11 XXX		
		Form:		
			XXX	Blatt
Zust.	Änderung	Datum	Name	Übersicht
				Erstellt für:
				Erstellt durch:



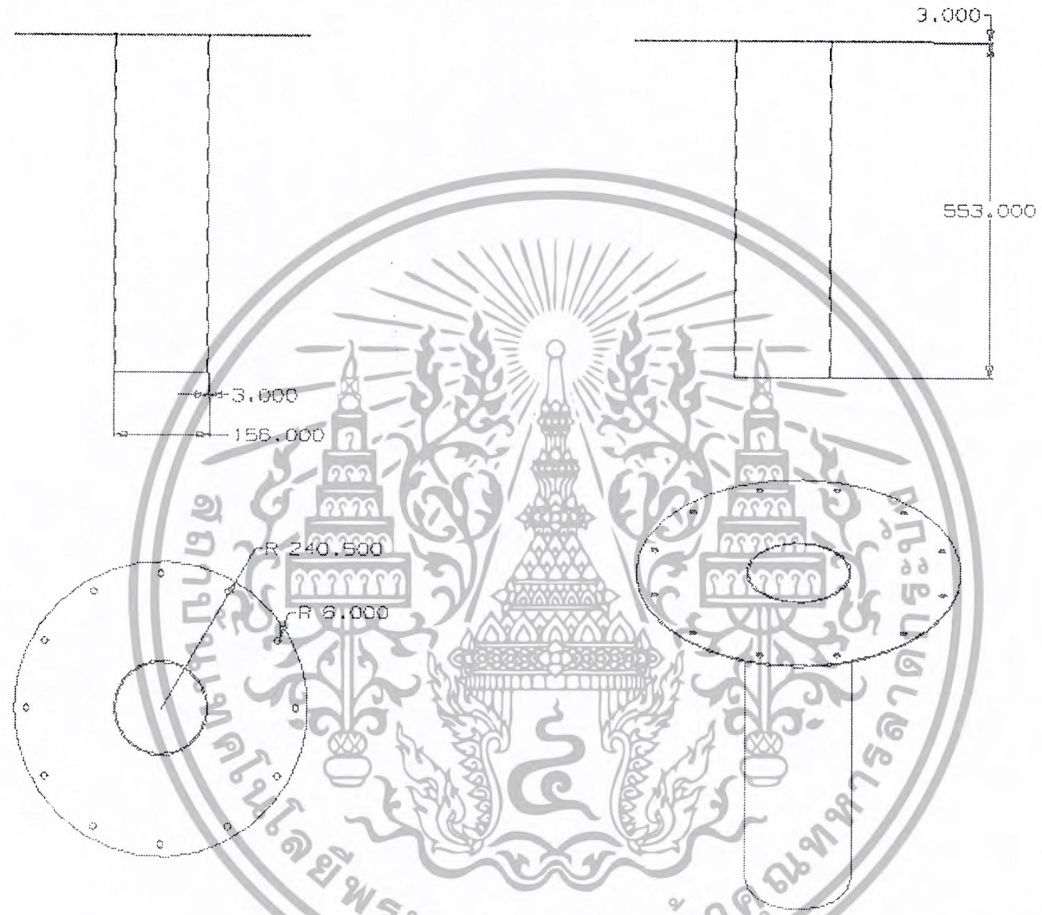
[Verwendungsbereich]		[Zul. Abw.]	[Charf.]	Material 11	[Gewicht]
				Material 11 Hohlzug Schl.-M. Nadel- oder Gewinde-M.	
			Datum	Name	Benennung
			Erarb. 11.11.11	XXX	
			Empf. 11.11.11	XXX	
			Name		
					XXX
					Blatt
					Blätter
Zust.	Änderung	Datum	Name	Übersetzung	Erreicht für:
					Erreicht durch:



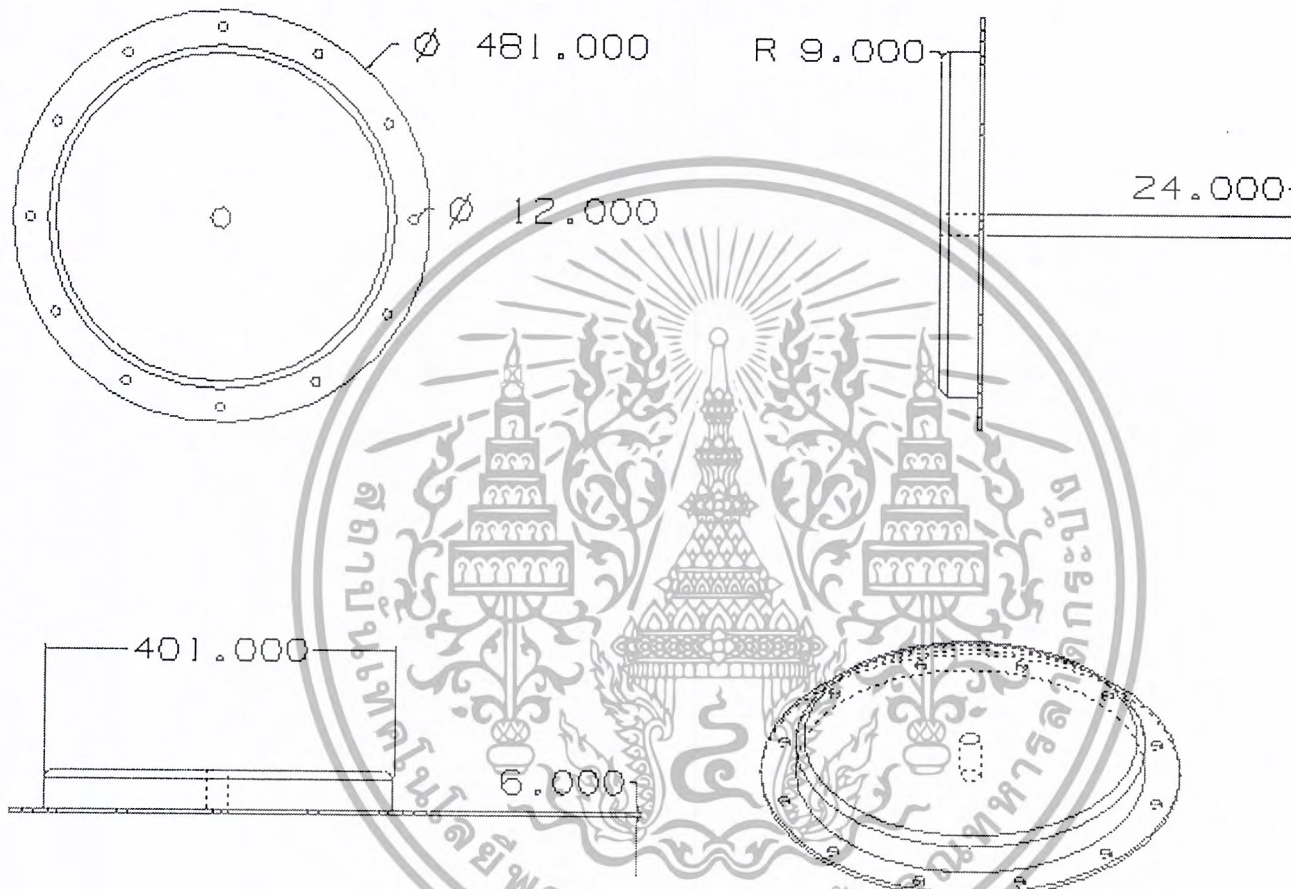
[Verwendungsbezeichnung]		[Zul. Abw.]	[Istwert]	Maßstab 1:1	[Gewicht]
				Material: Holzschrauben Nieder- oder Gewerks-M	
		Darstellung	Menge	Benennung	
		Erwerb. 11.11.11	XXX		
		Empf. 11.11.11	XXX		
		Namen			
				XXX	Blatt
					Blätter
Zeichn.	Änderung	Datum	Menge	Erstellt für:	Erstellt durch:



Verwendungsbezeichnung	Zul. Abw.	10kerf11	Maßstab 1:1	Gewicht
			Verzinschiff, Halbzugl Drehl.-M. Nockl.- oder Gamsk.-M.	
		Datum	Name	Benennung
		Beauf. 18.11.11	XXX	
		Supr. 18.11.11	XXX	
				XXX
Zust.	Änderung	Datum	Name	Übersicht
				Erstellt für:
				Erstellt durch:



[Verwendungsbereich]		[Zul. Abw.]		[Dauer(I)]		[Material: t1]		[Gewicht]	
						Material: Holzzeug Schiff-Mtl Metall- oder Gestein-Mtl			
				Dauer	Norm	Benennung			
		Beerb.	18.11.11	XXX					
		Empf.	18.11.11	XXX					
				Norm		XXX			
									Blatt
									Bisher
Zeit	Anforderung	Datum	Name	Überprüfung		Erstellt für:		Erstellt durch:	



[Verwendungsbericht]	[Zul. Abw.]	[Datei#]	Material #1	[Gewicht]
			Werkstoff: Holzzeug [Material-Nr.] Modell- oder Gewerks-Nr.	
			Benennung	
		Erwerb. 11.11.11		XXX
		Empf. 11.11.11		XXX
		Herst.		
			XXX	Blatt
				Blatt
Zust.	Änderung	Datum	Ursache	Erreicht durch:



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลอุณหภูมิ

การทดลองครั้งที่ 1

อัตราการป้อนแกลบ : 0.3 kg/min Primary Air : 100 % Date :

อัตราส่วนสมมูล: 0.5 Secondary Air: 0 % Time:

ระยะชัก (r/R)	ตำแหน่งของ เทอร์โมคัปเปิล (m.)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง			อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	หมายเหตุ
		3 นาที	6 นาที	9 นาที		
		อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)		
0.0	0.075	588.4	578.7	564.4	577.17	ไอเสีย
	0.225	630.4	622.1	608.0	620.17	
	0.375	647.9	638.7	621.6	636.07	
	0.525	672.7	661.1	639.6	657.8	
	0.675	684.8	674.9	650.8	670.16	
	0.825	682.0	676.1	642.7	667.0	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	772.9	763.9	736.1	757.6	
1.781	745.1	737.4	718.9	733.8		
อุณหภูมิบรรยากาศ		27.2	27.5	27.7	27.5	
0.2	0.075	567.2	581.3	575.5	574.7	ไอเสีย
	0.225	613.7	625.0	622.5	620.4	
	0.375	628.7	640.7	639.4	636.3	
	0.525	650.7	661.1	658.0	656.6	
	0.675	666.6	665.3	659.3	663.7	
	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	
	1.481	765.0	760.0	757.6	760.9	
	1.631	745.8	736.3	731.4	737.8	
1.781	716.9	708.3	703.4	709.5		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิบรรยากาศ		28.2	27.5	27.7	27.7	
0.4	0.075	580.5	579.9	574.8	578.4	ไอเสีย
	0.225	616.7	615.2	609.9	613.9	
	0.375	635.6	634.2	629.1	632.9	
	0.525	642.6	639.2	634.5	638.7	
	0.675	636.8	634.7	632.7	634.7	
	0.825	612.9	610.7	610.4	611.3	
	1.031	519.2	511.6	499.4	510.7	
	1.181	631.8	624.3	623.6	626.5	
	1.331	733.5	727.3	734.6	731.8	
	1.481	763.7	762.0	774.6	766.1	
	1.631	725.4	721.5	729.1	725.3	
1.781	699.4	695.6	697.5	697.8		
อุณหภูมิบรรยากาศ		28.3	27.2	27.3	27.5	
0.6	0.075	597.5	603.3	591.2	597.3	ไอเสีย
	0.225	606.4	616.3	631.9	618.2	
	0.375	640.1	655.5	674.8	656.8	
	0.525	642.9	662.1	674.6	659.9	
	0.675	640.0	651.2	657.8	649.6	
	0.825	605.1	614.9	614.4	614.8	
	1.031	474.0	563.6	593.5	543.7	
	1.181	618.3	712.9	742.7	691.3	
	1.331	742.1	789.3	826.0	785.8	
	1.481	797.1	817.6	850.3	821.7	
	1.631	754.5	765.9	778.6	766.3	
1.781	715.4	719.0	724.5	719.5		
อุณหภูมิบรรยากาศ		27.8	28.8	28.1	28.3	
	0.075	258.3	260.0	299.5	272.5	ไอเสีย
	0.225	524.7	514.4	517.7	518.9	
	0.375	613.9	612.6	616.9	614.5	
	0.525	596.0	591.4	596.0	594.3	
	0.675	587.2	585.8	592.7	588.5	
	0.825	566.8	564.8	565.9	565.8	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.8	1.031	468.4	450.3	447.3	454.3	
	1.181	596.2	599.4	610.8	602.1	
	1.331	703.5	714.8	718.9	712.3	
	1.481	757.0	773.8	774.9	768.3	
	1.631	701.1	713.8	715.4	709.9	
	1.781	668.7	674.8	675.4	672.9	
อุณหภูมิบรรยากาศ		26.6	27.3	26.7	26.9	
1	0.075	204.8	222.1	210.9	212	ไอเสีย
	0.225	411.5	367.9	345.3	374.9	
	0.375	529.9	506.1	497.2	511	
	0.525	495.3	467.0	455.3	472.4	
	0.675	501.5	476.2	465.8	482.5	
	0.825	467.6	442.7	431.3	447.2	
	1.031	418.6	400.8	382.6	400	
	1.181	535.1	526.4	522.0	527	
	1.331	625.1	620.3	621.2	622.2	
	1.481	670.5	659.1	661.1	675.5	
	1.631	632.3	620.4	622.7	625.1	
1.781	581.4	568.1	567.5	572.3		
อุณหภูมิบรรยากาศ		26.2	26.5	27.1	26.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 2

อัตราการป้อนแกลบ : 0.3 kg/min Primary Air : 85% Date :

อัตราส่วนสมมูล: 0.5 Secondary Air: 15 % Time:

ระยะชัก (r/R)	ตำแหน่งของ เทอร์โมคัปเปิล (m.)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง			อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	หมายเหตุ
		3 นาที	6 นาที	9 นาที		
		อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)		
0.0	0.075	526.0	543.3	569.4	546.2	ไอเสีย
	0.225	567.2	578.9	602.3	582.8	
	0.375	576.7	588.8	614.6	593.3	
	0.525	591.5	609.4	644.1	615	
	0.675	613.6	633.4	679.1	642	
	0.825	637.4	650.3	702.8	663.5	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	764.6	766.8	807.0	780.4	
1.781	745.3	743.4	765.5	751.4		
อุณหภูมิบรรยากาศ		27.8	27.9	27.8	27.8	
0.2	0.075	562.6	543.5	536.8	547.6	ไอเสีย
	0.225	592.0	579.4	571.5	562.9	
	0.375	605.5	592.3	584.0	593.9	
	0.525	617.3	604.3	599.1	606.9	
	0.675	629.3	616.3	613.3	619.6	
	0.825	639.2	610.5	592.1	613.9	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	816.1	795.3	772.2	794.5	
1.781	784.8	774..1	754.9	770.2		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิบรรยากาศ		28.2	27.9	27.7	27.9	
0.4	0.075	592.1	602.0	589.7	594.6	ไอเสีย
	0.225	572.9	588.8	582.8	581.5	
	0.375	604.5	619.2	612.2	611.9	
	0.525	604.4	620.4	612.6	612.5	
	0.675	605.7	621.7	612.4	613.3	
	0.825	584.8	597.2	590.0	590.7	
	1.031	347.6	385.0	408.3	380.3	
	1.181	565.8	582.3	581.6	576.6	
	1.331	731.4	759.7	741.4	744.2	
	1.481	813.9	839.3	819.9	824.3	
	1.631	876.7	892.7	879.2	882.8	
1.781	824.5	838.9	833.5	832.3		
อุณหภูมิบรรยากาศ		28.4	28.3	27.9	28.2	
0.6	0.075	571.0	562.3	569.0	568.0	ไอเสีย
	0.225	592.4	587.9	592.5	590.9	
	0.375	608.1	602.9	606.7	605.9	
	0.525	614.4	609.4	614.7	612.8	
	0.675	619.3	613.9	620.0	617.7	
	0.825	603.1	594.8	600.9	599.6	
	1.031	441.8	464.1	480.7	462.2	
	1.181	566.6	562.4	563.0	564	
	1.331	592.1	688.1	690.4	656.8	
	1.481	797.5	798.5	805.3	800.4	
	1.631	853.3	840.0	844.3	845.8	
1.781	816.0	803.6	802.5	807.3		
อุณหภูมิบรรยากาศ		28.5	28.3	28.8	28.5	
	0.075	540.0	525.8	504.7	523.5	ไอเสีย
	0.225	424.1	456.0	465.5	448.5	
	0.375	527.4	554.0	561.6	547.7	
	0.525	504.3	533.2	541.9	526.5	
	0.675	503.8	535.8	544.2	527.9	
	0.825	502.4	524.9	532.6	519.8	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.8	1.031	523.8	265.4	271.7	263.6	
	1.181	441.1	490.2	504.7	478.7	
	1.331	614.1	652.6	660.7	642.5	
	1.481	717.7	753.9	766.6	746	
	1.631	765.6	792.7	809.0	789.1	
	1.781	705.7	739.5	756.2	733.8	
อุณหภูมิบรรยากาศ		28.9	28.4	28.2	28.5	
1	0.075	540.5	384.9	342.9	363.9	ไอเสีย
	0.225	382.0	347.8	321.9	350.6	
	0.375	463.3	443.4	431.4	446.0	
	0.525	422.2	394.5	387.7	401.5	
	0.675	426.6	398.0	391.3	405.3	
	0.825	409.8	379.4	373.5	387.6	
	1.031	199.2	217.9	222.6	213.2	
	1.181	265.0	288.6	304.6	285.9	
	1.331	487.0	479.5	483.5	483.4	
	1.481	604.5	583.4	584.2	590.7	
	1.631	652.4	630.5	633.6	638.8	
	1.781	599.4	570.3	567.4	579.0	
อุณหภูมิบรรยากาศ		29.8	28.5	28.4	28.9	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 3

อัตราการป้อนเกลบ : 0.3 kg/min Primary Air : 75% Date :

อัตราส่วนสมมูล: 0.5 Secondary Air: 25 % Time:

ระยะชัก (r/R)	ตำแหน่งของ เทอร์โมคัปเปิล (m.)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง			อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	หมายเหตุ
		3 นาที	6 นาที	9 นาที		
		อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)		
0.0	0.075	600.5	604.2	606.8	603.8	ไอเสีย
	0.225	629.3	630.2	630.5	630.0	
	0.375	640.8	644.2	645.2	643.4	
	0.525	636.6	655.3	671.6	657.7	
	0.675	670.5	670.9	671.3	670.9	
	0.825	708.5	708.8	708.8	708.7	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	950.0	950.7	951.7	950.8	
1.781	886.5	888.3	887.1	887.3		
อุณหภูมิบรรยากาศ		27.0	27.0	27.0	27.0	
0.2	0.075	604.3	608.4	609.8	607.5	ไอเสีย
	0.225	621.5	622.5	627.7	623.9	
	0.375	631.2	637.4	648.1	638.9	
	0.525	650.6	655.0	655.5	653.7	
	0.675	660.2	662.8	663.9	662.3	
	0.825	661.8	663.1	664.1	663.0	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	924.8	925.2	925.9	925.3	
1.781	854.5	855.6	857.6	855.9		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิบรรยากาศ		26.9	26.9	26.9	26.9	
0.4	0.075	590.5	595.4	603.6	596.2	ไอเสีย
	0.225	598.5	600.8	601.0	600.1	
	0.375	610.2	615.4	628.1	617.9	
	0.525	610.8	630.2	638.5	626.5	
	0.675	620.4	633.0	645.0	632.8	
	0.825	621.3	625.4	634.0	626.9	
	1.031	400.9	450.4	485.5	445.6	
	1.181	750.5	758.0	764.9	757.8	
	1.331	800.0	840.1	872.7	837.6	
	1.481	918.8	920.0	919.4	919.4	
	1.631	874.8	874.9	875.0	874.9	
1.781	817.5	817.2	817.5	817.4		
อุณหภูมิบรรยากาศ		27.1	27.1	27.1	27.1	
0.6	0.075	598.8	597.8	599.8	598.8	ไอเสีย
	0.225	561.5	562.5	564.4	562.8	
	0.375	599.4	599.6	599.5	599.5	
	0.525	603.0	603.4	603.2	603.2	
	0.675	610.0	610.1	610.2	610.1	
	0.825	617.3	618.3	619.3	618.3	
	1.031	377.0	377.7	378.1	377.6	
	1.181	707.9	707.5	708.0	707.8	
	1.331	850.7	850.6	850.8	850.7	
	1.481	911.5	911.7	911.9	911.7	
	1.631	841.3	841.2	841.4	841.3	
1.781	786.9	787.0	786.8	786.9		
อุณหภูมิบรรยากาศ		26.7	26.7	26.7	26.7	
	0.075	596.0	596.1	595.9	596.0	ไอเสีย
	0.225	466.8	466.5	467.1	466.8	
	0.375	567.6	567.6	567.9	567.7	
	0.525	540.8	550.5	558.1	549.8	
	0.675	559.7	559.8	559.9	559.8	
	0.825	575.8	575.6	575.7	575.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.8	1.031	354.0	350.4	357.6	354.0	
	1.181	630.0	610.5	639.6	626.7	
	1.331	760.5	761.8	761.6	761.3	
	1.481	818.9	818.4	818.8	818.7	
	1.631	760.0	761.5	758.8	760.1	
	1.781	699.9	699.6	699.3	699.6	
อุณหภูมิบรรยากาศ		26.8	26.8	26.8	26.8	
1	0.075	620.1	618.2	618.7	619.0	ไอเสีย
	0.225	313.5	313.4	313.3	313.4	
	0.375	448.0	448.9	449.2	448.7	
	0.525	400.5	400.8	419.1	406.8	
	0.675	421.8	421.7	421.6	421.7	
	0.825	404.0	404.4	404.2	404.2	
	1.031	356.5	356.8	356.2	356.5	
	1.181	500.9	510.8	512.6	508.1	
	1.331	620.0	624.3	622.3	622.2	
	1.481	662.3	664.0	660.6	662.3	
	1.631	620.0	621.2	621.5	620.9	
	1.781	568.0	568.4	568.2	568.2	
อุณหภูมิบรรยากาศ		26.8	26.8	26.8	26.8	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 4

อัตราการป้อนแกลบ : 0.3 kg/min Primary Air : 100% Date :

อัตราส่วนสมมูล: 0.6 Secondary Air: 0% Time:

ระยะชัก (r/R)	ตำแหน่งของ เทอร์โมคัปเปิล (m.)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง			อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	หมายเหตุ
		3 นาที	6 นาที	9 นาที		
		อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)		
0.0	0.075	523.8	617.1	609.3	616.7	ไอเสีย
	0.225	662.0	659.7	654.7	658.8	
	0.375	673.9	673.1	668.8	671.9	
	0.525	691.7	693.7	688.9	691.4	
	0.675	702.7	705.2	688.9	702.6	
	0.825	707.5	705.2	700.9	702.6	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	802.1	794.1	793.7	796.7	
	1.781	767.0	761.1	759.2	762.3	
อุณหภูมิบรรยากาศ		29.2	28.6	27.3	28.6	
0.2	0.075	619.6	606.7	594.4	607.0	ไอเสีย
	0.225	669.9	648.4	642.1	653.7	
	0.375	686.3	665.4	657.6	670.0	
	0.525	702.9	681.4	676.5	686.0	
	0.675	711.4	690.2	681.9	694.0	
	0.825	721.7	690.4	680.6	697.0	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	810.5	793.1	779.1	794	
	1.781	764.6	753.6	743.2	753	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิบรรยากาศ		26.9	27.1	27.2	27.1	
0.4	0.075	609.5	607.8	586.2	600.7	ไอเสีย
	0.225	647.9	641.1	636.1	641.3	
	0.375	664.1	652.3	650.7	655.3	
	0.525	672.4	657.4	657.1	662.0	
	0.675	669.1	647.1	655.7	657.0	
	0.825	637.3	612.4	628.4	625.7	
	1.031	558.6	523.1	505.8	528.7	
	1.181	656.1	626.5	651.9	644.3	
	1.331	784.6	721.1	784.2	763.0	
	1.481	826.1	769.6	823.7	806.0	
	1.631	748.4	741.5	778.5	767.7	
1.781	745.5	715.8	736.7	732.0		
อุณหภูมิบรรยากาศ		26.9	27.0	26.9	26.9	
0.6	0.075	622.8	613.5	618.8	617.7	ไอเสีย
	0.225	634.4	629.2	628.5	630.0	
	0.375	659.7	660.5	659.4	659.0	
	0.525	657.1	654.4	653.6	654.7	
	0.675	644.7	645.8	649.4	646.0	
	0.825	605.5	610.2	611.8	608	
	1.031	498.5	496.1	513.2	502.0	
	1.181	657.3	683.6	665.5	668.0	
	1.331	773.5	787.5	785.2	781.0	
	1.481	826.7	836.1	836.1	832.0	
	1.631	785.3	783.2	787.6	785.0	
1.781	741.1	741.7	744.9	742.0		
อุณหภูมิบรรยากาศ		27.6	26.6	29.2	27.8	
	0.075	593.9	597.3	605.7	598.3	ไอเสีย
	0.225	477.4	457.8	450.0	461.3	
	0.375	612.7	605.5	611.4	609.3	
	0.525	601.1	588.7	593.2	594.3	
	0.675	596.1	581.7	589.9	589.0	
	0.825	553.1	544.1	543.9	547.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.8	1.031	475.8	450.6	427.8	451.3	
	1.181	619.9	601.1	607.2	609.3	
	1.331	719.1	704.4	732.1	718.3	
	1.481	763.3	750.4	784.4	765.7	
	1.631	719.0	702.2	734.2	718.3	
	1.781	685.8	674.4	694.5	684.7	
อุณหภูมิบรรยากาศ		26.5	26.5	26.5	26.5	
1	0.075	600.2	603.6	608.9	604.0	ไอเสีย
	0.225	384.4	375.8	365.6	376.8	
	0.375	508.1	487.8	477.8	491.0	
	0.525	478.1	453.9	440.3	457.3	
	0.675	485.7	460.0	447.7	464.5	
	0.825	445.6	420.1	405.7	437.0	
	1.031	409.9	404.5	381.7	398.7	
	1.181	533.9	527.9	513.6	525.0	
	1.331	608.5	598.4	590.5	613.7	
	1.481	645.3	637.6	633.9	640.0	
	1.631	620.1	606.3	598.5	608.3	
	1.781	579.4	565.0	561.2	568.3	
อุณหภูมิบรรยากาศ		26.0	26.3	26.1	26.2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 5

อัตราการป้อนแถบ : 0.3 kg/min Primary Air : 85% Date :

อัตราส่วนสมมูล: 0.6 Secondary Air: 15% Time:

ระยะชัก (r/R)	ตำแหน่งของ เทอร์โมคัปเปิล (m.)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง			อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	หมายเหตุ
		3นาที	6นาที	9นาที		
		อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)		
0.0	0.075	525.2	542.8	556.6	550.5	ไอเสีย
	0.225	582.5	578.8	587.5	582.5	
	0.375	595.6	589.5	596.8	592.8	
	0.525	617.0	609.1	618.5	615.0	
	0.675	643.7	633.4	642.8	639.7	
	0.825	683.7	677.3	683.3	681.0	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	810.8	808.2	808.0	809.0	
1.781	772.2	770.6	770.5	771.0		
อุณหภูมิบรรยากาศ		24.3	24.5	24.1	24.3	
0.2	0.075	561.2	553.7	557.9	557.0	ไอเสีย
	0.225	580.5	587.4	587.5	582.5	
	0.375	595.6	589.5	596.8	592.8	
	0.525	617.0	609.1	618.5	615.0	
	0.675	643.7	633.4	642.8	639.7	
	0.825	683.7	677.3	683.3	681.0	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	810.8	808.2	880.0	809.0	
1.781	772.2	770.6	770.5	771.0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิบรรยากาศ		24.3	24.5	24.1	24.3	
0.4	0.075	569.1	553.4	556.7	559.3	ไอเสีย
	0.225	579.9	572.5	576.1	576.2	
	0.375	591.2	587.2	591.1	589.8	
	0.525	606.0	599.5	603.7	603.1	
	0.675	615.7	604.7	609.6	609.3	
	0.825	589.7	583.2	588.7	586.7	
	1.031	337.5	666.5	398.1	382.2	
	1.181	717.3	755.9	766.1	760.9	
	1.331	791.7	799.5	814.8	801.3	
	1.481	843.7	839.5	853.1	845.0	
	1.631	798.1	792.7	803.2	797.7	
1.781	753.4	753.0	757.7	754.3		
อุณหภูมิบรรยากาศ		24.5	24.4	24.4	24.4	
0.6	0.075	535.1	552.3	553.7	552.5	ไอเสีย
	0.225	509.8	538.4	543.8	541.2	
	0.375	553.6	557.8	563.1	560.0	
	0.525	543.2	571.2	578.0	574.5	
	0.675	549.8	575.3	581.5	578.4	
	0.825	544.7	563.3	567.8	565.5	
	1.031	318.6	302.7	297.5	305.7	
	1.181	670.8	644.9	652.9	656.2	
	1.331	738.2	759.1	776.5	767.2	
	1.481	792.6	815.6	831.6	825.5	
	1.631	749.2	769.2	780.3	774.5	
1.781	712.4	729.3	737.5	733.0		
อุณหภูมิบรรยากาศ		24.7	24.6	24.7	24.7	
0.825	0.075	558.9	522.0	511.4	530.0	ไอเสีย
	0.225	426.8	427.5	421.7	424.7	
	0.375	511.9	504.9	498.3	504.3	
	0.525	494.4	488.0	482.2	488.0	
	0.675	499.7	492.8	486.2	492.0	
	0.825	502.4	492.1	491.1	495.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.8	1.031	325.1	314.5	330.5	327.5	
	1.181	576.2	558.4	550.1	554.0	
	1.331	684.0	647.8	657.7	652.0	
	1.481	726.5	676.4	708.4	717.0	
	1.631	691.8	660.7	671.4	674.0	
	1.781	660.8	638.7	649.5	649.0	
อุณหภูมิบรรยากาศ		24.9	25.1	24.7	24.9	
1	0.075	562.6	557.5	567.5	561.0	ไอเสีย
	0.225	343.9	337.2	331.2	337.0	
	0.375	448.2	438.4	433.1	439.7	
	0.525	409.5	399.5	395.7	401.0	
	0.675	415.7	405.4	401.2	407.0	
	0.825	382.3	380.2	381.8	381.8	
	1.031	365.1	358.1	350.5	357.7	
	1.181	498.2	495.2	487.2	493.3	
	1.331	575.5	570.0	579.9	524.7	
	1.481	616.2	619.4	625.6	619.0	
	1.631	579.9	551.8	587.5	582.3	
	1.781	545.9	549.8	553.0	549.0	
อุณหภูมิบรรยากาศ		25.4	25.0	25.0	25.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 6

อัตราการป้อนแถบ : 0.3 kg/min Primary Air : 75% Date :

อัตราส่วนสมมูล: 0.6 Secondary Air: 25% Time:

ระยะชัก (r/R)	ตำแหน่งของ เทอร์โมคัปเปิล (m.)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง			อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	หมายเหตุ
		3นาที	6นาที	9นาที		
		อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)		
0.0	0.075	557.3	502.5	515.8	508.0	ไอเสีย
	0.225	585.9	539.0	551.7	545.0	
	0.375	591.0	549.7	556.8	552.5	
	0.525	603.7	558.0	566.8	562.4	
	0.675	615.6	563.1	574.5	568.5	
	0.825	644.2	570.8	594.4	582.0	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	798.4	769.0	766.3	777.8	
1.781	764.1	747.3	741.2	750.7		
อุณหภูมิบรรยากาศ		25.8	24.9	25.0	25.3	
0.2	0.075	501.0	490.3	507.2	499.6	ไอเสีย
	0.225	544.8	521.5	546.9	537.0	
	0.375	548.0	528.5	548.8	548.4	
	0.525	559.6	539.3	559.9	559.6	
	0.675	566.6	542.0	565.7	566.0	
	0.825	566.8	534.2	571.9	569.2	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	755.3	749.9	786.3	752.1	
1.781	721.0	726.0	743.1	723.5		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิบรรยากาศ		24.8	25.1	24.7	24.9	
0.4	0.075	491.5	523.4	522.1	522.5	ไอเสีย
	0.225	518.4	535.2	538.5	530.7	
	0.375	528.0	544.5	547.6	546.0	
	0.525	539.8	555.8	558.3	550.2	
	0.675	547.2	559.6	563.8	556.3	
	0.825	549.1	550.8	574.7	561.3	
	1.031	340.2	338.0	338.0	388.7	
	1.181	554.2	479.6	496.7	488.2	
	1.331	813.8	818.4	834.9	821.7	
	1.481	787.9	797.7	847.8	810.6	
	1.631	766.3	773.7	815.4	784.7	
	1.781	737.9	748.9	768.9	751.3	
อุณหภูมิบรรยากาศ		24.2	24.2	24.0	24.2	
0.6	0.075	537.5	528.1	513.4	526.2	ไอเสีย
	0.225	518.7	504.5	500.8	507.3	
	0.375	545.6	534.1	527.6	535.3	
	0.525	552.6	540.2	531.8	541.0	
	0.675	554.9	543.6	534.5	544.0	
	0.825	565.5	540.1	537.1	538.5	
	1.031	319.2	314.4	292.5	308.3	
	1.181	547.2	544.1	568.5	553.2	
	1.331	828.2	790.7	816.0	811.3	
	1.481	842.6	813.0	814.0	813.5	
	1.631	799.5	786.1	778.4	787.7	
	1.781	763.0	757.2	744.3	754.7	
อุณหภูมิบรรยากาศ		24.2	24.1	24.3	24.2	
	0.075	509.2	526.2	534.2	530.2	ไอเสีย
	0.225	429.6	420.9	420.8	423.0	
	0.375	496.7	491.9	499.8	495.3	
	0.525	488.8	484.1	488.8	486.7	
	0.675	491.2	487.7	493.7	490.3	
	0.825	505.7	500.0	511.8	505.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.8	1.031	259.1	251.2	248.1	452.0	
	1.181	551.3	494.6	569.8	560.0	
	1.331	733.7	724.7	749.4	735.0	
	1.481	787.5	787.3	790.5	788.0	
	1.631	755.8	761.4	756.3	757.3	
	1.781	722.4	720.5	712.3	718.0	
อุณหภูมิบรรยากาศ		24.1	24.2	24.2	24.2	
1	-0.075	502.6	505.1	531.2	524.0	ไอเสีย
	0.225	335.0	311.2	299.6	323.0	
	0.375	407.1	383.2	375.9	388.7	
	0.525	387.4	361.4	351.9	366.9	
	0.675	394.2	368.1	357.8	362.9	
	0.825	404.4	386.5	386.8	392.0	
	1.031	259.3	258.5	255.4	269.3	
	1.181	419.9	386.4	361.8	374.0	
	1.331	603.4	592.2	549.9	597.5	
	1.481	625.6	606.5	609.6	608.0	
	1.631	597.6	575.8	575.8	575.8	
	1.781	603.6	596.5	605.8	601.3	
อุณหภูมิบรรยากาศ		25.1	25.0	24.98	25.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 7

อัตราการป้อนแกลบ : 0.3 kg/min Primary Air : 100% Date :

อัตราส่วนสมมูล: 0.7 Secondary Air: 0% Time:

ระยะชัก (r/R)	ตำแหน่งของ เทอร์โมคัปเปิล (m.)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง			อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	หมายเหตุ
		3 นาที	6 นาที	9 นาที		
		อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)		
0.0	0.075	546.5	540.8	551.4	546.2	ไอเสีย
	0.225	578.4	574.8	592.1	581.7	
	0.375	598.4	593.3	609.5	600.4	
	0.525	634.8	627.1	644.9	635.6	
	0.675	650.5	640.8	660.0	650.4	
	0.825	655.0	648.3	670.0	659.7	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	715.2	703.9	726.5	715.2	
1.781	632.9	631.3	648.4	637.5		
อุณหภูมิบรรยากาศ		31.4	31.3	31.3	31.3	
0.2	0.075	559.0	563.3	554.7	559.0	ไอเสีย
	0.225	597.1	600.4	602.0	599.8	
	0.375	615.7	618.9	619.5	618.0	
	0.525	642.3	641.6	642.9	642.3	
	0.675	648.4	645.0	649.2	664.2	
	0.825	658.0	652.2	663.6	657.9	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	739.7	737.1	758.8	745.2	
1.781	661.7	666.4	681.2	669.7		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิบรรยากาศ		30.8	30.6	30.8	30.7	
0.4	0.075	566.5	588.8	593.2	582.8	ไอเสีย
	0.225	606.2	626.2	636.6	623.0	
	0.375	624.2	642.7	651.8	639.6	
	0.525	640.9	656.3	664.4	649.6	
	0.675	633.6	645.6	657.9	645.7	
	0.825	600.6	609.5	618.8	609.6	
	1.031	494.2	428.2	412.2	444.9	
	1.181	697.8	699.8	692.5	696.7	
	1.331	774.4	803.8	808.2	795.5	
	1.481	822.0	850.8	857.5	843.4	
	1.631	766.6	787.8	797.7	784.0	
	1.781	696.6	715.3	723.7	711.9	
อุณหภูมิบรรยากาศ		30.7	30.5	30.7	30.6	
0.6	0.075	600.5	594.6	604.2	599.8	ไอเสีย
	0.225	611.9	602.0	613.2	609.0	
	0.375	648.9	637.5	648.0	644.8	
	0.525	647.1	638.1	646.0	643.7	
	0.675	631.9	624.2	630.1	628.7	
	0.825	586.0	579.1	583.9	583.0	
	1.031	407.9	388.4	382.6	392.9	
	1.181	699.5	663.6	681.4	681.5	
	1.331	808.0	797.4	818.2	807.8	
	1.481	853.3	848.1	868.2	856.5	
	1.631	802.5	797.8	816.9	805.7	
	1.781	730.3	732.5	745.7	736.1	
อุณหภูมิบรรยากาศ		30.6	30.3	30.2	30.3	
	0.075	589.4	601.7	590.0	593.7	ไอเสีย
	0.225	518.9	511.7	503.9	511.5	
	0.375	605.9	607.4	596.5	603.2	
	0.525	584.6	581.7	571.2	579.1	
	0.675	557.1	571.3	564.9	571.1	
	0.825	542.7	538.8	532.9	538.1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.8	1.031	390.7	380.3	372.9	381.3	
	1.181	582.1	570.8	568.8	573.9	
	1.331	735.5	748.7	719.0	734.4	
	1.481	803.4	806.2	787.8	799.1	
	1.631	765.4	771.8	763.1	766.7	
	1.781	706.9	709.3	704.3	706.8	
อุณหภูมิบรรยากาศ		30.3	30.1	30.2	30.2	
1	0.075	590.8	588.6	567.0	582.1	ไอเสีย
	0.225	372.3	339.9	319.0	343.7	
	0.375	483.8	465.2	447.6	465.3	
	0.525	439.4	416.5	399.5	418.5	
	0.675	448.8	419.4	399.7	422.6	
	0.825	414.0	387.0	366.0	389.0	
	1.031	345.7	324.6	306.7	325.6	
	1.181	501.7	475.4	435.5	470.8	
	1.331	610.9	600.9	597.7	603.1	
	1.481	659.6	642.6	626.5	642.9	
	1.631	644.2	623.8	616.9	628.3	
	1.781	596.6	577.1	572.7	582.1	
อุณหภูมิบรรยากาศ		29.3	29.5	29.3	29.3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 8

อัตราการป้อนแถบ : 0.3 kg/min Primary Air : 85% Date :

อัตราส่วนสมมูล: 0.7 Secondary Air: 15% Time:

ระยะชัก (r/R)	ตำแหน่งของ เทอร์โมคัปเปิล (m.)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง			อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	หมายเหตุ
		3 นาที	6 นาที	9 นาที		
		อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)		
0.0	0.075	523.9	525.3	539.6	529.6	ไอเสีย
	0.225	554.6	556.4	569.1	560.0	
	0.375	564.7	566.7	578.6	570.0	
	0.525	589.4	589.9	605.2	594.8	
	0.675	620.9	619.4	639.6	626.6	
	0.825	655.5	652.0	672.1	659.8	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	743.9	745.8	760.2	749.9	
1.781	687.4	694.5	706.9	696.3		
อุณหภูมิบรรยากาศ		28.8	28.8	28.9	28.8	
0.2	0.075	486.1	483.2	535.2	501.5	ไอเสีย
	0.225	518.6	517.7	562.0	532.6	
	0.375	531.6	528.7	574.5	544.9	
	0.525	546.1	542.1	596.2	561.4	
	0.675	554.4	547.4	611.5	571.1	
	0.825	565.4	541.5	624.4	577.1	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	680.2	676.2	764.9	707.1	
1.781	654.6	644.2	726.9	675.2		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิบรรยากาศ		28.9	28.7	29	28.8	
0.4	0.075	603.3	581.7	609.4	598.1	ไอเสีย
	0.225	626.4	600.1	633.9	620.1	
	0.375	637.6	613.2	644.0	631.6	
	0.525	651.1	626.8	659.9	645.9	
	0.675	648.1	627.1	657.6	644.2	
	0.825	614.5	602.3	630.6	615.8	
	1.031	234.1	298.6	464.5	662.4	
	1.181	318.9	452.2	354.0	375.0	
	1.331	613.1	528.8	464.9	535.6	
	1.481	818.1	820.0	845.65	827.9	
	1.631	810.8	790.0	813.5	804.7	
	1.781	804.8	785.5	683.1	757.8	
อุณหภูมิบรรยากาศ		28.9	29	28.6	28.8	
0.6	0.075	459.3	406.6	356.3	407.4	ไอเสีย
	0.225	492.0	452.6	416.3	453.6	
	0.375	499.7	458.6	421.4	459.9	
	0.525	498.5	456.3	418.0	457.6	
	0.675	489.5	448.6	408.5	448.8	
	0.825	470.4	431.3	390.9	430.8	
	1.031	700.1	659.3	522.1	627.1	
	1.181	748.0	496.2	403.1	549.1	
	1.331	840.3	762.9	789.6	797.6	
	1.481	723.6	652.2	538.4	638.0	
	1.631	639.1	585.8	518.3	581.0	
	1.781	577.4	544.3	507.6	543.1	
อุณหภูมิบรรยากาศ		28.4	28.1	28.3	28.2	
	0.075	479.3	469.4	473.0	473.9	ไอเสีย
	0.225	411.0	389.6	381.9	394.2	
	0.375	464.4	454.4	455.3	458.0	
	0.525	455.8	441.0	439.0	445.3	
	0.675	452.7	438.1	433.9	441.6	
	0.825	434.7	420.0	411.8	422.2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.8	1.031	273.5	260.8	250.9	261.7	
	1.181	522.6	442.5	380.2	448.4	
	1.331	675.5	634.3	600.2	636.6	
	1.481	656.7	685.0	683.2	674.9	
	1.631	602.5	635.0	638.3	625.3	
	1.781	558.2	590.1	609.9	586.1	
อุณหภูมิบรรยากาศ		28.3	28.0	27.7	28.0	
1	0.075	468.2	481.1	532.1	493.8	ไอเสีย
	0.225	278.2	262.9	259.4	266.8	
	0.375	359.7	348.6	354.6	354.3	
	0.525	331.0	317.6	318.1	322.2	
	0.675	320.9	297.3	287.5	301.9	
	0.825	330.4	306.0	299.6	312.0	
	1.031	236.4	228.8	221.4	228.8	
	1.181	302.3	280.6	266.1	283.0	
	1.331	464.8	434.2	413.2	437.4	
	1.481	548.5	530.4	532.8	537.2	
	1.631	522.5	513.2	523.9	519.8	
	1.781	499.2	489.1	503.4	497.2	
อุณหภูมิบรรยากาศ		27.5	27.8	28.4	27.9	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 9

อัตราการป้อนแถบ : 0.3 kg/min Primary Air : 75% Date :

อัตราส่วนสมมูล: 0.7 Secondary Air: 25% Time:

ระยะชัก (r/R)	ตำแหน่งของ เทอร์โมคัปเปิล (m.)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง			อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	หมายเหตุ
		3 นาที	6 นาที	9 นาที		
		อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)		
0.0	0.075	479.4	468.7	461.8	469.9	ไอเสีย
	0.225	515.7	500.2	491.1	502.3	
	0.375	521.0	507.3	497.8	508.7	
	0.525	531.4	517.5	510.6	519.8	
	0.675	540.7	530.5	524.0	531.7	
	0.825	562.1	561.1	547.9	557.033	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
1.631	708.5	710.2	685.9	701.5		
1.781	676.0	671.0	644.7	663.9		
อุณหภูมิบรรยากาศ		28.3	27.7	28.0	28.0	
0.2	0.075	458.0	458.5	459.9	458.8	ไอเสีย
	0.225	490.8	490.1	490.9	490.6	
	0.375	500.5	499.8	500.0	500.1	
	0.525	512.5	520.4	504.9	512.6	
	0.675	520.5	521.8	521.6	521.3	
	0.825	524.0	521.5	523.5	523.0	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
1.631	697.6	697.5	697.7	697.6		
1.781	650.8	660.2	666.3	659.1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิบรรยากาศ		27.6	27.5	27.7	27.6	
0.4	0.075	466.8	550.8	462.9	493.5	ไอเสีย
	0.225	482.6	542.6	464.3	496.5	
	0.375	490.4	552.2	483.4	508.69	
	0.525	511.2	577.4	497.4	528.6	
	0.675	532.7	598.3	503.6	544.8	
	0.825	545.1	565.0	486.6	532.2	
	1.031	209.6	208.6	209.9	209.3	
	1.181	263.3	231.6	259.3	242.4	
	1.331	674.9	568.6	620.3	622.8	
	1.481	749.9	735.5	708.8	731.4	
	1.631	724.4	730.2	679.5	711.3	
1.781	649.5	702.7	660.5	670.9		
อุณหภูมิบรรยากาศ		27.7	27.4	27.3	27.4	
0.6	0.075	448.8	436.8	467.5	451.0	ไอเสีย
	0.225	427.9	427.9	442.0	432.6	
	0.375	458.2	456.6	473.2	462.6	
	0.525	462.7	457.7	477.8	466.0	
	0.675	461.5	458.7	479.9	466.7	
	0.825	449.1	461.8	474.7	461.8	
	1.031	160.5	135.7	126.0	140.7	
	1.181	240.4	202.8	177.5	206.9	
	1.331	665.6	658.3	627.5	650.4	
	1.481	693.4	723.7	751.4	722.8	
	1.631	653.5	671.5	711.6	678.8	
1.781	626.5	631.9	672.4	643.6		
อุณหภูมิบรรยากาศ		27.7	27.7	28.0	27.7	
	0.075	470.3	477.5	480.2	476.0	ไอเสีย
	0.225	337.4	342.7	349.0	343.0	
	0.375	430.3	437.1	447.9	438.4	
	0.525	411.7	421.7	434.0	422.4	
	0.675	411.6	426.0	439.0	425.5	
	0.825	438.7	438.4	465.8	447.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.8	1.031	120.4	120.6	120.9	120.6	
	1.181	162.7	162.1	157.9	160.9	
	1.331	498.4	483.6	460.3	480.7	
	1.481	679.7	678.7	706.8	688.4	
	1.631	654.7	636.6	712.8	668.0	
	1.781	632.0	616.9	645.5	631.4	
อุณหภูมิบรรยากาศ		27.4	27.8	27.3	27.5	
1	0.075	636.7	606.4	618.0	620.3	ไอลีเย
	0.225	326.4	311.5	306.7	314.8	
	0.375	427.4	407.8	409.7	414.9	
	0.525	389.3	364.3	357.2	370.2	
	0.675	393.5	368.5	361.3	374.4	
	0.825	446.2	429.4	433.1	436.2	
	1.031	137.8	144.6	144.9	142.4	
	1.181	158.0	160.7	163.3	160.6	
	1.331	372.8	347.8	326.1	348.5	
	1.481	567.5	520.9	479.2	522.5	
	1.631	625.3	606.0	614.5	615.2	
	1.781	575.8	562.1	560.6	566.4	
อุณหภูมิบรรยากาศ		28.0	27.9	28.5	28.1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 10

อัตราการป้อนแกลบ : 0.3 kg/min Primary Air : 100% Date :

อัตราส่วนสมมูล: 0.8 Secondary Air: 0% Time:

ระยะชัก (r/R)	ตำแหน่งของ เทอร์โมคัปเปิล (m.)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง			อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	หมายเหตุ
		3 นาที	6 นาที	9 นาที		
		อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)		
0.0	0.075	412.2	448.7	461.5	440.8	ไอเสีย
	0.225	661.5	661.1	679.8	667.67	
	0.375	681.7	680	700.1	687.27	
	0.525	710.2	707.4	730	715.87	
	0.675	729.5	726	753.4	736.3	
	0.825	732.7	727.8	759.1	739.87	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	814.3	808.4	834.1	818.93	
1.781	723.1	732.6	752.9	736.2		
อุณหภูมิบรรยากาศ		27.0	27.0	27.0	27.0	
0.2	0.075	481.3	468.5	452.0	467.26	ไอเสีย
	0.225	706.4	672.3	668.6	682.43	
	0.375	724.8	684.2	680.6	696.53	
	0.525	748.5	697.3	697.3	714.36	
	0.675	760.3	703.5	701.8	721.87	
	0.825	756.3	700.5	690.4	715.73	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	823.5	759.8	805.8	796.37	
1.781	761.2	720.5	685.5	722.4		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิบรรยากาศ		27.0	27.0	27.0	27.0	
0.4	0.075	451.4	464.0	473.3	462.9	ไอเสีย
	0.225	692.1	690.9	680.9	687.96	
	0.375	703.7	697.0	687.6	696.1	
	0.525	708.6	685.8	682.8	695.73	
	0.675	695.6	678.7	665.5	679.9	
	0.825	656.4	646.7	635.0	646.0	
	1.031	240.8	230.9	227.0	232.9	
	1.181	367.1	367.0	366.9	367.0	
	1.331	792.9	762.4	776.3	777.2	
	1.481	852.5	846.1	810.0	836.2	
	1.631	827.7	819.2	780.5	809.1	
	1.781	802.9	783.9	750.2	779.0	
อุณหภูมิบรรยากาศ		27.4	27.4	27.4	27.4	
0.6	0.075	465.3	442.8	374.7	427.6	ไอเสีย
	0.225	657.8	630.4	570.8	619.6	
	0.375	683.2	654.1	590.0	642.4	
	0.525	688.0	652.2	584.3	641.5	
	0.675	673.9	637.0	574.2	628.3	
	0.825	637.0	607.6	561.0	601.6	
	1.031	250.1	250.0	249.9	250.0	
	1.181	465.8	465.9	465.7	465.8	
	1.331	746.1	722.2	587.4	691.2	
	1.481	812.2	764.2	658.6	745.0	
	1.631	807.2	752.2	667.5	742.3	
	1.781	767.5	730.8	669.0	722.2	
อุณหภูมิบรรยากาศ		27.7	27.7	27.7	27.7	
	0.075	412.3	415.2	412.5	413.3	ไอเสีย
	0.225	459.6	455.4	435.1	450.0	
	0.375	528.4	533.5	508.8	523.5	
	0.525	522.6	525.1	502.3	516.6	
	0.675	522.9	521.0	502.0	515.3	
	0.825	512.2	501.4	488.7	500.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.8	1.031	280.5	250.0	275.4	268.6	
	1.181	416.8	449.5	436.3	434.2	
	1.331	595.2	590.2	572.6	586.0	
	1.481	661.7	647.5	641.8	650.3	
	1.631	648.6	622.2	617.3	629.3	
	1.781	630.4	607.5	601.9	613.2	
อุณหภูมิบรรยากาศ		27.6	27.6	27.6	27.6	
1	0.075	372.7	405.8	412.5	387.0	ไอเสีย
	0.225	312.2	302.8	291.6	302.2	
	0.375	419.1	421.0	421.1	420.4	
	0.525	391.4	390.3	387.7	389.8	
	0.675	401.0	394.2	391.0	395.4	
	0.825	370.9	363.0	359.1	364.3	
	1.031	267.7	260.0	253.1	260.2	
	1.181	375.8	370.7	353.3	366.6	
	1.331	490.5	491.5	500.5	494.1	
	1.481	563.2	550.8	549.7	554.5	
	1.631	536.1	543.9	548.3	542.7	
	1.781	511.5	512.2	517.1	513.6	
อุณหภูมิบรรยากาศ		27.7	27.7	27.7	27.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 11

อัตราการป้อนเกลบ : 0.3 kg/min Primary Air : 85% Date :

อัตราส่วนสมมูล: 0.8 Secondary Air: 15% Time:

ระยะชัก (r/R)	ตำแหน่งของ เทอร์โมคัปเปิล (m.)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง			อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	หมายเหตุ
		3 นาที	6 นาที	9 นาที		
		อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)		
0.0	0.075	352.9	346.0	353.3	350.7	ไอเสีย
	0.225	550.4	543.7	559.8	551.3	
	0.375	557.5	550.2	566.2	557.9	
	0.525	581.0	573.2	593.6	582.6	
	0.675	606.1	595.0	622.9	608.0	
	0.825	631.4	623.7	653.1	636.0	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	739.0	735.4	770.6	748.3	
1.781	705.3	705.1	728.2	712.8		
อุณหภูมิบรรยากาศ		28.0	28.0	28.0	28.0	
0.2	0.075	363.7	367.7	369.3	366.9	ไอเสีย
	0.225	550.0	573.5	563.3	562.2	
	0.375	563.0	581.4	575.6	573.3	
	0.525	584.1	609.7	600.0	597.9	
	0.675	597.5	628.4	618.3	614.7	
	0.825	602.1	643.3	640.0	628.4	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	759.5	790.2	793.5	781.0	
1.781	726.9	736.4	741.5	734.9		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิบรรยากาศ		28.0	28.0	28.0	28.0	
0.4	0.075	362.4	341.0	335.0	346.1	ไอเสีย
	0.225	550.7	543.4	534.6	542.9	
	0.375	564.5	555.6	548.1	556.0	
	0.525	575.4	569.5	561.3	568.7	
	0.675	578.6	577.0	565.5	573.7	
	0.825	561.6	572.0	550.9	561.5	
	1.031	143.0	143.3	157.0	147.7	
	1.181	606.5	673.0	602.5	627.3	
	1.331	793.5	796.9	801.9	797.4	
	1.481	796.2	813.3	785.5	798.3	
	1.631	754.1	783.7	752.4	763.4	
1.781	721.2	730.6	714.5	722.1		
อุณหภูมิบรรยากาศ		30.6	30.6	30.6	30.6	
0.6	0.075	377.2	349.8	347.5	358.1	ไอเสีย
	0.225	560.5	538.5	548.6	549.2	
	0.375	588.5	562.8	572.1	574.4	
	0.525	597.0	573.5	584.0	584.8	
	0.675	592.8	571.2	579.4	581.1	
	0.825	566.3	559.1	559.9	561.0	
	1.031	157.7	154.4	153.5	155.2	
	1.181	700.5	515.5	425.3	547.1	
	1.331	806.0	798.6	791.7	798.7	
	1.481	814.0	806.1	815.8	811.9	
	1.631	769.0	781.6	794.8	781.8	
1.781	734.0	741.9	753.2	743.0		
อุณหภูมิบรรยากาศ		32.0	32.0	32.0	32.0	
	0.075	349.0	305.0	296.3	316.7	ไอเสีย
	0.225	458.3	437.8	448.8	448.3	
	0.375	534.2	512.7	535.0	527.3	
	0.525	529.1	504.6	529.4	521.0	
	0.675	526.7	501.1	524.0	517.2	
	0.825	523.1	491.0	511.8	508.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.8	1.031	164.4	170.9	174.0	169.7	
	1.181	506.6	691.4	334.0	410.6	
	1.331	750.6	685.4	699.2	711.7	
	1.481	734.6	762.6	741.1	734.1	
	1.631	710.5	696.1	741.0	715.8	
	1.781	701.5	677.8	715.4	698.2	
อุณหภูมิบรรยากาศ		32.0	32.0	32.0	32.0	
1	0.075	249.1	215.0	195.5	219.8	ไอเสีย
	0.225	440.2	440.4	439.4	440.0	
	0.375	520.1	519.5	520.4	520.0	
	0.525	518.0	520.0	519.0	519.0	
	0.675	515.2	514.9	514.9	515.0	
	0.825	150.0	160.0	140.0	150.0	
	1.031	410.5	409.5	410.5	410.0	
	1.181	710.0	711.2	708.8	710.0	
	1.331	723.0	718.5	718.5	720.0	
	1.481	715.0	718.2	711.8	715.0	
	1.631	685.0	645.8	709.2	680.0	
	1.781	554.2	516.2	486.7	519.0	
อุณหภูมิบรรยากาศ		30.5	30.5	30.5	30.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 12

อัตราการป้อนแกลบ : 0.3 kg/min Primary Air : 75% Date :

อัตราส่วนผสมมูล : 0.8 Secondary Air: 25% Time:

ระยะชัก (r/R)	ตำแหน่งของ เทอร์โมคัปเปิล (m.)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง			อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	หมายเหตุ
		3 นาที	6 นาที	9 นาที		
		อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)		
0.0	0.075	236.6	244.2	270.9	250.5	ไอเสียว
	0.225	448.1	460.0	509.8	482.6	
	0.375	444.6	456.2	508.1	469.6	
	0.525	455.0	473.7	530.4	486.3	
	0.675	461.4	493.3	554.9	503.2	
	0.825	496.4	537.7	590.2	514.4	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	626.7	659.6	729.8	672.0	
1.781	598.5	616.1	675.3	629.9		
อุณหภูมิบรรยากาศ		32.0	32.0	32.0	32.0	
0.2	0.075	353.1	361.4	380.1	364.8	ไอเสียว
	0.225	504.6	549.0	565.5	539.7	
	0.375	515.4	552.8	575.1	547.7	
	0.525	532.7	587.0	604.3	574.6	
	0.675	542.7	613.8	628.3	594.3	
	0.825	545.1	613.8	613.0	590.6	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	731.9	802.3	798.2	777.4	
1.781	702.7	740.5	752.1	731.7		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิบรรยากาศ		28.6	28.6	28.6	28.6	
0.4	0.075	369.5	359.1	357.8	362.1	ไอเสีย
	0.225	539.3	528.7	522.0	530.0	
	0.375	554.6	541.1	535.5	543.7	
	0.525	572.5	560.6	553.3	562.1	
	0.675	579.0	568.8	562.7	570.1	
	0.825	559.6	563.8	548.4	557.2	
	1.031	224.5	222.3	218.6	221.8	
	1.181	275.8	299.0	271.0	281.9	
	1.331	789.6	782.4	744.9	772.3	
	1.481	815.6	801.1	829.6	815.4	
	1.631	793.8	787.5	791.5	790.9	
1.781	756.8	762.8	760.5	760.0		
อุณหภูมิบรรยากาศ		28.4	28.4	28.4	28.4	
0.6	0.075	383.7	389.5	383.4	385.5	ไอเสีย
	0.225	523.1	532.5	525.8	530.4	
	0.375	560.8	570.0	566.5	565.7	
	0.525	573.8	582.0	575.7	577.1	
	0.675	854.0	588.8	582.3	585.0	
	0.825	571.0	556.1	567.4	564.8	
	1.031	165.0	152.2	143.7	153.6	
	1.181	204.1	175.0	155.5	178.2	
	1.331	629.8	619.6	759.6	669.6	
	1.481	815.2	858.8	801.8	825.2	
	1.631	837.9	845.2	787.6	823.5	
1.781	803.8	779.1	765.2	782.7		
อุณหภูมิบรรยากาศ		28.2	28.2	28.2	28.2	
	0.075	360.5	343.5	361.6	355.2	ไอเสีย
	0.225	417.9	400.4	378.2	398.8	
	0.375	494.1	481.5	451.0	475.5	
	0.525	481.3	468.5	437.6	462.4	
	0.675	480.3	467.1	437.0	461.4	
	0.825	479.7	474.4	435.7	463.2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.8	1.031	154.3	159.8	163.8	159.3	
	1.181	385.7	297.5	315.8	333.0	
	1.331	650.5	608.3	576.7	611.8	
	1.481	697.3	689.5	643.9	676.9	
	1.631	701.2	700.7	647.1	683.0	
	1.781	685.3	673.0	632.1	663.4	
อุณหภูมิบรรยากาศ		28.6	28.6	28.6	28.6	
I	0.075	520.2	488.7	446.9	485.1	ไอเสีย
	0.225	371.2	332.4	309.3	337.6	
	0.375	451.7	439.4	416.5	435.8	
	0.525	437.4	416.7	389.7	414.6	
	0.675	462.6	436.1	410.3	436.3	
	0.825	683.1	487.3	438.0	536.1	
	1.031	308.1	262.7	230.7	267.1	
	1.181	288.0	254.7	229.6	257.4	
	1.331	433.5	388.7	351.6	391.2	
	1.481	591.4	533.9	486.7	537.3	
	1.631	702.4	691.9	650.6	681.6	
1.781	652.1	645.5	604.8	634.1		
อุณหภูมิบรรยากาศ		26.5	26.7	26.5	26.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 13

อัตราการป้อนเกลป : 0.3 kg/min Primary Air : 100% Date :

อัตราส่วนสมมูล: 0.9 Secondary Air: 0% Time:

ระยะชัก (r/R)	ตำแหน่งของ เทอร์โมคัปเปิล (m.)	เวลาที่ใช้ในการทดลอง			อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	หมายเหตุ
		3 นาที	6 นาที	9 นาที		
		อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ(°C)		
0.0	0.075	609.0	607.9	604.9	607.0	ไอเสีย
	0.225	708.0	705.0	693.2	702.0	
	0.375	725.3	724.7	709.6	719.4	
	0.525	753.3	748.6	729.4	742.4	
	0.675	772.0	763.9	737.5	757.3	
	0.825	788.2	780.2	742.5	784.1	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	890.0	891.0	889.0	890.0	
1.781	893.2	907.7	891.7	897.0		
อุณหภูมิบรรยากาศ		28.2	27.4	27.2	27.4	
0.2	0.075	563.6	551.0	562.7	588.7	ไอเสีย
	0.225	650.8	693.6	652.3	647.7	
	0.375	660.3	654.1	666.9	658.7	
	0.525	672.8	667.4	684.5	674.3	
	0.675	674.7	669.4	688.7	677.0	
	0.825	678.8	677.6	706.0	677.5	
	1.031	-	-	-	-	
	1.181	-	-	-	-	
	1.331	-	-	-	-	
	1.481	-	-	-	-	
	1.631	852.0	834.9	833.7	839.7	
1.781	847.7	829.1	819.1	831.7		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิบรรยากาศ		28.9	27.8	27.5	28.0	
0.4	0.075	575.3	589.2	622.2	595.6	ไอเสีย
	0.225	645.2	657.5	691.6	664.7	
	0.375	657.8	669.0	706.0	686.6	
	0.525	664.5	673.4	712.2	683.4	
	0.675	653.5	659.2	696.8	669.3	
	0.825	631.6	639.7	661.8	644.4	
	1.031	266.9	254.3	269.2	326.3	
	1.181	212.0	210.8	216.8	212.7	
	1.331	737.2	737.1	737.3	737.2	
	1.481	748.2	750.2	736.6	745.0	
	1.631	827.1	832.1	866.8	841.7	
1.781	820.5	831.3	867.8	839.3		
อุณหภูมิบรรยากาศ		28.0	27.3	28.6	28.0	
0.6	0.075	633.3	603.9	656.4	644.8	ไอเสีย
	0.225	662.5	639.7	674.5	668.0	
	0.375	692.1	663.5	701.5	685.7	
	0.525	693.2	659.9	696.2	692.7	
	0.675	668.1	638.2	666.2	667.1	
	0.825	632.8	613.9	636.8	634.8	
	1.031	238.1	215.2	200.5	217.7	
	1.181	213.3	240.8	225.4	226.0	
	1.331	728.5	728.5	728.6	728.5	
	1.481	726.0	727.2	726.3	726.5	
	1.631	845.1	812.2	824.6	818.5	
1.781	862.1	819.2	826.1	822.5		
อุณหภูมิบรรยากาศ		26.8	27.1	27.2	27.1	
	0.075	666.2	624.5	576.2	622.0	ไอเสีย
	0.225	539.8	518.8	494.7	517.7	
	0.375	669.9	634.5	603.2	635.3	
	0.525	628.9	594.8	563.2	595.0	
	0.675	604.9	575.2	546.8	575.7	
	0.825	592.5	568.2	546.5	568.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.8	1.031	201.9	201.7	198.5	200.0	
	1.181	395.2	324.8	279.8	332.7	
	1.331	545.8	504.5	462.4	505.4	
	1.481	713.0	713.9	712.1	713.0	
	1.631	832.1	801.3	796.4	809.7	
	1.781	771.1	733.4	713.9	739.0	
อุณหภูมิบรรยากาศ		27.3	27.1	27.1	27.2	
1	0.075	514.3	470.2	423.0	469.2	ไอเสียบ
	0.225	370.7	342.4	319.9	343.7	
	0.375	497.2	445.4	415.5	446.3	
	0.525	414.6	380.6	354.0	382.7	
	0.675	420.5	388.6	361.9	389.7	
	0.825	399.0	368.8	342.6	369.7	
	1.031	281.5	284.4	281.0	282.0	
	1.181	424.4	358.4	327.5	369.7	
	1.331	465.4	475.3	459.8	466.0	
	1.481	631.7	584.1	539.8	584.7	
1.631	613.0	564.1	525.8	567.3		
1.781	589.0	549.0	512.8	550.0		
อุณหภูมิบรรยากาศ		27.0	27.0	27.0	27.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้