

การออกแบบ สร้างและทดสอบหัวเผา
ที่ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง



นาย เศรษฐการ เศรษฐการุณย์

ศูนย์วิทยพัทยาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

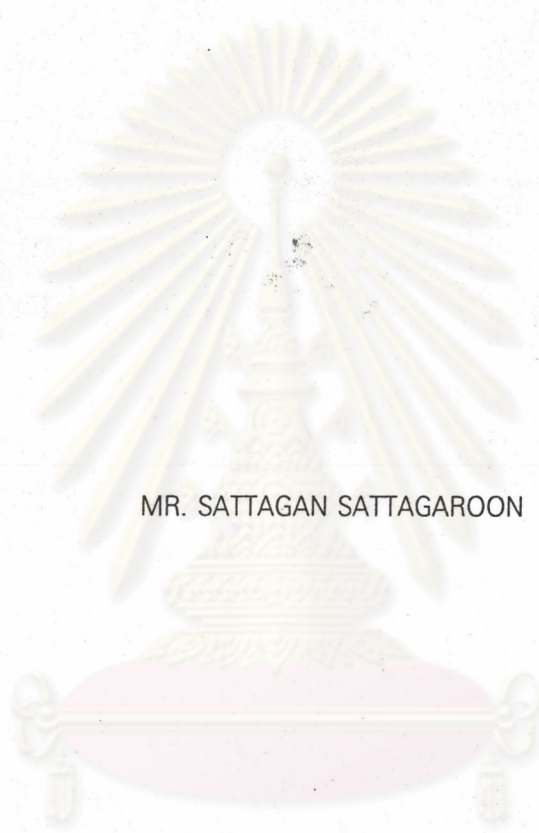
พ.ศ. 2539

ISBN 974 - 634 - 030 - 1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16844415

DESIGN , CONSTRUCTION AND TESTING OF A BURNER FUELED
BY CASSAVA FLOUR



MR. SATTAGAN SATTAGAROON

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirments

for the degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974 - 634 - 030 - 1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : การออกแบบ สร้างและทดสอบหัวเผาที่ใช้แก๊งมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

โดย : นาย เศรษฐกร เศรษฐการุณย์

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. กุลธร ศิลปบรรเลง

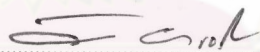


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ วงสุวรรณ)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



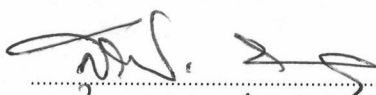
.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. กุลธร ศิลปบรรเลง)



.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ คุณวุฒิ ดำรงค์พลาสีทธิ)



.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ บุญยวานิชกุล)



พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

เศรษฐกร เศรษฐกรณย์ : การออกแบบ สร้างและทดสอบหัวเผาที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง
(DESIGN , CONSTRUCTION AND TESTING OF A BURNER FUELED BY CASSAVA FLOUR)

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร. กุลธร ศิลปบรรเลง , 166 หน้า ISBN 974-634-030-1

วิทยานิพนธ์นี้ มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อ อุณหภูมิของเปลวไฟความเร็วของการเผาไหม้และ ปริมาณก๊าซเสียที่ได้จากการเผาไหม้แป้งมันสำปะหลัง ตัวแปรที่ใช้ควบคุมและปรับค่าเพื่อการทดลองได้แก่ การควบคุมปริมาณเชื้อเพลิง(แป้งมันสำปะหลัง) กับ อากาศส่วนที่หนึ่ง (primary air) ให้คงที่และปรับปริมาณอากาศส่วนที่สอง (secondary air) ในการทดลองจะทดลองกับหัวเผา 2 แบบ คือหัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) และหัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner) (หัวเผาแบบนี้จะมีใบเกลียวอยู่ที่ผนังด้านในของหัวเผาเพื่อนำให้ secondary air เกิดการหมุนวน (swirl) เพื่อให้เปลวไฟที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง(แป้งมันสำปะหลัง) และอากาศเกิดการหมุนวนเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีขึ้น โดยทดลองกับท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) 3 ขนาดคือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 76.2 , 89 และ 101.6 มม.

ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้ จากการทดลองพบว่าที่ค่าอัตราส่วนสมมูล (equivalence ratio) 1.65-1.75 จะได้ค่าของอุณหภูมิ , ค่าความเร็วของการเผาไหม้จะสูงสุด และปริมาณก๊าซเสียที่ได้ในช่วงอัตราส่วนสมมูลนี้จะน้อยที่สุด เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ที่สุด สำหรับรูปแบบของหัวเผาพบว่าเมื่อใช้ premixed burner จะดีกว่า diffusion burner คือ premixed burner จะได้อุณหภูมิและค่าความเร็วของการเผาไหม้สูงกว่า diffusion burner ในช่วงอัตราส่วนสมมูลตั้งแต่ 1.7 ขึ้นไป premixed burner จะมีการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์กว่า diffusion burner และจากการทดลองใช้ท่อทางออกของเปลวไฟ (burner nozzle) 3 ขนาดคือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 76.2 , 89 และ 101.6 มม. พบว่า burner nozzle ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 89 มม. จะให้อุณหภูมิและค่าความเร็วของการเผาไหม้สูงสุด

การทดลองนี้อาจจะมีความคลาดเคลื่อนบ้างเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการทำการทดลอง การวัดปริมาณแป้งมันสำปะหลังอาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสเกลที่ใช้ในการวัดปริมาณของแป้งมันสำปะหลังนั้นค่อนข้างหยาบ ความดันของ air compressor ที่ใช้ส่งอากาศส่วนที่หนึ่ง (primary air) นั้นมีการเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อย จึงมีผลให้อัตราการไหลของ primary air และแป้งมันสำปะหลังไม่สม่ำเสมอบ้าง สำหรับการทดลองวัดปริมาณก๊าซเสียเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ค่อนข้างหยาบและไม่รัดกุมมากนัก จึงทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการวัดปริมาณก๊าซเสียเช่นกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C615963 MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: DESIGN / CONSTRUCTION / BURNER / CASSAVA FLOUR
SATTAGAN SATTAGARON : DESIGN , CONSTRUCTION AND TESTING OF A
BURNER FUELED BY CASSAVA FLOUR. THESIS ADVISOR :
ASSO. PROF. KULTHORN SILAPABANLENG, Ph.D. 166 pp. ISBN 974-634-030-1

The objective of this thesis is to examine the impact of two variables on flame temperature , burning velocity and volume of flue gas from a pulverized cassava flour combustion . The first variable is stabilizing the mass flow rate of pulverized cassava flour and the primary air . The second variable is varying the volume of the secondary air . Two types of burner , premixed burner and diffusion burner , were tested in this study . A guide vane installed inside the wall of diffusion burner is designed to swirl the secondary air to make better combustion and flame stabilisation . Three different sizes of burner nozzles (76.2 , 89.0 and 101.6 mm. diameter) were also tested.

It was found that the equivalence ratio at 1.65-1.75 yielded not only the highest flame temperature and burning velocity , but also the minimum volume of flue gas . This resulted in the improved combustion process. The result of the experiment shows that the premixed burner operated more efficiently than did the diffusion burner . That is , The premixed burner gave higher flame temperature and burning velocity . At the equivalence ratio of 1.7 or more , the combustion from the premixed burner is better than that from the diffusion burner . The test of different sizes of burner nozzle reveals that the 89 mm diameter burner nozzle resulted in the highest flame temperature and velocity

Some errors due to the tools and equipments used in the experiment may be found in this study . Calibrating the pulverized cassava flour may have some small mistake since the weighting scale is quite large . The varying of pressure of compressed air were not constant at all times and hence may result in small discontinuous flows of both primary air and pulverized cassava flour. Some Errors in analysing the flue gas were also acknowledged .



ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา..... 2538

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. กุลธร ศิลปบรรเลง ที่ท่านได้กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา และให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ เกี่ยวกับการดำเนินงานและในการแก้ปัญหาอย่างมาก ตลอดเวลาในการทำวิจัย จนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอระลึกถึงความกรุณาของรองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ ที่ได้กรุณาแนะนำด้านการออกแบบอุปกรณ์บางส่วน ของหัวเผาที่ใช้แ่งมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง รองศาสตราจารย์ คุณวุฒิ ดำรงค์พลาสิทธิ ที่ได้กรุณาแนะนำ ซึ่แนะข้อมูลในการทดลอง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ นุณยวานิชกุล ที่ได้กรุณาแนะนำ ให้คำปรึกษา ซึ่แนะนำการทำการทดลอง อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำการวิจัยในครั้งนี้ พร้อมกันนี้ ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำการทดลอง นาย ฉัตร ถนอมงาม ผู้ซึ่งได้อำนวยความช่วยเหลือด้านการสร้างอุปกรณ์

อนึ่ง ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้เป็นกำลังใจและสนับสนุนช่วยเหลือทุกสิ่งอันเป็นผลให้งานวิจัยสำเร็จด้วยดีมา ณ ที่นี้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 สาเหตุและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	9
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	9
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	10
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	11
2.1 ทฤษฎีการเผาไหม้ (Combustion theory).....	11
2.1.1 อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิง.....	12
2.1.2 เชื้อเพลิง.....	16
2.1.3 ตัวประกอบที่มีอิทธิพลต่อการเผาไหม้.....	20
2.1.4 ขอบเขตการเกิดเปลวไฟ.....	20
2.1.5 ส่วนประกอบและปริมาณของอากาศเสีย.....	23
2.1.6 การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง.....	24
2.1.7 ตัวประกอบในการเผาไหม้ที่มีผลต่อการสูญเสียความร้อน.....	26
2.1.8 สาเหตุที่การเผาไหม้ไม่ค่อยจะสมบูรณ์.....	26
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับเปลวไฟ.....	27
บทที่ 3 การออกแบบ.....	31
3.1 หัวเผา (Burner).....	31
3.2 ท่อทางออกของเปลวไฟ (Burner Nozzle).....	32
3.3 เวนจูรี (Venturi).....	32
3.4 Hopper.....	33

บทที่ 4 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	43
4.1 ชุดส่งเชื้อเพลิงและอากาศส่วนที่หนึ่ง (primary air).....	43
4.2 อุปกรณ์สำหรับส่งอากาศส่วนที่สอง (secondary air).....	43
4.3 อุปกรณ์การวัด.....	43
บทที่ 5 วิธีการทดลอง.....	48
5.1 การทดลองหาค่าอุณหภูมิของเปลวไฟที่ค่าอัตราส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner).....	48
5.2 การทดลองหาค่าอุณหภูมิของเปลวไฟที่ค่าอัตราส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner).....	48
5.3 การทดลองหาค่าความยาวของเปลวไฟ เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความเร็วของ การเผาไหม้ ที่ค่าอัตราส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner).....	50
5.4 การทดลองหาค่าความยาวของเปลวไฟ เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความเร็วของ การเผาไหม้ ที่ค่าอัตราส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner).....	50
5.5 การทดลองหาปริมาณก๊าซ O ₂ , CO ₂ , NO , CO และซีเอ็น _x ที่เกิดจากการเผาไหม้ ที่ค่าอัตราส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner).....	51
5.6 การทดลองหาปริมาณก๊าซ O ₂ , CO ₂ , NO , CO และซีเอ็น _x ที่เกิดจากการเผาไหม้ ที่ค่าอัตราส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner).....	51
บทที่ 6 ผลการทดลอง.....	53
6.1 ผลการทดลองหาค่าอุณหภูมิของเปลวไฟที่ค่าอัตราส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้ หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) ใช้ burner nozzle ขนาด \varnothing 76.2 , 89 และ 101.6 มม.....	53
6.2 ผลการทดลองหาค่าอุณหภูมิของเปลวไฟที่ค่าอัตราส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้ หัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner) ใช้ burner nozzle ขนาด \varnothing 76.2 , 89 และ 101.6 มม.....	53
6.3 ผลการเปรียบเทียบผลของระยะจากปลาย burner nozzle ที่มีต่ออุณหภูมิเปลวไฟ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) , burner nozzle ขนาด \varnothing 89 มม.....	53
6.4 ผลการเปรียบเทียบ ผลของระยะจากปลาย burner nozzle ที่มีต่ออุณหภูมิเปลวไฟ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner) , burner nozzle ขนาด \varnothing 89 มม.....	54
6.5 ผลของชนิดของหัวเผาที่ต่ออุณหภูมิเปลวไฟ โดยใช้ burner nozzle ขนาด \varnothing 89 มม. วัดอุณหภูมิที่ระยะ 10 ซม.จากปลาย burner nozzle.....	54
6.6 ผลการทดลองหาค่าความยาวของเปลวไฟ ที่ค่าอัตราส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้ หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) , burner nozzle ขนาด \varnothing 76.2 , 89 และ 101.6 มม.....	54
6.7 ผลการทดลองหาค่าความยาวของเปลวไฟ ที่ค่าอัตราส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้ หัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner) , burner nozzle ขนาด \varnothing 76.2 , 89 และ 101.6 มม.....	54
6.8 ผลการเปรียบเทียบผลของชนิดของหัวเผาที่มีต่อค่าความเร็วของการเผาไหม้ โดยใช้ burner nozzle ขนาด \varnothing 89 มม.....	55

6.9 ช่วงขอบเขตการติดไฟของหัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) ใช้ burner nozzle ขนาด \varnothing 76.2 , 89 และ 101.6.....	55
6.10 ช่วงขอบเขตการติดไฟของหัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner) ใช้ burner nozzle ขนาด \varnothing 76.2 , 89 และ 101.6.....	55
6.11 เปรียบเทียบขอบเขตการติดไฟของหัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) และ แบบที่ 2 (diffusion burner) , burner nozzle ขนาด \varnothing 89 มม.....	55
6.12 ผลการทดลองหาปริมาณก๊าซ O_2 , CO_2 , NO , CO และซีเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ ที่ค่าอัตราส่วนผสมต่างๆ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) burner nozzle ขนาด \varnothing 76.2 และ 89 มม.....	56
6.13 ผลการเปรียบเทียบค่าความเร็วของการเผาไหม้กับอุณหภูมิเปลวไฟ , ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณซีเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) , burner nozzle ขนาด \varnothing 76.2 และ 89 มม.....	56
บทที่ 7 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง.....	91
7.1 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	91
7.2 เปรียบเทียบผลการทดลอง.....	98
7.3 สรุปผลการทดลอง.....	102
7.4 ข้อเสนอแนะ.....	105
รายการอ้างอิง.....	106
ภาคผนวก ก.....	108
ภาคผนวก ข.....	117
ประวัติผู้เขียน.....	166

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงส่วนประกอบของผงบั้งมันสำปะหลัง.....	14
ข.1-ข.12 แสดงผลการวัดอุณหภูมิของเปลวไฟ ที่ใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) burner nozzle ขนาด \varnothing 76.2 , 89 และ 101.6 มม. , จุดที่วัดอุณหภูมิมีระยะ 10 และ 15 ซม.จากปลาย burner nozzle.....	118
ข.13-ข.24 แสดงผลการวัดอุณหภูมิของเปลวไฟ ที่ใช้หัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner) burner nozzle ขนาด \varnothing 76.2 , 89 และ 101.6 มม. , จุดที่วัดอุณหภูมิมีระยะ 10 และ 15 ซม.จากปลาย burner nozzle.....	130
ข.25-ข.30 แสดงผลการวัดความยาวของเปลวไฟและผลการคำนวณความเร็วของการเผาไหม้ ใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) , burner nozzle ขนาด \varnothing 76.2 , 89 และ 101.6 มม.....	142
ข.31-ข.36 แสดงผลการวัดความยาวของเปลวไฟและผลการคำนวณความเร็วของการเผาไหม้ ใช้หัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner) , burner nozzle ขนาด \varnothing 76.2 , 89 และ 101.6 มม.....	148
ข.37-ข.42 แสดงผลการวัดปริมาณก๊าซ O_2 , CO_2 , NO , CO และซีเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ ใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) , burner nozzle ขนาด \varnothing 76.2 , 89 และ 101.6 มม.....	154
ข.43-ข.48 แสดงผลการวัดปริมาณก๊าซ O_2 , CO_2 , NO , CO และซีเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ ใช้หัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner) , burner nozzle ขนาด \varnothing 76.2 , 89 และ 101.6 มม.....	160

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1	แสดงชุดทดลองห้องเผาไหม้แบบไซโคลนของ ประจักษ์ จิตรีพิพิธ.....3
1.2	แสดงลักษณะของการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ค่าอัตราส่วนผสม (ϕ) 1.5.....5
1.3	แสดงอุปกรณ์ทดลองเตาไซโคลนของ สมนึก อภินันท์มงคล.....7
2.1	แสดงลักษณะของท่อเวนจูรี.....28
2.2	ลักษณะการใช้งานโรตารีวาล์ว.....28
2.3	สกรูคอนเวเยอร์สำหรับการจ่ายวัสดุในระบบความดัน.....29
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความดันของลม ลักษณะการไหลของวัสดุในท่อและระยะทางขนถ่าย.....29
2.5	ลักษณะการไหลของวัสดุในท่อ.....30
2.6	ลักษณะใบเกลียวในหัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner).....30
3.1	หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner).....34
3.2	หัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner).....35
3.3	Burner Nozzle ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 76.2 มม.....36
3.4	Burner Nozzle ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 89 มม.....37
3.5	ท่อเวนจูรี (Venturi).....38
3.6	Hopper สำหรับบรรจุผงแป้งมันสำปะหลัง.....39
3.7	แสดงขนาดของอุปกรณ์ทดลองหัวเผาที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง.....40
3.8	แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์ทดลองหัวเผาที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง.....41
3.9	หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner).....42
3.10	หัวเผาแบบที่ 2 (diffusion burner).....43
4.1	ชุดเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple).....46
4.2	อุปกรณ์วิเคราะห์ก๊าซและถังพักก๊าซ.....46
4.3	พัดลมส่งอากาศส่วนที่สอง (secondary air).....47
4.4	แสดงหัวเผาที่ใช้ผงแป้งมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง.....47
6.1-6.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมกับอุณหภูมิของเปลวไฟ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) และแบบที่ 2 (diffusion burner) วัดอุณหภูมิที่ระยะ 10 และ 15 ซม. จากปลาย burner nozzle , ใช้ burner nozzle ขนาด ϕ 76.2 , 89 และ 101.6 มม.....57
6.6-6.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมกับความยาวของเปลวไฟ และความเร็วของการเผาไหม้ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) และ แบบที่ 2 (diffusion burner) burner nozzle ขนาด ϕ 76.2 , 89 และ 101.6 มม.....62

6.12-6.14 แสดงช่วงขอบเขตการติดไฟ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) และแบบที่ 2 (diffusion burner) ,ใช้ burner nozzle ขนาด \varnothing 76.2 , 89 และ 101.6 มม.....	68
6.15-6.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสมมูลกับปริมาณก๊าซ O_2 , CO_2 , NO , CO และ ปริมาณซีเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) burner nozzle ขนาด \varnothing 76.2 และ 89 มม.....	71
6.23-6.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสมมูลกับความเร็วของการเผาไหม้และอัตราส่วนสมมูลกับอุณหภูมิเปลวไฟ , ปริมาณก๊าซ O_2 และ CO_2 และ ปริมาณซีเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ โดยใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) , burner nozzle ขนาด \varnothing 76.2 และ 89 มม.....	79
6.29-6.40 แสดงลักษณะของเปลวไฟที่ค่าอัตราส่วนสมมูลต่างๆ (ϕ) โดยใช้หัวเผาแบบที่ 1 (premixed burner) และใช้ burner nozzle ขนาด \varnothing 89 มม.....	85



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ



- A - พื้นที่หน้าตัดของท่อ , (cm^2)
- A_f - พื้นที่ผิวของกรวย , (cm^2)
- A_0 - ปริมาณอากาศที่ใช้ทั้งหมด , (dm^3)
- A/F_{theo} - อัตราส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงทางเชิงทฤษฎี
- A/F_{actual} - อัตราส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงจริง
- c - ปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิง , (g)
- C - สัมประสิทธิ์อัตราการใช้
- C_p - ค่าความจุความร้อนจำเพาะของก๊าซที่ความดันคงที่ , (kJ/kmol.K)
- D - เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ , (mm.)
- E - พลังงานที่เปลี่ยนแปลง , (J)
- G - ปริมาณอากาศเสีย , ($\text{Nm}^3 \text{ air} / \text{kg fuel}$)
- g - ค่าคงที่เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก , (m/s^2)
- H - ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง , (kcal/kg)
- h - ปริมาณไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง , (g)
- h_{fg} - ค่าความร้อนแฝงของการระเหยหรือค่า ความร้อนแฝงของการควบแน่นของไอน้ำ , (kJ / kg)
- L - ความร้อนสูญเสีย , (kJ/ kgfuel)
- L_1 - ความร้อนสูญเสียที่เกิดจากน้ำในเชื้อเพลิง , ($\text{kJ} / \text{kg fuel}$)
- L_2 - ความร้อนสูญเสียที่เกิดจากการรวมตัวของไฮโดรเจนและออกซิเจน , ($\text{kJ} / \text{kg fuel}$)
- m - มวลของของไหล , (Kg)
- n - ปริมาณไนโตรเจนในเชื้อเพลิง , (g)
- r - รัศมีของท่อ , (mm.)
- Re - ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์
- RH - ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ , (%)
- s - ปริมาณซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิง , (g)
- Su - ความเร็วของการเผาไหม้ , (cm/s)
- Um - ความเร็วเฉลี่ยของการไหลในท่อ , (cm/s)
- V - ความเร็วของของไหล , (m/s)
- V_f - อัตราการใช้ของปริมาตร ของส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศที่ยังไม่เผาไหม้ , (cm^3/s)
- w - ปริมาณน้ำในเชื้อเพลิง , (g)
- ϕ - ค่าอัตราส่วนสมมูล
- μ - ค่าความหนืดของอากาศ , (kg/m.hr)
- \varnothing - เส้นผ่าศูนย์กลาง , (mm.)

ρ - ความหนาแน่นของของไหล , (Kg/m^3)

θ - อุณหภูมิ , (K)

β - Beta Ratio

ตัวห้อยท้าย (Subscript)

a - อากาศ

f - เชื้อเพลิง

S - ทางทฤษฎี

theo - ทางทฤษฎี

actual - จากการทดลองจริง

R - จากการทดลองจริง

w - น้ำ

W - ผนังของหัวเผา



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย