ผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเตาผลิตก๊าซจากไม้แบบอากาศไหลลง

นายพิเชษฐ์ ขุมทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2528

ISBN 974-564-583-4

009157

I16673908

EFFECTS OF VARIOUS PARAMETERS ON GAS PRODUCTION FROM A DOWN DRAUGHT WOOD GASIFIER

MR. PISHADE KHUMSUPT

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Chemical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1985

ISBN 974-564-583-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเตาผลิตก๊าซจากไม้แบบอากาศไหลลง
โดย	นายพิเชษฐ์ ขุมทรัพย์
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพัฒน์ อรรถยุกติ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ พูลพร แสงบางปลา)

..... กรรมการ

(นาย รัชทิน ศยามานนท์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเตาผลิตก๊าซจากไม้แบบอากาศไหลลง

ชื่อนิสิต นายพิเชษฐ์ ขุมทรัพย์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2527

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาตัวแปรต่างที่มีต่อการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง มี ผลของอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง ผลของการเติมน้ำ ผลของการเปลี่ยนปริมาตรบรรจุถ่าน ผลของการเปลี่ยนขนาดไม้ และผลของการเปลี่ยนอุณหภูมิ โดยใช้เตาผลิตก๊าซ (Gasifier) แบบเชื้อเพลิงเลื่อนตกขณะเผา (Moving Bed) ระบบลมในเตาวิ่งลง (Down Draught) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเตาผลิตก๊าซ 26 เซนติเมตร มีคอคอด (Throat) เส้นผ่าศูนย์กลาง 14 และ 18 เซนติเมตร โดยใช้ไม้เชื้อเพลิงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 0.5, 1.0 และ 1.5 นิ้ว ในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง โดยให้อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงขาออกตั้งแต่ 3 ถึง 43 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง อัตราการเติมน้ำตั้งแต่ 53 ถึง 160 มิลลิลิตรต่อนาที ระยะจากแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอคอด 2, 5, 10 และ 20 เซนติเมตร

ในช่องอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงที่กล่าวมา เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงจะทำให้อุณหภูมิของเตาเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเผาไหม้เร็วขึ้น ซึ่งมีอิทธิพลทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น แต่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลง สำหรับก๊าซมีเทนการเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น

การเพิ่มขึ้นของระยะจากแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอคอดจะทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น แต่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลง เนื่องจากเพิ่มบริเวณที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Zone) ส่วนความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซมีเทนจะไม่ได้รับอิทธิพลเนื่องจากการเพิ่มระยะของแผ่นตะแกรง

การเพิ่มขนาดของไม้เชื้อเพลิงที่เผา จะมีผลทำให้ความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ เปลี่ยน

แปลงน้อยมาก การเพิ่มอัตราการเติมน้ำ จะมีผลทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงเท่านั้น

ปริมาณการใช้ก๊าซออกซิเจนที่เผาเพื่อผลิตก๊าซเชื้อเพลิง โดยเทียบกับคาร์บอนในไม้ 1 โมล จะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง หรือเพิ่มระยะจากแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิครงคอคอด แต่จะไม่ได้รับอิทธิพลจากการเพิ่มขนาดวัสดุไม้ที่ใช้เผาและการเพิ่มอัตราการเติมน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title	Effect of Various Parameters on Gas Production from a Down Draught Gasifier
Name	Mr.Pishade Khumsupt
Thesis Advisor	Assistant Professor Piyasan Praserthdam, Dr.Ing.
Department	Chemical Engineering
Academic Year	1984

ABSTRACT

The effect of various parameters on gas production such as flow rates of producer gas, rates of water feed, volumes of char container, sizes of wood and temperatures, was studied in a down draught moving bed with 26 centimetres inside diameter gasifier with throat of 14 and 18 centimetres diameter. Producer gas was produced from wood sizes of $(0.5)^3$, $(1.0)^3$ and $(1.5)^3$ cubic inches. We studied the effect of volumetric flow rates of producer gas from 3 to 43 cubic metres per hour and rates of water feed between 53 to 160 millilitres per minute at the lengths from char-perforate plate to thermocouple at throat of 2, 5, 10 and 20 centimetres

It was found that the temperature of the gasifier increased remarkably with increases in volumetric flow rates of producer gas because of increasing in combustion rate. It increased carbon monoxide and hydrogen concentration but decreased carbon dioxide concentration with methane concentration unaffected

Increasing the distances between char-perforate plate and thermocouple at the throat increasdthe carbon monoxide concentration but decreased the carbon dioxide concentration because of increases in reduction zone. However, hydrogen and methane concentrations were unaffected

The amounts of oxygen, used in the gasification process based on one mole of carbon in wood, was decrease by increasing the volumetric flow rates Of producer gas or increasing the distances between char-perforate plate and thermocouple at throat but increases in sizes of wood and rates of water feed were not affected

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ผศ.ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยและการสร้างเครื่องมือทดลอง ขอขอบคุณ ผศ.ดร.วรพัฒน์ อรรถยุกต์ ที่ให้คำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ และขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานในภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลอง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ฉ

กิตติกรรมประกาศ ช

สารบัญตาราง ฌ

สารบัญภาพ ฑ

คำอธิบายสัญญลักษณ์ ด

บทที่ .

1. บทนำ 1

1.1 สารชีวมวลคืออะไร..... 1

1.2 คุณสมบัติทางเคมีของสารชีวมวล..... 1

1.3 การแบ่งประเภทของสารชีวมวล..... 2

2. พลังงานจากไม้ 5

2.1 ความต้องการพลังงานจากไม้..... 5

2.2 แหล่งพลังงานจากเศษไม้..... 6

2.2.1 การทำไม้..... 6

2.2.2 การปลูกสร้างสวนป่า..... 6

2.2.3 การแปรรูปในไม้ในโรงเลื่อย..... 6

2.2.4 การสังเคราะห์การทำสวนยาง..... 6

2.3 การปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงจากไม้..... 7

2.3.1 การเก็บรักษา และการลดความชื้นในไม้ฟืน..... 7

2.3.2 การทำฟืนแท่งอัด..... 7

2.3.3 การทำถ่านไม้..... 8

2.4 การพัฒนาการแปรรูปพลังงานจากไม้ในปัจจุบัน..... 8

2.4.1 การพัฒนาเชื้อเพลองแข็ง..... 8

2.4.2 การพัฒนาเชื้อเพลิงเหลว..... 9

2.4.3 การพัฒนาก๊าซเชื้อเพลิงจากไม้..... 9

หน้า

2.5 กระบวนการทางเคมีของการพัฒนาการแปรรูปพลังงานจากไม้..... 10
2.5.1 การเผาไหม้โดยตรง..... 10
2.5.2 การเกิดก๊าซเชื้อเพลิง..... 10
2.5.3 การกลั่นทำลายไม้..... 10
2.5.4 การหมัก..... 10
2.5.5 การหมักแบบไม่ใช้ก๊าซออกซิเจน..... 11
3. ความรู้ทั่วไปของกาซซิฟิเคชัน 12
3.1 ประวัติการค้นคว้า และการพัฒนาทางก๊าซซิฟิเคชั่น..... 12
3.1.1 การพัฒนาด้านทฤษฎีทางเคมี..... 12
3.1.2 การพัฒนาด้านเตาผลิตก๊าซ ระบบทำความสะอาด.....
และการใช้งานกับเครื่องยนต์..... 14
3.2 แบบต่างๆของเตาปฏิกรณ์ผลิตก๊าซเชื้อเพลิง..... 15
3.2.1 เตาปฏิกรณ์แบบเชื้อเพลิง หรือวัตถุดิบเลื่อนขณะเผา..... 16
3.2.2 เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด..... 17
3.2.3 เตาปฏิกรณ์แบบเอนเทรนด์โฟลว์..... 20
3.2.4 เตาปฏิกรณ์แบบโมลเทนมีเดีย..... 20
3.3 ลักษณะ และชนิดต่างๆของกาซซิฟิเคชัน..... 20
3.3.1 กาซซิฟิเคชันทั่วไป..... 21
3.3.2 กาซซิฟิเคชันที่ใช้ไอน้ำ..... 21
3.3.3 กาซซิฟิเคชันที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจน..... 21
3.4 กระบวนการต่างๆที่เกี่ยวข้องในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง..... 21
3.4.1 บริเวณที่เกิดการเผาไหม้..... 22
3.4.2 บริเวณที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน..... 22
3.4.3 บริเวณที่เกิดการกลั่นทำลาย..... 22
3.4.4 บริเวณที่เกิดการอบแห้ง..... 22
3.4.5 บริเวณเก็บกักเถ้าถ่าน..... 22
3.5 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการต่างๆในเตาปฏิกรณ์ 23
4. ปฏิกริยาของการเกิดก๊าซเชื้อเพลิง 25

หน้า

4.1 ปฏิกริยาเคมีหลักของการเกิดก๊าซเชื้อเพลิง..... 25

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิต กับเงื่อนไขต่างๆของเตาผลิตก๊าซ..... 26

4.3 วิธีการเลือกปริมาณการเติมคาร์บอน น้ำ และก๊าซออกซิเจนที่เหมาะสม..... 32

5. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการเกิดเชื้อเพลิง 38

5.1 ขั้นตอนในการเขียนโปรแกรม..... 38

5.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการเกิดก๊าซซิฟิเคชั่นที่จุดสมดุลย์เคมี..... 44

5.3 สัญญลักษณ์ต่างๆที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์..... 45

5.4 ตัวอย่างกราฟจากข้อมูลที่ได้จากการคำนวนด้วยคอมพิวเตอร์..... 47

6. การทดลอง และผลการทดลอง 53

6 1 เครื่องมือ และอุปกรณ์การทดลอง..... 53

6.2 วัสดุทดลอง..... 57

6.3 วิธีการทดลอง..... 58

6.4 ผลการทดลอง..... 61

6.5 การวิเคราะห์การทดลองโดยวิธีสมดุลย์มวลสาร เพื่อหาปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในการเผาเพื่อเกิดก๊าซซิฟิเคชั่น..... 81

6.6 การเปรียบผลการทดลอง กับการคำนวนทางเทอร์โมไดนามิคที่จุดสมดุลย์เคมีโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์..... 96

6.7 สรุปผลการทดลอง..... 101

6.8 ข้อเสนอแนะ..... 102

เอกสารอ้างอิง 104

ภาคผนวก 106

ประวัติผู้เขียน 113

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงสูตรทางเคมีของสารพวกคาร์โบไฮเดรตและลิกนิน.....	2
2.1	แสดงค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไม้.....	7
4.1	แสดงค่าความร้อนของการเกิดปฏิกริยาเคมีต่างๆ.....	28
4.2	แสดงค่าคงที่สมดุลย์ปฏิกริยาเคมีต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	29
5.1	การหาค่าของฟังชั่นทางเทอร์โมไดนามิค.....	40
6.1	แสดงองค์ประกอบ ความชื้น สารระเหย ถ่านคงตัวและเถ้าถ่านในไม้	57
6.2	แสดงชุดการทดลอง	59
6.3	แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงและผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟของการทดลองชุดที่ 1	62
6.4	แสดงผลการทดลองของชุดที่ 2	63
6.5	แสดงผลการทดลองของชุดที่ 3	64
6.6	แสดงผลการทดลองของชุดที่ 4	65
6.7	แสดงผลการทดลองของชุดที่ 5	66
6.8	แสดงผลการทดลองของชุดที่ 6	67
6.9	แสดงผลการทดลองของชุดที่ 7	68
6.10	แสดงผลการทดลองของชุดที่ 8	69
6.11	ผลการคำนวณหาปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในการเผาเพื่อเกิดกาซซิฟิเคชัน ของการทดลองชุดที่ 1	83
6.12	ผลการคำนวณหาปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในการเผาเพื่อเกิดกาซซิฟิเคชัน ของการทดลองชุดที่ 2	84
6.13	ผลการคำนวณหาปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในการเผาเพื่อเกิดกาซซิฟิเคชัน ของการทดลองชุดที่ 3	85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ หน้า

6.14 ผลการคำนวณหาปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในการเผาเพื่อเกิด
กาซซิฟิเคชัน ของการทดลองชุดที่ 4 86
6.15 ผลการคำนวณหาปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในการเผาเพื่อเกิด
กาซซิฟิเคชัน ของการทดลองชุดที่ 5 87
6.16 ผลการคำนวณหาปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิด
กาซซิฟิเคชัน ของการทดลองชุดที่ 6 88
6.17 ผลการคำนวณหาปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิด
กาซซิฟิเคชัน ของการทดลองชุดที่ 7 89
6.18 ผลการคำนวณหาปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิด
กาซซิฟิเคชัน ของการทดลองชุดที่ 8 90
6.19 การเปรียบเทียบผลเปอร์เซ็นต์ของก๊าซต่างๆ ในก๊าซเชื้อเพลิง
จากการทดลอง กับการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิคที่จุดสมดุลย์
เคมีด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ 97

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงการเปลี่ยนสารชีวมวลไปเป็นเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ โดยกระบวนการทางเคมี 11

3.1 เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตา วิ่งขึ้น 17

3.2 เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตา วิ่งลง 17

3.3 เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งในแนวนอน 17

3.4 เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตามีทั้งวิ่งขึ้นและวิ่งลง 17

3.5 เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์โดยใช้ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเตา 18

3.6 เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์โดยใช้ความร้อนจากนอกเตา 18

3.7 เตาปฏิกรณ์แบบ เอนเทรนด์โฟลว์ 19

3.8 เตาปฏิกรณ์แบบ โมลเทนมีเดีย 19

3.9 การเปลี่ยนสารชีวมวลไปเป็นเชื้อเพลิงต่างๆ โดยวิธีทางที่เกี่ยวข้องกับความร้อนโดยตรง 22

4.1 แสดงการเกิดก๊าซเชื้อเพลิงต่างๆ ของการทำปฏิกริยากันระหว่างคาร์บอน ไฮโดรเจน และ ออกซิเจนอะตอม 27

4.2 แผนภาพสามเหลี่ยในแสดงส่วนผสมของคาร์บอนออกซิเจนและไอน้ำในรูปของสัดส่วนโมล 34

4.3 แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงขอบเขตของส่วนผสมคาร์ขอนออกซิเจนและไอน้ำเพื่อเกิดกาซซิฟิเคชัน 34

4.4 เป็นกราฟที่แสดงส่วนผสมของก๊าซต่างๆ ที่เกิดขึ้นที่จุดสมดุลย์เคมี 36

4.5 เป็นกราฟที่แสดงผลของอุณหภูมิและความดันที่มีต่อการเกิดก๊าซต่าง ๆ ... 36

5.1 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการเกิดกาซซิฟิเคชัน 43

รูปที่ หน้า

5.2 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไมลของก๊าซต่างๆ กับอุณหภูมิ จากผลการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิคที่จุดสมดุลย์เคมี ใช้ก๊าซออกซิเจน 0.502 โมล..... 47

5.3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไมลของก๊าซต่างๆ กับอุณหภูมิ คำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้ก๊าซออกซิเจน 0.527 โมล..... 48

5.4 เป็นการเปรียบเทียบผลของการใช้ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ค่าต่างๆ ในการเกิดก๊าซซิฟิเคชัน..... 49

5.5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไมลของก๊าซต่างๆ กับอุณหภูมิ จากผลการคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ไม่มีความชื้นในไม้..... 50

5.6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไมลของก๊าซต่างๆ กับอุณหภูมิ จากผลการคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ความชื้น 22.6% โดยน้ำหนัก..... 51

5.7 การเปรียบเทียบผลของการใช้ปริมาณความชื้นที่ค่าต่างๆ ในการเกิดก๊าซซิฟิเคชัน..... 52

6.1 แผนภาพส่วนประกอบต่างๆ ของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง..... 54

6.2 แสดงส่วนต่างๆ ภายในเตาปฏิกรณ์ผลิตก๊าซเชื้อเพลิง..... 55

6.3 แสดงลักษณะภายในเตาผลิตก๊าซก่อนแก้ไขปรับปรุง..... 60

6.4 แสดงลักษณะภายในเตาผลิตก๊าซหลังแก้ไขปรับปรุง..... 60

6.5 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆ และอุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆ ของเตาผลิตก๊าซกับอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 1..... 70

6.6 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆ และอุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆ ของเตาผลิตก๊าซกับอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 2..... 71

รูปที่ หน้า

6.7 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆ และอุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆ ของเตาผลิตก๊าซกับอัตราของไหลของก๊าซเชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 3 72

6.8 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆ และอุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆ ของเตาผลิตก๊าซกับอัตราของไหลของก๊าซเชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 5 73

6.9 เปรียบเทียบผลการเปลี่ยนระยะจากแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอคอดค่าต่างๆ..... 74

6.10 แสดงลักษณะของอุณหภูมิภายในเตาปฏิกรณ์ของการทดลองจุดที่ 5..... 75

6.11 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆ และอุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆ กับอัตราการเติมน้ำของการทดลองชุดที่ 4..... 76

6.12 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆ และอุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆ ของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงกับก๊าซการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงของการทดลองชุดที่ 6..... 77

6.13 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆ และอุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆ ของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงกับอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงของการทดลองชุดที่ 7..... 78

6.14 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆ และอุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆ ของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงกับอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงของการทดลองชุดที่ 8..... 79

6.15 เปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนขนาดไม้ต่างๆ..... 80

6.16 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิดกาซซิฟิเคชันเทียบกับคาร์บอนหนึ่งโมลกับอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงของการทดลองชุดที่ 1..... 81

6.17 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิดกาซซิฟิเคชันเทียบกับคาร์บอนหนึ่งโมลกับอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงของการทดลองชุดที่ 2 91

รูปที่ หน้า

6.18 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิดกาซซิฟิเคชันเทียบกับคาร์บอนหนึ่งโมลกับอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงของการทดลองชุดที่ 3 92

6.19 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิดกาซซิฟิเคชันเทียบกับคาร์บอนหนึ่งโมลกับอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงของการทดลองชุดที่ 5 92

6.20 เปรียบเทียบผลของการใช้ระยะจากแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอคอดค่าต่างๆ มีต่อปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผา..... 93

6.21 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิดกาซซิฟิเคชันกับอัตราการเติมน้ำของการทดลองชุดที่ 4 93

6.22 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิดกาซซิฟิเคชันกับอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงของการทดลองชุดที่ 6..... 94

6.23 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิดกาซซิฟิเคชันกับอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงของการทดลองชุดที่ 7..... 94

6.24 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิดกาซซิฟิเคชันกับอัตราการไหลของเชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 8..... 95

6.25 เปรียบเทียบผลการเปลี่ยนขนาดไม้ที่มีต่อปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เผา..... 95

6.26 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์โมลของก๊าซต่าง ๆ จากการทดลองกับการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิคที่จุดสมดุลย์เคมี 100

สัญญลักษณ์ต่างๆที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

C = ธาตุคาร์บอน

CH_4 = ก๊าซมีเทน

CO = ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

CO_2 = ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

$C_n(H_2O)_m$ = สูตรทางเคมีทั่วไปของคาร์โบไฮเดรท

CH_xO_y = สูตรทางเคมีทั่วไปอย่างง่ายของไม้

ΔG_i = ค่าพลังงานอิสระของกิบบ์ ของปฏิกิริยาการเกิดก๊าซ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ไอน้ำ และมีเทน (จูล/โมล)

H_i = ค่าความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆของปฏิกิริยา (จูล/โมล)

H_2 = ก๊าซไฮโดรเจน

H_2O = ไอน้ำ

K_1, K_2 = ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาเคมี

K_i = ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาเคมีของการเกิดก๊าซ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ไอน้ำและก๊าซมีเทน

M = ปริมาณความชื้นในไม้ (ร้อยละโดยน้ำหนักไม้แห้ง)

O_2 = ก๊าซออกซิเจน

R = ค่าคงที่ของก๊าซ (8.31441 จูลต่อโมลต่อองศาเคลวิน)

SO_2 = ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

T = อุณหภูมิ (องศาเคลวิน)

T_1, T_2, T_3, T_4 = อุณหภูมิที่จุดวัดที่ 1,2,3,4 ของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง

$Y_{CO_2}, Y_{CO}, Y_{CH_4}, Y_{H_2}, Y_{H_2O}$ = ปริมาณสัดส่วนโมลของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์, คาร์บอนมอนอกไซด์, มีเทน, ไฮโดรเจน, ไอน้ำ