การผลิตก๊าซชีวมวลจากแกลบในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิไดซ์เบด

นายลักษี แล่นสู่ภา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2529

ISBN 974-566-973-3

013464

I 17845269

GASIFICATION OF RICE HULLS IN A DOUBLE FLUIDIZED BED SYSTEM

Mr. Sakkhee Sansupa

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1986

ISBN 974-566-973-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตก๊าซยิวมวลจากแกลบในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิไดซ์เบด
โดย	นายลักษี แล่นสุภา
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. พล ล่าเกทอง
	รองศาสตราจารย์ ดร. วรพัฒน์ อรรถยุกติ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สัรชัย พิศาลบุตร)

รักษาการในตำแหน่งรองคณบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนรักษาการในตำแหน่งคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พล ล่าเกทอง)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ผู้ชาติ บารมี)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การผลิตก๊าซยิวมวลจากแกลบในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิไดซ์เบด

ชื่อนิสิต นายลักษ แล่นลุ่ภา

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. พล ล่าเกทอง

รองศาสตราจารย์ ดร. วรพัฒน์ อรรถยุกติ

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2528

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การผลิตก๊าซยิวมวลจากแกลบในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิไดซ์เบดเป็นงานวิจัยที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตก๊าซยิวมวลจากกระบวนการกาซิฟิเคชัน โดยใช้เครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิไดซ์เบดที่ประกอบด้วยคอลัมน์ฟลูอิไดซ์เบดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สองคอลัมน์เชื่อมต่อกัน

ขั้นตอนของการวิจัยเริ่มด้วยการปรับปรุงเครื่องมือวิจัย ศึกษาระบบการทำงานของส่วนต่าง ๆ พร้อมทั้งแก้ไขดัดแปลงตลอดจนสร้างเครื่องมือบางส่วนเพื่อความเหมาะสมสำหรับงานวิจัย จากนั้นจึงศึกษากระบวนการกาซิฟิเคชันแกลบในเครื่องกำเนิดก๊าซที่ได้ปรับปรุงแล้ว และเก็บข้อมูลการวิจัยโดยมีตัวแปรที่พิจารณาคือ อุณหภูมิของกระบวนการกาซิฟิเคชัน และอัตราการไหลของอากาศ

ในการทดลองแกลบจะถูกป้อนเข้าสู่คอลัมน์ที่ 1 เพื่อเผาไหม้แกลบให้เกิดเป็นก๊าซร้อน และไหลขึ้นสู่คอลัมน์ที่ 2 เพื่อทำปฏิกิริยากาซิฟิเคชันกับแกลบที่ป้อนเข้าสู่คอลัมน์ด้วยระบบสกรู ปฏิกิริยากาซิฟิเคชันเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 650-900 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ และใช้ค่าความเร็วของอากาศ 50.38 ถึง 64.35 ซม./วินาที อนุภาคที่ปนไปกับก๊าซยิวมวลถูกแยกด้วยไซโคลน องค์ประกอบของก๊าซยิวมวลจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สโครมาโตกราฟฟี

ผลการวิจัยพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซยิวมวลในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิไดซ์เบดคือ ที่อุณหภูมิของการทดลอง 850 องศาเซลเซียส และความเร็วของอากาศ

59.70 ซม./วินาที อัตราการป้อนแกลบเข้าคอลัมน์กระบวนการกาซซิฟิเคชัน 1.12 กรัม/ตร.ซม.-นาที ก๊าซชีวมวลมีปริมาณร้อยละโดยปริมาตรของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ 11.65 ก๊าซไฮโดรเจนร้อยละโดยปริมาตร 1.93 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละโดยปริมาตร 7.14 และก๊าซมีเทนร้อยละโดยปริมาตร 0.31 คุณค่าความร้อนของก๊าซชีวมวล 768.47 กิโลแคลอรี/ลบ.ม. ที่สภาวะมาตรฐาน ประสิทธิภาพของกระบวนการกาซซิฟิเคชันเท่ากับร้อยละ 31.20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title	Gasification of Rice Hulls in a Double Fluidized Bed System
Name	Mr. Sakkhee Sansupa
Thesis Advisor	Associate Professor Phol Sagetong Associate Professor Worphat Arthayukti
Department	Chemical Engineering
Academic Year	1985

ABSTRACT

Gasification of rice hulls in a double fluidized bed system was studied. Main point of this work concentrated in studying optimal operating conditions of gasification process in a double fluidized bed with two 150 mm. diameter columns connecting in series.

The design and development of the fluidized bed system were performed and tested. Experiments on gasification were carried out and a number of tests were conducted by varying 2 parameters that were the bed temperature and air flow rate.

On the process, gasification of rice hulls was carried out in a fluidized bed gasifier in the temperature range 650-900 °C and atmospheric pressure. The air velocities were varied from 50.38 to 64.35 cm/sec. Producer gas composition was analized by a gas chromatagraphy.

The result of this work indicated that the optimum operating conditions were obtained with a bed temperature of 850 °C, an air velocity of 59.70 cm/sec, rice hulls feed rate of 1.12 gm/cm^2.min.

The producer gas composition consisted of CO, H_2, CO_2, CH_4 11.65, 1.93, 7.15 and 0.31 percent by volume respectively. The heating value of this gas at standard condition was 768.47 kcal/m^3, Efficiency of gasification was 31.20 percent.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พล ล่ำเกทอง และ รองศาสตราจารย์ ดร.วรพัฒน์ อรรถยุกติ ที่ได้ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านวิชาการเป็นอย่างดี

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ รองศาสตราจารย์ ดร.. ชูชาติ บารมี และอาจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ ที่ได้กรุณาทำหน้าที่เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิค และเพื่อนนิสิตในภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุน จนทำให้งานวิจัยผ่านไปด้วยความเรียบร้อย

ลักขี แล่นลุภา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฐ

คำอธิบายสัญญลักษณ์ ..... ฒ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ลำดับความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้ 5

2. วารสารปริทรรศน์ 6

2.1 แกลบ 6

2.1.1 ผลผลิต 6

2.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ 8

2.1.3 ราคาแกลบ 8

2.1.4 ประโยชน์จากแกลบ 8

2.1.5 การใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง 9

2.2 กระบวนการกาซซิฟิเคชัน 10

2.2.1 นิยาม 10

2.2.2 เครื่องกำเนิดก๊าซชีวมวล 10

2.2.3 ประเภทของกระบวนการกาซซิฟิเคชัน 11

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.2.4 ปฏิกริยาเคมีของกระบวนการกาซ่อีพีเคซัน	12
	2.2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกาซ่อีพีเคซัน	13
	2.3 การเผาไหม้	21
	2.3.1 คำนำ	21
	2.3.2 ปฏิกริยาเคมีของการเผาไหม้	22
	2.3.3 การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง	23
	2.4 ฟลูอิไดซ์เบด	24
	2.4.1 ปรากฏการณ์ฟลูอิไดเซชัน	24
	2.4.2 ความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เบดเกิดฟลูอิไดเซชัน	25
3.	เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	27
	3.1 เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการกาซ่อีพีเคซัน	27
	3.2 เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซออแล่ท	35
	3.3 แก๊สโครมาโตกราฟฟี	35
	3.4 เครื่องมือทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชัน	35
4.	วิธีการทดลอง	37
	4.1 การปรับปรุงเครื่องมือวิจัย	37
	4.2 การหาคุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ	39
	4.3 การหาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดเซชัน	42
	4.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซไอเสียด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซออแล่ท	42
	4.5 วิธีการทดลอง	43
	4.6 สภาวะในการทดลอง	44
5.	ผลการทดลอง	46
	5.1 ผลการทดลองหาคุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ	46
	5.2 ผลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชัน	47

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	5.3 ผลการทดลองการเผาไหม้แกลบในคอลัมน์การเผาไหม้	47
	5.4 ผลการทดลองกระบวนการกาซิฟิเคชันเพื่อผลิตก๊าซชีวมวลจากแกลบ ..	48
6.	การอภิปรายผลการทดลอง	64
	6.1 ผลการทดลองคุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ	64
	6.2 ผลการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชัน	65
	6.3 ผลการทดลองการเผาไหม้แกลบ	66
	6.4 ผลการทดลองกระบวนการกาซิฟิเคชัน	67
7.	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	75
	7.1 สรุปงานวิจัยการผลิตก๊าซชีวมวลจากแกลบในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิไดซ์เบด	75
	7.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย	76
บรรณานุกรม		78
ภาคผนวก		81
ประวัติผู้เขียน		123

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ข้าวรวม (นาปีและนาปรัง) : เนื้อที่ผลผลิต ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ปีเพาะปลูก 2517/18 - 2526/27	7
2-2	คุณสมบัติทางกายภาพของแกลบในประเทศ	8
3-1	แสดงรายละเอียดของหมายเลขต่าง ๆ ที่ปรากฏในรูปที่ 3.1	29
4-1	แสดงสภาวะที่กำหนดขึ้นในการทดลองผลิตก๊าซชีวมวลจากแกลบในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิไดซ์เบด	45
5-1	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ	46
5-2	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแกลบ	47
5-3	แสดงผลการทดลองการเผาไหม้แกลบที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในคอลัมน์การเผาไหม้	48
5-4	ผลการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ 0.533 ลบ.ม./นาที	51
5-5	ผลการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ 0.567 ลบ.ม./นาที	52
5-6	ผลการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ 0.633 ลบ.ม./นาที	53
5-7	ผลการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ 0.683 ลบ.ม./นาที	54
5-8	แสดงปริมาณร้อยละก๊าซออกซิเจนที่มากเกินพอ	63
6-1	การเปรียบเทียบผลการทดลองคุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ	64
6-2	ค่าคงที่สมดุลย์ของปฏิกิริยา	68

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2-1	กระบวนการกาซซีพีเคชันของแกลบในฟลูอิไดซ์เบดโดย Xu et al.	16
2-2	แสดงระบบทั้งหมดของการทดลองกระบวนการกาซซีพีเคชันของ Sakoda และคณะ	17
2-3	การทดลองผลิตก๊าซชีวมวลจากไม้โดย Coovattanachai	18
2-4	กระบวนการกลั่นล่ายแกลบของ Pitakarnnop	19
2-5	การทดลองกระบวนการกาซซีพีเคชันแกลบในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิไดซ์เบดแบบ double stage	20
2-6	กระบวนการกาซซีพีเคชันของชีวมวลในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิไดซ์เบด	21
2-7	แสดงลักษณะปรากฏการณ์ฟลูอิไดซ์ชนิดต่าง ๆ ของอนุภาคของแข็งด้วยของไหล	25
3-1	แสดงระบบทั้งหมดของการทดลองการผลิตก๊าซชีวมวลจากแกลบในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิไดซ์เบด	28
3-2	แสดงรายละเอียดของไซโคลนและแผ่นกระจายลม	32
3-3	แสดงระบบป้อนแกลบเข้าสู่คอลัมน์	33
3-4	แสดงระบบนำเถ้าออกจากคอลัมน์กาซซีพีเคชัน	34
3-5	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซออแสท	36
5-1	แสดงการหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชัน	49
5-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของระดับน้ำในมาโนมิเตอร์กับอัตราการไหลของอากาศ	50
5-3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์	55
5-4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์	56
5-5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5-6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	58
5-7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณร้อยละของก๊าซไฮโดรเจน	59
5-8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับปริมาณร้อยละของก๊าซไฮโดรเจน	60
5-9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณร้อยละของก๊าซมีเทน	61
5-10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับปริมาณร้อยละของก๊าซมีเทน	62
6-1	แสดงแผนภาพของสภาวะก๊าซชีวมวล-ถ่านลุก-น้ำมันดิน	70
6-2	แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของกระบวนการกาซีฟิเคชันกับอุณหภูมิภายในเบด	73

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญญลักษณ์

A_C = พื้นที่หน้าตัดของท่อ , ตร.ซม.

C_{pm} = ค่าความจุความร้อนเฉลี่ย , แคลอรี/กรัม-โมล °ซ

D_p = เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค , ซม.

d_p = เส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเทียบเท่า , ซม.

E_m = สัดส่วนช่องว่างของเบดคงที่ , ไม่มีหน่วย

E_{mf} = สัดส่วนช่องว่างของเบดในขณะเริ่มเกิดฟลูอิไดเซชัน , ไม่มีหน่วย

g = อัตราเร่งจากแรงดึงดูดของโลก (981 ซม./วินาที^{2})

g_c = ค่าแฟกเตอร์แปลงฝัน (981 กรัม-ซม/(กรัม-น้ำหนัก) (วินาที)^2)

ΔH = เอนทาลปี , กิโลแคลอรี

K = อุณหภูมิองศาเคลวิล

k = ค่าคงที่สมดุลย์

L_m = ความสูงของเบดคงที่ , ซม.

L_{mf} = ความสูงของเบดในขณะเริ่มเกิดฟลูอิไดเซชัน , ซม.

n = จำนวนกรัม-โมล , กรัม-โมล

P_1 = ความดันของอากาศที่อุณหภูมิใด ๆ , บรรยากาศ

P_2 = ความดันของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน , บรรยากาศ

ΔP = ความแตกต่างของความดัน , กรัม-น้ำหนัก/ตร.ซม.

R_{ep} = เลขเรย์โนลด์ , ไม่มีหน่วย

T_1 = อุณหภูมิของอากาศ , องศาเคลวิล

T_2 = อุณหภูมิของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน , องศาเคลวิล

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิ , องศาเคลวิล

U_o = ความเร็วของของไหลที่ผ่านเบด , ซม./วินาที

U_{mf} = ความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชัน , ซม./วินาที

V_1 = ปริมาตรของอากาศ , ลิตร

V_2 = ปริมาตรของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน , ลิตร

W = น้ำหนักของอนุภาค , กรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

μ = ความหนืดของก๊าซ , กรัม/ซม.วินาที

ρ_g = ความหนาแน่นของอากาศ , กรัม/ลบ.ซม.

ρ_s = ความหนาแน่นของอนุภาค , กรัม/ลบ.ซม.

ϕ_s = ความเป็นทรงกลมเทียบเท่า , ไม่มีหน่วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย