การเผาไหม้แกลบในฟลูอิไดซ์เบด

นางสาวศศิวิมล สูงสว่าง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเคมีเทคนิค
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2526

ISBN 974-562-149-8

011268
i17429791

COMBUSTION OF RICE HULLS IN FLUIDIZED BED

Miss Sasiwimon Soongswang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1983

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเผาไหม้แกลบในฟลูอิไดซ์เบด
โดย	นางสาวศศิมล สูงสว่าง
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.พล สาเกทอง

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูชาติ บารมี)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พล สาเกทอง)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพันธ์ อรรถยุติ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุต)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเผาไหม้แกลบในฟลูอิไดซ์เบด
ชื่อนิสิต	นางสาวศศิวิมล สูงสว่าง
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.พล สาเกทอง
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา	2525

บทคัดย่อ

เทคนิคทางฟลูอิไดซ์เบดเป็นวิธีที่มีผู้นำมาพัฒนาเตาเผาที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง เนื่องจากฟลูอิไดซ์เบดมีข้อดีในแง่ของการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารซึ่งเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ในงานวิจัยนี้เป็นการเผาไหม้แกลบในเตาเผาแบบฟลูอิไดซ์เบด เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการเผาไหม้ที่ทำให้ได้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มทุน อันจะเป็นประโยชน์ต่อเทคโนโลยีในการเปลี่ยนแปลงแกลบที่เหลือใช้ซึ่งมีอยู่เป็นปริมาณมากประมาณ 5 ล้านตันต่อปี ให้เป็นพลังงานความร้อนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ขั้นตอนของการวิจัยนั้นเริ่มต้นด้วยการสร้างเครื่องมือวิจัย ศึกษาการทำงานและกลไกการทำงานของเครื่องมือวิจัยเตาเผาไหม้แบบฟลูอิไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง จากนั้นเก็บข้อมูลการวิจัยโดยมีตัวแปรที่พิจารณาคือ อัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิของการเผาไหม้ เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของความร้อนที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมของการเผาไหม้แกลบในฟลูอิไดซ์เบด

ในการทดลองมีการแปรความเร็วของอากาศจาก 20.62 เมตรต่อนาที ถึง 45.67 เมตรต่อนาที และอุณหภูมิของการเผาไหม้จาก 500 ถึง 800 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเผาไหม้แกลบในฟลูอิไดซ์เบด คือที่ความเร็วของอากาศ 32.77 เมตรต่อนาที และอุณหภูมิของการเผาไหม้ประมาณ 700 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการคำนวณจะให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ร้อยละ 96.91 โดยมีอัตราการป้อนแกลบ 3.05 กิโลกรัมต่อชั่วโมง นอกจากนั้นได้มีการเปรียบเทียบเถ้าแกลบที่ได้จากการเผาไหม้ตามวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันกับเถ้าแกลบที่ได้จากการเผาไหม้ในฟลูอิไดซ์เบด พบว่าประสิทธิภาพของการเผาไหม้โดยฟลูอิไดซ์เบดจะสูงกว่าประมาณร้อยละ 47-53

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title	Combustion of Rice Hulls in Fluidized Bed
Name	Miss Sasiwimon Soongswang
Thesis Advisor	Associate Professor Phol Sagetong Ph.D.
Department	Chemical Technology
Academic Year	1982

ABSTRACT

A fluidization technique was used in the development of a solid fuel combustor in order to take advantage of homogeneity of heat and mass transfer in such techniques. This work deals with the combustion of Thai rice hulls in such a fluidized bed combustor in order to study the optimal operating conditions with regards to conversion efficiency and economics, leading to the eventual utilization of such technology to convert the estimated 5 million tons of largely unused rice hulls into heat energy.

In this study the design and construction of a small scale continuous fluidized bed combustor was made after which mechanical and operational difficulties were encountered and solved. The combustor operating parameters studied were air flow rates and combustion temperatures in order to get a relation between these two variables and the best condition for combustion of rice hulls.

In this study air flow rates were varied from 20.62 m/min to 45.76 m/min and the combustion temperature were varied from 500°c to 800°c.

The results indicate that the best conditions for combustion of rice hulls in a fluidized bed are an air velocity of 32.77 m/min and a 700°c combustion temperature. The combustion efficiency was calculated a96.91 percent at a rice hull feed rate of 3.05 kg/hr. Ash from combustion using this technique was compared with ash from conventional combustion. The result shown that about 47-53 percent more effective.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.พล สาเกทอง ที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือทางด้านวิชาการเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณต่อ รองศาสตราจารย์ ดร. ชูชาติ บารมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรพัฒน์ อรรถยุติ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุต ที่ได้กรุณาทำหน้าที่เป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิค ที่ได้ช่วยเหลืองานบางอย่างดีตลอดมา ทำให้งานดำเนินไปได้อย่างมีอุปสรรคไม่มากนักและสำเร็จลงด้วยดี

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ที่ได้ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือจนทำให้งานผ่านไปด้วยความเรียบร้อย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

รายการตารางประกอบ ..... ฎ

รายการรูปประกอบ ..... ฐ

สัญญลักษณ์ที่ใช้ ..... ฒ

บทที่

1 บทนำ 1

2 วารสารปริทรรศน์ 3

2.1 ความเป็นมาของการเผาไหม้ในฟลูอิไดซ์เบด 3

2.2 แกลบ 5

2.2.1 ผลผลิต 5

2.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ 7

2.2.3 การใช้ประโยชน์ 7

2.2.4 ราคา 7

2.3 ทฤษฎีการเผาไหม้ 8

2.3.1 การเผาไหม้ 8

2.3.2 ปฏิกิริยาเคมี 8

2.3.3 การผสม 9

2.3.4 การติดไฟหรือการลุกไหม้ 10

2.3.5 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง 11

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.3.6 อุณหภูมิ	11
	2.3.7 การปั่นป่วน	12
	2.3.8 เวลา	13
	2.4 ฟลูอิไดซ์เบด	13
	2.4.1 ลักษณะโดยทั่วไปของฟลูอิไดซ์เบด	13
	2.4.2 การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดของ ๆ ไหลที่ทำให้เบดเกิดฟลูอิไดเซชัน	14
	2.4.3 ความแตกต่างของความดันของฟลูอิไดซ์เบด	17
	2.4.4 ข้อดีและข้อเสียของฟลูอิไดเซชัน	18
3	เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	20
	3.1 เครื่องมือที่ใช้ในขบวนการเผาไหม้	20
	3.1.1 เครื่องวัดความเร็วของอากาศ	20
	3.1.2 ฟลูอิไดซ์เบดคอลัมน์	23
	3.1.3 ไซโคลน	23
	3.1.4 ระบบการป้อนวัตถุดิบ	25
	3.1.5 เครื่องวัดและเครื่องควบคุมอุณหภูมิ	25
	3.2 บอมบ์แคลอริมิเตอร์	25
	3.3 เครื่องมือออแสท	26
4	วิธีการทดลอง	30
	4.1 สร้างและปรับปรุงเครื่องมือวิจัย	30
	4.2 การหาคุณสมบัติทางกายภาพของเบด	31
	4.3 การเผาไหม้แกลบในฟลูอิไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง	34

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
5	ผลการทดลอง	37
	5.1 ผลของการหาคุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ	37
	5.2 การหาความเร็วต่ำสุดของฟลูอิไดเซชัน	37
	5.3 ผลของการทดลองทำการเผาไหม้	37
6	วิจารณ์ผลการทดลอง	48
	6.1 คุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ	48
	6.2 ผลของการทดลองทำการเผาไหม้แกลบ	49
	6.2.1 เถ้า	49
	6.2.2 อัตราการไหลของอากาศ	51
	6.2.3 อุณหภูมิของการเผาไหม้	54
	6.2.4 อัตราร้อยละของอากาศเกินพอ	56
	6.2.5 ประสิทธิภาพของการเผาไหม้	59
7	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง		64
ภาคผนวก		67
ประวัติ		94

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
2-1	เนื้อที่เพาะปลูกข้าวและปริมาณผลผลิต.....	6
4-1	แสดงสภาวะในการเผาไหม้ของการทดลอง.....	36
5-1	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ.....	38
5-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศ ความเร็วของอากาศกับความสูงของเบด.....	40
5-3	ผลจากการเผาไหม้แกลบของการทดลองที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 500 องศาเซลเซียส.....	41
5-4	ผลจากการเผาไหม้แกลบของการทดลองที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 600 องศาเซลเซียส.....	42
5-5	ผลจากการเผาไหม้แกลบของการทดลองที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 700 องศาเซลเซียส.....	43
5-6	ผลจากการเผาไหม้แกลบของการทดลองที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 800 องศาเซลเซียส.....	44

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2-1	ลักษณะต่าง ๆ ของฟลูอิไดซ์เบด.....	15
2-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของความดันกับอัตราเร็วของอากาศ.....	17
3-1	แสดงแผนภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	21
3-2	แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์การทดลอง.....	22
3-3	แสดงรายละเอียดต่าง ๆ ของฟลูอิไดซ์เบดคอลัมน์.....	24
3-4	แสดงรายละเอียดของไซโคลน.....	26
3-5	เครื่องป้อนวัตถุดิบ.....	27
3-6	บอมบ์แคลอริมิเตอร์.....	28
3-7	เครื่องวิเคราะห์ไอเสียแบบออแสท.....	29
5-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับความแตกต่างของความดันของเบดที่มีความสูงต่าง ๆ กัน.....	39
5-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของการเผาไหม้กับความเร็วของอากาศที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ต่าง ๆ.....	45
5-3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอากาศที่มากเกินพอกับความเร็วของอากาศที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ต่าง ๆ.....	46
5-4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของอากาศที่มากเกินพอกับประสิทธิภาพของการเผาไหม้ที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ต่าง ๆ.	47
6-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอากาศกับปริมาณเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ต่าง ๆ.....	50
6-2	แสดงการเกิดปฏิกิริยาโดยทั่วไปของการเผาไหม้ของของแข็ง.	53

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6–3	แสดงการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ของของแข็งในฟลูอิไดซ์เบด	53
6–4	แสดงความสำคัญของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ผิวของเชื้อเพลิงในสภาวะการไหลของอากาศปานกลาง.....	55
6–5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอากาศที่มากเกินพอกับปริมาณของคาร์บอนน้อกไซด์ที่อุณหภูมิการเผาไหม้ต่าง ๆ	57
6–6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนมอนน้อกไซด์กับปริมาณอากาศเกินพอ.....	58
6–7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่สูญเสียทั้งหมดกับปริมาณอากาศเกินพอ.....	60

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญลักษณ์ที่ใช้

A_c = พื้นที่ภาคตัดขวางของคอลัมน์, ซม.^{2}

C_p = ความจุความร้อน, แคลอรี/กรัม–โมล องศาเคลวิล

d_p = เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเทียบเท่า, เมตร

e_1 = ความถูกต้องของปริมาณความร้อนของการรวมตัวของกรดไนตริก, แคลอรี

e_2 = ความถูกต้องสำหรับการรวมตัวของกรดซัลฟุริก, แคลอรี

e_3 = ความถูกต้องของปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ของขดลวด, แคลอรี

ϵ = สัดส่วนของช่องว่าง, ไม่มีหน่วย

ϵ_m = สัดส่วนของช่องว่างของเบดนิ่ง, ไม่มีหน่วย

ϵ_{mf} = สัดส่วนของช่องว่างต่อนต่ำสุดของฟลูอิไดซ์ ไม่มีหน่วย

g = อัตราเร่งจากแรงดึงดูดของโลก (980 ซม./วินาที^{2})

g_c = 980 กรัม–ซม./กรัม–น้ำหนัก วินาที^{2} (gravitational factor)

ρ = ความหนาแน่นของของไหล, กรัม/ซม.^{3}

ρ_s = ความหนาแน่นของของแข็ง, กรัม/ซม.^{3} หรือ กิโลกรัม/ม^3

ρ_g = ความหนาแน่นของก๊าซ, กรัม/ซม.^{3}

h = ความสูงของเบด, ซม.

ΔH = เอนทาลปี, แคลอรี

H_g = ปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ของตัวอย่าง, แคลอรี/กรัม

L_m = ความสูงของเบดนิ่ง, ซม.

L_{mf}	=	ความสูงของเบดในขณะที่มีความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดฟลูอิไดเซชัน, ซม.
m	=	น้ำหนักของตัวอย่าง, กรัม
n	=	จำนวนกรัม-โมล
P_1	=	ความดันของอากาศที่อุณหภูมิอ้างอิง, นิ้วของปรอท
P_2	=	ความดันของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน, นิ้วของปรอท
ΔP	=	ความแตกต่างของความดัน, นิ้วของปรอท
Q	=	อัตราการไหลของอากาศ, $ม^3$/นาที
ϕ_s	=	ความเป็นทรงกลมเทียบเท่าของอนุภาค, ไม่มีหน่วย
ΔT	=	ความแตกต่างของอุณหภูมิ, องศาเซลเซียส
t	=	อุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้าย, องศาเซลเซียส
T_1	=	อุณหภูมิของอากาศที่อุณหภูมิอ้างอิง, องศาเคลวิล
T_2	=	อุณหภูมิของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน, องศาเคลวิล
U_o	=	ความเร็วของ ๆ ไหลที่ผ่านเบดที่เป็นของแข็ง, ซม./วินาที
U_{mf}	=	ความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดเซชัน, ซม./วินาที หรือ ม./นาที
μ	=	ความหนืดของก๊าซ, กรัม/ซม.วินาที
V_1	=	ปริมาตรของอากาศที่อุณหภูมิอ้างอิง, ลิตร/นาที
V_2	=	ปริมาตรของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน, ลิตร/นาที
w	=	ปริมาณความร้อนเทียบเท่าของบอมบ์แคลอริมิเตอร์, แคลอรี/องศาเซลเซียส
W	=	น้ำหนักตัวอย่าง, กรัม