การเผาไหม้หินน้ำมันอย่างต่อเนื่องในฟลูอิไดซ์เบด

นางสาวศิริกุล วงศ์ประกรณ์กุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2530

ISBN 974-567-704-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

012793

i 10297340

CONTINUOUS FLUIDIZED BED COMBUSTION OF OIL SHALE

Miss Sirikul Wongprakornkul

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1987

ISBN 974-567-704-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเผาไหม้หินน้ำมันอย่างต่อเนื่องในฟลูอิไดซ์เบด
โดย	นางสาวศิริกุล วงศ์ประกรณ์กุล
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.พล ล่าเกทอง
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

_____ คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ตำรงค์เลิศ)

_____ กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พล ล่าเกทอง)

_____ กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ)

_____ กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพัฒน์ อรรถยุกติ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเผาไหม้หินน้ำมันอย่างต่อเนื่องในฟลูอิไดซ์เบด
ชื่อนิสิต	นางสาวศิริกุล วงศ์ประกรณ์กุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.พล ล่ำเกทอง
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา	2529

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

หินน้ำมันเป็นเชื้อเพลิงธรรมชาติอย่างหนึ่งที่น่าสนใจ และยังไม่ค่อยได้รับการพัฒนานำมาใช้ให้เป็นประโยชน์เท่าใดนัก อีกทั้งยังมีอยู่เป็นปริมาณมากพอควร งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการเผาไหม้หินน้ำมันอย่างต่อเนื่องในฟลูอิไดซ์เบด เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง จะได้นำพลังงานความร้อนไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ในงานวิจัยนี้ทำการเผาไหม้หินน้ำมันในฟลูอิไดซ์เบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ความสูง 178 เซนติเมตร มีตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิของการเผาไหม้ 600, 650, 700, 750, และ 800 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศตั้งแต่ 1.2-2.5 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชัน หรือ 132.0-393.2 ซม./วินาที ขนาดของหินน้ำมันที่ใช้คือ ขนาดเล็กกว่า 1 มม., ขนาด 1-2 มม., และขนาด 1-3 มม. และเนื่องจากหินน้ำมันมีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างจากเชื้อเพลิงประเภทอื่น ๆ คือ มีความแข็งสูงและมีเถ้าสูง เพราะฉะนั้นลักษณะการเผาไหม้หินน้ำมันในฟลูอิไดซ์เบดจึงแตกต่างจากเชื้อเพลิงประเภทอื่น ๆ เช่น แกลบ เป็นต้น

ผลการทดลองนี้พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเผาไหม้หินน้ำมันอย่างต่อเนื่องในฟลูอิไดซ์เบดคือ สำหรับขนาด 1-3 มม. อัตราเร็วของอากาศ 393.2 ซม./วินาที อัตราการป้อนหินน้ำมัน 10.88 กิโลกรัม/ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงสุดร้อยละ 95.0 อุณหภูมิของเบด 750 องศาเซลเซียส สำหรับขนาด 1-2 มม. อัตราเร็วของอากาศเท่ากับ

379.0 ซม./วินาที อัตราการป้อนหินน้ำมัน 10.22 กิโลกรัม/ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงสุดร้อยละ 91.13 อุณหภูมิของเบด 750 องศาเซลเซียส และสำหรับเล็กกว่า 1 มม. อัตราเร็วของอากาศ 176.0 ซม./วินาที อัตราการป้อนหินน้ำมัน 1380 กิโลกรัม/ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงสุดร้อยละ 96.73 อุณหภูมิของเบด 750 องศาเซลเซียสเช่นกัน

อนึ่งในการทดลองนี้ยังได้สร้างระบบควบคุมอัตราการเผาไหม้ของอนุภาคภายในคอลัมน์โดยการปรับความสูงของเบดภายในคอลัมน์ให้คงที่อยู่ตลอดเวลาด้วย

Thesis Title	Continuous fluidized bed Combustion of Oil Shale
Name	Miss Sirikul Wongprakornkul
Thesis Advisor	Associate Professor Phol Sagetong, Ph.D
Co-Advisor	Associate Professor Kunchana Bunyakiat
Department	Chemical Technology
Academic Year	1986

ABSTRACT

Oil Shale is one of the fossil fuels that has a large reserve in Thailand but has not been developed. The purpose of this thesis is to study the suitable combustion condition in a continuous fluidized bed to achieve maximum combustion efficiency.

The experimental study of Mae Teep oil shale employed a fluidized bed having inside diameter of 20 cm, 178 cm. high. The combustion temperature was varied from 600, 650, 700, 750 to 800°Celsius. The air velocity was 1.2-2.5 times that of minimum fluidizing velocity or 132.0-393.3 cm./sec. Average particle sizes of oil shale employed were less than 1 mm., 1-2 mm. and 1-3 mm. Since oil shale has high ash and is dense, the combustion of this oil shale is different from other solid fuels e.g. rice hulls.

The result shows that the suitable condition for continuous fluidized bed combustion of oil shale was as follows : for 1-3 mm. size, air velocity 393.2 cm./sec., feed rate 10.88 kg/hr, which yielded maximum combustion efficiency at 95.0% at 750°Celsius bed temperature;

for 1-2 mm size, air velocity 378.0 cm./sec., feed rate 10.22 kg/hr, which yielded maximum combustion efficiency at 91.13 % at 750°Celsius bed temperature ; and for less than 1 mm. size air velocity 176.0 cm./sec., feed rate 13.80 kg/hr. which yielded maximum combustion efficiency at 96.73%, also at 750°Celsius bed temperature.

In addition, continuous operation of the bed was attained by introducing a bed height control system which is activated by increase of the pressure drop of the bed.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ ดร.พล ลาเกทอง และ รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือ ทำให้การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคทุก ๆ ท่าน เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดมา เพื่อให้บรรลุถึงจุดมุ่งหมายในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณท่านศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ตำรงค์เลิศ ที่กรุณาให้ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซ และช่วยเหลือแนะนำทำให้บรรลุจุดมุ่งหมายในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ทุนอุดหนุนในการทำวิจัยครั้งนี้ได้รับมาจากบัณฑิตวิทยาลัย และบางส่วนมาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.พล ลาเกทอง จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้มีอุปการคุณทุก ๆ ท่าน ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิจัยเสมอมาตลอดจนจบการศึกษา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

รายการตารางประกอบ ..... ฌ

รายการรูปประกอบ ..... ฑ

สัญญลักษณ์ ..... ด

บทที่

1 บทนำ 1

2 วารสารปริทรรศน์ 3

2.1 หินน้ำมัน 3

2.1.1 การกำเนิดของหินน้ำมันและคำจำกัดความ 3

2.1.2 แหล่งหินน้ำมันในประเทศไทย 5

2.1.3 คุณสมบัติและคุณภาพหินน้ำมันในประเทศไทย 9

2.1.4 แหล่งสำรองของหินน้ำมันของโลก 11

2.1.5 ประโยชน์ของหินน้ำมัน 12

2.2 ฟลูอิไดเซชัน 14

2.2.1 การแบ่งประเภทฟลูอิไดเซชัน 17

2.2.2 ก๊าซฟลูอิไดเซชัน 18

2.2.3 พฤติกรรมต่าง ๆ ของก๊าซฟลูอิไดเซชัน 18

2.3 การเผาไหม้หินน้ำมันในฟลูอิไดซ์เบด 28

2.3.1 จลนศาสตร์การเผาไหม้ของน้ำมันในหินน้ำมัน 30

2.3.2 จลนศาสตร์ของการเผาไหม้ในวัฏภาคก๊าซของหินน้ำมัน 31

2.3.3 ผลของเกรดของหินน้ำมันต่อการเผาไหม้ 32

2.3.4 ผลของความดันย่อยของออกซิเจน 32

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
2	2.3.5 ผลของขนาดอนุภาคหินน้ำมัน	34
	2.3.6 ผลของอัตราเร็วของก๊าซ	36
	2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37
	2.4.1 งานวิจัยของ Mei, J.S. และคณะ	37
	2.4.2 งานวิจยของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตร่วมกับคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	38
3	เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	40
	3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเผาไหม้	40
	3.1.1 ฟลูอิไดซ์เบดคอลัมน์	40
	3.1.2 ไซโคลน	44
	3.1.3 ระบบป้อนวัตถุดิบ	44
	3.1.4 มอเตอร์	45
	3.1.5 เครื่องวัดและเครื่องควบคุมอุณหภูมิ	48
	3.1.6 ระบบทางออกเถ้า	48
	3.1.7 ระบบควบคุมความสูงเบด	48
	3.1.8 เครื่องวัดและเครื่องควบคุมอัตราการไหลของอากาศ	50
	3.2 เครื่องอัดอากาศ	50
	3.3 เครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาตรเป็นร้อยละของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้	51
	3.3.1 เครื่องมือออร์ซัท	51
	3.3.2 เครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	51
	3.3.3 เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซออกซิเจนและก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	52

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	วิธีการทดลอง	55
	4.1 การปรับปรุงเครื่องมือวิจัย	55
	4.2 ขั้นตอนการทำงาน	56
	4.3 การหาคุณสมบัติทางกายภาพของหินน้ำมัน	57
	4.4 การเผาไหม้หินน้ำมันอย่างต่อเนื่องในฟลูอิไดซ์เบด	63
	4.5 สภาวะในการเผาไหม้	64
5	ผลการทดลอง	68
	5.1 ผลของการหาคุณสมบัติทางกายภาพ	68
	5.2 การหาค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชัน	69
	5.3 ผลการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันในฟลูอิไดซ์เบด	69
6	วิจารณ์ผลการทดลอง	104
	6.1 คุณสมบัติทางกายภาพของหินน้ำมัน	104
	6.2 ผลการทดลองการเผาไหม้หินน้ำมัน	104
	6.2.1 อัตราการป้อนหินน้ำมัน	104
	6.2.2 อัตราการไหลของอากาศ	105
	6.2.3 ร้อยละของอากาศมากเกินพอ	106
	6.2.4 อุณหภูมิ	107
	6.2.5 ประสิทธิภาพของการเผาไหม้	107
	6.2.6 เถ้าที่ออกจากคอลัมน์	108
	6.2.7 เถ้าที่ออกจากไซโคลน	109
7	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	110
เอกสารอ้างอิง		112
ภาคผนวก		116
ประวัติผู้เขียน		169

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงคุณสมบัติของหินน้ำมันแม่สอด	10
2.2	คุณสมบัติของหินน้ำมันแหล่งสะสมบ้านป่าค่า อำเภอลี้	11
2.3	แสดงแหล่งสำรองของหินน้ำมันโลก	12
2.4	แสดงการเปรียบเทียบราคาของพลังงานจากแหล่งต่าง ๆ	14
4.1	แสดงอัตราการป้อนหินน้ำมันของหินน้ำมันขนาดเล็กกว่า 1 มม., 1-2 มม., 1-3 มม.....	62
4.2	แสดงสภาวะที่กำหนดให้ในการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันอย่างต่อเนื่องในฟลูอิไดซ์เบดของหินน้ำมันขนาดเล็กกว่า 1 มม.....	65
4.3	แสดงสภาวะที่กำหนดให้ในการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันอย่างต่อเนื่องในฟลูอิไดซ์เบดของหินน้ำมันขนาด 1-2 มม.....	66
4.4	แสดงสภาวะที่กำหนดให้ในการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันอย่างต่อเนื่องในฟลูอิไดซ์เบดของหินน้ำมันขนาด 1-3 มม.....	67
5.1	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของหินน้ำมันจากเหมืองแม่ตีบ.....	68
5.2	ผลการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันขนาด 1-3 มม. ที่อุณหภูมิ 600°ซ	73
5.3	ผลการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันขนาด 1-3 มม. ที่อุณหภูมิ 650°ซ	74
5.4	ผลการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันขนาด 1-3 มม. ที่อุณหภูมิ 700°ซ	75
5.5	ผลการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันขนาด 1-3 มม. ที่อุณหภูมิ 750°ซ	76
5.6	ผลการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันขนาด 1-3 มม. ที่อุณหภูมิ 800°ซ	77
5.7	ผลการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันขนาด 1-2 มม. ที่อุณหภูมิ 600°ซ	79
5.8	ผลการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันขนาด 1-2 มม. ที่อุณหภูมิ 650°ซ	80
5.9	ผลการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันขนาด 1-2 มม. ที่อุณหภูมิ 700°ซ	81
5.10	ผลการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันขนาด 1-2 มม. ที่อุณหภูมิ 750°ซ	82
5.11	ผลการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันขนาด 1-2 มม. ที่อุณหภูมิ 800°ซ	83
5.12	ผลการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันขนาดเล็กกว่า 1 ที่อุณหภูมิ 600°ซ	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.13	ผลการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันขนาดเล็กกว่า 1 มม. ที่อุณหภูมิ 650°ซ	85
5.14	ผลการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันขนาดเล็กกว่า 1 มม. ที่อุณหภูมิ 700°ซ	86
5.15	ผลการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันขนาดเล็กกว่า 1 มม. ที่อุณหภูมิ 750°ซ	87
5.16	ผลการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันขนาดเล็กกว่า 1 มม. ที่อุณหภูมิ 800°ซ	88

สารบัญรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	อัตราการสลายตัวของหินน้ำมันโคโลราโดแสดงในรูปของน้ำหนักที่สูญหายไปเทียบกับอุณหภูมิ	6
2.2	อัตราการสลายตัวของคีโรเจนคิดเป็นร้อยละของคีโรเจนทั้งหมดเทียบกับอุณหภูมิ	6
2.3	แสดงแหล่งหินน้ำมันที่เหมืองแม่ตีบ อำเภองาว จังหวัดลำปาง.....	7
2.4	แสดงแหล่งหินน้ำมันที่เหมืองแม่ตีบ อำเภองาว จังหวัดลำปาง.....	7
2.5	แสดงแผนที่ทางภูมิศาสตร์ของแหล่งแม่สอด	13
2.6	แสดงขั้นตอนการเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิไดเซชันของของแข็ง	16
2.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกกับความเร็วของของไหล	19
2.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกกับความเร็วของของไหลเมื่ออนุภาคมีขนาดแตกต่างกันมาก หรือมีขนาดกระจาย	20
2.9	แสดงผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วต่ำสุดของฟลูอิไดเซชันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคของของแข็ง	25
2.10	แสดงส่วนประกอบของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้เทียบกับเวลา.....	31
2.11	แสดงผลของเวลาของการเผาไหม้และพลังงานที่ใช้เป็นฟังก์ชันกับเกรดของหินน้ำมัน	32
2.12	แสดงผลของความเข้มข้นของออกซิเจนมีผลต่อเวลาของการเผาไหม้และพลังงานที่ใช้ (อากาศถูกเจือจางด้วยก๊าซไนโตรเจน)	33
2.13	แสดงผลของความเข้มข้นของออกซิเจนมีผลต่อเวลาของการเผาไหม้และพลังงานที่ใช้ (อากาศถูกเจือจางด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ...	34
2.14	แสดงผลของเวลาและพลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้เป็นฟังก์ชันกับขนาดอนุภาคของหินน้ำมัน	35
2.15	แสดงผลของเวลาและพลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้เป็นฟังก์ชันกับขนาดอนุภาคของหินน้ำมัน (อุณหภูมิคงที่)	35

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.16	แสดงอัตราเร็วของก๊าซมีผลต่อระยะเวลาการเผาไหม้และพลังงานที่ใช้	36
2.17	แสดงอัตราเร็วของก๊าซมีผลต่อระยะเวลาการเผาไหม้และพลังงานที่ใช้ อุณหภูมิคงที่, 355 °ซ	37
3.1	แสดงการติดตั้งเครื่องมือวิจัยเบื้องต้น และส่วนประกอบของระบบการเผาไหม้หินน้ำมันอย่างต่อเนื่องในฟลูอิไดซ์เบด	41
3.2	แสดงส่วนประกอบของเตาเผาแบบฟลูอิไดซ์เบด	42
3.3	แสดงฟลูอิไดซ์เบดคอลัมน์	43
3.4	ช่องล่อดหัวเผาและดูการเกิดฟลูอิไดเซชัน	45
3.5	กรวยแผ่นกระจายลม	46
3.6	ระบบป้อนวัตถุดิบ	47
3.7	ทางออกเถ้า	49
3.8	ระบบควบคุมความสูงเบด	49
3.9	เครื่องอัดอากาศ	51
3.10	Orsat apparatus	52
3.11	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	53
3.12	เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซออกซิเจน	53
3.13	เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	54
3.14	เครื่องบันทึกอุณหภูมิ	54
4.1	เครื่องมือบดแบบม้อนเหรี่ยง	58
4.2	แสดงขนาดของหินน้ำมันที่ใช้ในการวิจัย	58
4.3	เครื่องบดแบบบอลมิล	59
4.4	Tube Furnace	60
4.5	บอมบ์แคลอริมิเตอร์	61
5.1	แสดงการหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชันของหินน้ำมันขนาด 1-3 มม.	70

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.2	แสดงการหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชันของหินน้ำมันขนาด 1-2 มม.	71
5.3	แสดงการหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชันของหินน้ำมันขนาดเล็กกว่า 1 มม.	72
5.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนหินน้ำมันขนาด 1-3 มม. และความเร็วอากาศ	90
5.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนหินน้ำมันขนาด 1-2 มม. และความเร็วอากาศ	91
5.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนหินน้ำมันขนาดเล็กกว่า 1 มม. และความเร็วอากาศ	92
5.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละประสิทธิภาพของหินน้ำมันขนาด 1-3 มม. และความเร็วอากาศ	94
5.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละประสิทธิภาพของหินน้ำมันขนาด 1-2 มม. และความเร็วอากาศ	95
5.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละประสิทธิภาพของหินน้ำมันขนาดเล็กกว่า 1 มม. และความเร็วอากาศ	96
5.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของปริมาณอากาศมากเกินพอและความเร็วอากาศของหินน้ำมันขนาด 1-3 มม.	98
5.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของปริมาณอากาศมากเกินพอและความเร็วอากาศของหินน้ำมันขนาด 1-2 มม.	99
5.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของปริมาณอากาศมากเกินพอและความเร็วอากาศของหินน้ำมันขนาดเล็กกว่า 1 มม.	100
5.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละประสิทธิภาพการเผาไหม้หินน้ำมันขนาด 1-2 มม. และร้อยละของปริมาณอากาศมากเกินพอ	102
5.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละประสิทธิภาพการเผาไหม้หินน้ำมันขนาดเล็กกว่า 1 มม. และร้อยละของปริมาณอากาศมากเกินพอ	103

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญลักษณ์

A_t = พื้นที่หน้าตัดขวางของหอทดลอง ตารางเซนติเมตร

C_d = สัมประสิทธิของการเลียดทาน

C_p = ความร้อนจำเพาะ กิโลแคลอรี่/กก.°ซ

d_p = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคของแข็ง เซนติเมตร

g = อัตราเร็วที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก ซม./วินาที^{2}

g_c = ค่าคงที่เปลี่ยนหน่วยแรงและน้ำหนัก

L_{mf} = ความสูงของเบดขณะเริ่มเกิดฟลูอิไดซ์เบด ซม.

ΔP = ความดันตก มม.ของน้ำหรือกรัม/ตร.ซม.

R_{ep} = เรย์โนลด์นัมเบอร์ = $\frac{d_p U \rho}{\mu g}$

t = เวลา วินาที

U_{mf} = ความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดซ์เบด ซม./วินาที

U_o = ความเร็วของอากาศ ซม./วินาที

U_t = ความเร็วตกอิสระของอนุภาคในเบดนิ่ง ซม./วินาที

W = น้ำหนักของอนุภาคของของแข็งในเบด กรัม

ϕ_s = แฟคเตอร์รูปร่าง

Σ_m = สัดส่วนช่องว่างของของแข็งขณะเริ่มเกิดฟลูอิไดซ์เบด

μ = ความหนืดของอากาศ กรัม/ลบ.ซม.

ρ_s = ความหนาแน่นของอนุภาคของของแข็ง กรัม/ลบ.ซม.

Σ_{mf} = สัดส่วนช่องว่างของของแข็งขณะเริ่มเกิดฟลูอิไดซ์เบด

ρ_g = ความหนาแน่นของอากาศ กรัม/ลบ.ซม.