อุทกพลศาสตร์ของของผสมที่มีขนาดอนุภาคและความหนาแน่นแตกต่างกัน ในฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน

นางสาวอ้ออำไพ ใจบุญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HYDRODYNAMICS OF MIXTURE WITH DIFFERENT PARTICLE SIZES AND DENSITIES IN CIRCULATING FLUIDIZED BED

Miss Or-ampai Jaiboon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

490619

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อุทกพลศาสตร์ของของผสมที่มีขนาดอนุภาคและความหนาแน่นแตกต่างกันในฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน
โดย	นางสาวอ้ออำไพ ใจบุญ
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชญา นิติวัฒนานนท์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชญา นิติวัฒนานนท์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุต)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

อ้ออำไพ ใจบุญ : อุทกพลศาสตร์ของของผสมที่มีขนาดอนุภาคและความหนาแน่นแตกต่างกันในฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน. (HYDRODYNAMICS OF MIXTURE WITH DIFFERENT PARTICLE SIZES AND DENSITIES IN CIRCULATING FLUIDIZED BED) อ.ที่ปรึกษา: ผศ.ดร.สุชญา นิติวัฒนานนท์, 79 หน้า.

งานวิจัยนี้ทำการทดลองในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของไรเซอร์เท่ากับ 5 และ 400 เซนติเมตร ตามลำดับ ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอุทกพลศาสตร์ของเม็ดแก้วในของผสมระหว่างเม็ดแก้วกับเม็ดพลาสติก HDPE ในไรเซอร์ (ผสมเม็ดพลาสติก HDPE ในปริมาณร้อยละ 5 โดยปริมาตร) โดยเม็ดแก้วมีขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคเท่ากับ 512 ไมครอน และ 2200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และเม็ดพลาสติก HDPE มีรูปทรงเป็นวงรี ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าและความหนาแน่นของอนุภาคเท่ากับ 4477 ไมครอน และ 860 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟลูอิไดซ์ของผสมเท่ากับ 7, 8 และ 9 เมตรต่อวินาที จากการทดลองพบว่ารูปแบบการไหลของเม็ดแก้วภายในไรเซอร์เปลี่ยนจากการขนส่งแบบเบดหนาแน่น เป็นการขนส่งแบบฟลูอิไดเซชันที่ความเร็วสูง เมื่อความเร็วอากาศเพิ่มขึ้น และพบว่าการผสมเม็ดพลาสติกหรืออนุภาคขนาดใหญ่ในเม็ดแก้วทำให้มีการสะสมของเม็ดแก้วบริเวณผนังของไรเซอร์ลดลง และความเร็วของเม็ดแก้วเพิ่มสูงขึ้น สามารถสรุปได้ว่าการผสมเม็ดพลาสติกช่วยให้เม็ดแก้วเคลื่อนที่ภายในอากาศได้ดีขึ้น

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่อนิสิต.....อ้ออำไพ ใจบุญ.....

สาขาวิชา .....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....สุชญา น.....

ปีการศึกษา.....2549.....

4872542523 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: CFB / HYDRODYNAMIC / GLASS BEAD/ HDPE / PARTICLE VELOCITY

OR-AMPAI JAIBOON: HYDRODYNAMICS OF MIXTURE WITH DIFFERENT PARTICLE SIZES AND DENSITIES IN CIRCULATING FLUIDIZED BED. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. SUCHAYA NITIVATANANON, Dr, 79 pp.

This research was conducted in a cold flow circulating fluidized bed (CFB) having diameter and height of riser of 5 and 400 cm., respectively. The objective of this research was to study the hydrodynamics of glass beads and a mixture of glass beads with 6% HDPE (high-density polyethylene). The glass beads having a mean diameter of 512 micron and particle density of 2200 kg/m^3. The HDPE was elliptic shape having equivalent diameter of 4477 micron and particle density of 860 kg/m^3. The superficial gas velocities were used 7, 8 and 9 m/s. The results showed that the flow patterns of glass beads in riser changed from dense phase transport regime into fast fluidization regime when superficial gas velocity increased. The existing of HDPE in the system help decreasing the accumulation of glass beads at riser wall leading to an increase of glass bead velocity. In conclusion the coarse particles in the mixture improved the flow of fine particles in the riser.

Department.....Chemical of Technology..... Student's signature OR-AMPAI

Field of study... Chemical of Technology..... Advisor's signature Suchaya N.

Academic year.....2006.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชญา นิติวัฒนานนท์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำการทำวิจัย ตลอดจนให้ความเห็นเพื่อปรับปรุงแก้ไขการทำวิจัยให้มีความสมบูรณ์ด้วยดียิ่ง รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำ

งานวิจัยเรื่อง "อุทกพลศาสตร์ของของผสมที่มีขนาดอนุภาคและความหนาแน่นแตกต่างกันในฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน" สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับการสนับสนุนจากพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านเชื้อเพลิงภายใต้โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ศูนย์ปิโตรเลียมและเทคโนโลยีปิโตรเคมี และทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุต กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณบุคคลากรภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและให้คำแนะนำต่างๆ ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจจนกระทั่งทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้อยู่เบื้องหลังที่ได้ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ และ ให้การสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูปภาพ..... ญ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 2

1.3 ขอบเขตงานวิจัย..... 3

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

2 วารสารปริทัศน์..... 5

2.1 ฟลูอิไดเซชัน..... 5

2.2 ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน..... 10

2.3 การจำแนกชนิดของของแข็ง..... 19

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 20

3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง..... 24

3.1 เครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน..... 24

3.2 เทคนิค Particle Image Velocimetry (PIV)..... 27

3.3 อนุภาคของแข็งที่ใช้ในการทดลอง..... 29

3.4 วิธีการทดลอง..... 31

บทที่		หน้า
4	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	35
	4.1 อุทกพลศาสตร์ของเม็ดแก้ว	35
	4.2 ผลของอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีต่ออุทกพลศาสตร์ของเม็ดแก้ว	47
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	56
	5.1 สรุปผลการทดลอง	56
	5.2 ข้อเสนอแนะ	57
รายการอ้างอิง		58
ภาคผนวก		61
	ภาคผนวก ก	62
	ภาคผนวก ข	65
	ภาคผนวก ค	69
	ภาคผนวก ง	75
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์		79

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 ช่วงของความเร็วอาการในการเกิดขอบเขตฟลูอิไดเซชันต่างๆ..... 10

3.1 แสดงสมบัติต่างๆ ของของแข็งที่ใช้ในงานวิจัย..... 30

3.2 สภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง..... 31

4.1 การเปรียบเทียบรายละเอียดการทดลองระหว่างงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของ Kim S.H... 54

ก.1 เวลาที่ใช้ในการสะสมเม็ดแก้ว 1 กิโลกรัมบนวาล์วปีกผีเสื้อ ในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ..... 62

ก.2 เวลาที่ใช้ในการสะสมเม็ดแก้ว 1 กิโลกรัมบนวาล์วปีกผีเสื้อในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ-เม็ดพลาสติก..... 63

ก.3 อัตราการหมุนเวียนของเม็ดแก้วในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ..... 64

ก.4 อัตราการหมุนเวียนของของแข็งในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ-เม็ดพลาสติก..... 64

ข.1 ตัวอย่างข้อมูลระยะทางและมุมที่เม็ดแก้วเคลื่อนที่ จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ..... 65

ข.2 ความเร็วของเม็ดแก้วตลอดความสูงของไรเซอร์ที่ความเร็วอากาศต่างๆ ในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ..... 67

ข.3 ความเร็วของเม็ดแก้วตามแนวรัศมีตลอดความสูงของไรเซอร์ในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ..... 67

ข.4 ร้อยละของปริมาณของเม็ดแก้วและความเร็วของเม็ดแก้วในทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้นและลงในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ..... 68

ข.5 ความเร็วของเม็ดแก้วตามแนวรัศมีตลอดความสูงของไรเซอร์ในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ-เม็ดพลาสติก..... 68

ค.1 ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณค่าต่างๆ..... 69

ค.2 โปรแกรมการคำนวณ Sauter mean diameter..... 70

ค.3 ข้อมูลขนาดของเม็ดพลาสติก..... 72

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 รูปแบบการไหลในระบบฟลูอิไดเซชันระหว่างแก๊ส-ของแข็ง..... 6

2.2 ระบบฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน..... 11

2.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของCluster..... 12

2.4 ขอบเขตของ Fast Fluidization..... 14

2.5 แผนผังแสดงขอบเขตการเปลี่ยนแปลงภายในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน และการขนส่งของแข็งภายในไรเซอร์เมื่อลดความเร็วอากาศ..... 15

2.6 การทดลองหา Saturation carrying capacity โดย Bai และ Kato..... 16

2.7 โพรไฟล์การกระจายตัวของสัดส่วนช่องว่างตามแนวแกน..... 18

2.8 สัดส่วนช่องว่างตามแนวรัศมีของระบบ Fast Bed..... 19

2.9 การจำแนกกลุ่มของของแข็งโดยวิธีของ Geldart..... 20

3.1 เครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนที่ใช้ในการทดลอง..... 26

3.2 การเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วบริเวณทางออกที่ไม่สมมาตร และทางออกที่ปรับปรุงในงานวิจัยนี้..... 27

3.3 ตำแหน่งโพรบที่ใช้ในการบันทึกภาพการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วในแนวรัศมี..... 27

3.4 ระบบ PIV..... 28

3.5 ตัวอย่างภาพการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วที่บันทึกได้จากเทคนิค PIV..... 29

3.6 ตัวอย่างของเม็ดแก้วและเม็ดพลาสติกที่ใช้ในงานวิจัย..... 30

3.7 ระบบ PIV ที่มีแผ่นสีประกอบ..... 33

3. 8 ตัวอย่างภาพที่บันทึกได้จากระบบ PIV ที่มีแผ่นสีประกอบ..... 33

4.1 วงจรความดันของเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ ที่ความเร็วอากาศในช่วง 7-9 เมตรต่อวินาที..... 37

4.2 ความดันอากาศตลอดความสูงของไรเซอร์ในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ ที่ความเร็วอากาศในช่วง 7-9 เมตรต่อวินาที..... 40

4.3 สัดส่วนช่องว่างตลอดความสูงของไรเซอร์ ในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ ที่ความเร็วอากาศในช่วง 7-9 เมตรต่อวินาที..... 40

4.4 ความเร็วเม็ดแก้วตลอดความสูงของไรเซอร์ ในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ ที่ความเร็วอากาศในช่วง 7-9 เมตรต่อวินาที..... 42

ภาพประกอบ หน้า

4.5 ความเร็วตามแนวรัศมีของเม็ดแก้วในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ ที่ตำแหน่งความสูง 30, 60,180, 300 และ 370 เซนติเมตรจากตัวกระจายอากาศ ที่ความเร็วอากาศ 9 เมตรต่อวินาที..... 44
4.6 ความเร็วเม็ดแก้วตลอดความสูงไรเซอร์ ที่ตำแหน่งต่างๆ ตามแนวรัศมีในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ ที่ความเร็วอากาศ 9 เมตรต่อวินาที..... 45
4.7 ความเร็วของเม็ดแก้วที่มีทิศทางเคลื่อนที่ขึ้นและลงขึ้น และสัดส่วนของเม็ดแก้วที่มีทิศทางเคลื่อนที่ขึ้น ที่ตำแหน่งความสูง 180 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ ที่ความเร็วอากาศเท่ากับ 9 เมตรต่อวินาที..... 47
4.8 ความดันอากาศตลอดความสูงของไรเซอร์ในระบบเม็ดแก้ว-เม็ดพลาติก –อากาศ ที่ความเร็วอากาศในช่วง 7-9 เมตรต่อวินาที..... 50
4.9 สัดส่วนช่องว่างของอากาศตลอดความสูงของไรเซอร์ของไรเซอร์ในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ -เม็ดพลาสติก ที่ความเร็วอากาศในช่วง 7-9 เมตรต่อวินาที..... 50
4.10 ความเร็วของเม็ดแก้วตลอดความสูงของไรเซอร์ในระบบที่มีและไม่มีการผสมเม็ดพลาสติก (HDPE) 5% โดยปริมาตร ที่บริเวณกึ่งกลางและผนังของท่อไรเซอร์, ความเร็วอากาศ 9 เมตรต่อวินาที 52
4.11 ความเร็วตามแนวรัศมีของเม็ดแก้วในระบบที่มีและไม่มีการผสมเม็ดพลาสติก 5% โดยปริมาตร ที่ตำแหน่งความสูง 5 ตำแหน่ง จากตัวกระจายอากาศ ที่ความเร็วอากาศ 9 เมตรต่อวินาที 53
ข.1 ตำแหน่งของเส้นการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วที่นำมาเป็นตัวอย่าง..... 66
ค.1 ข้อมูลขนาดอนุภาคจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Particle analyzer 70
ง.1 ภาพกระจกที่ใช้ในการปรับเทียบและการลากเส้น..... 76
ง.2 การกำหนดชื่อไฟล์ และการบันทึกไฟล์ของหน่วยที่ได้ปรับเทียบแล้ว..... 76
ง.3 การเปิดแฟ้มภาพพร้อมเลือกทั้งการเลือกฟังก์ชันการปรับเทียบ..... 77
ง.4 การเลือกฟังก์ชันการลากเส้น และการลากเส้น..... 77
ง.5 การส่งข้อมูลไปยัง Excel..... 77
ง.6 ข้อมูลที่แสดงที่ Excel..... 78