436

การสมานตะกอนโดยใช้ฟลูอิไดซ์เบด

นายเสฐียร ศาสนนันทน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-286-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16754974X

FLUIDIZED BED FLOCCULATION

MR. SETTA SADSANANAN

A thesis Submitted in Partical Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-632-286-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสมานตะกอนโดยใช้ฟลูอิไดซ์เบด

โดย นายเสฏฐา ศาสนนันทน์

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระ เกรอต

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(รศ.ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ธีระ เกรอต)

กรรมการ

(ผศ.ดร.ประแสง มงคลศิริ)

กรรมการ

(ผศ.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

เสฏฐา ศาสนนันทน์ : การสมานตะกอนโดยใช้ฟลูอิไดซ์เบด (FLUIDIZED BED FLOCCULATION) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ธีระ เกรอต, 169 หน้า.
ISBN 974-632-286-9

การสมานตะกอนโดยใช้ตัวกลางที่อยู่ในสภาวะเสมือนการไหลในการกำจัดความขุ่น ทำโดยใช้แบบทดลองทำจากพลาสติกใส ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ขนาดของตัวกลางแอนทราไซค์ 0.36 มม., 0.72 มม., 1.44 มม. ค่าการขยายตัวของชั้นตัวกลาง 20%, 30%, 45%, 60%, 75% ปริมาณความเข้มข้นสารส้ม 10, 15, 20, 30 มก./ล. น้ำขุ่นสังเคราะห์ที่ใช้เตรียมจากคาโอลินและน้ำประปา ให้มีความขุ่น 50 NTU สารช่วยรวมตะกอนคือ โพลิเมอร์ประจุลบ ความเข้มข้น 0.30 มก./ล.

พบว่า ตัวกลางขนาดเล็กให้ค่าความขุ่นที่เหลือต่ำกว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงกว่าตัวกลางขนาดใหญ่ ปริมาณความเข้มข้นสารส้มที่เหมาะสมของตัวกลางขนาด 0.72 มม. และ 0.36 มม. คือ 30 มก./ล สำหรับตัวกลางขนาด 1.44 มม. ปริมาณความเข้มข้นสารส้มที่เหมาะสม คือ 20 มก./ล. การเพิ่มการขยายตัวของชั้นตัวกลางทำให้ความขุ่นที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นลดลง พารามิเตอร์ไร้มิติ Gt ของเครื่องสมานตะกอนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.359×10^4 ถึง 0.925×10^4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ..... ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2537 ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C 316839 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD: FLUIDIZED BED/FLOCCULATION
SETTA SADSANANAN : FLUIDIZED BED FLOCCULATION.
THESIS ADVISOR : ASSO.PROF.THEERA KAROT,
Ph.D. 169 PP.ISBN 974-632-286-9

A study about fluidized bed flocculation was completed. By using a laboratory pilot plant, three major parameters studied were investigated as follows, firstly the media size of anthracite media. Including 0.36 mm, 0.72 mm, 1.44 mm, secondly media expansion which varied from 20% to 75% and finally the concentration of alum solution ranged from 10 to 30 mg/l. The 50 NTU raw tubid water was synthesized from kaolinite clay and tab water. The anionic polymer was utilized as a coagulant aid at concentraion of 0.30 mg/l.

The study show that the smaller the media size, the better the turbid removal efficiency. The optimun concentration of alum dose to use for the 0.72 mm and 0.36 mm media is 30 mg/l. For the 1.44 mm. media is 20 mg/l. Expansion of media will decrease the turbid removal efficiency. The dimensionless G*t values varied from 0.359×10^{4} to 0.925×10^{4}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน และ คณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ได้ให้ความรู้แก่ผู้วิจัย และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจและผลักดันให้เกิดผลงาน และขอขอบคุณภรรยาของผู้วิจัยที่คอยดูแลเอาใจใส่ด้านอาหารการกินและ สุขภาพของผู้วิจัย

ท้ายนี้ ผู้วิจัย ขอขอบคุณทุกคนที่มีส่วนร่วมทั้งในทางตรงและทางอ้อม ซึ่งได้แก่ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เจ้าหน้าที่ห้องสมุดภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เจ้าหน้าที่ห้องสมุดสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย เจ้าหน้าที่ห้องสมุดมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญรูป..... ฎ
บทที่
1. บทนำ.....
บทนำ..... 1
วัตถุประสงค์..... 2
ขอบเขตการวิจัย..... 2
2. ทฤษฎีและความคิด..... 3
องค์ประกอบและลักษณะของน้ำขุ่น..... 3
ทฤษฎีของกระบวนการสร้างตะกอน..... 5
ทฤษฎีของการกวนเร็ว..... 6
ทฤษฎีสภาวะคงตัวของคอลลอยด์..... 6
ทฤษฎีสภาวะไม่คงตัวของคอลลอยด์..... 7
กลไกทำลายสภาวะคงตัวของคอลลอยด์..... 9
เคมีของสารส้มในน้ำ..... 11
กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ..... 11
กลไกแบบกวาด..... 13
พารามิเตอร์ควบคุมการกวนเร็ว..... 14
ทฤษฎีของการสมานตะกอน..... 15
การใช้โพลิเมอร์เป็นสารช่วยสร้างตะกอน..... 17
ลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติของฟล็อค..... 20

บทที่ สารบัญ (ต่อ) หน้า

ความเร็วแกรเดียนท์..... 20
สัดส่วนความเข้มสารส้มต่อความเข้มข้น
ของอนุภาคความขุ่น..... 21
การใช้โพลิเมอร์..... 21
สภาวะเสมือนการไหล..... 22
องค์ประกอบที่มีผลต่อสภาวะเสมือนการไหล..... 23
ความเร็วต่ำสุดของการเกิดสภาวะ
เสมือนการไหล..... 24
ความเร็วสุดท้ายของการอยู่ในสภาวะ
เสมือนการไหล..... 26
ตัวกระจายของไหล..... 28
ความสัมพันธ์ของความเร็วการไหลขึ้นและค่าความพรุน
ของชั้นตัวกลางที่ขยายตัว..... 28
การประยุกต์สภาวะเสมือนการไหลกับการสมานตะกอน..... 29
การค้นคว้าที่ผ่านมา..... 31
3. การดำเนินการวิจัย..... 32
แผนการวิจัยและลำดับการทดลอง..... 32
การเตรียมการเบื้องต้น..... 32
การทดลองสมานตะกอน..... 33
ตัวแปร..... 33
ตัวแปรคงที่..... 33
ตัวแปรอิสระ..... 33
ตัวแปรตาม..... 34

บทที่ สารบัญ (ต่อ) หน้า

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 34
น้ำขุ่นสังเคราะห์..... 34
สารเคมี..... 35
ตัวกลาง..... 36
อุปกรณ์การทดลองสมานตะกอน..... 37
อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง..... 40
เครื่องมือวิเคราะห์..... 41
การเดินระบบ..... 42
การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์..... 43
การเก็บตัวอย่าง..... 43
การวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง..... 43
4. ผลการทดลองและวิจารณ์..... 44
การทดลองเบื้องต้น..... 44
อิทธิพลของความเข้มข้นสารส้ม..... 47
ผลของความเป็นเข้มข้นสารส้มต่อความขุ่นที่เหลือ และ
ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น..... 47
อิทธิพลของขนาดตัวกลาง..... 52
ผลของขนาดตัวกลาง ต่อ ค่าความขุ่นที่เหลือ
และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น..... 52
ผลของขนาดตัวกลางต่อความเร็วไหลขึ้น..... 58
ผลของขนาดตัวกลางต่อเวลากักเก็บ..... 62
ผลของขนาดตัวกลางต่อการสูญเสียเฮด..... 65
ผลของขนาดตัวกลางต่อความเร็วแกรดียนท์..... 68
ผลของขนาดตัวกลางต่อ G*t..... 72

บทที่ สารบัญ (ต่อ) หน้า

อิทธิพลของการขยายตัวของชั้นตัวกลาง..... 75
ผลของการขยายตัวของชั้นตัวกลางต่อค่าความชุ่นที่เหลือ
และประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่น..... 75
ความสัมพันธ์ของการขยายตัวของชั้นตัวกลาง
ต่อความเร็วไหลขึ้น..... 80
ผลของการขยายตัวของชั้นตัวกลางต่อเวลากักเก็บ..... 84
ผลของการขยายตัวของชั้นตัวกลางต่อการสูญเสียเฮด... 88
ผลของการขยายตัวของชั้นตัวกลางต่อความเร็วแกรเดียนท์ 92
ผลของการขยายตัวของชั้นตัวกลางต่อ G*t..... 98

5. สรุปผลการทดลอง..... 102
6. ข้อเสนอแนะ..... 106
เอกสารอ้างอิง..... 107
ภาคผนวก ก. 109
ภาคผนวก ข. 126
ประวัติผู้วิจัย..... 157

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ — หน้า

3.1 ตารางแสดงขนาดประสิทธิผลของตะแกรงเบอร์ต่างๆ 36

3.2 เครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง..... 41

ก1 แสดงค่าความชุ่นที่เหลือในการทดลองเบื้องต้น..... 120

ก2 แสดงค่า G, t และค่า G*t ของตัวกลางขนาด 1.44 มม..... 121

ก3 แสดงค่า G, t และค่า G*t ของตัวกลางขนาด 0.72 มม..... 122

ก4 แสดงค่า G, t และค่า G*t ของตัวกลางขนาด 0.36 มม..... 123

ก5 ผลการทดลองการหาความหนาแน่นตัวกลาง..... 124

ก6 ผลการทดลองหาความพรุนของตัวกลาง..... 125

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่			หน้า
รูปที่	2.1	โครงสร้างโมเลกุลของดินคาโอลิน.....	4
รูปที่	2.2	การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบต่างๆ.....	9
รูปที่	2.3	การทำลายสภาวะคงตัวของคอลลอยด์ที่ค่า PH ต่างๆ.....	10
รูปที่	2.4	กลไกการทำลายสภาวะคงตัวของคอลลอยด์แบบต่อเชื่อม ด้วยโพลิเมอร์.....	19
รูปที่	3.1	อุปกรณ์การสมานตะกอน.....	38
รูปที่	3.2	อุปกรณ์ประกอบการสมานตะกอน.....	39
รูปที่	3.3	อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง.....	40
รูปที่	4.1	ความสัมพันธ์ของความขุ่นที่เหลือกับความสูงของชั้นตัวกลางในสภาพนิ่ง ในการทดลองเบื้องต้น.....	46
รูปที่	4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นกับความเข้มข้นสารส้ม ของตัวกลางขนาด 1.44 มม.....	49
รูปที่	4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือกับความเข้มข้นสารส้มของตัวกลาง ขนาด 1.44 มม.....	49
รูปที่	4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นกับความเข้มข้นสารส้ม ของตัวกลางขนาด 0.72 มม.....	50
รูปที่	4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือกับความเข้มข้นสารส้มของตัวกลาง ขนาด 0.72 มม.....	50
รูปที่	4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นกับความเข้มข้นสารส้ม ของตัวกลางขนาด 0.36 มม.	51
รูปที่	4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือกับความเข้มข้นสารส้มของตัวกลาง ขนาด 0.36 มม.....	51
รูปที่	4.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นกับขนาดของตัวกลาง ที่ความเข้มข้นสารส้ม 10 มก./ล.....	54
รูปที่	4.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความขุ่นที่เหลือกับขนาดของตัวกลาง ที่ความเข้มข้นสารส้ม 10 มก./ล.....	54

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นกับขนาดของตัวกลาง ที่ความเข้มข้นสารส้ม 15 มก./ล..... 55

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความขุ่นที่เหลือกับขนาดของตัวกลาง ที่ความเข้มข้นสารส้ม 15 มก./ล..... 55

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นกับขนาดของตัวกลาง ที่ความเข้มข้นสารส้ม 20 มก./ล..... 56

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความขุ่นที่เหลือกับขนาดของตัวกลาง ที่ความเข้มข้นสารส้ม 20 มก./ล..... 56

รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นกับขนาดของตัวกลาง ที่ความเข้มข้นสารส้ม 30 มก./ล..... 57

รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความขุ่นที่เหลือกับขนาดของตัวกลาง ที่ความเข้มข้นสารส้ม 30 มก./ล..... 57

รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วไหลขึ้นกับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้น สารส้ม 10 มก./ล..... 60

รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วไหลขึ้นกับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้น สารส้ม 15 มก./ล..... 60

รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วไหลขึ้นกับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้น สารส้ม 20 มก./ล..... 61

รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วไหลขึ้นกับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้น สารส้ม 30 มก./ล..... 61

รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากักเก็บกับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้น สารส้ม 10 มก./ล..... 63

รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากักเก็บกับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้น สารส้ม 15 มก./ล..... 63

รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากักเก็บกับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้น สารส้ม 20 มก./ล..... 64

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากักเก็บกับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้นสารส้ม 30 มก./ล..... 64

รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียเฮดกับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้นสารส้ม 10 มก./ล..... 66

รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียเฮดกับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้นสารส้ม 15 มก./ล..... 66

รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียเฮดกับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้นสารส้ม 20 มก./ล..... 67

รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียเฮดกับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้นสารส้ม 30 มก./ล..... 67

รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกรเดียนท์กับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้นสารส้ม 10 มก./ล..... 70

รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกรเดียนท์กับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้นสารส้ม 15 มก./ล..... 70

รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกรเดียนท์กับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้นสารส้ม 20 มก./ล..... 71

รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกรเดียนท์กับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้นสารส้ม 30 มก./ล..... 71

รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง G*t กับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้นสารส้ม 10 มก./ล..... 73

รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่าง G*t กับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้นสารส้ม 15 มก./ล..... 73

รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่าง G*t กับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้นสารส้ม 20 มก./ล..... 74

รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่าง G*t กับขนาดตัวกลางที่ความเข้มข้นสารส้ม 30 มก./ล..... 74

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่นกับการขยายตัวของชั้นตัวกลางของตัวกลางขนาด 1.44 มม..... 77

รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่นที่เหลือกับการขยายตัวของชั้นตัวกลางของตัวกลางขนาด 1.44 มม..... 77

รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่นกับการขยายตัวของชั้นตัวกลางของตัวกลางขนาด 0.72 มม..... 78

รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่นที่เหลือกับการขยายตัวของชั้นตัวกลางของตัวกลางขนาด 0.72 มม..... 78

รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่นกับการขยายตัวของชั้นตัวกลางของตัวกลางขนาด 0.36 มม..... 79

รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่นที่เหลือกับการขยายตัวของชั้นตัวกลางของตัวกลางขนาด 0.36 มม..... 79

รูปที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วไหลขึ้นกับการขยายตัวของชั้นตัวกลางของตัวกลางขนาด 1.44 มม..... 81

รูปที่ 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วไหลขึ้นกับการขยายตัวของชั้นตัวกลางของตัวกลางขนาด 0.72 มม..... 82

รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วไหลขึ้นกับการขยายตัวของชั้นตัวกลางของตัวกลางขนาด 0.36 มม..... 83

รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลากักเก็บกับ การขยายตัวของชั้นตัวกลางของตัวกลางขนาด 1.44 มม..... 85

รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลากักเก็บกับ การขยายตัวของชั้นตัวกลางของตัวกลางขนาด 0.72 มม..... 86

รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลากักเก็บกับ การขยายตัวของชั้นตัวกลางของตัวกลางขนาด 0.36 มม..... 87

รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียเฮดกับการขยายตัวของชั้นตัวกลางของตัวกลางขนาด 1.44 มม..... 89

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียเฮดกับการขยายตัวของชั้นตัวกลาง ของตัวกลางขนาด 0.72 มม..... 90

รูปที่ 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียเฮดกับการขยายตัวของชั้นตัวกลาง ของตัวกลางขนาด 0.36 มม..... 91

รูปที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกรเดียนท์กับการขยายตัวของชั้นตัวกลาง ของตัวกลางขนาด 1.44 มม..... 95

รูปที่ 4.52 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกรเดียนท์กับการขยายตัวของชั้นตัวกลาง ของตัวกลางขนาด 0.72 มม..... 96

รูปที่ 4.53 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกรเดียนท์กับการขยายตัวของชั้นตัวกลาง ของตัวกลางขนาด 0.36 มม..... 97

รูปที่ 4.54 ความสัมพันธ์ระหว่าง G*t กับการขยายตัวของชั้นตัวกลาง ของตัวกลางขนาด 1.44 มม..... 99

รูปที่ 4.55 ความสัมพันธ์ระหว่าง G*t กับการขยายตัวของชั้นตัวกลาง ของตัวกลางขนาด 0.72 มม..... 100

รูปที่ 4.56 ความสัมพันธ์ระหว่าง G*t กับการขยายตัวของชั้นตัวกลาง ของตัวกลางขนาด 0.31 มม..... 101

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย