

พารามิเตอร์ควบคุมการสมานตะกอนแบบเทเปอร์



นาย ศุภวิช เษยะกุล

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2531

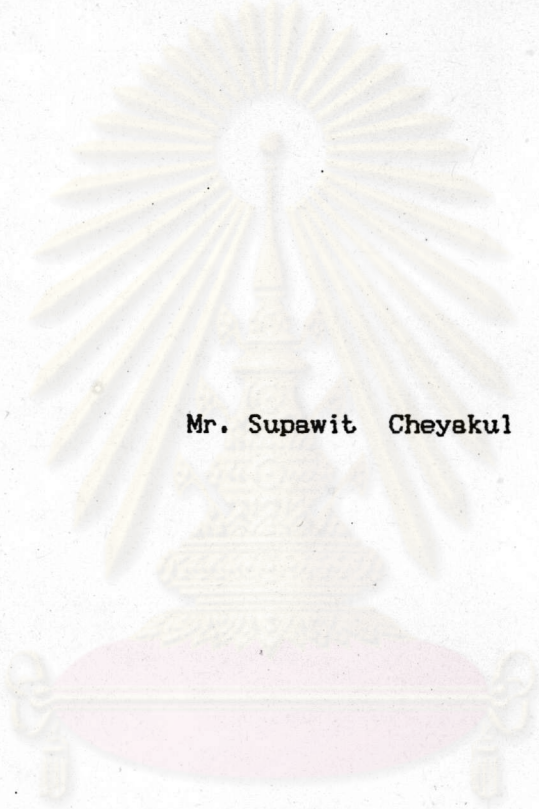
ISBN 974-568-849-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014320

i 10300624

CONTROL PARAMETERS OF TAPERED FLOCCULATION



Mr. Supawit Cheyakul

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Sanitary Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1988

ISBN 974-568-849-5





หัวข้อวิทยานิพนธ์ พารามิเตอร์ควบคุมการสमानตะกอนแบบเทเปอร์  
โดย นาย ศุภวิช เชยะกุล  
ภาควิชา วิศวกรรมสาขาภิบาล  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ธิระ เกรอด

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของ  
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรากัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธิระ เกรอด)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตันกุลเวศม์)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์)





ศุภวิช เชษะกุล : พารามิเตอร์ควบคุมการสมานตะกอนแบบเทเปอร์ (CONTROL PARAMETERS OF TAPERED FLOCCULATION) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. ธีระ เกรตค,  
127 หน้า

การสมานตะกอนแบบเทเปอร์เป็นการสมานตะกอนที่ใช้ความเร็วเกรเดียนท์ (G) ขณะทำการสมานตะกอนในช่วงแรกสูงและลดลงเมื่อเวลาผ่านไป การลดค่า G อาจเป็นแบบต่อเนื่องหรือลดลงทีละขั้น การวิจัยจะศึกษาเฉพาะการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองขั้นตอนและการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน นำคิป์ใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์จากคินคาโอลินให้มีความขุ่น 50 NTU และใช้ปริมาณสารส้ม (C) เท่ากับ 25 มก./ล. พารามิเตอร์ควบคุมที่ศึกษาได้แก่ ความเร็วเกรเดียนท์ (G) และเวลากัก (T) ของแต่ละขั้นตอนย่อย ช่วงการแปรค่าพารามิเตอร์สำหรับการสมานตะกอนเทเปอร์สองขั้นตอนจะใช้  $G_1$  จาก 30 ถึง 100  $\text{วท.}^{-1}$ ,  $T_1$  จาก 2 ถึง 10 นาที,  $G_2$  จาก 30 ถึง 80  $\text{วท.}^{-1}$ ,  $T_2$  จาก 5 ถึง 25 นาที การสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอนจะแปรค่า  $G_1$  จาก 40 ถึง 100  $\text{วท.}^{-1}$ ,  $T_1$  จาก 1 ถึง 6 นาที,  $G_2$  จาก 30 ถึง 80  $\text{วท.}^{-1}$ ,  $T_2$  จาก 2 ถึง 10 นาที,  $G_3$  จาก 20 ถึง 30  $\text{วท.}^{-1}$ ,  $T_3$  จาก 5 ถึง 20 นาที

ผลการวิจัยพบว่าค่าความขุ่นที่เหลือจะขึ้นอยู่กับ G และ T ของแต่ละขั้นตอนย่อยค่า G ที่ระดับต่าง ๆ จะมีค่า T ที่เหมาะสมอยู่ช่วงหนึ่งซึ่งเมื่อ T เกินช่วงนี้ไปแล้วความขุ่นจะลดลงอีกไม่มากนักในกรณีที่ G ต่ำ หรือจะกลับเพิ่มขึ้นในกรณีที่ G สูง ค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองขั้นตอนคือ  $G_1$  เท่ากับ 30  $\text{วท.}^{-1}$ ,  $T_1$  เท่ากับ 3 นาที,  $G_2$  เท่ากับ 20  $\text{วท.}^{-1}$ ,  $T_2$  เท่ากับ 11 นาที และสำหรับการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอนคือ  $G_1$  เท่ากับ 50  $\text{วท.}^{-1}$ ,  $T_1$  เท่ากับ 2 นาที,  $G_2$  เท่ากับ 35  $\text{วท.}^{-1}$ ,  $T_2$  เท่ากับ 2 นาที,  $G_3$  เท่ากับ 20  $\text{วท.}^{-1}$ ,  $T_3$  เท่ากับ 8 นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... วิศวกรรมสุขาภิบาล  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมสุขาภิบาล  
ปีการศึกษา ..... 2530

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
.....





SUPAWIT CHEYAKUL : CONTROL PARAMETERS OF TAPERED FLOCCULATION. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. THEERA KAROT, Ph. D. 127 pp.

Tapered flocculation is a modified flocculation which has high velocity gradient (G) in the initial stage and lower in the later. G valve can be decreased continuously or in steps. This experiment was decreased in steps and studied only two-stage and three-stage-tapered flocculation. Raw water was synthesized from kaolin clay contained 50 NTU turbidity. Alum-dose was 25 mg./L.. The studied parameters were velocity gradient (G) and detention time (T) of each stage. The value of  $G_1, T_1, G_2, T_2$ , for two-stage-tapered flocculation were varied from 40 to 100  $\text{sec}^{-1}$ , 2 to 10 min., 20 to 40  $\text{sec}^{-1}$ , 5 to 25 min., respectively. The value of  $G_1, T_1, G_2, T_2, G_3, T_3$ , for three-stage-tapered flocculation were varied from 40 to 100  $\text{sec}^{-1}$ , 1 to 6 min., 30 to 80  $\text{sec}^{-1}$ , 2 to 10 min., 20 to 30  $\text{sec}^{-1}$ , 5 to 20 min., respectively.

Experimental results revealed that value of residual turbidity was depened on G and T of each stage. There is optimum T at each G that is called  $T_{opt}$ , in the case of low G values and T is more than this  $T_{opt}$ , the residual turbidity will be rarely decreased but be increased in the case of high G values. The appropriate values of control parameters  $G_1, T_1, G_2, T_2$ , of two-stage-tapered flocculation were 30  $\text{sec}^{-1}$ , 3 min., 20  $\text{sec}^{-1}$ , 11 min., respectively and of three-stage-tapered flocculation  $G_1, T_1, G_2, T_2, G_3, T_3$ , were 50  $\text{sec}^{-1}$ , 2 min., 35  $\text{sec}^{-1}$ , 2 min., 20 $\text{sec}^{-1}$ , 8 min., respectively.

ภาควิชา ..... วิศวกรรมสุขาภิบาล.....  
 สาขาวิชา ..... วิศวกรรมสุขาภิบาล.....  
 ปีการศึกษา ..... 2530.....

ลายมือชื่อนิสิต ..... ส.วิ.ค. 18/3/32.....  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....



ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต ซึ่งเป็นอาจารย์  
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุก ๆ ท่าน ที่ได้ให้ความรู้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ได้ให้ความเอื้อเฟื้อในการทำวิทยานิพนธ์ทุกท่าน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้โดยมี บิดา-มารดา ผู้ที่เป็นที่รักและเคารพอย่างสูง  
ให้กำลังใจและสนับสนุน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





หน้า

|                          |    |
|--------------------------|----|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....    | ๗  |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... | ๘  |
| กิตติกรรมประกาศ .....    | ๙  |
| สารบัญตาราง .....        | ๑๑ |
| สารบัญรูป .....          | ๑๒ |

บทที่

|  |    |
|--|----|
| 1. บทนำ .....  | 1  |
| 2. วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย .....                  | 3  |
| 2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....                          | 3  |
| 2.2 ขอบเขตการวิจัย .....                                   | 3  |
| 3. ทฤษฎี แนวความคิด และการทดลองที่ผ่านมา .....             | 5  |
| 3.1 ทฤษฎีของกระบวนการรวมตะกอน .....                        | 5  |
| 3.1.1 ทฤษฎีของการกวนเร็ว .....                             | 5  |
| 3.1.1.1 กลไกแบบดูดติดเวลาสะท้อนทางไฟฟ้า .....              | 6  |
| 3.1.1.2 กลไกแบบกวาด .....                                  | 6  |
| 3.1.2 ทฤษฎีของการสมานตะกอน .....                           | 7  |
| 3.1.2.1 การเคลื่อนที่เนื่องจากความร้อน .....               | 7  |
| 3.1.2.2 การจมตัวด้วยอัตราเร็วแตกต่างกัน .....              | 7  |
| 3.1.2.3 การเคลื่อนที่ของเนื้อของเหลว .....                 | 8  |
| 3.2 แนวคิดทั่วไปเกี่ยวกับการสมานตะกอน .....                | 10 |
| 3.3 การศึกษาเกี่ยวกับการสมานตะกอนแบบเทเปอร์ที่ผ่านมา ..... | 11 |



## สารบัญ(ต่อ)

| บทที่   | หน้า |
|---|------|
| 4. การดำเนินการวิจัย .....  | 13   |
| 4.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย .....                                | 13   |
| 4.1.1 น้ำซุ่นสังเคราะห์ .....   | 13   |
| 4.1.1.1 วิธีเตรียมน้ำซุ่นสังเคราะห์ .....                                       | 13   |
| 4.1.1.2 พีเอชของน้ำซุ่นสังเคราะห์ .....   | 14   |
| 4.1.1.3 สภาพทางไอออนของน้ำซุ่นสังเคราะห์ .....                                  | 15   |
| 4.1.2 สารเคมี .....   | 15   |
| 4.1.3 ชุดเครื่องมือสำหรับการทดลอง .....   | 15   |
| 4.1.3.1 ภาชนะที่ใช้สมานตะกอน .....  | 15   |
| 4.1.3.2 อุปกรณ์กวนน้ำ .....   | 15   |
| 4.1.4 อุปกรณ์วิเคราะห์คุณสมบัติ .....   | 16   |
| 4.2 รูปแบบของการทดลอง .....   | 16   |
| 4.2.1 การสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองชั้นตอน .....                                    | 16   |
| 4.2.2 การสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามชั้นตอน .....                                    | 17   |
| 4.3 การแปรค่าพารามิเตอร์ในการทดลอง .....  | 18   |
| 4.3.1 พารามิเตอร์ที่กำหนดให้มีค่าคงที่ตลอดการทดลอง .....                        | 18   |
| 4.3.2 พารามิเตอร์ที่กำหนดให้มีการแปรค่า .....                                   | 19   |
| 4.4 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองตลอดจน<br>การควบคุม ..... | 19   |
| 4.4.1 การกวนเร็ว .....  | 19   |
| 4.4.1.1 ค่า G และ T .....   | 19   |
| 4.4.1.2 ปริมาณสารลิ่ม .....   | 19   |
| 4.4.2 การสมานตะกอน .....  | 21   |
| 4.4.3 การตกตะกอน .....  | 22   |
| 4.5 การดำเนินการวิจัย .....   | 23   |
| 4.5.1 การสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองชั้นตอน .....                                    | 23   |
| 4.5.1.1 จำนวนและรายละเอียดของการทดลอง .....                                     | 25   |



## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่  | หน้า |
|--|------|
| 4.5.2 การสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน .....   | 26   |
| 4.5.2.1 จำนวนและรายละเอียดของการทดลอง .....  | 27   |
| 5. ผลการทดลองและวิจารณ์ .....  | 31   |
| 5.1 ผลของ C ต่อค่าความชุ่มที่เหลือ .....   | 31   |
| 5.2 ผลของ G ต่อค่าความชุ่มที่เหลือในการสมานตะกอนแบบทั่ว ๆ ไป ..                                  | 33   |
| 5.3 การสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองขั้นตอน .....   | 35   |
| 5.3.1 ผลการทดลองของการทดลองที่ 1-27 .....  | 35   |
| 5.3.2 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่น่าสนใจ .....   | 50   |
| 5.3.3 การเปรียบเทียบหาพารามิเตอร์ที่ให้ผลของ<br>การสมานตะกอนดีที่สุด .....                       | 54   |
| 5.3.4 การพิจารณาค่า $G \times T$ ที่เหมาะสม .....  | 56   |
| 5.4 การสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน .....   | 57   |
| 5.4.1 ผลการทดลองของการทดลองที่ 1-69 .....  | 57   |
| 5.4.2 การเปรียบเทียบการทดลองที่น่าสนใจ .....   | 96   |
| 5.4.3 การเปรียบเทียบหาพารามิเตอร์ที่ให้ผลของ<br>การสมานตะกอนดีที่สุด .....                       | 100  |
| 5.4.4 การพิจารณาค่า $G \times T$ ที่เหมาะสม .....  | 102  |
| 5.5 การเปรียบเทียบผลการสมานตะกอนแบบทั่ว ๆ ไป กับการ<br>สมานตะกอนแบบเทเปอร์สองและสามขั้นตอน ..... | 103  |
| 6. สรุปผลการทดลอง .....  | 106  |
| บรรณานุกรม .....   | 108  |
| ภาคผนวก .....  | 111  |
| ประวัติผู้วิจัย .....  | 127  |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนต์<br>และความเร็วรอบในการกวน .....              | 22   |
| 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SOR. และเวลาตกตะกอน .....                                   | 23   |
| 4.3 แสดงการแปรค่า G และ T ของแต่ละขั้นตอนย่อยของ<br>การสमानตะกอนแบบเทเปอร์สองขั้นตอน ..... | 25   |
| 4.4 แสดงการแปรค่า G และ T ของแต่ละขั้นตอนของ<br>การสमानตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน .....     | 28   |

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญรูป

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 3.1 แสดงผลของการสมานตะกอนแบบเทเปอร์โดยใช้สารส้มเป็นสารรวม<br>ตะกอนกับน้ำในแหล่งน้ำแห่งหนึ่ง .....   | 11   |
| 4.1 แสดงรายละเอียดของภาชนะที่ใช้สมานตะกอน .....   | 16   |
| 4.2 แสดงแผนผังระบบการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองขั้นตอน .....  | 17   |
| 4.3 แสดงแผนผังระบบการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน .....  | 18   |
| 4.4 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือกับปริมาณสารส้ม .....  | 20   |
| 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการกวนและความเร็ว<br>เกรเดียนท์ที่เกิดขึ้น .....  | 21   |
| 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสมานตะกอน และความขุ่นที่เหลือ<br>ของการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองขั้นตอน .....                        | 24   |
| 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสมานตะกอน และความขุ่นที่เหลือ<br>ของการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน .....                        | 27   |
| 5.1 แสดงผลของ C ต่อค่าความขุ่นที่เหลือ โดยที่ G เท่ากับ $20 \text{ วัต.}^{-1}$<br>และ $\text{SOR.}$ เท่ากับ $1.0 \text{ ม./ชม.}$ .....    | 32   |
| 5.2 แสดงผลของ G ต่อค่าความขุ่นที่เหลือ โดยที่ C เท่ากับ $25 \text{ มก./ล.}$<br>และ $\text{SOR.}$ เท่ากับ $1.0 \text{ ม./ชม.}$ .....       | 34   |
| 5.3 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองขั้นตอน ของการ<br>ทดลองที่ 1,2,3,4,5,6 โดยที่ $\text{SOR.}$ เท่ากับ $1.5 \text{ ม./ชม.}$ ..... | 36   |
| 5.4 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองขั้นตอน ของการ<br>ทดลองที่ 1,2,3,4,5,6 โดยที่ $\text{SOR.}$ เท่ากับ $1.0 \text{ ม./ชม.}$ ..... | 37   |
| 5.5 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองขั้นตอน ของการ<br>ทดลองที่ 1,2,3,4,5,6 โดยที่ $\text{SOR.}$ เท่ากับ $0.5 \text{ ม./ชม.}$ ..... | 37   |
| 5.6 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองขั้นตอน ของการ<br>ทดลองที่ 7,8,9,10,11 โดยที่ $\text{SOR.}$ เท่ากับ $1.5 \text{ ม./ชม.}$ ..... | 39   |
| 5.7 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองขั้นตอน ของการ<br>ทดลองที่ 7,8,9,10,11 โดยที่ $\text{SOR.}$ เท่ากับ $1.0 \text{ ม./ชม.}$ ..... | 40   |



## สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 5.8 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองชั้นตอน ของการทดลองที่ 7,8,9,10,11 โดยที่ SOR. เท่ากับ 0.5 ม./ชม. ....       | 40   |
| 5.9 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองชั้นตอน ของการทดลองที่ 12,13,14,15,16,17 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ...  | 42   |
| 5.10 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองชั้นตอน ของการทดลองที่ 12,13,14,15,16,17 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ... | 43   |
| 5.11 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองชั้นตอน ของการทดลองที่ 12,13,14,15,16,17 โดยที่ SOR. เท่ากับ 0.5 ม./ชม. ... | 43   |
| 5.12 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองชั้นตอน ของการทดลองที่ 18,19,20,21,22 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ....   | 45   |
| 5.13 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองชั้นตอน ของการทดลองที่ 18,19,20,21,22 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ....   | 46   |
| 5.14 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองชั้นตอน ของการทดลองที่ 18,19,20,21,22 โดยที่ SOR. เท่ากับ 0.5 ม./ชม. ....   | 46   |
| 5.15 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองชั้นตอน ของการทดลองที่ 23,24,25,26,27 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ....   | 48   |
| 5.16 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองชั้นตอน ของการทดลองที่ 23,24,25,26,27 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ....   | 49   |
| 5.17 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองชั้นตอน ของการทดลองที่ 23,24,25,26,27 โดยที่ SOR. เท่ากับ 0.5 ม./ชม. ....   | 49   |
| 5.18 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองชั้นตอน ของการทดลองที่ 12,13,14,18,19,20 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ... | 51   |
| 5.19 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองชั้นตอน ของการทดลองที่ 3,9,10,14,20,21 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ....  | 53   |
| 5.20 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองชั้นตอน ของการทดลองที่ 10,21,23,24,25,26 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ... | 55   |



## สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 5.21 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองขั้นตอน ของการทดลองที่ 10,21,23,24,25,26 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ... | 55   |
| 5.22 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 1,2,3,4,5,6 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ....      | 58   |
| 5.23 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 1,2,3,4,5,6 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ....      | 59   |
| 5.24 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 1,2,3,4,5,6 โดยที่ SOR. เท่ากับ 0.5 ม./ชม. ....      | 59   |
| 5.25 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 7,8,9,10,11,12 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ....   | 61   |
| 5.26 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 7,8,9,10,11,12 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ....   | 62   |
| 5.27 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 7,8,9,10,11,12 โดยที่ SOR. เท่ากับ 0.5 ม./ชม. ....   | 62   |
| 5.28 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 13,14,15,16 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ....      | 64   |
| 5.29 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 13,14,15,16 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ....      | 65   |
| 5.30 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 13,14,15,16 โดยที่ SOR. เท่ากับ 0.5 ม./ชม. ....      | 65   |
| 5.31 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 17,18,19,20 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ....      | 67   |
| 5.32 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 17,18,19,20 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ....      | 68   |
| 5.33 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 17,18,19,20 โดยที่ SOR. เท่ากับ 0.5 ม./ชม. ....      | 68   |



## สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 5.34 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามชั้นตอน ของการทดลองที่ 21,22,23,24,25,26 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ... | 70   |
| 5.35 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามชั้นตอน ของการทดลองที่ 21,22,23,24,25,26 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ... | 71   |
| 5.36 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามชั้นตอน ของการทดลองที่ 21,22,23,24,25,26 โดยที่ SOR. เท่ากับ 0.5 ม./ชม. ... | 71   |
| 5.37 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามชั้นตอน ของการทดลองที่ 27,28,29,30,31,32 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ... | 73   |
| 5.38 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามชั้นตอน ของการทดลองที่ 27,28,29,30,31,32 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ... | 74   |
| 5.39 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามชั้นตอน ของการทดลองที่ 27,28,29,30,31,32 โดยที่ SOR. เท่ากับ 0.5 ม./ชม. ... | 74   |
| 5.40 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามชั้นตอน ของการทดลองที่ 33,34,35,36 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ....      | 76   |
| 5.41 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามชั้นตอน ของการทดลองที่ 33,34,35,36 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ....      | 77   |
| 5.42 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามชั้นตอน ของการทดลองที่ 33,34,35,36 โดยที่ SOR. เท่ากับ 0.5 ม./ชม. ....      | 77   |
| 5.43 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามชั้นตอน ของการทดลองที่ 37,38,39,40,41,42 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ... | 79   |
| 5.44 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามชั้นตอน ของการทดลองที่ 37,38,39,40,41,42 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ... | 80   |
| 5.45 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามชั้นตอน ของการทดลองที่ 37,38,39,40,41,42 โดยที่ SOR. เท่ากับ 0.5 ม./ชม. ... | 80   |
| 5.46 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามชั้นตอน ของการทดลองที่ 43,44,45,46,47,48 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ... | 82   |



## สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 5.47 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 43,44,45,46,47,48 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ... | 83   |
| 5.48 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 43,44,45,46,47,48 โดยที่ SOR. เท่ากับ 0.5 ม./ชม. ... | 83   |
| 5.49 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 49,50,51,52 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ....      | 85   |
| 5.50 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 49,50,51,52 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ....      | 86   |
| 5.51 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 49,50,51,52 โดยที่ SOR. เท่ากับ 0.5 ม./ชม. ....      | 86   |
| 5.52 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 53,54,55,56,57 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ....   | 88   |
| 5.53 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 53,54,55,56,57 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ....   | 89   |
| 5.54 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 53,54,55,56,57 โดยที่ SOR. เท่ากับ 0.5 ม./ชม. ....   | 89   |
| 5.55 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 58,59,60,61,62,63 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ... | 91   |
| 5.56 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 58,59,60,61,62,63 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ... | 92   |
| 5.57 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 58,59,60,61,62,63 โดยที่ SOR. เท่ากับ 0.5 ม./ชม. ... | 92   |
| 5.58 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 64,65,66,67,68,69 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ... | 94   |
| 5.59 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 64,65,66,67,68,69 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ... | 95   |



## สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 5.60 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 64, 65, 66, 67, 68, 69 โดยที่ SOR. เท่ากับ ๐.5 ม./ชม. ...                | 95   |
| 5.61 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 2, 11, 5๐, 57, 59, 65 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.๐ ม./ชม. ....                | 97   |
| 5.62 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 16, 2๐, 36, 52, 59, 67 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.๐ ม./ชม. ...                | 99   |
| 5.63 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 57, 59, 62, 63, 65, 67 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. ...                | 101  |
| 5.64 แสดงผลการทดลองการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สามขั้นตอน ของการทดลองที่ 57, 59, 62, 63, 65, 67 โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.๐ ม./ชม. ...                | 101  |
| 5.65 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองการสมานตะกอนแบบหนึ่งขั้นตอนกับการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองและสามขั้นตอน โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.5 ม./ชม. .... | 105  |
| 5.66 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองการสมานตะกอนแบบหนึ่งขั้นตอนกับการสมานตะกอนแบบเทเปอร์สองและสามขั้นตอน โดยที่ SOR. เท่ากับ 1.๐ ม./ชม. .... | 105  |

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย