

เครื่องสมานตะกอน โดยใช้ชั้นกรวดเป็นตัวกลางแบบเทเปอร์



นางสาว ตรรชนี คงศิริวัฒนา

ศูนย์วิทยพัสดุภัณฑ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-708-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018075

๖ 1522144X

TAPERED GRAVEL BED FLOCCULATOR

MISS DATCHANEE KONGSIRIWATTANA

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Reguirments

for the Degree of Master of Engineering
Department of Environmental Engineering

Graduate School

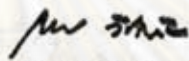
Chulalongkorn University

1992

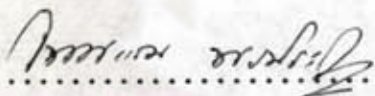
ISBN 974-581-708-2

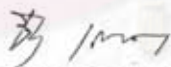
หัวข้อวิทยานิพนธ์ เครื่องสมานตะกอน โดยใช้ชั้นกรวดเป็นตัวกลางแบบเทเปอร์
โดย นางสาว ตรรชนี คงศิริวัฒนา
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต

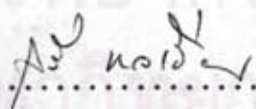
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

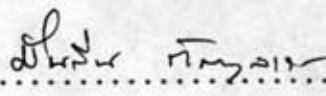

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรามัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ นพประภา)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุรี ชาวเชียร)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มันลีน ตั้งกุลเวศม์)



พิมพ์ร่วมกับบทคัดย่อ วารสารวิชาการ ภายใต้การสนับสนุนของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ครรชนี กงศิริวัฒนา : การสมานตะกอนโดยใช้ชั้นกรวดเป็นตัวกลางแบบเทเปอร์ (TAPERED GRAVEL BED FLOCCULATOR) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ธีระ เกรอด, 197 หน้า.
ISBN 974-581-708-2

การศึกษาเครื่องสมานตะกอนที่ใช้กรวดเป็นตัวกลางแบบเทเปอร์ ในการกำจัดความขุ่นทำโดยใช้แบบทดลองในห้องปฏิบัติการทำจากพลาสติกใสที่ขยายพื้นที่หน้าตัดตามความสูง ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ขนาดของกรวดเท่ากับ 1-2, 2-5, 5-10, 10-20 มม., ความสูงของกรวดเท่ากับ 20, 40, 60, 80 และ 100 ซม., ความเร็วไหลขึ้นของน้ำผ่านตัวกลางเท่ากับ 0.098, 0.122, 0.146, 0.171 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-นาที}$ และปริมาณความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 15, 20, 25, 30 มก./ล. น้ำขุ่นสังเคราะห์ที่ใช้เตรียมจากผงคินคาโอลินและน้ำประปาให้ความขุ่น 50 NTU. สารรวมตะกอนที่ใช้ในการวิจัยคือสารส้ม

พบว่า กรวดขนาดเล็กให้ประสิทธิภาพการสมานตะกอนสูงกว่ากรวดขนาดใหญ่ ความเร็วไหลขึ้นต่ำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงกว่าความเร็วไหลขึ้นสูง ปริมาณความเข้มข้นของสารส้มที่เหมาะสมเท่ากับ 15 มก./ล. ค่าความเร็วเกรเดียนท์ที่เหมาะสมแปรจาก 636.47 ถึง 127.06 วินาที⁻¹ พารามิเตอร์ไร้มิติ GT ของเครื่องสมานตะกอนมีค่าอยู่ระหว่าง $7.36 \times 10^3 - 6.73 \times 10^4$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา 2534

ลายมือชื่อนิสิต ธานี ฤทธิเดช
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ธีระ เกรอด

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



C 016669 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : TAPERED/GRAVEL BED/FLOCCULATOR

DATCHANEE KONGSIRIWATTANA : TAPERED GRAVEL BED
FLOCCULATOR. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. THEERA KAROT,
Ph.D. 197 PP. ISBN 974-581-708-2

Turbidity removal using a tapered gravel bed flocculator were studied. The Laboratory pilot plant was made of transparent plastic with increasing crosssectional area with height. The parameters studied were gravel size which varied from 1-2 mm. to 10-20 mm., gravel heights which varied from 20, 40, 60, 80 and 100 cm., upflow velocity which varied from 0.098 to 0.171 m³/m²-min and alum dose which varied from 15 to 30 mg/l. The raw turbid water was synthesized from kaolinite clay and tap water to have 50 NTU. turbidity. Alum was used as a coagulant.

It was found that small gravel produced higher flocculation efficiency than large gravel. Lower upflow velocity produced higher turbidity removal efficiency than higher upflow velocity. The optimum alum dose was 15 mg/l. The dimensionless GT values varied from 7.36×10^3 - 6.73×10^4 .

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา 2534

ลายมือชื่อนิสิต อ.น.ร. อ.น.ร.
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อ.น.ร.

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชีระ เกรอด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ต่อผู้วิจัยมาโดยตลอดจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านและคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้ให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัยและภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ท่านได้ให้ทุนอุดหนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณพวนี้ ๆ และน้อง ๆ ตลอดจนมิตรสหายทุก ๆ ท่านที่ได้ให้กำลังใจเอื้อเฟื้อและอนุเคราะห์ระหว่างการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ความดีและประโยชน์ทั้งหลายของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขอมอบให้บุพการี ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณสูงสุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
2. ทฤษฎี	3
2.1 ทฤษฎีของกระบวนการรวมตะกอน	3
2.1.1 ทฤษฎีของการกวนเร็ว	3
2.1.1.1 ทฤษฎีสภาวะคงตัวของคอลลอยด์	3
2.1.1.2 ทฤษฎีสภาวะไม่คงตัวของคอลลอยด์	4
2.1.1.3 กลไกทำลายสภาวะคงตัวของคอลลอยด์	5
2.1.1.4 พารามิเตอร์ควบคุมการกวนเร็ว	9
2.1.2 ทฤษฎีของการสมานตะกอน	10
2.1.2.1 การเคลื่อนที่เนื่องจากความร้อน	10
2.1.2.2 การจมตัวด้วยอัตราเร็วแตกต่างกัน	11
2.1.2.3 การเคลื่อนที่ของเนื้อของเหลว	11
2.2 พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการสมานตะกอน	12
2.2.1 ความเร็วเกรเดียนต์และเวลาผสม	12
2.2.2 นิเอชและปริมาณสารส้ม	14

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.3 แนวคิดทั่วไปเกี่ยวกับการสมานตะกอน	15
2.4 การศึกษาเกี่ยวกับการสมานตะกอนแบบเพเปอร์ที่ผ่านมา	16
2.5 เครื่องสมานตะกอนโดยใช้ชั้นกรวดเป็นตัวกลาง	17
2.5.1 การควบคุมและวัดค่าความเร็วเกรเดียนท์ในเครื่องสมานตะกอน โดยใช้ชั้นกรวดเป็นตัวกลางแบบเพเปอร์	18
2.6 การศึกษาที่ผ่านมา	19
3. การดำเนินการวิจัย	23
3.1 แผนการวิจัย	23
3.1.1 ลำดับการทดลอง	23
3.2 ตัวแปรในการทดลอง	24
3.2.1 ตัวแปรคงที่	24
3.2.2 ตัวแปรอิสระ	24
3.2.3 ตัวแปรตาม	24
3.3 วัสดุอุปกรณ์และในการทดลอง	25
3.3.1 น้ำซุ่นสังเคราะห์	25
3.3.2 สารเคมี	26
3.3.3 กรวด	27
3.3.4 อุปกรณ์การทดลองจาร์เทสต์	28
3.3.5 อุปกรณ์การสมานตะกอน	28
3.3.6 เครื่องมือวิเคราะห์	32
3.4 การดำเนินการทดลอง	32
3.4.1 การทดลองจาร์เทสต์	32
3.4.2 การทดลองสมานตะกอน	33
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	41
4.1 ผลของปริมาณความเข้มข้นของสารสัมต่อค่าความซุ่นที่เหลือ	41

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.2 ผลของความสูงของกรวดต่อค่าความชุ่มที่เหลือ	58
4.3 ผลของความเร็วไหลชั้นต่อค่าความชุ่มที่เหลือ	75
4.4 ผลของขนาดตัวกลางต่อค่าความชุ่มที่เหลือ	80
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือในแต่ละระดับความสูงของกรวดกับเวลา	85
4.6 ความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นชั้นของสารสัมผัสต่อ ความเร็วเกรเดียนท์	90
4.7 ความสัมพันธ์ของความเร็วไหลชั้นต่อความเร็วเกรเดียนท์	95
4.8 ความสัมพันธ์ของขนาดของกรวดต่อความเร็วเกรเดียนท์	100
4.9 ความสัมพันธ์ของความเร็วเกรเดียนท์ที่แต่ละระดับความลึกของกรวด กับเวลา	105
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง GT กับความเร็วไหลชั้นและขนาดของกรวด	110
5. สรุปผลการทดลอง	113
6. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยเพิ่มเติม	115
เอกสารอ้างอิง	116
ภาคผนวก ก.	119
ภาคผนวก ข.	128
ประวัติผู้วิจัย	197

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเบอร์ของตะแกรงและขนาดช่องเปิด ความมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา	28
3.2	เครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง	32
3.3	ตารางสรุปตัวแปรในการทดลอง	34
3.4	ตารางแสดงจำนวนและรายละเอียดของการทดลอง	35
3.5	ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SOR กับเวลาตกตะกอน	40
ก1	ผลการทดลองเพื่อหาคุณลักษณะของกรวดที่ใช้ในการวิจัย	123
ก2	แสดงผลการทดลองจาร์เทสต์	124
ก3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วไหลชั้นของเครื่องสมานตะกอน กับความเร็วไหลชั้นของเครื่องสูบน้ำแบบรีดสายยาง	125
ก4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่กับปริมาตรของเครื่องสมานตะกอน	126
ก5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาที่ความเร็วไหลชั้นต่าง ๆ ...	127

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

2.1	การกวนเร็วโดยสร้างความเป็นป่วนในท่อแบบ ORIFICE	10
2.2	ไดอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมโคแอกดูเลชันด้วยสารส้ม	14
2.3	แสดงผลของการสมานตะกอนแบบเทเปอร์โดยใช้สารส้มเป็นสารรวม ตะกอนกับน้ำในแหล่งน้ำแห่งหนึ่ง	16
3.1	แสดงรายละเอียดของเครื่องสมานตะกอนโดยใช้ชั้นกรวดเป็นตัวกลาง แบบเทเปอร์	29
3.2	แสดง ไดอะแกรมอุปกรณ์ประกอบการทดลองสมานตะกอนโดยใช้ชั้นกรวด เป็นตัวกลางแบบเทเปอร์	30
3.3	แสดงแผนผังระบบการทดลอง	31
3.4	แสดงค่าความขุ่นที่เหลือกับปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม (SOR เท่ากับ 1.00 ม / ชม.)	33
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่าง ความขุ่นที่เหลือกับปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม., ขนาดของกรวด 1-2 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.098 ม ³ /ม ² -นาที., ที่เวลา 10 ชม.	42
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือ กับ ปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม., ขนาดของกรวด 1-2 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.122 ม ³ /ม ² -นาที., ที่เวลา 10 ชม.	43
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือ กับ ปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม., ขนาดของกรวด 1-2 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.146 ม ³ /ม ² -นาที., ที่เวลา 10 ชม.	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับ ปริมาณความเข้มข้นของสารลัม
ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม.,
ขนาดของกรวด 1-2 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.171 $\text{ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาที.}$,
ที่เวลา 10 ซม. 45
- 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับ ปริมาณความเข้มข้นของสารลัม
ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม.,
ขนาดของกรวด 2-5 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.098 $\text{ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาที.}$,
ที่เวลา 10 ซม. 46
- 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับ ปริมาณความเข้มข้นของสารลัม
ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม.,
ขนาดของกรวด 2-5 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.122 $\text{ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาที.}$,
ที่เวลา 10 ซม. 47
- 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับ ปริมาณความเข้มข้นของสารลัม
ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม.,
ขนาดของกรวด 2-5 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.146 $\text{ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาที.}$,
ที่เวลา 10 ซม. 48
- 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับ ปริมาณความเข้มข้นของสารลัม
ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม.,
ขนาดของกรวด 2-5 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.171 $\text{ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาที.}$,
ที่เวลา 10 ซม. 49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับ ปริมาณความเข้มข้นของสารลัม
ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม.,
ขนาดของกรวด 5-10 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.098 ม³/ม²-นาที.,
ที่เวลา 10 ชม. 50
- 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับ ปริมาณความเข้มข้นของสารลัม
ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม.,
ขนาดของกรวด 5-10 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.122 ม³/ม²-นาที.,
ที่เวลา 10 ชม. 51
- 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับ ปริมาณความเข้มข้นของสารลัม
ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม.,
ขนาดของกรวด 5-10 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.146 ม³/ม²-นาที.,
ที่เวลา 10 ชม. 52
- 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับ ปริมาณความเข้มข้นของสารลัม
ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม.,
ขนาดของกรวด 5-10 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.171 ม³/ม²-นาที.,
ที่เวลา 10 ชม. 53
- 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับ ปริมาณความเข้มข้นของสารลัม
ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม.,
ขนาดของกรวด 10-20 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.098 ม³/ม²-นาที.,
ที่เวลา 10 ชม. 54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับ ปริมาณความเข้มข้นของสารลึ้ม
ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม.,
ขนาดของกรวด 10-20 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.122 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-นาที.}$,
ที่เวลา 10 ซม. 55
- 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับ ปริมาณความเข้มข้นของสารลึ้ม
ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม.,
ขนาดของกรวด 10-20 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.146 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-นาที.}$,
ที่เวลา 10 ซม. 56
- 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับ ปริมาณความเข้มข้นของสารลึ้ม
ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม.,
ขนาดของกรวด 10-20 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.171 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-นาที.}$,
ที่เวลา 10 ซม. 57
- 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความสูงเมื่อใช้ปริมาณ
ความเข้มข้นของสารลึ้ม 15, 20, 25, 30, มก./ล.,
ขนาดของกรวด 1-2 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.098 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-นาที.}$,
ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 59
- 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความสูงเมื่อใช้ปริมาณ
ความเข้มข้นของสารลึ้ม 15, 20, 25, 30, มก./ล., ขนาดของกรวด
1-2 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.122 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-นาที.}$,
ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความสูงเมื่อใช้ปริมาณความ
เข้มข้นของสารส้ม 15, 20, 25, 30, มก./ล., ขนาดของกรวด
1-2 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.146 $\text{ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาที.}$,
ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 61
- 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความสูงเมื่อใช้ปริมาณความ
เข้มข้นของสารส้ม 15, 20, 25, 30, มก./ล., ขนาดของกรวด
1-2 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.171 $\text{ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาที.}$,
ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 62
- 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความสูงเมื่อใช้ปริมาณความ
เข้มข้นของสารส้ม 15, 20, 25, 30, มก./ล., ขนาดของกรวด
2-5 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.098 $\text{ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาที.}$,
ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 63
- 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความสูงเมื่อใช้ปริมาณความ
เข้มข้นของสารส้ม 15, 20, 25, 30, มก./ล., ขนาดของกรวด
2-5 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.122 $\text{ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาที.}$,
ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 64
- 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความสูงเมื่อใช้ปริมาณความ
เข้มข้นของสารส้ม 15, 20, 25, 30, มก./ล., ขนาดของกรวด
2-5 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.146 $\text{ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาที.}$,
ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความสูงเมื่อใช้ปริมาณความ
เข้มข้นของสารส้ม 15, 20, 25, 30, มก./ล., ขนาดของกรวด
2-5 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.171 $\text{ม}^3/\text{ม}^2$ -นาที.,
ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 66
- 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความสูงเมื่อใช้ปริมาณความ
เข้มข้นของสารส้ม 15, 20, 25, 30, มก./ล., ขนาดของกรวด
5-10 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.098 $\text{ม}^3/\text{ม}^2$ -นาที.,
ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 67
- 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความสูงเมื่อใช้ปริมาณความ
เข้มข้นของสารส้ม 15, 20, 25, 30, มก./ล., ขนาดของกรวด
5-10 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.122 $\text{ม}^3/\text{ม}^2$ -นาที.,
ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 68
- 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความสูงเมื่อใช้ปริมาณความ
เข้มข้นของสารส้ม 15, 20, 25, 30, มก./ล., ขนาดของกรวด
5-10 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.146 $\text{ม}^3/\text{ม}^2$ -นาที.,
ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 69
- 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความสูงเมื่อใช้ปริมาณความ
เข้มข้นของสารส้ม 15, 20, 25, 30, มก./ล., ขนาดของกรวด
5-10 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.171 $\text{ม}^3/\text{ม}^2$ -นาที.,
ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความสูงเมื่อใช้ปริมาณความ
เข้มข้นของสารส้ม 15, 20, 25, 30, มก./ล., ขนาดของกรวด
10-20 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.098 $\text{ม}^3/\text{ม}^2$ -นาที.,
ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 71
- 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความสูงเมื่อใช้ปริมาณความ
เข้มข้นของสารส้ม 15, 20, 25, 30, มก./ล., ขนาดของกรวด
10-20 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.122 $\text{ม}^3/\text{ม}^2$ -นาที.,
ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 72
- 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความสูงเมื่อใช้ปริมาณความ
เข้มข้นของสารส้ม 15, 20, 25, 30, มก./ล., ขนาดของกรวด
10-20 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.146 $\text{ม}^3/\text{ม}^2$ -นาที.,
ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 73
- 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความสูงเมื่อใช้ปริมาณความ
เข้มข้นของสารส้ม 15, 20, 25, 30, มก./ล., ขนาดของกรวด
10-20 มม., ความเร็วไหลชั้น 0.171 $\text{ม}^3/\text{ม}^2$ -นาที.,
ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 74
- 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความเร็วไหลชั้นเมื่อใช้ปริมาณ
ความเข้มข้นของสารส้ม 25 มก./ล. ที่ระดับความสูง 20, 40,
60, 80, 100 และ 120 ซม., ขนาดของกรวด 1-2 มม.,
ที่เวลา 10 ชม. 76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความเร็วไหลชั้นเมื่อใช้ปริมาณ ความเข้มข้นของสารส้ม 25 มก./ล. ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม., ขนาดของกรวด 2-5 มม., ที่เวลา 10 ชม. 77
- 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความเร็วไหลชั้นเมื่อใช้ปริมาณ ความเข้มข้นของสารส้ม 25 มก./ล. ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม., ขนาดของกรวด 5-10 มม., ที่เวลา 10 ชม. 78
- 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับความเร็วไหลชั้นเมื่อใช้ปริมาณ ความเข้มข้นของสารส้ม 25 มก./ล. ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม., ขนาดของกรวด 10-20 มม., ที่เวลา 10 ชม. 79
- 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับขนาดของกรวดเมื่อใช้ปริมาณ ความเข้มข้นของสารส้ม 25 มก./ล. ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม., ความเร็วไหลชั้น 0.098 ม³/ม²-นาที., ที่เวลา 10 ชม. 81
- 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับขนาดของกรวดเมื่อใช้ปริมาณ ความเข้มข้นของสารส้ม 25 มก./ล. ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม., ความเร็วไหลชั้น 0.122 ม³/ม²-นาที., ที่เวลา 10 ชม. 82

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับของกรวด เมื่อใช้ปริมาณ ความเข้มข้นของสารส้ม 25 มก./ล. ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม., ความเร็วไหลชั้น 0.146 m^3/m^2 -นาที., ที่เวลา 10 ซม. 83
- 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือ กับขนาดของกรวดเมื่อใช้ปริมาณ ความเข้มข้นของสารส้ม 25 มก./ล. ที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 ซม., ความเร็วไหลชั้น 0.171 m^3/m^2 -นาที., ที่เวลา 10 ซม. 84
- 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือกับเวลา ที่ความเร็วไหลชั้น 0.098 m^3/m^2 -นาที., ปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม 25 มก./ล., ขนาดของกรวด 1-2 มม., ที่ความสูง 20, 40, 60, 80, 100, 120 ซม. 86
- 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือกับเวลา ที่ความเร็วไหลชั้น 0.098 m^3/m^2 -นาที., ปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม 25 มก./ล., ขนาดของกรวด 2-5 มม., ที่ความสูง 20, 40, 60, 80, 100, 120 ซม. 87
- 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือกับเวลา ที่ความเร็วไหลชั้น 0.098 m^3/m^2 -นาที., ปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม 25 มก./ล., ขนาดของกรวด 5-10 มม., ที่ความสูง 20, 40, 60, 80, 100, 120 ซม. 88

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างความชุ่มที่เหลือน้ำกับเวลา ที่ความเร็วไหลชั้น 0.098 ม ³ /ม ² -นาท., ปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม 25 มก./ล., ขนาดของกรวด 10-20 มม., ที่ความสูง 20, 40, 60, 80, 100, 120 ซม.	89
4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์ กับปริมาณความเข้มข้นของ สารส้มที่ความสูง 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 ซม., ความเร็วไหลชั้น 0.098 ม ³ /ม ² -นาท., ขนาดของกรวด 1-2 มม., ที่เวลา 10 ชั่วโมง.	91
4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์ กับปริมาณความเข้มข้นของ สารส้มที่ความสูง 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 ซม., ความเร็วไหลชั้น 0.098 ม ³ /ม ² -นาท., ขนาดของกรวด 2-5 มม., ที่เวลา 10 ชั่วโมง.	92
4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์ กับปริมาณความเข้มข้น ของสารส้มที่ความสูง 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 ซม., ความเร็วไหลชั้น 0.098 ม ³ /ม ² -นาท., ขนาดของกรวด 5-10 มม., ที่เวลา 10 ชั่วโมง.	93
4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์ กับปริมาณความเข้มข้น ของสารส้มที่ความสูง 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 ซม., ความเร็วไหลชั้น 0.098 ม ³ /ม ² -นาท., ขนาดของกรวด 10-20 มม., ที่เวลา 10 ชั่วโมง.	94

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์ กับความเร็วไหลชั้น
ที่ความสูง 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 ซม.,
ปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม 25 มก./ล. ขนาดของกรวด
1-2 มม., ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 96
- 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์ กับความเร็วไหลชั้น
ที่ความสูง 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 ซม.,
ปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม 25 มก./ล. ขนาดของกรวด
2-5 มม., ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 97
- 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์ กับความเร็วไหลชั้น
ที่ความสูง 0-20, 20-40, 40-60, 60-80,
80-100 ซม., ปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม 25 มก./ล.
ขนาดของกรวด 5-10 มม., ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 98
- 4.52 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์ กับความเร็วไหลชั้นที่
ความสูง 0-20, 20-40, 40-60, 60-80,
80-100 ซม., ปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม 25 มก./ล.
ขนาดของกรวด 10-20 มม., ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 99
- 4-53 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์ กับขนาดของกรวด
ที่ความสูง 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 ซม.,
ความเร็วไหลชั้น $0.098 \text{ ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาท.}$, ปริมาณความเข้มข้นของ
สารส้ม 25 มก./ล. ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 101

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4-54 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์ กับขนาดของกรวด
 ที่ความสูง 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 ซม.,
 ความเร็วไหลชั้น 0.122 ม³/ม²-นาที., ปริมาณความเข้มข้นของ
 สารลึ้ม 25 มก./ล. ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 102
- 4-55 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์ กับขนาดของกรวด
 ที่ความสูง 0-20, 20-40, 40-60, 60-80,
 80-100 ซม., ความเร็วไหลชั้น 0.146 ม³/ม²-นาที.,
 ปริมาณความเข้มข้นของสารลึ้ม 25 มก./ล.
 ที่เวลา 10 ชั่วโมง. 103
- 4-56 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์ กับขนาดของกรวด
 ที่ความสูง 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 ซม.,
 ความเร็วไหลชั้น 0.171 ม³/ม²-นาที., ปริมาณความเข้มข้นของ
 สารลึ้ม 25 มก./ล. ที่เวลา 10 ชั่วโมง..... 104
- 4.57 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์กับเวลา ที่ความเร็วไหลชั้น
 0.098 ม³/ม²-นาที., ปริมาณความเข้มข้นของสารลึ้ม 25 มก./ล.,
 ขนาดของกรวด 1-2 มม., ที่ความสูง 0-20, 20-40,
 40-60, 60-80, 80-100 ซม. 106
- 4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์กับเวลา ที่ความเร็วไหลชั้น
 0.098 ม³/ม²-นาที., ปริมาณความเข้มข้นของสารลึ้ม 25 มก./ล.,
 ขนาดของกรวด 2-5 มม., ที่ความสูง 0-20, 20-40,
 40-60, 60-80, 80-100 ซม. 107

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์กับเวลา ที่ความเร็วไหลชั้น
 0.098 ม³/ม²-นาท., ปริมาณความเข้มข้นของสารลัม 25 มก./ล.,
 ขนาดของกรวด 5-10 มม., ที่ความสูง 0-20, 20-40,
 40-60, 60-80, 80-100 ซม. 108
- 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์กับเวลา ที่ความเร็วไหลชั้น
 0.098 ม³/ม²-นาท., ปริมาณความเข้มข้นของสารลัม 25 มก./ล.,
 ขนาดของกรวด 10-20 มม., ที่ความสูง 0-20, 20-40,
 40-60, 60-80, 80-100 ซม. 109
- 4.62 ความสัมพันธ์ระหว่าง GT เจริญกับขนาดของกรวด เมื่อใช้ปริมาณ
 ความเข้มข้นของสารลัม 25 มก./ล. ที่ความเร็วไหลชั้น 0.098,
 0.122, 0.146, 0.171 ม³/ม²-นาท. 111
- 4.61 ความสัมพันธ์ระหว่าง GT เจริญกับความเร็วไหลชั้นเมื่อใช้ปริมาณ
 ความเข้มข้นของสารลัม 25 มก./ล. ที่ขนาดของกรวด 1-2, 2-5,
 5-10, 10-20 มม. 112

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย