

เครื่องทำตะกอนแบบโซของแข็ง เป็นตัวกลาง



นายยุทธนา มัทจนวิวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่ง ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2523

SOLID MEDIA FLOCCULATOR

Mr. Yootana Mahajchariyawong

A thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Sanitary Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1980

หัวข้อวิทยานิพนธ์

เครื่องทำตะกอนแบบไซของแข็ง เป็นตัวกลาง

โดย

นายยุทธนา มหัจฉริยวงศ์

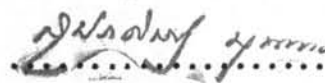
ภาควิชา

วิศวกรรมสุขาภิบาล

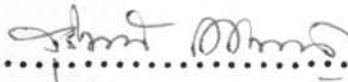
อาจารย์ที่ปรึกษา


ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชีระ เกรออก

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้มหาวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่ง ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

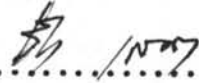
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประคิษฐ์ บุณนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ เศรษฐมนิต)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สุกใจ จำปา )

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ ชรรณิกรักษ์)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชีระ เกรออก)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์

เครื่องทำตะกอนแบบใช้ของแข็ง เป็นตัวกลาง

ชื่อนิติกร

นายยุทธนา มหัจฉริยวงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชีระ เกรอก

ภาควิชา

วิศวกรรมสุขาภิบาล

ปีการศึกษา

2523



บทคัดย่อ

โรงกรองน้ำในปัจจุบันนิยมใช้เครื่องทำตะกอนแบบเครื่องจักรกลที่ใช้ใบพัด เครื่องทำตะกอนแบบนี้ แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพสูง แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องการการควบคุม และการบำรุงรักษาอย่างใกล้ชิด และต้องใช้พลังงานมาก เครื่องทำตะกอนแบบใช้ของแข็ง เป็นตัวกลาง เป็นเครื่องมือทำตะกอนซึ่งสามารถลดปัญหาทั้ง กลาว

ในการทดลองใช้น้ำคิบสังเคราะห์ที่มีความขุ่น 200 เจทียู และใช้สารส้มเป็นตัวทำให้ตะกอนรวมตัว เครื่องมือทดลองประกอบด้วยท่อทำตะกอนห้าค้วยหอพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ภายในบรรจุรอกขนาด 1 - 2, 2 - 5, 5 - 10 และ/หรือ 10 - 20 มม. เป็นตัวกลาง โดยใช้เวลาเฉลี่ยระหว่าง 0.50 - 1.50 ม.

ในการทดลองโดยใช้ตัวกลางขนาด 1 - 2, 2 - 5, 5 - 10 หรือ 10 - 20 มม. ขนาดเดียว พบว่าตัวกลางขนาด  $\phi$  1 - 5 มม. ให้ประสิทธิภาพในการทำตะกอนสูงกว่า 0.033 และเมื่อเพิ่มขนาดตัวกลางขึ้นประสิทธิภาพจะลดลง ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นกับความลึกของตัวกลาง ในช่วงความลึกระหว่าง 0.50 - 1.50 ม. ในขณะเดียวกันเปอร์เซ็นต์การเก็บกักจะเพิ่มขึ้นด้วย จำเป็นต้องล้างตัวกลางบ่อยขึ้น เมื่อใช้อัตราการไหล  $0.25 - 1.48 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-นาท}$  ได้ผลว่า

อัตราการไหลยิ่งต่ำกว่า  $1.23 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-นาท}$  ลงไปจะยังมีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการทำ  
 ตะกอนสูงขึ้น แต่อัตราการไหลยิ่งต่ำ ยิ่งทำให้เปอร์เซ็นต์การเก็บกักในชั้นตัวกลางมีแนวโน้มมาก  
 ขึ้น  $G$  ที่ให้ประสิทธิภาพในการทำตะกอนสูงจะมีค่าอยู่ระหว่าง  $80 - 250$  ทอวินาที ซึ่งสูงกว่า  
 เครื่องทำตะกอนชนิดอื่น ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง  $20 - 40$  ทอวินาที ทั้งนี้เพราะเครื่องทำตะกอน  
 แบบใช้ของแข็ง เป็นตัวกลาง มีการกระจายของกำลังงานเท่ากันตลอดในท่อทำตะกอน

การใช้ตัวกลางหลายขนาดเรียงลำดับจากขนาดเล็กขึ้นไปหาขนาดใหญ่ดีกว่าใช้ตัวกลาง  
 ขนาดเดียว ในการใช้ตัวกลางขนาด  $\phi 1 - 2$  มม. ความลึกของตัวกลาง  $1.00$  ม. และอัตรา  
 การไหล  $0.49 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-นาท}$  จะให้ประสิทธิภาพในการทำตะกอน  $0.0526$  เปรียบเทียบกับ  
 การใช้ตัวกลางขนาด  $\phi 1 - 2$  มม. กับ  $\phi 2 - 5$  มม. อย่างละ  $0.50$  ม. โดยให้ตัวกลางขนาด  
 $\phi 2 - 5$  มม. อยู่ด้านบนของตัวกลางขนาด  $\phi 1 - 2$  มม. และอัตราการไหล  $0.49 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-นาท}$   
 จะให้ประสิทธิภาพในการทำตะกอน  $0.0625$  และการใช้ตัวกลางหลายขนาดเรียงลำดับจากขนาด  
 เล็กขึ้นไปหาขนาดใหญ่หลาย ๆ แบบ พบว่าการใช้ตัวกลางขนาด  $\phi 1 - 2$  กับ  $\phi 2 - 5$  มม.  
 จะให้ประสิทธิภาพในการทำตะกอนมากที่สุด

Thesis Title	Solid Media Flocculator
Name	Mr. Yootana Mahajchariyawong
Thesis Advisor	Ass. Prof. Theera Karot, Ph.D
Department	Sanitary Engineering
Aeademic Year	1980

#### ABSTRACT

Most of water purification plants normally use mechanical flocculator with paddle today's. Though this type of flocculator is very efficient, it requires good maintenance and consumes high energy. The solid media flocculator can reduce these problems.

Experiments were carried out by using synthetic turbid water with turbidity of 200 JTU, and alum as coagulant. Equipments for experiment consists of PVC pipe of size 4 inches in diameter as flocculator column, and gravel of size 1 - 2, 2 - 5, 5 - 10 and/or 10 - 20 mm. as solid media filling inside the flocculator with the depth between 0.50 - 1.50 m.

In experiment by using media of 1 - 2, 2 - 5, 5 - 10 or 10 - 20 mm. size. It was found out that media of size between  $\phi$  1-5 mm. gave the value of the efficiency of flocculation higher than 0.033.

And when increased the size of media the efficiency of the flocculator was decreased. Efficiency increased if the depth of media increased in the range 0.50 - 1.0 m. But at the same time the percentage of removal also increased, and required more water for back wash. When using flow rate of water  $0.25 - 1.43 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{min.}$  it was found out that the lower of the rate of flow than  $1.23 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{min.}$  the more efficient in flocculation was. The value of optimum velocity gradient (G) which give high value of flocculation was between  $80 - 250 \text{ sec}^{-1}$ . This result was higher than the performance of other types of flocculators which has G value between  $20 - 40 \text{ sec}^{-1}$ . This due to the fact that the solid media flocculator power distribution is well distributed over the flocculator column.

The using of media of various size by putting the bigger size on top of smaller one alternately was better than using only one size of media. In using media of 1 - 2 mm. size, depth of 1.00 m. and rate of flow  $0.49 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{min.}$  was able to give efficiency of flocculation 0.0526, compared with 0.0625 in case of using media of  $\phi$  1 - 2 mm. and  $\phi$  2 - 5 mm. size 0.50 m. each by putting the media of  $\phi$  2 - 5 mm. on top of 1 - 2 mm. size, and rate of flow  $0.49 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{min.}$  And from various combinations of experiment by using media of various sizes from small to bigger sizes alternately, it was found out that media of size  $\phi$  1 - 2 and 2 - 5 mm. gave the highest efficiency of flocculation.



### กติกกรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอก ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุม  
 การวิจัยที่ได้ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือทางด้านการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้  
 ขอขอบพระคุณคุณวีรวัฒน์ แจงอยู่ ที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำหลักการในการเริ่มการทดลองและให้  
 คำปรึกษาทางวิชาการ ขอขอบพระคุณ คุณอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลทุกท่าน อ.อุกร  
 จารุรัตน์ และคุณอิสสระ โชติบุรการ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและช่วยเหลือต่าง ๆ ขอขอบคุณ  
 คุณยาใจ ชรรววิมลกุล คุณบุญโญ ชรรวมศิริ คุณอุทสาหะ กันอุสิน คุณสมบัติ คัทตะพันธ์  
 และเพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจ

ท้ายสุดนี้ ความดีหรือประโยชน์ทั้งหลายของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขออุทิศให้แก่คุณพ่อ  
 คุณแม่ ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณสูงสุดของผู้วิจัย



สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย  
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ  
กิตติกรรมประกาศ  
รายการตารางประกอบ  
รายการรูปประกอบ  
บทที่



หน้า

ง

ฉ

ช

ค

ด

1.	บทนำ	
1.1	กล่าวโดยทั่วไป	1
1.2	จุดประสงค์ของการวิจัย	3
1.3	ขอบเขตของการวิจัย	3
2.	ความเป็นมาและวิวัฒนาการของ เครื่องทำตะกอน	4
3.	ทฤษฎี	
3.1	ที่มาของความขุ่นในน้ำ	10
3.2	คอลลอยด์	10
3.3	เคมีโคแอกกูเลชัน	11
3.4	โคแอกกูเลชันเอกซ์	13
3.5	ทฤษฎีของการทำตะกอน	14
3.6	ขั้นตอนในการทำตะกอน	17
3.6.1	เครื่องผสม (Mixing Devices)	17
3.6.2	เครื่องกวน (Stirring Devices)	21
3.7	ความสำคัญของขนาดฟล็อกที่มีต่อการตกตะกอน	24

## สารบัญ

(ต่อ)

	หน้า
3.8 เครื่องทำตะกอนแบบใบของแข็ง เป็นตัวกลาง	26
3.9 การควบคุมและวัดค่าความเร็วสัมพัทธ์ต่อหน่วย ระยะทางใน เครื่องทำตะกอนแบบใบของแข็ง เป็นตัวกลาง	26
4. วิธีดำเนินการทดลองวิจัย	
4.1 วิธีที่ใช้ในการวิจัย	28
4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	30
4.3 การดำเนินการวิจัย	30
4.4 การเก็บตัวอย่างน้ำ	39
4.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ	39
5. ผลการทดลองวิจัยและข้อคิดเห็น	
5.1 ผลของ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ของตัวกลาง	41
5.2 ผลของความลึกของตัวกลาง	42
5.3 ผลของ อัตราการไหลของน้ำ	58
5.4 ผลของ ระยะเวลาเก็บกัก	68
5.5 ผลของ ความเร็วสัมพัทธ์ต่อหน่วยระยะทาง	68
5.6 ผลของ ผลคูณระหว่างความเร็วสัมพัทธ์ต่อ ระยะทางกับระยะเวลาที่ไหลผ่านตัวกลาง	73
5.7 ผลของการใช้ตัวกลางหลายขนาด	77

สารบัญ

(ต่อ)

หน้า

6. สรุปผลการวิจัย	86
7. ข้อเสนอแนะการวิจัยขั้นต่อไป	88
เอกสารอ้างอิง	89
ภาคผนวก	95
ประวัติ	134

## รายการตารางประกอบ

ตารางที่

หน้า

4.1	แสดงตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำ Jar Test	31
4.2	แสดงตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองเครื่อง ทำตะกอนแบบไซของแข็ง เป็นตัวกลาง	32
ผ.1	ตารางแสดงผลการทดลอง เมื่อใช้กรวดขนาด $\phi$ 1 - 2, 2 - 5, 5 - 10 หรือ 10 - 20 มม. เป็นตัวกลางเพียง ขนาดเดียวในแต่ละการทดลอง	96
ผ.2	ตารางแสดงผลการทดลอง เมื่อใช้กรวดขนาด $\phi$ 1 - 2, 2 - 5, 5 - 10 และ 10 - 20 มม. เป็นจำนวน 2, 3 หรือ 4 ขนาด เป็นตัวกลางในแต่ละการทดลอง	117

## รายการรูปประกอบ

รูปที่

หน้า

2.1	Paddle Design	โดย Drobny	8
3.1	Double Layer Model of Colloidal Particle		12
3.2	Detail of Paddles Used by Patwardhan		16
3.3	Profile Characteristics of Hydraulic Jump		18
3.4	แผ่นกั้น (Baffle)		19
3.5	Mixing and stirring impellers		20
3.6	Baffle Flocculation Basin		22
3.7	Mechanical Stirres		23
3.8	แสดงการกระจายความเร็วที่บริเวณต่าง ๆ		25
4.1	แสดง ขนาดกรวยและตะแกรงร่อนที่ใช้		29
4.2	แสดง เครื่องวัดความขุ่น		35
4.3	แสดง Jar Test		35
4.4	แสดง เครื่องมือวัดปริมาณการไหลของน้ำชนิดใช้ลูกกลอยเป็นครรชน		36
4.5	แสดง ส่วนประกอบของ เครื่องมือทดลอง		37
4.6	แสดง การติดตั้ง เครื่องมือการทดลอง		38
5.1	แสดง ผลของ แรงเฉื่อยและแรงหนืดของน้ำต่อการเก็บกักตะกอน		42
5.2	แสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของตัวกลางกับ $\epsilon$ ที่ความลึกของตัวกลาง 0.50 ม.		43
5.3	แสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของตัวกลางกับ $\epsilon$ ที่ความลึกของตัวกลาง 1.00 ม.		43

รายการรูปประกอบ

(ต่อ)

หน้า

รูปที่

- |      |  |    |
|------|--|----|
| 5.4  | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตัวกลาง<br>กับ $\epsilon$ ที่ความลึกของตัวกลาง 1.50 ม.   | 44 |
| 5.5  | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon$ กับขนาดของตัวกลาง<br>หรือค่า $G$ ที่อัตราการไหล $0.25 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{นาที}$ | 45 |
| 5.6  | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon$ กับขนาดของตัวกลาง<br>หรือค่า $G$ ที่อัตราการไหล $0.49 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{นาที}$ | 45 |
| 5.7  | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon$ กับขนาดของตัวกลาง<br>หรือค่า $G$ ที่อัตราการไหล $0.74 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{นาที}$ | 46 |
| 5.8  | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon$ กับขนาดของตัวกลาง<br>หรือค่า $G$ ที่อัตราการไหล $0.99 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{นาที}$ | 46 |
| 5.9  | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon$ กับขนาดของตัวกลาง<br>หรือค่า $G$ ที่อัตราการไหล $1.23 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{นาที}$ | 47 |
| 5.10 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon$ กับขนาดของตัวกลาง<br>หรือค่า $G$ ที่อัตราการไหล $1.48 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{นาที}$ | 47 |
| 5.11 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตัวกลางกับ<br>เปอร์เซ็นต์การกำจัดในชั้นตัวกลาง เมื่อความลึก<br>ของตัวกลาง 0.50 ม.                | 48 |

รายการรูปประกอบ

(ต่อ)

หน้า

รูปที่

5.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตัวกลางกับ เปอร์เซ็นต์การกำจัดในชั้นตัวกลาง เมื่อความลึก ของตัวกลาง 1.00 ม.	48
5.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตัวกลางกับ เปอร์เซ็นต์การกำจัดในชั้นตัวกลาง เมื่อความลึก ของตัวกลาง 1.50 ม.	49
5.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัด ในชั้นตัวกลางกับขนาดของตัวกลาง หรือค่า G ที่อัตราการไหล 0.25 $m^3/m^2$ - นาที	50
5.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัด ในชั้นตัวกลางกับขนาดของตัวกลาง หรือค่า G ที่อัตราการไหล 0.49 $m^3/m^2$ - นาที	50
5.16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัด ในชั้นตัวกลางกับขนาดของตัวกลาง หรือค่า G ที่อัตราการไหล 0.74 $m^3/m^2$ - นาที	51
5.17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัด ในชั้นตัวกลางกับขนาดของตัวกลาง หรือค่า G ที่อัตราการไหล 0.99 $m^3/m^2$ - นาที	51

## รายการรูปประกอบ

(ต่อ)

หน้า

รูปที่

- 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปรอเซ็นตการกำจัด  
ในชั้นตัวกลางกับขนาดของตัวกลางหรือค่า  $G$   
ที่อัตราการไหล  $1.23 \text{ ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาท}$  52
- 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปรอเซ็นตการกำจัด  
ในชั้นตัวกลางกับขนาดของตัวกลางหรือค่า  $G$   
ที่อัตราการไหล  $1.48 \text{ ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาท}$  52
- 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\epsilon$  กับความลึกของ  
ตัวกลางหรือ  $t_d$  ที่อัตราการไหล  $0.25 \text{ ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาท}$  53
- 5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\epsilon$  กับความลึกของ  
ตัวกลางหรือ  $t_d$  ที่อัตราการไหล  $0.49 \text{ ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาท}$  53
- 5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\epsilon$  กับความลึกของ  
ตัวกลางหรือ  $t_d$  ที่อัตราการไหล  $0.74 \text{ ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาท}$  54
- 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\epsilon$  กับความลึกของ  
ตัวกลางหรือ  $t_d$  ที่อัตราการไหล  $0.99 \text{ ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาท}$  54
- 5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\epsilon$  กับความลึกของ  
ตัวกลางหรือ  $t_d$  ที่อัตราการไหล  $1.23 \text{ ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาท}$  55



รายการรูปประกอบ

(ต่อ)

หน้า

รูปที่

5.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\epsilon$  กับความลึกของ  
 ทัวกลางหรือ  $t_d$  ที่อัตราการไหล  $1.48 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-นาที}$  55

5.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของทัวกลางกับ  $\epsilon$   
 ที่ขนาดของทัวกลาง  $\phi 1 - 2 \text{ มม.}$  56

5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของทัวกลางกับ  $\epsilon$   
 ที่ขนาดของทัวกลาง  $\phi 2 - 5 \text{ มม.}$  56

5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของทัวกลางกับ  $\epsilon$   
 ที่ขนาดของทัวกลาง  $\phi 5 - 10 \text{ มม.}$  57

5.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของทัวกลางกับ  $\epsilon$   
 ที่ขนาดของทัวกลาง  $\phi 10 - 20 \text{ มม.}$  57

5.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของทัวกลางกับ  
 เปรอเซ็นต์การกำจัดในชั้นทัวกลาง เมื่อขนาดของ  
 ทัวกลาง  $\phi 1 - 2 \text{ มม.}$  59

5.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของทัวกลางกับ  
 เปรอเซ็นต์การกำจัดในชั้นทัวกลาง เมื่อขนาดของ  
 ทัวกลาง  $\phi 2 - 5 \text{ มม.}$  59

5.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของทัวกลางกับ  
 เปรอเซ็นต์การกำจัดในชั้นทัวกลาง เมื่อขนาดของ  
 ทัวกลาง  $\phi 5 - 10 \text{ มม.}$  60

รายการรูปประกอบ

(ต่อ)

หน้า

รูปที่

- 5.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของตัวกลางกับ  
เปอร์เซ็นต์การกำจัดในชั้นตัวกลาง เมื่อขนาดของ  
ตัวกลาง  $\phi$  10 - 20 มม. 60
- 5.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัดใน  
ชั้นตัวกลางกับความลึกของตัวกลาง หรือค่า  $t_d$   
เมื่ออัตราการไหล  $0.25 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{นาท}$  61
- 5.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัดใน  
ชั้นตัวกลางกับความลึกของตัวกลาง หรือค่า  $t_d$   
เมื่ออัตราการไหล  $0.49 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{นาท}$  61
- 5.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัดใน  
ชั้นตัวกลางกับความลึกของตัวกลาง หรือค่า  $t_d$   
เมื่ออัตราการไหล  $0.74 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{นาท}$  62
- 5.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัดใน  
ชั้นตัวกลางกับความลึกของตัวกลาง หรือค่า  $t_d$   
เมื่ออัตราการไหล  $0.99 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{นาท}$  62
- 5.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัดใน  
ชั้นตัวกลางกับความลึกของตัวกลาง หรือค่า  $t_d$   
เมื่ออัตราการไหล  $1.23 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{นาท}$  63

## รายการรูปประกอบ

(ต่อ)

หน้า

รูปที่

- 5.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัดใน  
ชั้นตัวกลางกับความลึกของตัวกลางหรือค่า  $t_d$   
เมื่ออัตราการไหล  $1.48 \text{ ม}^3/\text{ม}^2\text{-นาท}$  63
- 5.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\epsilon$  กับอัตราการไหล  
หรือค่า  $G$  ที่ขนาดตัวกลาง  $\phi 1 - 2 \text{ มม.}$  64
- 5.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\epsilon$  กับอัตราการไหล  
หรือค่า  $G$  ที่ขนาดตัวกลาง  $\phi 2 - 5 \text{ มม.}$  64
- 5.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\epsilon$  กับอัตราการไหล  
หรือค่า  $G$  ที่ขนาดตัวกลาง  $\phi 5 - 10 \text{ มม.}$  65
- 5.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\epsilon$  กับอัตราการไหล  
หรือค่า  $G$  ที่ขนาดตัวกลาง  $\phi 10 - 20 \text{ มม.}$  65
- 5.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\epsilon$  กับอัตราการไหล  
ที่ความลึกของตัวกลาง  $0.50 \text{ ม.}$  66
- 5.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\epsilon$  กับอัตราการไหล  
ที่ความลึกของตัวกลาง  $1.00 \text{ ม.}$  66
- 5.46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\epsilon$  กับอัตราการไหล  
ที่ความลึกของตัวกลาง  $1.50 \text{ ม.}$  67

## รายการรูปประกอบ

(ต่อ)

หน้า

รูปที่

- |      |  |    |
|------|--|----|
| 5.47 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปรอ เซนต์การกำจัด<br>กับอัตราการไหล เมื่อความลึกของตัวกลาง 0.50 ม.                    | 69 |
| 5.48 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปรอ เซนต์การกำจัด<br>กับอัตราการไหล เมื่อความลึกของตัวกลาง 1.00 ม.                    | 69 |
| 5.49 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปรอ เซนต์การกำจัด<br>กับอัตราการไหล เมื่อความลึกของตัวกลาง 1.50 ม.                    | 70 |
| 5.50 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปรอ เซนต์การกำจัดกับ<br>อัตราการไหลหรือค่า $G$ เมื่อขนาดของตัวกลาง $\phi 1 - 2$ มม.   | 71 |
| 5.51 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปรอ เซนต์การกำจัดกับ<br>อัตราการไหลหรือค่า $G$ เมื่อขนาดของตัวกลาง $\phi 2 - 5$ มม.   | 71 |
| 5.52 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปรอ เซนต์การกำจัดกับ<br>อัตราการไหลหรือค่า $G$ เมื่อขนาดของตัวกลาง $\phi 5 - 10$ มม.  | 72 |
| 5.53 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปรอ เซนต์การกำจัดกับ<br>อัตราการไหลหรือค่า $G$ เมื่อขนาดของตัวกลาง $\phi 10 - 20$ มม. | 72 |
| 5.54 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $G t_d$ กับ $\epsilon$<br>ที่ค่า $G$ 10 - 50 ทอวินาที                                  | 74 |
| 5.55 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $G t_d$ กับ $\epsilon$<br>ที่ค่า $G$ 50 - 90 ทอวินาที                                  | 74 |

รายการรูปประกอบ

(ต่อ)

หน้า

รูปที่

5.56	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Gt_d$ กับ $\epsilon$ ที่ค่า $G$ 90 - 210 ทอวินาที	75
5.57	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Gt_d$ กับ $\epsilon$ ที่ค่า $G$ 210 - 370 ทอวินาที	75
5.58	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Gt_d$ กับ $\epsilon$ ที่ค่า $G$ 370 - 520 ทอวินาที	76
5.59	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon$ กับความลึก ของตัวกลางที่อัตราการไหล 0.49 $m^3/m^2$ - นาที	78
5.60	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon$ กับความลึก ของตัวกลางที่อัตราการไหล 0.99 $m^3/m^2$ - นาที	78
5.61	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon$ กับความลึก ของตัวกลางที่อัตราการไหล 1.23 $m^3/m^2$ - นาที	79
5.62	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon$ กับอัตราการไหล ที่ขนาดของตัวกลาง $\phi$ 1 - 2 และ 2 - 5 มม.	80
5.63	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon$ กับอัตราการไหล ที่ขนาดของตัวกลาง $\phi$ 1 - 2, 2-5 และ 5-10 มม.	80
5.64	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon$ กับอัตราการไหล ที่ขนาดของตัวกลาง $\phi$ 1-2, 2-5, 5-10 และ 10-20 มม.	81

รายการรูปประกอบ

(ต่อ)

หน้า

รูปที่

- |      |  |    |
|------|--|----|
| 5.65 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัดใน<br>ชั้นตัวกลาง กับความลึกของตัวกลาง ที่อัตราการไหล<br>0.49 ม <sup>3</sup> /ม <sup>2</sup> - นาที | 82 |
| 5.66 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัดใน<br>ชั้นตัวกลาง กับความลึกของตัวกลาง ที่อัตราการไหล<br>0.99 ม <sup>3</sup> /ม <sup>2</sup> - นาที | 82 |
| 5.67 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัดใน<br>ชั้นตัวกลาง กับความลึกของตัวกลาง ที่อัตราการไหล<br>1.23 ม <sup>3</sup> /ม <sup>2</sup> - นาที | 83 |
| 5.68 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัดใน<br>ชั้นตัวกลาง กับอัตราการไหลที่ขนาดของตัวกลาง<br>φ 1 - 2 มม. และ φ 2 - 5 มม.                    | 84 |
| 5.69 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัดใน<br>ชั้นตัวกลาง กับอัตราการไหลที่ขนาดของตัวกลาง<br>φ 1 - 2, 2 - 5 และ 5 - 10 มม.                  | 84 |
| 5.70 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การกำจัดใน<br>ชั้นตัวกลาง กับอัตราการไหลที่ขนาดของตัวกลาง<br>φ 1 - 2, 2 - 5, 5 - 10 และ 10 - 20 มม.         | 85 |