

พารามิเตอร์ควบคุมการกวนเร็วในท่อแนวระดับ



นายสุรินทร์ พลະสมบูรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

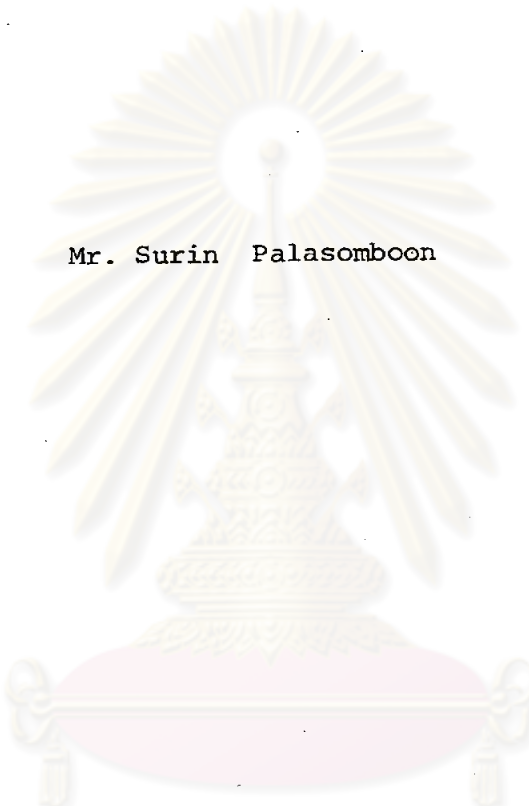
พ.ศ. 2529

ISBN 974-566-276-3

013600

18069208

CONTROL PARAMETERS OF RAPID MIXING IN HORIZONTAL PIPE



Mr. Surin Palasomboon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Sanitary Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1986.

หัวข้อวิทยานิพนธ์ พารามิเตอร์ควบคุมการกวนเร็วในท่อแนวระดับ  
โดย นายสุรินทร์ พละสมบูรณ์  
ภาควิชา วิศวกรรมชลประทาน  
อาจารย์ที่ปรึกษา ร.องคำสตราจารย์ ดร.ธีระ เกระธ



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ  
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

*Handwritten signature*

(ร.องคำสตราจารย์ ดร.สรชัย พิศาลบุตร)

รักษาการในตำแหน่งรองคณบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนรักษาการในตำแหน่งคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

*Handwritten signature*

ประธานกรรมการ

(ร.องคำสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

*Handwritten signature*

กรรมการ

(ผู้ช่วยค.อ.สุรินทร์ สุริยาวเรียร)

*Handwritten signature*

กรรมการ

(ร.องคำสตราจารย์ วงศ์พันธ์ สิมปเสนีย์)

*Handwritten signature*

กรรมการ

(ร.องคำสตราจารย์ ดร.ธีระ เกระธ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ พารามิเตอร์ควบคุมการกวนเร็วในท่อแนวระดับ  
 ชื่อผู้ผลิต นายสุรินทร์ พลสมบูรณ์  
 อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. อีระ เกรอด  
 ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล  
 ปีการศึกษา 2528



บทคัดย่อ

การกวนเร็ว เป็นหน่วยที่สำคัญของกระบวนการรวมตะกอน ประสิทธิภาพการทำงานของหน่วยกวนเร็วนี้จะมีผลกระทบต่อหน่วยบำบัดที่ตามมาอย่างมากในระบบผลิตน้ำประปา การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาพารามิเตอร์ควบคุมการกวนเร็วในท่อแนวระดับ พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเร็วเกรเดียนท์ (G) เวลาพักน้ำ (T) และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม (C) กับพารามิเตอร์ดังกล่าว การทดลองกระทำกับกระบวนการค้นแบบ ซึ่งเป็นท่อเหล็กชุบสังกะสี น้ำดิบสังเคราะห์จากเบ็นโทไนท์มีความขุ่น 50 NTU และใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน

ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นขึ้นอยู่กับค่า G T และ C ความเข้มข้นของสารส้มมีผลโดยตรงต่ออัตราเร็วในการตกตะกอนของฟล็อก และต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น ค่าของ C ที่ให้อัตราเร็วในการตกตะกอนของฟล็อกดี มีค่าอยู่ในช่วง 15 - 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของ G ที่ให้ผลดีที่สุด ( $G_{opt}$ ) ขึ้นอยู่กับค่า T ในช่วง  $1 < T < 20$  วินาที ค่า  $G_{opt}$  จะมีค่าเท่ากับ  $2600 \text{ วินาที}^{-1}$  และในช่วง  $20 < T < 60$  วินาที ค่า  $G_{opt}$  จะมีค่าเท่ากับ  $400 \text{ วินาที}^{-1}$  ในช่วงที่ C มีค่าระหว่าง 15 - 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลคูณของ  $GT_{opt}$  มีค่าอยู่ในช่วง 10,000 - 20,000 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $G, T_{opt}$  และ C อาจแสดงในรูปสมการ

เอ็มไพริคัล

$$G T_{opt} C^{0.64} = 100,000$$

Thesis Title                    Control Parameters of Rapid Mixing in Horizontal  
    Pipe

Name                                Mr. Surin Palasomboon

Thesis Advisor                Associate Professor Theera Karot, Ph. D.

Department                    Sanitary Engineering

Academic Year                1985



#### ABSTRACT

Rapid mixing is the main step of coagulation process. Effective operation of the rapid mixing considerably affects the subsequent treatment process in water supply system. This research was intended to study control parameters of rapid mixing in horizontal pipe. The parameters under study were velocity gradient (G), detention time (T), and the relationship between alum concentration and the mentioned parameters. The experiment were conducted on a pilot rapid mixing unit which made of galvanized steel pipe. Raw turbid water was synthesized from bentonite clay with a turbidity of 50 NTU. Alum was used as the coagulant.

The experimental results had shown that the efficiency of turbidity removal depended on G, T and C. The alum concentration affected floc settling rate and the efficiency of turbidity removal. The values of C which gave good floc settling rate were ranged from 15 to 30 milligram per litres. The optimum value of G depended on the value of T. For  $1 \times T < 20$  second the optimum value of G was  $2600 \text{ second}^{-1}$  and for

20 < T < 60 second the optimum value of G value was 400 second<sup>-1</sup>. For the range of C values between 15 to 30 milligram per litres, the optimum GT value were in the range of 10,000 - 20,000. The relationship between G, T<sub>opt</sub> and C may be represented by the empirical formula

$$G T_{opt} C^{0.64} = 100,000.$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต ที่ให้คำแนะนำปรึกษา ตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยจนสำเร็จ ขอขอบคุณ นายถาวร สีสาดระกุล และ นายพิพัฒน์ ชื่นชมชาติ ที่ได้เอื้อเฟื้อและอนุเคราะห์ขณะทำการวิจัย ขอขอบคุณ คณาจารย์ และ เจ้าหน้าที่ในภาควิชา ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัย

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก เงินทุนอุดหนุนการวิจัย บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปี ค.ศ. 2528

ขอขอบคุณผู้ให้กำลังใจ

นายสุรินทร์ พละสมบุรณ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ



หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ณ
บทที่	
1. บทนำ .....	1
2. วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการวิจัย.....	4
2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
2.2 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
3. วรรณคดีปริทัศน์.....	5
3.1 การศึกษาทดลองที่ผ่านมา.....	5
3.2 ทฤษฎีของการกวนเร็ว.....	7
3.3 พารามิเตอร์ควบคุมการกวนเร็ว.....	9
3.3.1 ความเร็วเกรเดียนท์.....	11
3.3.2 เวลาพักน้ำ.....	13
3.4 การประยุกต์พารามิเตอร์ควบคุมการกวนเร็วเข้ากับการกวนเร็วในท่อ.....	13
3.4.1 ความเร็วเกรเดียนท์.....	14
3.4.1.1 สำหรับลักษณะการไหลในท่อเป็นแบบราบเรียบ.....	14
3.4.1.2 สำหรับลักษณะการไหลในท่อเป็นแบบอลวน.....	20
3.4.2 เวลาพักน้ำ.....	24



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. การดำเนินการวิจัย.....	25
4.1 ลำดับของการทดลอง.....	25
4.2 วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง.....	25
4.2.1 น้ำยูนึ่งเคราะห์.....	25
4.2.1.1 พิเอชของน้ำยูนึ่งเคราะห์.....	27
4.2.1.2 ค่าความเป็นด่างของน้ำยูนึ่งเคราะห์.....	27
4.2.1.3 อุณหภูมิของน้ำยูนึ่งเคราะห์.....	27
4.2.2 สารเคมี.....	27
4.2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	28
4.2.3.1 ถังเก็บน้ำยูนึ่งเคราะห์.....	28
4.2.3.2 เครื่องสูบน้ำ.....	28
4.2.3.3 ถังเก็บสารละลายสารส้ม.....	28
4.2.3.4 เครื่องสูบลำลายสารส้ม.....	28
4.2.3.5 เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า.....	28
4.2.3.6 เครื่องวัดปริมาตรน้ำ.....	29
4.2.3.7 ท่อกวนเร็ว.....	29
4.2.3.8 อุปกรณ์ลึ่ฆานตะกอนและตกตะกอน.....	29
4.2.3.9 เครื่องวัดความขุ่น.....	29
4.2.3.10 เครื่องวัดพีเอช.....	29
4.2.3.11 เครื่องวัดอุณหภูมิ.....	30
4.2.3.12 เครื่องวัดระดับความดันน้ำ.....	30
4.3 แผนผังระบบการทดลอง.....	30
4.4 พารามิเตอร์ในการทดลอง.....	33
4.5 การดำเนินการทดลอง.....	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5.1 การทดลองเพื่อหาระยะเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว.....	38
4.5.2 การทดลองหาพารามิเตอร์ควบคุม.....	39
5. ผลการทดลองและวิจารณ์.....	40
5.1 ผลของ T ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น.....	40
5.1.1 ที่ค่า G คงที่.....	40
5.1.2 ที่ค่า C คงที่.....	60
5.2 ผลของ G ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น.....	83
5.3 ผลของ C ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น.....	96
5.4 ผลของ T ต่อ $G_{opt}$ .....	117
5.5 ผลของ G T ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น.....	117
5.6 ความสัมพันธ์ของ G T และ C.....	126
6. สรุปผลการวิจัย.....	129
7. ความสำคัญทางวิศวกรรม.....	131
8. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยเพิ่มเติม.....	133
บรรณานุกรม.....	134
ภาคผนวก.....	137
ประวัติผู้วิจัย.....	182

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงค่าหัวน้ำสูญเสียเฉลี่ยที่อัตราการไหลที่ทดลอง.....	34
4.2 แสดงค่าความเร็วเกรเดียนท์ที่คำนวณจากการวัดหัวน้ำสูญเสีย.....	34
4.3 แสดงค่าความเร็วเกรเดียนท์ที่ได้จากการคำนวณ.....	35
4.4 แสดงผลการทดสอบแบบสารเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย สารส้มสูงที่สุดที่จะใช้ในการวิจัย.....	36
4.5 ค่าของพารามิเตอร์คงที่ที่ใช้ในการทดลอง.....	37
4.6 พารามิเตอร์ที่แปรค่า และค่าแปร.....	37
4.7 แสดงระยะเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว.....	38
5.1 ค่า $n$ และ $T_{opt}$ ที่สภาวะ G C ต่าง ๆ เมื่อ OFR = 1.9 ชม/นท	80
5.2 ค่า $n$ และ $T_{opt}$ ที่สภาวะ G C ต่าง ๆ เมื่อ OFR = 0.95 ชม/นท	81
5.3 ค่า $n$ และ $T_{opt}$ ที่สภาวะ G C ต่าง ๆ เมื่อ OFR = 0.63 ชม/นท	82
5.4 แสดงช่วงค่า GT ที่เหมาะสม ความขุ่นที่เหลือต่ำสุดเฉลี่ย ประสิทธิภาพ กำจัดความขุ่นสูงที่สุดเฉลี่ย ที่ C ที่ทดลอง เมื่อ OFR = 1.9 ชม/นท	121
5.5 แสดงช่วงค่า GT ที่เหมาะสม ความขุ่นที่เหลือต่ำสุดเฉลี่ย ประสิทธิภาพ กำจัดความขุ่นสูงที่สุดเฉลี่ย ที่ C ที่ทดลอง เมื่อ OFR = 0.95 ชม/นท	121
5.6 แสดงช่วงค่า GT ที่เหมาะสม ความขุ่นที่เหลือต่ำสุดเฉลี่ย ประสิทธิภาพ กำจัดความขุ่นสูงที่สุดเฉลี่ย ที่ C ที่ทดลอง เมื่อ OFR = 0.63 ชม/นท	125
5.7 การเปรียบเทียบผลการที่ขาดลบ.....	126

## สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
1. ค่าหัวน้ำสูญเสียของท่อ.....	154
2. ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ $G = 400$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 5 มก/ล.....	155
3. ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ $G = 400$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 10 มก/ล.....	156
4. ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ $G = 400$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 15 มก/ล.....	157
5. ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ $G = 400$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 20 มก/ล.....	158
6. ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ $G = 400$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 30 มก/ล.....	159
7. ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ $G = 1000$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 5 มก/ล.....	160
8. ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ $G = 1000$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 10 มก/ล.....	161
9. ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ $G = 1000$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 15 มก/ล.....	162
10. ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ $G = 1000$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 20 มก/ล.....	163
11. ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ $G = 1000$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 30 มก/ล.....	164

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
12. ความเข้มข้นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มข้นที่ $G = 1750$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 5 มก/ล.....	165 165
13. ความเข้มข้นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มข้นที่ $G = 1750$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 10 มก/ล.....	166 166
14. ความเข้มข้นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มข้นที่ $G = 1750$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 15 มก/ล.....	167 167
15. ความเข้มข้นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มข้นที่ $G = 1750$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 20 มก/ล.....	168 168
16. ความเข้มข้นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มข้นที่ $G = 1750$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 30 มก/ล.....	169 169
17. ความเข้มข้นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มข้นที่ $G = 2600$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 5 มก/ล.....	170 170
18. ความเข้มข้นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มข้นที่ $G = 2600$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 10 มก/ล.....	171 171
19. ความเข้มข้นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มข้นที่ $G = 2600$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 15 มก/ล.....	172 172
20. ความเข้มข้นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มข้นที่ $G = 2600$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 20 มก/ล.....	173 173
21. ความเข้มข้นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มข้นที่ $G = 2600$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 30 มก/ล.....	174 174

## สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
22. ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ $G = 3600$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 5 มก/ล.....	175
23. ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ $G = 3600$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 10 มก/ล.....	176
24. ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ $G = 3600$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 15 มก/ล.....	177
25. ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ $G = 3600$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 20 มก/ล.....	178
26. ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ $G = 3600$ วินาที <sup>-1</sup> ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 30 มก/ล.....	179

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 แสดงแผนภูมิของกลไกของกระบวนการกวนเร็ว.....	8
3.2 ข้อกำหนดในการหาปริมาณของความเร็วเกรเดียนท์.....	11
3.3 นิยามในการหาค่าเฉลี่ยของความเร็วเกรเดียนท์.....	15
4.1 แผนผังระบบการทดลอง.....	31
4.2 การติดตั้งเครื่องมือการทดลอง.....	32
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า G เมื่อ C = 30 มก/ล OFR = 1.9 ชม/นท.....	41
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า G เมื่อ C = 20 มก/ล OFR = 1.9 ชม/นท.....	42
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า G เมื่อ C = 15 มก/ล OFR = 1.9 ชม/นท.....	43
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า G เมื่อ C = 10 มก/ล OFR = 1.9 ชม/นท.....	44
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า G เมื่อ C = 5 มก/ล OFR = 1.9 ชม/นท.....	45
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า G เมื่อ C = 30 มก/ล OFR = 0.95 ชม/นท.....	46
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า G เมื่อ C = 20 มก/ล OFR = 0.95 ชม/นท.....	47
5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า G เมื่อ C = 15 มก/ล OFR = 0.95 ชม/นท.....	48





## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า C เมื่อ $G = 400$ วินาที <sup>-1</sup> OFR = 0.95 ซม/นท...	66
5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า C เมื่อ $G = 1000$ วินาที <sup>-1</sup> OFR = 0.95 ซม/นท...	67
5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า C เมื่อ $G = 1750$ วินาที <sup>-1</sup> OFR = 0.95 ซม/นท...	68
5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า C เมื่อ $G = 2600$ วินาที <sup>-1</sup> OFR = 0.95 ซม/นท...	69
5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า C เมื่อ $G = 3600$ วินาที <sup>-1</sup> OFR = 0.95 ซม/นท...	70
5.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า C เมื่อ $G = 400$ วินาที <sup>-1</sup> OFR = 0.63 ซม/นท....	71
5.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า C เมื่อ $G = 1000$ วินาที <sup>-1</sup> OFR = 0.63 ซม/นท...	72
5.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า C เมื่อ $G = 1750$ วินาที <sup>-1</sup> OFR = 0.63 ซม/นท...	73
5.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า C เมื่อ $G = 2600$ วินาที <sup>-1</sup> OFR = 0.63 ซม/นท...	74
5.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น กับ T ที่แต่ละค่า C เมื่อ $G = 3600$ วินาที <sup>-1</sup> OFR = 0.63 ซม/นท...	75

สำรบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ G ที่แต่ละค่า C เมื่อ T = 5 วินาที OFR = 1.9 ซม/นท.....	84
5.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ G ที่แต่ละค่า C เมื่อ T = 10 วินาที OFR = 1.9 ซม/นท.....	85
5.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ G ที่แต่ละค่า C เมื่อ T = 20 วินาที OFR = 1.9 ซม/นท.....	86
5.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ G ที่แต่ละค่า C เมื่อ T = 5 วินาที OFR = 0.95 ซม/นท.....	87
5.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ G ที่แต่ละค่า C เมื่อ T = 10 วินาที OFR = 0.95 ซม/นท.....	88
5.36 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ G ที่แต่ละค่า C เมื่อ T = 20 วินาที OFR = 0.95 ซม/นท.....	89
5.37 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ G ที่แต่ละค่า C เมื่อ T = 5 วินาที OFR = 0.63 ซม/นท.....	90
5.38 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ G ที่แต่ละค่า C เมื่อ T = 10 วินาที OFR = 0.63 ซม/นท.....	91
5.39 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ G ที่แต่ละค่า C เมื่อ T = 20 วินาที OFR = 0.63 ซม/นท.....	92
5.40 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ C ที่แต่ละค่า G เมื่อ T = 5 วินาที OFR = 1.9 ซม/นท.....	97



ลารูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.52	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ C ที่แต่ละค่า G เมื่อ T = 20 วินาที OFR = 0.63 ซม/นท.....	109
5.53	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ C ที่แต่ละค่า G เมื่อ T = 30 วินาที OFR = 0.63 ซม/นท.....	110
5.54	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ C ที่แต่ละค่า G เมื่อ T = 50 วินาที OFR = 0.63 ซม/นท.....	111
5.55	โค้งตกตะกอน (settling curve) ที่ C คงที่ .....	116
5.56	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ T ที่ $G_{opt}$ เมื่อ OFR = 1.9 ซม/นท.....	118
5.57	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ T ที่ $G_{opt}$ เมื่อ OFR = 0.95 ซม/นท.....	119
5.58	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ T ที่ $G_{opt}$ เมื่อ OFR = 0.63 ซม/นท.....	120
5.59	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ G T ที่ C เท่ากับ 15 20 30 มก/ล เมื่อ OFR = 1.9 ซม/นท....	122
5.60	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ G T ที่ C เท่ากับ 15 20 30 มก/ล เมื่อ OFR=0.59 ซม/นท....	123
5.61	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับ G T ที่ C เท่ากับ 15 20 30 มก/ล เมื่อ OFR = 0.63 ซม/นท....	124
5.62	ความสัมพันธ์ระหว่าง $GT_{opt}$ กับ C เมื่อ OFR = 1.9 ซม/นท.....	127

สารบัญรูปภาคผนวก

รูปภาคผนวกที่	หน้า
1. แฟคเตอร์ความเสียดทานของท่อ ข้อต่อ ประตุน้ำ และข้อต่อต่าง ๆ ...	180
2. แผนผังระบบกวนเร็วด้วยถังกวน.....	181
3. แผนผังระบบกวนเร็วในท่อ.....	181



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย