

กระบวนการรวมคะแนนในท้องสำหรับกำจัดความขุ่น



นายถาวร ลีลาตระกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
ภาควิชาวิศวกรรมสุขภาพ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2530


ISBN 9 74-56 7-4 72-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

012490

I 1029885X

COAGULATION PROCESS IN PIPE FOR TURBIDITY REMOVAL



Mr. Thavorn Leelatrakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Sanitary Engineering


Graduate School

Chulalongkorn University

1987

ISBN 9 74-56 7-4 72-9

COAGULATION PROCESS IN PIPE FOR TURBIDITY REMOVAL



Mr. Thavorn Leelatrakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Sanitary Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1987

ISBN 9 74-56 7-4 72-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ กระบวนการรวมคะแนนเพื่อสำหรับกำจัดความชื้น
โดย นายถาวร ลีลาตระกูล
ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอด



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไทธรรม พรประภา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอด)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุธี ชาวเดียร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตคานนท์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์ กระบวนการรวมตะกอนในท่อสำหรับกำจัดความขุ่น
ชื่อนิพนธ์ นายถาวร ลีลาตระกูล
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอด
ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา 2529



บทคัดย่อ

การรวมตะกอน เป็นกระบวนการที่ใช้ร่วมกับการคละตะกอนและการกรองสำหรับกำจัดความขุ่นในน้ำผิวดิน กระบวนการรวมตะกอนในท่อตามการวิจัยนี้รวมการทำลายสภาวะคงตัวและการสมานตะกอนไว้ในถังปฏิกรณ์เดียวกัน ท่อรวมตะกอนที่ใช้เป็นท่อเหล็กอาบสังกะสีทำงานแบบไหลค่อเนื่อง นำคิบใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์จากเบนโทไนท์ มีความขุ่น 50 NTU ตลอดจนการทดลองพาราเมเตอร์ควบคุมที่ศึกษาได้แก่เกรเดียนต์ความเร็ว (G) เวลาพัก (T) และความเข้มข้นของสารส้ม (C) โดยแปรค่า G จาก 30 ถึง 3600 วินาที⁻¹ แปรค่า T จาก 1 ถึง 552 วินาที และแปรค่า C จาก 10 ถึง 40 มก/ล

ผลการวิจัยแสดงว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นขึ้นอยู่กับค่า G T และ C ค่าเกรเดียนต์ความเร็วที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงสุด (G') มีค่าแปรจาก 180 ถึง 360 วินาที⁻¹ โดยที่ค่า G' ไม่ขึ้นกับค่า T แต่ขึ้นอยู่กับค่า C ค่าเวลาที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงสุด (T') มีค่าแปรจาก 90 ถึง 180 วินาที โดยที่ค่า T' ไม่ขึ้นอยู่กับค่า C แต่ขึ้นอยู่กับค่า G โดยมีความสัมพันธ์ตามสมการ $T' = 5130.6 G^{-0.679}$ และความเข้มข้นของสารส้มที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงสุด (C') มีค่าแปรจาก 30 ถึง 40 มก/ล โดยที่ค่า C' ไม่ขึ้นกับค่า G และ T ผลคูณ G.T' ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงสุด มีค่าอยู่ในช่วง 15000 ถึง 30000 เมื่อใช้ค่า G อยู่ในช่วง 30 ถึง 180 วินาที⁻¹ และความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ C' นอกจากนี้ผลการวิจัยยังแสดงว่า กระบวนการรวมตะกอนในท่อสามารถกำจัดความขุ่นให้อยู่ในเกณฑ์ที่การกรองยอมรับได้

Thesis Title Coagulation Process in Pipe for Turbidity Removal
Name Mr. Thavorn Leelatrakul
Thesis Advisor Associate Professor Tneera Karot, Ph.D.
Department Sanitary Engineering
Academic Year 1986



ABSTRACT

Coagulation is normally used in combination with sedimentation and filtration for removal of turbidity in surface water. This coagulation in pipe combined destabilization and flocculation in the same reactor. The galvanized steel pipe was used as the reactor and operated on a continuous flow basin. Raw water with approximately 50 NTU turbidity was synthesized from bentonite clay. The parameters studied were velocity gradient (G), detention time (T) and alum concentration (C). The range of G , T and C varied from 30 to 3600 sec^{-1} , 1 to 552 sec and 10 to 40 mg/l. , respectively.

The experimental results revealed that the efficiency of turbidity removal depended on G , T and C . The velocity gradient which gave the maximum efficiency for turbidity removal (G') varied from 180 to 360 sec^{-1} . The values of G' did not depend on T but depended on C . The detention time which gave the maximum efficiency for turbidity removal (T') varied from 90 to 180 sec. The values of T' did not depend on C but depended on G , according to the empirical equation $T' = 5130.6 G^{-0.679}$. The alum concentration which gave the maximum

efficiency for turbidity removal (C') varied from 30 to 40 mg/l. The values of C' did not depend on G and T. The range of GT' value which gave the maximum efficiency for turbidity removal was in the range of 15000 to 30000 when G of 30 to 180 sec^{-1} and C' were used. Moreover, the results showed that coagulation in pipe could remove turbidity down to the acceptable level for filtration.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ



ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอด อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณวริษฐ์ มงคลศรี คุณสุรินทร์ หละสมบูรณ์ ตลอดจนภักดิ์ยาวมิตร
ทุก ๆ ท่านที่ได้เอื้อเฟื้อและอนุเคราะห์ระหว่างทำการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณสิริมา ปุระณะสุนต์ ซึ่งได้ช่วยเหลือในการพิมพ์วิทยานิพนธ์นี้
คุณประโยชน์ทั้งหลายของวิทยานิพนธ์นี้ ขอมอบแด่ผู้พิทักษ์ ซึ่งเต็มเปี่ยมด้วยเมตตา
ไม่สิ้นสุด



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ท
บทที่	
1. บทนำ	1
2. วัตถุประสงค์และขอบ เขตของการวิจัย	4
2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
2.2 ขอบ เขตของการวิจัย	4
3. ทฤษฎีและแนวความคิด	6
3.1 ทฤษฎีของกระบวนการรวมตะกอน	6
3.1.1 ทฤษฎีของคอลลอยด์	6
3.1.1.1 ระบบของคอลลอยด์	6
3.1.1.2 สภาวะคงตัวของคอลลอยด์	7
3.1.1.3 สภาวะไม่คงตัวของคอลลอยด์	8
3.1.2 ทฤษฎีของชั้นผสมเร็ว	9
3.1.2.1 กลไกทำลายสภาวะคงตัวของคอลลอยด์	9
3.1.2.2 พารามิเตอร์ควบคุมชั้นผสมเร็ว	13
3.1.3 ทฤษฎีของชั้นสมานตะกอน	15
3.1.3.1 กลไกสมานตะกอน	15
3.1.3.2 พารามิเตอร์ควบคุมชั้นสมานตะกอน	19

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

3.2	แนวความคิดของกระบวนการรวมตะกอนในท่อ	21
3.2.1	กระบวนการรวมตะกอนโดยทั่วไป	21
3.2.2	การผสมเร็วในท่อและการสมานตะกอนในท่อ	22
3.2.3	กระบวนการรวมตะกอนในท่อ	28
4.	การดำเนินการวิจัย	30
4.1	แผนการวิจัย	30
4.1.1	หารามีเคอร์ในการทดลอง	30
4.1.2	ลำดับการทดลอง	31
4.2	วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย	31
4.2.1	น้ำขุ่นสังเคราะห์	32
4.2.2	สารเคมี	35
4.2.3	กระบวนการค้นแบบ	36
4.2.4	อุปกรณ์วิเคราะห์คุณสมบัติดินน้ำ	39
4.3	การควบคุมกระบวนการค้นแบบ	40
4.4	การดำเนินการทดลอง	41
5.	ผลการทดลองและวิเคราะห์	43
5.1	ผลของ G ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น	43
5.2	ผลของ T ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น	59
5.3	ผลของ C ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น	90

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

5.4	ความสัมพันธ์ระหว่าง G' กับ T และ C T' กับ G และ C C' กับ G และ T	104
5.5	ความสัมพันธ์ระหว่าง G T และประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น...	105
5.5.1	ความสัมพันธ์ของผลคูณ G T ที่มีต่อประสิทธิภาพ.....	105
5.5.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง G และ T ที่มีต่อประสิทธิภาพ...	115
5.6	ความสัมพันธ์ระหว่าง G T และ C	122
5.7	ความเป็นไปได้ในการกำจัดความชื้นให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับการกรอง.....	125
6.	สรุปผลการวิจัย.....	126
7.	ความสำคัญทางวิศวกรรม.....	128
8.	ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยเพิ่มเติม.....	129
	บรรณานุกรม.....	130
	ภาคผนวก.....	135
	ประวัติผู้วิจัย.....	163

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าแปรของ G T และ C ในการทดลอง	31
4.2 ค่า BEC ของอนุภาคดินเหนียวในน้ำผิวดิน	33
4.3 ค่า G และ T ที่อัตราไหลต่าง ๆ ของกระแสเข้า	40
4.4 ค่า OFR ที่เวลาตกตะกอนต่าง ๆ	41
4.5 คุณลักษณะน้ำที่ทำการวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์	42
ม 1 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 0.38 ชม/นาที่ G 30 วินาที ⁻¹	138
ม 2 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 0.38 ชม/นาที่ G 180 วินาที ⁻¹	139
ม 3 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 0.38 ชม/นาที่ G 360 วินาที ⁻¹	140
ม 4 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 0.38 ชม/นาที่ G 580 วินาที ⁻¹	141
ม 5 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 0.38 ชม/นาที่ G 1000 วินาที ⁻¹	142
ม 6 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 0.38 ชม/นาที่ G 1700 วินาที ⁻¹	143
ม 7 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 0.38 ชม/นาที่ G 2600 วินาที ⁻¹	144
ม 8 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 0.38 ชม/นาที่ G 3600 วินาที ⁻¹	145
ม 9 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 0.63 ชม/นาที่ G 30 วินาที ⁻¹	146

สารบัญ

ตารางที่		หน้า
ห 10	ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 0.63 ชม/นาทิจ G 180 วินาที ⁻¹	147
ห 11	ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 0.63 ชม/นาทิจ G 360 วินาที ⁻¹	148
ห 12	ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 0.63 ชม/นาทิจ G 580 วินาที ⁻¹	149
ห 13	ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 0.63 ชม/นาทิจ G 1000 วินาที ⁻¹	150
ห 14	ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 0.63 ชม/นาทิจ G 1700 วินาที ⁻¹	151
ห 15	ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 0.63 ชม/นาทิจ G 2600 วินาที ⁻¹	152
ห 16	ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 0.63 ชม/นาทิจ G 3600 วินาที ⁻¹	153
ห 17	ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 1.90 ชม/นาทิจ G 30 วินาที ⁻¹	154
ห 18	ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 1.90 ชม/นาทิจ G 180 วินาที ⁻¹	155
ห 19	ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 1.90 ชม/นาทิจ G 360 วินาที ⁻¹	156
ห 20	ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 1.90 ชม/นาทิจ G 580 วินาที ⁻¹	157

สารบัญ

ตารางที่	หน้า
ม 21 ความขุ่นที่เหลืองและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 1.90 ชม/นาทิจ G 1000 วินาที ⁻¹	158
ม 22 ความขุ่นที่เหลืองและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 1.90 ชม/นาทิจ G 1700 วินาที ⁻¹	159
ม 23 ความขุ่นที่เหลืองและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 1.90 ชม/นาทิจ G 2600 วินาที ⁻¹	160
ม 24 ความขุ่นที่เหลืองและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ OFR 1.90 ชม/นาทิจ G 3600 วินาที ⁻¹	161
ม 25 แสดงค่าเรย์โนลด์มีมเบอร์ ความเร็วการไหล เซคซุยเซียเจสีย เกรเดียนท์ความเร็ว ที่อัตราไหลต่าง ๆ ของกระแสน้ำ.....	162

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1	24
3.2	25
3.3	26
3.4	27
3.5	27
3.6	29
4.1	32
4.2	36
4.3	37
4.4	32
5.1	47
5.2	48
5.3	49
5.4	50
5.5	51

สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

5.43 ความสัมพันธ์ระหว่าง C กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่แต่ละค่า G เมื่อ OFR เท่ากับ 0.63 ชม/นาทิต T เท่ากับ 50 วินาที.....	98
5.44 ความสัมพันธ์ระหว่าง C กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่แต่ละค่า C เมื่อ OFR เท่ากับ 0.63 ชม/นาทิต T เท่ากับ 80 วินาที.....	99
5.45 ความสัมพันธ์ระหว่าง C กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่แต่ละค่า G เมื่อ OFR เท่ากับ 1.90 ชม/นาทิต T เท่ากับ 10 วินาที.....	100
5.46 ความสัมพันธ์ระหว่าง C กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่แต่ละค่า G เมื่อ OFR เท่ากับ 1.90 ชม/นาทิต T เท่ากับ 30 วินาที.....	101
5.47 ความสัมพันธ์ระหว่าง C กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่แต่ละค่า G เมื่อ OFR เท่ากับ 1.90 ชม/นาทิต T เท่ากับ 50 วินาที.....	102
5.48 ความสัมพันธ์ระหว่าง C กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่แต่ละค่า G เมื่อ OFR เท่ากับ 1.90 ชม/นาทิต T เท่ากับ 80 วินาที.....	103
5.49 ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ G' ที่ C 15 ถึง 40 มก/ล และ OFR 1.90 ชม/นาทิต.....	106
5.50 ความสัมพันธ์ระหว่าง C กับ G' ที่ T 10 ถึง 80 วินาที และ OFR 1.90 ชม/นาทิต.....	107
5.51 ความสัมพันธ์ระหว่าง G กับ T' ที่ C 15 ถึง 40 มก/ล และ OFR 1.90 ชม/นาทิต.....	108
5.52 ความสัมพันธ์ระหว่าง C กับ T' ที่ G 180 ถึง 2600 วินาที และ OFR 1.90 ชม/นาทิต.....	109
5.53 ความสัมพันธ์ระหว่าง G กับ C' ที่ T 10 ถึง 80 วินาที และ OFR 1.90 ชม/นาทิต.....	110
5.54 ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ C' ที่ G 30 ถึง 1700 วินาที และ OFR 1.90 ชม/นาทิต.....	111
5.55 ความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณ G T กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ แต่ละค่า G ที่ C 30 มก/ล และ OFR 1.90 ชม/นาทิต.....	112

สารบัญ (ต่อ)

รูป

หน้า

5.55 ความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณ G T กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ แต่ละค่า G ที่ C 30 มก/ล และ OFR 1.90 ชม/นาที่	112
5.56 ความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณ G T กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ แต่ละค่า G ที่ C 40 มก/ล และ OFR 1.90 ชม/นาที่.....	113
5.57 ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ G ในการกำหนดประสิทธิภาพการกำจัด ความขุ่น ที่ C 15 มก/ล และ OFR 1.90 ชม/นาที่.....	118
5.58 ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ G ในการกำหนดประสิทธิภาพการกำจัด ความขุ่น ที่ C 20 มก/ล และ OFR 1.90 ชม/นาที่.....	119
5.59 ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ G ในการกำหนดประสิทธิภาพการกำจัด ความขุ่น ที่ C 30 มก/ล และ OFR 1.90 ชม/นาที่.....	120
5.60 ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ G ในการกำหนดประสิทธิภาพการกำจัด ความขุ่น ที่ C 40 มก/ล และ OFR 1.90 ชม/นาที่.....	121
5.61 ความสัมพันธ์ระหว่าง G T และ C ที่เส้นระดับประสิทธิภาพ 60% และ OFR 1.90 ชม/นาที่.....	123
5.62 ความสัมพันธ์ระหว่าง G T และ C ที่เส้นระดับประสิทธิภาพ 70% และ OFR 1.90 ชม/นาที่.....	124
5.63 ความสัมพันธ์ระหว่าง G T และ C ที่เส้นระดับประสิทธิภาพ 80% และ OFR 1.90 ชม/นาที่.....	124
5.64 ความสัมพันธ์ระหว่าง G กับ T ที่ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเท่ากับ หรือมากกว่า 80% ที่ C 30 ถึง 40 มก/ล และ OFR 1.90 ชม/นาที่	126