

การกวเรีวในท่อบรรจุกรวด

นาย อนุศักดิ์ จิวากานนท์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-544-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018533 I14119A43

RAPID MIXING IN GRAVEL PACKED PIPE



Mr. Anusak Jivaganon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Environmental Engineering  
Graduate School  
Chulalongkorn University

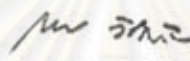
1992

ISBN 974-581-544-6


หัวข้อวิทยานิพนธ์  
โดย  
ภาควิชา  
อาจารย์ที่ปรึกษา

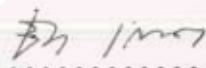
การกวนเร็วในท่อบรรจุกรวด  
นาย อนุศักดิ์ จิวากานนท์  
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต

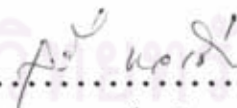
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

  
..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สุรี ชาวเชียร)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

อนุศักดิ์ จิวากานนท์ : การกวนเร็วในท่อบรรจุกรวด (RAPID MIXING IN GRAVEL  
PACKED PIPE) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. อธิระ เกรอด, 118 หน้า  
ISBN 974-581-544-6

การศึกษาการกวนเร็วในท่อบรรจุกรวดเพื่อใช้ในระบบผลิตน้ำประปา ทำโดยใช้แบบทดลองในห้องปฏิบัติการ พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาคือ ขนาดและความลึกของกรวดเกรเดียนท์ความเร็ว เวลาพักน้ำ และความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม โดยแปรค่าเกรเดียนท์ความเร็วจาก 4754 ถึง 48135 วินาที<sup>-1</sup> แปรค่าเวลากักน้ำ จาก 0.013 ถึง 0.326 วินาที และแปรค่าความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม จาก 5 ถึง 30 มก./ล. ท่อกวนเร็วที่ใช้เป็นท่อพลาสติกใสเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 24 มม. ขนาดกรวดที่ใช้เป็นตัวกลางคือ 2-3 มม., 4-5 มม., 6-7 มม. และ 8-9 มม. บรรจุในท่อโดยมีตะแกรงปิดหัวท้ายยาว 2 ซม., 4 ซม., 6 ซม. และ 8 ซม. น้ำดิบที่ใช้ทดลองการทดลองเป็นน้ำชุมชนสังเคราะห์คาโอลินท์ มีความขุ่น 50 NTU

พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นขึ้นกับขนาดและความลึกของกรวด เกรเดียนท์ความเร็ว เวลากักน้ำ และความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม ขนาดที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงที่สุดมีค่าแนวโน้มเท่ากับ 4-5 มม. โดยไม่ขึ้นกับ ความลึกของกรวดและความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม ความลึกที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงที่สุดมีค่าแปรจาก 2 ถึง 8 ซม. โดยขึ้นกับ ขนาดของกรวดและความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม เกรเดียนท์ความเร็วที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงที่สุดมีค่าแปรจาก 31823 ถึง 38085 วินาที<sup>-1</sup> โดยไม่ขึ้นกับเวลากักน้ำ และความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม เวลากักน้ำที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงที่สุดมีค่าแปรจาก 0.028 ถึง 0.282 วินาที โดยขึ้นอยู่กับเกรเดียนท์ความเร็วและความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม และความเข้มข้นของสารละลายสารส้มที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงที่สุดมีค่าแปรจาก 15 ถึง 20 มก./ล. โดยไม่ขึ้นกับเกรเดียนท์ความเร็ว และเวลากักน้ำ ความสัมพันธ์ระหว่าง  $G T^*$  และ  $C$  ในรูปสมการ เอ็มไพริคัลคือ  $G T^* = 16595 C^{-0.844}$  โดยที่  $G$  คือเกรเดียนท์ความเร็วมีค่าอยู่ระหว่าง 6775 ถึง 45679 วินาที<sup>-1</sup>,  $T^*$  คือเวลากักน้ำที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงที่สุด,  $C$  คือความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม มีค่าอยู่ระหว่าง 15 ถึง 20 มก./ล.



ภาควิชา ..... วิศวกรรมเครื่องกล  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเครื่องกล  
ปีการศึกษา ..... 2534

ลายมือชื่อนิสิต ..... อนุศักดิ์ จิวากานนท์  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... อธิระ เกรอด  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..... -

##C 116566 : MAJOR SANITARY ENGINEERING

KEY WORD : RAPID MIXING/GRAVEL/PIPE

ANUSAK JIVAGANON: RAPID MIXING IN GRAVEL PACKED PIPE

THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. THEERA KAROT, Ph.D.

188 PP. ISBN 974-581-544-6

Rapid mixing in a gravel packed pipe to be used in a water purification plant was studied using a laboratory model. The parameters studied were size and depth of gravel, velocity gradient, detention time and alum concentration varied from 4754 to 48135  $\text{sec}^{-1}$ , 0.013 to 0.326 sec and 5 to 30 mg./l., respectively.

It was found that the efficiency of turbidity removal depended on size and depth of gravel, velocity gradient, detention time, alum concentration. The optimum size varied from 4 to 5 mm. which didn't depend on depth and alum concentration. The optimum depth varied from 2 to 8 cm. which depended on size of gravel and alum concentration. The optimum velocity gradient varied from 31823 to 38085  $\text{sec}^{-1}$  which didn't depend on detention time and alum concentration. The optimum detention time varied from 0.028 to 0.282 sec. which depend on velocity gradient and alum concentration. The optimum alum concentration varied from 15 to 20 mg/l. which didn't depend on velocity gradient and detention time. The relationship between  $GT^*$  and C can be represented by the empirical equation as  $GT^* = 16595 C^{-0.844}$  which G is velocity gradient varied from 6775 to 45679  $\text{sec}^{-1}$ ,  $T^*$  is optimum detention time, C is alum concentration varied from 15 to 20 mg./l.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา ..... 2534

ลายมือชื่อนิสิต ..... อรุณรัตน์ วิชาญเพชร  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... ดร. ธีระ  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..... -

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกروت ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำแนะนำและสนับสนุนทางด้านวิชาการต่างๆ ด้วยความกรุณายิ่ง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ได้ให้ความรู้เพื่อเป็นพื้นฐาน และแนวทางในการศึกษาแก่ผู้ศึกษา

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษาและความรู้ต่าง ๆ แก่ผู้ศึกษา

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ได้เอื้อเฟื้อและอนุเคราะห์ในการทำวิทยานิพนธ์ทุกท่าน

ท้ายสุดนี้ คุณประโยชน์และความดีของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้ศึกษาขออุทิศมอบให้แก่บุพการี ซึ่งเป็นที่รักและเคารพอย่างสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย.....	3
2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
2.2 ขอบเขตการวิจัย.....	3
3. ทฤษฎีและแนวความคิด.....	5
3.1 ทฤษฎีของการกวนเร็ว.....	5
3.2 กลไกทำลายสภาวะคงตัวของคอลลอยด์.....	8
3.3 พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการกวนเร็ว.....	12
3.4 แนวความคิดของกระบวนการกวนเร็วในเส้นท่อ.....	19
4. การดำเนินการวิจัย.....	24
4.1 ลำดับของการทดลอง.....	24
4.2 วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย.....	27
4.3 การควบคุมกระบวนการต้นแบบ.....	33
4.4 การดำเนินการทดลอง.....	36
5. ผลการทดลองและวิจารณ์.....	37
5.1 ค่า G ที่อัตราน้ำไหลต่างๆ.....	37
5.2 ผลของขนาดตัวกลางที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น.....	38
5.3 ผลของความลึกที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น.....	62
5.4 ผลของความเข้มข้นของสารละลายสารส้มที่มีต่อประสิทธิภาพ การกำจัดความขุ่น.....	86

บทที่	หน้า
5.5 ผลของความเร็วเกรเดียนต์ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น.....	101
5.6 ผลของเวลากักน้ำที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น.....	116
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $C^*$ กับ $G$ และ $T$ , $G^*$ กับ $T$ และ $C$ , $T^*$ กับ $G$ และ $C$ .....	134
5.8 ผลของความสัมพันธ์ระหว่าง $G$ $T^*$ และ $C$ .....	141
6. สรุปผลการวิจัย.....	143
7. ความสำคัญทางวิศวกรรม.....	145
8. ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม.....	146
รายการอ้างอิง.....	147
ภาคผนวก.....	151
ประวัติผู้วิจัย.....	188


  
 ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ค่าแปรของขนาด, ความลึกตัวกลางกรวด, G, T และ C.....	26
4.2	ค่า G และ T ของการควบคุมการกวนเร็วในท่อ.....	34
4.3	ค่า SOR ที่เวลาตกตะกอนต่าง ๆ.....	35
5.1	ค่า D* ที่อัตราการไหลและ C ต่าง ๆ เมื่อ SOR มีค่าเท่ากับ 1.90 ซม./นาที่ และความลึกของตัวกลางเท่ากับ 2 ซม.....	61
5.2	ค่า D* ที่อัตราการไหลและ C ต่าง ๆ เมื่อ SOR มีค่าเท่ากับ 1.90 ซม./นาที่ และความลึกของตัวกลางเท่ากับ 4 ซม.....	62
5.3	ค่า D* ที่อัตราการไหลและ C ต่าง ๆ เมื่อ SOR มีค่าเท่ากับ 1.90 ซม./นาที่ และความลึกของตัวกลางเท่ากับ 6 ซม.....	63
5.4	ค่า D* ที่อัตราการไหลและ C ต่าง ๆ เมื่อ SOR มีค่าเท่ากับ 1.90 ซม./นาที่ และความลึกของตัวกลางเท่ากับ 8 ซม.....	64
5.5	ค่า L* ที่อัตราการไหลและ C ต่าง ๆ เมื่อ SOR มีค่าเท่ากับ 1.90 ซม./นาที่ และขนาดของตัวกลางเท่ากับ 2-3 มม.....	88
5.6	ค่า L* ที่อัตราการไหลและ C ต่าง ๆ เมื่อ SOR มีค่าเท่ากับ 1.90 ซม./นาที่ และขนาดของตัวกลางเท่ากับ 4-5 มม.....	89
5.7	ค่า L* ที่อัตราการไหลและ C ต่าง ๆ เมื่อ SOR มีค่าเท่ากับ 1.90 ซม./นาที่ และขนาดของตัวกลางเท่ากับ 6-7 มม.....	90
5.8	ค่า L* ที่อัตราการไหลและ C ต่าง ๆ เมื่อ SOR มีค่าเท่ากับ 1.90 ซม./นาที่ และขนาดของตัวกลางเท่ากับ 8-9 มม.....	91
5.9	ค่า C* ที่ G และ T ต่าง ๆ เมื่อ SOR มีค่าเท่ากับ 1.90 ซม./นาที่...	107
5.10	ค่า C* ที่ G และ T ต่าง ๆ เมื่อ SOR มีค่าเท่ากับ 0.95 ซม./นาที่...	107
5.11	ค่า C* ที่ G และ T ต่าง ๆ เมื่อ SOR มีค่าเท่ากับ 0.63 ซม./นาที่...	108
5.12	ค่า G* ที่ T และ C ต่าง ๆ เมื่อ SOR มีค่าเท่ากับ 1.90 ซม./นาที่...	123
5.13	ค่า G* ที่ T และ C ต่าง ๆ เมื่อ SOR มีค่าเท่ากับ 0.95 ซม./นาที่...	123
5.14	ค่า G* ที่ T และ C ต่าง ๆ เมื่อ SOR มีค่าเท่ากับ 0.63 ซม./นาที่...	124
5.15	ค่า T* ที่ G และ C ต่าง ๆ เมื่อ SOR มีค่าเท่ากับ 1.90 ซม./นาที่...	142
5.16	ค่า T* ที่ G และ C ต่าง ๆ เมื่อ SOR มีค่าเท่ากับ 0.95 ซม./นาที่...	143
5.16	ค่า T* ที่ G และ C ต่าง ๆ เมื่อ SOR มีค่าเท่ากับ 0.63 ซม./นาที่...	143
5.18	การเปรียบเทียบผลการที่ใช้ทดสอบ.....	152

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 โมเดลที่ใช้อธิบาย Electrical Double Layer Theory.....	6
3.2 กลไกการสร้าง โคแอกกูเลชันด้วยสารลัมทั้ง 2 ประเภท.....	11
3.3 กลไกการทำลายเสถียรภาพแบบคอลลอยด์และทำลายประจุ.....	13
3.4 กลไกโคแอกกูเลชันแบบกวาด.....	13
3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนของสารลัมและพีเอช.....	15
3.6 แผนภูมิที่ใช้ในกรณีควบคุมกลไกโคแอกกูเลชันของสารลัม.....	16
3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความขุ่นตกค้างและสารเคมี.....	17
3.8 แบบโคว ชนิดความดันลดต่ำ.....	20
3.9 แบบเคนคิส.....	20
3.10 แบบไลทอน.....	21
4.1 ผังระบบการทดลอง.....	30
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง V กับ G.....	38
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง D กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่แต่ละค่าอัตราการไหลเมื่อ SOR เท่ากับ 1.90 ซม./นาที่ C=5มก./ล. L= 2 ซม.....	41
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง D กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่แต่ละค่าอัตราการไหลเมื่อ SOR เท่ากับ 1.90 ซม./นาที่ C=5มก./ล. L= 4 ซม.....	42
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง D กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่แต่ละค่าอัตราการไหลเมื่อ SOR เท่ากับ 1.90 ซม./นาที่ C=5มก./ล. L= 6 ซม.....	43
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง D กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่แต่ละค่าอัตราการไหลเมื่อ SOR เท่ากับ 1.90 ซม./นาที่ C=5มก./ล. L= 8 ซม.....	44
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง D กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่แต่ละค่าอัตราการไหลเมื่อ SOR เท่ากับ 1.90 ซม./นาที่ C=10มก./ล. L= 2 ซม.....	45
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง D กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่แต่ละค่าอัตราการไหลเมื่อ SOR เท่ากับ 1.90 ซม./นาที่ C=10มก./ล. L= 4 ซม.....	46
5.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง D กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่แต่ละค่าอัตราการไหลเมื่อ SOR เท่ากับ 1.90 ซม./นาที่ C=10มก./ล. L= 6 ซม.....	47
5.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง D กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่แต่ละค่าอัตราการไหลเมื่อ SOR เท่ากับ 1.90 ซม./นาที่ C=10มก./ล. L= 8 ซม.....	48











5.80 ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่แต่ละค่า G  
 เมื่อ SOR เท่ากับ 0.63 ซม./นาที C=30 มก./ล.....141

5.81 ความสัมพันธ์ระหว่าง G กับ C\* ที่ T 0.065 ถึง 0.081 วินาที  
 เมื่อ SOR เท่ากับ 1.90 ซม./นาที.....146

5.82 ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ C\* ที่ G 4745 ถึง 31823 วินาที<sup>-1</sup>  
 เมื่อ SOR เท่ากับ 1.90 ซม./นาที.....147

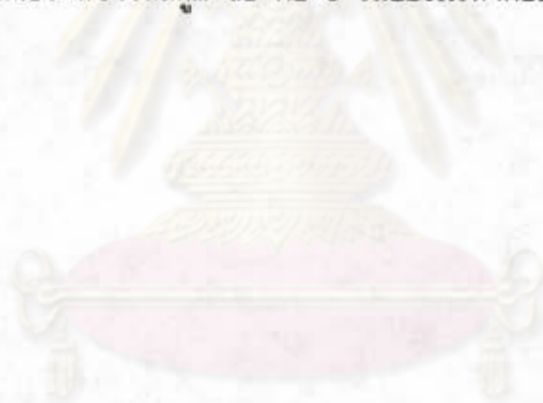
5.83 ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ G\* ที่ C 5 ถึง 30 มก./ล.  
 เมื่อ SOR เท่ากับ 1.90 ซม./นาที.....148

5.84 ความสัมพันธ์ระหว่าง C กับ G\* ที่ T 0.065 ถึง 0.081 วินาที  
 เมื่อ SOR เท่ากับ 1.90 ซม./นาที.....149

5.85 ความสัมพันธ์ระหว่าง G กับ T\* ที่ C 5 ถึง 30 มก./ล.  
 เมื่อ SOR เท่ากับ 1.90 ซม./นาที.....150

5.86 ความสัมพันธ์ระหว่าง C กับ T\* ที่ G 6775 ถึง 45679 วินาที<sup>-1</sup>  
 เมื่อ SOR เท่ากับ 1.90 ซม./นาที.....151

5.87 ความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณ GT\* กับ C เมื่อ SOR เท่ากับ 1.90 ซม./นาที...153



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย