

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
คำอุทิศ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น	3
1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการจากการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การเกิดตะกอนในระบบผลิตน้ำประปา	5
2.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อการสร้างตะกอนและการตกตะกอน	6
2.3 สารสร้างตะกอน	7
2.4 เกรเดียนต์ความเร็ว	11
2.5 การตกตะกอน	12
2.6 คุณภาพน้ำประปา	16
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 รูปแบบการวิจัย	23
3.2 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	23
3.3 ขั้นตอนการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล	24
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4. 1 คุณลักษณะของน้ำก่อนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ	34
4. 2 คุณลักษณะของน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำ	34
4. 3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพน้ำ	41
4. 4 คุณภาพน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม	43
4. 5 ค่าเกรเดียนต์ความเร็วที่วัดได้ขณะทำการทดลอง	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
5.1	สรุปผลการวิจัย 50
5.2	ข้อเสนอแนะ 52
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก	55
ภาคผนวก ก	แผนภูมิของของการหา Optimum Dosage ของสารละลายสารส้ม และการหาปริมาณดินเพื่อสร้างความชุ่มชื้นแควะห์ 56
ภาคผนวก ข	แผนภูมิแสดงค่าของ Head Loss ในแต่ละเส้นท่อที่อัตราการไหลต่าง ๆ และค่าเกรเดียนต์ความเร็วที่เกิดขึ้น 61
ภาคผนวก ค	ข้อมูลผลการทดลอง Jar Test เพื่อหาค่า Optimum Dosage ของสารละลายสารส้ม 65
ภาคผนวก ง	ภาพกิจกรรม 69
ภาคผนวก จ	วิธีการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการวิจัย 76
ภาคผนวก ฉ	การคำนวณออกแบบระบบ 80
ประวัติผู้เขียน	100

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	ชนิดของสารสร้างตะกอนและช่วงพีเอชที่เหมาะสม
ตารางที่ 2	เวลาพักน้ำของถังตกตะกอนประเภทต่าง ๆ
ตารางที่ 3	เกณฑ์การออกแบบถังแบบ Reactor- Clarifier
ตารางที่ 4	เกณฑ์การออกแบบถังกวนเร็ว
ตารางที่ 5	เกณฑ์การออกแบบถังกวนช้าแบบใช้แผ่นกวน
ตารางที่ 6	เกณฑ์การออกแบบถังกวนช้าแบบใช้แผ่นกั้นขวางวางสลับกัน
ตารางที่ 7	คุณภาพของน้ำดิบที่สามารถใช้ในการผลิตน้ำประปา
ตารางที่ 8	มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อบริโภค
ตารางที่ 9	สรุปผลการวิจัยเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารส้มกับโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์
ตารางที่ 10	แผนผังการเก็บตัวอย่างการวิจัยและการทดลองระบบฟลอคคูเลเตอร์แบบ กลุ่มท่อขนาดเล็ก
ตารางที่ 11	วิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัย
ตารางที่ 12	สรุปข้อมูลคุณลักษณะของน้ำก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยฟลอคคูเลเตอร์ แบบกลุ่มท่อขนาดเล็ก ครั้งที่ 1
ตารางที่ 13	สรุปข้อมูลคุณลักษณะของน้ำก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยฟลอคคูเลเตอร์ แบบกลุ่มท่อขนาดเล็ก ครั้งที่ 2
ตารางที่ 14	สรุปข้อมูลเฉลี่ยคุณลักษณะของน้ำก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วย ฟลอคคูเลเตอร์แบบกลุ่มท่อขนาดเล็ก
ตารางที่ 15	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำก่อนและหลัง การปรับปรุงคุณภาพ ในแต่ละ อัตราการไหลของระบบและช่วงความขุ่นต่าง ๆ
ตารางที่ 16	ค่าเกรเดียนต์ความเร็ว(G) และค่า GT ที่ได้จากการทดลองในแต่ละช่วง อัตราการไหลของระบบและแต่ละช่วงความขุ่น
ตารางที่ ค-1	ผลการทดลอง Jar Test ครั้งที่ 1
ตารางที่ ค-2	ผลการทดลอง Jar Test ครั้งที่ 2
ตารางที่ ค-3	ผลการทดลอง Jar Test ครั้งที่ 3
ตารางที่ ค-4	ผลการทดลอง Jar Test ครั้งที่ 4
ตารางที่ ค-5	ผลการทดลอง Jar Test ครั้งที่ 5
ตารางที่ ค-6	ผลการทดลอง Jar Test ครั้งที่ 6
ตารางที่ จ-1	ค่ามาตรฐานความขุ่นในแต่ละช่วงการวัด
ตารางที่ ฉ-1	แสดงขนาดท่อที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ฉ-2 ตารางการคำนวณเมื่อใช้ค่าอัตราการไหล $Q = 30 \text{ cm}^3/\text{sec}$	81
ตารางที่ ฉ-3 ตารางการคำนวณเมื่อใช้ค่าอัตราการไหล $Q = 50 \text{ cm}^3/\text{sec}$	81
ตารางที่ ฉ-4 ตารางการคำนวณเมื่อใช้ค่าอัตราการไหล $Q = 80 \text{ cm}^3/\text{sec}$	82
ตารางที่ ฉ-5 ตารางการคำนวณเมื่อใช้ค่าอัตราการไหล $Q = 100 \text{ cm}^3/\text{sec}$	82
ตารางที่ ฉ-6 แสดงข้อมูลปริมาณน้ำที่ใช้	83
ตารางที่ ฉ-7 แสดงการหาค่า Total head loss ครั้งที่ 1 ที่ช่วงความขุ่น 30-50 NTU	84
ตารางที่ ฉ-8 แสดงการหาค่า Total head loss ครั้งที่ 1 ที่ช่วงความขุ่น 50-100 NTU	84
ตารางที่ ฉ-9 แสดงการหาค่า Total head loss ครั้งที่ 1 ที่ช่วงความขุ่น 100-150 NTU	85
ตารางที่ ฉ-10 แสดงการหาค่า Total head loss ครั้งที่ 2 ที่ช่วงความขุ่น 30-50 NTU	85
ตารางที่ ฉ-11 แสดงการหาค่า Total head loss ครั้งที่ 2 ที่ช่วงความขุ่น 50-100 NTU	86
ตารางที่ ฉ-12 แสดงการหาค่า Total head loss ครั้งที่ 2 ที่ช่วงความขุ่น 100-150 NTU	86
ตารางที่ ฉ-13 แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 1 ช่วงความขุ่น 30-50 NTU ที่อัตราการไหล 30 cc/s	87
ตารางที่ ฉ-14 แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 1 ช่วงความขุ่น 30-50 NTU ที่อัตราการไหล 50 cc/s	87
ตารางที่ ฉ-15 แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 1 ช่วงความขุ่น 30-50 NTU ที่อัตราการไหล 80 cc/s	88
ตารางที่ ฉ-16 แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 1 ช่วงความขุ่น 30-50 NTU ที่อัตราการไหล 100 cc/s	88
ตารางที่ ฉ-17 แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 1 ช่วงความขุ่น 50-100 NTU ที่อัตราการไหล 30 cc/s	89
ตารางที่ ฉ-18 แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 1 ช่วงความขุ่น 50-100 NTU ที่อัตราการไหล 50 cc/s	89
ตารางที่ ฉ-19 แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 1 ช่วงความขุ่น 50-100 NTU ที่อัตราการไหล 80 cc/s	90
ตารางที่ ฉ-20 แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 1 ช่วงความขุ่น 50-100 NTU ที่อัตราการไหล 100 cc/s	90
ตารางที่ ฉ-21 แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 1 ช่วงความขุ่น 100-150 NTU ที่อัตราการไหล 30 cc/s	91

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ จ-22	แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 1 ช่วงความขุ่น 100-150 NTU ที่อัตราการไหล 50 cc/s	91
ตารางที่ จ-23	แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 1 ช่วงความขุ่น 100-150 NTU ที่อัตราการไหล 80 cc/s	92
ตารางที่ จ-24	แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 1 ช่วงความขุ่น 100-150 NTU ที่อัตราการไหล 100 cc/s	92
ตารางที่ จ-25	แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 2 ช่วงความขุ่น 30-50 NTU ที่อัตราการไหล 30 cc/s	93
ตารางที่ จ-26	แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 2 ช่วงความขุ่น 30-50 NTU ที่อัตราการไหล 50 cc/s	93
ตารางที่ จ-27	แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 2 ช่วงความขุ่น 30-50 NTU ที่อัตราการไหล 80 cc/s	94
ตารางที่ จ-28	แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 2 ช่วงความขุ่น 30-50 NTU ที่อัตราการไหล 100 cc/s	94
ตารางที่ จ-29	แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 2 ช่วงความขุ่น 50-100 NTU ที่อัตราการไหล 30 cc/s	95
ตารางที่ จ-30	แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 2 ช่วงความขุ่น 50-100 NTU ที่อัตราการไหล 50 cc/s	95
ตารางที่ จ-31	แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 2 ช่วงความขุ่น 50-100 NTU ที่อัตราการไหล 80 cc/s	96
ตารางที่ จ-32	แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 2 ช่วงความขุ่น 50-100 NTU ที่อัตราการไหล 100 cc/s	96
ตารางที่ จ-33	แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 2 ช่วงความขุ่น 100-150 NTU ที่อัตราการไหล 30 cc/s	97
ตารางที่ จ-34	แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 2 ช่วงความขุ่น 100-150 NTU ที่อัตราการไหล 50 cc/s	97
ตารางที่ จ-35	แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 2 ช่วงความขุ่น 100-150 NTU ที่อัตราการไหล 80 cc/s	98
ตารางที่ จ-36	แสดงการหาค่า G ในแต่ละจุดของ Piezometer Board ครั้งที่ 2 ช่วงความขุ่น 100-150 NTU ที่อัตราการไหล 100 cc/s	98
ตารางที่ จ-37	หลักเกณฑ์และค่าออกแบบโดยอ้างอิงจากถังรวมตะกอนชนิดแผงกัน	99

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	แสดงส่วนประกอบต่างๆของการสร้างตะกอน	5
ภาพที่ 2	กราฟแสดงสภาพการละลายน้ำของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ และ $\text{Al}(\text{OH})_3$	10
ภาพที่ 3	ฟล็อกคูเลเตอร์แบบแผงกั้นที่ไหลสลับในแนวดิ่ง	12
ภาพที่ 4	การจำแนกประเภทของการตกตะกอนตามความเข้มข้นและคุณสมบัติของอนุภาค	13
ภาพที่ 5	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	25
ภาพที่ 6	แปลนการติดตั้งหน่วยทดลองในระบบสร้างตะกอนและรวมตะกอน	27
ภาพที่ 7	รายละเอียดของ Piezometer Board สำหรับวัดระดับน้ำสูญเสีย	28
ภาพที่ 8	รายละเอียดของท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้วและ 1-1/4 นิ้ว	29
ภาพที่ 9	รายละเอียดของท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 1-1/2 นิ้วและ 2 นิ้ว	30
ภาพที่ 10	การติดตั้ง Multitubes Flocculator ด้านข้าง	31
ภาพที่ 11	การติดตั้ง Multitubes Flocculator ด้านบน	31
ภาพที่ 12	การประกอบท่อขนาดต่างๆที่ใช้ในการทดลอง	32
ภาพที่ 13	ค่าความขุ่นเฉลี่ยของน้ำ ก่อน-หลัง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ ในช่วงความขุ่น 30-50 NTU	38
ภาพที่ 14	ค่าความขุ่นเฉลี่ยของน้ำ ก่อน-หลัง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ ในช่วงความขุ่น 50-100 NTU	38
ภาพที่ 15	ค่าความขุ่นเฉลี่ยของน้ำ ก่อน-หลัง การปรับปรุงคุณภาพน้ำ ในช่วงความขุ่น 100-150 NTU	38
ภาพที่ 16	ค่า PH เฉลี่ย ก่อน-หลัง ผ่านระบบรวมตะกอนของแต่ละช่วงความขุ่นที่ อัตราการไหลต่างๆ	40
ภาพที่ 17	สภาพต่างของน้ำเฉลี่ย ก่อน-หลัง ผ่านระบบรวมตะกอนของแต่ละช่วงความขุ่นที่ อัตราการไหลต่างๆ	40
ภาพที่ 18	แสดงค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยในการลดความขุ่น ในช่วง 30-50 NTU	42
ภาพที่ 19	แสดงค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยในการลดความขุ่น ในช่วง 50-100 NTU	42
ภาพที่ 20	แสดงค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยในการลดความขุ่น ในช่วง 100-150 NTU	42
ภาพที่ 21	แสดงค่า Total head loss และค่าอัตราการไหล ในช่วงความขุ่น 30-50 NTU	45
ภาพที่ 22	แสดงค่า Total head loss และค่าอัตราการไหล ในช่วงความขุ่น 50-100 NTU	45
ภาพที่ 23	แสดงค่า Total head loss และค่าอัตราการไหล ในช่วงความขุ่น 100-150 NTU	45
ภาพที่ 24	แสดงค่า Total G เฉลี่ย และค่าอัตราการไหล ในช่วงความขุ่น 30-50 NTU	46
ภาพที่ 25	แสดงค่า GT เฉลี่ย และค่าอัตราการไหล ในช่วงความขุ่น 30-50 NTU	46
ภาพที่ 26	แสดงค่า Total G เฉลี่ย และค่าอัตราการไหล ในช่วงความขุ่น 50-100 NTU	47
ภาพที่ 27	แสดงค่า GT เฉลี่ย และค่าอัตราการไหล ในช่วงความขุ่น 50-100 NTU	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 28 แสดงค่า Total G เฉลี่ย และค่าอัตราการไหล ในช่วงความขุ่น 100-150 NTU	48
ภาพที่ 29 แสดงค่า GT เฉลี่ย และค่าอัตราการไหล ในช่วงความขุ่น 100-150 NTU	48
ภาพที่ ก-1 กราฟแสดงผลการทดลองการทำ Jar test ที่ 30-50 NTU.ครั้งที่ 1	57
ภาพที่ ก-2 กราฟแสดงผลการทดลองการทำ Jar test ที่ 30-50 NTU.ครั้งที่ 2	57
ภาพที่ ก-3 กราฟแสดงผลการทดลองการทำ Jar test ที่ 50-100 NTU.ครั้งที่ 3	58
ภาพที่ ก-4 กราฟแสดงผลการทดลองการทำ Jar test ที่ 50-100 NTU.ครั้งที่ 4	58
ภาพที่ ก-5 กราฟแสดงผลการทดลองการทำ Jar test ที่ 100-150 NTU.ครั้งที่ 5	59
ภาพที่ ก-6 กราฟแสดงผลการทดลองการทำ Jar test ที่ 100-150 NTU.ครั้งที่ 6	59
ภาพที่ ก-7 กราฟแสดงผลการหาน้ำหนักดินเปรียบเทียบกับความขุ่นที่เกิดขึ้น	60
ภาพที่ ข-1 กราฟแสดงค่า head loss เฉลี่ย และ จุดวัดค่า head lossแต่ละจุดของ piezometer board ในช่วงความขุ่น 30-50 NTU	62
ภาพที่ ข-2 กราฟแสดงค่า G เฉลี่ย และ จุดวัดค่า head loss แต่ละจุดของ piezometer board ในช่วงความขุ่น 30-50 NTU	62
ภาพที่ ข-3 กราฟแสดงค่า head loss เฉลี่ย และ จุดวัดค่า head lossแต่ละจุดของ piezometer board ในช่วงความขุ่น 50-100 NTU	63
ภาพที่ ข-4 กราฟแสดงค่า G เฉลี่ย และ จุดวัดค่า head loss แต่ละจุดของ piezometer board ในช่วงความขุ่น 50-100 NTU	63
ภาพที่ ข-5 กราฟแสดงค่า head loss เฉลี่ย และ จุดวัดค่า head lossแต่ละจุดของ piezometer board ในช่วงความขุ่น 100-150 NTU	64
ภาพที่ ข-6 กราฟแสดงค่า G เฉลี่ย และ จุดวัดค่า head loss แต่ละจุดของ piezometer board ในช่วงความขุ่น 100-150 NTU	64
ภาพที่ ง-1 Piezometer Board และ ถังกวนเร็ว	70
ภาพที่ ง-2 Multitubes Flocculator ด้านบน	70
ภาพที่ ง-3 Multitubes Flocculator ด้านข้าง	70
ภาพที่ ง-4 การติดตั้งวาล์วปรับอัตราการไหล	70
ภาพที่ ง-5 เครื่องกวนเร็วและ Flow meter	70
ภาพที่ ง-6 การติดตั้งท่อใส่เพื่อใช้สังเกตการไหลและการก่อตัวของ Floc ภายในท่อ	70
ภาพที่ ง-7 อุปกรณ์หยดสารส้ม	71
ภาพที่ ง-8 Tubes ขนาด 3, 5, 7 และ 10.1 มม. ที่นำมาใช้	71
ภาพที่ ง-9 ดินเหนียวเซรามิกที่ใช้ในการทดลอง	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ ง-10 ดินเหนียวเซรามิกหลังจากการบดใช้ในการสังเคราะห์ความขุ่น	71
ภาพที่ ง-11 สารส้มบดละเอียดที่ใช้ในการทดลอง	71
ภาพที่ ง-12 วาล์วปรับอัตราการหยดของสารส้ม	71
ภาพที่ ง-13 ภาพน้ำประปาหลังสังเคราะห์ความขุ่นที่ 30-50 NTU	72
ภาพที่ ง-14 ภาพการเปรียบเทียบน้ำ ก่อน-หลัง การปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ความขุ่น 30-50 NTU	72
ภาพที่ ง-15 ภาพน้ำประปาหลังสังเคราะห์ความขุ่นที่ 50-100 NTU	72
ภาพที่ ง-16 ภาพการเปรียบเทียบน้ำ ก่อน-หลัง การปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ความขุ่น 50-100 NTU	72
ภาพที่ ง-17 ภาพน้ำประปาหลังสังเคราะห์ความขุ่นที่ 100-150 NTU	72
ภาพที่ ง-18 ภาพการเปรียบเทียบน้ำ ก่อน-หลัง การปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ความขุ่น 100-150 NTU	72
ภาพที่ ง-19 ภาพตะกอนเบา (Floc) ที่ถูกดักเอาไว้โดย Tubes ในท่อหลังจากระบายออกกระบอกท่อ	73
ภาพที่ ง-20 ภาพตะกอนเบา (Floc) ที่ถูกดักเอาไว้โดย Tubes ในท่อหลังจากทิ้งไว้ 10 นาที ให้ตกตะกอน	73
ภาพที่ ง-21 ภาพการติดตั้งท่อใสเพื่อใช้สังเกตการไหลและการก่อตัวของ Floc ภายในท่อ	74
ภาพที่ ง-22 ภาพขยายท่อใสเพื่อใช้สังเกตการไหลและการก่อตัวของ Floc ภายในท่อ	74
ภาพที่ ง-23 ภาพขยายท่อใสก่อนการเดินระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ	75
ภาพที่ ง-24 ภาพขยายท่อใสขณะการเดินระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำสังเกตเห็นการก่อตัว ตัวของ Floc ภายในท่อ	75