ผลของการปั่นกวนต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ของกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้นขนาดต้นแบบ

นาย สุขุม ดีประหลาด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541
ISBN 974-331-660-4
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I18559694

EFFECT OF AGITATION ON TURBIDITY REMOVAL EFFICIENCY OF A PROTOTYPE UPFLOW PELLETIZATION PROCESS

Mr. Sukhum Deepralard

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-331-660-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการปั่นกวนต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้นขนาดต้นแบบ
โดย	นาย สุขุม ดีประหลาด
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระ เกรอต)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ชัยพร ภู่ประเสริฐ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุชุม ดีประหลาด : ผลของการปั่นกวนต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้นขนาดต้นแบบ (EFFECT OF AGITATION ON TURBIDITY REMOVAL EFFICIENCY OF A PROTOTYPE UPFLOW PELLETIZATION PROCESS) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์; 151 หน้า. ISBN 974-331-660-4.

การศึกษานี้เป็นการศึกษาการใช้กระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้นขนาดต้นแบบโดยใช้น้ำดิบจริงจากแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงความขุ่น 40-150 เอ็นทียู ใช้ถังสร้างเพลเล็ตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ม. สูง 3.0 ม. อัตราน้ำไหลขึ้น 8.5 ม./ชม. ทำการทดลองเป็นเวลา 72 ชม.ต่อการทดลอง โดยใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ และโพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุ (มวลโมเลกุล 12 ล้าน)เป็นโคแอกกูแลนต์เอด การทดลองแบ่งเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 ศึกษาผลของการปั่นกวนโดยแปรค่าสารส้ม 0.8 และ 1.0 มก. Al/ล. โพลีเมอร์ 0.3, 0.4 และ 0.5 มก./ล. และความเร็วรอบกวน 2, 3, 4 และ 5 รอบต่อนาที ส่วนการทดลองช่วงที่ 2 ศึกษาผลของอัตราเวียนมวลของแข็งโดยใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล. โพลีเมอร์ 0.4 มก./ล. ความเร็วรอบกวน 3 รอบ/นาที แปรค่าอัตราเวียนมวลของแข็ง 0 (ควบคุม), 0.1 และ 0.2 ของอัตราน้ำไหลเข้า โดยทุกการทดลองทำการทดลองต่อกันโดยมีการเริ่มต้นระบบครั้งแรกเพียงครั้งเดียว จากการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. ระบบสามารถสร้างเพลเล็ตได้บางส่วน ประมาณ 30 % ของมวลของแข็งทั้งหมด โดยจำเป็นต้องมีการเริ่มต้นระบบมาก่อน

2. ระบบสามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพสูง (ต่ำกว่า 5 เอ็นทียู)ได้โดยใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ 0.3 -0.4 มก./ล. หรือใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ 0.3-0.5 มก./ล.สำหรับน้ำดิบมีความขุ่นประมาณ 60 เอ็นทียู และสารส้ม 0.8 มก. Al/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ 0.5 มก./ล. หรือใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ 0.4-0.5 มก./ล. สำหรับน้ำดิบมีความขุ่นประมาณ 100 เอ็นทียู

3. การเพิ่มปริมาณโพลีเมอร์ในช่วง 0.3-0.5 มก./ล.มีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น มวลของแข็งทั้งหมด และมวลเพลเล็ตเพิ่มขึ้น และทำให้เพลเล็ตมีขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพิ่มขึ้น

4. ความเร็วรอบกวนที่เหมาะสมสำหรับระบบเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 3 - 4 รอบ/นาที ($G = 23.9\text{-}36.8\ s^{-1}$ หรือ $Gt = 12{,}906\text{-}19{,}872$)

5. การเพิ่มอัตราเวียนมวลของแข็งในช่วง 0-0.2 ของอัตราไหลเข้ามีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในระยะสั้น (72 ชม.) มวลของแข็งทั้งหมด และมวลเพลเล็ตลดลง เนื่องจากเครื่องสูบน้ำเวียนมวลมีความปั่นป่วนสูงทำให้ฟล็อกและเพลเล็ตแตกออกกลายเป็นภาระเพิ่มให้กับระบบ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต สุชุม ดีประหลาด

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

3972094521 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD: PELLETIZATION / FLUIDIZED PELLET BED / TURBID / AGITATION / WATER TREATMENT
SUKHUM DEEPRALARD : EFFECT OF AGITATION ON TURBIDITY REMOVAL EFFICIENCY OF A PROTOTYPE UPFLOW PELLETIZATION PROCESS. THESIS ADVISOR : PROF. THONGCHAI PANSWAD, Ph.D. 151 pp. ISBN 974-331-660-4.

In this study, a prototype upflow pelletization process was tested with a 40-150 NTU Chao Phraya river using a 1.5 m diameter and 3.0 m height pelletizer with the upflow rate of 8.5 m/hr continousty for 72 hours for each run. Alum and nonionic polymer (MW. 12 million) were used as a coagulant and a coagulant aid, respectively. This study was divided into 2 cases, first studied the effect of agitation by varing 0.8 and 1.0 mg Al/l of alum, 0.3, 0.4 and 0.5 mg/l of nonionic polymer, and 2, 3, 4 and 5 rpm of paddle speed (G = 13.0, 23.9, 36.8 and 51.4 s^{-1}). And the second studied the effect of recirculation rate by varing 0, 0.1 and 0.2 of recirculation ratio (Q/Q_R), alum dose of 1.0 mg Al/l, nonionic polymer dose of 0.4 mg/l and 3 rpm of paddle speed. The solid mass was developed in the reactor by a special start-up process in only the first run. Each run was tested continuously with no special start-up. This study was concluded as follows:

1. This process could develope a 30 % (w/w) partial pellet and needed a special start-up.

2. The high water quality (less than 5 NTU) was obtained from the treatment using the above process. To treat 60 NTU raw water, 0.8 mg Al/l alum and 0.3-0.4 mg/l nonionic polymer or 1.0 mg Al/l alum and 0.3-0.5 mg/l nonionic polymer were used. And 0.8 mg Al/l alum and 0.3-0.5 mg/l nonionic polymer or 1.0 mg Al/l alum and 0.4-0.5 mg/l nonionic polymer were used for 100 NTU raw water turbidity.

3. The increasing nonionic polymer dose in the range of 0.3-0.5 mg/l effected on the increasing of turbidity removal efficiency, solid mass and pellet mass. In addition the diameter, settling velocity and density of pellet were raised.

4. The appropriate paddle speed in this experiment was 3 - 4 rpm (G = 23.9-36.8 s^{-1} or Gt = 12,906-19,872).

5. The increasing recirculation ratio rate (Q/Q_R) in the range of 0-0.2 effected on the reducing of turbidity removal efficiency, solid mass and pellet mass. Furthermore diameter, settling velocity and density of pellet were also increased because the high turbulant of recirculation pump broke down floc and pellet which increased loading to the process.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต สุขุม ดีประหลาด

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [illegible]

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นในการวิจัยเป็นอย่างดี ตลอดจนเป็นแบบอย่างของการทำงานอย่างทุ่มเท และการศึกษาในวิชาการความรู้ใหม่ๆ ทั้งยังสละเวลาในการตรวจวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อย่างรวดเร็ว สิ่งต่างๆที่ท่านได้มอบให้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระ เกรอต ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์ และอาจารย์ชัยพร ภู่ประเสริฐ ที่ได้ให้คำแนะนำ ตรวจสอบและอนุมัติวิทยานิพนธ์ และเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณคุณเติมศักดิ์ โชติวรรณวิรัช หัวหน้าส่วนวิเคราะห์คุณภาพน้ำระบบผลิต และเจ้าหน้าที่ในส่วนต่างๆในโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขนทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือผู้วิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณนส.ขนิษฐา นายขำนาญ และนายสุพจน์ ดีประหลาด ที่ให้ความช่วยเหลือในการปรับปรุงอุปกรณ์การวิจัย และการเริ่มต้นระบบ และคอยเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณการประปานครหลวง ที่อนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่ สารส้มน้ำ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้สนับสนุนทุนบางส่วนในการวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่สนับสนุนและคอยเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูป..... ฌ

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย..... 2

2.1 วัตถุประสงค์..... 2

2.2 ขอบเขตการวิจัย..... 2

3 ทบทวนเอกสาร..... 3

3.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน หลักการ และเหตุผล..... 3

3.1.1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน และฟล็อกคูเลชัน..... 3

3.1.2 การกวน..... 7

3.1.3 สารส้ม..... 8

3.1.4 สารโพลีเมอร์..... 11

3.1.5 เพลเล็ต..... 12

3.2 การศึกษาที่ผ่านมา..... 20

4 แผนการทดลองและดำเนินงาน..... 39

4.1 แผนการดำเนินงาน..... 39

4.2 แผนการทดลอง..... 39

4.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... 44

4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง..... 45

4 การเก็บตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ..... 47

สารบัญ(ต่อ)

บทที่		หน้า
5	ผลการทดลองและวิจารณ์	49
	5.1 ผลของการปั่นกวน	50
	5.1.1 ค่าพีเอชและสภาพด่างน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิต	50
	5.1.2 มวลของแข็งทั้งหมด และเพลเล็ตที่เวลาต่างๆ	54
	5.1.3 อิทธิพลของโพลีเมอร์	61
	5.1.3.1 อิทธิพลของโพลีเมอร์ต่อความขุ่นน้ำผลิตและประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น	61
	5.1.3.2 อิทธิพลของโพลีเมอร์ต่อมวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ต	62
	5.1.3.3 อิทธิพลของโพลีเมอร์ต่อขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลเล็ต	68
	5.1.4 อิทธิพลของความเร็วรอบกวน	73
	5.1.4.1 อิทธิพลของความเร็วรอบกวนต่อความขุ่นน้ำผลิตและประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น	75
	5.1.4.2 อิทธิพลของความเร็วรอบกวนต่อมวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ต	78
	5.1.4.3 อิทธิพลของความเร็วรอบกวนต่อขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลเล็ต	81
	5.2 ผลของการเวียนมวลของแข็ง	87
	5.2.1 ค่าพีเอชและสภาพด่างน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว น้ำหลังเวียนมวลของแข็งและน้ำผลิต	87
	5.2.2 มวลของแข็งทั้งหมด และเพลเล็ตที่เวลาต่างๆ	89
	5.2.3 อิทธิพลของการเวียนมวลของแข็งต่อความขุ่นน้ำผลิตและประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น	90
	5.2.4 อิทธิพลของการเวียนมวลของแข็งต่อมวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ต	91
	5.2.5 อิทธิพลของการเวียนมวลของแข็งต่อขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลเล็ต	92

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
5.3 อัตราภาระมวลของแข็ง และเวลากักของแข็ง	95
6 สรุปผลการทดลอง	98
7 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต	100
รายการอ้างอิง	101
ภาคผนวก	104
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง	105
ภาคผนวก ข รายการคำนวณ	134
ภาคผนวก ค วิธีการเริ่มต้นระบบ	139
ภาคผนวก ง วิธีการวิเคราะห์ปริมาณอลูมินา (Al_2O_3)ในสารละลายน้ำ	140
ภาคผนวก จ วิธีหาค่ามวลเพลเล็ตในตัวอย่าง	141
ภาคผนวก ฉ บันทึกงานวิจัย	142
ภาคผนวก ช ภาพอุปกรณ์การทดลอง	145
ประวัติผู้เขียน	151

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ผลของจุดใส่โพลีเมอร์แอนไอออน	21
3.2	ค่า ALT และ PT ที่เหมาะสมในการสร้างเพลเล็ต	34
4.1	สัญลักษณ์การทดลอง	40
4.2	สมบัติทั่วไปของสารส้มน้ำ 50 % ที่ใช้ในการทดลอง	44
4.3	สมบัติทั่วไปของโพลีเมอร์ที่ใช้ในการทดลอง	44
4.4	ความถี่และจุดเก็บตัวอย่าง	47
5.1	ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล	51
5.2	สภาพด่างน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล	51
5.3	ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล	53
5.4	สภาพด่างน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล	54
5.5	มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตที่เวลาต่างๆ กรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล	57
5.6	มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตที่เวลาต่างๆ กรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล	59
5.7	ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล	62
5.8	ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล	65
5.9	มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล	65
5.10	มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล	67
5.11	ขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพลเล็ตกรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล	70
5.12	ขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพลเล็ตกรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

5.13 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล 76

5.14 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล 76

5.15 มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล 79

5.16 มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล 80

5.17 ขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพลเล็ตกรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล 82

5.18 ขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพลเล็ตกรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล 85

5.19 ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว น้ำหลังเวียนมวลของแข็ง และน้ำผลิตเฉลี่ยที่ชม 36-72 87

5.20 สภาพด่างน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 88

5.21 มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตที่เวลาต่างๆ 89

5.22 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยที่ชม. 36-72 91

5.23 มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 92

5.24 ขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพลเล็ต 93

5.25 อัตราภาระมวลของแข็ง และเวลากักของแข็ง 96

5.26 เปรียบเทียบค่า SMLR และ SRT จากการศึกษาครั้งนี้กับค่า PMLR และ PRT จากการศึกษาที่ผ่านมา (T. Panswad and K. Areesawangkit, 1999) 97

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	กลไกการใช้โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2538)	6
3.2	stability diagram ของสารส้มในน้ำที่ไม่มีความขุ่น	10
3.3	สถานะของสารละลายเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นและพีเอชต่างกัน (Tambo and Matsui, 1989)	13
3.4	การรวมตัวของกลุ่มอนุภาคในหลายขั้นตอน (Tambo and Wang, 1993)	14
3.5	การรวมตัวกันของเพลเล็ตแบบหนึ่งต่อหนึ่งและแบบสุ่ม (Tambo and Wang, 1993).	15
3.6	การกระจายแรงเมื่อฟล็อกหยุดนิ่ง (Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)	16
3.7	การกระจายแรงเมื่อฟล็อกกลิ้ง (Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)	16
3.8	การจัดเรียงของอนุภาคภายในฟล็อกก่อนชน (Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)	17
3.9	การจัดเรียงของอนุภาคภายในฟล็อกหลังชน (Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)	17
3.10	อุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น (Tambo and Matsui, 1989)	18
3.11	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง Matsui (Tambo and Matsui, 1987)	22
3.12	ความขุ่นน้ำก่อนเข้าระบบและหลังผ่านระบบในช่วงเวลาต่างๆ (Tambo anc Matsui, 1987)	22
3.13	การเปลี่ยนแปลงความดันลดในช่วงเวลาต่างๆ (Tambo and Matsui, 1987)	23
3.14	การเปลี่ยนแปลงขนาดของเพลเล็ตที่ระดับต่างๆ (Tambo and Matsui, 1987)	23
3.15	ลักษณะของเพลเล็ตที่สร้างได้จากการทดลอง (Tambo and Matsui,1987)	24
3.16	ความหนาแน่นของเพลเล็ต และฟล็อกทั่วๆไป (Tambo and Matsui, 1989)	24
3.17	ความขุ่นน้ำดิบและน้ำผลิตที่เวลาต่างๆ สำหรับความน้ำดิบประมาณ 3000 มก./ล (Tambo and Matsui, 1989)	25
3.18	ความขุ่นน้ำดิบและน้ำผลิตที่เวลาต่างๆ สำหรับความน้ำดิบประมาณ 250 มก./ล (Tambo and Matsui, 1989)	26
3.19	อุปกรณ์การทดลองสร้างเพลเล็ต (ปัณฑิต, 2535)	28
3.24	ผังอุปกรณ์การทดลอง (Suzuki, Tambo and Ozawa, 1993)	32
4.1	แผนผังการจัดวางอุปกรณ์ระบบการทดลอง (พลภัทร, 2540)	43
4.2	ถังสร้างเพลเล็ต	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.1	ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล	52
5.2	สภาพด่างน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล	52
5.3	ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล	55
5.4	สภาพด่างน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล	56
5.5	มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตที่เวลาต่างๆ กรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล	58
5.6	มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตที่เวลาต่างๆ กรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล	60
5.7	ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล	64
5.8	ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล	66
5.9	มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล	67
5.10	มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล	68
5.11	ขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพลเล็ตกรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล	71
5.12	ขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพลเล็ตกรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล	74
5.13	ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล	77
5.14	ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล	78
5.15	มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล	79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.16	มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตเฉลี่ยที่ชม. 36-72 กรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล.....	81
5.17	ขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพลเล็ตกรณีใช้สารส้ม 0.8 มก. Al/ล.....	83
5.18	ขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพลเล็ตกรณีใช้สารส้ม 1.0 มก. Al/ล.....	86
5.19	ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว น้ำหลังเวียนมวลของแข็ง และน้ำผลิตเฉลี่ยที่ชม. 36-72.....	88
5.20	สภาพด่างน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยที่ชม. 36-72.....	88
5.21	มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตที่เวลาต่างๆ.....	90
5.22	ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยที่ชม. 36-72.....	91
5.23	มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตเฉลี่ยที่ชม. 36-72.....	92
5.24	ขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพลเล็ต.....	94

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย