# คุณภาพของของแข็งในกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น โดยใช้น้ำดิบของ กปน. เป็นน้ำป้อน และสารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์

นางสาวกุลธิดา อารีย์สว่างกิจ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-637-171-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17586L3X

# MASS BALANCE OF SOLIDS IN THE UPFLOW PELLETIZATION PROCESS USING THE MWWA'S RAW WATER AS FEED AND THE ALUM AS COAGULANT

Miss Kultida Areesawangkit

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 1997

ISBN 974-637-171-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ดุลมวลของของแข็งในกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้นโดยใช้น้ำดิบของ กปน.เป็นน้ำป้อนและสารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์

โดย นางสาวกุลธิดา อารีย์สว่างกิจ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..............................................คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นพ.ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..............................................ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์)

..............................................อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

..............................................กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

..............................................กรรมการ

(อาจารย์ชัยพร ภู่ประเสริฐ)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

กุลธิดา อารีย์สว่างกิจ : ดุลมวลของของแข็งในกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้นโดยใช้น้ำดิบของ กปน. เป็นน้ำป้อน และสารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ (MASS BALANCE OF SOLIDS IN THE UPFLOW PELLETIZATION PROCESS USING THE MWWA'S RAW WATER AS FEED AND THE ALUM AS COAGULANT) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 311 หน้า.

ISBN 974-637-171-1


การวิจัยกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้นโดยใช้น้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงเดือนกันยายน 2539 ถึงกุมภาพันธ์ 2540 ซึ่งมีความขุ่น 30-240 เอ็นทียู ได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ระหว่างเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายนหรือช่วงฤดูฝน ความขุ่นน้ำดิบเท่ากับ 100-240 เอ็นทียู ความเร็วน้ำไหลขึ้นในปฏิกรณ์ 6 และ 9.6 ม/ชม. ใช้สารส้มปริมาณ 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล. เป็นโคแอกกูแลนต์ ร่วมกับโพลิเมอร์ไม่มีประจุปริมาณ 0.3 มก/ล. เป็นโคแอกกูแลนต์เอด และใช้โพลิเมอร์ไม่มีประจุปริมาณ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล. เป็นโคแอกกูแลนต์ และช่วงที่ 2 ระหว่างเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้ง มีความขุ่นน้ำดิบ 30-60 เอ็นทียู ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 และ 15 ม/ชม. ใช้สารส้มปริมาณ 3, 5, 7 และ 10 มก/ล. เป็นโคแอกกูแลนต์ร่วมกับโพลิเมอร์ไม่มีประจุปริมาณ 0.3 มก/ล. เป็นโคแอกกูแลนต์เอด และใช้โพลิเมอร์ไม่มีประจุปริมาณ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล. เป็นโคแอกกูแลนต์ ดำเนินการทดลองเดินระบบผลิตน้ำเป็นเวลา 84 ชม. ต่อครั้งการทดลอง พบว่า

1. ความขุ่นน้ำผลิตในการทดลองที่ใช้สารส้มมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 5 เอ็นทียู ส่วนในการทดลองที่ใช้โพลิเมอร์ไม่มีประจุเป็นโคแอกกูแลนต์สามารถผลิตน้ำที่มีความขุ่นสูงกว่า 5 เอ็นทียูเล็กน้อย

2. ปริมาณของแข็งหรือเพลเล็ตในระบบ ฯ มีการสะสมเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เดินระบบ ฯ ของแข็งที่เข้ามีค่ามากกว่าปริมาณที่ออกจนกระทั่งระบบ ฯ เข้าสู่สถานะคงตัวจึงจะมีค่าปริมาณของแข็งที่เข้าสู่ระบบใกล้เคียงกับปริมาณที่ออกจากระบบ ฯ และมีการสะสมของเพลเล็ตน้อยลงจนกระทั่งมีค่าผลต่างของของแข็งที่สะสมในระบบ ฯ ใกล้เคียงศูนย์

3. การสะสมของเพลเล็ตขึ้นกับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ความขุ่นน้ำดิบ, ความขุ่นน้ำผลิต และปริมาณเพลเล็ตเริ่มต้นในการเดินระบบ ฯ โดยเมื่อมีมวลเพลเล็ตเริ่มต้นในกระบวนการมากจะสามารถดักจับอนุภาคความขุ่นที่เข้าสู่ระบบ ฯ ได้มากกว่า

4. เพลเล็ตที่ได้มีขนาดใกล้เคียงกันในการทดลองที่ใช้สารส้ม และโพลิเมอร์ไม่มีประจุเป็นโคแอกกูแลนต์ คือระหว่าง 0.18-0.28 มม.

5. ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำผลิตมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดคือ 200 ไมโครกรัมต่อลิตรในทุกความเข้มข้นสารเคมีที่ทดลอง


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต กุลธิดา อารีย์สว่างกิจ

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [signature]

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ——

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

## C717893 : MAJOR SANITARY ENGINEERING
KEY WORD: PELLETIZATION / TURBIDITY REMOVAL / PELLET MASS

KULTIDA AREESAWANGKIT : MASS BALANCE OF SOLIDS IN THE UPFLOW PELLETIZATION PROCESS USING THE MWWA'S RAW WATER AS FEED AND THE ALUM AS COAGULANT . THESIS ADVISOR : PROF.THONGCHAI PANSWAD, Ph.D. 311 pp. ISBN 974-637-171-1

From the study of an upflow pelletization process treating raw water from the Chao Phraya river under 2 conditions, i.e. a) during a rainy season, in September and November, 1996, the turbidity of 100 to 240 NTU, upflow velocity of 6 and 9.6 m/hr, alum as coagulant at 18.73, 21.13, 23.44 and 25.79 mg/l coupled with nonionic polymer of 0.3 mg/l as coagulant aid, and nonionic polymer of 0.1, 0.2 and 0.3 mg/l as coagulant and b) during a dry season, from January to February, 1997, the turbidity of 30 to 60 NTU, upflow velocity of 9.6 and 15 m/hr, alum as coagulant at 3, 5, 7 and 10 mg/l coupled with nonionic polymer of 0.3 mg/l as coagulant aid, and nonionic polymer of 0.1, 0.2 and 0.3 mg/l as coagulant, it was found that, after 84 hours of continuous operation in each run,

1. When alum was used as coagulant, the effluent turbidity was less than 5 NTU standard, while it was higher than 5 NTU in the case of using nonionic polymer as coagulant.

2. Pellet mass in the reactor accumulated from start up to steady state. Solids input to the process was more than its output until the process ran to steady state; then solids input was nearly equal to the output, and accumulation of pellets decreased until the difference between solids input and output was near to zero.

3. The accumulation of pellets was due to several factors such as turbidity of raw water, turbidity of effluent water and pellet mass from start-up process. If we have more pellet mass from start-up, it could catch more turbidity particles.

4. Pellet size in both case of using alum and nonionic polymer as coagulant was 0.18 to 0.28 mm.

5. Aluminium in effluent water does not exceed the standard of 200 µg/l in any experiment.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | |
|---|---|
| ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม | ลายมือชื่อนิสิต กุลธิดา อารีย์สว่างกิจ |
| สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา |
| ปีการศึกษา 2540 | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม — |

# กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์ เป็นอย่างสูงที่ให้ความกรุณาในการให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในการวิจัย แง่คิดทางวิชาการตลอดจนดูแลเอาใจใส่ผู้วิจัยตลอดเวลา และให้ความอนุเคราะห์ในการให้ยืมอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งล้วนเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ และอาจารย์ชัยพร ภู่ประเสริฐ ที่ได้ให้คำแนะนำ อนุมัติโครงร่างงานวิจัย ตรวจสอบและเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ให้แก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ศึกษาอยู่

ขอขอบพระคุณ การประปานครหลวง คุณเติมศักดิ์ โชติวรรณวิรัช และเจ้าหน้าที่ส่วนวิเคราะห์คุณภาพน้ำระบบผลิต การประปานครหลวงทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และห้องทดลองตลอดจนให้คำแนะนำ ข้อมูล และความเป็นกันเองตลอดระยะเวลาที่วิจัย

ขอขอบคุณ บริษัทโกซู เคมิคอล จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณสุรเชษฐ์ พลวณิช และคุณคณิศ ม่วงศิริ ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูล เอกสาร และเทคนิคในการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณพลภัทร อรัญยกานนท์ ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลและเอกสารประกอบการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณชฎารัตน์ อนันต์ และครอบครัว ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่พักอาศัยให้แก่ผู้วิจัยในระหว่างการวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ที่ได้คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณสุรศักดิ์ อารีย์สว่างกิจ น้องชายแสนดี สำหรับการเสียสละเครื่องคอมพิวเตอร์ให้ผู้วิจัยได้ใช้ในระหว่างการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณณัฏฐพงศ์ เลิศปิติภัทร ที่ได้คอยช่วยเหลือ ช่วยแก้ไขปัญหาทุกอย่าง และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัย จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เนื่องจากทุนบางส่วนของงานวิจัยในครั้งนี้ ได้รับความอนุเคราะห์จากบัณฑิตวิทยาลัยและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

คุณความดีและประโยชน์ทั้งหลายอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้บิดา มารดา ซึ่งเป็นผู้ให้ทุกอย่างกับผู้วิจัยตลอดมา

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย....................................................................................... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ................................................................................... จ

กิตติกรรมประกาศ........................................................................................ ฉ

สารบัญ..................................................................................................... ช

สารบัญตาราง............................................................................................. ณ

สารบัญรูป.................................................................................................. บ

บทที่

1. บทนำ.................................................................................................... 1

2. วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย.............................................................. 2

2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย............................................................................ 2

2.2 ขอบเขตของการวิจัย.................................................................................. 2

3. ทบทวนเอกสาร......................................................................................... 3

3.1 ทฤษฎี สมมติฐาน หลักการ และเหตุผล............................................................. 3

3.1.1 ทฤษฎีของกระบวนการรวมฟล็อก................................................................ 3

3.1.1.1 ขั้นตอนการทำลายเสถียรภาพ.................................................................. 3

3.1.1.2 การทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่มาสัมผัส................................................ 4

3.1.2 กลไกการตกตะกอนด้วยโพลีอลูมินั่มคลอไรด์................................................... 6

3.1.3 โคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม.......................................................................... 7

3.1.3.1 เคมีของสารส้ม.................................................................................... 7

3.1.4 โพลีเมอร์............................................................................................. 8

3.1.4.1 สารโพลีอิเลกโทรไลต์ที่ให้ประจุบวก.......................................................... 10

3.1.4.2 สารโพลีอิเลกโทรไลต์ที่ให้ประจุลบ............................................................ 10

3.1.4.3 สารโพลีอิเลกโทรไลต์ที่ไม่มีประจุ.............................................................. 11

3.1.4.4 สารโพลีอิเลกโทรไลต์ที่ให้ทั้งประจุลบและบวก............................................... 11

3.1.5 สมมติฐานเบื้องต้นของการกำจัดความขุ่นโดยการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น.................. 11

3.1.6 การสร้างเพลเล็ต..................................................................................... 16

3.2 การศึกษาที่ผ่านมา...................................................................................... 18

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

4. การดำเนินการวิจัย........ 35
 4.1 ขอบเขตการศึกษา........ 35
 4.2 แผนการศึกษาและการดำเนินการ........ 39
  4.2.1 ลำดับขั้นตอนการศึกษา........ 39
  4.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์........ 40
  4.2.3 วิธีการทดลอง........ 42
 4.3 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์........ 42
  4.3.1 การเก็บตัวอย่าง........ 42
  4.3.2 การวิเคราะห์........ 43
  4.3.3 การหาดุลมวล........ 43
5. ผลการทดลองและวิจารณ์........ 45
 5.1 ความขุ่นน้ำดิบและน้ำผลิต........ 45
  5.1.1 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นสูง (100-240 เอ็นทียู)........ 45
   5.1.1.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........ 45
   5.1.1.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม........ 47
   5.1.1.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........ 48
   5.1.1.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม........ 53
  5.1.2 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นต่ำ (30-60 เอ็นทียู)........ 56
   5.1.2.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม........ 56
   5.1.2.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........ 56
   5.1.2.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม........ 60
   5.1.2.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........ 61
 5.2 ประจุคอลลอยด์........ 66
  5.2.1 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นสูง (100-240 เอ็นทียู)........ 66
   5.2.1.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........ 66
   5.2.1.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม........ 68
   5.2.1.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........ 68
   5.2.1.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม........ 70

# สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

5.2.2 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นต่ำ (30-60 เอ็นทียู) 73
5.2.2.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม 73
5.2.2.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม 74
5.2.2.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม 77
5.2.2.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม 79
5.3 ดุลมวลของของแข็ง 81
5.3.1 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นสูง (100-240 เอ็นทียู) 81
5.3.1.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม 81
5.3.1.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม 85
5.3.1.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม 87
5.3.1.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม 92
5.3.2 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นต่ำ (30-60 เอ็นทียู) 96
5.3.2.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม 96
5.3.2.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม 100
5.3.2.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 115 ม/ชม 102
5.3.2.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม 107
5.4 เวลากักของแข็ง 112
5.4.1 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นสูง (100-240 เอ็นทียู) 112
5.4.1.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม 112
5.4.1.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม 113
5.4.1.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม 115
5.4.1.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม 116
5.4.2 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นต่ำ (30-60 เอ็นทียู) 117
5.4.2.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม 117
5.4.2.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม 118
5.4.2.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม 119
5.4.2.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม 120

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

5.5 เวลาเดินระบบจนความขุ่นน้ำผลิตคงตัว........ 122
5.5.1 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นสูง (100-240 เอ็นทียู)........ 122
5.5.1.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........ 122
5.5.1.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม........ 123
5.5.1.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........ 124
5.5.1.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม........ 125
5.5.2 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นต่ำ (30-60 เอ็นทียู)........ 127
5.5.2.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม........ 127
5.5.2.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........ 128
5.5.2.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม........ 129
5.5.2.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........ 130
5.6 พีเอช........ 132
5.6.1 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นสูง (100-240 เอ็นทียู)........ 132
5.6.1.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........ 132
5.6.1.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม........ 132
5.6.1.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........ 134
5.6.1.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม........ 137
5.6.2 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นต่ำ (30-60 เอ็นทียู)........ 139
5.6.2.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม........ 139
5.6.2.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........ 141
5.6.2.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม........ 141
5.6.2.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........ 143
5.7 สภาพด่าง........ 146
5.7.1 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นสูง (100-240 เอ็นทียู)........ 146
5.7.1.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........ 148
5.7.1.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม........ 148
5.7.1.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........ 148
5.7.1.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม........ 150

# สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า


5.7.2 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นต่ำ (30-60 เอ็นทียู)........................................ 153

5.7.2.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม........................................ 153

5.7.2.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........................................ 155

5.7.2.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม........................................ 157

5.7.2.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........................................ 157

5.8 ขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นของเพลเล็ต........................................ 160

5.8.1 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นสูง (100-240 เอ็นทียู)........................................ 160

5.8.1.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........................................ 160

5.8.1.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม........................................ 162

5.8.1.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........................................ 163

5.8.1.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม........................................ 164

5.8.2 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นต่ำ (30-60 เอ็นทียู)........................................ 168

5.8.2.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม........................................ 168

5.8.2.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........................................ 168

5.8.2.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม........................................ 170

5.8.2.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........................................ 172

5.9 อะลูมิเนียม........................................ 176

5.9.1 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นสูง (100-240 เอ็นทียู)........................................ 176

5.9.1.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........................................ 176

5.9.1.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม........................................ 177

5.9.1.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........................................ 178

5.9.1.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม........................................ 178

5.9.2 กรณีทดลองช่วงน้ำดิบมีความขุ่นต่ำ (30-60 เอ็นทียู)........................................ 182

5.9.2.1 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม........................................ 182

5.9.2.2 กรณีใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........................................ 182

5.9.2.3 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม........................................ 183

5.9.2.4 กรณีไม่ใช้สารส้มที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม........................................ 184

6. สรุปผลการวิจัย........................................ 186

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

7. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต........ 188

รายการอ้างอิง........ 189

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก รายการคำนวน........ 193

ก-1 การคำนวนมวลเพลเล็ตในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น........ 193

ก-2 การคำนวนมวลเพลเล็ดจากการทดลอง........ 195

ก-3 การคำนวนความหนาแน่นเพลเล็ตในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น..... 196

ก-4 การคำนวนเวลากักของแข็ง........ 197

ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์การทดลอง........ 198

ข-1 การวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียม........ 198

ข-2 การไทเทรตคอลลอยด์........ 201

ภาคผนวก ค ความขุ่นน้ำดิบและน้ำผลิตที่เวลาต่าง ๆ........ 203

ภาคผนวก ง พีเอชของน้ำที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบ ฯ........ 211

ภาคผนวก จ ประจุคอลลอยด์ของน้ำที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบ ฯ........ 219

ภาคผนวก ฉ สภาพด่างของน้ำที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบ ฯ........ 227

ภาคผนวก ช ตารางแสดงดุลมวล........ 235

ภาคผนวก ซ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ........ 263

ลำดับการนำเสนอวิทยานิพนธ์โดยใช้สไลด์........ 265

ประวัติผู้วิจัย........ 282

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการทดลอง.............. 38
4.2 สมบัติทั่วไปของสารส้มเหลวที่ใช้ในการทดลอง.............. 39
4.3 สมบัติทั่วไปของโพลีเมอร์ที่ใช้ในการทดลอง.............. 40
4.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.............. 44
5.1 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม.............. 45
5.2 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม.............. 48
5.3 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม.............. 50
5.4 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม.............. 53
5.5 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้ สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม.............. 56
5.6 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้ สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม.............. 58
5.7 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม.............. 61
5.8 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม.............. 61
5.9 ประจุคอลลอยด์ของน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิต ในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม.............. 66
5.10 ประจุคอลลอยด์ของน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิต ในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม.............. 68
5.11 ประจุคอลลอยด์ของน้ำดิบ และน้ำผลิต ในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม.............. 70

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.12 ประจุคอลลอยด์ของน้ำดิบ และน้ำผลิต ในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม ..... 70
5.13 ประจุคอลลอยด์ของน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิต ในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ..... 74
5.14 ประจุคอลลอยด์ของน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิต ในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 74
5.15 ประจุคอลลอยด์ของน้ำดิบ และน้ำผลิต ในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ..... 77
5.16 ประจุคอลลอยด์ของน้ำดิบ และน้ำผลิต ในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 79
5.17 ปริมาณของแข็งในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น ในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 81
5.18 คุณภาพของของแข็งในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น ในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้ม ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 83
5.19 ปริมาณของแข็งในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น ในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้ม ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม ..... 85
5.20 คุณภาพของของแข็งในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น ในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้ สารส้ม ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม ..... 87
5.21 ปริมาณของแข็งในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น ในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 89
5.22 คุณภาพของของแข็งในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น ในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 89
5.23 ปริมาณของแข็งในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น ในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม ..... 92
5.24 คุณภาพของของแข็งในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น ในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม ..... 94

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.25 ปริมาณของแข็งในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น ในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ... 96
5.26 ดุลมวลของของแข็งในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น ในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ... 98
5.27 ปริมาณของแข็งในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น ในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ... 100
5.28 ดุลมวลของของแข็งในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น ในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ... 102
5.29 ปริมาณของแข็งในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น ในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ... 104
5.30 ดุลมวลของของแข็งในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น ในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ... 104
5.31 ปริมาณของแข็งในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น ในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ... 107
5.32 ดุลมวลของของแข็งในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น ในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ... 109
5.33 เวลากักของแข็งที่สถานะคงตัวในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ... 112
5.34 เวลากักของแข็งที่สถานะคงตัวในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม ... 114
5.35 เวลากักของแข็งที่สถานะคงตัวในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ... 115
5.36 เวลากักของแข็งที่สถานะคงตัวในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม ... 116
5.37 เวลากักของแข็งที่สถานะคงตัวในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ... 117

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.38 เวลากักของแข็งที่สถานะคงตัวในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ........ 118
5.39 เวลากักของแข็งที่สถานะคงตัวในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ........ 119
5.40 เวลากักของแข็งที่สถานะคงตัวในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ........ 120
5.41 เวลาเดินระบบจนความขุ่นน้ำผลิตคงตัวในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ........ 122
5.42 เวลาเดินระบบจนความขุ่นน้ำผลิตคงตัวในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม ........ 123
5.43 เวลาเดินระบบจนความขุ่นน้ำผลิตคงตัวในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ........ 124
5.44 เวลาเดินระบบจนความขุ่นน้ำผลิตคงตัวในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม ........ 126
5.45 เวลาเดินระบบจนความขุ่นน้ำผลิตคงตัวในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ ไม่มีประจุ ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ........ 127
5.46 เวลาเดินระบบจนความขุ่นน้ำผลิตคงตัวในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ ไม่มีประจุ ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ........ 128
5.47 เวลาเดินระบบจนความขุ่นน้ำผลิตคงตัวในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ........ 129
5.48 เวลาเดินระบบจนความขุ่นน้ำผลิตคงตัวในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ........ 130
5.49 พีเอชน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ........ 132
5.50 พีเอชน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม ........ 134

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.51 พีเอชน้ำดิบ และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 134
5.52 พีเอชน้ำดิบ และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม ..... 137
5.53 พีเอชน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ..... 139
5.54 พีเอชน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 141
5.55 พีเอชน้ำดิบ และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ..... 143
5.56 พีเอชน้ำดิบ และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 143
5.57 สภาพด่างน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 146
5.58 สภาพด่างน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม ..... 148
5.59 สภาพด่างน้ำดิบ และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 150
5.60 สภาพด่างน้ำดิบ และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม ..... 150
5.61 สภาพด่างน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ..... 153
5.62 สภาพด่างน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 155
5.63 สภาพด่างน้ำดิบ และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ..... 157

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.64 สภาพด่างน้ำดิบ และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 157
5.65 ขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ตในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 160
5.66 ขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ตในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม ..... 162
5.67 ขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ตในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 164
5.68 ขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ตในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม ..... 164
5.69 ขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ตในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ..... 168
5.70 ขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ตในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 170
5.71 ขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ตในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ..... 170
5.72 ขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ตในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 173
5.73 อะลูมิเนียมในน้ำดิบและน้ำผลิตเฉลี่ยในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 176
5.74 อะลูมิเนียมในน้ำดิบ และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม ..... 177
5.75 อะลูมิเนียมในน้ำดิบ และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 178
5.76 อะลูมิเนียมในน้ำดิบ และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นสูง กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม ..... 179

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.77 อะลูมิเนียมในน้ำดิบ และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ..... 181

5.78 อะลูมิเนียมในน้ำดิบ และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 182

5.79 อะลูมิเนียมในน้ำดิบ และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม ..... 183

5.80 อะลูมิเนียมในน้ำดิบ และน้ำผลิตในช่วงความขุ่นต่ำ กรณีใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม ..... 184

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

3.1 กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบต่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์ ........ 5
3.2 ไดอาแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารส้มและพีเอช ........ 8
3.3 การทำลายประจุและการสร้างสะพานเชื่อมอนุภาค ........ 9
3.4 สถานะของสารละลาย เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นและพีเอชต่างกัน ........ 12
3.5 เปรียบเทียบการจับตัวเป็นของแข็งในสภาวะปกติกับสภาวะเมตะ ........ 12
3.6 การกระจายของแรงเมื่อฟล็อกหยุดนิ่ง ........ 14
3.7 การกระจายของแรงเมื่อฟล็อกกลิ้ง ........ 14
3.8 การจัดเรียงของอนุภาคภายในฟล็อกก่อนชน ........ 15
3.9 การจัดเรียงของอนุภาคภายในฟล็อกหลังชน ........ 15
3.10 การจับตัวแบบหนึ่งต่อหนึ่งภายใต้สภาวะเสถียรแบบเมตะ ........ 16
3.11 ลักษณะการเกิดเพลเล็ตที่สถานะคงตัว ........ 17
3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในฟล็อกและความเข้มข้นโพลีเมอร์ที่ใช้ ........ 18
3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและความหนาแน่นประสิทธิผลของฟล็อกที่ค่า ALT ต่างกัน.... 19
3.14 ความหนาแน่นของฟล็อกเมื่อใช้โคแอกกูแลนต์ต่างกัน ........ 20
3.15 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองของ Tambo และ Matsui ในการศึกษาเรื่อง Metastable State Operation-Fluidized Bed Pellet Separation ........ 21
3.16 ความขุ่นของน้ำดิบและน้ำผลิตในช่วงเวลาต่าง ๆ ........ 22
3.17 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในช่วงเวลาต่าง ๆ ........ 22
3.18 การเปลี่ยนแปลงขนาดเพลเล็ตที่ความสูงต่าง ๆ ........ 23
3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลเล็ต ........ 23
3.20 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองของ Tambo และ Matsui ในการศึกษาเรื่อง Performance of fluidized pellet bed separator for high-concentration suspention removal ........ 24
3.21 ความเร็วจมตัวของเพลเล็ตและฟล็อก กรณีใช้น้ำดิบจากแม่น้ำเหลือง ซึ่งมีความเข้มข้นของสารแขวนลอยประมาณ 3000 มก/ล ........ 25

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.22 ความหนาแน่นของเพลเล็ตและฟล็อก กรณีใช้น้ำดิบจากแม่น้ำเหลือง ซึ่งมีความเข้มข้นของสารแขวนลอยประมาณ 3000 มก/ล ..... 25
3.23 ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยในน้ำดิบและน้ำผลิต กรณีใช้น้ำดิบจากประเทศทางเอเชีย ตะวันออกเฉียงใต้, อินเดีย และอัฟริกา ..... 26
3.24 ขนาดเพลเล็ต กรณีใช้น้ำดิบจากประเทศทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้, อินเดีย และอัฟริกา ..... 27
3.25 ความหนาแน่นของเพลเล็ตและฟล็อก กรณีใช้น้ำดิบจากประเทศทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้, อินเดีย และอัฟริกา ..... 27
3.26 กระบวนการผลิตน้ำแบบฟลูอิดไดซ์เพลเล็ตเบด (fluidized pellet bed separator) ..... 29
3.27 ความเข้มข้นสีตกค้าง ..... 30
3.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับขนาดเพลเล็ตที่อัตราส่วน c.u./turbidity ต่างกัน ..... 31
3.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับขนาดเพลเล็ตที่ความเข้มข้นของอนุภาคเบื้องต้นต่างกัน ..... 31
4.1 แผนผังแสดงการทดลองกรณีน้ำดิบความขุ่นสูง ..... 35
4.2 แผนผังแสดงการทดลองกรณีน้ำดิบความขุ่นต่ำ ..... 36
4.3 อุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้นที่ใช้ในการทดลอง ..... 41
4.4 การหาดุลมวลของระบบ ฯ ..... 43
5.1 ความขุ่นน้ำดิบและน้ำผลิต เมื่อใช้ สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชมในช่วงความขุ่นสูง ..... 46
5.2 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่สถานะคงตัว เมื่อใช้สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชมในช่วงความขุ่นสูง ..... 47
5.3 ความขุ่นน้ำดิบและน้ำผลิต เมื่อใช้ สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชมในช่วงความขุ่นสูง ..... 49
5.4 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่สถานะคงตัว เมื่อใช้สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชมในช่วงความขุ่นสูง ..... 50

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.5 ความขุ่นน้ำดิบและน้ำผลิต เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง...... 51
5.6 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่สถานะคงตัว เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ0.3มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นสูง.... 52
5.7 ความขุ่นน้ำดิบและน้ำผลิต เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง...... 54
5.8 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่สถานะคงตัว เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นสูง.... 55
5.9 ความขุ่นน้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่สถานะคงตัวในช่วงความขุ่นสูง...... 55
5.10 ความขุ่นน้ำดิบและน้ำผลิต เมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ...... 57
5.11 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่สถานะคงตัว เมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ...... 58
5.12 ความขุ่นน้ำดิบและน้ำผลิต เมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ...... 59
5.13 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่สถานะคงตัว เมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ...... 60
5.14 ความขุ่นน้ำดิบและน้ำผลิต เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ...... 62
5.15 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่สถานะคงตัว เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ0.1,0.2และ0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นต่ำ..... 63
5.16 ความขุ่นน้ำดิบและน้ำผลิต เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ...... 64
5.17 ความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่สถานะคงตัว เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ0.1,0.2และ0.3มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น9.6ม/ชม.ในช่วงความขุ่นต่ำ....... 65

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.18 ความขุ่นน้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่สถานะคงตัวในช่วงความขุ่นต่ำ..... 65
5.19 ประจุคอลลอยด์ของน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิต เมื่อใช้ สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง..................................................................................... 67
5.20 ประจุคอลลอยด์ของน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิต เมื่อใช้ สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นสูง..................................................................................... 69
5.21 ประจุคอลลอยด์ของน้ำดิบ และน้ำผลิต เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง..................................................... 71
5.22 ประจุคอลลอยด์ของน้ำดิบ และน้ำผลิต เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง........................................................ 72
5.23 ประจุคอลลอยด์ของน้ำผลิตที่สถานะคงตัว ในช่วงความขุ่นสูง............................................... 73
5.24 ประจุคอลลอยด์ของน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิต เมื่อใช้ สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ..................................................................................... 75
5.25 ประจุคอลลอยด์ของน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิต เมื่อใช้ สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ..................................................................................... 76
5.26 ประจุคอลลอยด์ของน้ำดิบ และน้ำผลิต เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ...................................................... 78
5.27 ประจุคอลลอยด์ของน้ำดิบ และน้ำผลิต เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ..................................................... 80
5.28 ประจุคอลลอยด์ของน้ำผลิตที่สถานะคงตัว ในช่วงความขุ่นต่ำ............................................... 81
5.29 เปรียบเทียบปริมาณของแข็งในอุปกรณ์เมื่อใช้สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง..................................................................................... 82

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.30 ดุลมวลของของแข็งใน 12 ชั่วโมงเมื่อใช้สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ0.3มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น9.6ม/ชม.ในช่วงความขุ่นสูง........ 84
5.31 เปรียบเทียบปริมาณของแข็งในอุปกรณ์เมื่อใช้สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง........ 86
5.32 ดุลมวลของของแข็งใน 12 ชั่วโมงเมื่อใช้สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ0.3มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นสูง........ 88
5.33 เปรียบเทียบปริมาณของแข็งในอุปกรณ์ เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง........ 90
5.34 ดุลมวลของของแข็งใน 12 ชั่วโมง เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง........ 91
5.35 เปรียบเทียบปริมาณของแข็งในอุปกรณ์ เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง........ 93
5.36 ดุลมวลของของแข็งใน 12 ชั่วโมง เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง........ 95
5.37 เปรียบเทียบมวลเพลเล็ตในอุปกรณ์ในช่วงความขุ่นสูง........ 96
5.38 เปรียบเทียบปริมาณของแข็งในอุปกรณ์ เมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.ร่วมกับ โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ........ 97
5.39 ดุลมวลของของแข็งใน 12 ชั่วโมง เมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.ร่วมกับ โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำ ไหลขึ้น 15 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ........ 99
5.40 เปรียบเทียบปริมาณของแข็งในอุปกรณ์ เมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.ร่วมกับ โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ........ 101
5.41 ดุลมวลของของแข็งใน 12 ชั่วโมง เมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.ร่วมกับ โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ........ 103
5.42 เปรียบเทียบปริมาณของแข็งในอุปกรณ์ เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ........ 105

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.43 ดุลมวลของของแข็งใน 12 ชั่วโมง เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ.......... 106

5.44 เปรียบเทียบปริมาณของแข็งในอุปกรณ์เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ.......... 108

5.45 ดุลมวลของของแข็งใน 12 ชั่วโมง เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ.......... 110

5.46 เปรียบเทียบมวลเพลเล็ตในอุปกรณ์ในช่วงความขุ่นต่ำ.......... 111

5.47 เวลากักของแข็งเมื่อใช้สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง.......... 113

5.48 เวลากักของแข็งเมื่อใช้สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง.......... 114

5.49 เวลากักของแข็งเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง.......... 115

5.50 เวลากักของแข็ง เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง.......... 116

5.51 เปรียบเทียบเวลากักของแข็งที่สถานะคงตัวในช่วงความขุ่นสูง.......... 117

5.52 เวลากักของแข็งเมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ.......... 118

5.53 เวลากักของแข็งเมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ.......... 119

5.54 เวลากักของแข็งเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ.......... 120

5.55 เวลากักของแข็งเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ.......... 121

5.56 เปรียบเทียบเวลากักของแข็งที่สถานะคงตัวในช่วงความขุ่นต่ำ.......... 121

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.57 ระยะเวลาเดินระบบจนน้ำผลิตมีความขุ่นคงตัวเมื่อใช้สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง ........ 123

5.58 ระยะเวลาเดินระบบจนน้ำผลิตมีความขุ่นคงตัวเมื่อใช้สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง ........ 124

5.59 ระยะเวลาเดินระบบจนน้ำผลิตมีความขุ่นคงตัวเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นสูง ........ 125

5.60 ระยะเวลาเดินระบบจนน้ำผลิตมีความขุ่นคงตัวเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นสูง ........ 126

5.61 เปรียบเทียบระยะเวลาเดินระบบจนน้ำผลิตมีความขุ่นคงตัว ในช่วงความขุ่นสูง ........ 127

5.62 ระยะเวลาเดินระบบจนน้ำผลิตมีความขุ่นคงตัวเมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ0.3มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น15ม/ชม.ในช่วงความขุ่นต่ำ ........ 128

5.63 ระยะเวลาเดินระบบจนน้ำผลิตมีความขุ่นคงตัวเมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ0.3มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น9.6ม/ชม.ในช่วงความขุ่นต่ำ ........ 129

5.64 ระยะเวลาเดินระบบจนน้ำผลิตมีความขุ่นคงตัวเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ ........ 130

5.65 ระยะเวลาเดินระบบจนน้ำผลิตมีความขุ่นคงตัวเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นต่ำ ........ 131

5.66 เปรียบเทียบระยะเวลาเดินระบบจนน้ำผลิตมีความขุ่นคงตัว ในช่วงความขุ่นต่ำ ........ 131

5.67 พีเอชน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเมื่อใช้สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง ........ 133

5.68 พีเอชน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเมื่อใช้สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง ........ 135

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.69 พีเอชน้ำดิบ และน้ำผลิตเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง ..... 136
5.70 พีเอชน้ำดิบ และน้ำผลิตเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง ..... 138
5.71 เปรียบเทียบพีเอชน้ำผลิตในช่วงความขุ่นสูง ..... 139
5.72 พีเอชน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ ..... 140
5.73 พีเอชน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ ..... 142
5.74 พีเอชน้ำดิบ และน้ำผลิตเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ ..... 144
5.75 พีเอชน้ำดิบ และน้ำผลิตเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ ..... 145
5.76 เปรียบเทียบพีเอชน้ำผลิตในช่วงความขุ่นต่ำ ..... 146
5.77 สภาพด่างน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเมื่อใช้สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ0.3มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง ..... 147
5.78 สภาพด่างน้ำดิบ, น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเมื่อใช้สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง ..... 149
5.79 สภาพด่างน้ำดิบ และน้ำผลิตเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง ..... 151
5.80 สภาพด่างน้ำดิบ และน้ำผลิตเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง ..... 152
5.81 เปรียบเทียบสภาพด่างน้ำผลิตที่สถานะคงตัวในช่วงความขุ่นสูง ..... 153
5.82 สภาพด่างน้ำดิบ,น้ำหลังกวนเร็วและน้ำผลิตเมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ10 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ ..... 154

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.83 สภาพด่างน้ำดิบ,น้ำหลังกวนเร็วและน้ำผลิตเมื่อใช้สารส้ม 3,5,7 และ10 มก/ล.ร่วมกับ
โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ............ 156
5.84 สภาพด่างน้ำดิบ และน้ำผลิตเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.
ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ.............................................................. 158
5.85 สภาพด่างน้ำดิบ และน้ำผลิตเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.
ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ............................................................ 159
5.86 เปรียบเทียบสภาพด่างน้ำผลิตที่สถานะคงตัวในช่วงความขุ่นต่ำ........................................ 160
5.87 ขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ตเมื่อใช้สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44
และ 25.79 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม.
ในช่วงความขุ่นสูง.................................................................................................... 161
5.88 ขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ต เมื่อใช้สารส้ม18.73, 21.13, 23.44
และ 25.79 มก/ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม.
ในช่วงความขุ่นสูง.................................................................................................... 163
5.89 ขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ตเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2
และ0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง.......................................... 165
5.90 ขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ตเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2
และ0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นสูง............................................ 166
5.91 เปรียบเทียบขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ต ที่ระดับ 130 ซม.
ในช่วงความขุ่นสูง.................................................................................................... 167
5.92 ขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ตเมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.
ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นต่ำ.. 169
5.93 ขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ตเมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.
ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นต่ำ..171
5.94 ขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ต เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2
และ0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ......................................... 172
5.95 ขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ตเมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2
และ0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม. ในช่วงความขุ่นต่ำ......................................... 174

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.96 เปรียบเทียบขนาด, ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพลเล็ต ที่ระดับ 130 ซม. ในช่วงความขุ่นต่ำ........ 175
5.97 ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำดิบและน้ำผลิต เมื่อใช้สารส้ม 18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นสูง........ 176
5.98 ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำดิบและน้ำผลิต เมื่อใช้สารส้ม.18.73, 21.13, 23.44 และ 25.79 มก/ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นสูง... 177
5.99 ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำดิบและน้ำผลิต เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นสูง........ 179
5.100 ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำดิบและน้ำผลิต เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นสูง........ 180
5.101 เปรียบเทียบปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำผลิตในช่วงความขุ่นสูง........ 180
5.102 ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำดิบและน้ำผลิต เมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นต่ำ........ 181
5.103 ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำดิบและน้ำผลิต เมื่อใช้สารส้ม 3, 5, 7 และ 10 มก/ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล.ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นต่ำ........ 182
5.104 ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำดิบและน้ำผลิต เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นต่ำ........ 183
5.105 ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำดิบและน้ำผลิต เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 9.6 ม/ชม.ในช่วงความขุ่นต่ำ........ 184
5.106 เปรียบเทียบปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำผลิตในช่วงความขุ่นต่ำ........ 185