สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข

กิตติกรรมประกาศ ค

สารบัญ ง

สารบัญตาราง ฌ

สารบัญรูปภาพ ฑ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา / หลักการและเหตุผล 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา / ทดสอบ 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 2

1.4 สมมติฐานของการวิจัย 3

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน / ศึกษา / ทดสอบ 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....5

2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 5

2.1.1 ส่วนประกอบของระบบบำบัดน้ำเสีย 5

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับบ่อประดิษฐ์ 8

2.2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อประดิษฐ์ (Constructed Wetland) 8

2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะและคุณสมบัติของน้ำเสีย 9

2.3.1 ลักษณะของน้ำเสียทางกายภาพ (Physical Characteristics) 9

2.3.2 ลักษณะของน้ำเสียทางเคมี (Chemical Characteristics) 9

2.3.3 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียทางชีวภาพ (Biological Characteristics) 9

2.4 เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน 9

2.5 ประเภทของกระบวนการแยกด้วยเมมเบรน 11

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

2.5.1 กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน 13
1) หลักการพื้นฐาน 13
2) กลไกการกักอนุภาคของเมมเบรนไมโครฟิลเตรชัน 15
3) ลักษณะสมบัติของเมมเบรนไมโครฟิลเตรชัน 16
4) การประยุกต์ใช้งานไมโครฟิลเตรชัน 18
2.5.2 กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน 19
1) หลักการพื้นฐาน 19
2) ฟาวลิงและโพลาไรเซชันความเข้มข้น (Fouling and Concentration Polarization) 22
3) กลไกการทำงานของกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน (UF) 28
4) ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของอัลตราฟิลเตรชัน (UF) 28
5) แฟคเตอร์ที่มีผลต่อสมรรถนะของเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน 31
6) การประยุกต์ใช้งานอัลตราฟิลเตรชัน 31
2.6 ลักษณะการกรอง 32
2.6.1 การกรองแบบไหลตามแนวดิ่ง (Dead–End) 32
2.6.2 การกรองแบบไหลตามแนวขวาง (Cross-Flow) 32
2.6.3 ลักษณะการอุดตันบนเมมเบรน 33
1) ลักษณะการเกิดการอุดตันบนเมมเบรน 33
2) ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการอุดตันบนเมมเบรน 37
3) อัตราส่วนระหว่างการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารละลาย 38
4) ความต้านทานแบบอนุกรมของการอุดตัน (Resistance-in-series) 39
5) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการฟาวลิง 41
6) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการกรองของเมมเบรน 44
2.7 ข้อดีของกระบวนการเมมเบรน 46
2.8 ข้อจำกัดของกระบวนการเมมเบรน 46
2.9 บทสรุป 47

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง.....48

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี ที่ใช้ในการทดลอง 48

3.1.1 ถังบรรจุก๊าซไนโตรเจน 48

3.1.2 ชุดทดลอง 48

3.1.4 เครื่องกำเนิดแรงเฉือน 48

3.1.5 เครื่องมือวิเคราะห์ 48

3.2.6 อุปกรณ์ 48

3.2.7 สารเคมี 50

3.2 กรอบแนวทางการดำเนินการ 50

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่างเบื้องต้น 51

3.3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ 51

3.3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดคุณภาพน้ำเบื้องต้น 52

3.4 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายและแผ่นเมมเบรน 52

3.4.1 การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการทดลอง 52

3.4.2 การเตรียมแผ่นเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน 53

3.5 การออกแบบการทดลอง 53

3.5.1เตรียมชุดการทดลองเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration Membrane) 53

3.5.2 การทำความสะอาดเมมเบรน 55

3.5.3 การทดสอบการทำงานของระบบเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน 56

3.5.4 การความแม่นยำของของระบบ (Reproducibility) 56

3.5.5 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการลดลงของฟลักซ์ 57

3.6 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอุดตันของเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน 59

3.6.1 ผลของพีเอช 59

3.6.2 ผลของความดัน 59

3.6.3 ผลของอัตราแรงเฉือน 59

3.7 การวิเคราะห์ตัวอย่าง 60

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.7.1 ตัวอย่างน้ำ	60
3.7.2 การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองความต้านทานแบบอนุกรม	60
3.7.3 การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองการอุดตัน	62
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	**63**
4.1 คุณลักษณะของน้ำตัวอย่าง	63
4.2 ผลการทดสอบระบบเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน	66
4.2.1 ผลของความดันที่มีต่อฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน	66
4.2.2 การทดสอบความแม่นยำของระบบ (Reproducibility)	67
4.3 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าฟลักซ์	68
4.3.1 ผลของความดัน	68
4.3.2 ผลของอัตราแรงเฉือน	69
4.3.3 ผลของพีเอช	71
4.4 ผลของการทำความสะอาดแผ่นเมมเบรน	73
4.4.1 ผลของความดัน	74
4.4.2 ผลของอัตราแรงเฉือน	76
4.4.3 ผลของพีเอช	78
4.5 แบบจำลองอนุกรมความต้านทาน (Resistance in – series model)	81
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	**85**
5.1 สรุปผลการทดลอง	85
5.1.1 ผลของความดัน	85
5.1.2 ผลของอัตราแรงเฉือน	85
5.1.3 ผลของพีเอช	86
5.2 ข้อเสนอแนะ	86

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

เอกสารอ้างอิง.....87

ภาคผนวก.....90

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้น 91

1. การวิเคราะห์ค่าพีเอช (pH) โดยวิธี pH Meter 92

2. การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็ง (Solids) 96

3. การวิเคราะห์สภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity) 105

4. การวิเคราะห์ค่าบีโอดี (BOD) โดยวิธี Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 ^{0}ซ เป็นเวลา 5 วัน 108

5. การหาค่า Dissolved Oxygen (DO) ด้วยวิธี Azide Modification Method 117

6. การวิเคราะห์ค่าซีโอดี (COD) โดยวิธีย่อยสลายโดยโปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate Digestion) 122

7. การวิเคราะห์ค่าทีเคเอ็น ไนโตรเจน (TKN) โดยวิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl) 130

ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลของฟลักซ์และผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 133

ภาคผนวก ค ตารางแสดงค่าความต้านทานอนุกรม 156

ภาคผนวก ง การคำนวณการอุดตันแบบอนุกรม 158

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดของระบบบำบัดน้ำเสีย 7
ตารางที่ 2.2 ข้อได้เปรียบ/เสียเปรียบของเมมเบรนอนินทรีย์เทียบกับเมมเบรนอินทรีย์ 11
ตารางที่ 2.3 ประเภทของกระบวนการแยกด้วยเมมเบรน 12
ตารางที่ 2.4 ลักษณะของเมมเบรนและกระบวนการแยกด้วยเมมเบรน 12
ตารางที่ 2.5 อัตราเร็วในการตกตะกอนกับขนาดอนุภาค 13
ตารางที่ 2.6 ระดับน้ำหนักโมเลกุลของอนุภาคที่ถูกกักไว้ไม่ให้ผ่านเมมเบรนประเภทต่างๆ 15
ตารางที่ 2.7 การประยุกต์ใช้งานเมมเบรนไมโครฟิลเตรชัน 18
ตารางที่ 2.8 ขนาดและน้ำหนักโมเลกุลของโมเลกุลบางชนิด 19
ตารางที่ 2.9 การเปรียบเทียบลักษณะเชิงกระบวนการของโมดูลแบบต่างๆ 21
ตารางที่ 2.10 เปรียบเทียบกระบวนการเมมเบรนชนิดต่างๆ 30
ตารางที่ 2.11 Membrane fouling models for cross-flow operation 44
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันของ Osmonics รุ่น GK2540F1072 55
ตารางที่ 3.2 สรุปการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอุดตันของเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน 59
ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่ศึกษาและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 60
ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะเบื้องต้นของน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ (บ่อเก็บกักน้ำสุดท้าย มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี) 64
ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะเบื้องต้นของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองผ่านเครื่องกรองแบบไมโครฟิลเตรชัน ด้วยเยื่อกรองขนาด 10 ไมครอน 65
ตารางที่ ก.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน (พีเอชบัฟเฟอร์) สูตรต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25 ^{0}ซ 95
ตารางที่ ก.2 แสดงค่าสภาพนำไฟฟ้าของสารละลาย KCL 108
ตารางที่ ก.3 การเลือกขนาดตัวอย่างและอัตราเจือจางสำหรับช่วงบีโอดีต่างๆ 115
ตารางที่ ก.4 ขนาดตัวอย่างและอัตราเจือจางที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์หาซีโอดี 128
ตารางที่ ก.5 ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม 128
ตารางที่ ก.6 การเลือกขนาดตัวอย่าง 131
ตารางที่ ข.1 ตารางแสดงผลของความดันที่มีต่อค่าฟลักซ์ของระบบเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน 134

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

ตารางที่ ข.2 ตารางแสดงค่าฟลักซ์ของการทดสอบความแม่นยำของระบบอัลตราฟิลเตรชัน โดยทำการทดสอบที่พีเอช 7 อัตราแรงเฉือน 300 รอบต่อนาที และความดัน 60 psi ซึ่งทำการทดสอบด้วยสภาวะเช่นเดียวกันนี้ 3 ครั้ง 135

ตารางที่ ข.3-1 ตารางแสดงผลของค่าพีเอชต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน โดยปรับค่าพีเอชเท่ากับ 4 @ 25.4 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi 136

ตารางที่ ข.3-2 ตารางแสดงผลของความดันที่มีต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน ที่พีเอชเท่ากับ 4 @ 25.4 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi โดยทำการรันระบบด้วยน้ำ DI ก่อนการรันน้ำตัวอย่าง เมื่อรันน้ำตัวอย่างเสร็จแล้ว ทำการ flushing ด้วยการรันน้ำ DI และทำการล้างเมมเบรนด้วยเบส NaCl พีเอช 10 137

ตารางที่ ข.3-3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พีเอชเท่ากับ 4 @ 25.4 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi 137

ตารางที่ ข.4-1 ตารางแสดงผลของค่าพีเอชต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน โดยปรับค่าพีเอชเท่ากับ 7 @ 27.4 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi 138

ตารางที่ ข.4-2 ตารางแสดงผลของความดันที่มีต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน ที่พีเอชเท่ากับ 7 @ 27.4 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi โดยทำการรันระบบด้วยน้ำ DI ก่อนการรันน้ำตัวอย่าง เมื่อรันน้ำตัวอย่างเสร็จแล้ว ทำการ flushing ด้วยการรันน้ำ DI และทำการล้างเมมเบรนด้วยเบส NaCl พีเอช 10 139

ตารางที่ ข.4-3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พีเอชเท่ากับ 7 @ 27.4 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi 139

ตารางที่ ข.5-1 ตารางแสดงผลของค่าพีเอชต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน โดยปรับค่าพีเอชเท่ากับ 10 @ 24.9 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi 140

ตารางที่ ข.5-2 ตารางแสดงผลของความดันที่มีต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน ที่พีเอชเท่ากับ 10 @ 24.9 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi โดยทำการรันระบบด้วยน้ำ DI ก่อนการรันน้ำตัวอย่าง เมื่อรันน้ำตัวอย่างเสร็จแล้ว ทำการ flushing ด้วยการรันน้ำ DI และทำการล้างเมมเบรนด้วยเบส NaCl พีเอช 10 141

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

ตารางที่ ข.5-3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พีเอชเท่ากับ 10 @ 24.9 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi 141

ตารางที่ ข.6-1 ตารางแสดงผลของความดันต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน โดยปรับค่าพีเอชเท่ากับ 7 @ 26.0 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 20 psi 142

ตารางที่ ข.6-2 ตารางแสดงผลของความดันที่มีต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน ที่พีเอชเท่ากับ 7 @ 26.0 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 20 psi โดยทำการรันระบบด้วยน้ำ DI ก่อนการรันน้ำตัวอย่าง เมื่อรันน้ำตัวอย่างเสร็จแล้ว ทำการ flushing ด้วยการรันน้ำ DI และทำการล้างเมมเบรนด้วยเบส NaCl พีเอช 10 143

ตารางที่ ข.6-3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พีเอชเท่ากับ 7 @ 26.0 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 20 psi 143

ตารางที่ ข.7-1 ตารางแสดงผลของความดันต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน โดยปรับค่าพีเอชเท่ากับ 7 @ 24.7 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 40 psi 144

ตารางที่ ข.7-2 ตารางแสดงผลของความดันที่มีต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน ที่พีเอชเท่ากับ 7 @ 24.7 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 40 psi โดยทำการรันระบบด้วยน้ำ DI ก่อนการรันน้ำตัวอย่าง เมื่อรันน้ำตัวอย่างเสร็จแล้ว ทำการ flushing ด้วยการรันน้ำ DI และทำการล้างเมมเบรนด้วยเบส NaCl พีเอช 10 145

ตารางที่ ข.7-3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พีเอชเท่ากับ 7 @ 24.7 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 40 psi 145

ตารางที่ ข.8-1 ตารางแสดงผลของค่าพีเอชต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน โดยปรับค่าพีเอชเท่ากับ 7 @ 27.4 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi 146

ตารางที่ ข.8-2 ตารางแสดงผลของความดันที่มีต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน ที่พีเอชเท่ากับ 7 @ 27.4 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi โดยทำการรันระบบด้วยน้ำ DI ก่อนการรันน้ำตัวอย่าง เมื่อรันน้ำตัวอย่างเสร็จแล้ว ทำการ flushing ด้วยการรันน้ำ DI และทำการล้างเมมเบรนด้วยเบส NaCl พีเอช 10 147

ตารางที่ ข.8-3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พีเอชเท่ากับ 7 @ 27.4 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi 147

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

ตารางที่ ข.9-1 ตารางแสดงผลของอัตราแรงเฉือนต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน โดยปรับค่าพีเอชเท่ากับ 7 @ 19.1 ^{0}C แรงเฉือน 100 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi 148

ตารางที่ ข.9-2 ตารางแสดงผลของความดันที่มีต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน ที่พีเอชเท่ากับ 7 @ 19.1 ^{0}C แรงเฉือน 100 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi โดยทำการรันระบบด้วยน้ำ DI ก่อนการรันน้ำตัวอย่าง เมื่อรันน้ำตัวอย่างเสร็จแล้ว ทำการ flushing ด้วยการรันน้ำ DI และทำการล้างเมมเบรนด้วยเบส NaCl พีเอช 10 149

ตารางที่ ข.9-3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พีเอชเท่ากับ 7 @ 19.1 ^{0}C แรงเฉือน 100 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi 149

ตารางที่ ข.10-1 ตารางแสดงผลของอัตราแรงเฉือนต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน โดยปรับค่าพีเอชเท่ากับ 7 @ 20.6 ^{0}C แรงเฉือน 200 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi 150

ตารางที่ ข.10-2 ตารางแสดงผลของความดันที่มีต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน ที่พีเอชเท่ากับ 7 @ 20.6 ^{0}C แรงเฉือน 200 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi โดยทำการรันระบบด้วยน้ำ DI ก่อนการรันน้ำตัวอย่าง เมื่อรันน้ำตัวอย่างเสร็จแล้ว ทำการ flushing ด้วยการรันน้ำ DI และทำการล้างเมมเบรนด้วยเบส NaCl พีเอช 10 151

ตารางที่ ข.10-3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พีเอชเท่ากับ 7 @ 20.6 ^{0}C แรงเฉือน 200 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi 151

ตารางที่ ข.11-1 ตารางแสดงผลของค่าพีเอชต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน โดยปรับค่าพีเอชเท่ากับ 7 @ 27.4 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi 152

ตารางที่ ข.11-2 ตารางแสดงผลของความดันที่มีต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน ที่พีเอชเท่ากับ 7 @ 27.4 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi โดยทำการรันระบบด้วยน้ำ DI ก่อนการรันน้ำตัวอย่าง เมื่อรันน้ำตัวอย่างเสร็จแล้ว ทำการ flushing ด้วยการรันน้ำ DI และทำการล้างเมมเบรนด้วยเบส NaCl พีเอช 10 153

ตารางที่ ข.11-3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พีเอชเท่ากับ 7 @ 27.4 ^{0}C แรงเฉือน 300 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi 153

ตารางที่ ข.12-1 ตารางแสดงผลของค่าพีเอชต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน โดยปรับค่าพีเอชเท่ากับ 7 @ 18.0 ^{0}C แรงเฉือน 400 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi 154

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

ตารางที่ ข.12-2 ตารางแสดงผลของความดันที่มีต่อค่าฟลักซ์ของระบบอัลตราฟิลเตรชัน ที่พีเอช เท่ากับ 7 @ 18.0 ^{0}C แรงเฉือน 400 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi โดยทำการรันระบบด้วยน้ำ DI ก่อนการรันน้ำตัวอย่าง เมื่อรันน้ำตัวอย่างเสร็จแล้ว ทำการ flushing ด้วยการรันน้ำ DI และทำการล้างเมมเบรนด้วยเบส NaCl พีเอช 10 155

ตารางที่ ข.12-3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พีเอชเท่ากับ 7 @ 18.0 ^{0}C แรงเฉือน 400 RPM และความดันเท่ากับ 60 psi 155

ตารางที่ ค.1 ค่าความต้านทานแบบอนุกรมของการเพิ่มความดันของการดำเนินระบบอัลตราฟิลเตรชันที่ระดับ 20 40 และ 60 psi 157

ตารางที่ ค.2 ค่าความต้านทานแบบอนุกรมของการเพิ่มอัตราแรงเฉือนของการดำเนินระบบอัลตราฟิลเตรชันที่ระดับ 100 200 300 และ 400 รอบต่อนาที 157

ตารางที่ ค.3 ค่าความต้านทานแบบอนุกรมของการเพิ่มพีเอชของสารละลายของการดำเนินระบบอัลตราฟิลเตรชันที่ระดับ พีเอช 4 7 และ 10 157

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ **หน้า**

รูปที่ 2.1 แผนผังการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด 8
รูปที่ 2.2 หลักการของเทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน 10
รูปที่ 2.3 SEM ผิวหน้าของ (ก) Screen filter (ข) Depth filter 14
รูปที่ 2.4 เส้นโค้งการกักของเมมเบรนไมโครฟิลเตรชันสองแบบ 16
รูปที่ 2.5 ลักษณะ Molecular weight cutoff ของเมมเบรนสองแบบ 18
รูปที่ 2.6 ภาพตัดขวาง SEM ของเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันแอนไอโซทรอปี 20
รูปที่ 2.7 ลักษณะการเกิด Fouling 3 แบบ 22
รูปที่ 2.8 โพรไฟล์ความเข้มข้นที่สภาวะสถานะคงตัวกรณีไม่มีการตกสะสมของตัวละลาย 24
รูปที่ 2.9 โพรไฟล์ความเข้มข้นที่สภาวะสถานะคงตัวกรณีมีการตกสะสมของตัวละลาย 25
รูปที่ 2.10 ไดอะแกรมแสดงการลดลงของฟลักซ์เนื่องจาก Concentration polarization กับ Membrane fouling 27
รูปที่ 2.11 ไดอะแกรมแสดงการกู้ฟลักซ์ด้วยการล้างเมมเบรน 28
รูปที่ 2.12 การเปรียบเทียบการกรองแบบการไหลตามแนวดิ่งและการไหลตามแนวขวาง 33
รูปที่ 2.13 ลักษณะการอุดตันแบบ Complete Pore Blocking 35
รูปที่ 2.14 ลักษณะการอุดตันแบบ Pore Constriction or Standard Blocking 35
รูปที่ 2.15 ลักษณะการอุดตันแบบ Intermediate Blocking 36
รูปที่ 2.16 ลักษณะการอุดตันแบบ Cake Formation Model 36
รูปที่ 2.17 แผนภาพแสดงค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นจากการอุดตัน 40
รูปที่ 3.1 แผนผังระบบเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration and Dead-End Operating) 54
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 58
รูปที่ 4.1 ผลของความดันต่อฟลักซ์ของระบบเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration membrane) 66
รูปที่ 4.2 ฟลักซ์ของเพอร์มิเอทช่วงเวลาต่างๆ กรณีระบบมีการหมุน อัตราแรงเฉือน 300 รอบต่อนาที พีเอช 7 และความดัน 60 psi 67
รูปที่ 4.3 ฟลักซ์ของเพอร์มิเอทในเวลาต่างๆ เมื่อใช้ความดันในการดำเนินระบบเป็น 20 40 และ 60 psi โดยควบคุมพีเอช 7 และอัตราแรงเฉือน 300 รอบต่อนาที 68

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปภาพ **หน้า**

รูปที่ 4.4 นอร์มาไลซ์ฟลักซ์เนื่องจากผลของความดัน เมื่อใช้ความดันในการดำเนินระบบเป็น 20 40 และ 60 psi โดยควบคุมพีเอช 7 และอัตราแรงเฉือน 300 รอบต่อนาที 69

รูปที่ 4.5 ฟลักซ์ของเพอร์มิเอทช่วงเวลาต่างๆ เมื่อใช้อัตราแรงเฉือนในการดำเนินระบบเป็น 100 200 300 และ 400 รอบต่อนาที โดยควบคุมพีเอช 7 และความดัน 60 psi 70

รูปที่ 4.6 นอร์มาไลซ์ฟลักซ์เนื่องจากผลของอัตราแรงเฉือน เมื่อใช้อัตราแรงเฉือนในการดำเนินระบบเป็น 100 200 300 และ 400 รอบต่อนาที โดยควบคุมพีเอช 7 และความดัน 60 psi 71

รูปที่ 4.7 ฟลักซ์ของเพอร์มิเอทช่วงเวลาต่างๆ เมื่อใช้ค่าพีเอชในการดำเนินระบบเป็น 4 7 และ 10 โดยควบคุมอัตราแรงเฉือน 300 รอบต่อนาที และความดัน 60 psi 72

รูปที่ 4.8 นอร์มาไลซ์ฟลักซ์เนื่องจากผลของพีเอช เมื่อใช้ค่าพีเอชในการดำเนินระบบเป็น 4 7 และ 10 โดยควบคุมอัตราแรงเฉือน 300 รอบต่อนาที และความดัน 60 psi 72

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านเมมเบรนกับค่าความดันในการดำเนินระบบที่ความดัน 60 psi โดยควบคุมพีเอช 7 และอัตราแรงเฉือน 300 รอบต่อนาที 75

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านเมมเบรนกับค่าความดันในการดำเนินระบบที่ความดัน 40 psi โดยควบคุมพีเอช 7 และอัตราแรงเฉือน 300 รอบต่อนาที 75

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านเมมเบรนกับค่าความดันในการดำเนินระบบที่ความดัน 20 psi โดยควบคุมพีเอช 7 และอัตราแรงเฉือน 300 รอบต่อนาที 76

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านเมมเบรนกับค่าอัตราแรงเฉือนในการดำเนินระบบที่ความดัน 60 psi โดยควบคุมพีเอช 7 และอัตราแรงเฉือน 400 รอบต่อนาที 77

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านเมมเบรนกับค่าอัตราแรงเฉือนในการดำเนินระบบที่ความดัน 60 psi โดยควบคุมพีเอช 7 และอัตราแรงเฉือน 300 รอบต่อนาที 77

รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านเมมเบรนกับค่าอัตราแรงเฉือนในการดำเนินระบบที่ความดัน 60 psi โดยควบคุมพีเอช 7 และอัตราแรงเฉือน 200 รอบต่อนาที 78

รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านเมมเบรนกับค่าอัตราแรงเฉือนในการดำเนินระบบที่ความดัน 60 psi โดยควบคุมพีเอช 7 และอัตราแรงเฉือน 100 รอบต่อนาที 78

รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านเมมเบรนกับค่าพีเอชในการดำเนินระบบที่ความดัน 60 psi โดยควบคุมพีเอช 10 และอัตราแรงเฉือน 300 รอบต่อนาที 79

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปภาพ **หน้า**

รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านเมมเบรนกับค่าพีเอชในการดำเนินระบบ ที่ความดัน 60 psi โดยควบคุมพีเอช 7 และอัตราแรงเฉือน 300 รอบต่อนาที 80

รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านเมมเบรนกับค่าพีเอชในการดำเนินระบบ ที่ความดัน 60 psi โดยควบคุมพีเอช 4 และอัตราแรงเฉือน 300 รอบต่อนาที 80

รูปที่ 4.19 แบบจำลองการอุดตัน เนื่องจากความดันที่ใช้ในการดำเนินระบบ ที่ความดัน 20 40 และ 60 psi โดยควบคุมพีเอช 7 และอัตราแรงเฉือน 300 รอบต่อนาที 82

รูปที่ 4.20 แบบจำลองการอุดตัน เนื่องจากแรงเฉือนที่ใช้ในการดำเนินระบบ ที่อัตราแรงเฉือน 100 200 300 และ 400 รอบต่อนาที โดยควบคุมพีเอช 7 และความดัน 60 psi 83

รูปที่ 4.21 แบบจำลองการอุดตัน เนื่องจากผลของพีเอช ที่พีเอช 4 7 และ 10 โดยควบคุม ความดัน 60 psi และอัตราแรงเฉือน 300 รอบต่อนาที 84

รูปที่ ก.1 เครื่องอังน้ำ (Water Bath) 98

รูปที่ ก.2 ตาชั่งชนิดละเอียด 99

รูปที่ ก.3 ขวดกรอง (Membrane Filter Funnel) 102

รูปที่ ก.4 เครื่องดูดสุญญากาศ (Suction Pump) พร้อมขวดดูดสุญญากาศ 102

รูปที่ ก.5 เครื่องวัดสภาพนำไฟฟ้า 106

รูปที่ ก.6 ขวดบีโอดี ขนาด 300 มล. 110

รูปที่ ก.7 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ 20 $\pm$ 1 ^{0}ซ 110

รูปที่ ก.8 ขวดแอสไพเรเตอร์ (Aspirator Bottles) 114

รูปที่ ก.9 หลอดแก้วสำหรับย่อยซีโอดีด้วยวิธีการรีฟลักซ์แบบปิด 125