

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฏ
อักษรย่อ และสัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและสรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 นำระบายนจากเหมือง	4
2.2 กระบวนการเมมเบรน	6
2.2.1 กระบวนการไดอะไลซิส	6
2.2.2 อิเล็กโตรไดอะไลซิส	6
2.2.3 ไฮเพอร์ฟิลเตรชันหรือรีเวอร์สออสโมซิส	7
2.2.4 นาโนฟิลเตรชัน	7
2.2.5 อัลตราฟิลเตรชัน	7
2.2.6 ไมโครฟิลเตรชัน	7
2.2.7 กระบวนการแยกแก๊ส	8
2.2.8 กระบวนการ Pevaporation	8
2.2.9 การแยกด้วยเมมเบรนของเหลว	8
2.2.10 การกลั่นผ่านเมมเบรน	8
2.3 กระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส	10
2.4 แบบจำลองการแพร่ของเมมเบรน	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 พารามิเตอร์สำหรับการออกแบบและควบคุม	18
2.5.1 อัตราการผลิตน้ำบริสุทธิ์	18
2.5.2 อัตราการรั่วของสารละลาย	18
2.5.3 การกักกัน	19
2.5.4 Recovery Factor	19
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อระบบรีเวอร์สออสโมซิส	20
2.6.1 Concentration Polarization	20
2.6.2 อุณหภูมิและพีเอช	21
2.6.3 แรงดัน	22
2.6.4 ความเข้มข้นของน้ำดิบ	24
2.6.5 การอุดตันของเมมเบรน	25
2.7 ชนิดและลักษณะสมบัติของเมมเบรน	25
2.7.1 เมมเบรนความหนาแน่นสูง	26
2.7.2 เมมเบรนที่มีการเรียงตัวของโครงสร้างรูพรุนแบบสมมาตร	26
2.7.3 เมมเบรนที่มีการเรียงตัวของโครงสร้างรูพรุนแบบไม่สมมาตร	26
2.7.4 เมมเบรนที่มีประจุไอออนในโครงสร้างโพลิเมอร์	26
2.8 รูปแบบและข้อจำกัดของเมมเบรน	28
2.8.1 รูปแบบของเมมเบรน	28
2.8.2 ข้อจำกัดของเมมเบรน	34
2.9 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	36
บทที่ 3 การดำเนินการศึกษา	40
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	40
3.2 น้ำตัวอย่างในการศึกษา	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การดำเนินการวิจัย	45
3.3.1 การศึกษาผลของความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัด	45
3.3.2 การศึกษาหาค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ ของตัวถูกละลาย	46
3.3.3 การศึกษาถึงผลของการย้อนกลับของน้ำส่วนเข้มข้น ต่อประสิทธิภาพการกำจัด	47
3.3.4 การศึกษาผลของการปฏิบัติการที่มีช่วงระยะเวลายาวนาน	47
บทที่ 4 ผลการศึกษา และวิจารณ์ผลการศึกษา	50
4.1 การศึกษาผลของความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัด	50
4.1.1 การกำจัด ชัลเฟต	50
4.1.2 การหาต้นทุนในการผลิตน้ำและการเดินระบบที่เหมาะสม	63
4.2 การศึกษาหาค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย	66
4.3 การศึกษาถึงผลของการย้อนกลับของน้ำส่วนเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการกำจัด	72
4.4 ผลการศึกษากการเดินระบบที่มีช่วงระยะเวลายาวนาน	75
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	83
5.1 สรุปผลการศึกษา	83
5.1.1 ผลการศึกษาระสิทธิภาพในการกำจัดชัลเฟต	83
5.1.2 ผลการหาค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย	84
5.1.3 ผลของการย้อนกลับของน้ำส่วนเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการกำจัด	85
5.1.4 ผลการศึกษากการเดินระบบที่มีช่วงระยะเวลายาวนาน	85
5.1.5 การประยุกต์ใช้ในการกำจัดชัลเฟต จากเหมืองถ่านหิน แม่เมาะ	86
5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม	87
เอกสารอ้างอิง	88

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก	
ข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำบริเวณบ่อตกตะกอนด้าน ตะวันออกเฉียงเหนือของเหมืองแม่เมาะ จ. ลำปาง ระหว่าง 1 มกราคม 2547 ถึง 31 กรกฎาคม 2548	92
ภาคผนวก ข	
ข้อมูลผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตของ ระบบออสโมซิสผันกลับ ร่วมกับเมมเบรนแบบม้วนรูปก้นหอย	94
ภาคผนวก ค	
ข้อมูลการศึกษาหาค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ ของตัวถูกละลาย	178
ภาคผนวก ง	
ข้อมูลผลการศึกษาผลของการย้อนกลับของน้ำส่วนเข้มข้น ต่อประสิทธิภาพการกำจัด	183
ภาคผนวก จ	
ผลการศึกษาการเดินระบบในช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน	192
ประวัติผู้เขียน	199

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 คุณลักษณะของน้ำที่ระบายจากเหมืองแม่เมาะ	5
2.2 การประยุกต์ใช้งานของกระบวนการเมมเบรน	12
2.3 ข้อมูลทั่วไปของกระบวนการเมมเบรนแบบต่างๆ	13
2.4 แสดงชนิดของสารเคมีที่เหมาะสมต่อการล้างสิ่งอุดตัน จากสาเหตุต่างๆของเมมเบรน	27
2.5 การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติ ข้อดี และข้อด้อยของเมมเบรนแต่ละชนิด	32
3.1 รายละเอียดแบบจำลอง Osmonics OSMO 12E ECONOPURES และเมมเบรน ULTRATEK รุ่น TW2521	43
3.2 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์	46
4.1 ค่าซัลเฟตในน้ำตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ น้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และประสิทธิภาพการกำจัดที่ความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ 20 ปอนด์/ตร.นิ้ว	51
4.2 ค่าซัลเฟตในน้ำตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ น้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และประสิทธิภาพการกำจัดที่ ความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ 30 ปอนด์/ตร.นิ้ว	52
4.3 ค่าซัลเฟตในน้ำตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ น้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และประสิทธิภาพการกำจัดที่ความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ 40 ปอนด์/ตร.นิ้ว	53
4.4 ค่าซัลเฟตในน้ำตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ น้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และประสิทธิภาพการกำจัดที่ ความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ 60 ปอนด์/ตร.นิ้ว	55
4.5 ค่าซัลเฟตในน้ำตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ น้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และประสิทธิภาพการกำจัด ที่ ความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ 80 ปอนด์/ตร.นิ้ว	55
4.6 ค่าซัลเฟตในน้ำตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ น้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และประสิทธิภาพการกำจัดที่ความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ 120 ปอนด์/ตร.นิ้ว	56

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.7 ค่าซัลเฟตในน้ำตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ น้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และประสิทธิภาพการกำจัดที่ความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ 160 ปอนด์/ตร.นิ้ว	56
4.8 ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟต ที่ความดันต่างๆ	57
4.9 ประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียม ที่ความดันต่างๆ	59
4.10 ประสิทธิภาพของการกำจัดของแข็งละลายน้ำที่ความดันต่างๆ	59
4.11 ประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดันต่างๆ	60
4.12 อัตราการผลิตน้ำสะอาดของเมมเบรนที่ความดันควบคุมที่ศึกษา	60
4.13 อัตราการใช้ไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ Procon Model 1507 1725 min^{-1} (60Hz)	63
4.14 การคำนวณต้นทุนในการบำบัดน้ำ	64
4.15 ค่าความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำที่เข้าสู่ระบบ และน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน ในช่วงเวลาต่างๆ	66
4.16 ค่าความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำที่เข้าสู่ระบบ และน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน ในช่วงเวลาต่างๆ	68
4.17 ค่าความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำในน้ำที่เข้าสู่ระบบ และน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน ในช่วงเวลาต่างๆ	69
4.18 ค่าความเข้มข้นของค่าการนำไฟฟ้าในน้ำที่เข้าสู่ระบบ และน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน ในช่วงเวลาต่างๆ	70
4.19 ค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย	71
4.20 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของน้ำที่มีอัตราส่วนระบายน้ำถึง 1.0	72
4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของน้ำที่มีอัตราส่วนระบายน้ำถึง 0.75	73
4.22 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของน้ำที่มีอัตราส่วนระบายน้ำถึง 0.50	73
4.23 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของน้ำที่มีอัตราส่วนระบายน้ำถึง 0.25	74
4.24 อัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และร้อยละการกำจัด ซัลเฟต โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และ ค่าการนำไฟฟ้า ในการเดินระบบปฏิบัติการ ช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน	77
5.1 ค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย	84

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 ช่วงการกรองอนุภาคในระดับชั้นต่างๆ	9
2.2 ออสโมซิสและรีเวอร์สออสโมซิส	11
2.3 Concentration Polarization ที่เกิดในระบบรีเวิร์สออสโมซิส	21
2.4 อิทธิพลของพีเอชและอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเมมเบรน	22
2.5 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการผลิตน้ำสะอาดและการกักกันที่ 25 ^o ซ ความดัน 100 ปอนด์/ตร.นิ้ว ความเข้มข้น 3.5%(wt)	23
2.6 ผลของความดันต่ออัตราการผลิตน้ำสะอาดและการกักกันที่ 25 ^o ซ ความดัน 100 ปอนด์/ตร.นิ้ว ความเข้มข้น 3.5%(wt)	23
2.7 อิทธิพลของความเข้มข้นของน้ำดิบและการ Recovery ที่มีต่อคุณภาพน้ำที่ผลิตได้	24
2.8 อิทธิพลของความเข้มข้นของน้ำดิบและการ Recovery ที่มีต่ออัตราการผลิตน้ำสะอาด	24
2.9 เมมเบรนแบบแผ่น (Plate and Flame Module)	28
2.10 เมมเบรนแบบท่อ (Tubular Module)	29
2.11 เมมเบรนแบบกั้นหอย	30
2.12 (ก) ส่วนประกอบต่างๆของเมมเบรนแบบเส้นใยกลวง	32
2.12 (ข) เมมเบรนแบบเส้นใยกลวง	32
3.1 รายละเอียดแบบจำลอง Osmonics OSMO 12E ECONOPURES	41
3.2 การติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ และจุดเก็บน้ำตัวอย่าง ในการศึกษา ผลของความดันควบคุม ระบบปฏิบัติการ ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัด	44
3.3 การติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ และจุดเก็บน้ำตัวอย่างของการศึกษาหาค่าคงที่ ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย และการศึกษาผลของ การปฏิบัติการที่มีช่วงระยะเวลายาวนาน	48
3.4 การติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ และจุดเก็บน้ำตัวอย่างของการศึกษา ถึงผลของการย้อนกลับของน้ำส่วนเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการกำจัด	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.1 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของการกำจัดซัลเฟต และค่าความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ	54
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันควบคุมและอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน	61
4.3 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าความดันควบคุม และอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน	62
4.4 อัตราการใช้ไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ Procon Model 1507 1725 min^{-1} (60Hz)	63
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ใช้ของเครื่องสูบน้ำกับราคาต้นทุน	64
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นซัลเฟตในน้ำที่เข้าสู่ระบบ และความเข้มข้นซัลเฟตในน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน	67
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ โซเดียมในน้ำที่เข้าสู่ระบบ และความเข้มข้นของ โซเดียมในน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน	68
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำในน้ำ ที่เข้าสู่ระบบและความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำในน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน	69
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของค่าการนำไฟฟ้า ในน้ำที่เข้าสู่ระบบและความเข้มข้นค่าการนำไฟฟ้าในน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน	70
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพการกำจัดกับระยะเวลาเดินระบบ	75
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนกับระยะเวลา ในการเดินระบบปฏิบัติการ	76

อักษรย่อและสัญลักษณ์

ก.	กรัม
ชม.	ชั่วโมง
ชม	เซนติเมตร
ปอนด์/ตร.นิ้ว	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
มก./ล.	มิลลิกรัมต่อลิตร
มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต
มล.	มิลลิลิตร
ล./ชม.	ลิตรต่อชั่วโมง
ล./ตร.ม.-ชม.	ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง
ลบ.ม.	ลูกบาศก์เมตร
ล./นาที่	ลิตรต่อนาที
ล./ชม.	ลิตรต่อชั่วโมง
Psi	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
mS/cm	มิลลิซีเมนต์ต่อเซ็นติเมตร
μ S/cm	ไมโครซีเมนต์ต่อเซ็นติเมตร