บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการกำจัดซัลเฟต ของกระบวนการออสโมซิสผันกลับ ร่วมด้วยเมมเบรนแบบม้วนรูปก้นหอย สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟต

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟต โดยการเดินระบบที่ความดันควบคุมที่ 20 30 40 60 80 120 และ 160 ปอนด์/ตร.นิ้ว โดยมีการหมุนเวียนน้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรนและน้ำส่วนเข้มข้น เพื่อให้ความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างในการศึกษาคงที่ พบว่า ที่ความดันที่ศึกษา ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีนัยสำคัญ คือ มีประสิทธิภาพ เฉลี่ย ร้อยละ 97.17 97.19 97.22 97.26 97.36 97.53 และ 97.63 ที่ความดันควบคุม 20 30 40 60 80 120 และ 160 ปอนด์/ตร.นิ้ว ตามลำดับ โดยค่าพารามิเตอร์อื่นๆ คือ ประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียม 94.68 94.75 94.75 95.29 95.35 95.54 และ 95.79 ที่ความดันควบคุม 20 30 40 60 80 120 และ 160 ปอนด์/ตร.นิ้ว ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำ 96.37 96.35 96.44 96.64 96.76 96.87 และ 97.04 ที่ความดันควบคุม 20 30 40 60 80 120 และ 160 ปอนด์/ตร.นิ้ว ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าการนำไฟฟ้า 95.73 95.71 95.78 95.82 95.94 96.49 และ96.49 ที่ความดันควบคุม 20 30 40 60 80 120 และ 160 ปอนด์/ตร.นิ้ว ตามลำดับ โดยค่าอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนนั้นแตกต่างกันมาก โดยอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนจะสูงขึ้น เมื่อ เดินระบบที่ความดันควบคุมที่สูงขึ้น โดยระบบมีอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนเฉลี่ย 5.49 5.52 10.24 16.42 22.81 33.78 และ 45.09 ล./ชม. ตร.ม. ที่ความดันควบคุม 20 30 40 60 80 120 และ 160 ปอนด์/ตร.นิ้ว ตามลำดับ

จากผลการศึกษาเมื่อนำค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน กับค่าความดันควบคุมมาพิจารณา จะได้ค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวทำละลาย (A) คือ

$$J = 0.2928(\Delta P - \Delta \pi)$$

มีค่าเท่ากับ 0.2928 ล./ปอนด์ -ชม.หรือ 0.6441 ล./กก. ชม.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษา สามารถที่จะหาราคาต้นทุนการผลิตน้ำได้จากการคำนวณอัตราการใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ โดยเครื่องสูบน้ำของแบบจำลอง คือ Pocon Model 1507 1725 min^{-1} (60Hz) และคิดอัตราค่าไฟฟ้าที่ช่วงความต้องการใช้ไฟฟ้าอัตราสูง ค่าไฟฟ้า คือ 4.3093 บาทต่อหน่วย เมื่อพิจารณาที่ความดันควบคุม 120 130 140 150 และ 160 ระบบจะมีต้นทุนในการผลิต 13.8 13.75 13.67 13.55 และ13.5 บาท/ลบ.ม. ตามลำดับ ซึ่งจากการเดินระบบควรคำนึงถึงภาระการทำงานของเครื่องสูบน้ำด้วย ในการศึกษาครั้งนี้จะเลือกให้เครื่องสูบน้ำทำงานที่ประสิทธิภาพ 75% ดังนั้นระบบจะมีราคาต้นทุนที่เหมาะสมที่สุดที่การเดินระบบที่ 120 ปอนด์/ตร.นิ้ว ซึ่งระบบจะให้อัตราการผลิตน้ำสะอาด 37.16 ล./ชม. และมีราคาต้นทุนการผลิต 13.5 บาท/ลบ.ม.

5.1.2 ผลการหาค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย

จากการศึกษาได้ทำการเดินระบบที่ความดันควบคุมที่ 120 ปอนด์/ตร.นิ้ว โดยมีการหมุนเวียนกลับน้ำส่วนเข้มข้นเข้าสู่ระบบ ทำให้น้ำตัวอย่างมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเดินระบบ เมื่อเดินระบบ น้ำที่เข้าระบบจะมีความเข้มข้นสูงขึ้นซึ่งจะมีผลต่อระบบ คือ ทำให้มีอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนที่ลดลง เนื่องจากการเกิดชั้นความเข้มข้นของอนุภาคที่บริเวณผิวหน้าของเมมเบรน จากข้อมูลที่ศึกษาพบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำที่เข้าระบบสูงขึ้น ทำให้เกิดการรั่วของเกลือมากขึ้น และมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด โดยค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของ ซัลเฟต โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และค่าการนำไฟฟ้าจะสรุปไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย

พารามิเตอร์	รูปแบบสมการ ($C_P = ß*C_C$)	ค่าคงที่(ß) (ล./ปอนด์-ชม.)	ค่าคงที่(ß) (ล./กก.- ชม.)	R^2
ซัลเฟต	$C_P = 0.0240C_C$	0.0248	0.0546	0.9972
โซเดียม	$C_P = 0.0449C_C$	0.0449	0.0988	0.9886
ของแข็งละลายน้ำ	$C_P = 0.0349C_C$	0.0349	0.0768	0.9992
ค่าการนำไฟฟ้า	$C_P = 0.0019C_C$	0.0019	0.0042	0.9974

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 4.9 แสดงถึงค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย คือ ซัลเฟต โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และค่าการนำไฟฟ้า โดยค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย (ß) เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายและการแพร่ผ่านเมมเบรนของตัวถูกละลายเมื่อค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย (ß) มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ จะทำให้ อัตราการแพร่ผ่านของตัวถูกละลาย และความเข้มข้นของตัวถูกละลายในน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนมีค่าที่น้อยมาก ซึ่งก็คือ ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง

5.13 ผลการศึกษาถึงผลของการย้อนกลับของน้ำส่วนเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการกำจัด

การทดลองจะทำการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบในอัตราส่วนน้ำส่วนหมุนเวียนกลับเข้าสู่ระบบ และ ส่วนที่ระบายทิ้ง ที่ 0.25 0.5 0.75 และ 1.0 ตามลำดับ ที่ความดันควบคุม 120 ปอนด์/ตร.นิ้ว ที่อัตราส่วนระบายน้ำส่วนเข้มข้นทิ้ง 1.0 น้ำที่เข้าสู่ระบบจะมีความเข้มข้นคงที่ ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคต่างๆได้ดีกว่าการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ ได้น้ำแพร่ผ่านเมมเบรนที่มีการละลายของสารละลายที่คงที่ โดยประสิทธิภาพการกำจัด ซัลเฟตมีแนวโน้มคงที่ คือ เฉลี่ย ร้อยละ 97.52 โดยประสิทธิภาพในการกำจัดของ โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และ การนำไฟฟ้า มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลของการกำจัดซัลเฟต

ที่อัตราส่วนระบายน้ำส่วนเข้มข้นทิ้ง 0.75 0.50 และ 0.25 น้ำที่เข้าระบบจะมีความเข้มข้นของสารละลายที่สูงขึ้นตามลำดับ โดยผลของความเข้มข้นของน้ำที่เข้าระบบมากจะมีผลต่ออัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน อย่างชัดเจน โดยประสิทธิภาพของการกำจัดซัลเฟตยังมีแนวโน้มที่คงที่ แต่จะพบปริมาณของสารละลายสูงขึ้นในน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน โดยประสิทธิภาพในการกำจัดของ โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และ การนำไฟฟ้า มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลของการกำจัดซัลเฟต

ผลของการย้อนกลับของน้ำส่วนเข้มข้นเข้าสู่ระบบ ในอัตราส่วนระหว่างน้ำเข้มข้นส่วนระบายทิ้งต่อน้ำเข้มข้นส่วนย้อนกลับเข้าสู่ระบบ (การทดลองเป็นแบบกึ่งเท) เมื่อระบบมีอัตราส่วนสูงขึ้น ทำให้ค่าความเข้มข้นของน้ำเข้าสู่ระบบสูงขึ้น ทำให้มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเมมเบรน คือ อัตราการผลิตน้ำสะอาดลดลง และเกิดการแพร่ผ่านของสารละลายสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตมีแนวโน้มที่คงที่ โดยผลของค่าความเข้มข้นของซัลเฟตที่สูงขึ้นจะไม่มีผลต่อเมมเบรน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.1.4 ผลการศึกษาการเดินระบบที่ช่วงระยะเวลายาวนาน

การศึกษาการเดินระบบที่ค่าความดันควบคุมที่ 40 ปอนด์/ตร.นิ้ว โดยเดินระบบปฏิบัติการต่อเนื่อง 8 ชั่วโมงต่อวัน รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 120 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างพร้อมวัดอัตราการไหลน้ำส่วนที่แพร่ผ่านเมมเบรนและน้ำส่วนเข้มข้นในช่วงเวลาเดียวกัน คือ เมื่อเดินระบบไปได้ 2, 4, 6, และ8 ชั่วโมง โดยการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด ซัลเฟต โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และค่าการนำไฟฟ้า มีแนวโน้มที่คงที่ จึงสรุปได้ว่าการเดินระบบที่ระยะเวลายาวนานไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของระบบรีเวิร์สออสโมซิส

เมื่อเริ่มเดินระบบระบบมีอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน 6.85 ล./ชม.-ตร.ม. และมีอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนลดถอยในช่วง 40 ชั่วโมงแรก ซึ่งเกิดจากอนุภาคที่มีขนาดเล็กที่สามารถผ่านเข้าไปในช่องรูพรุนของเมมเบรน และเกิดการอุดตันอยู่ภายใน ไม่สามารถหลุดออกจากเมมเบรนได้ ซึ่งการล้างเมมเบรนจะทำความสะอาดในส่วนนี้ได้น้อยมาก เมื่อเดินระบบหลัง 40 ชั่วโมงแรก อัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนจะเริ่มคงที่

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การลดลอยของน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนในช่วงแรกของการเดินระบบมีค่าค่อนข้างสูง หลังจากนั้นจะเริ่มคงที่ และการล้างเมมเบรนด้วยสารละลายสิ่งสกปรกจึงจำเป็น และมีผลต่อการเพิ่มอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน

5.1.5 การประยุกต์ใช้ในการกำจัดซัลเฟต จากเหมืองถ่านหิน แม่เมาะ

จากการศึกษาการกำจัดซัลเฟต โดย ระบบรีเวิร์สออสโมซิส โมเดล Osmonics OSMO 12E ECONOPURES ร่วมกับเมมเบรน ULTRATEK TW2521 ระบบสามารถนำไปใช้ในการเดินระบบจริงได้ โดยจากผลการศึกษาจะเลือกเดินระบบที่ความดันควบคุม 120 ปอนด์/ตร.นิ้ว โดยระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตได้ร้อยละ 97.5 ระบบจะให้อัตราการผลิตน้ำสะอาด 37.16 ล./ชม. และมีราคาต้นทุนการผลิต 13.5 บาท/ลบ.ม. โดย Ebrahim และ คณะ (2001)ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบรีเวอร์สออสโมซิสในการบำบัดน้ำใต้ดิน ที่มีปริมาณซัลเฟต 3018 มก./ล. ในประเทศคูเวต โดยใช้ระบบรีเวอร์สออสโมซิส และเมมเบรนแบบม้วนรูปก้นหอย Fluid System ให้อัตราการผลิตน้ำสะอาด 18 ลบ.ม./วัน โดยพบว่ามีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ (Operation Cost) 0.44 ดอลลาร์/ลบ.ม. หรือ 17.44 บาท/ลบ.ม. เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเดินระบบพบว่าในการเดินระบบจะมีค่าในการเดินระบบที่แตกต่างกันโดยมีปัจจัยที่แตกต่างกั เช่น อัตราค่าไฟฟ้า อัตราการผลิตน้ำสะอาดของเมมเบรน การออกแบบระบบเป็นต้น โดยในการเดินระบบจริงจะต้องพิจารณาหลายด้าน เช่น ความกระด้าง อุณหภูมิ พีเอช และอื่นๆ ในการทำให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ดีละมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ระบบจึงจำเป็นต้องมีระบบบำบัดเบื้องต้นที่ดี เช่น การกรอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ละเอียดขนาด 5 และ 1ไมครอน การกำจัดความกระด้าง การปรับพีเอชให้มีช่วงค่าที่เหมาะสมกับเมมเบรน และการเติมสารห้ามตะกรัน เป็นต้น และการล้างเมมเบรนอาจใช้การล้างตามวิธีที่ใช้ในการศึกษา และเพื่อให้เมมเบรนสะอาดและมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นควรล้างด้วยสารเคมีอื่นๆที่มีการใช้โดยทั่วไป เช่น กรดซิตริก และโซเดียม-อีดีทีเอ เป็นต้น

5.2ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

5.2.1 ควรมีการศึกษากระบวนการรีเวิร์สออสโมซิส ในระดับปฏิบัติการจริง ซึ่งผลของความดันควบคุมระบบของแบบจำลอง อาจมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกับผลของความดันควบคุมระบบของระบบปฏิบัติการจริง

5.2.2 ควรมีการศึกษาถึงปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ เช่น ความกระด้างและอุณหภูมิ เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved