

บทที่ 4

ผลการศึกษา และวิจารณ์ผลการศึกษา

4.1 การศึกษาผลของความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัด

ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด ซัลเฟต ที่ความดันควบคุมปฏิบัติการที่ 20 30 40 60 80 120 และ 160 ปอนด์/ตร.นิ้ว ตามลำดับ โดยการทดลองจะทำการหมุนเวียนน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และนำส่วนเข้มข้นเข้าสู่ระบบให้น้ำตัวอย่างมีความเข้มข้นคงที่ ดังรายละเอียดในการทดลองที่ 3.1 ซึ่งผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 การกำจัด ซัลเฟต

ในการเดินระบบออสโมซิสผันกลับร่วมกับน้ำสังเคราะห์ จากการทดลองด้วยการเดินระบบร่วมกับน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ 2 ครั้งเพื่อหาค่าประสิทธิภาพในการกำจัดเกลือ (การทดลองแต่ละครั้งจะเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในแต่ละครั้ง ไม่มีการนำตัวอย่างที่เหลือจากการทดลองในแต่ละครั้งมาทดลองซ้ำ) โดยครั้งที่ 1 มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้น 1649 มก./ล. และครั้งที่ 2 มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้น 1734 มก./ล. เมื่อเดินระบบที่ความดันควบคุม 20 ปอนด์/ตร.นิ้ว เป็นเวลา 180 นาที และทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่เข้าสู่ระบบ และนำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรน ทุก 30 นาที จนครบ 180 นาที พบว่า การทดลองครั้งที่ 1 น้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรนมีปริมาณซัลเฟตเจือปน 44.67 46.26 46.52 46.62 46.21 และ 46.37 มก./ล. ที่เวลา 30 60 90 120 150 และ 180 นาที ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัด 97.17 97.20 97.18 97.17 97.20 และ 97.19 ตามลำดับ การทดลองครั้งที่ 2 น้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรนมีปริมาณซัลเฟตเจือปน 49.24 49.19 49.24 49.22 49.20 และ 49.24 ที่เวลา 30 60 90 120 150 และ 180 นาที ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัด 97.16 ทั้งหมด จากข้อมูลของการทดลอง 2 ครั้ง คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 97.17 ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าซัลเฟตในน้ำตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ น้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และประสิทธิภาพการกำจัด
ที่ความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ 20 ปอนด์/ตร.นิ้ว

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ร้อยละ การกำจัด เฉลี่ย
	ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			
	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การกำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การกำจัด	
30	1650	46.67	97.17	1734	49.24	97.16	97.17
60	1650	46.26	97.20	1734	49.19	97.16	97.18
90	1650	46.52	97.18	1734	49.24	97.16	97.17
120	1650	46.62	97.17	1734	49.22	97.16	97.17
150	1650	46.21	97.20	1734	49.20	97.16	97.18
180	1650	46.37	97.19	1734	49.24	97.16	97.17

ที่ความดันควบคุม 30 ปอนด์/ตร.นิ้ว ครั้งที่ 1 มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้น 1629 มก./ล. และครั้งที่ 2 มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้น 1677 มก./ล. จากการเดินระบบเป็นเวลา 180 นาที และทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่เข้าสู่ระบบ และน้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรน ทุก 30 นาที จนครบ 180 นาที พบว่า การทดลองครั้งที่ 1 น้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรนมีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ย 46.01 45.99 46.14 46.22 46.00 และ 45.90 มก./ล. ที่เวลา 30 60 90 120 150 และ 180 นาที ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัด 97.18 97.18 97.17 97.16 97.18 และ 97.18 ตามลำดับ การทดลองครั้งที่ 2 น้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรน มีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ย 47.10 47.07 47.08 47.08 47.37 และ 47.16 ที่เวลา 30 60 90 120 150 และ 180 นาที ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัด 97.16 ทั้งหมด จากข้อมูลของการทดลอง 2 ครั้ง คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 97.18 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าซัลเฟตในน้ำตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ น้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และประสิทธิภาพการกำจัด
ที่ ความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ 30 ปอนด์/ตร.นิ้ว

เวลา (นาท)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ร้อยละ การกำจัด เฉลี่ย
	ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			
	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	
30	1629	46.01	97.18	1677	47.10	97.19	97.18
60	1629	45.99	97.18	1677	47.07	97.19	97.19
90	1629	46.14	97.17	1677	47.08	97.19	97.18
120	1629	46.22	97.16	1677	47.08	97.19	97.18
150	1629	46.00	97.18	1677	47.37	97.17	97.18
180	1629	45.90	97.18	1677	47.16	97.19	97.19

ที่ความดันควบคุม 40 ปอนด์/ตร.นิ้ว ครั้งที่ 1 มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้น 1722 มก./ล. และครั้งที่ 2 มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้น 1722 มก./ล. จากการเดินระบบเป็นเวลา 180 นาที และทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่เข้าสู่ระบบ และน้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรน ทุก 30 นาที จนครบ 180 นาที พบว่า การทดลองครั้งที่ 1 น้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรนมีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ย 48.22 48.41 48.36 48.40 48.39 และ 48.40 มก./ล. ที่เวลา 30 60 90 120 150 และ 180 นาที ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัด 97.20 ที่เวลา 30 นาที และ 97.19 ที่เวลา 60 90 120 150 และ 180 นาที ตามลำดับ การทดลองครั้งที่ 2 น้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรนมีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ย 47.42 47.40 47.44 47.34 47.41 และ 47.42 ที่เวลา 30 60 90 120 150 และ 180 นาที ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัด 97.25 ทั้งหมด จากข้อมูลของการทดลอง 2 ครั้ง คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 97.22 ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าซัลเฟตในน้ำตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ น้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และประสิทธิภาพการกำจัด ที่ความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ 40 ปอนด์/ตร.นิ้ว

เวลา (นาท)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ร้อยละ การกำจัด เฉลี่ย
	ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			
	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	
30	1722	48.22	97.20	1722	47.42	97.25	97.22
60	1722	48.41	97.19	1722	47.40	97.25	97.22
90	1722	48.36	97.19	1722	47.44	97.25	97.22
120	1722	48.40	97.19	1722	47.34	97.25	97.22
150	1722	48.39	97.19	1722	47.41	97.25	97.22
180	1722	48.40	97.19	1722	47.42	97.25	97.22

ที่ความดันควบคุม 60 ปอนด์/ตร.นิ้ว ครั้งที่ 1 มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้น 1620 มก./ล. และครั้งที่ 2 มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้น 1719 มก./ล. จากการเดินระบบเป็นเวลา 180 นาที และทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่เข้าสู่ระบบ และน้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรน ทุก 30 นาที จนครบ 180 นาที พบว่า การทดลองครั้งที่ 1 น้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรนมีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ย 44.71 44.72 44.77 44.70 44.70 และ 44.70 มก./ล. ที่เวลา 30 60 90 120 150 และ 180 นาที ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัด 97.24 ทั้งหมด การทดลองครั้งที่ 2 น้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรนมีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ย 46.66 46.66 4.69 47.44 46.81 และ 46.76 ที่เวลา 30 60 90 120 150 และ 180 นาที ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัด 97.29 97.29 97.28 97.24 97.28 และ 97.28 ตามลำดับ จากข้อมูลของการทดลอง 2 ครั้ง คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 97.26 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ที่ความดันควบคุม 80 ปอนด์/ตร.นิ้ว ครั้งที่ 1 มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้น 1625 มก./ล. และครั้งที่ 2 มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้น 1714 มก./ล. จากการเดินระบบเป็นเวลา 180 นาที และทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่เข้าสู่ระบบ และน้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรน ทุก 30 นาที จนครบ 180 นาที พบว่า การทดลองครั้งที่ 1 น้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรนมีปริมาณซัลเฟตเจือปน 43.06 43.07 43.06 43.04 43.09 และ 43.06 มก./ล. ที่เวลา 30 60 90 120 150 และ 180 นาที ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัด 97.35 ทั้งหมด การทดลองครั้งที่ 2 น้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรนมีปริมาณซัลเฟตเจือปน 45.07 45.06 45.08 45.16 45.07 และ 45.08 ที่เวลา 30 60 90 120 150 และ 180 นาที ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัด 97.37 ทั้งหมด จากข้อมูลของการทดลอง 2 ครั้ง คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 97.36 ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ที่ความดันควบคุม 120 ปอนด์/ตร.นิ้ว ครั้งที่ 1 มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้น 1669 มก./ล. และครั้งที่ 2 มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้น 1704 มก./ล. จากการเดินระบบเป็นเวลา 180 นาที และทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่เข้าสู่ระบบ และน้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรน ทุก 30 นาที จนครบ 180 นาที พบว่า การทดลองครั้งที่ 1 น้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรนมีปริมาณซัลเฟตเจือปน 41.41 41.40 41.39 41.42 41.41 และ 41.41 มก./ล. ที่เวลา 30 60 90 120 150 และ 180 นาที ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัด 97.52 ทั้งหมด การทดลองครั้งที่ 2 น้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรนมีปริมาณซัลเฟตเจือปน 41.92 41.92 41.87 41.92 41.91 และ 41.91 ที่เวลา 30 60 90 120 150 และ 180 นาที ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัด 97.54 ทั้งหมด จากข้อมูลของการทดลอง 2 ครั้ง คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 97.53 ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ที่ความดันควบคุม 160 ปอนด์/ตร.นิ้ว ครั้งที่ 1 มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้น 1699 มก./ล. และครั้งที่ 2 มีปริมาณซัลเฟตเริ่มต้น 1709 มก./ล. จากการเดินระบบเป็นเวลา 180 นาที และทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่เข้าสู่ระบบ และน้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรน ทุก 30 นาที จนครบ 180 นาที พบว่า การทดลองครั้งที่ 1 น้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรนมีปริมาณซัลเฟตเจือปน 41.28 40.26 40.27 39.99 40.24 และ 40.24 มก./ล. ที่เวลา 30 60 90 120 150 และ 180 นาที ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัด 97.57 97.63 97.63 97.65 97.63 และ 97.63 ตามลำดับ การทดลองครั้งที่ 2 น้ำส่วนแพร่ผ่านเมมเบรนมีปริมาณซัลเฟตเจือปน 40.67 40.66 40.66 40.79 40.66 และ 40.67 ที่เวลา 30 60 90 120 150 และ 180 นาที ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัด 97.62 ที่เวลา 30 60 90 150 และ 180 นาที และร้อยละการกำจัด 97.61 ที่เวลา 120 นาที จากข้อมูลของการทดลอง 2 ครั้ง คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 97.63 ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.4 ค่าซัลเฟตในน้ำตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ น้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และประสิทธิภาพการกำจัด
ที่ ความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ 60 ปอนด์/ตร.นิ้ว

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ร้อยละ การกำจัด เฉลี่ย
	ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			
	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	
30	1620	44.71	97.24	1719	46.66	97.29	97.26
60	1620	44.72	97.24	1719	46.66	97.29	97.26
90	1620	44.77	97.24	1719	46.69	97.28	97.26
120	1620	44.70	97.24	1719	47.44	97.24	97.24
150	1620	44.70	97.24	1719	46.81	97.28	97.26
180	1620	44.70	97.24	1719	46.76	97.28	97.26

ตารางที่ 4.5 ค่าซัลเฟตในน้ำตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ น้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และประสิทธิภาพการกำจัด
ที่ ความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ 80 ปอนด์/ตร.นิ้ว

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ร้อยละ การกำจัด เฉลี่ย
	ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			
	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	
30	1625	43.06	97.35	1714	45.07	97.37	97.36
60	1625	43.07	97.35	1714	45.06	97.37	97.36
90	1625	43.06	97.35	1714	45.08	97.37	97.36
120	1625	43.04	97.35	1714	45.16	97.37	97.36
150	1625	43.09	97.35	1714	45.07	97.37	97.36
180	1625	43.06	97.35	1714	45.08	97.37	97.36

ตารางที่ 4.6 ค่าซัลเฟตในน้ำตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ น้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และประสิทธิภาพการกำจัด
ที่ความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ 120 ปอนด์/ตร.นิ้ว

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ร้อยละ การกำจัด เฉลี่ย
	ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			
	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	
30	1669	41.41	97.52	1704	41.92	97.54	97.53
60	1669	41.40	97.52	1704	41.92	97.54	97.53
90	1669	41.39	97.52	1704	41.87	97.54	97.53
120	1669	41.42	97.52	1704	41.92	97.54	97.53
150	1669	41.41	97.52	1704	41.91	97.54	97.53
180	1669	41.41	97.52	1704	41.91	97.54	97.53

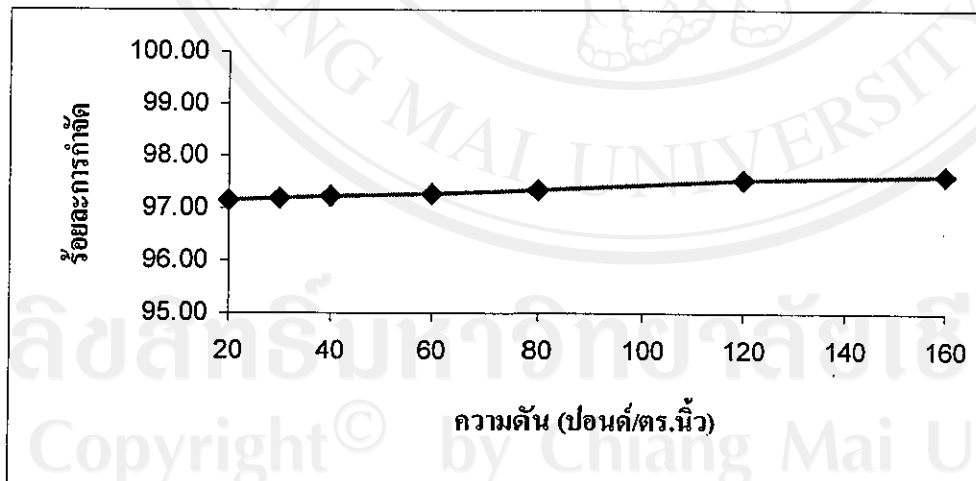
ตารางที่ 4.7 ค่าซัลเฟตในน้ำตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ น้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และประสิทธิภาพการกำจัด
ที่ความดันควบคุมระบบปฏิบัติการ 160 ปอนด์/ตร.นิ้ว

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ร้อยละ การกำจัด เฉลี่ย
	ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			
	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	
30	1699	41.28	97.57	1709	40.67	97.62	97.60
60	1699	40.26	97.63	1709	40.66	97.62	97.63
90	1699	40.27	97.63	1709	40.66	97.62	97.63
120	1699	39.99	97.65	1709	40.79	97.61	97.63
150	1699	40.24	97.63	1709	40.66	97.62	97.63
180	1699	40.24	97.63	1709	40.67	97.62	97.63

จากค่าประสิทธิภาพของการกำจัด ชัลเฟต ที่ค่าความดันควบคุมระบบปฏิบัติการที่ศึกษาจะ
ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของการกำจัดชัลเฟต และค่าความดันควบคุม ดัง
แสดงใน ตารางที่ 4.8 และ รูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพในการกำจัดชัลเฟต ที่ความดันต่างๆ

ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ร้อยละการกำจัดชัลเฟต		
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ค่าเฉลี่ย
20	97.18	97.16	97.17
30	97.18	97.19	97.19
40	97.19	97.25	97.22
60	97.24	97.28	97.26
80	97.35	97.37	97.36
120	97.52	97.54	97.53
160	97.63	97.62	97.63



รูปที่ 4.1 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของการกำจัดชัลเฟต และค่าความดันควบคุม
ระบบปฏิบัติการ

หมายเหตุ : ความดันที่ใช้เป็นความดัน ($\Delta P - \Delta \pi$)

จากรูปที่ 4.1 แสดงถึงแนวโน้มในการกำจัดซัลเฟต ที่ค่าความดันควบคุมต่างๆ โดยการใช้ความดันควบคุมที่สูงขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับ มั่นสิน ตันฑุลเวศม์ (2538) ที่กล่าวว่า แรงดันมีผลต่ออัตราการผลิตน้ำสะอาดของระบบรีเวิร์สออสโมซิสเป็นอย่างมาก แต่แทบไม่มีผลกระทบต่ออัตราส่วนของสารละลาย ซึ่งก็คือระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่ค่อนข้างจะคงที่

โดยประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียม (โซเดียม นี้ไม่มีความเกี่ยวข้องกับน้ำระบายจากเหมือง แต่เป็นผลที่ได้จากการสังเคราะห์น้ำตัวอย่างด้วยสารละลายโซเดียมซัลเฟต) ซึ่งผลในการกำจัดโซเดียมที่ความดันควบคุมต่างๆจะแสดงในภาคผนวก ข จากตารางที่ 4.9 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความดันควบคุม และประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียม โดยการเดินระบบที่ความดันควบคุม 20 ปอนด์/ตร.นิ้ว ถึง 160 ปอนด์/ตร.นิ้ว พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดในช่วง ร้อยละ 94.68 ถึง 95.79 ซึ่งผลของประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมมีน้อยกว่าซัลเฟต โดย มั่นสิน ตันฑุลเวศม์ (2538) เมมเบรนมีกลไกในการกำจัดเกลือ โดยการผลักไอออนที่มีวาเลนซ์สูงให้อยู่ห่างจากเมมเบรน โดยแรงผลักดันระหว่างเมมเบรนกับเกลือทำให้เกิดชั้นน้ำบริสุทธิ์ที่ผิวของเมมเบรนและแพร่ผ่านออกไป ซึ่งโซเดียมเป็นไอออนวาเลนซ์เดี่ยวซึ่งมีวาเลนซ์ต่ำกว่าซัลเฟต ไอออนของซัลเฟตจึงถูกผลักให้อยู่ห่างจากเมมเบรนไกลกว่า ซึ่งไอออนของโซเดียมจะถูกผลักน้อยกว่าจะอยู่ใกล้เมมเบรน จึงมีโอกาสในการแพร่ผ่านเมมเบรนได้ดีกว่า และสอดคล้องกับ ปฏิรูป ผลจันทร์ (2544) ที่กล่าวว่า กลไกในการกำจัดของเมมเบรนมี 2 อย่าง คือ กลไกกรองติดค้างสำหรับสารอินทรีย์ต่างๆที่มีน้ำหนักโมเลกุลใหญ่กว่า 200 และกลไกทางไฟฟ้าสถิต คือกลไกในการผลักทางไฟฟ้าของประจุของเมมเบรน โดยผิวเมมเบรนที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นประจุลบ ดังนั้นเมมเบรนจึงสามารถในการผลักไอออนของซัลเฟต ซึ่งมีประจุลบได้ดีกว่าโซเดียม

จากผลการทดลอง อื่นๆ เช่น ของแข็งละลาย และค่าการนำไฟฟ้าจะแสดงในตารางที่ 4.10 และ 4.11

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียม ที่ความดันต่างๆ

ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ร้อยละการกำจัดโซเดียม		
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ค่าเฉลี่ย
20	94.80	94.56	94.68
30	94.78	94.71	94.75
40	94.98	94.52	94.75
60	95.34	95.23	95.29
80	95.37	95.32	95.35
120	95.53	95.55	95.54
160	95.78	95.80	95.79

ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพของการกำจัดของแข็งละลายน้ำที่ความดันต่างๆ

ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ		
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ค่าเฉลี่ย
20	96.43	96.30	96.37
30	96.40	96.30	96.35
40	96.47	96.41	96.44
60	96.64	96.63	96.64
80	96.71	96.71	96.71
120	96.87	96.87	96.87
160	97.04	97.03	97.04

ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดันต่างๆ

ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ร้อยละการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์		
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ค่าเฉลี่ย
20	95.61	95.85	95.73
30	95.71	95.71	95.71
40	95.79	95.76	95.78
60	95.80	95.83	95.82
80	96.04	95.84	95.94
120	96.67	96.30	96.49
160	96.46	96.51	96.49

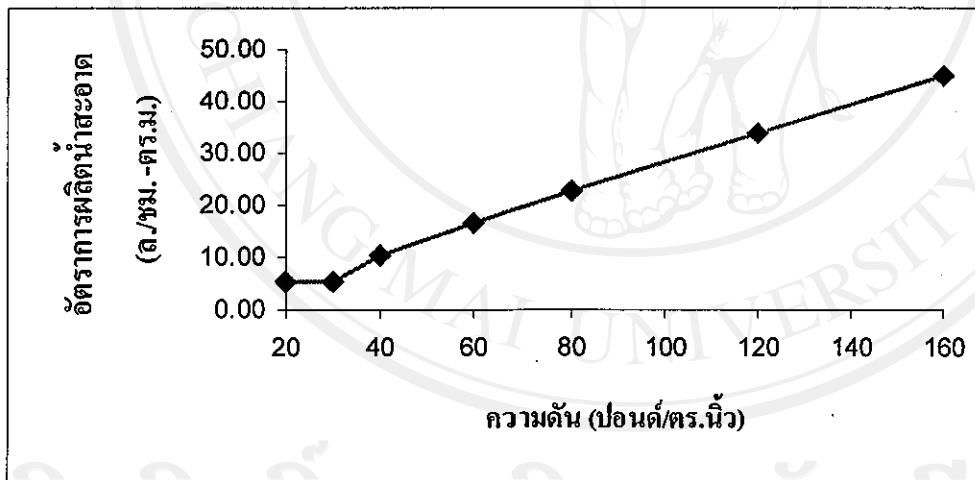
จากการศึกษาการเดินระบบที่ค่าความดันควบคุมที่ศึกษาพบว่า ระบบมีอัตราการ
ผลิตน้ำสะอาด หรือ อัตราการผลิตน้ำแปรผ่านเมมเบรนที่แตกต่างกันดังตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.12 อัตราการผลิตน้ำสะอาดของเมมเบรนที่ความดันควบคุมที่ศึกษา

ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	อัตราการผลิตน้ำสะอาด (ล./ชม.- ตร.ม.)		
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ค่าเฉลี่ย
20	4.33	3.90	4.12
30	7.08	3.95	5.52
40	10.29	10.18	10.24
60	15.91	16.92	16.42
80	23.50	22.11	22.81
120	32.35	35.20	33.78
160	45.20	44.97	45.09

จากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นถึงอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนที่ความดันควบคุมที่ต่างกัน โดย ที่ความดันควบคุม 20 ปอนด์/ตร.นิ้ว มีอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน เฉลี่ย 4.12 ล./ชม.-ตร.ม. โดยเมื่อมีการเพิ่มความดันควบคุมจะทำให้มีอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนเพิ่มขึ้น คือ ที่ความดันควบคุม 30 40 60 80 120 และ 160 ปอนด์/ตร.นิ้ว ระบบมีอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน เฉลี่ย 5.52 10.24 16.4 22.81 33.78 และ 45.09 ล./ชม.- ตร.ม. ตามลำดับ จากข้อมูลที่ได้สามารถที่เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันควบคุมและมีอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน ได้ดังรูปที่ 4.2

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ในการเดินระบบออสโมซิสผันกลับด้วยตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นคงที่ ระบบจะมีอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน ที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มความดัน โดย วีระโชค เลิศพรสวรรค์ (2452) กล่าวว่า การใช้ความดันควบคุมสูง ทำให้เกิดอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนสูง ในขณะที่อัตราการไหลของน้ำส่วนเข้มข้นลดลง เพราะมีทิศทางการไหลขนานกับผิวเมมเบรน ทำให้อนุภาคต่างๆแพร่ผ่านเมมเบรนได้น้อยลง ในขณะที่น้ำสามารถแพร่ผ่านเมมเบรนได้มากกว่าและดีกว่าอนุภาคเหล่านั้น



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันควบคุมและอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน

หมายเหตุ : ความดันที่ใช้เป็นความดัน ($\Delta P - \Delta \pi$)

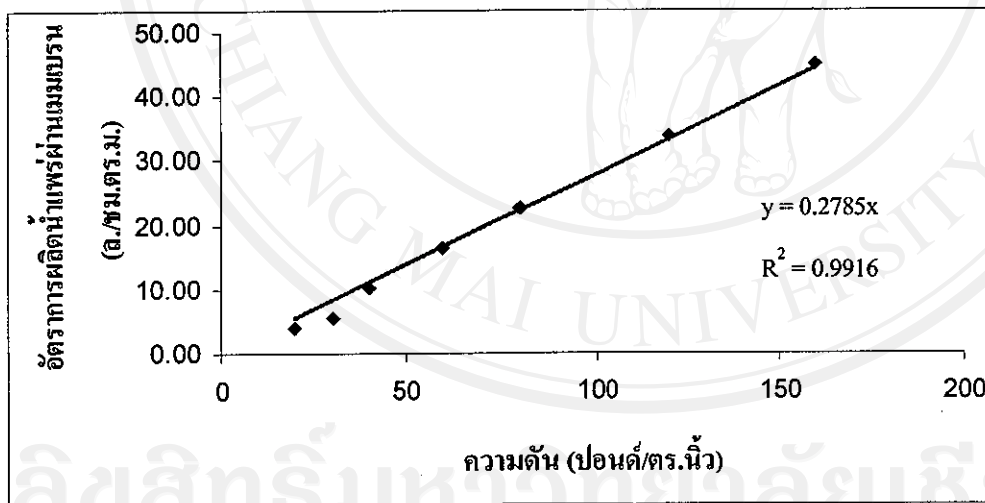
เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างของค่าความดันควบคุม และอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน จากผลการทดลองพบว่าอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนมีค่าเพิ่มขึ้นตามความดันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้จากสมการของสมการของแบบจำลองการแพร่ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันควบคุม และอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน คือ

$$J = A(\Delta P - \Delta \pi) \quad (31)$$

จากสมการ เมื่อเพิ่มค่าความดัน (ΔP) จะทำให้ค่าอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน (J) มีค่าเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความดันที่เพิ่มขึ้น และจากกราฟความสัมพันธ์สามารถหาค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของน้ำ (A) ได้ จากการหาค่าความชันของกราฟ ดังรูปที่ 4.6 โดยจะได้ค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของน้ำ ในรูป

$$J = 0.279(\Delta P - \Delta \pi); \quad R^2 = 0.9929 \quad (32)$$

ดังนั้นค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของน้ำ คือ 0.279 ล./ปอนด์ .-ซม.
หรือ 0.6138 ล./กก. -ซม.



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าความดันควบคู่และอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน

หมายเหตุ : ความดันที่ใช้เป็นความดัน ($\Delta P - \Delta \pi$)

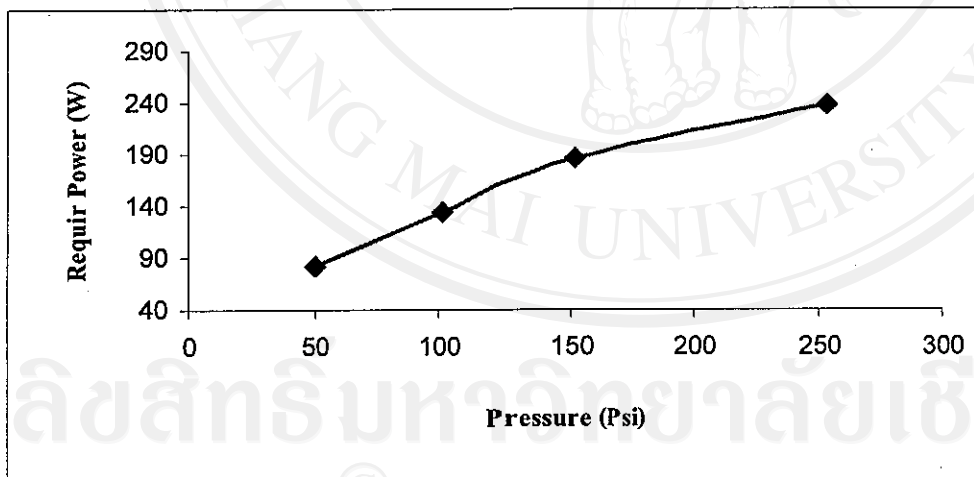
4.1.2 การหาต้นทุนในการผลิตน้ำและการเดินระบบที่เหมาะสม

จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษา คือ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันควบคุม และ อัตราการผลิตน้ำสะอาด สามารถที่จะหาราคาต้นทุนการผลิตน้ำได้จากการคำนวณอัตราการใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ โดยเครื่องสูบน้ำของแบบจำลอง คือ Procon Model 1507 1725 min⁻¹ (60Hz) ซึ่งมีอัตราการใช้กระแสไฟฟ้างดงตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.13 อัตราการใช้ไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ Procon Model 1507 1725 min⁻¹ (60Hz)

Pressure (Psi)	Required Power (W)
50.75	83
101.5	135
152.25	187
253.75	239

ที่มา : www.fuji-techno.co.jp/pe_performance.htm



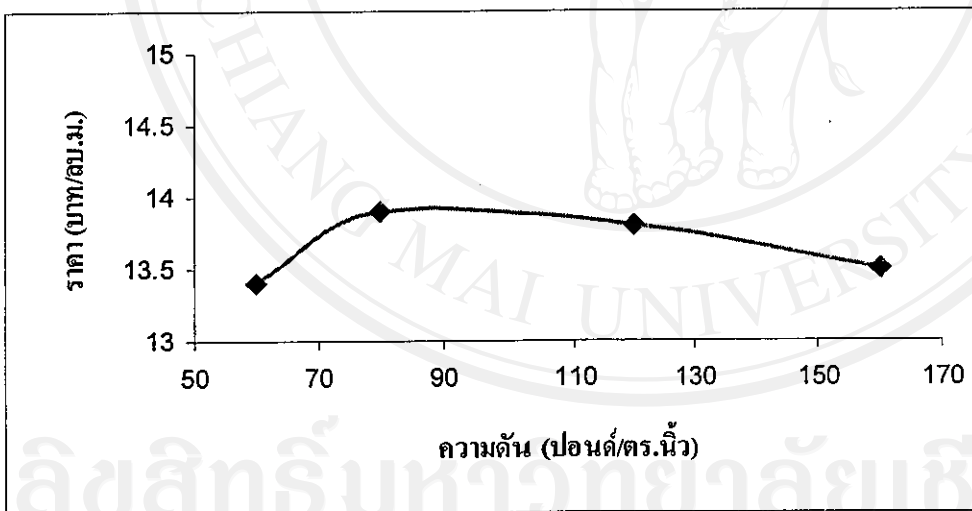
รูปที่ 4.4 อัตราการใช้ไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ Procon Model 1507 1725 min⁻¹ (60Hz)

ที่มา : www.fuji-techno.co.jp/pe_performance.htm

จากการคำนวณต้นทุนในการบำบัดน้ำโดยคิดอัตราค่าไฟฟ้าในช่วงความต้องการใช้ไฟฟ้า
อัตราสูง ค่าไฟฟ้า คือ 4.3093 บาทต่อหน่วย (บาท/กิโลวัตต์-ชม.) โดยคำนวณได้ดังแสดงในตาราง
ที่ 4.14 และหาราคาดัชนีที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Cost) จากรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.14 การคำนวณต้นทุนในการบำบัดน้ำ

ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	กิโลวัตต์	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์-ชม.)	อัตราการผลิต น้ำสะอาด (ล./ชม.)	ต้นทุน (บาท/ล.)	ต้นทุน (บาท/ลบ.ม.)
60	0.05625	4.3093	18.06	0.0134	13.4
80	0.08125	4.3093	25.09	0.0139	13.9
120	0.11875	4.3093	37.16	0.0138	13.8
160	0.15625	4.3093	49.60	0.0135	13.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ใช้ของเครื่องสูบน้ำกับราคาดัชนี

จากรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ใช้ของเครื่องสูบน้ำกับราคาต้นทุนพบว่า ที่ความดันควบคุม 60 ถึง 80 ปอนด์/ตร.นิ้ว จะมีราคาต้นทุนที่มีแนวโน้มสูงขึ้น คือ จาก 13.40 บาท/ลบ.ม. เพิ่มขึ้นเป็น 13.90 บาท/ลบ.ม. และการเดินระบบที่ความดันทั้งสองมีอัตราการผลิตน้ำที่น้อย ทำให้มีต้นทุนที่แพงกว่า โดยที่ความดันระหว่าง 120 ถึง 160 ปอนด์/ตร.นิ้ว จะมีราคาต้นทุนที่ต่ำกว่าที่ความดันควบคุม 60 ถึง 80 ปอนด์/ตร.นิ้ว เนื่องจากระบบมีอัตราการผลิตน้ำที่สูงกว่า เมื่อพิจารณาที่ความดันควบคุม 120 130 140 150 และ 160 ปอนด์/ตร.นิ้ว ระบบมีต้นทุนในการผลิต 13.8 13.75 13.67 13.55 และ 13.5 บาท/ลบ.ม. ตามลำดับ ซึ่งจากการเดินระบบควรคำนึงถึงภาระการทำงานของเครื่องสูบน้ำด้วย โดยทั่วไปการลดภาระของเครื่องสูบน้ำจะทำให้การเดินระบบที่ประสิทธิภาพไม่ถึง 100% โดย Eriksson และ กณะ (2005) และ วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ (2526) ได้กล่าวถึงการออกแบบและเดินระบบเครื่องสูบน้ำโดยให้เครื่องสูบน้ำทำงานที่ประสิทธิภาพในช่วง 70-80% ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะเลือกให้เครื่องสูบน้ำทำงานที่ประสิทธิภาพ 75% ดังนั้นระบบจะมีราคาต้นทุนที่เหมาะสมที่สุดที่การเดินระบบที่ 120 ปอนด์/ตร.นิ้ว ซึ่งระบบจะให้อัตราการผลิตน้ำสะอาด 37.16 ลิ./ชม. และมีราคาต้นทุนการผลิต 13.5 บาท/ลบ.ม.

4.2 การศึกษาหาค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย

การศึกษาค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย จะแตกต่างจากการหาค่าคงที่สำหรับการเคลื่อนที่ของตัวทำละลาย (น้ำ) กล่าวคือในกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส กับเมมเบรนที่ให้ประสิทธิภาพสูงนั้น ตัวถูกละลายจะต้องถูกกำจัดและสามารถผ่านกระบวนการออกมาได้น้อย โดยการทดลองจะทำการหมุนเวียนน้ำส่วนเข้มข้นเข้าสู่ระบบ ดังรายละเอียดดังแสดงในหัวข้อที่ 3.2 ซึ่งผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

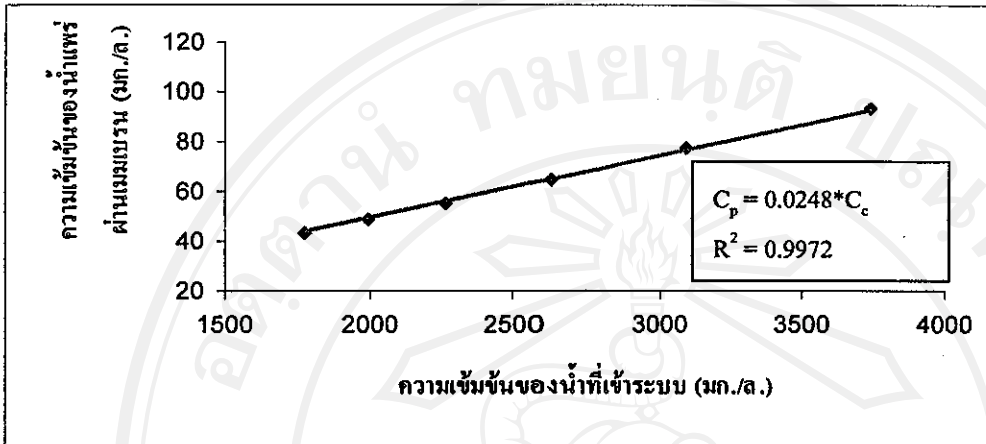
จากการศึกษาพบว่า เมื่อเดินระบบที่ความดันควบคุม 120 ปอนด์/ตร.นิ้ว โดยไม่มีการหมุนเวียนน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนเข้าสู่ระบบ ทำให้น้ำตัวอย่างที่จะเข้าระบบมีความเข้มข้นสูงขึ้น โดยตารางที่ 4.15 แสดงถึงผลของค่าความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำที่เข้าสู่ระบบ น้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตในช่วงเวลาต่างๆ

ตารางที่ 4.15 ค่าความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำที่เข้าสู่ระบบ และน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน ในช่วงเวลาต่างๆ

เวลา (นาที)	ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)		
	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การกำจัด
30	1776	42.81	97.59
60	1993	48.43	97.57
90	2266	55.42	97.55
120	2621	64.73	97.53
150	3092	77.28	97.50
180	3738	93.94	97.49

จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าเมื่อเดินระบบ ความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำที่เข้าสู่ระบบจะมีความเข้มข้นสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตจะลดลงเล็กน้อยแต่ไม่มีนัยสำคัญ โดยตารางที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเข้มข้นของน้ำที่เข้าสู่ระบบสูงขึ้น การรั่วของสารละลายก็จะสูงขึ้นตาม ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตจะมีแนวโน้มคงที่ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของน้ำมีผลต่อ อัตราการผลิตน้ำสะอาด การรั่วของสารละลาย

จากตารางที่ 4.30 สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของน้ำที่เข้าสู่ระบบ และ ความเข้มข้นของน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.6



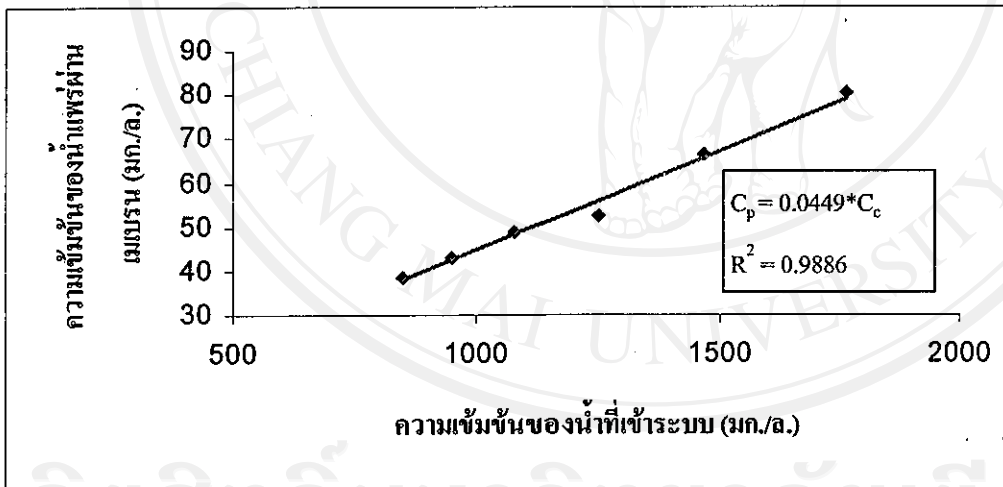
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นซัลเฟตในน้ำที่เข้าสู่ระบบ และ ความเข้มข้นซัลเฟตในน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน

จากรูปที่ 4.6 สามารถหาค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย ได้จาก ค่าความชันของกราฟ โดยค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของซัลเฟต คือ 0.0248 ล./ปอนด์-ชม. หรือ 0.0546 ล./กก.-ชม.

จากข้อมูลการเดินระบบที่ความดัน 120 ปอนด์/ตร.นิ้ว เมื่อเวลาผ่านไปค่าความเข้มข้นที่เข้าสู่ระบบ ของ โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และ ค่าการนำไฟฟ้า จะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเช่นเดียวกับซัลเฟต โดยผลของความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของระบบจะทำให้แนวโน้มของ อัตราการแพร่ผ่านของน้ำ และประสิทธิภาพของการกำจัดมีแนวโน้มคงที่ เนื่องจากเกิดความเข้มข้นของอนุภาคที่ผิวหน้าของเมมเบรนสูงขึ้น ทำให้เกิดการรั่วของอนุภาคมากขึ้น โดยผลของค่าความเข้มข้นของในน้ำที่เข้าสู่ระบบของ โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และ ค่าการนำไฟฟ้า น้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และ ประสิทธิภาพในการกำจัดในช่วงเวลาต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.16 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ โดยความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของน้ำที่เข้าสู่ระบบ และ ความเข้มข้นของน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.7 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.16 ค่าความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำที่เข้าสู่ระบบ และน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน
ในช่วงเวลาต่างๆ

เวลา (นาที)	ปริมาณ โซเดียม (มก./ล.)		
	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การกำจัด
30	850	38.50	95.47
60	952	43.14	95.47
90	1080	49.05	95.46
120	1245	52.55	95.78
150	1464	66.60	95.46
180	1764	80.48	95.44

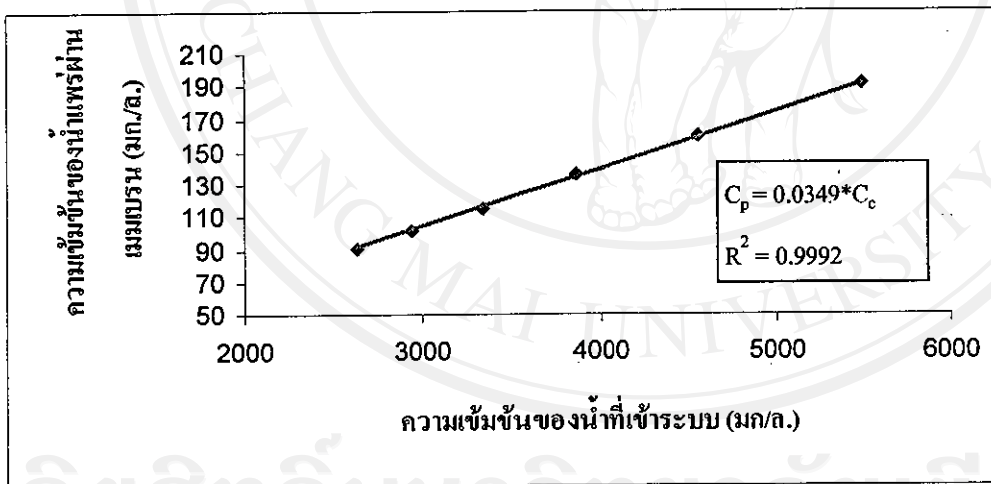


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำที่เข้าสู่ระบบ และความ
เข้มข้นของโซเดียมในน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน

All rights reserved

ตารางที่ 4.17 ค่าความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำในน้ำที่เข้าสู่ระบบ และน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน ในช่วงเวลาต่างๆ

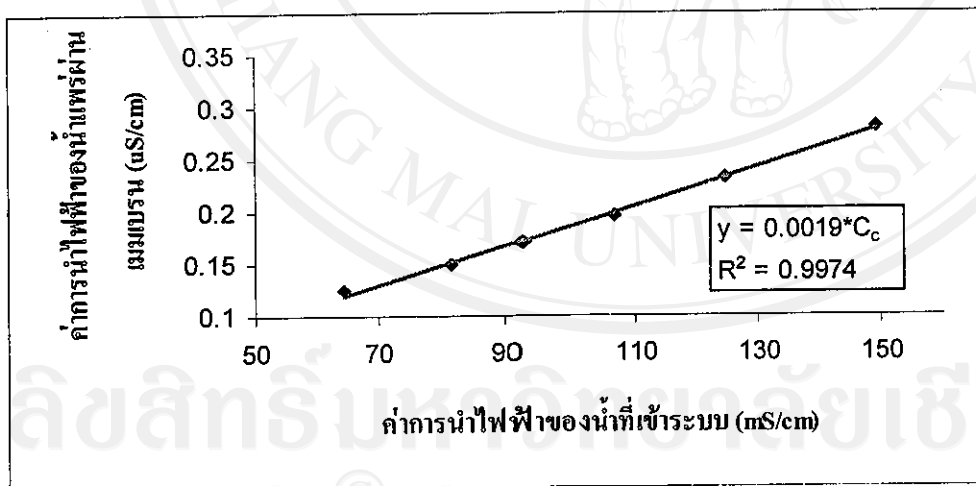
เวลา (นาที)	ปริมาณ ของแข็งละลายน้ำ (มก./ล.)		
	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การกำจัด
30	2630	91.14	96.54
60	2948	101.57	96.55
90	3348	115.84	96.54
120	3866	136.44	96.47
150	4553	159.58	96.50
180	5494	191.41	96.52



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำในน้ำที่เข้าสู่ระบบ และความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำในน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน

ตารางที่ 4.18 ค่าความเข้มข้นของค่าการนำไฟฟ้าในน้ำที่เข้าสู่ระบบ และน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน
ในช่วงเวลาต่างๆ

เวลา (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้า		
	น้ำที่เข้า ระบบ mS/cm	น้ำแพร่ผ่าน เมมเบรน mS/cm	ร้อยละ การกำจัด
30	64.44	0.1251	96.52
60	81.77	0.14995	96.51
90	92.47	0.17025	96.51
120	106.66	0.19695	96.51
150	124.90	0.2325	96.49
180	149.32	0.28025	96.50



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของค่าการนำไฟฟ้าในน้ำที่เข้าสู่ระบบ
และความเข้มข้นค่าการนำไฟฟ้าในน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน

โดยค่าค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของ ซัลเฟต โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และ ค่าการนำไฟฟ้า สรุปไว้ใน ตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย

พารามิเตอร์	รูปแบบสมการ ($C_p = \beta \cdot C_c$)	ค่าคงที่(β) (ล./ปอนด์ - ซม.)	ค่าคงที่(β) (ล./กก. - ซม.)	R^2
ซัลเฟต	$C_p = 0.0248C_c$	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	$C_p = 0.0019 C_c$	0.0019	0.0042	0.9974

จากตารางที่ 4.9 แสดงถึงค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย คือ ซัลเฟต โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และค่าการนำไฟฟ้า โดยค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย (β) เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายและการแพร่ผ่านเมมเบรนของตัวถูกละลาย โดยจากจากความสัมพันธ์ของสมการที่ 24

$$J_2 = -B\Delta C_{2s} \quad (24)$$

โดย $\Delta C_{2s} = C_0 - C_p$

จากสมการที่ 24 เมื่อค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย (β) มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ จะทำให้ อัตราการแพร่ผ่านของตัวถูกละลาย (J_2) และ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน (C_p) มีค่าน้อยมาก ซึ่งก็คือ ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง (ประสิทธิภาพใกล้เคียง 100 เปอร์เซ็นต์)

จากข้อมูลที่ค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายได้ สามารถที่จะนำมาพิจารณาถึงความสามารถในการแพร่ผ่านเมมเบรนของสารละลาย ซึ่งจะพบว่าสารละลายแต่ละชนิดมีค่าค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายที่แตกต่างกัน และเมมเบรนแต่ละชนิดมีค่าค่าคงที่ของเมมเบรนสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายที่แตกต่างกัน ดังนั้นการข้อมูลที่ได้นี้จะสามารถที่จะเป็นข้อมูลในการช่วยในการพิจารณาในการเลือกใช้เมมเบรนในการแยกสารละลาย หรือนำไปใช้งาน ได้อย่างเหมาะสม

4.3 การศึกษาถึงผลของการย้อนกลับของน้ำส่วนเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการกำจัด

การทดลองจะทำการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบในอัตราส่วนน้ำส่วนหมุนเวียนกลับเข้าสู่ระบบต่อส่วนที่ระบายทิ้ง ที่ 0.25 0.5 0.75 และ 1.0 ตามลำดับ ที่ความดันควบคุม 120 ปอนด์/ตร.นิ้ว โดยแสดงผลการศึกษาใน ภาคผนวก ง

ที่อัตราส่วนระบายน้ำทิ้ง 1.0 น้ำที่เข้าสู่ระบบจะมีความเข้มข้นคงที่ ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคต่างๆ ได้ดีกว่าการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ ได้น้ำแพร่ผ่านเมมเบรนที่มีการละลายของสารละลายที่คงที่ โดยประสิทธิภาพการกำจัด ซัลเฟตมีแวนโน้มคงที่ คือเฉลี่ย ร้อยละ 97.52 ดังแสดงในตารางที่ 4.20 โดยประสิทธิภาพในการกำจัดของ โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และ การนำไฟฟ้า มีแวนโน้มที่สอดคล้องกับผลของการกำจัดซัลเฟต

ตารางที่ 4.20 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของน้ำที่มีอัตราส่วนระบายทิ้ง 1.0

เวลา (นาท)	ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			เฉลี่ย
	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การกำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การกำจัด	
10	1639	40.15	97.55	1723	40.84	97.63	97.59
20	1639	40.32	97.54	1723	41.01	97.62	97.58
30	1639	39.99	97.56	1723	41.00	97.62	97.59
40	1639	39.98	97.56	1723	41.01	97.62	97.59
50	1639	40.02	97.56	1723	41.18	97.61	97.58

อัตราส่วนน้ำส่วนหมุนเวียนกลับเข้าสู่ระบบต่อส่วนที่ระบายทิ้ง 0.75 น้ำส่วนเข้มข้นอัตราส่วน 0.25 จะหมุนเวียนเข้าสู่ระบบ ทำให้ระบบมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยพบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่คงที่ เมื่อระบบมีการหมุนเวียนน้ำส่วนเข้มข้นเข้าสู่ระบบจะทำให้ความเข้มข้นมีผลต่อเมมเบรน คือทำให้อัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนลดลง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดยังมีแวนโน้มที่คงที่ ดังตารางที่ 4.21 โดยประสิทธิภาพในการกำจัดของ โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และ การนำไฟฟ้า มีแวนโน้มที่สอดคล้องกับผลของการกำจัดซัลเฟต

ตารางที่ 4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของน้ำที่มีอัตราส่วนระบายทิ้ง 0.75

เวลา (นาท)	ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			เฉลี่ย
	น้ำที่เข้า	น้ำแพร่ผ่าน	ร้อยละ	น้ำที่เข้า	น้ำแพร่ผ่าน	ร้อยละ	
	ระบบ	เมมเบรน	การกำจัด	ระบบ	เมมเบรน	การกำจัด	
10	1691	40.35	97.61	1717	42.24	97.54	97.58
20	1801	43.43	97.59	1732	45.07	97.40	97.49
30	1928	46.67	97.58	1967	48.60	97.53	97.55
40	2073	50.37	97.57	2119	52.34	97.53	97.55
50	2239	54.43	97.57	2295	56.47	97.54	97.55
60	2433	59.38	97.56	2503	61.85	97.53	97.55

อัตราส่วนน้ำส่วนหมุนเวียนกลับเข้าสู่ระบบต่อส่วนที่ระบายทิ้ง 0.50 และ 0.25 น้ำที่เข้าสู่ระบบจะมีความเข้มข้นของสารละลายที่สูงขึ้นตามลำดับ โดยผลของความเข้มข้นของน้ำที่เข้าสู่ระบบมากจะมีผลต่ออัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน อย่างชัดเจน โดยประสิทธิภาพของการกำจัดซัลเฟตยังมีแนวโน้มที่คงที่ แต่จะพบปริมาณของสารละลายสูงขึ้นในน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน ดังแสดงในตารางที่ 4.22 และ 4.23 โดยประสิทธิภาพในการกำจัดของ โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และการนำไฟฟ้า มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลของการกำจัดซัลเฟต

ตารางที่ 4.22 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของน้ำที่มีอัตราส่วนระบายทิ้ง 0.50

เวลา (นาท)	ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			เฉลี่ย
	น้ำที่เข้า	น้ำแพร่ผ่าน	ร้อยละ	น้ำที่เข้า	น้ำแพร่ผ่าน	ร้อยละ	
	ระบบ	เมมเบรน	การกำจัด	ระบบ	เมมเบรน	การกำจัด	
10	1742	42.33	97.57	1686	42.32	97.49	97.53
20	1932	47.35	97.55	1872	47.17	97.48	97.51
30	2170	53.38	97.54	2104	52.81	97.49	97.51
40	2472	60.80	97.54	2402	60.04	97.50	97.52
50	2874	70.98	97.53	2798	69.96	97.50	97.52
60	3432	84.44	97.54	3352	84.13	97.49	97.52

ตารางที่ 4.23 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของน้ำที่มีอัตราส่วนระบายถึง 0.25

เวลา (นาท)	ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			เฉลี่ย
	น้ำที่เข้า	น้ำแพร่ผ่าน	ร้อยละ	น้ำที่เข้า	น้ำแพร่ผ่าน	ร้อยละ	
	ระบบ	เมมเบรน	การกำจัด	ระบบ	เมมเบรน	การกำจัด	
10	1657	40.93	97.53	1702	41.70	97.55	97.54
20	1913	47.20	97.53	1967	48.78	97.52	97.53
30	2263	55.84	97.53	2330	57.54	97.53	97.53
40	2771	68.38	97.53	2857	70.56	97.53	97.53
50	3573	88.60	97.52	3694	91.23	97.53	97.53
60	5029	124.73	97.52	5219	128.92	97.53	97.52

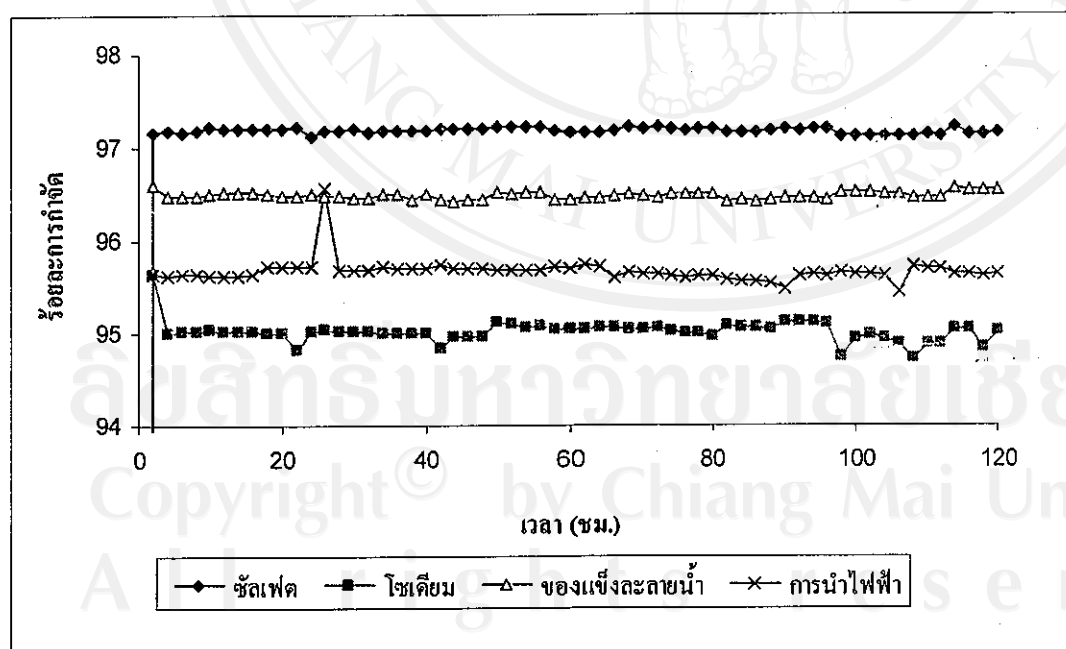
จากข้อมูลตารางที่ 4.20 ถึง 4.23 พบว่า การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลายที่เข้าสู่ระบบรีเวิร์สออสโมซิส โดยความเข้มข้นของน้ำที่เข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้นทำให้เกิดแรงดันออสโมติก ($\Delta\pi$) สูงขึ้น ซึ่งในกรณีที่ทำการศึกษาก็จะมีการเดินระบบที่ความดันควบคุมคงที่ ผลจากการที่มีแรงดันออสโมติก ($\Delta\pi$) สูงขึ้น ทำให้เกิดการลดลงของค่าความดันควบคุมสุทธิ ($\Delta P - \Delta\pi$) และมีผลทำให้อัตราของน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนลดลง ซึ่งผลของค่าความเข้มข้นของระบบที่สูงขึ้น คือ สารละลายมีโอกาสในการแพร่ผ่านเมมเบรนได้สูงขึ้น โดยค่าความเข้มข้นที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลา 30 ถึง 60 นาที จะมีค่าความเข้มข้นที่เกินกว่าที่ระบุไว้ในคู่มือของเมมเบรน (เมมเบรนใช้ในการเดินระบบที่ค่าความเข้มข้น 2000 ppm ของ NaCl) โดยค่าความเข้มข้นที่สูงขึ้นในระบบจะทำให้เกิดการรวมตัวกับไอออนบางชนิด เช่น แคลเซียม และเกิดเป็นผลึกที่ผิวของเมมเบรนทำให้เมมเบรนเสียหายได้ แต่ในกรณีนี้ที่ศึกษานี้เป็นการใช้น้ำตัวอย่างสังเคราะห์กับน้ำสะอาด ซึ่งน้ำตัวอย่างจะมีแต่เฉพาะไอออนของซัลเฟต และโซเดียม ดังนั้นระบบจึงไม่มีการรวมตัวจากไอออนอื่นๆและเกิดการตกผลึกที่ผิวของเมมเบรน

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

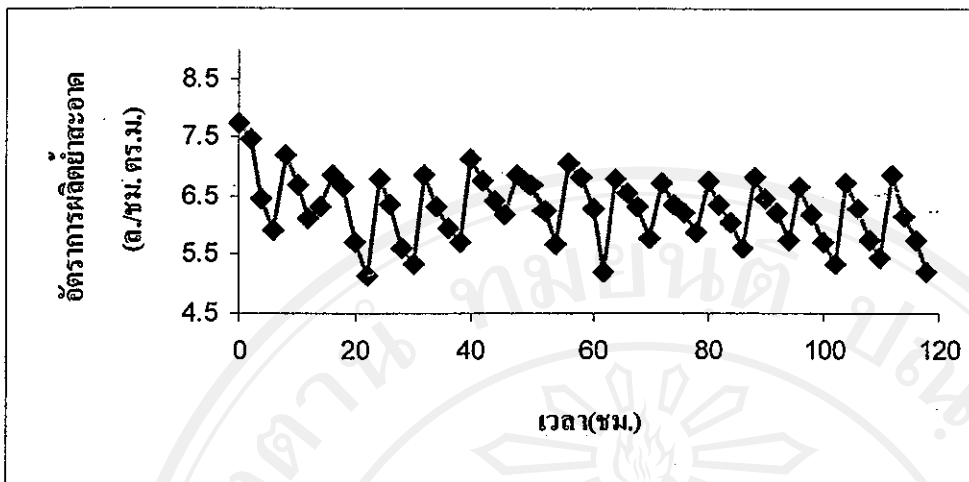
4.4 ผลการศึกษาการเดินระบบที่ช่วงระยะเวลายาวนาน

การศึกษากการเดินระบบที่ค่าความดันควบคุมที่ 40 ปอนด์/ตร.นิ้ว โดยเดินระบบปฏิบัติการต่อเนื่อง 8 ชั่วโมงต่อวัน รวมระยะเวลา 120 ชั่วโมง เพื่อศึกษาถึงอัตราการถดถอยของประสิทธิภาพของเมมเบรน โดยการเลือกเดินระบบที่ 8 ชม./วัน คือการจำลองการเดินระบบจริงในช่วงเวลาการทำงาน และมีการล้างเมมเบรนและซ่อมบำรุงในช่วง 1 สัปดาห์ซึ่งการทดลองคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ วีระ โชค เลิศพรสวรรค์ (2542) ในการทดลองจะเก็บตัวอย่างพร้อมวัดอัตราการไหลน้ำส่วนที่แพร่ผ่านเมมเบรนและน้ำเข้าสู่ระบบในระยะเวลาเดียวกัน คือ เมื่อเดินระบบไปได้ 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง โดยผลของอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และประสิทธิภาพการกำจัด ซัลเฟต โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และ ค่าการนำไฟฟ้า แสดงในตารางที่ 4.24 รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11

รูปที่ 4.10 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพการกำจัด ซัลเฟต โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และ ค่าการนำไฟฟ้า กับระยะเวลาเดินระบบ โดยพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด ซัลเฟต โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และ ค่าการนำไฟฟ้า มีแนวโน้มที่คงที่ สอดคล้องกับการวิจัยของ วีระ โชค เลิศพรสวรรค์ (2542) คือ การเดินระบบปฏิบัติการที่มีระยะเวลาที่ยาวนานไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด ซีไอดี และของแข็งละลายน้ำ



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพการกำจัดกับระยะเวลาเดินระบบ



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนกับระยะเวลาในการเดินระบบปฏิบัติการ

รูปที่ 4.12 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน กับระยะเวลาในการเดินระบบปฏิบัติการ เมื่อเริ่มเดินระบบระบบมีอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน 7.76 ลิ./ชม. ตร.ม. และมีอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนลดลงในช่วง 40 ชั่วโมงแรก โดย วีระโชค เลิศพรสวรรค์ (2542) และ ของ Japie และ คณะ (1996) ได้กล่าวถึงการลดลงของเมมเบรนว่า การลดลงของเมมเบรนในช่วงแรกของการเดินระบบเกิดจาก อนุภาคที่มีขนาดเล็กที่สามารถผ่านเข้าไปในช่องรูพรุนของเมมเบรน และเกิดการอุดตันอยู่ภายใน ไม่สามารถหลุดออกจากเมมเบรนได้ ซึ่งการล้างเมมเบรนจะทำความสะอาดในส่วนนี้ได้น้อยมาก เมื่อเดินระบบหลัง 40 ชั่วโมงแรก อัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนจะเริ่มคงที่

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า การลดลงของน้ำแพร่ผ่านเมมเบรนในช่วงแรกของการเดินระบบมีค่าค่อนข้างสูง หลังจากนั้นจะเริ่มคงที่ และการล้างเมมเบรนด้วยสารละลายสิ่งสกปรกจึงจำเป็น และมีผลต่อการเพิ่มอัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน

ตารางที่ 4.24 อัตราการผลิตน้ำแพร์ผ่านเมมเบรน และร้อยละการกำจัด ซัลเฟต โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และการเดินระบบปฏิบัติการช่วงเวลาที่ยาวนาน

เวลา ชม	อัตราการผลิตน้ำ แพร์ผ่าน		ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)				ปริมาณ โซเดียม (มก./ล.)				ปริมาณ ของแข็งละลายน้ำ (มก./ล.)				ค่าการนำไฟฟ้า				
	ลิตร/ชม.	ลิตร/ ชม. ม ²	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร์ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร์ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร์ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร์ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร์ ผ่าน เมมเบรน	uS/cm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	8.54	7.76	1643	46.50	97.17	788	34.43	95.63	2535	85.95	96.61	2535	85.95	96.61	3.30	144.20	95.63	144.20	95.63
4	8.22	7.47	1714	48.34	97.18	821	41.00	95.01	2539	89.40	96.48	2539	89.40	96.48	3.44	150.40	95.63	150.40	95.63
6	7.11	6.46	1788	50.63	97.17	856	42.66	95.02	2649	93.27	96.48	2649	93.27	96.48	3.59	156.80	95.63	156.80	95.63
8	6.53	5.94	1859	52.61	97.17	889	44.30	95.02	2752	96.63	96.49	2752	96.63	96.49	3.73	162.90	95.63	162.90	95.63
10	7.93	7.21	1694	47.26	97.21	812	40.27	95.04	2510	87.60	96.51	2510	87.60	96.51	3.41	149.30	95.62	149.30	95.62
12	7.36	6.69	1761	49.32	97.20	843.86	42.02	95.02	2610	90.83	96.52	2610	90.83	96.52	3.54	154.90	95.62	154.90	95.62
14	6.73	6.12	1829	51.24	97.20	875.81	43.61	95.02	2710	94.05	96.53	2710	94.05	96.53	3.67	160.60	95.62	160.60	95.62
16	6.96	6.33	1897	53.12	97.20	907.28	45.18	95.02	2809	97.76	96.52	2809	97.76	96.52	3.80	165.80	95.64	165.80	95.64
18	7.55	6.86	1717	47.91	97.21	822.30	41.11	95.00	2546	89.11	96.50	2546	89.11	96.50	3.45	147.70	95.72	147.70	95.72
20	7.33	6.66	1782	49.74	97.21	852.95	42.65	95.00	2642	92.75	96.49	2642	92.75	96.49	3.58	153.20	95.72	153.20	95.72
22	6.30	5.73	1851	51.65	97.21	855.03	44.25	94.82	2743	96.57	96.48	2743	96.57	96.48	3.72	159.40	95.72	159.40	95.72

ตารางที่ 4.24 อัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และร้อยละการกำจัด ซัลเฟต ไนเตรต ของแข็งละลายน้ำ และ ค่าการนำไฟฟ้า ในการเดินระบบปฏิบัติการช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน (ต่อ)

เวลา ชม	อัตราการผลิตน้ำ แพร่ผ่าน		ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			ปริมาณ ไนเตรต (มก./ล.)			ปริมาณ ของแข็งละลายน้ำ (มก./ล.)			ค่าการนำไฟฟ้า		
	ลิตร/ชม.	เมมเบรน	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน	ร้อยละ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน	ร้อยละ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน	ร้อยละ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน	ร้อยละ กำจัด
24	5.67	5.15	1914	55.14	97.12	914	45.64	95.01	2836	99.56	96.49	3.84	164.60	95.71
26	7.48	6.80	1688	47.77	97.17	808	40.09	95.04	2502	88.33	96.47	3.39	116.30	96.57
28	6.99	6.35	1751	49.57	97.17	838	41.74	95.02	2596	91.64	96.47	3.52	151.90	95.68
30	6.17	5.61	1815	51.02	97.19	868	43.23	95.02	2690	95.24	96.46	3.65	157.50	95.68
32	5.89	5.35	1874	53.05	97.17	895	44.60	95.02	2776	98.02	96.47	3.77	162.70	95.68
34	7.57	6.88	1639	46.22	97.18	785	39.25	95.00	2430	85.29	96.49	3.29	141.10	95.71
36	6.95	6.32	1701	47.99	97.18	814	40.72	95.00	2522	88.53	96.49	3.41	146.80	95.70
38	6.56	5.96	1763	49.73	97.18	843	42.17	95.00	2613	92.78	96.45	3.53	151.90	95.70
40	6.30	5.73	1826	51.51	97.18	872	43.64	95.00	2705	94.97	96.49	3.65	157.10	95.70
42	7.85	7.14	1819	51.11	97.19	875	45.15	94.84	2695	95.94	96.44	3.65	155.80	95.73
44	7.43	6.75	1891	53.14	97.19	908	45.72	94.97	2801	100.56	96.41	3.79	163.20	95.69

ตารางที่ 4.24 อัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และร้อยละการกำจัด ซัลเฟต โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และ ค่าการนำไฟฟ้า ในการเดินระบบปฏิบัติการช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน (ต่อ)

เวลา ชม	อัตราการผลิตน้ำ แพร่ผ่าน		ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			ปริมาณ โซเดียม (มก./ล.)			ปริมาณ ของแข็งละลายน้ำ (มก./ล.)			ค่าการนำไฟฟ้า		
	ลิตร/ชม.	เมมเบรน	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด
48	6.80	6.18	2041	57.35	97.19	979	49.36	94.96	3021	107.86	96.43	4.09	175.90	95.70
50	7.57	6.88	1680	46.70	97.22	806	39.41	95.11	2485	86.72	96.51	3.37	145.60	95.68
52	7.38	6.71	1744	48.66	97.21	836	41.05	95.09	2579	90.02	96.51	3.50	151.10	95.68
54	6.87	6.25	1811	50.55	97.21	867	42.79	95.07	2678	93.48	96.51	3.63	156.60	95.69
56	6.26	5.69	1879	52.44	97.21	899	44.35	95.07	2778	96.96	96.51	3.76	162.20	95.69
58	7.78	7.07	1709	48.19	97.18	822	40.85	95.03	2532	90.15	96.44	3.43	147.10	95.71
60	7.53	6.85	1776	50.44	97.16	853	42.42	95.03	2631	93.41	96.45	3.56	152.80	95.71
62	6.94	6.31	1846	52.44	97.16	886	43.98	95.04	2734	97.08	96.45	3.70	157.90	95.73
64	5.73	5.21	1946	55.27	97.16	933	46.22	95.05	2881	102.29	96.45	3.90	167.20	95.71
66	7.48	6.80	1711	48.08	97.19	823	40.75	95.05	2535	89.23	96.48	3.44	151.40	95.60
68	7.23	6.57	1775	49.36	97.22	853	42.26	95.05	2630	92.05	96.50	3.57	155.20	95.65

ตารางที่ 4.24 อัตราการผลิตน้ำแพรร่ผ่านเมมเบรน และร้อยละการกำจัด ซัลเฟต โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และการคืนระบบปฏิบัติการช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน (ต่อ)

เวลา ชม	อัตราการผลิตน้ำ แพรร่ผ่าน เมมเบรน		ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)				ปริมาณ โซเดียม (มก./ล.)				ปริมาณ ของแข็งละลายน้ำ (มก./ล.)				ค่าการนำไฟฟ้า			
	ลิตร/ชม.	ลิตร/ ชม. ม 2	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพรร่ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพรร่ ผ่าน เมม เบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพรร่ ผ่าน เมม เบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพรร่ ผ่าน เมม เบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพรร่ ผ่าน เมม เบรน	ร้อยละ การ กำจัด	ค่าการนำไฟฟ้า uS/cm
70	6.97	6.34	1842	51.42	97.21	855	42.43	95.04	2729	96.33	96.47	3.70	161.10	95.65	3.70	161.10	95.65	161.10
72	6.36	5.78	1913	53.37	97.21	887	43.91	95.05	2831	100.25	96.46	3.84	167.70	95.63	3.84	167.70	95.63	167.70
74	7.42	6.75	1759	49.25	97.20	845	42.16	95.01	2605	91.17	96.50	5.54	243.20	95.61	5.54	243.20	95.61	243.20
76	7.01	6.37	1824	51.28	97.19	875	43.80	95.00	2701	94.56	96.50	5.74	252.20	95.61	5.74	252.20	95.61	252.20
78	6.83	6.21	1891	52.97	97.20	907	45.37	95.00	2800	98.01	96.50	5.95	261.10	95.61	5.95	261.10	95.61	261.10
80	6.47	5.88	1962	54.94	97.20	940	47.30	94.97	2903	101.63	96.50	6.17	270.70	95.61	6.17	270.70	95.61	270.70
82	7.44	6.76	1683	47.63	97.17	806	39.65	95.08	2490	89.39	96.41	3.38	149.70	95.57	3.38	149.70	95.57	149.70
84	6.98	6.35	1746	49.42	97.17	835	41.36	95.05	2582	92.20	96.43	3.50	155.60	95.55	3.50	155.60	95.55	155.60
86	6.67	6.06	1801	51.22	97.16	865	42.84	95.05	2676	95.55	96.43	3.63	161.30	95.56	3.63	161.30	95.56	161.30
86	6.67	6.06	1801	51.22	97.16	865	42.84	95.05	2676	95.55	96.43	3.63	161.30	95.56	3.63	161.30	95.56	161.30
88	6.16	5.60	1875	52.89	97.18	896	44.36	95.05	2772	98.98	96.43	3.76	168.00	95.53	3.76	168.00	95.53	168.00

ตารางที่ 4.24 อัตราการผลิตน้ำแพร่ผ่านเมมเบรน และร้อยละการกำจัด ซัลเฟต โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และการเดินระบบปฏิบัติการช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน (ต่อ)

เวลา ชม	อัตราการผลิตน้ำ แพร่ผ่าน		ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			ปริมาณ โซเดียม (มก./ล.)			ปริมาณ ของแข็งละลายน้ำ (มก./ล.)			ค่าการนำไฟฟ้า		
	ลิตร/ชม.	เมมเบรน	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร่ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ ms/cm	น้ำแพร่ ผ่าน เมมเบรน uS/cm	ร้อยละ การ กำจัด
90	7.53	6.85	1651	46.39	97.19	794	38.82	95.11	2445	86.55	96.46	3.32	150.10	95.48
92	7.11	6.46	1713	48.16	97.19	823	40.27	95.11	2537	90.07	96.45	3.44	150.80	95.62
94	6.84	6.22	1777	49.95	97.19	853	41.74	95.11	2631	93.40	96.45	3.57	155.80	95.64
96	6.33	5.75	1843	51.81	97.19	884	43.35	95.10	2728	97.12	96.44	3.70	162.10	95.62
98	7.34	6.67	1733	50.08	97.11	830	43.65	94.74	2562	89.00	96.53	3.48	151.00	95.66
100	6.81	6.19	1797	51.58	97.13	859	43.59	94.93	2659	92.54	96.52	3.61	157.60	95.63
102	6.30	5.73	1861	53.78	97.11	899	45.20	94.98	2753	95.82	96.52	3.74	163.30	95.63
104	5.88	5.35	1924	55.42	97.12	919	46.52	94.94	2846	99.35	96.51	3.86	168.90	95.62
106	7.41	6.74	1692	48.73	97.12	815	41.65	94.89	2505	87.67	96.50	3.40	155.00	95.44
108	6.94	6.31	1755	50.55	97.12	844	44.52	94.73	2598	91.97	96.46	3.52	150.50	95.72
110	6.33	5.75	1818	52.20	97.13	874	44.78	94.88	2691	95.02	96.47	3.65	156.80	95.70

ตารางที่ 4.24 อัตราการผลิตน้ำแพร์ผ่านเมมเบรน และร้อยละการกำจัด ซัลเฟต โซเดียม ของแข็งละลายน้ำ และการเดินระบบปฏิบัติการช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน (ต่อ)

เวลา ชม	อัตราการผลิตน้ำ แพร์ผ่าน เมมเบรน		ปริมาณ ซัลเฟต (มก./ล.)			ปริมาณ โซเดียม (มก./ล.)			ปริมาณ ของแข็งละลายน้ำ (มก./ล.)			ค่าการนำไฟฟ้า			
	ลิตร/ชม.	ลิตร/ ชม. m ²	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร์ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร์ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร์ ผ่าน เมมเบรน	ร้อยละ การ กำจัด	น้ำที่เข้า ระบบ	น้ำแพร์ ผ่าน เมมเบรน	น้ำที่เข้า ระบบ	ร้อยละ การ กำจัด
112	6.01	5.46	1880	54.15	97.12	903	46.25	94.88	2781	98.47	96.46	3.77	162.10	95.70	
114	7.54	6.85	1721	47.84	97.22	825	41.00	95.03	2547	87.87	96.55	3.46	151.20	95.63	
116	6.77	6.15	1786	51.09	97.14	855	42.36	95.05	2643	91.72	96.53	3.59	156.50	95.64	
118	6.32	5.75	1849	52.90	97.14	855	44.09	94.85	2736	94.95	96.53	3.71	162.30	95.63	
120	5.75	5.23	1913	54.52	97.15	915	45.57	95.02	2829	97.90	96.54	3.83	167.20	95.63	