บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 <u>การเปรียบเทียบผลของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม และไหลสวนทางของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม</u>

ในการทดลองการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทาง ให้กับเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียมนั้น สามารถแยกพิจารณาเป็นกรณีได้ดังนี้ คือ

4.1.1 <u>ผลการทดลองการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม และไหลสวนทางของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม</u>

ตารางที่ ก-1 ถึง ก- 24 ในภาคผนวก ก แสดงผลการทดลองทั้งหมดในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทางของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม

ตารางที่ 4.1 และ 4.2 แสดงขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทางของเรซิน แบบกรดแก่ในรูปโซเดียม และได้สรุปขีดความสามารถและประสิทธิภาพไว้ในตารางที่ 4.3 นอกจากนี้ได้แสดงผลเปรียบเทียบในลักษณะของกราฟเชิงเส้น ดังในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากตารางและรูปดังกล่าว จะเห็นว่า ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันแปรผกผันกับอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน คือ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราไหลต่ำลง แต่ไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญนัก

สำหรับการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันมีค่าสูงสุดที่อัตราไหลในการทำรีเจนเนอ-

ตารางที่ 4.1 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม

การทดลองที่	อัตรารีเจนเนอเรชัน (บริมาตรเรซิน/ชม.)	ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (กก./ลบ.ม. หินปูน)*	ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน (เปอร์เซนต์)*
1	1 (0.75 ม./ชม.)	58.11	70.68
2		54.73	66.57
3		58.48	71.13
4		59.35	72.21
5	2 (1.50 ม./ชม.)	56.09	68.23
6		55.56	67.58
7		57.13	69.49
8	3 (2.25 ม./ชม.)	55.38	67.36
9		54.63	66.45
10		52.21	63.51
11		49.28	59.94
12		54.19	65.92
13		55.05	66.96

* ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ช

ตารางที่ 4.2 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม

การทดลองที่	อัตรารีเจนเนอเรชัน (ปริมาตรเรซิน/ชม.)	ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (กก./ลบ.ม. หินปูน) *	ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน (เปอร์เซนต์) *
15	1	45.73	55.63
16	(0.75 ม./ชม.)	47.53	57.82
17		46.46	56.51
18		46.39	56.43
19	2	44.13	53.68
20	(1.50 ม./ชม.)	44.19	53.75
21		41.97	51.05
22		48.80	59.35
23	3	45.34	55.15
24	(2.25 ม./ชม.)	43.89	53.39
25		43.80	53.28

* ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ช

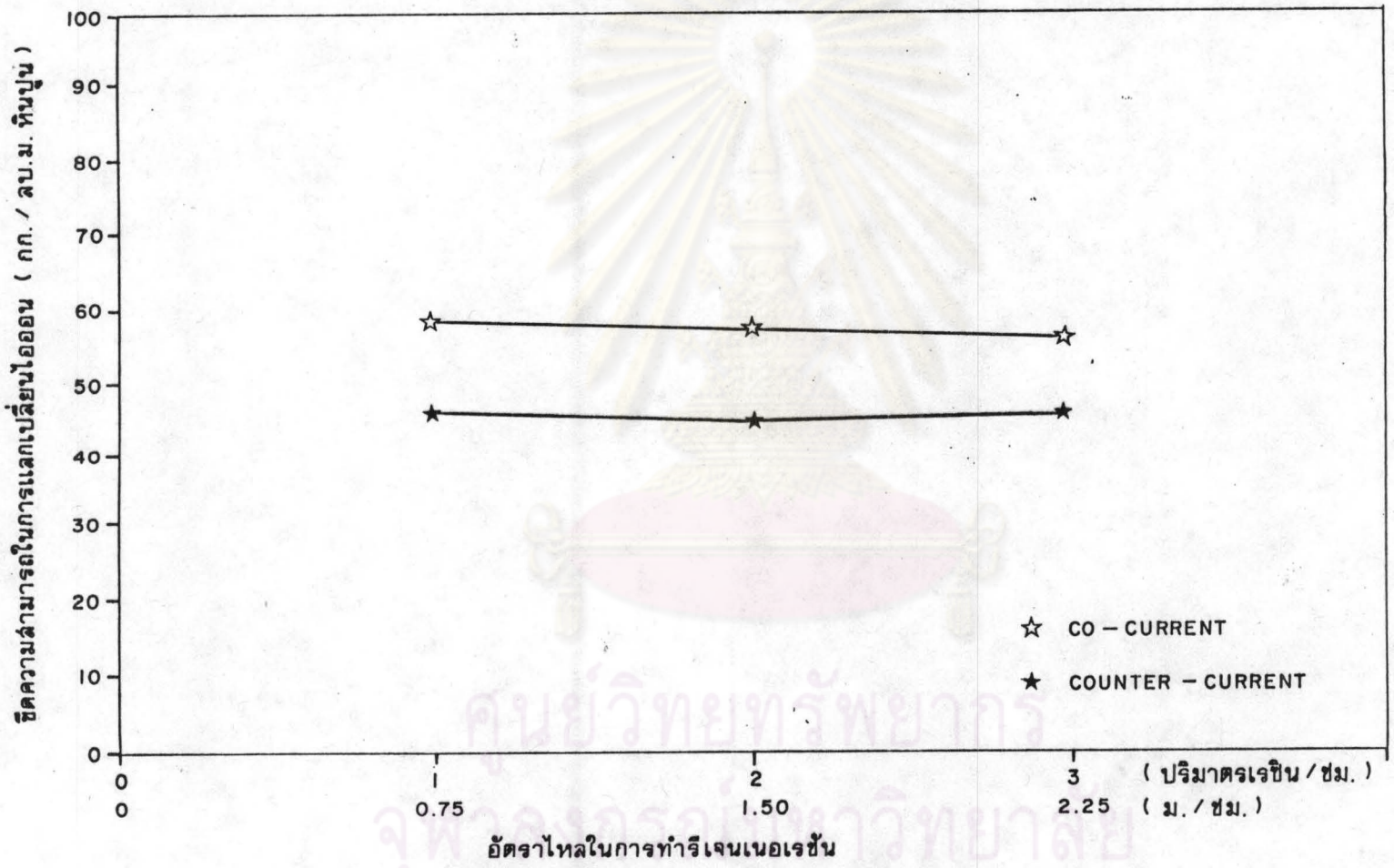
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เรชัน 1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 ม./ชม.) และมีค่าต่ำสุดที่ 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (2.25 ม./ชม.) ส่วนการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางมีขีดความสามารถและประสิทธิภาพสูงสุดที่อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน 1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 ม./ชม.) แต่มีค่าต่ำสุดที่ 2 ปริมาตรเรซิน/ชม. (1.50 ม./ชม.)

ตารางที่ 4.3 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม

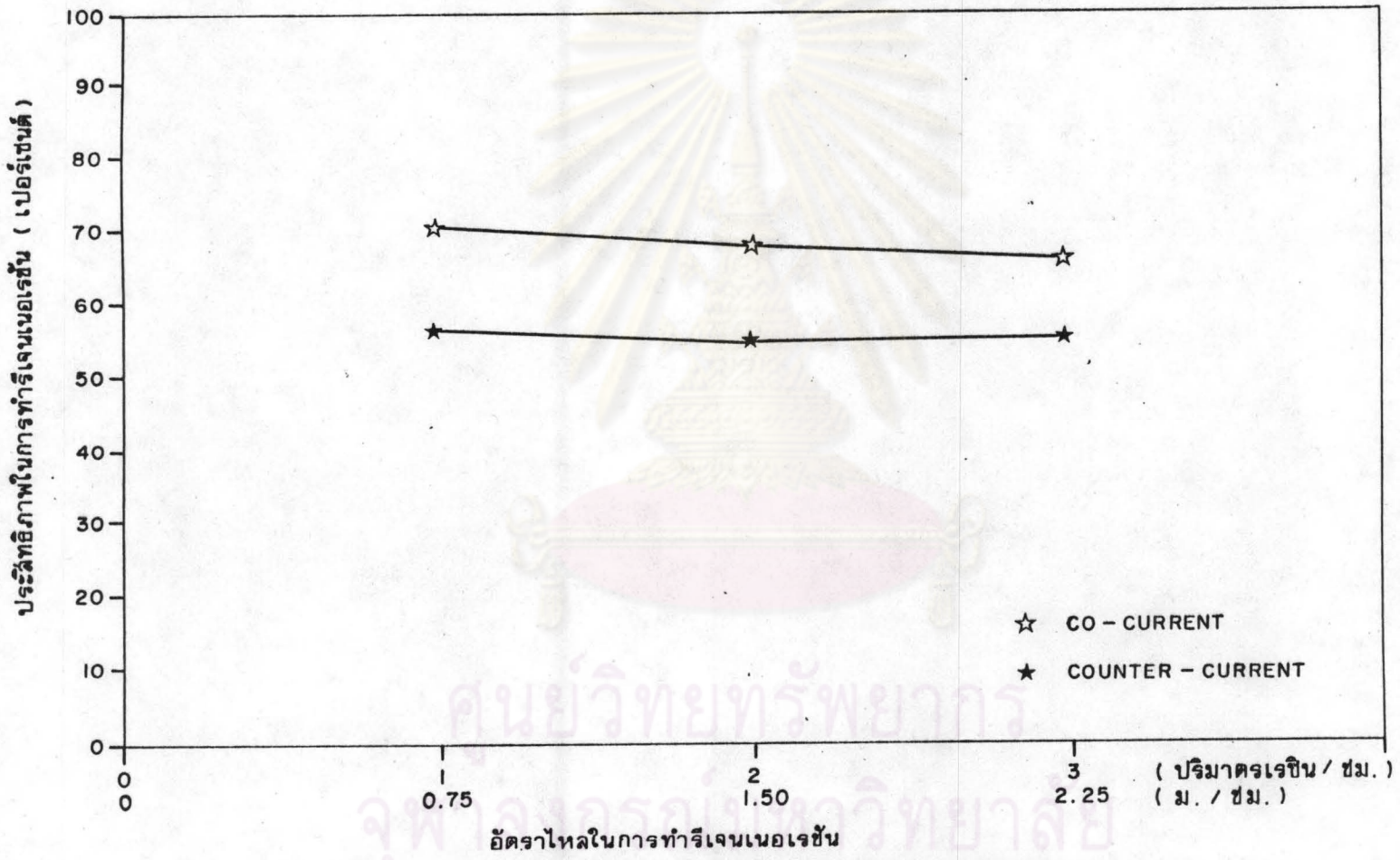
อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน (ปริมาตรเรซิน/ชม.)	ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (กก./ลบ.ม.หินปูน)	ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน (เปอร์เซนต์)
<u>แบบไหลตาม</u>		
1 (0.75 ม./ชม.)	57.67	70.15
2 (1.50 ม./ชม.)	56.26	68.43
3 (2.25 ม./ชม.)	53.46	65.02
<u>แบบไหลสวนทาง</u>		
1 (0.75 ม./ชม.)	46.57	56.65
2 (1.50 ม./ชม.)	44.17	53.73
3 (2.25 ม./ชม.)	45.46	55.29

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน และ
อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำรีเจนเนอเรชัน และ
อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันมีผลต่อขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน คือ เมื่ออัตราไหลลดลงจะทำให้ขีดความสามารถและประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น อธิบายได้โดย Ghori (1976) และ Mejia (1969) ซึ่งกล่าวไว้ว่า ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะเพิ่มขึ้นตามอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันที่ลดลง เพราะว่า รีเจนเนอแรนด์มีเวลาแลกเปลี่ยนไอออนกับเรซินเพิ่มขึ้น และสาเหตุที่ขีดความสามารถและประสิทธิภาพมีค่าแตกต่างกันโดยมีนัยสำคัญต่ำคงเนื่องจากมาจากอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันที่ใช้มีค่าใกล้เคียงกันมากเกินไป

ตารางที่ 4.4 ถึง 4.9แสดงลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม และได้สรุปประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนของเรซินแบบนี้ไว้ในตารางที่ 4.10 จากตารางดังกล่าวสำหรับการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม พบว่าแคลเซียม แมกนีเซียม และความกระด้าง ในน้ำออกมีค่าต่ำที่สุดที่อัตราไหล 1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 ม./ชม.) และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันเพิ่มขึ้น เนื่องจากในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม ปริมาณไอออนที่รั่วออกมาขึ้นอยู่กับปริมาณไอออนตกค้างและสะสมที่ส่วนล่างของชั้นเรซิน เมื่อใช้อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันต่ำกว่าจะรีเจนเนอเรชันได้สมบูรณ์กว่า ทำให้มีปริมาณไอออนตกค้างและสะสมที่ส่วนล่างของชั้นเรซินลดลง ดังนั้นปริมาณไอออนที่รั่วออกมาจึงต่ำกว่า ส่วนค่าพีเอชมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง เพราะผลของปฏิกิริยาได้เกลือของโซเดียมที่มีพีเอชเป็นกลาง นอกจากนี้ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนมีค่าใกล้เคียงกันทุกอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน คือ มากกว่า 99 เปอร์เซนต์ เนื่องจากเรซินมีความชอบแคลเซียม และแมกนีเซียมสูงและใกล้เคียงกัน (Calmon et al., 1979) สำหรับการทำรีเจนเนอเรชัน แบบไหลสวนทางพบว่า แคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำออกมีค่าต่ำมากจนตรวจไม่พบ ส่วนความกระด้างมีค่าใกล้เคียงกันทุกอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน ทั้งนี้เพราะว่า ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง เรซินบริเวณทางน้ำออกจะถูกรีเจนเนอเรชันอย่างสมบูรณ์จนไม่มีไอออนตกค้างและสะสมอยู่ในทุกอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมปริมาณไอออนที่รั่วออกมาให้มีค่าสม่ำเสมอและต่ำกว่าโดยจะดักจับไอออนที่ไม่ต้องการเอาไว้ ส่วนค่าพีเอชมีค่าคงที่เช่นเดียวกับแบบไหลตาม และจากตารางพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนมีค่าเกือบ 100 เปอร์เซนต์ เพราะว่า ปริมาณไอออนที่รั่วออกมีค่าต่ำมาก

ตารางที่ 4.4 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม (การทดลองที่ 1) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม ที่อัตรา 1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 ม./ชม.)

ปริมาณน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน			
	แคลเซียม (มก./ล. หินปูน)	แมกนีเซียม (มก./ล. หินปูน)	ความกระด้าง (มก./ล. หินปูน)	พีเอช
20.00	2.4	1.0	3.4	7.35
40.00	2.1	1.0	3.1	7.20
60.00	2.2	1.0	3.2	7.30
80.00	1.9	1.0	2.9	7.20
100.00	2.2	1.0	3.2	7.30
117.57*	5.9	9.8	15.7	7.30
น้ำดิบ	336.1	158.2	494.3	7.30

* จุดยุติ คือ จุดที่ ความกระด้างมากกว่า 10 มก./ล. หินปูน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม (การทดลองที่ 5) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม ที่อัตรา 2 ปริมาตรเรซิน/ชม. (1.50 ม./ชม.)

ปริมาณน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (บริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน			
	แคลเซียม (มก./ล. หินปูน)	แมกนีเซียม (มก./ล. หินปูน)	ความกระด้าง (มก./ล. หินปูน)	พีเอช
20.00	2.5	1.2	3.7	7.45
40.00	2.3	1.2	3.5	7.45
60.00	2.1	1.1	3.2	7.40
80.00	2.2	1.1	3.3	7.30
100.00	2.4	1.4	3.8	7.35
109.36*	4.2	5.9	10.1	7.40
น้ำดิบ	335.0	177.8	512.8	7.40

* จุดยุติ คือ จุดที่ความกระด้างมากกว่า 10 มก./ล. หินปูน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม (การทดลองที่ 8) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม ที่อัตรา 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (2.25 ม./ชม.)

ปริมาณน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน			
	แคลเซียม (มก./ล. หินปูน)	แมกนีเซียม (มก./ล. หินปูน)	ความกระด้าง (มก./ล. หินปูน)	พีเอช
20.00	3.0	1.5	4.5	7.25
40.00	2.8	1.5	4.3	7.20
60.00	2.9	1.4	4.3	7.25
80.00	2.6	1.3	3.9	7.25
100.00	2.5	1.7	4.2	7.20
107.97*	7.6	13.1	20.7	7.25
น้ำดิบ	340.2	178.7	512.9	7.35

* จุดยุติ คือ จุดที่ความกระด้างมากกว่า 10 มก./ล. หินปูน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม (การทดลองที่ 15) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง ที่อัตรา 1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 ม./ชม.)

ปริมาณน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (บริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน			
	แคลเซียม (มก./ล. หินปูน)	แมกนีเซียม (มก./ล. หินปูน)	ความกระด้าง (มก./ล. หินปูน)	พีเอช
20.00	ND*	ND*	0.1	7.30
40.00	ND*	ND*	0.1	7.35
60.00	ND*	ND*	0.2	7.35
80.00	1.3	1.7	3.0	7.35
89.84**	5.2	9.5	14.7	7.30
น้ำดิบ	339.3	169.7	509.0	7.30

* ND คือ ปริมาณที่ตราจไม่พบ

** จุดยุติ คือ จุดที่ความกระด้างมากกว่า 10 มก./ล. หินปูน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม (การทดลองที่ 18) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง ที่อัตรา 2 ปริมาตรเรซิน/ชม. (1.50 ม./ชม.)

ปริมาณน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน			
	แคลเซียม (มก./ล. หินปูน)	แมกนีเซียม (มก./ล. หินปูน)	ความกระด้าง (มก./ล. หินปูน)	พีเอช
20.00	ND*	ND*	0.1	7.55
40.00	ND*	ND*	0.1	7.60
60.00	ND*	ND*	0.1	7.60
80.00	1.3	1.7	3.0	7.60
90.07**	4.3	9.5	13.8	7.50
น้ำดิบ	339.3	175.8	515.1	7.60

* ND คือ ปริมาณที่ตรวจไม่พบ

** จุดยุติ คือ จุดที่ความกระด้างมากกว่า 10 มก./ล. หินปูน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม (การทดลองที่ 22) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง ที่อัตรา 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (2.25 ม./ชม.)

ปริมาณน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน			
	แคลเซียม (มก./ล. หินปูน)	แมกนีเซียม (มก./ล. หินปูน)	ความกระด้าง (มก./ล. หินปูน)	พีเอช
20.00	ND*	ND*	0.3	7.50
40.00	ND*	ND*	0.1	7.55
60.00	ND*	ND*	0.1	7.50
80.00	0.5	0.8	1.3	7.50
96.34**	3.8	8.2	12.0	7.45
น้ำดิบ	333.6	172.9	506.5	7.50

* ND คือ ปริมาณที่ตรวจไม่พบ

** จุดยุติ คือ จุดที่ความกระด้างมากกว่า 10 มก./ล. หินปูน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม

อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน (ปริมาตรเรซิน/ชม.)	ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออน (เปอร์เซนต์)		
	แคลเซียม	แมกนีเซียม	ความกระด้าง
<u>แบบไหลตาม</u>			
1 (0.75 ม./ชม.)	99.36	99.38	99.36
2 (1.50 ม./ชม.)	99.32	99.32	99.32
3 (2.25 ม./ชม.)	99.25	99.14	99.22
<u>แบบไหลสวนทาง</u>			
1 (0.75 ม./ชม.)	99.99	99.99	99.84
2 (1.50 ม./ชม.)	99.99	99.99	99.81
3 (2.25 ม./ชม.)	99.99	99.99	99.73

จากการทดลองนี้พบว่า อัตราไหลที่เหมาะสมในการทำรีเจนเนอเรชันทั้งแบบไหลตามและไหลสวนทาง คือ 1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 ม./ชม.) เพราะว่ามีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน และประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูงสุด นอกจากนี้ปริมาณไอออนที่รั่วออกมายังมีค่าต่ำ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

4.1.2 <u>การเปรียบเทียบผลของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทางของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม</u>

ตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม และได้แสดงผลเปรียบเทียบในลักษณะของกราฟเชิงเส้นในรูปที่ 4.3 จากตารางและรูปจะพบว่า ขีดความสามารถของแบบไหลสวนทางมีค่าต่ำกว่า และมีค่าประมาณ 79-85 เปอร์เซนต์ของแบบไหลตาม โดยประสิทธิภาพมีค่าเช่นเดียวกัน อธิบายโดย Helfferich (1962) ได้กล่าวว่าในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง (ที่มีทิศทางไหลขึ้น) และไม่มีการป้องกันการขยายตัวของชั้นเรซินจะทำให้ชั้นเรซินมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอขณะทำรีเจนเนอเรชัน ดังนั้นเรซินบริเวณที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีความต้านทานการไหล (Flow Resistance) ต่ำ ทำให้รีเจนเนอแรนต์ไหลผ่านเรซินเร็วกว่าบริเวณอื่น ๆ และมีเวลาสัมผัสกับเรซินน้อยลง จึงรีเจนเนอเรชันได้ไม่ดี และ Naden et al., (1984) ซึ่งกล่าวว่า การทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม (ที่มีทิศทางไหลลง) จะมีการกระจายรีเจนแรนต์ได้ดีกว่าแบบไหลสวนทาง (ที่มีทิศทางไหลขึ้น) เพราะรีเจนเนอแรนต์ไหลผ่านเม็ดเรซินขนาดเล็กที่อยู่ตอนบน ซึ่งมีความดันลด (Pressure Drop) สูง ทำให้เกิดการกระจายได้ทั่วผิวหน้าชั้นเรซิน ส่วนการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง (ที่มีทิศทางไหลขึ้น) ที่อัตราไหลต่ำ รีเจนเนอแรนต์จะผ่านเม็ดเรซินตอนล่างที่มีขนาดใหญ่กว่าทำให้กระจายไม่ทั่วถึง

นอกจากนี้ จากผลการทดลองในตารางที่ 4.4 - 4.9 พบว่า ความกระด้างในน้ำออกของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามมีค่ามากกว่าแบบไหลสวนทางประมาณ 15 ถึง 20 เท่า และจากตารางที่ 4.10 ยังพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางมีค่าสูงกว่าแบบไหลตาม อธิบายได้ว่า ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง เรซินบริเวณทางน้ำออกจะถูกรีเจนเนอเรชันอย่างสมบูรณ์ และจะดักจับไอออนที่ไม่ต้องการเอาไว้ ทำให้ปริมาณไอออนที่รั่วออกมามีค่าต่ำกว่าแบบไหลตามซึ่งเรซินบริเวณทางน้ำออกมีไอออนที่ไม่ต้องการตกค้างและสะสมอยู่

ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม

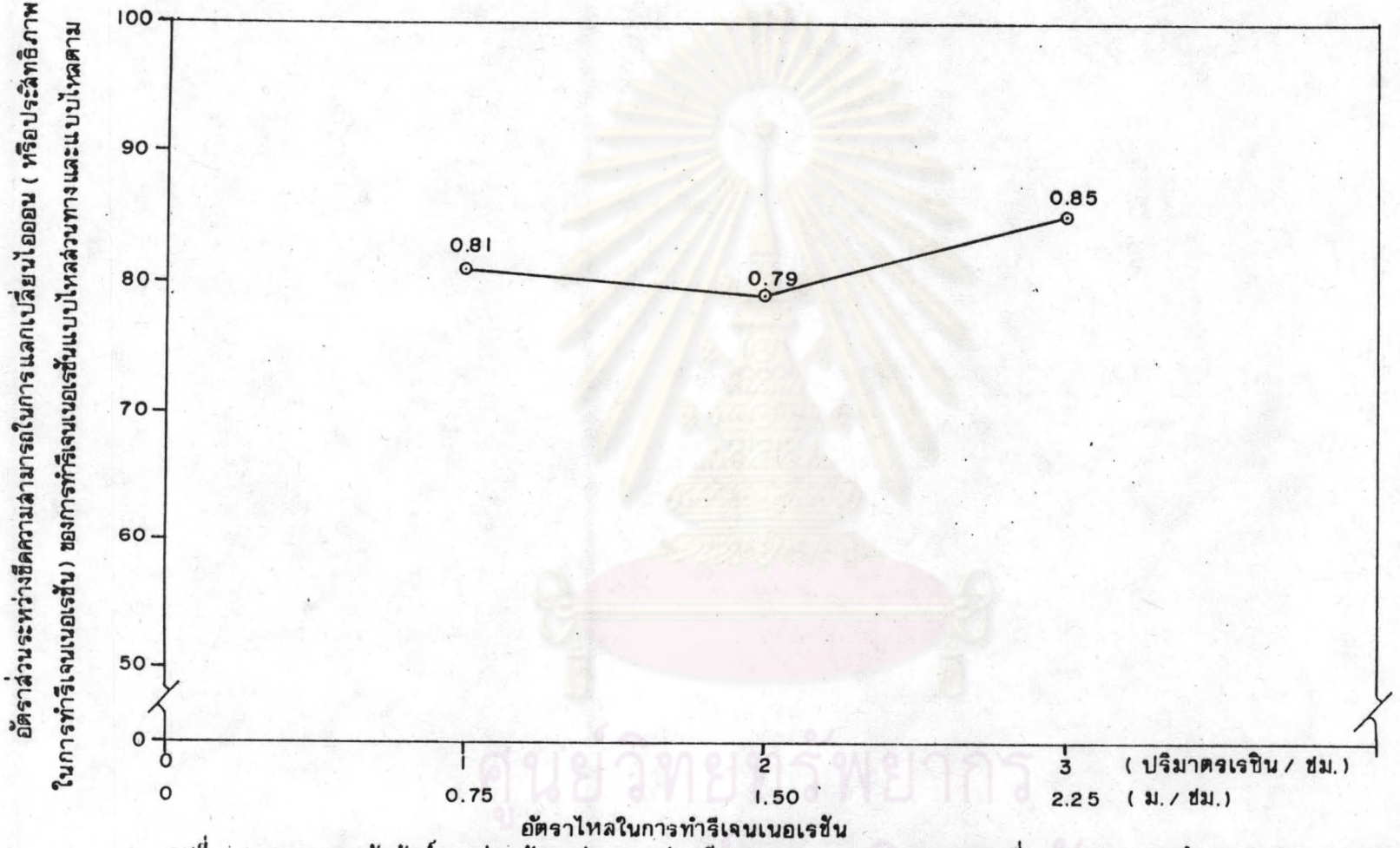
อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน (ปริมาตรเรซิน/ชม.)	อัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยน (หรือประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน) ของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางและไหลตาม
1 (0.75 ม./ชม.)	0.81
2 (1.50 ม./ชม.)	0.79
3 (2.25 ม./ชม.)	0.85

ดังนั้น เมื่อมองภาพรวมแล้วจะเห็นว่า การทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางที่อัตราไหลต่ำ จะมีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนประมาณ 79 - 85 เปอร์เซนต์ของแบบไหลตาม เช่นเดียวกับประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน แต่น้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนจะมีคุณภาพและประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนสูงกว่าแบบไหลตาม ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

4.2 การเปรียบเทียบผลการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทางของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน

ในการทดลองการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม และไหลสวนทางให้กับเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน สามารถแยกพิจารณาเป็นกรณีได้ดังนี้คือ

4.2.1 ผลการทดลองการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทางของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (หรือประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน) ของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางและแบบไหลตาม กับอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม

ตารางที่ ก-25 ถึง ก-44 ในภาคผนวก ก แสดงผลการทดลองทั้งหมดในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทางของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน

ตารางที่ 4.12 และ 4.13 แสดงขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทาง ของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน และได้สรุปขีดความสามารถและประสิทธิภาพไว้ในตารางที่ 4.14 นอกจากนี้ได้แสดงผลเปรียบเทียบในลักษณะของกราฟเชิงเส้นดังในรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ จากตารางและรูปดังกล่าว จะเห็นว่าในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันแปรผกผันกับอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน คือ ขีดความสามารถและประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราไหลต่ำลง แต่มิได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ มีค่าสูงสุดที่อัตราไหล 2 ปริมาตรเรซิน/ชม. (1.50 ม./ชม.) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่ 1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 ม./ชม.) และมีค่าต่ำสุดที่อัตราไหล 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. เหตุที่เป็นดังนี้ก็เพราะรีเจนเนอแรนต์มีเวลาแลกเปลี่ยนไอออนกับเรซินน้อยลง เป็นไปตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.1.1

ส่วนการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันแปรตาม อัตราไหลในการทำรีเจนเนอ-เรชันคือ ขีดความสามารถและประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราไหลเพิ่มขึ้น แต่มิได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ มีค่าสูงสุดที่อัตราไหล 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (2.25 ม./ชม.) และมีค่าต่ำสุดที่อัตราไหล 1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 ม./ชม.) จากผลการทดลองดังกล่าวอธิบายได้ว่าการทำรีเจนเนอเรชันเรซินแบบกรดแก่ให้อยู่ในรูปไฮโดรเจนจะทำให้เม็ดเรซินมีขนาดใหญ่ และมีช่องว่างระหว่างเม็ดเรซินมาก เพราะว่าเรซินในรูปไฮโดรเจน มีขนาดเม็ดเรซินใหญ่มาก (Arden, 1968) ดังนั้น เมื่อใช้อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน 1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 ม./ชม.) รีเจนเนอแรนต์จะกระจายไม่ทั่วถึงเท่ากับ อัตราไหลที่สูงกว่าเช่น 2 ปริมาตรเรซิน/ชม. (1.50 ม./ชม.) หรือ 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (2.25 ม./ชม.) ซึ่ง Streicher et al. (1950) กล่าวไว้ว่า อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันจะต้องไม่ต่ำเกินไป จนทำให้รีเจนเนอแรนต์กระจายไม่ทั่วถึง และยังกล่าวไว้ว่ารีเจนเนอแรนต์ ที่อัตราไหลต่ำจะ

ตารางที่ 4.12 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามของเรซิน แบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน

การทดลองที่	อัตรารีเจนเนอเรชัน (ปริมาตรเรซิน/ชม.)	ขีดความสามารถในการ* แลกเปลี่ยนไอออน (กก./ลบ.ม. หินปูน)	ประสิทธิภาพในการทำ* รีเจนเนอเรชัน (เปอร์เซนต์)
26	1	69.49	45.20
27	(0.75 ม./ชม.)	69.78	45.39
28		68.84	44.78
29	2	68.87	44.80
30	(1.50 ม./ชม.)	70.92	46.13
31		69.57	45.25
32		65.92	42.88
33	3	65.18	42.40
34	(2.25 ม./ชม.)	67.57	43.95
61		67.23	43.73

* ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน

การทดลองที่	อัตรารีเจนเนอเรชัน (ปริมาตรเรซิน/ชม.)	ขีดความสามารถในการ* แลกเปลี่ยนไอออน (กก./ลบ.ม. หินปูน)	ประสิทธิภาพในการทำ* รีเจนเนอเรชัน (เปอร์เซนต์)
35	1	58.14	37.82
36	(0.75 ม./ชม.)	58.35	37.96
37		58.67	38.16
38	2	60.53	39.37
39	(1.50 ม./ชม.)	61.78	40.19
40		58.53	38.07
41		61.57	40.05
42	3	60.36	39.26
43	(2.25 ม./ชม.)	62.76	40.82
63		63.92	41.58

* ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ช

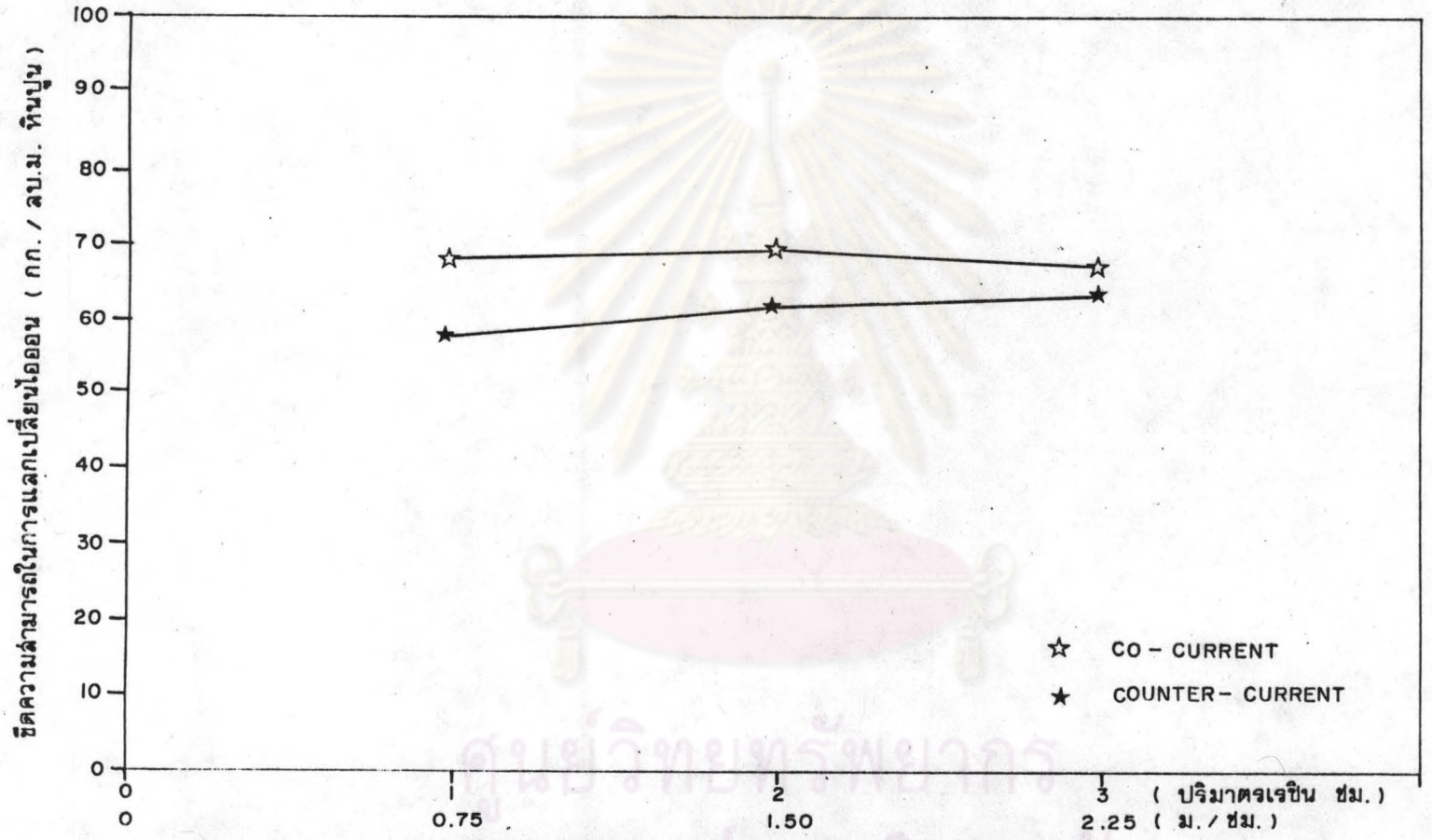
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไหลแบบราบเรียบ (Laminar) แตกต่างกับอัตราไหลที่สูงกว่า รีเจนเนอแรนต์จะมีการไหลอย่างปั่นป่วน (Turbulance) มากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูงกว่าด้วย ซึ่งในกรณีนี้จะเห็นว่าเวลาที่รีเจนเนอแรนต์สัมผัสกับเรซินที่เพิ่มขึ้นมีอิทธิพลน้อยกว่า

ตารางที่ 4.14 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน

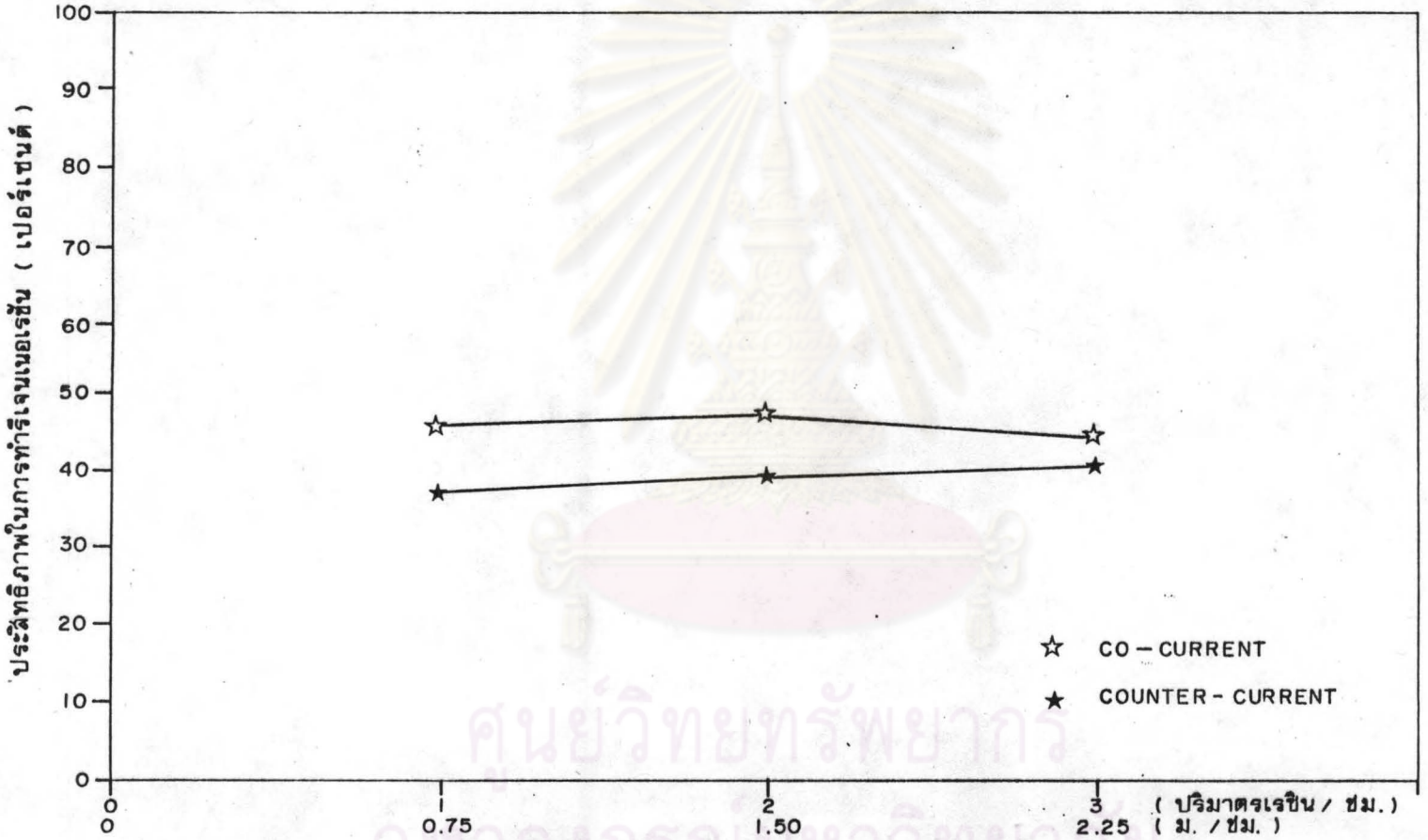
อัตราไหลการทำรีเจนเนอเรชัน (ปริมาตรเรซิน/ชม.)	ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (กก./ลบ.ม. หินปูน)	ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน (เปอร์เซนต์)
<u>แบบไหลตาม</u>		
1 (0.75 ม./ชม.)	69.37	45.12
2 (1.50 ม./ชม.)	69.79	45.39
3 (2.25 ม./ชม.)	66.48	43.24
<u>แบบไหลสวนทาง</u>		
1 (0.75 ม./ชม.)	58.39	37.98
2 (1.50 ม./ชม.)	60.28	39.21
3 (2.25 ม./ชม.)	62.15	40.43

ตารางที่ 4.15 ถึง 4.20 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน และได้สรุปประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนของเรซินแบบนี้ไว้ในตารางที่ 4.21 จากตารางดังกล่าว สำหรับการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหล



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน และอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันและอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน (การทดลองที่ 26) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม ที่อัตรา 1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 ม./ชม)

ปริมาณน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน				
	ความกระด้าง (มก./ล.หินปูน)	โซเดียม (มก./ล.หินปูน)	สภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครโมห์/ซม.)	ความเป็นกรด (มก./ล.หินปูน)	พีเอช
20.00	0.5	5.21	2790	375	2.45
40.00	0.5	5.21	2770	374	2.45
60.00	0.5	4.95	2810	375	2.45
80.00	0.5	5.11	2800	375	2.45
100.00	0.5	5.15	2820	374	2.45
120.00	0.5	10.88	2790	369	2.40
137.20*	0.8	40.70	2680	338	2.45
น้ำดิบ	382.4	124.08	1034	0	7.40

* จุดยุติ คือ จุดที่ความเป็นกรดน้อยกว่า 344 มก./ล. หินปูน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน (การทดลองที่ 29) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม ที่อัตรา 2 ปริมาตรเรซิน/ชม. (1.50 ม./ชม)

ปริมาณน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน				
	ความกระด้าง (มก./ล.หินปูน)	โซเดียม (มก./ล.หินปูน)	สภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครโมห์/ซม.)	ความเป็นกรด (มก./ล.หินปูน)	พีเอช
20.00	0.5	4.82	2820	375	2.40
40.00	0.5	4.75	2810	374	2.40
60.00	0.5	5.00	2830	375	2.40
80.00	0.5	4.85	2830	376	2.45
100.00	0.3	4.70	2850	376	2.40
120.00	0.5	10.27	2760	368	2.45
136.25*	0.5	38.50	2680	336	2.45
น้ำดิบ	381.4	124.08	992	0	7.40

* จุดยุติ คือ จุดที่ความเป็นกรดน้อยกว่า 343 มก./ล. หินปูน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน (การทดลองที่ 32) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม ที่อัตรา 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (2.25 ม./ชม)

ปริมาณน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน				
	ความกระด้าง (มก./ล.หินปูน)	โซเดียม (มก./ล.หินปูน)	สภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครโมห์/ซม.)	ความเป็นกรด (มก./ล.หินปูน)	พีเอช
20.00	0.5	5.21	2840	377	2.45
40.00	0.5	5.69	2780	377	2.45
60.00	0.5	5.65	2770	376	2.45
80.00	0.5	5.57	2790	378	2.40
100.00	0.5	5.57	2760	377	2.45
120.00	0.8	12.11	2780	368	2.40
129.64*	0.9	41.40	2670	337	2.45
น้ำดิบ	384.4	124.08	1040	0	7.35

* จุดยุติ คือ จุดที่ความเป็นกรดน้อยกว่า 346 มก./ล. หินปูน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน (การทดลองที่ 35) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง ที่อัตรา 1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 ม./ชม)

ปริมาณน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน				
	ความกระด้าง (มก./ล.หินปูน)	โซเดียม (มก./ล.หินปูน)	สภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครโมห์/ซม.)	ความเป็นกรด (มก./ล.หินปูน)	พีเอช
20.00	0.3	0.91	2830	363	2.45
40.00	0.3	1.10	2800	364	2.40
60.00	0.3	1.05	2810	364	2.45
80.00	0.3	1.13	2770	363	2.45
100.00	0.3	6.59	2740	357	2.40
118.19*	0.8	40.05	2620	323	2.50
น้ำดิบ	365.7	126.26	1020	0	7.40

* จุดยุติ คือ จุดที่ความเป็นกรดน้อยกว่า 329 มก./ล. หินปูน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน (การทดลองที่ 38) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง ที่อัตรา 2 ปริมาตรเรซิน/ชม. (1.50 ม./ชม)

ปริมาณน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน				
	ความกระด้าง (มก./ล.หินปูน)	โซเดียม (มก./ล.หินปูน)	สภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครโมห์/ซม.)	ความเป็นกรด (มก./ล.หินปูน)	พีเอช
20.00	0.3	0.87	2960	383	2.45
40.00	0.3	0.94	2950	384	2.40
60.00	0.3	0.87	2970	385	2.40
80.00	0.3	0.85	2980	384	2.40
100.00	0.5	8.82	2940	379	2.40
117.17*	1.4	36.14	2760	337	2.45
น้ำดิบ	359.0	130.61	1070	0	7.10

* จุดยุติ คือ จุดที่ความเป็นกรดน้อยกว่า 323 มก./ล. หินปูน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.20 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน (การทดลองที่ 41) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง ที่อัตรา 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (2.25 ม./ชม)

ปริมาณน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน				
	ความกระด้าง (มก./ล.หินปูน)	โซเดียม (มก./ล.หินปูน)	สภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครโมห์/ซม.)	ความเป็นกรด (มก./ล.หินปูน)	พีเอช
20.00	0.3	1.11	2850	367	2.40
40.00	0.5	1.27	2860	366	2.45
60.00	0.3	1.35	2860	367	2.40
80.00	0.3	1.27	2820	367	2.40
100.00	0.3	2.50	2810	367	2.40
120.00	0.5	10.11	2720	354	2.40
123.62*	1.0	40.05	2670	317	2.50
น้ำดิบ	369.7	128.43	1060	0	7.35

* จุดยุติ คือ จุดที่ความเป็นกรดน้อยกว่า 333 มก./ล. หินปูน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน

อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน (ปริมาตรเรซิน/ชม.)	ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออน (เปอร์เซนต์)			
	แคลเซียม	แมกนีเซียม	ความกระด้าง	โซเดียม
<u>แบบไหลตาม</u>				
1 (0.75 ม./ชม.)	99.99	99.99	99.85	95.87
2 (1.50 ม./ชม.)	99.99	99.99	99.87	95.86
3 (2.25 ม./ชม.)	99.99	99.99	99.84	95.66
<u>แบบไหลสวนทาง</u>				
1 (0.75 ม./ชม.)	99.99	99.99	99.93	99.17
2 (1.50 ม./ชม.)	99.99	99.99	99.92	99.23
3 (2.25 ม./ชม.)	99.99	99.99	99.85	98.85

ตามพบว่า แคลเซียม และแมกนีเซียมในน้ำออกมีค่าต่ำมากจนตรวจไม่พบ เพราะว่าเรซินมีความชอบไอออนทั้งสองสูงกว่าโซเดียมมาก (Calmon et al., 1979) เรซินจึงจับไอออนทั้งสองไว้ได้อย่างมั่นคง ส่วนความกระด้างและโซเดียมในน้ำออกมีค่าต่ำที่สุดที่อัตราไหล 1 และ 2 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 และ 1.50 ม./ชม.) และมีค่าเพิ่มขึ้นที่อัตราไหล 3 ปริมาตรเรซิน /ชม. (2.25 ม./ชม.) ซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.1.1 ส่วนค่าพีเอชจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเป็นกรดเพราะว่าผลของปฏิกิริยาจะได้กรด ซึ่งความเป็นกรดแปรผกผันกับปริมาณไอออนที่รั่วออกมา นอกจากนี้พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคลเซียม และแมกนีเซียม มีค่าเกือบ 100 เปอร์เซนต์ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดความกระด้างมีค่าใกล้เคียงกันทุกอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน คือ มากกว่า 99 เปอร์เซนต์ และประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมจะมีค่าต่ำ

กว่าความกระด้าง คือ ประมาณ 96 เปอร์เซนต์ ทั้งนี้เพราะว่า เรซินมีความชอบความกระด้าง (ในรูปแคลเซียมและแมกนีเซียม) มากกว่าโซเดียม (Calmon et al., 1979) สำหรับการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางพบว่า แคลเซียม และแมกนีเซียมในน้ำออกมีค่าต่ำมากจนตรวจไม่พบเช่นเดียวกับแบบไหลตาม ส่วนความกระด้าง และโซเดียมในน้ำออกมีค่าใกล้เคียงทุกอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน ซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.1.1 ส่วนค่าพีเอชและความเป็นกรดเป็นเช่นเดียวกับแบบไหลตาม ประสิทธิภาพในการกำจัดแคลเซียมและแมกนีเซียมเป็นเช่นเดียวกับแบบไหลตาม ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดความกระด้างมีค่าใกล้เคียงกันทุกอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน คือ มากกว่า 99 เปอร์เซนต์ และโซเดียมมีค่าประมาณ 99 เปอร์เซนต์ ทั้งนี้เพราะว่าปริมาณไอออนที่รั่วออกมามีค่าคงที่และต่ำมาก

จากการทดลองนี้พบว่า อัตราไหลที่เหมาะสมในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและแบบไหลสวนทางคือ 2 และ 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (1.50 และ 2.25 ม./ชม.) ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก ที่อัตราไหลดังกล่าว มีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูงสุด

4.2.2 <u>การเปรียบเทียบผลการทดลองการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม และไหลสวนทางของเรซินของกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน</u>

ตารางที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน และได้แสดงผลเปรียบเทียบในลักษณะของกราฟเชิงเส้นในรูปที่ 4.6 จากตารางและรูปจะเห็นว่า ขีดความสามารถของแบบไหลสวนทางมีค่าต่ำกว่า และมีค่าประมาณ 84 ถึง 93 เปอร์เซนต์ของแบบไหลตาม โดยประสิทธิภาพก็มีค่าเช่นเดียวกัน อธิบายได้เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.1.2

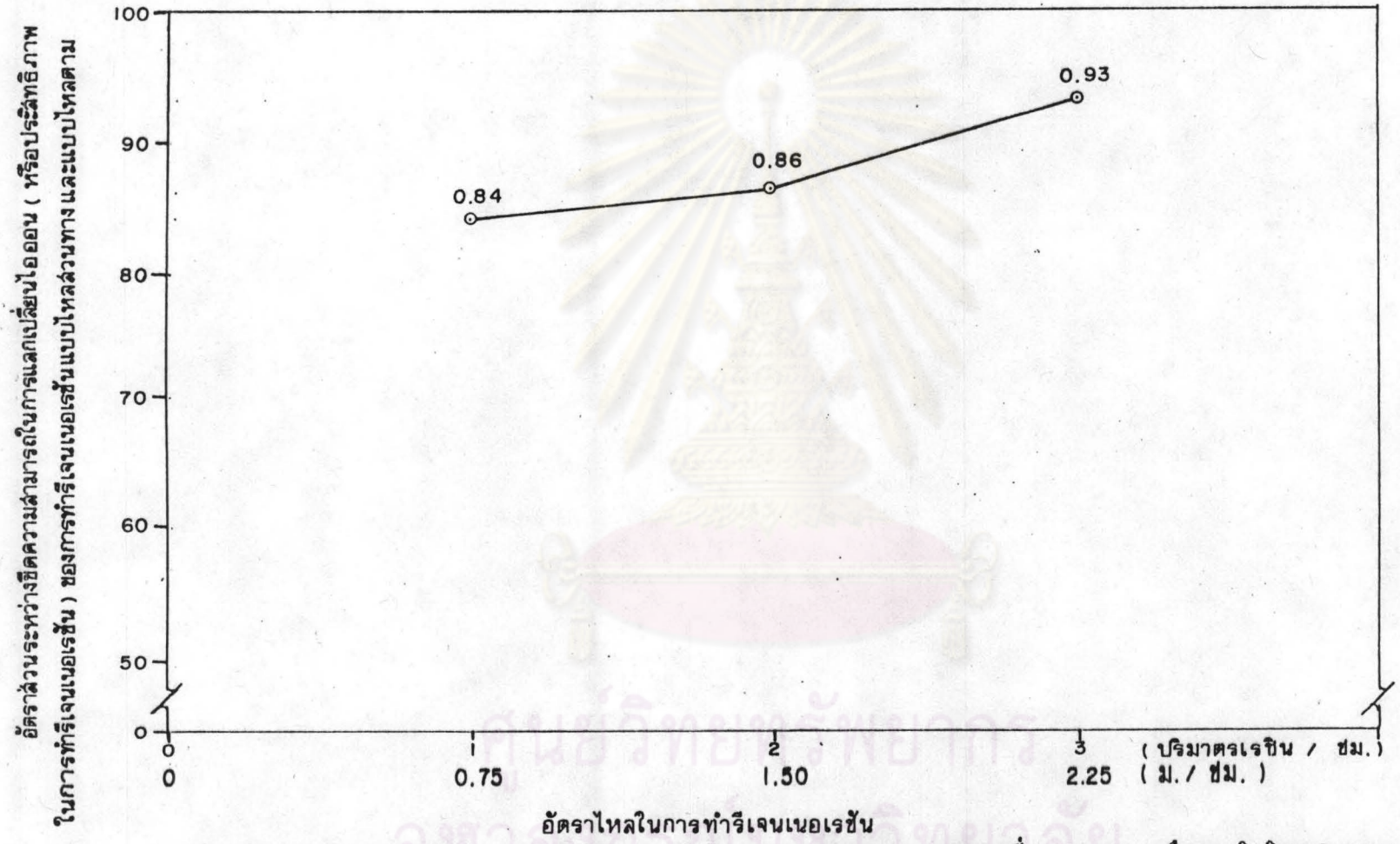
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.15 ถึง 4.20 จะเห็นได้ว่า แคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำออกของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทาง มีค่าต่ำมากจนตรวจไม่พบ ส่วนความกระด้าง และโซเดียมในน้ำออกของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามมีค่า

มากกว่าแบบไหลสวนทางประมาณ 2 และ 5 เท่า ตามลำดับ และในทำนองเดียวกันจากตารางที่ 4.21 พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดแคลเซียม แมกนีเซียมและความกระด้างของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทางมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมของแบบไหลสวนทางมีค่าสูงกว่าแบบไหลตาม อธิบายได้เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.1.2

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองทั้งหมดแล้ว จะเห็นว่า การทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางที่อัตราไหลต่ำ มีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนประมาณ 84 ถึง 93 เปอร์เซนต์ ของแบบไหลตาม เช่นเดียวกับประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน แต่โซเดียมในน้ำออกจะมีค่าต่ำกว่าและประสิทธิภาพในกำจัดโซเดียมจะสูงกว่าแบบไหลตาม ดังที่ได้กล่าวข้างต้น

ตารางที่ 4.22 การเปรียบเทียบขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน

อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน (ปริมาตรเรซิน/ชม.)	อัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (หรือประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน) ของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางและไหลตาม
1 (0.75 ม./ชม.)	0.84
2 (1.50 ม./ชม.)	0.86
3 (2.25 ม./ชม.)	0.93



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (หรือประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน) ของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางและแบบไหลตาม กับอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน

4.3 การเปรียบเทียบผลของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทางของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์

ในการทดลองการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทางให้กับเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์ สามารถแยกพิจารณาเป็นกรณีได้ดังนี้คือ

4.3.1 ผลการทดลองการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทางของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ก-45 ถึง ก-63 ในภาคผนวก ก แสดงผลการทดลองการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทางของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4.23 และ 4.24 แสดงขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทางของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์ และได้สรุปขีดความสามารถและประสิทธิภาพไว้ในตารางที่ 4.25 นอกจากนี้ได้แสดงผลเปรียบเทียบในลักษณะของกราฟเชิงเส้นดังในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ จากตารางและรูปดังกล่าวจะเห็นว่า ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันไม่ขึ้นอยู่กับอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน โดยขีดความสามารถและประสิทธิภาพมีค่าสูงสุดที่อัตราไหล 2 ปริมาตรเรซิน/ชม. (1.50 ม./ชม.) และมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 อัตราไหล แต่ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางจะแปรผกผันอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน มีค่าสูงสุดที่อัตราไหล 1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 ม./ชม.) และต่ำสุดที่อัตราไหล 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (2.25 ม./ชม.) ผลการทดลองอธิบายได้ว่า ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันที่ใช้ คือ 1 2 และ 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 1.50 และ 2.25 ม./ชม.) เป็นช่วงอัตราไหลที่เหมาะสม ซึ่งรีเจนเนอแรนต์สามารถกระจายและแลกเปลี่ยนไอออนได้เท่า ๆ กัน ดังนั้น จึงทำให้ขีดความสามารถและประสิทธิภาพมีค่าค่อนข้างคงที่ ส่วนกรณีการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง อัตราไหลในการทำ

ตารางที่ 4.23 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามของเรซินแบบต่างแก่ ในรูปไฮดรอกไซด์

การทดลองที่	อัตรารีเจนเนอเรชัน (บริมาตรเรซิน/ชม.)	ขีดความสามารถในการ* แลกเปลี่ยนไอออน (กก./ลบ.ม. หินปูน)	ประสิทธิภาพในการทำ* รีเจนเนอเรชัน (เปอร์เซนต์)
44	1 (0.75 ม./ชม.)	27.78	34.69
44A		27.28	34.07
45		26.26	32.80
59		27.24	34.02
46	2 (1.50 ม./ชม.)	28.44	35.52
46A		27.33	34.13
47		27.54	34.39
48	3 (2.25 ม./ชม.)	27.14	33.90
48A		27.30	34.10
49		26.94	33.65

* ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.24 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์

การทดลองที่	อัตรารีเจนเนอเรชัน (บริมาตรเรซิน/ชม.)	ขีดความสามารถในการ* แลกเปลี่ยนไอออน (กก./ลบ.ม. หินปูน)	ประสิทธิภาพในการทำ* รีเจนเนอเรชัน (เปอร์เซนต์)
50	1	27.78	34.69
51	(0.75 ม./ชม.)	27.71	34.61
52		28.20	35.22
53	2	20.89	26.09
56	(1.50 ม./ชม.)	20.14	25.15
57		20.31	25.37
54	3	17.70	22.11
55	(2.25 ม./ชม)	18.09	22.59
58		17.35	21.67

* ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ช

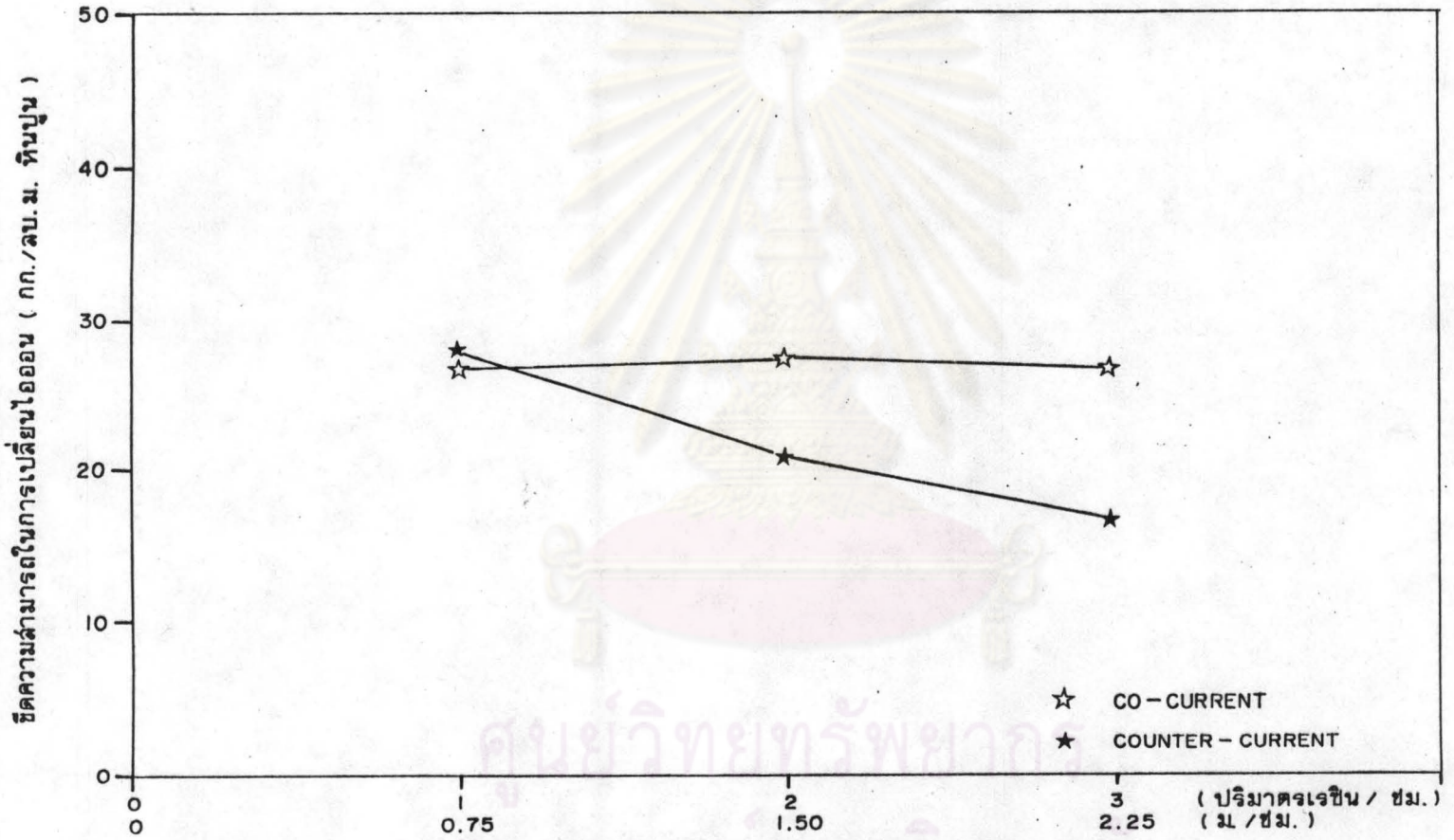
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รีเจนเนอเรชันที่สูงขึ้น จะทำให้ชั้นเรซินขยายตัวมากขึ้น ดังผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.26 เพราะว่าเรซินแบบด่างแก่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแบบกรดแก่ประมาณ 20 เปอร์เซนต์(Helfferich, 1962) เมื่อชั้นเรซินขยายตัวจะทำให้เกิดช่อง (Channel)ในชั้นเรซินและรีเจนเนอแรนต์ไหลลัดทาง และยังทำให้เรซินผสมกันทั่วชั้นเรซิน (Abrams, 1973)

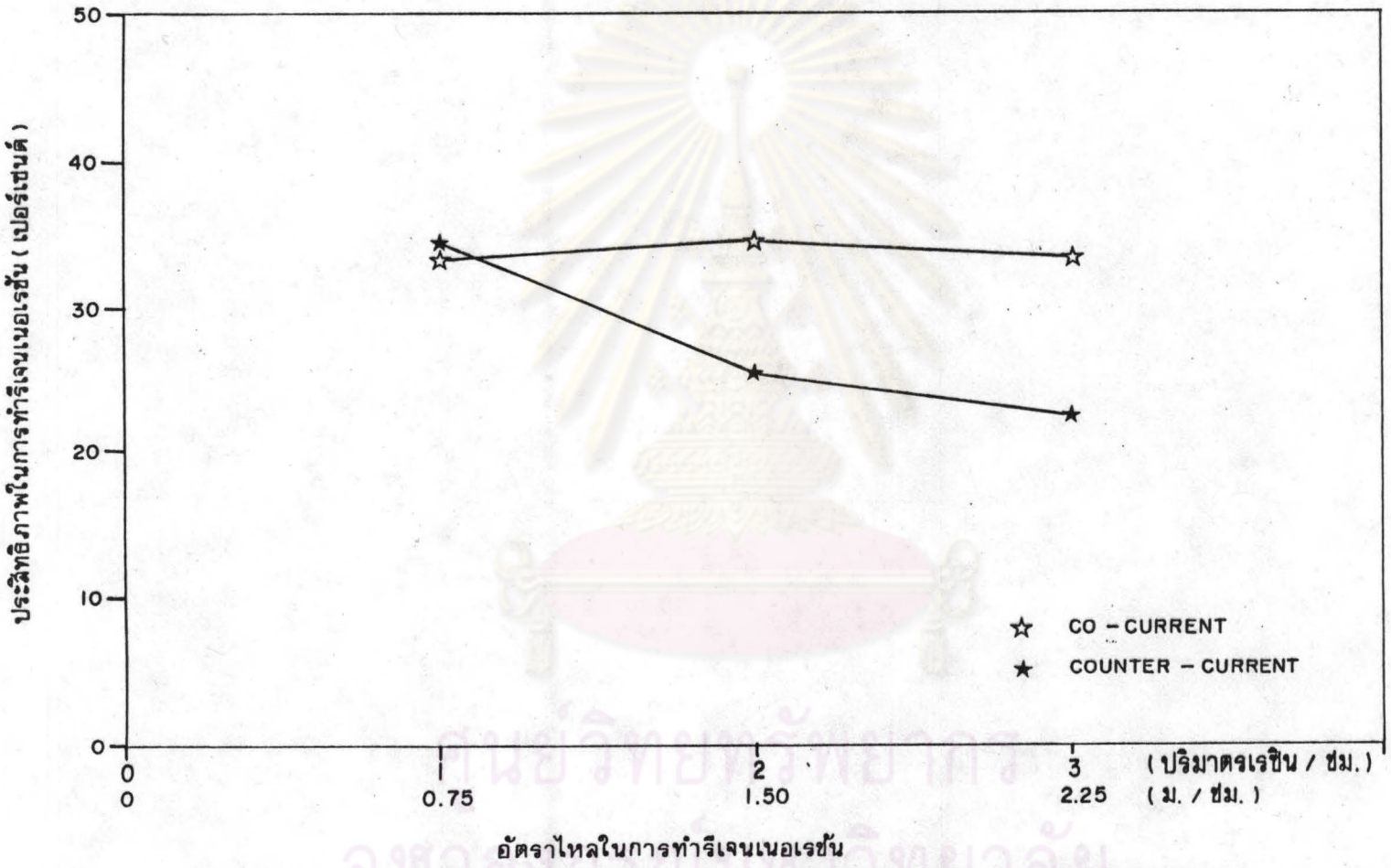
ตารางที่ 4.25 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์

อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน (ปริมาตรเรซิน/ชม.)	ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (กก./ลบ.ม หินปูน)	ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน (เปอร์เซนต์)
<u>แบบไหลตาม</u>		
1 (0.75 ม./ชม.)	27.14	33.90
2 (1.50 ม./ชม.)	27.77	34.68
3 (2.25 ม./ชม.)	27.13	33.88
<u>แบบไหลสวนทาง</u>		
1 (0.75 ม./ชม.)	27.90	34.84
2 (1.50 ม./ชม.)	20.45	25.54
3 (2.25 ม./ชม.)	17.71	22.12

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน และอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน และอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบต่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4.26 เปอร์เซนต์การขยายตัวของเรซินในขณะทำการรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์

อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน (ปริมาตรเรซิน/ชม.)	เปอร์เซนต์การขยายตัวของเรซิน (เปอร์เซนต์)
1 (0.75 ม./ชม.)	0.00
2 (1.50 ม./ชม.)	4.56
3 (2.25 ม./ชม.)	14.32

ตารางที่ 4.27 ถึง 4.32 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์ และได้สรุปประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนของเรซินแบบนี้ไว้ในตารางที่ 4.33 จากตารางดังกล่าว สำหรับการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามพบว่าซัลเฟตในน้ำออกมีค่าต่ำมากจนตรวจไม่พบเพราะว่าเรซินมีความชอบซัลเฟตมากกว่าคลอไรด์มาก(Calmon et al., 1979) ส่วนคลอไรด์ในน้ำออกจะมีค่าใกล้เคียงกันทุกอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน ทั้งนี้ เพราะว่าผลของปฏิกิริยาจะได้น้ำซึ่งไม่สามารถไปรีเจนเนอเรทคลอไรด์ที่ตกค้างและสะสมอยู่ในเรซินบริเวณทางน้ำออก ในทำนองเดียวกันพีเอชของน้ำออกจะมีค่าเป็นกลาง และสภาพการนำไฟฟ้ามีค่าแปรตามคลอไรด์ที่รั่วออกมา ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตและสภาพการนำไฟฟ้าจะมีค่าเกือบ 100 เปอร์เซนต์ ส่วนคลอไรด์มีค่ามากกว่า 99 เปอร์เซนต์ สำหรับการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางพบว่า ซัลเฟตในน้ำออกมีค่าเช่นเดียวกับแบบไหลตาม และคลอไรด์ในน้ำออกจะมีค่าใกล้เคียงกันทุกอัตราไหลเช่นเดียวกับแบบไหลตาม อธิบายได้เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.1.1 ส่วนพีเอชและสภาพการนำไฟฟ้า มีค่าทำนองเดียวกับแบบไหลตาม นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนก็มีค่าเช่นเดียวกับแบบไหลตาม

ตารางที่ 4.27 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์ (การทดลองที่ 44) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม ที่อัตราไหล 1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 ม./ชม.)

ปริมาตรที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน			
	ซัลเฟต (มก./ล.หินปูน)	คลอไรด์ (มก./ล.หินปูน)	สภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครโมห์/ซม.)	พีเอช
10.00	ND*	1.40	1.70	8.40
20.00	ND*	1.4	1.7	8.30
30.00	ND*	1.4	1.8	8.35
40.00	ND*	1.4	1.7	8.35
50.00	ND*	1.4	1.9	8.40
56.93**	ND*	9.8	58.1	4.30
น้ำดิบ	333.7	154.3	3520.0	2.30

* ND คือ ปริมาณที่ตรวจไม่พบ

** จุดยุติ คือ จุดที่สภาพการนำไฟฟ้ามากกว่า 50 ไมโครโมห์/ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.28 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์ (การทดลองที่ 46) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม ที่อัตราไหล 2 ปริมาตรเรซิน/ชม. (1.50 ม./ชม.)

ปริมาตรที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน			
	ซัลเฟต (มก./ล.หินปูน)	คลอไรด์ (มก./ล.หินปูน)	สภาพการนำไฟฟ้า ไมโครโมห์/ซม.)	พีเอช
10.00	ND*	1.4	1.9	8.45
20.00	ND*	1.4	1.9	8.55
30.00	ND*	1.4	1.8	8.40
40.00	ND*	1.4	1.8	8.40
50.00	ND*	1.4	1.8	8.45
57.83**	ND*	9.1	56.1	4.40
น้ำดิบ	327.9	163.9	3620.0	2.30

* ND คือ ปริมาณที่ตรวจไม่พบ

** จุดยุติ คือ จุดที่สภาพการนำไฟฟ้ามากกว่า 50 ไมโครโมห์/ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.29 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์ (การทดลองที่ 48) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม ที่อัตราไหล 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (2.25 ม./ชม.)

ปริมาตรที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน			
	ซัลเฟต (มก./ล.หินปูน)	คลอไรด์ (มก./ล.หินปูน)	สภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครโมห์/ซม.)	พีเอช
10.00	ND*	1.4	1.8	8.30
20.00	ND*	1.4	1.8	8.30
30.00	ND*	1.4	1.7	8.30
40.00	ND*	1.7	2.0	8.35
50.00	ND*	1.7	2.0	8.30
54.09**	ND*	9.8	62.0	4.35
น้ำดิบ	340.5	161.1	3620.0	2.30

* ND คือ ปริมาณที่ตรวจไม่พบ

** จุดยุติ คือ จุดที่สภาพการนำไฟฟ้ามากกว่า 50 ไมโครโมห์/ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.30 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์ (การทดลองที่ 50) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง ที่อัตราไหล 1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 ม./ชม.)

ปริมาตรที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน			
	ซัลเฟต (มก./ล.หินปูน)	คลอไรด์ (มก./ล.หินปูน)	สภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครโมห์/ซม.)	พีเอช
10.00	ND*	1.0	1.5	8.45
20.00	ND*	1.0	1.5	8.45
30.00	ND*	1.0	1.4	8.40
40.00	ND*	1.0	1.5	8.45
50.00	ND*	1.0	1.6	8.45
56.38**	ND*	10.1	63.6	4.20
น้ำดิบ	334.5	158.1	3610.0	2.35

* ND คือ ปริมาณที่ตรวจไม่พบ

** จุดยุติ คือ จุดที่สภาพการนำไฟฟ้ามากกว่า 50 ไมโครโมห์/ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.31 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์ (การทดลองที่ 53) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง ที่อัตราไหล 2 ปริมาตรเรซิน/ชม. (1.50 ม./ชม.)

ปริมาตรที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน			
	ซัลเฟต (มก./ล.หินปูน)	คลอไรด์ (มก./ล.หินปูน)	สภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครโมห์/ซม.)	พีเอช
10.00	ND*	1.0	1.5	8.30
20.00	ND*	1.0	1.4	8.30
30.00	ND*	1.0	1.5	8.30
40.00	ND*	1.0	1.5	8.40
43.10**	ND*	9.5	57.6	4.35
น้ำดิบ	332.9	151.7	3550.0	2.40

* ND คือ ปริมาณที่ตรวจไม่พบ

** จุดยุติ คือ จุดที่สภาพการนำไฟฟ้ามากกว่า 50 ไมโครโมห์/ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.32 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบต่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์ (การทดลองที่ 54) ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง ที่อัตราไหล 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (2.25 ม./ชม.)

ปริมาตรที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน			
	ซัลเฟต (มก./ล.หินปูน)	คลอไรด์ (มก./ล.หินปูน)	สภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครโมห์/ซม.)	พีเอช
10.00	ND*	1.0	1.5	8.40
20.00	ND*	1.0	1.5	8.40
30.00	ND*	1.0	1.5	8.45
34.42**	ND*	9.5	58.2	4.35
น้ำดิบ	350.6	163.6	3720.0	2.35

* ND คือ ปริมาณที่ตรวจไม่พบ

** จุดยุติ คือ จุดที่สภาพการนำไฟฟ้ามากกว่า 50 ไมโครโมห์/ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการทดลองนี้พบว่า อัตราไหลที่เหมาะสมสำหรับ การทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทาง คือ 2 และ 1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (1.50 และ 0.75 ม./ชม.) ตามลำดับ เพราะว่าที่อัตราไหลดังกล่าวมีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูงสุด

ตารางที่ 4.33 ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์

อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน (ปริมาตรเรซิน/ชม.)	ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออน (เปอร์เซนต์)		
	ซัลเฟต	คลอไรด์	สภาพการนำไฟฟ้า
<u>แบบไหลตาม</u>			
1 (0.75 ม./ชม.)	99.99	99.09	99.95
2 (1.50 ม./ชม.)	99.99	99.10	99.95
3 (2.25 ม./ชม.)	99.99	99.00	99.95
<u>แบบไหลสวนทาง</u>			
1 (0.75 ม./ชม.)	99.99	99.37	99.95
2 (1.50 ม./ชม.)	99.99	99.34	99.95
3 (2.25 ม./ชม.)	99.99	99.35	99.95

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 การเปรียบเทียบผลการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทางของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4.34 แสดงการเปรียบเทียบขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์ และได้แสดงผลเปรียบเทียบในลักษณะของกราฟเชิงเส้นในรูปที่ 4.9 จากตารางและรูปจะเห็นว่า ขีดความสามารถของแบบไหลสวนทางมีค่าประมาณ 65 - 103 เปอร์เซนต์ ของแบบไหลตาม โดยประสิทธิภาพมีค่าเช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงว่าการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางที่อัตราไหล 1 ปริมาตรเรซิน (0.75 ม./ชม.) เป็นอัตราไหลที่กระจายรีเจนเนอแรนต์ได้ดี และมีเวลาสัมผัสกับเรซินเพียงพอ ส่วนที่อัตราไหล 2 และ 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (1.50 และ 2.25 ม./ชม.) มีขีดความสามารถและประสิทธิภาพต่ำ เพราะเรซินขยายตัวดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3.1

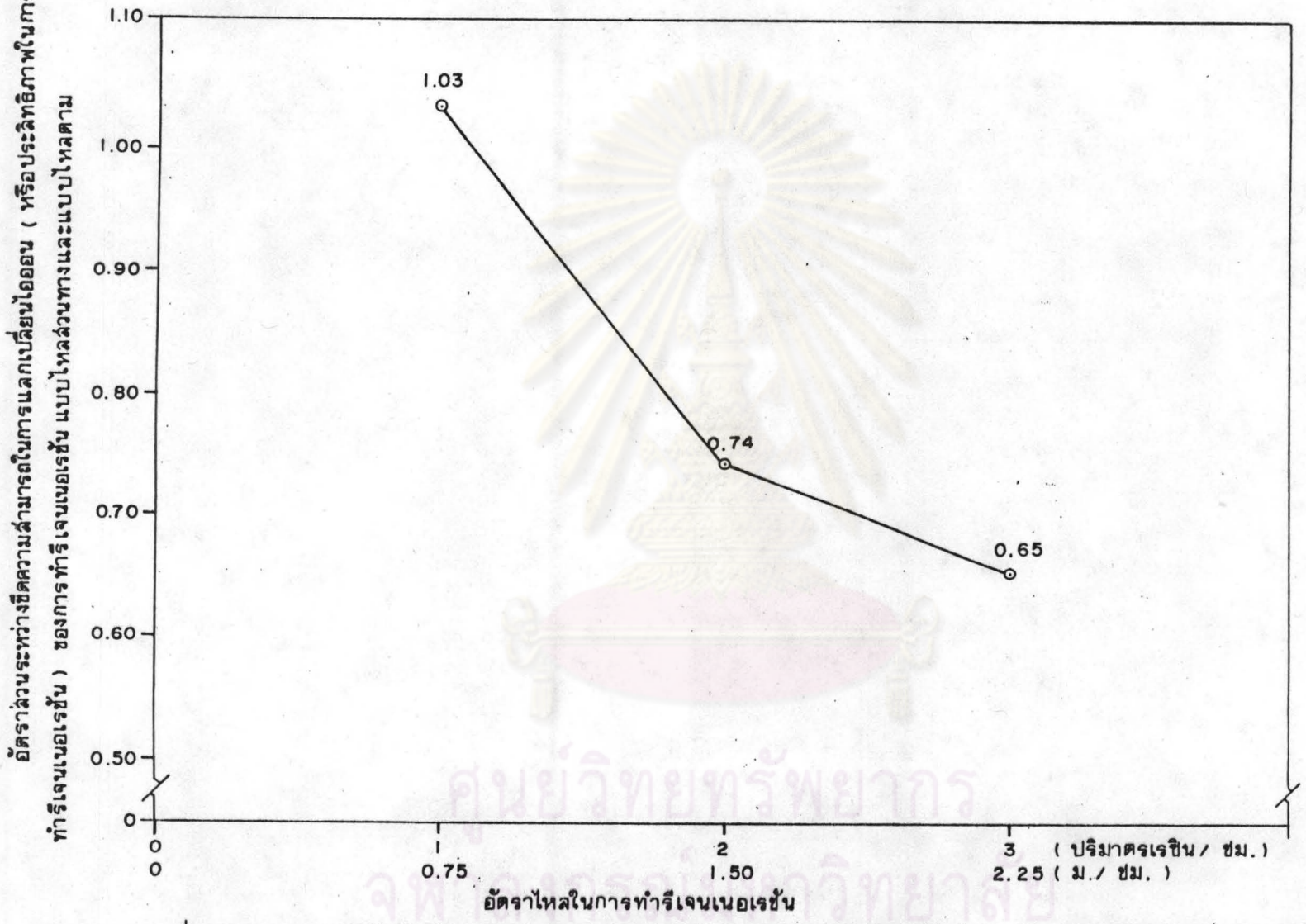
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.27 และ 4.32 พบว่า คลอไรด์และสภาพการนำไฟฟ้าในน้ำออกของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางมีค่าประมาณ 70 และ 90 เปอร์เซนต์ของแบบไหลตาม ตามลำดับ และจากตารางที่ 4.33 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนของแบบไหลสวนทางมีค่าสูงกว่าแบบไหลตามเล็กน้อย ซึ่งเกือบจะไม่มีนัยสำคัญ อธิบายได้ว่า ในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางจะมีเรซินที่สะอาดคอยดักจับไอออนที่ไม่ต้องการออก ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 4.1.2 และเหตุที่ค่าไม่แตกต่างกันมากเพราะว่าผลของปฏิกิริยาของการแลกเปลี่ยนไอออนในการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม ไม่สามารถไปรีเจนเนอเรทไอออนที่เรซินบริเวณทางน้ำออกได้ตามหัวข้อ 4.3.1

เมื่อพิจารณาภาพรวมจากผลการทดลองแล้ว จะเห็นว่าการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางที่อัตราไหลต่ำ จะมีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนประมาณ 65 - 103 เปอร์เซนต์ของแบบไหลตาม เช่นเดียวกับประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน แต่น้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนจะมีคุณภาพ และประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนสูงกว่าเล็กน้อยเช่นกัน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ตารางที่ 4.34 การเปรียบเทียบขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน ของเรซินแบบต่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์

อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน (ปริมาตรเรซิน/ชม.)	อัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (หรือประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน) ของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางและไหลตาม
1 (0.75 ม./ชม.)	1.03
2 (1.50 ม./ชม.)	0.74
3 (2.25 ม./ชม.)	0.65

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (หรือประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน) ของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทางและแบบไหลตามกับอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบต่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย