บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แผนการวิจัยได้กำหนดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

3.1.1 ตัวแปรในการทดลอง

การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทำรีเจเนอเรชันให้กับเรซิน ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้ (ค่าตัวแปรต่าง ๆ ดูตารางที่ 3.1)

- ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1. ชนิดของเรซิน ได้แก่ เรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม และไฮโดรเจน และเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์

2. อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน กำหนดไว้ 3 ระดับ คือ 1 2 และ 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 1.50 และ 2.25 ม./ชม.)

3. ทิศทางการทำรีเจนเนอเรชัน กำหนดไว้ 2 ทิศทาง คือ ไหลตามและไหลสวนทางทิศทางการแลกเปลี่ยนไอออน

- ตัวแปรตาม ได้แก่

ตารางที่ 3.1 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดเรซิน / ตัวแปร	เรซินแบบกรดแก่		เรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์
	ในรูปโซเดียม	ในรูปไฮโดรเจน	
<u>ตัวแปรอิสระ</u>			
1. อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน	1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 ม./ชม.) 2 ปริมาตรเรซิน/ชม. (1.50 ม/ชม. 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (2.25 ม./ชม.)	1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 ม./ชม.) 2 ปริมาตรเรซิน/ชม. (1.50 ม./ชม.) 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (2.25 ม./ชม.)	1 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 ม./ชม.) 2 ปริมาตรเรซิน/ชม. (1.50 ม./ชม.) 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (2.25 ม./ชม.)
<u>ตัวแปรคงที่</u>			
1. ความสูงของชั้นเรซิน	0.75 ม.	0.75 ม.	0.75 ม.
2. รีเจนเนอแรนต์	10 % NaCl (w/v)	10 % HCl (w/v)	4 % NaOH (w/v)
3. ระดับรีเจนเนอเรชัน	96 กก./ลบ.ม.NaCl (82.21 กก./ลบ.ม. หินปูน)	112 กก./ลบ.ม.HCl (153.73 กก./ลบ.ม. หินปูน)	64 กก./ลบ.ม.NaOH (80.07 กก./ลบ.ม. หินปูน)
4. อัตราไหลในการแลก-เปลี่ยนไอออน	20 ปริมาตรเรซิน/ชม (15 ม./ชม.)	20 ปริมาตรเรซิน/ชม (15 ม./ชม.)	20 ปริมาตรเรซิน/ชม. (15 ม./ชม.)
5. อัตราไหลในการชะล้างสารเคมี			

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดเรซิน / ตัวแปร	เรซินแบบกรดแก่		เรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์
	ในรูปโซเดียม	ในรูปไฮโดรเจน	
- อย่างช้า - อย่างเร็ว	อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน อัตราไหลในการแลกเปลี่ยนไอออน	อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน อัตราไหลในการแลกเปลี่ยนไอออน	อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน อัตราไหลในการแลกเปลี่ยนไอออน
6. จุดยุติ*	ความกระด้างมากกว่า 10 มก./ล. หินปูน	ความเป็นกรดน้อยกว่า 90 เปอร์เซนต์ของ TFMA**	สภาพการนำไฟฟ้ามากกว่า 50 ไมโครโมห์/ซม.
7. น้ำดิบสังเคราะห์	ชนิด A	ชนิด B	ชนิด C
ตัวแปรตาม			
1. ลักษณะสมบัติของน้ำที่วิเคราะห์	- ความกระด้าง - พีเอช - อุณหภูมิ	- ความกระด้าง - โซเดียม - สภาพการนำไฟฟ้า - ความเป็นกรด - ความเป็นด่าง - พีเอช - อุณหภูมิ	- ซัลเฟต - คลอไรด์ - สภาพการนำไฟฟ้า - ความเป็นกรด - พีเอช - อุณหภูมิ

* จุดยุติ คือ จุดที่ปริมาณไอออนซึ่งไม่ต้องการในน้ำออกมีปริมาณเกินกว่าที่กำหนดไว้

** TFMA คือ Theoretical Free Mineral Acidity ของน้ำดิบสังเคราะห์ชนิด B มีค่าเท่ากับความกระด้างของน้ำดิบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ปริมาณน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนจนถึงจุดยุติ

2. ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน คือความกระด้างในรูปของแคลเซียม และแมกนีเซียม โซเดียม ซัลเฟต คลอไรด์ สภาพการนำไฟฟ้า ความเป็นกรด ความเป็นด่าง และพีเอช

3. ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

4. ประสิทธิภาพการทำรีเจนเนอเรชัน

- ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่สำหรับเรซินแต่ละชนิด ได้แก่

1. ความสูงของชั้นเรซิน
2. ชนิดของรีเจนเนอแรนต์
3. ความเข้มข้นของรีเจนเนอแรนต์
4. ระดับรีเจนเนอเรชัน
5. อัตราไหลในการแลกเปลี่ยนไอออน
6. อัตราไหลในการชะล้างสารเคมี
7. จุดยุติ
8. ส่วนประกอบของน้ำดิบสังเคราะห์
9. ทิศทางการแลกเปลี่ยนไอออนกำหนดให้มีทิศทางไหลลง
10. ทิศทางการไหลในการชะล้างสารเคมี

- การทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามกำหนดให้การชะล้างอย่างช้าและอย่างเร็ว มีทิศทางไหลลง

- การทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลส่วนทาง กำหนดให้การชะล้างอย่างช้ามีทิศทางไหลขึ้น และอย่างเร็วมีทิศทางไหลลง

<u>หมายเหตุ</u> 1 .ทิศทางไหลขึ้น (Up Flow) คือไหลเข้าทางด้านล่างของถังเรซิน ไหลขึ้นผ่านชั้นเรซินและออกด้านบน

2. ทิศทางไหลลง (Down Flow) คือไหลเข้าทางด้านบนของถังเรซิน ไหลลงผ่านชั้นเรซินและออกด้านล่าง

3.1.2 ลำดับการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมการทดลอง และการเปรียบเทียบผลของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทางของเรซินแต่ละชนิด

รูปแบบและลักษณะของการทดลองเป็นดังนี้

1. การเตรียมการทดลอง ได้แก่ การสังเคราะห์น้ำดิบจากสารเคมี การเตรียมเรซิน และสารเคมีที่ใช้วิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

2. การเปรียบเทียบผลของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม และไหลสวนทางของเรซินแต่ละชนิด ได้แก่ การล้างย้อนชั้นเรซิน การทำรีเจนเนอเรชัน การชะล้างสารเคมี การแลกเปลี่ยนไอออนจนถึงยุติ เพื่อหาขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน และประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน การหาลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างในระหว่างการแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งการทดลองดังกล่าวนี้เป็นไปตามวิธีของ ASTM (1987)

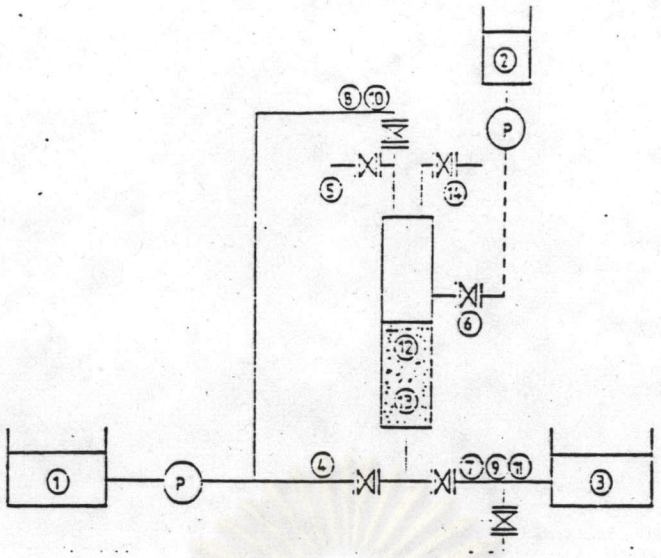
3.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย

3.2.1 ท่อบรรจุเรซิน

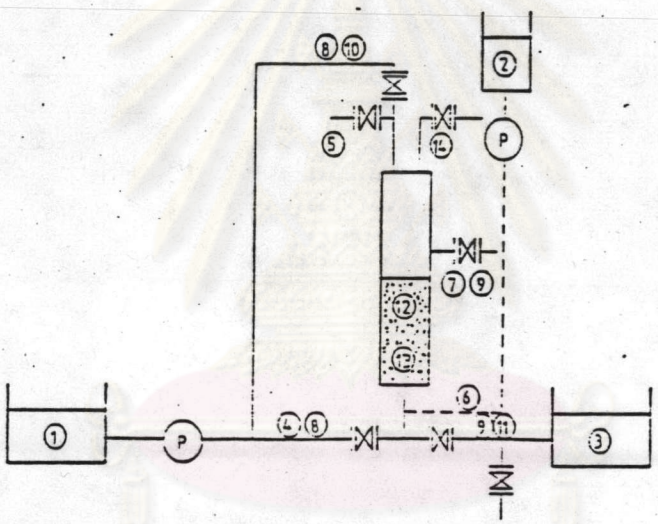
รูปที่ 3.1 แสดงการติดตั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองกระบวนการเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

รูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของท่อบรรจุเรซิน ที่ใช้ในการทดลองกระบวนการเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

ท่อบรรจุเรซินทำจากท่อ พีวีซีใส เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2.6 ซม. สูง 150 ซม. ประกอบด้วยชั้นลูกแก้วขนาด 2-3 มม. สูง 5 ซม. ด้านบนและด้านล่างของ



การทำรีจนเอรีนแบบไหลตาม

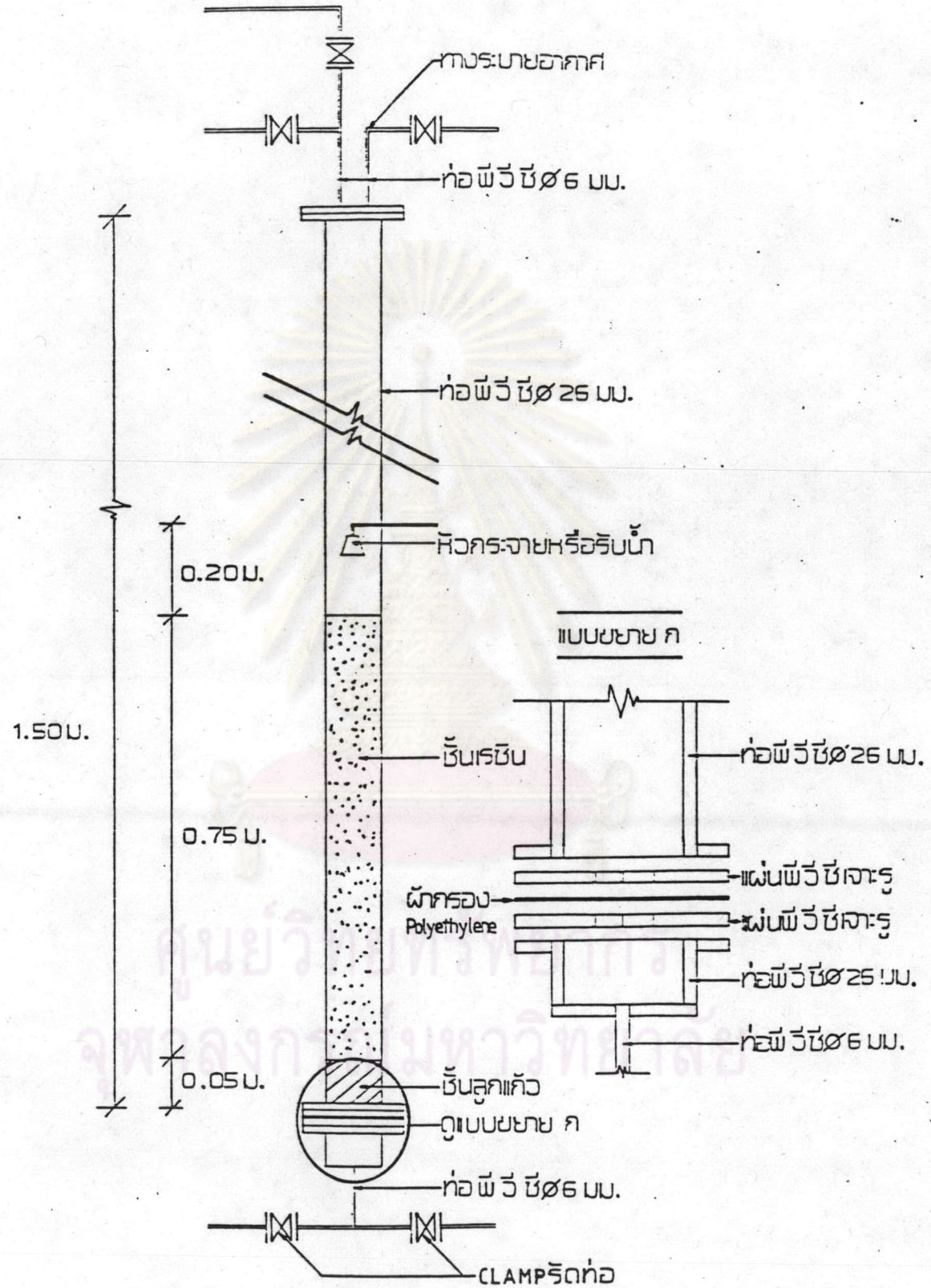


การทำรีจนเอรีนแบบไหลสวนทาง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1	ถังน้ำดิบ	9	วาวล์ออกน้ำชะล้างสารเคมี
2	ถังรีจนเอเรนต์	10	วาวล์เข้าน้ำกลั่นสองเท่า
3	ถังน้ำที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน	11	วาวล์ออกน้ำที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน
4	วาวล์เข้าล้างย้อน	12	ท่อบรรจุเรซินแบบกรดแก่
5	วาวล์ออกล้างย้อน	13	ท่อบรรจุเรซินแบบด่างแก่
6	วาวล์เข้ารีจนเอเรนต์	↑	วาวล์ระบายอากาศ
7	วาวล์ออกรีจนเอเรนต์	P	เครื่องสูบน้ำ
8	วาวล์เข้าน้ำชะล้างสารเคมี	⋈	ประตูน้ำหรือ Clamp

รูปที่ 3.1 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองกระบวนการเรซินแลกเปลี่ยนไอออน



รูปที่ 3.2 รายละเอียดท่อบรรจุเรซินที่ใช้ในการทดลองกระบวนการเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

ท่อปิดด้วยแผ่น PVC ใสซึ่งทำให้การทำงานภายในท่ออยู่ภายใต้ความดัน

3.2.2 เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสาย (Peristaltic Pump)

การป้อนน้ำดิบสังเคราะห์เข้าสู่ท่อบรรจุเรซิน การล้างย้อนชั้นเรซิน การทำรีเจนเนอเรชัน และการชะล้างสารเคมี ใช้เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสายของ บริษัท Watson Marlow จำกัด จากประเทศอังกฤษ รุ่น 502 S

3.2.3 เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า

การวัดสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำตัวอย่าง ใช้เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้าของ บริษัท Crison จำกัด รุ่น 525

3.3 การเตรียมน้ำดิบสังเคราะห์และสารเคมี

3.3.1 น้ำดิบสังเคราะห์

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้ และ ลักษณะสมบัติของน้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง

น้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัยนี้มี 3 ชนิด คือ ชนิด A B และ C โดยสังเคราะห์เตรียมขึ้นจากสารเคมีต่าง ๆ ตามวิธีของ ASTM (1987)

ตารางที่ 3.2 น้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง (ASTM , 1987)

ปริมาณสารเคมีและลักษณะสมบัติของน้ำดิบสังเคราะห์	ชนิดของน้ำดิบสังเคราะห์		
	A	B	C
1. ปริมาณสารเคมีต่อน้ำดิบสังเคราะห์ 1 ลิตร			
1.1 $CaCl_2 .2H_2O$, กรัม	0.49	0.37	-
1.2 $MgSO_4 .7H_2O$, กรัม	0.42	0.31	-
1.3 $NaHCO_3$, กรัม	-	0.21	-
1.4 H_2SO_4, (ความถ่วงจำเพาะ 1.84), มล.	-	-	18.10
1.5 HCl (ความถ่วงจำเพาะ 1.19), มล.	-	-	27.50
2. ลักษณะสมบัติของน้ำดิบสังเคราะห์ที่ต้องการ (มก./ล. หินปูน)			
2.1 ไอออนบวก	500	500	500
2.2 ความกระด้าง	500	375	-
2.3 ไอออนลบ	500	500	500
2.4 ความเป็นกรด	-	-	500
2.5 ความเป็นด่าง	-	125	-
2.6 พีเอช	7.5	-	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.2 สารเคมี

3.3.2.1 เรซิน

ตารางที่ 3.3 แสดงลักษณะสมบัติทางกายภาพ และเคมีของเรซิน แบบกรดแก่และด่างแก่ที่ใช้ในการทดลอง

ในการวิจัยนี้ใช้เรซิน 2 ชนิด ได้แก่

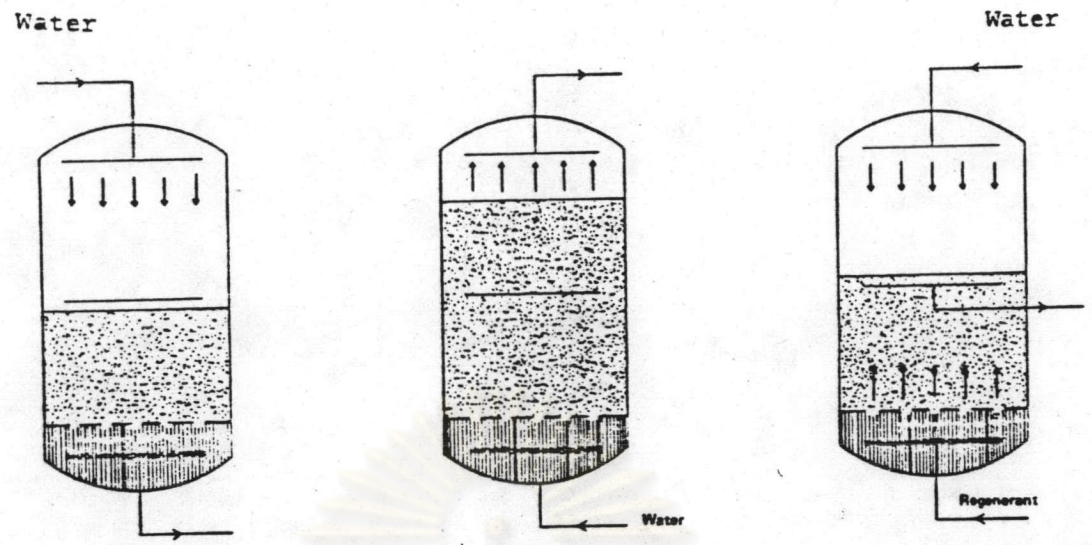
- เรซินแบบกรดแก่ ชนิด A
- เรซินแบบด่างแก่ ชนิด B

3.3.2.2 รีเจนเนอแรนต์

เรซินแบบกรดแก่ ในรูปโซเดียมและไฮโดรเจนที่หมดอายุอาจจะทำรีเจนเนอเรชันด้วย โซเดียมคลอไรด์ และกรดไฮโดรคลอริคตามลำดับ ส่วนแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์ ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นรีเจนเนอแรนต์ สารเคมีที่ใช้เป็นระดับ AR Grade (Analytical Reagent Grade)

1. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (100 กรัม/ลิตร)

นำโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ไปอบในเตาที่อุณหภูมิ 103 ^{o}C นาน 24 ชม. และปล่อยให้เย็นใน desicator นาน 1 ชม. หลังนั้นละลายโซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 100 กรัม ลงในน้ำกลั่นที่มีปริมาตรสุดท้าย 1,000 มล. จะได้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่มีความเข้มข้น 100 กรัม/ลิตร



รูปที่ 2.7 การทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง แบบใช้น้ำเป็นตัวกั้น (Calmon et al., 1979)

2.9.2 <u>แบบใช้ลมเป็นตัวกั้น</u> (Air Buffer)

การทำรีเจนเนอเรชันแบบนี้เหมือนกับแบบใช้น้ำเป็นตัวกั้น แต่มีปริมาณน้ำทิ้งน้อยกว่าแบบดังกล่าว ระบบนี้ทำงานโดยใช้ลมเป็นตัวป้องกันการขยายตัวของชั้นเรซินความดันของลม ประมาณ 1/3 ความดันบรรยากาศ (4 - 5 ปอนด์/ตารางนิ้ว) และความเร็วของลมประมาณ 1.2 - 2.5 เมตร/ชม. (Abrams, 1973) ทำให้สามารถใช้อัตราการทำรีเจนเนอเรชันได้มากกว่า 12.5 เมตร/ชม. (Calmon et al., 1979) ข้อเสียของระบบนี้ก็คือความยุ่งยากในการควบคุมการทำงาน (ดูรูปที่ 2.8)

2.9.3 <u>แบบชั้นเรซินมีการขยายตัวบางส่วน</u> (Partial Fluidized Bed)

ในระบบนี้ การทำรีเจนเนอเรชันมีทิศทางไหลลง และการแลกเปลี่ยนไอออนมีทิศทางไหลขึ้นโดยเรซินมีการขยายตัว 25 - 75 เปอร์เซนต์ เป็นระบบที่ควบคุมการทำงานได้ยาก (ดูรูปที่ 2.9)

ตารางที่ 3.3 ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของเรซินแบบกรดแก่และด่างแก่ที่ใช้ในการทดลอง

เรซิน / ลักษณะสมบัติ	ชนิด A	ชนิด B
ประเภทเรซิน	กรดแก่	ด่างแก่ (ชนิดที่ 1)
ลักษณะโครงร่าง	โพลีสไตรีน	โพลีสไตรีน
หมู่ไอออน	ซัลโฟนิค	ควอเตอร์นารี แอมโมเนียม
รูปร่างและสีของเม็ดเรซิน	เม็ดกลม โปร่งแสง สีน้ำตาลอ่อน	เม็ดกลม โปร่งแสง สีเหลืองอ่อน
ความหนาแน่นปรากฏ (กก./ลบ.ม.)	825	627
ความชื้นของเรซิน (เปอร์เซนต์)	43 - 50	53 - 60
ขีดความสามารถสูงสุดในการแลกเปลี่ยนไอออน (กก./ลบ.ม. หินปูน)	100	60
ขนาดสัมฤทธิ์ (มม.)	0.4 - 0.6	0.52
สัมประสิทธิความสม่ำเสมอ	1.6	-
ช่วงพีเอชใช้งาน	0 - 14	0 - 14
ความสูงชั้นเรซิน (ม.)	มากกว่า 0.70	มากกว่า 0.75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริค (100 กรัม/ลิตร)

ทำการเจือจางกรดไฮโดรคลอริคปริมาตร 230 มล. ที่มีความเข้มข้นประมาณ 36.5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ลงในน้ำกลั่นที่มีปริมาตรสุดท้าย 1,000 มล. จะได้ความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือที่มีความเข้มข้น 100 กรัม/ลิตร

3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(40 กรัม/ลิตร)

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 40 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 800 มล. จากนั้นทำการเจือจางให้มีปริมาตรสุดท้าย 1,000 มล. จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 40 กรัม/ลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 การดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้ได้แบ่งงานทดลองออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

3.4.1 การเปรียบเทียบผลของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม และไหลสวนทางของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม

การทดลองนี้เป็นการหาขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน และลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างในระหว่างการแลกเปลี่ยนไอออน ของเรซินแบบกรดแก่ในรูปโซเดียม โดยเปรียบเทียบระหว่างการรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทางที่อัตราไหล 3 ระดับคือ 1 2 และ 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 1.50 และ 2.25 ม./ชม.) วิธีการทดลองเป็นไปตามวิธีของ ASTM (1987) ดังนี้

1. บรรจุเรซินที่หมดอำนาจลงในท่อให้ชั้นเรซินสูง 75 ซม.

2. ล้างย้อนให้ชั้นเรซินขยายตัว 50 เปอร์เซนต์ เป็นเวลา 10 นาที หรือจนน้ำใส

3. ปล่อยให้เรซินจมตัวลงพร้อมกับระบายน้ำออก ด้วยอัตราไหล 100 มล./นาที

4. วัดปริมาตรเรซินที่หมดอำนาจ เมื่อระดับน้ำลดลงและสูงจากชั้นเรซินประมาณ 2 - 3 ซม.

5. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 2 ถึง 4 จนได้ปริมาตรเรซิน 2 ค่าที่แตกต่างกันไม่เกิน 5 มล. นำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยของปริมาตรเรซินที่หมดอำนาจ

6. ทำการรีเจนเนอเรชันด้วย 96 กก.NaCl/ลบ.ม.เรซิน โดยคำนวณปริมาณสารละลายโซเดียม (ความเข้มข้น 10 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) จากปริมาตรของเรซินในข้อ 5

7. ชะล้างสารเคมีอย่างช้าด้วยน้ำกลั่น 1 ปริมาตรเรซิน ใช้อัตราไหลเดียวกับการทำรีเจนเนอเรชัน

8. ชะล้างสารเคมีอย่างเร็วด้วยน้ำกลั่น จนน้ำชะล้างสารเคมีมีความกระด้างน้อยว่า 10 มล./ลิตร หินปูน ใช้อัตราไหลเดียวกับการแลกเปลี่ยนไอออน

9. ป้อนน้ำดิบสังเคราะห์ชนิด A เข้าท่อบรรจุเรซิน ใช้อัตราไหล 20 ปริมาตรเรซิน/ชม. (15 ม./ชม.) จนน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนมีความกระด้างมากกว่าที่จุดยุติคือ 10 มก./ลิตร หินปูน

10. วิเคราะห์หาความกระด้างในรูปของแคลเซียมและแมกนีเซียม และพีเอช ของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนทุก ๆ 1 ชม.

11. วัดปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดยุติ แล้วนำมาคำนวณหาขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน (ต่อปริมาตรเรซินที่หมดอำนาจ) และประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน ดังนี้

ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (กก./ลบ.ม. หินปูน) , D , = A x B/C

เมื่อ A คือ ความกระด้างของน้ำดิบสังเคราะห์ ชนิด A, มก./ลิตร หินปูน

B คือ ปริมาณน้ำดิบสังเคราะห์ ชนิด A ที่ใช้จนถึงจุดยุติ, ลิตร

C คือ ปริมาตรของเรซินที่หมดอำนาจในข้อ 5, มล.

ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน (เปอร์เซนต์) = 100 x D/E

เมื่อ D คือ ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน (กก./ลบ.ม. หินปูน)

E คือ ระดับรีเจนเนอเรชันของ NaCl ที่ใช้ (กก./ลบ.ม. หินปูน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

12. เมื่อมีการแปรเปลี่ยนอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน ในแต่ละทิศทาง ตามตารางที่ 3.4 ให้ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันตั้งแต่ข้อ 1-11

3.4.2 <u>การเปรียบเทียบผลของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม และไหลสวนทางของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน</u>

การทดลองนี้เป็นการหาขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน และลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างในระหว่างการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ในรูปไฮโดรเจน โดยเปรียบเทียบระหว่างการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทางที่อัตราไหล 3 ระดับ คือ 1 2 และ 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 1.50 และ 2.25 ม./ชม.) วิธีการทดลองเป็นเช่นเดียวกับข้อ 3.4.1 โดยใช้ตัวแปรต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.4 ค่าแปรเปลี่ยนของอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน ในแต่ละทิศทางการทำรีเจนเนอเรชัน

ทิศทางการทำรีเจนเนอเรชัน	อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน (ปริมาตรเรซิน/ชม.)		
แบบไหลตาม	1 (0.75 ม./ชม.)	2 (1.50 ม./ชม.)	3 (2.25 ม./ชม.)
แบบไหลสวนทาง	1 (0.75 ม./ชม.)	2 (1.50 ม./ชม.)	3 (2.25 ม./ชม.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.3 การเปรียบเทียบผลของการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม และไหลสวนทางของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์

การทดลองนี้เป็นการหาขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน และลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างในระหว่างการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบด่างแก่ในรูปไฮดรอกไซด์ โดยเปรียบเทียบระหว่างการทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตามและไหลสวนทาง ที่อัตราไหล 3 ระดับ คือ 1 2 และ 3 ปริมาตรเรซิน/ชม. (0.75 1.50 และ 2.25 ม./ชม) วิธีการทดลองเป็นไปตามวิธีของ ASTM (1987) ดังนี้

1. บรรจุเรซินที่หมดอำนาจลงในท่อ

2. ล้างย้อนให้ชั้นเรซินขยายตัว 50 เปอร์เซนต์ เป็นเวลา 10 นาที หรือจนน้ำใส

3. ปล่อยให้เรซินจมตัวลงพร้อมกับระบายน้ำออกด้วยอัตราไหล 100 มล./นาที

4. วัดปริมาตรเรซินที่หมดอำนาจ เมื่อระดับน้ำลดลงและสูงจากชั้นเรซิน 2-3 ซม.

5. ทำการรีเจนเนอเรชันด้วย 400 กก.NaOH/ลบ.ม.เรซิน ใช้อัตราไหล 6 ปริมาตรเรซิน/ชม. โดยคำนวณปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้น 4% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) จากปริมาตรของเรซินในข้อ 4

6. ชะล้างสารเคมีอย่างช้าด้วยน้ำกลั่น 1 ปริมาตรเรซิน ใช้อัตราไหลเดียวกับการทำรีเจนเนอเรชัน

7. ชะล้างสารเคมีอย่างเร็วด้วยน้ำกลั่น 10 ปริมาตรเรซิน

8. ทำซ้ำข้อ 2 และ 3 จากนั้นวัดปริมาตรเรซินใน รูปไฮดรอกไซด์ เมื่อระดับน้ำสูงจากชั้นเรซิน 2-3 ซม.

9. ปรับความสูงชั้นเรซินโดยใส่เรซินเพิ่มหรือเอาเรซินออกเพื่อให้ความสูงของชั้นเรซินตามข้อ 8 เท่ากับ 75 ซม.

10. ทำซ้ำในข้อ 8 จนได้ปริมาตรเรซิน 2 ค่าที่แตกต่างกันไม่เกิน 5 มล. นำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยของปริมาตรเรซินในรูปไฮดรอกไซด์

11. ป้อนน้ำดิบสังเคราะห์ ชนิด C เข้าท่อบรรจุเรซิน ใช้อัตราไหล 20 ปริมาตรเรซิน/ชม. (15 ม./ชม.) จนน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนมีสภาพการนำไฟฟ้ามากกว่า 50 ไมโครโมห์/ซม.

12. ทำซ้ำข้อ 2 และ 3 จากนั้น ทำการรีเจนเนอเรชันด้วย 64 กก.NaOH/ลบ.ม.เรซิน โดยคำนวณปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้น 4% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) จากปริมาตรของเรซินในข้อ 10

13. ทำซ้ำข้อ 6 จากนั้นชะล้างสารเคมีอย่างเร็วด้วยน้ำกลั่น จนน้ำมีสภาพการนำไฟฟ้าน้อยกว่า 50 ไมโครโมห์/ซม. ใช้อัตราไหลเดียวกับการแลกเปลี่ยนไอออน

14. ทำซ้ำข้อ 11

15. วิเคราะห์หา ซัลเฟต คลอไรด์ สภาพการนำไฟฟ้า ความเป็นกรด และพีเอช ของน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนทุก ๆ 1/2 ชม.

16. วัดปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดยุติ แล้วนำมาคำนวณหาขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน (ต่อปริมาตรเรซินในรูปไฮดรอกไซด์) และประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน ดังนี้

ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (กก./ลบ.ม. หินปูน) , I , = F x G/H

เมื่อ F คือ ความเป็นกรดของน้ำดิบสังเคราะห์ ชนิด C, มก./ล. หินปูน

G คือ ปริมาณน้ำดิบสังเคราะห์ ชนิด C ที่ใช้จนถึงจุดยุติ, ลิตร

H คือ ปริมาตรของเรซินในรูปไฮดรอกไซด์ในข้อ 10 ,มล.

ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน (เปอร์เซนต์) = 100 x I/J

เมื่อ I คือ ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน (กก./ลบ.ม. หินปูน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

J คือ ระดับรีเจนเนอเรชันของ NaOH ที่ใช้ (กก./ลบ.ม. หินปูน)

17. เมื่อมีการแปรเปลี่ยนอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน ในแต่ละทิศทางการทำรีเจนเนอเรชันตามตารางที่ 3.4 ให้ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันตั้งแต่ 1-16

3.5 <u>การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำ</u>

ข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์ วิธี หรือเครื่องมือในการวิเคราะห์ และหน่วยที่ใช้มีดังนี้ คือ

1. ความกระด้าง (แคลเซียมและแมกนีเซียม) ใช้วิธีไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐาน EDTA หน่วยที่วัดได้เป็น มก./ล. หินปูน

2. โซเดียม ใช้วิธี Flame Atomic Absorption Spectrometry โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Shimadzu Model AA - 650) หน่วยที่วัดได้เป็น มก./ล. หินปูน

3. คลอไรด์ ใช้วิธี Mercurimetric Titration หน่วยที่วัดได้เป็น มก./ล. หินปูน

4. ซัลเฟต ใช้วิธี Turbidity Method หน่วยที่วัดได้เป็น มก./ล. หินปูน

5. สภาพการนำไฟฟ้า ใช้เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า (Conductimeter 525: Crison) หน่วยที่วัดได้เป็นไมโครโมห์/ซม.

6. ความเป็นกรดและความเป็นด่าง ใช้วิธี ไตเตรท หน่วยที่วัดได้เป็น มก./ล. หินปูน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. พีเอช ใช้เครื่องวัดพีเอช (pH Meter : Beckman)

8. อุณหภูมิ ใช้เทอร์โมมิเตอร์ หน่วยที่วัดได้เป็นองศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย