

บทที่ 3

บททวนเอกสาร

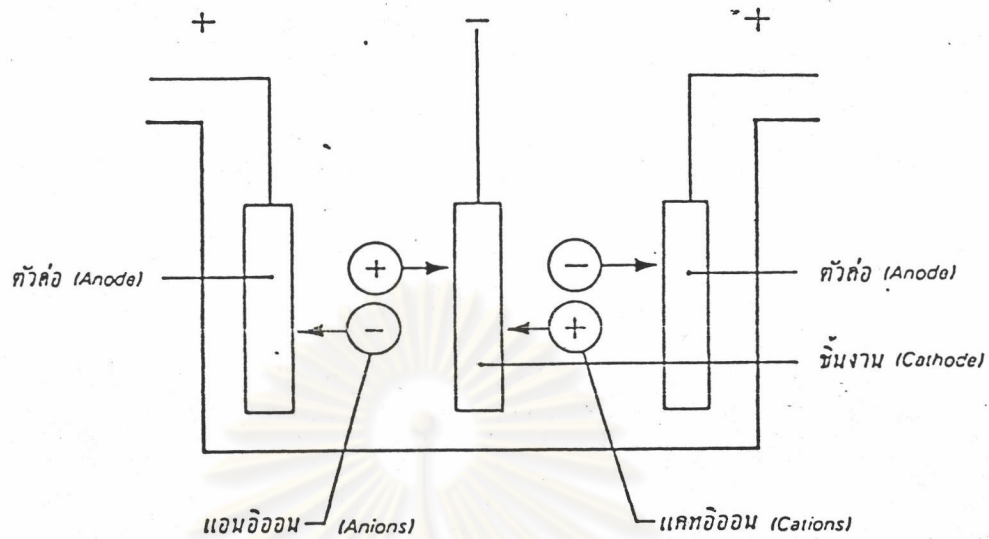
3.1 การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (อนันต์ , 2527)

3.1.1 หลักการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

1) **น้ำยาชุบโลหะ (ELECTROLYTES)** จากการวิจัยพบว่าตัวนำไฟฟ้าสามารถแบ่งเป็น 2 พวกคือ

- ก) เป็นตัวนำไฟฟ้าโดย ไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีเช่น โลหะต่างๆ
- ข) เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเอง แตกออกเป็นอนุภาคเล็กๆ ในขณะที่ไฟฟ้าไหลผ่านตัวมันเช่น น้ำเจือกรด และสารละลายเกลือต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่า "อิเล็กโทรไลต์" (ELECTROLYTES) ซึ่งพวกสองมีส่วนเกี่ยวข้องกับการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

หลักการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (ELECTROPLATING) คือ เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ใช้แผ่นปลาทินัมเป็นขั้วอิเล็กโทรด อนุภาค ที่มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ หรืออออนลบ (ANIONS) จะวิ่งไปทางขั้วบวกหรืออานอด (ANODE) ส่วนอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก หรืออออนบวก (CATION) จะวิ่งไปทางขั้วลบหรือคาโทด (CATHODE) เช่น การเอาสารละลายทองแดงซัลเฟต มาทำการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยใช้แผ่นปลาทินัม เป็นขั้วลบ โดยต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ ผลปรากฏว่าจะมีผงสีแดงเกาะติดอยู่บนแผ่นปลาทินัม ส่วนซัลเฟตจะวิ่งเข้าหาแผ่นทองแดง (ขั้วบวก) ทำปฏิกิริยากับทองแดง ทำให้ละลายเป็นทองแดงซัลเฟต แทนที่ทองแดงซัลเฟตตัวก่อนที่หมดไป ปฏิกิริยาจะเกิดหมุนเวียนเช่นนี้ตลอดไป ปรากฏที่ยังคงให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน และจะเกิดก๊าซ H_2 ที่ CATHODE และ O_2 ที่ ANODE ตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การต่อของส่วนต่างๆในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า
(อนันต์ , 2527)

ซึ่งเรานำเอาหลักการดังกล่าว เป็นตัวอย่างของการชุบทองแดงบนแผ่นพลาสติกในการชุบโลหะจะต้องควบคุมสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสม เช่น

2) ค่าของ พีเอช (pH) ในการวัดค่า พีเอชของน้ำยาชุบ ถ้าวัดค่า พีเอช 7 เป็นค่าที่น้ำยามีสภาพเป็นกลางค่าพีเอชตั้งแต่ 7 ลงมาถึง 1 เป็นค่าที่มีน้ำยามีสภาพเป็นกรด ตั้งแต่ 7 ถึง 13 เป็นค่าที่น้ำยามีสภาพเป็นด่างค่าของ พีเอชมีอิทธิพลต่อน้ำยาชุบโลหะมาก ถ้าวัดค่าของ พีเอช น้อยแสดงว่าน้ำยานั้นมีสภาพเป็นกรดมากเกินไป จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของแคโทดลดต่ำลง ถ้าวัดค่าของ พีเอช มากแสดงว่าน้ำยานั้นมีสภาพเป็นด่างมากเกินไป จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของแอโนดลดต่ำลงเช่นเดียวกันด้วยเหตุนี้การควบคุมค่าของ พีเอชจึงสำคัญมาก

3) ความหนาแน่นของกระแส (Current Density) ความหนาแน่นของกระแสของขั้วลั่ว คือกระแสที่ช่วยให้เกิดการเคลื่อนที่ขั้วลั่วต่อหนึ่งหน่วยเนื้อที่ ปกติมักจะใช้แอมแปร์ต่อตารางฟุตหรือแอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร การคำนวณหาพื้นที่ของแคโทดเพื่อทราบว่าจะจ่ายความหนาแน่นของกระแสแตกต่างกันออกไปและงานแต่ละชิ้นก็มีเนื้อที่ต่าง ๆ กัน ด้วยเหตุนี้กระแสและเนื้อที่จึงควรต้องพิจารณาเป็นอันดับแรกเสมอ ก่อนที่จะจุ่มชิ้นงานลงในถังเพื่อทำการชุบในการชุบโลหะถ้ากวนน้ำยาโดยใช้เครื่องกวนหรือใช้ลมเป่า และเพิ่มอุณหภูมิของน้ำยาขึ้นตามคู่มือ

การใช้น้ำยา จะช่วยให้สามารถใช้ความหนาแน่นของกระแสได้มากขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้ระยะเวลาของการชุบลดลงได้ โดยได้ความหนาของผิวที่เท่ากัน

3.1.2 วัตถุประสงค์ในการชุบชิ้นงาน

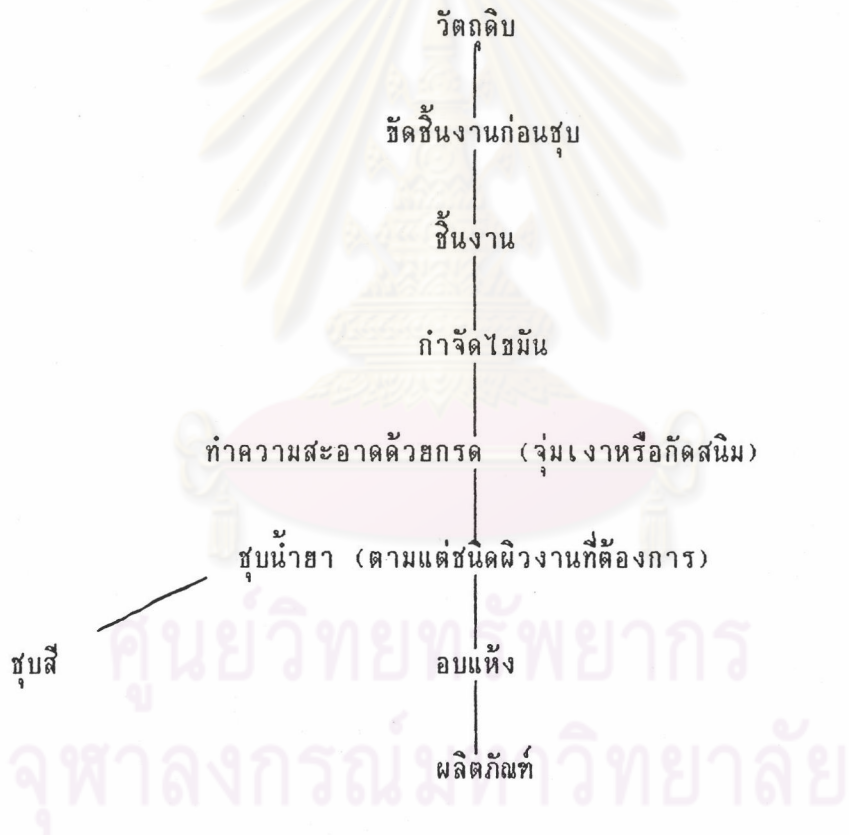
- 1) เพื่อความสวยงาม
- 2) เพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติของผิวชิ้นงาน เช่น เพิ่มความแข็ง ป้องกันสนิม
- 3) เพื่อเพิ่มความหนาของชิ้นงานในกรณีที่ชิ้นงานสึกกร่อน

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการชุบ

- 1) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Rectifier) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C.) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.) ปกติขนาดแรงเคลื่อนไม่เกิน 12 โวลต์
- 2) ถังบรรจุน้ำยา ซึ่งโดยทั่วไปทำด้วยเหล็กบุภายในด้วยวัสดุทนกรด, ต่างแต่อาจเลือกใช้ดังอย่างอื่น ดังต่อไปนี้
 - ก) ถังโพลีทิน เหมาะในการใช้สำหรับกัดสนิมและน้ำยาชุบ
 - ข) ถังไฟเบอร์กลาสเหมาะสำหรับน้ำล้าง , กรดเจือจางแต่ไม่เหมาะกับสารที่เป็นด่าง
 - ค) สแตนเลส (นิเกิล 18%, โครเมียม 8%) ใช้บรรจุกรดดินประสิว (HNO₃) และกรดที่มีออกซิเจนผสมเช่นกรดโครมิก (CrO₃) และกรดกำมะถัน (H₂SO₄) ไม่เหมาะกับกรดเกลือ (HCl)
 - ง) ถังเหล็กบุภายในด้วย PVC สามารถบรรจุน้ำยาชุบได้ทุกชนิดที่อุณหภูมิไม่เกิน 70 องศา ถังเหล็กบุด้วยตะกั่วเหมาะกับน้ำยาชุบโครเมียม
- 3) ทางเดินของกระแสไฟฟ้า (Busbars) หมายถึง ทางเดินของไฟฟ้าจากเครื่องแปลงกระแส (Rectifier) ไปยังถังชุบต่างๆโดยทั่วไปใช้ทองแดงเส้นแบนและอลูมิเนียม
- 4) แอมแปร์-ชั่วโมง ใช้ควบคุมการทำงานของน้ำยาชุบ
- 5) เครื่องกรองน้ำยา ใช้กำจัดสิ่งสกปรกที่ปนในน้ำยา
- 6) บั้มลม ท่อจ่ายลมเพื่อกวนน้ำยาและป้องกันการเกาะของก๊าซที่ขั้วทั้งสอง
- 7) เครื่องทำความร้อน สำหรับควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม
- 8) แผงควบคุมกระแสไฟฟ้า
- 9) อุปกรณ์ขัดชิ้นงาน เช่น แปรงขัด, ผ้าขัด, เครื่องขัดถึงหมุน ฯลฯ
- 10) เครื่องอบแห้ง หรือเครื่องเหวี่ยงน้ำ

3.1.4 **น้ำยาชุบ** ในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า แต่ละประเภท เช่น ชุบโครเมียม, ชุบสังกะสี, ชุบนิกเกิล, ชุบทองแดง ฯลฯ น้ำยาที่ใช้ในการชุบก็จะต่างกันไป นอกจากนั้นในการชุบประเภทเดียวกันก็ยังมีน้ำยาหลายสูตร

3.1.5 **ขั้นตอนในการชุบโลหะ** รูปแบบขั้นตอนในการชุบโลหะอย่างง่ายประกอบไปด้วย การเตรียมชิ้นงาน ซึ่งหมายถึงการขัดผิวชิ้นงานจนได้ขนาดและความเรียบตามต้องการ จากนั้นชิ้นงานจะถูกทำความสะอาดเพื่อกำจัดไขมัน จากนั้นนำไปจุ่มกรดเพื่อกัดเอาสนิมออก แล้วนำชิ้นงานไปชุบในน้ำยา ซึ่งควบคุมสภาวะการชุบตามกำหนด หลังจากเสร็จแล้วนำไปอบแห้ง สุดท้ายจะได้ชิ้นงานตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าอย่างง่าย (อนันต์, 2527)

ความซับซ้อนของขั้นตอนในการชุบจะขึ้นอยู่กับชนิดโลหะที่เป็นวัสดุชุบ และชนิดของผิวโลหะที่ต้องการ โดยวัสดุชุบส่วนมากจะเป็นเหล็ก เหล็กทอ ทองเหลือง อะลูมิเนียม

3.5.1.1 การขัดชิ้นงานก่อนชุบ แบ่งออกเป็นการขัดหยาบ และการขัดละเอียด โดยการขัดหยาบเป็นการขัดขั้นแรก โดยขัดเอารอยขีดข่วนหรือบริเวณที่ไม่สม่ำเสมอออก โดยใช้ล้อขัดที่เคลือบด้วยทรายหยาบ ส่วนการขัดละเอียดเป็นการขัดต่อเพื่อลบรอยจากการขัดหยาบทำให้ชิ้นงานเรียบ โดยใช้ล้อขัดที่มีทรายละเอียดเบอร์ 280 ขึ้นไป นอกจากนี้ในกรณีที่ชิ้นงานเล็กมาก ๆ อาจขัดโดยการใช้อัตโนมัติที่มีหินขัดบรรจุภายใน

3.5.1.2 การกำจัดไขมัน ทำโดยการใช้วิธีดังต่อไปนี้

1) กำจัดโดยไอระเหยไตรคลอโรเอทิลีน (Vapour degreasing) โดยนำชิ้นงานจุ่มในถังบรรจุไตรคลอโรเอทิลีน มีการให้ความร้อนถึง 86 องศา จนกลายเป็นไอมากระทบกับท่อชุดทำความเย็นบริเวณปากขอบถังและชิ้นงาน ไอจะกลั่นตัวบนผิวงาน และทำการชำระล้างไขมันหรือน้ำมันลงสู่ถัง

2) กำจัดโดยใช้ด่างร้อน (Soak clean) แช่ชิ้นงานในถังเหล็ก หรือสแตนเลสที่บรรจุด้วยด่างและมีเครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้าทำงานอยู่

3.5.1.3 การทำความร้อนด้วยกรดหรือจุ่มเงา (Pickling and Dropping) เป็นการกัดสนิมเหล็ก เหล็กกล้า ออกไซด์ของทองแดง นิกเกิล และทองแดง ผสมอื่น โดยใช้ความเข้มข้นของกรดกำมะถันประมาณ 5-10% หรืออาจใช้กรดเกลือ ในอัตราส่วน 1:5 โดยปริมาตร (กรด 1 ส่วนต่อน้ำ 5 ส่วน) ในขั้นตอนนี้จะต้องระวังไอกรดระเหย โดยต้องมีการดูดไอพิษไปกำจัด

3.1.6 การชุบโลหะประเภทต่าง ๆ

3.1.6.1 การชุบทองแดง เป็นการชุบเคลือบผิวชั้นแรกก่อนนำไปชุบอย่างอื่น เช่น ชุบงานที่มีรอยบัดกรีบนสิ่งกะฉีกผสม ก่อนที่จะนำไปชุบนิกเกิล เพราะหากเอาชิ้นงานที่มีรอยบัดกรีหรืองานที่มีสิ่งกะฉีกผสมอยู่ สิ่งกะฉีกจะละลายในน้ำยานิกเกิลทันที การชุบทองแดงแบ่งออกเป็นการชุบทองแดงแบบต่าง และแบบกรด แบบต่างมีกำลังการเคลือบผิวดีมาก และการเกาะจับติดแน่นเหมาะสำหรับชุบรองพื้นขั้นแรกก่อนชุบแบบกรด และนิกเกิลเงา งานสิ่งกะฉีกหล่อไม่สามารถชุบทองแดงแบบกรดได้โดยตรง ก็ต้องนำมาชุบทองแดงแบบต่างก่อนโดยทั่วไปการชุบทองแดงต่าง สามารถแบบออกได้ 3 ประเภท คือ

- 1) แบบสไตรค์ (Strike Bath)
- 2) แบบร็อกเชล (Rochelle Bath)

3) แบบมีประสิทธิภาพสูง (High efficiency Bath)

ส่วนการชุบแบบกรด มีความเงางามมาก นิยมใช้ชุบผิวโลหะเพื่อเพิ่มความหนาของทองแดงที่รองพื้นก่อนชุบนิกเกิลเงา หน้าที่ส่วนผสมมีดังนี้

ก) โซเดียมหรือโปแตสเซียมไซยาไนด์ เป็นตัวช่วยนำกระแสไฟฟ้าและถ้ามีไซยาไนด์ปริมาณน้อยกว่าที่กำหนด จะทำให้ผิวชุบวอกเป็นสีดำ ไม่สามารถทำงานได้

ข) โซเดียมหรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ช่วยในการนำไฟฟ้าและช่วยให้ผิววอกละลาย ดีขึ้น

ค) คาร์บอเนต ช่วยควบคุม pH ไม่ให้เปลี่ยนแปลงได้ง่าย

3.1.6.2 การชุบนิกเกิล ดูหัวข้อ 3.2 หน้า 15

3.1.6.3 ชุบโครเมียม การชุบแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือชุบเพื่อความสวยงาม (Decorative Chromium) และชนิดหนา (Hard Chromium) การชุบเพื่อความสวยงามหรือชนิดบาง จำเป็นต้องมีการชุบรองพื้นก่อนชุบโครเมียมเพราะโครเมียมเป็นโลหะที่แข็งแต่เปราะมาก การชุบบางโดยตรงบนเหล็กจะเกิดรพุนอยู่ทั่วไปและทำให้หลุดร่อนได้ การชุบทำได้โดยการรองพื้นชั้นด้วยทองแดง ก่อนชุบนิกเกิล และรองพื้นด้วยนิกเกิล ก่อนชุบโครเมียม เหมาะกับชิ้นงานที่เป็นเหล็ก เหล็กหล่อ โลหะผสม ฯลฯ ตัวล่อโครเมียมใช้โลหะผสมระหว่างตะกั่วกับดีบุก หรือโลหะผสมระหว่างตะกั่วกับพลวง โดยอัตราส่วน ตะกั่ว 93% กับดีบุก 7% หรือ ตะกั่ว 92% กับพลวง 8% ขั้นตอนการชุบโครเมียมบนชิ้นงานประเภทต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 3.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

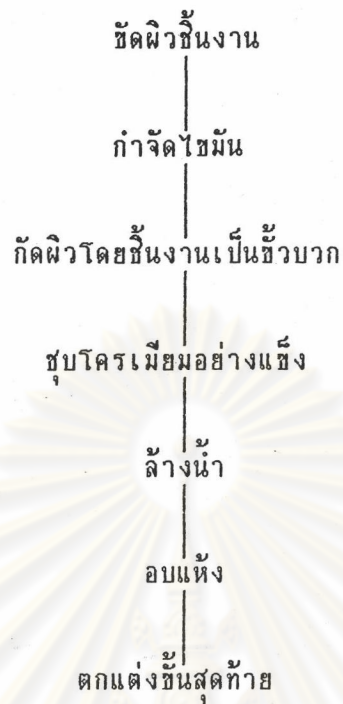
ชุบบนเหล็ก	ชุบบนทองแดง-ทองเหลือง	ชุบบนสังกะสีหล่อ	ชุบบนอะลูมิเนียม
- ชัดชิ้นงาน	- ชัดชิ้นงาน	- ชัดชิ้นงาน	- ล้างชิ้นงาน
- ล้างชิ้นงาน	- ล้างชิ้นงาน	- ล้างชิ้นงาน	- ล้างด้วยไฟฟ้า
- ล้างด้วยไฟฟ้า	- ล้างด้วยไฟฟ้า	- ล้างด้วยไฟฟ้า	- ล้างน้ำ
- ล้างน้ำ	- ล้างน้ำ	- ล้างน้ำ	- จุ่มน้ำยา Bondal dip 1-2 นาที
- จุ่มกรด	- จุ่มกรด	- จุ่มกรด	- ล้างน้ำ
- ล้างน้ำ	- ล้างน้ำ	- ล้างน้ำ	- ชุบน้ำเกลือ
- ชุบน้ำเกลือ	- ชุบน้ำเกลือ	- ชุบน้ำเกลือ	- ล้างน้ำ
- ล้างน้ำ	- ล้างน้ำ	- ล้างน้ำ	- ชุบโครเมียม
- ชุบน้ำเกลือ	- ชุบโครเมียม	- จุ่มกรดกำมะถัน	- จุ่มถึง Drag out
- ล้างน้ำ	- จุ่มถึง Drag out	- ล้างน้ำ	- ล้างน้ำ
- ชุบโครเมียม	- ล้างน้ำ	- ชุบน้ำเกลือ	- อบแห้ง
- จุ่มถึง Drag out	- อบแห้ง	- ชุบน้ำเกลือ	
- ล้างน้ำ		- ล้างน้ำ	
- อบแห้ง		- ชุบโครเมียม	
		- จุ่มถึง Drag out	
		- ล้างน้ำ	
		- อบแห้ง	

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการชุบโครเมียมบนชิ้นงานประเภทต่าง ๆ

การชุบชนิดแข็ง (Hard Chromium) สามารถทำการชุบโดยตรง ไม่ต้องมีการชุบทองแดงหรือนิกเกิลรองพื้น คุณสมบัติของชิ้นงานหลังชุบจะมีดังนี้

- มีความแข็งและทนทาน
- ทนต่อการเกิดสนิมและทนต่อความร้อน
- สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานต่ำ
- มองดูสวยงาม
- ใช้แม่เหล็กดูดได้

ขั้นตอนการชุบโครเมียมอย่างแข็ง แสดงได้ดังรูปที่ 3.4



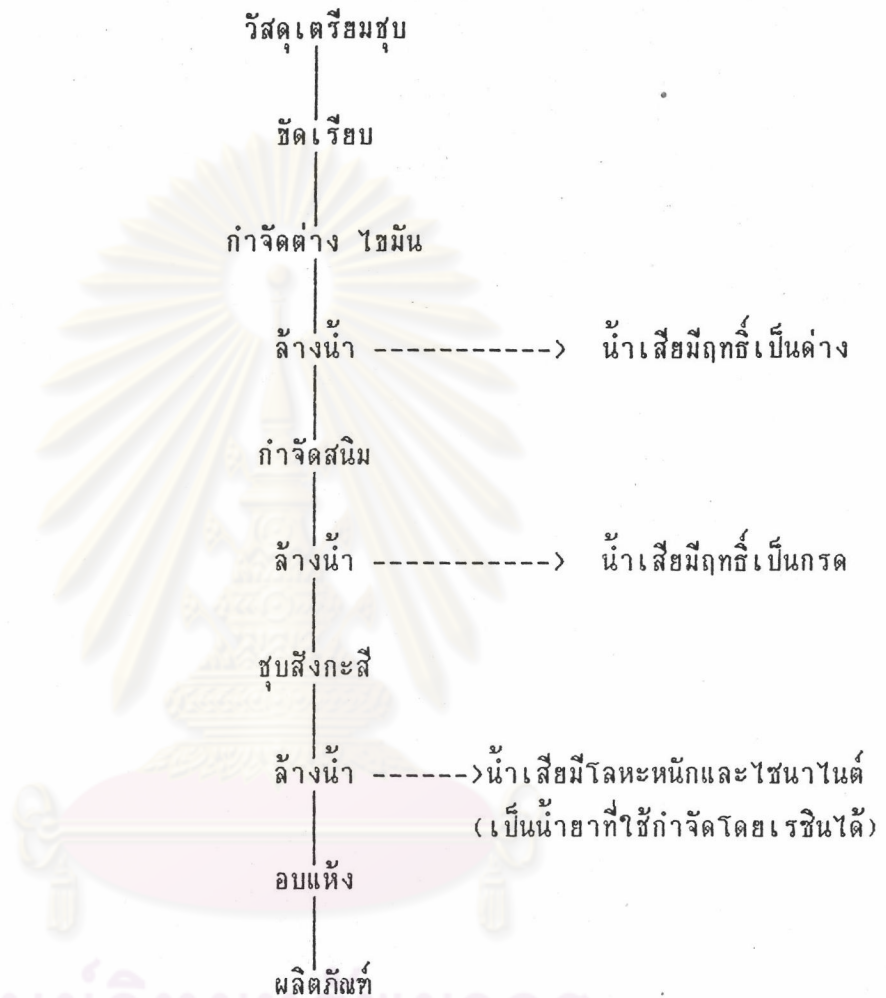
รูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนการชุบโครเมียมอย่างแข็ง (TISTR, 1982)

การชุบสังกะสี นิยมใช้กับชิ้นส่วนของรถยนต์ การชุบชิ้นงานบนเหล็กทำได้โดยตรงไม่ต้องมีการชุบรองพื้น การชุบมีทั้งการชุบสังกะสีแบบกรด และการชุบสังกะสีแบบต่าง ๆ การชุบแบบต่าง ๆ สามารถแบ่งได้เป็นแบบ มีไซยาไนด์สูง มีไซยาไนด์ต่ำ และไม่มีไซยาไนด์ การชุบแบบกรด ไม่มีไซยาไนด์เป็นส่วนผสม

3.1.7 แหล่งที่มาและลักษณะน้ำเสีย น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะมาจากสาเหตุต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ (Nemerrow, 1978)

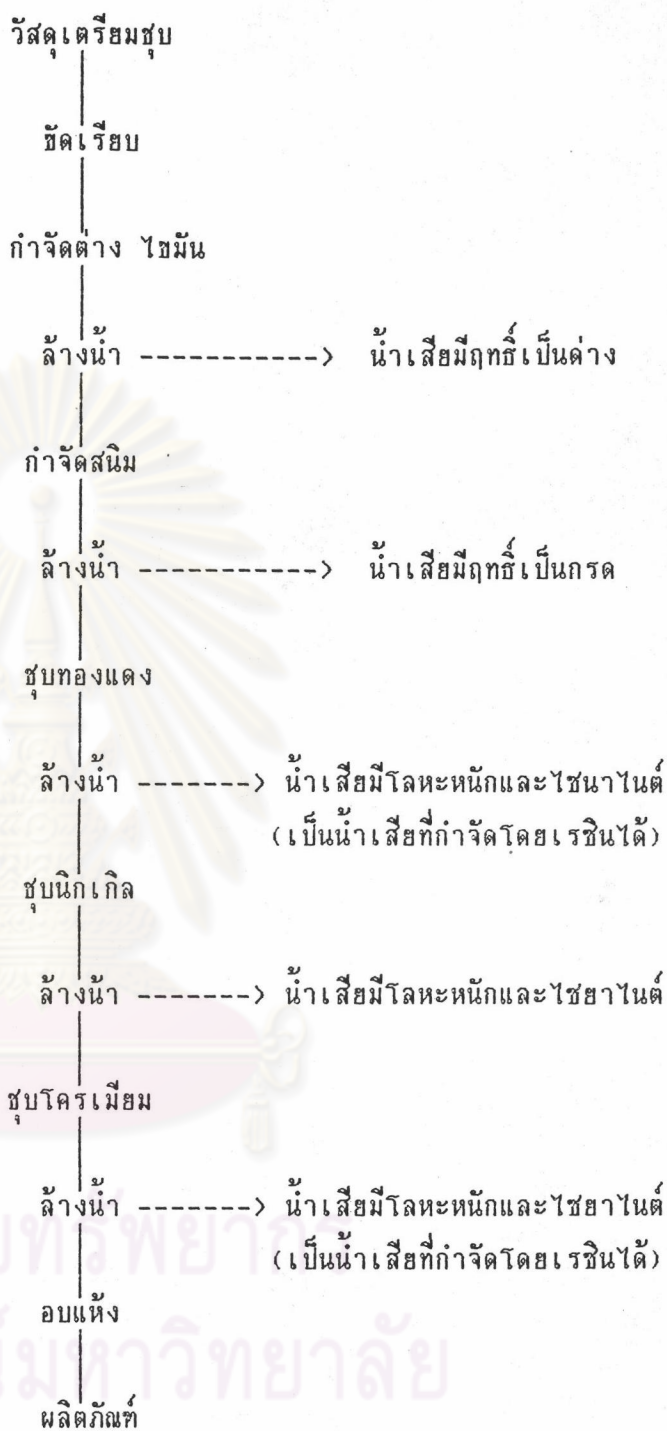
1. น้ำล้างจากขั้นตอนการกำจัดไขมันและน้ำมัน
2. น้ำล้างจากขั้นตอนการจุ่มเงาและกำจัดสนิม
3. น้ำล้างชิ้นงานภายหลังการชุบน้ำยา
4. น้ำยาที่เสื่อมคุณภาพหรือไหลออกมาโดยอุบัติเหตุ (เป็นน้ำเสียที่นำมาใช้ในการนำโลหะหนักจากกระบวนการชุบโลหะให้กลับมาใช้ใหม่โดยเรซิน)
5. น้ำล้างทำความสะอาดเครื่องมือ และบริเวณสถานที่มลพิษที่ปล่อยออกมาจากโรงงานปริมาณสูงได้แก่ น้ำล้างจากขั้นตอนการกำจัดน้ำมันและไขมัน น้ำเสียทั้งสามส่วนนี้จะเกิดอย่างต่อเนื่องในการผลิต ส่วนน้ำเสียเนื่องจากน้ำยาที่เสื่อมคุณภาพหรือ ไหลมาเนื่องจาก

อุบัติเหตุสะอาดเครื่องมือและบริเวณสถานที่ จะมีความเข้มข้นของสารมลพิษต่ำและปริมาณไม่มาก สำหรับแหล่งกำเนิดน้ำเสียของโรงงานชุบโครเมียมและสังกะสีโดยทั่วไป แสดงในรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงขั้นตอนการชุบสังกะสี (TISTR, 1982)



รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงขั้นตอนการชุบโครเมียม (TISTR, 1982)

3.2 การชุบโลหะนิกเกิล

นิกเกิลเป็นโลหะที่มีสีขาวด้านแต่เวลาชุบใส่น้ำยาเงาเข้าไปด้วย ทำให้ได้ผิวนิกเกิลเป็นสีขาวคล้ายเงิน และมีความเงาสวยงามและทนทานต่อการสึกกร่อนได้ดีมาก มีจุดหลอมที่ 145.2°C ความแข็งประมาณ 80 - 120 Brinell มีสัญลักษณ์ Ni นิกเกิลใช้กันแพร่หลายมากในอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า เพราะนิกเกิลมีความทนทานต่อการสึกกร่อนได้ดี

ดังนั้น การชุบนิกเกิลบนโลหะอื่นเพื่อรักษาเนื้อโลหะเดิมไม่ให้เกิดสนิมง่าย และยังช่วยทำให้โลหะที่ชุบสวยงามอีกด้วย นิกเกิลใช้ชุบรองพื้นบนชิ้นงานก่อนชุบโครเมียม และรองพื้นก่อนชุบทองหรือก่อนชุบเงินนิกเกิลที่ใช้ในกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า มีนิกเกิลซัลเฟต ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) นิกเกิลคลอไรด์ ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) และกรดบอริก (H_3BO_3) เป็นตัวคุมพี.เอช. ตัวล่อ (Nickel Anode) มีหลายชนิด มีชนิดแผ่น ชนิดก้อนสี่เหลี่ยม ชนิดเม็ด ส่วนชนิดก้อนสี่เหลี่ยม และชนิดเม็ดเวลาใช้งานจะต้องใส่ตะกั่วดีเตเนียม ส่วนผสมและคุณสมบัติของโลหะหลังจากใช้น้ำยาชุบนิกเกิลแต่ละชนิด แสดงในตาราง 3.1

Type	Ingredients **	Concentration, g/l	pH (electrometric)	Temperature, C
Watts	Nickel sulfate, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	330	1.5-4.5	46-65
	Nickel chloride, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	45		
	Boric acid, H_3BO_3	38		
Hard	Nickel sulfate, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	180	5.6-5.9	43-60
	Ammonium chloride, (NH_4Cl)	25		
	Boric acid, H_3BO_3	30		
Chloride	Nickel chloride, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	300	2.0	50-70
	Boric acid, H_3BO_3	38		
Chloride-Sulfate	Nickel sulfate, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	200	1.5-2.0	45
	Nickel chloride, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	175		
	Boric acid, H_3BO_3	40		
Chloride-Acetate	Nickel chloride, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	135	4.5-4.9	30-50
	Nickel acetate, $\text{Ni}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	105		
Nickel-Cobalt	Nickel sulfate, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	240	4.7	40
	Nickel chloride, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	22.5		
	Boric acid, H_3BO_3	30		
	Ammonium sulfate, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1.5		
	Nickel formate, $\text{Ni}(\text{CHO}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	15		
Cobalt sulfate, $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2.6			
Fluoborate	Nickel (as fluoborate)	75	2.0-3.5 (colorimetric)	40-80
	Free fluoboric acid, HBF_4	3.7-37.5		
	Free boric acid, H_3BO_3	30		
Sulfamate	Nickel sulfamate, $\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_2)_2$	450	3.0-5.0	40-60
	Boric acid, H_3BO_3	30		
Sulfamate-Chloride	Nickel sulfamate, $\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_2)_2$	300	3.5-4.2	28-60
	Nickel chloride, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	6		
	Boric acid, H_3BO_3	30		

* An antipitting agent is normally used in these baths.

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนผสมของน้ำยาชุบนิกเกิลชนิดต่าง ๆ (Pinner W.L. และ คณะ, 1964)

การชุบนิเกิลมีหลายแบบด้วยกัน นิเกิลด้าน นิเกิลกึ่งเงา นิเกิลเงา ชำดินนิเกิล และนิเกิลดำ ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการชุบนิเกิลเงา และนิเกิลด้านซึ่งมีบทบาทในอุตสาหกรรมชุบโลหะอย่างมาก

3.2.1 นิเกิลด้าน (Dull Nickel) นิเกิลด้านโดยทั่วไปใช้ชุบลงบนชิ้นงานก่อนที่จะชุบโครเมียม แต่ชิ้นงานที่ชุบนิกเกิลด้านแล้วจะต้องนำไปขัดด้วยเครื่องมือขัดให้ชิ้นงานมันเงา จึงนำไปชุบโครเมียม

3.2.1.1 ส่วนผสมของน้ำยา

สูตร	นิเกิลซัลเฟต ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	250	กรัม/ลิตร
	นิเกิลคลอไรด์ ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	60	"
	กรดบอริก (H_3BO_3)	40	"
	ค่า pH	3.5 - 4.5	

3.2.1.2 สภาวะการทำงาน

ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20 แอมป์/ตารางฟุต
ตัวล่อใช้นิเกิล

3.2.2 นิเกิลกึ่งเงา (Bright Nickel) นิเกิลเงาใช้ชุบรองพื้นบนชิ้นงานก่อนชุบโครเมียม, ก่อนชุบทองเหลือง และชุบรองพื้นก่อนชุบเงินและก่อนชุบทอง ถ้าหากชุบรองพื้นด้วยนิเกิลเงา แต่ชิ้นงานไม่มันเงาแสดงว่ามีการผิดพลาดระหว่างชุบ อาจใช้กระแสที่น้อยไปหรือน้ำยาเงาไม่พอ จะต้องหาสาเหตุให้พบแล้วแก้ไขจนกระทั่งชุบแล้วชิ้นงานมันเงาตามต้องการ จึงนับว่าใช้ได้จึงนำชิ้นงานชุบในขั้นต่อไปได้

3.2.2.1 ส่วนผสมของน้ำยาชุบนิกเกิลเงา

สูตร	นิเกิลซัลเฟต ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	250 - 300	กรัม/ลิตร
	นิเกิลคลอไรด์ ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	40 - 60	"
	กรดบอริก (H_3BO_3)	35 - 45	"
	น้ำยาเงา	เติมตามคู่มือของน้ำยานั้น ๆ	

ตัวล่อ (Anode) ใช้ निकเกิล

3.2.2.2 สภาวะการทำงาน

อุณหภูมิ	45 - 65° C	
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	20 - 40	แอมป์/ตารางฟุต

1) หน้าที่ของส่วนผสมต่าง ๆ

ก) **นิกเกิลซัลเฟต ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)** เป็นเกลือให้นิกเกิลไอออนในสารละลาย นิกเกิลไอออนจะเป็นตัวโลหะนิกเกิลไปจับเคลือบบนชิ้นงานที่ชุบ

ข) **นิกเกิลคลอไรด์ ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)** หน้าที่สำคัญของนิกเกิลคลอไรด์ คือให้นิกเกิลไอออนและคลอไรด์ไอออน คลอไรด์เป็นตัวทำให้การละลายของขั้วบวกดีขึ้น ช่วยเพิ่มการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำยาชุบ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มกำลังการชุบเคลือบผิวอันเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มประสิทธิภาพของขั้วลบ

ค) **กรดบอริก (H_3BO_3)** ทำหน้าที่เป็นตัวปะทะในน้ำยาชุบนิกเกิล คือจะเป็นตัวควบคุมพีเอชของน้ำยาชุบให้คงที่ ถ้าไม่มีกรดบอริกค่าพีเอชของน้ำยาจะเปลี่ยนแปลงไปได้ง่าย ซึ่งค่าพีเอช นี้มีความสำคัญต่อน้ำยาชุบนิกเกิลมาก

ง) **น้ำยาเงา (Brightener)** เป็นตัวเพิ่มความเงาให้กับผิวงานที่ชุบ โดยการช่วยทำให้การเคลือบผิวของนิกเกิลเรียงตัวกันอยู่เป็นชั้นบาง ๆ บนผิวของชิ้นงาน น้ำยาเงาควรติดในขณะที่กำลังทำงานมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน น้ำยาเงามีส่วนสัมพันธ์กับค่าพีเอช ของน้ำยาชุบและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามาก การชุบไม่ขึ้นเงาอาจเนื่องมาจากน้ำยามีค่า พีเอชต่ำ การเติมน้ำยาเงามากเกินไปนอกจากจะทำให้การชุบเปราะแล้วยังทำให้เป็นเงาอ่อนลงก็ได้ ถ้ามีความหนาแน่นไฟฟ้าต่ำ ดังนั้นไม่ควรเติมน้ำยาเงาทันทีเมื่อการชุบไม่ขึ้นเงาเพราะอาจจะเนื่องจากเหตุอื่นควรจะมีการวัดค่าพีเอชก่อน สิ่งสกปรก เช่น เศษโลหะต่าง ๆ ก็เป็นเหตุหนึ่งที่ทำให้ชุบไม่ขึ้นเงา

2) ความสำคัญของสภาวะการทำงานของน้ำยาชุบ

ก) **ค่าพีเอช** มีความสำคัญที่สุดในน้ำยาชุบนิกเกิล ถ้ารักษา

ค่าพีเอชไม่ถูกต้องแล้วจะทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ในการชุบ จึงควรตรวจสอบค่าพีเอชทุกวันเมื่อมีการชุบปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นเนื่องจากค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงไปก็就会导致ทำให้เกิดกำลังการชุบเคลือบผิวไม่ดี ประสิทธิภาพของขั้วลบต่ำ การเกาะเคลือบผิวขรุขระเปราะหรือเป็นหลุม ถ้าค่าพีเอชต่ำกว่า 3.5 การชุบจะไม่ขึ้นเงาและไม่เรียบถ้าค่าพีเอชสูงเกิน 4.5 นิเกิลที่ชุบจะเปราะ

ข) ปรับค่า pH การลดค่าของพีเอชให้ต่ำลง ทำได้โดยเติมกรดกำมะถันเจือจางลงไปในน้ำยาชุบโดยนำกรดกำมะถันผสมน้ำ 3-4 เท่า การเพิ่มค่าของพีเอชทำได้โดยเติมโซดาไฟ (โซเดียมไฮดรอกไซด์) 5% โดยเอาโซดาไฟผสมกับน้ำยาชุบนิเกิลในอัตราส่วน 50 กรัมต่อลิตรหรือเติมนิกเกิลคาร์บอเนตโดยเอานิกเกิลคาร์บอเนตละลายด้วยน้ำร้อนก่อน

ค) เครื่องให้ความร้อน (Heater) อุณหภูมิโดยทั่วไปเราสามารถให้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นในถังที่ร้อนมากกว่าในถังที่เย็น ฉะนั้นเครื่องให้ความร้อน (Heater) จึงจำเป็นสำหรับการชุบนิกเกิล

ง) ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (Current Density) อุณหภูมิปกติจะใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 5 - 20 แอมป์/ตารางฟุต แต่ถ้าน้ำยาร้อนจะใช้กระแสได้ถึง 20 - 40 แอมป์/ตารางฟุต

จ) การกวนน้ำยา จะทำให้ใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้ชุบได้หนาโดยเวลาน้อยลงและทำให้ความเข้มข้นของน้ำยาเท่ากันตลอดถัง

ฉ) ผลของสิ่งสกปรกและการกำจัด ในถังชุบนิกเกิลแม้จะมีสิ่งเจือปนจำนวนเล็กน้อย เนื่องจากโลหะต่าง ๆ เช่น เหล็ก สังกะสี ทองแดง หรือตะกั่วจะทำให้ชิ้นงานที่ชุบนั้นแลดูไม่สวยลดความเงางาม และค่าคล้าบริเวณที่ได้รับกระแสไฟต่ำ

นอกจากนั้นยังมีการชุบนิกเกิลที่ไม่บอกรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. นิกเกิลดำ (Black Nickel) ใช้ในงานซึ่งไม่ต้องการสะท้อนแสง เช่น กรอบแว่น, อาวุธ
2. นิกเกิลซาติน (Satin Nickel) จะได้สีเคลือบเหมือนสีแพรหรือเคลือบเหมือนผิวไข่มุกเงา
3. นิกเกิลแบบหนา (Heavy electrodeposition of Nickel) ชุบชิ้นงานที่สึกหรอ ส่วนผสมของน้ำยาและสภาพต่าง ๆ

3.3 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ

น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ มีสารมลพิษสูงเจือปนอยู่ คือ โลหะหนัก ไซยาไนต์ ซึ่งการปล่อยมลสารเหล่านี้สู่สิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน รวมทั้งที่อาจเกิดต่อมนุษย์โดยทางอ้อม

3.3.1 ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (ชัยวัฒน์, 2525)

โครเมียม (Cr) สารประกอบของโครเมียมประจุบวกสามไม่ปรากฏความเป็นพิษต่อร่างกาย แต่สารประกอบของโครเมียมประจุบวกหก ก่อให้เกิดอาการคันที่ผิวหนังเป็นพิษต่อร่างกาย การสูดดมไอกรดโครมิกเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ

ทองแดง (Cu) เป็นโลหะที่ร่างกายต้องการในปริมาณเล็กน้อย ผู้ใหญ่ต้องการประมาณ 2 มก./วัน แต่ถ้าร่างกายได้รับมากเกินไปก็ก่อให้เกิดโทษแก่ร่างกายได้ เช่น รับประทาน CuSO_4 ใน ปริมาณ 27 กรัม ทำให้เสียชีวิตได้ ถ้ารับประทานในปริมาณน้อยกว่านี้ จะเกิดการอาเจียน เหน็บชา และสลัก

ตะกั่ว (Pb) เป็นโลหะที่ร่างกายไม่ต้องการ แต่ร่างกายคนเราสามารถทนต่อปริมาณตะกั่วได้ โดยคนทั่วไปสามารถมีตะกั่วในเลือด 0.25 ppm โดยไม่เป็นพิษ แต่ถ้าได้รับในปริมาณมากทันทีทันใด เช่น พบในเลือดมากกว่า 0.8 ppm เกิดเป็นพิษฉับพลันได้

นิกเกิล (Ni) สารประกอบของนิกเกิล ไม่มีผลทางสรีระของสัตว์และพืช หรือเป็นพิษในเกณฑ์ที่ต่ำมาก

สังกะสี (Zn) สังกะสีในรูปของธาตุ ไม่ปรากฏความเป็นพิษ แต่สารประกอบหลายตัวเป็นพิษแต่อยู่ในเกณฑ์ต่ำ

ไซยาไนต์ (CN^-) ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนต์ เป็นพิษอย่างแรง ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ และอาจทำให้เสียชีวิตได้

3.2.2 ผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ โลหะหนักที่เจือปนในน้ำเสีย มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ โดยโลหะหนักบางชนิดในปริมาณต่ำสามารถกระตุ้นให้การทำงานดีขึ้นเช่น ทองแดง สังกะสี เป็นต้น แต่จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียเมื่อมีปริมาณสูง โลหะหนักบางตัวไม่มีความสามารถในการกระตุ้น แต่เป็นพิษเมื่อมีปริมาณสูงพอ สำหรับปริมาณที่ทนได้ต่อโลหะหนักมีผู้ศึกษาไว้ดังนี้

Forstner และ Wittmann, 1981 ได้แสดงระดับที่ทนได้ของระบบบำบัดทางชีวภาพระบบฟอกตัวเองตามธรรมชาติ สัตว์ และมนุษย์ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3. ความสามารถในการทนต่อระดับความเป็นพิษของโลหะหนัก
และสารประกอบโลหะหนัก (Forstner และ Wittmann, 1981)

Element/Compound	Biologic Purification ^a	Self-purification ^a	Crustacean ^b	Fish ^b	Mammal ^b	Man ^b
Al ₂ (SO ₄) ₃			136	1.8 (trout)	12 g/kg	
Ag-compounds			0.01 -- 0.03	0.003-- 0.1		(0.05 mg/l chron.)
As-compounds	> 0.7		4 -- 9.1	1 -- 23	2 15mg/kg	2 mg/kg (0.05 mg/l chron.)
BaCl ₂	1000		83 -- 1500	0.15 -- 8.3 g/l	30 500 mg/kg	3.3-- 8.3 mg/kg
BeSO ₄ (Be)				1.3 (sunfishes) 0.2 (others)		
H ₂ NO ₃				1 -- 10 g/l	1 -- 5.1 g/kg	5 -- 20 g
CdCl ₂ (Cd)	1-5	0.1	0.03 -- 0.4	3.0 (trout)	0.07-- 0.15 mg/kg	50 -- 500 mg/kg
Co-compound (Co)		5	(0.5) protozoa	0.01 -- 0.1	0.7 -- 1.5 g/kg	50 -- 500 mg/kg
Chromate [Cr(VI)]			0.3 -- 0.7	0.015-- 0.195	(0.45-- 11 mg/l chron.)	0.5-- 5 g/kg
Cr ₂ (SO ₄) ₃ (Cr)	2-5	0.3	0.03 -- 0.1	1.2 -- 200		(8 g)
CuSO ₄ (Cu)	1	0.01	0.08 -- 0.8	0.03 -- 0.8 (trout)	(8 g)	(8 g)
FeSO ₄ (Fe)	> 35	Fe-deposits	1.62 -- 152	0.9 -- 152	0.5 -- 5 g/kg	0.5 -- 5 g/kg
HgCl ₂ (Hg)		0.018	0.03 -- 0.1	0.15 -- 0.25 (trout)	(0.1 -- 1 g)	
Mn-compounds (Mn)			0.5 -- 1 g/l	0.05 -- 1.2 g/l		0.5 -- 5 g/kg
Ni-compounds (Ni)	6	0.1	0.0055-- 1 g/l	0.8 -- 55		50 -- 500 mg/kg
Pb(NO ₃) ₂ (Pb)	5		3 -- 170	0.33 -- 200 (trout)	2 g/kg	
Se-compounds			(183) protozoa	2 -- 10.5	(5 -- 10 mg/l chron.)	(0.01 mg/l chron.)
Sn-compounds				2		
ZnSO ₄ (Zn)	1-3	0.1	19.4	1 -- 5 (trout)	1.9 -- 2.2 mg/kg	

^a Data after Liebmann, 1958.

^b Data after Jung, 1973, and the Hygiene-Institut des Ruhrgebiets, Gelsenkirchen.

3.4 เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสีย

ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชลประทานนั้น สามารถทำได้โดยอาศัยกระบวนการอย่างหนึ่งอย่างใดหรือหลายอย่างรวมกันดังต่อไปนี้ (Patterson, 1985 และ Wentz, 1989)

3.4.1 การตกผลึก (Precipitation) เป็นการเปลี่ยนรูปโลหะที่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปของแข็ง (Solids) สามารถทำได้โดยการทำอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้

- 1) การเติมสารเคมีเพื่อไปทำปฏิกิริยากับโลหะหนักโดยตรง เกิดเป็นสารประกอบที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ เช่นการเติมซิลิไซด์ เป็นต้น
- 2) การเปลี่ยนสมดุลของปฏิกิริยาเคมี โดยการเติมสารที่ทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ละลายน้ำมีค่าลดลง ได้แก่ การปรับพีเอช
- 3) การเปลี่ยนออกฤทธิ์ เป็นการปรับเพื่อให้สารประกอบของโลหะนั้นมีค่าความสามารถในการละลายได้น้อยลง

3.4.2 การรวมตะกอน (Flocculation) เป็นกระบวนการในการทำให้ตะกอนรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้น สามารถตกตะกอนได้เร็ว

3.4.3 การตกตะกอน (Sedimentation) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการแยกของแข็งออกจากน้ำ โดยสารประกอบโลหะหนักมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ สามารถตกตะกอนได้เร็ว โดยกระบวนการนี้มักจะต่อจากกระบวนการรวมตะกอน

3.4.4 การกรอง (Filtration) เป็นกระบวนการแยกของแข็งออกจากน้ำเนื่องจากตะกอนบางส่วนที่มีขนาดเล็กและแขวนลอยได้ ไม่สามารถแยกได้โดยการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว

3.4.5 ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation-Reduction) เป็นกระบวนการทางเคมีที่มีการเปลี่ยนค่าเลขประจุ เพื่อให้มีความเป็นพิษน้อยลง และสามารถกำจัดได้ง่ายขึ้น เช่น ไซยาไนต์ และโครเมียมประจุบวกหก

3.4.6 กระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) เป็นกระบวนการทางเคมี น้ำเสียที่มีโลหะหนักที่มีประจุบวกหรือสารประกอบที่มีประจุลบ เมื่อผ่านเรซินก็จะถูกจับไว้ในเรซิน ทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดี แต่หลังจากใช้งานสักระยะประสิทธิภาพจะต่ำลงต้องมีการฟื้นฟูประสิทธิภาพ

(Regeneration) และได้น้ำที่มีความเข้มข้นของโลหะหนัก หรือสารประกอบสูงมาก อาจนำกลับมาใช้ใหม่ หรือกำจัดด้วยวิธีอื่น (อุตสาหกรรม, 2522)

3.4.7 การระเหย (Evaporation) เป็นการให้ความร้อนในการระเหยน้ำออกไป ทำให้ความเข้มข้นของน้ำเสียสูงขึ้นหรือกลายเป็นภาคตะกอน พลังงานที่ใช้มาจากเชื้อเพลิง (Fuel) การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) หรือใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์

3.4.8 รีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis) เป็นกระบวนการแยกน้ำออกจากน้ำเสียโดยการใช้แรงดันอัดน้ำเสียให้ผ่านเยื่อ (Semipermeable Membrane) ซึ่งเยื่อนี้จะมีคุณสมบัติยอมให้น้ำและสารบางตัวผ่านไปได้ ดังนั้นจะได้น้ำที่มีความสะอาดและน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง กระบวนการนี้จะต้องใช้พลังงานมาก และต้องมีการควบคุมคุณภาพของน้ำเสียเข้า

3.4.9 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ถ่านกัมมันต์จะมีรูพรุนมากมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักสูง เมื่อมีการสัมผัสกับน้ำเสีย จะทำให้มลสารต่างๆ ถูกจับไว้ในช่องรูพรุนต่างๆ ทำให้น้ำทิ้งสะอาด แต่ถ่านกัมมันต์ที่ใช้งานแล้วไม่ควรกำจัดโดยการเผา

หลักเกณฑ์ในการเลือกใช้กระบวนการต่าง ๆ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างนั้นจะต้องพิจารณาความเหมาะสมต่าง ๆ ในหัวข้อดังต่อไปนี้

- 1) ลักษณะของน้ำเสียก่อนบำบัด
- 2) คุณภาพของน้ำทิ้งที่ต้องการ
- 3) พื้นที่ที่ต้องใช้ทั้งหมด
- 4) ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียและตรวจสอบคุณภาพ
- 5) ความยากง่ายในการเดินระบบและความปลอดภัย
- 6) ความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ หรือกากที่ต้องกำจัด

3.5 กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

3.5.1 หน้าที่ของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (มันลิน , 2526)

หน้าที่ของระบบแลกเปลี่ยนไอออนมี 2 ประการซึ่งเกิดขึ้นต่อเนื่องกัน คือ

- 1) กำจัดไอออนต่างๆ ออกจากน้ำ เช่น Ca^{++} , Mg^{++} , SO_4 , Cl^- เป็นต้น
- 2) ทำให้ไอออนต่างๆ มีความเข้มข้นสูงมากๆ งานส่วนนี้เกิดขึ้นหลังจากได้น้ำสะอาดแล้ว กล่าวคือ ไอออนที่ถูกกำจัดออกจากสารละลาย จะหลุดออกมาพร้อมกับสารละลายรีเจน

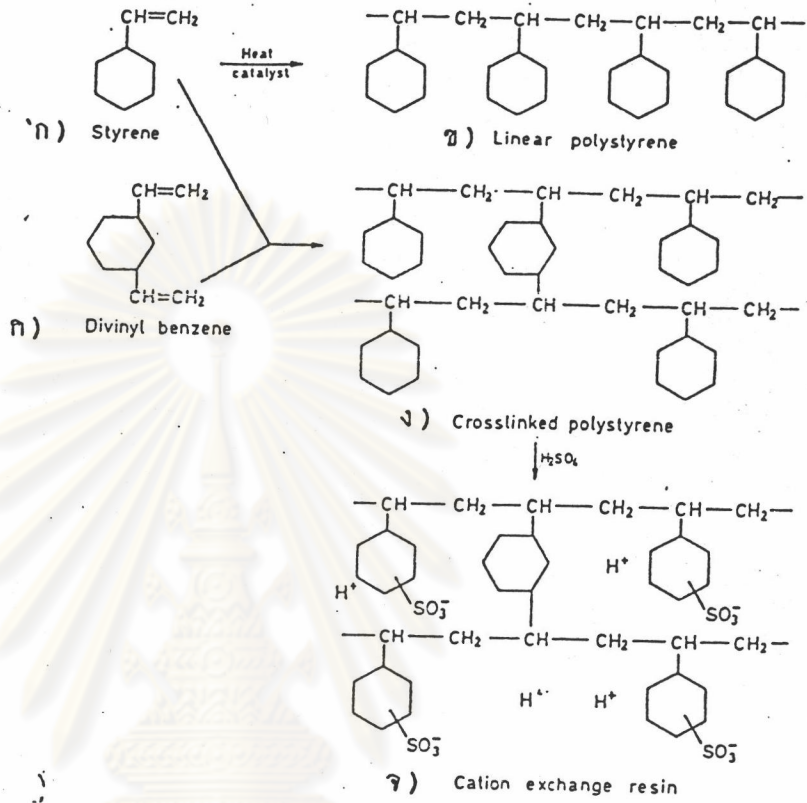
เนอแรนต์ (Regenerant) ในระหว่างการทำรีเจนเนอเรชัน (Regeneration) เนื่องจากปริมาณของสารละลายรีเจนเนอเรนต์ต่ำกว่าปริมาตรสารละลาย ซึ่งเป็นที่อยู่เดิมของไอออนความเข้มข้นใหม่ของไอออนจึงสูงมากลักษณะเช่นนี้เท่ากับเป็นการทำให้ไอออนซึ่งเดิมเจือจางมาก มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหลายเท่า เช่น ในกรณีการกำจัดนิเกิลออกจากน้ำในการวิจัยนี้ เราต้องการแยกไอออนออกจากสารละลายเจือจาง เพื่อนำไปใช้ประโยชน์จึงต้องการทำให้ไอออนมีความเข้มข้นสูงมาก ๆ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนจึงมีประโยชน์มากในกรณีนี้

3.5.2 โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

ในที่นี้จะกล่าวถึงกับเรซินสังเคราะห์จากอินทรีย์สาร ซึ่งใช้ในการวิจัยครั้งนี้โดยทั่วไป โครงสร้างของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดสมรรถภาพ ในการแลกเปลี่ยนไอออนควรมีความเข้าใจถึงรายละเอียดบางประการเกี่ยวกับโครงสร้างของเรซิน

เรซินชนิดอินทรีย์สาร มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ โครงร่างที่ไม่มีประจุไฟฟ้าและหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้า (Functional Group) โครงร่างของเรซินเป็นส่วนที่ทำให้มันมีรูปร่างเป็นอย่างไรที่ปรากฏ และคงรูปร่างอยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำ และไม่แตกหักโดยง่าย โครงร่างนี้สร้างขึ้นจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมาก ที่เป็นชนิดเต็วกันซึ่งต่อกันเป็นเส้นยาว และมีไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่งมาทำหน้าที่ประสานเพื่อให้เกิดเป็นรูป 3 มิติ (ดูรูป 3.7) ที่มีความโปร่งหรือความพรุน ความโปร่งของเรซินขึ้นอยู่กับความเหนียวแน่นของการประสาน (Degree of Crosslinkage)

ซึ่งวัดได้จากปริมาณของตัวประสาน ให้อัตราที่ 3.7 เป็นตัวอย่างประกอบคำอธิบายในกรณีนี้ตัวประสานคือ DVB (Divinylbenzene) โพลีสไตรีนจะเกาะกันกับแน่นหนาเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณของ DVB ที่ใช้กล่าวคือ ถ้าใช้ DVB มาก โครงร่างของเรซินจะแข็งและทึบ แต่ถ้าใช้ DVB น้อย โครงร่างของเรซินจะอ่อนและโปร่ง โดยปรกติ มักให้เรซินมี Degree of Crosslinkage ประมาณ 8-12% DVB ซึ่งหมายความว่า มี DVB ประมาณ 8-12% ของไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด (มีโพลีสไตรีนประมาณ 88-92%) ความโปร่งหรือความพรุนของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยน (Exchange Capacity) และกำหนดลักษณะอื่นๆของเรซินด้วยเช่น ความชื้นในเรซิน (Dorfner, 1972) เป็นต้น กล่าวคือเรซินจะต้องมีความพรุนพอเพียงที่จะทำให้ไอออนต่างๆเคลื่อนที่เข้าออกได้สะดวกจึงจะมีการแลกเปลี่ยนไอออนได้เรซินที่มี Degree of Crosslinkage สูงเกินไปจะมีความพรุนต่ำทำให้มีน้ำ (ความชื้น) อยู่ในเรซินน้อย นอกจากนี้ยังแตกหักง่ายอีกด้วยเรซินที่มี Degree of Crosslinkage ต่ำเกินไปจะมีความพรุนมากทำให้มีน้ำได้มาก แต่สลายตัวได้ง่ายเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยว หรือแรงประสานต่ำหมู่ไอออน (Functional Group) ของเรซินเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆของเรซิน



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.7 ไฮโดรคาร์บอนที่เป็นต้นกำเนิด คือ Styrene (รูป ก.) เมื่อหลายโมเลกุลมาต่อกัน จะเป็นโพลีเมอร์ (รูป ข.) เป็นสายยาว การต่อกันเป็นสามมิติ เกิดขึ้นได้เมื่อมีตัวประสาน คือ Divinyl benzene (รูป ค.) ทำให้ได้ โครงร่างของเรซิน (รูป ง.) ซึ่งยังไม่มีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน การเติมหมู่ไอออน เช่น $-SO_3H$ (ซัลโฟนิค) ทำให้ได้เรซินที่มีอำนาจอย่างสมบูรณ์ (รูป จ.) (มั่นสิน, 2526)

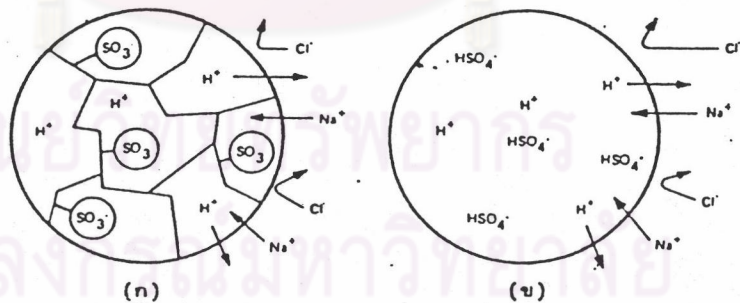
Classification	Active Groups	Dissociation Constant pK_a	Typical configuration
<u>Cation Exchange Resins</u>			
Strong acid:	Sulfonic	1	
	Methylene sulfonic	1	
Weak acid:	Carboxylic	4-6	
	Phosphonic	2-3 7-8	
	Phenolic hydroxyl	9-10	
<u>Anion Exchange Resins</u>			
Strong base:	Quarternary ammonium (type I)	13	
	(type III)		
Weak base:	Primary amine	6-9	
	Secondary amine	7-9	
	Tertiary amine (aromatic matrix)	9-11	
	(aliphatic matrix)		

ตารางที่ 3.3 หมู่ไอออนอิสระของเรซินประเภทต่าง ๆ

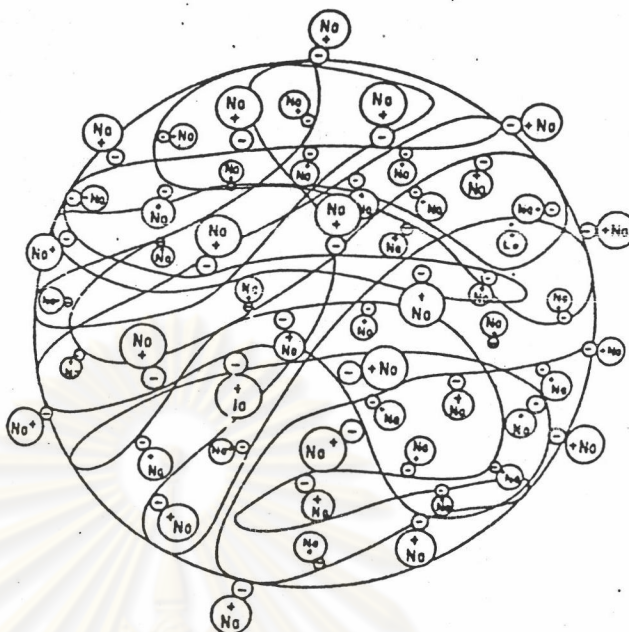
(มันลิน , 2526)

เช่น ความสามารถหรืออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน (Panswad, 1975) เป็นต้น หมู่ไอออนเกาะจับอยู่บนโครงร่างไฮโดรคาร์บอน (ดูรูปที่ 3.7) ทำให้เรซินมีประจุบวกหรือลบการจำแนกประเภทของเรซินออกเป็น 4 ประเภทก็เป็นที่ไปตามชนิดของหมู่ไอออนนี้เอง (ดูตารางที่ 3.3) ยกตัวอย่าง เช่น หมู่ซัลโฟนิค ($-SO_3$) หรือหมู่คาร์บอกซิลิก ($-COO$) ทำให้เรซินมีประจุลบประจำตัวโครงร่างไฮโดรคาร์บอนและหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้า จับตัวกันเป็นส่วนประกอบถาวรของเรซิน และจำเป็นต้องมีไอออนอิสระที่มีประจุตรงกันข้าม มาทำให้เรซินเป็นกลางเรซินใหม่จะให้ H^+ , Na^+ , Cl^- , OH^- ตัวใดตัวหนึ่งเป็นไอออนอิสระ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเรซินและสิ่งที่ต้องการทำ

จัดออกจากน้ำ ไอออนอิสระนี้จับอยู่กับหมู่ไอออน(Functional Group)ของเรซิน (ดูรูปที่ 3.8 และ 3.9) รูปที่ 3.8 แสดงให้เห็นถึงการแลกเปลี่ยนระหว่าง H^+ ของเรซิน และ Na^+ ในน้ำ หมู่ซัลโฟนิคประกอบด้วย $-SO_3$ ซึ่งไม่เคลื่อนที่และ H^+ ซึ่งใช้แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกที่อยู่ในน้ำ ภายในเรซินจะมีน้ำอยู่มาก 50% (แม้ว่าจะเห็นเป็นเรซินแห้ง ๆ ก็ตาม) หมู่ซัลโฟนิคทำให้สารละลายภายในเรซิน มีความเข้มข้นกรด สูงประมาณ 25% H^+ หรือไอออนอื่น ๆ สามารถเคลื่อนที่เข้าหรือออกจากเรซินได้ จึงทำให้มีการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ก. แสดงภาพตัดภายในเรซิน (เป็นจินตนาการ) ข. เรซินแบบกรดแก่ อาจเปรียบเทียบได้เป็นหยดสารละลายกรดกำมะถันที่มีเยื่อเมมเบรนซึ่งยอมให้เฉพาะไอออนบวกผ่านเข้าออก รูปที่ 3.9 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนเป็นโครงสร้างพลาสติก ที่มีประจุลบหรือบวกติดประจำตัวอยู่ เรซินที่มีประจุลบประจำตัว สามารถจับ Na^+ หรือ H^+ ไว้แลกเปลี่ยนประจุบวกประจำตัว สามารถจับ OH^- และ Cl^- ไว้แลกเปลี่ยนประจุลบในน้ำ จึงมีชื่อเรียกว่า Anionic Resin อย่างชั่วคราวและพร้อมที่จะแลกเปลี่ยนกับไอออนอื่น ที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำการที่ไอออนอิสระสามารถอาศัยอยู่ในเรซินได้ ทำให้อาจเรียกเรซินว่า "Solid Solution" (ขอให้เปรียบเทียบกับLiquid Solution หรือ Solution แบบธรรมดา) เนื่องจากความเข้มข้นใน 1N ในLiquid Solutionหมายถึงมวล 1 สมมูลย์ในสารละลาย 1 ลิตร (1 สมมูลย์/ลิตร)ความเข้มข้นของไอออนอิสระในเรซิน จึงอาจใช้หน่วยเดียวกันได้ ในทางปฏิบัติอาจถือว่า Cationic Resin มีความเข้มข้นประมาณ 2N ส่วน Anionic Resin (Strong Base) มีความเข้มข้นประมาณ 1.3 N ความเข้มข้นไอออนของเรซินดังกล่าวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน ยกตัวอย่างเช่น



รูปที่ 3.8 แสดงการแลกเปลี่ยนระหว่าง H^+ และ Na^+ ในน้ำกับเรซิน
 ก. แสดงภาพตัดภายในเรซิน (เป็นจินตนาการ)
 ข. เรซินแบบกรดแก่
 (มั่นสิน , 2526)



รูปที่ 3.9 รูปแสดงประจวบและประจุลบที่ติดประจำตัวอยู่กับเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (มีนสิน, 2526)

เรซินมี Na^+ เข้มข้น $2N$ หรือ 2 สมมูลย์/ลิตร (เท่ากับ 2 eq./l.) ย่อมหมายความว่าเรซินมีอำนาจสูงสุดในการแลกเปลี่ยนไอออนได้เท่ากับ 2 สมมูลย์/ลิตร เพราะมีจำนวนดังกล่าวไว้แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกอื่น ๆ ในน้ำ อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติการแลกเปลี่ยนไอออนจะเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ ทำให้อำนาจเปลี่ยนไอออนมีค่าไม่ถึงค่าความเข้มข้นของไอออนในเรซิน

สรุปได้ว่า เรซินมีไฮโดรคาร์บอนหลาย ๆ โมเลกุลประสานต่อกันเป็นโครงร่างซึ่งทำให้เรซินคงสภาพดังที่เห็นได้ แต่ส่วนที่ทำให้เรซินมีอำนาจแลกเปลี่ยนไอออนของน้ำได้นั้น เป็นหมู่ไอออนซึ่งมีส่วนหนึ่งเกาะติดอยู่กับโครงร่างและไม่เคลื่อนที่ อีกส่วนหนึ่งเป็นไอออนที่เคลื่อนที่ได้ และเป็นส่วนที่ใช้แลกเปลี่ยนกับไอออนที่อยู่ในน้ำ

3.5.3 การจำแนกประเภทของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

หากเราเปรียบเทียบอย่างง่าย ๆ แต่ชัดเจน เรซินแต่ละชนิดสามารถเปรียบเทียบได้กับกรดหรือด่างซึ่งมีทั้งอ่อนและแก่ ความแตกต่างที่ต้องตระหนักไว้ คือกรดและด่างเป็นของ

เหลว แต่เรซินเป็นของแข็ง ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าเรซินเป็นกรดหรือด่างชนิดแข็ง ความแตกต่างอีกประการหนึ่งคือ ผลปฏิกิริยาที่ได้ สำหรับในกรณีของกรดหรือด่างธรรมดา ผลปฏิกิริยาจะยังคงอยู่ในน้ำ แต่ปฏิกิริยาของเรซินนั้น ผลปฏิกิริยาที่ได้ยังคงอยู่กับเรซิน นั่นคือผลปฏิกิริยาเป็นของแข็ง

จากการที่เรซินเปรียบเทียบกับได้กับกรดหรือด่าง ทำให้มีการแบ่งประเภทของเรซิน ตามความเป็นกรดหรือด่างได้ 4 ชนิด ดังนี้

เรซินแบบกรดแก่ (Strong Acidic Cationic Resin)

เรซินแบบกรดอ่อน (Weak Acidic Cationic Resin)

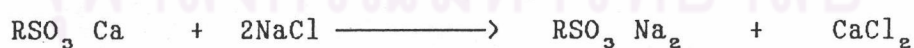
เรซินแบบด่างแก่ (Strong Basic Anionic Resin)

เรซินแบบด่างอ่อน (Weak Basic Anionic Resin)

3.5.3.1 เรซินแบบกรดแก่

หน้าที่ของเรซินแบบกรด (ทั้งแก่และอ่อน) คือใช้ไอออนบวกของตัวเอง (มักเป็น H^+ หรือ Na^+) แลกกับไอออนที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ เช่น Ca^{+2} , Mg^{+2} เป็นต้น H^+ หรือ Na^+ เป็นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ของหมู่ไอออนของเรซิน ยกตัวอย่าง เช่น เรซินแบบกรดแก่จะมีหมู่ซัลโฟนิค หรือ $-SO_3$ เป็นหมู่ไอออน ซึ่งจับติดอยู่กับโครงไฮโดรคาร์บอน หมู่ซัลโฟนิคนี้อาจอยู่ในรูปของ H^+ ดังเช่น $-SO_3^+H$ หรืออยู่ในรูปของ Na^+ เช่น $-SO_3Na^+$ ก็ได้ $-SO_3^-H^+$ จะเป็นส่วนที่ไม่ใช้ในการแลกเปลี่ยน มีแต่ H^+ หรือ Na^+ เท่านั้น ที่ใช้แลกกับไอออนบวกที่อยู่ในน้ำ

เรซินทุกชนิดต้องหมดอำนาจเมื่อใช้ไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง แต่สามารถเรียกอำนาจกลับคืนมาได้อีกโดยการทำรีเจนเนอเรชัน เรซินที่อยู่ในรูปของ Na^+ ต้องรีเจนเนอเรตด้วยเกลือแกง ($NaCl$) ดังนี้



ส่วนเรซินที่อยู่ในรูปของ H^+ ต้องรีเจนเนอเรตด้วยกรดแก่ (H^+) ดังนี้

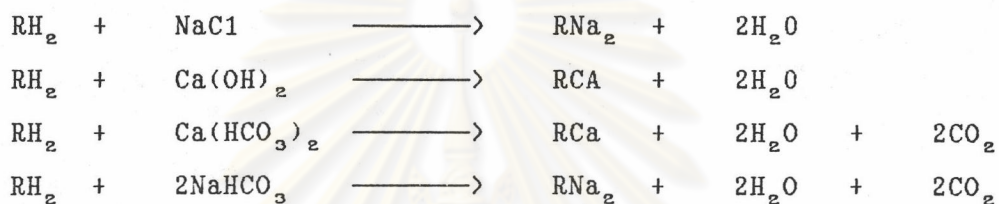


3.5.3.2 เรซินแบบกรดอ่อน

เรซินแบบนี้แตกต่างจากเรซินแบบกรดแก่ที่ตัวหมู่ไอออน กล่าวคือ ในขณะที่เรซิน

แบบกรดแก่มีหมู่ซัลโฟนิก เรซินแบบกรดอ่อนมีหมู่คาร์บอกซิลิก ($-\text{COOH}$ หรือ $-\text{COONa}$) หมู่ซัลโฟนิกอาจเทียบเท่ากับกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ซึ่งเป็นกรดแก่ ส่วนหมู่คาร์บอกซิลิกอาจเทียบเท่ากับกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ซึ่งเป็นกรดอ่อน เรซินชนิดนี้แตกตัวเป็นไอออนได้น้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด ทำให้ไม่สามารถใช้แลกเปลี่ยนไอออนให้กับเกลือที่ได้จากกรดแก่ เช่น NaCl , CaSO_4 อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการรีเจนเนอเรชัน สูงถึง 80% โดยมีกรดแก่หรือกรดอ่อนหรือเกลือแกงเป็นตัวรีเจนเนอเรนต์

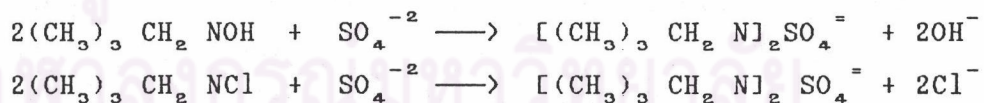
ตัวอย่างของการแลกเปลี่ยนไอออน



จะเห็นได้ว่า เรซินแบบกรดอ่อนนี้ สามารถกำจัดความเป็นด่าง (Alkalinity)

3.5.3.3 เรซินแบบด่างแก่

เรซินแบบด่างแก่มีหน้าที่หลักคือใช้ไอออนลบของตน (มักเป็น OH^- หรือ Cl^-) แลกกับไอออนลบในน้ำที่ต้องการกำจัดออก เช่น HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- เป็นต้น หมู่ไอออนของเรซินแบบด่างแก่ มักเป็น Quaternary Amine ตัวอย่าง เช่น $(\text{CH}_3)_3\text{CH}_2\text{N}^+$ ไอออนอิสระมักเป็น Cl^- หรืออาจเป็น OH^- ปฏิบัติการในการแลกเปลี่ยนไอออนและรีเจนเนอเรชัน เป็นปฏิปักษ์กลับซึ่งกันและกัน ดังนี้



สารรีเจนเนอเรนต์อาจเป็น NaCl หรือ HCl หรือ NaOH ทั้งนี้แล้วแต่ว่าเรซินอยู่ในรูปใด

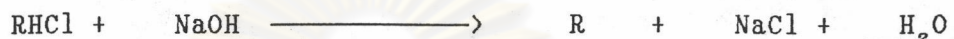
3.5.3.4 เรซินแบบด่างอ่อน

การกำจัดไอออนของเรซินแบบนี้ นับว่าแตกต่างจากเรซินอีก 3 ประเภท เนื่องจากไม่ได้มีการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินชนิดนี้กำจัดได้เฉพาะกรดแก่ เช่น HCl , H_2SO_4 , HNO_3

ออกจากน้ำ และไม่สามารถกำจัดกรดอ่อน เช่น CO_2 , SiO_2 เป็นต้น การกำจัดกรดแก่เกิดขึ้น โดยที่กรดแก่ทั้งโมเลกุลเข้ามาจับกับเรซิน



ดังนั้น เรซินชนิดนี้จึงไม่ต้องมีไอออนอิสระก็ได้ รีเจนเนอเรชั่นอาจเป็น NaOH หรือ Na_2CO_3 หรือ NH_4OH ก็ได้ ทั้งนี้เพราะเรซินจับกับกรดไม่แน่นหนา



3.5.4 คุณสมบัติทั่วไปของเรซิน

เพื่อให้มีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินควรมีคุณสมบัติต่อไปนี้

- ก) ต้องมีไอออนอิสระ ที่สามารถใช้แลกเปลี่ยนไอออนในน้ำ
- ข) ต้องไม่ละลายน้ำ
- ค) ต้องมีช่องว่างภายในโครงไฮโดรคาร์บอนอย่างพอเพียง เพื่อให้ไอออนต่าง ๆ เคลื่อนที่ผ่านเข้าและออกได้อย่างสะดวก

3.5.4.1 ความชื้นของเรซิน

ความชื้นในการเก็บกักน้ำไว้ในตัว มีความสำคัญต่ออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน เรซินที่มีความชื้นสูงถ้าเก็บกักน้ำไว้ในช่องว่างได้มาก และจะมีความชื้นต่ำถ้ามีช่องว่างน้อย ความสามารถในการเก็บกักน้ำ จะแสดงให้เห็นได้จากการบวมหรือพองน้ำของเรซิน เมื่อวางแช่อยู่ในน้ำ การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเข้าและออกจากช่องว่างของเรซินเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากทำให้ไอออนต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำสามารถซึมเข้าไปแลกเปลี่ยนไอออนอิสระของเรซิน ระดับการบวมขึ้นอยู่กับระดับหรือองศาแห่งแรงยึดเหนี่ยว (Degree of Crosslinkage) ของโครงไฮโดรคาร์บอน (Panswad, 1975) (ดูรูปที่ 3.8) ซึ่งทำให้เรซินมีลักษณะเป็นเม็ดแข็ง ดังเช่นที่เป็นอยู่ ถ้าไฮโดรคาร์บอนยึดเหนี่ยวกันไม่แน่น ช่องว่างภายในจะมีมากจึงเก็บกักน้ำได้มาก (High Swelling) เป็นผลให้เรซินมีความชื้นภายในสูง และมีโอกาสบวมน้ำได้มากและที่สำคัญคือความสามารถ (คิดต่อปริมาตรของเรซิน) ในการแลกเปลี่ยนไอออนต่ำ การออกแบบถังเรซินชนิดที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไฮโดรคาร์บอนต่ำ จะต้องคำนึงถึงสภาพการหดตัวและพองตัวของเรซิน ที่เกิดในขั้นตอนรีเจนเนอเรชั่น และระหว่างการแลกเปลี่ยนไอออนในทางตรงกันข้าม เรซินที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไฮโดรคาร์บอนสูง จะมีความสามารถ (คิดต่อปริมาตร)

ในการแลกเปลี่ยนสูง มีความชื้นน้อยและพองตัวน้อย

3.5.4.2 อัตราและกลไกทางจลนศาสตร์ของปฏิกิริยา

เมื่อประจุวิ่งเข้าใกล้เรซิน ประจุจะสร้างชั้น Nernst film ที่ผิวหน้า ประจุต้องผ่าน โครงสร้างฟิล์มก่อนแพร่กระจายสู่หรือเมฆที่เปิดไว้ให้กับการแลกเปลี่ยน แล้วประจุจะทำปฏิกิริยา แทนที่ไอออนที่ซาร์จไว้ ไอออนที่ถูกแทนที่จะแพร่กระจายออกเรซินเคลื่อนไปกลุ่มของสารละลาย การเคลื่อนที่ของไอออนจากผิวของฟิล์มเข้า หรือออกจากเปลือกที่สร้างโดยประจุภายนอกเรซิน เรียก การแพร่กระจายชั้นฟิล์ม (Film diffusion) ในขณะที่การแพร่กระจายภายในโพรงของ เรซินจะเรียกการแพร่กระจายในชั้นโพรง (Pore diffusion) หรือการแพร่กระจายภายในอนุภาค (Intra particle) อัตราของการเกิดปฏิกิริยา กำหนดจากอัตราการแพร่กระจายภายใน เรซินหรือในชั้นฟิล์ม ถ้าความเข้มข้นสารละลายเจือจางมาก จะเป็นอัตราการแพร่กระจายภายใน ชั้นฟิล์มหรือ ในทางกลับกันความสามารถการแพร่กระจายภายในอนุภาคขึ้นกับโครงสร้างยึดเหนี่ยว ภายในเรซิน (Cross linkage) และขนาดอนุภาคในการแลกเปลี่ยนตามปกติ อัตราการแลกเปลี่ยนสุทธิของไอออน ขึ้นกับสาเหตุดังนี้ 1) ความเข้มข้นของสารละลายที่สัมผัสกับเรซิน 2) ระดับความปั่นป่วน 3) ขนาดอนุภาค 4) ระดับการยึดเหนี่ยว Cross Linking 5) ระดับความจุของการแลกเปลี่ยนประจุเมื่อถึงจุดอิ่มตัว 6) pH ของระบบ 7) ความเป็นกรดเป็นด่าง, อุณหภูมิ (Panswad, 1975; Diaion ; Serota ; 1958

3.5.4.3 ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk Density)

ความหนาแน่นของเรซิน เป็นความหนาแน่นปรากฏที่วัดหลังจากผ่านการ ล้างย้อน ก่อน และทิ้งให้สะเด็ดน้ำแล้ว และหมายถึงน้ำหนักของเรซิน ทารด้วยปริมาตรทั้งหมดของเรซิน ซึ่งรวมความพรุนที่เกิดจากการซ้อนกันของเรซิน ความหนาแน่นปรากฏนี้เรียกว่า Bulk Density พารามิเตอร์ที่มีความหมายคล้ายกับความหนาแน่น คือ ความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) โดยปกติเรซิน จะมี ถ.พ. ประมาณ 1.3 ซึ่งต่ำกว่า ถ.พ. ของทรายกรอง (ถ.พ. 2.65) มาก ทั้งนี้เพราะ ภายในเม็ดเรซินมีน้ำอยู่ประมาณ 40-50%

3.5.4.4 ขนาดสัมฤทธิ์ (Effective Size) และ ส.พ. ของความสม่ำเสมอ (Unifoumity Coefficient)

ขนาดของเรซิน สามารถบอกได้ด้วยพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ ขนาดสัมฤทธิ์ และ สัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอ ซึ่งมีความหมายเหมือนกับที่ใช้กับทรายกรองนอกจากนี้ขนาดของ

เรซินก็ใกล้เคียงกับขนาดของทรายกรองอีกด้วย บางครั้งขนาดของเรซินอาจบอกได้โดยอาศัยเบอร์ของตะแกรงร่อนเช่นผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ได้แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 40 เป็นต้น

3.5.4.5 คุณสมบัติเลือกในการแลกเปลี่ยน (Selectivity)

คุณสมบัติเลือกการแลกเปลี่ยนประจุกกำหนดด้วยคุณสมบัติที่แน่นอนในการชอบประจุนิตต่าง ๆ ในสารละลายที่เจือจางภายใต้อุณหภูมิห้อง คุณสมบัติเลือกประจุกแสดงแบบแผนที่แน่นอนสำคัญความชอบในการแลกเปลี่ยนขึ้นกับค่าอิเล็กตรอนวงนอก และการเพิ่มของเลขอะตอมตามข้อเสนองของ Hofmeister ลำดับความชอบจะไม่เกิดตามทฤษฎีข้างต้น ถ้ามีอุณหภูมิสูง ความเข้มข้นสูง ที่ความเข้มข้นสูง จะเกิดข้อแตกต่างในการแลกเปลี่ยนศักยภาพการแลกเปลี่ยนที่เกิดจากอิเล็กตรอนวงนอกจะมีความสำคัญน้อยลงในบางกรณีหรืออาจจะเกิดตรงกันข้าม โดยขึ้นต่อการพินอำนาจเรซิน (Panswad, 1975)

3.5.4.6 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน

ขีดความสามารถกำหนดในรูปของ ความจุรวม (total Capacity) หรือกำหนดในรูปของสมรรถนะจริงภายใต้เงื่อนไขเฉพาะ หรือขีดความสามารถเบรกทรู (Breakthrough Operating Capacity) ความจุรวม หมายถึง ปริมาณไอออนทั้งหมดที่สามารถแลกเปลี่ยนโดยเรซินเทียบเท่ากับ จำนวนกลุ่มทางเคมีที่เป็นแขนโครงสร้างทางโพลีเมอร์ และใช้ได้กับความจุความสามารถที่อิ่มตัวของเรซินในคอลัมน์ เมื่อผ่านสารละลายใด ๆ เข้า

ขีดความสามารถหรือความจุ เบรกทรู ใช้สำหรับแสดงค่าความจุของเรซิน สำหรับการแลกเปลี่ยนจากสารละลายที่ผ่านชั้นเรซินที่คงที่ที่บรรจุในคอลัมน์ ภายใต้สภาวะที่ระบุไว้ อาจกำหนดจากความจุจากการป้อนสารละลายจนกระทั่งความเข้มข้นที่กำหนดหลุดจากชั้นเรซิน ซึ่งค่าความจุนี้จะขึ้นอยู่กับค่าอัตราการไหล (Flow rate) , ความสูงชั้นเรซิน bed depth , ขนาดอนุภาคที่แลกเปลี่ยน และปริมาณสารรีเจนเนอแรนท์ ส่วนประกอบ และค่าความเข้มข้นของสารละลายที่ป้อน, อุณหภูมิ, และค่าคุณภาพหรือความบริสุทธิ์ของน้ำที่ผลิต

จากรูปที่ 3.10 แสดงความเข้มข้นของประจุ Ca^{+2} ที่ป้อนเข้าและออกจากถังปฏิกรณ์เรซินตามปริมาณน้ำเสียที่ถูกบำบัด ลักษณะของกราฟค่าความเข้มข้นกับปริมาณน้ำเสีย จะแสดงค่าความจุ เบรกทรู และเป็นลักษณะของการเดินเครื่องแบบชั้นเรซินที่คงที่ เส้นกราฟเบรกทรูนี้จะปรากฏเส้นรั่วไหล (Leakage line) ที่เกือบเป็นเส้นดิ่ง โดยเกือบตั้งฉากกับแกนที่แสดงปริมาณ ถ้าในระบบมีการเดินตามสภาพสมดุลอุณหภูมิ (100% แลกเปลี่ยน) ตามรูปที่

3.11 ภายใต้อันตรายที่ไม่สมดุลย์ จะเกิดการรั่วไหลแต่เริ่มแรก และเส้นกราฟจะเป็นรูปตัวเอสที่ไม่คม การเปลี่ยนแปลงจากแนวตั้งจะเพิ่มตามการเพิ่มของอัตราการใช้, ขนาดของอนุภาค หรือจากสาเหตุอื่น ซึ่งจะทำให้เกิดการลดอัตราการใช้แลกเปลี่ยน เช่น ค่าความเข้มข้นประจุ อุลทุมิของระบบ และค่าคุณสมบัติเลือกประจุในการแลกเปลี่ยน, เมื่อมีการเพิ่มระดับปริมาณสารรีเจนเนอชั่น (ปริมาณประจุในการนำไฟฟ้าที่ใช้ในการฟื้นฟูอำนาจเรซิน) และความสูงของชั้นเรซิน อาจลดอัตราการใช้และเพิ่มความคมของกราฟรูปตัวเอส (Panswad, 1975)

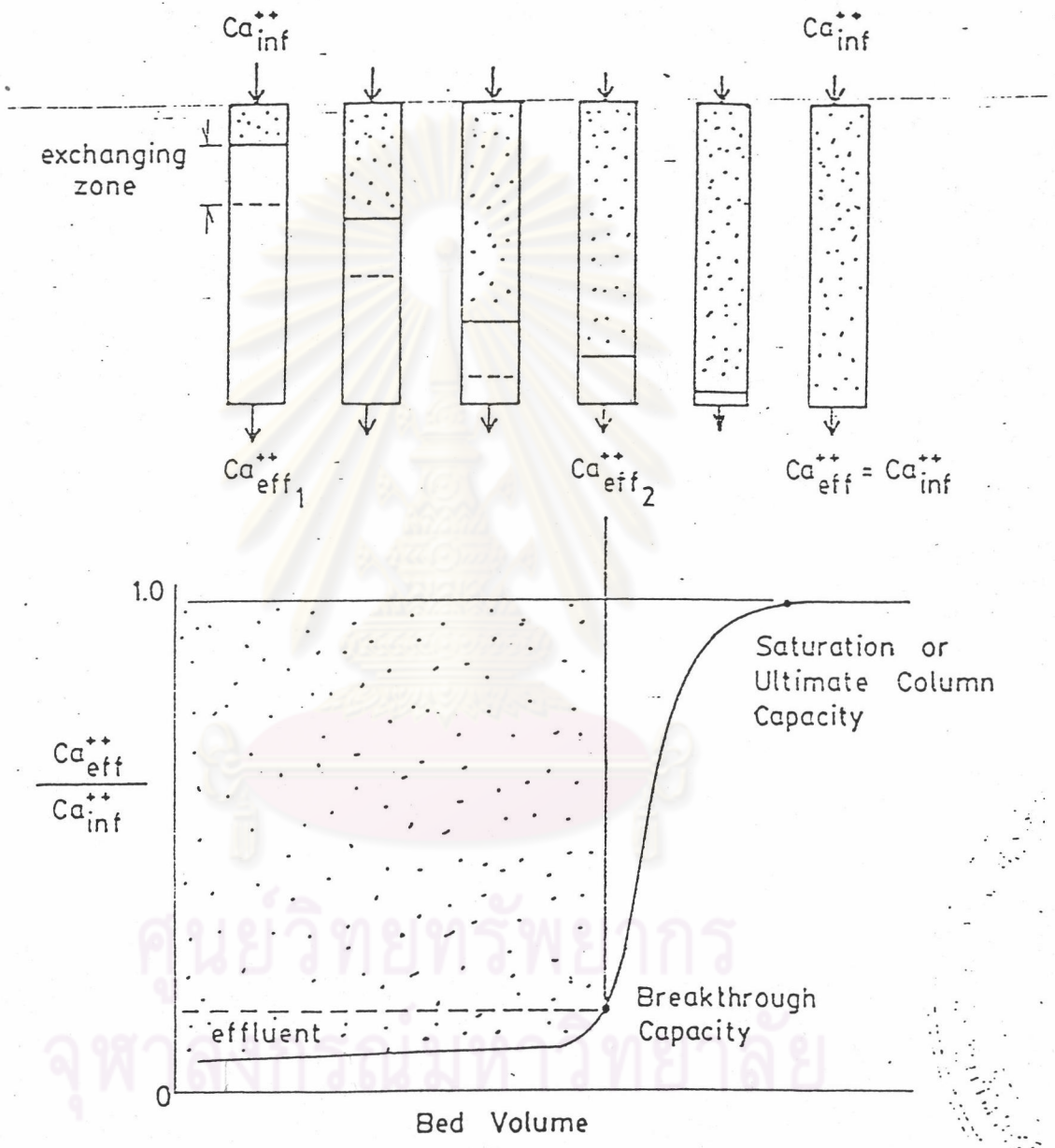
พารามิเตอร์ตัวนี้มีบทบาทอย่างสำคัญยิ่ง ในการกำหนดประสิทธิภาพของกระบวนการและราคาของระบบความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน หมายถึง ปริมาณไอออนที่เรซินแลกเปลี่ยนได้จากน้ำ (มักมีหน่วยสมมูลย์ หรือวัดในหน่วยกิโลเกรนของหินปูน โดย 1 grain per gallon as CaCO_3 เท่ากับ 17.1 ppm as CaCO_3) ต่อหน่วยน้ำหนักหรือหน่วยปริมาตรของเรซิน หน่วยแสดงขีดความสามารถของเรซิน จึงอาจเป็นได้หลายแบบ ดังนี้

- ก) หน่วยสมมูลย์ต่อปริมาตรของเรซิน เช่น meq/ml, eq/l
- ข) หน่วยสมมูลย์ต่อน้ำหนักของเรซิน เช่น meq/g
- ค) หน่วยน้ำหนัก (ในเทอมหินปูน ต่อปริมาตรของเรซิน เช่น กิโลเกรนต่อลิตรหรือ กิโลเกรนต่อล.บ. ฟุต)

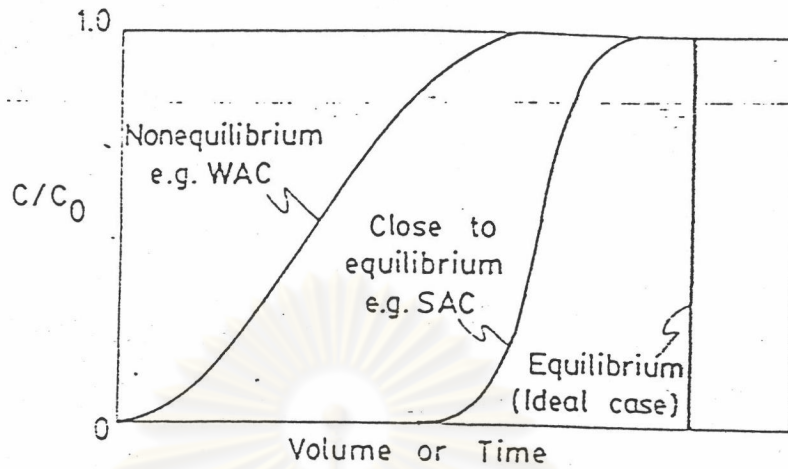
การแลกเปลี่ยนหน่วยน้ำหนักของสารใดให้เป็นหน่วยสมมูลย์ สามารถกระทำได้โดยหารน้ำหนักของสารนั้น ด้วยค่าน้ำหนักสมมูลย์ การเปลี่ยนหน่วยสมมูลย์ให้เป็นหน่วยของหินปูน (CaCO_3) กระทำได้โดยคูณด้วย 50 สกตัวอย่างเช่น

$$0.26 \text{ eq} = 0.26 \times 50 = 13 \text{ g. CaCO}_3$$

การที่จะให้เข้าใจว่า เรซินมีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนมากน้อยเพียงใดนั้น ต้องพยายามเข้าใจให้ได้ก่อนว่า เรซินนั้นเปรียบเสมือนกระเป๋าส่งที่สามารถบรรจุไอออนต่าง ๆ ไว้ได้ เรซินใหม่เปรียบเสมือนกระเป๋าส่งที่บรรจุ Na^+ หรือ H^+ หรือ Cl^- หรือ OH^- ซึ่งสามารถนำไปแลกเปลี่ยนกับไอออนอื่น ๆ ที่อยู่ในน้ำ ดังนั้นอำนาจการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินจึงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนที่อยู่ในเรซิน กล่าวคือ เรซินที่มีไอออนปริมาณสูง ย่อมมีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงตามไปด้วย



รูปที่ 3.10 แสดงกราฟค่าความเข้มข้นกับปริมาตรน้ำเสียจุดต่าง ๆ ในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน



รูปที่ 3.11 เส้นกราฟชนิดต่าง ๆ ของค่าอัตราส่วนความเข้มข้นที่เข้าและออกจากคอลัมน์เรซิน กับ ปริมาณน้ำเสียใด ๆ

3.5.5 วัฏจักรการทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน

ระบบแลกเปลี่ยนไอออนอาจทำงานแบบ ทีละเท (Batch) หรือ แบบต่อเนื่องก็ได้ การทำงานแบบต่อเนื่องนี้ หมายถึงการทำงานแบบคอลัมน์ซึ่งมีเรซินบรรจุอยู่ในถังและปล่อยให้ น้ำดิบไหลผ่านชั้นเรซินอย่างต่อเนื่องทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นตลอดเวลา การทำงาน แบบนี้ได้รับความนิยมมากกว่าแบบทีละเทมาก การทำงานแบบต่อเนื่องอาจมี 3 ลักษณะ คือ แบบธรรมดาซึ่งชั้นเรซินอยู่กับที่ แบบชั้นเรซินมีการขยายตัวตลอดเวลา และแบบชั้นเรซินซึ่ง เสื่อมคุณภาพแล้วเคลื่อนที่ออกจากถังบรรจุ ในระหว่างที่มีการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้น จะขอ กล่าวถึงการทำงานต่อเนื่องแบบธรรมดา ซึ่งมีน้ำไหลผ่านชั้นเรซิน (อยู่กับที่) จากข้างบนลง ข้างล่างเท่านั้นในขณะที่ถังกรองน้ำมีวัฏจักรการทำงานเพียง 2 ขั้นตอน คือ กรองน้ำและล้าง ย้อนถึงเรซินมีการทำงานถึง 4 ขั้นตอน ต่อเนื่องกัน คือ

1. การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)
2. การล้างย้อน (Backwash)
3. รีเจนเนอเรชัน (Regeneration)
4. การชะล้าง (Rinse)

3.5.5.1 การแลกเปลี่ยนไอออน

ขั้นตอนนี้ถือเป็นหน้าที่หลักของเรซิน กล่าวคือ ไอออนอิสระ (ที่เคลื่อนที่ได้อย่างเสรี) ในเรซิน จะถูกแลกเปลี่ยนกับไอออนอื่น ๆ ในน้ำดิบทำให้ได้น้ำสะอาดตามต้องการขั้นตอนนี้จะยุติลงเมื่อมีไอออนอิสระในเรซินเหลือน้อย จนกระทั่งไม่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนต่าง ๆ ในน้ำดิบได้ ทำให้น้ำที่ได้มีไอออนที่ไม่ต้องการในปริมาณเข้มข้นกว่าระดับที่ยอมรับได้ อาศัยในแต่ละวัฏจักรของเรซินขึ้นอยู่กับปริมาณไอออนในน้ำดิบและขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน

1) หน่วยของอัตราไหลผ่านชั้นเรซิน

เนื่องจากการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นตลอดทั้งชั้นของเรซิน หน่วยที่เหมาะสม คือ อัตราไหลต่อปริมาตรของเรซิน ซึ่งได้แก่ แกลลอนต่อนาทีลบ.ฟุต (กล./นาที่-ลบ.ฟุต) หรือ ลบ.เมตรต่อลบ.เมตรต่อวัน

3.5.5.2 การล้างย้อน

หลังจากเรซินหมดอำนาจแล้ว (แต่ยังไม่เสีย ต้องทำการล้างย้อนเพื่อให้ชั้นเรซินมีการขยายตัวเกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

- 1) ทำลายการจับตัวเป็นก้อนของเรซิน ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในระหว่างการแลกเปลี่ยนไอออน
- 2) เพื่อล้างความขุ่นหรือตะกอนแขวนลอยที่ติดอยู่ในชั้นเรซิน
- 3) กำจัดฟองอากาศที่อาจเกิดขึ้นและค้างอยู่ในชั้นเรซิน
- 4) ทำให้มีการเรียงชั้นใหม่ของเรซิน ซึ่งช่วยให้การกระจายน้ำผ่านชั้นเรซินเกิดขึ้นได้ อย่างสม่ำเสมอในระหว่างการแลกเปลี่ยนไอออนล้างย้อนชั้นเรซินแบบกรด และด่างมักมีค่าประมาณ 8 และ 3 กล./นาที่-ตร.ฟุตตามลำดับและใช้เวลาประมาณ 5-15 นาที

3.5.5.3 รีเจนเนอเรชัน (การฟื้นฟูอำนาจ)

รีเจนเนอเรชัน หมายถึงการทำให้เรซินที่หมดอำนาจไปแล้วกลับฟื้นตัวขึ้นมาใช้อำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนใหม่อีก การที่เรซินหมดอำนาจ (ชั่วคราว) เป็นเพราะว่าไอออนอิสระส่วนใหญ่ในเรซินถูกนำไปแลกเปลี่ยนกับไอออนอื่นในน้ำจนหมดสิ้น การทำรีเจนเนอเรชัน ได้แก่การขับไล่ไอออนในเรซินที่แลกเปลี่ยนมาจากน้ำ และเติมไอออนอิสระให้กับเรซิน ทำให้เรซินกลับคืนสู่สภาพเดิม และมีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนอีกครั้งหนึ่ง สารเคมีที่ใช้เติมไอออนอิสระ ให้กับ

เรซินที่เสื่อมอำนาจไปแล้ว เรียกว่า สารรีเจนเนอเรนต์ (Regenerant) ตัวอย่างของสารรีเจนเนอเรนต์ ได้แก่ NaCl ซึ่งใช้เติม Na^+ หรือ Cl^- ให้กับเรซิน หรือ H_2SO_4 ซึ่งใช้เติม H^+ ให้กับเรซิน เป็นต้น

ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน (Regeneration Efficiency) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างจำนวนสมมูลย์ของไอออนในเรซินที่เสื่อมแล้ว และจำนวนสมมูลย์ของไอออนในสารรีเจนเนอเรนต์ที่นำมาแลกเปลี่ยนถ้าประสิทธิภาพเท่ากับ 100% หมายความว่า ไอออนที่แลกเปลี่ยนระหว่างกันของสารรีเจนเนอเรนต์กับของเรซินที่เสื่อมอำนาจแล้ว มีจำนวนเท่ากัน อย่างไรก็ตามโดยปกติแล้ว การแลกเปลี่ยนไอออนจากเรซินที่เสื่อมแล้ว มักต้องใช้ไอออนจำนวนมากกว่าสารรีเจนเนอเรนต์ กล่าวคือ ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันมักมีค่าไม่ถึง 100% อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน มักมีค่าอยู่ระหว่าง 0.25-1 ลบ./นาที-ลบ.ฟุต

3.5.5.4 การชะล้างสารเคมี (Rinse)

หลังจากผ่านขั้นตอนรีเจนเนอเรชันแล้ว ส่อมมีสารรีเจนเนอเรนต์ตกค้างอยู่ในชั้นเรซิน จึงต้องใช้น้ำสะอาดชะล้างเรซิน เพื่อขจัดหรือแทนที่สารรีเจนเนอเรนต์ให้หลุดออกจากชั้นเรซิน การชะล้างเรซินมี 2 ขั้นตอน คือ การชะล้างอย่างช้า (Slow Rinse หรือ Displacement Rinse) และ การชะล้างอย่างรวดเร็ว (Fast Rinse) การชะล้างอย่างช้าจะทำก่อนโดยปล่อยให้ น้ำประมาณ 1 เท่าของปริมาตรของชั้นเรซิน (Bed Volume, BV) ไหลผ่านชั้นเรซินในอัตราเดียวกับการทำรีเจนเนอเรชัน น้ำล้างในขั้นตอนนี้ถือเป็นน้ำเสีย เพราะมีสารละลายรีเจนเนอเรนต์ที่ใช้แล้วปนอยู่มาก และต้องนำไปทำการกำจัดพร้อมกับสารละลายรีเจนเนอเรนต์ที่ใช้แล้ว การชะล้างอย่างรวดเร็วกระทำเพื่อขจัดสารรีเจนเนอเรนต์ที่ยังตกค้างอยู่ ให้หลุดออกจากชั้นเรซินให้หมด เนื่องจากมีสารรีเจนเนอเรนต์ตกค้างอยู่น้อย จึงอาจชะล้างให้เร็วขึ้นได้ อัตราเร็วของการชะล้างอย่างรวดเร็ว มักเป็นอัตราเดียวกับอัตราไหลของการแลกเปลี่ยนไอออน (Service Flow Rate) หรือเท่ากับ 1.5 กล./นาที-ลบ.ฟุต ปริมาตรของน้ำทั้งหมด ที่ใช้ชะล้างสารเคมีมักมีค่าอยู่ในช่วง 25-100 กล./ลบ.ฟุตของเรซิน

3.5.6 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เป็นปัจจัยการแลกเปลี่ยนของเรซิน (Panswad ,1975 ; Diaion; Serota,1958)

3.5.6.1 ปริมาณรีเจนเนอเรนต์ (หรือระดับรีเจนเนอเรชัน)

เป็นตัวกำหนดอำนาจแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน คือ ปริมาณรีเจนเนอเรนต์ที่ใช้

ในการทำรีเจนเนอเรชัน หน่วยที่ใช้คือ ปริมาณสารเคมี (ปอนด์หรือกรัม) ต่อปริมาตรของ เรซิน (ลบ.ฟุต หรือ ลิตร) เช่น ปอนด์/ลบ.ฟุต หรือกรัม/ลิตร เป็นต้น อำนาจแลกเปลี่ยน ไอออนที่คาดว่าจะได้จากการใช้รีเจนเนอเรนต์ในระดับต่างๆ พบว่าการใช้รีเจนเนอเรนต์ปริมาณ มาก ๆ จะได้อำนาจแลกเปลี่ยนไอออน สูงกว่าการใช้ปริมาณน้อย แต่อัตราเพิ่มปริมาณรีเจน-เนอเรนต์ สูงกว่าอัตราการเพิ่มอำนาจแลกเปลี่ยนไอออน ดังนั้น จึงต้องมีการกำหนดปริมาณ รีเจนเนอเรนต์ มิให้สูงเกินไป

3.5.6.2 ความเข้มข้นของรีเจนเนอเรนต์

ในการฟื้นอำนาจแลกเปลี่ยนไอออนให้กลับคืนมาได้ดีที่สุด จำเป็นต้องมีระดับความเข้มข้นของรีเจนเนอเรนต์ที่เหมาะสม

3.5.6.3 เวลาสัมผัสระหว่างรีเจนเนอเรนต์และเรซิน

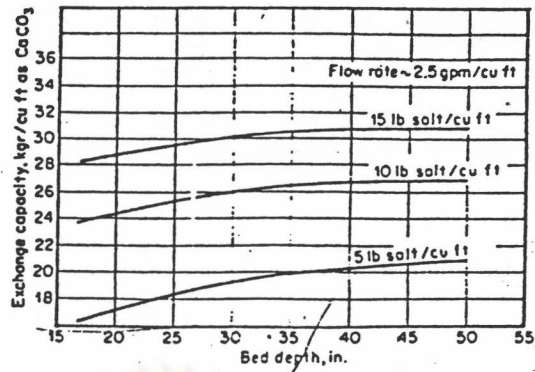
เวลาสัมผัสระหว่างรีเจนเนอเรนต์กับเรซิน หมายถึง ระยะเวลาที่เรซินเริ่มได้สัมผัสกับรีเจน-เนอเรนต์ไปถึงเวลาที่เริ่มทำการชะล้าง (Rinse) สารรีเจนเนอเรนต์ เวลาสัมผัสอาจคำนวณได้จากสูตร ดังต่อไปนี้

$$\text{เวลาสัมผัส} = \text{อัตราไหลของการทำรีเจนเนอเรชัน} \quad (\text{อัตราไหล/ปริมาตรเรซิน})$$

เช่นถ้าอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันเท่ากับ 0.25 กล./นาที-ลบ.ฟุต หรือ 0.033 ต่อนาที
 $\text{เวลาสัมผัส} = 1/0.033 = 30$ นาที อัตราในการทำรีเจนเนอเรชันอาจต่ำเกินไป จนไม่สามารถคุมการกระจายน้ำให้ได้อย่างสม่ำเสมอ

3.5.6.4 ความลึกของเรซิน

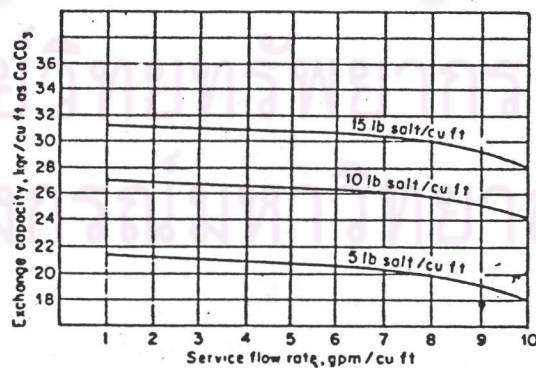
ความลึกของเรซิน มีความสำคัญต่อการแลกเปลี่ยนไอออนไม่มากเนื่องจากปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว รูปที่ 3.12 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความลึกของเรซินไม่ทำให้อำนาจแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญ ในทางปฏิบัติ มักออกแบบให้ชั้นเรซินมีความลึกไม่น้อยกว่า 20-30 นิ้ว



รูปที่ 3.12 ความลึกของเรซินที่มีต่ออำนาจแลกเปลี่ยนไอออน (มันลีน , 2526)

3.5.6.5 อัตราไหลของน้ำในระหว่างแลกเปลี่ยนไอออน

ถ้าการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ดังเช่นในกรณีของเรซินแบบกรดแก่ที่กำจัดความกระด้าง อัตราไหลของน้ำที่ผ่านชั้นเรซินมีอิทธิพลน้อยมากต่ออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนดังแสดงในรูปที่ 3.13 จะเห็นได้ว่า อัตราไหลของน้ำอาจสูงได้ถึง 10 กล./นาที่-ลบ ฟุต โดยสูญเสียอำนาจแลกเปลี่ยนไอออนเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเรซินบางชนิดมีอัตราแลกเปลี่ยนไอออนต่ำ เป็นผลให้ต้องใช้อัตราไหลของน้ำที่ผ่านชั้นเรซิน จึงนิยมให้มีความอยู่ในช่วง 2-5 กล./นาที่-ลบ.ฟุต (และอีกประการหนึ่งที่ไม่ใช้อัตราไหลสูงมาก ก็เพื่อมิให้ Head Loss สูงเกินไป)



รูปที่ 3.13 อัตราไหลที่มีต่อการแลกเปลี่ยนไอออน (มันลีน , 2526)

3.5.7 การทำความสะอาดน้ำก่อนการแลกเปลี่ยนไอออน

เรซินมีหน้าที่ในการกำจัดสารละลายน้ำที่อยู่ในรูปของไอออนต่าง ๆ เท่านั้น ผู้ใช้ไม่ควรให้เรซินทำหน้าที่แทนสารกรองน้ำเป็นอันขาด น้ำที่ผ่านเข้าถึงเรซินจึงควรเป็นน้ำใสที่มีความขุ่นหรือตะกอนแขวนลอยหรือก๊าซละลายน้ำหรือน้ำมัน ลอยอยู่น้อยที่สุด สารมลทินต่าง ๆ ดังกล่าวทำให้อายุของเรซินสั้นกว่าที่ควรจะเป็น ในการนำโพลีเมอร์นี้กลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน จำเป็นต้องหาพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อความเหมาะสมในการทำงานจริง ของเรซิน เพื่อให้เรซินได้ใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

3.6 เรซินชนิดพิเศษ (Special Resin) (Andree , 1973)

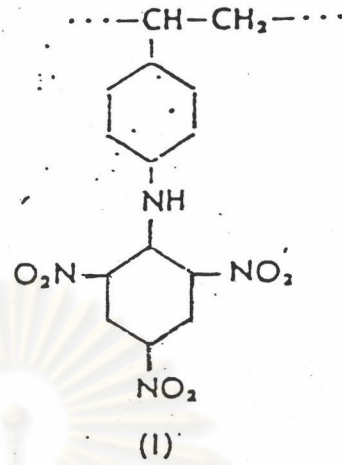
เรซินชนิดพิเศษ จะเป็นเรซินที่มีหมู่ไอออนอิสระตามคุณสมบัติของสารเฉพาะนั้น ค่าจำเพาะ (Specificity) จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของตัวแลกเปลี่ยนไอออนนั้นคือตัวแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินชนิดพิเศษสามารถดูดไอออนเฉพาะ โดยไม่เกี่ยวข้องกับไอออนตัวอื่นโดยอธิบายกลไกโครงสร้างการผลิต ดังนี้

Skogsekid ใช้โพลีสไตรีนกับแทนของกลุ่มไนโตรเจนไดออกไซด์โดยปฏิกิริยาไนโตรจีเนชัน (Nitrogenation), ตามด้วยปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) จากนั้นจะแปลงเป็นรูปโพลีอะมิโนสไตรีน (Poly aminostyrene) ด้วย พิคริลิก คลอไรด์ (Picric Chloride) และใช้กระบวนการไนโตรจีเนชันใหม่ จะได้ตัวแลกเปลี่ยนตามโครงสร้างรูปที่ 3.14 (Nickless และ Marshall, 1964)

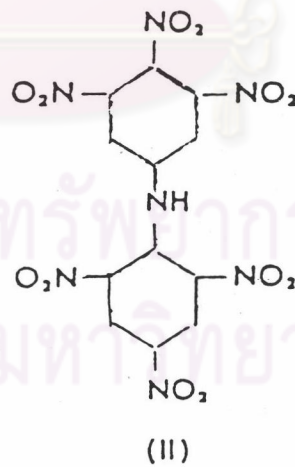
ดิพิคริลลามีน (Dipicrylamine) ในรูปที่ 3.15 เป็นเรซินที่เป็นตัวกระทำการตกผลึกของโปตัสเซียมและทำการแลกเปลี่ยนโปตัสเซียมไอออน

กลุ่มของซีเลทเรซิน (Blasius and Brozio, 1969) จัดเป็นเรซินชนิดพิเศษ ซึ่งค่าจำเพาะ (Specificity) ขึ้นอยู่กับหมู่ซีเลท หรือหมู่สารประกอบเชิงซ้อนนั้น ๆ ที่รู้จักกันทั่วไปคือ หมู่อิมิโนไดอะซีเตต (Iminodiacetate) ที่เป็นตัวแลกเปลี่ยนโดยหมู่อิมิโนไดอะซีเตต จะจับวงสไตรีน ตามรูปที่ 3.16 โดยมีกรรมวิธีการผลิตตามรูปที่ 3.17

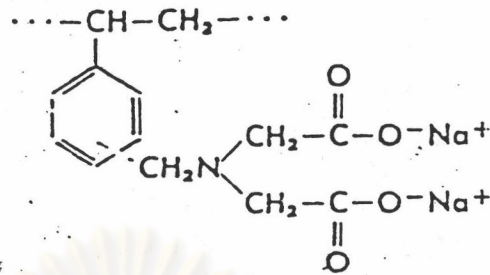
จากรูปที่ 3.17 เราสามารถรวมโพลีวาเลนซ์ โดยเป็นวงเฮเทอโรไซคลิกของสารประกอบเชิงซ้อน ซีเลท รูปโพลีโพลีเมอร์ ตามรูปที่ 3.18



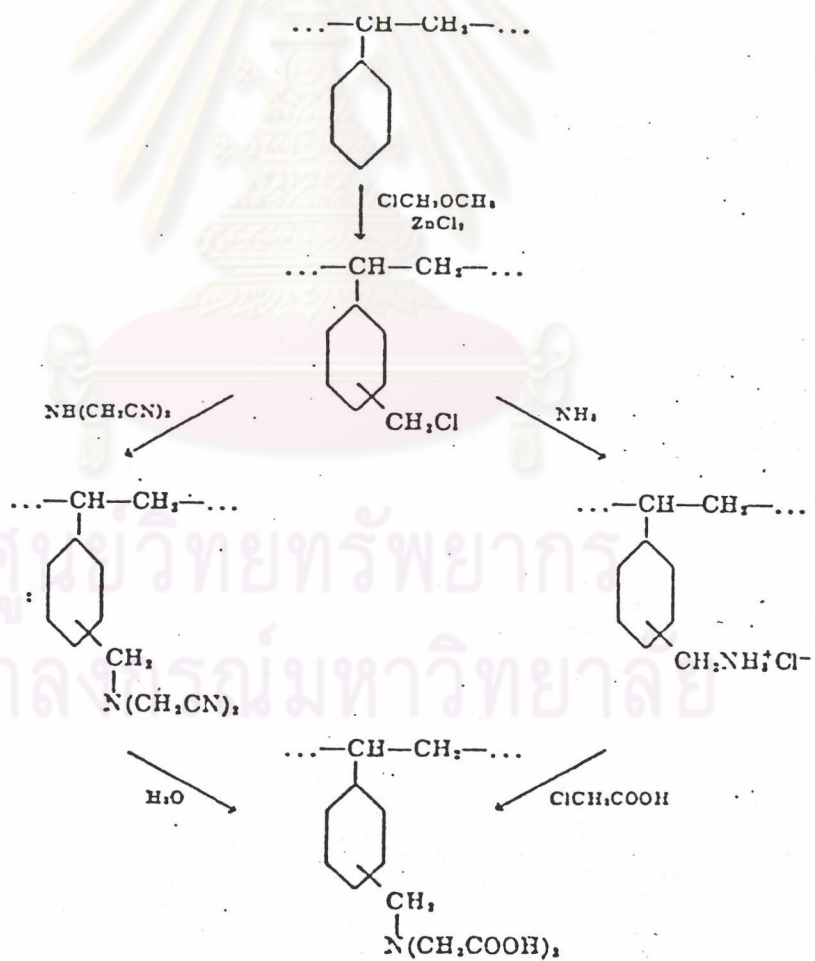
รูปที่ 3.14 เรซินชนิดพิเศษที่มีแกนของกลุ่มไนโตรเจน
(Nickless และ Marshall, 1964)



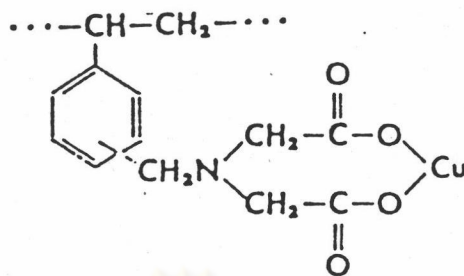
รูปที่ 3.15 โครงสร้างดิฟครีลาไมน์
(Nickless และ Marshall, 1964)



รูปที่ 3.16 โครงสร้างซีเลทเรซิน ที่มีหมู่เอมีโนไดอะซีเตตเป็นหมู่ไฮออนเรซิน (Blasius และ Brozio, 1969)



รูปที่ 3.17 โครงสร้างการผลิตซีเลทเรซิน (Blasius และ Brozio, 1969)



รูปที่ 3.18 โครงสร้างซีเลทเรซินในรูปโพลีเอ
(Blasius และ Brozio, 1969)

3.7 ประวัติและการศึกษาของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Robert, 1973)

การค้นพบกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนเริ่มที่ปี 1850 โดยนายทอมสัน ซึ่งพบว่าแอมโมเนียม ซึ่งถูกดูดซับในดินไม่สามารถชะล้างโดยน้ำ ทอมสันตรวจสอบพบว่าเกิดปรากฏการณ์ของการแลกเปลี่ยนของไอออนที่สัมพันธ์กับตามความเข้มข้น

การนำไปใช้ทางการค้าเริ่มโดยน้ำตัวแลกเปลี่ยนไอออนไปจำกัดความกระด้าง โดยนายแกนส์ ในปี ค.ศ. 1905 และ จากนั้นในปี ค.ศ. 1935 นายอดัม นายโฮลเมส์ ได้สังเคราะห์ แคลไออนและแอนไอออนซีโวลท์ การทำระบบน้ำบริสุทธิ์ (Demineralization) เกิดในยุคสมัยใหม่ โดยใช้เรซินสังเคราะห์ในปี ค.ศ. 1949 โดย d'avelio เพียง 10 ปีต่อมา ยอดขายประจำปีของวัสดุอุปกรณ์เกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนไอออนมีถึง 40 ล้านดอลลาร์ และหลังจากนั้นอีก 10 ปี มีโรงงานที่ใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนถึง 17,000 โรงในสหรัฐ

ในยุคต้นปี 1960 การใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนส่วนใหญ่ใช้สำหรับการกำจัดความกระด้างและน้ำบริสุทธิ์ที่มีคุณภาพสูงสำหรับเข้าหม้อไอน้ำ (Boiler) มีส่วนน้อยเท่านั้นที่นำมาใช้ผลิตยา ลดสีจากการสกัดทำน้ำตาล และจุดประสงค์ทางอุตสาหกรรมอย่างอื่น ในยุคนี้มีการผลิตน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง จำเป็นต้องมีการฟื้นฟูอำนาจเรซิน (Regeneration) และการล้างเรซินอย่างเพียงพอ ในการใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับการทำ Partial Demineralization ของน้ำกร่อย นับว่าเป็นการเริ่มการใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับการกำจัดของแข็งละลายน้ำ (TDS) ที่สูงในของเหลว มีการใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับการกำจัดค่าของแข็งละลายน้ำที่สูงอย่างไม่เป็นทางการ เว้นแต่จะมีสาร

Regenerant เฉพาะทางที่สามารถฟื้นอำนาจเรซิน หรือเว้นแต่เรซินสามารถฟื้นอำนาจ โดยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง เช่น การแลกเปลี่ยนความร้อน ในยุคต้นของปีนี้ได้มีกลุ่มบุคคลและบริษัทออกมารับกำจัดค่าของแข็งละลายน้ำที่สูงในของเหลว อาทิเช่น คูนิน, ฮิกกิน, โอตแลนด์ และพาบิซซ์ บริษัทอาซาฮี เดมิคอล บ.แซนเก และค็อฟแมน

3.7.1 กระบวนการลดเกลือแร่ในน้ำ (Desal Process)

กระบวนการลดเกลือแร่ในน้ำพัฒนาโดยKunin ในปี 1965โดยใช้โรซินประจุไฟฟ้าแบบอ่อนจำนวน 3 ถึง ในถังแรกใช้ Amberlite IRA-68 เรซิน (ภาคผนวก ฎ) มีไบคาร์บอเนตในหมู่ไอออนอิสระโดยแรกเปลี่ยนคลอไรด์ และซัลเฟตในน้ำกับไบคาร์บอเนต ถึงที่ 2 ใช้ Amberlite IRC-84 มีไฮโดรเจนในหมู่ไอออนอิสระ แลกเปลี่ยนประจุบวกกับไฮโดรเจนไอออน ขึ้นสุดท้ายใช้ IRA-68 มีไฮดรอกซิลในหมู่ไอออนอิสระ สำหรับแลกเปลี่ยนไบคาร์บอเนตกับ ไฮดรอกซิลไอออน โดยเมื่อน้ำผ่านถึงปฏิกรณ์ ทั้ง 3 ถึง จะอยู่ในรูปที่ปราศจากเกลือแร่ในน้ำ โดยถึงปฏิกรณ์ จะฟื้นอำนาจโดยให้อยู่ในรูปไฮดรอกซิล ด้วยการใช้รีเจนต์ต่าง, แอมโมเนียหรือปูนขาว และถึงใบที่สองฟื้นอำนาจโดยให้อยู่ในรูปสภาพที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต เพื่อเริ่มต้นการบ่อน้ำดิบจะบ่อนเข้าถึงที่สามก่อน ทำสลับกันเช่นนี้ ในปี 1970 คูนิน และดาร์วี่ ได้ประมาณค่าใช้จ่ายสำหรับการผลิตน้ำจากน้ำกร่อยที่มีค่าของแข็งละลายประมาณ 1000 มก.ต่อลบ.ดม. ในราคาประมาณ 0.2 ดอลลาร์ ต่อการผลิตน้ำ 1,000 แกลลอน

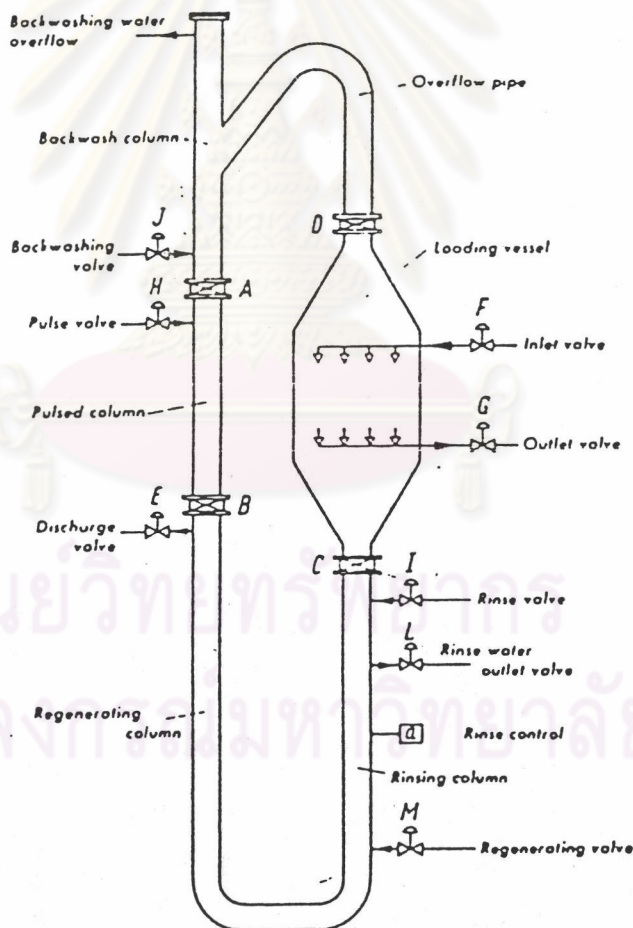
3.7.2 กระบวนการเคมี-เซฟส์ (Chem-Seps Process)

Hegkin, 1964 ได้อธิบายกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนแบบต่อเนื่องที่มีชั้นเรซินเคลื่อนที่ (Moving bed) สำหรับการกำจัดปริมาณของแข็งละลายน้ำที่สูง โดยบรรจุเรซินในถังปฏิกรณ์ที่ทำเป็นวงจรปิด (Closed Loop) ดูรูปที่ 3.19 โดยใช้วาล์วปีกผีเสื้อสำหรับแบ่งแยกส่วนของปฏิกรณ์ ดังนี้

1. ส่วนของเรซินที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน และส่วนของเรซินที่หมดอำนาจแลกเปลี่ยนไอออน (Exhaust)
2. ส่วนที่บ่อน้ำล้างเรซิน (Rinse water)
3. ส่วนของการกำจัดน้ำล้างเรซิน
4. ส่วนของการฟื้นอำนาจเรซิน
5. ส่วนของสารบ่อน้ำล้างเรซินในการฟื้นอำนาจเรซิน และ

6. ส่วนที่กำจัดน้ำล้างเรซินส่วนที่สอง

ภายในถังปฏิกริยาเรซินจะเคลื่อนที่ในแต่ละครั้งในระยะทางไม่กี่น้ำรอบ ๆ วงทวนการเคลื่อนที่ของกระแสในกระบวนการนี้ข้อได้เปรียบของขบวนการนี้ คือ เป็นกระบวนการที่ทำงานต่อเนื่อง เรซินที่สัมผัสน้ำส่วนที่ป้อนเข้าไปใหม่จะเป็นเรซินที่พื้นอำนาจเรียวร้อย ในขณะที่เรซินทั้งหมดอำนาจที่ได้รับการพื้นอำนาจใหม่อัตราการไหลถูกจำกัด ด้วยความต่างความดันและอีกกันได้เสนอการพื้นอำนาจแคทไอออนด้วยกรดไนตริก และใช้แอมโมเนีย สำหรับการพื้นอำนาจแอนไอออนเรซิน ชนิดต่างอ่อน และใช้ปฏิกริยาอ้อยสลวยทางความร้อน แก่เกลือไนเตรท เพื่อให้แปลงสภาพเป็นกรดไนตริก และใช้ตรอกใช้ดีของโลหะประสิทธิภาพของการพื้นอำนาจเรซินเปลี่ยนจาก 50 ไป 80 เปอร์เซ็นต์ในห้องทดลอง



รูปที่ 3.19 แบบจำลองกระบวนการ เคม - เซฟส์
(Andree Fe Coers, 1973)

3.7.3 กระบวนการซัล-ไบซัล (Sul-bisul Process)

Schmidt, 1969 ได้พัฒนากระบวนการนี้โดยจะดึงประจุบวกให้หมดอย่างสมบูรณ์ตามระบบเดิมและประจุลบที่ถูกดึงด้วยตัวแลกเปลี่ยนไอออนชนิดต่างแก่ ซึ่งถูกทำให้อยู่ในรูปซัลเฟตและไบซัลเฟตในระหว่างการหมดสภาพของแอนไอออน เรซิน จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปไบซัลเฟตจากน้ำดิบที่ป้อนเข้ามีลักษณะเป็นกรด

การฟื้นฟูอำนาจด้วยน้ำและปูนขาวเพื่อให้อยู่ในรูปซัลเฟต การฟื้นฟูอำนาจเรซิน จะมีประสิทธิภาพเพียงครึ่งเดียวของระบบเดิมในการแลกเปลี่ยนไอออน แต่การฟื้นฟูอำนาจเรซิน ใช้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า และไม่มีการ Fouling โดยสารอินทรีย์กับเรซินกับเรซินชนิดต่างแก่

3.7.4 กระบวนการ กราเวอร์ ซีซีไอเอ็กซ์ (Graver Ccix Process)

เป็นกระบวนการที่ทำงานต่อเนื่องโดยอัตโนมัติ และเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนชนิดการรีเจนด้วยสารรีเจนเนอเรชั่นตรงข้ามกับการแลกเปลี่ยนช่วงบริการ (service) (Counter Current) โดยใช้ถึงปฏิกรณ์ 3 ถัง สำหรับการแลกเปลี่ยนประจุบวกและอีก 3 ถังปฏิกรณ์ สำหรับการแลกเปลี่ยนประจุลบ การแลกเปลี่ยนไอออน และเรซินที่หมดสภาพการแลกเปลี่ยนจะอยู่ในถังใบแรก และระบบจะหยุดเวลาประมาณ 30 วินาที ในการถ่ายเรซินทั้งหมดอำนาจโดยใช้เครื่องสูบล้างไปที่สอง สำหรับการรีเจนเนอเรชั่น ที่ถังใบที่สองได้รับการฟื้นฟูอำนาจแล้วจะถูกส่งไปที่ 3 สำหรับการล้างถัง และเรซินที่ล้างเสร็จจะถูกส่งเข้าถังปฏิกริยาไปแล้วในเวลาเดียวกัน โดยถังใบแรกจะมีเรซินที่ฟื้นฟูสภาพเรียบร้อยแล้วเสมอ กระบวนการนี้จะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าของอีกกิ้นส์

3.7.5 ระบบชั้นเรซินอยู่กับที่ (Simple fixed bed systems)

เป็นการทำงานอย่างง่ายที่สุดของการแลกเปลี่ยนไอออน (ใช้แคทไอออนชนิดกรดแก่ตามด้วย แอนไอออนชนิดด่างอ่อน) ในปี Sank และ Koftman, 1967 ได้ทำการปรับปรุงระบบผลิตน้ำจากน้ำที่มีค่าของแข็งละลายประมาณ 2000 เพื่อให้ได้ค่าของแข็งละลายต่ำ โดยใช้กรดที่มีประสิทธิภาพสูง 93 % เป็นสารรีเจนเนอเรชั่น ประสิทธิภาพลดลง ถือได้ 80%

แต่เมื่อเพิ่มขึ้นเรซินชนิดกรดอ่อนบนชนิดกรดแก่ในปี Sank, 1967 พบว่าประสิทธิภาพเพิ่มถึง 92 % เรียกกระบวนการนี้ว่า "DUAL-CAT" ในระบบฟิซเบดนี้ประสิทธิภาพจะต่ำลงเมื่อมีไบคาร์บอเนตไอออนเกิน 20% ของไอออนลบทั้งหมด ประสิทธิภาพของเรซินด่างอ่อน จะอยู่ที่ 89%

เมื่อใช้ต่างแก่เป็นสารรีเจนเนอเรนท์ และประมาณ 86% เมื่อใช้แอมโมเนีย Sank และ Koftman พบว่าต้องใช้ค่าใช้จ่ายประมาณ 0.15 ดอลลาร์ต่อ 1,000 แกลลอนในโรงงาน ขนาด 10 ล้านแกลลอนต่อวัน เพื่อจำกัดค่าของแข็งละลาย 350 มก.ต่อลบค.ม. จากน้ำเสียที่ ผ่านถึงจากตะกอนในกระบวนการตกตะกอนเร็ว

3.7.6 Fouling Blinding

Wilson, 1959 ได้ศึกษาผลของสารอินทรีย์ที่ทำให้เรซินตัน และยากต่อการนำกลับมาใช้ใหม่ Wark และ Edgerry ได้ใช้แถบรังสี เพื่อศึกษาบทบาทของหมู่ไฮดรอกซิลในเรซิน ต่างแก่ที่อุดตัน

3.7.8 Counter current regeneration

การฟื้นฟูเรซินแบบไหลย้อนเป็นที่รู้จักกันดีกว่า มีประสิทธิภาพดีกว่าการฟื้นฟูเรซินแบบไหลตาม (Co current regeneration) แต่ในปี 1976 ลูกซ์ได้ชี้ให้เห็นว่าการเคลื่อนที่ของชั้นเรซินเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ทำการฟื้นฟูเรซินแบบไหลย้อน จะทำให้เรซินลดประสิทธิภาพลง ดังนั้นจึงมีการใช้วัสดุเฉื่อยวางเหนือชั้นเรซิน จะรักษาชั้นเรซินให้อยู่กับที่เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการฟื้นฟูเรซิน

3.7.9 การกำจัดสีและกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ

อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ เป็นอุตสาหกรรมใหญ่อันดับ 5 ในสหรัฐ ทั้งเยื่อกระดาษ ครัวฟและน้ำจำนวนมากใช้ในกระบวนการฟอกเยื่อกระดาษ โดยใช้น้ำประมาณ 150,000 ถึง 60,000 แกลลอนต่อตันของกระดาษที่ฟอกแล้ว และน้ำเสียที่ปล่อยออกจากโรงงานฟอก จะมีค่าสีที่สูง ค่าของแข็งละลายสูง ค่า COD , ค่า BOD ขนาดปานกลาง และความเป็นพิษ การบำบัดน้ำเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ จะใช้กระบวนการตกตะกอนเบื้องต้น ตามด้วยการบำบัดทางชีวภาพ โดยใช้ออกซิเจน, การกำจัดสี และการกำจัดสีดีจ ซึ่งสามารถประมาณราคา 0.05 ดอลลาร์ต่อแกลลอนน้ำ ซึ่งสามารถผลิตน้ำได้ 60,000 แกลลอนต่อตันผลผลิต Rohm และ Hass, 1970 ได้พัฒนาเรซิน XAD-2 ซึ่งใช้บำบัดสีของน้ำที่ออกจากกระบวนการตกตะกอนโดยป่นขาว มีการใช้อัลกอกซอลในการฟื้นฟูเรซิน Rohm และ Hass, 1971 รอห์มและฮัสส์ได้พบสารดูดซึม ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าคือ CAD-8 จะมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการกำจัดสีจากโรงฟอกและสีที่หลุดจากการล้าง

3.8 การบำบัดน้ำเสียและการนำกลับมาใช้ในโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าโดยการแลกเปลี่ยนไอออน

- JOO-HWA TAY, 1986 ได้กล่าวถึงการเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับการใช้น้ำและการบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมชุบโลหะมีน้อยมากได้มีการสำรวจอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตการใช้น้ำ น้ำที่ออกจากระบวนการ ชนิดและค่าใช้จ่ายในการบำบัดและลักษณะน้ำเสีย

ใน 30 โรงงานได้ถูกสำรวจแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ขึ้นอยู่กับ ขนาดและเงินลงทุน เงินลงทุน 1 ล้านเหรียญหรือต่ำกว่า จะจัดอยู่ในโรงงานขนาดเล็ก ถ้ามากกว่า 10 ล้านเหรียญ จะจัดเป็นโรงงานขนาดใหญ่ ส่วนขนาดกลางจะจัดอยู่ในช่วงดังกล่าว โรงงานขนาดใหญ่ส่วนมากจะเป็นโรงงานด้านอิเล็กทรอนิกส์

ดัชนีอัตราการใช้น้ำในโรงงานชุบโลหะ คือ ปริมาตร (M^3) น้ำที่ใช้ต่อพื้นที่ (M^2) ของผลิตภัณฑ์ที่ชุบ ซึ่งสามารถประมาณการใช้น้ำในโรงงานชุบโลหะได้ สำหรับอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ printed circuit boards (PCB) และ Integrated Circuit Fames ใช้น้ำเฉลี่ย $1.21 M^3/M^2$ ด้วยช่วง 0.2 ถึง $2.7 M^3/M^2$ สำหรับโรงงานชุบไฟฟ้าอื่น ๆ ใช้น้ำอยู่ในช่วง 0.04 ถึง $0.40 M^3/M^2$ ด้วยน้ำเฉลี่ย $0.19 M^3/M^2$

อุตสาหกรรมที่ต้องการคุณภาพน้ำงานที่ชุบดี จำเป็นต้องใช้น้ำ Demineralized water ที่สามารถผลิตค่าของแข็งละลายน้ำเพียง 1 mg/l หรือต่ำกว่า จึงนำกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส หรือกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน แต่อย่างไรก็ตามขบวนการแลกเปลี่ยนไอออนจะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่า เนื่องจากราคาติดตั้งที่ต่ำกว่า และประสิทธิภาพน้ำ Demineralized water ที่สูงกว่า

ได้ทำการสำรวจโรงงานชุบโลหะพบว่าน้ำเสียได้ถูกบำบัด ก่อนที่จะปล่อยลงท่อระบายน้ำสาธารณะ สำหรับโรงงานขนาดเล็กการบำบัดจะเป็นชนิดทีละเท (Batch) จะถูกนำมาใช้งานมากกว่า ส่วนโรงงานขนาดใหญ่ นิยมใช้การบำบัดอย่างต่อเนื่อง

การบำบัดทางกายภาพใช้เป็นที่แพร่หลาย การทำลายไซยาไนด์ โดยกระบวนการ Alkaline Chlorination การลดโครเมียมบวกหกให้อยู่ในรูปโครเมียมบวกสาม และใช้โซเดียมไบซัลไฟต์ตามด้วยการตกผลึกด้วยไฮดรอกไซด์ เป็นวิธีทั่วไปที่ใช้กำจัดโครเมียมบวกหก และของเสียโลหะชนิดอื่น ถูกบำบัดโดยการตกผลึกที่ pH ที่สูง ค่าใช้จ่ายในการบำบัด อยู่

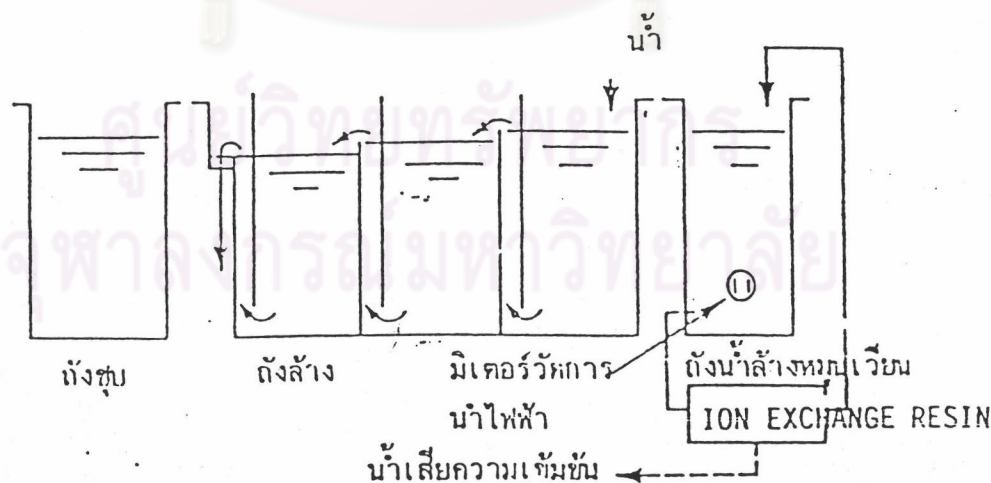
ในช่วง 0.3 ถึง 4.82 เทรียลูต่อ m^3 ซึ่งเฉลี่ยอยู่ที่ 2.29 เทรียลู ต่อ m^3

การนำเอาโลหะมาใช้ประโยชน์ได้สูงสุด และอนุรักษ์การใช้น้ำได้สูงสุดถูกนำมาใช้ เฉพาะโรงงานขนาดใหญ่ การดูแลรักษาวิธีการล้างที่ดีสำหรับโรงงานและวิธีการควบคุมอัตรา การไหลให้มีประสิทธิภาพ เพื่ออนุรักษ์การใช้น้ำซึ่งประสบความสำเร็จสูง ส่วนกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนและการระเหย (evaporation) จะเป็นวิธีการนำเอาน้ำล้างโรงงานกลับมา ใช้และของเสียกลับมาใช้ใหม่ซึ่งสามารถพิสูจน์ถึงความประหยัดได้

- KIYOSHI, 1992 ได้กล่าวถึงการประหยัดพลังงาน และการลดต้นทุนในโรงงาน ชุบเคลือบผิว ซึ่งญี่ปุ่นเองมีประสบการณ์ในการบำบัดน้ำเสียในโรงงานชุบเคลือบผิวมาประมาณ 35 ปี การบำบัดคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่ต่ำ เช่น

- 1) วิธีการนำน้ำที่ใช้กลับมาใช้ใหม่
- 2) วิธีการปล่อยน้ำทิ้งให้น้อยที่สุด
- 3) วิธีการไม่ใช้สารเคมีที่เป็นพิษเป็นต้น

สิ่งเหล่านี้ทำให้ญี่ปุ่น สามารถคิดค้นวิธีการชุบเคลือบผิวที่ประหยัดพลังงาน และสามารถ ลดต้นทุนลงได้โดยกล่าวถึงวิธีการการนำน้ำล้างกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้ ION EXCHANGE RESIN พบว่า อายุการใช้งานของ ION EXCHANGE RESIN จะยาวนานขึ้น ถ้าความเข้มข้นของไอออน ในน้ำล้างอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งถ้าเรานำอุปกรณ์ตัวนี้ไปติดตั้งในถังน้ำล้างหมุนเวียนต่อจากถังล้าง



รูปที่ 3.20 น้ำล้างหมุนเวียนโดย ION EXCHANGE (Kiyoshi, 1992)

สุดท้ายในระบบน้ำไหลต่อเนื่องหลายชั้น จะสามารถนำน้ำล้างกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังรูปที่ 3.20 ซึ่งนอกจากจะทำให้ปริมาณไอออนที่จะเข้าไปในถังน้ำล้างหมุนเวียนลดน้อยลง เป็นการยืดอายุการใช้งานของ ION EXCHANGE RESIN แล้ว ยังทำให้น้ำในระบบหมุนเวียนมีใช้ได้มากอีกด้วย

แต่ ION EXCHANGE RESIN ก็มีขีดจำกัดในการแลกเปลี่ยนไอออน ดังนั้นเราจึงควรติดตั้งเครื่องตรวจวัดการนำไฟฟ้า ในถังน้ำล้างหมุนเวียน หรือติดตั้งบริเวณทางออกของอุปกรณ์ ION EXCHANGE ด้วย เมื่อการนำไฟฟ้าของน้ำในระบบมาถึงขีดที่กำหนดไว้ให้ทำการบำบัดน้ำล้าง การบำบัดอาจจะต่อน้ำล้างให้ไหลเข้าถึงบำบัดน้ำเสียเข้มข้น หรืออาจให้บริษัทที่รับบำบัดน้ำเสีย นำไปบำบัดต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย