

เทคนิคโครมาโตกราฟีในการแลกเปลี่ยนไอออน

เทคนิคโครมาโตกราฟีในการแลกเปลี่ยนไอออน (ion-exchange chromatography) เป็นเทคนิคอย่างหนึ่งของการแยกไอออนที่มีสมบัติอยู่ในสารละลาย ซึ่งไอออนเหล่านี้จะกระจายอยู่ในชั้นของสารแลกเปลี่ยนไอออน (ion-exchanger) ที่ตั้งอยู่กับที่ (stationary phase) กับชั้นของสารละลายซึ่งเป็นตัวเคลื่อนที่ (mobile phase) ได้ในอัตราส่วนที่ต่างกัน ทั้งขึ้นอยู่กับสัมพรรคภาพ (affinity) ของไอออนที่มีต่อตัวแลกเปลี่ยนไอออน ไอออนที่ถูกดูดซับ (Adsorb) จะอยู่ส่วนบนของคอลัมน์ของเรซิน และไอออนที่ไม่ถูกดูดซับจะผ่านคอลัมน์ของเรซินไหลออกมา ส่วนการล้างการดูดซับ (elution) นี้ทำโดยใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น การย้ายตำแหน่งที่ไอออน (displacement development) ด้วย ไอออนอีกชนิดหนึ่ง หรือการล้างด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ กัน (elution analysis) เป็นต้น

สำหรับไอออนที่มีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกัน การแยกโดยใช้เทคนิคนี้จะประสบความสำเร็จได้โดยใช้วิธีเติมสารเคมีที่เป็นตัวทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน (complexing agent) ลงไปในสารละลายที่มีไอออนที่จะแยกออกจากกัน เพื่อให้เกิดเป็นไอออนของสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความเสถียรคงที่ (stability constant) และมีสัมพรรคภาพ (affinity) ต่อเรซินต่างกัน การแยกจะทำได้

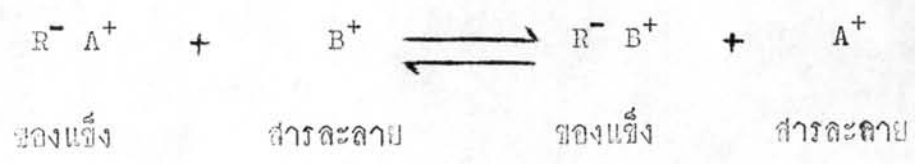
จากความก้าวหน้าทั้งทางด้านทฤษฎีและการพัฒนาทางด้านขบวนการของการแลกเปลี่ยนไอออน (ion-exchange) ได้เจริญขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งยังนำมาใช้เป็นประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มากมาย ทั้งในด้านวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ การแก้ปัญหาหน้าน้ำเสียให้เป็นน้ำดี (water treatment) การทำน้ำอ่อน (water softening) หรือน้ำบริสุทธิ์ (28) เพื่อใช้ในโรงงานผลิตอาหาร โรงงานยา และในโรงงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ อีกมากมาย

เกี่ยวกับอุตสาหกรรมถลุงแร่ ในปัจจุบันนี้การใช้แร่เป็นวัตถุดิบมีปริมาณสูง และเป็นไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้น อนาคตเราจึงพยายามหาสิ่งอื่นมาทดแทนหรือหากรรมวิธีใหม่ ๆ เพื่อทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตมีมากขึ้น จึงเป็นเหตุให้มนุษย์เรากองน้ำเค็มที่มีคุณภาพต่ำ หรือส่วนที่เป็นกากแร่หรือหางแร่ หรือน้ำแร่ที่ทิ้งจากโรงงานถลุง กลับมาทำแร่ธาตุที่ขังลงเหลือค้างอยู่โดยเทคนิคที่ประสิทธิภาพสูง วิธีหนึ่งที่ใช้กันคือ เทคนิคการแลกเปลี่ยนไอออน (ion-exchange technique) ซึ่งดีกว่าวิธีที่ใช้น้ำมากยิ่งยั้ง

3.1 ชนิดของสารแลกเปลี่ยนไอออน

ในทางปฏิบัติ สารแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้กันมีหลายชนิด เริ่มจากการใช้สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ โคนิกพวกอะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicate) เช่น อะนาลไซต์ (analcite) ต่อมาก็มักมีการสังเคราะห์สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างคล้ายสารในธรรมชาติ หรือปรับปรุงสารที่มีในธรรมชาติให้คุณสมบัติดีขึ้น เช่น ทำให้มีความจุ (capacity) อีออนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีการสังเคราะห์สารอินทรีย์ซึ่งเป็นพวกโคโพลีเมอร์ (copolymers) ของโพลีสไตรีน (polystyrene) กับไดไวนิลเบนซีน (divinylbenzene) จึงจำแนกออกเป็นพวก ๆ ได้ดังนี้

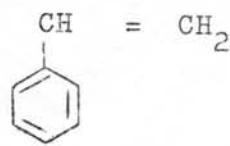
3.1.1 เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation-exchange resins) ใช้เรซินพวกนี้สำหรับการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวก (cation) อย่างหนึ่งกับไอออนที่มีประจุบวกอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งเมื่อเขียนเป็นปฏิกิริยาเคมีทั่วไป เป็น



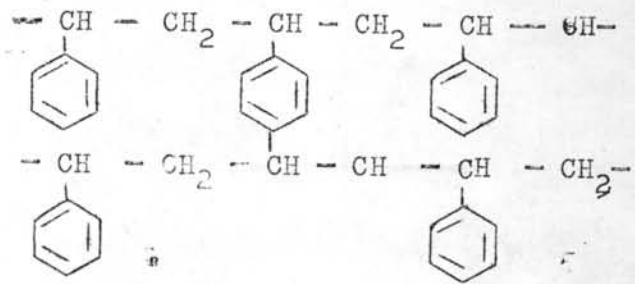
โดยให้  $R^- A^+$  เป็นเรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนบวก

3.1.1.1 เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่เป็นกรดแก่ (Strongly Acid Cation-Exchange Resins)

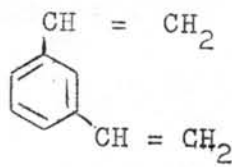
เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่แข็งมาก เป็นโพลีเมอร์ของ โพลีสไตรีน ที่มีหมู่กรดซัลโฟนิก (cross-linked sulfonated polystyrene polymer) เตรียมได้โดยใช้ สไตรีน (styrene) และไดไวนิลเบนซีน (divinylbenzene) มาทำ Catalyzed polymerisation แล้วทำปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน



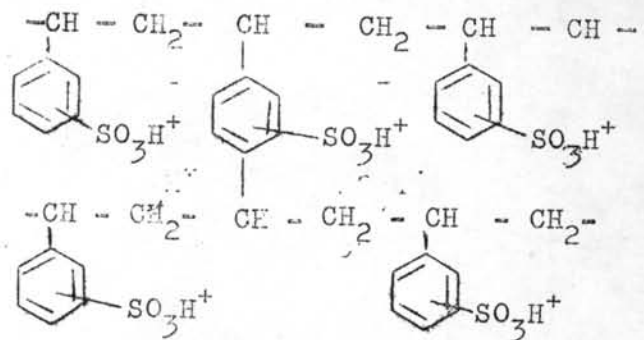
Styrene



Cross-linked polystyrene



Divinylbenzene



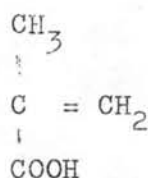
Sulfonic acid Resin

ซัลโฟเนตโพลีสไตรีนเรซิน (sulfonated polystyrene resin) มีสถานะคงที่ ทั้งกายภาพและเคมี มีความทนทานต่อกรดและด่าง ทั้งยังทนทานต่อตัวออกซิไดส์ (oxidising agent) และตัวรีดิวส์ (reducing agent)

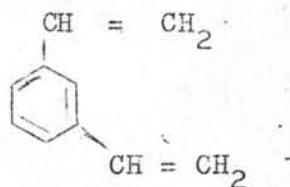
### 3.1.1.2 เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนอ่อนแอที่เป็นกรดอ่อน (Weakly Acid

Cation-Exchange Resins)

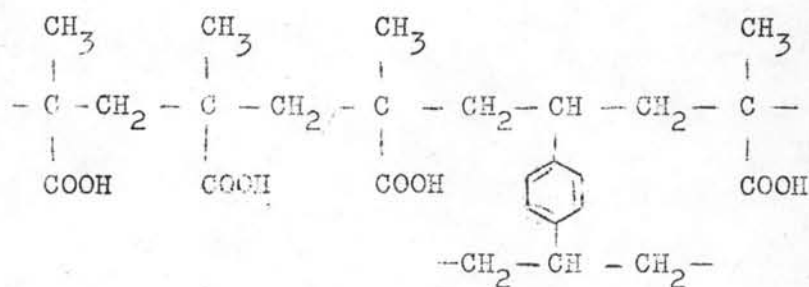
เรซินชนิดนี้ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลิก แอซิด (carboxylic acid) ซึ่งเตรียมจากปฏิกิริยาโพลีคอนเดนเซชัน (polycondensation reaction) ของกรดอะครีลิก (acrylic acid) กับไดไวนิลเบนซีน (divinylbenzene) โดยมีเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



Methacrylic acid



Divinylbenzene



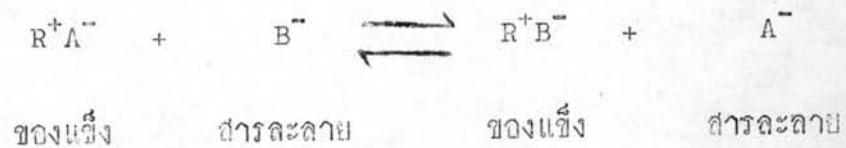
Carboxylic acid resin

นอกจากนี้ยังอาจแทนที่หมู่กรด (acidic group) ด้วยหมู่กรดเหล่านี้ได้

หมู่กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) $-\text{PC}_3\text{H}^-$	หรือ $-\text{PO}_3\text{H}_2$
หมู่กรดฟอสฟิโนอิก (phosphinic acid) $-\text{HPO}_2\text{H}^-$	หรือ $-\text{HPO}_2\text{H}_2$
หมู่กรดฟีนอลิก (phenolic acid) $-\text{OH}^-$	
หมู่กรดอาร์โซนิก (arsonic acid) $-\text{AsO}_3\text{H}^-$	หรือ $-\text{AsO}_3\text{H}_2$
หมู่กรดซีลีเนอัส (selenous acid) $-\text{SeO}_3\text{H}$	

3.1.2 เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนลบ (Anion-Exchange Resins)

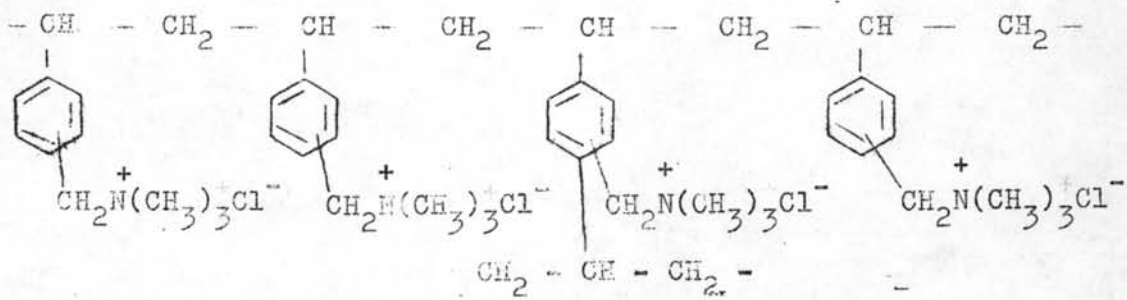
เรซินพวกนี้ใช้สำหรับแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุลบ (anion) กับไอออนที่มีประจุลบอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งอาจเขียนปฏิกิริยาทั่วไปได้เป็น



โดยให้  $R^+A^-$  เป็นเรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนลบ  
เรซินพวกนี้ยังแบ่งออกได้เป็น

3.1.2.1 เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนลบที่เป็นเบสแก่ (Strongly Basic Anion-Exchange Resins)

เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนลบ ที่เป็นเบสแก่เป็นเรซินที่มีหมู่ของควอเตอร์นารีแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์  $[-N(CH_3)_3OH]$  หรือควอเตอร์นารีแอมโมเนียมคลอไรด์  $[-N(CH_3)_3Cl]$  เป็นโพลีเมอร์ที่มีสูตรเป็น



3.1.2.2 เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนลบที่เป็นเบสอ่อน (Weakly Basic

Anion-exchange Resins)

เรซินชนิดนี้จะมีหมู่แอมมีโน (-NH<sub>2</sub>) หรือหมู่ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ติดกับเรซิน

กรดคลิงโพลีไคโรนโพลีเมอร์ (crosslinked polystyrene polymer)

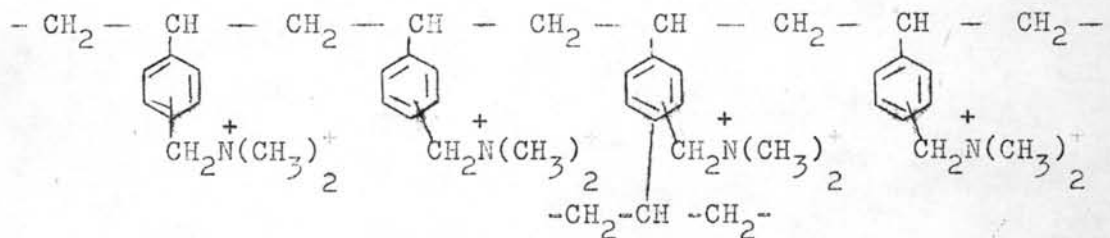
เทอร์เชียรีไนโตรเจนอะตอม (tertiary nitrogen atom) -CH<sub>2</sub>-<sup>+</sup>NH-(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-

เซกันดารีไนโตรเจนอะตอม (secondary nitrogen atom) -CH<sub>2</sub>-NH<sub>2</sub>-(CH<sub>3</sub>)

ควอเทอร์นารี ฟอสโฟเนียม (quaternary phosphonium) ≡ P<sup>+</sup>

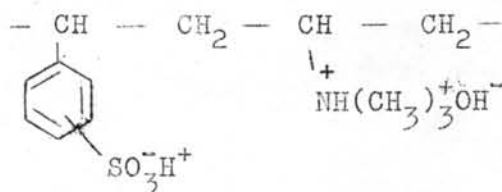
เทอร์เชียรีซัลโฟเนียม (tertiary sulfonium) ≡ S<sup>+</sup>

เช่น



3.1.3 เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนลบทั้งไอออนบวกและไอออนลบ

เรซินพวกนี้ประกอบด้วยหมู่ของไอออนที่ส่วนหนึ่งเป็นกรด และอีกส่วนหนึ่งเป็นเบสในเรซินเดียวกัน เช่น มีทั้งหมู่กรดซัลโฟนิก และหมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์



ในปัจจุบันนี้ไม่มีบริษัทต่าง ๆ ผลิตเรซินออกจำหน่ายโดยมีชื่อทางการค้าต่าง ๆ กัน คุณสมบัติและชนิดของเรซินแต่ละบริษัทและแต่ละชนิด ผู้เขียนได้รวบรวมไว้เพื่อประโยชน์ในการค้นคว้าและการทำงานของผู้จะใช้ทั่วไปเท่าที่สามารถหาได้ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 3.1



ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติบางประการของเรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนบวก(Cation-exchanger resins) บางชนิด

ชนิดของเรซิน	หมู่ฟังก์ชันแนล	ชื่อเรซินทางการค้า	ความจุ โดยประมาณ (meq/cm <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ สูงสุด (°C)	ครอสลิงค์ (%)	ช่วงความเป็น กรด (pH)
Strong acid	Crosslinked polystyrene -SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Amberlite IR-120	1.9	120	8	1 - 14
		Dowex 50x8	1.9	150	8	1 - 14
		Zerolit 225	2.0	140	8	1 - 12
		Lawatit S100	1.9	120	8	0 - 14
Weak acid	Crosslinked polyacrylic -CO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Amberlite IRC-50	3.5	120	-	5 - 14
		Amberlite IRC-84	4.1	100	-	4 - 14
		Zerolit 236	4.1	100	2.5	6 - 9
		Duolit CC3	4.1	100	-	4 - 14

ตารางที่ 3.2

แสดงคุณสมบัติบางประการของเรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนลบ (Anion-exchanger resins) บางชนิด

(29)

ชนิดของเรซิน	หมู่ฟังก์ชันแนล	ชื่อเรซินทางการค้า	ความจุ โดยประมาณ (meq/cm <sup>3</sup> )	อุณหภูมิ สูงสุด (°C)	ครอสลิงค์ (%)	ช่วงความเป็น กรด (pH)
Strong base	Crosslinked polystyrene -NR <sup>+</sup> <sub>3</sub>	Amberlite IRA-400	1.40	60	8	1 - 12
		Amberlite IRA-401	1.00	60	4	1 - 12
		Amberlite IRA-402	1.20	60	6	1 - 12
		Amberlite IRA-410	1.40	40	8	1 - 14
		Dowex 1X8	1.33	50	8	1 - 14
		Zerolit FF(ip)	1.20	60	-	1 - 14
		Duolit A 101D	1.20	60	-	1 - 14
Weak base	Crosslinked polystyrene -NR <sub>2</sub>	Amberlite IRA-45	1.90	100	-	1 - 9
		Amberlite IRA-47	2.40	95	-	1 - 9
		Zerolit H (ip)	1.20	70	-	1 - 9



### 3.2 คุณสมบัติที่สำคัญของตัวแลกเปลี่ยนไอออนในอุดมคติ (Properties of Ideal Exchangers)

คุณสมบัติที่สำคัญของ เรซินที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออนพอที่จะสรุปได้ดังต่อไปนี้

- (1) มีโครงสร้างที่ร่อนน้ำซึ่งงกตัวและมีรูปแบบที่แน่นอน
- (2) สามารถควบคุม และมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน
- (3) ควรมีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนที่เร็วมาก
- (4) ควรมีความทนต่อการเสียดสี
- (5) ควรมีความทนต่อแรงกระแทกและการเคี้ยวคี่
- (6) ควรมีขนาดทรงที่และมีพื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพเมื่ออยู่รวมกันมาก ๆ หรือเมื่อถูกแรงอัดจากน้ำ

### 3.3 คุณสมบัติของไอออนที่แลกเปลี่ยน (Properties of Exchanging Ions) (30)

#### 3.3.1 ประจุ

ในสารละลายเจือจาง ไอออนที่มีประจุมากจะถูกดูดซับได้ดีกว่าไอออนที่มีประจุน้อยกว่า เช่น ไอออนที่มี oxidation state  $2+$  จะถูกดูดซับโดยเรซินได้ดีกว่าไอออนที่มี oxidation state  $1+$

#### 3.3.2 ขนาด

ไอออนที่มีขนาดใหญ่ โดยเฉพาะไอออนของสารประกอบอินทรีย์จะถูกดูดซับได้ดีและแน่นกว่าไอออนขนาดเล็กกว่า แต่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้เต็มที่ สำหรับโมเลกุลที่ใหญ่มาก เช่น โปรตีน ไม่สามารถผ่าน (penetrate) เข้าไปในโครงสร้างของเรซินได้ จะถูกดูดซับไว้บนผิวของเรซินเท่านั้น

### 3.3.3 ความสามารถในการมีขั้วของโมเลกุลและการกักน้ำ (Polarizability and Hydration)

โดยทั่วไป สารที่แสดงการมีขั้วสูง และมีอันตรกิริยากับการกักน้ำ (degree of hydration) ถ้า แล้วจะถูกกักน้ำบนเรซินได้ดีกว่า

### 3.4 คุณสมบัติของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

#### 3.4.1 ลักษณะของธาตุหรือหมู่ธาตุที่เข้าไปรวมอยู่ (Nature of functional group)

เรซินที่มีหมู่ของกรกอน และหมู่ของกางอน มีคุณสมบัติเฉพาะสำหรับจับไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออน ตามลำดับ ตัวอย่างเช่นไฮโดรเจนไอออนจะถูกกักน้ำโดยเรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนลบที่มีหมู่กรกอนบอริค และไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ ) จะถูกกักน้ำโดยเรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนลบที่มีหมู่กางอน นอกจากนี้เรซินที่มีหมู่บางชนิด ซึ่งทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนบางตัวได้ ก็จะถูกกักน้ำไอออนนั้นได้แน่น เช่น  $\text{Cu}^{2+}$  จะถูกกักน้ำได้โดยเรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนลบที่มีหมู่กางอนเป็นหมู่อะมีน (amine group) โดยจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของพวกอะมีน

#### 3.4.2 อันดับของการไขว้โยง (Degree of Cross Linking)

โดยทั่วไป เรซินจะเลือกจับไอออน (selective) ได้ดีขึ้น  
เมื่อไอออนมีขนาดต่างกัน (ปริมาตรของไอออนนั้นจะต้องรวมทั้งน้ำที่เกิดจากการ hydration  
เมื่ออันดับของการไขว้โยงเพิ่มขึ้นและการบวม (swelling) ก็จะลดลง ไอออนที่มีปริมาตร  
ของน้ำเข้าไปล้อมรอบ (hydrate volume) น้อยจะถูกกักน้ำได้ดีกว่า

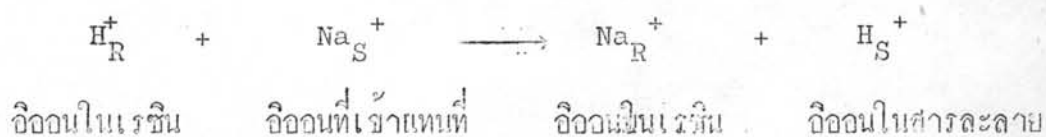
### 3.5 คุณสมบัติของสารละลาย

#### 3.5.1 ความเข้มข้นของไอออนที่แลกเปลี่ยนทั้งหมด

การกระจายของไอออนระหว่างเรซินและสารละลายมีผลมาจากความเข้มข้นของไอออนทั้งหมดในสารละลาย ถ้าไอออนที่เกี่ยวข้องในกระบวนการแลกเปลี่ยนมีประจุเท่ากัน ผลของความเข้มข้นของไอออนในสารละลายจะมีผลน้อย แต่ถ้าไอออนมีประจุต่างกันการถูกดูดซับโดยเรซินได้มากกว่า ความเข้มข้นของไอออนในสารละลายมีผลเข้าไปเกี่ยวข้องด้วย

#### 3.5.2 ชนิดของไอออนอื่น ๆ หรือตัวถูกละลายในสารละลาย

สำหรับสารที่แตกตัวเป็นไอออนได้มาก (strong electrolyte) การกระจายของไอออนระหว่างเรซินกับสารละลายไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากชนิดของไอออนที่ไม่แลกเปลี่ยนกับไอออนในเรซินไม่ทำให้สารละลายเปลี่ยนแปลง แต่ถ้าหากเป็นสารที่แตกตัวเป็นไอออนได้น้อย (weak electrolyte) หรือมีตัวถูกละลาย (solute) ซึ่งสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ จะทำให้สมดุลของไอออน (ionic equilibrium) มีผลเปลี่ยนแปลงได้ตัวอย่างเช่น ในกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนต่อไปนี้



สมการข้างต้นนี้จะเกิดได้ก็ขึ้น เมื่อสารละลายมีอะซิเตตหรือไฮดรอกไซด์ไอออน โดยที่อะซิเตตจะรวมกับไฮโดรเจนไอออนเกิดเป็นกรดอะซีติก ซึ่งแตกตัวเป็นไอออนได้น้อย จึงทำให้ไฮโดรเจนไอออนในสารละลายเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



$K_A^B$  = ค่าสัมประสิทธิ์ในการแลกเปลี่ยนไอออน A และ B ของเรซิน

$a_{B_R}^+$  = activity ของเรซินที่จับไอออน B<sup>+</sup> ไว้

$a_{B_R}^+$  = activity ของเรซินที่จับไอออน A<sup>+</sup> ไว้

$a_{A^+}$  = activity ของไอออน A<sup>+</sup>

$a_{B^+}$  = activity ของไอออน B<sup>+</sup>

$[B_R^+]$  = ความเข้มข้นของเรซิน ที่จับ B<sup>+</sup> ไว้

$[A_R^+]$  = ความเข้มข้นของเรซิน ที่จับ A<sup>+</sup> ไว้

$f_{B_R^+}$  = activity coefficient ของเรซินที่จับ B<sup>+</sup> ไว้

$f_{A_R^+}$  = activity coefficient ของเรซินที่จับ A<sup>+</sup> ไว้

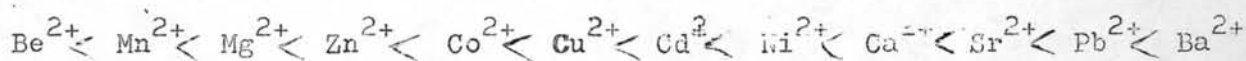
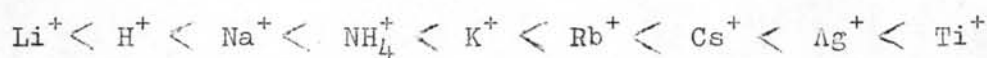
$f_{A^+}$  = activity coefficient ของไอออน A<sup>+</sup>

$f_{B^+}$  = activity coefficient ของไอออน B<sup>+</sup>

ถ้า  $K_A^B$  จะคงที่เมื่อใช้ค่า activities เท่านั้น แต่ถ้าใช้ความเข้มข้น จะต้องคูณด้วยค่า activity coefficients (f) ซึ่งจะเห็นว่าเป็นการยากอย่างยิ่งในการหาค่า  $K_A^B$  โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการหาค่า activity coefficient ของเรซิน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้หาค่า pseudo-equilibrium constant หรือ concentration ratio ถ้า equilibrium constant ที่หาโดยตัดค่า activity coefficients ออกเป็นค่าคงที่อย่างง่ายสำหรับในสถานะที่กำหนดให้ และเรียกค่านี้ว่า selectivity coefficient จากข้อมูลต่าง ๆ พอที่จะรวบรวมเป็นหลักที่สามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ดังต่อไปนี้ (31)

- ก. Selectivity coefficient จะเข้าใกล้ 1 (unity) เมื่อ cross-linking ของเรซินลดลง
- ข. อีออนที่แลกเปลี่ยนแล้ว ทำให้เรซินขยายตัวจะเกิดการแลกเปลี่ยนได้น้อยกว่าอีออนที่ไม่ทำให้เรซินขยายตัว หรืออีออนที่มีขนาดเล็กกว่า เกิดการแลกเปลี่ยนได้ดีกว่าอีออนที่ใหญ่
- ค. อีออนที่มีประจุมากกว่าจะถูกจับบนเรซินได้ดีกว่า
- ง. อีออนของสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลมาก ๆ หรือแอนไอออนของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะจะถูกจับได้ดีอย่างผิดปกติบนเรซิน ซึ่งอาจจะเป็นเนื่องจาก electrostatic force หรือ van der Waal's force

จากหลักเกณฑ์อันนี้ เราอาจทำนายได้ว่า การเลือกจับอีออนของเรซินเป็นไป ความลำดับดังนี้

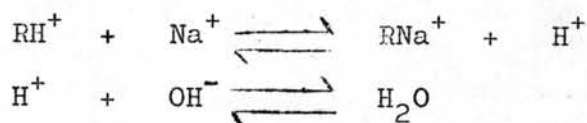


สำหรับอีออนของธาตุที่หายาก และอีออนของหมู่ธาตุแอกติไนต์ การเลือกจับอีออนของเรซินจะลดลง เมื่อเลขอะตอมของธาตุเพิ่มขึ้น จากลำดับการเลือกจับอีออนของเรซินข้างบนนี้ จะพบเสมอว่าแตกต่างกันไป เนื่องจาก pH หรือความเข้มข้น หรือชนิดของเรซิน หรือการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน หรือ ionic strength เป็นต้น เกิดเปลี่ยนแปลงไป



### 3.7 ความจุของการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-Exchange Capacity)

ความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน หมายถึง จำนวนสมมูลของไอออนที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก หรือต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของเรซิน หรือเป็นจำนวนมิลลิกรัมสมมูลของไอออนที่แลกเปลี่ยนน้ำหนักของเรซินที่แห้ง 1 กรัม ความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนนี้ยังขึ้นอยู่กับขนาดของไอออนที่แทนที่ และความเป็นกรดหรือด่างของสารละลายอีกด้วย โดยทั่วไป เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนบวกมักจะทำอยู่ในรูปของไฮโดรเจน และถ้าเป็นเรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนลบจะทำอยู่ในรูปของคลอไรด์ ในการหาความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินสามารถทำได้โดยใช้วิธีวิเคราะห์ธรรมดาๆ ได้ คือวิเคราะห์กรดหรือเบสที่เกิดขึ้นในสารละลายของเกลือที่เป็นกลาง เช่น โซเดียมคลอไรด์ ตัวอย่างเช่นในการวิเคราะห์ของเรซินที่เป็นกรดแก่ และอยู่ในรูปของไฮโดรเจนด้วยค่าตามสมการ



ถ้าให้เรซินสามารถทำให้กรดเกิดขึ้นจาก  $m$  กรัมของเรซินแล้ว ถูกสะเทินด้วยสารละลาย  $\text{NaOH}$  ชั้น  $x$  โมลาร์  $y$  ลูกบาศก์เซนติเมตร และถ้าเรซินมีน้ำอยู่  $s$  เปอร์เซ็นต์

$$\text{ดังนั้นความจุของการแลกเปลี่ยนไอออน } Q = \frac{100 \cdot xy}{m(100-s)}$$

$Q$  มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม / 1 กรัมของเรซินในรูปไฮโดรเจน

ค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนนี้ เป็นค่าที่ให้ประโยชน์ในก้านของการล้างคอลัมน์ (regenerate column)

### 3.8 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution Coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของไอออน ( $K_d$ ) หมายถึงอัตราส่วนของปริมาณของไอออนในเรซิน ต่อปริมาณของไอออนในสารละลาย ซึ่งปริมาณของไอออนในเรซิน ถือเป็นมิลลิกรัมสมมูลย์ ของไอออนต่อ 1 กรัมของเรซินที่แห้ง และปริมาณของไอออนในสารละลายถือเป็น มิลลิกรัมสมมูลย์ของไอออนต่อ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรของสารละลาย จากค่าของสัมประสิทธิ์การกระจายของไอออนนี้ สามารถนำมาใช้สำหรับเลือกตัวทำละลาย (eluant) เพื่อใช้ในการล้างไอออนที่ถูกกักขังอยู่ในเรซิน โดยให้ไอออนหนึ่งถูกล้างออกมา ส่วนอีกไอออนหนึ่งยังคงกักอยู่ในเรซิน ก็จะต้องทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของไอออนหนึ่งมีค่าต่ำ เพื่อว่าการล้างไอออนที่ถูกกักขังนั้นจะทำได้เร็ว โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของอีกไอออนหนึ่งมีค่าสูงที่สภาวะเดียวกัน เพื่อให้ไอออนนั้นยังคงกักอยู่ในเรซิน จะได้สามารถแยกสารออกจากกันได้ (32, 33) และถ้าเรทราบค่าของ  $K_d$  ยังสามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณของสารละลาย (eluant) ที่จะใช้ล้างไอออนออกจากคอลัมน์ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามปริมาณของสารละลายที่ใช้ในการล้างไอออนออกจากคอลัมน์ของเรซินสามารถหาได้ง่าย ๆ โดยเก็บแต่ละส่วนของสารละลายที่ออกมาจากคอลัมน์ แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของไอออน เมื่อนำไปเขียนกราฟระหว่างปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการล้าง และปริมาณของไอออนที่ออกมา ก็จะสามารถจะหาปริมาตรของสารละลายที่จะล้างไอออนออกมาหมดหรือเกือบหมดได้

### 3.9 เทคนิคการแยกสารโดยวิธีคอลัมน์โครมาโตกราฟี

ในการแยกสารผสม ซึ่งมีไอออนปนอยู่หลายชนิดนั้น วิธีหนึ่งที่สามารถทำได้ และใช้กันอย่างกว้างขวาง คือใช้เทคนิคทางโครมาโตกราฟี ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะคอลัมน์โครมาโตกราฟีเทคนิคเท่านั้น เทคนิคนี้อาจแบ่งออกได้เป็น 3 พวกด้วยกันคือ

#### 3.9.1 เทคนิคการล้าง (Elution Analysis)

เทคนิคนี้นับว่าเป็นเทคนิคที่สำคัญที่สุด ในการทำคอลัมน์โครมาโตกราฟี โดยอาศัยหลักการเลือกใช้ตัวทำละลายเพื่อนำไปผ่านคอลัมน์ ซึ่งมีไอออนหรือสารที่จะแยกถูกจับ

อยู่บนเรซิน อีออนที่ละลายได้กับตัวทำละลายนั้นก็จะถูกดึง (elute) ออกมาก่อน ส่วน อีออนหรือสารที่ไม่ละลายก็จะยังคงถูกจับอยู่บนคอลัมน์ ตัวทำละลายที่จะใช้ก็ต้องเลือกให้ ที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ ตัวทำละลายนั้นจะต้องไม่มีผลต่อเรซิน หรือไม่ถูกดูดซับด้วยเรซิน การเลือก ใช้ตัวทำละลาย (eluant) เพื่อล้างอีออนหรือสารต่าง ๆ ที่ติดอยู่บนคอลัมน์อาจแบ่งออกได้ 2 วิธีคือ วิธีหนึ่งใช้ตัวทำละลายหลาย ๆ ชนิด แต่ละชนิดจะมีความสามารถละลายอีออนหรือ สารที่จะแยกได้ต่างกัน เช่น มีอีออน A และอีออน B ถูกจับอยู่บนคอลัมน์ แล้วใช้ตัวทำละลาย ที่สามารถล้างอีออน A ออกมาก่อน และเมื่อทดสอบพบว่า อีออน A ออกหมดแล้ว ก็เปลี่ยน ใช้ตัวทำละลายอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถล้างอีออน B ได้ อีออน B ก็จะถูกล้างออกมา วิธีการดังกล่าวนี้ เราเรียกว่า "Stepwise elution" อีกวิธีหนึ่งนั้นเป็นการใช้ตัวทำละลาย ชนิดเดียวกัน แต่ใช้ความเข้มข้นต่างกัน อาจใช้ความเข้มข้นมากไปน้อย หรือจากความเข้มข้น น้อยไปมาก การใช้เทคนิคนี้ยังช่วยให้การเกิดเทลลิง (tailing) ลดลงอีกด้วย เรียก วิธีการนี้ว่า "Gradient elution"

### 3.9.2 ฟรอนทัลเทคนิก (Frontal Analysis)

เทคนิคนี้อาศัยหลักการเคลื่อนที่ของอีออนต่าง ๆ ในคอลัมน์ซึ่งบรรจุเรซินอยู่ ด้วยอัตราความเร็วแตกต่างกัน นั่นคือถ้าเราใช้สารละลายซึ่งมีอีออนหลาย ๆ ชนิดผสมกันอยู่ ผ่านลงในคอลัมน์ของเรซิน อีออนใดที่ถูกดูดซับด้วยเรซินน้อย ก็จะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ออกมาได้ เร็วกว่าอีออนที่ถูกดูดซับได้ดีกว่า ตัวอย่างเช่น ถ้ามีอีออน A, B และ C อีออน A จะถูกดูดซับด้วยเรซินได้น้อยที่สุด อีออน C ถูกดูดซับไว้มากที่สุด ส่วนอีออน B ถูกดูดซับ ไว้ได้มากกว่าอีออน A แต่น้อยกว่าอีออน C ดังนั้นอีออน A จะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าอีออน ทั่วอื่น ๆ และจะออกมาจากสารละลายเป็นส่วนแรก ซึ่งจะมีแต่อีออน A เท่านั้น สารละลาย ส่วนที่สองก็จะมีอีออน B ออกมาโดยไม่มีอีออน A ปนอยู่บ้าง ส่วนอีออน C จะออกมาใน สารละลายส่วนที่สาม ซึ่งจะมีทั้งอีออน A และอีออน B ปนออกมาบ้าง ดังนั้นการแยก โดยวิธีนี้จึงไม่ค่อยสมบูรณ์นัก และมักจะใช้ในการแยกสารที่สารหนึ่งถูกจับได้มากออกจากสาร ละลายที่มีอีกสารหนึ่งถูกจับไว้ได้น้อย ซึ่งจะทำให้การแยกสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

### 3.9.3 เทคนิคการแทนที่ (Displacement Analysis)

ในวิธีการนี้ให้ฉนวนที่จะแยกถูกจับไว้ในคอลัมน์ด้วยเรซินเสียก่อน แล้วจึงใส่สารละลายที่มีฉนวน ซึ่งจะถูกรับด้วยเรซินได้ดีกว่าฉนวนที่จะแยกผ่านคอลัมน์อีกครั้งหนึ่ง ฉนวนที่จะแยกซึ่งถูกจับไว้ก่อนจะถูกแทนที่ด้วยฉนวนที่ถูกจับได้ดี ซึ่งผ่านทีหลัง ตัวอย่างเช่น จะทำการแยกฉนวน A และฉนวน B โดยวิธีนี้ ให้ได้สารละลายซึ่งมีฉนวน A และฉนวน B ผ่านคอลัมน์ ฉนวน A และฉนวน B จะถูกจับไว้บนคอลัมน์ด้วยเรซินที่ได้ แล้วจึงค่อยผ่านสารละลายซึ่งมีฉนวน C เข้าไป ฉนวน C ถูกจับด้วยเรซินที่ดูดได้ดีกว่าฉนวน A และฉนวน B ฉนวน A และฉนวน B จะถูกแทนที่ด้วยฉนวน C ออกจากคอลัมน์เป็นปริมาณเท่ากับปริมาณของฉนวน C ที่ผ่านเข้าไป ฉนวน A และฉนวน B ที่ไหนจะออกมาก่อนกัน ก็ขึ้นอยู่กับฉนวน A และฉนวน B ที่ไหนถูกจับได้ดีกว่ากัน เทคนิคนี้นำไปใช้มากในเรื่องของการเตรียมสาร หรือทำให้สารละลายเข้มข้นขึ้น