RESIN TECHNOLOGY

1. **Name** : Pornsak Samornkraisorakit
2. **Position** : Scientist 6
3. **Working** for Department of Water Quality

   Metropolitan Waterworks Authority

- **Educational Background :**

  1. Bachelor Degree in Sanitary Science from Mahidol University
  2. Master Degree in Environmental Engineering from Kasetsart University

- **Training course** Yokohama Training Program 2001 in Japan

การประปานครหลวง

METROPOLITAN WATERWORKS AUTHORITY

การแลกเปลี่ยนอิออนโดยใช้เรซิน (Ion Exchange Resin)

<u>ประวัติศาสตร์</u>

ทอมป์สันเป็นผู้ค้นพบปรากฏการณ์การแลกเปลี่ยนอิออนของดิน โดยการเทสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต (**NH_4SO_4**) ผ่านดิน ดินจะจับแอมโมเนียไว้และได้แคลเซียมซัลเฟตแทนที่ ดังสมการ

$$\text{Ca-Soil} \quad + \quad NH_4SO_4 \longrightarrow NH_4\text{- Soil} \quad + \quad CaSO_4$$

ต่อมาได้มีการใช้สารจำพวกซีโอไลต์ **(Zeolite)** หรือ **Sodium alumino silicate** เป็นตัวแลกเปลี่ยนอิออน แม้ในปัจจุบันจะเลิกใช้แล้วก็ยังเรียกชื่ออื่นที่ทำหน้าที่เดียวกันว่า ซีโอไลต์

ในปี พ.ศ. 2487 มีการค้นพบวิธีการควบอณูระหว่างสไตรีน **(Styrene)** โดย **Divinylbenzene (DVB)** เป็นตัวจับระหว่างโพลีสไตรีนเรียกว่า **Crosslinkage** เกิดเป็นเรซิน **(Resin)** ซึ่งมีเม็ดค่อนข้างกลม

ปริมาณร้อยละของ **DVB** ที่มีอยู่ในเรซิน เรียกว่า **Crosslinkage** เรซินเมื่อแช่อยู่ในน้ำจะมีรูเล็ก ๆเป็นโพรงอยู่ภายในมากมาย อิออนจะแพร่เข้าไปสู่ภายในเรซินตามรูเล็ก ๆเหล่านี้ ถ้ามีค่าเปอร์เซ็นต์ **DVB** สูงก็จะมีขนาดของรูเล็ก โครงสร้างเป็นแบบ **Macroporous** หรือ **Gelular**

การจำแนกประเภทของเรซิน

ในปัจจุบันมีการจำแนกเรซินออกเป็น 4 ประเภทคือ

1. เรซินชนิดประจุบวก-กรดแก่ ตัวย่อ **SC**

   (Strong Acid Cation Resin)

2. เรซินชนิดประจุบวก-กรดอ่อน ตัวย่อ **WC**

   (Weak Acid Cation Resin)

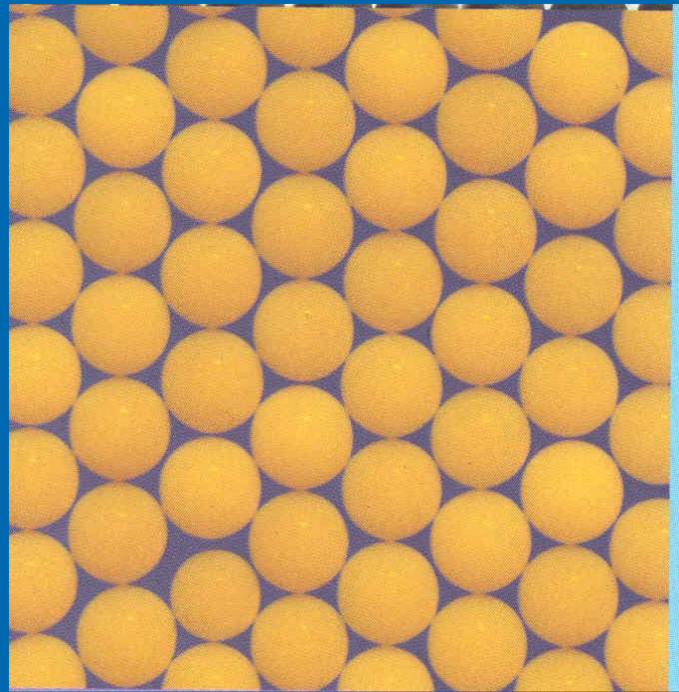
3. เรซินชนิดประจุลบ-ด่างแก่ ตัวย่อ **SB**

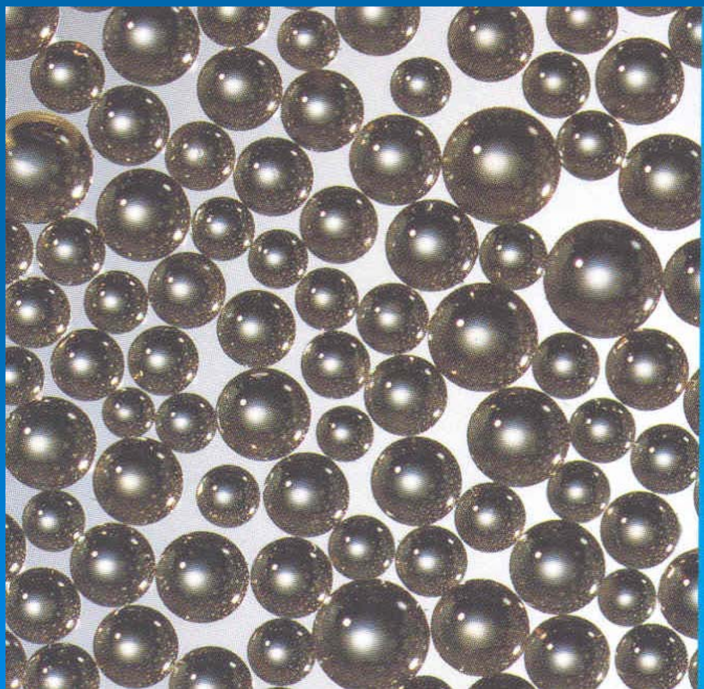
   (Strong Base Anion Resin)

4. เรซินชนิดประจุลบ-ด่างอ่อน ตัวย่อ **WB**

   (Weak Base Anion Resin)


Average Size






Mono Size


CARBON
SOFTENER




เรซินชนิดประจุบวก-กรดแก่ (Strong Acid Cation Resin)

มี Functional Group เป็น Sulfonic acid มีอิออนประจำตัวคือ

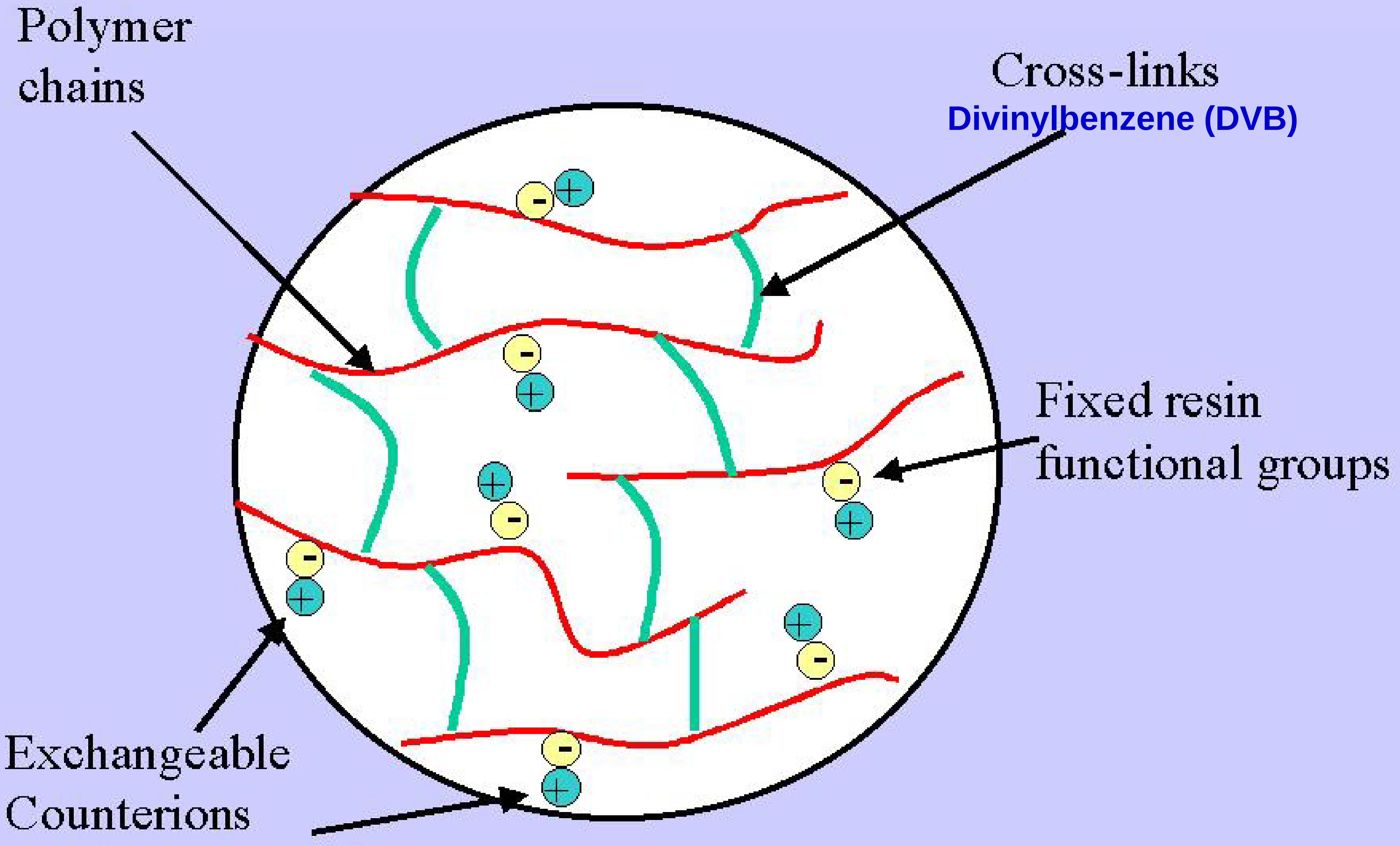
$$\boxed{R\text{-}SO_3^-}$$

เรซินแบบประจุบวก-กรดแก่ เป็นเรซินที่มีการใช้งานมากที่สุดใน

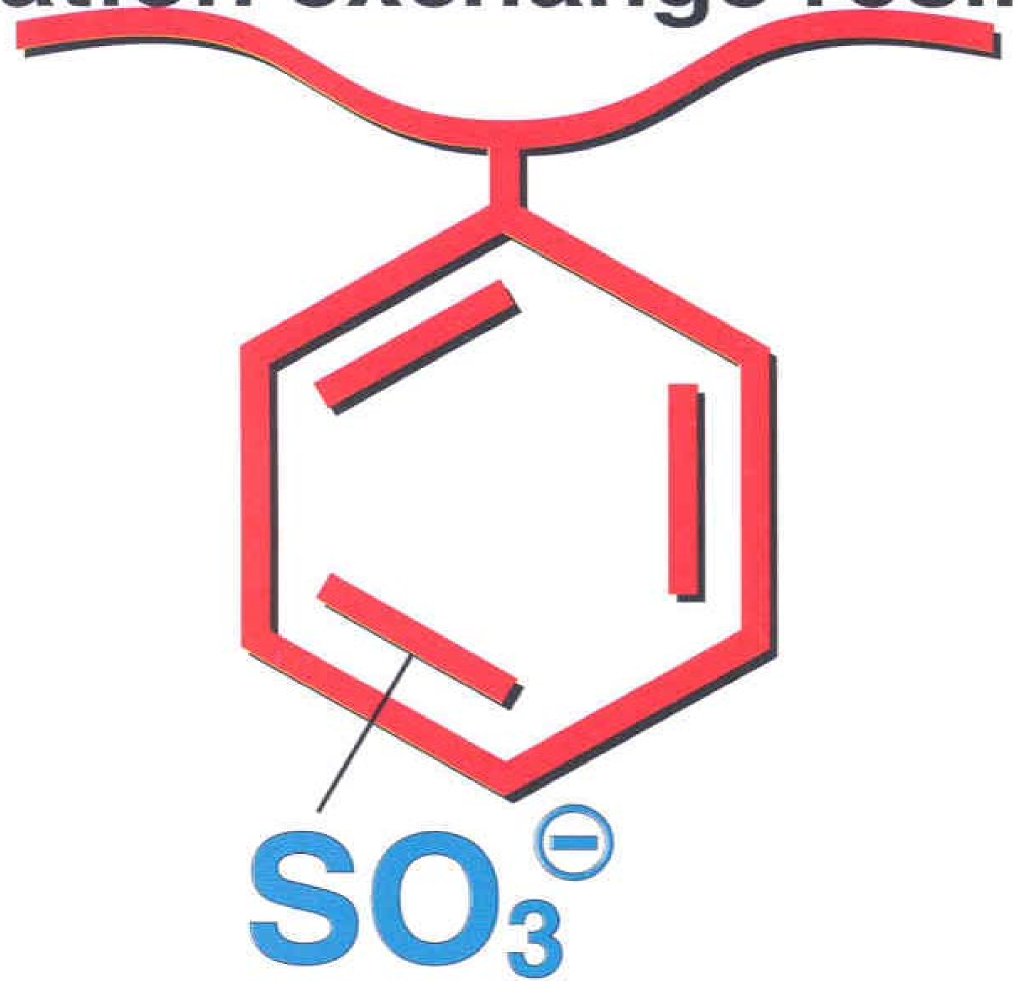
จำพวกเรซินประจุบวก ปกติจะอยู่ในรูปของ

- เกลือโซเดียม ($R\text{-}SO_3Na_2$) หรือเรียกว่า Sodium form

- ในรูปของ H^+ ($R\text{-}SO_3H_2$) หรือเรียกว่า Hydrogen form


Polymer chains
Cross-links
Divinylbenzene (DVB)
Fixed resin functional groups
Exchangeable Counterions

Strongly acidic cation exchange resin*



รูปแบบเรซินประจุบวก-กรดแก่ (Strong Acid Cation Resin)

- ในรูปของ H^+ (R-SO_3H_2) หรือเรียกว่า Hydrogen form สามารถใช้ในการจับอิออนประจุบวกทั้งหมด

- ในรูปของ Na^+ (R-SO_3Na_2) หรือเรียกว่า Sodium form สามารถใช้ในการจับอิออนของความกระด้างเพื่อทำน้ำอ่อน (Softening) แต่เพียงอย่างเดียว ลำดับความยากง่ายในการถูกจับสำหรับอิออนประจุบวกมีดังนี้ $Ca^{+2} > Mg^{+2} > Na^+$

Sodium Cation Exchanger

Softening:

$$
\begin{array}{ccccccc}
Na_2R & + & \begin{bmatrix} Ca \\ Mg \\ Fe \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} (HCO3)_2 \\ SO_4 \\ (Cl)_2 \end{bmatrix} & \rightarrow & \begin{matrix} CaR \\ MgR \\ FeR \end{matrix} & + & \begin{matrix} 2\ NaHCO_3 \\ Na_2SO_4 \\ 2\ NaCl \end{matrix} \\
\begin{matrix} \text{Sodium cation} \\ \text{exchanger} \\ \text{(insoluble)} \end{matrix} & & \begin{matrix} \text{Hardness} \\ \text{(soluble)} \end{matrix} & & \begin{matrix} \text{Hardness} \\ \text{with resin} \\ \text{(insoluble)} \end{matrix} & & \begin{matrix} \text{Treated} \\ \text{water} \\ \text{(soluble)} \end{matrix}
\end{array}
$$

Regeneration:

$$
\begin{array}{ccccccc}
\begin{matrix} CaR \\ MgR \\ FeR \end{matrix} & + & 2\ NaCl & \rightarrow & Na_2R & + & \begin{matrix} CaCl_2 \\ MgCl_2 \\ FeCl_2 \end{matrix} \\
\begin{matrix} \text{Hardness} \\ \text{with resin} \\ \text{(insoluble)} \end{matrix} & & \begin{matrix} \text{Regenerant} \\ \text{solution} \\ \text{(soluble)} \end{matrix} & & \begin{matrix} \text{Regenerated} \\ \text{bed} \\ \text{(insoluble)} \end{matrix} & & \begin{matrix} \text{Waste} \\ \text{or brine} \\ \text{(soluble)} \end{matrix}
\end{array}
$$

Hydrogen Cation Exchanger

Reaction with bicarbonates:

$$H_2R \quad + \quad \begin{matrix} Ca(HCO_3)_2 \\ Mg(HCO_3)_2 \\ Na_2Ca(HCO_3)_2 \end{matrix} \quad \rightarrow \quad \begin{matrix} CaR \\ MgR \\ Na_2R \end{matrix} \quad + \quad 2\ CO_2 \quad + \quad 2\ H_2O$$

Hydrogen cation exchanger (insoluble)	Cations with bicarbonate (soluble)	Cations with resin (insoluble)	Carbon dioxide (soluble)

Reaction with sulfates and chlorides:

$$H_2R \quad + \quad \begin{bmatrix} Ca \\ Mg \\ Na_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} SO_4 \\ Cl_2 \end{pmatrix} \quad \rightarrow \quad \begin{matrix} CaR \\ MgR \\ Ma_2R \end{matrix} \quad + \quad \begin{matrix} H_2SO_4 \\ Cl_2SO_4 \end{matrix}$$

Hydrogen cation (insoluble)	Cations with sulfate and chloride (soluble)	Cations with resin (insoluble)	Sulfuric and/or hydrochloric acid (soluble)

Regeneration:

$$\begin{matrix} CaR \\ MgR \\ Na_2R \end{matrix} \quad + \quad H_2SO_4 \quad \rightarrow \quad H_2R \quad + \quad \begin{matrix} CaSO_4 \\ MgSO_4 \\ Na_2SO_4 \end{matrix}$$

Cations with resin (insoluble)	Regeneration solution (soluble)	Hydrogen cation exchanger (insoluble)	Waste or brine (soluble)

ข้อดี - ข้อเสียของเรซินแบบกรดแก่ (Strong Acid Cation Resin)

ข้อดี

1. ใช้ได้ดีกับน้ำที่มีค่าพีเอชทุกระดับ
2. สามารถแยก Na^+ จากเกลือแกงได้
3. สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้รวดเร็ว
4. มีความคงทน อาจใช้ได้นานถึง 20 ปีหรือนานกว่า โดยมีการสูญเสียอำนาจเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย
5. เหมาะสำหรับใช้กำจัดความกระด้างหรือในการทำน้ำให้บริสุทธิ์ **(Demineralization)**

ข้อเสีย

1. มีประสิทธิภาพในการ **regeneration** ต่ำประมาณ 25 - 45 **%** ทำให้สิ้นเปลืองสารเคมีในการรีเจเนอเรชั่น

เรซินชนิดประจุบวก-กรดอ่อน (Weak Acid Cation Resin)

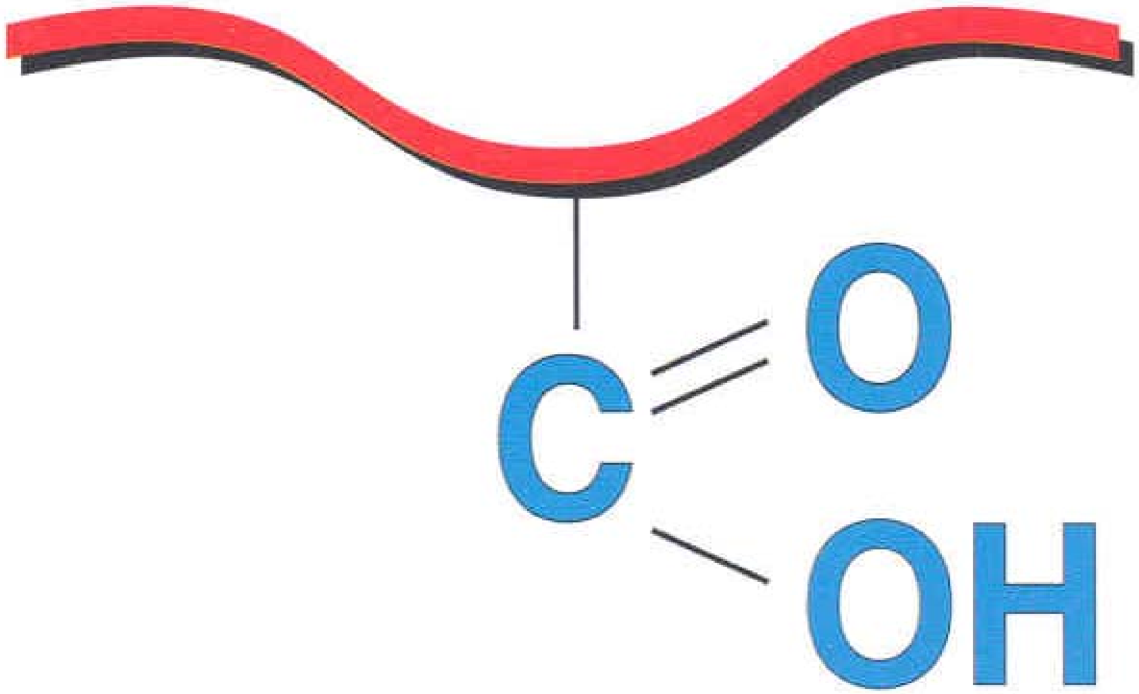
มี Functional Group เป็น Carboxylic acid มีอิออนประจำตัวคือ

$$\boxed{R - COOH}$$

เรซินแบบประจุบวก-กรดอ่อน (Weak Acid Cation Resin)

- สามารถแลกเปลี่ยนอิออนกับด่างโซดาไฟหรือเกลือของกรดอ่อนได้ เช่น $NaHCO_3$ แต่ไม่สามารถจับอิออนประจุบวกของเกลืออนินทรีย์ได้

Weakly acidic cation exchange resin



ปฏิกิริยา

$$R\text{-}COOH + NaOH \longrightarrow RCOONa + H_2O$$

$$R\text{-}COOH + NaHCO_3 \longrightarrow RCOONa + H_2O + CO_2$$

$$\left(\begin{array}{c} Ca \\ Mg \\ 2Na \end{array}\right)(HCO_3)_2 + 2RCOOH \longrightarrow 2RCOO\left(\begin{array}{c} Ca \\ Mg \\ 2Na \end{array}\right) + 2H_2CO_3$$

เกลือของกรดแก่

$$R\text{-}COOH + NaCl \longrightarrow$$ ไม่ทำปฏิกิริยา

$$R\text{-}COOH + CaSO_4 \longrightarrow$$ ไม่ทำปฏิกิริยา

$$R\text{-}COOH + CaCl_2 \longrightarrow$$ ไม่ทำปฏิกิริยา

ข้อดี - ข้อเสียของเรซินแบบกรดอ่อน (Weak Acid Cation Resin)

ข้อดี

1. ฟื้นฟูประสิทธิภาพให้อยู่ในรูปเดิม (รูปที่มี **H**) ได้ง่าย
2. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าเรซินแบบกรดแก่ประมาณ 2 เท่า
3. ปริมาณกรดที่ใช้ **regenerate** น้อยกว่าแบบกรดแก่
4. สามารถกำจัดความเป็นด่าง (**Alkalinity)** ออกจากน้ำได้โดยไม่ต้องมีการเติมกรดเลย
5. ทนต่อสารออกซิแดนท์ (เช่นคลอรีน) ได้ดี

ข้อเสีย

1. ใช้งานที่ **pH** ต่ำกว่า 5.0 ไม่ได้
2. ปลดปล่อยอิออนที่จับไว้ได้ง่าย

เรซินชนิดประจุลบ-ด่างแก่ (Strong Base Anion Resin)

มี Functional Group เป็น Quaternary Amine – NH_2, NHR และ NR_2 ติดอยู่กับโครงสร้างของเรซิน มีอิออนประจำตัวคือ

$$\boxed{R - NOH}$$

เมื่ออยู่ในน้ำจะมีปฏิกิริยาแตกตัวดังนี้

$$R - NOH \rightleftharpoons R - N^{+} + OH^{-}$$

ในท้องตลาดจะขายอยู่ในรูปคลอไรด์ (R-NCl) ทั้งนี้เพราะมีเสถียรภาพสูงกว่าในการใช้งาน ซึ่งต้องใช้ในรูป R-NOH ก็ต้องล้างหรือฟื้นฟูประสิทธิภาพ ของเรซินด้วยด่างโซดาไฟก่อน

$$R-NCl \quad + \quad NaOH \rightleftharpoons R-NOH \quad + \quad NaCl$$

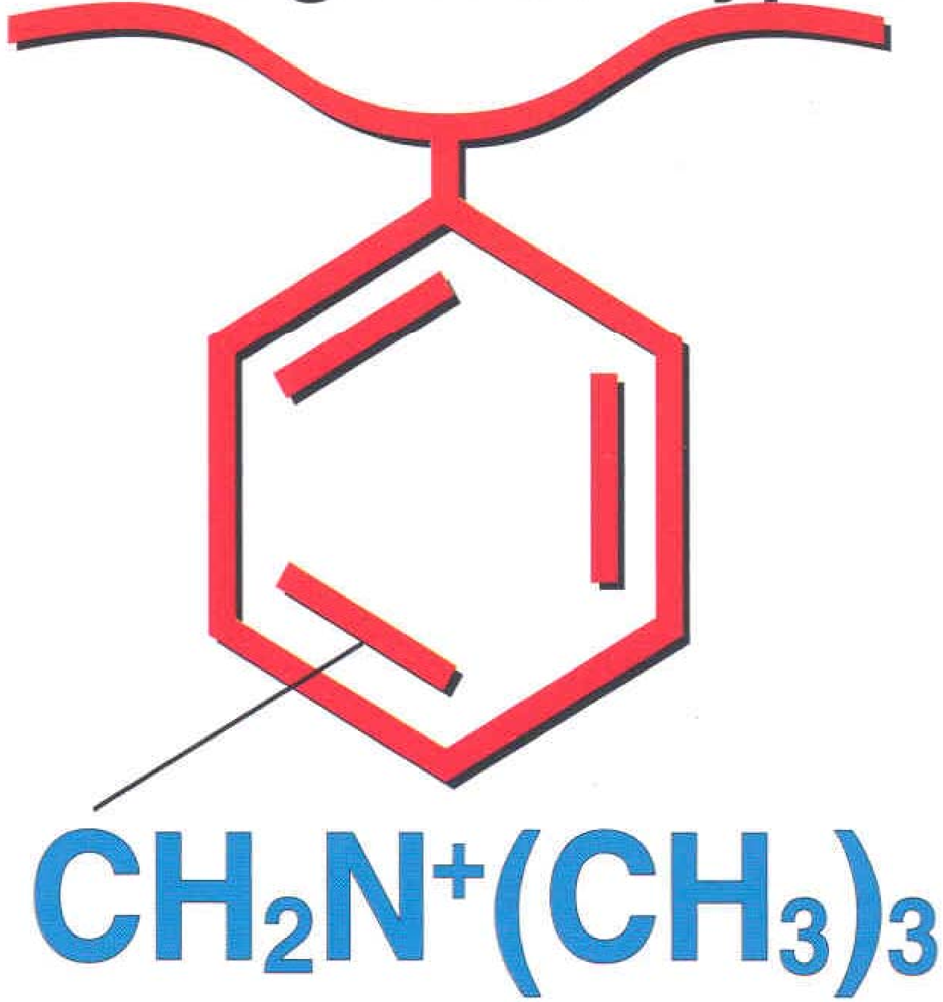
ตัวที่จะไปทำหน้าที่แลกเปลี่ยนอิออน

ถ้านำเรซินชนิด **strong base** ใส่ลงในสารละลายเกลือแกงและกรดเกลือจะเกิดปฏิกิริยาดังนี้

$$R-NOH \quad + \quad NaCl \rightleftharpoons R-NCl \quad + \quad NaOH$$

$$R-NOH \quad + \quad HCl \rightleftharpoons R-NCl \quad + \quad H_2O$$

Strongly basic anion exchange resin type I*



Strongly Basic Anion Exchanger

Reactions with acids:

$$
\begin{array}{ccccccc}
 & & H_2SO_4 & & (RN)_2SO_4 & & \\
 & & 2\ HCl & & 2\ RNCl & & \\
2\ RNOH & + & 2\ HNO_3 & \rightarrow & 2\ RNHCO_3 & + & 2\ H_2O \\
 & & 2\ H_2CO_3 & & 2\ RNNO_3 & & \\
 & & 2\ H_2SiO_3 & & 2RNHSiO_3 & & \\
\text{Anion} & & \text{Acids} & & \text{Anion} & & \\
\text{exchanger} & & \text{with anion} & & \text{exhanger} & & \\
\text{(insoluble)} & & \text{(soluble)} & & \text{(insoluble)} & &
\end{array}
$$

Regeneration:

$$
\begin{array}{ccccccc}
2RNSO_4 & & & & & & Na_2SO_4 \\
2\ RNCl & & & & & & 2\ NaCl \\
2\ RNNO_3 & + & 2\ NaOH & \rightarrow & 2\ RNOH & + & 2\ NaNO_3 \\
2\ RNHCO_3 & & & & & & 2\ NaHCO_3 \\
2\ RNNSiO_3 & & & & & & 2\ NaHSiO_3 \\
\text{Anion} & & \text{Regeneration} & & \text{Anion} & & \text{Waste or} \\
\text{exchanger} & & \text{solution} & & \text{exchanger} & & \text{brine} \\
\text{with anions} & & \text{(soluble)} & & \text{(insoluble)} & & \text{(soluble)} \\
\text{(insoluble)} & & & & & &
\end{array}
$$

ข้อดี - ข้อเสียของเรซินแบบด่างแก่ (Strong Base Anion Resin)

ข้อดี

1. สามารถใช้ได้ดีกับน้ำที่ **pH** ทุกระดับ
2. สามารถแลกเปลี่ยนประจุลบได้ทั้งหมด
3. สามารถแลกเปลี่ยนซิลิกาและ CO_2 ได้

ข้อเสีย

1. ประสิทธิภาพในการ **regenerate** ต่ำเพียง 18 – 33**%** ทำให้สิ้นเปลืองสารรีเจเนอแรนท์มาก
2. มีความคงทนต่ำทำให้มีอายุการใช้งานสั้น อาจมีอายุการใช้งานไม่เกิน 3 ปี

เรซินชนิดประจุลบ-ด่างอ่อน (Weak Base Anion Resin)

เรซินชนิดนี้จะแตกตัวและจับอิออนได้ในสารละลายที่เป็นกรด เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถัน และเกลือของกรดอ่อน เรซินชนิดนี้กำจัดได้เฉพาะกรดแก่ เช่น **HCl, H_2SO_4, HNO_3** ออกจากน้ำ และไม่สามารถกำจัดกรดอ่อน เช่น **CO_2, SiO_2** และไม่สามารถจับคลอไรด์ใน **NaCl** ได้การกำจัดกรดแก่เกิดขึ้นโดยที่กรดแก่ทั้งโมเลกุลเข้าจับกับเรซิน

มี **Functional Group** เป็น **Primary Amine** จนถึง**Tertiary Amine R– NH_2** ติดอยู่กับโครงสร้างของเรซิน ซึ่งจะแตกตัวดังนี้

$$R\text{-}NH_2 \quad + \quad H_2O \longrightarrow RNH_3^- \quad + \quad OH^-$$

$$R + HCl \longrightarrow RHCl$$

$$R\text{-}NH_2 + H_2O \longrightarrow RNH_3OH$$

$$R\text{-}NH_3OH + HCl \longrightarrow RNH_3Cl + H_2O$$

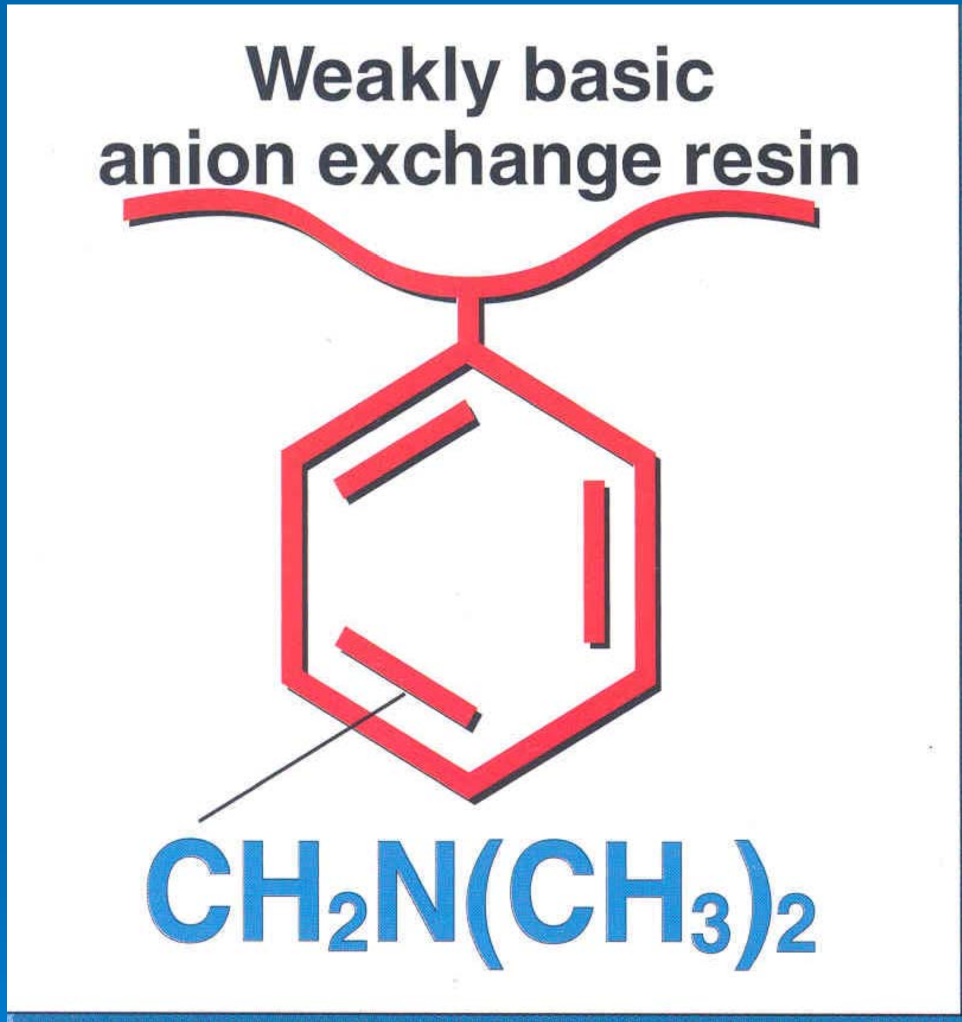
$$R\text{-}NH_3OH + NH_4Cl \longrightarrow RNH_3Cl + NH_4OH$$

การล้างเรซินชนิดนี้ทำได้ง่ายอาจเป็น **NaOH** หรือ **Na_2CO_3** หรือ **NH_4OH** ทั้งนี้เรซินจับกับกรดไม่หนาแน่น

$$RHCl + NaOH \longrightarrow R + NaCl + H_2O$$

แม้ว่าจะล้างออกได้ง่ายแต่ก็ทำปฏิกิริยากับน้ำปล่อยอิออนที่จับไว้ได้เช่นกัน

$$RNH_3Cl + H_2O \longrightarrow R\text{-}NH_3OH + HCl$$


Weakly basic
anion exchange resin
$CH_2N(CH_3)_2$

Weakly Basic Anion Exchanger

Reactions with acids:

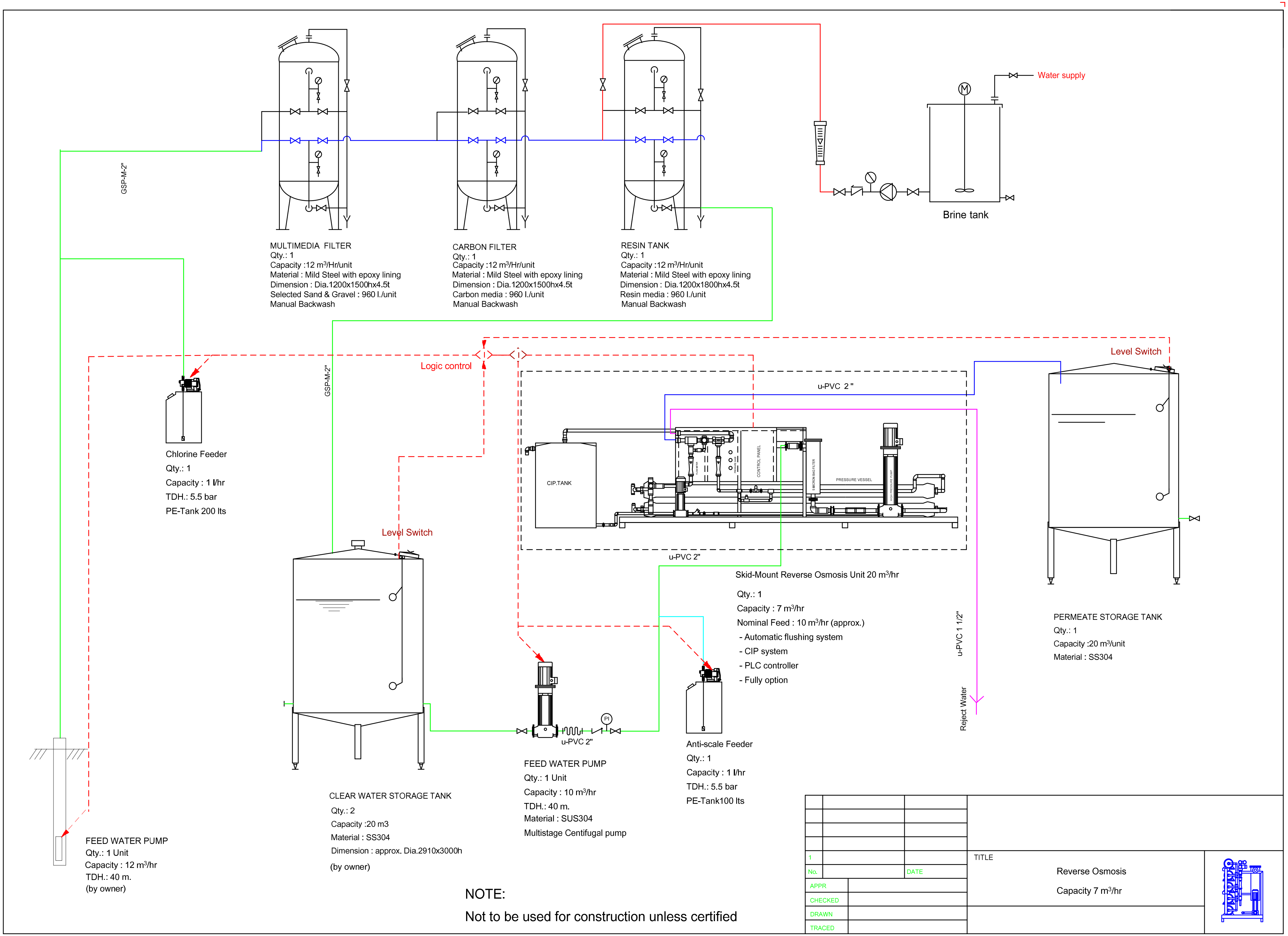
$$2\,RNH_3OH + \begin{array}{c} H_2SO_4 \\ 2\,HCl \\ 2\,HNO_3 \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} (RNH_3)_2SO_4 \\ 2\,RNH_3Cl \\ 2\,RNH_3NO_3 \end{array} + 2\,H_2O$$

Anion exchanger (insoluble)	Acid (soluble)	Anion exchanger (insoluble)

Regeneration:

$$\begin{array}{c} (RNH_3)_2SO_4 \\ 2\,RNH_3Cl \\ 2\,RNH_3NO_3 \end{array} + Na_2CO_3 \rightarrow 2RNH_3OH + \begin{array}{c} Na_2SO_4 \\ 2\,NaCl \\ 2\,NaCO_3 \end{array} + CO_2 + H_2O$$

Anion exchanger with acid (insoluble)	Regeneration solution (soluble)	Anion exchanger (insoluble)	Waste or brine (soluble)



Water supply
Brine tank
GSP-M-2"
MULTIMEDIA FILTER
Qty.: 1
Capacity :12 m³/Hr/unit
Material : Mild Steel with epoxy lining
Dimension : Dia.1200x1500hx4.5t
Selected Sand & Gravel : 960 l./unit
Manual Backwash
CARBON FILTER
Qty.: 1
Capacity :12 m³/Hr/unit
Material : Mild Steel with epoxy lining
Dimension : Dia.1200x1500hx4.5t
Carbon media : 960 l./unit
Manual Backwash
RESIN TANK
Qty.: 1
Capacity :12 m³/Hr/unit
Material : Mild Steel with epoxy lining
Dimension : Dia.1200x1800hx4.5t
Resin media : 960 l./unit
Manual Backwash
Level Switch
Logic control
u-PVC 2"
GSP-M-2"
Chlorine Feeder
Qty.: 1
Capacity : 1 l/hr
TDH.: 5.5 bar
PE-Tank 200 lts
CIP.TANK
CONTROL PANEL
PRESSURE VESSEL
Level Switch
u-PVC 2"
Skid-Mount Reverse Osmosis Unit 20 m³/hr
Qty.: 1
Capacity : 7 m³/hr
Nominal Feed : 10 m³/hr (approx.)
- Automatic flushing system
- CIP system
- PLC controller
- Fully option
u-PVC 1 1/2"
Reject Water
PERMEATE STORAGE TANK
Qty.: 1
Capacity :20 m³/unit
Material : SS304
PI
u-PVC 2"
FEED WATER PUMP
Qty.: 1 Unit
Capacity : 10 m³/hr
TDH.: 40 m.
Material : SUS304
Multistage Centifugal pump
Anti-scale Feeder
Qty.: 1
Capacity : 1 l/hr
TDH.: 5.5 bar
PE-Tank100 lts
CLEAR WATER STORAGE TANK
Qty.: 2
Capacity :20 m3
Material : SS304
Dimension : approx. Dia.2910x3000h
(by owner)
FEED WATER PUMP
Qty.: 1 Unit
Capacity : 12 m³/hr
TDH.: 40 m.
(by owner)
NOTE:
Not to be used for construction unless certified
1
No.
DATE
APPR
CHECKED
DRAWN
TRACED
TITLE
Reverse Osmosis
Capacity 7 m³/hr

ความสามารถในการจับอิออนของเรซิน

กำลังความสามารถในการจับอิออนของเรซิน คือ **Exchange Capacity** หมายถึง ปริมาณไอออนที่เรซินแลกมาจากน้ำ (มักมีหน่วยสมมูล หรือวัดในหน่วยกิโลเกรนของหินปูน) ต่อหน่วยปริมาตรของเรซิน หน่วยแสดงขีดความสามารถของเรซิน จึงอาจเป็นได้หลายแบบดังนี้

1. หน่วยสมมูลต่อปริมาตรของเรซิน เช่น **meq/ml , eq/l**
2. หน่วยสมมูลต่อน้ำหนักของเรซิน เช่น **meq/g**
3. หน่วยน้ำหนัก (ในเทอมหินปูนต่อปริมาตรของเรซิน เช่น กิโลเกรนต่อลิตร หรือ กิโลเกรนต่อ ลบ.ฟุต)

ประเภทของเรซิน	Exchange Capacity (eq/l)		Regenerant
	Total (Max)	Working	Ratio
กรดอ่อน	3.2	0.9–1.8	1.05–1.10
ด่างอ่อน	2.5	0.7–0.9	1.3 –1.4
กรดแก่	2	0.6–0.9	1.8 –3.0
ด่างแก่ ประเภท 1	1.3	0.4–0.6	1.8 –3.0
ประเภท 2	1.4	0.5–0.7	1.6 –2.5

การออกแบบถัง Mixed Bed

หลักการที่ใช้ออกแบบถัง **Mixed Bed** จะกำหนดสัดส่วนปริมาตรเรซินประจุบวกต่อประจุลบดังนี้

เรซินประจุบวก : เรซินประจุลบ

4 : 6

- เรซินประจุบวกที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ เรซินประจุบวกแบบกรดแก่ **(Strong Acid Cation)**

- เรซินประจุลบที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ เรซินประจุลบแบบด่างแก่ **(Strong Base Anion)**

วัฏจักรการทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน

ระบบแลกเปลี่ยนไอออนอาจทำงานแบบ ทีละเท (**Batch**) หรือแบบต่อเนื่อง วัฏจักรการทำงานของเรซินมี 4 ขั้นตอน ต่อเนื่องกันดังนี้

1. การแลกเปลี่ยนไอออน **(service)**
2. การล้างย้อน **(Backwash)**
3. การรีเจนเนอเรชัน **(Regeneration)**
4. การชะล้าง **(Rinse)**

การเลือกประเภทของเรซิน

วัตถุประสงค์	ประเภทของเรซิน	ชนิดของรีเจนเนอแรนต์
1.กำจัดความกระด้าง (Hardness Removal)	เรซินแบบกรดแก่ (Strong Acid Rasin)	เกลือแกง (NaCl)
2.กำจัดด่าง (Bicarbonate Removal)	เรซินแบบกรดอ่อน (Weak Acid Rasin)	กรดเกลือ (HCl) กรดกำมะถัน (H_2SO_4)
3.น้ำบริสุทธิ์ (Deionization Water)	เรซินแบบกรดแก่หรืออ่อน และ เรซินแบบด่างแก่หรืออ่อน(ใช้ 2 ถังแยกกันหรือผสมกันในถังเดียวก็ได้)	กรดเกลือหรือกรดกำมะถัน และโซดาไฟหรือแอมโมเนีย

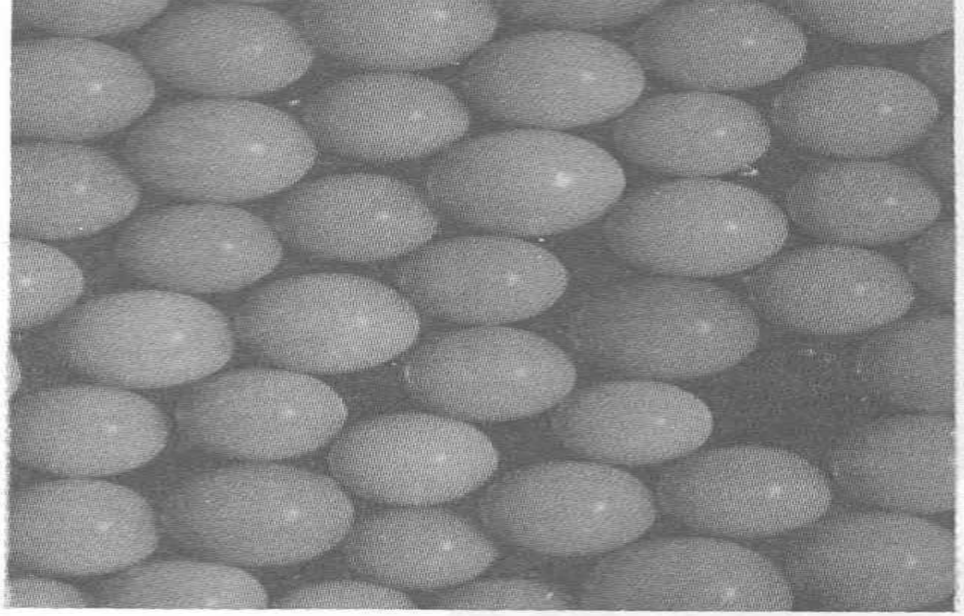
ปัญหาในการใช้งานเรซิน

1. การแลกเปลี่ยนไอออนลดลง **(Short Capacity)**

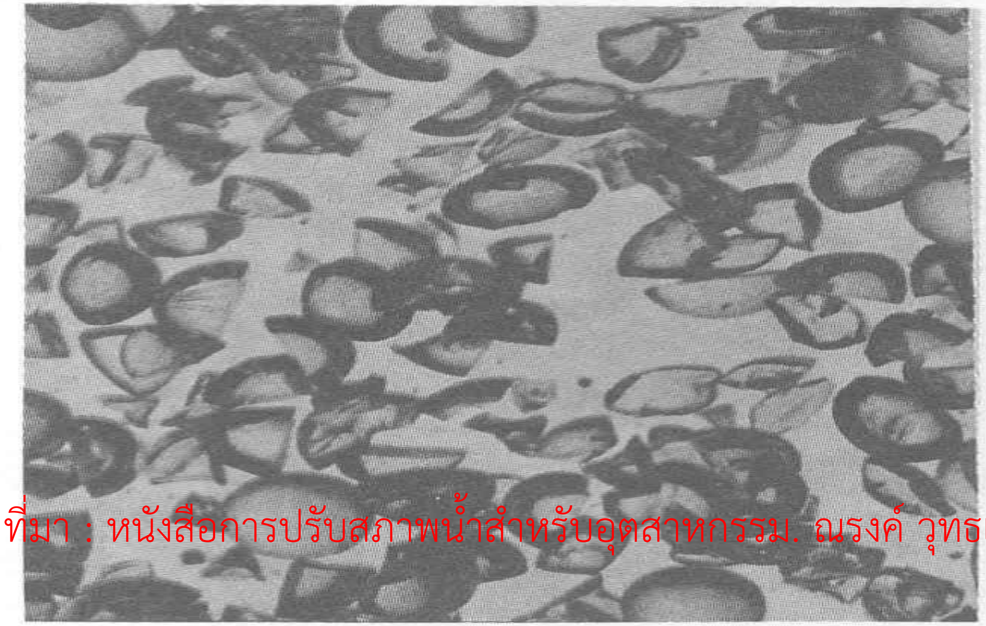
2. น้ำที่ผลิตได้มีคุณภาพเปลี่ยนแปลงมาก

3. มีการสูญเสียแรงดัน **(Head loss)** มาก และ/หรือ อัตราการไหลของน้ำที่ผลิตลดลง

หาสาเหตุของปัญหาดังกล่าว **!**



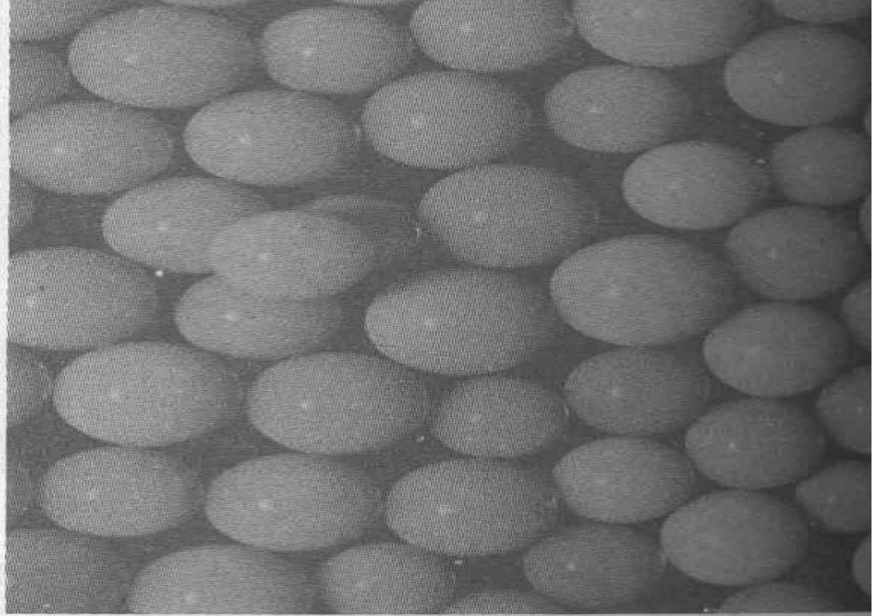
ก่อนใช้งาน



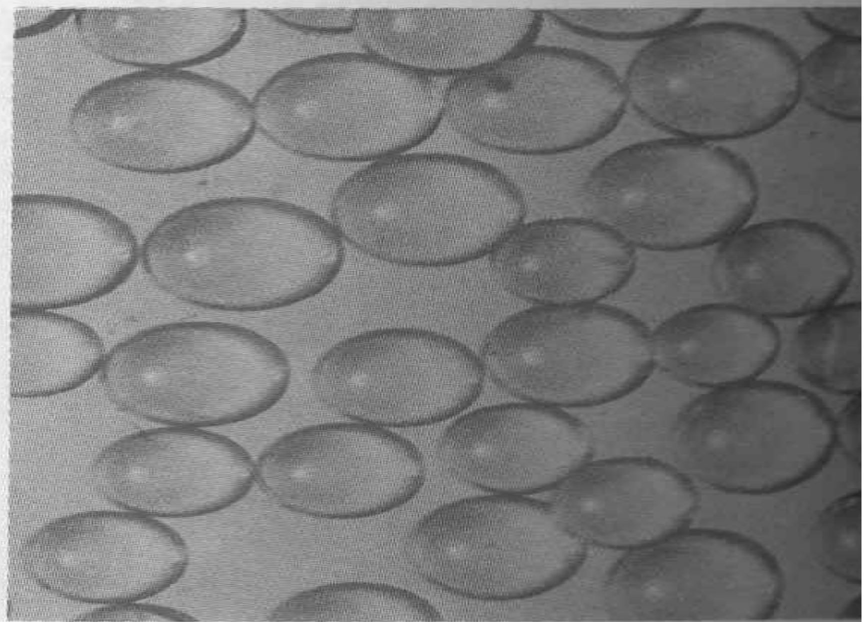
ที่มา : หนังสือการปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. ณรงค์ วุทธเสถียร. 2540

หลังใช้งาน

ความคงทนต่อการใช้งานของเม็ดเรซินชนิดเจล

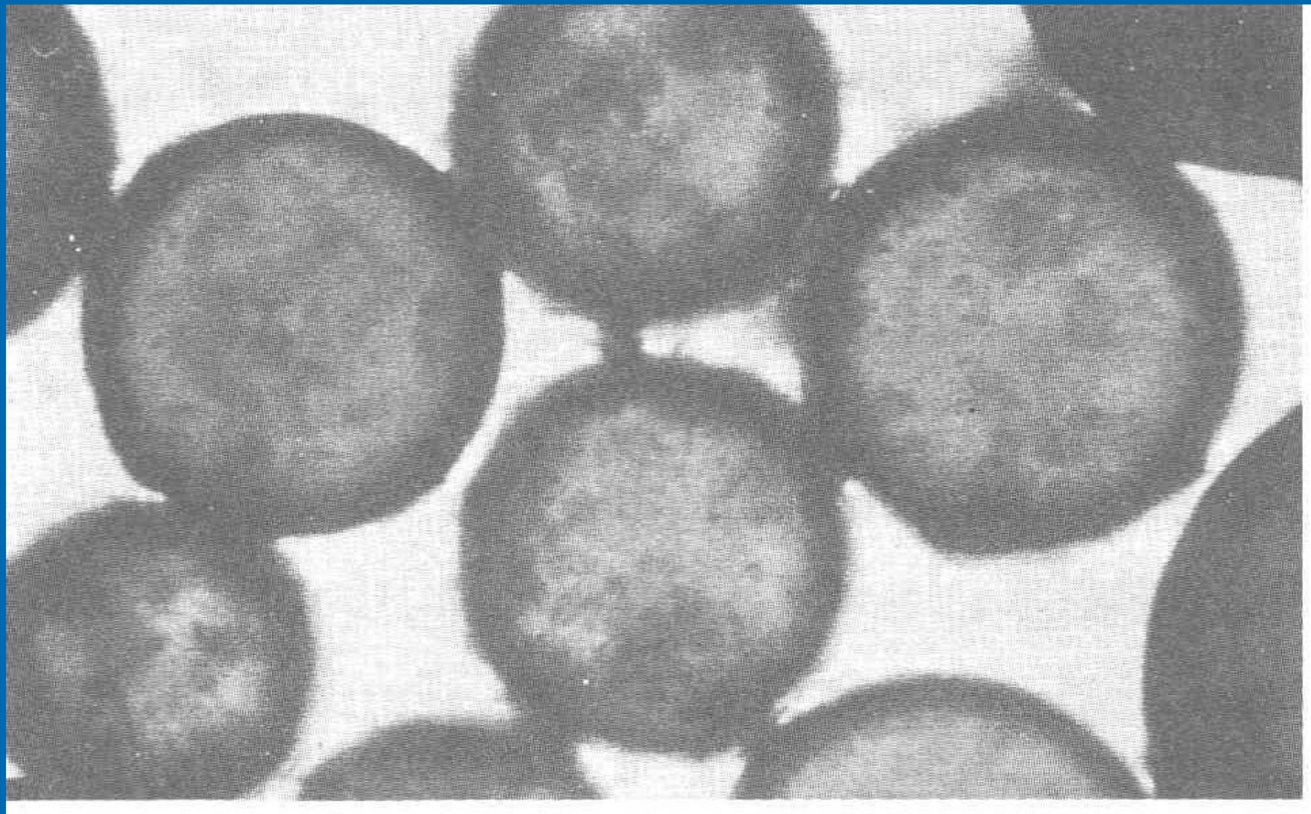


ก่อนใช้งาน



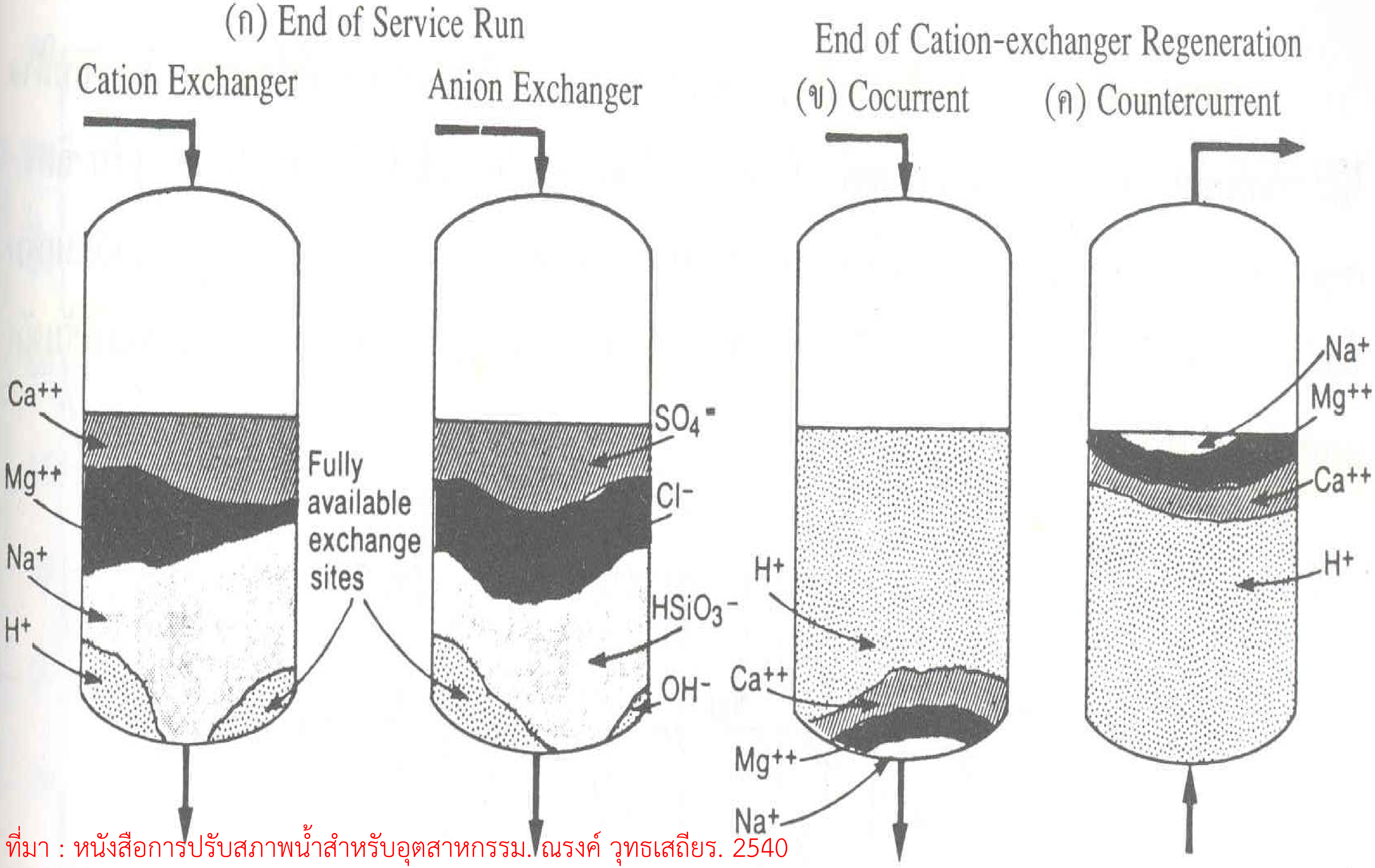
หลังใช้งาน

ความคงทนต่อการใช้งานของเม็ดเรซินชนิด Macrorecticular



ภาพขยายเม็ดเรซินจับอิออนของเหล็กไว้จนเต็ม

ที่มา : หนังสือการปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. ณรงค์ วุฑธเสถียร. 2540

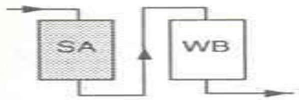
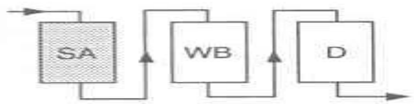
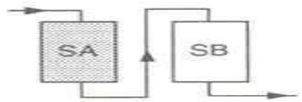
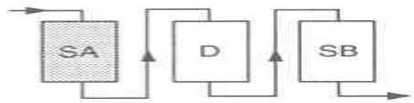
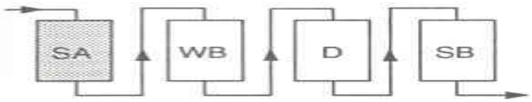
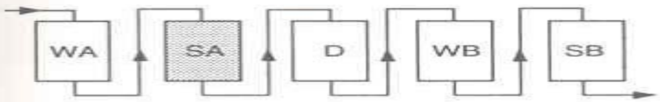
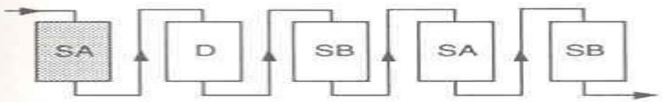
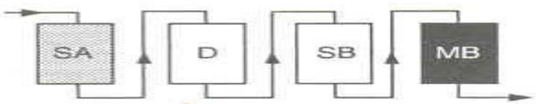


ที่มา : หนังสือการปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. ณรงค์ วุฑธเสถียร. 2540

ลักษณะของชั้นเรซินในถังเมื่อจับอิออนจนเต็มหมด

ลักษณะของชั้นเรซินในถังหลังจากล้างเรซินแบบไหลตามกันและไหลสวนทาง

ตารางที่ 7.3 แสดงลักษณะการใช้งาน คุณภาพน้ำที่ได้ และข้อได้เปรียบเสียเปรียบของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์แบบต่าง ๆ

ระบบ	การใช้งาน	คุณภาพน้ำ	ข้อได้เปรียบเสียเปรียบ
	ไม่มีปัญหาถ้ามีซิลิกาและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ	ความนำไฟฟ้าจำเพาะ 10-30 ไมโครโมซิลิกา ไม่เปลี่ยนแปลงมีเท่ากับในน้ำดิบ	ค่าลงทุนในอุปกรณ์ต่ำ ค่าใช้จ่ายในการล้างเรซินต่ำ
	ไม่มีปัญหาถ้ามีซิลิกาในน้ำ แต่ต้องการขจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	ความนำไฟฟ้าจำเพาะ 10-20 ไมโครโม ปริมาณซิลิกาไม่เปลี่ยนแปลงมีเท่าเดิม	ค่าใช้จ่ายในการล้างเรซินต่ำ แต่ต้องใช้ปั๊มเพิ่มเพื่อปั๊มเข้าหอไล่ก๊าซ
	ถ้าน้ำดิบมีความเป็นด่างต่ำ ต้องการขจัดซิลิกา	ความนำไฟฟ้าจำเพาะ 5-15 ไมโครมโม ซิลิกา 0.02-0.10 พีพีเอ็ม	ค่าลงทุนในอุปกรณ์ต่ำ ไม่ต้องติดปั๊มเพิ่ม เสียค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีล้างเรซินสูง
	น้ำดิบมีความเป็นด่างสูง ต้องการขจัดซิลิกา	ความนำไฟฟ้าจำเพาะ 5-15 ไมโครโม ซิลิกา 0.02-0.10 พีพีเอ็ม	ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีต่ำ ต้องติดปั๊มเพิ่ม
	น้ำดิบมีความเป็นด่าง ซัลเฟต และคลอไรด์สูง ต้องการขจัดซิลิกา	ความนำไฟฟ้าจำเพาะ 5-15 ไมโครโม ซิลิกา 0.02-0.10 พีพีเอ็ม	ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีต่ำ ค่าลงทุนในอุปกรณ์สูง ต้องติดปั๊มเพิ่ม
	น้ำดิบมีความกระด้าง ความเป็นด่าง ซัลเฟต และคลอไรด์สูง ต้องการขจัดซิลิกา	ความนำไฟฟ้าจำเพาะ 5-15 ไมโครโม ซิลิกา 0.02-0.10 พีพีเอ็ม	ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีต่ำ ค่าลงทุนในอุปกรณ์สูง ต้องติดปั๊มเพิ่ม
	น้ำดิบมีความเป็นด่างและโซเดียมสูง ต้องการคุณภาพน้ำที่บริสุทธิ์มาก	ความนำไฟฟ้าจำเพาะ 1-5 ไมโครโม ซิลิกา 0.01-0.05 พีพีเอ็ม	ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีต่ำ ค่าลงทุนในอุปกรณ์สูง ต้องติดปั๊มเพิ่ม
	น้ำดิบมีสารละลายน้ำต่ำต้องการคุณภาพน้ำที่บริสุทธิ์มาก	ความนำไฟฟ้าจำเพาะมีค่าน้อยกว่า 1 ไมโครโม ซิลิกา 0.01-0.05 พีพีเอ็ม	ค่าลงทุนในอุปกรณ์ต่ำ ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีสูง
	น้ำดิบมีความเป็นด่างและสารละลายน้ำสูง ต้องการคุณภาพน้ำที่บริสุทธิ์มาก	ความนำไฟฟ้าจำเพาะมีค่าน้อยกว่า 1 ไมโครโม ซิลิกา 0.01-0.05 พีพีเอ็ม	ค่าลงทุนในอุปกรณ์สูง ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีต่ำ ต้องติดปั๊มเพิ่ม

KEY

- SA — STRONGLY ACIDIC HYDROGEN CATION
- WA — WEAKLY ACIDIC HYDROGEN CATION
- WB — WEAK BASE ANION
- SB — STRONG BASE ANION
- D — DECARCONATOR OR VACUUM DEAERATOR
- MB — MIXED BED

ที่มา : หนังสือการปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. ณรงค์ วุทธเสถียร. 2540

การคำนวณปริมาตรเรซิน

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. Equivalent $= \dfrac{\text{g}}{\text{Eq - Wt}}$ (gm-eq)

2. Equivalent - Weight (น้ำหนักสมมูลย์) $= \dfrac{\text{Moleculae Weight (M.W.)}}{\text{Valency บวก หรือ ลบ}}$

3. Equivalent - Weight (น้ำหนักสมมูลย์) $= \dfrac{\text{Moleculae Weight (M.W.)}}{\text{ค.ร.น.Valency}}$

การเปลี่ยนหน่วยเพื่อคำนวณความกระด้าง

$$\text{Hardness in mg/l as } CaCO_3 = \frac{M^{++} \text{ in mg/l} \times 50}{\text{Equivalent – Weight of } M^{++}}$$

ตัวอย่างการคำนวณหา Valency

1. ค.ร.น. Valency ของ $CaCO_3$ = Ca^{2+} ,CO_3^{2-}

= 2

2. ค.ร.น. Valency ของ $Al_2(SO_4)_3$ = $2Al^{3+}$,$3SO_4^{2-}$

= 6

3. Equivalent – Weight ของ Na^+

$$= \frac{\text{Moleculae Weight (M.W.)}}{\text{Valency บวก หรือ ลบ}}$$

$$= \frac{23}{1}$$

$$= 23$$

ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณหาปริมาตรเรซิน

ผลวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำดังนี้

Na^{+} =	20 mg/l	Cl^{-} =	40 mg/l
Ca^{2+} =	15 mg/l	SO_4^{2-} =	30 mg/l
Sr^{2+} =	2 mg/l		
Mg^{2+} =	10 mg/l		

จงคำนวณหาความกระด้างและปริมาตรเรซินที่ใชในการกำจัด

ความกระด้างทั้งหมด?

วิธีทำ

อิออนบวกที่มีวาเลนซี 2 เท่านั้นที่ทำให้เกิดความกระด้าง ในที่นี้

คือ Ca^{2+}, Mg^{2+}, Sr^{2+}

1. Cation	Equivalent weight	Hardness mg/l as $CaCO_3$
Ca^{2+}	20	$15 \times \frac{50}{20} = 37.5$
Sr^{2+}	43.8	$2 \times \frac{50}{43.8} = 2.3$
Mg^{2+}	12.2	$10 \times \frac{50}{12.2} = 41.0$

เพราะฉะนั้น Total Hardness = 80.8 mg/l as $CaCO_3$

2.

$$\text{Equavalent} = \frac{g}{\text{Eq - Wt}}$$

$$\text{Equivalent - Weight} = \frac{\text{Moleculae Weight (M.W.)}}{\text{Valency บวก หรือ ลบ}}$$

$CaCO_3$ มี Moleculae Weight = 40.078 + 12.011 + (15.9994x3)

= 100

$CaCO_3$ มี Valency = 2

เพราะฉะนั้น Equivalent - Weight $= \frac{100}{2} = 50$

จากที่คำนวณ

เพราะฉะนั้น Equavalent $= \frac{80.8 \times 10^{-3}}{50}$

$= 1.616 \times 10^{-3}$ eq / l

การคำนวณหาปริมาตรเรซินให้ได้อย่างถูกต้อง ต้องมีการคำนวณปริมาตรเรซินเผื่อไว้สำหรับเตรียมสารละลายเกลือแกงและใช้ในการ **Rinse** แต่เนื่องจากปริมาตรน้ำดังกล่าวน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่ผลิตได้ใน 1 วัน จึงอาจยกเว้นไม่นำมาคิด ทำให้คำนวณง่ายขึ้น

จาก **Specification** ของเรซิน มีค่า **Total exchange capacity = 1.75 eq/l**

เพราะฉะนั้น **exchange capacity 1.75 eq** มาจากเรซิน **= 1 liter**

ถ้าต้องการกำจัดความกระด้าง **1.616×10^{-3} eq** จะต้องใช้มาจากเรซิน

$$= \frac{1.616 \times 10^{-3} \times 1}{1.75} \text{ liter}$$

$$= 9.23 \times 10^{-4} \text{ liter}$$

เพราะฉะนั้นถ้าต้องการผลิตน้ำ 1 ลิตร โดยให้สามารถกำจัดความกระด้างออกให้หมด ต้องใช้เรซินเท่ากับ **9.23×10^{-4}** ลิตร

- สมมติ อัตราการผลิตน้ำที่ต้องการ 4 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง (**operate** ระบบ 10 ชั่วโมง/วัน)

- ต้องการ **regenerate** เรซิน 15 วัน/ครั้ง

เวลา 1 ชั่วโมง ผลิตน้ำได้ = **4** ลูกบาศก์เมตร

ถ้า **operate** ระบบผลิต 10 **x 15** ชั่วโมง จะผลิตน้ำได้ = **4 x**10 **x 15**

เพราะฉะนั้นจะผลิตน้ำได้ = **600** ลูกบาศก์เมตร

จากการผลิตน้ำ 1 ลิตร ต้องใช้เรซิน = 9.23×10^{-4} ลิตร

ถ้าต้องการผลิตน้ำให้ได้ **600x1000** ลิตรจะต้องใช้เรซิน

$= 9.23 \times 10^{-4} \times 600 \times 1000$ ลิตร

$= 553.8$ ลิตร

แต่ประสิทธิภาพของเรซินมีประมาณ 50 ถึง 70% เท่านั้น ดังนั้นปริมตรเรซินที่ใช้จริง

$$= \frac{553.8}{0.6} = 922.67$$

ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณหาปริมาตรเรซิน

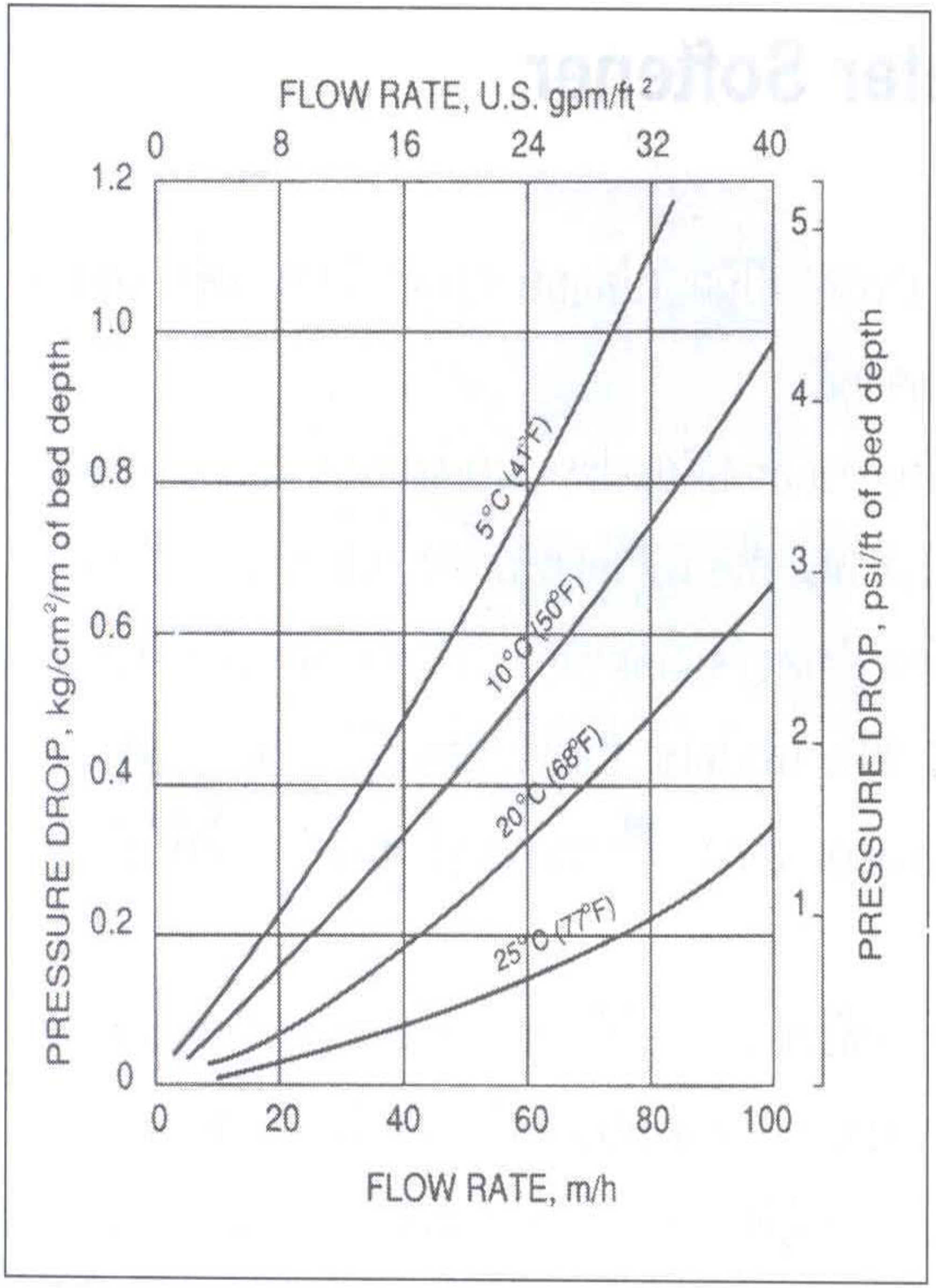
ผลวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำดังนี้

Total Hardness	=	**200 mg/l as $CaCO_3$**
TDS	=	**500 mg/l**
Flow Rate	=	**500 m^3/hr**
Cycle การทำงาน	=	**16 hr**
อุณหภูมิของน้ำ	=	**20^o C**

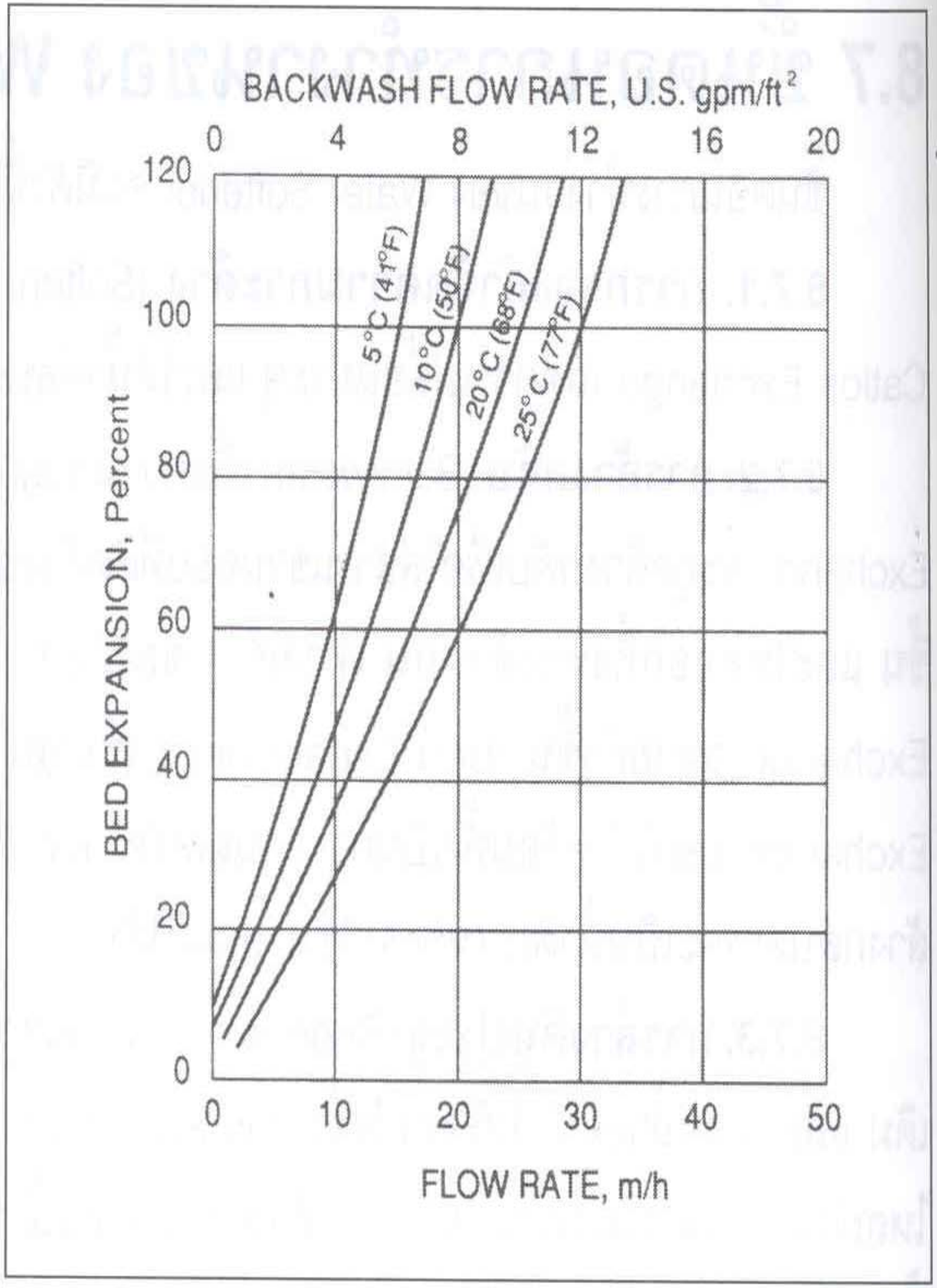
ต้องการน้ำอ่อนที่มีความกระด้างทั้งหมดไม่เกิน 2 มก/ล. **as $CaCO_3$**

วิธีทำ

1. ต้องการความกระด้างในน้ำอ่อนไม่เกิน **7.5** มก/ล. **as $CaCO_3$** จากกราฟรูปที่ 8.7 เลือก

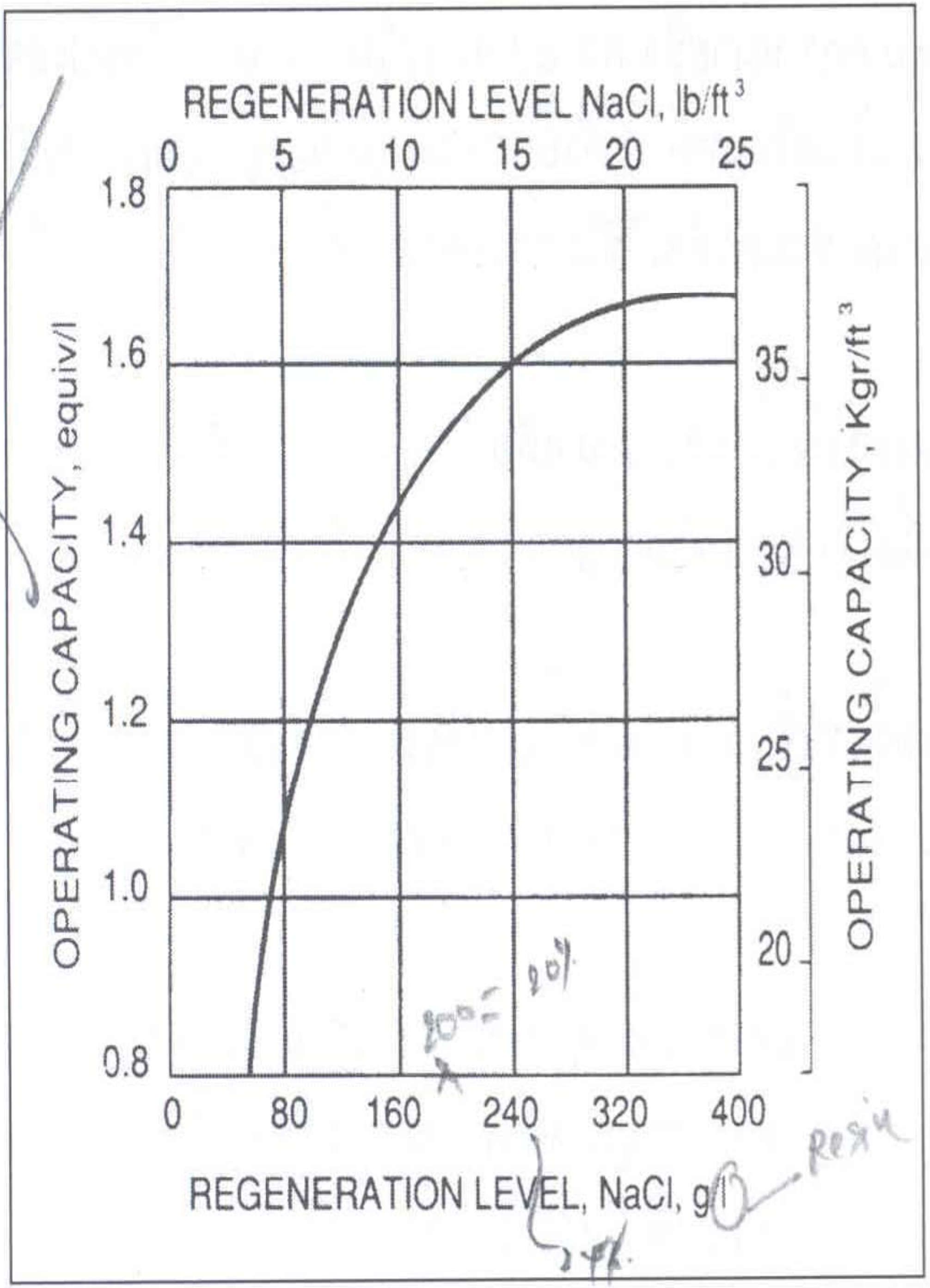


รูปที่ 8.3 Pressure drop VS Flow rate

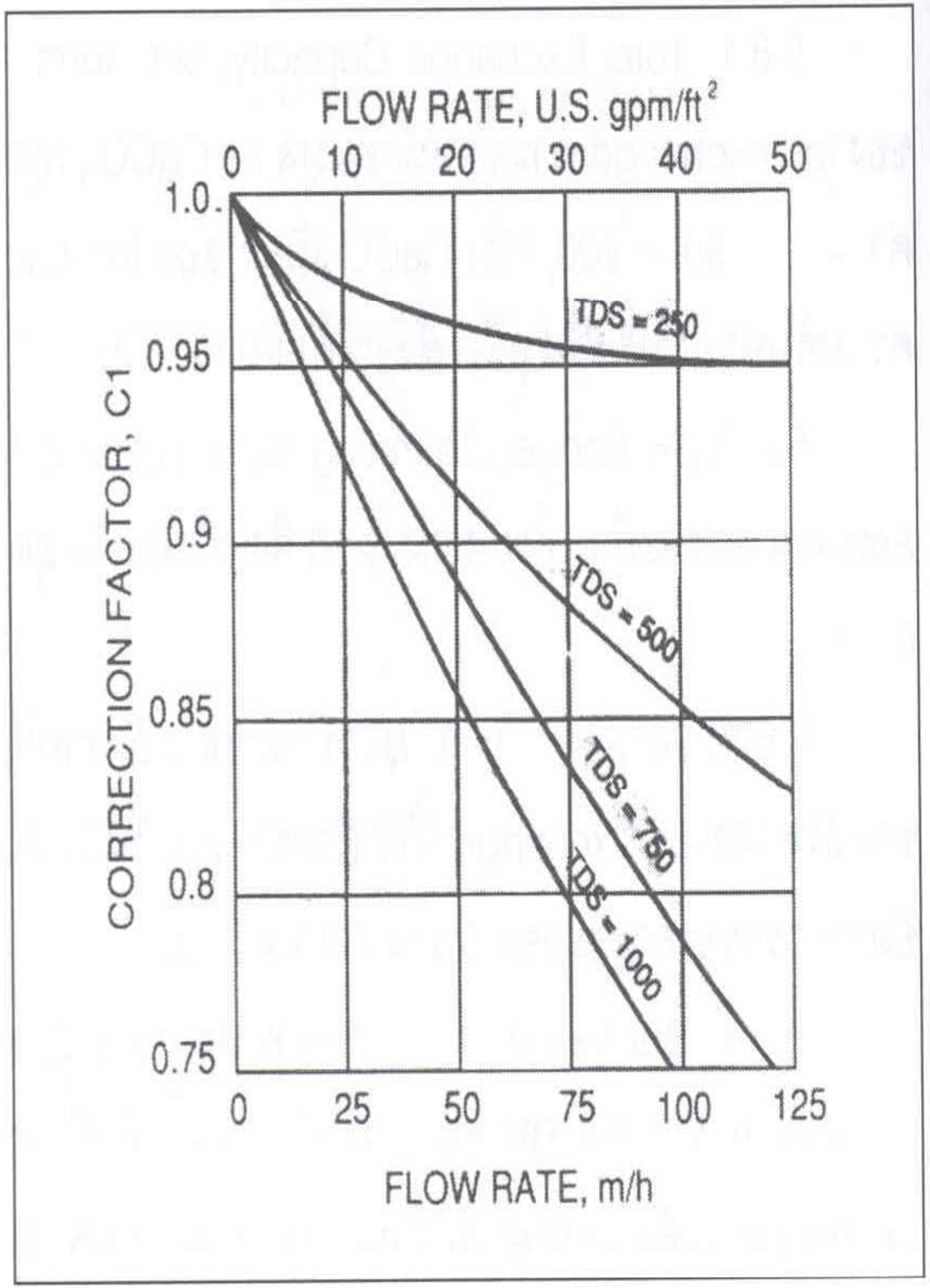


รูปที่ 8.4 Backwash expansion

ที่มา : หนังสือการผลิตน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. ไพศาล วีรกิจ. 2545

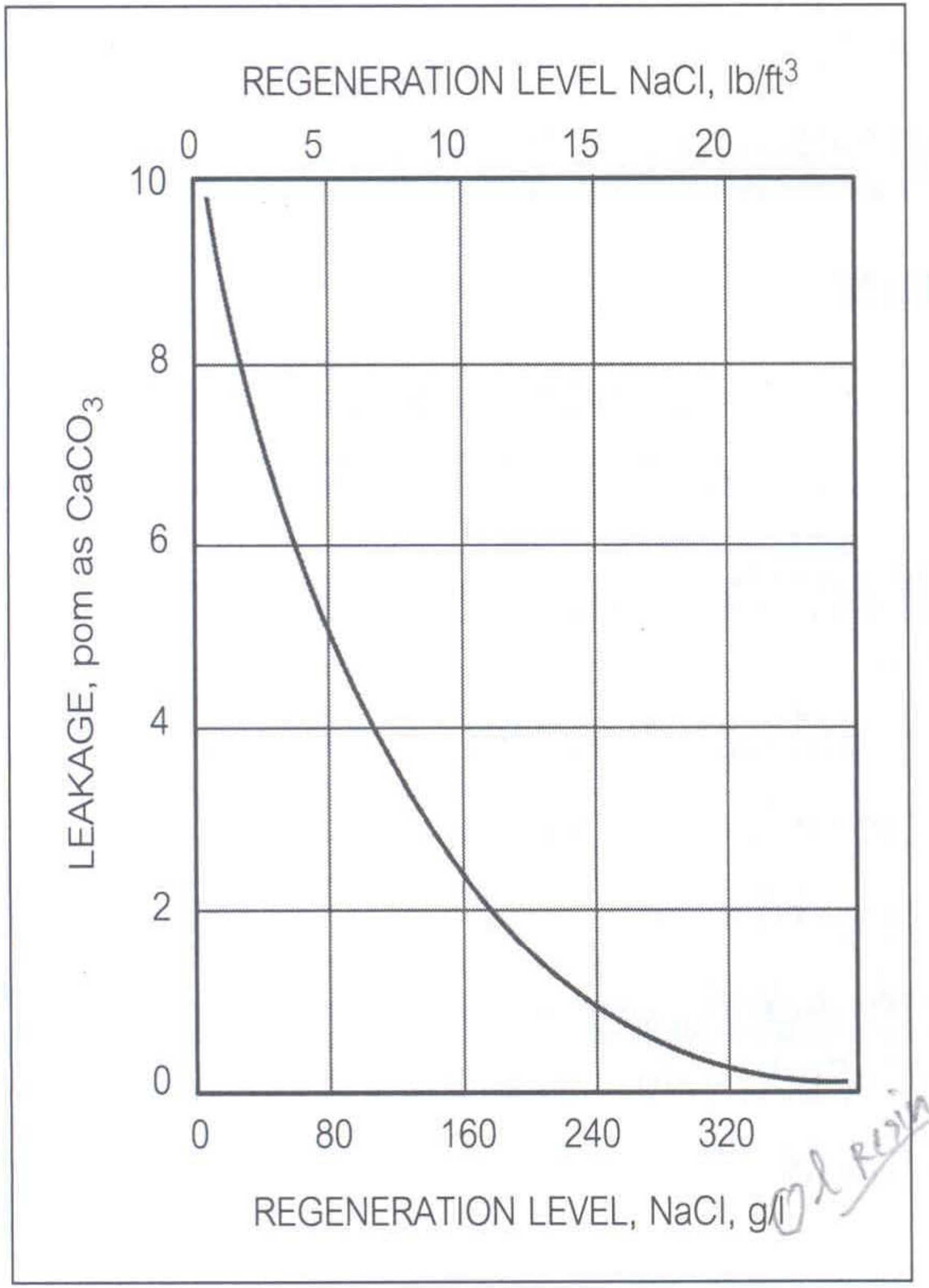


รูปที่ 8.5 Operating Capacity

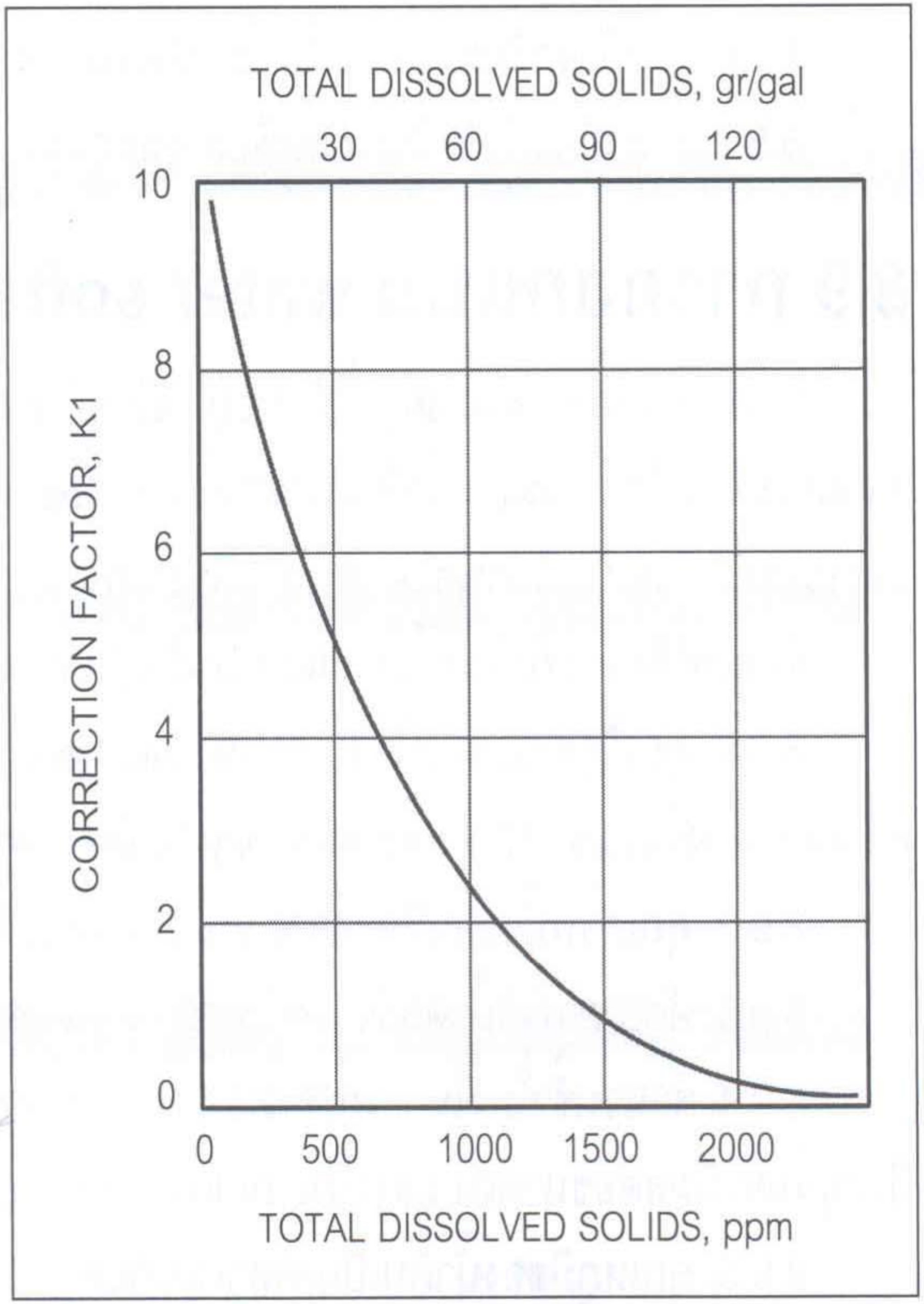


รูปที่ 8.6 Effect of Flow Rate VS TDS on Operating Capacity

ที่มา : หนังสือการผลิตน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. ไพศาล วีรกิจ. 2545



รูปที่ 8.7 Hardness Leakage



รูปที่ 8.8 Correction For TDS

ที่มา : หนังสือการผลิตน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. ไพศาล วีรกิจ. 2545

ตัวอย่างข้อมูลด้านเทคนิคของ Purolite C-100

Characteristics			
Polymer matrix structure	Polystyrene crosslinked	Moisture retention, Na^+ form	44-48 %
Physical form and appearance	Clear spherical bead	Swelling, $Na^+ \rightarrow H^+$	5 % max
Funtional groups	Polystyrene sulfonate	Specific gravity, moist Na^+ form	1.29
Ionic form, as shipped	Na^+	Total exchange capacity, Na^+ form	2.0 eq/l
Shipping weight, approx	850 g/l	Operating temperature, Na^+ form	150 °C max
Screen size range	16-50 mesh, wet	pH range, Stability	0-14
Particle size range	+1.2 mm < 5 %	pH range, Operating, Na^+ cycle	6-10
	-0.3 mm < 1 %	Moisture retention, Na^+ form	44-48 %

Standard operating conditions

Operation	Rate	Solution	Mintes	Amount
Service	8-40 BV/h	influent water	-	-
Backeash	7-12 m/h	influent water 5-20 °C	5-20	1.5-4 BV
Regeration	2-7 BV/h	8-20 % NaCl	30-60	60-320 g/l
Rinse (slow)	2-7 BV/h	influent water	30	2-4 BV
Rinser (fast)	8-40 BV/h	influent water	30	3-10 BV
Backeash expansion : 50-75 %				
BV = Bed volume				

Graphs for technical information

(ดูรูปที่ 8.3 ถึง 8.8)

หมายเหตุ ข้อมูลจากผู้ผลิตแต่ละรายจะแตกต่างกันแต่หลักการจะคล้ายคลึงกัน

ที่มา : หนังสือการผลิตน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. ไพศาล วีรกิจ. 2545

NaCl Regeneration level = **200 กรัม/ลิตร Resin**

Hardness Leakage = **1.5 mg/l as $CaCO_3$**

2. TDS = 500 mg/l จากกราฟรูปที่ 8.8

Correction Factor = **5.0**

ดังนั้นความกระด้างในน้ำอ่อน = **1.5 x 5.0 = 7.5 mg/l as $CaCO_3$ O.K.**

3. เปลี่ยนความกระด้าง 200 มก/ล. as $CaCO_3$ ให้เป็นน้ำหนักสมมูลย์ meq/l

= **200/50 = 4 meq/l**

4. คำนวณหาปริมาณที่ต้องการผลิตต่อ 1 **Cycle**

= **20 x 16 x 1,000**

= **320,000 ลิตร**

5. คำนวณหาน้ำหนักสมมูลย์ของความกระด้างที่ต้องกำจัด

= **320,000 x 4.0**

= 1,280,000 meq

= 1,280 eq

6. คำนวณหาปริมาตรของ **resin** ที่ต้องใช้ จากกราฟรูปที่ 8.5 ที่ **regeneration level 200** กรัม/ลิตร **resin**

Operation capacity ของ **resin** = **1.55 equivalent /** ลิตร **resin**

ดังนั้นปริมาตรของ **resin** ที่ต้องการ = **1,280 / 1.55**

= **825** ลิตร (**0.825** ลบ.ม.)

7. คำนวณหาขนาดถัง **Softener**

กำหนดความลึกของชั้น **resin** = **0.6** เมตร

พื้นที่หน้าตัดของถัง = **0.825 / 0.6 = 1.375** ตารางเมตร

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของถัง

$$\frac{\pi D^2}{4} = 1.375$$

$$D = 1.32$$ เมตร

ความสูงของถัง (ด้านตรง) = 0.6 x 2 (safety factor)

= 1.2 เมตร (100 % Free Space)

8. ตรวจสอบอัตราภาระการไหล

$$= \frac{20 \text{ ลบ.ม./ชม.}}{1.375 \text{ ม}^2}$$

= 14.5 ม^3 / ม^2.ชม.

(design criteria $\leq$ 15 m^3/m^2.hr.)

ตรวจสอบอัตราการไหลผ่านชั้นเรซิน

$$= \frac{20 \text{ ลบ.ม./ชม.}}{0.825 \text{ ม}^3\text{(resin)}}$$

= 24.2 ม^3/ ชม.ม^3(rersin)

9. คำนวณหาปริมาตรเกลือที่ต้องใช้ต่อ 1 **cycle**

(200 กรัม/ลิตรเรซิน **x** 825 ลิตร **x** 1)/1000 = 165 กิโลกรัม 100 **% NaCl** ต่อ **Cycle**

10. คำนวณหาขนาดถังสารละลายเกลือ

กำหนดให้ใช้สารละลายได้ 5 วัน และสารละลายเข้มข้น 50 **%**

จำนวนเกลือที่ต้องใช้ (100 **%) (w/w)** = **165 x 5 = 825** กิโลกรัม

ปริมาตรสารละลาย 50 **% (w/v)** = **(825 x 100) / 50**

= **1,650** ลิตร (ประมาณ)

ดังนั้นขนาดถังสารละลายเกลือมีปริมาตร 1,650 ลิตร + **Free Board**

และต้องใช้น้ำ = **1,650 – 825 = 825** ลิตร

11. คำนวณหาอัตราการไหลของสารละลายเกลือในการล้างคืนประจุ

ปริมาณเกลือที่ต้องใช้ในการล้างต่อ 1 **Cycle**	=	**165**	กิโลกรัม
คิดเป็นปริมาณสารละลายเข้มข้น 50 **%**	=	**330**	ลิตร
กำหนดความเข้มข้นสารละลายเข้าถัง **Softener**	=	**10**	**%**
ปริมาณสารละลาย 10 **%** เข้าถัง **Softener**	=	$\frac{\mathbf{330x50}}{10}$	
	=	**1,650**	ลิตร
ต้องล้างให้หมดภายใน 30 นาที			
ดังนั้นอัตราการไหลของสารละลายเกลือ 10 **%**	=	$\frac{\mathbf{1,650}}{30}$	ลิตร/นาที
	=	**55**	ลิตร/นาที
	=	**3.3**	ลบ.ม/ชม.
ตรวจสอบ **BV/**ชม. = **3.3/0.825**	=	**4BV**/ชม.	**OK**

อัตราการไหลของสารละลายเกลือ 50 % $= \dfrac{330}{30}$ ลิตร/ชม.

= 11 ลิตร/ชม.

อัตราการไหลของน้ำผสม $= \dfrac{(1,650 - 330)}{30}$

= 44 ลิตร/ชม.

12. คำนวณหาอัตราการไหลของน้ำล้างกลับ (**Backwash)**

อุณหภูมิน้ำ	=	20 ^{O}C
กำหนด **Bed Expansion**	=	80 %
จากรูปที่ 8.4 อัตราการล้างกลับ	=	21 ม/ชม.
	=	21 $ม^3/ม^2$. ชม.
พื้นที่หน้าตัดของถัง	=	1.375 $ม^2$
อัตราการไหลของน้ำล้างกลับ	=	21 x 1.375 = 27.5 $ม^3$/ชม.

13. ตรวจสอบการสูญเสียพลังงานจากการกรองผ่านชั้นเรซิน

อัตราการใช้น้ำ = 20 ม^3/ชม.

อัตราการใช้ผ่านชั้นเรซิน = $\frac{20}{1.375}$ = 14.5 ม/ชม.

จากกราฟรูปที่ 8.3

การสูญเสียพลังงาน = 0.02 กก/ซม^2 ต่อความลึก 1 ม. **resin**

การสูญเสียพลังงาน* = 0.02 x 0.6

= 0.012 กก/ซม^2

*ยังไม่รวมการสูญเสียผ่านสเตรนเนอร์ และท่อต่าง ๆ

การคำนวณปริมาตรเรซินเพื่อกำจัดความกระด้างแบบง่าย

<u>ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</u>

1. Equivalent = $\dfrac{\text{g}}{\text{Eq - Wt}}$ (gm-eq)

2. Equivalent - Weight (น้ำหนักสมมูลย์) = $\dfrac{\text{Moleculae Weight (M.W.)}}{\text{Valency บวก หรือ ลบ}}$

3. Equivalent - Weight (น้ำหนักสมมูลย์) = $\dfrac{\text{Moleculae Weight (M.W.)}}{\text{ค.ร.น.Valency}}$

จาก Specification ของเรซินแบบ strong acid cation แบบ Na form มีค่า

Total exchange capacity ประมาณ = 2 eq/l

1. $$\boxed{\text{Equivalent - Weight} = \frac{\text{Moleculae Weight (M.W.)}}{\text{Valency บวก หรือ ลบ}}}$$

$CaCO_3$ มี Moleculae Weight = 40.078 + 12.011 + (15.9994x3)

= 100

$CaCO_3$ มี Valency = 2

เพราะฉะนั้น Equivalent - Weight $= \frac{100}{2} = 50$

2. $\boxed{\text{Equavalent} = \dfrac{g}{\text{Eq - Wt}}}$

$$2 = \frac{g}{50}$$

จากค่า Total exchange capacity

$$g = 100$$

เพราะฉะนั้น เรซิน strong acid cation แบบ Na form 1 ลิตร สามารถกำจัดความกระด้างออกได้หมด 100 กรัม

Example

Total Hardness = A mg/l as $CaCO_3$

= A g/m^3 as $CaCO_3$

Raw water Flow rate = B m^3/hr

เพราะฉะนั้น เรซิน 1 ลิตร สามารถกำจัด ความกระด้างออกได้หมด 100 กรัม

ความกระด้าง 100 กรัม ต้องใช้เรซิน = 1 ลิตร

เพราะฉะนั้นความกระด้าง **A** กรัม ต้องใช้เรซิน = $\frac{A}{100}$ ลิตร

เพราะฉะนั้น เรซิน $\frac{A}{100}$ ลิตร สามารถกำจัด ความกระด้างออกได้หมด 1 ลบ.ม.

จาก **Raw water Flow rate** = **B** **m^3/hr**

จาก ปริมาณน้ำ 1 ลบ.ม. ต้องใช้เรซิน = $\frac{A}{100}$ ลิตร

ปริมาณน้ำดิบ **B** ลบ.ม. ต้องใช้เรซิน = $\frac{A}{100}xB$ ลิตร ที่ 1 ชั่วโมง

แต่ประสิทธิภาพของเรซินมีประมาณ 50 ถึง 70**%**เท่านั้น ดังนั้นปริมาตรเรซินที่ใช้จริง

$$= \frac{A}{100} x \frac{B}{efficiency}$$

ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณหาปริมาตรเรซิน

Total Hardness	=	120	mg/l as $CaCO_3$
	=	120	g/m^3 as $CaCO_3$
Raw water Flow rate	=	50	m^3/hr

วิธีทำ

Equation : $\boxed{Volume \quad Resin = \frac{A}{100} x \frac{B}{efficiency}}$ Liter/hr

$\therefore$ Volume Resin $= \dfrac{120(mg/l\ as\ CaCO_3)\ x\ 50\ (m^3/hr)}{100\ x\ 0.60}$ Liter/hr

$=$ **100** Liter/hr

- สมมติ **operate** ระบบ 10 ชั่วโมง/วัน

- ต้องการ **regenerate** เรซิน 15 วัน/ครั้ง

∴ **ระยะเวลาการทำงานของระบบผลิตทั้งหมดจนถึง การ regenerate**

	=	**10 x 15**	ชั่วโมง
	=	**150**	ชั่วโมง
จาก **Volume Resin**	=	**100**	ลิตร/ชั่วโมง
∴ **Volume Resin ที่ต้องการทั้งหมด**	=	**100 x 150**	ลิตร
	=	**15000**	ลิตร