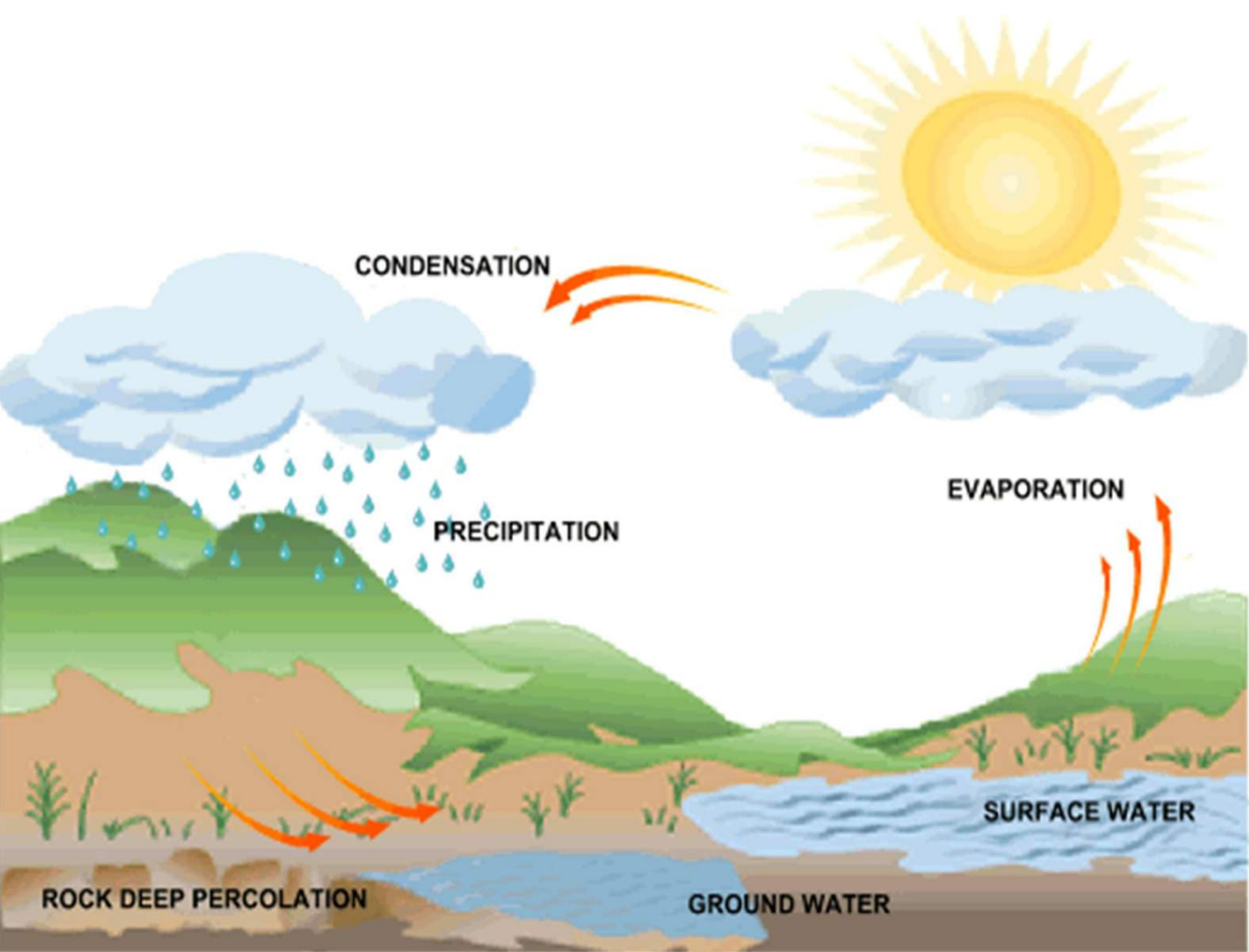


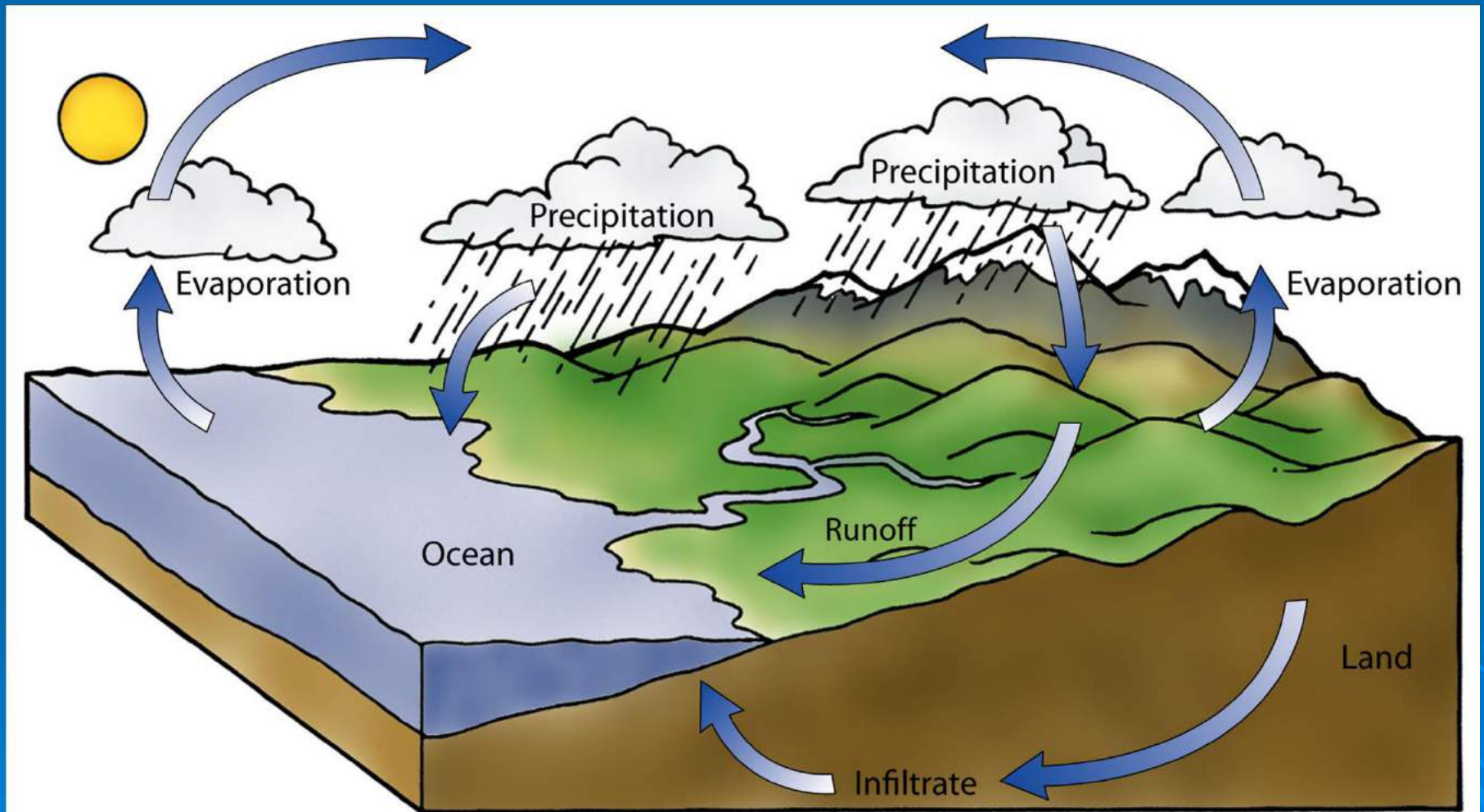


f' ¥f ĩ Š Ƨ © £ f ¥² – ħ %
+ D U G Q H V V 5 H P R Y D O



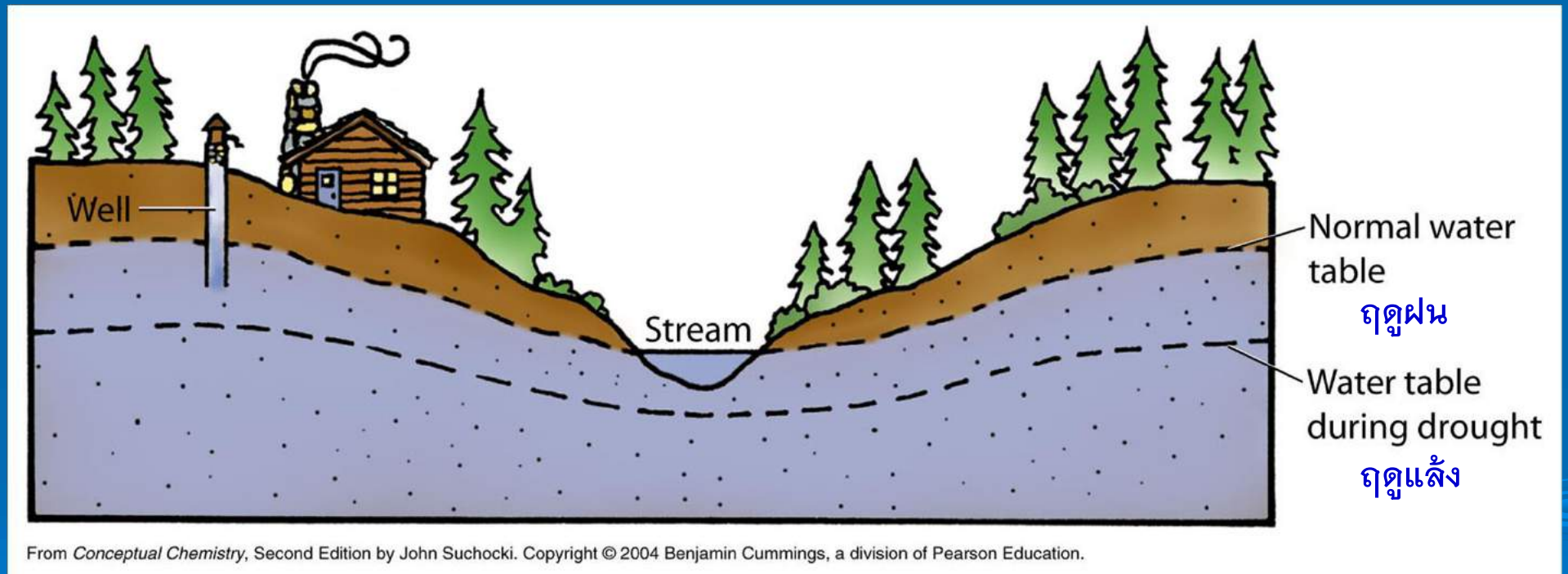
Hydrologic cycle

Water is recycled

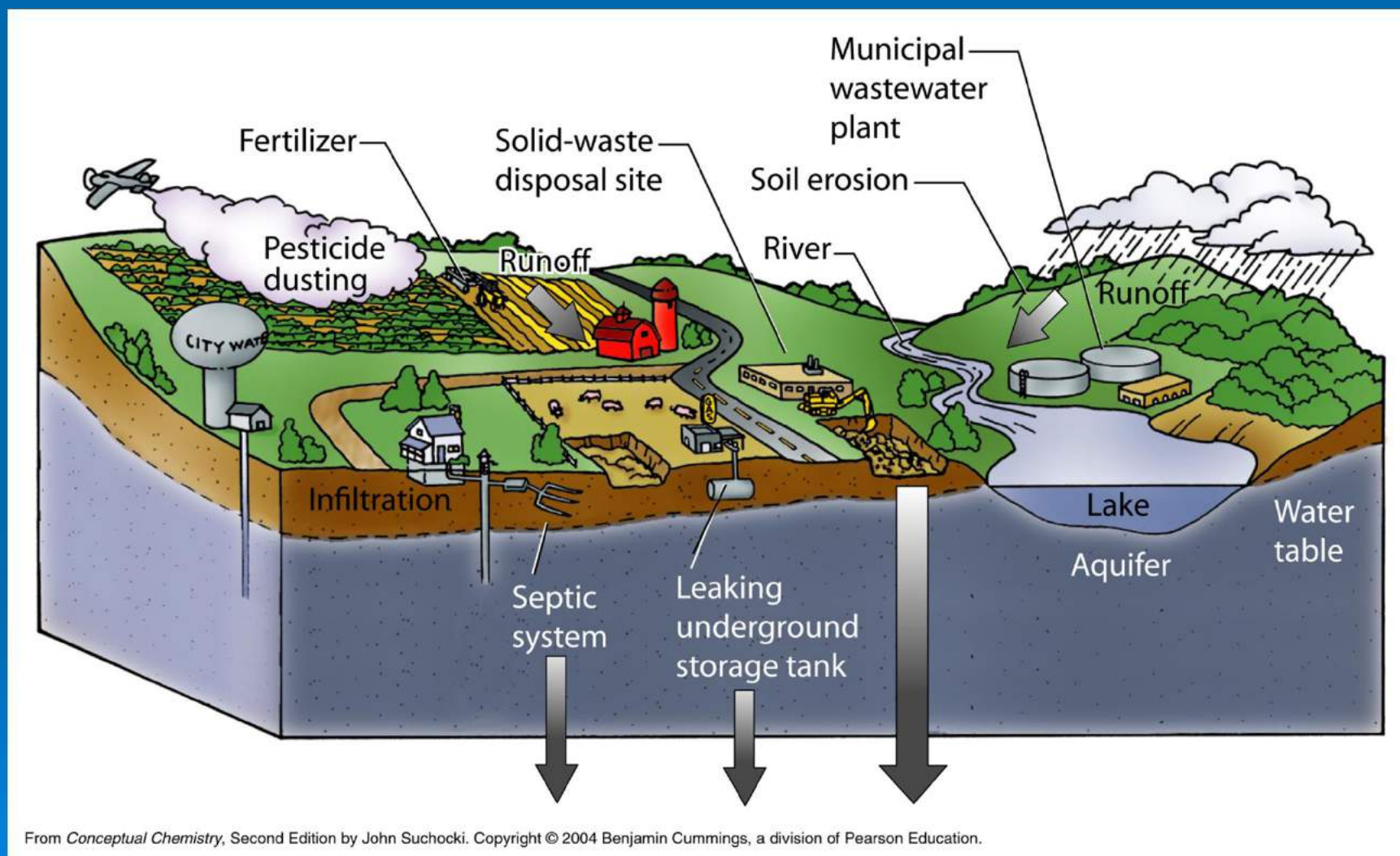


From *Conceptual Chemistry*, Second Edition by John Suchocki. Copyright © 2004 Benjamin Cummings, a division of Pearson Education.

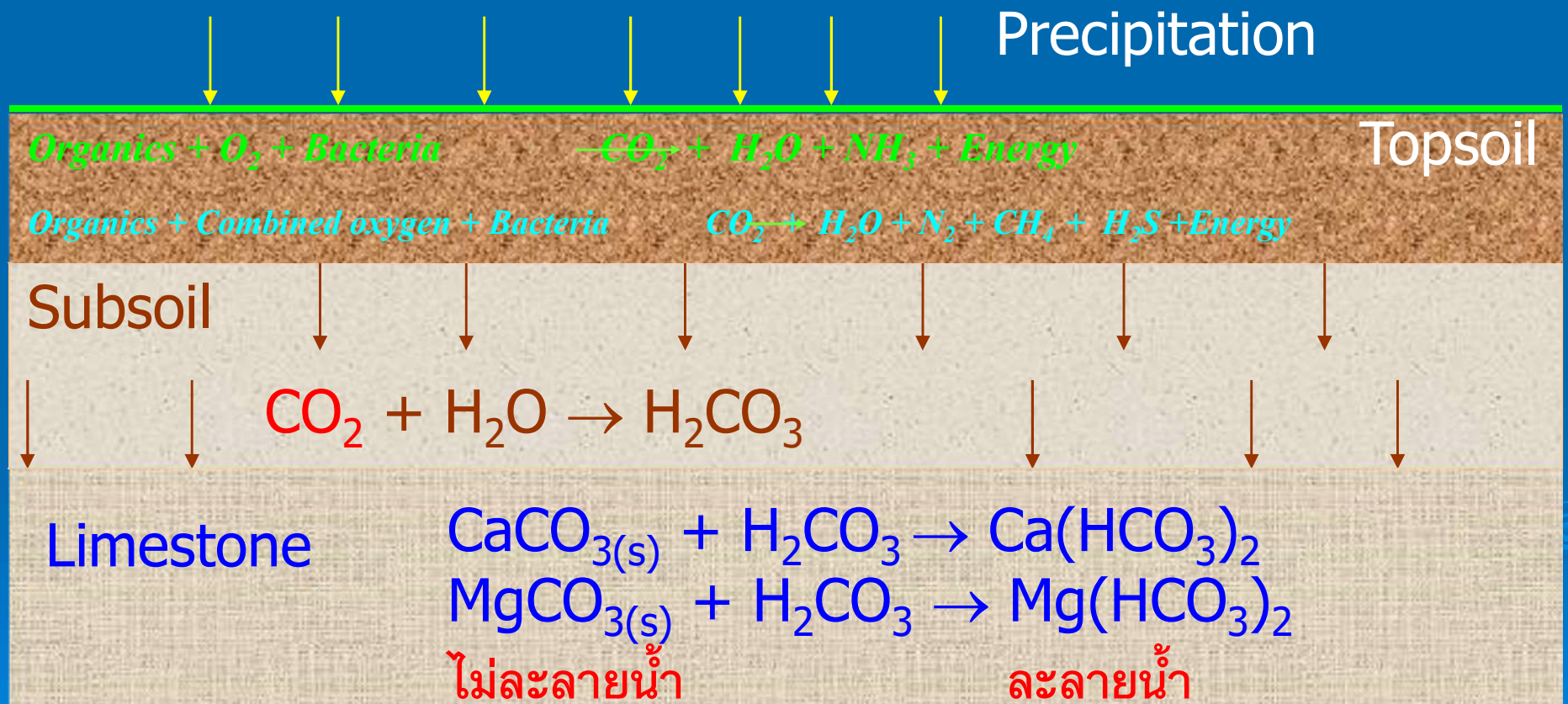
Ground water



Aquifers need to be protected



Formation of Hardness

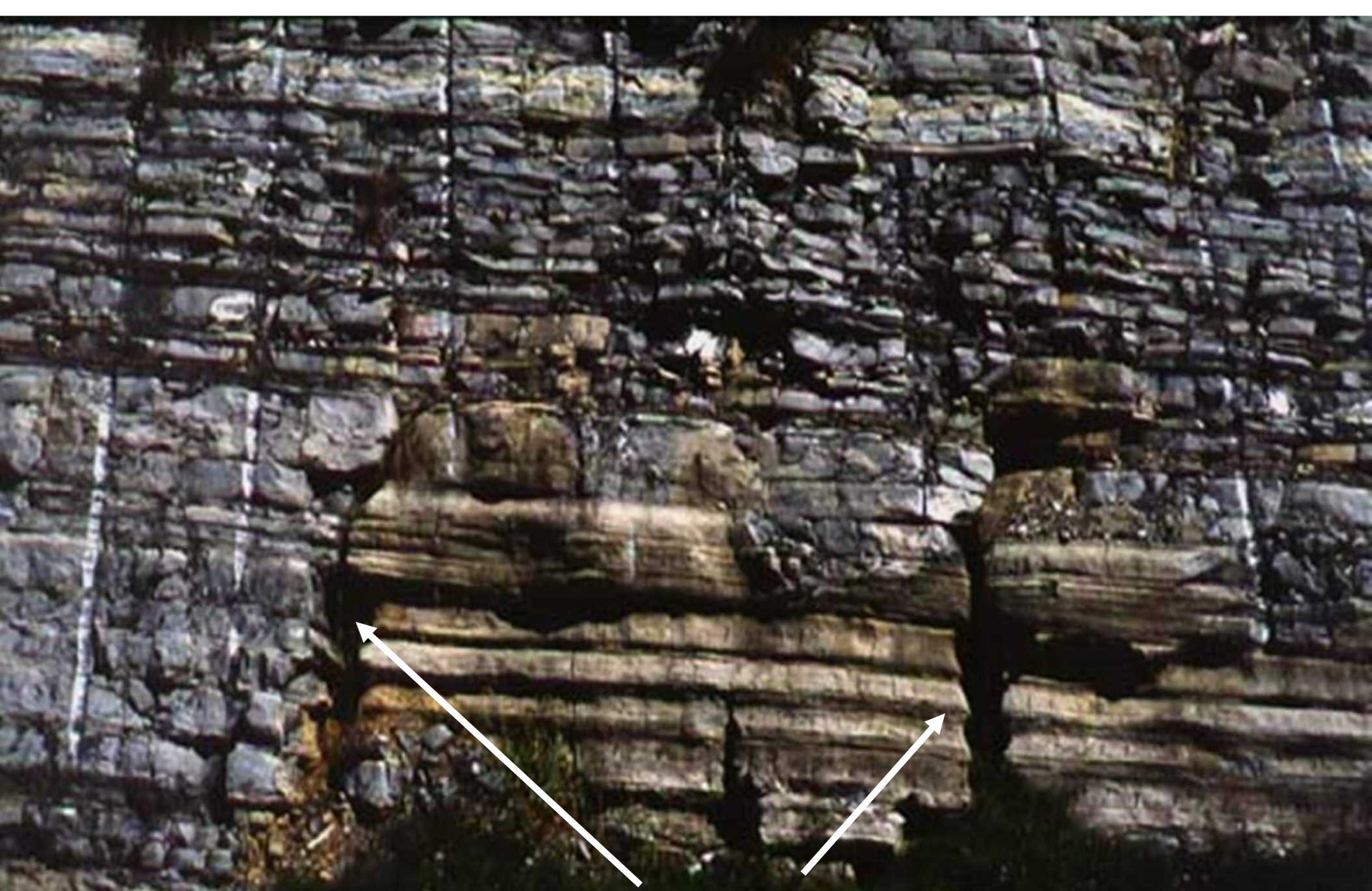


CaCO_3 : calcium carbonate

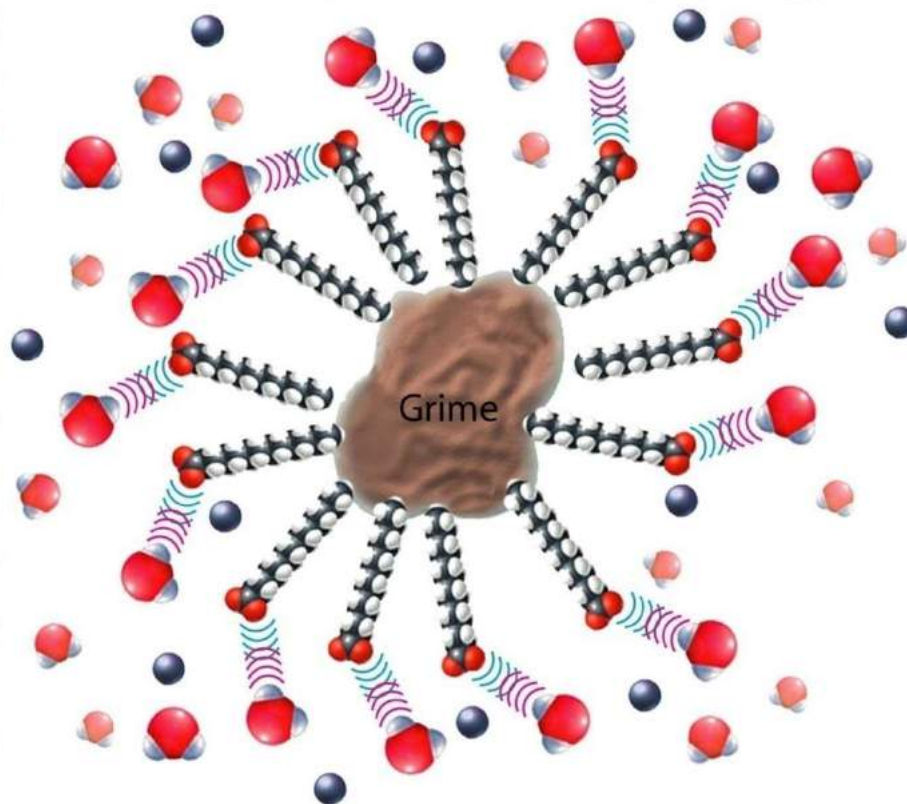
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$: calcium bicarbonate

MgCO_3 : magnesium carbonate

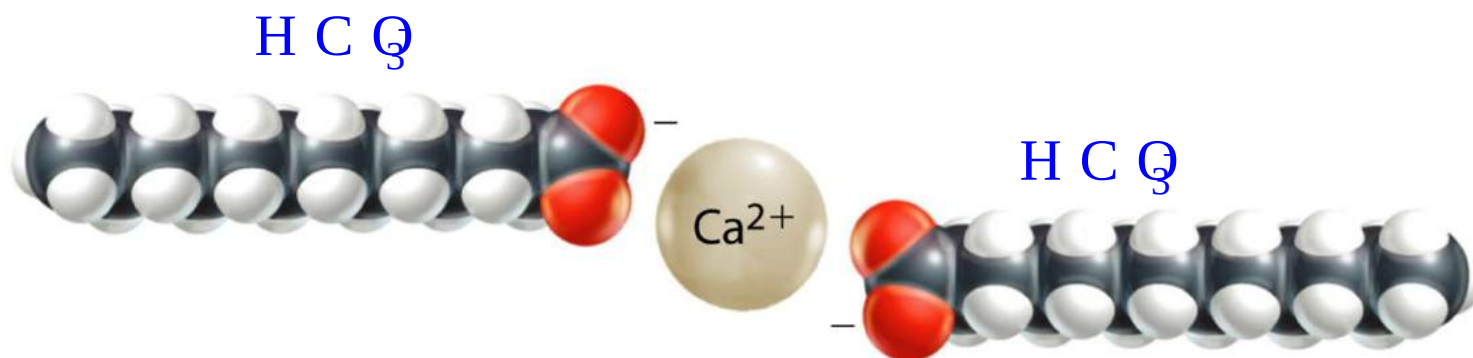
$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$: magnesium bicarbonate



Fractures in Limestone

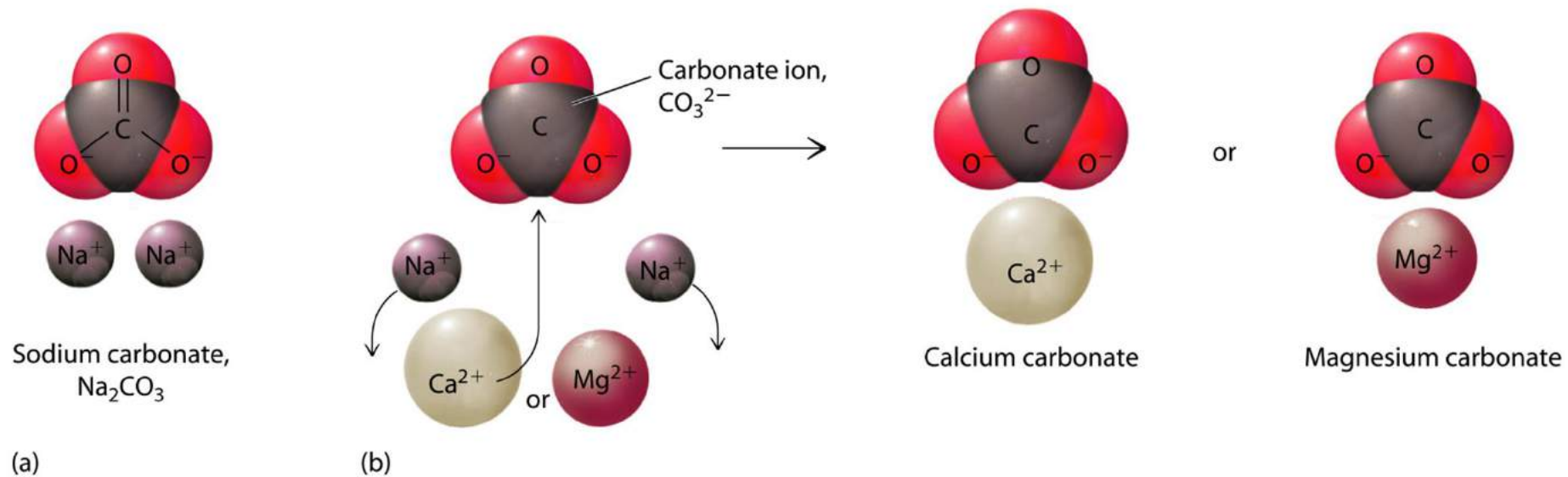


From *Conceptual Chemistry*, Second Edition by John Suchocki. Copyright © 2004 Benjamin Cummings, a division of Pearson Education.



From *Conceptual Chemistry*, Second Edition by John Suchocki. Copyright © 2004 Benjamin Cummings, a division of Pearson Education.

Carbonate ion



From *Conceptual Chemistry*, Second Edition by John Suchocki. Copyright © 2004 Benjamin Cummings, a division of Pearson Education.

+ D U

ÿ • § “ • ý , § Ⓔ ^a 1 ± v © ‰ } § v y œ § − v ~ ¥ 9

± • ß ž Ÿ § ± v š R-DESŠŤ ŠŽ• ŠPŁ• ŠVOK%

$\& \& \mathbb{O}$ $\& +$ $\& 2 2 \leftrightarrow \mathbb{D} \& \mathbb{D} +$ $\& 2 2_v$ $1 \mathbb{D} \& \mathbb{O}$

• Œ ¾ § ´ Ø ~ ÿ • § Š © w ¢ | Ž ° ¾ § µ – × Ž ×

• ± • ß Ž Ÿ § ± Š - Œ ¾ § ' ∅ ± ∇ © ™ ∇ § ~ €

± ð Ÿ ± š ç ¼ ø ± î • î % ~ ¥ • • œ § š û œ Š © %

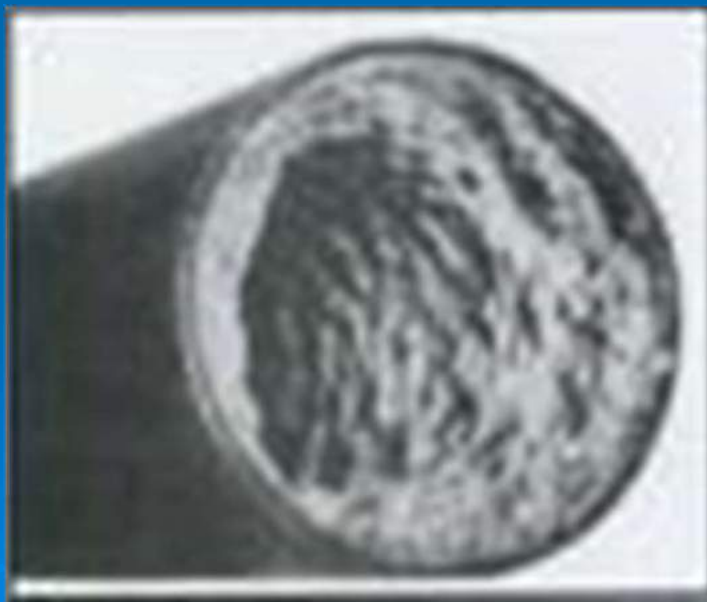
w c f d o f l x p f d u e r q d w h

± √ ∅ Ÿ § √ ∼ ¥ • • Ÿ w ↑ † Š ħ .

Œ ¾ § ´ Ø ± v © %‰ Š Œ € ¤ Ž Ø-Ÿ@ °šž

– § v w « ° ž

- Œ ¾ § ´ Ø ± v © ‰ Š&R Ŗ Œ 1Ž Œ Ÿ • 7 Ě Ƴ³



± ðÿ± šcš4 0008 0%šžž¥••œ V F D O₁₂ Q







ความกระด้างแบ่งออกได้ 3 ประเภทคือ

A Total Hardness

- ทางทฤษฎี - เป็นผลรวมของประจุบวก 2 ทั้งหมด
- ทางปฏิบัติ - เป็นผลรวมของ *calcium ions* และ *magnesium ions* (the predominant minerals in natural waters)
- แบ่งออกได้ 2 รูปแบบคือ
 1. carbonate hardness.
 2. noncarbonate hardness.



ความกระด้างแบ่งออกได้ 3 ประเภทคือ

Carbonate Hardness

- นิยมเรียกว่า "temporary hardness" เพราะว่าสามารถกำจัดด้วยความร้อน(การต้ม)ได้ เมื่อน้ำได้รับความร้อนจะเกิดการตกผลึก(precipitate) รวมตัวกันอยู่บริเวณด้านล่างภาชนะ
- Ca^{2+} , Mg^{2+} associated with HCO_3^- , CO_3^{2-}



ความกระด้างแบ่งออกได้ 3 ประเภทคือ

Non-Carbonate Hardness

- นิยมเรียกว่า “permanent hardness” เพราะว่าไม่สามารถกำจัดออกได้ด้วยความร้อน เพราะฉะนั้นการกำจัดความกระด้างประเภท non-carbonate hardness จึงมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าการกำจัด carbonate hardness.
- Ca^{2+} , Mg^{2+} associated with other ions, Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}



➤ ความสัมพันธ์ระหว่าง Alkalinity และ Hardness ในน้ำธรรมชาติ
ทั่วไป ที่มีค่า pH ระหว่าง 6.5 – 8.0

● กรณี Total Hardness > Total Alkalinity

Carbonate Hardness = Total Alkalinity

Non Carbonate Hardness = Total Hardness - Total Alkalinity

● กรณี Total Hardness < Total Alkalinity

Carbonate Hardness = Total Hardness

Non Carbonate Hardness = 0

Hardness Units

Amilligrams per liter (mg/L) as calcium carbonate

Aparts per million (ppm) as calcium carbonate

Agrains per gallon of hardness (to convert from grains p
gallon to mg/L, multiply by 17.1) (1 grain = 0.065 g)

Aequivalents/liter
equivalents

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

- acids and bases: number of H^+ transferred
- redox reactions: number of e^- transferred

Hardness Description

Description	Hardness range (mg/L as CaCO_3)
Soft	0 - 75
Moderately hard	75 - 100
Hard	100 - 300
Very hard	> 300



การกำจัดความกระด้าง (Hardness Removal)

© f' ¥ f Ĩ Š³†© £ f ¥²—ñ% ' £' ¥~ ™ Ą En © ¶ š .

Ą Ą' ¥ Ą £ ™ • ' ¶ ¥ f Ą†© £ f ¥²—ñ% Ą Ą f —² f —>
3 U H F L S L W D W L R Q

Ą Ą š f f' ¥ Ą š f Ą š Ą — ¶ —> Ä ¢ Ą Ą • ¶
, R Q ([F K D Q J H 5 H V L Q

วิธีการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยาเพื่อให้ตกตะกอน (Precipitation)

มี 2 แบบ คือ

1. *Cold Lime Soda Process*
2. *Hot Lime Process or Hot Process Softening*

Cold Lime Soda Process

- ปูนขาว (Ca(OH)_2)
- โซดาแอช (Na_2CO_3)
- โซดาไฟ (NaOH)



วัตถุประสงค์เพื่อทำปฏิกิริยากับความกระด้างแล้วทำให้เกิดตกตะกอน
นอกจากนี้ยังต้องใส่สารสร้างตะกอน (Coagulants) และสารช่วยตกตะกอน
(Coagulants aid) เพื่อจับตะกอนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาดังกล่าวให้จมตัวเร็ว
ยิ่งขึ้น

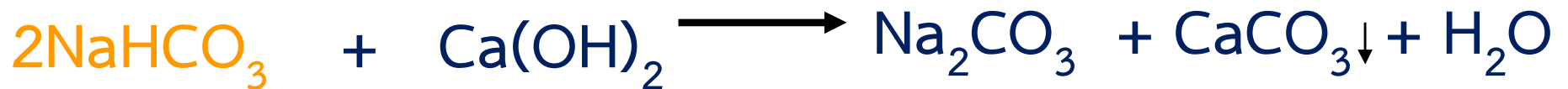
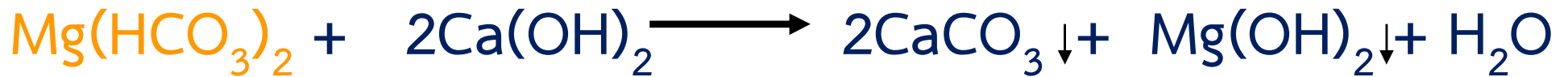
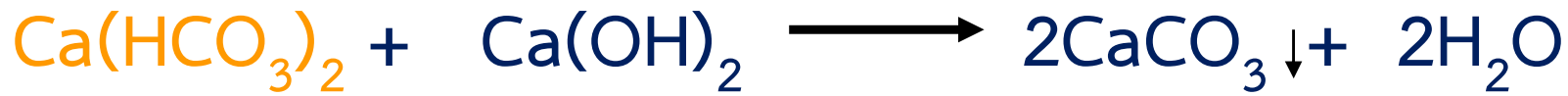
สารสร้างตะกอนเพื่อตกตะกอนที่นิยมใช้ที่นิยมใช้ได้แก่ สารส้ม เฟอรัสซัลเฟต
และเฟอริกซัลเฟต

ปฏิกิริยาทางเคมี

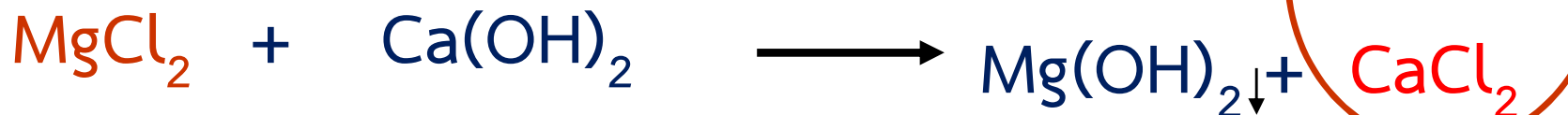
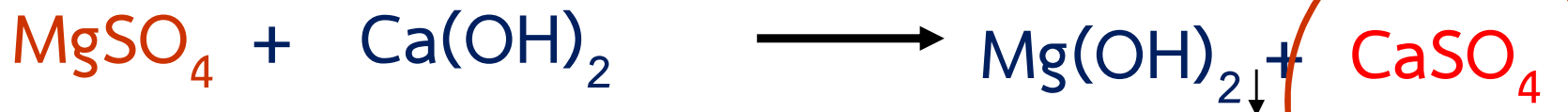
1. ปูนขาว (CaO)

ปฏิกิริยาจะกำจัด CO_2 และลดความกระด้างคาร์บอเนต (Carbonate Hardness) มีดังนี้





ปฏิกิริยาขจัดความกระด้าง(แมกนีเซียม)ด้วยปูนขาว มีดังนี้



ความกระด้างถาวร

การใช้ปูนขาวกำจัด MgSO_4 และ MgCl_2 แต่จะสร้าง CaSO_4 และ CaCl_2 ซึ่งต้องกำจัดโดยใช้โซดาแอช(Na_2CO_3)

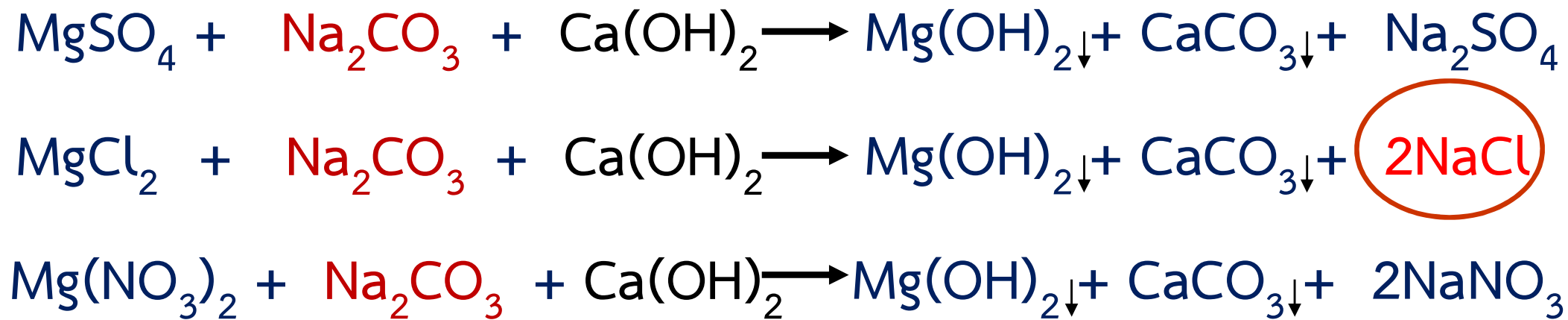


2. โซดาแอช (Na_2CO_3)

โซดาแอชจะทำปฏิกิริยากับความกระด้างถาวร (Non Carbonate Hardness) หรือความกระด้างที่ไม่ใช่คาร์บอเนตได้ตะกอนที่ไม่ละลายน้ำจะต้องใช้โซดาแอช 1 สมมูลเพื่อทำปฏิกิริยากับความกระด้างแคลเซียมที่ไม่ใช่คาร์บอเนต 1 สมมูล เช่นกัน



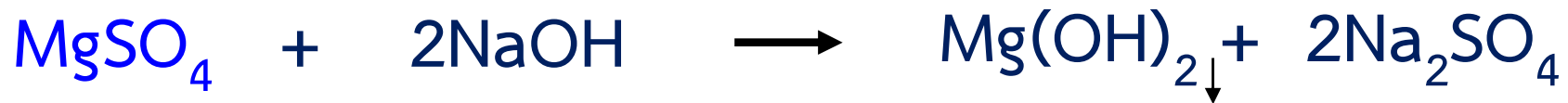
ถ้าเป็นความกระด้างถาวรแมกนีเซียม จะต้องใช้โซดาแอช 1 สมมูลกับ
ปูนขาว 1 สมมูล เพื่อทำปฏิกิริยากับความกระด้างถาวรแมกนีเซียม 1
สมมูล



ในการใช้โซดาแอชจะลดความกระด้างลงได้ แต่ไม่สามารถลดสาร
(Dissolved Solid) ที่อยู่ในน้ำได้เพราะผลของปฏิกิริยาจะเกิดเกลือ
โซเดียมที่ละลายน้ำ



3. ใช้โซดาไฟ (NaOH) แทนปูน-โซดาแอช จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้

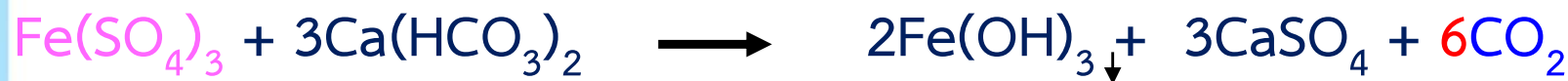
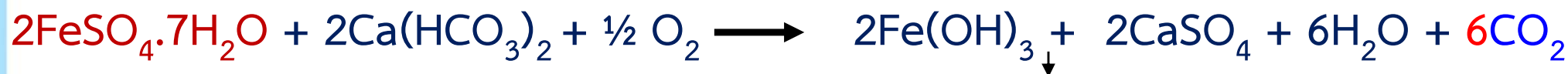
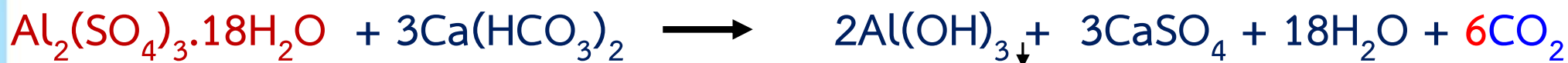


4. สารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน (Coagulants and Coagulant aids)

เมื่อความกระด้างทำปฏิกิริยากับสารเคมีตามสมการต่างๆข้างต้นแล้วจะตกตะกอนเป็นตะกอนที่ละเอียดซึ่งจะฟุ้งกระจายได้ง่าย การใส่สารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน จะช่วยให้ตะกอนเม็ดเล็กๆรวมตัวกันเป็นตะกอนเม็ดใหญ่ขึ้นและตกตะกอนได้เร็ว



ปฏิกิริยาทางเคมี



Coagulant		(1)*	(2)*
Name	Chemical Formula		
Alum	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$	0.55	0.44
Ferrous Sulfate	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.66	0.58
Ferric Sulfate	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	0.77	0.66
Ferric Chloride	FeCl_3	0.93	0.81
Magnesium Carbonate	$\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	0.72	0.64

(1) ความเป็นด่างที่ลดลง (mg/l) as CaCO_3

(2) คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิด (mg/l) as CO_2

*คิดต่อ 1 mg/l ของ coagulant ที่เติม

การคำนวณปริมาณสารเคมีที่ใช้

1. ปูนขาว (CaO) คำนวณในรูปของ Ca(OH)_2 ได้ดังนี้

$$[\text{Ca(OH)}_2] = [\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{excess lime}]$$

where

$[\text{Ca(OH)}_2]$ = amount of Ca(OH)_2 required for softening in meq/l

$[\text{CO}_2]$ = concentration of CO_2 in meq/l

$[\text{HCO}_3^-]$ = concentration of HCO_3^- in meq/l

$[\text{Mg}^{2+}]$ = concentration of Mg^{2+} in meq/l

[excess lime] = additional amount of lime needed to maintain

31

an elevated pH value, usually 1 meq/l



2. โซดาแอช (Na_2CO_3) คำนวณได้ดังนี้

$$[\text{Na}_2\text{CO}_3] = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Alkalinity}]$$

where :

$[\text{Na}_2\text{CO}_3]$ = amount of Na_2CO_3 required for noncarbonate softening in meq/l

$[\text{Ca}^{2+}]$ = concentration of Ca^{2+} in meq/l

$[\text{Mg}^{2+}]$ = concentration of Mg^{2+} in meq/l

[Alkalinity] = concentration of Alkalinity in meq/l



Lime required in mg/l = $[\text{Ca(OH)}_2 \text{ in meq/l}] \times 37$

Soda Ash required in mg/l = $[\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ in meq/l}] \times 53$



3. ปูนขาว (CaO) คำนวณในรูปของ CaO ได้ดังนี้

$$\lim e (CaO \text{ in } mg / l) = (A + B + C) \times \frac{D}{E}$$

Where :

$$A = \text{CO}_2 \text{ as CO}_2 \text{ (mg/l) } \times (56/44)$$

$$B = \text{HCO}_3 \text{ alkalinity as CaCO}_3 \text{ (mg/l) } \times (56/100)$$

$$C = \text{Mg as Mg (mg/l) } \times (56/24.3)$$

$$D = \text{Excess lime required to rise pH to 11 to remove magnesium; it is generally 10 to 20\% of } A+B+C : \text{ thus } D = 1.1 \text{ to } 1.2$$

$$E = \text{Purity of the quick lime (0.88 to 0.95) ; therefore, } E = 0.88 \text{ to } 0.95$$



4. ปูนขาวประเภท slaked lime ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) คำนวณในรูปของ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ได้ดังนี้

$$\text{Slaked lime } (\text{Ca}(\text{OH})_2 \text{ in mg/l}) = (A' + B' + C') \times \frac{D}{E}$$

Where :

$$A' = \text{CO}_2 \text{ as CO}_2 \text{ (mg/l)} \times (74/44)$$

$$B' = \text{HCO}_3 \text{ alkalinity as CaCO}_3 \text{ (mg/l)} \times (74/100)$$

$$C' = \text{Mg as Mg (mg/l)} \times (74/24.3)$$

$$D = \text{Excess lime } D = 1.1 \text{ to } 1.2$$

$$E = \text{Purity of the lime : generally, } E = 0.93 \text{ to } 0.95$$



5. โซดาแอช (Na_2CO_3) สำหรับการกำจัดความกระด้างถาวร (non carbonate hardness) คำนวณได้ดังนี้

$$\text{Soda Ash } (\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ in mg / l}) = (NH - L) \times \frac{106}{100}$$

Where :

NH = Noncarbonate hardness as CaCO_3 (mg/l)

L = Noncarbonate hardness remaining in the softened water (mg/l)



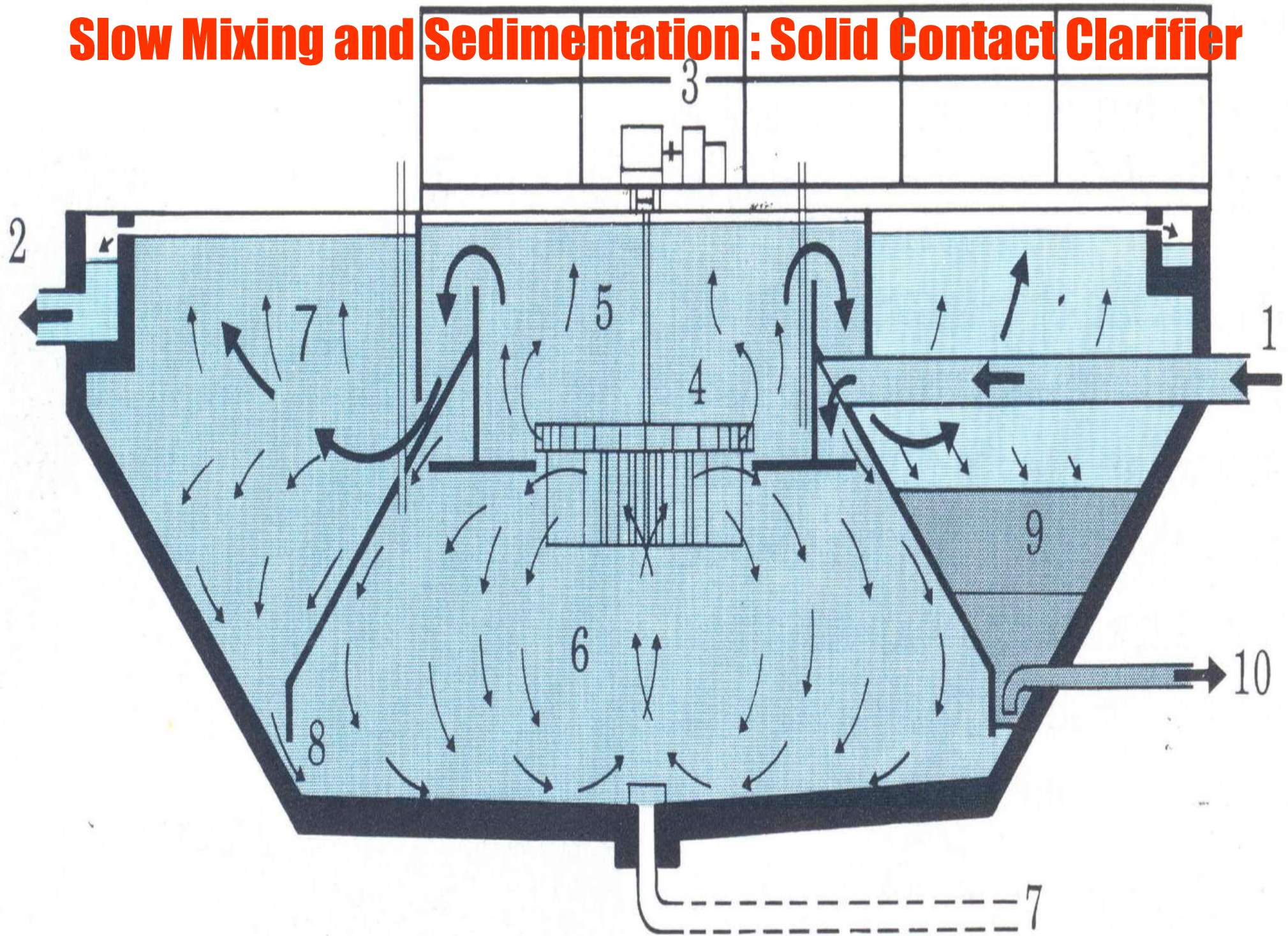
ส่วนประกอบของกระบวนการกำจัดความกระด้างด้วยวิธีตกผลึก

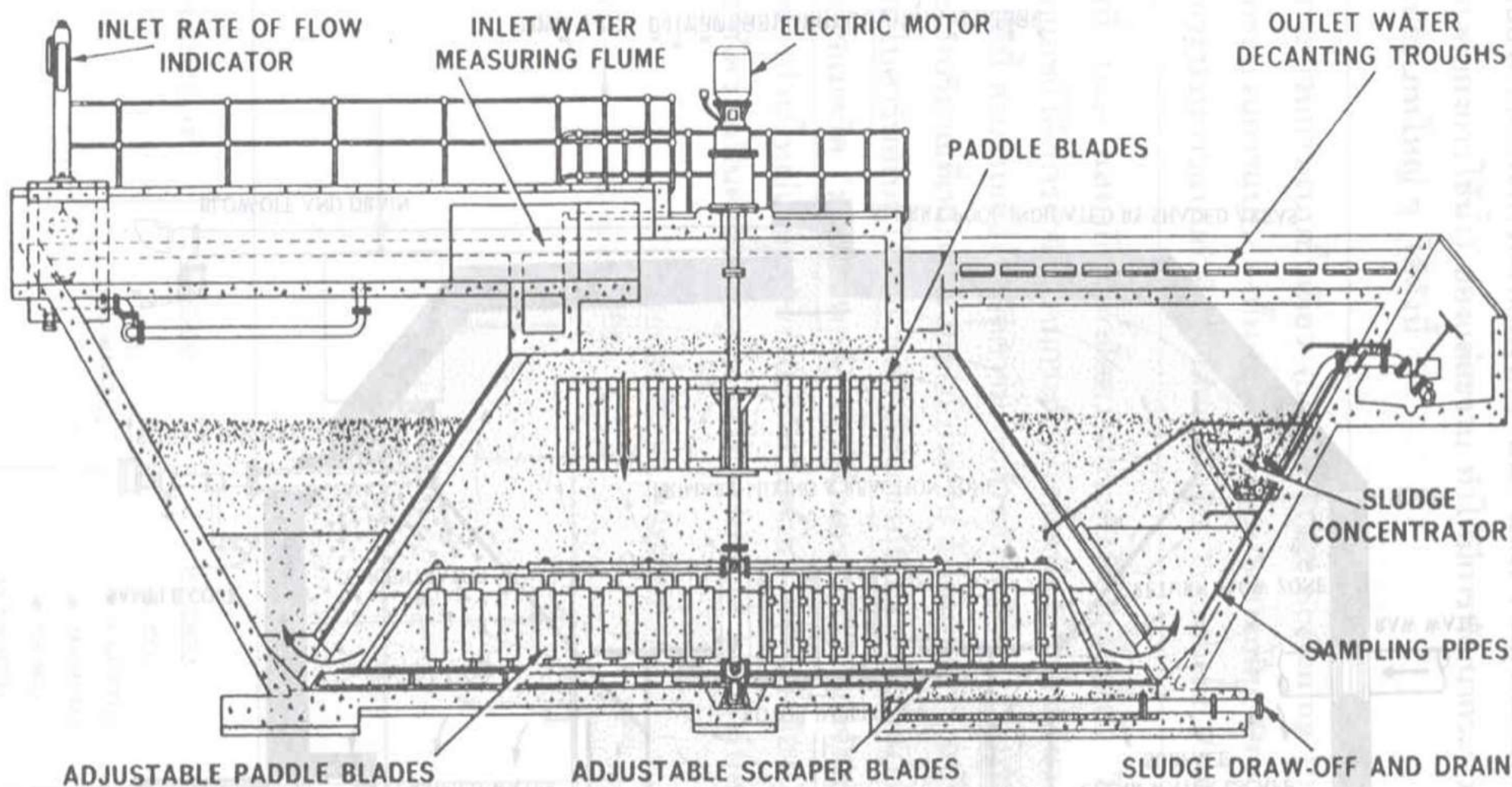
1. ถังกวนเร็ว (Rapid Mixing Tank)
2. ถังกวนช้า (Slow Mixing Tank)
3. ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank)
4. ระบบฟิเอชหรือรีคาร์บอเนชั่น (Recarbonation)

Rapid Mixing : Static Mixer



Slow Mixing and Sedimentation : Solid Contact Clarifier





ภาพที่ 16.6 ถังโซลิดซ์คอนแทคต์แบบ Sludge Blanket

Design Criteria

1. Flash mixing

- Mixing Energy (G) 300 to 500 sec^{-1}
- Mixing Time 10 to 30 sec

2. Flocculation

- Mixing Energy (G) 5 to 50 sec^{-1}
- Mixing Time 30 to 40 min
- Flow Velocity through ports 0.5 to 1.2 ft/s (0.15 to 0.36 m/s)

NOTE : Adequate mixing time is very important because of the slow reaction rate

Design Criteria

3. Sedimentation

- Surface Loading 1.9 to 2.5 m/hr (rectangular tank type)
2.5 to 4.4 m/hr (sludge blanket type)
- Detention Time Minimum of 2 hr (rectangular tank type)
Minimum of 1 hr (sludge blanket type)
- Weir Loading 11 m³/m.hr (rectangular tank type)
15 m³/m.hr (sludge blanket type)
- Total Water Loss < 3% due to sludge withdrawal

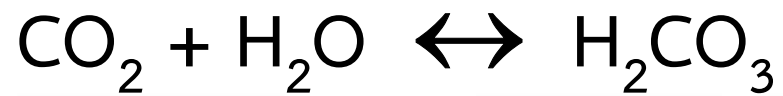
Design Criteria

4. Recarbonation

- Carbon dioxide diffusion tank 3 min minimum contact time
- Recarbonation tank 20 min minimum detention time
- pH of water after recarbonation 8.7 to 8.8

NOTE : the use of liquid carbon dioxide has become more commonly practiced for recarbonation

Recarbonation



Design Criteria

5. Filtration (Dual Media Bed)

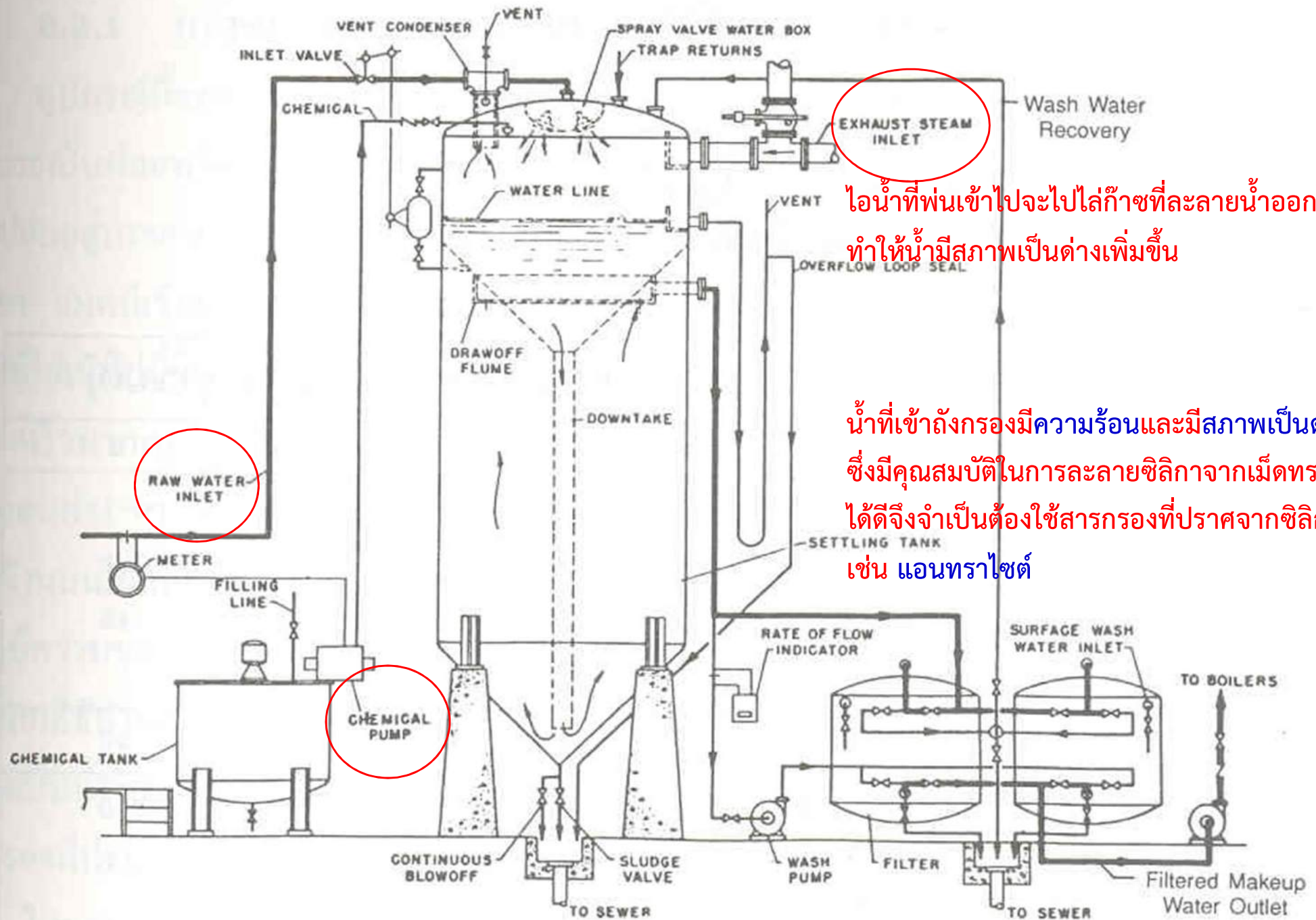
- Filtration Rate	10 to 15 m/hr
- Anthracite Coal	
Depth	0.5 m
Effective Size	1.0 to 1.1 mm
Uniformity Coefficient	< 1.4
Specific gravity	1.67 to 1.7
- Sand	
Depth	0.25 m
Effective Size	0.55 to 0.6 mm
Uniformity Coefficient	< 1.5
Specific gravity	> 2.63
Backwash rate	Average 50 m/hr

Hot Lime Process or Hot Process Softening

สามารถปรับสภาพน้ำให้มีคุณภาพดังนี้

1. ลดปริมาณซิลิกาที่มีอยู่ในน้ำให้ลดลงจนมีอยู่ไม่เกิน 1 พีพีเอ็ม
2. ลด P และ M-Alkalinity ในน้ำให้ลดลงจำนวนหนึ่ง ทำให้น้ำหมุนอยู่ในระบบของหม้อไอน้ำได้นานขึ้น
3. สามารถลดความกระด้างแคลเซียมและแมกนีเซียมลงได้บางส่วนและถ้าให้น้ำนี้ผ่านเครื่องทำน้ำอ่อน (Ion Exchange Softener) จะได้น้ำที่มีความกระด้างไม่เกิน 1 พีพีเอ็ม
4. ลดปริมาณสารละลาย (TDS) และสารแขวนลอย
5. ไล่ก๊าซที่ละลายน้ำออกได้



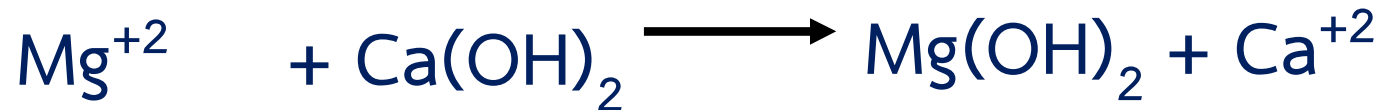
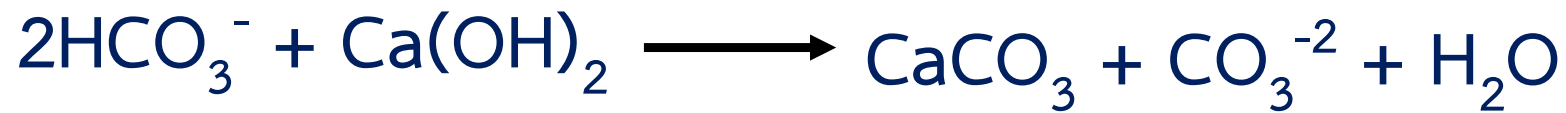


ไอน้ำที่พ่นเข้าไปจะไปไล่ก๊าซที่ละลายน้ำออกได้
ทำให้น้ำมีสภาพเป็นด่างเพิ่มขึ้น

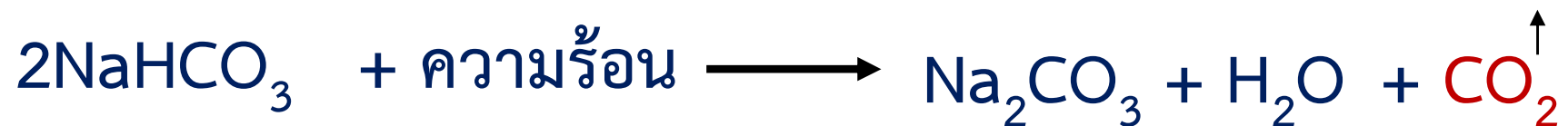
น้ำที่เข้าถังกรองมีความร้อนและมีสภาพเป็นด่าง
ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายซิลิกาจากเม็ดทราย
ได้ดีจึงจำเป็นต้องใช้สารกรองที่ปราศจากซิลิกา
เช่น แอนทราไซต์

รูปที่ 6.7 รายละเอียดของ Hot Process Softener และเครื่องกรอง

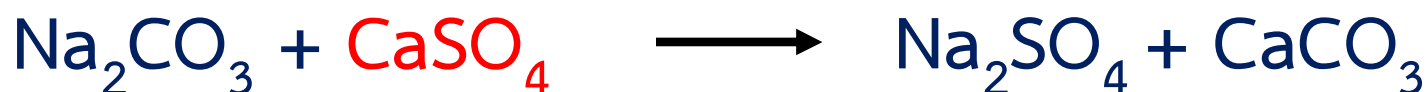
เมื่อใส่ปูนขาวและโซดาแอช จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



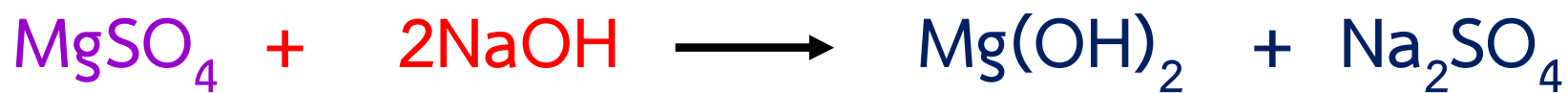
ระบบ Hot Process Softening นอกจากขจัดความกระด้างแล้วยังใช้ลดความเป็นด่างในน้ำได้อีกด้วย โดยเฉพาะในกรณีที่มีค่าความเป็นด่างในรูปโซเดียมไบคาร์บอเนตมาก



ระบบ Hot Process Softening จะประหยัดค่าใช้จ่ายในการ
เปลี่ยนรูปไบคาร์บอเนต และใช้ยิปซัม (แคลเซียมซัลเฟต)
ตกตะกอนเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตอีกที



และถ้าในน้ำมีปูนขาว ความกระด้างถาวรอยู่ก็จะเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้



สูตรที่ใช้คำนวณ Hot Lime Process or Hot Process Softening

1. ค่าชดเชยความเจือจาง (Dilution Correction Factor); DCF การพ่นไอน้ำลงไปในถัง ทำให้น้ำในถังปฏิกิริยาเจือจางได้ ปริมาณสารเคมีที่ใส่เข้าไปจึงต้องเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากปริมาตรน้ำในถังปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น จึงต้องมีการคำนวณค่าชดเชยความเจือจาง ดังนี้

$$DCF = \frac{1}{1 + \frac{\text{ปอนด์ไอน้ำที่ใช้}}{\text{ปอนด์น้ำดิบ}}}$$

$$\frac{\text{ปอนด์ไอน้ำที่ใช้}}{\text{ปอนด์น้ำดิบ}} = \frac{\text{เอนทาลปีของน้ำที่ปรับสภาพแล้ว} - \text{เอนทาลปีของน้ำดิบ}}{\text{เอนทาลปีของไอน้ำดิบ} - \text{เอนทาลปีของน้ำที่ปรับสภาพแล้ว}}$$

สำหรับค่าเอนทาลปี (Enthalpy) ของไอน้ำนั้นหาได้จากตารางไอน้ำในหนังสือเกี่ยวกับไอน้ำ



TABLE 3-1

Standard enthalpies and free energies of formation at 25°C

Sub-stance	State*	ΔH_{298}^0 , kJ / mol	ΔG_{298}^0 , kJ / mol	Sub-stance	State*	ΔH_{298}^0 , kJ / mol	ΔG_{298}^0 , kJ / mol
Ca^{2+}	<i>aq</i>	-543.0	-553.0	H_2O	<i>lq</i>	-285.9	-237.2
CaCO_3	<i>c</i>	-1,207	-1,129	H_2O	<i>g</i>	-241.8	-274.6
CaF_2	<i>c</i>	-1,215	-1,162	HS^-	<i>aq</i>	-17.66	12.59
Ca(OH)_2	<i>c</i>	-986.6	-896.8	H_2S	<i>g</i>	-20.17	-33.01
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	<i>c</i>	-2,021	-1,796	H_2S	<i>aq</i>	-39.33	-27.36
CH_4	<i>g</i>	-74.85	-50.79	H_2SO_4	<i>lq</i>	-811.3	...
CH_3CH_3	<i>g</i>	-84.68	-32.89	Mg^{2+}	<i>aq</i>	-462.0	-456.0
CH_3COOH	<i>aq</i>	-488.4	-399.6	Mg(OH)_2	<i>c</i>	-924.7	-833.8
CH_3COO^-	<i>aq</i>	-488.9	-372.3	Na^+	<i>aq</i>	-239.7	-261.9
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	<i>lq</i>	-277.7	-174.8	NH_3	<i>g</i>	-46.19	-16.69
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	<i>aq</i>	...	-908.0	NH_3	<i>aq</i>	-80.83	-26.65
CO_2	<i>g</i>	-393.5	-394.4	NH_4^+	<i>aq</i>	-132.8	-79.50
CO_2	<i>aq</i>	-412.9	-386.2	NO_2^-	<i>aq</i>	-106.3	-34.52
CO_3^{2-}	<i>aq</i>	-676.3	-528.1	NO_3^-	<i>aq</i>	-206.6	-110.5
F^-	<i>aq</i>	-329.1	-276.5	OH^-	<i>aq</i>	-230.0	-157.3
Fe^{2+}	<i>aq</i>	-87.86	-84.94	S^{2-}	<i>aq</i>	41.84	83.68
Fe^{3+}	<i>aq</i>	-47.70	-10.54	SO_4^{2-}	<i>aq</i>	-907.5	-742.0
HCO_3^-	<i>aq</i>	-691.1	-587.1	Zn^{2+}	<i>aq</i>	-152.4	-147.2
H_2CO_3	<i>aq</i>	-698.7	-623.4	ZnS	<i>c</i>	-202.9	-198.3

**aq*—aqueous, *c*—crystal, *g*—gas, *lq*—liquid.

Note: 1 kcal = 4.184 kJ.

เอนทาลปี (Enthalpy) คือ ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าหรือออกจากระบบ ที่ความดันคงที่

2. ในการคำนวณปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้ที่แท้จริง เมื่อมีการชดเชยเนื่องจากการเจือจางให้น้ำให้คูณด้วย CCF (Cold Correction Factor)

$$CCF = \frac{1}{DFC}$$

ปริมาณปูนขาวที่ใช้จริง

$$= (\text{meq/l HCO}_3 + \text{meq/l Mg} - \text{meq/l OH}) \text{ Raw Water} - \\ CCF(\text{meq/l HCO}_3 + \text{meq/l Mg} - \text{meq/l OH}) \text{ Treated Water}$$

ปริมาณโซดาแอชที่ใช้จริง

$$= (\text{meq/l Hardness} - \text{meq/l Total Alkalinity}) \text{ Raw Water} - \\ CCF(\text{meq/l Hardness} - \text{meq/l Total Alkalinity}) \text{ Treated Water}$$



การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

การตรวจสอบคุณภาพน้ำเพื่อดูว่าใส่ปูนขาวมากหรือน้อยเกินไปนั้นดูได้จากค่า P- Alkalinity และ M – Alkalinity ถ้าค่า $2P - M$ มีค่าเป็นลบแล้วแสดงว่าใส่ปูนขาวมากเกินไปเล็กน้อย จึงมีไบคาร์บอเนตที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาเหลืออยู่

กรณีที่ 1 เพื่อลดความกระด้างให้มากที่สุด ต้องควบคุมน้ำให้มีคุณภาพดังนี้

$$2P - M = 10 - 20 \text{ ppm}$$

ถ้ามากกว่า 20 ppm ก็ควรลดปริมาณปูนขาวลง และ M – Alkalinity = 50 – 60 ppm ความกระด้าง = 12 – 20 ppm



กรณีที่ 2 เพื่อลดค่า TDS ให้ได้มากที่สุด ต้องควบคุมน้ำให้มีคุณภาพ
ดังนี้

$$2P - M = 0 \text{ ppm} \quad (\text{ลดปูนขาวถ้าค่าสูงกว่านี้})$$

$$M - \text{Alkalinity} = 40 - 50 \text{ ppm}$$

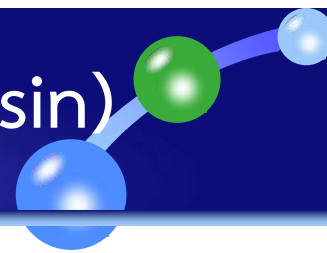
$$\text{ความกระด้าง} = 15 - 25 \text{ ppm}$$

กรณีที่ 3 ดูดซับซิลิกาให้มากที่สุด

$$2P - M = 0 - 10 \text{ ppm}$$

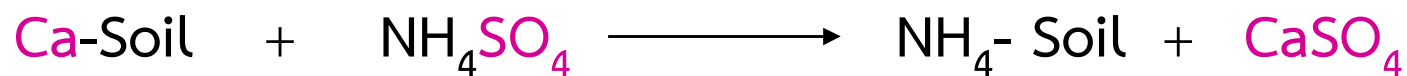


ใช้หลักการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้เรซิน(Ion Exchange Resin)

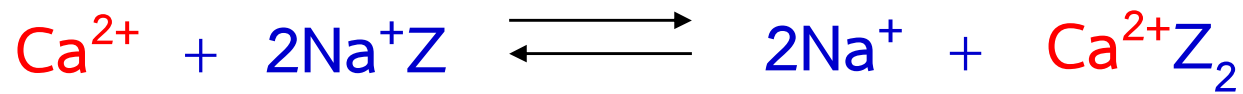


ประวัติศาสตร์

ปี ค.ศ.1850 นักเคมีชาวอังกฤษชื่อทอมป์สัน เป็นผู้ค้นพบปรากฏการณ์การแลกเปลี่ยนไอออนของดิน โดยการเทสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต (NH_4SO_4) ผ่านดิน ดินจะจับแอมโมเนียไว้และได้แคลเซียมซัลเฟตแทนที่ ดังสมการ



ต่อมาได้มีการใช้สารจำพวกซีโอไลต์ (Zeolite) หรือ **Sodium aluminosilicate** ซึ่งเป็นแร่บางชนิดที่อยู่ในดินเป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนได้ จนปี ค.ศ. 1905 นักเคมีชาวอังกฤษ ชื่อ Gans ได้สังเคราะห์ Zeolite เป็นผลสำเร็จ ทำให้ราคาซื้อขายต่ำลงและใช้กันอย่างแพร่หลายในขณะนั้นแม้ในปัจจุบันจะเลิกใช้แล้วก็ยังเรียกชื่ออื่นที่ทำหน้าที่เดียวกันว่า **ซีโอไลต์**



Z = Zeolite

ในปี ค.ศ. 1935 นักเคมีชาวอังกฤษชื่อ Adams และ Holms สามารถสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ที่มีสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนได้และมีการพัฒนาโดยมีการค้นพบวิธีการควบแน่นระหว่างสไตรีน (Styrene) โดย Divinylbenzene (DVB) เป็นตัวจับระหว่างโพลีสไตรีนเรียกว่า Crosslinkage เกิดเป็น “เรซิน (Resin)” ซึ่งมีเม็ดค่อนข้างกลม

ปริมาณร้อยละของ DVB ที่มีอยู่ในเรซิน เรียกว่า Crosslinkage เรซินเมื่อแช่อยู่ในน้ำจะมีรูเล็ก ๆ เป็นโพรงอยู่ภายในมากมาย ไอออนจะแพร่เข้าไปสู่ภายในเรซินตามรูเล็ก ๆ เหล่านี้ ถ้ามีค่าเปอร์เซ็นต์ DVB สูงก็จะมีขนาดของรูเล็ก



โครงสร้างเรซิน (Matrix)

อาจแบ่งตามลักษณะทางกายภาพได้ 3 ลักษณะ คือ

1. Gel Type(เจลใส) มีลักษณะนี้มัลลายวุ่นสามารถบรรจุ Functional Group ได้มากแต่มีรูพรุน ขนาดเล็กและถี่มาก (เป็น Membrane) ข้อเสียคือ เกิดการอุดตันได้ง่ายโดย เฉพาะถ้าเป็น Strong Anion

2. Macroporous Type มีความพรุนมากกว่าคือมีพื้นที่ผิวมากถึง $100 \text{ m}^2/\text{g}$ ทำให้ไม่ค่อยอุดตันโดย Polystyrene divinylbenzene copolymer จะมีโครงสร้างเชื่อมขวางของ DVB 8-12% โดยทั่วไปถ้า %DVB น้อย การบวมตัว การหดตัวจะมีมาก การวิ่งเข้าออกของไอออนผ่านเรซินจะสะดวกแต่ความแข็งแรงก็จะน้อยลง

3. Opaque Gel(เจลทึบแสง) มีโครงสร้างที่แข็งแรง แต่ก็สามารถรับ Functional Group และยึดหดตัวได้มากพอสมควร



การทำน้ำอ่อน (Softening)

ระบบขจัดไอออนประจุบวกบางชนิดเท่านั้นที่ใช้งานกันมาก คือ การกำจัดความกระด้างเพื่อผลิตน้ำอ่อน วิธีการทำน้ำอ่อนจะใช้เรซินจำพวกกรดแก่ (strong acid cation resin) และล้างฟื้นฟูประสิทธิภาพ (regenerate) ด้วยน้ำเกลือแกง (NaCl)

แม้ว่าจะเป็นชนิดประจุบวกกรดแก่ แต่ที่นิยมเรียกกันว่า ซีโอไลต์ (Zeolite) หรือโซเดียมซีโอไลต์ (Sodium Zeolite) ที่เรียกเช่นนี้เนื่องจากในสมัยก่อนการกำจัดความกระด้างใช้ทรายเขียว (Green Sand) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของ Alumino Silicate และเรียกว่าซีโอไลต์กำจัดความกระด้าง



เรซินชนิดประจุบวก-กรดแก่ (Strong Acid Cation Resin)

มี Functional Group เป็น *Sulfonic acid* มีไอออนประจำตัวคือ



เรซินแบบประจุบวก-กรดแก่ เป็นเรซินที่มีการใช้งานมากที่สุดใน

จำพวกเรซินประจุบวก ปกติจะอยู่ในรูปของ

- เกลือโซเดียม ($\text{R-SO}_3\text{Na}_2$) หรือเรียกว่า **Sodium form**
- ในรูปของ H^+ ($\text{R-SO}_3\text{H}_2$) หรือเรียกว่า **Hydrogen form**

รูปแบบเรซินประจุบวก-กรดแก่ (Strong Acid Cation Resin)

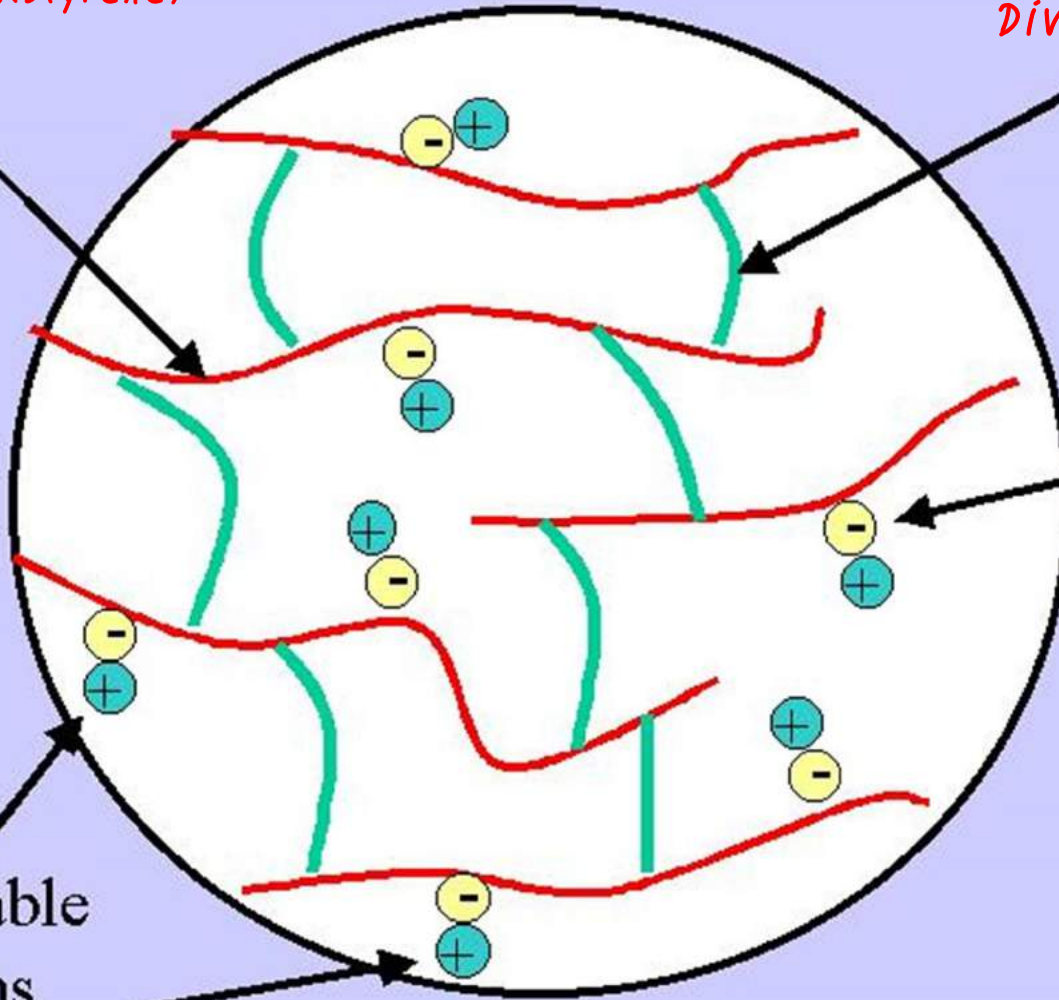
- ในรูปของ H^+ ($\text{R-SO}_3\text{H}_2$) หรือเรียกว่า Hydrogen form สามารถใช้ในการจับไอออนประจุบวกทั้งหมด
- ในรูปของ Na^+ ($\text{R-SO}_3\text{Na}_2$) หรือเรียกว่า Sodium form สามารถใช้ในการจับไอออนของความกระด้างเพื่อทำน้ำอ่อน (Softening) แต่เพียงอย่างเดียว ลำดับความยากง่ายในการถูกจับสำหรับไอออนประจุบวกมีดังนี้ $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+$ (เกลือที่มีประจุสูงจะทำการแลกเปลี่ยนก่อนเกลือที่มีประจุต่ำกว่า และสารที่มีน้ำหนักอะตอมมากกว่าจะแลกเปลี่ยนก่อนสารที่มี น้ำหนักอะตอมน้อยกว่า)

Polymer
chains สไตรีน(styrene)

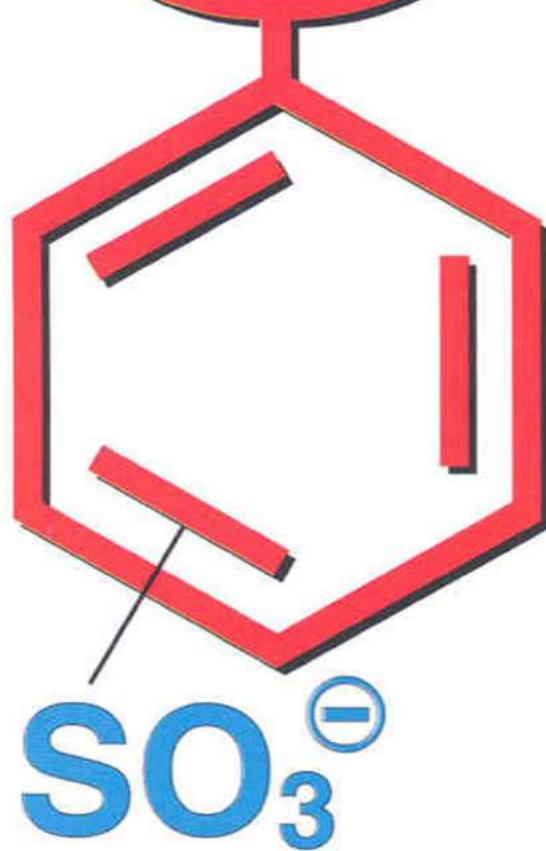
Cross-links
Divinylbenzene (DVB)

Fixed resin
functional groups

Exchangeable
Counterions



Strongly acidic cation exchange resin*



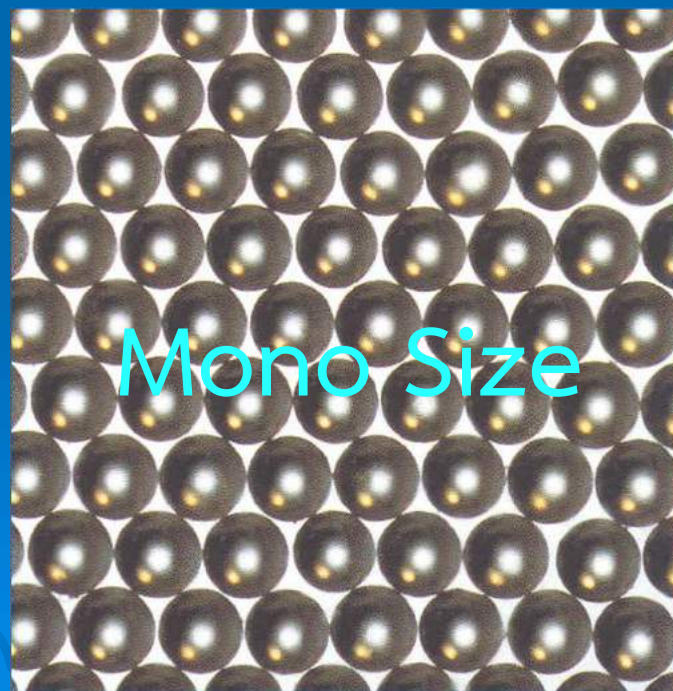
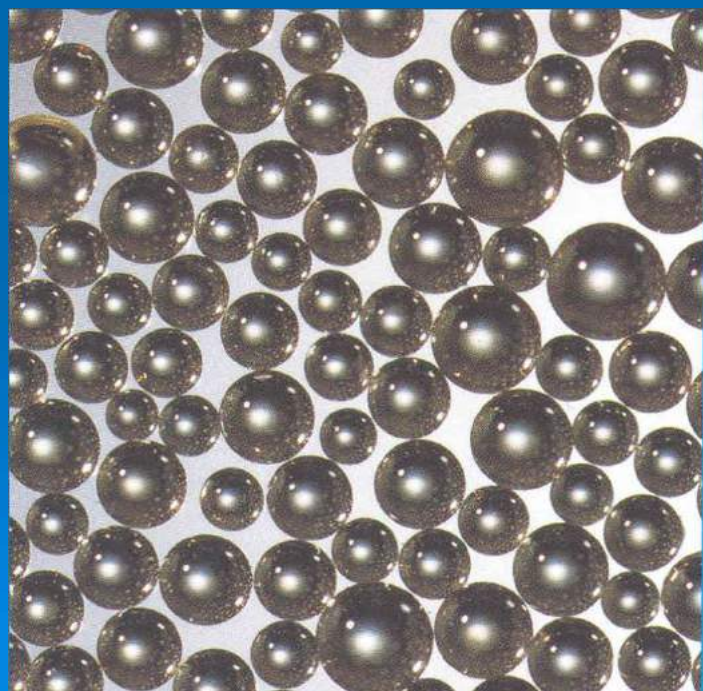
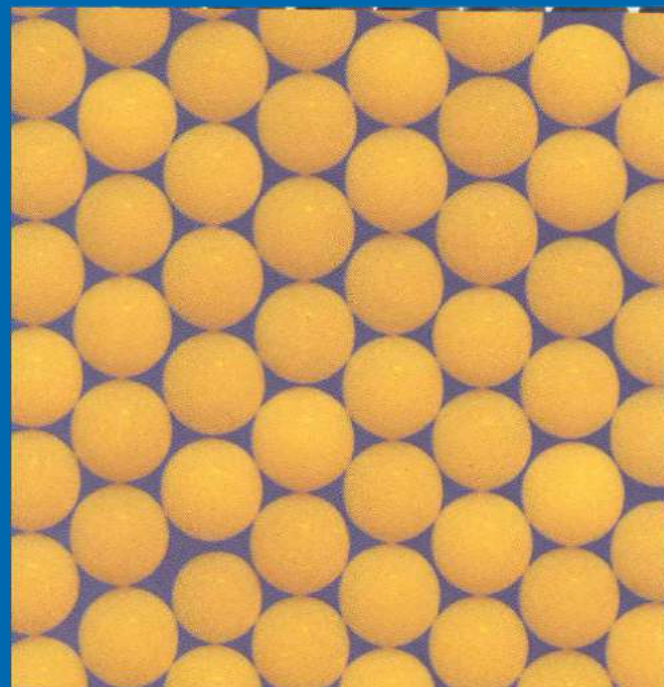


The image shows two large, clear plastic bags of water filter media. The bag on the left is filled with a dark, granular substance and has a label that reads 'CARBON'. The bag on the right is filled with a lighter, yellowish-brown granular substance and has a label that reads 'SOFTENER'. Both bags are sealed and appear to be new. The background is a blue, textured surface.

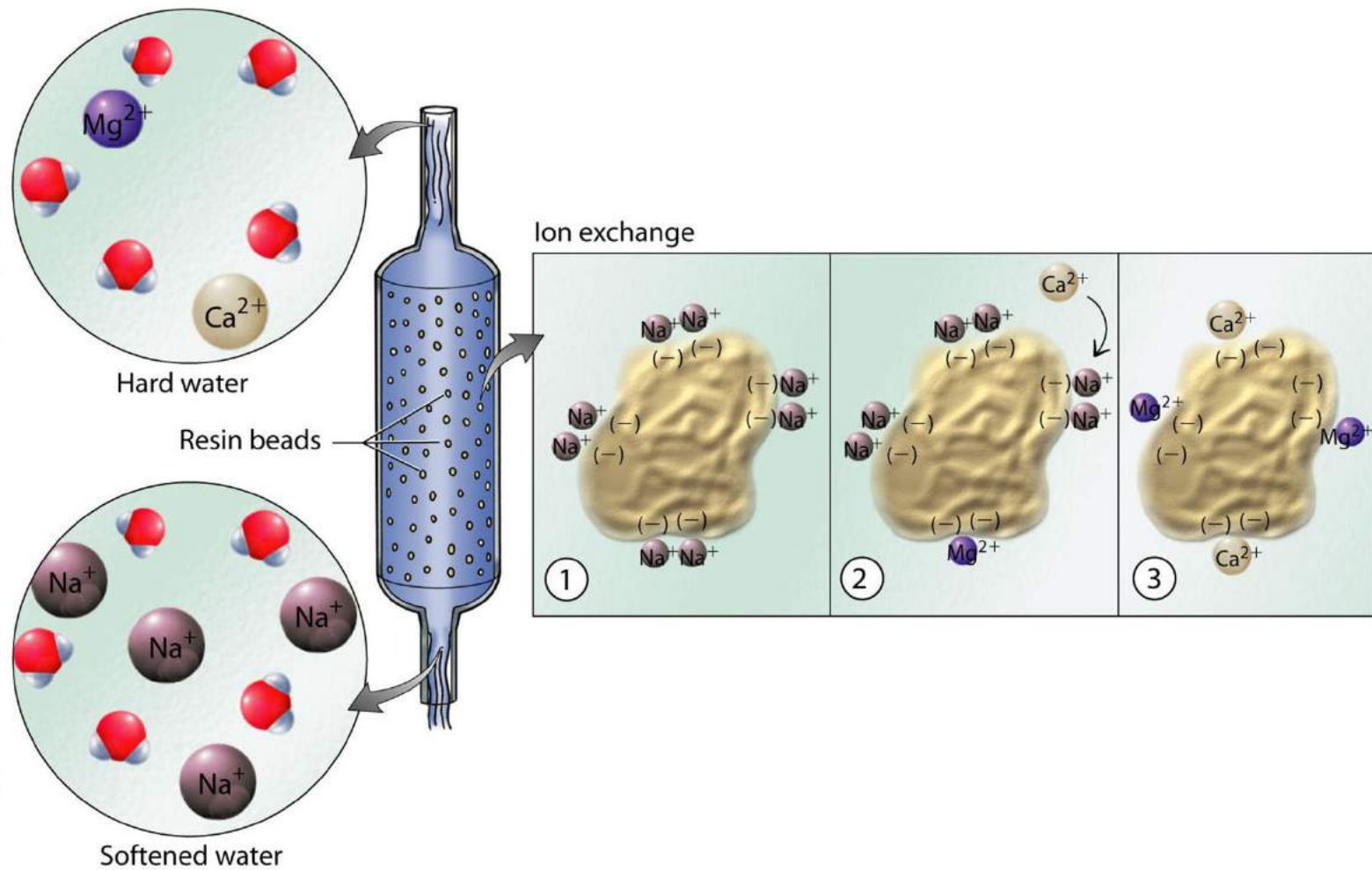
CARBON

SOFTENER



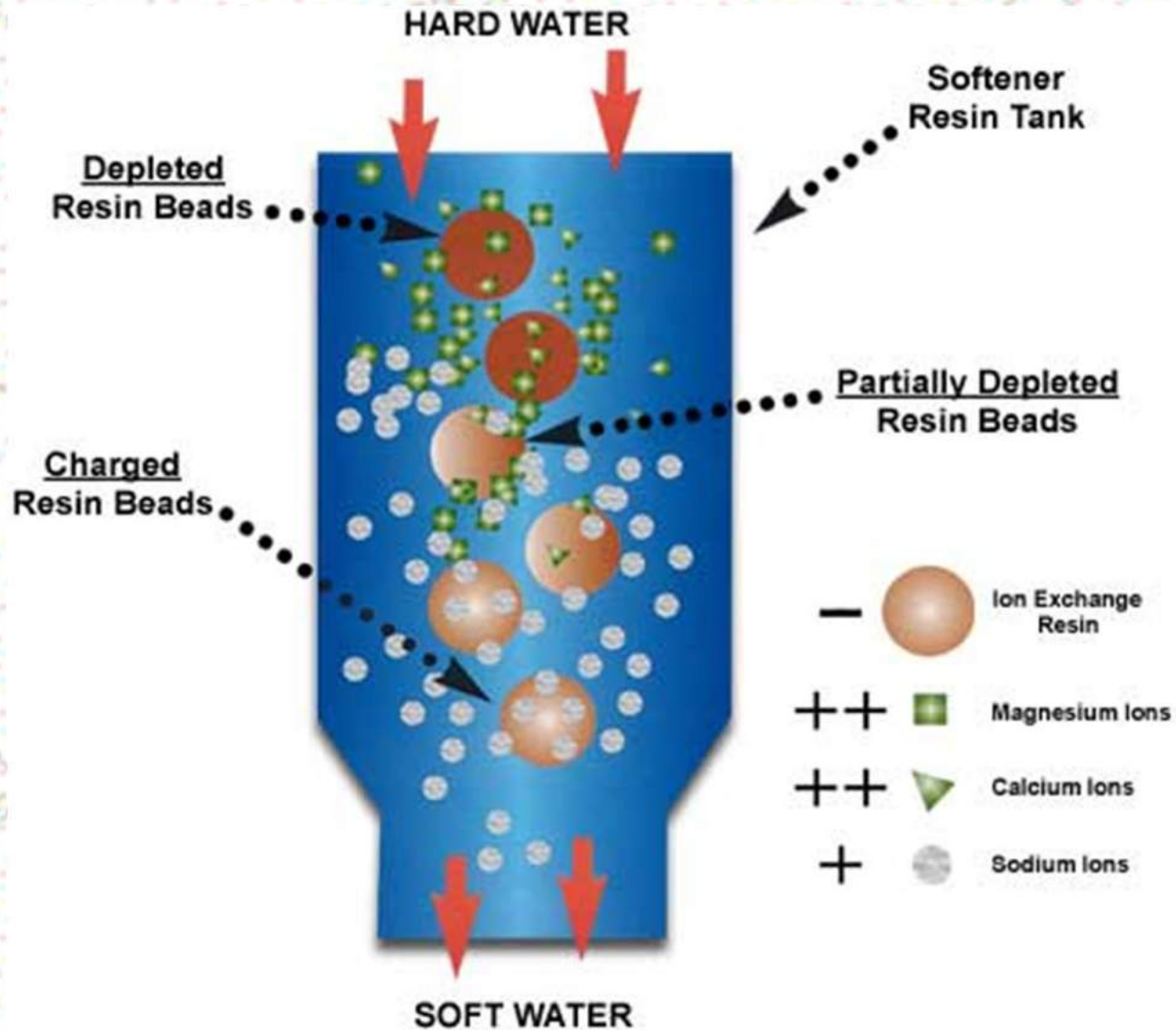


Ion-Exchange Exchanging for the cations



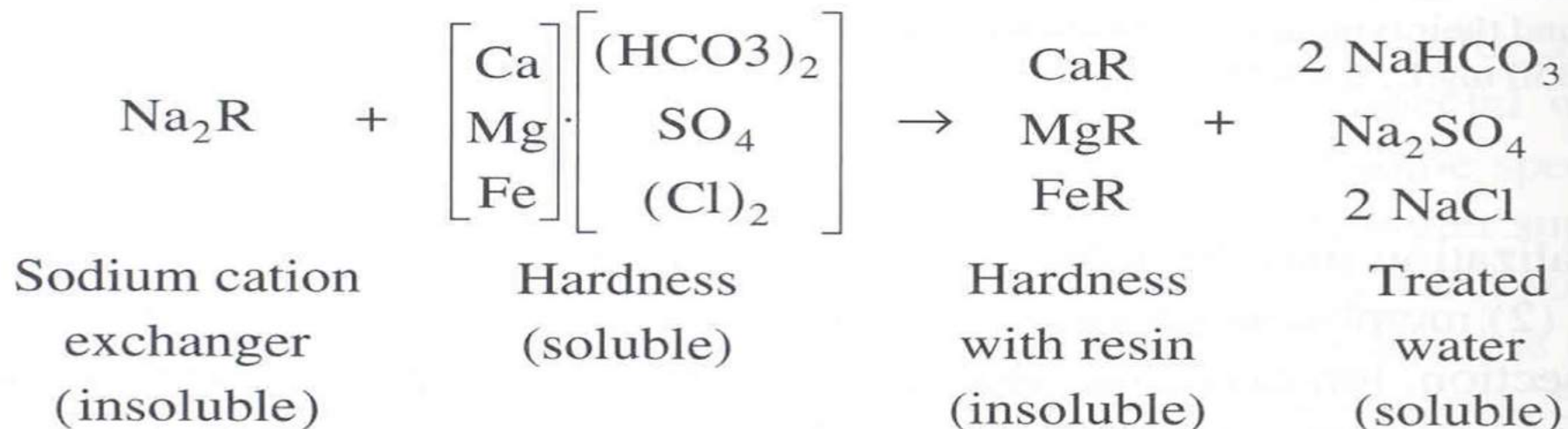
From *Conceptual Chemistry*, Second Edition by John Suchocki. Copyright © 2004 Benjamin Cummings, a division of Pearson Education.

Ion Exchange

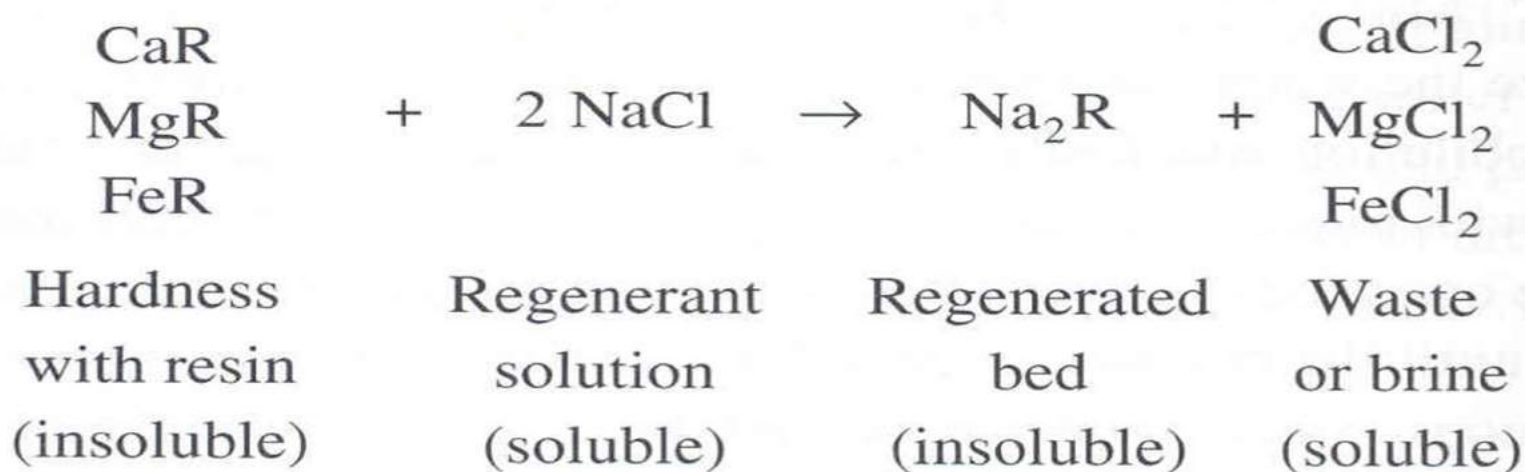


Sodium Cation Exchanger

Softening:



Regeneration:



ข้อดี - ข้อเสียของเรซินแบบกรดแก่ (Strong Acid Cation Resin)

ข้อดี

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



ข้อดี - ข้อเสียของเรซินแบบกรดแก่ (Strong Acid Cation Resin)

ข้อเสีย

1. มีประสิทธิภาพในการ regeneration ต่ำประมาณ 25 - 45 %
ทำให้สิ้นเปลืองสารเคมีในการรีเจนอเรชั่น



ข้อดีของการใช้เรซินทำน้ำอ่อน

1. สามารถผลิตน้ำที่มีความกระด้างน้อยกว่า 2 พีพีเอ็ม
ในรูป CaCO_3
2. การใช้งานควบคุมง่าย สามารถติดตั้งระบบการล้าง
เรซินเป็นแบบอัตโนมัติได้
3. การล้างเรซินเพื่อฟื้นฟูประสิทธิภาพนั้น ใช้เกลือซึ่งหา
ได้ง่ายและมีราคาถูก
4. ไม่มีปัญหาเรื่องการบำบัดน้ำทิ้ง



ข้อดีของการใช้เรซินทำน้ำอ่อน

5. การเปลี่ยนแปลงหรือความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำในช่วงหนึ่งจะมีผลกระทบกระเทือนต่อคุณภาพน้ำที่ได้น้อยมาก

6. ไม่ว่าจะเป็นเครื่องทำน้ำอ่อนที่มีขนาดใหญ่หรือเล็กสามารถใช้งานให้ได้ประสิทธิภาพสูงได้ จึงทำให้สะดวกในการใช้งานแทบทุกขนาด

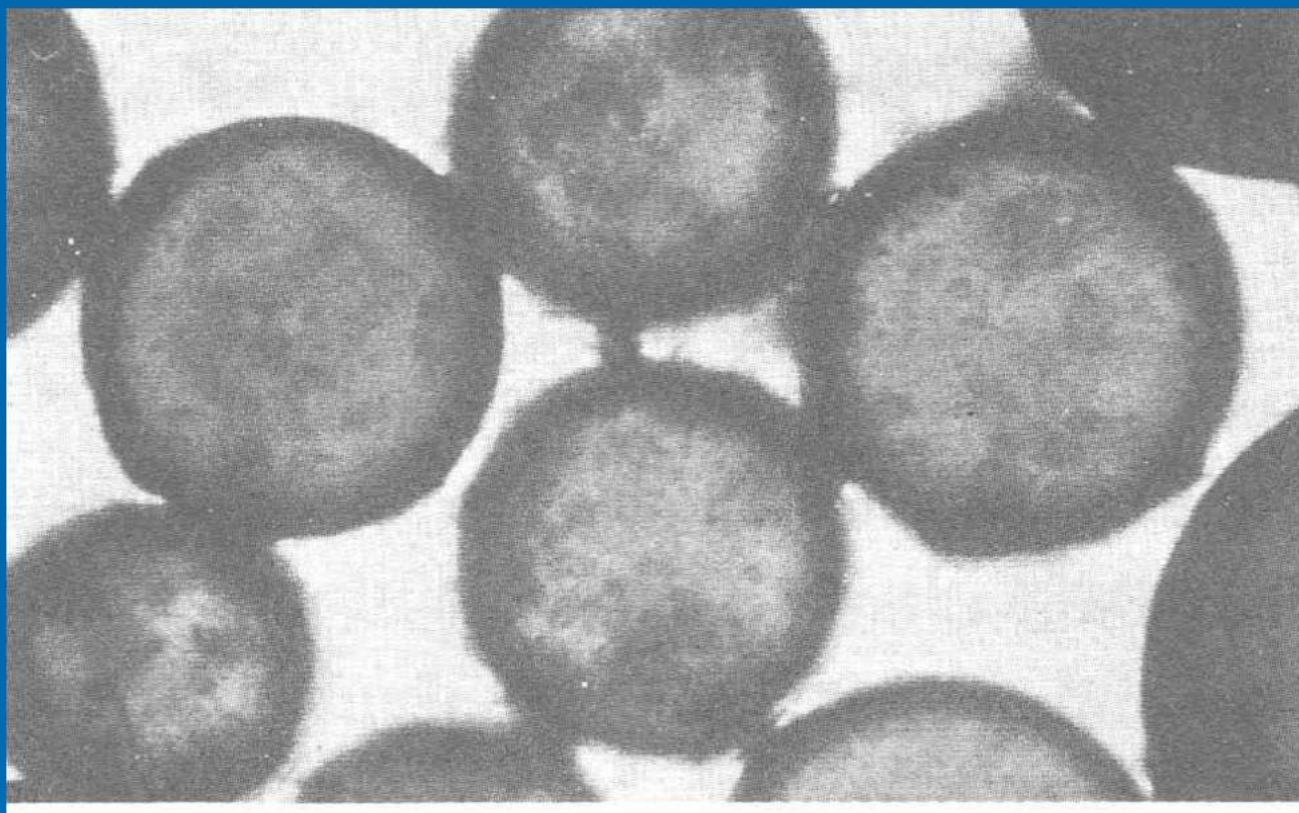


ข้อจำกัดของเครื่องทำน้ำอุ่นมีดังนี้

1. ขจัดได้เฉพาะความกระด้างแคลเซียมและแมกนีเซียมเท่านั้น
2. น้ำดิบที่เข้าเครื่องทำน้ำอุ่นต้องมีความขุ่นต่ำกว่า 1 NTU ถ้าความขุ่นน้ำดิบสูงประสิทธิภาพของเรซินในการกำจัดความกระด้างจะลดลง
3. น้ำดิบที่ผ่านจากระบวนการที่ใช้สารส้มในการตกตะกอน ต้องระมัดระวังอย่าให้มีปริมาณอะลูมิเนียมไอออนมากเกินไปจนก่อให้เกิดโรคเพราะจะไปทำลายเม็ดเรซิน ถ้ามีการใช้สารส้มก่อนหน้าเข้าเครื่องทำน้ำอุ่นจะต้องมีการควบคุมค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่กำหนดอย่างเข้มงวดเพื่อให้เครื่องทำน้ำอุ่นมีประสิทธิภาพสูง

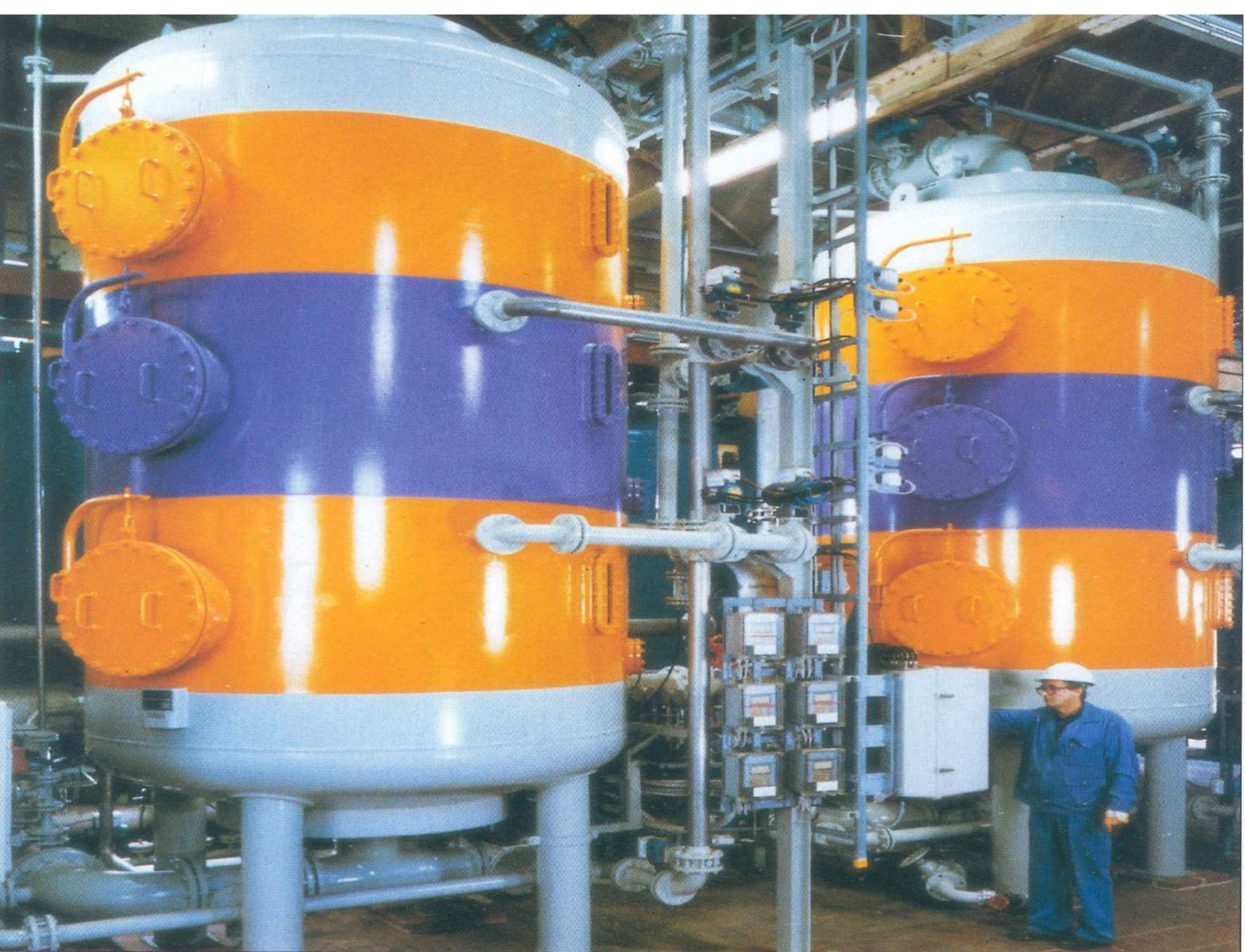
ข้อจำกัดของเครื่องทำน้ำอ่อนมีดังนี้

4. ปริมาณเหล็กในน้ำดิบไม่ควรเกิน 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร เพราะจะทำให้ลายเม็ดเรซินโดยแทรกตัวเข้าไปอยู่ในเนื้อของเม็ดเรซิน ถ้าพบว่ามีเหล็กหรือโลหะอื่นอยู่มาก ต้องขจัดออกก่อนเข้าเครื่องทำน้ำอ่อน
5. ถ้าในน้ำมีสารที่ทำหน้าที่เป็นสารออกซิไดซ์อย่างรุนแรง เช่น **คลอรีน** จะไปออกซิไดซ์ทำลายเม็ดเรซินได้ ต้องใส่สารที่มีคุณสมบัติในการรีดิวส์ เช่น โซเดียมซัลไฟต์ เพื่อไปทำลายคลอรีน



• Š' w Š ± % ť € Ž | © © Ž w | ± š v μ ø Ž Š





Single Softener with Timer Control model ZGE



ความสามารถในการจับไอออนของเรซิน

กำลังความสามารถในการจับไอออนของเรซิน คือ **Exchange Capacity** หมายถึง ปริมาณไอออนที่เรซินแลกมาจากน้ำ (มักมีหน่วยสมมูล หรือ วัดในหน่วยกิโมลเกรนของหินปูน) ต่อหน่วยปริมาตรของเรซิน หน่วยแสดงขีดความสามารถของเรซิน จึงอาจเป็นได้หลายแบบดังนี้

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

1 grain = 0.065 gram

1 gallon = 3.785 liter

1 grain/gallon = 0.0171 gram/liter = 17.1 milligram/liter



General Description			Cation Exchangers							
			Weak Acid		Strong Acid					
			Macroporous		Gel			Macroporous		
			CNP 80 WS		S 100 WS			SP 112 WS		
Ionic form, as shipped			H ⁺		Na ⁺			Na ⁺		
Functional group			carboxylic acid		sulphonic acid			sulphonic acid		
Matrix			crosslinked polyacrylate		crosslinked polystyrene			crosslinked polystyrene		
Structure			macroporous		gelular			macroporous		
Appearance			white/yellow, opaque		light brown, translucent			beige, opaque		
Physical and Chemical Properties										
Bead size min. 90 %			mm	0.4 – 1.60		0.4 – 1.25			0.4 – 1.25	
Effective size			mm	0.53 (± 0.05)		0.55 (± 0.05)			0.55 (± 0.05)	
Uniformity coefficient			max.	1.8		1.6			1.7	
Bulk weight (± 5 %)			g / L	750		850			840	
Density			approx. g / ml	1.19		1.29			1.27	
Water retention			% wt.	45 – 50		45 – 48			45 – 50	
Total capacity			min. eq / L	4.3		2.0			1.75	
Volume change			approx. %	+ 7		+ 10			+ 7	
Stability	temperature range		° C	– 20 to 120		– 10 to 120			– 20 to 120	
	pH range			0 – 14		0 – 14			0 – 14	
Storability	of the product min. years			2		2			2	
	temperature range		° C	– 20 to 40		– 10 to 40			– 20 to 40	
Recommended Operating Conditions										
Operating temperature			max. ° C	75		120			120	
Operating pH range				5 – 14		0 – 14			0 – 14	
Bed depth			min. mm	600		800			800	
Pressure loss (15 °C) per m / h			approx. kPa / m	1.1		1.1			1.1	
Pressure loss			max. kPa	250		150			250	
Flow velocity	exhaustion		max. m / h	50		50			50	
	backwash (20 °C)		m/h	12 – 14		14 – 18			14 – 18	
Regenerant type				HCl	H ₂ SO ₄	HCl	H ₂ SO ₄	NaCl	HCl	H ₂ SO ₄
Counter current	level		approx. g/L	70		50			55	
	concentration		%	3 – 6		4 – 6			4 – 6	
Flow velocity	regeneration		m/h	5 – 20		5			5	
	rinsing		m/h	5 – 20		5			5	
Rinse water requirement			BV	3.5		2.5			2.5	
Bed expansion (20 °C)			per m/h %	4		3.5			3.5	
Freeboard (as % of resin vol.)			%	60 – 80		60 – 80			60 – 80	

Design Criteria for Resin Regeneration

1. เวลาที่ใช้ในการ regeneration resin ที่ 40 นาที
(Design Criteria = 30 – 60 นาที)
2. ความเข้มข้นเกลือที่ใช้ในการ Regeneration = 10 %
(Design Criteria = 8 – 10 %)
3. ปริมาตรเกลือแกงที่ใช้ Regeneration : Design Criteria
= 2 – 7 BV(BED VOLUME ของเรซินหน่วยลิตร)
4. อัตราการไหลของน้ำเกลือ = 0.1BV ลิตร/นาที

การทำให้เรซินอ่อนแรงขึ้น หมายถึง การทำให้เรซินที่หมดอำนาจไปแล้วกลับฟื้นตัวขึ้นมามีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนอีก

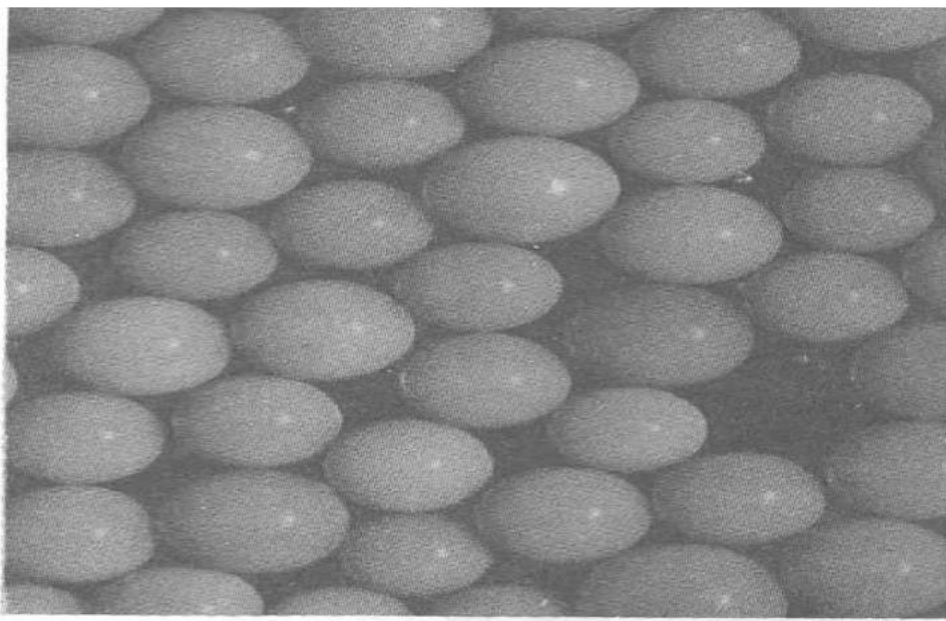
ประเภทของเรซิน	Exchange Capacity (eq/l)		Regenerant Ratio
	Total (Max)	Working	
กรดอ่อน	3.2	0.9-1.8	1.05-1.10
ด่างอ่อน	2.5	0.7-0.9	1.3-1.4
กรดแก่	2	0.6-0.9	1.8-3.0
ด่างแก่ ประเภท 1	1.3	0.4-0.6	1.8-3.0
ประเภท 2	1.4	0.5-0.7	1.6-2.5

วัฏจักรการทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน

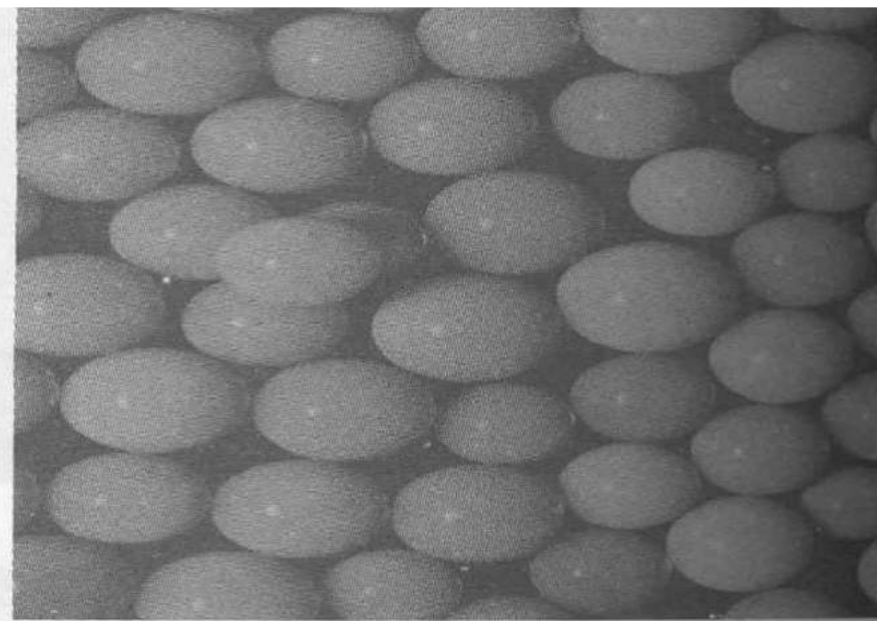
ระบบแลกเปลี่ยนไอออนอาจทำงานแบบทีละเท (Batch) หรือแบบต่อเนื่อง(Continuous) วัฏจักรการทำงานของเรซินมี 4 ขั้นตอนต่อเนื่องกันดังนี้

1. การแลกเปลี่ยนไอออน (Service)
2. การล้างย้อน (Backwash)
3. การรีเจนเนอเรชั่น (Regeneration)
4. การชะล้าง (Rinse)

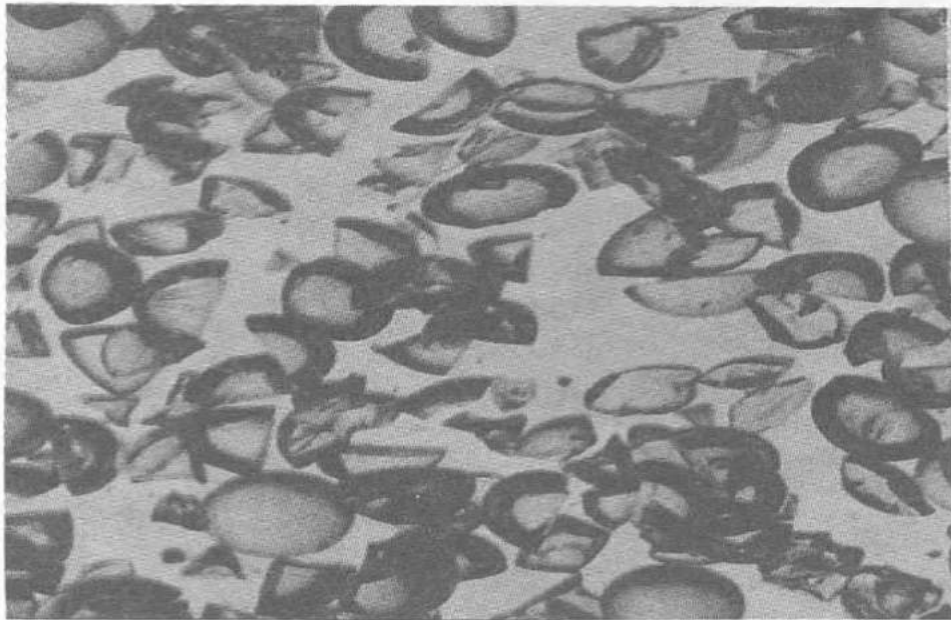




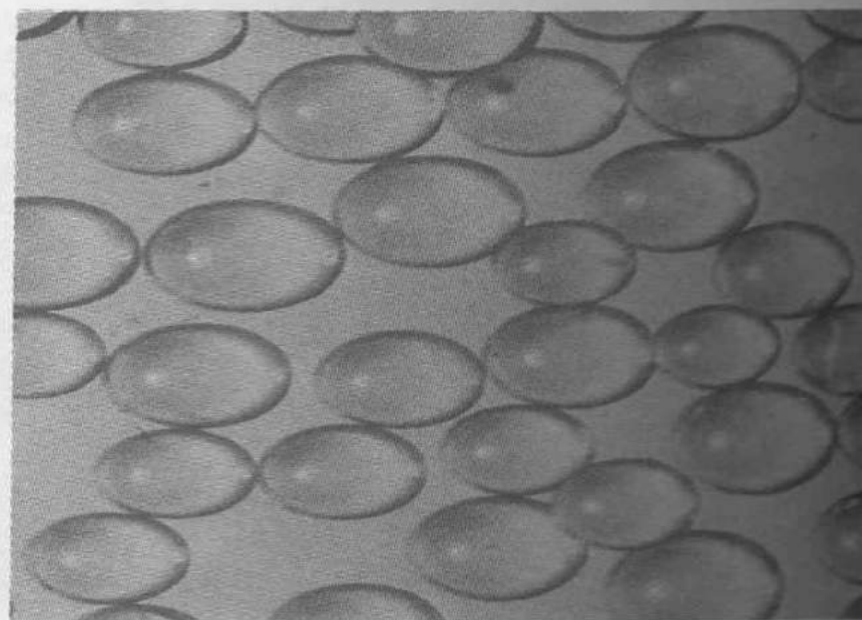
ก่อนใช้งาน



ก่อนใช้งาน



หลังใช้งาน



หลังใช้งาน

ความคงทนต่อการใช้งานของเม็ดเรซินชนิดเจล

ความคงทนต่อการใช้งานของเม็ดเรซินชนิด
Macroreticular

œ ſ Œ ¼ ſ ~ a ± } Ž & Ž ¢ & ~ X • þ Ź ¢ ¢ • š ˇ ž ^ ¥ y €



v ſ ~ Œ ¾ ſ ~ a ± } Ž & Ž ¢ & ~ X • þ Ź ¢ ¢ •

เป็นการทำรีเจนเนอเรชันที่มีทิศทางเดียวกับการแลกเปลี่ยนไอออน

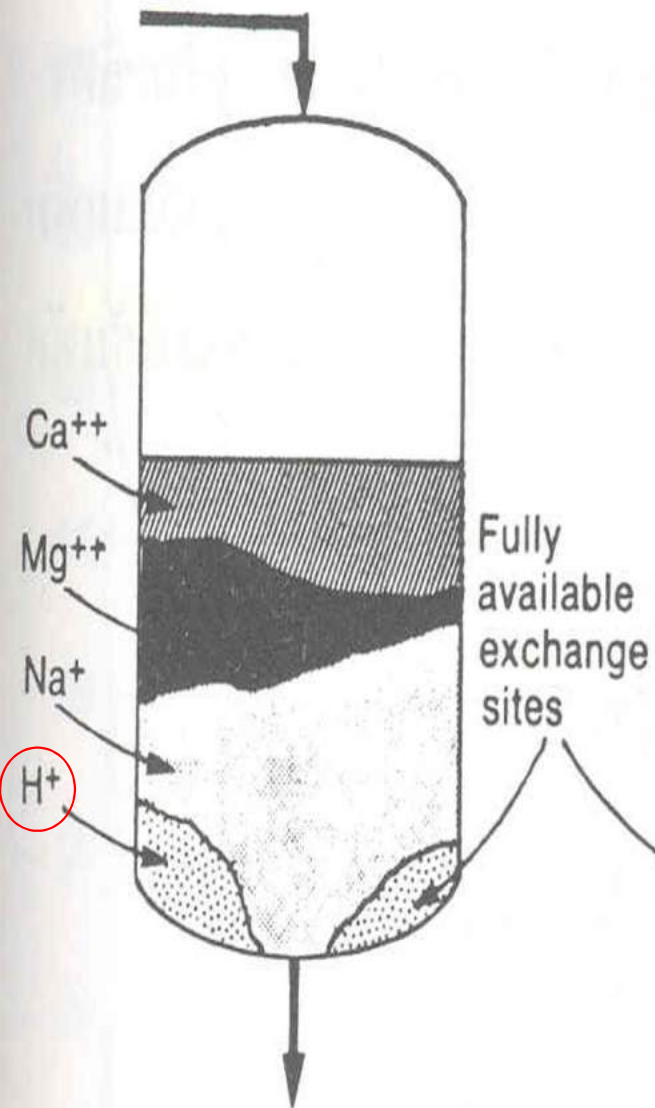
v ſ ~ Œ ¾ ſ ~ a ± } Ž ± Ž & ¢ ¢ X • Q Ź ¢ ¢ •

5 H J H Q H U D W L R Q

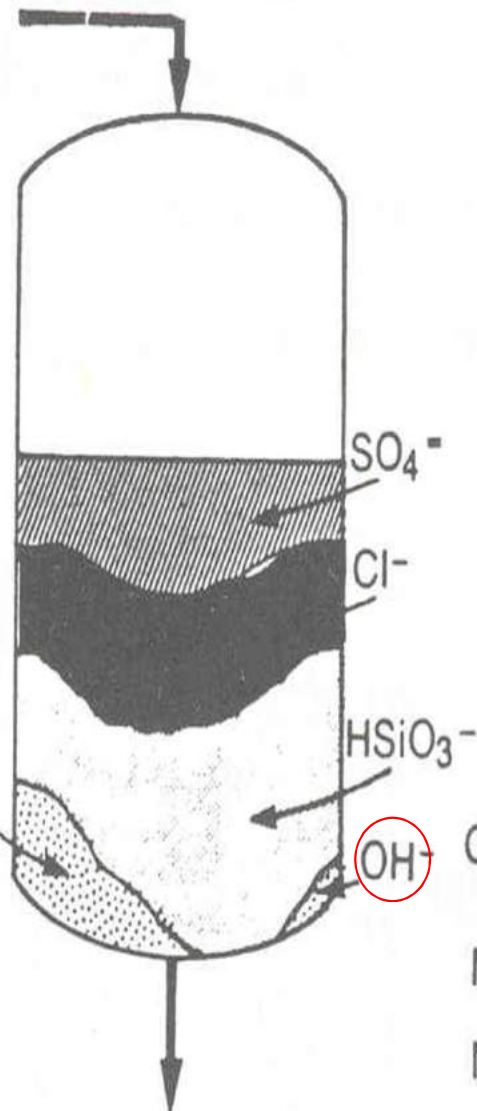
เป็นการทำรีเจนเนอเรชันที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับการแลกเปลี่ยนไอออน

(ก) End of Service Run

Cation Exchanger

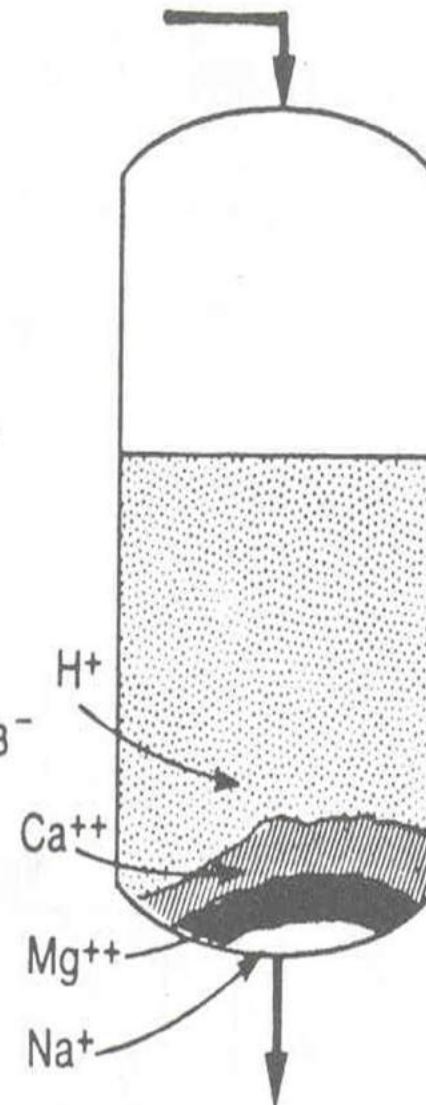


Anion Exchanger

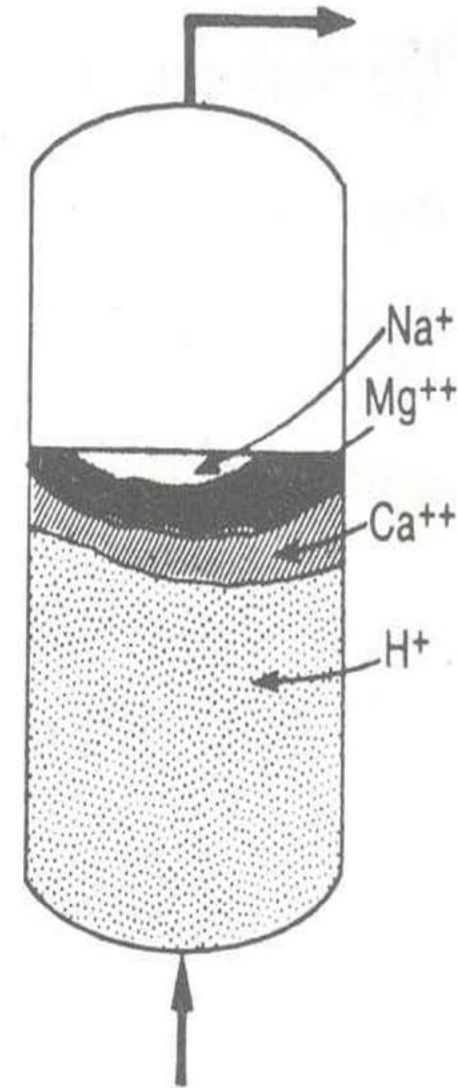


End of Cation-exchanger Regeneration

(ข) Cocurrent



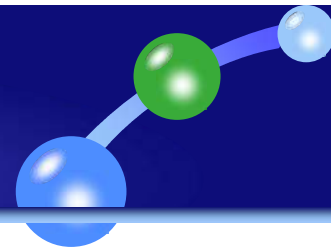
(ค) Countercurrent



ลักษณะของชั้นเรซินในถังเมื่อจับอออนจนเต็มหมด

ลักษณะของชั้นเรซินในถังหลังจากล้างเรซินแบบไหลตาม
กันและไหลสวนทาง

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 และเรซินแบบต่างแก่หรืออ่อน (ใช้ 2 ถังแยกกันหรือผสมกัน ในถังเดียวกันก็ได้)	กรดเกลือหรือกรดกำมะถัน และโซดาไฟหรือแอมโมเนีย

การคำนวณปริมาตรเรซินเพื่อกำจัดความกระด้างแบบง่าย

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

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

$$2. \text{ Equivalent - Weight} = \frac{\text{Molecular Weight (M.W.)}}{\text{Valency บวก หรือ ลบ}}$$

(น้ำหนักสมมูล)

$$3. \text{ Equivalent - Weight} = \frac{\text{Molecular Weight (M.W.)}}{\text{ค.ร.น.Valency}}$$

(น้ำหนักสมมูล)

จาก Specification ของเรซินแบบ strong acid cation แบบ Na form มีค่า Total exchange capacity ประมาณ = 2 eq/l

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

$$\begin{aligned} \text{CaCO}_3 \text{ มี Molecular Weight} &= 40.078 + 12.011 + (15.9994 \times 3) \\ &= 100 \end{aligned}$$

$$\text{CaCO}_3 \text{ มี Valency} = 2$$

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



2.

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

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

$$\text{g} = 100$$

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

Example

$$\text{Total Hardness} = A \quad \text{mg/l as CaCO}_3$$

$$= A \quad \text{g/m}^3 \text{ as CaCO}_3$$

$$\text{Raw water Flow rate} = B \quad \text{m}^3/\text{hr}$$



จากเรซิน 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 = $\frac{A}{100} \times B$ ลิตร ที่ 1 ชั่วโมง

แต่ประสิทธิภาพของเรซินมีประมาณ 50 ถึง 70%เท่านั้น ดังนั้นปริมาตรเรซินที่ใช้จริง

$$= \frac{A}{100} \times \frac{B}{\text{efficiency}}$$

ลิตร ที่ 1 ชั่วโมง



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
Resin Efficiency	=	60	%

วิธีทำ

Equation :
$$\text{Volume Resin} = \frac{A}{100} \times \frac{B}{\text{efficiency}}$$
 Liter/hr

$$\begin{aligned}\therefore \text{Volume Resin} &= \frac{120(\text{mg} / \text{l as } \text{CaCO}_3) \times 50 (\text{m}^3 / \text{hr})}{100 \times 0.60} \text{ Liter/hr} \\ &= 100 \text{ Liter/hr}\end{aligned}$$



- สมมติ operate ระบบ 10 ชั่วโมง/วัน
- ต้องการ regenerate เรซิน 15 วัน/ครั้ง

∴ ระยะเวลาการทำงานของระบบผลิตทั้งหมดจนถึง การ regenerate

$$= 10 \times 15 \quad \text{ชั่วโมง}$$

$$= 150 \quad \text{ชั่วโมง}$$

$$\text{จาก Volume Resin} = 100 \quad \text{ลิตร/ชั่วโมง}$$

$$\therefore \text{Volume Resin ที่ต้องการทั้งหมด} = 100 \times 150 \quad \text{ลิตร}$$

$$= 15,000 \quad \text{ลิตร}$$



ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณหาปริมาณเรซิน

ผลวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำดังนี้

$$\text{Na}^+ = 20 \text{ mg/l}$$

$$\text{Cl}^- = 40 \text{ mg/l}$$

$$\text{Ca}^{2+} = 15 \text{ mg/l}$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 30 \text{ mg/l}$$

$$\text{Sr}^{2+} = 2 \text{ mg/l}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 10 \text{ mg/l}$$

จงคำนวณหาความกระด้างและปริมาณเรซินที่ใช้ในการกำจัดความกระด้างทั้งหมด?

วิธีทำ

ไอออนบวกที่มีวาเลนซ์ 2 เท่านั้นที่ทำให้เกิดความกระด้าง ในที่นี้

คือ Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+}



1. Cation Equivalent weight Hardness mg/l as CaCO_3

$$\text{Ca}^{2+} \qquad \qquad 20 \qquad \qquad 15 \times \frac{50}{20} = 37.5$$

$$\text{Sr}^{2+} \qquad \qquad 43.8 \qquad \qquad 2 \times \frac{50}{43.8} = 2.3$$

$$\text{Mg}^{2+} \qquad \qquad 12.2 \qquad \qquad 10 \times \frac{50}{12.2} = 41.0$$

เพราะฉะนั้น Total Hardness = 80.8 mg/l as CaCO_3



2.

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

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

$$\text{CaCO}_3 \text{ มี Molecular Weight} = 40.078 + 12.011 + (15.9994 \times 3)$$

$$= 100$$

$$\text{CaCO}_3 \text{ มี Valency} = 2$$

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

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

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

← จากที่คำนวณ

← จากน้ำดิบ



การคำนวณหาปริมาตรเรซินให้ได้อย่างถูกต้อง ต้องมีการคำนวณปริมาตรเรซินเพื่อไว้สำหรับเตรียมสารละลายเกลือแกงและใช้ในการ Rinse แต่เนื่องจากปริมาตรน้ำดังกล่าวมีน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่ผลิตได้ใน 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 จะต้องใช้เรซิน

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

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

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

$$\begin{aligned}
 \text{เวลา 1 ชั่วโมง ผลิตน้ำได้} &= 4 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \\
 \text{ถ้า operate ระบบผลิต 10 x 15 ชั่วโมง จะผลิตน้ำได้} &= 4 \times 10 \times 15 \\
 \text{เพราะฉะนั้นจะผลิตน้ำได้} &= 600 \text{ ลูกบาศก์เมตร}
 \end{aligned}$$

$$\text{จากการผลิตน้ำ 1 ลิตร ต้องใช้เรซิน} = 9.23 \times 10^{-4} \text{ ลิตร}$$

$$\text{ถ้าต้องการผลิตน้ำให้ได้ 600x1000 ลิตรจะต้องใช้เรซิน}$$

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

$$= 553.8 \text{ ลิตร}$$

แต่ประสิทธิภาพของเรซินมีประมาณ 50 ถึง 70%เท่านั้น ดังนั้นปริมาตรเรซินที่ใช้จริง

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



www.dow.com



Deutsch | Français | Español | Português | 中文 | 日本語

Liquid Separations

Quality Water Within Your Reach

New ROSA 6.0
The best RO/NF design software just got better.



New FILMTEC[™] brackish water elements lower your cost to produce water.

FILMTEC[™] Membranes DOWEX[®] Ion Exchange Resins

PRODUCT INFORMATION

- > Products by Application and Type
- > Interactive Product Selection Guide

TECHNICAL SERVICE CENTER

- > DIRECTOR[†] Services Resin and Membrane Testing
- > Product Storage, Handling and Installation
- > System Start up and Operation
- > Troubleshooting Guide

DESIGN CENTER

- > Designing a Reverse Osmosis System
- > Designing an Ion Exchange Resin System

News About Us Related Links Contact Us Site Map What's New Periodic Table MSDS

DOWNLOAD ROSA | DOWNLOAD FTNORM | LITERATURE | GLOSSARY | FAQ | ISO 9000 | REQUEST A SAMPLE

be the first to know
subscribe to our online newsletter

Dow Liquid Separations provides FILMTEC[™] reverse osmosis membranes and DOWEX[®] ion exchange resins to meet global needs for water treatment, as well as specialized applications in industries including pharmaceuticals, fine chemicals, chemical processing, mining, catalysts, sweeteners, beverage and dairy processing, and more.



Cadix

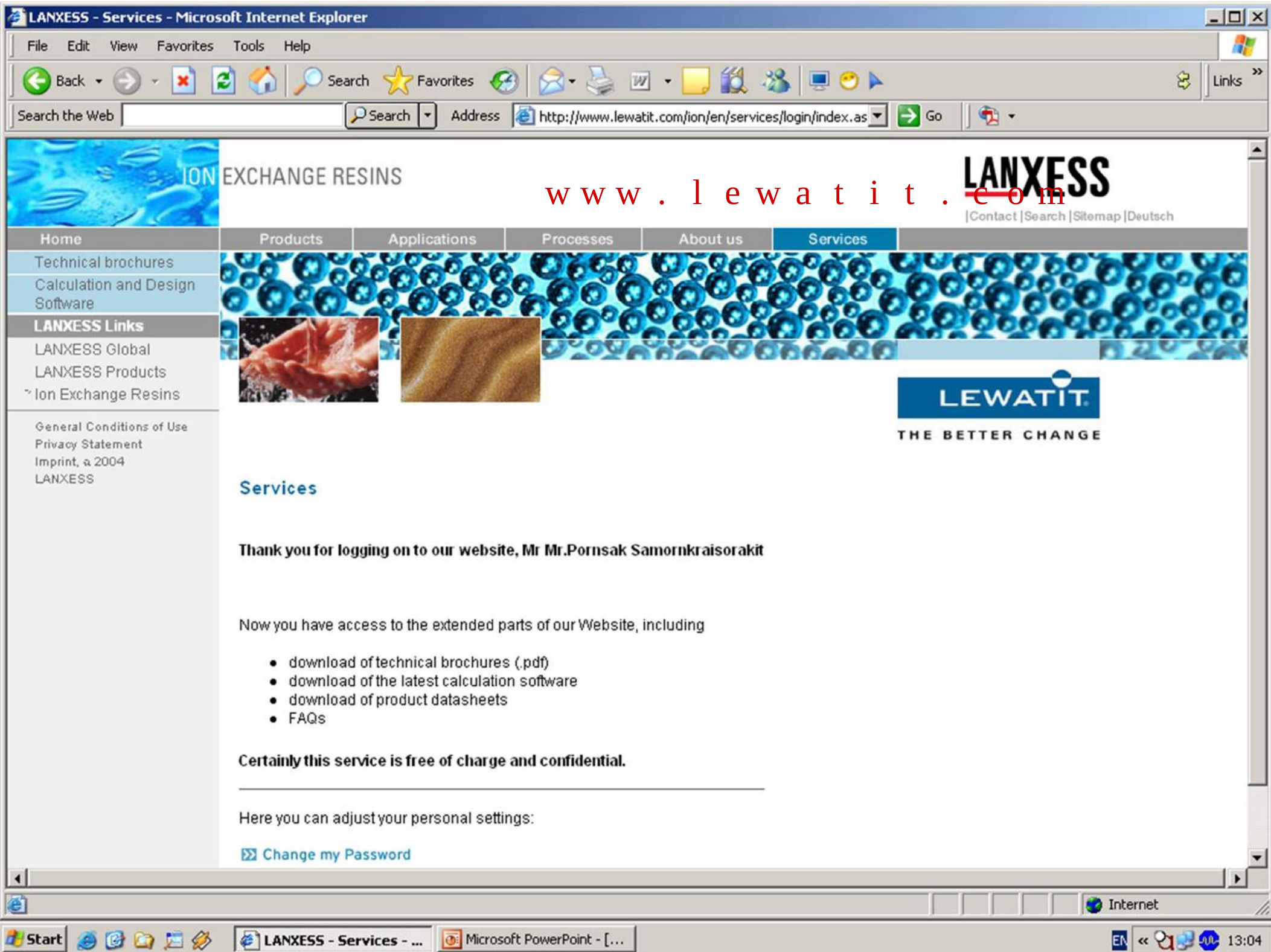
Computer Assisted Design for Ion eXchange systems

Welcome to the C A D I X software prepared to help you design water treatment plants with DOWEX Ion Exchange Resins. The Engineers of the DOW LIQUID SEPARATION's technical department are at your disposal if you need help with the use of this software.

Contact your local DOW representative.

Ok

DOWEX, MONOSPHERE, MARATHON and UPCORE are trademarks of The DOW Chemical Company.





the AmberEdge™

potable water treatment



- Ion Exchange in Potable Water
- Applications
- Products
- Advanced Amberpack Municipal Systems
- Sizing & Costing Services
- Request for information

Rohm and Haas Company manufactures a family of purified resins specifically designed for the purification of potable water for both point-of-use and municipal use. Applications include: **boron removal**, **dealkalization**, lead removal, **nitrate removal**, and TOC removal.

[USFilter lands West Coast perchlorate deal](#)

→ Rohm and Haas Company Overview

Search



Ion Exchange Resins

Copyright©2004 Rohm and Haas Company All rights reserved
[Terms and Conditions of Website Use and Privacy Statement](#)

www.amberedge.com







Q

uestions ?

Thank You !