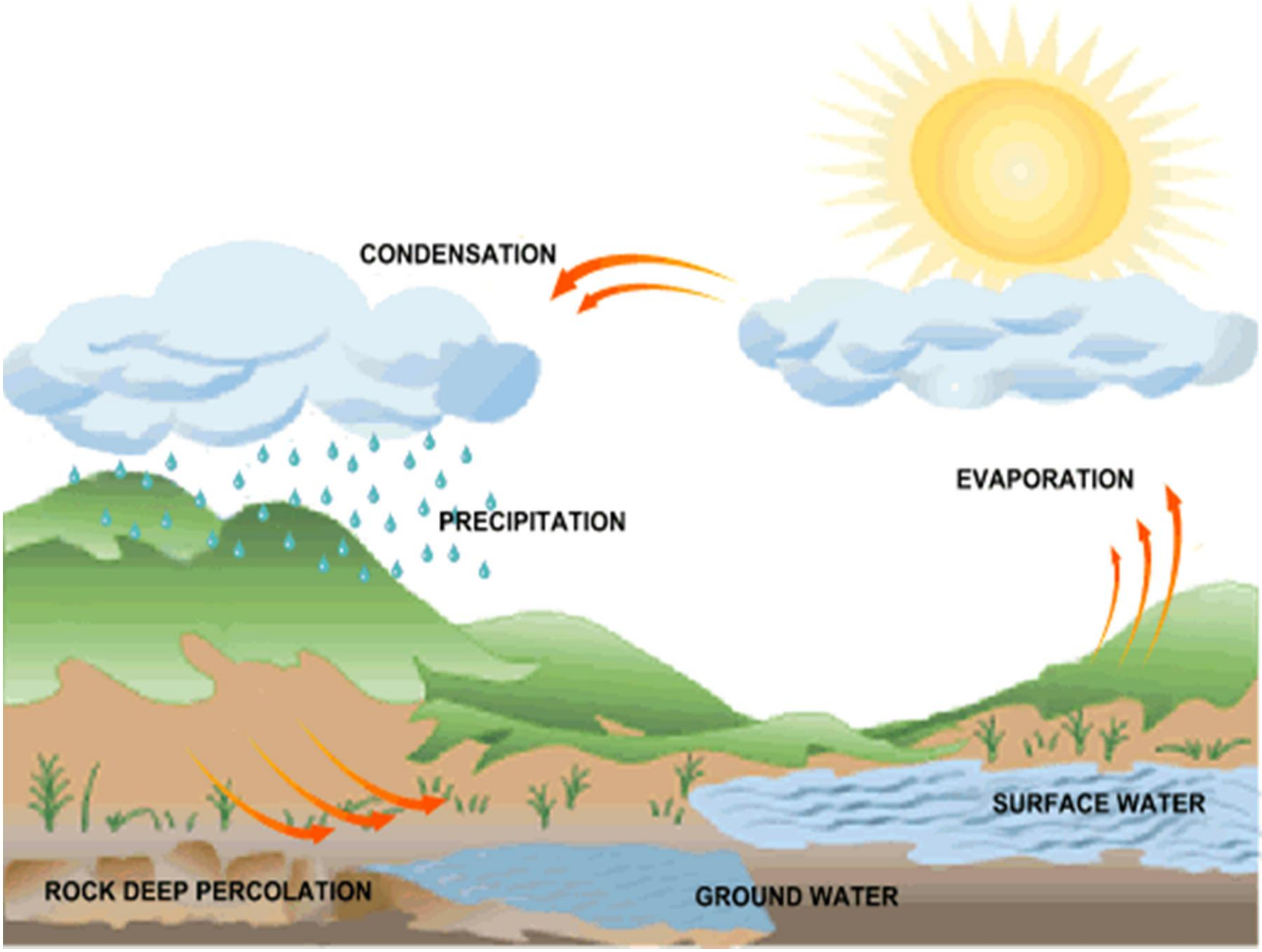
การกำจัดความกระด้างในน้ำ

Hardness Removal

นายพรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ

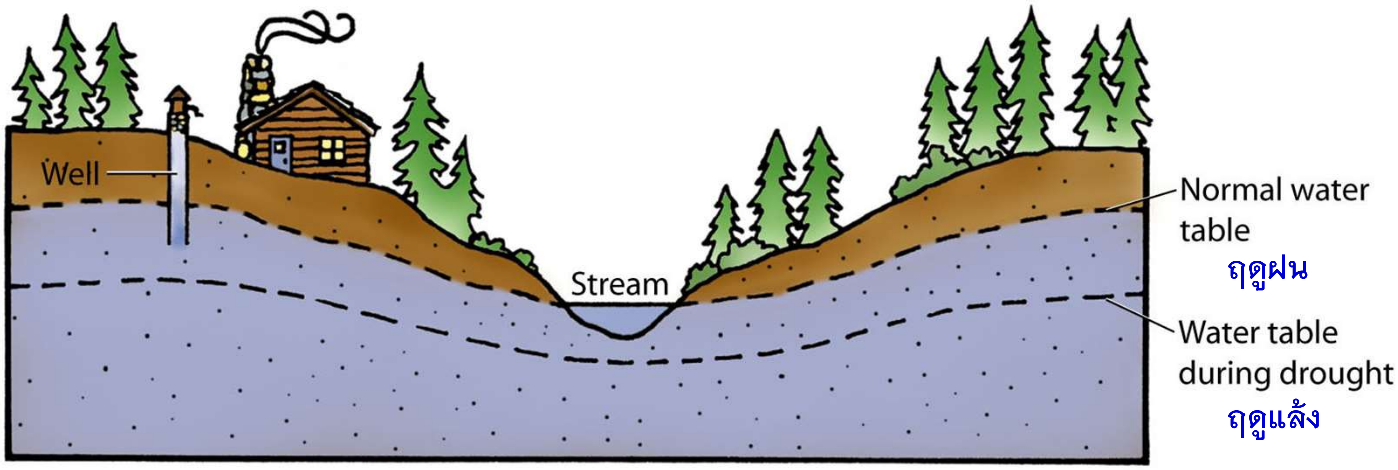
ผู้อำนวยการฝ่ายโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

สิงหาคม 2565



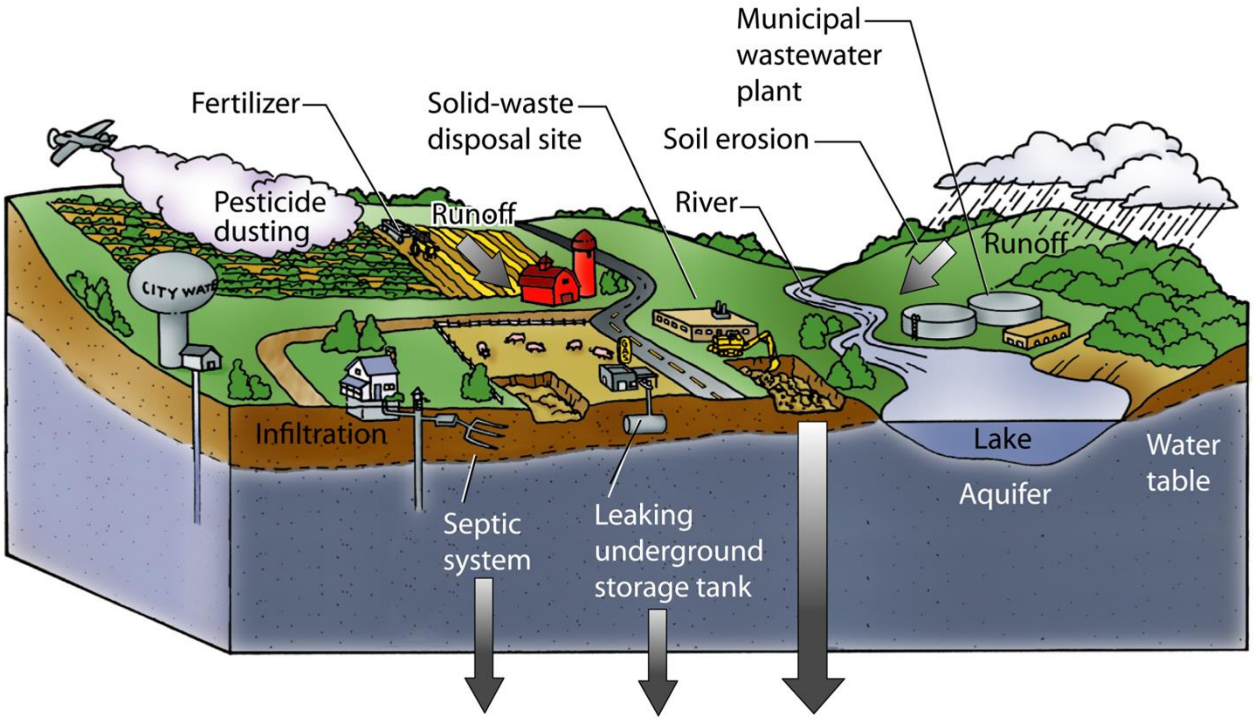
MAHASAWAT TEAM

Ground water



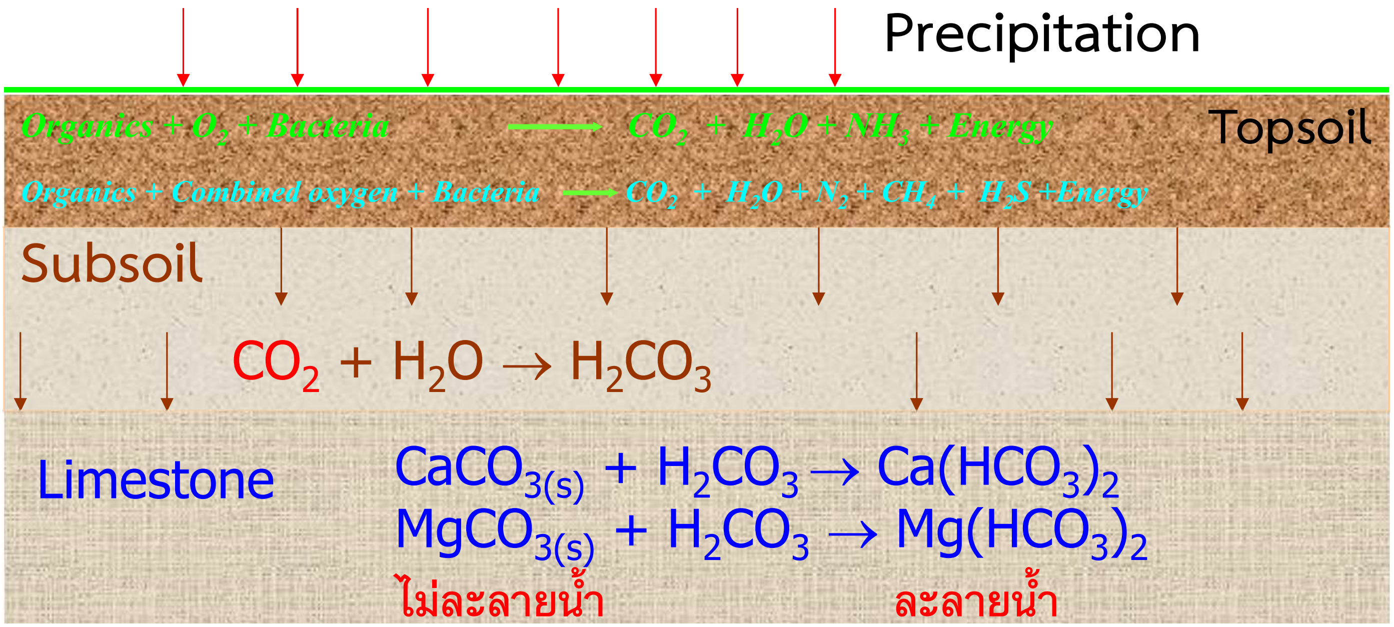
MAHASAWAT TEAM

Aquifers need to be protected



MAHASAWAT TEAM

Formation of Hardness



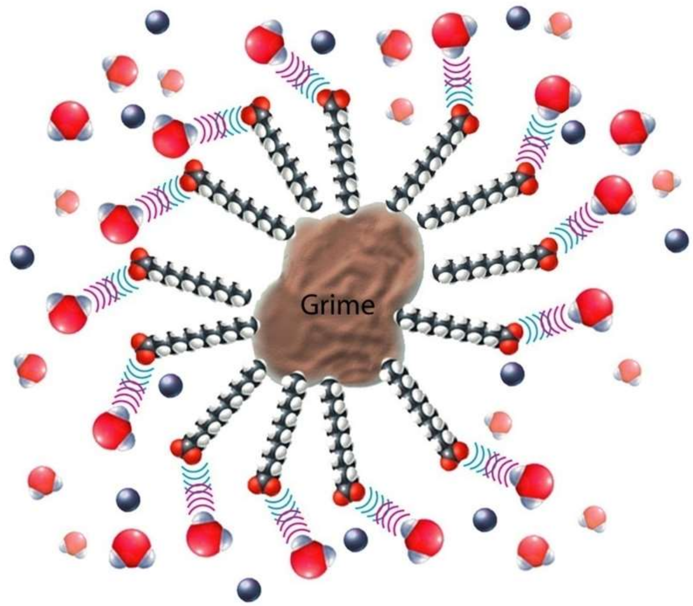
$CaCO_3$: calcium carbonate

$MgCO_3$: magnesium carbonate

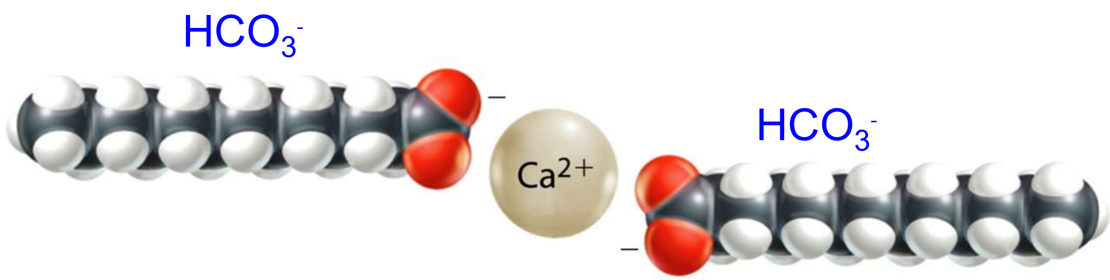
$Ca(HCO_3)_2$: calcium bicarbonate

$Mg(HCO_3)_2$: magnesium bicarbonate

MAHASAWAT
TEAM

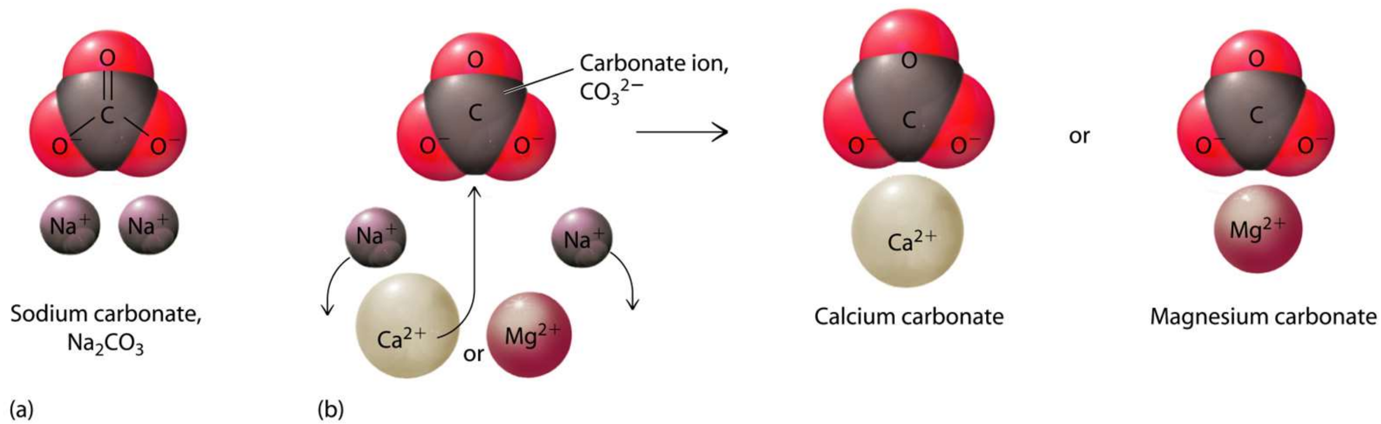


From *Conceptual Chemistry*, Second Edition by John Suchocki. Copyright © 2004 Benjamin Cummings, a division of Pearson Education.



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

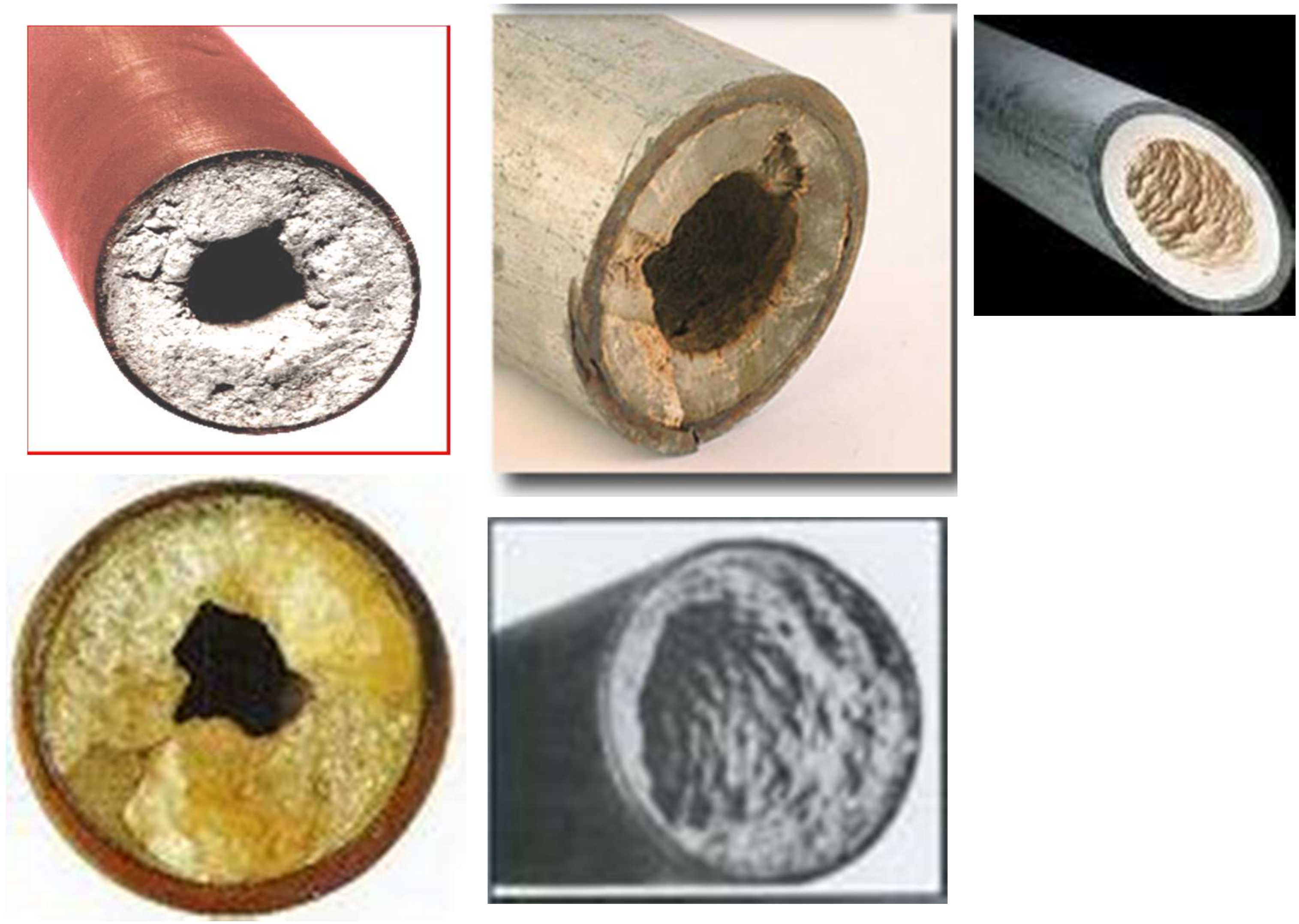
Carbonate ion attracts cations



Hardness

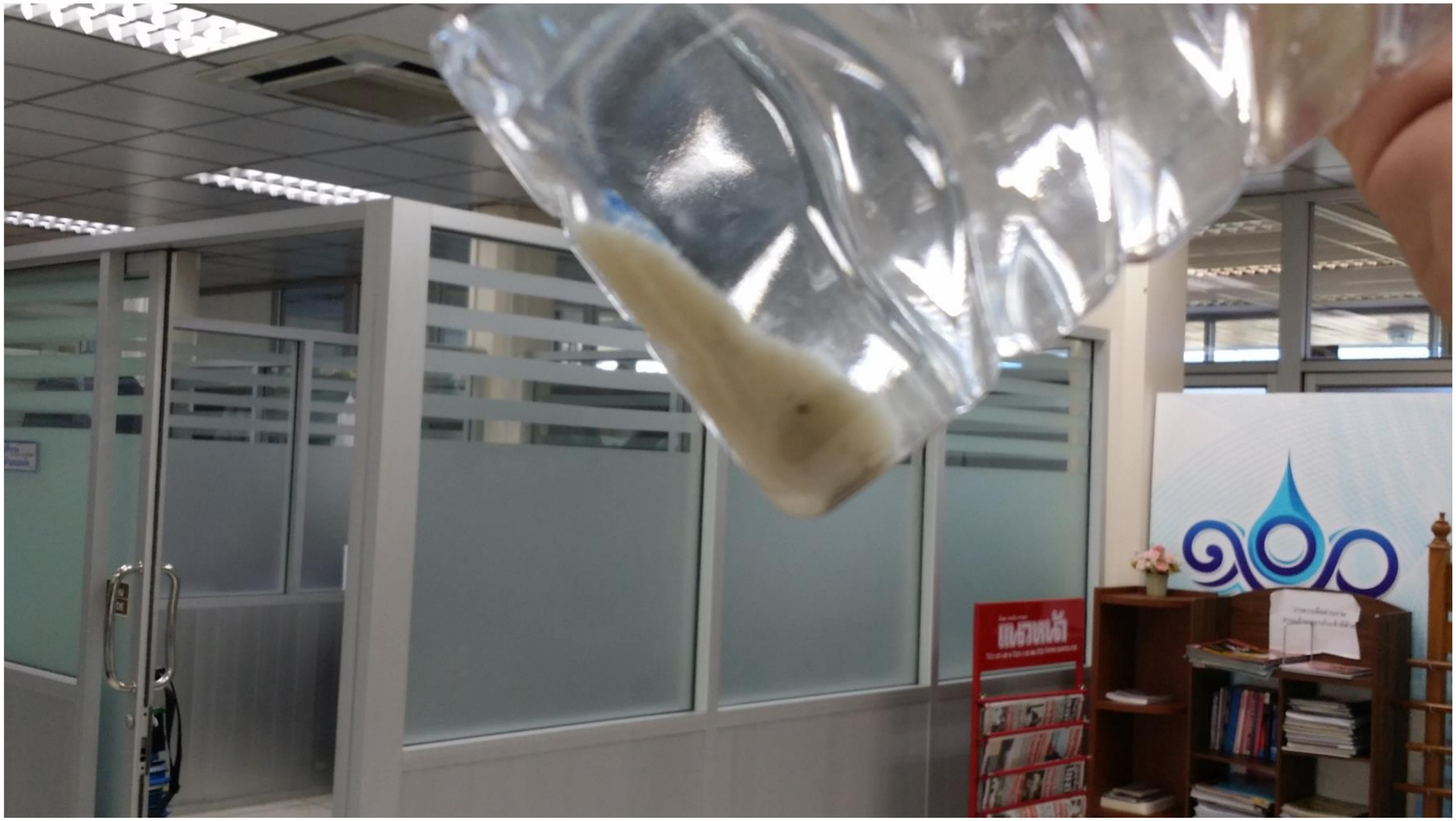
- สภาพปัญหาที่เกิดจากความกระด้างในน้ำสูง:
  - เป็นสาเหตุทำให้เกิด soap scum ทำให้สิ้นเปลืองสบู่มากขึ้น

    $CaCl_2 + 2C_{17}H_{35}COONa \leftrightarrow Ca(C_{17}H_{35}COO)_{2(s)} + 2NaCl$
  - ทำให้รสชาติของน้ำไม่น่าดื่ม
  - เป็นสาเหตุทำให้เกิดการอุดตันในระบบท่อ (scaling on pipes)
  - เป็นสาเหตุทำให้การเปิด-ปิดระบบวาล์วติดขัดอันเนื่องมาจากผลึกของ calcium carbonate
  - เกิดปัญหากับระบบสุขภัณฑ์ต่างๆ
  - ทำให้เกิดตะกรันในหม้อต้มไอน้ำ(Boiler) ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น
  - ทำให้เกิดตะกรันในระบบน้ำหล่อเย็น(Cooling Tower)



เป็นสาเหตุทำให้เกิดการอุดตันในระบบท่อ (scaling on pipes)

MAHASAWAT TEAM



ความกระด้างแบ่งออกได้ 3 ประเภทคือ

- 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 ในน้ำธรรมชาติทั่วๆไป 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 $\leq$ Total Alkalinity
  - Carbonate Hardness = Total Hardness
  - Non Carbonate Hardness = 0

Hardness Units

- milligrams per liter (mg/L) as calcium carbonate
- parts per million (ppm) as calcium carbonate
- grains per gallon of hardness (to convert from grains per gallon to mg/L, multiply by 17.1) (1 grain = 0.065 g)
- equivalents/liter

equivalents

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

  - 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)

วิธีการกำจัดความกระด้างสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1. ใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับความกระด้างให้ตกตะกอน (Precipitation)

2. ใช้หลักการแลกเปลี่ยนอิออนโดยใช้เรซิน (Ion Exchange Resin)

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) เพื่อจับตะกอนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาดังกล่าวให้จมตัวเร็วยิ่งขึ้น

สารสร้างตะกอนเพื่อตกตะกอนที่นิยมใช้ที่นิยมใช้ได้แก่ สารส้ม เฟอร์รัสซัลเฟต และเฟอร์ริกซัลเฟต

ปฏิกิริยาทางเคมี

1. ปูนขาว (CaO)

   ปฏิกิริยาจะกำจัด CO_2 และลดความกระด้างคาร์บอเนต (Carbonate Hardness) มีดังนี้

$$CaO + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2$$

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCO_3\downarrow + H_2O$$

MAHASAWAT TEAM

$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O$

$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 \longrightarrow 2CaCO_3\downarrow + Mg(OH)_2\downarrow + H_2O$

$2NaHCO_3 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Na_2CO_3 + CaCO_3\downarrow + H_2O$

ปฏิกิริยาขจัดความกระด้าง(*แมกนีเซี่ยม*)ด้วยปูนขาว มีดังนี้

$MgCO_3 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCO_3\downarrow + Mg(OH)_2$

$MgSO_4 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Mg(OH)_2\downarrow + CaSO_4$

$MgCl_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Mg(OH)_2\downarrow + CaCl_2$

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

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \longrightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4$$

$$CaCl_2 + Na_2CO_3 \longrightarrow CaCO_3 + 2NaCl$$

$$Ca(NO_3)_2 + Na_2CO_3 \longrightarrow CaCO_3 + 2NaNO_3$$

ถ้าเป็นความกระด้างถาวรแมกนีเซียม จะต้องใช้โซดาแอช 1 สมมูลกับปูนขาว 1 สมมูล เพื่อทำปฏิกิริยากับความกระด้างถาวรแมกนีเซียม 1 สมมูล

$$MgSO_4 + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Mg(OH)_2\downarrow + CaCO_3\downarrow + Na_2SO_4$$

$$MgCl_2 + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Mg(OH)_2\downarrow + CaCO_3\downarrow + 2NaCl$$

$$Mg(NO_3)_2 + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Mg(OH)_2\downarrow + CaCO_3\downarrow + 2NaNO_3$$

ในการใช้โซดาแอชจะลดความกระด้างลงได้ แต่ไม่สามารถลดสาร (Dissolved Solid) ที่อยู่ในน้ำได้เพราะผลของปฏิกิริยาจะเกิด*เกลือโซเดียม*ที่ละลายน้ำ

Na_2CO_3 + $Ca(OH)_2$ = Lime Soda Softener

3. ใช้โซดาไฟ (NaOH) แทนปูน-โซดาแอช จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้

$$CO_2 + 2NaOH \longrightarrow Na_2CO_3 + H_2O$$

$$Ca(HCO_3)_2 + 2NaOH \longrightarrow CaCO_3\downarrow + Na_2CO_3 + 2H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 + 4NaOH \longrightarrow Mg(OH)_2\downarrow + 2Na_2CO_3 + 2H_2O$$

$$MgSO_4 + 2NaOH \longrightarrow Mg(OH)_2\downarrow + 2Na_2SO_4$$

4. สารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน(Coagulants and Coagulant aids)

เมื่อความกระด้างทำปฏิกิริยากับสารเคมีตามสมการต่างๆข้างต้นแล้วจะตกตะกอนเป็นตะกอนที่ละเอียดซึ่งจะฟุ้งกระจายได้ง่าย การใส่สารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอนจะช่วยให้ตะกอนเม็ดเล็กๆรวมตัวกันเป็นตะกอนเม็ดใหญ่ขึ้นและตกตะกอนได้เร็ว

ปฏิกิริยาทางเคมี

$Al_2(SO_4)_3.18H_2O + 3Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3CaSO_4 + 18H_2O + 6CO_2$

$2FeSO_4.7H_2O + 2Ca(HCO_3)_2 + ½\,O_2 \longrightarrow 2Fe(OH)_3\downarrow + 2CaSO_4 + 6H_2O + 6CO_2$

$2FeSO_4.7H_2O + 3Ca(HCO_3)_2 + Cl_2 \longrightarrow 2Fe(OH)_3\downarrow + 2CaSO_4 + CaCl_2 + 7H_2O + 6CO_2$

$Fe(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow 2Fe(OH)_3\downarrow + 3CaSO_4 + 6CO_2$

Coagulant		(1)*	(2)*
Name	Chemical Formula		
Alum	$Al_2(SO_4)_3.14H_2O$	0.55	0.44
Ferrous Sulfate	$FeSO_4.7H_2O$	0.66	0.58
Ferric Sulfate	$Fe_2(SO_4)_3.9H_2O$	0.77	0.66
Ferric Chloride	$FeCl_3$	0.93	0.81
Magnesium Carbonate	$MgCO_3.3H_2O$	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

MAHASAWAT TEAM

การคำนวณปริมาณสารเคมีที่ใช้

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

$$[Ca(OH)_2] = [CO_2] + [HCO_3^-] + [Mg^{2+}] + [\text{excess lime}]$$

where

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

$[CO_2]$ = concentration of CO_2 in meq/l

$[HCO_3^-]$ = concentration of HCO_3^- in meq/l

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

[excess lime] = additional amount of lime needed to maintain an elevated pH value, usually 1 meq/l

2. โซดาแอช (Na_2CO_3) คำนวณได้ดังนี้

$$[Na_2CO_3] = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [Alkalinity]$$

where :

$[Na_2CO_3]$ = amount of Na_2CO_3 required for noncarbonate softening in meq/l

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

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

[Alkalinity] = concentration of Alkalinity in meq/l

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

$$\text{Soda Ash required in mg/l} = [Na_2CO_3 \text{ in meq/l}] \times 53$$

3. ปูนขาว (CaO) คำนวณในรูปของ CaO ได้ดังนี้

$$\text{lime}\,(CaO \; in \; mg/l) \quad = \quad (A + B + C)x\frac{D}{E}$$

Where :

$A =$ CO_2 as CO_2 (mg/l) x (56/44)

$B =$ HCO_3 alkalinity as $CaCO_3$ (mg/l) x (56/100)

$C =$ Mg as Mg (mg/l) x (56/24.3)

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

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

4. ปูนขาวประเภท slaked lime ($Ca(OH)_2$) คำนวณในรูปของ $Ca(OH)_2$ ได้ดังนี้

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

Where :

$A' =$ CO_2 as CO_2 (mg/l) x (74/44)

$B' =$ HCO_3 alkalinity as $CaCO_3$ (mg/l) x (74/100)

$C' =$ Mg as Mg (mg/l) x (74/24.3)

$D =$ Excess lime D = 1.1 to 1.2

$E =$ Purity of the lime :generally, E = 0.93 to 0.95

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

$$\boxed{Soda\ Ash\,(Na_2CO_3\ in\ mg/l) \quad = \quad (NH - L)\ x\ \frac{106}{100}}$$

Where :

$NH =$ Noncarbonate hardness as $CaCO_3$ (mg/l)

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

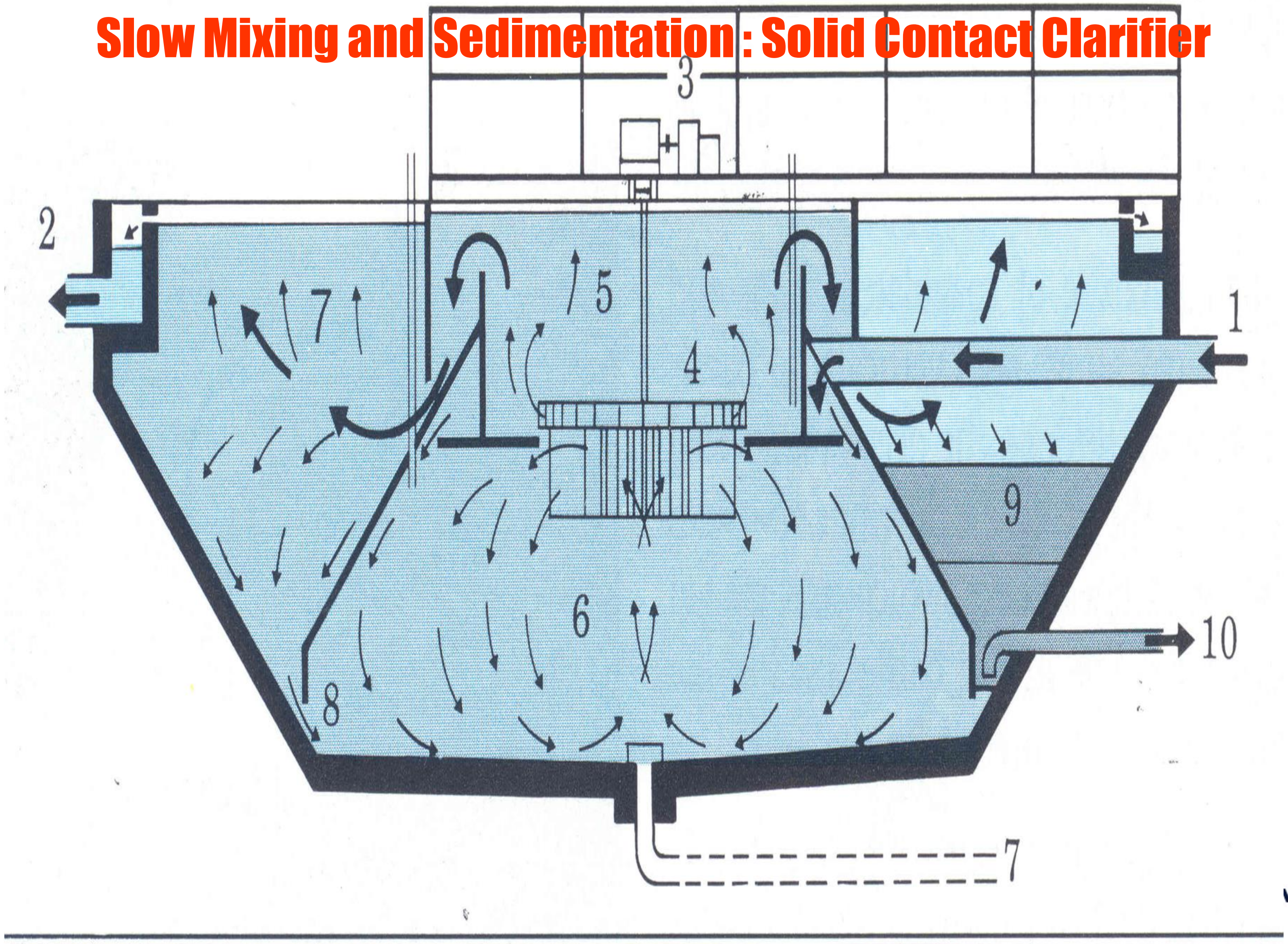
ส่วนประกอบของกระบวนการกำจัดความกระด้างด้วยวิธีตกผลึก

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

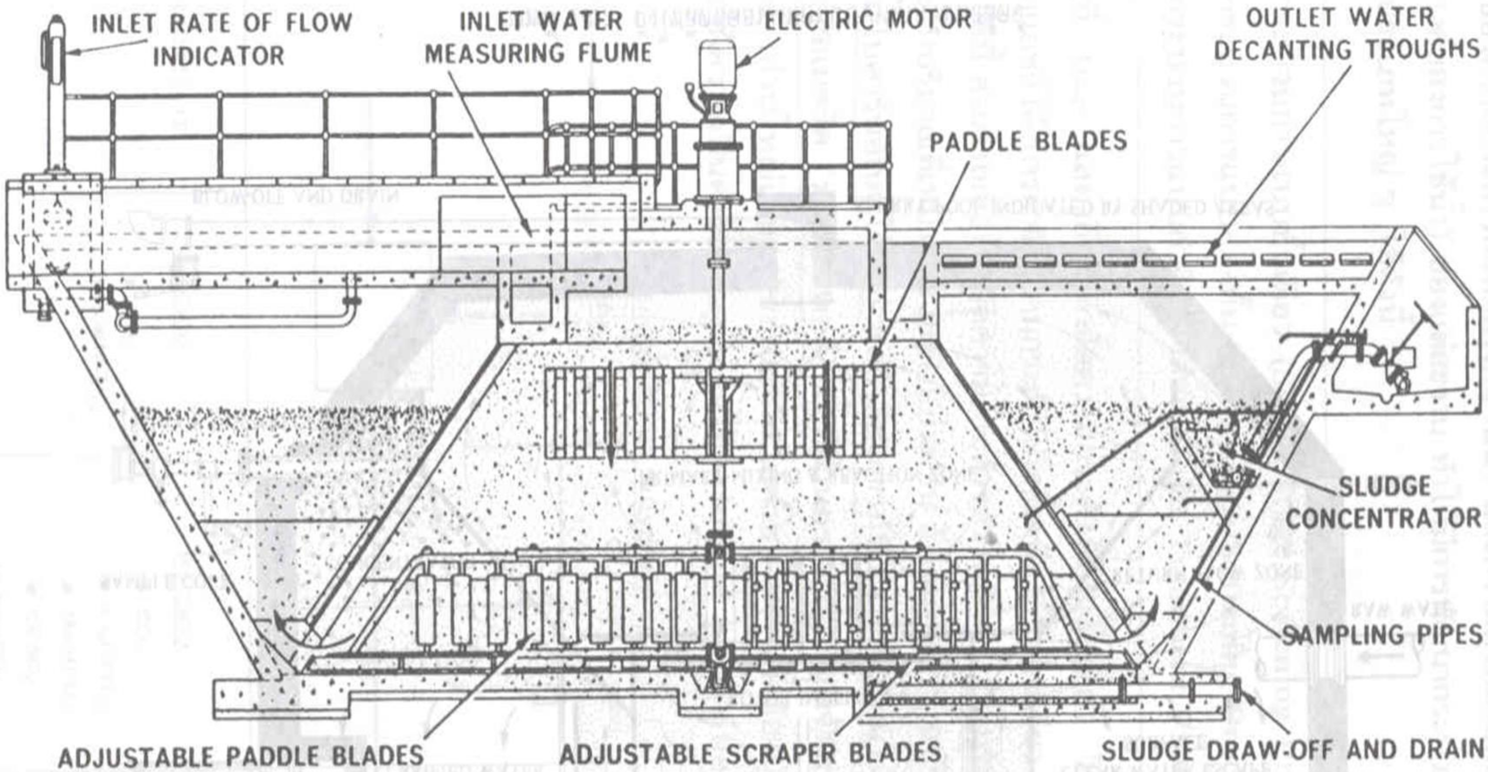
Rapid Mixing : Static Mixer

MAHASAWAT
TEAM

Slow Mixing and Sedimentation : Solid Contact Clarifier



MAHASAWAT TEAM



ภาพที่ 16.6 ถังโซลิดส์คอนแทคท์แบบ Sludge Blanket

MAHASAWAT TEAM

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 m^3/m.hr (rectangular tank type)
	15 m^3/m.hr (sludge blanket type)
- Total Water Loss	< 3% due to sludge withdrawal

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

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3$$

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

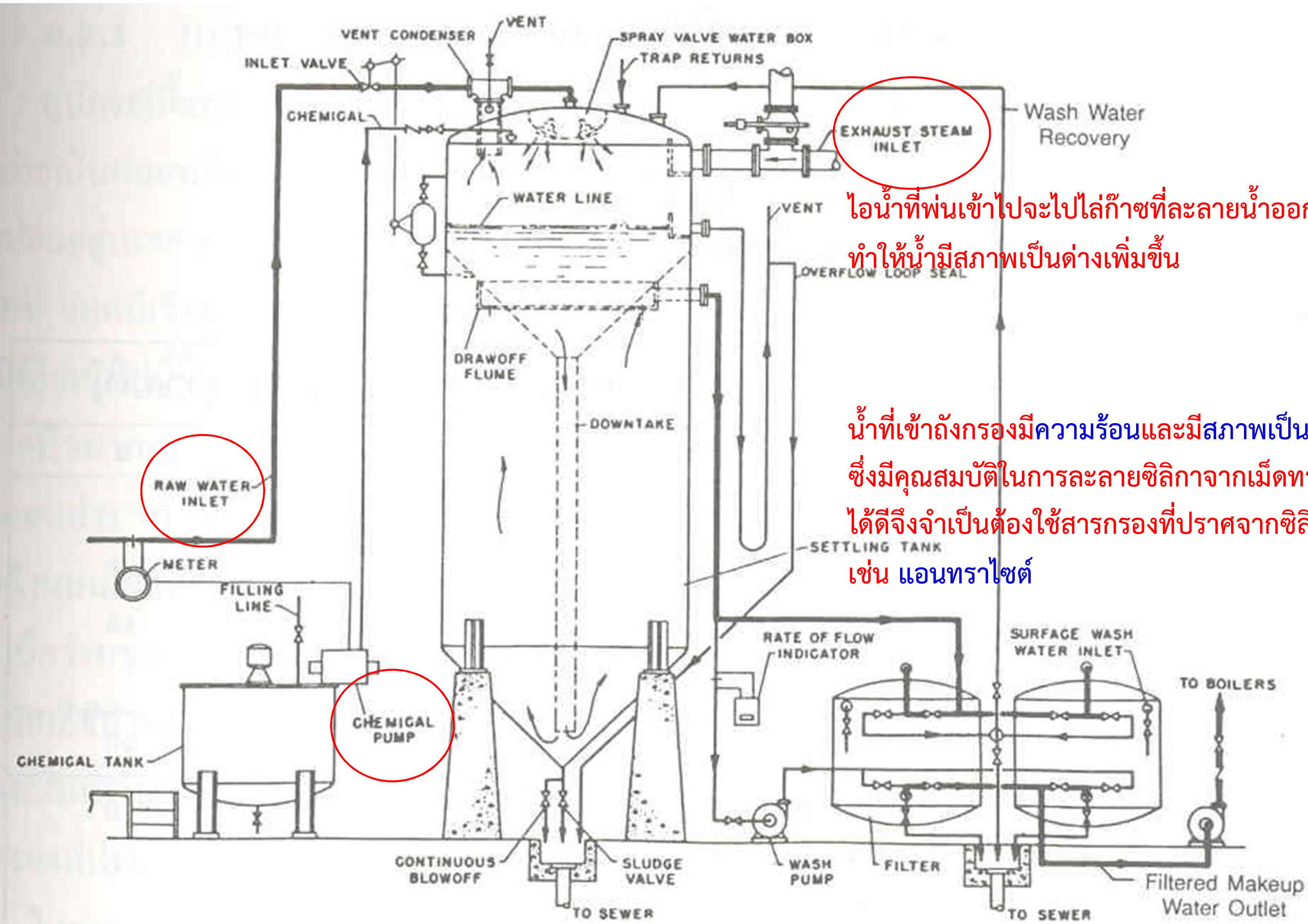
1. ลดปริมาณซิลิกาที่มีอยู่ในน้ำให้ลดลงจนมีอยู่ไม่เกิน 1 พีพีเอ็ม

2. ลด P และ M-Alkalinity ในน้ำให้ลดลงจำนวนหนึ่ง ทำให้น้ำหมุนอยู่ในระบบของหม้อไอน้ำได้นานขึ้น

3. สามารถลดความกระด้างแคลเซียมและแมกนีเซียมลงได้บางส่วนและถ้าน้ำนี้ผ่านเครื่องทำน้ำอ่อน (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

$$2HCO_3^- + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCO_3 + CO_3^{-2} + H_2O$$

$$Mg^{+2} + Ca(OH)_2 \longrightarrow Mg(OH)_2 + Ca^{+2}$$

$$Ca^{+2} + CO_3^{-2} \longrightarrow CaCO_3$$

ระบบ Hot Process Softening นอกจากขจัดความกระด้างแล้วยังใช้ลดความเป็นด่างในน้ำได้อีกด้วย โดยเฉพาะในกรณีที่น้ำมีค่าความเป็นด่างในรูปโซเดียมไบคาร์บอเนตมาก

$$2NaHCO_3 + \text{ความร้อน} \longrightarrow Na_2CO_3 + H_2O + CO_2\uparrow$$

$$Na_2CO_3 + H_2O + \text{ความร้อน} \longrightarrow 2NaOH + CO_2\uparrow$$

ระบบ Hot Process Softening จะประหยัดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนรูปไบคาร์บอเนต และใช้ยิปซัม (แคลเซียมซัลเฟต) ตกตะกอนเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตอีกที

$$Na_2CO_3 + CaSO_4 \longrightarrow Na_2SO_4 + CaCO_3$$

และถ้าในน้ำมีปูนขาว ความกระด้างถาวรอยู่ก็จะเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้

$$Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \longrightarrow NaOH + CaCO_3$$

$$MgSO_4 + 2NaOH \longrightarrow Mg(OH)_2 + Na_2SO_4$$

สูตรที่ใช้คำนวณ Hot Lime Process or Hot Process Softening

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

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

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

สำหรับค่าเอนทาลปี (Enthalpy) ของไอน้ำนั้นหาได้จากตารางไอน้ำในหนังสือเกี่ยวกับไอน้ำ

Enthalpy   Free Energy Change

TABLE 3-1
Standard enthalpies and free energies of formation at 25°C

Substance	State*	ΔH^0_{298}, kJ / mol	ΔG^0_{298}, kJ / mol	Substance	State*	ΔH^0_{298}, kJ / mol	ΔG^0_{298}, kJ / mol
Ca^{2+}	*aq*	−543.0	−553.0	H_2O	*lq*	−285.9	−237.2
$CaCO_3$	*c*	−1,207	−1,129	H_2O	*g*	−241.8	−274.6
CaF_2	*c*	−1,215	−1,162	HS^-	*aq*	−17.66	12.59
$Ca(OH)_2$	*c*	−986.6	−896.8	H_2S	*g*	−20.17	−33.01
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	*c*	−2,021	−1,796	H_2S	*aq*	−39.33	−27.36
CH_4	*g*	−74.85	−50.79	H_2SO_4	*lq*	−811.3	. . .
CH_3CH_3	*g*	−84.68	−32.89	Mg^{2+}	*aq*	−462.0	−456.0
CH_3COOH	*aq*	−488.4	−399.6	$Mg(OH)_2$	*c*	−924.7	−833.8
CH_3COO^-	*aq*	−488.9	−372.3	Na^+	*aq*	−239.7	−261.9
CH_3CH_2OH	*lq*	−277.7	−174.8	NH_3	*g*	−46.19	−16.69
$C_6H_{12}O_6$	*aq*	. . .	−908.0	NH_3	*aq*	−80.83	−26.65
CO_2	*g*	−393.5	−394.4	NH_4^+	*aq*	−132.8	−79.50
CO_2	*aq*	−412.9	−386.2	NO_2^-	*aq*	−106.3	−34.52
CO_3^{2-}	*aq*	−676.3	−528.1	NO_3^-	*aq*	−206.6	−110.5
F^-	*aq*	−329.1	−276.5	OH^-	*aq*	−230.0	−157.3
Fe^{2+}	*aq*	−87.86	−84.94	S^{2-}	*aq*	41.84	83.68
Fe^{3+}	*aq*	−47.70	−10.54	SO_4^{2-}	*aq*	−907.5	−742.0
HCO_3^-	*aq*	−691.1	−587.1	Zn^{2+}	*aq*	−152.4	−147.2
H_2CO_3	*aq*	−698.7	−623.4	ZnS	*c*	−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 เมื่อมีการชดเชยเนื่องจากการเจือจางไอน้ำให้คูณด้วย CCF (Cold Correction Factor)

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

ปริมาณปูนขาวที่ใช้จริง

= (meq/l HCO_3 + meq/l Mg - meq/l OH) Raw Water -
CCF(meq/l HCO_3 + meq/l Mg - meq/l OH) Treated Water

ปริมาณโซดาแอชที่ใช้จริง

= (meq/l Hardness - meq/l Total Alkalinity) Raw Water -
CCF(meq/l Hardness - meq/l Total Alkalinity) Treated Water

การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

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

<u>กรณีที่ 1</u> **เพื่อลดความกระด้างให้มากที่สุด** ต้องควบคุมน้ำให้มีคุณภาพดังนี้

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

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

50

<u>กรณีที่ 2</u> เพื่อลดค่า TDS ให้ได้มากที่สุด ต้องควบคุมน้ำให้มีคุณภาพดังนี้

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

M – Alkalinity = 40 – 50 ppm

ความกระด้าง = 15 – 25 ppm

<u>กรณีที่ 3</u> ดูดซับซิลิกาให้มากที่สุด

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

ใช้หลักการแลกเปลี่ยนอิออนโดยใช้เรซิน(Ion Exchange Resin)

ประวัติศาสตร์

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

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

ต่อมาได้มีการใช้สารจำพวกซีโอไลต์ (Zeolite) หรือ Sodium alumino silicate ซึ่งเป็นแร่บางชนิดที่อยู่ในดินเป็นตัวแลกเปลี่ยนอิออนได้ จนปี ค.ศ. 1905 นักเคมีชาวอังกฤษ ชื่อ Gans ได้สังเคราะห์ Zeolite เป็นผลสำเร็จ ทำให้ราคาซื้อขายต่ำลงและใช้กันอย่างแพร่หลายในขณะนั้นแม้ในปัจจุบันจะเลิกใช้แล้วก็ยังเรียกชื่ออื่นที่ทำหน้าที่เดียวกันว่า ซีโอไลต์

$$Ca^{2+} + 2Na^{+}Z \rightleftharpoons 2Na^{+} + Ca^{2+}Z_2$$

Z = Zeolite

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

ปริมาณร้อยละของ DVB ที่มีอยู่ในเรซิน เรียกว่า Crosslinkage เรซินเมื่อแช่อยู่ในน้ำจะมีรูเล็กๆเป็นโพรงอยู่ภายในมากมาย อิออนจะแพร่เข้าไปสู่ภายในเรซินตามรูเล็กๆเหล่านี้ ถ้ามีค่าเปอร์เซ็นต์ DVB สูงก็จะมีขนาดของรูเล็ก

โครงร่างเรซิน (Matrix)

อาจแบ่งตามลักษณะทางกายภาพได้ 3 ลักษณะ คือ

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

2. Macroporous Type มีความพรุนมากกว่าคือมีพื้นที่ผิวมากถึง 100 m^2/g ทำให้ไม่ค่อยอุดตันโดย Polystyrene divinylbenzene copolymer จะมีโครงร่างเชื่อมขวางของ DVB 8-12% โดยทั่วไปถ้า %DVB น้อย การบวมตัว การหดตัวจะมีมาก การวิ่งเข้าออกของไอออนผ่านเรซินจะสะดวกแต่ความแข็งแรงก็จะน้อยลง

3. Opaque Gel(เจลทึบแสง) มีโครงร่างที่แข็งแรง แต่ก็สามารถรับ Functional Group และยืดหดตัวได้มากพอสมควร

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*** มีอิออนประจำตัวคือ

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

เรซินแบบประจุบวก-กรดแก่ เป็นเรซินที่มีการใช้งานมากที่สุดใน

จำพวกเรซินประจุบวก ปกติจะอยู่ในรูปของ

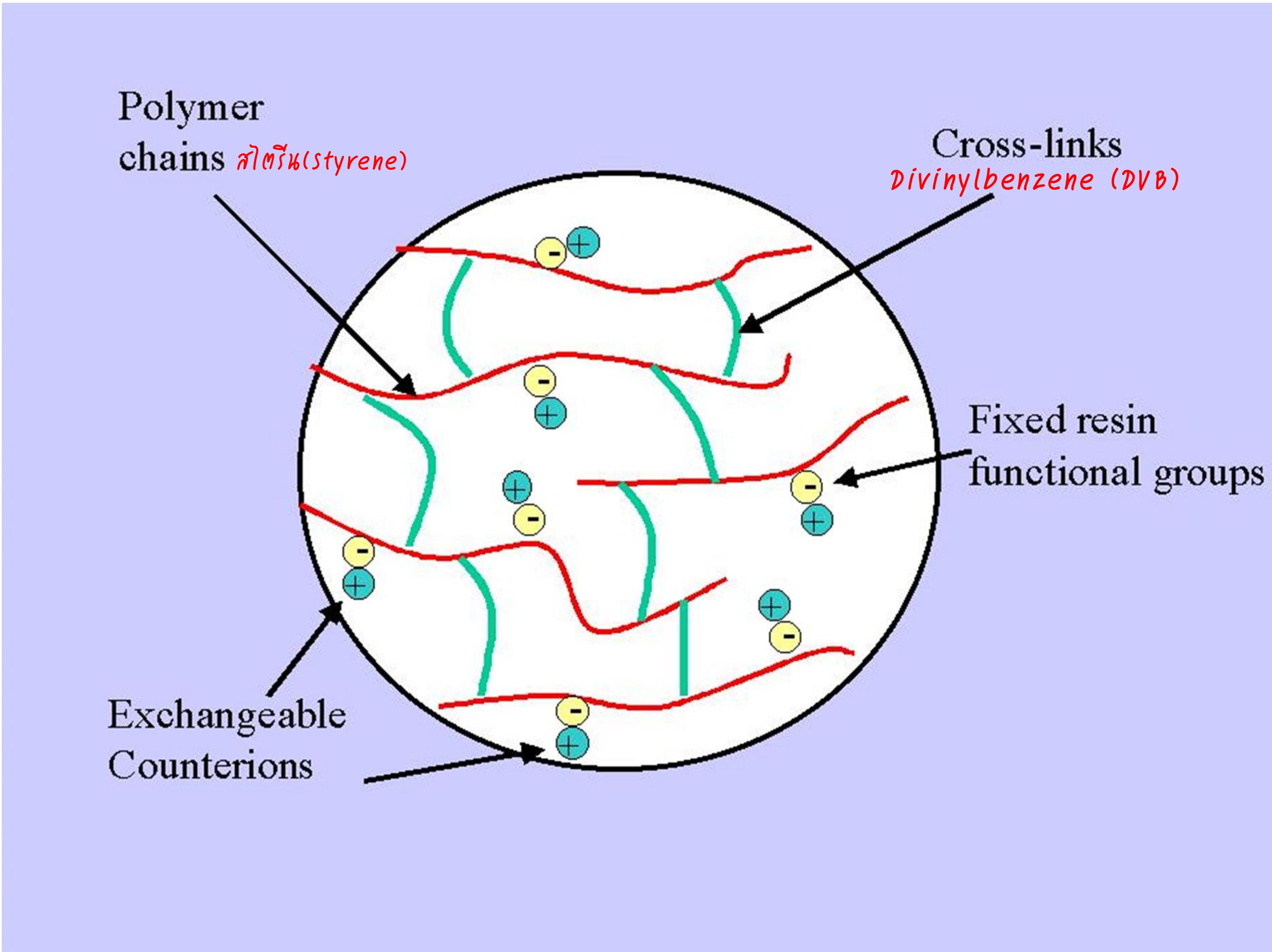
- เกลือโซเดียม ($R\text{-}SO_3Na_2$) หรือเรียกว่า Sodium form

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

รูปแบบเรซินประจุบวก-กรดแก่ (Strong Acid Cation Resin)

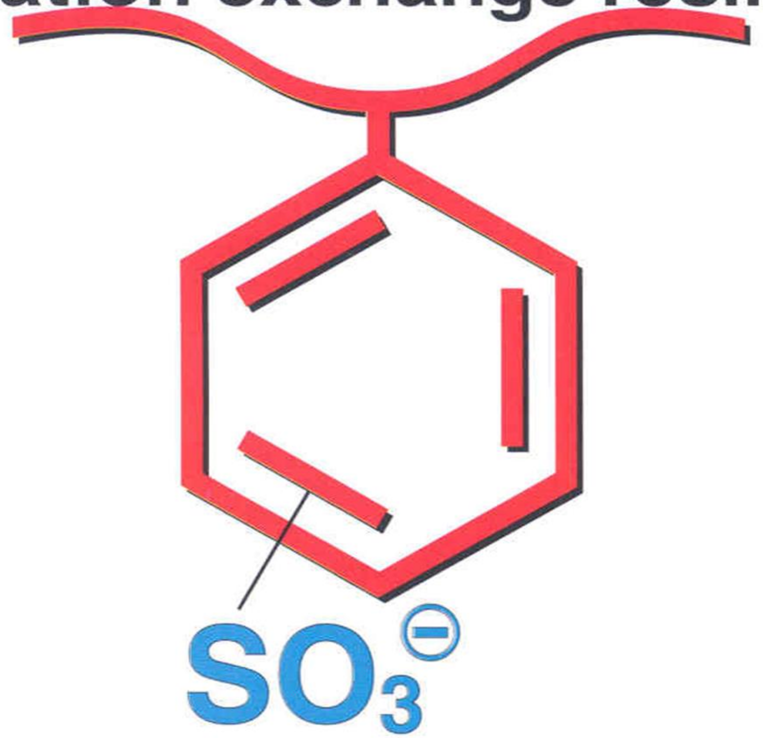
- ในรูปของ H^+ ($R\text{-}SO_3H_2$) หรือเรียกว่า Hydrogen form สามารถใช้ในการจับอิออนประจุบวกทั้งหมด

- ในรูปของ Na^+ ($R\text{-}SO_3Na_2$) หรือเรียกว่า Sodium form สามารถใช้ในการจับอิออนของความกระด้างเพื่อทำน้ำอ่อน(Softening)แต่เพียงอย่างเดียว ลำดับความยากง่ายในการถูกจับสำหรับอิออนประจุบวกมีดังนี้ $Ca^{+2} > Mg^{+2} > Na^+$ (เกลือที่มีประจุสูงจะทำการแลกเปลี่ยนก่อนเกลือที่มีประจุต่ำกว่า และสารที่มีน้ำหนักอะตอมมากกว่าจะแลก เปลี่ยนก่อนสารที่มี น้ำหนักอะตอมน้อยกว่า)



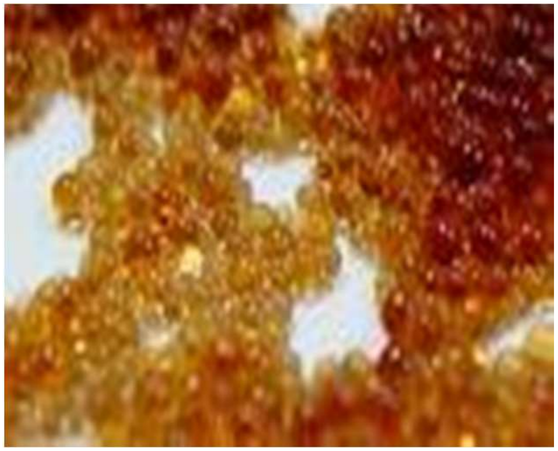
MAHASAWAT TEAM

Strongly acidic cation exchange resin*

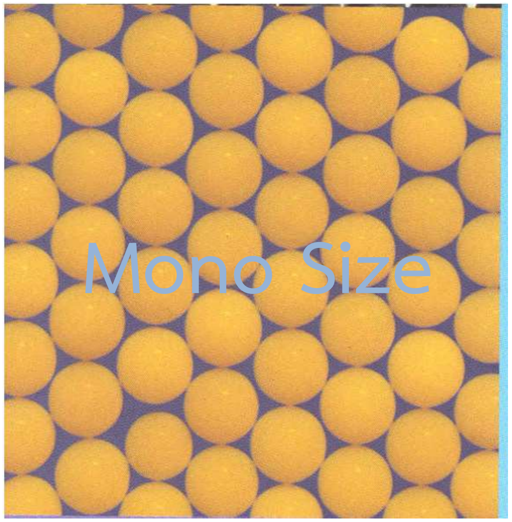


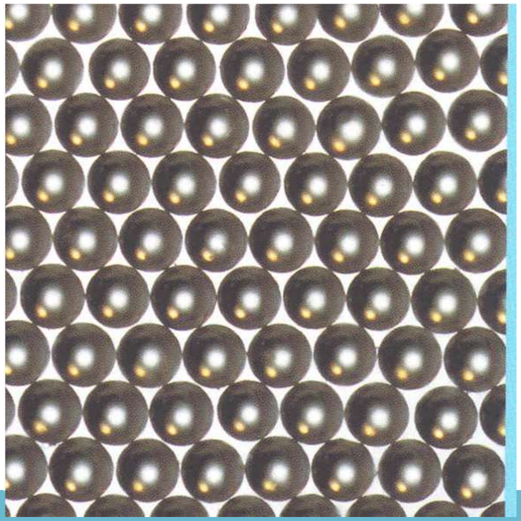
MAHASAWAT TEAM

MAHASAWAT TEAM

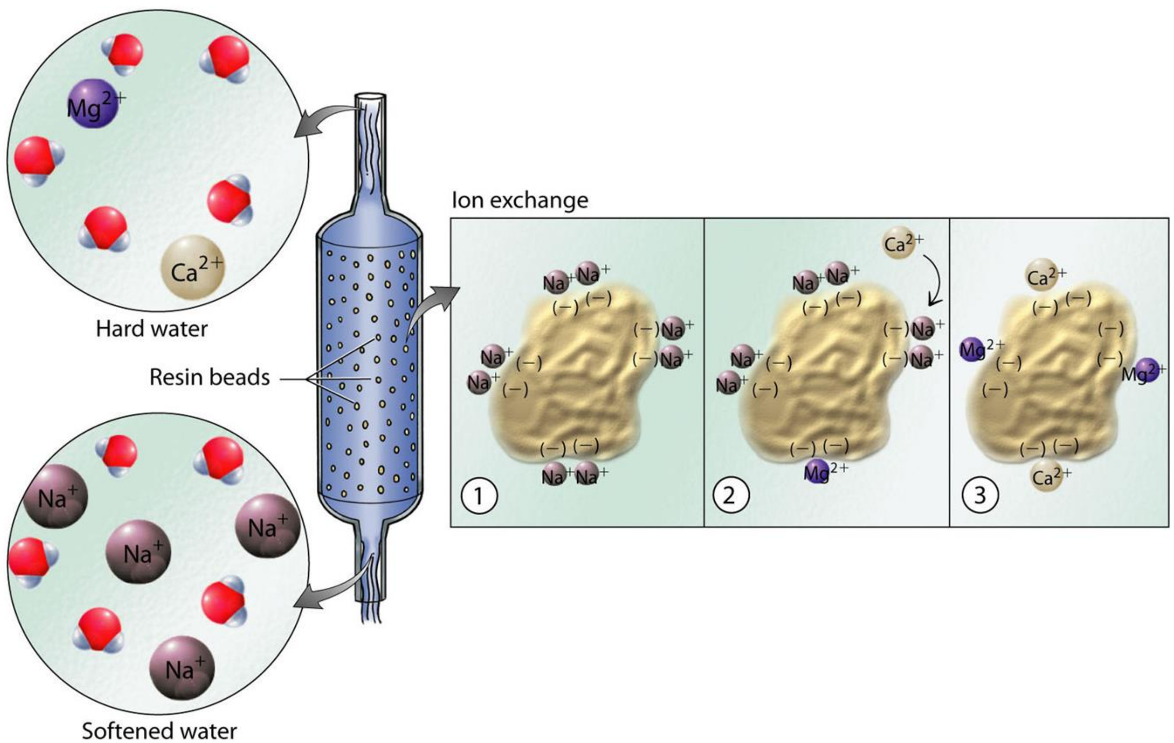



Average Size


Mono Size

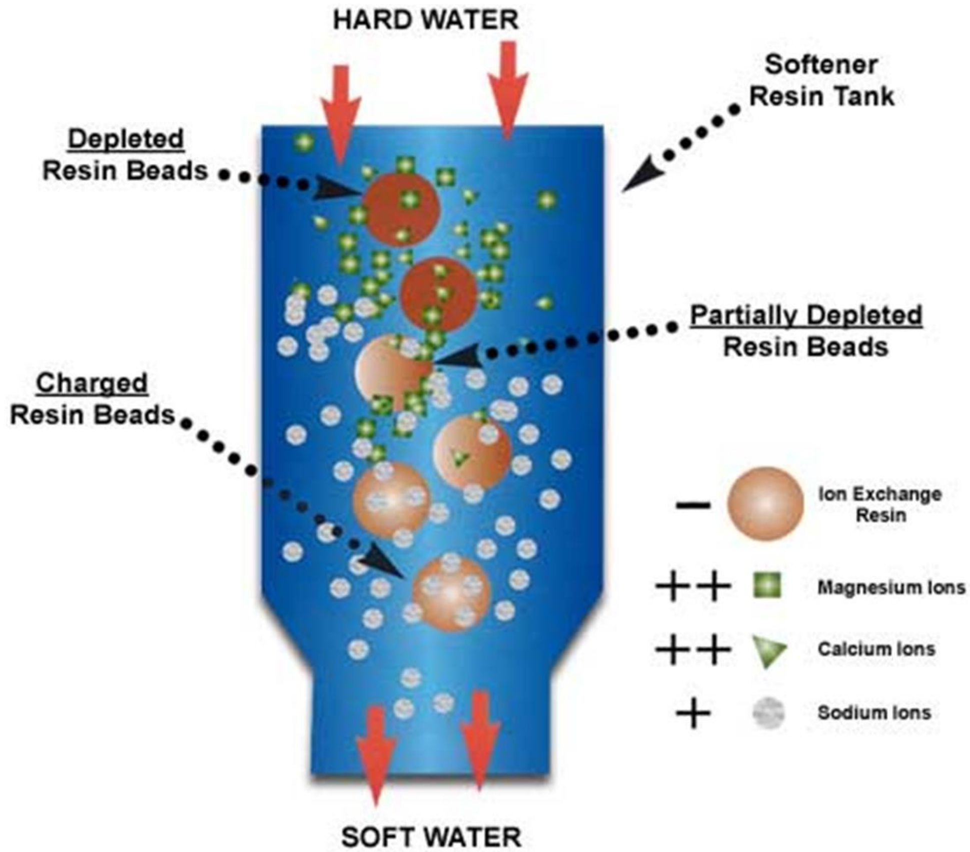


Ion-Exchange
Exchanges Na^+ for the hard water cations



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

Ion Exchange



MAHASAWAT TEAM

Sodium Cation Exchanger

Softening:

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

Regeneration:

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

MAHASAWAT TEAM

ข้อดี - ข้อเสียของเรซินแบบกรดแก่ (Strong Acid Cation Resin)

ข้อดี

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

ข้อดี - ข้อเสียของเรซินแบบกรดแก่ (Strong Acid Cation Resin)

ข้อเสีย

1. มีประสิทธิภาพในการ regeneration ต่ำประมาณ 25 - 45 % ทำให้สิ้นเปลืองสารเคมีในการรีเจเนอเรชั่น

ข้อดีของการใช้เรซินทำน้ำอ่อน

1. สามารถผลิตน้ำที่มีความกระด้างน้อยกว่า 2 พีพีเอ็มในรูป $CaCO_3$

2. การใช้งานควบคุมง่าย สามารถติดตั้งระบบการล้าง เรซินเป็นแบบอัตโนมัติได้

3. การล้างเรซินเพื่อฟื้นฟูประสิทธิภาพนั้น ใช้เกลือซึ่งหาได้ง่ายและมีราคาถูก

4. ไม่มีปัญหาเรื่องการบำบัดน้ำทิ้ง

ข้อดีของการใช้เรซินทำน้ำอ่อน

5. การเปลี่ยนแปลงหรือความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำในช่วงหนึ่งจะมีผลกระทบกระเทือนต่อคุณภาพน้ำที่ได้น้อยมาก

6. ไม่ว่าจะเป็นเครื่องทำน้ำอ่อนที่มีขนาดใหญ่หรือเล็ก สามารถใช้งานให้ได้ประสิทธิภาพสูงได้ จึงทำให้สะดวกในการใช้งานแทบทุกขนาด

ข้อจำกัดของเครื่องทำน้ำอ่อนมีดังนี้

1. ขจัดได้เฉพาะความกระด้างแคลเซียมและแมกนีเซียมเท่านั้น

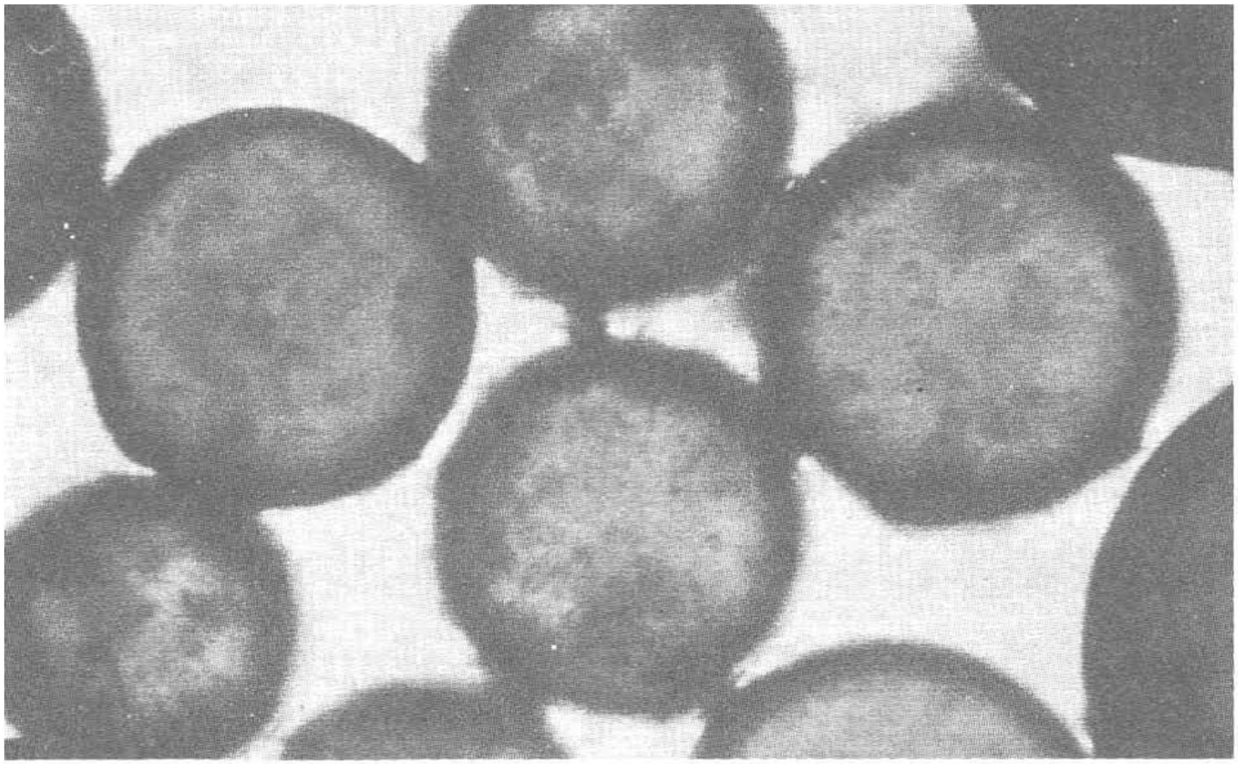
2. น้ำดิบที่เข้าเครื่องทำน้ำอ่อนต้องมีความขุ่นต่ำกว่า 1 NTU ถ้าความขุ่นน้ำดิบสูงประสิทธิภาพของเรซินในการกำจัดความกระด้างจะลดลง

3. น้ำดิบที่ผ่านจากกระบวนการที่ใช้สารส้มในการตกตะกอน ต้องระมัดระวังอย่าให้มีปริมาณอะลูมินัมอิออนมากเกินควรเพราะจะไปทำลายเม็ดเรซิน ถ้ามีการใช้สารส้มก่อนหน้าเข้าเครื่องทำน้ำอ่อนจะต้องมีการควบคุมค่า pHให้อยู่ในช่วงที่กำหนดอย่างเข้มงวดเพื่อให้เครื่องทำน้ำอ่อนมีประสิทธิภาพสูง

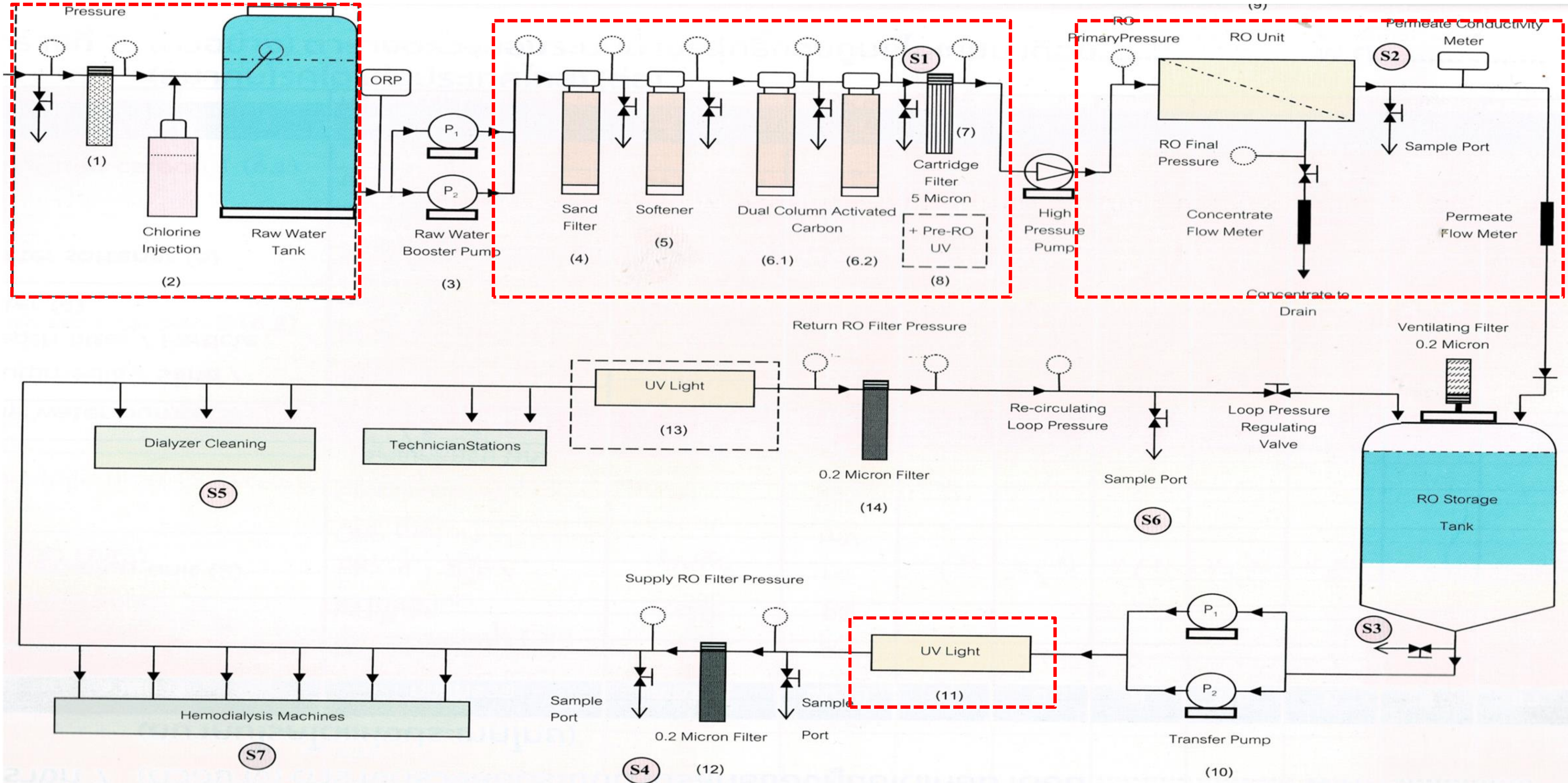
ข้อจำกัดของเครื่องทำน้ำอ่อนมีดังนี้

4. ปริมาณเหล็กในน้ำดิบไม่ควรเกิน 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร เพราะจะทำลายเม็ดเรซินโดยแทรกตัวเข้าไปอยู่ในเนื้อของเม็ดเรซิน ถ้าพบว่ามีเหล็กหรือโลหะอื่นอยู่มาก ต้องขจัดออกก่อนเข้าเครื่องทำน้ำอ่อน

5. ถ้าในน้ำมีสารที่ทำหน้าที่เป็นสารออกซิไดซ์อย่างรุนแรง เช่น คลอรีน จะไปออกซิไดซ์ทำลายเม็ดเรซินได้ ต้องใส่สารที่มีคุณสมบัติในการรีดิวส์ เช่น โซเดียมซัลไฟต์ เพื่อไปทำลายคลอรีน



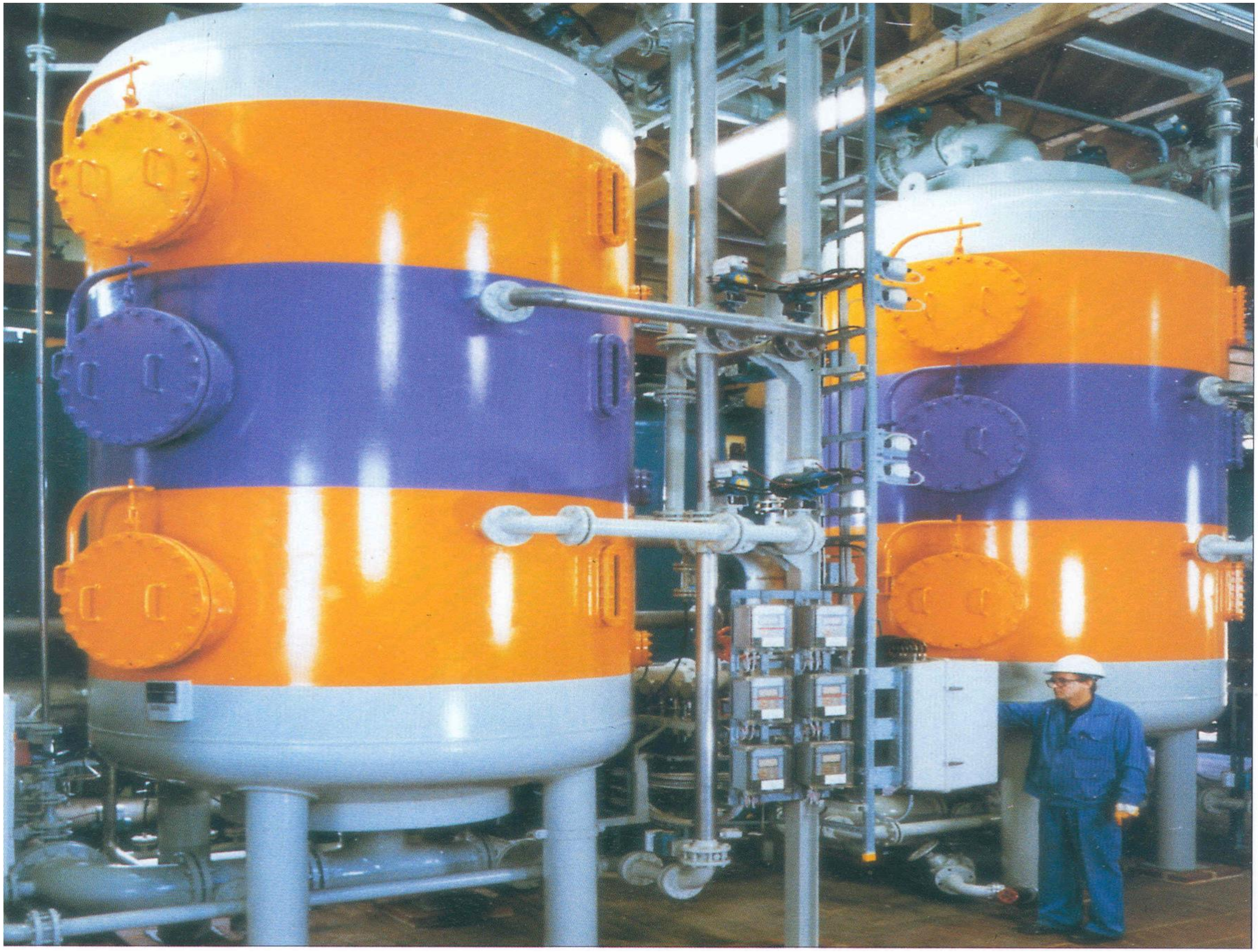
ภาพขยายเม็ดเรซินจับอิออนของเหล็กไว้จนเต็ม



ที่มา : หนังสือแนวทางปฏิบัติ เรื่อง การเตรียมน้ำบริสุทธิ์ เพื่อการฟอกเลือดด้วยเครื่องไตเทียม พ.ศ.2564


Brine water
No1
No2
No3
200L
HydroLine


Multi Media
Filter



MAHASAWAT
TEAM

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)

1 grain = 0.065 gram

1 gallon = 3.785 liter

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

			Cation Exchangers		
			Weak Acid	Strong Acid	
			Macroporous	Gel	Macroporous
			CNP 80 WS	S 100 WS	SP 112 WS
General Description					
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_2SO_4	HCl H_2SO_4 $NaCl$	HCl H_2SO_4
Counter current	level	approx. g/L	70 90	50 80 90	55 80
	concentration	%	3 – 6 0.5 – 0.8	4 – 6 1.5 – 3 8 – 10	4 – 6 1.5 – 3
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

MAHASAWAT TEAM

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

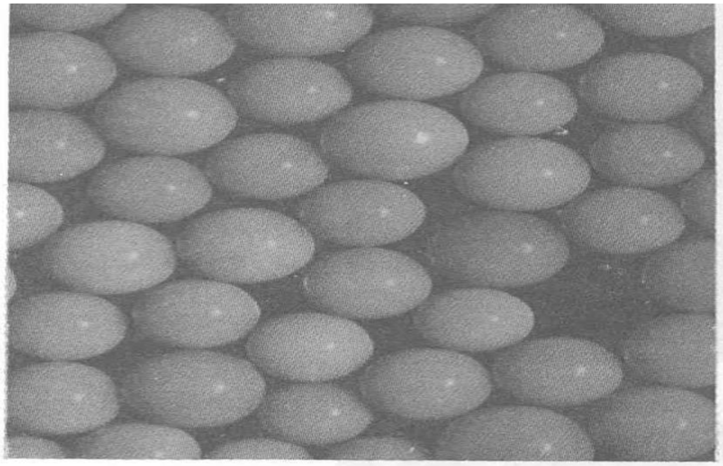
การทำรีเจนเนอเรชั่น หมายถึง การทำให้เรซินที่หมดอำนาจไปแล้วกลับฟื้นตัวขึ้นมามีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนอีก

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

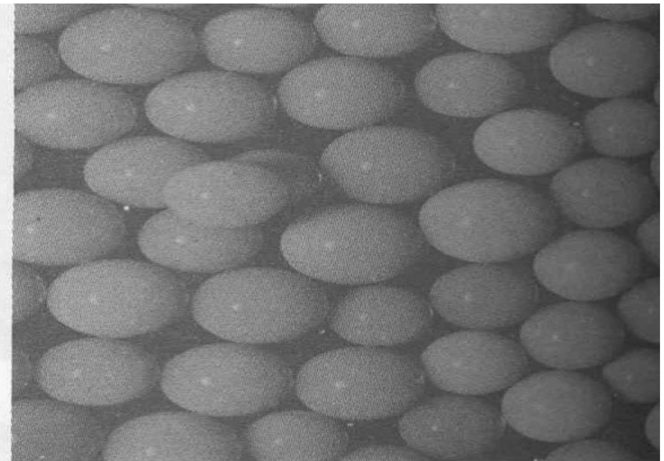
วัฏจักรการทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน

ระบบแลกเปลี่ยนไอออนอาจทำงานแบบทีละเท (Batch) หรือแบบต่อเนื่อง(Continuous) วัฏจักรการทำงานของเรซินมี 4 ขั้นตอนต่อเนื่องกันดังนี้

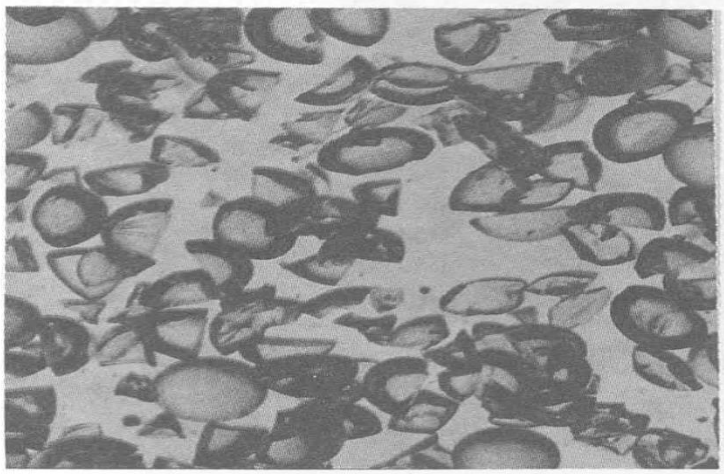
1. การแลกเปลี่ยนไอออน (Service)
2. การล้างย้อน (Backwash)
3. การรีเจนเนอเรชั่น (Regeneration)
4. การชะล้าง (Rinse)



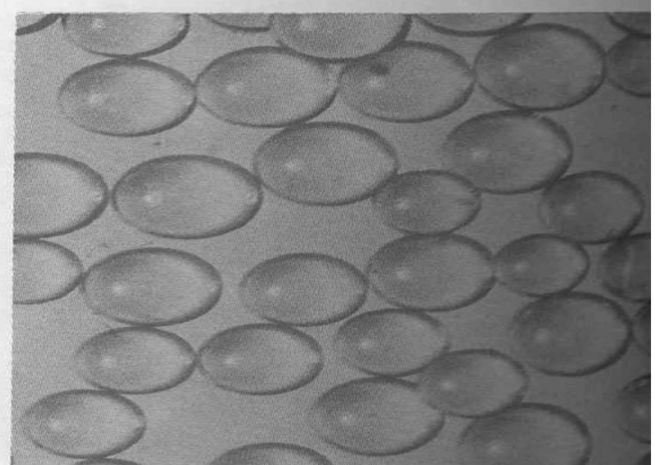
ก่อนใช้งาน



ก่อนใช้งาน



หลังใช้งาน



หลังใช้งาน

ความคงทนต่อการใช้งานของเม็ดเรซินชนิดเจล

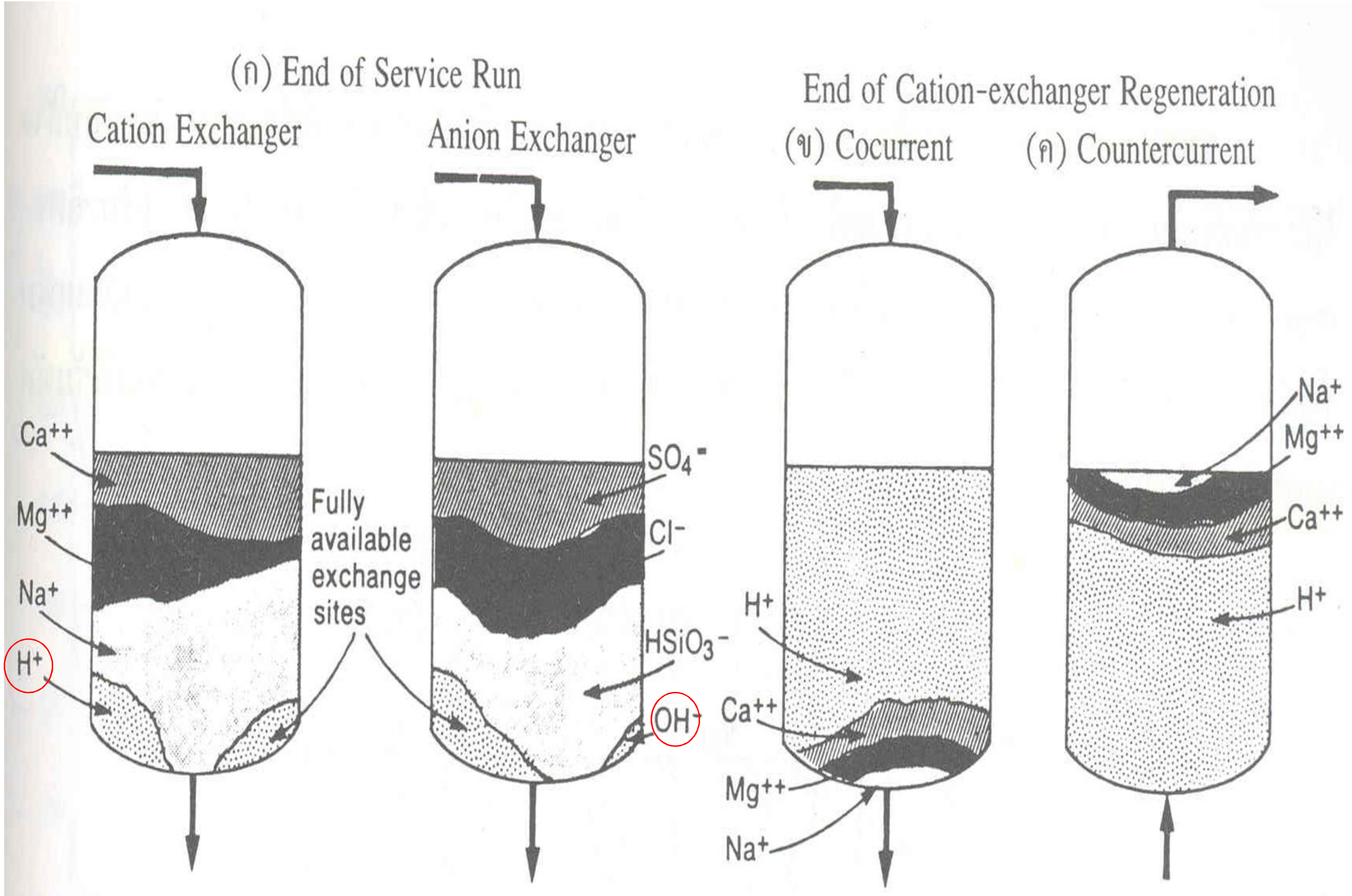
ความคงทนต่อการใช้งานของเม็ดเรซินชนิด Macrorecticular

MAHASAWAT TEAM

วิธีการทำรีเจนเนอเรชันมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ

1. การทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม (Co-Current Regeneration) เป็นการทำรีเจนเนอเรชันที่มีทิศทางเดียวกับการแลกเปลี่ยนไอออน

2. การทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง (Counter-Current Regeneration) เป็นการทำรีเจน-เนอเรชันที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับการแลกเปลี่ยนไอออน



ลักษณะของชั้นเรซินในถังเมื่อจับอิออนจนเต็มหมด

ลักษณะของชั้นเรซินในถังหลังจากล้างเรซินแบบไหลตามกันและไหลสวนทาง

MAHASAWAT TEAM

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 และเรซินแบบด่างแก่หรืออ่อน (ใช้ 2 ถังแยกกันหรือผสมกันในถังเดียวก็ได้)	กรดเกลือหรือกรดกำมะถัน และโซดาไฟหรือแอมโมเนีย

การคำนวณปริมาตรเรซินเพื่อกำจัดความกระด้างแบบง่าย

<u>ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</u>

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

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

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

86

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

จากค่า Total exchange capacity (spec)

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

$$g = 100$$

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

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 = $\frac{A}{100}xB$ ลิตร ที่ 1 ชั่วโมง

แต่ประสิทธิภาพของเรซินมีประมาณ 50 ถึง 70%เท่านั้น ดังนั้นปริมาตรเรซินที่ใช้จริง

$$\boxed{= \frac{A}{100} x \frac{B}{efficiency}}$$ ลิตร ที่ 1 ชั่วโมง

Metropolitan Waterworks Authority

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

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

= 15,000 ลิตร

ตัวอย่างที่ 2 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		

จงคำนวณหาความกระด้างและปริมาตรเรซินที่ใช้ในการกำจัดความกระด้างทั้งหมด?

<u>วิธีทำ</u>

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.

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

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

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

= 100

$CaCO_3$ มี Valency = 2

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

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

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

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 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

MAHASAWAT TEAM

- 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 x10 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

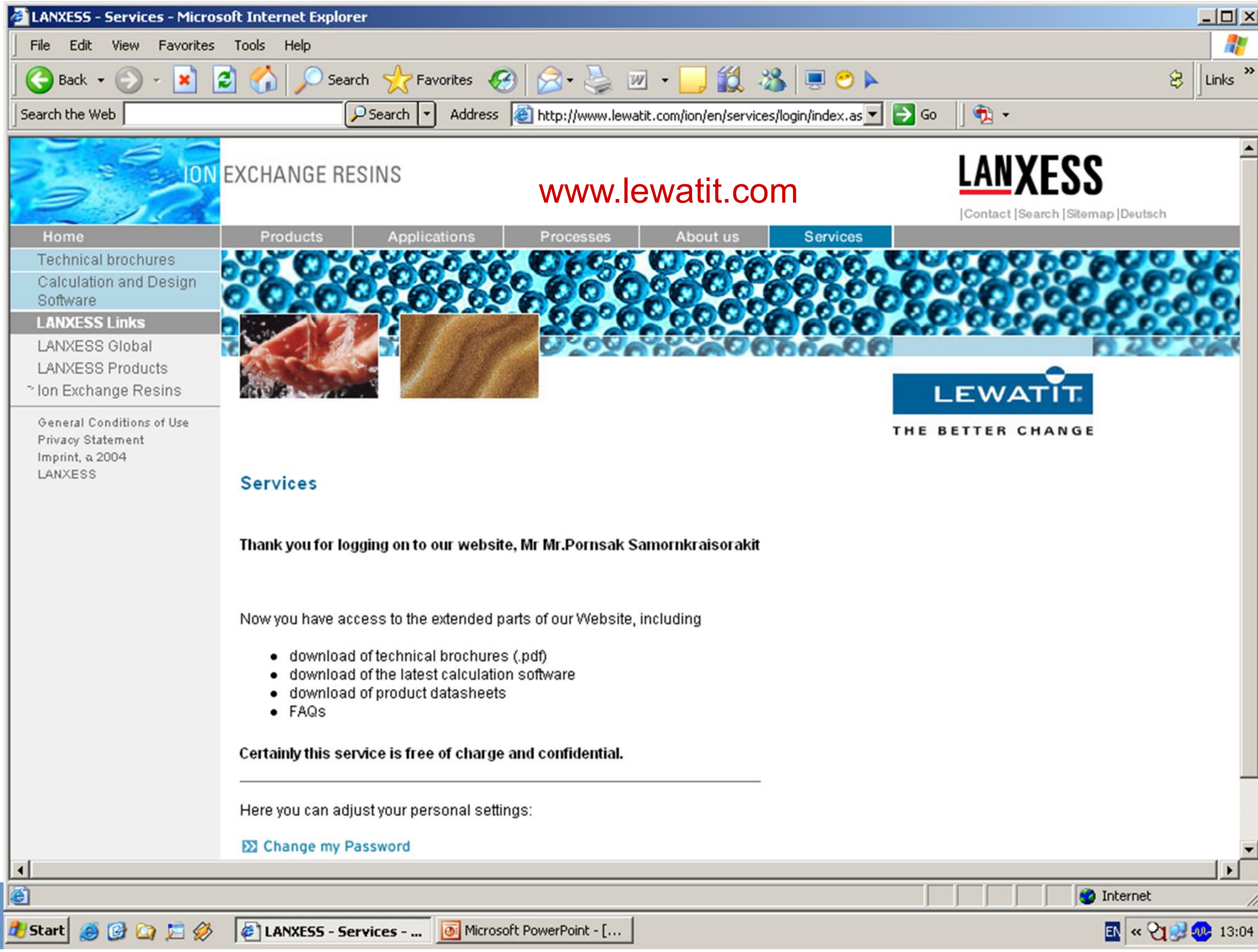
แต่ประสิทธิภาพของเรซินมีประมาณ 50 ถึง 70%เท่านั้น ดังนั้นปริมาตรเรซินที่ใช้จริง

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

MAHASAWAT TEAM

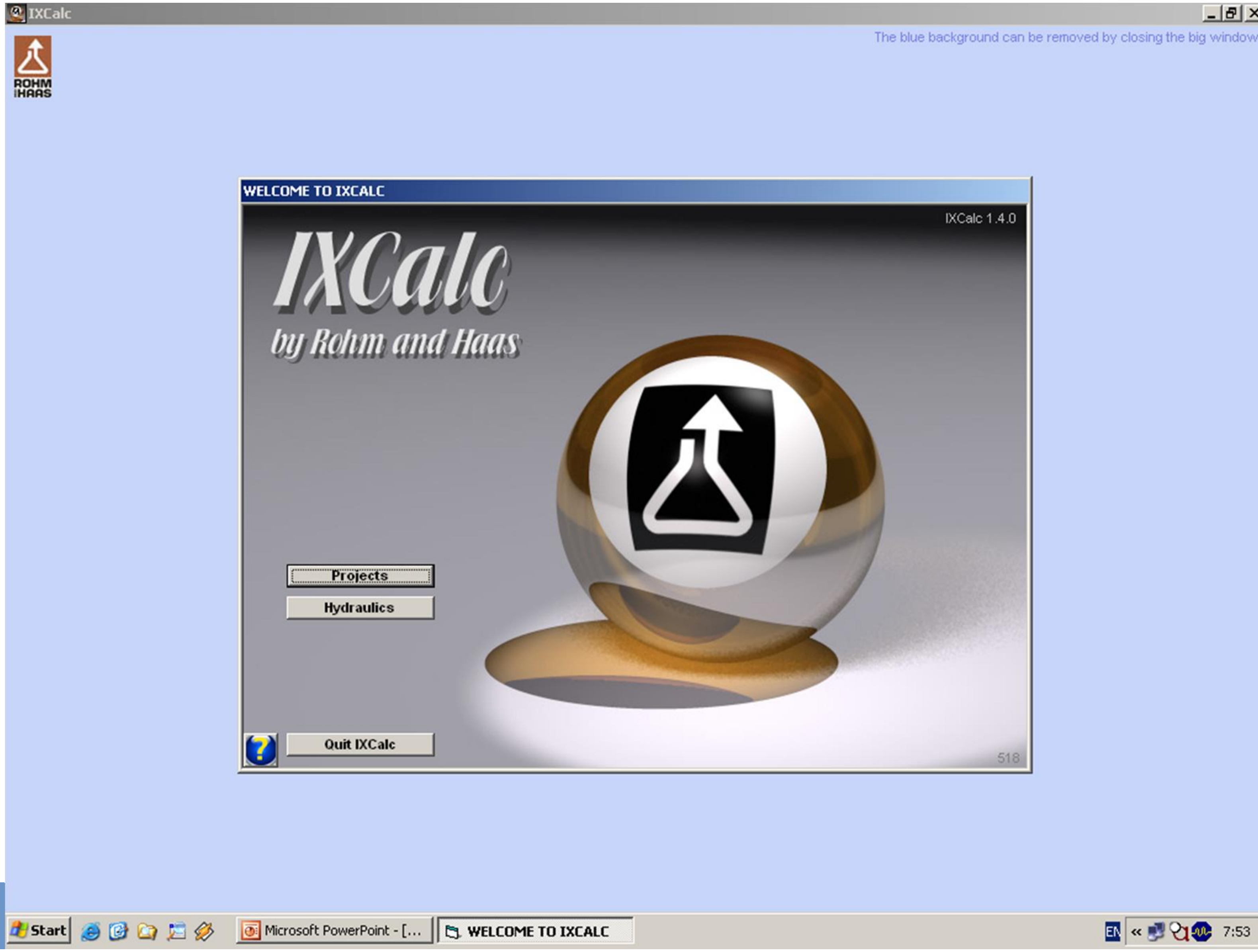
MAHASAWAT TEAM


CADIX version 5.5.2 - Authorised user : Unknown - Unregistered User
File Utilities Options Window Navigate Help
DOW
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.
Metric System USD
start
Microsoft PowerPoint ...
CADIX version 5.5.2 ...
EN
7:59



MAHASAWAT TEAM

www.amberedge.com



MAHASAWAT TEAM

Questions ?

Thank You !