น้ำกระด้าง (Hard Water)

10

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาน้ำกระด้างแต่ละประเภท
2. เพื่อวิเคราะห์หาความกระด้างของน้ำ
3. เพื่อศึกษาเทคนิคในการกำจัดความกระด้างของน้ำ

ทฤษฎี

น้ำกระด้าง (Hard Water) เป็นน้ำที่มีแคทไอออนของโลหะบางชนิดละลาย เช่น Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} ซึ่งมีผลต่อสิ่งแวดล้อมและอุตสาหกรรม ทำให้น้ำที่ใช้อยู่ในชีวิตประจำวันมีความสามารถในการทำความสะอาดของสบู่และยังเกิดฟองได้ยาก นอกจากนี้ในทางอุตสาหกรรมที่ต้องใช้น้ำร้อนในโรงงาน จะพบว่ามีตะกรันเกิดขึ้นในหม้อต้มน้ำของโรงงานถ้าน้ำที่ใช้เป็นน้ำกระด้าง ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกรัน และมีผลต่อการขนน้ำผ่านทางท่อ เพราะคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นจะไปอุดตันและเคลือบที่แทงค์น้ำได้ และอาจจะมีผลต่อกระบวนการทางเคมีในโรงงานอุตสาหกรรม

น้ำกระด้างแบ่งออกได้ 2 ชนิด ตามชนิดของเกลือ

1. น้ำกระด้างชั่วคราว (temporary hardness) เป็นน้ำกระด้างที่สามารถกำจัดความกระด้างออกไป ด้วยวิธีการต้ม เป็นน้ำที่มีไอออนไฮโดรเจนคาร์บอเนต (HCO_3^-) ปนอยู่ เมื่อนำไปต้มจะเกิดการตกตะกอนของโลหะ ทำให้น้ำหายกระด้างได้

$$Ca^{2+}(aq) + 2\,HCO_3^-(aq) \rightarrow CaCO_3(s) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

$$Mg^{2+}(aq) + 2\,HCO_3^-(aq) \rightarrow MgCO_3(s) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

2. น้ำกระด้างถาวร (permanent hardness) น้ำกระด้างชนิดนี้ไม่สามารถกำจัดความกระด้างออกไปด้วยวิธีการต้มได้ เนื่องจากมีแอนไอออนของคลอไรด์ไอออน (Cl^-) หรือ ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-})

ความกระด้างของน้ำ หมายถึง ความสามารถในการจะทำให้สบู่ตกตะกอนได้โดยไอออน Ca^{3+} และ Mg^{2+} ในน้ำเป็นส่วนใหญ่ แต่อาจจะตกตะกอนโดยไอออนตัวอื่น เช่น Al^{3+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Sr^{2+} และ Zn^{2+} ได้ด้วย แต่เนื่องจากไอออน 2 ตัวแรก คือ Ca^{2+}และ Mg^{2+} มีมากในน้ำธรรมชาติ ในประเทศสหรัฐอเมริกาจะใช้ Ca^{2+} ที่อยู่ในรูป $CaCO_3$ (มิลลิกรัมต่อลิตร, mg/L หรือ ppm) เป็นตัววัดระดับความกระด้างของน้ำ (degree of hardness, dH) ดังนั้นจึงแบ่งระดับความกระด้างของน้ำเป็น 4 ระดับ ตามปริมาณของ $CaCO_3$ ที่พบ

ความเข้มข้นของ $CaCO_3$ (mg/L)	ระดับความกระด้าง
0 ถึง < 75	น้ำอ่อน
75 ถึง < 150	น้ำกระด้างปานกลาง
150 ถึง < 300	น้ำกระด้าง
> 300	น้ำกระด้างมาก

ในบางประเทศอาจใช้หน่วยวัดความกระด้างของน้ำต่างกัน ซึ่งสามารถแยกและแปลงผันหน่วยได้ ดังตาราง

CONVERSION OF WATER HARDNESS UNITS						
Water Hardness Unit Difinition	International recommended mmol/litre	Physical measures mval/litre	America & states PPM	English °e	French °f	German °dH
1 mmol/litre	1	2	100	7,0	10,00	5,6
1 mval/litre	0,5	1	50	3,5	5,00	2,8
1 PPM	0,01	0,02	1	0,070	0,10	0,056
1 °e	0,1429	0,285	14,29	1	1,429	0,7999
1 °f	0,10	0,20	10,00	0,700	1	0,5599
1 °dH	0,1786	0,357	17,86	1,250	1,786	1

โดยที่ แต่ละหน่วยวัดมีความหมาย ดังนี้

mmol/litre = 100mg $CaCO_3$ per 1000 ml water

mval/litre = 28 mg CaO หรือ 50 mg $CaCO_3$ per 1000 ml water

PPM = 1 part $CaCO_3$ per million = 1 mg $CaCO_3$ per 1000 ml water

°e = 1 grain$CaCO_3$ per gallon = 14,3 mg $CaCO_3$ per 1000 ml water

°f = 10 mg $CaCO_3$ per 1000 ml water

°dH = 10 mg CaO per 1000 ml water

วิธีการหาความกระด้างของน้ำ

1. การคำนวณ โดยใช้สมการในการคำนวณความกระด้างของน้ำจากผลการแยกหาความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียม

Hardness, mg equivalent/L $CaCO_3$ = ([Ca, mg/L]×2.497) + ([Mg, mg/L] ×4.116)

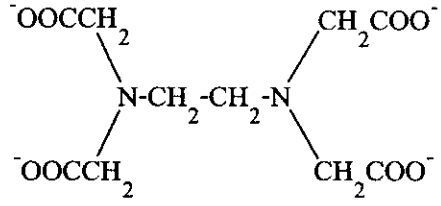
2. เทคนิคการไทเทรตด้วย EDTA (EDTA Titrimetric Method) โดยการทำปฏิกิริยาของโลหะกับสารละลาย EDTA (Ethylene Diamine TetraAcetate) โดยอยู่ในรูปของ disodium salt : Na_2H_2Y (Y คือ EDTA) เกิดไอออนเชิงซ้อนที่คงตัว

ในสารละลายที่มี pH ต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนของโลหะนั้นๆ ถ้าให้ M^{2+} แทนไอออนของโลหะ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นดังสมการ

$$M^{2+} + H_2Y^{2-}(aq) \rightleftharpoons MY^{2-}(aq) + 2H^+(aq)$$

ไอออนเชิงซ้อนไม่มีสี

EDTA เป็นลิแกนด์ชนิดพอลิเดนเทต ที่มีโครงสร้างที่สามารถจับกับโลหะอื่นได้ 6 ตำแหน่ง คือ ที่หมู่คาร์บอซิลทั้ง 4 ตำแหน่ง และที่อิเล็กตรอนคู่โดดเดียวของไนโตรเจนอีก 2 ตำแหน่ง มีประจุเป็น –4

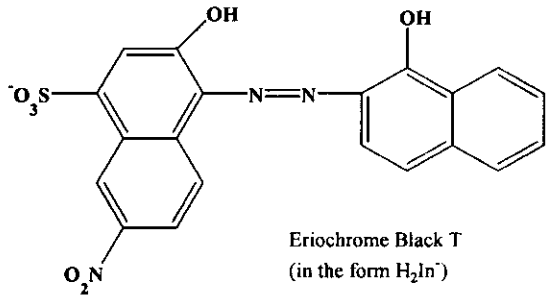


(EDTA)

เช่น $Ca^{2+} + H_2EDTA^{2-}(aq) \rightleftharpoons CaEDTA^{2-}(aq) + 2H^+(aq)$

จากสมการปฏิกิริยา พบว่า 1 โมล ของ EDTA สามารถทำปฏิกิริยาพอดีกับโลหะ 1 โมล เกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนที่ไม่มีสี ดังนั้นจึงต้องอาศัยอินดิเคเตอร์เพื่อสังเกตการเกิดปฏิกิริยา โดยจะเกิดไอออนเชิงซ้อนที่มีสีกับไอออนของโลหะที่มีความเข้มข้นอย่างน้อย 10^{-7} - 10^{-6} โมลต่อลิตร

อินดิเคเตอร์ส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็นจำพวกสีย้อม (dye) ที่นิยมใช้คือ Eriochromeschwartz-T หรือ Eriochrome Black T (หรือเรียกว่า Erio-T) เป็นเกลือโซเดียมของกรดอ่อน ที่มีชื่อทางเคมีว่า sodium 1-(1-hydroxy 2-naphthlazo) 6-nitro 2-naphthol 4-sulfonate เขียนสูตรแบบย่อได้เป็น NaH_2In ที่ pH = 10 จะแตกตัวอยู่ในรูปของไอออนอิสระ (HIn^{2-}) ที่มีสีน้ำเงิน แต่เมื่อเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะจะให้สีไวน์แดง



Eriochrome Black T
(in the form H_2In^-)

สภาวะ	ในรูป	สี
กรด	H_2In^-	ไวน์แดง
	HIn^{2-}	น้ำเงิน
เบส	In^{3-}	ส้ม

$$H_2O + H_2In^- \rightleftharpoons HIn^{2-} + H_3O^+ \qquad K_1 = 5 \times 10^{-7}$$

สีไวน์แดง สีน้ำเงิน

$$H_2O + HIn^{2-} \rightleftharpoons In^{3-} + H_3O^+ \qquad K_2 = 2.8 \times 10^{-12}$$

โลหะไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับ Erio T (หรือ H_2In^-) ได้สารประกอบเชิงซ้อนสีไวน์แดงของ MIn^- ดังสมการ

$$M^{2+}(aq) + H_2In^-(aq) \rightleftharpoons MIn^-(aq) + 2H^+(aq)$$

ไอออนโลหะ อินดิเคเตอร์ ไอออนเชิงซ้อนโลหะ-อินดิเคเตอร์

MIn^- เป็นไอออนเชิงซ้อนที่ไม่เสถียร ดังนั้น EDTA ซึ่งเป็นไอออนเชิงซ้อนที่มีความแรงกว่า Erio T เมื่อถูกเติมลงไปใน MIn^- จึงสามารถที่จะดึงไอออนของโลหะจาก MIn^- มาทำปฏิกิริยาได้ ที่จุดยุติจะสังเกตเห็นสีน้ำเงินของ Erio T เกิดขึ้น

$$MIn^- + HY^{3-} \rightleftharpoons MY^{2-} + HIn^{2-}$$

สีไวน์แดง สีน้ำเงิน

ถ้าน้ำกระด้างมีไอออนของโลหะอื่น เช่น อลูมิเนียม โคบอลต์ นิกเกิล (มากกว่า 20 มิลลิกรัม/ลิตร) เหล็ก(มากกว่า 30 มิลลิกรัม/ลิตร) และทองแดง ปนอยู่จะไปมีผลต่อจุดยุติของการไทเทรต จำเป็นต้องเติมสารยับยั้ง (inhibitor) เช่น โซเดียมไซยาไนด์ โซเดียมซัลไฟด์ ลงไป

3. Standard Soap Method เป็นวิธีที่ใช้สำหรับวัด soap consumting power ของน้ำ โดยการหยดสบู่ลงไปในน้ำที่มี pH 8 แล้วสังเกตการตกตะกอนที่เกิดจากสมการ

$$2\,R\text{-}COO^-Na^+ + M^{2+} \rightarrow (R\text{-}COO^-)_2\,M^{2+}\downarrow + 2\,Na^{2+}$$

สบู่ เกลือที่ไม่ละลายน้ำ

น้ำที่ใช้ทดสอบต้องปรับ pH ให้ได้ประมาณ 8-8.5 แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายสบู่มาตรฐาน พร้อมเขย่า ทำการไทเทรตจนกระทั่งเกิดฟองถาวรนาน 1 นาที ทั้งนี้ต้องใช้สารละลายสบู่ไม่เกิน 7 มิลลิลิตรเท่านั้น จึงเป็นวิธีที่ต้องใช้ร่วมกับวิธีการอื่น เพราะผลการทดลองที่ได้ไม่แม่นยำนัก

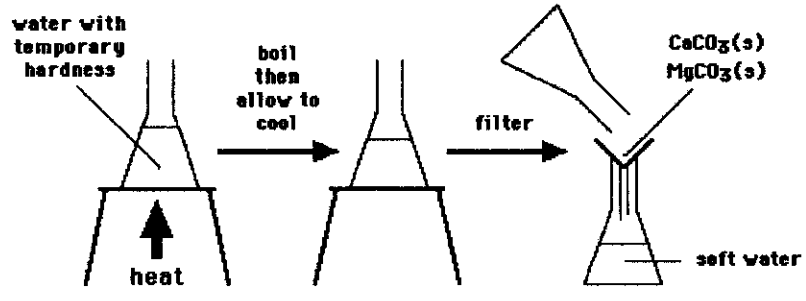
วิธีการกำจัดความกระด้างของน้ำ

1. น้ำกระด้างชั่วคราว

1.1 การต้ม (Boiling) การต้มเป็นวิธีการกำจัดน้ำกระด้างชั่วคราวที่สามารถทำให้เกิดการตกตะกอนเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตหรือแมกนีเซียมคาร์บอเนต

$$Ca(HCO_3)_2(aq) \rightarrow CaCO_3(s) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

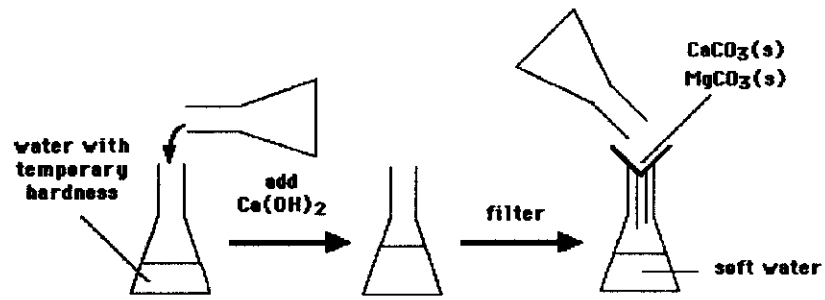
$$Mg(HCO_3)_2(aq) \rightarrow MgCO_3(s) + H_2O(l) + CO_2(g)$$



1.2 กระบวนการของ Clark (Clark's process) วิธีการนี้จะเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ปูนขาว) เพื่อให้เกิดเป็นตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนตและแมกนีเซียมคาร์บอเนต

$$Ca(HCO_3)_2(aq) + Ca(OH)_2(aq) \rightarrow 2\,CaCO_3(s) + 2H_2O(l)$$

$$Mg(HCO_3)_2(aq) + Ca(OH)_2(aq) \rightarrow CaCO_3(s) + MgCO_3(s) + 2\,H_2O(l)$$



2. น้ำกระด้างถาวร

2.1 การเติมโซเดียมคาร์บอเนต (Soda ash, $NaCO_3$) เมื่อเติมโซเดียมคาร์บอเนตจะเกิดปฏิกิริยาของคาร์บอเนตไอออนกับไอออนของโลหะ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ได้ ตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนตและแมกนีเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ

$$Ca^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightarrow CaCO_3(s)$$

$$Mg^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightarrow MgCO_3(s)$$

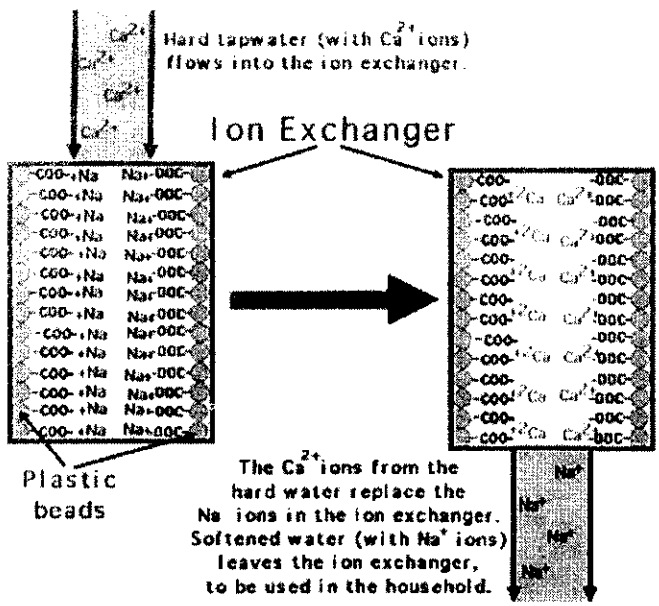
แม้โซเดียมไอออนจะยังคงอยู่ในน้ำ แต่พบว่าไม่มีผลต่อความสามารถในการกำจัดสิ่งสกปรกของสบู่

2.2 กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนแบบผันกลับได้ของไอออนในน้ำกระด้างและไอออนของสารในอนุภาคของแข็ง สำหรับอนุภาคของแข็งนี้อาจเป็นได้ทั้งสารประกอบอนินทรีย์ที่เรียกว่า*ซีโอไลท์* (Zeoite) หรือสารสังเคราะห์ของสารประกอบอินทรีย์ประเภทพอลิ

เมอร์ที่เรียกว่า *เรซิน* (Resin) ที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือเรซิน การแลกเปลี่ยนไอออนจะเกิดขึ้นเฉพาะไอออนที่มีประจุเท่ากันและประเภทเดียวกันเท่านั้น สำหรับเรซินที่ใช้ในการกำจัดไอออนของแคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำกระด้างอาจจะใช้เรซินชนิดแลกเปลี่ยนแคตไอออนซึ่งอยู่ในรูปของเกลือ $R\text{-}SO_3Na$ หรือ R-COONa

$$resin\text{-}(Na)_2(s) + Ca^{2+}(aq) \longrightarrow resin\text{-}Ca(s) + 2Na^{+}(aq)$$

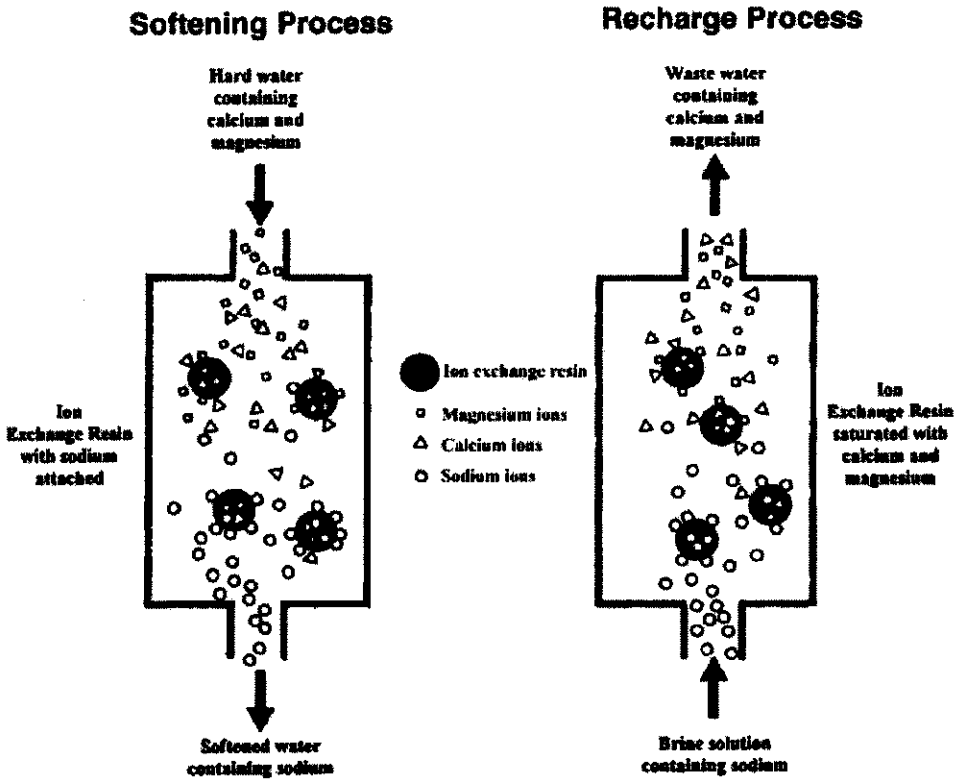
$$resin\text{-}(Na)_2(s) + Mg^{2+}(aq) \longrightarrow resin\text{-}Mg(s) + 2Na^{+}(aq)$$



สำหรับเรซินที่ผ่านการแลกเปลี่ยนแล้ว สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกโดยการผ่านสารละลายเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ จะได้เรซินของเกลือโซเดียมกลับมาอีกครั้ง

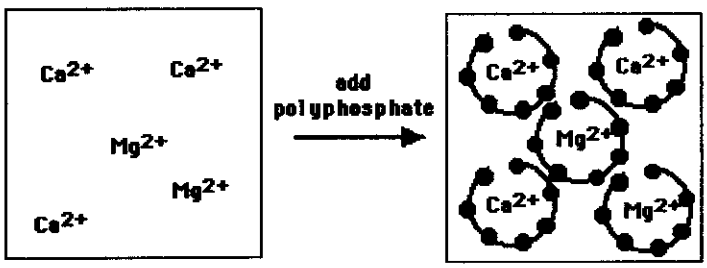
$$resin\text{-}Ca(s) + 2Na^{+}(aq) \longrightarrow resin\text{-}(Na)_2(s) + Ca^{2+}(aq)$$

www.ianr.uni.edu



1.1 การทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complexation) โดยการเติมสารประกอบลงไปเพื่อทำให้ Ca^{2+} หรือ Mg^{2+} เกิดเป็นสารปะกอบเชิงซ้อนที่เสถียร เช่น EDTA NTA หรือเกลือโซเดียมของพอลิฟอสเฟต และสำหรับเกลือโซเดียมของพอลิฟอสเฟต สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้ดังสมการ

$$Ca^{2+}(aq) + P_3O_{10}^{5-}(aq) \rightarrow CaP_3O_{10}^{3-}(aq)$$



โซ่ยาวของพอลิฟอสเฟต สามารถจับกับไอออนของโลหะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้ ทำให้ไอออนโลหะที่มีอยู่ถูกล้อมด้วย โซ่ยาวของพอลิฟอสเฟต

ตอบคำถามก่อนการทดลอง

1. จงอธิบายถึงความแตกต่างทางกายภาพและทางเคมีของน้ำกระด้างและน้ำอ่อน
2. วิธีการกำจัดไอออนที่พบอยู่ในน้ำ ควรทำวิธีการใดอธิบาย
3. ระดับความกระด้างของน้ำ แบ่งออกได้กี่ประเภท อะไรบ้าง

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ช้อนตักสาร
2. บีกเกอร์
3. หลอดทดลองขนาดใหญ่และขนาดเล็ก
4. หลอดหยด
5. บิวเรตพร้อมตัวยึด
6. ฐานและที่ตั้ง
7. ขวดรูปกรวย
8. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.1M (0.1M NaCl)
9. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.1M (0.1M $CaCl_2$)
10. สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ 0.1M (0.1M $MgCl_2$)
11. สารละลายแมกนีเซียมไนเตรต 0.1M (0.1M $Mg(NO_3)_2$)
12. สารละลายเฟอริกคลอไรด์ 0.1M (0.1M $FeCl_3$)
13. สารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ 0.1M (0.1M $AlCl_3$)
14. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
15. โซเดียมบอเรต ($Na_2B_4O_7$)
16. ไตรโซเดียมฟอสเฟต (Na_3PO_4)
17. สารละลายสบู่เจือจาง

18. แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดเกรดรีเอเจนต์ ($CaCO_3$ reagent grade)
19. [1]สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.5M (0.5M HCl)
20. [2]สารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 10
21. สารละลายอีดีทีเอ 0.01 M (0.01M EDTA)
22. อินดิเคเตอร์ เอริโอโครมแบล็คที (Eriochrome Black T)

วิธีทำการทดลอง

ตอนที่ 1 ทดสอบความกระด้างด้วยสารละลายสบู่

นำสารละลายชนิดต่างๆ ในตาราง ใส่หลอดทดลองขนาดใหญ่ อย่างละ 5 มิลลิลิตร เติมสารละลายสบู่ลงไปทีละหยด (นับจำนวนหยดทุกครั้งที่เติม) เขย่าให้สารละลายเข้ากัน เติมต่อไปอีกจนกระทั่งเกิดฟองที่เสถียรอย่างน้อย 1 นาที บันทึกผลการทดลอง

ประเภท	จำนวนหยดของสบู่	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
น้ำประปา		
น้ำกลั่น		
0.1M NaCl		
0.1M $MgCl_2$		
0.1M $Mg(NO_3)_2$		
0.1M $FeCl_3$		
0.1M $AlCl_3$		

[1] ชั่ง $Na_2H_2EDTA.2H_2O$ มา 1.8 กรัม. ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มล. เติมน้ำกลั่นประมาณ 200 มล. เขย่าจนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน นำ $MgSO_4.7H_2O$ 0.06 กรัม ใส่ลงไป เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 500 มล. ($MgSO_4$ ช่วยทำให้ Erio T ทำงานได้ดีขึ้น)

[2] เตรียมจาก NH_4Cl 6.8 กรัม ละลายด้วย 57 มล.ของ สารละลายเข้มข้นแอมโมเนีย เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มล. ในขวดวัดปริมาตร

ตอนที่ 2 ทดสอบความกระด้างโดยเทคนิคการไทเทรตของ EDTA

1.1 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA

1. ชั่งแคลเซียมคาร์บอเนต เกรด A.R. ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 0.1000 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 มล.

2. ละลายด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5M ทีละน้อยๆ จนของแข็งละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มล. ล้างบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่น ใส่รวมลงในขวดวัดปริมาตร (ทำ 2 ครั้ง) แล้วเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรครบ 100 มล.

3. ปิเปตสารละลายในข้อ 2 มา 25 มล. ใส่ขวดรูปกรวย เติม 3 มล.ของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 แล้วหยด Eriochrome Black T จำนวน 3 หยด

4. นำมาไทเทรตกับสารละลาย EDTA ที่บรรจุอยู่ในบิวเรต จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีไวน์แดงเป็นสีน้ำเงิน บันทึกผลการทดลอง

5. ทำการทดลองซ้ำข้อ 3 – 4 อีกครั้ง แล้วนำไปคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA

1.2 หาความกระด้างของน้ำ

1. ปิเปตน้ำตัวอย่างมา 100 มล. ใส่ขวดรูปกรวยขนาด 250 มล. เติม 3 มล.ของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 แล้วหยด Eriochrome Black T ลงไปจำนวน 3 หยด

2. นำไปไทเทรตกับสารละลาย EDTA

3. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง แล้วคำนวณหาความเข้มข้นของ $CaCO_3$

ตัวอย่าง นำน้ำประปาปริมาตร 100 มล.เติมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 จำนวน 5 มล. แล้วหยด Eriochrome Black T ลงไป 3 หยด เมื่อนำไปไทเทรตกับสารละลาย EDTA เข้มข้น 0.01M สารละลายเปลี่ยนสีจากสีไวน์แดงเป็นสีน้ำเงินเมื่อใช้สารละลาย EDTA ไป 12.5 มล. จงหาความกระด้างของน้ำ (MW ของ $CaCO_3$ = 40 + 12 + 16(3) = 100 กรัมต่อโมล)

$$M^{2+} + H_2Y^{2-}(aq) \rightleftharpoons MY^{2-}(aq) + 2H^{+}(aq)$$

จากสมการไอออนของโลหะ (M^{2+}) 1 โมล จะทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลาย EDTA (H_2Y^{2-}) 1 โมล

จำนวนโมลของ M^{2+} = จำนวนโมลของ H_2Y^{2-}

$$= \frac{0.010M \times 12.50mL}{1000}$$

$$= 1.25 \times 10^{-4} \text{ โมล}$$

ดังนั้น น้ำประปา 1000 มล. จะมีไอออนของโลหะ

$$= \frac{1000 \times 12.50 \times 10^{-4}}{100} \text{ โมล}$$

$$= 1.25 \times 10^{-3} \text{ โมล}$$

$$= 1.25 \times 10^{-3} \times 100 \text{ กรัม}$$

$$= 125 \text{ มิลลิกรัม}$$

น้ำประปามีไอออนของโลหะ = 125 mg/L

ความกระด้างของน้ำ = 125 mg/L

หรือ = 125 ppm

ผลการทดลอง ตอนที่ 2

2.1 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA

น้ำหนักของ $CaCO_3$ ..... กรัม

จำนวนโมลของ $CaCO_3$ ..... โมล

ปริมาตรของสารละลาย $CaCO_3$ ที่เตรียม 100 มล.

ความเข้มข้นของ $CaCO_3$ ..... โมล/ลิตร

ในการไทเทรตแต่ละ flask จะใช้สารละลาย Ca^{2+} 25 มล.

จำนวนโมลของ Ca^{2+} ใน flask ..... โมล

ใช้อินดิเคเตอร์ .....

เปลี่ยนสีสารละลายจากสี ..... ไปเป็นสี .....

	Flask ที่ 1	Flask ที่ 2
1. ขีดปริมาตรก่อนไทเทรต		
2. ขีดปริมาตรหลังไทเทรต		
3. ปริมาตรของ EDTA ที่ใช้ (2-1) มล.		
4. ปริมาตรเฉลี่ยของ EDTA ที่ใช้ (มล.)		มล.
5. ความเข้มข้นของสารละลาย EDTA (โมล/ลิตร, M)	..... โมล	

2.2 หาความกระด้างของน้ำ

ปริมาตรของน้ำตัวอย่างที่ใช้แต่ละครั้ง ..... มล.

ความเข้มข้นของ EDTA จาก 2.1 ..... โมล/ลิตร

ใช้อินดิเคเตอร์ .....

เปลี่ยนสีสารละลายจากสี ..... ไปเป็นสี .....

	Flask ที่ 1	Flask ที่ 2
1. ขีดปริมาตรก่อนไทเทรต		
2. ขีดปริมาตรหลังไทเทรต		
3. ปริมาตรของ EDTA ที่ใช้ (2-1) มล.		
4. ปริมาตรเฉลี่ยของ EDTA ที่ใช้ (มล.)	มล.	
5. [3]จำนวนโมลของ EDTA ที่ใช้ (โมล) (=จำนวนโมลของไอออนในน้ำตัวอย่าง)	..... โมล	

น้ำตัวอย่างที่ใช้ปริมาตร 100 มล. มีไอออนของโลหะ = ... โมล

ในน้ำ 1000 มล. จะมี ไอออนของโลหะ = ...

= ..... โมล

ความกระด้างของน้ำ 1 ลิตร เทียบไอออนของโลหะ กับ $CaCO_3$

ดังนั้นน้ำตัวอย่าง มีความกระด้าง = ...g/L

= .....mg/L

= .....ppm

น้ำตัวอย่างมีความกระด้างอยู่ในระดับ .....

ตอนที่ 3 การกำจัดความกระด้างของน้ำ

1. เตรียมน้ำกระด้าง
   ใส่น้ำกลั่นประมาณ 20 มล. ลงในบีกเกอร์ขนาดเล็ก เติม $CaCl_2$ และ $Mg(NO_3)_2$ อย่างละ 5 หยด
2. ตวงน้ำกระด้างในข้อ 1 ใส่หลอดทดลองขนาดเล็ก 4 หลอด หลอดละ 3 มล. แล้วเติมสารต่อไปนี้ปริมาณเล็กน้อยลงไปในหลอดทดลอง

   หลอดที่ 1 Na_3PO_4 หลอดที่ 2 Na_2CO_3

   หลอดที่ 3 $Na_2B_4O_7$ หลอดที่ 4 $(NaPO_3)_6$

[3] จำนวนโมล EDTA = ความเข้มข้นของ EDTA × ปริมาตรของ EDTA ที่ใช้

3. เขย่าหลอดทดลอง นำไปเซนติฟิวก์ แยกน้ำใสใส่หลอดทดลองใหม่
4. นำหลอดทดลองในข้อ 3 เติมสารละลายสบู่ลงไปทีละหยด สังเกตการเปลี่ยนแปลง เขย่า นับจำนวนหยดที่ทำให้สารละลายเกิดฟองที่เสถียรประมาณ 1 นาที บันทึกผลการทดลอง

ผลการทดลอง ตอนที่ 3

สารลดความกระด้างของน้ำ	จำนวนหยดของน้ำสบู่	ลักษณะของตะกอน
Na_3PO_4		
Na_2CO_3		
$Na_2B_4O_7$		
$(NaPO_3)_6$		

ตอบคำถาม

1. เมื่อสบู่ทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะต่อไปนี้ จะได้สารผลิตภัณฑ์เป็นอะไร (สูตรทั่วไปของสบู่ = $C_{17}H_{35}COONa$)
   1.1 แมกนีเซียมไอออน
   1.2 อลูมิเนียมไอออน
2. เขียนสมการที่เกิดขึ้นระหว่างไอออนของโลหะแคลเซียมกับอินดิเคเตอร์ Erio T และนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้มาไทเทรตกับสารประกอบ EDTA
3. จงเขียนสมการที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนไอออนของแคลเซียมไอออนในน้ำกระด้าง กับสารลดความกระด้างต่อไปนี้
   3.1 โซเดียมฟอสเฟต (Na_3PO_4)
   3.2 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
   3.3 โซเดียมเททระโบเรต ($Na_2B_4O_7$)
4. ในการกำจัดน้ำกระด้างชั่วคราวทำได้อย่างไร จงอธิบาย