

## เอกสารอ้างอิง

### ภาษาไทย

ชงชัย พรณสวัสดิ์ และ ปธาน บรรจงปรุ. มลพิษของน้ำเสียฟอกหนัง. เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องผลกำไรของเทคโนโลยีปลอดมลพิษในอุตสาหกรรมฟอกหนัง, 20-21 ตุลาคม 2536, สมุทรปราการ, ประเทศไทย.

(เอกสารอัดสำเนา)

ปธาน บรรจงปรุ. ศึกษาภาพของมลพิษจากอุตสาหกรรมฟอกหนังในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

เฮวานซ์ สุจริตธรรม. การตกตะกอนผลึกโครเมียมจากน้ำเสียฟอกหนังโดยการบำบัดด้วยค่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

### ภาษาอังกฤษ

- Andres, H. Experiences with Chrome Recycling. Leader 36 (1985): 17-21. Chemical Abstracts 101 (1992): Abstract No.173424y
- APHA, AWWA and WPCF Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 15<sup>th</sup> Edition, 1980
- Block, H.D., et al. Precipitation of Chromium from Tannery Wastewater. Eur. Pat. Appl. (November 1989): 13 pp. Chemical Abstracts 112 (1992): Abstract No.104307c
- Boast, D.A. Large Scale Chrome Recovery from Chrome Wash Liquors. J. Am. Leather Chem. Assoc 83 (1988): 17-23. Chemical Abstracts 108 (1992): Abstract No.169558x
- Bongaert, K&H. Design Report of Proposed Wastewater Treatment Plant for the Ceylon Leather Products Corporation. Sri-Lanka: Environmental Engineers Consultant, 1989, quoted in Dodangoda, K.D.G.P. Recovery of Chromium & Protein from Leather Shavings. Master's Thesis, Asian Institute of Technology, 1992

- Butler, N. Solubility and pH Calculation. Addison Wesley Pub. Company, 1964., quoted in Islam, M.S., Treatment of Tannery Waste-Effects of Trivalent and Hexavalent Chromium., Master's Thesis , Asian Institute of Technology, 1992
- Comino, P., Cortinovis, M., and Tacchini, C. Continuous Recovery of Chromium from the Tannery Waste Waters. AES 2 (1980):83-85. Chemical Abstracts 93 (1992): Abstract No.225200k
- Costas, I.D., Negulescu, D., Preda, A., and Artenie, R. Study of the Use of Basic Chromium Salts Recovered from Wastewater in Industrial Processing of Cattle Hides. Ind.Usorad 32 (1985):16-19. Chemical Abstracts 103 (1992): Abstract No. 162152y
- Daigle, R.P., and Bennett, D.J. Effluent Chrome Recovery at Thru-Blu. J. Am. Leather Chem. Assoc. 81 (1986): 305-311. Chemical Abstracts 105 (1992): Abstract No.193287s
- Dobrescu, F., and Florea, I. Chromium Sesquioxide from Spent Wastewater. Rom. (November 1978): 2 pp. Chemical Abstracts 92 (1992): Abstract No.25099b
- Dodangoda , K.D.G.P. Recovery of Chromium & Protein from Leather Sludges. Master's Thesis, Asian Institute of Technology, 1992
- Donati, M. Recycling Process of Tannery Wastes. Cuoio, Pelli, Mater Concianti 54 (1978):419-429 . Chemical Abstracts 90: Abstract No. 563439
- Eckenfelder , W.W., and Ford , D.L. Water Pollution Control Experimental Procedure for Design, pp.235-248. Austin Penverton, 1970
- Franouse, C., Richard and Alain C, M., and Bourg. Aqueous Geochemistry of Chromium. :a Review. Wat. Res. 25 (1991):807-816
- Gokcay , C F., and Yetis, U. Effect of Chromium (VI) on Activated Sludge. Water Research. 25 (1991) 65-73

- Islam , M.S. Treatment of Tannery Waste-Effects of Trivalent and Hexavalent Chromium., Master's Thesis , Asian Institute of Technology,1992
- Khavrochin, G.N.,Zurabyan,E.K.,Mnuskina,N.K.,Baikaina, N.D.,and Kunts,M.I.Intensification of the Recovery of Chromium Compounds from Spent Tanning Solutions.Kozh.-Obum.Prom-st. No. 9 (1987):14-15.Chemical Abstracts 108: Abstract No.23543s
- Kumar,M.Potentials Converting Tannery Solid Wastes into Glue and Other Utilizable By-Products,Presented at Saminar on the Profitability of Clean Technology in the Leather Tanning Industries,20-21 October 1992, Samutprakarn,Thailand.
- Langerwerf, J.S.A.Recovery and Reuse of Trivalent Chromium. Proc.-Congr Leather Ind.1(1978):251-261.Chemical Abstracts 92 (1992):Abstract No.60354c
- Langerwerf, J.S.A. and De Wijs, J.C.Precipitation and Reuse of Trivalent Chromium. Leader28(1977):1-8. Chemical Abstracts 86 (1992):Abstract No.91774v
- LO, K.S.L., and Chen, Y.H. Extracting Heavy Metals from Municipal and Industrial Sludges.The Science of the Total Environment 90 (1990):99-116
- Macchi, G.,Pagano,M.,Pettine ,M.,Santori,M.,and Trivanti,G. A Bench Study on Chromium Recovery from Tannery Sludge. Wat. Res. 25(1991):1019-1026.
- Mearns, A.J., Oshida,P.S., and Sherwood , M.J., Chromium Effect on Coastal Organism .Jounal WPCF. 48 (1970):1928-1939
- Mamakov, A.A.,Fainshtein,L.B.,Kubritskaya,T.D.,and Kozlova, T.V. Electroflotation Removal of Chromium from Tannery Waste Waters and Recovery of the Chromium from the Flotation Product.Izv. Akad. Nauk Mold.SSR,Ser.Fiz.- Tech.Mat.Nauk

No.1 (1973):87-89.Chemical Abstracts 79 (1992): Abstract  
No.83157m

- Nikolov,A.,and Popazov ,I.Treatment of Chrome Tanning Waste Waters  
and Possibilities of Recovering the chromium.Tr.  
Nauchnoizsled. Inst.Vodosnabdyavane, Kanaliz . Sanit.Tekh.  
5 (1970):159-168 .Chemical Abstracts 79:Abstract No.107901c
- Oertel H.,personal communication (1993)
- Popa. G.,Gheorghe,O.,Griscencu,I.,Tanasa,V.,and Hatman,G. Recovery  
of Chromium Salts from Leather Wastes. Rom (December 1975)  
:2 pp.Chemical Abstracts 88: Abstract No.197184j
- Porst,J.Export Report on Waste in the Tanning Industry. Bangkok:  
Dertsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ)  
GmbH,1991. (Mimeographed)
- Rajamani,S.,Gupta ,S.N.,Mitra,F.B.,Schaapman,J.E.,and Hatman,  
G.Chrome Recovery an Reuse in India. Water Environment and  
technology (January 1992):60-63.
- Rajamani,S.,Suthanthararajan,R.,Raghavan,K.V.,Thyagarajan,G.,and  
Schaapman ,J.E.Waste Minimization in the Leather Industry:  
Chrome Recovery and Reuse in Tanneries (1992):267-264.
- Simoncini, A.,and Tomaselli, M. Recovery of Chromium from Tanning  
bath Wastes.Cuico, Pelli, Mater.Concianti,53 (1977):  
251-269.Chemical Abstracts 87:Abstract No.169270v
- Specification of Feliderm CS. , Federal Republic of Germany:Hoechst  
Aktiengesellschaft , 1989
- Stanik, V.,Bistricka,M.,and Danis,L.Chromic Ion Recovery from  
Tanning Wastewaters.Czech.(April 1987):7 pp. Chemical  
Abstracts 108:Abstract No.100660g
- Svancer, J. Rcovery of Chromium (III) hydroxide from Chrome Tanning  
Waste Waters by Precipitation With Ammonia. Kozarstvi 23  
(1973):108-109.Chemical Abstracts 79:Abstract No.9471t

Tibaldi, G. Method and Apparatus for Recovery of Chromium Salts from Tannery Wastewater. Ger. Offen.(July 1984) :14 pp.  
Chemical Abstracts 101: Abstract No. 173424y

Thongchai, P. Knowing Your Wastes, Knowing Your Options. Presented at Saminar on the Profitability of Clean Technology in the Leather Tanning Industries, 20-21 October 1992, Smutprakarn, Thailand.

(Mimeographed)

Win, K.M. SBR-Membrane Separation System for Tannery Wastewater Treatment. Master's Thesis, Asian Institute of Technology, 1992.

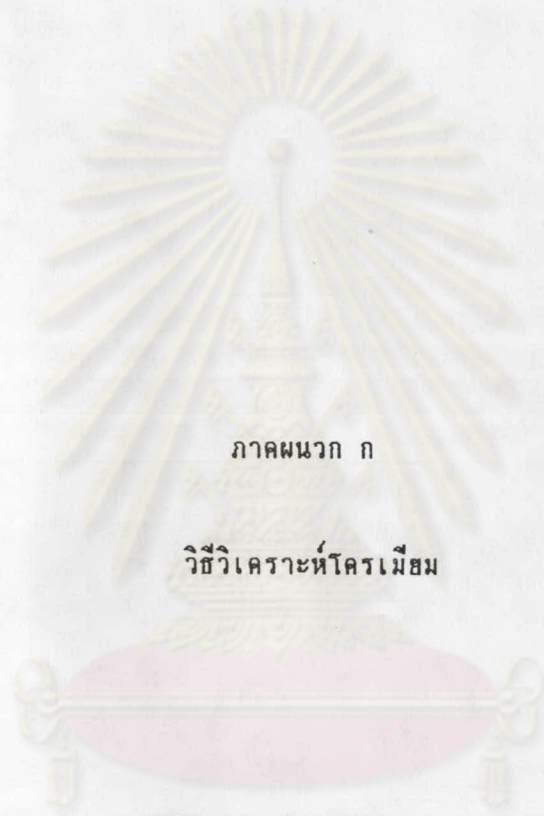
Wood, B. Clean Technology Options in the Leather Tanning Industry. Presented at Saminar on the Profitability of Clean Technology in the Leather Tanning Industries, 20-21 October 1992, Smutprakarn, Thailand.

(Mimeographed)

WPCF and ASCE Wastewater Treatment Plant Design, Lancaster Press, INC, Lancaster, USA, 1977

Zhuanh, Y.H. Profitability of Protein Recovery from Leather Shavings with Highlevel Chromium Content. Master's Thesis, Asian Institute of Technology, 1992.

ศูนย์วิทยุโทรพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์โครเมียม

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

## วิธีวิเคราะห์โครเมียม

วิธีการวิเคราะห์โครเมียมในการวิจัยนี้มี 2 วิธี คือ

- 1) วิเคราะห์โดยการวัดสี (colorimetric method)
- 2) วิเคราะห์โดยการไตเตรท (titration method)

การเตรียมน้ำตัวอย่าง

ก) สำหรับวิเคราะห์โครเมียมทั้งหมด

สารเคมีที่ใช้

1. กรดไนตริกเข้มข้น
2. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
3. กรดไนตริก 1+1
4. กรดเปอร์คลอริกเข้มข้น
5. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น 30 %
6. สารละลายอินดิเคเตอร์เมซิลออเรนจ์

ขั้นตอนการย่อย

1. ผสมตัวอย่างน้ำให้เข้ากันแล้วบีเปิดใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มล. ปริมาณ 10 มล. เติมน้ำกลั่นผสมให้เป็น 100 มล.
2. หยดเมซิลออเรนจ์ 2-3 หยด เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นจนเป็นสีแดง แล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 มล. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2 มล. ตามลำดับ ใส่ลูกแก้วพอประมาณ แล้วนำไปต้มบนแท่นร้อน
3. เมื่อปริมาตรสารละลายเหลือประมาณ 10-20 มล. เติมกรดไนตริกเข้มข้น 12 มล. นำไปต้มต่อจนควันสีขาวจางหายไป (ปริมาตรสารละลายเหลือ 10-20 มล.)
4. เติมกรดไนตริก 1+1 25 มล. และกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น 24 มล. ต้มต่อจนควันสีขาวหายไป และจะได้สารละลายที่มีสีเหลืองใส ยกลงตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
5. เติมน้ำกลั่น 50 มล. ต้มต่อจนเดือดเพื่อละลายเกลือที่เกิดขึ้น ยกลงตั้งทิ้งไว้ให้เย็น



6. เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้เป็น 100 มล. (เป็นการเจือจางตัวอย่างน้ำ  
ลง 10 เท่า)

7. นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์โครเมียมโดยวิธีวัดสีต่อไป

ข) สำหรับวิเคราะห์โครเมียมละลาย

ขั้นตอนการเตรียม

นำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C) ซึ่งมีขนาดช่องเปิด  
0.45 ไมครอนด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ นำที่ผ่านการกรองนำไปวิเคราะห์โครเมียมใน  
รูปสารละลายโดยวิธีวัดสี (ข้อ 1) หรือ วิธีไตเตรท (ข้อ 2) ต่อไป

1) วิธีวิเคราะห์โครเมียมโดยการวัดสี

การใช้งาน : ใช้กับตัวอย่างที่มีความเข้มข้นโครเมียมต่ำ (ไม่ควรมากกว่า 200  
มก./ล.)

อุปกรณ์หลักที่ใช้

1. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์
2. แท่นร้อน

สารเคมีที่ใช้

1. สารละลายอินดิเคเตอร์เมซิลออเรนจ์
2. สารละลายกรดซัลฟูริก (1+1)
3. สารละลายโพตัสเซียมเปอร์มังกาเนต ( $\text{KMnO}_4$ )
4. สารละลายโซเดียมเฮไซด์ ( $\text{NaN}_3$ )
5. สารละลาย 1-5 ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ ( $\text{C}_{15}\text{H}_{12}\text{N}_4\text{O}$ )
6. กรดฟอสเฟอริกเข้มข้น ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ปิเปิดน้ำตัวอย่างให้มีโครเมียมอยู่ประมาณ 20-80 ไมโครกรัม (ถ้า  
ตัวอย่างมีความเข้มข้นโครเมียมสูงต้องทำการเจือจางก่อน) ใส่ลงในขวดรูปชมพู่เติมน้ำกลั่น  
จนสารละลายมีปริมาตร 40 มล. ใส่ลูกแก้ว 2-3 เม็ด
2. หยดเมซิลออเรนจ์ 2-3 หยด จากนั้นเติมกรดซัลฟูริก (1+1) จนถึงจุดยุติ  
ของเมซิลออเรนจ์ (สีส้มแดง) แล้วเติมกรดซัลฟูริก (1+1) ให้เกินพออีก 1 มล.
3. นำสารละลายในข้อ 2 มาต้มบนแท่นร้อนจนเดือดจากนั้นหยดสารละลาย



โปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตจนได้สารละลายสีแดงเข้ม (ค่อน ๆ เดิมทีละหยด) ต้มต่ออีก 2 นาที แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 มล. ต้มต่อจนสีแดงจางลง (ประมาณ 30 วินาที) ถ้าสีแดงไม่จางลงให้เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์อีก 1 มล. จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมกรดฟอสเฟอริกเข้มข้น 5 หยด

4. ปรับพีเอชของสารละลายด้วยกรดซัลฟูริก 0.2 นอร์มอลให้มีพีเอช 1.0 + 0.3

5. เจือจางสารละลายที่ได้ด้วยน้ำกลั่นแล้วทำให้ปริมาตรเป็น 100 มล. แล้วเติมสารละลายไดฟีนิลคาร์บาไซด์ 2 มล. ตั้งทิ้งไว้ 5-10 นาที แล้วนำไปวัดค่าแอมบอร์บแบบที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

6. นำค่าแอมบอร์บแบบที่ได้ไปเทียบหาปริมาณโครเมียมจากกราฟแคลิเบชัน

$$\text{ความเข้มข้นโครเมียม (มก./ล.}_{\text{Cr}}) = \frac{\text{ปริมาณโครเมียม (ไมโครกรัม)}}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

2) วิธีวิเคราะห์โครเมียมโดยการไตเตรท

2.1 สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นของเหลว

การใช้งาน : ใช้กับน้ำตัวอย่างที่มีความเข้มข้นโครเมียมสูง หรือมากกว่า 500 มก./ล.  $_{\text{Cr}}$

อุปกรณ์หลักที่ใช้

- แท่นร้อน

สารเคมีที่ใช้

1. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น 30% ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 2 N ( $\text{NaOH}$ )
3. สารละลายนิกเกิลซัลเฟต ( $\text{NiSO}_4$ )
4. สารละลายกรดซัลฟูริก (1+1) ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
5. สารละลายอินดิเคเตอร์เฟอร์โรนิน
6. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 N (FAS)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ปิเปิดน้ำตัวอย่างมาให้มีโครเมียมประมาณ 10-14 มก. ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ใส่ลูกแก้ว 2-3 เม็ด เติมน้ำกลั่น 100 มล. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 มล.

และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2 มล. นำไปต้มบนแท่นร้อนจนได้สารละลายสีเหลือง ถ้าสารละลายยังไม่เหลืองเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปเรื่อย ๆ จนได้สารละลายสีเหลืองจากนั้นจึงเติมสารละลายนิเกิลซัลเฟต 2 มล. ต้มต่อไปอีก 3-5 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

2. เติมกรดซัลฟูริก 20 มล. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
3. นำมาไตเตรทกับเอเฟเอเอส โดยใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเคเตอร์ จนได้สารละลายสีน้ำตาลแดง

$$\text{ความเข้มข้นโครเมียม (มก./ล.}_{\text{Cr}}) = \frac{A \times 1.7 \times N \times 1000}{B \times 0.1}$$

A : ปริมาตรเอเฟเอเอสที่ใช้ในการไตเตรท (มล.)

B : ปริมาตร น้ำตัวอย่าง (มล.)

N : นอร์มัลลิตีของเอเฟเอเอส

## 2.2 สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นตะกอน

การใช้งาน : ใช้กับตัวอย่างตะกอนที่มีความเข้มข้นโครเมียมสูง (ความเข้มข้นโครเมียม > 5000 มก./ล. <sub>Cr</sub>)

### อุปกรณ์หลักที่ใช้

1. เตาเผาอุณหภูมิสูง
2. เตาอบอุณหภูมิต่ำ

### สารเคมีที่ใช้

1. โซเดียมคาร์บอเนตผง ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )
2. โพแทสเซียมคาร์บอเนตผง ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ )
3. โพแทสเซียมคลอเรตผง ( $\text{KClO}_3$ )
4. กรดซัลฟูริกเข้มข้น ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

### ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างตะกอนโดยนำตะกอนเหล่านี้ใส่ในถ้วยกระเบื้องที่ทราบน้ำหนักแล้ว ซึ่งตัวอย่างตะกอนพร้อมถ้วยกระเบื้องนำไปอบในตู้อบ  $105^\circ\text{C}$  นาน 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งตะกอนแห้ง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในเคซิเคเตอร์ ซึ่งน้ำหนักสุดท้าย

2. คำนวณหา % ความชื้น (moisture content)

3. ชั่งตัวอย่างตะกอนประมาณ 0.1-0.2 กรัม ใส่ลงในถ้วย  
กระเบื้องกันลิกเตียมโซเดียมคาร์บอเนตผง 5 ก. โปตัสเซียมคาร์บอเนตผง 3 ก. และ  
โปตัสเซียมคลอเรตผง 2 ก. ตามลำดับ ผสมให้เข้ากัน

4. นำตัวอย่างไปใส่ในเตาเผาโดยค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิจนถึง 600°C วาง  
ตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมินี้ 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

5. นำสารผสมพร้อมถ้วยกระเบื้อง แชลลงในน้ำกลั่นต้มเดือด 200 มล.  
เพื่อละลายสารที่อยู่ในถ้วยกระเบื้องออกมาจนหมด ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

6. นำสารละลายที่ได้มาเติมกรดซิลฟริกเข้มข้น 30 มล. ทิ้งไว้ให้เย็น

7. นำมาไตเตรทกับเอเฟเอเอส โดยใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเคเตอร์จนได้  
สารละลายสีน้ำตาลแดง

$$\text{ความเข้มข้นโครเมียม (มก./ล. สลัดจ์)} = \frac{1.7 \times N \times A \times D \times 1000}{0.1 \times W}$$

$$\text{ความเข้มข้นโครเมียม (มก./ก. ภาคตะกอน)} = \frac{1.7 \times N \times A}{0.1 \times W}$$

A : ปริมาตรเอเฟเอเอสที่ใช้ในการไตเตรท (มล.)

N : นอร์มัลลิตีของเอเฟเอเอส

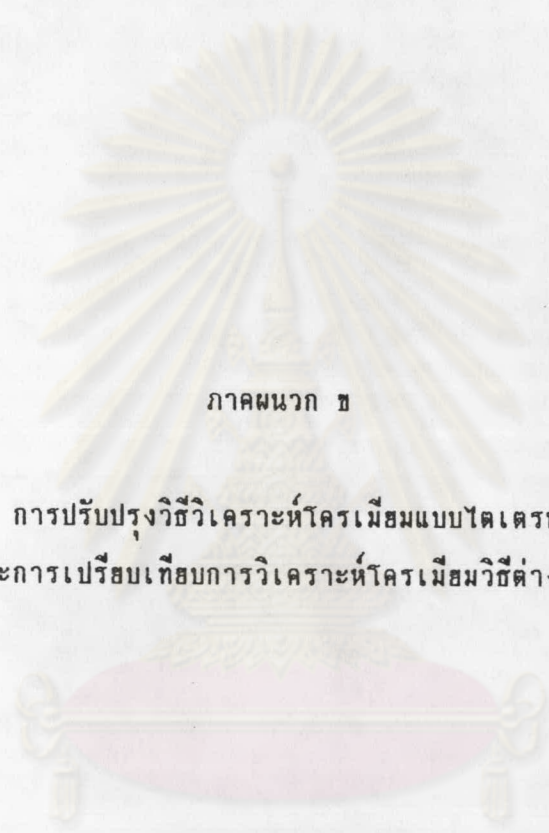
D : ความหนาแน่นของสลัดจ์ (ก./ล.)

W : นน. เป็ยกของตัวอย่างตะกอน (ก.)

$$W = \frac{\text{นน.แห้งของตัวอย่างตะกอน} \times 100}{(100 - \text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น})}$$



ศูนย์วิจัยและพัฒนา  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ๗

การปรับปรุงวิธีวิเคราะห์โครเมียมแบบไตเตรท  
และการเปรียบเทียบการวิเคราะห์โครเมียมวิธีต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ๒

การปรับปรุงวิธีวิเคราะห์โครเมียมแบบไตเตรท  
และการเปรียบเทียบการวิเคราะห์โครเมียมวิธีต่าง ๆ

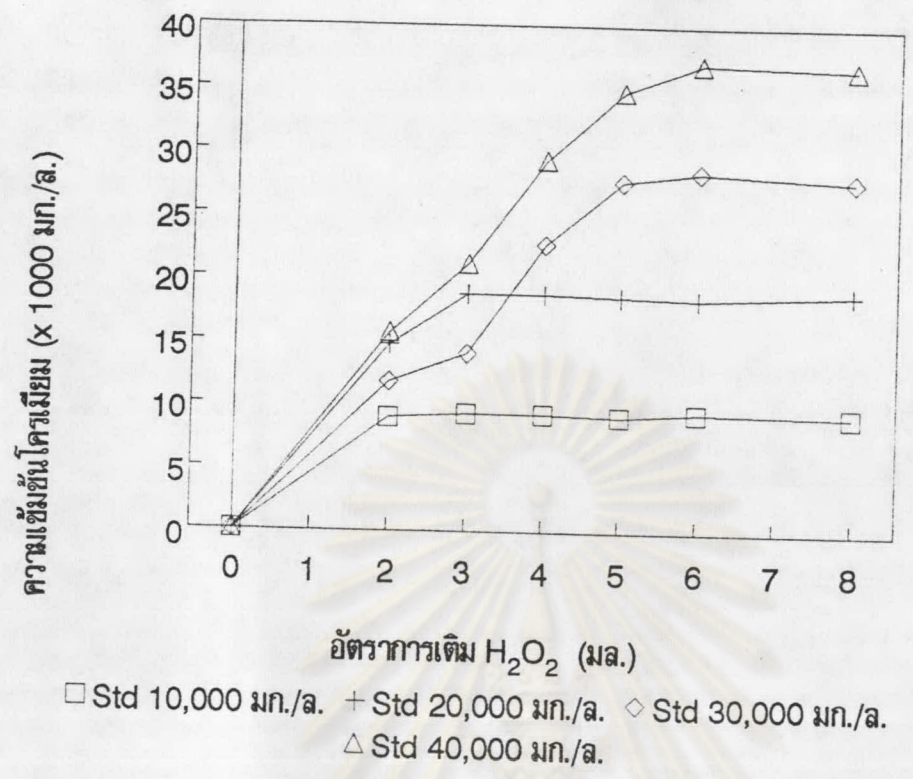
## 1. การปรับปรุงวิธีวิเคราะห์โครเมียมแบบไตเตรท

วิธีวิเคราะห์โครเมียมโดยวิธีไตเตรทนั้นจะใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งมีค่า  $E_0$  ค่อนข้างสูงคือ 1.77 โวลต์ไปออกซิไดซ์โครเมียม III ที่มีค่า  $E_0$  เท่ากับ -0.76 โวลต์ให้เป็นโครเมียม VI จากนั้นหาปริมาณโครเมียม VI ด้วยการไตเตรทด้วยเอเฟเอเอส ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับลักษณะของตัวอย่างน้ำดังแสดงในรูปที่ ๒.1 และ ๒.2 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโครเมียมที่วิเคราะห์ได้ของตัวอย่างน้ำต่าง ๆ เทียบกับอัตราการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่เป็นสารละลายมาตรฐานนั้นจะใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง 2-12 มล. ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นโครเมียมอยู่ในช่วง 10,000 - 40,000 มก./ล. ได้ โดยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้จะขึ้นอยู่กับปริมาณโครเมียมในตัวอย่างน้ำ สำหรับตัวอย่างน้ำที่มีสิ่งเจือปนมาก เช่น ตัวอย่างน้ำเสียจากการฟอกโครมดั่งในรูปที่ ๒.2 นั้น ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ไม่ขึ้นกับปริมาณโครเมียมในน้ำเสีย แต่ขึ้นกับสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงจะต้องการไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากกว่าน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึง

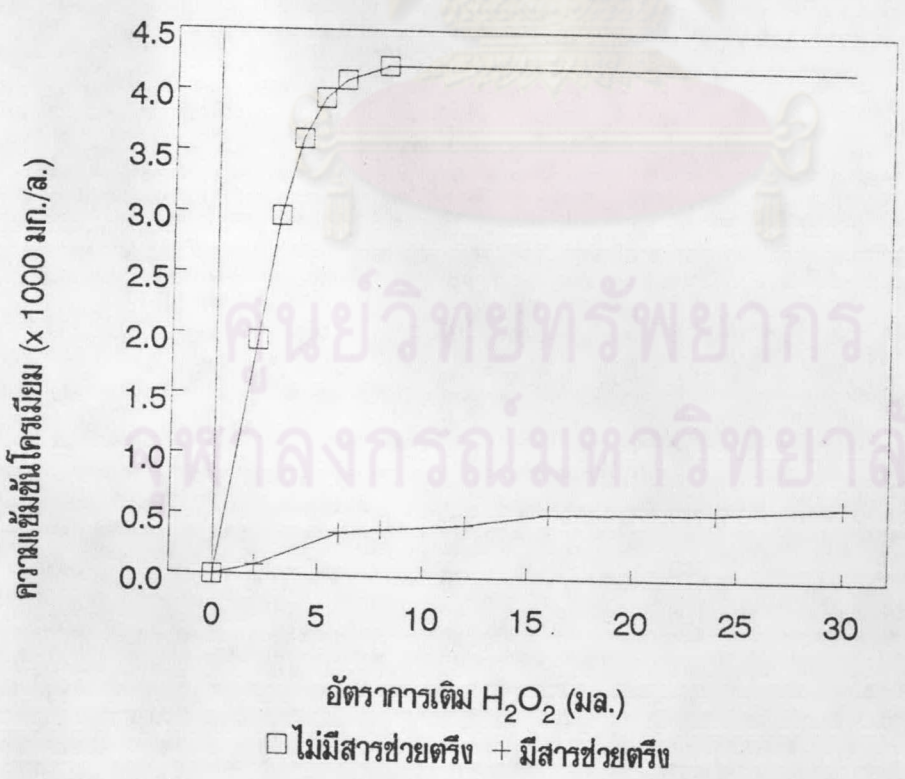
ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทั่วไปจะใช้วิธีเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้สารละลายสีเหลืองซึ่งเป็นสีของโครเมียม VI ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำมีสิ่งปนเปื้อนมากต้องลดปริมาณตัวอย่างน้ำลงหรือทำการเจือจางตัวอย่างน้ำเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการวัดปริมาตร

## 2. การเปรียบเทียบการวิเคราะห์โครเมียมวิธีต่าง ๆ

การเปรียบเทียบการวิเคราะห์โครเมียมทำการทดสอบเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกวิธีวิเคราะห์โครเมียมที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการวิจัยนี้ ซึ่งตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์มีความเข้มข้นโครเมียมสูงมาก (ประมาณ 1,000 - 40,000 มก./ล.) โดยทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์โครเมียมทั้ง 3 วิธีได้แก่ วิธีเอ.เอ. (atomic absorption spectrophotometer) วิธีวัดสี และวิธีไตเตรท ตารางที่ ๒.1 แสดงผล



รูปที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติม H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> กับความเข้มข้นโครเมียมของสารละลายมาตรฐาน



รูปที่ ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติม H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> กับความเข้มข้นโครเมียมของน้ำเสียฟอกโครม

การวิเคราะห์โครเมียมโดยวิธีต่าง ๆ โดยตัวอย่างน้ำที่นำมาทดสอบแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ตัวอย่างน้ำกลุ่มที่ 1 เป็นสารละลายมาตรฐาน ตัวอย่างน้ำกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึง และกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึง กลุ่มที่ 1 มีตัวอย่างน้ำ 2 ชนิดได้แก่ สารละลายโครเมียม III ซัลเฟตความเข้มข้น 10,000 และ 20,000 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนกลุ่มที่ 2 และ 3 มี 2 ชุดและแต่ละชุดมีตัวอย่างน้ำ 3 ชนิดได้แก่ ตัวอย่างน้ำเสีย 1 ตัวอย่าง และตัวอย่างสารละลายที่ได้จากการละลายสลัดจ์และกากตะกอนด้วยกรดซัลฟูริก 2 ตัวอย่าง ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี เอ.เอ และวิธีวัดสีนั้นจำเป็นต้องเจือจางตัวอย่างน้ำเพื่อให้ปริมาณโครเมียมอยู่ในช่วงที่สามารถวิเคราะห์ได้ สำหรับวิธีวิเคราะห์แบบไตเตรทนั้นสามารถเลือกใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำให้น้อยที่สุดแต่ไม่น้อยกว่า 1 มล. ได้ โดยไม่ต้องเจือจางตัวอย่างน้ำ ประสิทธิภาพการนำกลับโครเมียมได้จากการนำผลการวิเคราะห์โครเมียมของตัวอย่างสารละลายที่ได้จากการละลายตะกอนผลึกในแต่ละวิธี ไปคำนวณเทียบกับผลการวิเคราะห์โครเมียมของตัวอย่างน้ำเสียในวิธีนั้น ๆ พบว่าประสิทธิภาพการนำกลับที่คิดจากผลการวิเคราะห์โดยวิธี เอ.เอ นั้นมีค่าใกล้เคียงความเป็นจริง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 88-106 % วิธีวัดสีนั้นจะได้ประสิทธิภาพการนำกลับคลาดเคลื่อนไปทางบวกคือมีค่าอยู่ในช่วง 70 - 146 % ในขณะที่ผลจากวิธีไตเตรทจะมีประสิทธิภาพการนำกลับมีค่าใกล้เคียง 100 % แต่ผลการวิเคราะห์โดยวิธีไตเตรทในชุดที่ 1 ของกลุ่มที่ 3 มีค่าประสิทธิภาพการนำกลับที่ค่อนข้างต่ำ ผลการวิเคราะห์ในกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นโครเมียมที่แน่นอนนั้นจะแสดงถึงความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ในแต่ละวิธีได้เป็นอย่างดี โดยวิธีเอ.เอ จะมีผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนน้อยที่สุด รองลงมาคือวิธีไตเตรท

ในการวิจัยนี้ตัวอย่างน้ำส่วนใหญ่มีความเข้มข้นสูงมาก ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี เอ.เอ นั้นจำเป็นต้องเจือจางตัวอย่างน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีวิเคราะห์โครเมียมแบบไตเตรทวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นโครเมียมมากกว่า 1,000 มก./ล. ได้แก่ น้ำเสียจากการฟอกโครม สารละลายที่ได้จากการละลายตะกอนผลึก และตะกอนผลึก สำหรับตัวอย่างน้ำที่มีสารช่วยตรึงจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการวิเคราะห์ และต้องลดปริมาตรตัวอย่างน้ำหรือทำการเจือจางเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์โครเมียมที่ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด สำหรับน้ำส่วนบนและน้ำกรองซึ่งมีความเข้มข้นโครเมียมน้อยกว่า 300 มก./ล. จะวิเคราะห์โครเมียมโดยวิธีวัดสี และสำหรับโครเมียมทั้งหมดในน้ำเสียจะใช้วิธีย่อยสลายก่อน แล้วจึงนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์โครเมียมโดยวิธีวัดสี (การย่อยสลายจะเป็นการสกัดโครเมียมที่มีอยู่ในน้ำเสียทั้งหมดออกมาอยู่ในรูปที่วิเคราะห์ได้โดยวิธีเอ.เอ และวิธีวัดสี แต่ไม่สามารถ

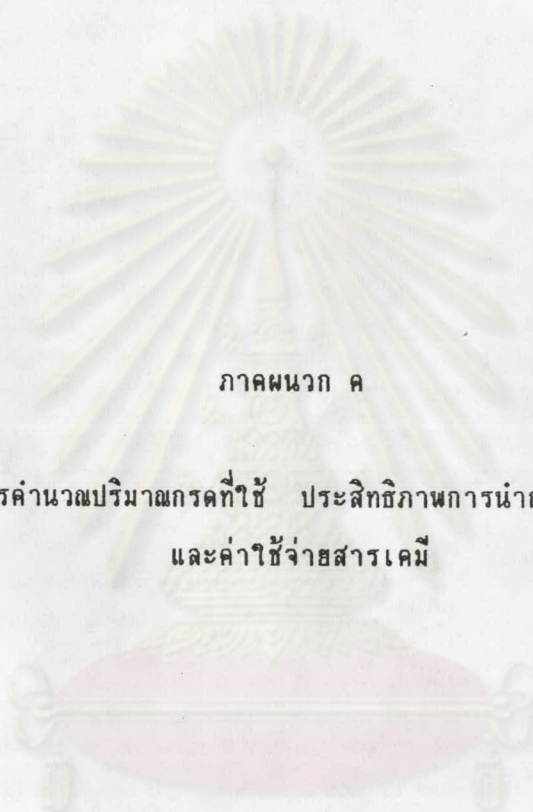
ตารางที่ ข.1 เปรียบเทียบผลการทดสอบการวิเคราะห์โครเมียมของตัวอย่างน้ำโดยวิธีต่าง ๆ

ตัวอย่างน้ำ	ตัวอย่างชุดที่ 1			ตัวอย่างชุดที่ 2		
	วิธีเอ.เอ.	วิธีวัดสี	วิธีไตเตรท	วิธีเอ.เอ.	วิธีวัดสี	วิธีไตเตรท
1. สารละลายมาตรฐาน						
1.1 ความเข้มข้น 10,000 มก./ล.	10,320	8,600	9,149	—	—	—
1.2 ความเข้มข้น 20,000 มก./ล.	19,720	18,400	18,297	—	—	—
2. น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึง						
2.1 น้ำเสีย	6,600	4,200	5,869	5,500	4,700	4,058
2.2 สารละลายจากสลักจี้กับกรด	21,040	19,200	12,395	14,720	9,200	10,329
ประสิทธิภาพการนำกลับ (%)	101.0	146.0	74.1	101.0	74.0	96.0
2.3 สารละลายจากกากตะกอนกับกรด	38,160	38,800	24,200	43,680	37,600	32,758
ประสิทธิภาพการนำกลับ (%)	88	142	80.4	92.8	93.4	94.3
3. น้ำเสียที่มีสารช่วยตรึง						
3.1 น้ำเสีย	1,490	1,160	1,036	1,790	1,360	1,297
3.2 สารละลายจากสลักจี้กับกรด	6,340	5,760	3,701	8,800	7,600	5,745
ประสิทธิภาพการนำกลับ (%)	102	119	85	105	119	94
3.3 สารละลายจากกากตะกอนกับกรด	16,240	15,520	7,848	15,640	24,000	19,613
ประสิทธิภาพการนำกลับ (%)	106	129	73	62.4	126	108

ใช้วิธีไตเตรทวิเคราะห์ได้)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก ค

รายการคำนวณปริมาณกรดที่ใช้ ประสิทธิภาพการนำกลีโบรินเทียม  
และค่าใช้จ่ายสารเคมี

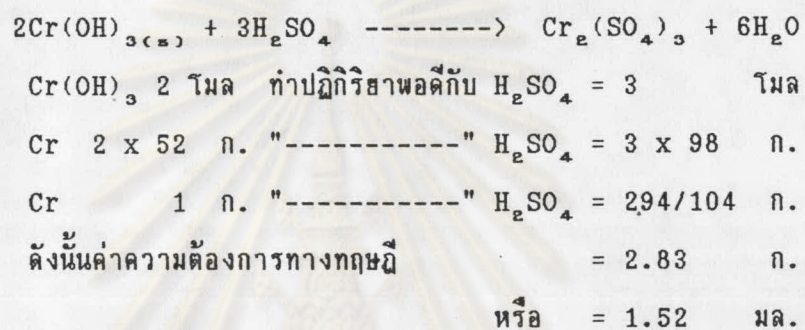
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ค

รายการคำนวณปริมาณกรดที่ใช้ ประสิทธิภาพการนำกลับโครเมียม  
และค่าใช้จ่ายสารเคมี

## 1 อัตราการเติมกรดซัลฟูริกเพื่อละลายตะกอนผลึกโครเมียม

## 1.1 ค่าความต้องการทางทฤษฎี



(ความหนาแน่นของกรดซัลฟูริก = 1.86 ก./มล.)

## 1.2 ปริมาณกรดที่ใช้

ข้อมูล

โครเมียมละลายในน้ำเสีย	2629	มก./ล.
ปริมาตรตะกอนผลึก/น้ำเสีย	190	มล./ล.
อัตราส่วนกากตะกอน/สลัดจ์	0.3420	ก./มล.

## 1.2.1 อัตราการเติมกรดในสลัดจ์

สลัดจ์ 190 มล. มีโครเมียมละลาย = 2629 มก.  
" 1000 มล. "-----" =  $\frac{2629 \times 1000}{190}$  มก.

โครเมียมในน้ำเสียเทียบให้อยู่ในรูปสลัดจ์ = 13837 มก./ล.

ปริมาณกรด H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 เท่าของค่าความต้องการทางทฤษฎี

=  $13837 \times 1.52 \times 10^{-3}$  มก.

= 21.0 มล./ล.

## 1.2.2 อัตราการเติมกรดในกากตะกอน

สลัดจ์ 190 มล. เปลี่ยนเป็นกากตะกอน =  $190 \times 0.3420$

ปริมาณกากตะกอน/น้ำเสียน้ำ = 65 ก./ล.

กากตะกอน 65 ก. มีโครเมียมละลาย = 2629 มก.

" 1000 ก. "-----" =  $\frac{2629 \times 1000}{65}$

โครเมียมในน้ำเสียน้ำเทียบให้อยู่ในรูปกากตะกอน = 40446 มก./กก.

ปริมาณกรด  $H_2SO_4$  (1+4) 1 เท่าของค่าความต้องการทางทฤษฎี

$$= 40446 \times 1.52 \times 10^{-3} \times 1 \times 5$$

$$= 307 \text{ มล./กก. กากตะกอน}$$

## 2 การคำนวณประสิทธิภาพการนำกลับโครเมียม

## 2.1 ประสิทธิภาพการนำกลับโครเมียมจากสลัดจ์

ข้อมูล

โครเมียมละลายในน้ำเสียน้ำ 3053 มก./ล.

โครเมียมทั้งหมดในน้ำเสียน้ำ 4900 มก./ล.

ปริมาตรสลัดจ์/น้ำเสียน้ำ 231 มล./ล.

ปริมาตรสลัดจ์ที่ใช้ทดสอบ 50 มล.

ปริมาตรสารละลายที่ได้ 46 มล.

ความเข้มข้นโครเมียมในสารละลายที่ได้ 12248 มก./ล.

ความเข้มข้นโครเมียมในสลัดจ์ 15208 มก./ล.

## 2.1.1 เทียบกับโครเมียมทั้งหมดในน้ำเสียน้ำ

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโครเมียมเริ่มต้น} = \frac{4900 \times 50}{231} = 1061 \text{ มก.}$$

$$\text{ปริมาณโครเมียมที่นำกลับได้} = \frac{46 \times 12248}{1000} = 563 \text{ มก.}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการนำกลับโครเมียม} = \frac{563 \times 100}{1061} = 53 \%$$

## 2.1.2 เทียบกับโครเมียมละลายในน้ำเสีย

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโครเมียมเริ่มต้น} = \frac{3053 \times 50}{231} = 661 \text{ มก.}$$

$$\text{ปริมาณโครเมียมที่นำกลับได้} = \frac{46 \times 12248}{1000} = 563 \text{ มก.}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการนำกลับโครเมียม} = \frac{563}{661} \times 100 = 85.2 \%$$

## 2.1.3 เทียบกับโครเมียมทั้งหมดในสลัดจ์

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโครเมียมเริ่มต้น} = \frac{50 \times 15208}{1000} = 760 \text{ มก.}$$

$$\text{ปริมาณโครเมียมที่นำกลับได้} = \frac{46 \times 12248}{1000} = 563 \text{ มก.}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการนำกลับโครเมียม} = \frac{563}{760} \times 100 = 74.1 \%$$

## 2.2 ประสิทธิภาพการนำกลับโครเมียมจากกากตะกอน

ข้อมูล

$$\text{โครเมียมละลายในน้ำเสีย} = 3053 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{โครเมียมทั้งหมดในน้ำเสีย} = 4900 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{ปริมาตรสลัดจ์ในน้ำเสีย 1 ลิตร} = 232 \text{ มล./ล.}$$

$$\text{อัตราการเปลี่ยนสลัดจ์เป็นกากตะกอน} = 0.3551 \text{ ก./มล.}$$

$$\text{ปริมาณกากตะกอนที่ใช้} = 20 \text{ มก.}$$

$$\text{ปริมาตรสารละลายที่ได้} = 26 \text{ มล.}$$

$$\text{ความเข้มข้นโครเมียมละลายที่ได้} = 34830 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมดในกากตะกอน} = 53.6 \text{ มก./ก.}$$

## 2.2.1 เทียบกับโครเมียมทั้งหมดในน้ำเสีย

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโครเมียมเริ่มต้น} = \frac{4900 \times 20}{232 \times 0.3551} = 1190 \text{ มก.}$$

$$\text{ปริมาณโครเมียมที่นำกลับได้} = \frac{26 \times 34830}{1000} = 906 \text{ มก.}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการนำกลับโครเมียม} = \frac{906 \times 100}{1190} = 76 \%$$

## 2.2.2 เทียบกับโครเมียมละลายในน้ำเสีย

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโครเมียมเริ่มต้น} = \frac{3053 \times 20}{232 \times 0.3551} = 741.2 \text{ มก.}$$

$$\text{ปริมาณโครเมียมที่นำกลับได้} = \frac{26 \times 34830}{1000} = 906 \text{ มก.}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการนำกลับโครเมียม} = \frac{906}{741.2} \times 100 = 122 \%$$

## 2.2.3 เทียบกับโครเมียมทั้งหมดในกากตะกอน

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโครเมียมเริ่มต้น} = 20 \times 53.6 = 1072 \text{ มก.}$$

$$\text{ปริมาณโครเมียมที่นำกลับได้} = \frac{26 \times 34830}{1000} = 906 \text{ มก.}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการนำกลับโครเมียม} = \frac{906}{1072} \times 100 = 84.5 \%$$

## 3. ค่าใช้จ่ายสารเคมี

ราคาสารเคมีที่ใช้ในการคำนวณแสดงในตารางที่ ค.1

## ตารางที่ ค.1 ราคาสารเคมีที่ใช้ในการนำกลับโครเมียม

สารเคมี	ความบริสุทธิ์ (%)		ราคา* บาท/กก.
	ใช้ในการวิจัย	ใช้ในอุตสาหกรรม	
MgO	98	95	14.00
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	99.5	98	7.25
Ca(OH) <sub>2</sub>	96	93	4.00
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98	98	4.45

หมายเหตุ : \* ราคาไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม (เดือนเมษายน 2536)

## 3.1 ราคาสารเคมีเทียบกับลบ.ม.น้ำเสีย

## 3.11 แมกนีเซียมออกไซด์

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{ค่าความต้องการทางทฤษฎี} = 1.16$$

$$\text{จำนวนเท่าที่เหมาะสม} = 2$$

$$\text{ความเข้มข้นโครเมียมในน้ำเสีย} = 3070 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{ราคาสารเคมี} = \frac{3070 \times 1.16 \times 2 \times 10^3 \times 98 \times 14}{10^6 \times 95}$$

$$= 103 \text{ บาท/ลบ.ม.น้ำเสีย}$$

## 3.12 โซเดียมคาร์บอเนต

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{ค่าความต้องการทางทฤษฎี} = 3.06$$

$$\text{จำนวนเท่าที่เหมาะสม} = 2$$

$$\text{ความเข้มข้นโครเมียมในน้ำเสีย} = 3070 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{ราคาสารเคมี} = \frac{3070 \times 3.06 \times 2 \times 10^3 \times 99.5 \times 7.25}{10^6 \times 98}$$

= 138

บาท/ลบ.ม.น้ำเสีย

## 3.13 แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาว

ตัวอย่างการคำนวณ

ค่าความต้องการทางทฤษฎีสำหรับ

$$\text{แมกนีเซียมออกไซด์} = 1.16$$

ค่าความต้องการทางทฤษฎีสำหรับ

$$\text{ปูนขาว} = 2.13$$

$$\text{จำนวนเท่าที่เหมาะสม} = 0.5 + 0.8$$

$$\text{ความเข้มข้นโครมเมียมในน้ำเสีย} = 3,070 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{ราคาสารเคมี} = \frac{3070 \times 1.16 \times 0.5 \times 10^3 \times 98 \times 14}{10^6 \times 95}$$

$$+ \frac{3070 \times 2.13 \times 0.8 \times 10^3 \times 96 \times 4}{10^6 \times 93}$$

$$= 47 \text{ บาท/ลบ.ม.น้ำเสีย}$$

## 3.1.4 กรดซัลฟูริก

ตัวอย่างการคำนวณการละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์

$$\text{ค่าความต้องการทางทฤษฎี} = 1.52 \times 10^{-3} \text{ มล./มก.โครเมียม}$$

$$\text{จำนวนเท่าที่เหมาะสม} = 1.5$$

$$\text{ความเข้มข้นโครมเมียมในน้ำเสีย} = 3,070 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{ความหนาแน่นกรดซัลฟูริก} = 1.86 \text{ กก./ล.}$$

$$\text{ราคาสารเคมี} = 3070 \times 1.52 \times 10^{-3} \times 1.86 \times 1.5 \times 4.45$$

$$= 58 \text{ บาท/ลบ.ม.น้ำเสีย}$$

## 3.2 ราคาสารเคมีเทียบกับกก.โครเมียมในน้ำเสีย

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณใช้ข้อมูลในหัวข้อ 3.1.1-3.1.4

## 3.2.1 แมกนีเซียมออกไซด์

$$\begin{aligned} \text{ราคาสารเคมี} &= \frac{1.16 \times 2 \times 10^3 \times 98 \times 14}{10^{-3} \times 10^6 \times 95} \\ &= 33.5 \quad \text{บาท/กก.โครเมียม} \end{aligned}$$

### 3.2.2 โซเดียมคาร์บอเนต

$$\begin{aligned} \text{ราคาสารเคมี} &= \frac{3.06 \times 2 \times 10^3 \times 99.5 \times 7.25}{10^{-3} \times 10^6 \times 98} \\ &= 45.1 \quad \text{บาท/กก.โครเมียม} \end{aligned}$$

### 3.2.3 แมงกานีสเชื่อมออกไซด์ร่วมกับปูนขาว

$$\begin{aligned} \text{ราคาสารเคมี} &= \frac{1.16 \times 0.5 \times 10^3 \times 98 \times 14}{10^{-3} \times 10^6 \times 95} \\ &\quad + \frac{2.13 \times 0.8 \times 10^3 \times 96 \times 4}{10^6 \times 93} \\ &= 15.4 \quad \text{บาท/กก.โครเมียม} \end{aligned}$$

### 3.2.4 กรดซัลฟูริก

$$\begin{aligned} \text{ราคาสารเคมี} &= 1.52 \times 1.86 \times 1.5 \times 4.45 \\ &= 21.2 \quad \text{บาท/กก.โครเมียม} \end{aligned}$$

### 3.3 ราคาสารเคมีเทียบกับ กก.โครเมียมที่นำกลับได้

ตัวอย่างการคำนวณ

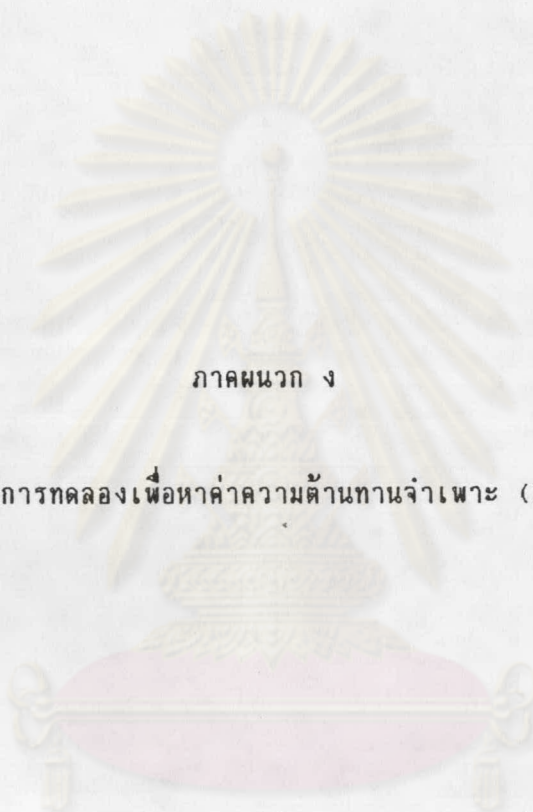
การละลายสัลดจ์แมงกานีสเชื่อมออกไซด์

ประสิทธิภาพการนำกลับ = 92.9 %

ราคาสารเคมี = ราคาในหัวข้อที่ 3.1.1 + 3.1.4

$$\begin{aligned} &0.929 \times 3070 \times 10^{-6} \\ &= 56 \quad \text{บาท/กก.โครเมียม} \end{aligned}$$





ภาคผนวก ง

วิธีการทดลองเพื่อหาค่าความต้านทานจำเพาะ (r)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ง

วิธีการทดลองเพื่อหาค่าความต้านทานจำเพาะ ( $r$ )

## 1. วิธีการทดสอบ

ความต้านทานจำเพาะ ( $r$ ) เป็นตัวเลขที่แสดงถึงความดันที่ต้องการในการผลิต อัตราการไหล 1 หน่วยของน้ำใส่ที่มีความหนืด 1 หน่วย ผ่านภาคตะกอนหนึ่งหน่วยน้ำหนัก เครื่องมือและอุปกรณ์หลักที่ใช้

- อุปกรณ์กรวยบุงเคเนอร์
- นาฬิกาจับเวลา

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำสลัดจ์ที่ทราบปริมาณของแข็งมา 100 มล. ใส่ลงในกรวยบุงเคเนอร์โดยใช้ผ้ากรองเป็นตัวกลาง
2. บันทึกปริมาตรของน้ำใส่ที่กรองได้ (มล.) ในช่วงเวลาต่าง ๆ (วินาที) จนกระทั่งตะกอนที่ค้างอยู่เริ่มแตก
3. นำภาคตะกอนที่ได้ไปหาค่าปริมาณของแข็ง
4. นำข้อมูลในข้อ 2 สร้างกราฟระหว่างเวลา/ปริมาตรของน้ำใส่ กับเวลา โดยให้แกนนอนแทนค่าเวลา (วินาที) และแกนตั้งแทนค่าเวลา/ปริมาตร (วินาที/มล.) ความชันของเส้นกราฟคือค่า  $b$  (วินาที/มล.<sup>2</sup>)

5. คำนวณหาค่าความต้านทานจำเพาะ ( $r$ ) จาก

$$r = \frac{2PbA^2}{\mu C}$$

โดย  $r$  = ความต้านทานจำเพาะ (วินาที<sup>2</sup>/ก.)

$p$  = ความดันที่ใช้ในการกรองตะกอน (ก./ซม.<sup>2</sup>)

$b$  = ค่าความชันของกราฟในข้อที่ 4 (วินาที/มล.<sup>2</sup>)

$A$  = พื้นที่หน้าตัดของการกรอง (ซม.<sup>2</sup>)

$\mu$  = ความหนืดของน้ำใส่ที่กรองได้ (ก./ซม.-วินาที)

$C$  = น้ำหนักของของแข็งต่อหน่วยปริมาตรของน้ำใส่ที่กรองได้ (ก./มล.)

$$C = \frac{\mu}{[(1-X_1)/X_1] - [(1-X_0)/X_0]}$$

เมื่อ  $\mu$  = ความหนาแน่นของน้ำใส่ที่กรองได้ (ก./มล.)

$X_1$  = ปริมาณของแข็งในสลัดจ์ (ก./มล.)

$X_0$  = ปริมาณของแข็งในกากตะกอน (ก./มล.)

(ค่า  $\mu$  และ  $\rho$  มีค่าใกล้เคียงกับความหนืดและความหนาแน่นของน้ำในการวิจัยนี้จึงใช้ความหนืดและความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 25°C แทนค่า  $\mu$  และ  $\rho$  ตามลำดับ)

## 2. ผลการทดสอบและตัวอย่างการคำนวณ

ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกปริมาณน้ำกรองเทียบกับเวลาของการกรองตะกอนผลึกประเภทต่าง ๆ นำไปสร้างกราฟระหว่างเวลา/ปริมาณน้ำกรอง และปริมาณน้ำกรอง ดังแสดงในรูปที่ ง.1 ลักษณะของกราฟที่ได้เป็นเส้นตรงไม่ผ่านจุด (0,0) ค่าความชันของกราฟจะนำไปคำนวณค่าความต้านทานจำเพาะต่อไป ตารางที่ ง.1 แสดงผลการคำนวณเพื่อหาค่าความต้านทานจำเพาะของตะกอนผลึกประเภทต่าง ๆ

### ตัวอย่างการคำนวณ

การกรองตะกอนผลึกแมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึง

#### ข้อมูล

ความดันที่ใช้ = 15 มม.ปรอท = 203 ก./ซม.<sup>2</sup>

ความชัน (b) = 0.030 ว./มล.<sup>2</sup>

พื้นที่หน้าตัดในการกรอง = 38.5 ซม.<sup>2</sup>

ความหนืด = 0.00890 ก.ซม./ว.

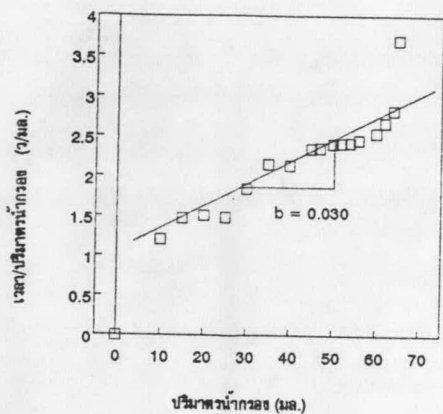
ปริมาณของแข็งในสลัดจ์ = 0.104 ก./มล.

ปริมาณของแข็งในกากตะกอน = 0.262 ก./มล.

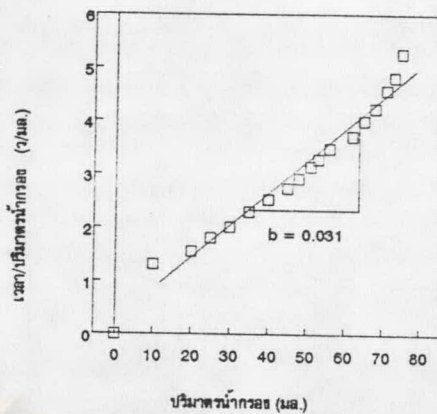
#### การคำนวณ

1. คำนวณค่าน้ำหนักของของแข็งต่อหน่วยปริมาตรของน้ำใส่ที่กรองได้

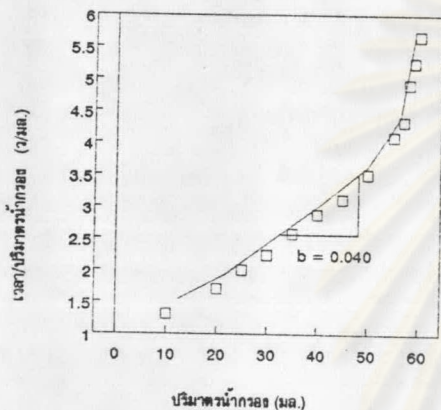
$$C = \frac{\mu}{[(1-X_1)/X_1] - [(1-X_0)/X_0]}$$



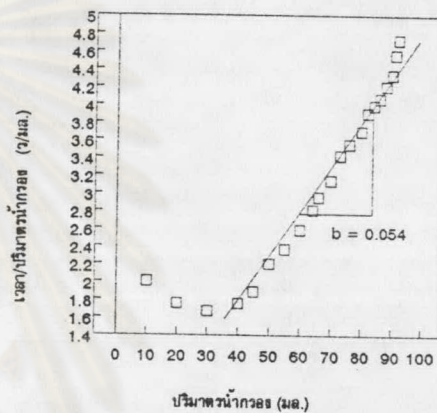
ก.)



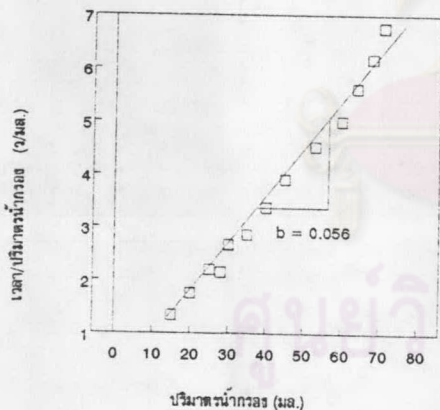
ข.)



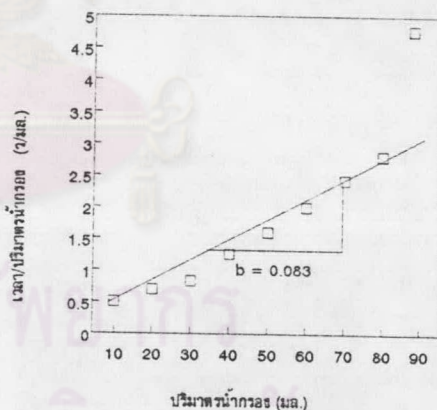
ค.)



ง.)



จ.)



ฉ.)

รูปที่ ๓.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา/ปริมาตรน้ำกรองและปริมาตรน้ำกรองของภาคตะกอนประเภทต่าง ๆ

ก.) ภาคตะกอนเมกนีเซียมออกไซด์จากร้านน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึง

ข.) ภาคตะกอนโซเดียมคาร์บอเนตจากร้านน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึง

ค.) ภาคตะกอนเมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากร้านน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึง

ง.) ภาคตะกอนเมกนีเซียมออกไซด์จากร้านน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึง

จ.) ภาคตะกอนโซเดียมคาร์บอเนตจากร้านน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึง

ฉ.) ภาคตะกอนเมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากร้านน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึง

ตารางที่ ๑.1 การคำนวณค่าความต้านทานจำเพาะของกากตะกอนประเภทต่าง ๆ

หมายเลข การทดสอบ การตกตะกอน ผลึก	สาร ช่วยตรึง ใน น้ำเสีย	สารเคมี ที่ใช้ ตกตะกอน ผลึก	ความตันที่ใช้ (ก./ชม <sup>๓</sup> )	ค่า b (จ./มล. <sup>๒</sup> )	ปริมาณ ของแข็งใน สลัดจ์ (ก./มล.)	ปริมาณ ของแข็งใน กากตะกอน (ก./มล.)	ค่า C (ก./มล.)	ค่า r x 10 <sup>๕</sup> (จ. <sup>๒</sup> /ก.)
2	ไม่มี	MgO	203	0.030	0.104	0.262	0.172	11.81
8	"	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	244	0.031	0.084	0.207	0.141	18.02
16	"	MgO + Ca(OH) <sub>2</sub>	169	0.040	0.106	0.259	0.179	12.62
20	มี	MgO	217	0.054	0.179	0.354	0.361	10.76
23	"	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	244	0.056	0.091	0.255	0.141	32.25
26	"	MgO + Ca(OH) <sub>2</sub>	217	0.083	0.145	0.278	0.302	19.92

$$C = \frac{0.997}{[(1-0.104)/0.104] - [(1-0.262)/0.262]}$$

$$C = 0.172 \quad \text{ก./มล.}$$

2. คำนวณค่าความต้านทานจำเพาะ

$$r = \frac{2 \text{ PbA}^2}{\mu C}$$

$$r = \frac{2 \times 203 \times 0.30 \times 38.5^2}{0.00890 \times 0.172}$$

$$r = 11.81 \times 10^5 \quad \text{จ.<sup>๒</sup>/ก.}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ

ผลการทดสอบการละลายตะกอนผลึก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก จ

## ผลการทดสอบการละลายตะกอนผลึก

- ตารางที่ จ.1-จ.24 แสดงผลการทดสอบการสร้างแบบแผนการละลายตะกอนผลึกจากน้ำเสียที่มีและไม่มีสารช่วยตรึงที่อุณหภูมิห้อง
- ตารางที่ จ.25-จ.30 แสดงผลการทดสอบการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการนำกลับโครเมียมจากการละลายตะกอนผลึกจากน้ำเสียที่มีและไม่มีสารช่วยตรึงที่อุณหภูมิห้อง
- ตารางที่ จ.31-จ.36 แสดงผลการทดสอบการสร้างแบบแผนการละลายตะกอนผลึกจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบมีการเพิ่มอุณหภูมิ
- ตารางที่ จ.37 แสดงผลการทดสอบการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการนำกลับโครเมียมจากการละลายตะกอนผลึกจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบเพิ่มอุณหภูมิ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.1 การละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 1		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 1		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 50 มล.		พีเอชตะกอนผลึก : 8.8		
โครเมียมในตะกอนผลึก : 14,094 มก./ล.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	1 X	1.5 X	2 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./ล.)	18.6	28.0	37.3	
พีเอชเริ่มต้น	4.3	3.0	2.1	
พีเอชสุดท้าย	4.2	3.2	1.8	
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
5	6176	11864	10889	
10	7313	12026	9751	
20	7476	11701	14464	
30	7313	12839	11376	
50	7963	13327	13489	
70	9101	15277	14139	

ตารางที่ จ.2 การละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรกที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 2		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 2		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 100 มล.		พีเอชตะกอนผลึก : 7.5		
โครเมียมในตะกอนผลึก : 9,977 มก./ล.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	1 X	1.5 X	2 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./ล.)	12.4	24.7	18.5	
พีเอชเริ่มต้น	4.2	2.0	0.6	
พีเอชสุดท้าย	4.7	3.0	1.5	
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
10	3413	6176	5038	
20	3616	6338	6013	
30	3630	6988	5851	
50	3413	7476	5851	
70	3900	7476	6988	
100	3900	7313		
130	3900	7476	7151	



ตารางที่ จ.3 การละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 3		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 2		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 30 ก.		พีเอชตะกอนผลึก : 8.0		
โคหมียมในตะกอนผลึก : 45.2 มก./ก.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	1 X	1.5 X	2 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./กก.)	336	503	671	
พีเอชเริ่มต้น	4.3	0.5	0.8	
พีเอชสุดท้าย	3.0	1.4	0.6	
เวลา ( นาที )	ความเข้มข้นโคหมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
5	35104	26003	26003	
10	36404		31204	
20	31204	28604	24053	
30	36404	27953	24053	
50	39005	28604	24703	
70		28604	27303	

ตารางที่ จ.4 การละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรกที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 4		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 1		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 30 ก.		พีเอชตะกอนผลึก : 9.1		
โคหมียมในตะกอนผลึก : 47.5 มก./ก.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	1 X	1.5 X	2 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./กก.)	290	435	580	
พีเอชเริ่มต้น	1.1	0.6	0.7	
พีเอชสุดท้าย	3.3	1.9	1.1	
เวลา ( นาที )	ความเข้มข้นโคหมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
10	28604	23836	20803	
20	35104	27953	24703	
40	31204	29254	26653	
70	31854	32504	29254	
120	33804	33317	34454	
180	32504	32504	27953	

ตารางที่ จ.5 การละลายสลัดจ์โซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบมีกากวนต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 5		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 7		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 100 มล.		พีเอชตะกอนผลึก : 7.6		
โครเมียมในตะกอนผลึก : 5,751 มก./ล.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	1.5 X	2.0 X	3.0 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./ล.)	11.7	15.6	23.4	
พีเอชเริ่มต้น	2.0	1.3	0.8	
พีเอชสุดท้าย	3.0	1.7	0.9	
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
5	4388	5038	4063	
10	5851	5038	4876	
20	5038	5038	5038	
30	5201	5526	5201	
50	5526	5526	5038	
70	5363	4876	5526	

ตารางที่ จ.6 การละลายสลัดจ์โซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบมีการวนเฉพาะตอนแรกที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 6		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 7		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 100 มล.		พีเอชตะกอนผลึก : 7.5		
โครเมียมในตะกอนผลึก : 5,751 มก./ล.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	1.5 X	2.0 X	3.0 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./ล.)	11.7	15.6	23.4	
พีเอชเริ่มต้น	2.4	1.5	1.0	
พีเอชสุดท้าย	3.2	2.1	1.0	
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
10	4876	5201	5363	
20	5201	5526	5526	
40	5201	5038	5363	
60	5363	5363	5688	
90	3900	5363	5688	
120	6826	5363	5688	

ตารางที่ จ.7 การละลายกากตะกอนโซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 7		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 8		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 30 ก.		พีเอชตะกอนผลึก : 8.0		
โคไรมียมในตะกอนผลึก : 39.8 มก./ก.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	0.8 X	1.0 X	2.0 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./กก.)	250	313	626	
พีเอชเริ่มต้น	3.0	3.0	0.3	
พีเอชสุดท้าย	2.7	1.2	0.0	
เวลา (นาท)	ความเข้มข้นโคไรมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
5	36576	26613	24987	
10	39005	32301	26206	
20	39005	34332	28238	
40	39167	36161	29863	
70	44896	36567	27791	

ตารางที่ จ.8 การละลายกากตะกอนโซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 8		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 8		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 30 ก.		พีเอชตะกอนผลึก : 8.0		
โคไรมียมในตะกอนผลึก : 39.8 มก./ล.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	0.8 X	1.0 X	1.5 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./กก.)	250	313	469	
พีเอชเริ่มต้น	2.0	0.4	0.0	
พีเอชสุดท้าย	2.8	1.5	0.0	
เวลา (นาท)	ความเข้มข้นโคไรมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
10	23159	29863	27425	
20	39005	31285	29863	
50	30229	34332	32504	
80	36161	36364	32098	
120	35145	39005	32301	
180	41646	40020	33520	

ตารางที่ ๑.๙ การละลายสลัดจ์เมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงเบมมีการกวนต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 9		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 15	
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 100 มล.		พีเอชตะกอนผลึก : 7.4	
โครเมียมในตะกอนผลึก : 6,743 มก./ล.			
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด (X)		
	0.7 X	1.0 X	2.0 X
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./ล.)	6.6	9.4	18.9
พีเอชเริ่มต้น	3.1	2.0	0.0
พีเอชสุดท้าย	3.1	2.3	0.2
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)		
5	4104	6541	4672
10	5160	5688	5729
25	5648	5648	6054
35	6176	5648	5973
55	5729	6298	5796
75	5404	6379	6420

ตารางที่ ๑.10 การละลายสลัดจ์เมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงเบมมีการกวนเฉพาะ ตอนแรกที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 10		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 15	
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 100 มล.		พีเอชตะกอนผลึก : 7.5	
โครเมียมในตะกอนผลึก : 6,743 มก./ล.			
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด (X)		
	0.7 X	1.0 X	2.0 X
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./ล.)	6.6	9.4	18.9
พีเอชเริ่มต้น	3.0	1.8	0.4
พีเอชสุดท้าย	3.4	2.4	1.0
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)		
10	4876	6257	6257
20	5241	5404	6704
40	7029	6541	6054
60	7192	6948	6541
90	7598	6948	6826
120	6623	6866	6338

ตารางที่ จ.11 การละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวน  
ต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 11		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 15		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 30 ก.		พีเอชตะกอนผลึก : 7.3		
โครเมียมในตะกอนผลึก : 34.6 มก./ก.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	0.5 X	0.7 X	1.0 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./กก.)	121	169	242	
พีเอชเริ่มต้น	4.5	2.0	0.4	
พีเอชสุดท้าย	3.7	2.5	1.0	
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
5	19815	25248	20454	
10	27965	30682	27805	
20	25888	30682	28764	
40	26687	31960	29563	
70	28285	34357	31960	

ตารางที่ จ.12 การละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวน  
เฉพาะตอนแรกที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 12		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 15		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 30 ก.		พีเอชตะกอนผลึก : 7.2		
โครเมียมในตะกอนผลึก : 34.6 มก./ก.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	0.7 X	1.0 X	1.2 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./กก.)	169	242	290	
พีเอชเริ่มต้น	1.8	1.4	1.0	
พีเอชสุดท้าย	3.2	1.6	0.5	
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
10	23171	23650	24130	
30	32120	27166	31960	
50	33558	27486	30682	
90	30522	27006	35795	
120	33878	30202	28924	
180	35955	31800	31001	

ตารางที่ จ.13 การละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 13		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 18		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 100 มล.		พีเอชตะกอนผลึก : 8.3		
โคโรเมียมในตะกอนผลึก : 13,856 มก./ล.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	3.2 X	3.6 X	4.2 X	
ปริมาณการที่ใช้ (มล./ล.)	53.4	60.1	70.1	
พีเอชเริ่มต้น	2.9	1.4	0.2	
พีเอชสุดท้าย	3.4	2.2	0.9	
เวลา (นาท)	ความเข้มข้นโคโรเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
5	8918	7674	8503	
10	9126	8296	8711	
20	9540	8711	8918	
30	9333	9126	9126	
50	9955	9333	8918	
70	9955	9748	8711	

ตารางที่ จ.14 การละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรกที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 14		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 19		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 50 มล.		พีเอชตะกอนผลึก : 8.6		
โคโรเมียมในตะกอนผลึก : 12,121 มก./ล.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	3.0 X	3.5 X	4.0 X	
ปริมาณการที่ใช้ (มล./ล.)	50.8	59.3	67.7	
พีเอชเริ่มต้น	3.8	2.0	0.8	
พีเอชสุดท้าย	5.4	2.7	1.4	
เวลา (นาท)	ความเข้มข้นโคโรเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
10	5228	7737	7946	
20	5241	8782	10037	
30	5561	8782	10664	
50	6691	9409	10246	
70		9200	10873	
90		9200		
120	5437	8991	9200	

ตารางที่ จ.15 การละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 15		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 19		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 30 ก.		พีเอชตะกอนผลึก : 8.5		
โคโรเมียมในตะกอนผลึก : 25.1 มก./ก.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	3.2 X	3.6 X	4.0 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./กก.)	599	674	749	
พีเอชเริ่มต้น	0.0	0.5	0.2	
พีเอชสุดท้าย	2.0	1.0	0.8	
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโคโรเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
5	12546	11710	11919	
10	12546	13592	13382	
20	10873	12755	12546	
30	15683	13382	13382	
50	13801	13382	13801	
70	14010	14010	13801	

ตารางที่ จ.16 การละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรกที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 16		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 18		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 30 ก.		พีเอชตะกอนผลึก : 8.2		
โคโรเมียมในตะกอนผลึก : 28.6 มก./ก.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	2.5 X	3.0 X	3.5 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./กก.)	447	536	626	
พีเอชเริ่มต้น	3.4	1.6	0.0	
พีเอชสุดท้าย	4.6	3.4	2.7	
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโคโรเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
10	12651	12029	10577	
20	13688	12444	10370	
30	16799	14103	10785	
60	17007	12859		
90	17836	15348	11614	
150	14933	16177	13688	

ตารางที่ จ.17 การละลายสลัดจ์โซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 17		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 21		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 100 มล.		พีเอชตะกอนผลึก : 8.3		
โคหมียมในตะกอนผลึก : 4,484 มก./ล.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	2.0 X	3.0 X	4.0 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./ล.)	8.9	13.4	17.9	
พีเอชเริ่มต้น	3.9	1.5	0.9	
พีเอชสุดท้าย	4.0	1.3	0.7	
เวลา (นาท)	ความเข้มข้นโคหมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
5	1450	2901	2901	
10	1531	2981	3062	
20	1571	3384	3384	
30	1491	3223	3304	
50	1209	3304	3384	
70	1612	3626	3223	

ตารางที่ จ.18 การละลายสลัดจ์โซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรกที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 18		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 21		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 100 มล.		พีเอชตะกอนผลึก : 8.5		
โคหมียมในตะกอนผลึก : 4,484 มก./ล.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	2.0 X	3.0 X	4.0 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./ล.)	8.9	13.4	17.9	
พีเอชเริ่มต้น	3.9	1.5	1.0	
พีเอชสุดท้าย	4.1	1.3	0.9	
เวลา (นาท)	ความเข้มข้นโคหมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
10	1853	3143	3384	
20	2176	3143	3062	
30	773	3223	3062	
50	4	3143	3223	
70	1934	3304	3304	
90		3384	3304	
120	2135	3304	3304	



ตารางที่ จ.19 การละลายกากตะกอนโซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 19		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 22		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 30 ก.		พีเอชตะกอนผลึก : 7.8		
โครเมียมในตะกอนผลึก : 36.6 มก./ก.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	1.5 X	2.0 X	3.0 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./กก.)	282	376	565	
พีเอชเริ่มต้น	2.4	0.4	0.0	
พีเอชสุดท้าย	1.5	0.7	0.3	
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
5	30016	24375	21555	
10	29210	25786	24980	
20	29815	29210	26591	
40	29331	29492	23852	
60	29613	29170	26591	

ตารางที่ จ.20 การละลายกากตะกอนโซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรกที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 20		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 23		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 30 ก.		พีเอชตะกอนผลึก : 8.2		
โครเมียมในตะกอนผลึก : 30.8 มก./ก.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	1.5 X	2.0 X	3.0 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./กก.)	331	662	993	
พีเอชเริ่มต้น	0.2	0.0	0.0	
พีเอชสุดท้าย	2.6	1.3	0.3	
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
10	20215	18057	15501	
30	22212	19096	16619	
60	21253	19416	19176	
90	20774	24050	18057	
180	22532	23650	19502	

ตารางที่ จ.21 การละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 21		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 26		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 50 มล.		พีเอชตะกอนผลึก : 8.5		
โครเมียมในตะกอนผลึก : 5,764 มก./ล.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	1.2 X	1.5 X	2.0 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./ล.)	10.7	13.4	17.8	
พีเอชเริ่มต้น	4.6	4.0	0.8	
พีเอชสุดท้าย	5.4	3.5	1.5	
เวลา (นาท)	ความเข้มข้นที่ละลายได้ (มก./ล.)			
5	2148	4973	4774	
10	2354	5291	5370	
20	2172	5410	5649	
40	2312	5689	5609	
70	2546	5410	5490	

ตารางที่ จ.22 การละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนเฉพาะ ตอนแรก ที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 22		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 26		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 50 มล.		พีเอชตะกอนผลึก : 8.4		
โครเมียมในตะกอนผลึก : 5,764 มก./ล.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	1.2 X	2.0 X	2.5 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./ล.)	10.7	17.8	22.3	
พีเอชเริ่มต้น	4.5	1.6	0.7	
พีเอชสุดท้าย	5.6	2.0	1.0	
เวลา (นาท)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
5	2546	4614	5092	
10	2864	5370	5529	
20	2122	5410	5410	
40	2466	5529	5689	
70	2655	5649	5828	
120	2148	5967	5828	

ตารางที่ จ.23 การละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวน  
ต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 23		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 26		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 30 ก.		พีเอชตะกอนผลึก : 8.5		
โครเมียมในตะกอนผลึก : 31.8 มก./ก.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	1.0 X	1.5 X	2.0 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./กก.)	183	274	365	
พีเอชเริ่มต้น	4.4	0.5	0.0	
พีเอชสุดท้าย	5.2	2.7	1.0	
เวลา (นาท)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
5	17203	17105	18267	
10	16578	20288	21163	
20	18695	20885	20495	
40	22197	21083	20718	
70	17221	22277	21385	

ตารางที่ จ.24 การละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวน  
เฉพาะตอนแรกที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขการทดลอง : 24		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 26		
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 30 ก.		พีเอชตะกอนผลึก : 8.5		
โครเมียมในตะกอนผลึก : 31.8 มก./ก.				
หัวข้อ	อัตราการเติมกรด ( X )			
	1.2 X	1.5 X	2.0 X	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./กก.)	219	274	365	
พีเอชเริ่มต้น	4.0	1.4	0.0	
พีเอชสุดท้าย	5.3	2.8	0.9	
เวลา (นาท)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)			
10	19254	17981	18299	
30	21481	21322	20208	
50	21959	22595	20686	
90	22277	21799	21004	
120	22277	22436	21799	
180	21004	24027	22913	

ตารางที่ 9.25 ผลการทดสอบการกระจายคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่มีส่วนร่วมในสภาพการกระจายต่าง ๆ ที่คุณครูมีห้อง

หมายเลข การ ทดลอง	หมายเลข นักเรียน	หมายเลข การ ทดลอง	หมายเลข การ ทดลอง	คะแนนผล สัมฤทธิ์		การกระจายคะแนนผลสัมฤทธิ์				การกระจายที่ได้				% การ นำกลับ เรียน ใหม่	% การ นำกลับ เรียน ใหม่	% การ นำกลับ เรียน ใหม่	
				คะแนน เต็ม	คะแนน จริง	ความ ยาก	ความ ง่าย	ความ เหมาะสม	ความ ไม่ เหมาะสม	เวลา ที่ใช้	เวลา ที่ใช้	เวลา ที่ใช้	เวลา ที่ใช้				เวลา ที่ใช้
31	5	3	3053	9.0	15208	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม
32	5	3	3053	9.0	15208	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม
33	5	4	3053	9.1	53.6	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม
34	5	4	3053	9.1	53.6	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม	มี การ ควบคุม

หมายเหตุ: \* สำหรับข้อที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100

ตารางที่ 9.26 ผลการทดสอบการกระจายคะแนนคิดโง่เพียงการกระจายคะแนนโดยมีส่วนร่วมในสภาพการกระจายต่าง ๆ ที่ถูกทดสอบ

หมายเลข การ ทดสอบ	หมายเลข ดัชนี	หมายเลข การ ทดสอบ	หมายเลข การ ทดสอบ	คะแนน		การกระจายคะแนน	การกระจายคะแนน				การกระจายที่ได้				% การ นำดัชนี เฉลี่ย โง่	% การ นำดัชนี เฉลี่ย โง่ ใน คะแนน คิด	% การ นำดัชนี เฉลี่ย โง่ ใน คะแนน คิด
				คะแนน คิด	คะแนน คิด		ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	เวลา ที่ใช้	เวลา ที่ใช้	เวลา ที่ใช้	เวลา ที่ใช้			
35	7	9	2637	8.0	5041	มีความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด
36	7	9	2637	8.0	5041	มีความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด
37	7	10	2637	8.1	36.8	มีความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด
38	7	10	2637	8.1	36.8	มีความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด	ความ เข้ม ชัด

หมายเหตุ: \* สำหรับดัชนี, \*\* สำหรับค่าคะแนน

ตารางที่ ๑.27 แสดงผลการทดสอบการกระจายคะแนนเด็กแมงกานีสร่วมกับปูนขาวภาคเหนือที่ไม่มีการร่วมครั้งในสภาพการกระจายต่าง ๆ ที่อุณหภูมิต้อง

พหุ เลข การ ทดลอง	พหุ เลข การ นับ คะแนน ผิด	พหุ เลข การ นับ คะแนน ผิด	พหุ เลข การ นับ คะแนน ผิด	การกระจายคะแนนเด็ก		การกระจายคะแนนเด็ก				การกระจายคะแนนเด็ก				% การ นำกลับ คะแนน ใน คะแนน ผิด	% การ นำกลับ คะแนน ใน คะแนน ผิด	% การ นำกลับ คะแนน ใน คะแนน ผิด	
				ชนิดของ คะแนน ผิด	คะแนน ผิด	ความ เข้มข้น ร้อยละ	ความ เข้มข้น ร้อยละ	อัตรา การ รื้อฟื้น (X)	อัตรา การ รื้อฟื้น (ม.ค./ก.)	เวลาที่ ใช้ ในการ กระจาย (นาที)	เวลา ที่ใช้ ในการ กระจาย (นาที)	การ กระจาย (ม.ค./ก.)	การ กระจาย (ม.ค./ก.)				การ กระจาย (ม.ค./ก.)
39	7	16	2637	7.5	10059	เจือจาง คั่งเนื่อง	เข้มข้น	0.7	10.4	60	3.5	3.8	5367	42/50	46.0	44.8	38.6
40	7	16	2637	7.5	10059	มีการกวน เฉพาะตอน แรก	เข้มข้น	0.85	12.6	60	4.0	3.7	4281	43/50	37.6	36.6	31.6
41	7	16	2637	7.5	35.4	มีการกวน คั่งเนื่อง	เจือจาง 1+4	1.0	14.9	60	2.5	2.5	7252	46/50	68.1	66.3	57.2
42	7	16	2637	7.5	35.4	มีการกวน เฉพาะตอน แรก	เจือจาง 1+4	1.3	19.4	60	1.0	1.5	7211	47/50	69.2	67.4	58.1
								1.6	23.8	60	0.8	0.9	7170	47/50	68.8	67.8	57.8
								1.9	28.3	60	0.5	0.8	7538	46/50	70.8	68.9	59.5
								0.5	12.4	60	4.1	4.5	18278	5/20	13.9	12.9	11.7
								0.7	17.4	60	3.0	2.9	31008	15/20	71.0	65.7	59.6
								0.9	22.3	60	1.9	1.8	37128	17/20	96.3	89.1	80.9
								1.1	27.3	60	0.8	1.0	34884	18/20	95.8	88.7	80.5
								1.3	32.2	60	0.7	0.3	31824	20/20	97.1	89.9	81.5
								1.5	37.2	60	0.6	0.1	30192	21/20	94.5	89.6	79.4
								0.5	12.4	90	4.6	4.5	9874	5/20	7.5	7.0	6.3
								0.7	17.4	90	1.8	3.0	31212	15/20	71.4	66.1	60.0
								0.9	22.3	90	1.0	2.7	32436	16/20	79.2	73.3	66.5
								1.1	27.3	90	0.8	1.0	32028	18/20	88.0	81.4	73.9
								1.3	32.2	90	0.0	0.4	31008	19/20	89.9	83.2	75.5
								1.5	37.2	90	0.0	0.2	30396	20/20	92.8	85.9	77.9

หมายเหตุ: อัตราฟื้นตัว, " อัตราฟื้นคะแนน

ตารางที่ ๑.28 แสดงผลการทดสอบการกระจายคะแนนผลึกแบบกัมมันต์ออกไรต์จากน้ำเสียที่มีสารร่วมครึ่งในสภาพการกระจายต่างๆ ที่จุดทดสอบที่ ๑

หมายเลข ทราย ทดสอบ	หมายเลข ถัง น้ำเสีย	หมายเลข ทราย ตก ตะกอน ผลึก	ทราย ใน น้ำเสีย (มก./ล.)	โครเมียม		โครเมียม ทั้งหมด (มก./ล.)	โครเมียม ใน น้ำเสีย (มก./ล.)	อัตรา การ ตก ตะกอน ผลึก	เวลา ที่ใช้ ในการ กระจาย	การกระจายตะกอนผลึก				การกระจายที่ได้				% ทราย น้ำตก ตะกอน ผลึก ใน น้ำเสีย	% ทราย น้ำตก ตะกอน ผลึก ใน น้ำเสีย	% ทราย น้ำตก ตะกอน ผลึก ใน น้ำเสีย											
				ปริมาณ ตก ตะกอน ผลึก	อัตรา การ ตก ตะกอน ผลึก (มก./ล.)					ความ เข้มข้น ตก ตะกอน ผลึก	อัตรา การ ตก ตะกอน ผลึก (มก./ล.)	อัตรา การ ตก ตะกอน ผลึก (มก./ล.)	อัตรา การ ตก ตะกอน ผลึก (มก./ล.)	อัตรา การ ตก ตะกอน ผลึก (มก./ล.)	อัตรา การ ตก ตะกอน ผลึก (มก./ล.)	อัตรา การ ตก ตะกอน ผลึก (มก./ล.)	อัตรา การ ตก ตะกอน ผลึก (มก./ล.)				อัตรา การ ตก ตะกอน ผลึก (มก./ล.)	อัตรา การ ตก ตะกอน ผลึก (มก./ล.)									
43	13	20	1526	8.9	8.9	11404	11404	8.9	60	2.8	3.0	3.6	3.8	4.0	4.4	2091	18200	7.0	6.6	61.3	72.6	95.1	91.0	84.5	68.7	14.5	62.9	64.1	73.2	74.0	68.7
44	13	20	1526	8.9	8.9	11404	11404	8.9	60	3.0	3.6	3.8	4.0	4.4	3067	34500	19.0	18.3	77.4	78.9	90.1	91.0	84.5	68.7	14.5	62.9	64.1	73.2	74.0	68.7	
45	13	20	1526	8.7	8.7	29.4	29.4	8.7	60	2.5	2.7	3.0	3.2	3.8	22248	22720	77.2	83.2	90.1	96.3	89.6	93.2	69.1	68.4	58.9	66.8	71.4	66.5	69.1	68.4	
46	13	20	1526	8.7	8.7	29.4	29.4	8.7	90	2.7	3.2	3.8	4.2	4.4	18317	20220	60.0	62.3	71.7	81.4	87.1	84.6	81.3	68.4	58.9	66.8	71.4	66.5	69.1	68.4	

หมายเหตุ: 1. อัตราตกตะกอน, 2. อัตราการตกตะกอน

ตารางที่ 9.29 แสดงผลการทดสอบการกระจายคะแนนผลึกไอโซมอร์ฟิซึมคาร์บอนตอกน้ำหนักที่มีสารร่วมสรีงในสภาพการกระจายต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง

หมายเลขทดลอง	หมายเลขน้ำหนัก	หมายเลขสารตก	หมายเลขสารตก	หมายเลขสารตก	การกระจาย		การกระจาย		การกระจาย		การกระจาย		% สารน้ำหนักไอโซมอร์ฟิซึมทั้งหมด	% สารน้ำหนักไอโซมอร์ฟิซึมทั้งหมด	% สารน้ำหนักไอโซมอร์ฟิซึมทั้งหมด	
					น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก				
47	16	24	1327	8.6	4087	มีคาร์บอน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน
48	16	24	1327	8.6	4087	มีคาร์บอน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน
49	16	25	1327	8.5	35.0	มีคาร์บอน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน
50	16	25	1327	8.5	35.0	มีคาร์บอน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน	เจือปน

หมายเหตุ: น้ำหนักผลึก, " น้ำหนักการกระจาย



ตารางที่ 30 แสดงผลการทดสอบการกระจายคะแนนคณิตแบบถ่วงน้ำหนักออกใบความรู้กับกลุ่มชาวภาคเหนือที่มีส่วนร่วมในสภาพการกระจายต่างๆ ที่อุบลราชธานี

หมายเลข การ ทดลอง	หมายเลข นักเรียน	หมายเลข การ ทดลอง	หมายเลข นักเรียน ใน ชั้นเรียน (ม.ค./ก.)	คะแนน		การกระจายคะแนนคณิต				การกระจายที่ได้				% การ นำคะแนน ไป รวม ใน ชั้นเรียน	% การ นำคะแนน ไป รวม ใน คะแนน คณิต	% การ นำคะแนน ไป รวม ใน คะแนน คณิต
				คะแนน คณิต	คะแนน รวม	ความ ถี่	ความ ถี่ สัมพัทธ์	ความ ถี่ สัมพัทธ์ (ม.ค./ก.)	ความ ถี่ สัมพัทธ์ (ม.ค./ก.)	ความ ถี่ สัมพัทธ์ (ม.ค./ก.)	ความ ถี่ สัมพัทธ์ (ม.ค./ก.)	ความ ถี่ สัมพัทธ์ (ม.ค./ก.)	ความ ถี่ สัมพัทธ์ (ม.ค./ก.)			
51	17	27	1164	8.3	4968	1.2	9.7	60	4.9	5.7	1487	35/50	19.6	21.0	12.3	
						1.5	12.1	"	4.4	4.0	5205	46/50	90.2	96.4	56.8	
						1.8	14.5	"	3.0	2.7	5412	46/50	93.8	100.2	59.0	
						2.1	16.9	"	1.6	1.6	5453	47/50	96.6	103.2	60.8	
						2.4	19.4	"	1.1	1.2	5701	47/50	100.0	107.9	62.9	
						2.7	21.8	"	0.5	0.7	5618	47/50	99.5	106.3	62.6	
52	17	27	1164	8.3	4968	1.2	9.7	60	4.9	5.9	1528	35/50	20.2	21.5	12.7	
						1.5	12.1	"	4.5	4.0	4875	46/50	84.5	90.3	53.2	
						1.8	14.5	"	3.0	2.6	5453	47.5/50	97.6	104.3	61.4	
						2.1	16.9	"	1.3	1.4	5536	47/50	98.1	104.7	61.7	
						2.4	19.4	"	1.0	1.1	5701	45/50	96.7	103.3	60.8	
						2.7	21.8	"	0.7	0.9	5742	46/50	99.6	106.3	62.7	
53	17	27	1164	8.5	28.5	1.2	192	60	4.9	5.5	0	0/20	0.0	0.0	0.0	
						1.4	224	"	4.1	3.8	22830	18/20	97.6	72.1	61.4	
						1.6	256	"	3.0	3.1	20648	19/20	93.2	68.8	58.6	
						1.8	288	"	1.3	2.1	20067	18.5/20	88.2	65.1	55.5	
						2.0	320	"	0.5	1.3	19194	19/20	88.6	64.0	55.7	
54	17	27	1164	8.5	28.5	1.2	192	90	5.0	5.6	0	0/20	0.0	0.0	0.0	
						1.4	224	"	4.0	3.7	20794	18/20	88.9	65.7	55.9	
						1.6	256	"	3.3	3.2	19194	18/20	88.9	60.6	55.9	
						1.8	288	"	1.4	2.2	20794	18/20	82.0	65.7	51.6	
						2.0	320	"	0.4	1.3	20940	18/20	89.5	66.1	56.3	

หมายเหตุ: \* ดำเนินการ, \*\* ดำเนินการทดลอง

ตารางที่ จ.31 การละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนต่อเนื่องและเพิ่มอุณหภูมิ

หมายเลขการทดลอง : 25		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 6			
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 50 มล.		พีเอชตะกอนผลึก : 9.2			
โคโรเมียมในตะกอนผลึก : 12,885 มก./ล.		อัตราการเติมกรด : 1.5 X			
หัวข้อ	อุณหภูมิ °C				
	31 °C	45 °C	60 °C	80 °C	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./ล.)	31.7	31.7	31.7	31.7	
พีเอชเริ่มต้น	1.5	1.6	1.5	1.6	
พีเอชสุดท้าย	2.0	2.0	1.8	1.5	
ตัวประกอบ	1.00	0.96	0.98	0.94	
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโคโรเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)				
5	12632	10586	11820	10465	
10	9670	12344	13018	13330	
20	13342	12422	12978	12070	
40	13831	13086	13537	13369	
70	13342	13398	14575	13903	

ตารางที่ จ.32 การละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนต่อเนื่องและเพิ่มอุณหภูมิ

หมายเลขการทดลอง : 26		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 6			
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 30 ก.		พีเอชตะกอนผลึก : 9.2			
โคโรเมียมในตะกอนผลึก : 45.6 มก./ก.		อัตราการเติมกรด : 1.4 X			
หัวข้อ	อุณหภูมิ °C				
	31 °C	45 °C	60 °C	80 °C	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./กก.)	469	469	469	469	
พีเอชเริ่มต้น	0.4	0.4	0.4	0.0	
พีเอชสุดท้าย	1.7	1.7	1.4	1.0	
ตัวประกอบ	1.00	0.91	0.91	0.82	
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโคโรเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)				
5	39168	43025	28004	26372	
10	35904	32454	31156	29042	
20	38556	32269	31898	32046	
40	37944	34309	35051	33716	
70	39372	35978	35793	38389	

ตารางที่ จ.33 การละลายสลัดจ์โซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนต่อเนื่องและเพิ่มอุณหภูมิ

หมายเลขการทดลอง : 27		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 12			
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 50 มล.		พีเอชตะกอนผลึก : 7.5			
โครเมียมในตะกอนผลึก : 6,101 มก./ล.		อัตรากาการเติมกรด : 1.8 X			
หัวข้อ	อุณหภูมิ °C				
	31 °C	45 °C	60 °C	80 °C	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./ล.)	14.7	14.7	14.7	14.7	
พีเอชเริ่มต้น	0.7	0.8	0.7	0.8	
พีเอชสุดท้าย	1.4	1.2	1.2	0.8	
ตัวประกอบ	1.00	0.98	0.98	0.96	
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)				
5	6732	4155	2796	3989	
10	5263	4195	3356	5200	
20	5426	4235	4714	5318	
40	5630	4035	4913	5513	
70	5712	3915	5393	6060	

ตารางที่ จ.34 การละลายกากตะกอนโซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนต่อเนื่องและเพิ่มอุณหภูมิ

หมายเลขการทดลอง : 28		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 14			
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 30 ก.		พีเอชตะกอนผลึก : 9.2			
โครเมียมในตะกอนผลึก : 36.3 มก./ก.		อัตรากาการเติมกรด : 1.0 X			
หัวข้อ	อุณหภูมิ °C				
	31 °C	45 °C	60 °C	80 °C	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./กก.)	272	272	272	272	
พีเอชเริ่มต้น	0.8	0.7	0.9	0.5	
พีเอชสุดท้าย	2.4	2.6	2.3	2.1	
ตัวประกอบ	1.00	1.00	0.96	0.92	
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)				
5	32718	34205	28395	28884	
10	32222	34700	34264	31316	
20	34535	34783		36789	
40	35692	36435	36009	46214	
70	37344	38831	38388	49249	

ตารางที่ จ.35 การละลายสไลด์จเมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนต่อเนื่อง และเพิ่มอุณหภูมิ

หมายเลขการทดลอง : 29		หมายเลขการตกตะกอนผลึก : 17			
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 50 มล.		พีเอชตะกอนผลึก : 7.5			
โครเมียมในตะกอนผลึก : 10,520 มก./ล.		อัตราการใช้กรด : 1.0 X			
หัวข้อ	อุณหภูมิ °C				
	31 °C	45 °C	60 °C	80 °C	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./ล.)	14.3	14.3	14.3	14.3	
พีเอชเริ่มต้น	2.1	2.1	2.3	2.2	
พีเอชสุดท้าย	2.2	2.3	2.1	1.8	
ตัวประกอบ	1.00	0.98	0.96	0.83	
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)				
5	9750	8868	9250	7522	
10	9629	9538	9750	8554	
20	9952	9893	9905	8853	
40	10556	10208	11330	9219	
80	10959	10484	10559	10285	

ตารางที่ จ.36 การละลายกากตะกอนเมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบมีการกวนต่อเนื่องและเพิ่มอุณหภูมิ

หมายเลขการทดลอง : 30		หมายเลขการตกตะกอน : 17			
ปริมาณตัวอย่างตะกอนผลึก : 30 ก.		พีเอชตะกอนผลึก : 9.2			
โครเมียมในตะกอนผลึก : 34.4 มก./ก.		อัตราการใช้กรด : 0.9 X			
หัวข้อ	อุณหภูมิ °C				
	31 °C	45 °C	60 °C	80 °C	
ปริมาณกรดที่ใช้ (มล./กก.)	210	210	210	210	
พีเอชเริ่มต้น	0.4	1.0	0.5	1.1	
พีเอชสุดท้าย	2.3	2.3	2.0	1.5	
ตัวประกอบ	1.00	1.00	0.88	0.75	
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลายได้ (มก./ล.)				
5	31104	29613	31552	25624	
10	31426	35455	33280	25383	
20	33441	36865	31904	26894	
40	36261	37873	33315	33844	
80	35254	40491	32081	42909	

ตารางที่ 3.7 แสดงผลการทดสอบการละลายของหินแต่ละประเภทในสภาพการละลายแบบเปียกและแบบแห้ง

หมายเลข การ ทดลอง	หมายเลข น้ำดิบ	หมายเลข การ ทดสอบ	สารเคมี ที่ใช้ใน การ ทดสอบ	ตะกอนหนัก		อุณหภูมิ การละลาย	การละลายแบบเปียก				การละลายแบบแห้ง				% สาร ที่ละลาย ใน น้ำดิบ	% สาร ที่ละลาย ใน ตะกอน หนัก	% สาร ที่ละลาย ใน ตะกอน หนัก
				ปริมาณ น้ำดิบ (มก./มก.)	ปริมาณ น้ำดิบ (มก./มก.)		ความ เข้มข้น ของ สารละลาย	อัตรา การ ละลาย	ปริมาณ น้ำดิบ (มก./มก.)	ปริมาณ น้ำดิบ (มก./มก.)	เวลา ที่ใช้ใน การ ละลาย	ปริมาณ น้ำดิบ (มก./มก.)	ปริมาณ น้ำดิบ (มก./มก.)	ปริมาณ น้ำดิบ (มก./มก.)			
55	8	5	MgO	8.9	15633	อุณหภูมิห้อง 45 °C	เข้มข้น	1.5	31.7	60	3.1	2.4	14193	4750	96.4	85.3	67.6
						60 °C	เข้มข้น	1.5	31.7	-	1.9	2.0	13453	4550	87.5	77.4	61.4
						80 °C	เข้มข้น	1.5	31.7	-	1.8	1.9	12520	4450	83.2	73.7	58.3
							เข้มข้น	1.5	31.7	-	1.2	1.4	12931	4450	82.2	72.8	57.6
56	8	5	MgO	8.9	44.4	อุณหภูมิห้อง	เจือปน 1+4	1.4	430	60	0.8	1.6	37026	2220	100.0	61.2	70.1
						45 °C	เจือปน 1+4	1.4	430	-	0.7	1.7	44102	2020	100.0	66.2	76.4
						60 °C	เจือปน 1+4	1.4	430	-	0.5	1.4	39824	2020	98.4	59.8	69.0
						80 °C	เจือปน 1+4	1.4	430	-	0.5	1.0	43089	1820	100.0	60.9	70.1
57	8	11	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	7.5	6083	อุณหภูมิห้อง	เข้มข้น	1.8	14.7	60	0.7	0.8	4978	4850	89.1	79.1	62.5
						45 °C	เข้มข้น	1.8	14.7	-	0.7	1.3	4937	4750	86.5	76.9	60.7
						60 °C	เข้มข้น	1.8	14.7	-	0.6	1.2	5266	4750	92.3	82.0	64.7
						80 °C	เข้มข้น	1.8	14.7	-	0.7	1.1	4855	4650	83.3	74.0	58.4
58	8	13	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	7.8	36.3	อุณหภูมิห้อง	เจือปน 1+4	1.0	282	60	0.8	2.4	28963	2530	96.6	66.4	67.7
						45 °C	เจือปน 1+4	1.0	282	-	0.7	2.6	27317	2530	91.9	62.7	64.4
						60 °C	เจือปน 1+4	1.0	282	-	0.9	2.3	29785	2430	96.2	65.6	67.5
						80 °C	เจือปน 1+4	1.0	282	-	0.5	2.1	38608	2330	94.8	64.6	66.5
59	8	17	MgO + Ca(OH) <sub>2</sub>	7.4	10320	อุณหภูมิห้อง	เข้มข้น	1.0	14.3	60	2.0	2.2	9174	4650	89.9	80.2	63.0
						45 °C	เข้มข้น	1.0	14.3	-	2.5	2.6	8886	4550	85.2	76.0	59.7
						60 °C	เข้มข้น	1.0	14.3	-	2.6	2.4	9092	4450	85.2	76.1	59.7
						80 °C	เข้มข้น	1.0	14.3	-	2.1	1.8	11314	3850	91.6	81.7	64.2
60	8	17	MgO + Ca(OH) <sub>2</sub>	7.8	34.4	อุณหภูมิห้อง	เจือปน 1+4	0.9	210	60	1.3	2.4	37355	1620	97.1	86.9	68.1
						45 °C	เจือปน 1+4	0.9	210	-	1.4	2.5	38013	1620	98.8	88.4	69.3
						60 °C	เจือปน 1+4	0.9	210	-	1.1	2.0	39330	1420	89.4	80.0	62.7
						80 °C	เจือปน 1+4	0.9	210	-	1.0	1.5	46900	1220	91.4	81.8	64.1

หมายเหตุ: \* สารที่ละลาย, \*\* สารที่ละลาย

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวศศิธร เจริญวิเศษศิลป์ เกิดวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ.2512 ที่อำเภอ  
ตะพานหิน สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาที่โรงเรียนตะพานหิน จ.พิจิตร ในปีการศึกษา  
2528 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิ  
ชาวิศวกรรมสภาวะแวดล้อมในปีการศึกษา 2532 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อ พ.ศ. 2534



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย