

รายการอ้างอิง

- [1] Pollution Control Department (PCD), The Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand; 2004
- [2] จักรบรรณ วรณรัตน์. 2544. ผลของตัวแปรอิเล็กโทรดิโพลีซันของนิกเกิล วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] กรมโรงงานอุตสาหกรรม สหประชาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษ.
- [4] มั่นสิน ดันทุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเล่ม1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [5] เกี้ยวลี พุกษาทร. 2548. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาเคมีไฟฟ้าประยุกต์ ภาควิชาเคมี เทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [6] นวรัตน์ พรหมจินดา. ศศิโนทัย โรจนุตมะ., ศศิธร สว่างศรี. 2543. การแยกสังกะสีและตะกั่ว ออกจากน้ำเสียโดยวิธีทางเคมีไฟฟ้า. รายงานโครงการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้าง ประสิทธิภาพ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [7] เพ็ญศรี ทองนพเนื่อ. 2542. เคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] หทัยทัต ชื้อสุวรรณ. 2544. การนำโลหะกลับคืนจากสลัดจ์โดยวิธีไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์ ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [9] Bard A.J. and Faulker L.R., 1980. Electrochemical Methods Fundamentals and Applications. Yew York: John Wiely & Sons.
- [10] Hamann C.H., Hamnett A. and Vielstich W., 1998. Electrochemistry. Weinheim: Wiley-VCH.
- [11] Sawyer D.T., Sibkowiak A., and Roberts J.L., 1995. Electrochemistry for Chemists. Newyork: Wiley.
- [12] ศังกรม์ คงเจาะ. 2548. การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังในเครื่องปฏิกรณ์ เคมีไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [13] เคมีไฟฟ้า (ออนไลน์). แหล่งที่มา www.physchem.co.za
- [14] Browning D., Mepsted G., Giwa C., Green K., Lakeman B., and Barnes P., 1999, Carbon: The key to power, Chemistry and Industry No.21.:817-860.

- [15] Yang J., Jia J., Liao J., and Wang Y., 2004, Removal of fulvic acid from water electrochemically using active carbon fiber electrode, Water Research 38 . : 4353-4360.
- [16] Rana P., Mohan N. and Rajagopal C., 2004, Electrochemical removal of chromium from wastewater by using carbon aerogel electrodes, Water Research 38 . : 2811- 2820.
- [17] Babic B.M., Milonjic S.K., Polovina M.J., Cupic S., and Kaludjerovic B.V., 2001, Adsorption of Zinc, cadmium and mercury ions from aqueous solution on an activated carbon cloth, Carbon 40 . : 1109-1115.
- [18] Bertazzoli R., Widner R.C., Lanza M.R.V., Di Iglia R.A., and Sousa M.F.B., 1997, Electrolytic Removal of Metals Using a Flow – Through Cell with a Reticulated Vitreous Carbon Cathode, Journal of Brazil chemistry Society Vol. : 487-493.
- [19] Paidar M., Bouzek K., and Laurich M., 2000, Application of a Three-Dimensional Electrode to the Electrochemical Removal of Copper and Zinc Ions from Diluted Solutions, Water Environment Research Vol.72, No. 5
- [20] Alvarez-Merino M.A., Lopez-Ramon V., and Moreno-Castilla C., 2005, A study of the static and dynamic adsorption of Zn(II) ions on carbon materials from aqueous solutions, Journal of Colloid and Interface Science 288.: 335-341
- [21] Sciban M., Radetic B., Kevresan Z., and Klasnja M., 2005, Adsorption of heavy metals from electroplating wastewater by wood sawdust, Journal of Bioresource Technology 98 .: 402-409
- [22] Wilson K., Yang H., Seo C.W., and Marshall W.E., 2005, Select metal adsorption by activated carbon from peanut shells, Journal of Bioresource Technology 97 .:2266-2270
- [23] Ajmal M., Rao R.R.K., Ahmad R., and Ahmad J., 2000, Adsorption studies on Citrus reticulate (fruit peel of orange): removal and recovery of Ni (II) from electroplating wastewater, Journal of Hazardous Materials B79.:117-131.
- [24] Ajmal M., Rao R.R.K., Ahmad R., and Ahmad J., 2001, Removal and recovery of heavy metals from electroplating wastewater by using Kyanite as an adsorbent, Journal of Hazardous Materials B87.:127-137.

- [25] Sirianuntapiboon S., and Hongrisuwan T., 2006, Removal of Zn^{2+} and Cu^{2+} by a sequencing batch reactor (SBR) system, Bioresource Technology 98.: 808-818.
- [26] Meena K.A., Mishra G.K., Rai P.K., Rajagopal C., and Nagar P.N., 2005, Removal of heavy metal ions from aqueous solutions using carbon aerogel as an adsorbent, Journal of Hazardous Materials B122.:161-170.
- [27] Cetin S., and Pehlivan E., 2006, The use of fly ash as a low cost, environmentally friendly alternative to activated carbon for the removal of heavy metals from aqueous solutions, Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 298 .:83-87

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตาราง ก-1 ตารางแสดงค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

1. ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม		
ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีการวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดและเบส (pH value)	5.5-9.0	เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส
2. ค่าทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	<ul style="list-style-type: none"> • ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแต่ลักษณะของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. • น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเล ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก.ล. 	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่ 150 มก./ล.	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีการวิเคราะห์
4. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40°C	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
6. ซัลไฟด์ (Sulfide as H ₂ S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Titrate
7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid
8. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มก./ล.	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
9. ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectrophotometry
10. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Iodometric Method
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด	Gas-Chromatography

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีการวิเคราะห์
13. ค่าบีโอดี (5 วันที่อุณหภูมิ 20 °C(Biochemical Oxygen Demand :BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างกันแล้วแต่ ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่ คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกัน แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำ ทิ้ง หรือประเภทของโรงงาน อุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการ ควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล.	Kjeldahl
15. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มก./ล.หรืออาจแตกต่างกัน แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำ ทิ้ง หรือประเภทของโรงงาน อุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการ ควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion
16. โลหะหนัก (Heavy Metal) 1. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
3. โครเมียมชนิด ไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	
4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	
5. แคดเมียม(Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล	

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีการวิเคราะห์
6. แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล	
7. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
8. นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
10. อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	-Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
11. เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	-Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
12. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	-Atomic Absorption Cold Vapour Technique

แหล่งที่มา: ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

ภาคผนวก ข

1. การคำนวณสารละลายเจือจาง

1.1 การคำนวณสารละลายเจือจางของนิกเกิล 22 มิลลิกรัมต่อลิตร

โดยเตรียมจาก $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (มวลโมเลกุล = 262.86) มวลโมเลกุล ของ Ni = 58.70 ถ้าจะเตรียมสารละลายเจือจางของนิกเกิล 22 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร จะต้องใช้ Ni 22 มิลลิกรัม

Ni 58.70 กรัม ได้จาก $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 262.86 กรัม

Ni 0.022 กรัม ได้จาก $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{262.86 \times 0.022}{58.70} = 0.098$ กรัม

ดังนั้นต้องใช้ $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.098 กรัม ในการเตรียมสารละลายเจือจางของนิกเกิลความเข้มข้น 22 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1 ลิตร

1.2 การคำนวณสารละลายเจือจางของสังกะสี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

โดยเตรียมจาก $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (มวลโมเลกุล = 287.54) มวลโมเลกุล ของ Zn = 65.37 ถ้าจะเตรียมสารละลายเจือจางของสังกะสี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร จะต้องใช้ Zn 100 มิลลิกรัม

Zn 65.37 กรัม ได้จาก $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 287.54 กรัม

Zn 0.1 กรัม ได้จาก $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = \frac{287.54 \times 0.1}{65.37} = 0.4399$ กรัม

ดังนั้นต้องใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.4399 กรัม ในการเตรียมสารละลายเจือจางของสังกะสีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1 ลิตร

2. ตัวอย่างการคำนวณหาค่าร้อยละของนิกเกิลและสังกะสีกลับคืน

ตาราง ข-1 ผลการทดลองการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้าของสารละลายเจือจาง ที่มีความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น 22 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นที่ 4 โดยให้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าไฟฟ้าคงที่ 15.2 แอมแปร์ต่อตารางเมตร (0.1แอมแปร์) ด้วยการเจือจาง 4.55: 50 โดยปริมาตร

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น(มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาตรสารละลาย (ลิตร)
0	1.5698	1000
1	0.5327	980
2	0.2819	960
3	0.2716	940
4	0.1526	920
5	0.1486	900
6	0.1037	800

สามารถหาความเข้มข้นของนิกเกิลที่เหลืออยู่ในสารละลายที่แท้จริงได้จากการคำนวณปริมาณสารสัมพันธ์

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad (\text{ข-1})$$

เมื่อ	C_1	คือ	ความเข้มข้นของสารละลายก่อนการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	V_1	คือ	ปริมาณของสารละลายก่อนการละลาย (มิลลิลิตร)
	C_2	คือ	ความเข้มข้นของสารละลายหลังการละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	V_2	คือ	ปริมาณของสารละลายหลังการละลาย (มิลลิลิตร)

ดังนั้น ณ เวลา 3 ชั่วโมง สารละลายเจือจาง จะมีความเข้มข้นนิกเกิลเจือจาง (C_1)

$$= \frac{0.2716 \times 50 \text{ มิลลิลิตร}}{4.55 \text{ มิลลิลิตร}} = 2.985 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ } 0.00298 \text{ กรัมต่อลิตร}$$

เมื่อทราบความเข้มข้น ณ เวลาใดๆ ของสารละลายนิกเกิล ก็จะสามารถหาปริมาณมวลสารของนิกเกิลที่ละลายอยู่ในสารละลายได้โดยการนำค่าความเข้มข้นคูณกับปริมาตรของสารละลาย ณ เวลานั้นๆ ดังตัวอย่าง

ณ เวลา 3 ชั่วโมง ปริมาตรของสารละลาย เท่ากับ 0.940 ลิตร ดังนั้น ปริมาณมวลสารของ นิกเกิลที่ละลายอยู่ในสารละลาย เท่ากับ $0.940 \times 2.985 = 2.806$ มิลลิกรัม

$$\text{สำหรับการหาค่าร้อยละของการนำนิกเกิลกลับคืน} = \left(\frac{\text{มวลของสารเริ่มต้น} - \text{มวลสาร ณ เวลาใดๆ}}{\text{มวลของสารเริ่มต้น}} \right) \times 100$$

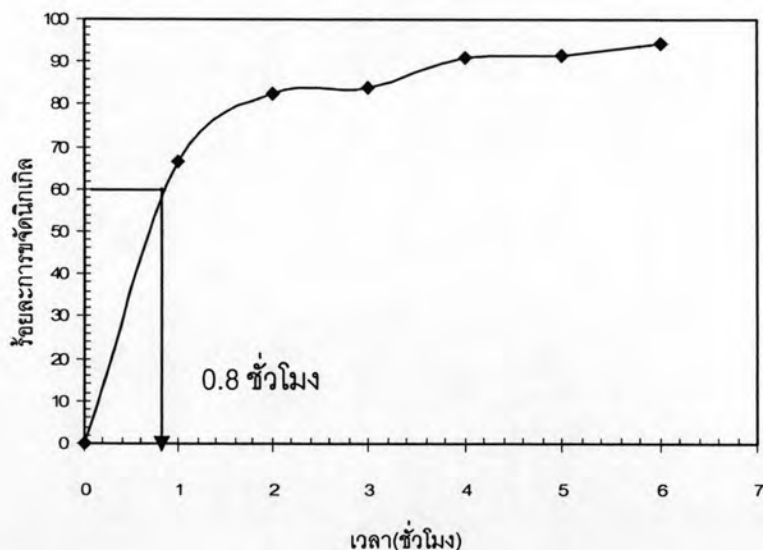
ในการทดลองครั้งนี้ ผลจากการวิเคราะห์จากเครื่อง AAS ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 17.251 มิลลิกรัม

$$\text{ดังนั้น ร้อยละของการนำนิกเกิลกลับคืน ณ เวลา 3 ชั่วโมง} = \frac{(17.251 - 2.806)}{17.251} \times 100 =$$

83.734

3. ตัวอย่างการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงกระแสไฟฟ้า

จากผลการทดลองการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้าของสารละลายเจือจาง ที่มีความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น 22 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความเป็นกรด-เบส เริ่มต้นคงที่ 4 โดยให้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าไฟฟ้าคงที่ 15.2 แอมแปร์ต่อตารางเมตร (0.1 แอมแปร์) แสดงดังรูปที่ข-1



รูปที่ ข-1 ความสัมพันธ์ของร้อยละการขจัดนิกเกิลกับเวลาที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 15.2 แอมแปร์ต่อตารางเมตร และความเป็นกรด-เบสคงที่ที่ 4 ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 22 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากรูปที่ ข-1 เวลาที่ร้อยละของการนำนิกเกิลกลับคืน 60 คือ 0.8 ชั่วโมง จากกฎของฟาราเดย์ ตามสมการที่ 2.13 เมื่อนำค่าเวลาที่คำนวณได้ลงแทนในสมการ พร้อมทั้งค่าตัวแปรที่ทราบค่าตัวอื่น เพื่อหาค่ามวลที่ได้ตามทฤษฎี (m)

$$m = \frac{(s = 1)(m = 58.70 \text{ กรัม/โมล})(0.1 \text{ แอมแปร์})(0.8 \times 60 \times 60 \text{ วินาที})}{(2 \times 96500 \text{ แอมแปร์/วินาที} \cdot \text{จลวิวาเลนต์})} = 0.088 \text{ กรัม หรือ } 88 \text{ มิลลิกรัม}$$

และเมื่อปริมาณนิกเกิลเริ่มต้นมีค่าเท่ากัน 17.251 มิลลิกรัม

ดังนั้นค่าประสิทธิภาพเชิงกระแสไฟฟ้าไฟฟ้าเป็น $(0.6 * 17.251)/88 = 0.118$

ภาคผนวก ค

ตาราง ค-1 ข้อมูลการทดลองศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายนิกเกิล ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ 15.2 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลเริ่มต้น 22 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลา(ชั่วโมง)	ปริมาณสารละลาย (มล.)	น้ำหนักนิกเกิล (มก.)				
		pH 3	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7
0	1000	16.59	17.25	17.33	19.17	20.58
1	980	6.56	5.74	5.76	7.05	9.23
2	960	4.33	2.97	3.78	4.20	5.49
3	940	3.67	2.81	2.83	3.47	3.08
4	920	2.34	1.54	2.74	2.00	1.93
5	900	1.44	1.47	1.65	1.64	1.38
6	880	0.97	1.00	1.20	1.45	1.71

ตาราง ค-2 ข้อมูลการทดลองศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่มีต่อการขจัดนิกเกิล ที่ค่าความเป็นกรดเบสของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 4 ความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลเริ่มต้น 22 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลา(ชั่วโมง)	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	น้ำหนักรนิกเกิล (มก.)				
		7.6 A/m ²	15.2 A/m ²	22.7 A/m ²	30.3 A/m ²	37.9 A/m ²
0	1000	18.02	17.25	18.33	17.95	18.79
1	980	11.10	5.74	4.39	3.27	3.48
2	960	9.39	2.97	2.03	1.84	1.77
3	940	8.01	2.81	1.10	1.19	1.15
4	920	6.94	1.54	0.72	0.73	0.73
5	900	6.52	1.47	0.50	0.54	0.58
6	880	5.76	1.00	0.51	0.44	0.44

ตาราง ค-3 ข้อมูลการทดลองศึกษาผลของความเข้มข้นของนิกเกิล ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 15.2 แอมแปร์ และค่าความเป็นกรด-เบส ของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 4

เวลา(ชั่วโมง)	ปริมาณสารละลาย (มล.)	น้ำหนักนิกเกิล (มก.)			
		10 ppm	22 ppm	50 ppm	5 ppm ที่ pH 3
0	1000	9.41	18.03	42.58	40.43
1	980	1.82	7.23	29.84	29.08
2	960	0.45	3.97	23.98	23.85
3	940	0.10	2.46	19.20	19.27
4	920	0.09	1.71	17.36	17.34
5	900	0.07	1.55	15.79	15.92
6	880	0.00	1.19	14.19	14.69

ตาราง ค-4 ข้อมูลการทดลองศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่มีต่อการขจัดสังกะสี ที่ค่าความเป็นกรดเบสเริ่มต้นเท่ากับ 4 ความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	น้ำหนักสังกะสี (มก.)								
		15.2 A/m ²	22.7 A/m ²	30.3 A/m ²	37.9 A/m ²	41.0 A/m ²	45.5 A/m ²	50.0 A/m ²	55.0 A/m ²	60.6 A/m ²
0	1000	98.35	98.80	97.45	97.16	99.60	98.90	98.58	98.51	96.55
1	980	80.02	79.28	69.92	60.90	60.34	57.82	42.64	44.11	41.63
2	960	76.75	66.10	59.23	55.98	55.41	41.57	32.64	35.52	35.02
3	940	68.34	61.24	50.01	48.42	52.86	32.24	27.39	25.83	28.39
4	920	64.54	58.79	48.85	46.09	44.64	22.77	23.33	19.16	23.30
5	900	62.15	53.64	47.57	43.07	42.30	21.74	20.53	18.72	20.63
6	880	52.98	52.01	43.34	41.38	40.57	20.64	19.62	17.84	18.46

ตาราง ค-5 ข้อมูลการทดลองศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-เบสที่มีต่อการขจัดสังกะสี ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ 50 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	น้ำหนักรสังกะสี (มก.)			
		pH 2	pH 3	pH 4	pH 5
0	1000	87.03	97.45	98.58	97.00
1	980	67.11	50.32	42.64	53.26
2	960	61.46	47.71	32.64	48.02
3	940	53.37	39.67	27.39	37.91
4	920	49.98	33.21	23.33	35.21
5	900	47.52	29.57	20.53	33.30
6	880	45.55	26.03	19.62	27.50

ตาราง ค-6

ข้อมูลการทดลองศึกษาผลของความเข้มข้นของสังกะสี ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 50 แอมแปร์ต่อตารางเมตร และค่าความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นเท่ากับ 4

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณ สารละลาย (มล.)	น้ำหนักสังกะสี (มก.)				
		20 ppm	40 ppm	60 ppm	80 ppm	100 ppm
0	1000	18.16	38.83	57.98	78.120	98.58
1	980	4.29	10.07	16.17	33.281	42.64
2	960	2.38	6.96	11.80	24.557	32.64
3	940	2.14	5.98	11.79	23.030	27.39
4	920	2.08	5.02	9.60	19.228	23.33
5	900	1.99	3.86	9.19	15.624	20.53
6	880	1.73	3.87	8.60	15.277	19.62

ตาราง ค-7 ข้อมูลการทดลองเปรียบเทียบการขจัดนิกเกิลและสังกะสี เมื่อใช้ขี้แ้วเคโทแตกต่างกัน ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 15.2 และ 50 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ค่าความเป็นกรดเบสเริ่มต้นเท่ากับ 4 ความเข้มข้นของนิกเกิล และสังกะสี 22 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เวลา(ชั่วโมง)	ปริมาณสารละลาย (มล.)	น้ำหนัก (มก.)			
		Ni		Zn	
		Carbon Cloth	Stainless Steel	Carbon Cloth	Stainless Steel
0	1000	17.25	18.65	98.58	93.20
1	980	5.74	9.47	42.64	86.66
2	960	2.97	7.03	32.64	82.85
3	940	2.81	6.08	27.39	80.02
4	920	1.54	5.81	23.33	78.07
5	900	1.47	5.32	20.53	75.36
6	880	1.00	4.88	19.62	73.04

ตาราง ค-8

ข้อมูลการทดลองศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่มีต่อการขจัดนิกเกิลและสังกะสีออกจากสารละลายผสม ที่ค่าความเป็นกรดเบสเริ่มต้นเท่ากับ 4 ความเข้มข้นของนิกเกิล และสังกะสี 22 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

โลหะ	เวลา(ชั่วโมง)	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	น้ำหนักสังกะสี (มก.)			
			50 A/m ²	100 A/m ²	130 A/m ²	150 A/m ²
Ni	0	1000	21.06	20.86	20.88	19.89
	1	980	8.48	6.72	6.90	5.22
	2	960	7.57	6.00	5.25	4.05
	3	940	7.17	5.94	4.04	3.80
	4	920	5.51	4.61	2.77	2.73
	5	900	5.04	2.74	1.78	2.17
	6	880	4.40	2.11	1.52	1.84
Zn	0	1000	95.08	97.82	97.83	98.28
	1	980	56.82	38.78	39.32	25.71
	2	960	53.46	37.44	36.17	26.55
	3	940	51.70	35.32	34.86	25.12
	4	920	50.62	34.38	31.54	24.08
	5	900	47.35	31.52	29.40	23.67
	6	880	46.54	26.77	27.99	20.48

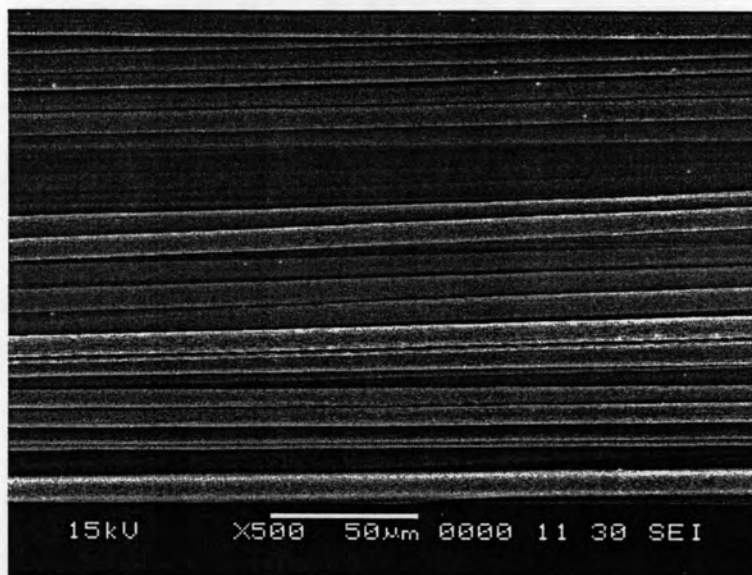
ภาคผนวก ง

ตาราง ง-1 สมบัติทางกายภาพของผ้าคาร์บอน

พารามิเตอร์

คุณสมบัติพื้นที่ผิวของผ้าคาร์บอน (วิเคราะห์โดยวิธี BET)

พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific area)	29.4180 m ² /g
ค่าเฉลี่ยรูพรุน (Average pore radius)	1485.797 microns
ปริมาตรรูพรุนรวม (Total pore volume)	0.008553 cm ³ /g



รูป ง-1 ลักษณะของผ้าคาร์บอนที่ขยายขนาดด้วย SEM

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปทุมทิพย์ เสมอภาค เกิดเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2524 ที่จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนารีอนุกุล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ในปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อ พ.ศ. 2548