

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ชั้นทอง สุนทรภา. เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน (Membrane Separation Technology). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
- ควบคุมมลพิษ, กรม. เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์. ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์, 2547.
- ธวัชชัย ยงเนตร. อุตสาหกรรมเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel). กองโลหะกรรม กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม, 2541.
- ทัศนลักษณ์ จิระภาพันธุ์. การนำกลับนิกเกิลจากน้ำเสียโรงงานชุบเคลือบโลหะโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- ไพศาล อภินพพัฒน์. การสกัดแยกและนำกลับโครเมตด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงในหอเดี่ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- บริษัทเมอร์ค จำกัด (ประเทศไทย). เอกสารข้อมูลความปลอดภัย, 2544
- ประกร รามกุล. การแยกไอออนผสมของแลนทานัมและนีโอดีเมียมโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- ป้องกันควบคุมโรคที่ 9 จังหวัดพิษณุโลก, สำนักงาน. เอกสารโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม, 2548.
- รัตนา จิระรัตนานนท์. เยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน. กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์, 241-259. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. ประโยชน์และข้อมูลสำคัญของนิกเกิล. ตารางธาตุในสารานุกรม, 2550.
- วิทยา นามสว่าง. การแยกไอออนแลนทานัมเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. พรบ.กฎหมาย กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พ.ศ. 2539. ราชกิจจานุเบกษา 3. ลงวันที่ 3 มกราคม 2539.

วีรวัดณ์ ปัตทวิคองคา. อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายผสมกรดอะซิติกกับโซเดียมอะซิเตตต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

วีรวัดณ์ ปัตทวิคองคา. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสกัดแยกไอออนซีเรียมจากสารละลายผ่านเยื่อแผ่นที่พองด้วยเส้นใยกลวง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์. Membrane Technology. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

ศุลกากร, กรม. ปริมาณการนำเข้านิกเกิล. รายงานการนำเข้าและส่งออก, 2550.

อิสรา เกษมเศรษฐ. การสกัดไอออนทองแดงจากสารละลายที่เจือจางมากด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

อุรา ปานเจริญ. กราฟทำนายผลการสกัดไอออนโลหะผ่านระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง, 13-173. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

เอกพิชญ์ ทรงคุณ. การถ่ายเทมวลโคบอลต์ไอออนด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ภาษาอังกฤษ

- Aouarram, A.; and Galindo-Riano, M.D. A permeation liquid membrane system for determination of nickel in seawater. Talanta 71 (2006): 165-170.
- Baker R. W. Membrane Technology and Applications. vol. 2. 2nd ed. 425-460. New York: McGraw-Hill, 2004.
- B'erub'e a, P.R., et al. Quantifying the shear at the surface of submerged hollow fiber membranes. Journal of Membrane Science 279 (2006): 495-505.
- Breembroek, G.R.M.; Witkamp, G.J.; and Rosmalen, G.M. Extraction of cadmium with trilaurylamine-kerosene through a flat-sheet-supported liquid membrane. Journal of Membrane Science 147 (1998): 195-206.
- Chakraborty, M.; Bhattacharya, C.; and Datta, S. Effect of drop size distribution on mass transfer analysis of the extraction of nickel (II) by emulsion liquid membrane. Colloids and Surfaces 224 (2003): 65-74.
- Cytec Industries Inc. Solvent extraction reagent of cyanex 272. Cytec Australia Holdings Pty. Ltd., 2004.
- Cytec Industries Inc. Solvent extraction reagent of cyanex 301. Cytec Australia Holdings Pty. Ltd., 2004.
- DeKetelaere, R.F. Liquid membrane recovers nickel. Membrane Technology 7 (2004): 8-11.
- Heckley, P.S.; and Ibane, D.C. Extraction and separation of nickel and cobalt by electrostatic pseudo liquid membrane. Membrane Technology 7 (2003): 8-11.
- Huang, T.C.; and Juang, R.S. Transport of zinc through a supported liquid membrane using di(2-ethylhexyl) phosphoric acid as a mobile carrier. Journal of Membrane Science 31 (1987): 209-226.
- Kasaini, H.; Nakashio, F.; and Goto, M. Application of emulsion liquid membrane to recover cobalt ions from a dual-component sulphate solution containing nickel ions. Journal of Membrane Science 146 (1998): 159-168.

- Kim, Y. H.; and Choi, D.W. Chromium (VI) removal in a semi-continuous process of hollow fiber membrane with organic extractants. Korean J. Chem. Eng. 22(6) (2005): 894-898.
- Kochmembrane, Kochmembrane.com/prod_spiral.html
- Kordosky G. A. Copper Solvent Extraction Reagents. Cognis Ltd., 2006.
- Kumbasar, R.A.; and Kasap, S. Selective separation of nickel from cobalt in ammoniacal solutions by emulsion type liquid membranes using 8-hydroxyquinoline (8-HQ) as mobile carrier. Hydrometallurgy (2008).
- Liqui-Cel Membrane Contactors., www.liqui-cel.com
- Longquan, L., et al. Separation of cobalt and nickel by emulsion liquid membrane with the use of EDTA as masking reagent. Journal of Membrane Science 135 (1997): 173-177.
- Lurdesf, M., et al. Extraction of copper from ammoniacal medium by emulsion liquid membranes using LIX 54. Journal of Membrane Science 293 (2007):151-160.
- Marr, R.; and Kopp, A. Liquid membrane technology- A survey of phenomena, mechanisms and models. International Chemical Engineering 22 (1982): 44-59.
- Masaaki, T., et al. Development of spiral-type supported liquid membrane module for separation and concentration metal ions. Separation Science and Technology 22(11) (1987): 2175-2201.
- Parija, C.; Reddy, B.R.; and Bhaskara Sarma, P.V.R. Recovery of nickel from solutions containing ammonium sulphate using LIX 84-I. Hydrometallurgy 49 (1998): 255-261.
- Porter C. Handbook of Industrial Membrane Technology. New Jersey: Noyes Publication. 1990.
- Ramakul, P.; Nakararueng, K.; and Panchareon, U. One-through selective separation of copper, chromium and zinc ions by hollow fiber support liquid membrane. Korean J. Chem. Eng. 21(6) (2004): 1212-1217.

- Raquel G., et al. Efficient hollow fiber supported liquid membrane system for the removal and preconcentration of Cr(VI) at trace levels. Separation and Purification Technology 62 (2008): 389-393.
- Schultz, G. Separation techniques with supported liquid membrane. Desalination 68 (1988): 191-202.
- Sengupta, B.; Sengupta, R.; and Subrahmanyam, N. Copper extraction into emulsion liquid membranes using LIX 984N-C(R). Hydrometallurgy 81 (2006): 67-73.
- Tanigaki, M.; Ueda, T.; Shiode, M.; and Eguchi, W. Facilitated transport of zinc chloride through hollow fiber supported liquid membrane: Part I. transport mechanisms. Separation Science and Technology 22(10-11) (1988): 1145-1159.
- Vande Voorde, I.; Pinoy, L.; and DeKetelaere, R.F. Recovery of nickel ions by supported liquid membrane (SLM) extraction. Journal of Membrane Science 234 (2004): 11-21.
- Van de Voorde, I. Studies of the Complexation Behaviour of Transitionmetals Applicable in Membrane Technologies, Departement Industrieel Ingenieur Vakgroep Chemie-Biochemie, 2008.
- Winston Ho, W.S.; and Li, N. N. Emulsion liquid membrane. Membrane Handbook, 656-672. 1992.
- Yang, C.; and Cussler, E.L. Reaction dependent extraction of copper and nickel using hollow fibers. Journal of Membrane Science 166 (1999): 229-238.
- Youn, I.J., et al. Analysis of Co-Ni separation by a supported liquid membrane containing HEH(EHP). Journal of Membrane Science 125 (1997): 231-236.
- Zhang, S., et al. Removal of nickel ions from wastewater by $Mg(OH)_2/MgO$ nanostructures embedded in Al_2O_3 membranes. Alloy. Compd. 426 (2006): 281-285.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลดิบ

ตอนที่ 1 ข้อมูลการสกัดและการนำกลับไอออนนิกเกิลจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมโดยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง 1 มอดูล

ตารางที่ ก.1.1 ข้อมูลการศึกษาผลของชนิดสารสกัดและค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนใช้สารสกัด D2EHPA โดยใช้เยื่อแผ่นเหลว 1 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)		ความเข้มข้นไอออนโครเมียม (ppm)	
		ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้ง
pH 2	0	97.22	0.00	825.35	0.00	452.22	0
	20	95.21	1.33	812.12	5.26	452.00	0
	40	93.13	2.42	802.24	10.34	451.32	0
	60	88.00	4.17	799.36	11.12	451.00	0
	80	86.11	5.54	795.25	13.34	451.25	0
	100	86.00	5.60	790.26	15.55	451.24	0
	120	86.00	5.60	788.32	16.57	451.26	0
	180	85.99	5.60	788.43	16.57	451.26	0
	240	85.90	5.69	788.22	16.57	451.26	0
pH 3	0	96.22	0.00	725.35	0.00	302.22	0
	20	93.00	1.24	712.12	5.26	302.00	0
	40	90.12	2.55	702.24	10.34	301.32	0
	60	89.22	3.21	699.36	11.12	301.00	0
	80	88.57	3.82	695.25	13.34	301.25	0
	100	87.52	4.81	690.26	15.55	301.24	0
	120	87.52	5.51	688.32	16.57	301.26	0
	180	87.45	4.01	688.32	16.59	301.26	0
	240	87.11	4.16	688.32	16.56	301.26	0
pH 4	0	77.55	0.00	720.00	0.00	277.22	0
	20	76.25	1.00	712.00	5.55	275.33	0
	40	74.22	2.01	702.55	7.89	274.23	0
	60	72.11	3.15	691.65	12.26	275.16	0
	80	72.01	3.22	688.56	14.55	271.23	0
	100	72.00	3.23	684.00	16.33	274.54	0
	120	71.88	3.23	677.78	18.67	274.74	0
	180	71.21	3.33	677.78	18.67	274.74	0
	240	71.21	3.35	677.78	18.61	274.74	0

ตารางที่ ก.1.1 (ต่อ) ข้อมูลการศึกษาผลของชนิดสารสกัดและค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนใช้สารสกัด D2EHPA โดยใช้เยื่อแผ่นเหลว 1 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)		ความเข้มข้นไอออนโครเมียม (ppm)	
		ดึงป้อน	ดึงน้ำกลับ	ดึงป้อน	ดึงน้ำกลับ	ดึงป้อน	ดึงน้ำกลับ
pH 5	0	53.55	0.00	525.35	0.00	255.54	0
	20	52.21	1.04	517.12	5.55	255.01	0
	40	51.01	1.19	512.24	8.89	256.23	0
	60	49.56	1.81	509.36	9.59	257.55	0
	80	48.92	2.07	507.25	10.91	254.21	0
	100	48.28	2.09	506.26	11.33	253.21	0
	120	47.99	2.18	506.22	11.36	252.21	0
	180	47.85	2.18	506.13	11.38	252.21	0
	240	47.65	2.18	506.02	11.40	252.21	0
pH 6	0	39.36	0.00	444.21	0.00	205.21	0
	20	38.21	0.89	438.25	4.25	204.32	0
	40	38.20	0.91	434.25	6.23	203.26	0
	60	38.01	0.93	432.21	7.25	203.15	0
	80	37.00	1.25	430.00	8.55	203.55	0
	100	37.00	1.26	430.00	8.55	204.54	0
	120	36.95	1.26	430.00	8.55	201.25	0
	180	36.94	1.27	429.90	8.55	201.25	0
	240	36.91	1.27	429.89	8.55	201.25	0

ภาวะที่ทำการทดลอง: $[D2EHPA] = 0.6 \text{ M}$, $[H_2SO_4] = 1.5 \text{ M}$, $Q_{\text{feed}} = Q_{\text{strip}} = 100 \text{ ml/min}$,

$$V_{\text{feed}} = V_{\text{strip}} = 3500 \text{ ml}$$

ตารางที่ ก.1.2 ข้อมูลการศึกษาผลของชนิดสารสกัดและค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนใช้สารสกัด Cyanex 301 โดยใช้เยื่อแผ่นเหลว 1 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)		ความเข้มข้นไอออนโครเมียม (ppm)	
		ดึงป้อน	ดึงน้ำกลับ	ดึงป้อน	ดึงน้ำกลับ	ดึงป้อน	ดึงน้ำกลับ
pH 2	0	84.11	0.00	880.33	0.00	302.21	0
	20	54.24	7.55	757.21	40.55	301.33	0
	40	36.11	12.25	690.31	55.65	302.32	0
	60	30.26	13.25	642.32	55.55	300.22	0
	80	28.89	13.28	630.25	57.24	299.23	0
	100	27.22	13.56	630.54	57.25	298.02	0
	120	27.15	13.57	630.55	57.26	302.22	0
	180	27.15	13.57	629.54	57.66	302.22	0
	240	27.15	13.57	629.54	57.66	302.22	0

ตารางที่ ก.1.2 (ต่อ) ข้อมูลการศึกษาผลของชนิดสารสกัดและค่าความเป็นกรด-เบสของ
สารละลายป้อนใช้สารสกัด Cyanex 301 โดยใช้เยื่อแผ่นเหลว 1 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)		ความเข้มข้นไอออน โคโรเมียม (ppm)	
		ตั้งป้อน	ตั้งน้ำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งน้ำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งน้ำกลับ
pH 3	0	85.36	0.00	780.33	0.00	274.12	0
	20	61.24	7.55	643.21	43.55	274.55	0
	40	42.25	12.25	585.44	65.65	270.25	0
	60	38.84	13.25	550.25	66.55	270.26	0
	80	37.55	13.28	540.56	67.24	269.55	0
	100	36.04	13.56	530.24	67.25	268.25	0
	120	36.00	13.57	528.36	67.32	268.53	0
	180	35.99	13.57	528.33	67.32	268.53	0
	240	35.99	13.57	528.22	67.32	268.53	0
pH 4	0	79.33	0.00	760.55	0.00	255.54	0
	20	59.56	5.55	616.55	48.55	254.26	0
	40	53.88	6.55	535.55	65.24	254.25	0
	60	49.65	7.11	530.26	68.25	255.15	0
	80	47.26	8.00	530.55	68.27	254.44	0
	100	47.06	8.01	530.11	68.27	253.03	0
	120	46.95	8.12	531.02	68.27	252.22	0
	180	46.95	8.12	531.00	68.27	252.22	0
	240	46.95	8.12	531.00	68.27	252.22	0
pH 5	0	50.20	0.00	702.22	0.00	245.55	0
	20	38.29	2.26	602.78	30.00	242.32	0
	40	30.55	3.55	515.50	51.02	241.24	0
	60	29.22	4.33	483.33	63.32	241.24	0
	80	28.11	5.06	470.44	68.44	241.24	0
	100	28.11	5.06	467.25	70.21	241.24	0
	120	27.83	5.06	467.55	70.21	241.00	0
	180	27.33	5.06	467.55	70.21	240.24	0
	240	27.33	5.06	467.55	70.21	240.24	0
pH 6	0	32.46	0.00	625.12	0.00	243.21	0
	20	27.25	2.55	505.32	54.55	243.25	0
	40	26.55	2.55	420.46	70.55	243.11	0
	60	25.35	3.21	420.16	70.55	243.11	0
	80	25.11	3.32	420.05	70.65	243.00	0
	100	25.11	3.32	419.21	70.86	242.99	0
	120	25.05	3.32	419.21	70.95	242.99	0
	180	25.05	3.32	419.21	70.95	242.99	0
	240	25.04	3.32	419.20	70.96	242.99	0

ภาวะที่ทำการทดลอง: [Cyanex 301] = 0.6 M, [H₂SO₄] = 1.5 M, Q_{feed} = Q_{strip} = 100 ml/min,

$$V_{\text{feed}} = V_{\text{strip}} = 3500 \text{ ml}$$

ตารางที่ ก.1.3 ข้อมูลการศึกษาผลของชนิดสารสกัดและค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนใช้สารสกัด Cyanex 272 โดยใช้เยื่อแผ่นเหลว 1 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)		ความเข้มข้นไอออน โครเมียม (ppm)	
		ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ
pH 2	0	95.56	0.00	894.25	0.00	377.25	0
	20	94.48	1.00	801.32	78.24	376.34	0
	40	94.25	1.00	744.22	100.25	376.31	0
	60	94.24	1.00	660.65	148.55	375.25	0
	80	93.32	1.00	602.55	178.36	375.55	0
	100	93.25	1.00	589.55	189.36	374.32	0
	120	93.21	1.00	588.32	190.22	374.26	0
	180	93.21	1.00	588.32	190.22	374.26	0
	240	93.21	1.00	587.32	190.22	374.26	0
pH 3	0	85.56	0.00	811.14	0.00	277.25	0
	20	84.48	1.00	749.55	42.25	276.34	0
	40	84.25	1.00	652.22	112.02	276.31	0
	60	84.24	1.00	618.65	131.11	275.25	0
	80	83.32	1.00	602.55	145.54	275.55	0
	100	83.25	1.00	600.55	149.36	274.32	0
	120	83.21	1.00	578.32	157.32	274.26	0
	180	83.21	1.00	578.32	157.22	274.26	0
	240	83.21	1.00	578.32	159.22	274.26	0
pH 4	0	81.26	0.00	719.99	0.00	255.54	0
	20	80.02	1.00	688.25	15.55	255.01	0
	40	80.32	1.00	641.21	39.11	256.23	0
	60	80.11	1.11	630.04	51.11	257.55	0
	80	81.26	1.11	625.54	59.46	254.21	0
	100	80.33	1.13	621.99	72.44	253.21	0
	120	79.85	1.21	621.99	81.33	252.21	0
	180	79.85	1.21	621.99	81.33	252.21	0
	240	79.85	1.21	620.99	81.33	252.21	0
pH 5	0	56.56	0.00	705.00	0.00	230.15	0
	20	55.48	1.00	681.25	57.55	230.11	0
	40	55.25	1.07	655.56	65.24	229.87	0
	60	55.24	1.10	608.55	71.10	229.87	0
	80	54.32	1.22	606.64	72.11	229.87	0
	100	54.25	1.29	605.54	72.81	229.87	0
	120	54.21	1.30	605.54	72.91	229.87	0
	180	54.21	1.31	605.52	72.91	229.87	0
	240	54.21	1.31	605.52	72.92	229.87	0

ตารางที่ ก.1.3 (ต่อ) ข้อมูลการศึกษาผลของชนิดสารสกัดและค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนใช้สารสกัด Cyanex 272 โดยใช้เยื่อแผ่นเหลว 1 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)		ความเข้มข้นไอออนโครเมียม (ppm)	
		ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ
pH 6	0	36.56	0.00	634.26	0.00	230.21	0
	20	35.48	1.00	625.55	1.21	230.11	0
	40	35.25	1.01	613.35	5.32	230.21	0
	60	35.24	1.01	602.25	9.55	228.33	0
	80	34.32	1.02	595.24	14.55	228.33	0
	100	34.25	1.03	587.32	19.21	228.33	0
	120	34.21	1.04	576.37	25.32	228.33	0
	180	34.21	1.04	576.37	25.32	228.33	0
	240	34.21	1.04	576.37	25.32	228.33	0

ภาวะที่ทำการทดลอง: [Cyanex 272] = 0.6 M, [H₂SO₄] = 1.5 M, Q_{feed} = Q_{strip} = 100 ml/min,

$$V_{\text{feed}} = V_{\text{strip}} = 3500 \text{ ml}$$

ตารางที่ ก.1.4 ข้อมูลการศึกษาผลของชนิดสารสกัดและค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนใช้สารสกัด LIX 860-I โดยใช้เยื่อแผ่นเหลว 1 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)		ความเข้มข้นไอออนโครเมียม (ppm)	
		ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ
pH 2	0	92.12	0.00	850.26	0.00	452.21	0
	20	88.25	1.23	841.56	7.58	446.32	0
	40	86.30	2.53	829.65	12.24	446.32	0
	60	85.22	2.95	820.81	26.26	452.01	0
	80	84.39	3.52	811.55	35.50	451.32	0
	100	83.54	4.11	802.00	36.11	448.25	0
	120	82.50	4.51	795.60	37.25	445.32	0
	180	82.01	4.82	794.60	37.25	445.32	0
	240	81.19	5.32	794.60	37.25	445.32	0

ตารางที่ ก.1.4 (ต่อ) ข้อมูลการศึกษาผลของชนิดของสารสกัดและค่าความเป็นกรด-เบสของ
สารละลายป้อนใช้สารสกัด LIX 860-I โดยใช้เยื่อแผ่นเหลว 1 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)		ความเข้มข้นไอออน โครเมียม (ppm)	
		ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ
pH 3	0	85.25	0.00	810.23	0.00	318.11	0
	20	77.23	4.32	793.33	8.58	318.20	0
	40	69.11	7.56	784.11	12.01	319.25	0
	60	62.55	10.12	774.44	19.25	311.32	0
	80	58.11	13.01	767.11	25.50	309.25	0
	100	56.05	13.56	757.23	30.41	315.22	0
	120	55.51	13.91	750.21	36.25	312.32	0
	180	55.50	13.91	750.21	36.25	312.32	0
	240	55.50	13.91	750.21	36.25	312.32	0
pH 4	0	77.54	0.00	613.25	0.00	285.33	0
	20	65.33	7.36	605.54	5.24	301.30	0
	40	54.24	18.26	594.25	13.94	285.56	0
	60	42.88	26.25	582.32	23.22	285.25	0
	80	37.25	30.88	568.24	34.65	284.24	0
	100	35.00	32.32	560.22	38.32	283.01	0
	120	33.44	33.14	552.14	46.32	281.10	0
	180	33.00	33.25	551.21	47.02	281.10	0
	240	32.01	33.28	551.21	47.02	281.10	0
pH 5	0	51.21	0.00	530.55	0.00	255.25	0
	20	41.39	7.21	521.25	8.32	255.35	0
	40	31.52	14.35	515.33	12.32	252.22	0
	60	28.26	16.21	505.26	19.22	253.33	0
	80	27.11	17.02	495.21	27.36	256.26	0
	100	27.01	17.12	486.33	33.35	247.26	0
	120	27.01	17.12	484.35	34.33	252.26	0
	180	27.00	17.12	484.35	35.33	252.26	0
	240	27.00	17.13	484.35	35.33	252.26	0
pH 6	0	35.25	0.00	480.26	0.00	225.32	0
	20	24.32	5.11	477.26	2.01	223.27	0
	40	21.75	6.52	470.26	8.54	222.35	0
	60	20.21	7.00	468.25	10.35	225.36	0
	80	20.21	7.00	462.22	13.55	225.00	0
	100	20.11	7.00	458.24	15.51	217.25	0
	120	20.10	7.00	452.70	18.24	224.36	0
	180	20.10	7.00	450.70	19.25	224.36	0
	240	20.00	7.00	450.70	19.25	224.36	0

ภาวะที่ทำการทดลอง: [LIX 860-I] = 0.6 M, [H₂SO₄] = 1.5 M, Q_{feed} = Q_{strip} = 100 ml/min,

$$V_{\text{feed}} = V_{\text{strip}} = 3500 \text{ ml}$$

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด LIX 860-I โดยใช้เยื่อแผ่นเหลว 1 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)		ความเข้มข้นไอออนโครเมียม (ppm)	
		ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ
0.2 M	0	88.87	0.00	819.32	0.00	320.34	0
	20	83.23	2.33	808.22	4.21	319.32	0
	40	79.84	2.56	799.33	6.35	319.05	0
	60	76.87	3.00	795.37	9.36	319.35	0
	80	74.32	3.99	784.00	13.23	318.21	0
	100	71.99	4.44	781.33	14.36	315.33	0
	120	69.54	5.15	781.33	14.36	316.25	0
	180	69.54	5.15	781.33	14.36	316.25	0
	240	69.54	5.15	781.33	14.36	316.25	0
0.4 M	0	77.32	0.00	777.22	0.00	279.35	0
	20	70.33	4.56	759.36	8.33	277.48	0
	40	62.32	9.00	751.26	15.30	277.32	0
	60	55.77	13.22	740.33	22.35	274.32	0
	80	49.30	14.25	732.35	29.33	271.26	0
	100	44.41	16.00	725.11	36.32	272.35	0
	120	41.23	16.95	720.30	38.42	272.25	0
	180	41.23	16.95	720.30	39.42	272.25	0
	240	41.23	16.95	720.30	39.42	272.25	0
0.6 M	0	77.54	0.00	613.25	0.00	299.25	0
	20	65.33	7.36	605.54	5.24	299.25	0
	40	54.24	18.26	594.25	13.94	299.26	0
	60	42.88	26.25	582.32	23.22	296.36	0
	80	37.25	30.88	568.24	34.65	300.21	0
	100	35.00	32.32	560.22	38.32	301.22	0
	120	33.44	33.14	552.14	46.32	301.32	0
	180	33.00	33.25	551.21	47.02	301.32	0
	240	32.01	33.28	551.21	47.02	301.32	0
0.8 M	0	69.22	0.00	689.35	0.00	311.21	0
	20	52.32	13.55	659.67	11.32	309.32	0
	40	36.10	23.32	648.37	19.35	307.25	0
	60	23.03	30.54	640.33	28.65	305.35	0
	80	19.12	33.29	633.22	32.35	305.35	0
	100	16.25	34.98	621.36	40.85	305.25	0
	120	15.25	35.65	611.12	47.55	302.32	0
	180	15.25	35.65	600.15	55.55	302.32	0
	240	15.25	35.65	600.15	55.55	302.32	0

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ข้อมูลการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด LIX 860-I โดยใช้เยื่อแผ่นเหลว 1 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)		ความเข้มข้นไอออนโครเมียม (ppm)	
		ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ
1.0 M	0	48.89	0.00	649.36	0.00	322.32	0
	20	34.56	8.21	611.01	25.36	321.32	0
	40	25.12	11.21	580.99	45.55	320.25	0
	60	15.51	14.44	565.55	51.55	319.35	0
	80	7.21	15.37	559.21	53.55	319.11	0
	100	7.12	17.22	555.37	55.37	319.00	0
	120	7.02	19.25	552.11	56.24	319.25	0
	180	7.02	19.25	531.11	57.26	319.25	0
	240	7.02	19.25	531.11	57.26	319.25	0

ภาวะที่ทำการทดลอง: $\text{pH}_{\text{feed}} = 4$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 1.5 \text{ M}$, $Q_{\text{feed}} = Q_{\text{strip}} = 100 \text{ ml/min}$,
 $V_{\text{feed}} = V_{\text{strip}} = 3500 \text{ ml}$

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายนำกลับกรดซัลฟิวริกโดยใช้เยื่อแผ่นเหลว 1 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)	
		ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ
0.5 M	63.26	0.00	0.00	0.00	0.00
	54.32	2.21	3.50	7.33	1.15
	50.36	2.22	3.51	15.36	2.42
	46.65	2.86	4.51	18.35	2.89
	45.02	3.01	4.76	19.26	3.03
	45.00	3.02	4.77	20.33	3.20
	44.26	3.20	5.06	22.26	3.50
	44.26	3.20	5.06	23.26	3.66
	44.26	3.20	5.06	23.26	3.66
1.0 M	61.33	0.00	0.00	0.00	0.00
	52.33	3.23	5.27	8.27	1.30
	45.27	6.22	10.15	22.89	3.61
	38.33	9.25	15.09	30.26	4.77
	31.26	13.33	21.74	32.11	5.06
	30.22	14.32	23.35	36.00	5.67
	30.22	16.77	27.35	37.22	5.87
	30.22	16.77	27.35	38.22	6.02
	30.22	16.77	27.35	38.22	6.02

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ข้อมูลการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายนำกลับกรดซัลฟิวริก
โดยใช้เยื่อแผ่นเหลว 1 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)	
		ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ
1.5 M	0	69.22	0.00	689.35	0.00
	20	52.32	13.55	659.67	11.32
	40	36.10	23.32	648.37	19.35
	60	23.03	30.54	640.33	28.65
	80	19.12	33.29	633.22	32.35
	100	16.25	34.98	621.36	40.85
	120	15.25	35.65	611.12	47.55
	180	15.25	35.65	600.15	55.55
	240	15.25	35.65	600.15	55.55
2.0 M	0	62.56	0.00	605.25	0.00
	20	46.65	11.36	580.21	15.00
	40	22.32	29.33	562.22	30.55
	60	15.31	33.22	551.21	40.22
	80	12.20	35.66	540.22	43.32
	100	11.55	36.00	529.22	46.55
	120	11.30	36.05	514.54	49.56
	180	11.00	36.21	512.54	50.24
	240	11.00	36.21	512.54	50.25
2.5 M	0	69.11	0.00	618.26	0.00
	20	48.89	15.55	594.44	15.55
	40	25.56	32.33	551.24	39.25
	60	11.57	41.25	531.16	55.26
	80	10.56	41.55	521.11	63.32
	100	10.46	41.55	517.26	66.22
	120	10.26	41.55	516.56	66.65
	180	10.16	41.55	515.56	66.89
	240	10.06	41.55	515.56	66.95

ภาวะที่ทำการทดลอง: $\text{pH}_{\text{feed}} = 4$, $[\text{LIX 860-I}] = 0.8 \text{ M}$, $Q_{\text{feed}} = Q_{\text{strip}} = 100 \text{ ml/min}$,

$$V_{\text{feed}} = V_{\text{strip}} = 3500 \text{ ml}$$

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลการศึกษาผลของอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลาย
นำกลับโดยใช้เยื่อแผ่นเหลว 1 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)	
		ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ
100 ml/min	0	62.56	0.00	605.25	0.00
	20	46.65	11.36	580.21	15.00
	40	22.32	29.33	562.22	30.55
	60	15.31	33.22	551.21	40.22
	80	12.20	35.66	540.22	43.32
	100	11.55	36.00	529.22	46.55
	120	11.30	36.05	514.54	49.56
	180	11.00	36.21	512.54	50.24
	240	11.00	36.21	512.54	50.25
200 ml/min	0	69.65	0.00	691.00	0.00
	20	56.55	9.55	666.67	21.33
	40	48.21	16.11	641.21	32.25
	60	41.24	22.21	627.21	38.25
	80	35.21	23.45	608.84	48.25
	100	31.36	23.44	598.22	56.21
	120	31.25	23.45	595.25	56.25
	180	31.11	23.45	595.25	56.30
	240	31.11	23.45	595.11	56.30
300 ml/min	0	65.25	0.00	611.15	0.00
	20	57.55	7.55	589.95	16.26
	40	45.21	14.25	566.65	29.26
	60	31.20	20.21	551.30	39.55
	80	30.24	20.82	539.25	42.99
	100	20.24	20.95	533.37	43.09
	120	20.01	21.00	530.67	43.51
	180	20.00	21.00	529.26	43.61
	240	20.00	21.00	529.26	43.86
400 ml/min	0	62.25	0.00	598.56	0.00
	20	54.55	5.24	572.21	23.34
	40	42.12	15.99	550.26	37.26
	60	40.21	16.99	552.20	38.55
	80	39.11	17.26	550.21	39.67
	100	39.11	17.27	550.12	39.70
	120	39.10	17.30	550.00	39.95
	180	39.10	17.30	549.99	40.00
	240	39.10	17.30	549.99	40.01

ตารางที่ ก.4 (ต่อ) ข้อมูลการศึกษาผลของอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลาย
นำกลับโดยใช้เยื่อแผ่นเหลว 1 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)	
		ถึงป้อน	ถึงนำกลับ	ถึงป้อน	ถึงนำกลับ
500 ml/min	0	58.88	0.00	677.54	0.00
	20	50.21	6.55	659.36	15.25
	40	44.24	10.22	651.26	23.36
	60	45.55	10.25	650.33	24.33
	80	45.15	10.29	650.26	24.33
	100	45.11	10.95	650.11	24.33
	120	45.01	11.00	650.11	24.42
	180	45.01	11.01	650.10	24.43
	240	45.00	11.11	650.10	24.43

ภาวะที่ทำการทดลอง: $\text{pH}_{\text{feed}} = 4$, $[\text{LIX 860-I}] = 0.8 \text{ M}$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 2.0 \text{ M}$,

$$V_{\text{feed}} = V_{\text{strip}} = 3500 \text{ ml}$$

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างสารละลายป้อนต่อ
สารละลายนำกลับโดยใช้เยื่อแผ่นเหลว 1 มอดูล

ภาวะ (ml:ml)	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)	
		ถึงป้อน	ถึงนำกลับ	ถึงป้อน	ถึงนำกลับ
3005: 3500	0	62.56	0.00	605.25	0.00
	20	46.65	11.36	580.21	15.00
	40	22.32	29.33	562.22	30.55
	60	15.31	33.22	551.21	40.22
	80	12.20	35.66	540.22	43.32
	100	11.55	36.00	529.22	46.55
	120	11.30	36.05	514.54	49.56
	180	11.00	36.21	512.54	50.24
	240	11.00	36.21	512.54	50.25
3005: 2800	0	61.23	0.00	602.33	0.00
	20	50.22	12.24	544.25	16.33
	40	30.33	27.33	501.24	34.25
	60	15.36	37.21	468.55	51.25
	80	11.00	40.32	451.27	54.25
	100	11.61	42.21	444.46	55.21
	120	11.61	42.21	443.21	55.21
	180	11.61	42.21	443.21	55.21
	240	11.61	42.21	443.21	55.21

ตารางที่ ก.5 (ต่อ) ข้อมูลการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างสารละลายป้อนต่อ
สารละลายนำกลับโดยใช้เยื่อแผ่นเหลว 1 มอดูล

ภาวะ (ml:ml)	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)	
		ดึงป้อน	ดึงนำกลับ	ดึงป้อน	ดึงนำกลับ
3500: 2100	0	72.32	0.00	602.15	0.00
	20	51.33	17.77	570.95	21.26
	40	25.26	35.25	528.65	31.26
	60	25.25	38.11	512.30	36.76
	80	25.20	38.11	511.25	40.89
	100	25.11	38.12	511.25	40.89
	120	25.00	38.23	511.25	40.89
	180	25.00	38.24	511.25	40.89
	240	25.00	38.25	511.25	40.89
3500: 1400	0	66.66	0.00	640.56	0.00
	20	52.26	9.24	631.26	8.36
	40	51.26	10.09	628.26	10.57
	60	51.15	10.09	625.11	13.27
	80	51.12	10.09	622.02	16.36
	100	51.11	10.09	622.01	16.37
	120	51.10	10.08	622.01	16.37
	180	51.10	10.08	622.00	16.37
	240	51.10	10.08	622.00	16.37
3500: 700	0	59.57	0.00	680.54	0.00
	20	50.21	4.55	660.36	12.25
	40	48.24	4.60	653.26	15.36
	60	48.55	4.60	651.33	15.33
	80	48.55	4.60	652.26	15.33
	100	48.55	4.60	651.11	15.33
	120	48.54	4.60	652.11	15.33
	180	48.54	4.60	651.10	15.33
	240	48.54	4.60	652.10	15.33

ภาวะที่ทำการทดลอง: $\text{pH}_{\text{feed}} = 4$, $[\text{LIX 860-I}] = 0.8 \text{ M}$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 2.0 \text{ M}$,

$$Q_{\text{feed}} = Q_{\text{strip}} = 100 \text{ ml/min}$$

ตอนที่ 2 ข้อมูลการสกัดและการนำกลับไอออนนิกเกิลจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมโดยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง 2 มอดูล

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด LIX 860-I โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง 2 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)	
		ดึงป้อน	ดึงนำกลับ	ดึงป้อน	ดึงนำกลับ
0.2 M	0	85.33	0.00	839.36	0.00
	20	80.25	4.26	800.02	34.21
	40	75.33	8.25	779.25	53.65
	60	71.33	11.25	769.51	60.33
	80	67.55	13.32	762.00	64.25
	100	65.26	14.55	758.12	66.33
	120	64.25	15.55	755.59	68.22
	180	63.22	16.00	755.56	68.22
	240	63.25	16.00	755.51	68.22
0.4 M	0	79.27	0.00	750.55	0.00
	20	71.33	5.51	715.55	29.36
	40	58.35	15.54	686.55	57.25
	60	35.25	34.11	673.31	66.12
	80	28.35	38.25	662.31	75.55
	100	23.25	42.25	651.16	85.23
	120	21.33	43.24	648.51	86.65
	180	19.04	45.24	649.36	86.67
	240	19.00	45.24	649.36	86.67
0.6 M	0	74.22	0.00	689.55	0.00
	20	55.26	14.33	624.25	44.33
	40	32.24	35.35	577.25	50.22
	60	21.23	44.44	545.25	62.24
	80	15.25	48.22	511.15	70.26
	100	10.25	51.21	488.51	79.22
	120	6.55	53.12	475.52	86.33
	180	4.23	55.22	472.23	89.26
	240	4.25	55.22	471.21	89.33
0.8 M	0	61.24	0.00	609.37	0.00
	20	44.45	15.37	558.59	37.35
	40	19.32	40.33	512.22	81.33
	60	7.33	50.24	458.27	120.35
	80	2.35	53.35	426.65	130.55
	100	1.56	53.37	409.25	131.35
	120	1.30	53.46	400.56	131.36
	180	1.02	53.49	399.44	131.36
	240	1.02	53.49	398.41	131.36

ตารางที่ ก.6 (ต่อ) ข้อมูลการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด LIX 860-I โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง 2 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)	
		ถึงป้อน	ถึงนำกลับ	ถึงป้อน	ถึงนำกลับ
1.0 M	0	66.65	0.00	623.33	0.00
	20	52.33	12.24	582.35	29.36
	40	30.36	33.31	561.21	51.55
	60	17.23	42.25	466.32	80.15
	80	9.55	48.51	423.37	110.56
	100	5.46	51.24	405.25	128.37
	120	4.52	51.99	397.33	133.35
	180	4.42	51.99	397.33	134.46
	240	4.05	52.00	397.33	134.46

ภาวะที่ทำการทดลอง: $pH_{\text{feed}} = 4$, $[H_2SO_4] = 2.0 \text{ M}$, $Q_{\text{feed}} = Q_{\text{strip}} = 100 \text{ ml/min}$,

$$V_{\text{feed}} = V_{\text{strip}} = 3500 \text{ ml}$$

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายนำกลับกรดซัลฟิวริก โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง 2 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)	
		ถึงป้อน	ถึงนำกลับ	ถึงป้อน	ถึงนำกลับ
0.5 M	0	63.99	0.00	673.35	0.00
	20	61.32	1.05	613.36	6.37
	40	59.36	2.95	605.32	9.33
	60	56.65	3.82	595.66	15.35
	80	52.02	6.64	584.33	19.35
	100	50.00	7.16	580.26	22.25
	120	48.26	8.16	577.55	23.25
	180	47.49	8.25	576.54	23.33
	240	47.34	8.26	576.13	23.36
1.0 M	0	62.26	0.00	635.36	0.00
	20	50.33	3.33	588.33	15.36
	40	41.27	10.24	554.35	24.36
	60	34.33	14.23	527.31	50.55
	80	28.26	17.78	511.26	66.36
	100	24.22	22.25	502.26	71.27
	120	21.29	23.33	488.55	73.33
	180	21.36	23.35	485.66	75.55
	240	21.26	23.77	485.65	75.55

ตารางที่ ก.7 (ต่อ) ข้อมูลการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายนำกลับกรดซัลฟิวริก โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง 2 มอดูล

ภาวะ	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)	
		ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ	ตั้งป้อน	ตั้งนำกลับ
1.5 M	0	64.37	0.00	622.36	0.00
	20	52.33	11.33	586.37	18.36
	40	38.13	24.36	555.68	40.35
	60	21.33	38.35	520.24	60.35
	80	11.26	46.33	489.39	85.35
	100	6.55	49.46	465.35	109.35
	120	4.24	50.35	452.33	120.36
	180	4.00	50.44	450.33	121.26
	240	3.90	50.55	450.12	121.36
2.0 M	0	61.24	0.00	609.37	0.00
	20	44.45	15.37	558.59	37.35
	40	19.32	40.33	512.22	81.33
	60	7.33	50.24	458.27	120.35
	80	2.35	53.35	426.65	130.55
	100	1.56	53.37	409.25	131.35
	120	1.30	53.46	400.56	131.36
	180	1.02	53.49	399.44	131.36
	240	1.02	53.49	398.41	131.36
2.5 M	0	62.26	0.00	630.56	0.00
	20	41.36	18.35	599.36	25.33
	40	21.33	38.26	554.24	55.36
	60	8.35	50.26	512.16	90.36
	80	2.22	56.31	490.11	97.25
	100	1.98	56.32	461.26	120.25
	120	1.87	56.44	444.65	131.22
	180	1.82	56.44	439.56	139.35
	240	1.54	56.57	438.51	139.39

ภาวะที่ทำการทดลอง: $\text{pH}_{\text{feed}} = 4$, $[\text{LIX 860-I}] = 0.8 \text{ M}$, $Q_{\text{feed}} = Q_{\text{strip}} = 100 \text{ ml/min}$,

$$V_{\text{feed}} = V_{\text{strip}} = 3500 \text{ ml}$$

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างสารละลายป้อนต่อสารละลายนำกลับโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง 2 มอดูล

ภาวะ (ml:ml)	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)	
		ถึงป้อน	ถึงนำกลับ	ถึงป้อน	ถึงนำกลับ
3500:3500	0	61.24	0.00	609.37	0.00
	20	44.45	15.37	558.59	37.35
	40	19.32	40.33	512.22	81.33
	60	7.33	50.24	458.27	120.35
	80	2.35	53.35	426.65	130.55
	100	1.56	53.37	409.25	131.35
	120	1.30	53.46	400.56	131.36
	180	1.02	53.49	399.44	131.36
	240	1.02	53.49	398.41	131.36
3500:2800	0	67.54	0.00	613.15	0.00
	20	52.31	14.25	555.35	45.25
	40	26.32	38.36	516.35	77.48
	60	19.33	41.66	486.32	102.22
	80	13.85	42.31	475.25	110.22
	100	11.11	42.45	470.25	113.33
	120	10.98	42.46	468.32	114.25
	180	10.86	42.47	467.26	115.24
	240	10.86	42.96	467.21	115.24

ภาวะที่ทำการทดลอง: $pH_{\text{feed}} = 4$, $[\text{LIX 860-I}] = 0.8 \text{ M}$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 2.0 \text{ M}$,
 $Q_{\text{feed}} = Q_{\text{strip}} = 100 \text{ ml/min}$

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการศึกษาเปรียบเทียบการนำกลับไอออนนิกเกิลจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมกับน้ำสังเคราะห์โดยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

ภาวะ	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)		ความเข้มข้นไอออนเหล็ก (ppm)		ความเข้มข้นไอออนโครเมียม (ppm)	
	ถึงป้อน	ถึงนำกลับ	ถึงป้อน	ถึงนำกลับ	ถึงป้อน	ถึงนำกลับ
น้ำสังเคราะห์มี Ni เท่านั้น	75.25	67.47	0.00	0.00	0.00	0.00
น้ำสังเคราะห์มี Ni+Fe	82.33	63.94	650.26	162.63	0.00	0.00
น้ำสังเคราะห์มี Ni+Fe+Cr	88.59	57.96	702.25	165.80	366.35	0.33
น้ำจากกระบวนการ	79.12	45.79	633.32	104.56	301.24	0.60

ภาวะที่ทำการทดลอง: $pH_{\text{feed}} = 4$, $[\text{LIX 860-I}] = 0.8 \text{ M}$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 2.0 \text{ M}$,
 $Q_{\text{feed}} = Q_{\text{strip}} = 100 \text{ ml/min}$, $V_{\text{feed}} = V_{\text{strip}} = 3500 \text{ ml}$

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณ

ข.1 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณการใช้สารสกัด LIX860-I (5-dodecylsalicyladoxime) เพื่อเตรียมเยื่อแผ่นเหลวในการทดลอง

คุณสมบัติของสารสกัด

เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นจากขวด 90 %

สูตรโมเลกุล $C_{19}H_{31}NO$

มวลโมเลกุล 305.461 $\frac{g}{mol}$

ความหนาแน่น 0.7026 $\frac{g}{cm^3}$

คำนวณความเข้มข้นของสารสกัดในหน่วยโมลาร์ จากความสัมพันธ์

$$\text{ความเข้มข้น (mol/dm}^3\text{)} = \frac{\% \times 10 \times d}{M}$$

เมื่อ $d = \text{ความหนาแน่น } \frac{g}{cm^3}$

$$M = \text{มวลโมเลกุล } \frac{g}{mol}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นความเข้มข้นสารสกัดจากขวด} &= \frac{90 \times 10 \times 0.7026}{305.416} \\ &= 2.070 \end{aligned}$$

การเตรียมเยื่อแผ่นเหลวซึ่งประกอบด้วย สารสกัด LIX860-I ละลายในเคโรซีน

$$\text{ความเข้มข้น (mol/dm}^3\text{)} = 0.8 \text{ mol/dm}^3$$

จากความสัมพันธ์ $C_1V_1 = C_2V_2$

เมื่อ $C_1 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น}$

$V_1 = \text{ปริมาตรของสารละลายเริ่มต้น}$

$C_2 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายสุดท้าย}$

$V_2 = \text{ปริมาตรของสารละลายสุดท้าย}$

$$2.070 \frac{mol}{dm^3} \times V_1 = 0.8 \frac{mol}{dm^3} \times 1,000 cm^3$$

$$V_1 = 386.473 \text{ cm}^3$$

ข.2 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณการใช้สารละลายน้ำกลั่นกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)

คุณสมบัติของกรดซัลฟิวริก

เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นจากขวด 96.7 %

สูตรโมเลกุล H_2SO_4

มวลโมเลกุล 98.08 $\frac{g}{mol}$

ความหนาแน่น 1.84 $\frac{g}{cm^3}$

คำนวณความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในหน่วยโมลาร์ จากความสัมพันธ์

$$\text{ความเข้มข้น (mol/dm}^3) = \frac{\% \times 10 \times d}{M}$$

เมื่อ $d = \text{ความหนาแน่น } \frac{g}{cm^3}$

$$M = \text{มวลโมเลกุล } \frac{g}{mol}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกจากขวด} &= \frac{96.7 \times 10 \times 1.84}{98.08} \\ &= 18.141 \text{ mol/dm}^3 \end{aligned}$$

การเตรียมกรดซัลฟิวริกละลายในน้ำกลั่น

$$\text{ความเข้มข้น (mol/dm}^3) = 2.0 \text{ mol/dm}^3$$

จากความสัมพันธ์ $C_1V_1 = C_2V_2$

เมื่อ $C_1 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น}$

$V_1 = \text{ปริมาตรของสารละลายเริ่มต้น}$

$C_2 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายสุดท้าย}$

$V_2 = \text{ปริมาตรของสารละลายสุดท้าย}$

$$18.141 \frac{mol}{dm^3} \times V_1 = 2.0 \frac{mol}{dm^3} \times 3500 cm^3$$

$$V_1 = 385.866 \text{ cm}^3$$

ข.3 ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัดไอออนนิกเกิล

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสกัดไอออนนิกเกิล} = \left(\frac{C_{Ni, feed(o)} - C_{Ni, feed(t)}}{C_{Ni, feed(o)}} \right) \times 100$$

ข้อมูลจากภาคผนวก ก ตารางที่ ก.2 สารสกัด LIX 860-I ความเข้มข้น 0.8 M สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัดไอออนนิกเกิลได้ดังนี้

เวลา	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)	
	ถึงป้อน	ถึงนากลับ
0	69.22	0.00
20	52.32	13.55
40	36.10	23.32
60	23.03	30.54
80	19.12	33.29
100	16.25	34.98
120	15.25	35.65
180	15.25	35.65
240	15.25	35.65

เมื่อผ่านไป 20 นาที สามารถสกัดได้

$$\frac{69.22 - 52.32}{69.22} \times 100 = 24\%$$

เมื่อผ่านไป 240 นาที สามารถสกัดได้

$$\frac{69.22 - 15.25}{69.22} \times 100 = 78\%$$

ข.4 ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์การนำกลับไอออนนิกเกิล

$$\text{เปอร์เซ็นต์การนำกลับไอออนนิกเกิล} = \left(\frac{C_{Ni,strip(t)}}{C_{Ni,feed(o)}} \right) \times 100$$

ข้อมูลจากภาคผนวก ก ตารางที่ ก.2 สารสกัด LIX 860-I ความเข้มข้น 0.8 M สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์การนำกลับไอออนนิกเกิลได้ดังนี้

เวลา	ความเข้มข้นไอออนนิกเกิล (ppm)	
	ถึงป้อน	ถึงนำกลับ
0	69.22	0.00
20	52.32	13.55
40	36.10	23.32
60	23.03	30.54
80	19.12	33.29
100	16.25	34.98
120	15.25	35.65
180	15.25	35.65
240	15.25	35.65

เมื่อผ่านไป 20 นาที สามารถนำกลับได้

$$\frac{13.55}{69.22} \times 100 = 20\%$$

เมื่อผ่านไป 240 นาทีสามารถนำกลับได้

$$\frac{35.65}{69.22} \times 100 = 51\%$$

ข.5 ตัวอย่างการคำนวณค่าการคัดเลือกเพื่อนำกลับไอออน

$$\text{ค่าการคัดเลือกเพื่อนำกลับไอออนนิกเกิล} = \frac{[C_{Ni,strip(t)} / C_{Ni,feed(o)}]}{\sum_{i=1}^n [C_{i,strip(t)} / C_{i,feed(o)}]}$$

ข้อมูลจากภาคผนวก ก ตารางที่ ก.2 สารสกัด LIX 860-I ความเข้มข้น 0.8 M สามารถคำนวณค่าการคัดเลือกเพื่อนำกลับไอออนนิกเกิลได้ดังนี้

เวลา	ความเข้มข้นใน ถังนำกลับ	
	นิกเกิล	เหล็ก
0	0.00	0.00
20	13.55	11.32
40	23.32	19.35
60	30.54	28.65
80	33.29	32.35
100	34.98	40.85
120	35.65	47.55
180	35.65	55.55
240	35.65	55.55

ความเข้มข้นไอออนนิกเกิลในถังสารละลายป้อนเริ่มต้น 69.22 ppm

ความเข้มข้นของไอออนเหล็กในถังสารละลายป้อนเริ่มต้น 689.55 ppm

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{ค่าการคัดเลือกเพื่อนำกลับไอออนนิกเกิล} &= \frac{[35.65/69.22]}{[(35.65/69.22)+(55.55/689.55)]} \\ &= 0.86 \end{aligned}$$

ข.6 ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability coefficient, P)

จากข้อมูลภาคผนวก ก ตารางที่ ก.4 สามารถคำนวณค่าการซึมผ่าน ได้ดังนี้

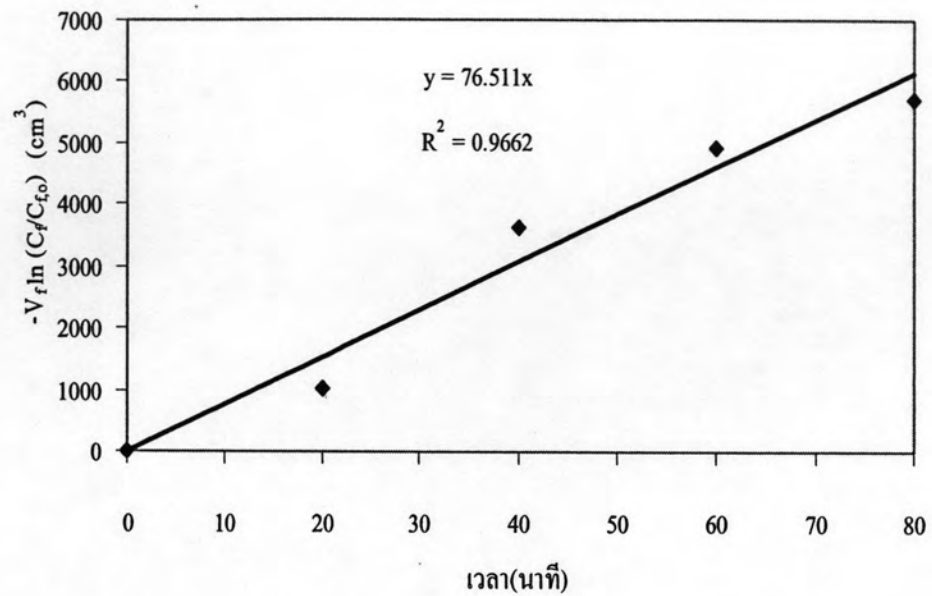
จากสมการ
$$V_f \ln \left(\frac{C_f}{C_{f,0}} \right) = -AP \frac{\phi}{\phi + 1} t$$

โดยที่
$$\phi = \frac{Q_f}{PLe\pi N r_i}$$

- P = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน
- C_f = ความเข้มข้นของไอออนที่เวลา t
- $C_{f,0}$ = ความเข้มข้นของไอออนที่เวลาเริ่มต้น
- A = พื้นที่การถ่ายเทมวล
- V_f = ปริมาตรของสารละลายป้อน
- Q_f = อัตราการไหลของสารละลายป้อนในฝั่งท่อ
- L = ความยาวของเส้นใยกลวง
- N = จำนวนเส้นใยกลวงในมอดูล
- r_i = รัศมีภายในของเส้นใยกลวง
- e = ความพรุนของเส้นใยกลวง

จากข้อมูลภาคผนวก ก ตารางที่ ก.4. ที่อัตราการไหล 100 ml/min

เขียนกราฟระหว่าง $-V_f \ln \left(\frac{C_f}{C_{f,0}} \right)$ กับเวลา จะได้



ภาพที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง $-V_f \ln\left(\frac{C_f}{C_{f,0}}\right)$ ของไอออนนิกเกิลในสารละลายปนกับเวลา

ความชันของกราฟ = 76.511

$$\text{ความชันเท่ากับ} = 76.511 = \frac{AP\phi}{\phi + 1}$$

และ

$$\phi = \frac{Q_f}{PL\epsilon\pi Nr_i}$$

ให้

$$V = 3,500 \text{ cm}^3$$

$$C_f = 62.564 \text{ ppm}$$

$$C_{f,0} = 12.201 \text{ ppm}$$

$$A = 14,000 \text{ cm}^2$$

$$T = 14,400 \text{ วินาที}$$

$$Q, = 1.67 \text{ cm}^3/\text{วินาที}$$

$$L = 20.3 \text{ cm}$$

$$N = 240 \text{ เส้น}$$

$$r_i = 120 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

$$\mathcal{E} = 0.3$$

$$\pi = 3.1416$$

$$\text{ดังนั้น } \phi = \frac{1.67}{P (20.3) (0.3) (3.1416) (240) (120 \times 10^{-4} \text{ cm})}$$

แก้สมการหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน, $P = 0.00666 \text{ cm/s}$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นายยุทธพงษ์ เข้มกลัด
เกิด วันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2524 ที่โรงพยาบาลราชวิถี กรุงเทพมหานคร

การศึกษา

พ.ศ. 2543-2547 วศ.บ. (วิศวกรรมเคมี) ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2549-2551ศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสบการณ์

พ.ศ. 2547 นักศึกษาฝึกงานในฝ่ายประกันคุณภาพ
บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด
พ.ศ. 2547-2548 วิศวกรฝ่ายผลิต บริษัท ยูเนียนไฟโอเนียร์ จำกัด (มหาชน)

ทุนสนับสนุนงานวิจัย

พ.ศ. 2550 ทุนวิจัยภายใต้โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมระดับ
ปริญญาโท สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และ
สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.)

ผลงานทางวิชาการ

1. Yuttapong Khemglad, Ura Panchareon and Anchaleeporn Waritswat Lothongkum. Selective recovery of nickel from wastewater in the stainless steel industry by hollow fiber supported liquid membrane. The 9th National Grad Research Conference. Burapa University, March 2008.
2. Yuttapong Khemglad, Ura Panchareon and Anchaleeporn Waritswat Lothongkum. Recovery of nickel from wastewater in the stainless steel industry by hollow fiber supported liquid membrane. The 10th National Grad Research Conference. Sukhothai Thammathirat University, September 2008.
3. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum, Yuttapong Khemglad, Nantawat Usomboon and Ura Panchareon. Selective recovery of nickel ions from wastewater of stainless steel industry via HFSLM. Journal of Alloys and Compounds. (in press)