

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- งามพิศ แย้มนิยาม. 2525. ทรัพย์สินทางปัญญาในประเทศไทย. เอกสารเศรษฐกิจและสังคมวิทยา เล่มที่ 32. กองเศรษฐกิจและสังคมวิทยา. กรมทรัพย์สินทางปัญญา.
- ณรรฐพล วิจิตรเฉลิมพงษ์. 2545. การนำกลับแพลงก์ตอนจากกรวดกรองใช้แล้วโดยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประกร งามกุล. 2544. การแยกไอออนผสมของแลนทานัมและนีโอดีเมียม โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิสมัย เจนวนิชปัญญกุล. 2543. เทคโนโลยีสะอาด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 15 (3): 33-40.
- ไพศาล อภินพพัฒน์. 2541. การสกัดแยกและนำกลับโครเมียมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงในห่อเดี่ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- แมน อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. 2535. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ: ชวนพิมพ์.
- รัตนา จิระรัตนานนท์. 2543. กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วีรวุฒิ ปัตทวิคองคา. 2541. อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายผสมกรดอะซิติกกับไซเตียมอะซิเตต ต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุจิตร พิตรากุล. 2530. แหล่งแร่และแร่ในอุตสาหกรรม. ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ศูนย์ส่งเสริมตำราและเอกสารวิชาการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อิสรา เกษมเศรษฐ. 2541. การสกัดไอออนทองแดงจากสารละลายเจือจางมากด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Araki, T., and Tsukube., H. 1990. Liquid membranes: Chemical Applications. CRC Press.
- Campderros, M.E., Acosta, A., and Marchese, J. 1998. Selective separation of copper with LIX 864 in a hollow fiber module. Talanta 47: 19-24.
- Castillo, E., Granados, M., and Cortina, J.L. 2002. Liquid-supported membranes in chromium (VI) optical sensing: transport modeling. Analytica Chimica Acta 464:197-208.
- Galan, B., Urtiaga, A.M., Alonso, A.I., Irabien, J.A., and Ortiz, M.I. 1994. Extraction of Anions with Aliquat 336:Chemical Equilibrium Modeling. Industrial & Engineering Chemistry Research 33 (7): 1765-1770.
- Gu, Z. 1990. A new liquid membrane technology-electrostatic pseudo liquid membrane. Journal of Membrane Science 52: 77-88.
- Gu, Z. 1992. Electrostatic pseudo-liquid-membrane. In W.S. Winston Ho and K.K. Sirkar (eds.), Membrane Handbook, pp. 867-884. New York: Van Nastrand Reinhold.
- Haan, A.B., Bartels, P.V., and Graauw, J. 1989. Extraction of metal ions from waste water modeling of the mass transfer in a supported-liquid-membrane process. Journal of Membrane Science. 45: 281-297.
- Herold, D.A., and Fitzgerald, R.L. 1994. Chromium. In H.G. Seiler; A. Sigel; and H. Sigel (eds.), Handbook on Metals In Clinical and Analytical Chemistry, p.322. Marcel Dekker.
- Jianhan, Y., and Cangmin, Y. 1988. Zinc recovery with the membrane based solvent extraction method. Water Treatment 3: 87-97.
- Komasawa, I., Otake, T., and Yamashita, T. 1983. Mechanism kinetics of copper permeation through a supported liquid membrane containing a hydroxime as a mobile carrier. Industrial Engineering and Chemical Fundamental. 22: 127-131.
- Lee, J.H., Jeong, J., Park, J.T., Youn, I.J., and Chung, H.S. 1999. Selective and simultaneous extractions of SLM modules containing HEH(EHP) and LIX 84. Separation Science and Technology 34 (8): 1689-1701.

- Liacono, O., Drioli, E., and Molinari, R. 1986. Metal ion separation and concentration with supported liquid membranes. Journal of Membrane Science. 28: 123-138.
- Luccio, M.D., Smith, B.D., Kida, T., Borges, C.P., and Alves, T.L.M. 2000. Separation of fructose from a mixture of sugars using supported liquid membranes. Journal of Membrane Science 174: 217-224.
- Marr, R., and Kopp, A. 1982. Liquid membrane technology-a survey of phenomena, mechanisms, and models. American Institute of Chemical Engineers, 44-60.
- Noble, R.D. 1987. An Overview of Membrane Separations. Separation Science and Technology 22(2&3): 731-743.
- Ortiz, I., Galan, B., and Irabien, A. 1996. Kinetic analysis of the simultaneous nondispersive extraction and back-extraction of chromium (VI), Industrial Engineering Chemistry Research 35 : 1369-1377.
- Patthaveekongka, W., Vijitchalermping, N., and Pancharoen, U. 2003. Selective Recovery of Palladium from Used Aqua Regia by Hollow Fiber Supported With Liquid Membrane. Korean Journal of Chemical Engineering 20(6): 1092-1096.
- Porter, M.C. 1990. Coupled Transport Membranes. Handbook of Industrial Membrane Technology. NOYES Publications.
- Rautenbach, and Albrecht, R. 1989. Membrane Process. John Wiley & Sons.
- Ramkul, P., and Pancharoen, U. 2003. Synergistic Extraction and Separation of Mixture of Lanthanum and Neodemium by Hollow Fiber Supported Liquid Membrane. Korean Journal of Chemical Engineering 20(4): 724-730.
- Rousseau, R.W. 1987. Handbook of separation Process Technology. John Wiley&Sons.
- Salazar, E., Ortiz, M.I., Urriaga, A.M., and Irabien, J.A. 1992. Equilibrium and kinetics of Cr(VI) extraction with Aliquat 336. Industrial Engineering Chemistry Research 31: 1516-1522.
- Sarangi, K., and Das, R.P. 2003. Separation of copper and zinc by supported liquid membrane using TOPS-99 as mobile carrier. Hydrometallurgy 2156: 1-8.
- Sarkar, B. 1994. Copper. In H.G. Seiler; A. Sigel; and H. Sigel (eds.), Handbook on Metals In Clinical and Analytical Chemistry, pp. 339-347. Marcel Dekker, Inc.
- Schulz, G. 1988. Separation techniques with supported liquid membranes. Desalination 68: 191-202.

- Tanigaki, M., Shiode, T., Ueda, M., and Eguchi, W. 1988. Facilitated Transport of Zinc Chloride Through Hollow Fiber Supported Liquid Membrane. Part I. Transport Mechanism. Separation Science and Technology 23(10&11): 1145-1159.
- Tavlarides, L.L., Bae, J.H., and Lee, C.K. 1987. Solvent Extraction, Membranes, and Ion Exchange in Hydrometallurgical Dilute Metals Separation. Separation Science and Technology 22(2&3): 581-617.
- Teramoto, M., Masuyama, H., Takaya, H., and Asano, S. 1987. Development of Spiral-Type Supported Liquid Membrane Module for Separation and Concentration Metal Ions. Separation Science and Technology 22(11): 2175-2201.
- Thompson, M., and Walsh, J.N. 1989. Handbook of Inductively Coupled Plasma Spectrometry. 2nd ed. Blackie & Son Ltd.
- Thunus, L., and Lejeune, R. 1994. Zinc. In H. G. Seiler; A. Sigel; and H. Sigel (eds.), Handbook on Metals In Clinical and Analytical Chemistry, pp.667-674. Marcel Dekker.
- Valenzuela, F., Basualto C., Tapia, C., and Sapag, J. 1999. Application of hollow-fiber supported liquid membranes technique to the selective recovery of a low content of copper from a Chilean mine water. Journal of Membrane Science155:163-168.
- Varnes, A. W. 1997. Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy. In F. A. Settle (ed.), Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry, pp.395-418. Prentice Hall PTR.
- Venkafachalam, S. 1998. Hydrometallurgy. NQROSA Publishing House.
- Yang, X.J., Fane, A.G., and MacNaughton, S. 2001. Removal and recovery of heavy metals from wastewaters by supported liquid membranes. Water Science and Technology 43(2): 341-348.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

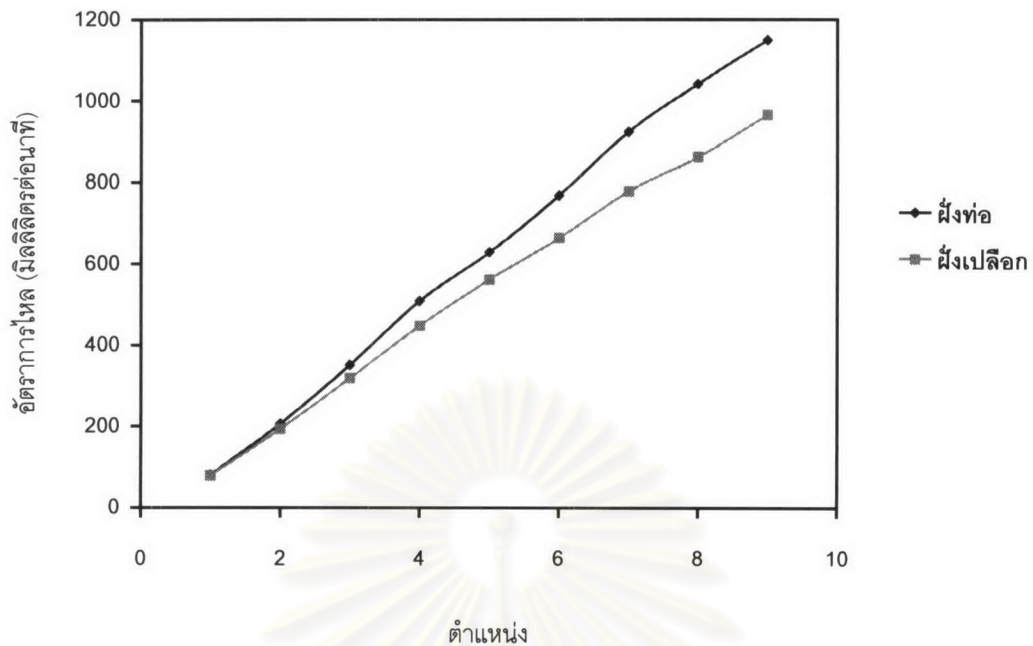
ข้อมูลการเปรียบเทียบมาตรฐานการวัดอัตราการไหลของชุดทดลอง

ตารางก.1 ข้อมูลสำหรับปรับค่ามาตรฐานของชุดควบคุมอัตราการไหลในโมดูลเส้นใยกลวง คอลัมน์ที่หนึ่ง

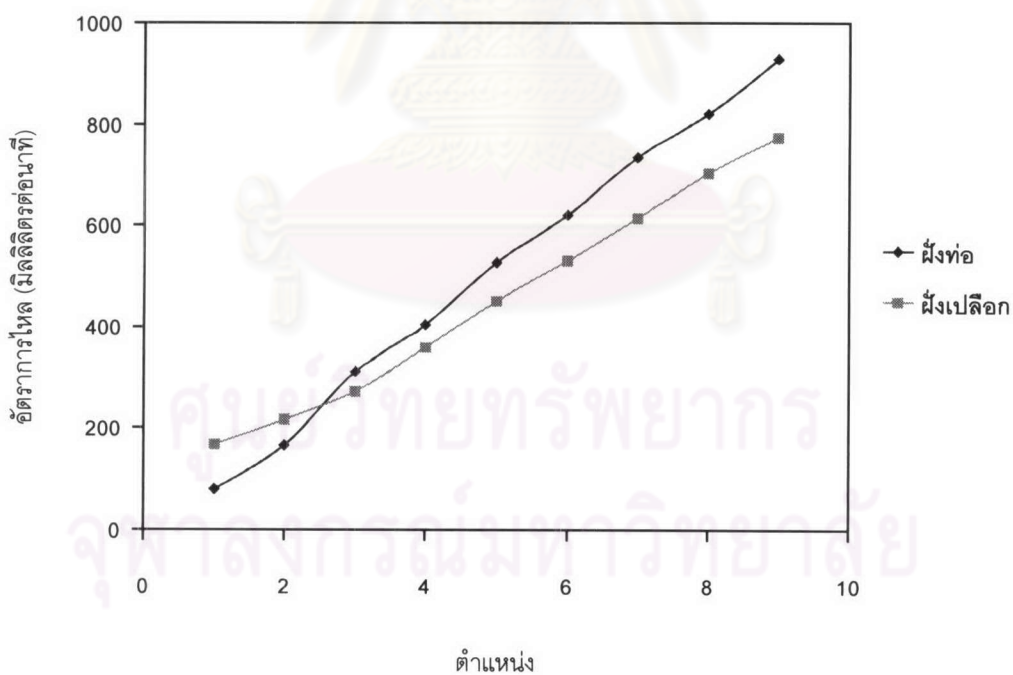
ตำแหน่ง	ปริมาตร (มล.)	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ (วินาที)		อัตราการไหล (มล./นาที)	
		ฝั่งท่อ	ฝั่งเปลือก	ฝั่งท่อ	ฝั่งเปลือก
1	30	22.134	22.514	81.323	79.95
2	30	8.712	9.292	206.612	193.715
3	40	6.83	7.53	351.391	318.725
4	50	5.9	6.71	508.475	447.094
5	50	4.77	5.346	628.931	561.167
6	60	4.684	5.422	768.574	663.962
7	70	4.544	5.396	924.296	778.354
8	80	4.604	5.568	1042.572	862.069
9	90	4.696	5.586	1149.915	966.702
10	100	5.212	5.944	1151.19	1009.421

ตารางก.2 ข้อมูลสำหรับปรับค่ามาตรฐานของชุดควบคุมอัตราการไหลในโมดูลเส้นใยกลวง คอลัมน์ที่สอง

ตำแหน่ง	ปริมาตร (มล.)	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ (วินาที)		อัตราการไหล (มล./นาที)	
		ฝั่งท่อ	ฝั่งเปลือก	ฝั่งท่อ	ฝั่งเปลือก
1	30	22.66	10.72	79.435	167.91
2	30	10.836	8.304	166.113	216.763
3	40	7.748	8.876	309.757	270.392
4	50	7.428	8.378	403.877	358.081
5	50	5.708	6.652	525.578	450.992
6	60	5.816	6.794	618.982	529.879
7	70	5.72	6.83	734.266	614.934
8	80	5.846	6.826	821.074	703.194
9	90	5.812	6.982	929.112	773.417
10	100	6.438	7.536	931.966	796.178



รูปที่ ก.1 เปรียบเทียบการวัดอัตราการไหลมาตรฐานทั้งฝิ่งท่อและฝิ่งเปลือกในโมดูลเส้นใยกลวง คอลัมน์ที่หนึ่ง



รูปที่ ก.2 เปรียบเทียบการวัดอัตราการไหลมาตรฐานทั้งฝิ่งท่อและฝิ่งเปลือกในโมดูลเส้นใยกลวง คอลัมน์ที่สอง

ภาคผนวก ข

คำนิยาม

ข.1 ร้อยละการสกัด (%Extraction)

$$\text{ร้อยละการสกัด} = \frac{\text{ความเข้มข้นของโลหะที่สกัดได้}}{\text{ความเข้มข้นของโลหะเริ่มต้น}} \times 100$$

ข.2 ร้อยละการนำกลับ (%recovery)

$$\text{ร้อยละการนำกลับ} = \frac{\text{ความเข้มข้นของโลหะที่นำกลับได้}}{\text{ความเข้มข้นของโลหะเริ่มต้น}} \times 100$$

ข.3 ฟลักซ์ (Flux, J)

$$\text{ฟลักซ์} = \frac{\text{ความเข้มข้นของโลหะที่สกัดได้}}{\text{เวลาในการดำเนินการ}} \times \frac{\text{ปริมาตร}}{\text{พื้นที่ผิวของเส้นใยกลวง}}$$

ข.4 ค่าการซึมผ่าน (Permeability, P)

$$\text{ค่าการเลือกผ่าน} = \frac{\text{ฟลักซ์}}{\text{ความเข้มข้นของโลหะเริ่มต้น}}$$

ข.5 สัมประสิทธิ์การแยก (Separation factor, α)

$$\text{สัมประสิทธิ์การแยก} = \frac{\text{ค่าการเลือกผ่านของโลหะที่สนใจหลัก}}{\text{ค่าการเลือกผ่านของโลหะที่สนใจรอง}}$$

ภาคผนวก ค

ข้อมูลดิบและผลการคำนวณ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.1 ข้อมูลผลการทดลองศึกษาความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อนต่อการสกัดและนำกลับ

pH of feed	[Cu] ²⁺ (ppm)					[HCrO ₄] ⁻ (ppm)						
	ป้อนเข้า	ป้อนออก	สตรีปเข้า1	สตรีปออก1	สตรีปเข้า2	สตรีปออก2	ป้อนเข้า	ป้อนออก	สตรีปเข้า1	สตรีปออก1	สตรีปเข้า2	สตรีปออก2
1.5	92	92	0	0	0	0	86	71	1	1	1	14
2.0	90	90	0	0	0	0	88	70	1	1	1	18
2.5	106	92	0	7	0	0	99	70	0	0	0	24
3.0	91	79	0	6	0	0	89	72	1	1	1	17
3.5	111	97	2	9	1	1	92	78	0	0	0	12
4.0	97	85	0	6	0	0	93	81	2	2	1	11

pH of feed	[Zn] ²⁺ (ppm)					
	ป้อนเข้า	ป้อนออก	สตรีปเข้า1	สตรีปออก1	สตรีปเข้า2	สตรีปออก2
1.5	93	93	0	0	0	0
2.0	95	95	0	0	0	0
2.5	100	100	0	0	0	0
3.0	96	96	0	0	0	0
3.5	100	100	1	1	0	0
4.0	96	96	0	0	0	0

สมภาวะที่ทดลอง: [Cu]²⁺_F = [HCrO₄]⁻_F = [Zn]²⁺_F = 100 ppm, [LIX 84-]_{M1} = 1 %v/v, [Aliquat]_{M2} = 1 %v/v, [H₂SO₄]_{S1} = 0.1 M, [NaOH]_{S2} = 0.5 M และ Q_F = Q_S = 100

มิลลิลิตรต่อนาที

ตาราง ค.2 ข้อมูลร้อยละการสกัดและการนำกลับของสารที่ศึกษาความเป็นกรด-ต่างในสารละลายยาป้อนต่อการสกัดและนำกลับ

pH of feed	Cu		Cr		Zn	
	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ
1.5	0	0	18.604	15.116	0	0
2.0	0	0	20.454	19.318	0	0
2.5	13.207	6.604	29.293	24.242	0	0
3.0	13.187	6.593	19.101	17.978	0	0
3.5	12.613	6.306	15.217	13.043	0	0
4.0	12.371	6.186	12.903	10.753	0	0

สภาวะที่ทดลอง: $[Cu^{2+}]_F = [HCrO_4]_F = [Zn^{2+}]_F = 100 \text{ ppm}$, $[LiX 84]_{M1} = 1 \text{ \%v/v}$, $[Aliquat]_{M2} = 1 \text{ \%v/v}$, $[H_2SO_4]_{S1} = 0.1 \text{ M}$, $[NaOH]_{S2} = 0.5 \text{ M}$ และ $Q_F = Q_S = 100$

มีดิลิตรต่อนาที

ตาราง ค.3 ข้อมูลผลการทดลองศึกษาความเข้มข้นของสารสกัด LIX 84-|ต่อการสกัดและนำกลับมาใช้

Conc. LIX 84-I (%v/v)	[Cu] ²⁺ (ppm)					[HCrO ₄] ⁻ (ppm)					
	บ่อน้ำ	บ่อนอก	สตรีปเข้า1	สตรีปออก1	สตรีปออก2	บ่อน้ำ	บ่อนอก	สตรีปเข้า1	สตรีปออก1	สตรีปเข้า2	สตรีปออก2
1	106	92	0	7	0	99	70	0	0	0	24
1.5	101	85	1	12	1	98	71	1	1	1	24
2	96	80	1	13	1	90	64	1	1	1	23
2.5	100	68	1	20	1	91	64	1	1	1	24
3	99	67	1	20	1	90	63	1	1	1	24
4	100	68	1	20	1	91	64	1	1	0	23

Conc. LIX 84-I (%v/v)	[Zn] ²⁺ (ppm)				
	บ่อน้ำ	บ่อนอก	สตรีปเข้า1	สตรีปออก1	สตรีปออก2
1	100	100	0	0	0
1.5	102	98	0	0	0
2	96	96	0	0	0
2.5	102	102	0	0	0
3	99	99	0	0	0
4	103	103	0	0	0

สภาวะที่ทดลอง: [Cu]²⁺_F = [HCrO₄]⁻_F = [Zn]²⁺_F = 100 ppm, pH_F = 2.5, [Aliquat]_{M2} = 1 %v/v, [H₂SO₄]_{S1} = 0.1 M, [NaOH]_{S2} = 0.5 M และ Q_F = Q_S = 100 มิลลิลิตร

ต่อหน้าที่

ตาราง ค.4 ข้อมูลร้อยละการสกัดและการนำกลับของสารสกัด LIX 84-ต่อการสกัดและนำกลับ

Conc. LIX 84-I (%v/v)	Cu		Cr		Zn	
	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ
1	13.207	6.604	29.293	24.242	0	0
1.5	15.841	10.891	27.551	23.469	0	0
2	16.667	12.5	28.889	24.444	0	0
2.5	32	19	29.670	25.275	0	0
3	32.323	19.192	30	25.556	0	0
4	32	19	29.670	25.275	0	0

สมการที่ทดลอง: $[Cu^{2+}]_F = [HCrO_4]_F = [Zn^{2+}]_F = 100 \text{ ppm}$, $pH_F = 2.5$, $[Aliquat]_{M2} = 1 \text{ \%v/v}$, $[H_2SO_4]_{S1} = 0.1 \text{ M}$, $[NaOH]_{S2} = 0.5 \text{ M}$ และ $Q_F = Q_S = 100 \text{ มิลลิลิตร}$

ต่อมาที่

ตาราง ค.5 ข้อมูลผลการทดลองศึกษาความเข้มข้นของสารสกัดอะลิคัตต่อการศึกษาการสกัดและน้ำกลั่น

Conc. Aliquat (%v/v)	[Cu] ²⁺ (ppm)					[HCrO ₄] ⁻ (ppm)						
	ป้อนเข้า	ป้อนออก	สตรีปเข้า1	สตรีปออก1	สตรีปเข้า2	สตรีปออก2	ป้อนเข้า	ป้อนออก	สตรีปเข้า1	สตรีปออก1	สตรีปเข้า2	สตรีปออก2
1	100	68	1	20	1	1	91	64	1	1	1	24
1.5	98	66	0	19	0	0	98	63	0	0	0	26
2	94	65	0	17	0	0	95	45	0	0	0	35
2.5	93	63	1	19	0	0	98	33	0	0	0	52
3	90	62	0	17	0	0	95	20	0	0	0	65
4	93	63	1	19	0	0	97	13	0	0	0	70
5	101	69	0	19	0	0	92	13	0	0	0	66

Conc. Aliquat (%v/v)	[Zn] ²⁺ (ppm)					
	ป้อนเข้า	ป้อนออก	สตรีปเข้า1	สตรีปออก1	สตรีปเข้า2	สตรีปออก2
1	102	102	0	0	0	0
1.5	98	98	0	0	0	0
2	92	92	0	0	0	0
2.5	92	92	0	0	0	0
3	91	91	0	0	0	0
4	94	94	0	0	0	0
5	98	98	0	0	0	0

สภาพที่ทดลอง: [Cu]²⁺_F = [HCrO₄]_F = [Zn]²⁺_F = 100 ppm, pH_F = 2.5, [LIX 84-1]_{M1} = 2.5 %v/v, [H₂SO₄]_{S1} = 0.1 M, [NaOH]_{S2} = 0.5 M และ Q_F = Q_S = 100

มีลิลิตรต่อนาที

ตาราง ค.6 ข้อมูลร้อยละการสกัดและการนำกลับของสารสกัดของสารสกัดอะลิคเวดต่อการสกัดและนำกลับ

Conc. Aliquat (%v/v)	Cu		Cr		Zn	
	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ
1	32	19	29.670	25.275	0	0
1.5	32.653	19.388	35.714	26.531	0	0
2	30.851	18.085	52.631	36.842	0	0
2.5	32.258	19.355	66.326	53.061	0	0
3	31.111	18.889	78.947	68.421	0	0
4	32.258	19.355	86.598	72.165	0	0
5	31.683	18.812	85.870	71.739	0	0

สภาวะที่ทดลอง: $[Cu^{2+}]_F = [HCrO_4]_F = [Zn^{2+}]_F = 100 \text{ ppm}$, $pH_F = 2.5$, $[LiX\ 84]_{M1} = 2.5 \text{ \%v/v}$, $[H_2SO_4]_{S1} = 0.1 \text{ M}$, $[NaOH]_{S2} = 0.5 \text{ M}$ และ $Q_F = Q_S = 100$
 มีลิลิตรตอานาที่

ตาราง ค.7 ข้อมูลผลการทดลองศึกษาความเข้มข้นของสารละลายสรีปกรดซัลฟูริกต่อการสกัดและนำกลับ

Conc. H ₂ SO ₄ (M)	[Cu] ²⁺ (ppm)					[HCrO ₄] ⁻ (ppm)						
	ป้อนเข้า	ป้อนออก	สรีปเข้า1	สรีปออก1	สรีปเข้า2	สรีปออก2	ป้อนเข้า	ป้อนออก	สรีปเข้า1	สรีปออก1	สรีปเข้า2	สรีปออก2
0.1	93	63	1	19	0	0	97	13	0	0	0	70
0.25	101	63	0	27	0	0	100	15	0	0	0	70
0.5	101	31	0	48	0	0	99	12	0	0	0	74
1	103	34	0	47	0	0	94	15	0	0	0	67
1.5	96	30	0	45	0	0	96	13	0	0	0	70
2	103	32	0	49	0	0	95	14	0	0	0	68

Conc. H ₂ SO ₄ (M)	[Zn] ²⁺ (ppm)					
	ป้อนเข้า	ป้อนออก	สรีปเข้า1	สรีปออก1	สรีปเข้า2	สรีปออก2
0.1	94	95	0	0	0	0
0.25	104	99	0	0	0	0
0.5	102	91	0	0	0	0
1	102	102	0	0	0	0
1.5	98	98	0	0	0	0
2	104	104	0	0	0	0

สภาวะที่ทดลอง: [Cu]²⁺_F = [HCrO₄]_F = [Zn]²⁺_F = 100 ppm, pH_F = 2.5, [LIX 84-I]_{M1} = 2.5 %v/v, [Aliquat]_{M2} = 4%v/v, [NaOH]_{S2} = 0.5 M และ Q_F = Q_S = 100

มิลลิลิตรต่อนาที

ตาราง ค.8 ข้อมูลร้อยละการสกัดและการนำกลับของสารศึกษาความเข้มข้นของสารละลายสารสกัดฟริกตอกการสกัดและนำกลับ

Conc. H ₂ SO ₄ (M)	Cu		Cr		Zn	
	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ
0.1	32.258	19.355	86.598	72.165	0	0
0.25	37.624	26.733	85	70	0	0
0.5	69.307	47.525	87.879	74.747	0	0
1	66.993	45.631	84.042	71.277	0	0
1.5	68.75	46.875	86.458	72.917	0	0
2	68.932	47.573	85.263	71.579	0	0

สภาวะที่ทดลอง: [Cu²⁺]_F = [HCrO₄]_F = [Zn²⁺]_F = 100 ppm, pH_F = 2.5, [LiX 84-]_{M1} = 2.5 %v/v, [Aliquat]_{M2} = 4 %v/v, [NaOH]_{S2} = 0.5 M และ Q_F = Q_S = 100
 มีลิตลิตรตอหน้าที

ตาราง ค.9 ข้อมูลผลการทดลองศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไฮดรอกไซด์เตรียมไฮดรอกไซด์ต่อการสกัดและนำกลับ

Conc. NaOH (M)	[Cu] ²⁺ (ppm)					[HCrO ₄] ⁻ (ppm)						
	ป้อนเข้า	ป้อนออก	สตรีปเข้า1	สตรีปออก1	สตรีปเข้า2	สตรีปออก2	ป้อนเข้า	ป้อนออก	สตรีปเข้า1	สตรีปออก1	สตรีปเข้า2	สตรีปออก2
0.1	101	30	1	49	1	1	104	30	0	0	0	62
0.25	103	30	1	51	1	1	104	24	0	1	0	64
0.5	101	31	0	48	0	0	99	12	0	0	0	74
1	105	29	2	51	2	2	96	12	0	0	0	71
1.5	102	28	2	50	2	2	93	12	0	0	0	69
2	100	27	2	51	2	2	99	13	0	0	0	73

Conc. NaOH (M)	[Zn] ²⁺ (ppm)					
	ป้อนเข้า	ป้อนออก	สตรีปเข้า1	สตรีปออก1	สตรีปเข้า2	สตรีปออก2
0.1	100	100	1	1	0	0
0.25	100	100	1	1	1	1
0.5	102	102	0	0	0	0
1	104	104	0	0	0	0
1.5	102	102	0	0	0	0
2	103	103	0	0	0	0

สมภาวะที่ทดลอง: [Cu]²⁺_F = [HCrO₄]⁻_F = [Zn]²⁺_F = 100 ppm, pH_F = 2.5, [LIX 84-]_{M1} = 2.5 %v/v, [Aliquat]_{M1} = 4 %v/v, [H₂SO₄]_{S1} = 0.5 M และ Q_F = Q_S = 100

มีลิลิตรต่ออนาที

ตาราง ค.10 ข้อมูลร้อยละการสกัดและการนำกลับของการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายสเตรปโตไมซินไฮดรอกไซด์ต่อการสกัดและนำกลับ

Conc. NaOH (M)	Cu		Cr		Zn	
	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ
0.1	70.297	47.525	71.154	59.615	0	0
0.25	70.874	51.456	76.923	61.538	0	0
0.5	69.307	47.525	87.879	74.747	0	0
1	72.381	46.667	84.375	70.833	0	0
1.5	72.549	47.059	87.097	74.193	0	0
2	73	49	83.838	70.707	0	0

สภาวะที่ทดลอง: $[Cu^{2+}]_F = [HCrO_4^-]_F = [Zn^{2+}]_F = 100 \text{ ppm}$, $pH_F = 2.5$, $[LiX \ 84^-]_{M1} = 2.5 \text{ \%v/v}$, $[Aliquat]_{M1} = 4 \text{ \%v/v}$, $[H_2SO_4]_{S1} = 0.5 \text{ M}$ และ $Q_F = Q_S = 100$

มีลิลิตรต่อนาที

ตาราง ค.11 ข้อมูลผลการทดลองศึกษาจำนวนรอบในการผ่านโมดูลเส้นใยกลวงต่อการสกัดและนำกลับ

No. cycle	[Cu] ²⁺ (ppm)					[HCrO ₄] ⁻ (ppm)						
	ป้อนเข้า	ป้อนออก	สกัดป้อนเข้า1	สกัดป้อนออก1	สกัดป้อนเข้า2	สกัดป้อนออก2	ป้อนเข้า	ป้อนออก	สกัดป้อนเข้า1	สกัดป้อนออก1	สกัดป้อนเข้า2	สกัดป้อนออก2
1	92	25	3	46	2	2	92	11	0	0	0	69
2	92	23	3	47	2	2	92	1	0	0	0	70
3	92	21	3	49	2	2	92	0	0	0	0	73
4	92	21	3	52	2	2	92	0	0	0	0	76
5	92	21	3	54	2	2	92	0	0	0	0	78

No. cycle	[Zn] ²⁺ (ppm)					
	ป้อนเข้า	ป้อนออก	สกัดป้อนเข้า1	สกัดป้อนออก1	สกัดป้อนเข้า2	สกัดป้อนออก2
1	90	90	1	1	0	0
2	90	90	1	1	0	0
3	90	90	1	1	0	0
4	90	90	1	1	0	0
5	90	90	1	1	0	0

สภาวะที่ทดลอง: [Cu]²⁺_F = [HCrO₄]⁻_F = [Zn]²⁺_F = 100 ppm, pH_F = 2.5, [LIX 84-]_{M1} = 2.5 %v/v, [Aliquat]_{M1} = 4 %v/v, [H₂SO₄]_{S1} = 0.5 M, [NaOH]_{S2} = 0.5 M และ Q_F = Q_S = 100 มิลลิลิตรต่ออนาที

ตาราง ค.12 ข้อมูลร้อยละการสกัดและการนำกลับของสารศึกษาน้ำจืดของปลาในการผ่านโมดูลเส้นใยกลวงต่อการสกัดและนำกลับ

No. cycle	Cu		Cr		Zn	
	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ
1	72.826	46.739	88.043	75	0	0
2	75	47.826	98.913	76.087	0	0
3	77.174	50	100	79.348	0	0
4	77.174	53.261	100	82.609	0	0
5	77.174	55.435	100	84.783	0	0

สภาวะที่ทดลอง: $[Cu^{2+}]_F = [HCrO_4]_F = [Zn^{2+}]_F = 100 \text{ ppm}$, $pH_F = 2.5$, $[LiX\ 84]_{M1} = 2.5 \text{ \%v/v}$, $[Aliquat]_{M1} = 4 \text{ \%v/v}$, $[H_2SO_4]_{S1} = 0.5 \text{ M}$, $[NaOH]_{S2} = 0.5 \text{ M}$ และ $Q_F = Q_S = 100$ มิลลิลิตรต่ออนาที

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณ

ง.1 ตัวอย่างการคำนวณค่าร้อยละการสกัด

ข้อมูลจากภาคผนวก ค. ตาราง ค.1 พิจารณาข้อมูลที่เป็นกรด-ด่างของสารละลาย ป้อนเท่ากับ 2.5 ของโลหะโครเมียม ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่สอง

ความเข้มข้นของโครเมียมในสารละลายป้อนเข้า	99	ppm
ความเข้มข้นของโครเมียมในสารละลายป้อนออก	70	ppm

$$\begin{aligned}\text{ร้อยละการสกัด} &= \frac{99 - 70}{99} \times 100 \\ &= 29.29\end{aligned}\quad (\text{ดังตาราง ค.2})$$

ง.2 ตัวอย่างการคำนวณร้อยละการนำกลับ

ข้อมูลจากภาคผนวก ค ตาราง ค.1 พิจารณาข้อมูลที่เป็นกรด-ด่างของสารละลาย ป้อนเท่ากับ 2.5 ของโลหะโครเมียม ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่สอง

ความเข้มข้นของโครเมียมในสารละลายป้อนเข้า	99	ppm
ความเข้มข้นของโครเมียมในสารละลายสตริปกรดซัลฟูริกเข้า	0	ppm
ความเข้มข้นของโครเมียมในสารละลายสตริปกรดซัลฟูริกออก	24	ppm

$$\begin{aligned}\text{ร้อยละการนำกลับ} &= \frac{24 - 0}{99} \times 100 \\ &= 24.24\end{aligned}\quad (\text{ดังตาราง ค.2})$$

ง.3 ตัวอย่างการคำนวณค่าฟลักซ์ การซึมผ่าน และสัมประสิทธิ์การแยก

ข้อมูลจากภาคผนวก ค ตาราง ค.1 พิจารณาข้อมูลที่เป็นกรด-ด่างของสารละลาย ป้อนเท่ากับ 2.5 ของโลหะทองแดงในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่ง และโครเมียมในโมดูลเส้นใย กลวงคอลัมน์ที่สอง

ความเข้มข้นของทองแดงในสารละลายป้อนขาเข้า	106	ppm
ความเข้มข้นของทองแดงในสารละลายป้อนขาออก	92	ppm
น้ำหนักโมเลกุลของทองแดง	63.546	กรัมต่อโมล
ความเข้มข้นของโครเมียมในสารละลายป้อนขาเข้า	99	ppm
ความเข้มข้นของโครเมียมในสารละลายป้อนขาออก	70	ppm
น้ำหนักโมเลกุลของโครเมียม	51.9961	กรัมต่อโมล
ปริมาตรของสารละลายป้อนขาออก	3	ลิตร
พื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพของโมดูลเส้นใยกลวง	1.4	ตารางเมตร
เวลาที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง	30	นาที

1) การคำนวณค่าฟลักซ์

สำหรับทองแดง

$$\text{ฟลักซ์} = \frac{(106 - 92) \times 10^{-3}}{63.546} \times \frac{3}{(1.4)(30)}$$

$$= 1.57 \times 10^{-5} \quad (\text{ดังตารางที่ 4.1})$$

สำหรับโครเมียม

$$\text{ฟลักซ์} = \frac{(99 - 70) \times 10^{-3}}{51.9961} \times \frac{3}{(1.4)(30)}$$

$$= 3.98 \times 10^{-5} \quad (\text{ดังตารางที่ 4.1})$$

2) การคำนวณค่าการเลือกผ่าน

สำหรับทองแดง

$$\text{การเลือกผ่าน} = \frac{(1.57 \times 10^{-5})}{106} \times 63.546$$

$$= 9.43 \times 10^{-6}$$

(ดังตารางที่ 4.1)

สำหรับโครเมียม

$$\text{การเลือกผ่าน} = \frac{(3.98 \times 10^{-5})}{99} \times 51.9961$$

$$= 2.09 \times 10^{-5}$$

(ดังตารางที่ 4.1)

3) การคำนวณสัมประสิทธิ์การแยก

เมื่อทองแดงเป็นโลหะที่สนใจ

$$\text{สัมประสิทธิ์การแยก} = \frac{(9.43 \times 10^{-6})}{(2.09 \times 10^{-5})}$$

$$= 0.45$$

(ดังตารางที่ 4.1)

เมื่อโครเมียมเป็นโลหะที่สนใจ

$$\text{สัมประสิทธิ์การแยก} = \frac{(2.09 \times 10^{-5})}{(9.43 \times 10^{-6})}$$

$$= 2.22$$

(ดังตารางที่ 4.1)

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP อะตอมมิกอิมิสชันสเปกโทรสโกปี (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy, ICP-AES)

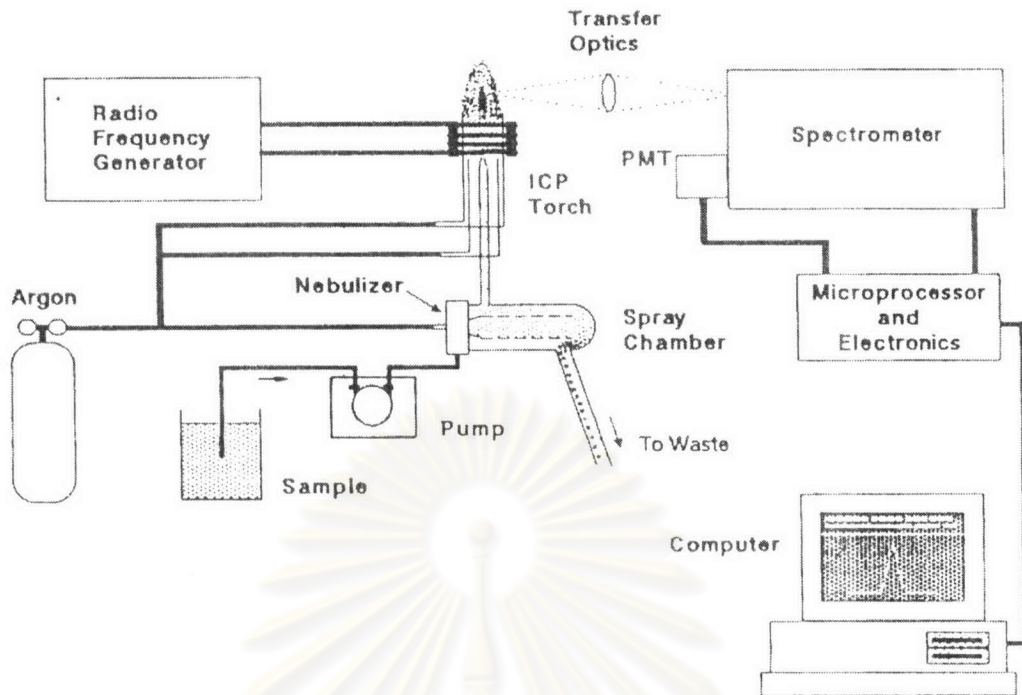
อิมิสชันสเปกโทรสโกปีเป็นวิธีการวิเคราะห์ ซึ่งอาศัยหลักการทำให้สารที่วิเคราะห์เปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นด้วยกระบวนการที่เหมาะสม เป็นการทำให้สารที่จะวิเคราะห์นั้นสามารถเปล่งแสง รังสี หรือสเปกตรัมออกมา ซึ่งจะอยู่ในช่วงยูวี-วิสิเบิลและมีลักษณะเฉพาะตัว สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณได้อย่างรวดเร็ว และวิเคราะห์ได้หลายๆ ธาตุในขณะเดียวกัน (Simultaneous Multielements Analysis) โดยสารตัวอย่างจะอยู่ในรูปของของแข็ง ของเหลว หรือแก๊สสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งสิ้น [แมน อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม, 2535]

จ.1 องค์ประกอบที่สำคัญต่างๆ ของเครื่อง ICPS

องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง ICP สเปกโทรมิเตอร์ มีดังนี้

- 1) Nebulizer, Spray Chamber และแก๊สอาร์กอน
- 2) ICP torch
- 3) Radiofrequency Generator
- 4) Spectrometer
- 5) Microprocessor และคอมพิวเตอร์

หลักการทำงานคร่าวๆ ของเครื่องมีดังนี้คือ สารที่จะทำการวิเคราะห์จะถูกส่งเข้าเครื่อง โดยสารละลายจะถูกเปลี่ยนให้เป็นละอองลอย (aerosol) โดยกระบวนการ nebulization แล้วสารละลายที่เป็นตัวอย่างนี้จะถูกพาเข้าพลาสมาของ ICP torch ซึ่งจะทำให้ตัวอย่างแห้งกลายเป็นไอกลายเป็นอะตอมแล้วเกิดการกระตุ้นหรือไอออไนซ์ อะตอมหรือไอออนที่ถูกกระตุ้น (excited) จะเปล่งแสงซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัวออกมา แสงที่เกิดขึ้นนี้จะผ่านเข้าไปในเครื่องสเปกโทรมิเตอร์เพื่อแยกเอาเฉพาะแสงที่ต้องการวัดที่ความยาวคลื่นต้องการ แล้วให้แสงดังกล่าวตกลงบนดีเทคเตอร์เพื่อวัดออกมาเป็นสัญญาณซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นความเข้มขั้นได้ ในการควบคุมแต่ละขั้นตอนตลอดจนข้อมูลที่ได้จะถูกพิมพ์หรือเก็บไว้ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ แสดงดังรูปที่ จ.1



รูปที่ ๑.1 องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง ICP [แม่น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม, 2535]

๑.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP

- 1) เตรียมสารละลายมาตรฐานของโลหะที่ต้องการวิเคราะห์ โดยความเข้มข้นต้องอยู่ในช่วงของความเข้มข้นของตัวอย่าง เตรียมสารละลายมาตรฐานประมาณ 5 ตัวอย่าง
- 2) เตรียมเครื่องมือ ICP ที่ต้องการวิเคราะห์ให้พร้อมใช้งาน โดยต้องเลือกความยาวคลื่นที่จะใช้ ซึ่งความยาวคลื่นแต่ละค่าเหมาะสมต่อโลหะเฉพาะชนิดเท่านั้น ดังตาราง ๑.1
- 3) นำสารละลายมาตรฐานมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP เพื่อทำกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (Standard curve)
- 4) นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP โดยเทียบกับค่าของกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน ทำให้ทราบความเข้มข้นของโลหะในสารละลายตัวอย่างได้

๑.4 การนำ ICP ไปประยุกต์ใช้งาน [Varnes, 1997]

- 1) ใช้ในการวิเคราะห์ Environmental Protection Agency (EPA) ของโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำ ดิน ของเสีย และตัวอย่างอากาศ
- 2) ใช้ในการวิเคราะห์โลหะที่ก่อให้เกิดความสีกหรือในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

- 3) ใช้ในการควบคุมคุณภาพเพื่อหาส่วนประกอบของธาตุต่างๆ อย่างแน่นอนของวัตถุ ดิบ อินเตอร์มีเดีย และผลิตภัณฑ์
- 4) ใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นพิษของตัวเร่งปฏิกิริยา
- 5) ใช้ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบของธาตุในสารที่ไม่ทราบค่า (Unknown materials)

ตาราง จ.1 แสดงค่าสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์โลหะด้วยเครื่องICPสเปกโทมิเตอร์ [Thompson and Walsh, 1989]

Element	Wavelength (nm)	Element	Wavelength (nm)
Al	394.400	Na	589.590
Al	308.215	Nb	319.500
As	193.760	Ni	341.480
B	249.680	Ni	231.600
Bi	223.060	P	178.290
Ca	315.890	Pb	220.350
Ca	393.370	S	180.731
Co	228.620	Si	288.160
Co	237.862	Sn	189.990
Cr	267.720	Sn	326.230
Cu	324.750	Sr	407.770
Fe	259.940	Ta	240.060
Fe	302.060	Ti	337.280
Ge	303.910	V	311.070
Mg	280.270	W	239.710
Mg	383.230	Zn	202.550
Mn	293.310	Zr	349.620
Mo	281.620		

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวขวัญตา นัคราเรือง เกิดเมื่อวันอาทิตย์ที่ 8 เมษายน พ.ศ. 2522 ที่อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา เป็นบุตรสาวคนที่สามในจำนวนบุตรสาวทั้งสิ้นของนายเกษม และนางขวัญดี นัคราเรือง สำเร็จการศึกษาชั้นประถมจากโรงเรียนอนุบาลสงขลา จังหวัดสงขลา ในปี 2534 ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนวรนาธิเฉลิม จังหวัดสงขลา ในปี 2537 และชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนมหาวชิราวุธ จังหวัดสงขลาในปี 2539 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จนสำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารในปี 2543 และภายในปีเดียวกันนี้ได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จการศึกษาในปี 2547



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย