

รายการอ้างอิง

- Baker, Richard, and Blume, Ingo. 1990. Couple Transport Membrane. in C. Porter, Mark. (eds.), Handbook of Industrial Membrane Technology, pp. 511-558. New Jersey: Noyes Publications.
- Barnes, D.E., and Marshall, G.D. 1995. Rapid Optimization of Chemical Parameter affecting Supported Liquid Membranes. Separation Science and Technology. 30(5): 751-776.
- Boyadzhiev, L., and Kyuchoukov, G. 1980. Further development of Carrier Mediated Extraction. Journal of Membrane Science. 6: 107.
- Butt, Allison. 1977. McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, pp. 521-526. Volume 3. USA: McGraw-Hill, Inc.
- Dahuron, Lise and Cussler, E. L. 1988. Protein Extraction with Hollow Fibers. AIChE Journal. 34 (1): 130-136.
- Danesi, P.R., Rickert, P.G. 1986. Some Observation on the Performance of Hollow-Fiber Supported Liquid Membranes for Co-Ni Separations. Solvent Extraction and Ion Exchange. 4 (1): 149-164.
- Dean, John A. 1992. Lange's Handbook of Chemistry, pp. 8.109-8.119. Fourteenth Edition. USA: McGraw-Hill inc.
- D'elia, Nancy A., Dahuron, Lise and Cussler E.L. 1986. Liquid-Liquid Extraction with Microporous Hollow Fibers. Journal of Membrane Science. 29: 309-319.
- Draxler, J., Furst, W., and Marr, R. 1988. Separation of Metal Species by Emulsion Liquid Membranes. Journal of Membrane Science. 43: 281-289.
- Dreher, T.M. and Stevens, G.W. 1998. Instability Mechanisms of Supported Liquid Membranes. Separation Science and Technology. 33(6): 835-853.

- Dworzak, W.R. and Naser, A.J. 1987. Pilot-Scale Evaluation of Supported Liquid Membrane Extraction. Separation Science and Technology. 22(2&3): 677-689.
- Galligan, James M., 1988. Encyclopedia Americana, pp. 759-761. Volume 7. USA: Grolier Incorporated.
- Gu, Zhong-Mao. 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 Winston Ho, W.S. and Sirkar, K.K. (eds.), Membrane Handbook, pp. 867-884. New York: Van Nostrand 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.
- Ho, W.S.W. and Li, N.N. 1992. Emulsion Liquid Membranes: Definitions. in Wintson Ho, W.S. and Sirkar, K.K. (eds.), Membrane Handbook, pp. 656–700. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Hoechst Celanese Coporation. 1995. Operating Manual: Laboratory Liquid Extraction System. n.p. (Type written).
- Izatt, R.M., Lamb, J.D., and Bruening , R.L. 1988. Comparison of Bulk, Emulsion, Thin Sheet Supported, and Hollow Fiber Supported Liquid Membranes in Macrocycle-Mediated Cation Separations. Separation Science and Technology. 23(12&13): 1645-1658.
- Juang, Ruey-Shin 1993. Permeation and Separation of Zinc and Copper by Supported Liquid Membrane Using Bis (2-ethylhexyl) phosphoric Acid as a Mobile Carrier. Ind. Eng. Chem. Res. 32 : 911-916.
- Kakoi, Nakano, Ura, Tsuyoshi, Kasami, Henry, Goto, Masahiro, and Nakashiro, Fumiyuki. 1998. Separation of Cobalt and Nickel by Liquid Surfactant Membranes Containing a Synthesized Cationic Surfactants. Separation Science and Technology. 33(8): 1163-1180.

- Komasawa, Isao, Otake, Tsutao and Yamashita, Tomohiro. 1983. Mechanism Kinetic of Copper Permeation through a Supported Liquid Membrane Containing a Hydroxyoxime as a Mobile Carrier. Ind. Eng. Chem. Fundam. 22: 127-131.
- Kordosky, G.A., Olafson, S.M., Lewis, R.G., and Deffner, V.L. 1987. A State-of-Art-Discussion on the Solvent Extraction Reagents Used for the Recovery of Copper from Dilute Sulfuric Acid Leach Solutions. Separation Science and Technology. 22 (2&3): 215-232.
- Lee, Kyung-Hee, Evans, D.F. and Cussler, E.L. 1978. Selective Copper Recovery with Two Type of Liquid Membranes. AIChE Journal. 24(5): 860-868.
- Li, N.N., Cahn, R.P., Naden, D. and Lai, R. W. M. 1983. Liquid Membrane Process for Copper Extraction. Hydrometallurgy. 9: 277-305.
- Liacono, O., Drioli, E., and Molinari, R. 1986. Metal Ion Separation and Concentration with Supported Liquid Membranes. Journal of Membrane Science. 28: 123-138.
- Marr, R., and Kopp, A. 1982. Liquid Membrane Technology a Survey of Phenomena, Mechanism and Models. International Chemical Engineering. 22(1): 44-59.
- Matsumoto, Michiaki, Matsuo, Kenji, Kondo, Kazuo and Nakashiro, Fumiuki. 1990. Effect of Anionic Surfactant on Copper Extraction with N-8-Quinolyl-p-Dodecylbenzenesulfonamid in a Hollow Fiber Membrane Extractor. Journal of Membrane Science. 53: 287-298.
- Nakano, Makoto, Takahashi, Katsuroku and Takeuchi, Hiroshi. 1987. A Method for Continuous Operation of Supported Liquid Membranes. Journal of Chemical Engineering of Japan. 20: 326-328.
- Nopphakorn Thamphiphit. 1996. Batch Extraction of Cobalt Ions in Hydrochloric acid Solution with a Hollow Fiber Supported Liquid Membrane in a Single Column. Master's Thesis, Department of Chemical Engineering, Graduate School, Chulalongkorn University.
- O' Hara , P.A., and Bohrer, M.P. 1989. Supported Liquid Membrane for Copper Transport. Journal of Membrane Science. 44: 273-287.

- Schultz, S., Jerome, Goddard, Joe D. and Suchdeo, Shyam R. 1974. Facilitated Transport via Carrier-Mediated Diffusion in Membranes. *AIChE Journal*. 20(3): 417-443.
- Schultz, G. 1988. Separation Techniques with Supported Liquid Membranes. *Desalination*. 68: 191-202.
- Shiau, Ching-Yeh, and Chen, Pai-Zoh. 1993. Theoretical Analysis of Copper-Ion Extraction through Hollow Fiber Supported Liquid Membranes. *Separation Science and Technology*. 28 (13&14): 2149-2165.
- Smith, Kenneth A., Meldon, Jerry H. and Colton, Clark K. 1973. An Analysis of Carrier-Facilitated Transport. *AIChE Journal*. 19(1): 102-111.
- Strzelbicki, J., and Charewicz, W. 1980. The Liquid Surfactant Membrane Separation of Copper, Cobalt and Nickel from Multicomponent Aqueous Solution. *Hydrometallurgy*. (5): 243-254 .
- Tanikaki, Masataka, Shiode, Tetsuo, Ueda, Masami and Eguchi, Wataru. 1988. Facilitated Transport of Zinc Chloride through Hollow Fiber Supported Liquid Membrane. Part 2. Membrane Stability. *Separation Science and Technology*. 23(10&11): 1161-1169.
- 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, Masaaki, Masuyama, Hideto, Takaya, Hitoshi, and Asano, Shigehiro. 1987. Development of Spiral-Type Supported Liquid Membrane Module for Separation and Concentration Metal Ions. *Separation Science and Technology*. 22 (11): 2175-2201.
- Tuddenham, W. M. and Dougall, P. A. 1979. *Encyclopedia of Chemical Technology*, pp. 819-869. Volume. 6. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Tutkun, O. and Kumbasa, R.A. 1994. Selective Transport of Copper through Liquid Membranes Using LIX 860 as Mobile Carrier. *Separation Science and Technology*. 29(16): 2197-2202.
- Yang, Ming-Chien, and Cussler, E.L. 1986. Designing Hollow Fiber Contractor. *AIChE Journal*. 32(11): 1910-1916.

Yun, Chang H., Prasad, Ravi, Guha, Asim K., and Sirkar, Kamarlesh. 1993. Hollow Fiber Solvent Extraction Removal of Toxic Heavy Metals from Aqueous Waste Stream. Ind. Eng. Chem. Res. 32: 1186-1195.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

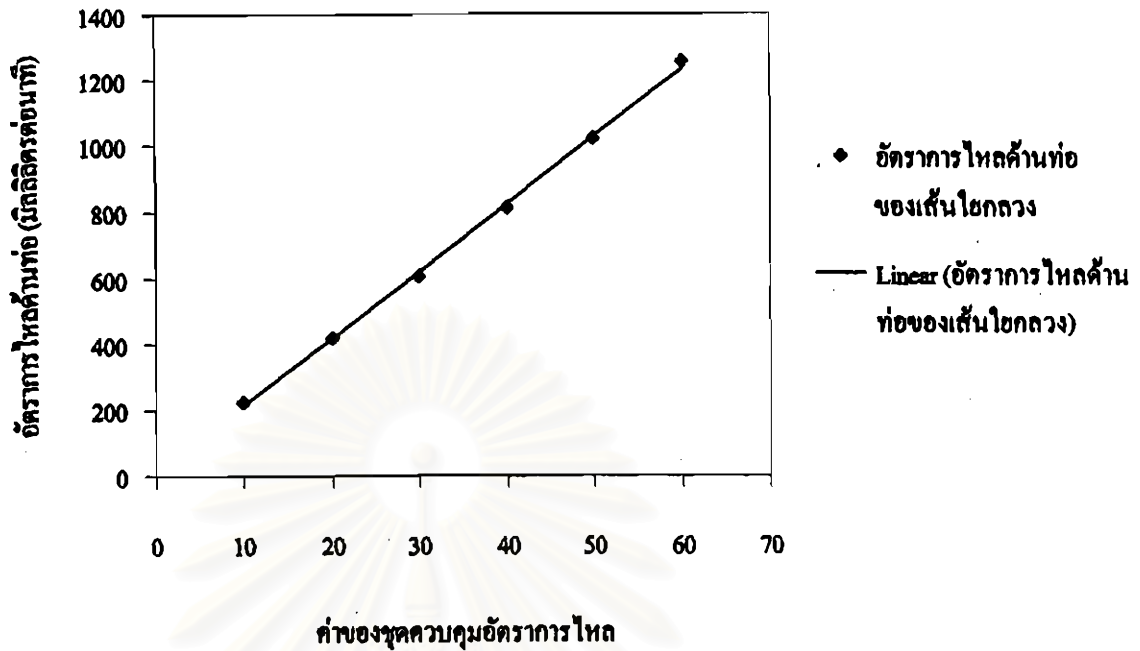
ภาคผนวก ก

ตาราง ก-1 ข้อมูลดิบสำหรับปรับค่ามาตรฐานของชุดควบคุมอัตราการไหล

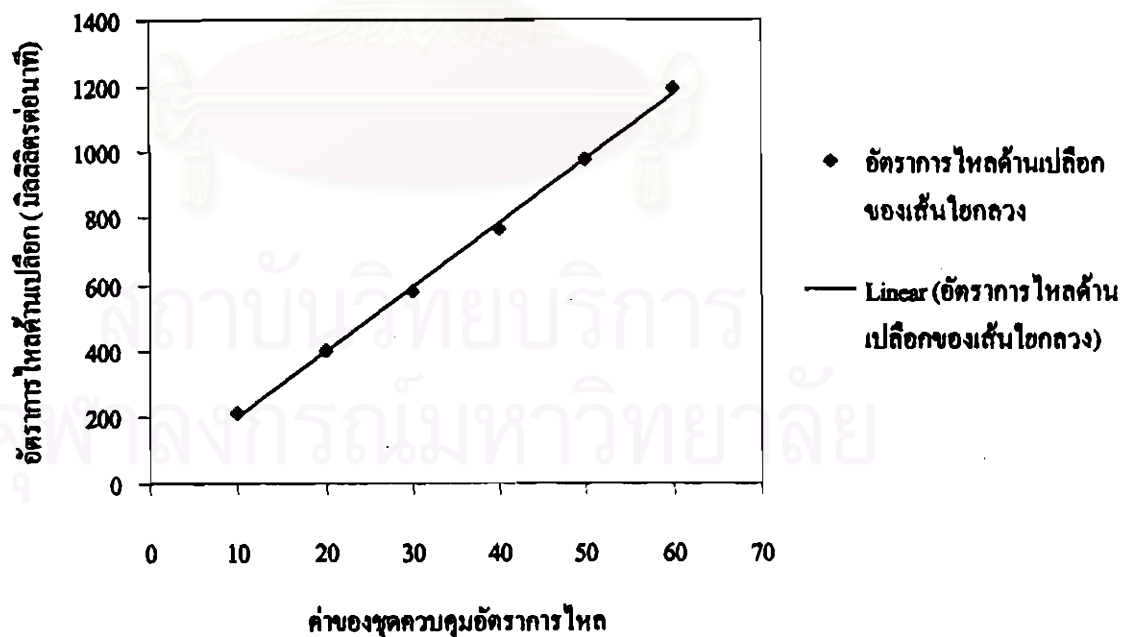
ค่าของชุดควบคุม อัตราการไหล	ปริมาตรที่ใช้ (มล.)	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ ในฝั่งของท่อ (วินาที)	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ ในฝั่งของเปลือก(วินาที)
10	100	26.94	28.29
20	100	14.34	15.13
30	100	9.87	10.37
40	100	7.40	7.81
50	100	5.90	6.13
60	100	4.78	5.02

ตาราง ก-2 ข้อมูลสำหรับปรับค่ามาตรฐานของชุดควบคุมอัตราการไหล

ค่าของชุด ควบคุมการไหล	อัตราการไหลด้านท่อ ของเส้นโยกลวง (มล./นาที)	อัตราการไหลด้านเปลือก ของเส้นโยกลวง (มล./นาที)
10	222.72	212.09
20	418.51	396.56
30	607.70	578.59
40	810.80	768.25
50	1016.95	978.79
60	1254.36	1194.74



รูปที่ ก-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดาวโหลของดาวฤกษ์ในฝั่งทอ



รูปที่ ก-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดาวโหลของดาวฤกษ์ในฝั่งเปลือก

ภาคผนวก ข

ตาราง ข-1 ผลการทดลองจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดต่อการสกัด
ไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{feed}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{ raffinate}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{strip}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{recovery}$ ppm
1% D2EHPA	96.28	79.30	-0.01	17.13
2% D2EHPA	97.58	68.05	0.02	30.11
3% D2EHPA	95.19	62.91	-0.05	32.53
4% D2EHPA	102.40	58.36	0.49	44.47
5% D2EHPA	100.50	48.22	0.01	52.05
10% D2EHPA	95.88	24.66	-0.08	70.36
15% D2EHPA	99.64	14.95	-0.02	83.26
20% D2EHPA	94.67	14.14	-0.03	80.66
25% D2EHPA	97.60	9.80	0.01	88.32
0.5% LIX 84-I	98.14	47.79	0.06	51.02
1% LIX 84-I	93.04	21.92	-0.05	71.41
2% LIX 84-I	103.30	7.54	0.46	96.08
3% LIX 84-I	96.37	7.14	0.09	89.45
4% LIX 84-I	97.10	6.28	0.17	89.10
5% LIX 84-I	99.07	2.20	-0.05	95.10
0.5% LIX 860-I	96.92	52.36	0.07	45.14
1% LIX 860-I	93.14	31.58	0.01	61.64
2% LIX 860-I	108.30	7.88	0.62	99.87
3% LIX 860-I	99.59	6.35	0.28	93.06
4% LIX 860-I	98.38	7.30	0.34	92.47
5% LIX 860-I	99.29	8.39	0.02	90.46

ตาราง ข-2 ผลการทดลองจากการศึกษาผลของชนิดสารสกัดต่อการสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[\text{Cu}^{2+}]_{\text{feed}}$ ppm	$[\text{Cu}^{2+}]_{\text{raffinate}}$ ppm	$[\text{Cu}^{2+}]_{\text{strip}}$ ppm	$[\text{Cu}^{2+}]_{\text{recovery}}$ ppm
1% D2EHPA	96.28	79.30	-0.01	17.13
2% D2EHPA	97.58	68.05	0.02	30.11
3% D2EHPA	95.19	62.91	-0.05	32.53
4% D2EHPA	102.40	58.36	0.49	44.47
5% D2EHPA	100.50	48.22	0.01	52.05
1% LIX 84-I	93.04	21.92	-0.05	71.41
2% LIX 84-I	103.30	7.54	0.46	96.08
3% LIX 84-I	96.37	7.14	0.09	89.45
4% LIX 84-I	97.10	6.28	0.17	89.10
5% LIX 84-I	99.07	2.20	-0.05	95.10
1% LIX 860-I	93.14	31.58	0.01	61.64
2% LIX 860-I	108.30	7.88	0.62	99.87
3% LIX 860-I	99.59	6.35	0.28	93.06
4% LIX 860-I	98.38	7.30	0.34	92.47
5% LIX 860-I	99.29	8.39	0.02	90.46

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-3 ผลการทดลองจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของ ไอออนทองแดงใน
วัฏภาคสารป้อนต่อการสกัด ไอออนทองแดง

experiment	$[\text{Cu}^{2+}]_{\text{feed}}$ ppm	$[\text{Cu}^{2+}]_{\text{raffinate}}$ ppm	$[\text{Cu}^{2+}]_{\text{strip}}$ ppm	$[\text{Cu}^{2+}]_{\text{recovery}}$ ppm
25% D2EHPA	0.9622	0.0026	0.0015	0.9192
25% D2EHPA	11.5396	0.1138	0.0071	10.9041
25% D2EHPA	97.6000	9.8000	0.0800	88.3200
3% LIX 84-I	1.0743	0.0022	0.0031	1.0520
3% LIX 84-I	10.8460	0.0327	0.0048	10.8442
3% LIX 84-I	96.3700	7.1400	0.0890	89.4500
3% LIX 860-I	0.9660	0.0011	0.0000	0.8654
3% LIX 860-I	11.1394	0.0385	0.0067	11.1031
3% LIX 860-I	99.5900	6.3500	0.2790	93.0600

ตาราง ข-4 ผลการทดลองจากการศึกษาผลของรูปแบบการไหลของสารละลายป้อน
ต่อการสกัด ไอออนทองแดง

experiment	$[\text{Cu}^{2+}]_{\text{feed}}$ ppm	$[\text{Cu}^{2+}]_{\text{raffinate}}$ ppm	$[\text{Cu}^{2+}]_{\text{strip}}$ ppm	$[\text{Cu}^{2+}]_{\text{recovery}}$ ppm
1% LIX 84-I	93.04	21.92	-0.05	71.41
2% LIX 84-I	103.30	7.54	0.46	96.08
3% LIX 84-I	96.37	7.14	0.09	89.45
4% LIX 84-I	97.10	6.28	0.17	89.10
5% LIX 84-I	99.07	2.20	-0.05	95.10
1% LIX 84-I s	99.60	24.32	0.08	75.96
2% LIX 84-I s	101.70	12.49	0.17	89.52
3% LIX 84-I s	104.40	4.87	0.10	99.03
4% LIX 84-I s	98.72	9.52	-0.01	89.48
5% LIX 84-I s	100.30	3.25	0.05	97.60

ตาราง ข-5 ผลการทดลองจากการศึกษาผลของสารละลายบีฟเฟอรินในสารละลายป้อน
ต่อการสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[\text{Cu}^{2+}]_{\text{feed}}$ ppm	$[\text{Cu}^{2+}]_{\text{raffinate}}$ ppm	$[\text{Cu}^{2+}]_{\text{strip}}$ ppm	$[\text{Cu}^{2+}]_{\text{recovery}}$ ppm
1% D2EHPA	96.28	79.30	-0.012	17.13
2% D2EHPA	97.58	68.05	0.02	30.11
3% D2EHPA	95.19	62.91	-0.05	32.53
4% D2EHPA	102.40	58.36	0.49	44.47
5% D2EHPA	100.50	48.22	0.01	52.05
1% D2EHPA b.	101.20	33.50	0.08	68.12
2% D2EHPA b.	104.10	16.14	0.12	84.79
3% D2EHPA b.	102.10	13.94	0.16	85.41
4% D2EHPA b.	107.70	15.09	0.19	91.35
5% D2EHPA b.	108.00	6.82	0.23	99.79

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-6 ผลการทดลองจากการศึกษาผลของการไหลเวียนสารละลายสตริปต่อการสกัดไอออนทองแดง

เวลา (นาที)	$[Cu^{2+}]_{feed}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{effluent\ stream,t}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{strip}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{recovery,t}$ ppm
5	97.44	0.53	-0.097	37.17
10	97.44	0.33	-0.097	104.80
15	97.44	0.19	-0.097	215.30
20	97.44	0.21	-0.097	316.50
25	97.44	1.53	-0.097	417.30
30	97.44	0.94	-0.097	525.30
35	97.44	6.96	-0.097	621.40
40	97.44	13.59	-0.097	705.70
45	97.44	23.11	-0.097	788.60
50	97.44	35.56	-0.097	865.00

ตาราง ข-7 ผลการทดลองจากการศึกษาผลของการไหลเวียนสารละลายสตริปต่อการสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{feed}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{effluent}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{strip}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{recovery}$ ppm
5 % D2EHPA circulate strip 1 l.	97.44	8.05	-0.10	873

ภาคผนวก ก

ตาราง ก-1 ผลการคำนวณค่าฟลักซ์ของไอออนทองแดงจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดต่อการสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{feed}$	$[Cu^{2+}]_{raffinate}$	total extraction cup.		$[Cu^{2+}]_{strip}$	$[Cu^{2+}]_{recovery}$	total recovery cup.	
	ppm	ppm	mg.	ug/(cm ² *min)	ppm	ppm	mg.	ug/(cm ² *min)
1% D2EHPA	96.28	79.30	169.80	0.25	-0.01	17.13	171.42	0.25
2% D2EHPA	97.58	68.05	295.30	0.43	0.02	30.11	300.93	0.44
3% D2EHPA	95.19	62.91	322.80	0.48	-0.05	32.53	325.75	0.49
4% D2EHPA	102.40	58.36	440.40	0.61	0.49	44.47	439.82	0.61
5% D2EHPA	100.50	48.22	522.80	0.74	0.01	52.05	520.43	0.74
10% D2EHPA	95.88	24.66	712.20	1.06	-0.08	70.36	704.40	1.05
15% D2EHPA	99.64	14.95	846.90	1.21	-0.02	83.26	832.77	1.19
20% D2EHPA	94.67	14.14	805.30	1.22	-0.03	80.66	806.92	1.22
25% D2EHPA	97.60	9.80	878.00	1.29	0.01	88.32	883.12	1.29
0.5% LIX 84-I	98.14	47.79	503.50	0.73	0.06	51.02	509.64	0.74
1% LIX 84-I	93.04	21.92	711.20	1.09	-0.05	71.41	714.59	1.10
2% LIX 84-I	103.30	7.54	957.60	1.32	0.46	96.08	956.17	1.32
3% LIX 84-I	96.37	7.14	892.30	1.32	0.09	89.45	893.61	1.32
4% LIX 84-I	97.10	6.28	908.20	1.34	0.17	89.10	889.30	1.31
5% LIX 84-I	99.07	2.20	968.70	1.40	-0.05	95.10	951.47	1.37
0.5% LIX 860-I	96.92	52.36	445.60	0.66	0.07	45.14	450.72	0.66
1% LIX 860-I	93.14	31.58	615.60	0.94	0.01	61.64	616.32	0.95
2% LIX 860-I	108.30	7.88	1004.20	1.32	0.62	99.87	992.49	1.31
3% LIX 860-I	99.59	6.35	932.40	1.34	0.28	93.06	927.81	1.33
4% LIX 860-I	98.38	7.30	910.80	1.32	0.34	92.47	921.34	1.34
5% LIX 860-I	99.29	8.39	909.00	1.31	0.02	90.46	904.43	1.30

ตาราง ก-2 ผลการคำนวณค่าร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับของไอออนทองแดงจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดต่อการสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{feed}$	$[Cu^{2+}]_{raffinate}$	total extraction cup.		$[Cu^{2+}]_{strip}$	$[Cu^{2+}]_{recovery}$	total recovery cup.	
	ppm	ppm	mg.	%extraction	ppm	ppm	mg.	% recovery
1% D2EHPA	96.28	79.30	169.80	17.64	-0.01	17.13	171.42	17.80
2% D2EHPA	97.58	68.05	295.30	30.26	0.02	30.11	300.93	30.84
3% D2EHPA	95.19	62.91	322.80	33.91	-0.05	32.53	325.75	34.22
4% D2EHPA	102.40	58.36	440.40	43.01	0.49	44.47	439.82	42.95
5% D2EHPA	100.50	48.22	522.80	52.02	0.01	52.05	520.43	51.78
10% D2EHPA	95.88	24.66	712.20	74.28	-0.08	70.36	704.40	73.47
15% D2EHPA	99.64	14.95	846.90	85.00	-0.02	83.26	832.77	83.58
20% D2EHPA	94.67	14.14	805.30	85.06	-0.03	80.66	806.92	85.24
25% D2EHPA	97.60	9.80	878.00	89.96	0.01	88.32	883.12	90.48
0.5% LIX 84-I	98.14	47.79	503.50	51.30	0.06	51.02	509.64	51.93
1% LIX 84-I	93.04	21.92	711.20	76.44	-0.05	71.41	714.59	76.80
2% LIX 84-I	103.30	7.54	957.60	92.70	0.46	96.08	956.17	92.56
3% LIX 84-I	96.37	7.14	892.30	92.59	0.09	89.45	893.61	92.73
4% LIX 84-I	97.10	6.28	908.20	93.53	0.17	89.10	889.30	91.59
5% LIX 84-I	99.07	2.20	968.70	97.78	-0.05	95.10	951.47	96.04
0.5% LIX 860-I	96.92	52.36	445.60	45.98	0.07	45.14	450.72	46.50
1% LIX 860-I	93.14	31.58	615.60	66.09	0.01	61.64	616.32	66.17
2% LIX 860-I	108.30	7.88	1004.20	92.72	0.62	99.87	992.49	91.64
3% LIX 860-I	99.59	6.35	932.40	93.62	0.28	93.06	927.81	93.16
4% LIX 860-I	98.38	7.30	910.80	92.58	0.34	92.47	921.34	93.65
5% LIX 860-I	99.29	8.39	909.00	91.55	0.02	90.46	904.43	91.09

ตาราง ก-3 ผลการคำนวณค่าฟลักซ์ของไอออนทองแดงจากการศึกษาผลของชนิดสารสกัดต่อการสกัด
ไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{feed}$	$[Cu^{2+}]_{raffinate}$	total extraction cup.		$[Cu^{2+}]_{strip}$	$[Cu^{2+}]_{recovery}$	total recovery cup.	
	ppm	ppm	mg.	ug/(cm ² *min)	ppm	ppm	mg.	ug/(cm ² *min)
1% D2EHPA	96.28	79.30	169.80	0.25	-0.01	17.13	171.42	0.25
2% D2EHPA	97.58	68.05	295.30	0.43	0.02	30.11	300.93	0.44
3% D2EHPA	95.19	62.91	322.80	0.48	-0.05	32.53	325.75	0.49
4% D2EHPA	102.40	58.36	440.40	0.61	0.49	44.47	439.82	0.61
5% D2EHPA	100.50	48.22	522.80	0.74	0.01	52.05	520.43	0.74
1% LIX 84-I	93.04	21.92	711.20	1.09	-0.05	71.41	714.59	1.10
2% LIX 84-I	103.30	7.54	957.60	1.32	0.46	96.08	956.17	1.32
3% LIX 84-I	96.37	7.14	892.30	1.32	0.09	89.45	893.61	1.32
4% LIX 84-I	97.10	6.28	908.20	1.34	0.17	89.10	889.30	1.31
5% LIX 84-I	99.07	2.20	968.70	1.40	-0.05	95.10	951.47	1.37
1% LIX 860-I	93.14	31.58	615.60	0.94	0.01	61.64	616.32	0.95
2% LIX 860-I	108.30	7.88	1004.20	1.32	0.62	99.87	992.49	1.31
3% LIX 860-I	99.59	6.35	932.40	1.34	0.28	93.06	927.81	1.33
4% LIX 860-I	98.38	7.30	910.80	1.32	0.34	92.47	921.34	1.34
5% LIX 860-I	99.29	8.39	909.00	1.31	0.02	90.46	904.43	1.30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก-4 ผลการคำนวณค่าร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับของไอออนทองแดงจากการศึกษาผลของชนิดสารสกัดต่อการสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{feed}$	$[Cu^{2+}]_{raffinate}$	total extraction cup.		$[Cu^{2+}]_{strip}$	$[Cu^{2+}]_{recovery}$	total recovery cup.	
	ppm	ppm	mg.	% extraction	ppm	ppm	mg.	% recovery
1% D2EHPA	96.28	79.30	169.80	17.64	-0.01	17.13	171.42	17.80
2% D2EHPA	97.58	68.05	295.30	30.26	0.02	30.11	300.93	30.84
3% D2EHPA	95.19	62.91	322.80	33.91	-0.05	32.53	325.75	34.22
4% D2EHPA	102.40	58.36	440.40	43.01	0.49	44.47	439.82	42.95
5% D2EHPA	100.50	48.22	522.80	52.02	0.01	52.05	520.43	51.78
1% LIX 84-I	93.04	21.92	711.20	76.44	-0.05	71.41	714.59	76.80
2% LIX 84-I	103.30	7.54	957.60	92.70	0.46	96.08	956.17	92.56
3% LIX 84-I	96.37	7.14	892.30	92.59	0.09	89.45	893.61	92.73
4% LIX 84-I	97.10	6.28	908.20	93.53	0.17	89.10	889.30	91.59
5% LIX 84-I	99.07	2.20	968.70	97.78	-0.05	95.10	951.47	96.04
1% LIX 860-I	93.14	31.58	615.60	66.09	0.01	61.64	616.32	66.17
2% LIX 860-I	108.30	7.88	1004.20	92.72	0.62	99.87	992.49	91.64
3% LIX 860-I	99.59	6.35	932.40	93.62	0.28	93.06	927.81	93.16
4% LIX 860-I	98.38	7.30	910.80	92.58	0.34	92.47	921.34	93.65
5% LIX 860-I	99.29	8.39	909.00	91.55	0.02	90.46	904.43	91.09

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก-5 ผลการคำนวณค่าฟลักซ์ของไอออนทองแดงจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของไอออนทองแดงในวิทยาศาสตร์ละลายป้อนต่อการสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{feed}$	$[Cu^{2+}]_{raffinate}$	total extraction cup.		$[Cu^{2+}]_{strip}$	$[Cu^{2+}]_{recovery}$	total recovery cup.	
	ppm	ppm	mg.	ug/(cm ² *min)	ppm	ppm	mg.	ug/(cm ² *min)
25% D2EHPA	0.9622	0.0026	9.5965	0.0142	0.0015	0.9192	9.1774	0.0136
25% D2EHPA	11.5396	0.1138	114.2573	0.1414	0.0071	10.9041	108.9694	0.1349
25% D2EHPA	97.6000	9.8000	878.0000	1.2851	0.0800	88.3200	882.4000	1.2916
3% LIX 84-I	1.0743	0.0022	10.7218	0.0143	0.0031	1.0520	10.4888	0.0139
3% LIX 84-I	10.8460	0.0327	108.1326	0.1424	0.0048	10.8442	108.3936	0.1428
3% LIX 84-I	96.3700	7.1400	892.3000	1.3227	0.0890	89.4500	893.6100	1.3247
3% LIX 860-I	0.9660	0.0011	9.6487	0.0143	0.0000	0.8654	8.6539	0.0128
3% LIX 860-I	11.1394	0.0385	111.0087	0.1424	0.0067	11.1031	110.9641	0.1423
3% LIX 860-I	99.5900	6.3500	932.4000	1.3375	0.2790	93.0600	927.8100	1.3309

ตาราง ก-6 ผลการคำนวณค่าร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับของไอออนทองแดงจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของไอออนทองแดงในวิทยาศาสตร์ละลายป้อนต่อการสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{feed}$	$[Cu^{2+}]_{raffinate}$	total extraction cup.		$[Cu^{2+}]_{strip}$	$[Cu^{2+}]_{recovery}$	total recovery cup.	
	ppm	ppm	mg.	% extraction	ppm	ppm	mg.	% recovery
25% D2EHPA	0.9622	0.0026	9.5965	99.73	0.0015	0.9192	9.1774	95.38
25% D2EHPA	11.5396	0.1138	114.2573	99.01	0.0071	10.9041	108.9694	94.43
25% D2EHPA	97.6000	9.8000	878.0000	89.96	0.0800	88.3200	882.4000	90.41
3% LIX 84-I	1.0743	0.0022	10.7218	99.80	0.0031	1.0520	10.4888	97.63
3% LIX 84-I	10.8460	0.0327	108.1326	99.70	0.0048	10.8442	108.3936	99.94
3% LIX 84-I	96.3700	7.1400	892.3000	92.59	0.0890	89.4500	893.6100	92.73
3% LIX 860-I	0.9660	0.0011	9.6487	99.88	0.0000	0.8654	8.6539	89.58
3% LIX 860-I	11.1394	0.0385	111.0087	99.65	0.0067	11.1031	110.9641	99.61
3% LIX 860-I	99.5900	6.3500	932.4000	93.62	0.2790	93.0600	927.8100	93.16

ตาราง ก-7 ผลการคำนวณค่าฟลักซ์ของไอออนทองแดงจากการศึกษาผลของรูปแบบการไหลของสารละลายป้อนต่อการสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{feed}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{ raffinate}$ ppm	total extraction cup.		$[Cu^{2+}]_{strip}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{recovery}$ ppm	total recovery cup.	
			mg.	ug/(cm ² *min)			mg.	ug/(cm ² *min)
1% LIX 84-I	93.04	21.92	711.20	1.09	-0.05	71.41	714.59	1.10
2% LIX 84-I	103.30	7.54	957.60	1.32	0.46	96.08	956.17	1.32
3% LIX 84-I	96.37	7.14	892.30	1.32	0.09	89.45	893.61	1.32
4% LIX 84-I	97.10	6.28	908.20	1.34	0.17	89.10	889.30	1.31
5% LIX 84-I	99.07	2.20	968.70	1.40	-0.05	95.10	951.47	1.37
1% LIX 84-I s	99.60	24.32	752.80	1.08	0.08	75.96	758.84	1.09
2% LIX 84-I s	101.70	12.49	892.10	1.25	0.17	89.52	893.50	1.26
3% LIX 84-I s	104.40	4.87	995.30	1.36	0.10	99.03	989.26	1.35
4% LIX 84-I s	98.72	9.52	892.00	1.29	-0.01	89.48	894.94	1.30
5% LIX 84-I s	100.30	3.25	970.50	1.38	0.05	97.60	975.49	1.39

ตาราง ก-8 ผลการคำนวณค่าร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับของไอออนทองแดงจากการศึกษาผลของรูปแบบการไหลของสารละลายป้อนต่อการสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{feed}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{ raffinate}$ ppm	total extraction cup.		$[Cu^{2+}]_{strip}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{recovery}$ ppm	total recovery cup.	
			mg.	%extraction			mg.	% recovery
1% LIX 84-I	93.04	21.92	711.20	76.44	-0.05	71.41	714.59	76.80
2% LIX 84-I	103.30	7.54	957.60	92.70	0.46	96.08	956.17	92.56
3% LIX 84-I	96.37	7.14	892.30	92.59	0.09	89.45	893.61	92.73
4% LIX 84-I	97.10	6.28	908.20	93.53	0.17	89.10	889.30	91.59
5% LIX 84-I	99.07	2.20	968.70	97.78	-0.05	95.10	951.47	96.04
1% LIX 84-I s	99.60	24.32	752.80	75.58	0.08	75.96	758.84	76.19
2% LIX 84-I s	101.70	12.49	892.10	87.72	0.17	89.52	893.50	87.86
3% LIX 84-I s	104.40	4.87	995.30	95.34	0.10	99.03	989.26	94.76
4% LIX 84-I s	98.72	9.52	892.00	90.36	-0.01	89.48	894.94	90.65
5% LIX 84-I s	100.30	3.25	970.50	96.76	0.05	97.60	975.49	97.26

ตาราง ก-9 ผลการคำนวณค่าฟลักซ์ของไอออนทองแดงจากการศึกษาผลของการควบคุมความเป็นกรด-ด่างของวิทยาศาสตร์ละลายป้อนด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ต่อการสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{feed}$	$[Cu^{2+}]_{raffinate}$	total extraction cup.		$[Cu^{2+}]_{strip}$	$[Cu^{2+}]_{recovery}$	total recovery cup.	
	ppm	ppm	mg.	ug/(cm ² *min)	ppm	ppm	mg.	ug/(cm ² *min)
1% D2EHPA	96.28	79.30	169.80	0.25	-0.012	17.13	171.42	0.25
2% D2EHPA	97.58	68.05	295.30	0.43	0.02	30.11	300.93	0.44
3% D2EHPA	95.19	62.91	322.80	0.48	-0.05	32.53	325.75	0.49
4% D2EHPA	102.40	58.36	440.40	0.61	0.49	44.47	439.82	0.61
5% D2EHPA	100.50	48.22	522.80	0.74	0.01	52.05	520.43	0.74
1% D2EHPA b.	101.20	33.50	677.00	0.96	0.08	68.12	680.40	0.96
2% D2EHPA b.	104.10	16.14	879.60	1.21	0.12	84.79	846.70	1.16
3% D2EHPA b.	102.10	13.94	881.60	1.23	0.16	85.41	852.50	1.19
4% D2EHPA b.	107.70	15.09	926.10	1.23	0.19	91.35	911.60	1.21
5% D2EHPA b.	108.00	6.82	1011.80	1.34	0.23	99.79	995.60	1.32

ตาราง ก-10 ผลการคำนวณค่าร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับของไอออนทองแดงจากการศึกษาผลของการควบคุมความเป็นกรด-ด่างของวิทยาศาสตร์ละลายป้อนด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ต่อการสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{feed}$	$[Cu^{2+}]_{raffinate}$	total extraction cup.		$[Cu^{2+}]_{strip}$	$[Cu^{2+}]_{recovery}$	total recovery cup.	
	ppm	ppm	mg.	% extraction	ppm	ppm	mg.	% recovery
1% D2EHPA	96.28	79.30	169.80	17.64	-0.01	17.13	171.42	17.80
2% D2EHPA	97.58	68.05	295.30	30.26	0.02	30.11	300.93	30.84
3% D2EHPA	95.19	62.91	322.80	33.91	-0.05	32.53	325.75	34.22
4% D2EHPA	102.40	58.36	440.40	43.01	0.49	44.47	439.82	42.95
5% D2EHPA	100.50	48.22	522.80	52.02	0.01	52.05	520.43	51.78
1% D2EHPA b.	101.20	33.50	677.00	66.90	0.08	68.12	680.40	67.23
2% D2EHPA b.	104.10	16.14	879.60	84.50	0.12	84.79	846.70	81.34
3% D2EHPA b.	102.10	13.94	881.60	86.35	0.16	85.41	852.50	83.50
4% D2EHPA b.	107.70	15.09	926.10	85.99	0.19	91.35	911.60	84.64
5% D2EHPA b.	108.00	6.82	1011.80	93.69	0.23	99.79	995.60	92.19

ตาราง ก-11 ผลการคำนวณค่าร้อยละการสกัดสะสมและร้อยละการนำกลับสะสมของไอออนทองแดง
ที่เวลาต่าง ๆ จากการศึกษาผลของการไหลเวียนสารละลายสตริปต่อการสกัดไอออนทองแดง

เวลา (นาที)	$[Cu^{2+}]_{feed}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{raffinate,t}$ ppm	total extraction cup.			$[Cu^{2+}]_{strip}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{recovery,t}$ ppm	% recovery,t
			mg.	acc. Cu^{2+}	% extraction,t			
5	97.44	0.53	96.91	96.91	99.46	-0.097	37.17	38.15
10	97.44	0.33	97.11	194.02	99.56	-0.097	104.80	53.78
15	97.44	0.19	97.25	291.27	99.64	-0.097	215.30	73.65
20	97.44	0.21	97.23	388.49	99.68	-0.097	316.50	81.20
25	97.44	1.53	95.91	484.41	99.43	-0.097	417.30	85.65
30	97.44	0.94	96.50	580.91	99.36	-0.097	525.30	89.85
35	97.44	6.96	90.48	671.39	98.43	-0.097	621.40	91.10
40	97.44	13.59	83.85	755.24	96.88	-0.097	705.70	90.53
45	97.44	23.11	74.33	829.57	94.60	-0.097	788.60	89.92
50	97.44	35.56	61.88	891.45	91.49	-0.097	865.00	88.77

ตาราง ก-12 ผลการคำนวณค่าร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับของไอออนทองแดงจากการศึกษาผล
ของการไหลเวียนสารละลายสตริปต่อการสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{feed}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{raffinate}$ ppm	total extraction cup.		$[Cu^{2+}]_{strip}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{recovery}$ ppm	total recovery cup.	
			mg.	% extraction			mg.	% recovery
5 % D2EHPA	97.44	8.05	893.9	91.74	-0.10	873	873.10	89.60

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก-13 ผลการคำนวณสมดุลมวลจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดต่อการสกัด
ไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{feed}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{refinam}$ ppm	extraction mg.	$[Cu^{2+}]_{strip}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{recovery}$ ppm	recovery mg.	different mg.	% different
1% D2EHPA	96.28	79.30	169.80	-0.01	17.13	171.42	-1.62	-0.17
2% D2EHPA	97.58	68.05	295.30	0.02	30.11	300.93	-5.63	-0.58
3% D2EHPA	95.19	62.91	322.80	-0.05	32.53	325.75	-2.95	-0.31
4% D2EHPA	102.40	58.36	440.40	0.49	44.47	439.82	0.58	0.06
5% D2EHPA	100.50	48.22	522.80	0.01	52.05	520.43	2.37	0.24
10% D2EHPA	95.88	24.66	712.20	-0.08	70.36	704.40	7.80	0.81
15% D2EHPA	99.64	14.95	846.90	-0.02	83.26	832.77	14.13	1.42
20% D2EHPA	94.67	14.14	805.30	-0.03	80.66	806.92	-1.62	-0.17
25% D2EHPA	97.60	9.80	878.00	0.01	88.32	883.12	-5.12	-0.52
0.5% LIX 84-I	98.14	47.79	503.50	0.06	51.02	509.64	-6.14	-0.63
1% LIX 84-I	93.04	21.92	711.20	-0.05	71.41	714.59	-3.39	-0.36
2% LIX 84-I	103.30	7.54	957.60	0.46	96.08	956.17	1.43	0.14
3% LIX 84-I	96.37	7.14	892.30	0.09	89.45	893.61	-1.31	-0.14
4% LIX 84-I	97.10	6.28	908.20	0.17	89.10	889.30	18.90	1.95
5% LIX 84-I	99.07	2.20	968.70	-0.05	95.10	951.47	17.23	1.74
0.5% LIX 860-I	96.92	52.36	445.60	0.07	45.14	450.72	-5.12	-0.53
1% LIX 860-I	93.14	31.58	615.60	0.01	61.64	616.32	-0.72	-0.08
2% LIX 860-I	108.30	7.88	1004.20	0.62	99.87	992.49	11.71	1.08
3% LIX 860-I	99.59	6.35	932.40	0.28	93.06	927.81	4.59	0.46
4% LIX 860-I	98.38	7.30	910.80	0.34	92.47	921.34	-10.54	-1.07
5% LIX 860-I	99.29	8.39	909.00	0.02	90.46	904.43	4.57	0.46

ตาราง ก-14 ผลการคำนวณสมมูลมวลจากการศึกษาผลของชนิดสารสกัดต่อการสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{feed}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{effluent}$ ppm	extraction mg.	$[Cu^{2+}]_{strip}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{recovery}$ ppm	recovery mg.	different mg.	% different
1% D2EHPA	96.28	79.30	169.80	-0.01	17.13	171.42	-1.62	-0.17
2% D2EHPA	97.58	68.05	295.30	0.02	30.11	300.93	-5.63	-0.58
3% D2EHPA	95.19	62.91	322.80	-0.05	32.53	325.75	-2.95	-0.31
4% D2EHPA	102.40	58.36	440.40	0.49	44.47	439.82	0.58	0.06
5% D2EHPA	100.50	48.22	522.80	0.01	52.05	520.43	2.37	0.24
1% LIX 84-I	93.04	21.92	711.20	-0.05	71.41	714.59	-3.39	-0.36
2% LIX 84-I	103.30	7.54	957.60	0.46	96.08	956.17	1.43	0.14
3% LIX 84-I	96.37	7.14	892.30	0.09	89.45	893.61	-1.31	-0.14
4% LIX 84-I	97.10	6.28	908.20	0.17	89.10	889.30	18.90	1.95
5% LIX 84-I	99.07	2.20	968.70	-0.05	95.10	951.47	17.23	1.74
1% LIX 860-I	93.14	31.58	615.60	0.01	61.64	616.32	-0.72	-0.08
2% LIX 860-I	108.30	7.88	1004.20	0.62	99.87	992.49	11.71	1.08
3% LIX 860-I	99.59	6.35	932.40	0.28	93.06	927.81	4.59	0.46
4% LIX 860-I	98.38	7.30	910.80	0.34	92.47	921.34	-10.54	-1.07
5% LIX 860-I	99.29	8.39	909.00	0.02	90.46	904.43	4.57	0.46

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก-15 ผลการคำนวณสมมูลมวลจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของไอออนทองแดงในวัฏภาค
สารละลายป้อนต่อการสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{\text{feed}}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{\text{raffinate}}$ ppm	extraction mg.	$[Cu^{2+}]_{\text{strip}}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{\text{recovery}}$ ppm	recovery mg.	different mg.	% different
25% D2EHPA	0.9622	0.0026	9.5965	0.0015	0.9192	9.1774	0.4191	4.36
25% D2EHPA	11.5396	0.1138	114.2573	0.0071	10.9041	108.9694	5.2879	4.58
25% D2EHPA	97.6000	9.8000	878.0000	0.0800	88.3200	882.4000	-4.4000	-0.45
3% LIX 84-I	1.0743	0.0022	10.7218	0.0031	1.0520	10.4888	0.2330	2.17
3% LIX 84-I	10.8460	0.0374	108.0860	0.0048	10.8442	108.3936	-0.3076	-0.28
3% LIX 84-I	96.3700	7.1400	892.3000	0.0890	89.4500	893.6100	-1.3100	-0.14
3% LIX 860-I	0.9660	0.0011	9.6487	0.0000	0.8654	8.6539	0.9948	10.30
3% LIX 860-I	11.1394	0.0385	111.0087	0.0067	11.1031	110.9641	0.0446	0.04
3% LIX 860-I	99.5900	6.3500	932.4000	0.2790	93.0600	927.8100	4.5900	0.46

ตาราง ก-16 ผลการคำนวณสมมูลมวลจากการศึกษาผลของรูปแบบการไหลของสารละลายป้อนต่อ
การสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{\text{feed}}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{\text{raffinate}}$ ppm	extraction mg.	$[Cu^{2+}]_{\text{strip}}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{\text{recovery}}$ ppm	recovery mg.	different mg.	% different
1% LIX 84-I	93.04	21.92	711.20	-0.05	71.41	714.59	-3.39	-0.36
2% LIX 84-I	103.30	7.54	957.60	0.46	96.08	956.17	1.43	0.14
3% LIX 84-I	96.37	7.14	892.30	0.09	89.45	893.61	-1.31	-0.14
4% LIX 84-I	97.10	6.28	908.20	0.17	89.10	889.30	18.90	1.95
5% LIX 84-I	99.07	2.20	968.70	-0.05	95.10	951.47	17.23	1.74
1% LIX 84-I s	99.60	24.32	752.80	0.08	75.96	758.84	-6.04	-0.61
2% LIX 84-I s	101.70	12.49	892.10	0.17	89.52	893.50	-1.40	-0.14
3% LIX 84-I s	104.40	4.87	995.30	0.10	99.03	989.26	6.04	0.58
4% LIX 84-I s	98.72	9.52	892.00	-0.01	89.48	894.94	-2.94	-0.30
5% LIX 84-I s	100.30	3.25	970.50	0.05	97.60	975.49	-4.99	-0.50

ตาราง ก-17 ผลการคำนวณสมดุลมวลจากการศึกษาผลของสารละลายบัฟเฟอร์ในสารละลายป้อนต่อการสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{feed}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{raffinate}$ ppm	extraction mg.	$[Cu^{2+}]_{strip}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{recovery}$ ppm	recovery mg.	different mg.	% different
1% D2EHPA	96.28	79.30	169.80	-0.012	17.13	171.42	-1.62	-0.17
2% D2EHPA	97.58	68.05	295.30	0.02	30.11	300.93	-5.63	-0.58
3% D2EHPA	95.19	62.91	322.80	-0.05	32.53	325.75	-2.95	-0.31
4% D2EHPA	102.40	58.36	440.40	0.49	44.47	439.82	0.58	0.06
5% D2EHPA	100.50	48.22	522.80	0.01	52.05	520.43	2.37	0.24
1% D2EHPA b.	101.20	33.50	677.00	0.08	68.12	680.40	-3.40	-0.34
2% D2EHPA b.	104.10	16.14	879.60	0.12	84.79	846.70	32.90	3.16
3% D2EHPA b.	102.10	13.94	881.60	0.16	85.41	852.50	29.10	2.85
4% D2EHPA b.	107.70	15.09	926.10	0.19	91.35	911.60	14.50	1.35
5% D2EHPA b.	108.00	6.82	1011.80	0.23	99.79	995.60	16.20	1.50

ตาราง ก-18 ผลการคำนวณสมดุลมวลจากการศึกษาผลของการไหลเวียนสารละลายสตรีปต่อการสกัดไอออนทองแดง

experiment	$[Cu^{2+}]_{feed}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{raffinate}$ ppm	extraction mg.	$[Cu^{2+}]_{strip}$ ppm	$[Cu^{2+}]_{recovery}$ ppm	recovery mg.	different mg.	% different
5% D2EHPA circulate strip 1 l	97.44	8.05	893.9	-0.10	863.3	873.20	20.70	2.12

ตาราง ก-19 ผลการคำนวณค่าความชันจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดต่อการสกัด ไอออนทองแดง

extractant	concentration (% v/v)	flux _{extraction} ug/(cm ² *min)	slope	flux _{recovery} ug/(cm ² *min)	slope
D2EHPA	1	0.25	0.18	0.25	0.19
D2EHPA	2	0.43	0.05	0.44	0.05
D2EHPA	3	0.48	0.13	0.49	0.12
D2EHPA	4	0.61	0.13	0.61	0.13
D2EHPA	5	0.74	0.06	0.74	0.06
D2EHPA	10	1.06	0.03	1.05	0.03
D2EHPA	15	1.21	0.00	1.19	0.01
D2EHPA	20	1.22	0.01	1.22	0.01
D2EHPA	25	1.29	-	1.29	-
LIX 84-I	0.5	0.73	0.72	0.74	0.72
LIX 84-I	1	1.09	0.23	1.10	0.22
LIX 84-I	2	1.32	0.00	1.32	0.00
LIX 84-I	3	1.32	0.02	1.32	-0.01
LIX 84-I	4	1.34	0.06	1.31	0.06
LIX 84-I	5	1.40	-	1.37	-
LIX 860-I	0.5	0.66	0.56	0.66	0.58
LIX 860-I	1	0.94	0.38	0.95	0.36
LIX 860-I	2	1.32	0.02	1.31	0.02
LIX 860-I	3	1.34	-0.02	1.33	0.01
LIX 860-I	4	1.32	-0.01	1.34	-0.04
LIX 860-I	5	1.31	-	1.30	-

ตาราง ก-20 ผลการคำนวณค่าความชันจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดต่อการสกัด ไอออนทองแดง

extractant	concentration (% v/v)	% extraction	slope	% recovery	slope
D2EHPA	1	17.64	12.62	17.80	13.04
D2EHPA	2	30.26	3.65	30.84	3.38
D2EHPA	3	33.91	9.10	34.22	8.73
D2EHPA	4	43.01	9.01	42.95	8.83
D2EHPA	5	52.02	4.45	51.78	4.34
D2EHPA	10	74.28	2.14	73.47	2.02
D2EHPA	15	85.00	0.01	83.58	0.33
D2EHPA	20	85.06	0.98	85.24	1.05
D2EHPA	25	89.96	-	90.48	-
LIX 84-I	0.5	51.30	50.28	51.90	49.80
LIX 84-I	1	76.44	16.26	76.80	15.76
LIX 84-I	2	92.70	-0.11	92.56	0.17
LIX 84-I	3	92.59	0.94	92.73	-1.14
LIX 84-I	4	93.53	4.25	91.59	4.45
LIX 84-I	5	97.78	-	96.04	-
LIX 860-I	0.5	45.98	40.22	46.50	39.34
LIX 860-I	1	66.09	26.63	66.17	25.47
LIX 860-I	2	92.72	0.90	91.64	1.52
LIX 860-I	3	93.62	-1.04	93.16	0.49
LIX 860-I	4	92.58	-1.03	93.65	-2.56
LIX 860-I	5	91.55	-	91.09	-

ตาราง ก-21 ผลการคำนวณค่าความชันจากค่าร้อยละการสกัดสะสมและร้อยละการนำกลับสะสมของไอออนทองแดงที่เวลาด่าง ๆ ในการ ศึกษาผลของการไหลเวียนสารละลายสตริปต่อการสกัดไอออนทองแดง

time (min)	% extraction	slope	% recovery	slope
5	99.46	0.02	38.15	3.13
10	99.56	0.02	53.78	3.97
15	99.64	0.01	73.65	1.51
20	99.68	-0.05	81.20	0.89
25	99.43	-0.01	85.65	0.84
30	99.36	-0.19	89.85	0.25
35	98.43	-0.31	91.10	-0.11
40	96.88	-0.46	90.53	-0.12
45	94.60	-0.62	89.92	-0.23
50	91.49	-	88.77	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

$$\begin{aligned} \text{ค่าร้อยละการสกัด (\% E)} &= \frac{Cu_{total, extract}}{Cu_{total, feed}} \cdot 100 \\ &= \frac{([Cu^{2+}]_{feed} - [Cu^{2+}]_{raffinate}) \cdot V_{raffinate}}{[Cu^{2+}]_{feed} \cdot V_{feed}} \cdot 100 \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

จากตารางที่ ก-1 สำหรับการทดลองที่ใช้สารสกัด LIX 84-I เข้มข้น 5% โดยปริมาตร

$$\begin{aligned} \text{ค่าร้อยละการสกัด} &= \frac{(100.5 - 48.22) \cdot 10}{100.5 \cdot 10} \cdot 100 \\ &= 52.02 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าร้อยละการนำกลับ (\% R)} &= \frac{Cu_{total, recovery}}{Cu_{total, feed}} \cdot 100 \\ &= \frac{([Cu^{2+}]_{recovery} - [Cu^{2+}]_{strip}) \cdot V_{recovery}}{[Cu^{2+}]_{feed} \cdot V_{feed}} \cdot 100 \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

จากตารางที่ ก-1 สำหรับการทดลองที่ใช้สารสกัด LIX 860-I เข้มข้น 5% โดยปริมาตร

$$\begin{aligned} \text{ค่าร้อยละการนำกลับ} &= \frac{(52.05 - 0.01) \cdot 10}{100.5 \cdot 10} \cdot 100 \\ &= 51.78 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าฟลักซ์ของไอออนทองแดง (J)} &= \frac{Cu_{total, recovery}}{A \cdot t} \cdot 100 \\ &= \frac{([Cu^{2+}]_{recovery} - [Cu^{2+}]_{feed}) \cdot V_{recovery}}{A \cdot t} \cdot 100 \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

จากตารางที่ ค-1 สำหรับการทดลองที่ใช้สารสกัด D2EHPA เข้มข้น 5% โดยปริมาตร

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าฟลักซ์ของไอออนทองแดง} &= \frac{(100.5-48.22) \cdot 10}{14000 \cdot 50} \cdot \frac{100 \text{ ppm}}{100.5 \text{ ppm}} \cdot \frac{1000 \text{ ug}}{1 \text{ g}} \\
 &= \frac{(100.5 - 48.22) \cdot 10}{14000 \cdot 50 \cdot 100.5 / 100} \cdot 1000 \\
 &= 0.74 \text{ ug}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})
 \end{aligned}$$

ผลต่างระหว่างปริมาณไอออนทองแดงที่ถ่ายเทออกจากวิฎภาคสารละลายป้อนกับปริมาณไอออนทองแดงที่ถ่ายเทเข้าสู่วิฎภาคสารละลายศตริป (different)

$$\text{different} = Cu_{\text{total,extract}} - Cu_{\text{total,recovery}}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

จากตาราง ค-13 สำหรับการทดลองที่ใช้สารสกัด D2EHPA เข้มข้น 5% โดยปริมาตร

$$= 522.80 - 520.43$$

$$= 2.37$$

ค่าร้อยละของผลต่างระหว่างปริมาณไอออนทองแดงที่ถ่ายเทออกจากวิฎภาคสารละลายป้อนกับปริมาณไอออนทองแดงที่ถ่ายเทเข้าสู่วิฎภาคสารละลายศตริป (% different)

$$\% \text{different} = \left(\frac{Cu_{\text{total,extract}} - Cu_{\text{total,recovery}}}{Cu_{\text{total,feed}}} \right) \cdot 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ

จากตาราง ก-13 สำหรับการทดลองที่ใช้สารสกัด D2EHPA เข้มข้น 5% โดยปริมาตร

$$= \frac{(522.80 - 520.43)}{100.5 \cdot 10} \cdot 100$$

$$= 0.24$$

ค่าความชันที่ตำแหน่ง t (slope)

$$\text{slope}_t = \frac{\text{Position}_{t+\Delta t} - \text{Position}_t}{\Delta t}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

จากตาราง ก-19 สำหรับผลการคำนวณค่าฟลักซ์ที่ความเข้มข้นของสารสกัด D2EHPA 5%

$$\text{ค่าความชัน} = \frac{(1.05 - 0.74)}{5}$$

$$= 0.06$$

จากตาราง ก-20 สำหรับผลการคำนวณค่าร้อยละการสกัดและค่าร้อยละการนำกลับที่ความเข้มข้นของสารสกัด D2EHPA 5%

$$\text{ค่าความชัน} = \frac{(73.47 - 51.78)}{5}$$

$$= 4.34$$

ภาคผนวก จ

จากสมการ (3.19-3.23)

$$K = \frac{[MR_n][A]^n}{[RA]^n[M]} \quad (3.19)$$

$$K = \frac{[MR_n]'[A]'^n}{[RA]^n[M]^n} = \frac{k_n}{k_a} \cdot K \quad (3.20)$$

$$K = \frac{[MR_n]_1'[A]_1'^n}{[RA]_1'^n[M]_1'^n} = \frac{[MR_n]_2'[A]_2'^n}{[RA]_2'^n[M]_2'^n} \quad (3.21)$$

$$J_{MR_n} = \frac{\bar{D}_{MR_n}([MR_n]_1' - [MR_n]_2')}{l} \quad (3.22)$$

$$n[MR_n] + [RA] = \gamma \quad (3.23)$$

จากสมการ 3.23 จัดรูปได้ดังนี้

$$[RA] = \gamma - n[MR_n] \quad (จ-1)$$

จากสมการ 3.20 จัดรูปได้ดังนี้

$$[MR_n]' = \frac{K'[RA]^n[M]^n}{[A]^n} \quad (จ-2)$$

แทนค่า [RA] ในสมการ จ-2 ได้ดังนี้

$$[MR_n]' = \frac{K'(\gamma - n[MR_n]''^n)[M]''}{[A]''} \quad (9-3)$$

คูณ K' เข้าในวงเล็บในสมการ 9-3 ได้ดังนี้

$$= \frac{K'\gamma[M]'' - K'n[MR_n]''^n[M]''}{[A]''} \quad (9-4)$$

คูณ 2 ฝั่งของสมการ 9-4 ด้วย $[A]''$ ดังแสดงในสมการ 9-5

$$[MR_n]'[A]'' = K'\gamma M'' - K'n[MR_n]''^n[M]'' \quad (9-5)$$

จัดรูปสมการ 9-5 ได้ดังนี้

$$\left([A]'' + K'n[M]''^n\right)[MR_n]' = K'\gamma[M]'' \quad (9-6)$$

จัดรูปสมการ 9-6 ได้ดังนี้

$$[MR_n]' = \frac{K'\gamma[M]''}{[A]'' + K'n[M]''^n} \quad (9-7)$$

แทนค่า $[MR_n]'$ ในสมการ 3.24 ได้ดังนี้

$$J_{MR_n} = \frac{\bar{D}_{MR_n} \gamma \left[\left(\frac{K'\gamma[M]''}{[A]'' + K'n[M]''^n} \right)_1 - \left(\frac{K'\gamma[M]''}{[A]'' + K'n[M]''^n} \right)_2 \right]}{l} \quad (9-8)$$

สมการ 9-8 จะมีรูปแบบที่ง่ายในกรณี $n=1$ โดยสมการ 9-8 ลดรูปเป็น

$$= \frac{\bar{D}_{MR_n} \gamma}{l} \left[\frac{1}{\left(\frac{[A]''}{K'[M]''} + 1 \right)_1} - \frac{1}{\left(\frac{[A]''}{K'[M]''} + 1 \right)_2} \right] \quad (9-9)$$

ภาคผนวก ง

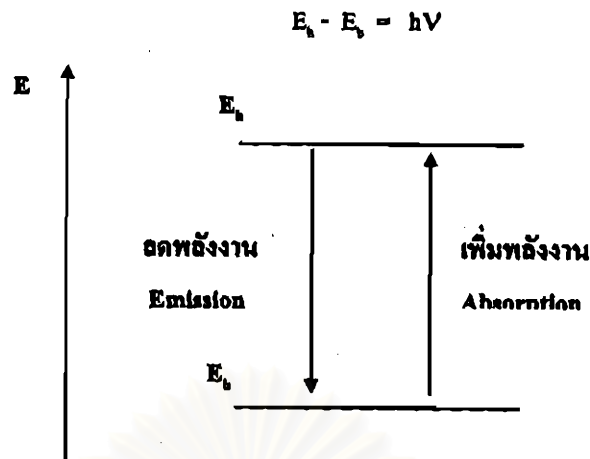
การวิเคราะห์ความเข้มข้นโดยวิธี atomic absorption spectrometry (AAS)

ในปัจจุบันการใช้วิธี AAS เพื่องานวิเคราะห์ธาตุเป็นไปอย่างกว้างขวาง ครอบคลุมไปถึงการวิเคราะห์ที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ ควบคุมกระบวนการผลิตและผลผลิตในอุตสาหกรรม การวิจัยทางธรณีวิทยา ชีววิทยา วิทยาศาสตร์การแพทย์ การเกษตร ตลอดจนศึกษามลพิษในสิ่งแวดล้อม

โดยทั่วไปการวิเคราะห์โดยวิธี AAS มีข้อดีที่ใช้ตัวอย่างปริมาณน้อย มีความไวและความแม่นยำในการวิเคราะห์สูง วิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ได้โดยมีการรบกวนจากธาตุอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการวิเคราะห์น้อยมาก การวิเคราะห์ทำได้รวดเร็วไม่ต้องมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างมาก นอกจากนี้เนื่องจากตัวอย่างที่วิเคราะห์อยู่ในรูปสารละลายจึงไม่มีปัญหาเรื่องตัวอย่างไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (homogenous)

หลักการทำงานของวิธีนี้คือ เมื่ออะตอมที่ถูกกระตุ้น (excited atom) เปลี่ยนจากระดับพลังงานหนึ่ง (E_1) มายังอีกระดับพลังงานหนึ่งที่ต่ำกว่า (E_2) จะให้คลื่นรังสีที่มีความถี่หนึ่ง (ν) สมนัยกับพลังงาน $E_1 - E_2$

$$E_1 - E_2 = h\nu$$

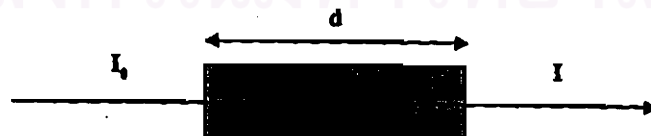


รูปที่ ๑-1 การดูดและคายพลังงานของอะตอม

ในทางกลับกันเมื่ออะตอมสถานะที่ระดับที่ระดับพลังงาน E_0 (ground state) รับคลื่นรังสีพลังงาน $h\nu$ อะตอมจะดูดกลืนพลังงานรังสีนั้นและเปลี่ยนมาอยู่ที่ระดับพลังงาน E_1 ตามรูปที่ ๑-1 คลื่นรังสีที่ไปกระตุ้นอะตอมสถานะที่พลังงานนี้เรียกว่าเส้นเรโซแนนซ์ (resonance line)

ถ้ามีลำคลื่นรังสีแคบ ๆ (narrow beam) ที่เส้นเรโซแนนซ์สำหรับธาตุหนึ่งซึ่งมีความเข้ม I_0 ผ่านไปยังกลุ่มอะตอมสถานะของธาตุนั้น กลุ่มอะตอมสถานะจะดูดกลืนพลังงานทำให้ความเข้มลดลงเป็น I โดยที่ความมากมายของการดูดกลืนคลื่นรังสีที่ตกกระทบอะตอมสถานะเรียกว่า ค่าการดูดกลืน (absorbance) หรือเขียนย่อเป็น A

$$A = \log(I_0/I)$$



รูปที่ ๑-2 การดูดกลืนพลังงาน

ในการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ โดยปกติจะใช้คลื่นรังสีที่ให้เส้นเรโซแนนซ์จาก หลอดแคโทด (Hollow cathode lamp) และตัวกลางที่ให้อะตอมสะเทินเกิดขึ้นและมีอยู่ได้จะใช้เปลวไฟจากก๊าซเชื้อเพลิง โดยให้สารละลายที่ต้องการวิเคราะห์กลายเป็นหยดเล็ก ๆ โดยเครื่องพ่นละออง (nebulizer) แล้วจึงทำให้เกิดเป็นอะตอม (atomization)

ถ้าประสิทธิภาพของเครื่องพ่นละออง (atomizer) คงที่จะถือได้ว่า การดูดกลืนเป็นไปตามกฎของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer-Lambert Law) คือความเข้มข้นของอะตอมที่ถูกกระตุ้นหรืออะตอมสะเทินโดยคลื่นรังสีจะแปรผันโดยตรงกับค่าลอการิทึม (logarithm) ของการดูดกลืน ถ้า C คือความเข้มข้นของอะตอม

$$kC = \log(I_0/I)$$

การดูดกลืนที่เกิดขึ้นวัดได้โดยการหาผลต่างของความเข้มคลื่นรังสีระหว่างเมื่อไม่มีธาตุที่จะวิเคราะห์ในลำรังสีตกกระทบ และเมื่อมีธาตุที่จะวิเคราะห์ในลำรังสีตกกระทบความเข้มรังสีที่เหลืออยู่หลังการดูดกลืนจะผ่านเข้าไปในโมโนโครเมเตอร์ (monochromator) ซึ่งจะเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมเพื่อการวัดค่าการดูดกลืน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้วิจัย

นายอิศรา เกษมเศรษฐ เกิดเมื่อวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2516 ที่โรงพยาบาลราชวิถี จังหวัด กรุงเทพมหานคร เป็นบุตรคนที่สองในจำนวนบุตรสามคน ผู้วิจัยใช้ชีวิตในวัยเด็กที่จังหวัดชัยนาท เมื่อเรียนจบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นแล้วจึงเข้ามาศึกษาต่อในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพญาไท จากนั้นผู้วิจัยได้เข้าศึกษาต่อที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจึงศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย