

## รายการอ้างอิง

- Balies, P.J., Hanson, C., and Hughes, M.A. 1976. Liquid-liquid Extraction, Metal university of Bradford (Great Britain). Orginally published August 30: 239-246.
- Dean, J.A. 1992. Lange's Handbook of Chemistry. 4<sup>th</sup> ed. McGRAW-HILL.
- Draxler, J., Furst, W., and Marr, R. 1988. Separation of metal species by emulsion liquid membranes. Journal of Membrane Science 38: 281-293.
- Fernandez, L., Aparicio, J., and Muhammed, M. 1987. The Role of Feed Metal Concentration in the Coupled Transport of Zinc through a Bis-(2-ethylhexyl)phosphoric acid Solid Supported Liquid Membranes from Aqueous Perchlorate Media. Seperation Science and Technology 22(6): 1575-1593.
- 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: 867-884. New York: Van Nastrand Reinhold.
- Ho, W. S. W, and Li, N. N. 1992. Emulsion liquid membranes: Definitions. In W. S. Winsoton Ho and K. K. Sirkar (eds.). Membrane Handbook : 597-610. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Huang, T.C., and Juang, R.S. 1986. Extraction equilibrium of zinc from sulfate media with Bis (2-ethylhexyl) phosphoric acid. Ind. Eng. Chem. Fundam. 25: 752-757.
- Huang, T.C., and Juang, R.S. 1986. Kinetics and mechanism of zinc extraction from sulfate medium with Di (2-ethylhexyl) phosphoric acid . Journal of Chemical Engineering of japan. 19 (5): 379-386.
- Huang, T.C., and Juang, R.S. 1987. Transport of zinc through a supported liquid membrane using Di (2-ethylhexyl) phosphoric acid as a mobile carrier. Journal of Membrane Science 31: 209-226.

- Jianhan, Y., Shizhu, W., Nianci, M., and Changyin, J. 1987. Extraction of zinc in an Oldshue-Rudston Column by Liquid Surfactant Membranes. Desalination, 62:315-321.
- Jianhan, Y., and Cangmin, Y. 1988. Zinc recovery with the membrane based solvent extraction method. Water Treatment, 3: 87-97.
- Lange, N.A., and Forker, G.M. 1967. Handbook of Chemistry. 10<sup>th</sup> ed. McGRAW-HILL.
- Loiacono, O., Drioli, E., and Molinari, R. 1986. Metal ions separation and concentration with supported liquid membranes. Journal of Membrane Science 28: 123-138.
- Mark, C. Porter. 1990. Handbook of industrial membrane technology: 547-552.
- Nakashio, F. 1993. Recent Advances in Separation of Metals by Liquid Surfactant Membranes. Journal of Chemical Engineering of Japan. 26(2): 123-133.
- Plucinski, P., and Nitsch, W. 1988. The Calculation of Permeation Rates through Supported Liquid Membranes based on the Kinetics of Liquid-Liquid Extraction. Journal of Membrane science, 39: 43-59.
- Rautenbach, R., and Machhammer, O. 1988. Modeling of Liquid Membrane Separation Processes. Journal of Membrane Science 39: 425-444.
- Saito, T. 1994. Selective Transport of Copper (I, II), Cadmium (II), and Zinc (II) Ions through a Supported Liquid Membrane Containing Bathoeuproine, Neoeup-roine, or Bathophenanthroline. Separation Science and Technology 29(10): 1335-1346.
- Schulz, G. 1988. Separation techniques with supported liquid membranes. Desalination 68: 191-202.
- Sengupta, A., Basu, R., and Sirka, K.K. 1988. Separation of Solutes from Aqueous solutions by Contained Liquid Membranes. AIChE Journal 34(10): 1698-1708.
- Tanigaki, M., Shiode, T., Ueda, M., and Eguchi, W. 1988. Facilitated transport of zinc chloride through hollow fiber supported liquid membrane. Part 1. Transport mechanism. Separation Science and Technology 23 (10&11): 1145-1159.

- Tanigaki, M., Ueda, M., and Eguchi, W. 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.
- Tanigaki, M., Shiode, T., Okumi, S., and Eguchi, W. 1988. Facilitated transport of zinc chloride through hollow fiber supported liquid membrane. Part 3. Module operation. Separation Science and Technology 23 (10&11): 1171-1181.
- 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., Matsuyama, H., Takaya, H., and Asano, S. 1987. Development of spiral-type supported liquid membrane for separation and concentration of metal ions. Separation Science and Technology 22 (11):2175-2201.
- Yang, Z., Guha, A. K., and Sirkar, K K.. Novel membrane-based synergistic metal extraction and recovery processes, Industrial Engineering Chemistry Research 35 (1996), 1383-1394.
- Zuyuan, D. 1988. Treatment of zinc chloride solution by liquid Membrane-Electrodialysis. Water Treatment, 3: 276-284.
- ประพรีร์ พลอนันต์. 2528. เคมีวิเคราะห์ 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. หน้า 95-106.



**ภาคผนวก**

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

### ข้อมูลการเทียบมาตรฐานการวัดอัตราการไหลของชุดทดลอง

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลการเทียบมาตรฐานการวัดอัตราการไหลภายนอกเส้นใยกลวงในชุดทดลอง  
(Shell side)

ตำแหน่ง	ปริมาตร	เวลา (s)	อัตราการไหล (ml/s)	อัตราการไหลเฉลี่ย (ml/s)	อัตราการไหลเฉลี่ย (ml/min)
5	20 ml	13.64	1.466	1.475	88.475
		13.51	1.480		
		13.54	1.477		
10	30 ml	9.91	3.027	3.025	181.515
		9.88	3.036		
		9.96	3.012		
15	100 ml	21.61	4.627	4.623	277.350
		21.66	4.617		
		21.63	4.623		
20	100 ml	16.30	6.135	6.140	368.400
		16.31	6.131		
		16.25	6.154		
25	100 ml	12.86	7.776	7.762	465.719
		12.91	7.746		
		12.88	7.764		
30	100 ml	10.48	9.542	9.524	571.430
		10.50	9.524		
		10.52	9.506		

## ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ปริมาตร	เวลา (s)	อัตราการไหล (ml/s)	อัตราการไหลเฉลี่ย (ml/s)	อัตราการไหลเฉลี่ย (ml/min)
35	100 ml	8.94	11.186	11.202	672.145
		8.91	11.223		
		8.93	11.198		
40	100 ml	7.84	12.755	12.728	763.686
		7.88	12.690		
		7.85	12.739		
45	100 ml	7.02	14.245	14.205	852.277
		7.06	14.164		
		7.04	14.205		
50	100 ml	6.07	16.474	16.412	984.690
		6.10	16.393		
		6.11	16.367		
55	100 ml	5.63	17.762	17.773	1066.365
		5.65	17.699		
		5.60	17.857		
60	100 ml	5.06	19.763	19.750	1184.991
		5.07	19.724		
		5.06	19.763		
65	100 ml	4.70	21.277	21.202	1272.094
		4.73	21.142		
		4.72	21.186		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลการเทียบมาตรฐานการวัดอัตราการไหลภายในเส้นใยกลวงในชุดทดลอง  
(Tube side)

ตำแหน่ง	ปริมาตร	เวลา (s)	อัตราการไหล (ml/s)	อัตราการไหลเฉลี่ย (ml/s)	อัตราการไหลเฉลี่ย (ml/min)
5	20 ml	14.31	1.398	1.400	84.014
		14.25	1.404		
		14.29	1.400		
10	50 ml	16.47	3.036	3.033	181.965
		16.48	3.034		
		16.51	3.028		
15	100 ml	20.59	4.857	4.849	290.933
		20.65	4.843		
		20.63	4.847		
20	100 ml	15.56	6.427	6.438	386.267
		15.52	6.443		
		15.52	6.443		
25	100 ml	11.99	8.340	8.324	499.446
		12.02	8.319		
		12.03	8.313		
30	100 ml	10.07	9.930	9.914	594.846
		10.09	9.911		
		10.1	9.901		
35	100 ml	8.66	11.547	11.570	694.178
		8.63	11.587		
		8.64	11.574		
40	100 ml	7.45	13.423	13.251	795.044
		7.45	13.423		
		7.748	12.907		
45	100 ml	6.72	14.881	14.859	891.534
		6.72	14.881		
		6.75	14.815		

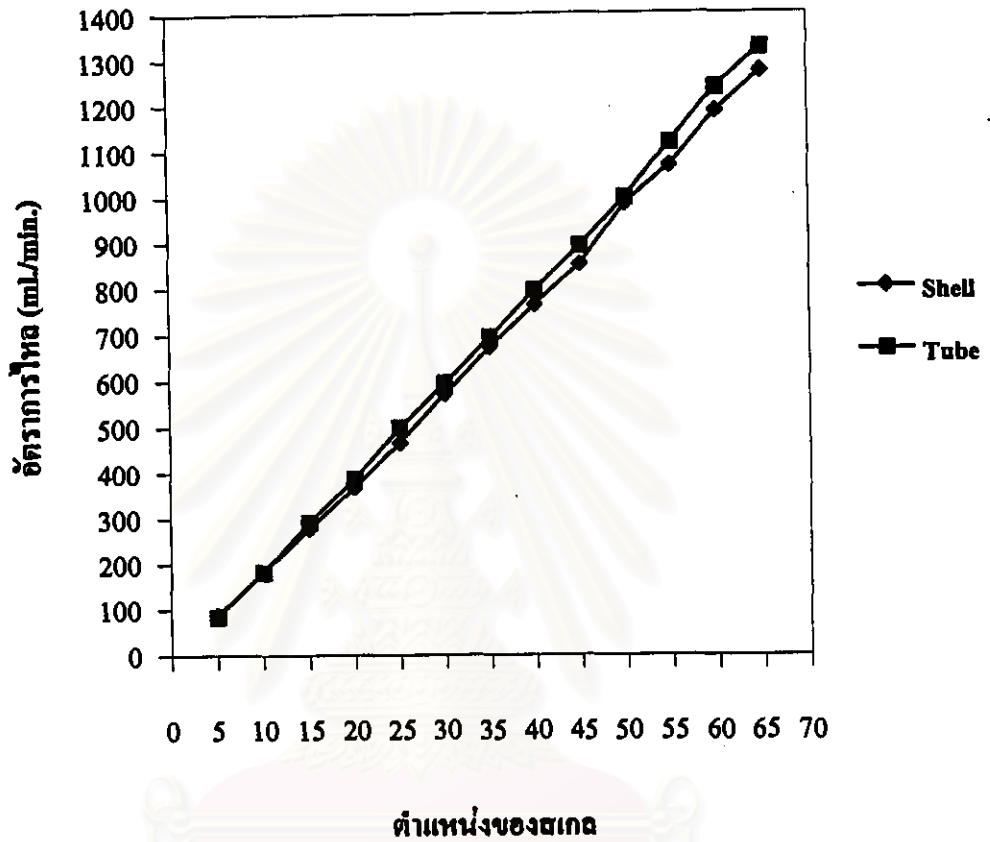
## ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ปริมาตร	เวลา (s)	อัตราการไหล (ml/s)	อัตราการไหลเฉลี่ย (ml/s)	อัตราการไหลเฉลี่ย (ml/min)
50	100 ml	6	16.667	16.630	997.802
		6.05	16.529		
		5.99	16.694		
55	100 ml	5.39	18.553	18.611	1116.631
		5.37	18.622		
		5.36	18.657		
60	100 ml	4.86	20.576	20.619	1237.117
		4.85	20.619		
		4.84	20.661		
65	100 ml	4.53	22.075	22.059	1323.539
		4.55	21.978		
		4.52	22.124		

โดยจากข้อมูลการเทียบมาตรฐานการวัดอัตราการไหลทั้งภายในและภายนอกเส้นใยกลางของ  
ชุดทดลองสามารถแสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานได้ดังรูปที่ ก-1

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ ก-1 แสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานการวัดอัตราการไหลทั้งภายในและภายนอกเส้นใยคดงของ  
ชุดทดลอง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-3 ข้อมูลการเทียบมาตรฐานการวัดอัตราการไหลภายนอกเส้นใยถลุง  
ในชุดทดลอง (Shell side) ที่อัตราการไหลต่ำกว่า 100 ml/min

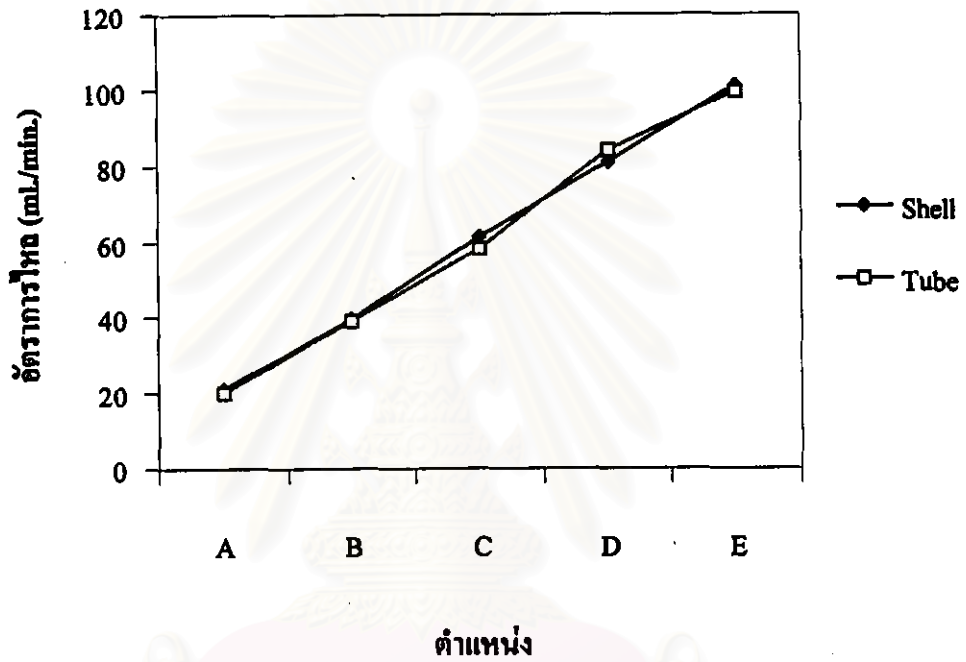
ตำแหน่ง	V (ml)	เวลา (s)	Q (ml/s)	Q (ml/min)	Q <sub>เฉลี่ย</sub> (ml/min)
A	20	56.83	0.352	21.116	21.008
		54.97	0.364	21.830	
		59.77	0.335	20.077	
B	20	30.15	0.663	39.801	39.854
		30.11	0.664	39.854	
		30.07	0.665	39.907	
C	30	29.58	1.014	60.852	61.093
		29.37	1.021	61.287	
		29.44	1.019	61.141	
D	30	22.35	1.342	80.537	80.937
		22.24	1.349	80.935	
		22.13	1.356	81.338	
E	50	29.58	1.690	101.420	101.181
		29.73	1.682	100.908	
		29.64	1.687	101.215	

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-4 ข้อมูลการเทียบมาตรฐานการวัดอัตราการไหลภายนอกเส้นใยกลวงใน  
ชุดทดลอง(Tube side) ที่อัตราการไหลต่ำกว่า 100 ml/min

ตำแหน่ง	V (ml)	เวลา (s)	Q (ml/s)	Q (ml/min)	เฉลี่ย (ml/min)
A	20	59.63	0.335	20.124	20.140
		59.38	0.337	20.209	
		59.74	0.335	20.087	
B	20	30.66	0.652	39.139	39.122
		30.57	0.654	39.254	
		30.79	0.650	38.974	
C	30	31.09	0.965	57.896	58.254
		30.87	0.972	58.309	
		30.74	0.976	58.556	
D	30	21.13	1.420	85.187	84.315
		21.34	1.406	84.349	
		21.58	1.390	83.411	
E	50	30.15	1.658	99.502	99.164
		30.24	1.653	99.206	
		30.37	1.646	98.782	

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก-2 แสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานการวัดอัตราการไหลทั้งภายในและภายนอกเส้นไขกลวงของชุดทดลองที่อัตราการไหลต่ำกว่า 100 ml/min

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ข

ตาราง ข-1 แสดงข้อมูลผลการทดลองการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเทคนิคการสกัด

ด้วยตัวทำละลาย  $[Zn^{2+}]_r$  เริ่มต้น = 100 ppm

เวลา (ชั่วโมง)	$[Zn^{2+}]$ (ppm)	%การสกัด	เวลา(ต่อ) (ชั่วโมง)	$[Zn^{2+}]$ (ppm)	%การสกัด	เวลา(ต่อ) (ชั่วโมง)	$[Zn^{2+}]$ (ppm)	%การสกัด
0:00:10	5.106	47.85	0:02:30	5.541	43.41	0:55:00	5.649	42.30
0:00:20	5.112	47.79	0:02:40	5.553	43.28	1:00:00	5.649	42.30
0:00:30	5.123	47.68	0:02:50	5.552	43.29	1:05:00	5.648	42.31
0:00:40	5.237	46.51	0:03:00	5.554	43.27	1:10:00	5.650	42.29
0:00:50	5.299	45.88	0:05:00	5.568	43.13	1:15:00	5.658	42.21
0:01:00	5.335	45.51	0:10:00	5.569	43.12	1:20:00	5.657	42.22
0:01:10	5.453	44.31	0:15:00	5.588	42.93	1:25:00	5.656	42.23
0:01:20	5.452	44.32	0:20:00	5.611	42.69	1:30:00	5.654	42.25
0:01:30	5.491	43.92	0:25:00	5.612	42.68	1:35:00	5.654	42.25
0:01:40	5.510	43.72	0:30:00	5.614	42.66	1:40:00	5.654	42.25
0:01:50	5.519	43.63	0:35:00	5.613	42.67	1:45:00	5.653	42.26
0:02:00	5.522	43.60	0:40:00	5.613	42.67	1:50:00	5.653	42.26
0:02:10	5.523	43.59	0:45:00	5.637	42.43	1:55:00	5.653	42.26
0:02:20	5.537	43.45	0:50:00	5.645	42.35	2:00:00	5.653	42.26

:  $[Zn^{2+}]_r = 100$  ppm,  $V_f = 1$  liter, อัตราการกวน 1,200 รอบต่อนาที,  $[D2EHPA] = 5\%$  โดยปริมาตร  
สกัดส่วนโดยปริมาตรของสารอินทรีย์ต่อสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 1:5

ตาราง ข-2 แสดงข้อมูลผลการทดลองศึกษาเลือกช่วง [D2EHPA] ที่เหมาะสมต่อการศึกษาการสกัดและการนำกลับ ไอออนสังกะสี ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลาง

[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>f</sub> (ppm)		[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>s</sub> (ppm)		%การสกัด	%การนำกลับ
	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก		
0.1	99.190	71.340	0.071	33.121	31.67	29.08
0.5	92.470	30.910	0.063	59.283	68.24	55.90
1.0	93.440	3.289	0.127	84.597	96.66	78.90
5.0	108.600	3.617	0.063	103.711	96.84	83.31
10.0	97.740	2.385	0.055	95.371	97.68	85.13
15.0	93.750	1.800	0.036	89.727	98.18	83.52
20.0	100.500	2.693	0.105	94.706	97.45	82.16
25.0	99.940	2.279	0.068	97.500	97.83	85.10

: [Zn<sup>2+</sup>]<sub>f</sub> = 100 ppm, V<sub>f</sub> = 5 liters, Q<sub>f</sub> = 100 ml/min, [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] = 0.1 mole/l, V<sub>s</sub> = 5 liters, Q<sub>s</sub> = 100 ml/min

ตาราง ข-3 แสดงข้อมูลผลการทดลองการศึกษาริมาณความเข้มข้นของสารสกัดที่เหมาะสมต่อการสกัดและการนำกลับ  
ไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลาง เมื่อไม่ใช้สารละลายบัฟเฟอร์เข้าร่วมในการสกัด

[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>f</sub> (ppm)		[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>e</sub> (ppm)		%การสกัด	%การนำกลับ
	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก		
0.1	99.190	71.340	0.071	33.121	31.67	29.08
0.3	91.650	52.730	0.034	44.234	45.34	42.10
0.5	92.470	30.910	0.063	59.283	68.24	55.90
0.7	93.970	7.690	0.101	86.601	92.23	80.35
0.9	94.180	2.600	0.060	87.020	97.38	80.60
1.0	93.440	3.290	0.042	85.442	96.66	79.78

: [Zn<sup>2+</sup>]<sub>f</sub> = 100 ppm, V<sub>f</sub> = 5 liters, Q<sub>f</sub> = 100 ml/min, [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] = 0.1 mole/l, V<sub>s</sub> = 5 liters, Q<sub>s</sub> = 100 ml/min

ตาราง ข-4 แสดงข้อมูลผลการทดลองศึกษาการใช้สารละลายผสมระหว่าง กรดอะซิติกกับโซเดียมอะซิเตด (สารละลายบัฟเฟอร์)

ต่อการสกัดและการนำกลับ ไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลางที่ปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดต่างๆ

[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>f</sub> (ppm)		[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>s</sub> (ppm)		%การสกัด	%การนำกลับ
	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก		
0.1	95.660	53.950	0.084	36.334	46.42	33.07
0.3	93.370	40.730	0.063	51.333	58.56	47.93
0.5	98.460	7.210	0.052	90.552	93.04	80.24
0.7	94.560	2.690	0.113	89.853	97.30	82.83
0.9	95.410	2.500	0.017	87.727	97.51	80.25
1.0	95.570	2.380	0.038	93.388	97.63	85.27

: [Zn<sup>2+</sup>]<sub>f</sub> = 100 ppm, V<sub>f</sub> = 5 liters, Q<sub>f</sub> = 100 ml/min, [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] = 0.1 mole/l, V<sub>s</sub> = 5 liters, Q<sub>s</sub> = 100 ml/min

สัดส่วนโดยปริมาตรของสารละลายบัฟเฟอร์คือสารป้อนเท่ากับ 1:50

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตาราง ข-5 แสดงข้อมูลผลการทดลองศึกษาสัดส่วน โดยปริมาตรของสารละลายผสมกรดอะซิติกกับโซเดียมอะซิเตด (สารละลายบัฟเฟอร์) กับ สารละลายที่มีองค์ประกอบของไอออนสังกะสี (สารป้อน) ต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง

สัดส่วน (Buffer:Feed)	[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>f</sub> (ppm)		[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>s</sub> (ppm)		%การสกัด	%การนำกลับ
		ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก		
-	0.5	92.470	30.910	0.063	59.283	68.24	55.90
1:100	0.5	93.110	22.410	0.064	69.505	77.14	65.10
1:50	0.5	93.970	6.880	0.036	86.416	93.04	80.24
1:25	0.5	93.890	4.360	0.055	89.975	95.59	83.60
1:16.67	0.5	95.660	3.180	0.104	92.314	96.84	84.14
1:12.50	0.5	96.420	3.260	0.013	93.023	96.79	84.21

: [Zn<sup>2+</sup>]<sub>f</sub> = 100 ppm, V<sub>f</sub> = 5 liters, Q<sub>f</sub> = 100 ml/min, [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] = 0.1 mole/l, V<sub>s</sub> = 5 liters, Q<sub>s</sub> = 100 ml/min

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-6 แสดงข้อมูลผลการทดลองศึกษาอัตราการไหลต่อการสกัดแยก ไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้น โยกลว

อัตราการไหล (ml./min.)	[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>f</sub> (ppm)		[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>e</sub> (ppm)		%การสกัด	%การนำกลับ
		ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก		
20	0.7	90.080	2.580	0.047	86.200	97.28	83.49
40	0.7	90.090	2.600	0.158	86.563	97.26	83.71
60	0.7	90.310	2.690	0.121	87.442	97.17	84.39
80	0.7	89.750	2.560	0.125	85.953	97.29	83.47
100	0.7	91.510	2.600	0.019	86.769	97.30	82.76
300	0.7	90.910	21.270	0.050	68.120	77.77	65.36
500	0.7	92.780	32.950	0.045	58.985	66.26	55.45
700	0.7	93.420	57.550	0.086	43.346	41.48	40.41
900	0.7	95.080	79.740	0.020	20.460	20.33	18.76

: [Zn<sup>2+</sup>]<sub>f</sub> = 100 ppm, V<sub>f</sub> = 5 liters, [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] = 0.1 mole/l, V<sub>e</sub> = 5 liters

ตาราง ข-7 แสดงข้อมูลค่าฟลักซ์ของผลการทดลองศึกษาเลือกช่วง [D2EHPA] ที่เหมาะสมต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วย เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง (ดูตัวอย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ง-3 และ ง-4)

[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	ปริมาณ $Zn^{2+}$ (mg)		ฟลักซ์ (การสกัด) $mg/m^2 \text{ min}$	ปริมาณ $Zn^{2+}$ (mg)		ฟลักซ์ (การนำกลับ) $mg/m^2 \text{ min}$
	ขาเข้า	ขาออก		ขาเข้า	ขาออก	
0.1	495.950	338.865	44.881	0.355	144.573	16.096
0.5	462.350	146.823	90.151	0.315	258.770	28.845
1.0	467.200	15.620	129.022	0.640	369.270	41.142
5.0	543.000	17.180	150.234	0.320	452.700	50.489
10.0	488.700	11.330	136.392	0.280	416.290	46.431
15.0	468.750	8.550	131.486	0.180	391.660	43.669
20.0	502.500	12.790	139.917	0.530	413.390	46.079
25.0	499.700	10.830	139.679	0.34	425.590	47.461

:  $[Zn^{2+}]_f = 100 \text{ ppm}$ ,  $V_f = 5 \text{ liters}$ ,  $Q_f = 100 \text{ ml/min}$ ,  $[H_2SO_4] = 0.1 \text{ mole/l}$ ,  $V_s = 5 \text{ liters}$ ,  $Q_s = 100 \text{ ml/min}$

ตาราง ข-8 แสดงข้อมูลค่าฟลักซ์ของผลการทดลองศึกษา [D2EHPA] ที่เหมาะสมต่อการสกัดแยก ไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลว ที่พองด้วยเส้นใยกลวง (ดูตัวอย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ง-3 และ ง-4)

[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	ปริมาณ $Zn^{2+}$ (mg)		ฟลักซ์ (การสกัด) $mg/m^2 min$	ปริมาณ $Zn^{2+}$ (mg)		ฟลักซ์ (การนำกลับ) $mg/m^2 min$
	ขาเข้า	ขาออก		ขาเข้า	ขาออก	
0.1	495.950	338.870	44.881	0.360	144.570	16.096
0.3	458.250	250.470	59.366	0.170	193.080	21.530
0.5	462.350	146.820	90.151	0.320	258.770	28.845
0.7	469.850	36.530	123.806	0.510	378.010	42.133
0.9	470.900	12.350	131.014	0.300	379.840	42.360
1.0	467.200	15.630	129.021	0.210	372.950	41.601

:  $[Zn^{2+}]_f = 100 \text{ ppm}$ ,  $V_f = 5 \text{ liters}$ ,  $Q_f = 100 \text{ ml/min}$ ,  $[H_2SO_4] = 0.1 \text{ mole/l}$ ,  $V_s = 5 \text{ liters}$ ,  $Q_s = 100 \text{ ml/min}$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-9 แสดงข้อมูลค่าฟลักซ์ของผลการทดลองศึกษาปริมาณ [D2EHPA] ที่เหมาะสมเมื่อกระบวนการใช้สารละลายบัฟเฟอร์เข้าร่วมในการสกัดที่สัดส่วนของสารละลายบัฟเฟอร์ต่อสารป้อนเท่ากับ 1:50 (ดูตัวอย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ง-3 และง-4)

[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	ปริมาณ $Zn^{2+}$ (mg)		ฟลักซ์ (การสกัด) $mg/m^2 \min$	ปริมาณ $Zn^{2+}$ (mg)		ฟลักซ์ (การนำกลับ) $mg/m^2 \min$
	ขาเข้า	ขาออก		ขาเข้า	ขาออก	
0.1	478.300	256.263	63.439	0.420	158.598	17.654
0.3	466.850	193.468	78.109	0.315	224.069	24.972
0.5	492.300	34.248	130.872	0.260	395.259	44.085
0.7	472.800	12.778	131.435	0.565	392.208	43.710
0.9	477.050	11.875	132.907	0.085	382.928	42.728
1.0	477.850	11.305	133.299	0.190	407.639	45.474

:  $[Zn^{2+}]_f = 100 \text{ ppm}$ ,  $V_f = 5 \text{ liters}$ ,  $Q_f = 100 \text{ ml/min}$ ,  $[H_2SO_4] = 0.1 \text{ mole/l}$ ,  $V_s = 5 \text{ liters}$ ,  $Q_s = 100 \text{ ml/min}$

สัดส่วน โดยปริมาตรของสารละลายบัฟเฟอร์ต่อสารป้อนเท่ากับ 1:50

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-10 แสดงข้อมูลค่าฟลักซ์ของผลการทดลองศึกษาสัดส่วนของสารละลายบัฟเฟอร์ต่อสารป้อนที่มีอิทธิพลต่อการสกัดแยก ไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง (คู่มืออย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ง-3 และ ง-4)

สัดส่วน (Buffer:Feed)	ปริมาณ $Zn^{2+}$ (mg)		ฟลักซ์ (การสกัด) $mg/m^2 \text{ min}$	ปริมาณ $Zn^{2+}$ (mg)		ฟลักซ์ (การนำกลับ) $mg/m^2 \text{ min}$
	ขาเข้า	ขาออก		ขาเข้า	ขาออก	
-	462.350	146.820	90.151	0.320	258.770	28.845
1:100	465.550	106.450	102.600	0.320	303.390	33.825
1:50	469.850	32.680	124.906	0.180	377.210	42.079
1:25	469.450	20.710	128.211	0.280	392.740	43.801
1:16.67	478.300	15.110	132.340	0.520	402.950	44.914
1:12.50	482.100	15.490	133.317	0.070	406.050	45.310

:  $[Zn^{2+}]_f = 100 \text{ ppm}$ ,  $V_f = 5 \text{ liters}$ ,  $Q_f = 100 \text{ ml/min}$ ,  $[H_2SO_4] = 0.1 \text{ mole/l}$ ,  $V_s = 5 \text{ liters}$ ,  $Q_s = 100 \text{ ml/min}$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-11 แสดงข้อมูลค่าฟลักซ์ของผลการทดลองศึกษาอัตราการไหลต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้น โยกลวง  
(ดูตัวอย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ง-3 และ ง-4)

อัตราการไหล (ml/min)	[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	ปริมาณ $Zn^{2+}$ (mg)		ฟลักซ์ (การสกัด) $mg/m^2 \text{ min}$	ปริมาณ $Zn^{2+}$ (mg)		ฟลักซ์ (การนำกลับ) $mg/m^2 \text{ min}$
		ขาเข้า	ขาออก		ขาเข้า	ขาออก	
20	0.7	450.400	12.255	125.184	0.235	376.263	41.967
40	0.7	450.450	12.350	125.171	0.790	377.847	42.082
60	0.7	451.550	12.778	125.364	0.605	381.684	42.531
80	0.7	448.750	12.160	124.740	0.625	375.185	41.804
100	0.7	457.550	12.350	127.200	0.095	378.747	42.260
300	0.7	454.550	101.033	101.005	0.250	297.344	33.158
500	0.7	463.900	156.513	87.825	0.225	257.470	28.710
700	0.7	467.100	273.363	55.354	0.430	189.205	21.069
900	0.7	475.400	378.765	27.610	0.100	89.308	9.956

:  $[Zn^{2+}]_f = 100 \text{ ppm}$ ,  $V_f = 5 \text{ liters}$ ,  $[H_2SO_4] = 0.1 \text{ mole/l}$ ,  $V_s = 5 \text{ liters}$

ตาราง ข-12 แสดงข้อมูลสมมูลมวลของผลการทดลองศึกษาเลือกช่วง [D2EHPA] ที่เหมาะสมต่อการสกัดแยก ไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พอง  
ด้วยเส้นใยกลวง (ดูตัวอย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ง-5)

[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>f</sub> (ppm)		ปริมาณ Zn <sup>2+</sup> <sub>f</sub> (mg)		[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>r</sub> (ppm)		ปริมาณ Zn <sup>2+</sup> <sub>r</sub> (mg)		Accumulate (mg)
	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	
0.1	99.190	71.34	495.95	338.87	0.071	33.121	0.36	144.57	12.87
0.5	92.470	30.91	462.35	146.82	0.063	59.283	0.32	258.77	57.07
1.0	93.440	3.289	467.20	15.62	0.127	84.597	0.64	369.27	82.95
5.0	108.600	3.617	543.00	17.18	0.063	103.711	0.32	452.70	73.44
10.0	97.740	2.385	488.70	11.33	0.055	95.371	0.28	416.29	61.35
15.0	93.750	1.800	468.75	8.55	0.036	89.727	0.18	391.66	68.72
20.0	100.500	2.693	502.50	12.79	0.105	94.706	0.53	413.39	76.84
25	99.940	2.279	499.70	10.83	0.068	97.500	0.34	425.59	63.63

: [Zn<sup>2+</sup>]<sub>f</sub> = 100 ppm, V<sub>f</sub> = 5 liters, Q<sub>f</sub> = 100 ml/min, [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] = 0.1 mole/l, V<sub>s</sub> = 5 liters, Q<sub>s</sub> = 100 ml/min

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตาราง ข-13 แสดงข้อมูลสมมูลมวลของผลการทดลองศึกษา [D2EHPA] ที่เหมาะสมต่อการสกัดแยก ไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงเมื่อไม่ใช้สารละลายบัฟเฟอร์เข้าร่วมในการสกัด (ดูตัวอย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ง-5)

[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>f</sub> (ppm)		ปริมาณ Zn <sup>2+</sup> <sub>f</sub> (mg)		[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>s</sub> (ppm)		ปริมาณ Zn <sup>2+</sup> <sub>s</sub> (mg)		Accumulate (mg)
	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	
0.1	99.190	71.340	495.950	338.865	0.071	33.121	0.355	144.573	12.867
0.3	91.650	52.730	458.250	250.468	0.034	44.234	0.170	193.081	14.871
0.5	92.470	30.910	462.350	146.823	0.063	59.283	0.315	258.770	57.072
0.7	93.970	7.690	469.850	36.528	0.101	86.601	0.505	378.013	55.814
0.9	94.180	2.600	470.900	12.350	0.060	87.020	0.300	379.842	79.008
1.0	93.440	3.290	467.200	15.628	0.042	85.442	0.210	372.954	78.828

: [Zn<sup>2+</sup>]<sub>f</sub> = 100 ppm, V<sub>f</sub> = 5 liters, Q<sub>f</sub> = 100 ml/min, [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] = 0.1 mole/l, V<sub>s</sub> = 5 liters, Q<sub>s</sub> = 100 ml/min

ตาราง ข-14 แสดงข้อมูลสมมูลมวลของผลการทดลองศึกษาปริมาณ [D2EHPA] ที่เหมาะสมเมื่อกระบวนการใช้สารละลายบัฟเฟอร์เข้าร่วมในการสกัด  
 ที่สัดส่วน โดยปริมาตรของสารละลายบัฟเฟอร์ต่อสารป้อนเท่ากับ 1:50 (คู่มืออย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ง-5)

[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>f</sub> (ppm)		ปริมาณ Zn <sup>2+</sup> <sub>f</sub> (mg)		[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>s</sub> (ppm)		ปริมาณ Zn <sup>2+</sup> <sub>s</sub> (mg)		Accumulate (mg)
	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	
0.1	95.660	53.950	478.300	256.263	0.084	36.334	0.420	158.598	63.860
0.3	93.370	40.730	466.850	193.468	0.063	51.333	0.315	224.069	49.629
0.5	98.460	7.210	492.300	34.248	0.052	90.552	0.260	395.259	63.053
0.7	94.560	2.690	472.800	12.778	0.113	89.853	0.565	392.208	68.379
0.9	95.410	2.500	477.050	11.875	0.017	87.727	0.085	382.928	82.332
1.0	95.570	2.380	477.850	11.305	0.038	93.388	0.190	407.639	59.096

: [Zn<sup>2+</sup>]<sub>f</sub> = 100 ppm, V<sub>f</sub> = 5 liters, Q<sub>f</sub> = 100 ml/min, [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] = 0.1 mole/l, V<sub>s</sub> = 5 liters, Q<sub>s</sub> = 100 ml/min สัดส่วนสารละลายบัฟเฟอร์ต่อสารป้อนเท่ากับ 1:50

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-15 แสดงข้อมูลสมมูลมวลของผลการทดลองศึกษาสัดส่วนของสารละลายบัฟเฟอร์ต่อสารป้อนต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วย  
เส้นใยกลวง (ดูตัวอย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ง-5)

สัดส่วน (Buffer:Feed)	[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>f</sub> (ppm)		ปริมาณ Zn <sup>2+</sup> <sub>f</sub> (mg)		[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>s</sub> (ppm)		ปริมาณ Zn <sup>2+</sup> <sub>s</sub> (mg)		Accumulate (mg)
		ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	
-	0.5	92.470	30.910	462.350	146.823	0.063	59.283	0.315	258.770	57.072
1:100	0.5	93.110	22.410	465.550	106.448	0.064	69.505	0.320	303.391	56.031
1:50	0.5	93.970	6.880	469.850	32.680	0.036	86.416	0.180	377.206	60.144
1:25	0.5	93.890	4.360	469.450	20.710	0.055	89.975	0.275	392.741	56.274
1:16.67	0.5	95.660	3.180	478.300	15.105	0.104	92.314	0.520	402.951	60.764
1:12.50	0.5	96.420	3.260	482.100	15.485	0.013	93.023	0.065	406.045	60.635

: [Zn<sup>2+</sup>]<sub>f</sub> = 100 ppm, V<sub>f</sub> = 5 liters, Q<sub>f</sub> = 100 ml/min, [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] = 0.1 mole/l, V<sub>s</sub> = 5 liters, Q<sub>s</sub> = 100 ml/min

ตาราง ข-16 แสดงข้อมูลของสมมูลมวลของผลการทดลองศึกษาอัตราการไหลต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้น โยกลวง  
(ดูตัวอย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ง-5)

อัตราการไหล (ml/min)	[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>f</sub> (ppm)		ปริมาณ Zn <sup>2+</sup> <sub>f</sub> (mg)		[Zn <sup>2+</sup> ] <sub>s</sub> (ppm)		ปริมาณ Zn <sup>2+</sup> <sub>s</sub> (mg)		Accumulate (mg.)
		ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	
20	0.7	90.080	2.580	450.400	12.255	0.047	86.200	0.235	376.263	62.117
40	0.7	90.090	2.600	450.450	12.350	0.158	86.563	0.790	377.847	61.043
60	0.7	90.310	2.690	451.550	12.778	0.121	87.442	0.605	381.684	57.693
80	0.7	89.750	2.560	448.750	12.160	0.125	85.953	0.625	375.185	62.030
100	0.7	91.510	2.600	457.550	12.350	0.019	86.769	0.095	378.747	66.548
300	0.7	90.910	21.270	454.550	101.033	0.050	68.120	0.250	297.344	56.424
500	0.7	92.780	32.950	463.900	156.513	0.045	58.985	0.225	257.470	50.143
700	0.7	93.420	57.550	467.100	273.363	0.086	43.346	0.430	189.205	4.962
900	0.7	95.080	79.740	475.400	378.765	0.020	20.460	0.100	89.308	7.427

: [Zn<sup>2+</sup>]<sub>f</sub> = 100 ppm, V<sub>f</sub> = 5 liters, [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] = 0.1 mole/l, V<sub>s</sub> = 5 liters

ตาราง ข-17 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณ [D2EHPA] กับ ไอออนสังกะสีที่สะสมในกระบวนการของชุดทดลองศึกษาเลือกช่วง [D2EHPA] ที่เหมาะสม (ดูตัวอย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ง-6)

[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	ปริมาณ $Zn^{2+}_f$ (mg)		ปริมาณ $Zn^{2+}_s$ (mg)		Accumulate (mg)	[ZnR <sub>2</sub> RH] (mole) จากการคำนวณ	[D2EHPA] <sub>ในการเกิดcomplex</sub> 1.5[D2EHPA] (mole)	[D2EHPA] <sub>ในการทดลอง</sub> (mole)	[D2EHPA] <sub>excess</sub> (mole)
	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก					
0.1	495.950	338.865	0.355	144.573	12.867	0.000196831	0.000295246	0.000304376	9.12986E-06
0.5	462.350	146.823	0.315	258.770	57.072	0.000873064	0.001309596	0.001521881	2.12285E-04
1.0	467.200	15.623	0.635	369.266	82.946	0.001268875	0.001903312	0.003043762	0.00114045
5.0	543.000	17.181	0.315	452.699	73.436	0.001123386	0.001685079	0.015218809	0.01353373
10.0	488.700	11.329	0.275	416.294	61.352	0.000938532	0.001407798	0.030437618	0.02902982
15.0	468.750	8.550	0.180	391.658	68.722	0.001051272	0.001576908	0.045656428	0.04407952
20.0	502.500	12.792	0.525	413.392	76.842	0.001175487	0.00176323	0.060875237	0.059112007
25	499.700	10.825	0.340	425.588	63.627	0.00097334	0.00146001	0.076094046	0.074634036

:  $[Zn^{2+}]_f = 100$  ppm,  $V_f = 5$  liters,  $Q_f = 100$  ml/min,  $[H_2SO_4] = 0.1$  mole/l,  $V_s = 5$  liters,  $Q_s = 100$  ml/min

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-18 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณ [D2EHPA] กับไอออนสังกะสีที่สะสมในกระบวนการของชุดการทดลองศึกษา [D2EHPA] ที่เหมาะสม เมื่อไม่ใช้สารละลายบัฟเฟอร์ เข้าร่วมในการสกัด (ดูตัวอย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ง-6)

[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	ปริมาณ Zn <sup>2+</sup> (mg)		ปริมาณ Zn <sup>2+</sup> (mg)		Accumulate (mg)	[ZnR <sub>2</sub> RH] (mole) จากการคำนวณ	[D2EHPA] <sub>ในการเกิดcomplex</sub> 1.5[D2EHPA] (mole)	[D2EHPA] <sub>ในการทดลอง</sub> (mole)	[D2EHPA] <sub>excess</sub> (mole)
	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก					
0.1	495.950	338.865	0.355	144.573	12.867	0.000196831	0.000295246	0.000304376	1.07545E-04
0.3	458.250	250.468	0.170	193.081	14.871	0.000227491	0.000341237	0.000913129	0.000685638
0.5	462.350	146.823	0.315	258.770	57.072	0.000873064	0.001309596	0.001521881	0.000648817
0.7	469.850	36.528	0.505	378.013	55.814	0.000853819	0.001280728	0.002130633	0.001276814
0.9	470.900	12.350	0.300	379.842	79.008	0.001208623	0.001812935	0.002739386	0.001530762
1.0	467.200	15.628	0.210	372.954	78.828	0.001205877	0.001808815	0.003043762	0.001837885

: [Zn<sup>2+</sup>]<sub>f</sub> = 100 ppm, V<sub>f</sub> = 5 liters, Q<sub>f</sub> = 100 ml/min, [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] = 0.1 mole/l, V<sub>s</sub> = 5 liters, Q<sub>s</sub> = 100 ml/min

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-19 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณ [D2EHPA] กับไอออนสังกะสีที่สะสมในกระบวนการของชุดทดลองศึกษา [D2EHPA] ที่เหมาะสม เมื่อกระบวนการใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่สัดส่วนสารละลายบัฟเฟอร์ต่อสารป้อนเท่ากับ 1:50 (ดูตัวอย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ง-6)

[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	ปริมาณ $Zn^{2+}$ (mg)		ปริมาณ $Zn^{2+}$ (mg)		Accumulate (mg)	[ZnR <sub>2</sub> RH] (mole) จากการคำนวณ	[D2EHPA] <sub>ในการเกิดcomplex</sub> 1.5[D2EHPA] (mole)	[D2EHPA] <sub>ในการทดลอง</sub> (mole)	[D2EHPA] <sub>excess</sub> (mole)
	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก					
0.1	478.300	256.263	0.420	158.598	63.860	0.000150503	0.000225754	0.000304376	7.86224E-05
0.3	466.850	193.468	0.315	224.069	49.629	0.000341932	0.000512897	0.000913129	0.000400231
0.5	492.300	34.248	0.260	395.259	63.053	0.000964556	0.001446834	0.001521881	7.50471E-05
0.7	472.800	12.778	0.565	392.208	68.379	0.001046033	0.001569049	0.002130633	0.000561584
0.9	477.050	11.875	0.085	382.928	82.332	0.001259471	0.001889207	0.002739386	0.000850179
1.0	477.850	11.305	0.190	407.639	59.096	0.000904029	0.001356044	0.003043762	0.001687718

:  $[Zn^{2+}]_f = 100 \text{ ppm}$ ,  $V_f = 5 \text{ liters}$ ,  $Q_f = 100 \text{ ml/min}$ ,  $[H_2SO_4] = 0.1 \text{ mole/l}$ ,  $V_s = 5 \text{ liters}$ ,  $Q_s = 100 \text{ ml/min}$

สัดส่วนโดยปริมาตรของสารละลายบัฟเฟอร์ต่อสารป้อนเท่ากับ 1:50

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตาราง ข-20 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณ [D2EHPA] กับ ไอออนสังกะสีที่สะสมในกระบวนการของชุดทดลองศึกษาสัดส่วนของสารละลายบัฟเฟอร์ต่อสารป้อนต่อ การสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง (ดูตัวอย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ง-6)

สัดส่วน (Buffer:Feed)	[D2EHPA] (% โดยปริมาตร)	ปริมาณ $Zn^{2+}_f$ (mg)		ปริมาณ $Zn^{2+}_s$ (mg)		Accumulate (mg)	[ZnR <sub>2</sub> RH] (mole) จากการคำนวณ	[D2EHPA] <sub>ในการเกิดcomplex</sub> 1.5[D2EHPA] (mole)	[D2EHPA] <sub>ในการทดลอง</sub> (mole)	[D2EHPA] <sub>excess</sub> (mole)
		ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก					
-	0.5	462.350	146.823	0.315	258.770	57.072	0.000873064	0.001309596	0.001521881	0.000212285
0.01	0.5	465.550	106.448	0.320	303.391	56.031	0.00085717	0.001285754	0.001521881	0.000236127
0.02	0.5	469.850	32.680	0.180	377.206	60.144	0.000920058	0.001380086	0.001521881	0.000141795
0.04	0.5	469.450	20.710	0.275	392.741	56.274	0.000860856	0.001291283	0.001521881	0.000230598
0.06	0.5	478.300	15.105	0.520	402.951	60.764	0.000929546	0.001394318	0.001521881	0.000127563
0.08	0.5	482.100	15.485	0.065	406.045	60.635	0.00092756	0.00139134	0.001521881	0.000130541

:  $[Zn^{2+}]_f = 100$  ppm,  $V_f = 5$  liters,  $Q_f = 100$  ml/min,  $[H_2SO_4] = 0.1$  mole/l,  $V_s = 5$  liters,  $Q_s = 100$  ml/min

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตาราง ข-21 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณ [D2EHPA] กับไอออนสังกะสีที่สะสมในกระบวนการของชุดการทดลองศึกษาอัตราการไหลต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง (ดูตัวอย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ง-6)

อัตราการไหล (ml/min)	ปริมาณ $Zn^{2+}$ (mg)		ปริมาณ $Zn^{2+}$ (mg)		Accumulate (mg)	[ZnR <sub>2</sub> RH] (mole) จากการคำนวณ	[D2EHPA] <sub>ในการเกิดcomplex</sub> 1.5[D2EHPA] (mole)	[D2EHPA] <sub>ในการทดลอง</sub> (mole)	[D2EHPA] <sub>excess</sub> (mole)
	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก					
20	450.400	12.255	0.235	376.263	62.117	0.001009887	0.001514831	0.002130633	0.000615803
40	450.450	12.350	0.790	377.847	61.043	0.000983211	0.001474817	0.002130633	0.000655817
60	451.550	12.778	0.605	381.684	57.693	0.000963779	0.001445668	0.002130633	0.000684965
80	448.750	12.160	0.625	375.185	62.030	0.000948909	0.001423363	0.002130633	0.00070727
100	457.550	12.350	0.095	378.747	66.548	0.001018025	0.001527038	0.002130633	0.000603595
300	454.550	101.033	0.250	297.344	56.424	0.000863144	0.001294715	0.002130633	0.000835918
500	463.900	156.513	0.225	257.470	50.143	0.000767064	0.001150596	0.002130633	0.000980037
700	467.100	273.363	0.430	189.205	4.962	7.59096E-05	0.000113864	0.002130633	0.002016769
900	475.400	378.765	0.100	89.308	7.427	0.000113616	0.000170425	0.002130633	0.001960209

: [Zn<sup>2+</sup>]<sub>f</sub> = 100 ppm, V<sub>f</sub> = 5 liters, [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] = 0.1 mole/l, V<sub>s</sub> = 5 liters

## ภาคผนวก ก

### คำนิยาม

#### ก-1 ประสิทธิภาพในการสกัด (%*Extract*)

$$\% \text{การสกัด } (\% \textit{Extract}) = \frac{\text{ปริมาณ ไอออนสังกะสีที่สกัดได้ (mg)}}{\text{ปริมาณ ไอออนสังกะสีตั้งต้น (mg)}}$$

#### ก-2 ประสิทธิภาพในการนำกลับ (%*Recovery*)

$$\% \text{การนำกลับ } (\% \textit{Recovery}) = \frac{\text{ปริมาณ ไอออนสังกะสีที่สกัดได้ (mg)}}{\text{ปริมาณ ไอออนสังกะสีตั้งต้น (mg)}}$$

#### ก-3 ฟลักซ์ในการสกัด (*Flux<sub>Extract</sub>*)

$$\text{ฟลักซ์ในการสกัด } (\textit{Flux}_{\textit{Extract}}) = \text{อัตราการถ่ายโอนมวลในการสกัดต่อพื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพ}$$

#### ก-4 ฟลักซ์ในการนำกลับ (*Flux<sub>Recovery</sub>*)

$$\text{ฟลักซ์ในการนำกลับ } (\textit{Flux}_{\textit{Recovery}}) = \text{อัตราการถ่ายโอนมวลในการนำกลับต่อพื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพ}$$

## ภาคผนวก ง

## ตัวอย่างการคำนวณ

## ง-1 ประสิทธิภาพในการสกัด (%Extract)

ข้อมูลจากตาราง ข-1 [D2EHPA]	=	0.1% โดยปริมาตร
ความเข้มข้นของไอออนสังกะสีในสารป้อนขาเข้า	=	99.190 ppm (mg/l)
ความเข้มข้นของไอออนสังกะสีในสารป้อนขาออก	=	71.340 ppm (mg/l)
ปริมาตรของสารป้อนขาเข้า	=	5 ลิตร
ปริมาตรของสารป้อนขาออก	=	4.75 ลิตร

$$\% \text{การสกัด (\%Extract)} = \left[ \frac{[(99.190 \text{ mg/l})(5\text{l}) - (71.340 \text{ mg/l})(4.75\text{l})]}{(99.190 \text{ mg/l})(5\text{l})} \right] \times 100$$

$$= 31.67\%$$

## ง-2 ประสิทธิภาพในการนำกลับ (%Recovery)

ข้อมูลจากตาราง ข-1 ที่ [D2EHPA]	=	0.1% โดยปริมาตร
ความเข้มข้นของไอออนสังกะสีในสารละลายสตรีปขาเข้า	=	0.071 ppm (mg/l)
ความเข้มข้นของไอออนสังกะสีในสารละลายสตรีปขาออก	=	33.121 ppm (mg/l)
ปริมาตรของสารละลายสตรีปขาเข้า	=	5 ลิตร
ปริมาตรของสารละลายสตรีปขาออก	=	4.365 ลิตร

$$\begin{aligned} \text{\%การนำกลับ (\% Recovery)} &= \left[ \frac{[(33.121 \text{ mg/l})(4.365 \text{ l}) - (0.071 \text{ mg/l})(5 \text{ l})]}{(99.190 \text{ mg/l})(5 \text{ l})} \right] \\ &= 29.08\% \end{aligned}$$

### ง-3 ฟลักซ์ในการสกัด ( $Flux_{Extract}$ )

ข้อมูลจากตาราง ข-1 [D2EHPA] = 0.1% โดยปริมาตร

ปริมาณไอออนสังกะสีในสารป้อนขาเข้า = 495.95 mg

ปริมาณไอออนสังกะสีในสารป้อนขาออก = 338.87 mg

จากวิธีการทดลองปฏิบัติการที่อัตราการไหล 100 ml/min.

$$\therefore \text{Resident Time} = V/Q = (250 \text{ mg})/(100 \text{ mg/min})$$

$$= 2.5 \text{ min}$$

จากตาราง 3-2 พื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพ =  $1.4 \text{ m}^2$

$$\text{ฟลักซ์ในการสกัด } (Flux_{Extract}) = \left[ \frac{[(495.95 \text{ mg}) - (338.87 \text{ mg})]}{(1.4 \text{ m}^2)(2.5 \text{ min})} \right]$$

$$= 44.881 \text{ mg/m}^2 \text{ min}$$

### ง-4 ฟลักซ์ในการนำกลับ ( $Flux_{Recovery}$ )

ข้อมูลจากตาราง ข-1 [D2EHPA] = 0.1% โดยปริมาตร

ปริมาณไอออนสังกะสีในสารละลายสดริบขาออก = 144.57 mg

ปริมาณไอออนสังกะสีในสารละลายสดริบขาเข้า = 0.36 mg

$$\therefore \text{Resident Time} = V/Q = (640 \text{ mg})/(100 \text{ mg/min})$$

$$= 6.4 \text{ min}$$

จากวิธีการทดลองปฏิบัติการที่อัตราการไหล 100 ml/min

$$\text{จากตาราง 3-2 พื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพ} = 1.4 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{ฟลักซ์ในการนำกลับ (Flux}_{\text{Recovery}}) &= \left[ \frac{[(144.57 \text{ mg}) - (0.36 \text{ mg})]}{(1.4 \text{ m}^2)(6.4 \text{ min})} \right] \\ &= 16.096 \text{ mg/m}^2 \text{ min} \end{aligned}$$

### ง-5 ตัวอย่างการคำนวณสมดุลมวลในการทดลอง

ข้อมูลจากตาราง ข-1 [D2EHPA]	=	0.1% โดยปริมาตร
ความเข้มข้นของไอออนสังกะสีในสารป้อนขาเข้า	=	99.190 ppm (mg/l)
ความเข้มข้นของไอออนสังกะสีในสารป้อนขาออก	=	71.340 ppm (mg/l)
ความเข้มข้นของไอออนสังกะสีในสารละลายสตริปขาเข้า	=	0.071 ppm (mg/l)
ความเข้มข้นของไอออนสังกะสีในสารละลายสตริปขาออก	=	33.121 ppm (mg/l)
ปริมาตรของสารป้อนขาเข้า	=	5 ลิตร
ปริมาตรของสารป้อนขาออก	=	4.75 ลิตร
ปริมาตรของสารละลายสตริปขาเข้า	=	5 ลิตร
ปริมาตรของสารละลายสตริปขาออก	=	4.365 ลิตร

$$\therefore \text{ปริมาณ } Zn_f^{2+} \text{ (ขาเข้า)} = (99.190 \text{ mg/l}) \times (5 \text{ l})$$

$$= 495.95 \text{ mg}$$

$$\text{ปริมาณ } Zn_f^{2+} \text{ (ขาออก)} = (71.34 \text{ mg/l}) \times (4.75 \text{ l})$$

$$= 338.87 \text{ mg}$$

$$\text{ปริมาณ } Zn_s^{2+} \text{ (ขาเข้า)} = (0.071 \text{ mg/l}) \times (5 \text{ l})$$

$$= 0.36 \text{ mg}$$

$$\text{ปริมาณ } Zn_s^{2+} \text{ (ขาออก)} = (33.121 \text{ mg/l}) \times (4.365 \text{ l})$$

$$= 144.57 \text{ mg}$$

∴ ปริมาณไอออนสังกะสีที่สะสมในกระบวนการ (Accumulate, mg)

$$\begin{aligned} \text{Accumulate} &= \{[\text{ปริมาณ } Zn_f^{2+} (\text{ขาเข้า}) + \text{ปริมาณ } Zn_i^{2+} (\text{ขาเข้า})] \\ &\quad - [\text{ปริมาณ } Zn_f^{2+} (\text{ขาออก}) + \text{ปริมาณ } Zn_i^{2+} (\text{ขาออก})]\} \\ &= \{[(495.95 \text{ mg}) + (0.36 \text{ mg})] - [(338.87 \text{ mg}) + (144.57 \text{ mg})]\} \\ &= 12.97 \text{ mg} \end{aligned}$$

## ง-6 ตัวอย่างการคำนวณเปรียบเทียบปริมาณ [D2EHPA] กับไอออนสังกะสีที่สะสมในกระบวนการ

Basis: ปริมาณไอออนสังกะสีที่สะสมอยู่ในกระบวนการจะสะสมอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน  $[ZnR_2 \cdot RH]$

ข้อมูลจากตาราง ข-11 ที่ [D2EHPA] = 0.1% โดยปริมาตร

มีปริมาณไอออนสังกะสีที่สะสมในกระบวนการ (Accumulate) = 12.87 mg

$$\text{MW. (Zn)} = 65.37$$

$$\text{MW. (D2EHPA)} = 321.97$$

$$\text{Density } (\rho) = 0.98 \text{ g/ml}$$

จากสมการการสกัด



ไอออน  $Zn^{2+}$  ที่สะสม 1 mole ต้องเข้าทำปฏิกิริยากับ [D2EHPA] 1.5 mole

$$\text{ถ้ามีไอออน } Zn^{2+} = \frac{12.87 \text{ mg}}{(65.37 \text{ g/mole})} = 1.96831 \times 10^{-4} \text{ mole}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้องทำปฏิกิริยากับ [D2EHPA]} &= 1.5 \times 1.96831 \times 10^{-4} \text{ mole} \\ &= 2.95246 \times 10^{-4} \text{ mole} \end{aligned}$$

แต่จากการทดลองใช้ [D2EHPA] = 0.1% โดยปริมาตร

$$\therefore [D2EHPA] = \frac{(0.1 \text{ ml})(0.98 \text{ g/ml})}{(321.97)}$$

$$= 3.04376 \times 10^{-4} \text{ mole}$$

พบว่า

$$[D2EHPA]_{\text{EXCESS}} = [D2EHPA]_{\text{ในการทดลอง}} - [D2EHPA]_{\text{ในการทำComplex}}$$

$$= (3.04376 \times 10^{-4} \text{ mole}) - (2.95246 \times 10^{-4} \text{ mole})$$

$$= 9.12986 \times 10^{-6} \text{ mole}$$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้วิจัย

นายวิวัฒน์ ปัดทวิงศา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา  
วิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ในปีการศึกษา  
2537 และเข้าศึกษาคณะหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรม  
ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2539



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย