

รายการอ้างอิง



ภาษาไทย

- ทิพย์ ชัยวิริยกุล. การนำโลหะหนักเกิดในน้ำเสียจากการชุบโลหะกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- ธรรม ฐ์ประกอบกิจ. การกำจัดสารหนูในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- มันลิน ตันทุลเทศม์. วิศวกรรมประปาเล่ม 2. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.
- สาโรจน์ บุญยกิจสมบัติ. การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางเคมีในโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าขนาดกลางและเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- อนันต์ ทองมอญ. ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ ภาพพิมพ์, 2527.
- อรุณี อริยประยูร, จตุรงค์ ยงศิริ และ นพคุณ เพชรเครือ. การประยุกต์ใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนในการนำโลหะกลับมาใช้ใหม่. โครงการทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

ภาษาอังกฤษ

- Anderson, M.A. and Rubin, A.J. Adsorption of Inorganic at Solid – liquid Interface. (n.p.): Ann Arbor Science, 1981.
- Bailey, R.P., Bennett, T. and Benjamin, M.M. Sorption Onto and Recovery of Cr(VI) Using Iron – Oxide – Coated Sand. Water Science and Technology 26, 5-6 (1992):1239-1244
- Benjamin, M.M., Sletten, R.S., Bailey, R.P. and Bennet, T. Sorption and Filtration of Metals Using Iron – Oxide – Coated Sand. Water Research 30, 11 (1996): 2609-2620
- Bishkin, B. Printed Circuit Boards Wastewater Treatment. Printed Circuit Fabrication 21, 11, 1998.

- Bolto, B.A. and Pawloski, L. Wastewater Treatment by Ion Exchange: London:E.&F.N. Spon,1987.
- Bryce,A.L., Komiker, W.A., and Elzerman, A.W. Nickel Adsorption to Hydrous Ferric Oxide in the Presence of EDTA: Effects of Component Addition Sequence. Environmental Science and Technology 28, 13 (1994) : 2353-2359
- Forstner and Wittman. Metal Pollution in the Aquatic Environment.(n.p.): Springer – Verlag Berin Heidelberg, 1981.
- Harland, C.E. Ion – Exchange Theory and Practice.(n.p.): The Royal Society of Chemistry, 1994.
- Hartinge, L. Handbook of Effluent Treatment and Recycling for the Metal Finishing Industry. (n.p.): Finishing Publication LTD, 1994.
- Juang, L.D., Shiau, L.D. Ion Exchange Equilibria of Metal Chelates of Ethylenediaminetetraacetic Acid (EDTA) with Amberlite IRA – 68. Industrial and Engineering Chemistry Research 37, 2 (1998): 555-560
- Kenneth, D.K. Industrial Waste Treatment. A field study training program. Sacramento: California State University, Sacramento Foundation, 1996.
- Kirman, L. Flood of savings. Printed Circuit Fabrication 21, 11, 1998.
- Lai, C.H., Lo, S.L., and Lin, C.F. Evaluating an Iron – Coated Sand for Removing Copper from Water. Water science and Technology 39, 9 (1994): 175-182
- Lai, C.H., Chen, C.Y., Shih, P.H., and Hsia, T.H. Competitive Adsorption of Copper and Lead Ions on an Iron – Coated Sand from Water Water science and Technology 42, 3-4 (2000): 149-154
- Lo, S.L., Jeng, H.T., and Lai, C.H. Characteristics and Adsorption Properties of Iron – Coated Sand Water science and Technology 35, 7 (1997): 63-70
- Patterson, J.W. Industrial Waste Water Treatment Technology. Butterworth Publisher, 1985.
- Panswad, T. Ion Exchange Removal of Inorganic and organic wastewater Constituents. Ph.D. dissertation, Department of Civil and Environment Engineering, University of Colorado, 1975.

- Satpathy, J.K. and Chaudhuri, M. Treatment of Cadmium – Plating and Chromium – Plating Wastes by iron Oxide – Coated Sand. Journal of Water Environment Research 67, 5 (1995): 788-790
- Spearot, R.M., Peck, J.V. Recovery Process for Complexed Copper - Bearing Rinse waters. Environmental Progress 3, 2 (1984): 124-128
- Sricharoenchaikit, P. Ion Exchange Treatment for Electroless Copper – EDTA Rinse water. Plating and Surface Finishing 76, 12 (1989): 68-70
- U.S.EPA. Guides to Pollution Prevention: The Printed Circuit Board Manufacturing Industry. Cincinnati, Ohio: Risk Reduction Engineering Laboratory and Center for Environmental Research Information, 1990.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารรีเจนเนอเรชั่นที่มีต่อประสิทธิภาพในการ
นำกลับทองแดงเชิงซ้อนจากเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

ตารางที่ ก.1 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ไม่ปรับค่าพีเอช อัตราการไหล 20 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L. Non Adjusted pH. Service Flow Rate = 20 BV/hr								
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ s/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
0	0							
20	3060	11.28	29.5	788	< 0.03	0.60	0.60	0.03
40	6120	11.28	29.6	787	< 0.03	0.60	1.20	0.03
60	9180	11.30	29.2	790	< 0.03	0.60	1.80	0.03
80	12240	11.29	29.1	792	< 0.03	0.60	2.40	0.03
100	15300	11.30	28.9	791	< 0.03	0.60	3.00	0.03
120	18360	11.31	29.0	791	< 0.03	0.60	3.60	0.03
140	21420	11.32	29.2	791	< 0.03	0.60	4.20	0.03
160	24480	11.30	30.2	786	< 0.03	0.60	4.80	0.03
180	27540	11.28	31.1	487	< 0.03	0.60	5.40	0.03
200	30600	11.29	31.5	441	< 0.03	0.60	6.00	0.03
220	33660	10.45	31.2	434	< 0.03	0.60	6.60	0.03
225	34425	9.28	31.1	433	< 0.03	0.15	6.75	0.03
230	35190	7.72	31.2	433	< 0.03	0.15	6.90	0.03
235	35955	7.68	31.0	434	0.05	0.25	7.15	0.03
240	36720	7.63	31.0	434	0.08	0.40	7.55	0.03
245	37485	7.65	30.8	435	0.12	0.60	8.15	0.03
250	38250	7.65	30.9	435	0.19	0.95	9.10	0.04
255	39015	7.68	30.8	434	0.28	1.40	10.50	0.04

ตารางที่ ก.1 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ไม่ปรับค่าพีเอช อัตราการไหล 20 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, Non Adjusted pH, Service Flow Rate = 20 BV/hr								
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
260	39780	7.71	30.7	434	0.31	1.55	12.05	0.05
265	40545	7.71	30.8	435	0.55	2.75	14.80	0.06
270	41310	7.73	30.8	434	0.89	4.45	19.25	0.07
275	42075	7.75	30.6	436	1.07	5.35	24.60	0.09
280	42840	7.76	30.7	433	1.50	7.50	32.10	0.11
285	43605	7.71	30.7	431	2.18	10.90	43.00	0.15
290	44370	7.80	30.5	433	3.26	16.30	59.30	0.20
295	45135	7.84	30.5	433	4.20	21.00	80.30	0.27
300	45900	7.75	30.6	429	5.58	27.90	108.20	0.36
305	46665	7.95	30.5	425	7.27	36.35	144.55	0.47
310	47430	8.38	30.4	421	9.28	46.40	190.95	0.62
315	48195	8.48	30.0	419	11.35	56.75	247.70	0.79
320	48960	8.95	30.4	413	13.33	66.65	314.35	0.98
325	49725	9.11	30.3	411	16.79	83.95	398.30	1.23
330	50490	9.31	30.1	411	18.71	93.55	491.85	1.49

Inlet Cu concentration = 20.10 mg Cu/L x330 BV = 6633.00 mg Cu/L resin

Cu Concentration on resin = 6633.00 - 491.85 = 6141.15 mg Cu/L resin

ตารางที่ ก.2 ผลการศึกษาการล้างย้อนก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH อัตรา 4.5 BV/hr ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Backwash before Regeneration with Flow Rate 4.5 BV/hr, NaOH 3%								
Backwash Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
0.00	0							
3.33	509	8.90	30.1	15.4	0.42	1.40	1.40	0.42
6.67	1021	8.32	30.1	9.5	0.16	0.53	1.93	0.29
10.00	1530	7.41	30.1	7.5	0.10	0.33	2.27	0.23
13.33	2039	6.96	30.2	9.5	0.03	0.10	2.37	0.18

Cu Cocentration on resin after Backwash = 6141.15 - 2.37 = 6138.78 mg Cu/L resin

ตารางที่ ก.3 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชันเรซินที่หมดสภาพด้วย NaOH อัตราการรีเจนเนอเรชัน 4.5 BV/hr ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr, NaOH 3%											
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (ms/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /NaOH (mg/g)
(BV)	(mL)										
0.00	0								0.00	100.00	
0.15	23	10.26	30.0	3.7	925.00	138.75	138.75	925.00	2.26	97.74	30.83
0.30	46	10.34	30.0	11.3	2910.00	436.50	575.25	1917.50	9.37	90.63	63.92
0.45	69	10.23	30.0	18.3	4400.00	660.00	1235.25	2745.00	20.12	79.88	91.50
0.60	92	10.25	30.2	24.4	3970.00	595.50	1830.75	3051.25	29.82	70.18	101.71
0.75	115	11.80	30.5	40.3	3030.00	454.50	2285.25	3047.00	37.23	62.77	101.57
0.90	138	11.95	30.3	65.8	2180.00	327.00	2612.25	2902.50	42.55	57.45	96.75
1.05	161	11.96	30.5	77.0	1676.00	251.40	2863.65	2727.29	46.65	53.35	90.91
1.20	184	11.98	30.6	83.3	1424.00	213.60	3077.25	2564.38	50.13	49.87	85.48
1.35	207	11.98	30.7	87.4	1217.00	182.55	3259.80	2414.67	53.10	46.90	80.49
1.50	230	11.99	30.7	90.7	1078.00	161.70	3421.50	2281.00	55.74	44.26	76.03
1.88	287	11.99	30.7	96.4	824.00	309.00	3730.50	1989.60	60.77	39.23	66.32
2.25	344	12.00	30.7	100.3	657.00	246.38	3976.88	1767.50	64.78	35.22	58.92
3.00	459	12.00	30.6	101.1	414.00	310.50	4287.38	1429.13	69.84	30.16	47.64
3.75	574	12.00	30.7	101.9	298.00	223.50	4510.88	1202.90	73.48	26.52	40.10
4.50	689	12.01	30.9	101.9	231.00	173.25	4684.13	1040.92	76.30	23.70	34.70
5.63	861	12.03	30.6	102.1	153.00	172.13	4856.25	863.33	79.11	20.89	28.78
6.75	1033	12.00	30.9	101.9	111.00	124.88	4981.13	737.94	81.14	18.86	24.60

ตารางที่ ก.3 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชั่นเรซินที่หมดสภาพด้วย NaOH อัตราการรีเจนเนอเรชั่น 4.5 BV/hr ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ต่อ)

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr, NaOH 3%											
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (ms/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /NaOH (mg/g)
(BV)	(mL)										
7.88	1205	12.05	31.0	101.3	83.00	93.38	5074.50	644.38	82.66	17.34	21.48
9.00	1377	12.07	31.0	102.7	68.60	77.18	5151.68	572.41	83.92	16.08	19.08



ตารางที่ ก.4 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ไม่ปรับค่าพีเอช อัตราการไหล 20 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L. Non Adjusted pH, Service Flow Rate = 20 BV/hr								
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L.)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L.)
(BV)	(mL)							
0	0							
20	3060	11.29	30.3	790	< 0.03	0.60	0.60	0.03
40	6120	11.25	30.4	765	< 0.03	0.60	1.20	0.03
60	9180	11.24	30.7	763	< 0.03	0.60	1.80	0.03
80	12240	11.24	30.7	762	< 0.03	0.60	2.40	0.03
100	15300	11.23	30.8	763	< 0.03	0.60	3.00	0.03
120	18360	11.23	30.8	765	< 0.03	0.60	3.60	0.03
140	21420	11.24	30.6	763	< 0.03	0.60	4.20	0.03
160	24480	11.25	30.7	764	< 0.03	0.60	4.80	0.03
180	27540	11.24	30.8	764	< 0.03	0.60	5.40	0.03
200	30600	11.29	30.5	766	< 0.03	0.60	6.00	0.03
220	33660	11.25	30.6	765	0.10	2.00	8.00	0.04
225	34425	10.80	30.7	632	0.25	1.25	9.25	0.04
230	35190	10.98	30.6	591	0.33	1.65	10.90	0.05
235	35955	10.78	30.8	523	0.39	1.95	12.85	0.05
240	36720	10.54	30.9	474	0.45	2.25	15.10	0.06
245	37485	8.90	30.9	457	0.51	2.55	17.65	0.07
250	38250	8.85	31.0	426	0.59	2.95	20.60	0.08
255	39015	7.33	31.2	427	0.61	3.05	23.65	0.09

ตารางที่ ก.4 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ไม่ปรับค่าพีเอช อัตราการไหล 20 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, Non Adjusted pH, Service Flow Rate = 20 BV/hr								
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
260	39780	7.20	31.1	428	0.62	3.10	26.75	0.10
265	40545	7.45	31.3	426	0.65	3.25	30.00	0.11
270	41310	7.51	31.9	431	0.69	3.45	33.45	0.12
275	42075	7.57	33.2	430	0.93	4.65	38.10	0.14
280	42840	7.54	33.0	428	1.32	6.60	44.70	0.16
285	43605	7.45	32.7	426	1.68	8.40	53.10	0.19
290	44370	7.50	32.9	432	2.16	10.80	63.90	0.22
295	45135	7.62	32.3	427	3.13	15.65	79.55	0.27
300	45900	7.66	33.3	421	4.46	22.30	101.85	0.34
305	46665	7.87	33.4	424	6.77	33.85	135.70	0.44
310	47430	8.25	32.9	420	9.46	47.30	183.00	0.59
315	48195	8.33	33.6	420	12.50	62.50	245.50	0.78
320	48960	8.56	33.2	415	15.26	76.30	321.80	1.01
325	49725	8.88	33.1	409	18.15	90.75	412.55	1.27
330	50490	8.89	32.4	409	20.50	102.50	515.05	1.56

Inlet Cu concentration = 19.78 mg Cu/L x330 BV = 6527.40 mg Cu/L resin

Cu Concentration on resin = 6527.40 - 515.05 = 6012.35 mg Cu/L resin

ตารางที่ ก.5 ผลการศึกษาการล้างย้อนก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH อัตรา 4.5 BV/hr ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Backwash before Regeneration with Flow Rate 4.5 BV/hr, NaOH 4%								
Backwash Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
0.00	0							
3.33	509	9.03	30.8	17.9	0.61	2.03	2.03	0.61
6.67	1021	8.71	30.8	8.8	0.30	1.00	3.03	0.45
10.00	1530	7.82	30.5	7.0	0.26	0.87	3.90	0.39
13.33	2039	7.32	30.5	6.0	0.23	0.77	4.67	0.35

Cu Cocentration on resin after Backwash = $6012.35 - 4.67 = 6007.68$ mg Cu/L resin

ตารางที่ ก.6 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชั่นเรซินที่หมดสภาพด้วย NaOH อัตราการรีเจนเนอเรชั่น 4.5 BV/hr ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr. NaOH 4%											
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (ms/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /NaOH (mg/g)
(BV)	(mL)										
0.00	0								0.00	100.00	
0.15	23	10.50	30.7	17.4	1055.00	158.25	158.25	1055.00	2.63	97.37	26.38
0.30	46	11.35	30.6	26.3	4825.00	723.75	882.00	2940.00	14.68	85.32	73.50
0.45	69	11.90	30.9	48.1	4975.00	746.25	1628.25	3618.33	27.10	72.90	90.46
0.60	92	11.95	32.2	67.7	3695.00	554.25	2182.50	3637.50	36.33	63.67	90.94
0.75	115	11.97	31.4	91.7	2830.00	424.50	2607.00	3476.00	43.39	56.61	86.90
0.90	138	11.97	31.4	98.6	2124.00	318.60	2925.60	3250.67	48.70	51.30	81.27
1.05	161	11.97	31.4	100.9	1511.00	226.65	3152.25	3002.14	52.47	47.53	75.05
1.20	184	11.98	31.2	100.5	1215.00	182.25	3334.50	2778.75	55.50	44.50	69.47
1.35	207	11.97	31.8	100.7	1040.00	156.00	3490.50	2585.56	58.10	41.90	64.64
1.50	230	11.99	31.6	101.7	878.00	131.70	3622.20	2414.80	60.29	39.71	60.37
1.88	287	11.98	31.7	100.9	745.00	279.38	3901.58	2080.84	64.94	35.06	52.02
2.25	344	11.97	31.8	100.3	523.00	196.13	4097.70	1821.20	68.21	31.79	45.53
3.00	459	11.98	31.8	101.1	431.00	323.25	4420.95	1473.65	73.59	26.41	36.84
3.75	574	11.98	31.7	101.5	286.50	214.88	4635.83	1236.22	77.16	22.84	30.91
4.50	689	12.01	31.1	101.9	183.50	137.63	4773.45	1060.77	79.46	20.54	26.52
5.63	861	12.02	31.5	101.3	135.00	151.88	4925.33	875.61	81.98	18.02	21.89
6.75	1033	12.05	31.5	100.1	89.00	100.13	5025.45	744.51	83.65	16.35	18.61

ตารางที่ ก.6 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชันเรซินที่หมดสภาพด้วย NaOH อัตราการรีเจนเนอเรชัน 4.5 BV/hr ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ต่อ)

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr, NaOH 4%											
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (ms/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /NaOH (mg/g)
(BV)	(mL)										
7.88	1205	12.07	31.5	97.3	62.80	70.65	5096.10	647.12	84.83	15.17	16.18
9.00	1377	12.09	31.4	98.4	43.20	48.60	5144.70	571.63	85.64	14.36	14.29

ตารางที่ ก.7 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ไม่ปรับค่าพีเอช อัตราการไหล 20 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, Non Adjusted pH, Service Flow Rate = 20 BV/hr								
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ s/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
0	0							
20	3060	11.25	28.1	793	< 0.03	0.60	0.60	0.03
40	6120	11.25	28.3	794	< 0.03	0.60	1.20	0.03
60	9180	11.26	28.5	793	< 0.03	0.60	1.80	0.03
80	12240	11.26	28.8	792	< 0.03	0.60	2.40	0.03
100	15300	11.25	28.8	792	< 0.03	0.60	3.00	0.03
120	18360	11.25	28.9	790	< 0.03	0.60	3.60	0.03
140	21420	11.20	28.7	791	< 0.03	0.60	4.20	0.03
160	24480	11.24	28.8	792	< 0.03	0.60	4.80	0.03
180	27540	11.18	28.9	784	< 0.03	0.60	5.40	0.03
200	30600	11.25	28.8	783	< 0.03	0.60	6.00	0.03
220	33660	10.96	28.7	554	< 0.03	0.60	6.60	0.03
225	34425	10.02	29.3	503	< 0.03	0.15	6.75	0.03
230	35190	9.51	30.1	428	< 0.03	0.15	6.90	0.03
235	35955	8.88	30.2	428	< 0.03	1.50	8.40	0.04
240	36720	7.88	30.3	427	0.38	1.90	10.30	0.04
245	37485	7.75	30.3	427	0.46	2.30	12.60	0.05
250	38250	7.56	30.4	428	0.48	2.40	15.00	0.06
255	39015	7.53	30.5	427	0.51	2.55	17.55	0.07

ตารางที่ ก.7 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ไม่ปรับค่าพีเอช อัตราการไหล 20 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, Non Adjusted pH, Service Flow Rate = 20 BV/hr								
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
260	39780	7.54	30.3	427	0.60	3.00	20.55	0.08
265	40545	7.59	30.3	428	0.68	3.40	23.95	0.09
270	41310	7.59	30.2	428	0.75	3.75	27.70	0.10
275	42075	7.60	30.3	428	0.92	4.60	32.30	0.12
280	42840	7.64	30.0	427	1.40	7.00	39.30	0.14
285	43605	7.63	30.0	428	1.66	8.30	47.60	0.17
290	44370	7.73	29.9	426	2.25	11.25	58.85	0.20
295	45135	7.75	29.8	428	2.72	13.60	72.45	0.25
300	45900	7.79	30.0	429	3.77	18.85	91.30	0.30
305	46665	8.01	29.9	427	5.67	28.35	119.65	0.39
310	47430	8.21	29.8	425	8.00	40.00	159.65	0.52
315	48195	8.56	29.9	420	11.51	57.55	217.20	0.69
320	48960	8.78	29.6	414	14.20	71.00	288.20	0.90
325	49725	8.79	29.7	413	17.10	85.50	373.70	1.15
330	50490	8.78	29.7	412	19.98	99.90	473.60	1.44

Inlet Cu concentration = 19.95 mg Cu/L x330 BV = 6583.50 mg Cu/L resin

Cu Concentration on resin = 65 83.50 - 473.60 = 6109.90 mg Cu/L resin

ตารางที่ ก.8 ผลการศึกษาการล้างย้อนก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH อัตรา 4.5 BV/hr ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Backwash before Regeneration with Flow Rate 4.5 BV/hr, NaOH 5%								
Backwash Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
0.00	0							
3.33	509	8.95	29.1	18.4	0.50	1.67	1.67	0.50
6.67	1021	8.65	28.9	14.6	0.33	1.10	2.77	0.41
10.00	1530	8.42	29.1	9.0	0.27	0.90	3.67	0.37
13.33	2039	8.27	29.1	9.2	0.29	0.97	4.63	0.35

Cu Cocentration on resin after Backwash = $6109.90 - 4.63 = 6105.27$ mg Cu/L resin

ตารางที่ ก.9 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชันเรซินทั้งหมดสภาพด้วย NaOH อัตราการรีเจนเนอเรชัน 4.5 BV/hr ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr, NaOH 5%											
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (ms/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /NaOH (mg/g)
(BV)	(mL)										
0.00	0								0.00	100.00	
0.15	23	10.16	29.8	0.5	2080.00	312.00	312.00	2080.00	5.11	94.89	41.60
0.30	46	10.69	29.7	9.6	6360.00	954.00	1266.00	4220.00	20.74	79.26	84.40
0.45	69	10.56	29.8	29.0	5640.00	846.00	2112.00	4693.33	34.59	65.41	93.87
0.60	92	11.36	29.8	41.9	3770.00	565.50	2677.50	4462.50	43.86	56.14	89.25
0.75	115	12.01	30.0	104.1	2885.00	432.75	3110.25	4147.00	50.94	49.06	82.94
0.90	138	12.02	30.1	114.4	2450.00	367.50	3477.75	3864.17	56.96	43.04	77.28
1.05	161	12.03	30.0	115.8	1882.00	282.30	3760.05	3581.00	61.59	38.41	71.62
1.20	184	12.02	30.3	116.0	1477.00	221.55	3981.60	3318.00	65.22	34.78	66.36
1.35	207	12.04	30.3	116.5	1171.00	175.65	4157.25	3079.44	68.09	31.91	61.59
1.50	230	12.04	30.3	116.5	761.00	114.15	4271.40	2847.60	69.96	30.04	56.95
1.88	287	12.03	30.2	118.6	615.00	230.63	4502.03	2401.08	73.74	26.26	48.02
2.25	344	12.03	30.3	116.7	537.00	201.38	4703.40	2090.40	77.04	22.96	41.81
3.00	459	12.04	30.1	117.0	301.00	225.75	4929.15	1643.05	80.74	19.26	32.86
3.75	574	12.06	30.1	116.7	198.00	148.50	5077.65	1354.04	83.17	16.83	27.08
4.50	689	12.09	30.2	116.5	126.00	94.50	5172.15	1149.37	84.72	15.28	22.99
5.63	861	12.12	30.2	115.3	71.70	80.66	5252.81	933.83	86.04	13.96	18.68
6.75	1033	12.12	30.2	112.9	52.30	58.84	5311.65	786.91	87.00	13.00	15.74



ตารางที่ ก.9 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชันเรซินที่หมดสภาพด้วย NaOH อัตราการรีเจนเนอเรชัน 4.5 BV/hr ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ต่อ)

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr, NaOH 5%											
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (ms/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /NaOH (mg/g)
(BV)	(mL)										
7.88	1205	12.11	30.2	114.0	41.20	46.35	5358.00	680.38	87.76	12.24	13.61
9.00	1377	12.16	30.3	117.0	29.20	32.85	5390.85	598.98	88.30	11.70	11.98

ตารางที่ ก.10 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ไม่ปรับค่าพีเอช อัตราการไหล 20 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L. Non Adjusted pH, Service Flow Rate = 20 BV/hr								
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
0	0							
20	3060	11.71	29.7	780	< 0.03	0.60	0.60	0.03
40	6120	11.71	29.9	783	< 0.03	0.60	1.20	0.03
60	9180	11.67	29.9	762	< 0.03	0.60	1.80	0.03
80	12240	11.70	30.0	787	< 0.03	0.60	2.40	0.03
100	15300	11.62	30.2	783	< 0.03	0.60	3.00	0.03
120	18360	11.58	30.2	786	< 0.03	0.60	3.60	0.03
140	21420	11.48	31.3	790	< 0.03	0.60	4.20	0.03
160	24480	11.52	31.2	788	< 0.03	0.60	4.80	0.03
180	27540	11.54	31.8	790	< 0.03	0.60	5.40	0.03
200	30600	11.37	32.1	717	< 0.03	0.60	6.00	0.03
220	33660	9.90	32.1	426	< 0.03	0.60	6.60	0.03
225	34425	9.71	32.7	427	0.09	0.45	7.05	0.03
230	35190	9.66	32.4	427	0.15	0.75	7.80	0.03
235	35955	9.42	32.2	427	0.26	1.30	9.10	0.04
240	36720	8.60	32.6	426	0.31	1.55	10.65	0.04
245	37485	8.18	32.5	425	0.40	2.00	12.65	0.05
250	38250	8.11	32.4	421	0.52	2.60	15.25	0.06
255	39015	8.07	32.4	420	0.57	2.85	18.10	0.07

ตารางที่ ก.10 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ไม่ปรับค่าพีเอช อัตราการไหล 20 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, Non Adjusted pH, Service Flow Rate = 20 BV/hr								
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
260	39780	8.28	32.4	417	0.61	3.05	21.15	0.08
265	40545	8.14	32.3	447	0.65	3.25	24.40	0.09
270	41310	8.10	32.1	450	0.69	3.45	27.85	0.10
275	42075	8.04	32.3	417	0.80	4.00	31.85	0.12
280	42840	8.06	32.3	446	1.50	7.50	39.35	0.14
285	43605	8.27	32.4	447	2.00	10.00	49.35	0.17
290	44370	8.45	32.2	442	2.50	12.50	61.85	0.21
295	45135	8.71	32.1	444	3.80	19.00	80.85	0.27
300	45900	8.88	32.1	419	4.60	23.00	103.85	0.35
305	46665	9.12	31.9	411	7.00	35.00	138.85	0.46
310	47430	9.47	31.2	409	7.90	39.50	178.35	0.58
315	48195	9.57	31.2	410	12.30	61.50	239.85	0.76
320	48960	9.71	31.3	410	14.80	74.00	313.85	0.98
325	49725	9.72	31.2	411	17.60	88.00	401.85	1.24
330	50490	9.70	31.2	408	20.10	100.50	502.35	1.52

Inlet Cu concentration = 19.77 mg Cu/L x330 BV = 6524.10 mg Cu/L resin

Cu Concentration on resin = 6524.10 - 502.35 = 6021.75 mg Cu/L resin

ตารางที่ ก.11 ผลการศึกษาการล้างย้อนก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH อัตรา 4.5 BV/hr ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Backwash before Regeneration with Flow Rate 4.5 BV/hr, NaOH 6%								
Backwash Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
0.00	0							
3.33	509	8.67	31.1	16.5	0.66	2.20	2.20	0.66
6.67	1021	8.06	30.0	14.1	0.52	1.74	3.93	0.59
10.00	1530	7.96	30.0	10.1	0.44	1.47	5.40	0.54
13.33	2039	7.56	30.2	8.2	0.30	1.00	6.40	0.48

Cu Cocentration on resin after Backwash = $6021.75 - 6.40 = 6015.35$ mg Cu/L resin

ตารางที่ ก.12 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชันเรซินที่หมดสภาพด้วย NaOH อัตราการรีเจนเนอเรชัน 4.5 BV/hr ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr, NaOH 6%											
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (ms/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Recovery Cu (%)	Recovery Cu /NaOH (mg/g)
(BV)	(mL)										
0.00	0								0.00	100.00	
0.15	23	10.68	28.0	7.3	2083.00	312.45	312.45	2083.00	5.19	94.81	34.72
0.30	46	10.67	27.7	20.6	6885.00	1032.75	1345.20	4484.00	22.36	77.64	74.73
0.45	69	10.56	27.8	35.3	6925.00	1038.75	2383.95	5297.67	39.63	60.37	88.29
0.60	92	12.04	28.0	67.7	5680.00	852.00	3235.95	5393.25	53.79	46.21	89.89
0.75	115	12.10	28.0	119.7	3405.00	510.75	3746.70	4995.60	62.29	37.71	83.26
0.90	138	12.11	28.2	122.0	2395.00	359.25	4105.95	4562.17	68.26	31.74	76.04
1.05	161	12.11	28.1	120.5	1850.00	277.50	4383.45	4174.71	72.87	27.13	69.58
1.20	184	12.12	28.3	120.7	1447.00	217.05	4600.50	3833.75	76.48	23.52	63.90
1.35	207	12.13	28.5	119.5	1212.00	181.80	4782.30	3542.44	79.50	20.50	59.04
1.50	230	12.12	28.5	118.5	995.00	149.25	4931.55	3287.70	81.98	18.02	54.80
1.88	287	12.13	28.5	118.5	619.00	232.13	5163.68	2753.96	85.84	14.16	45.90
2.25	344	12.13	28.5	119.2	405.00	151.88	5315.55	2362.47	88.37	11.63	39.37
3.00	459	12.14	28.4	118.7	282.00	211.50	5527.05	1842.35	91.88	8.12	30.71
3.75	574	12.13	28.7	119.5	192.00	144.00	5671.05	1512.28	94.28	5.72	25.20
4.50	689	12.15	28.7	120.2	115.00	86.25	5757.30	1279.40	95.71	4.29	21.32
5.63	861	12.19	28.8	119.2	78.80	88.65	5845.95	1039.28	97.18	2.82	17.32
6.75	1033	12.12	29.7	118.7	50.20	56.48	5902.43	874.43	98.12	1.88	14.57

ตารางที่ ก.12 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชันเรซินที่หมดสภาพด้วย NaOH อัตราการรีเจนเนอเรชัน 4.5 BV/hr ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr. NaOH 6%											
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (ms/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /NaOH (mg/g)
(BV)	(mL)										
7.88	1205	12.12	29.3	119.0	31.60	35.55	5937.98	754.03	98.71	1.29	12.57
9.00	1377	12.13	29.3	119.5	20.20	22.73	5960.70	662.30	99.09	0.91	11.04

ภาคผนวก ข.

การศึกษามูลของอัตราดอกเบี้ยเงินออมระยะสั้นที่มีต่อประสิทธิภาพในการนำกลับ
ทองแดงเชิงซ้อนจากเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

ตารางที่ ข.1 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ไม่ปรับค่าพีเอช อัตราการไหล 20 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH ที่อัตรา 3 BV/hr

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L. Non Adjusted pH. Service Flow Rate = 20 BV/hr								
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
0	0							
20	3060	11.39	28.7	784	< 0.03	0.60	0.60	0.03
40	6120	11.42	28.8	785	< 0.03	0.60	1.20	0.03
60	9180	11.41	28.9	785	< 0.03	0.60	1.80	0.03
80	12240	11.41	28.7	782	< 0.03	0.60	2.40	0.03
100	15300	11.40	28.6	781	< 0.03	0.60	3.00	0.03
120	18360	11.40	28.6	783	< 0.03	0.60	3.60	0.03
140	21420	11.39	28.7	788	< 0.03	0.60	4.20	0.03
160	24480	11.38	28.6	772	< 0.03	0.60	4.80	0.03
180	27540	11.38	28.7	755	< 0.03	0.60	5.40	0.03
200	30600	11.39	28.9	723	< 0.03	0.60	6.00	0.03
220	33660	11.40	28.8	710	< 0.03	0.60	6.60	0.03
225	34425	10.85	28.6	423	< 0.03	0.15	6.75	0.03
230	35190	9.23	28.6	420	< 0.03	0.15	6.90	0.03
235	35955	9.10	28.7	422	< 0.03	0.15	7.05	0.03
240	36720	8.80	28.7	422	< 0.03	0.15	7.20	0.03
245	37485	8.66	28.5	426	< 0.03	0.15	7.35	0.03
250	38250	8.40	28.6	428	0.05	0.25	7.60	0.03
255	39015	8.57	28.4	420	0.10	0.50	8.10	0.03

ตารางที่ ข.1 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ไม่ปรับค่าพีเอช อัตราการไหล 20 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH ที่อัตรา 3 BV/hr (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L. Non Adjusted pH. Service Flow Rate = 20 BV/hr								
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
260	39780	8.31	28.3	429	0.23	1.15	9.25	0.04
265	40545	8.20	28.4	427	0.52	2.60	11.85	0.04
270	41310	8.23	28.5	418	0.75	3.75	15.60	0.06
275	42075	8.08	28.5	410	0.93	4.65	20.25	0.07
280	42840	8.10	28.5	403	1.28	6.40	26.65	0.10
285	43605	8.43	28.6	401	1.77	8.85	35.50	0.12
290	44370	8.85	28.7	400	2.42	12.10	47.60	0.16
295	45135	9.25	28.7	401	3.86	19.30	66.90	0.23
300	45900	9.28	28.8	396	4.71	23.55	90.45	0.30
305	46665	9.28	28.9	398	7.25	36.25	126.70	0.42
310	47430	9.27	28.9	398	9.66	48.30	175.00	0.56
315	48195	9.29	28.7	399	11.38	56.90	231.90	0.74
320	48960	9.28	28.8	401	14.91	74.55	306.45	0.96
325	49725	9.31	28.8	402	16.02	80.10	386.55	1.19
330	50490	9.30	28.7	402	19.22	96.10	482.65	1.46

Inlet Cu concentration = 19.83 mg Cu/L x330 BV = 6543.90 mg Cu/L resin

Cu Concentration on resin = 6543.90 - 482.65 = 6061.25 mg Cu/L resin

ตารางที่ ข.2 ผลการศึกษาการล้างย้อนก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตรา 3 BV/hr

Backwash Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
0.00	0							
3.33	509	8.77	29.2	9.2	0.56	1.86	1.86	0.56
6.67	1021	7.98	29.0	7.9	0.39	1.30	3.17	0.47
10.00	1530	8.28	28.5	6.0	0.32	1.07	4.23	0.42
13.33	2039	7.52	29.1	3.5	0.28	0.93	5.17	0.39

Cu Cocentration on resin after Backwash = $6061.25 - 5.17 = 6056.08$ mg Cu/L resin

ตารางที่ ข.3 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชันเรซินที่หมดสภาพด้วย NaOH ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
อัตราการรีเจนเนอเรชัน 3 BV/hr

Regeneration Flow Rate 3 BV/hr, NaOH 6%											
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (ms/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /NaOH (mg/g)
(BV)	(mL)										
0.00	0								0.00	100.00	
0.10	15	11.26	29.9	0.3	0.18	0.02	0.02	0.18	0.00	100.00	0.00
0.20	31	10.29	29.7	0.4	2.11	0.21	0.23	1.15	0.00	100.00	0.02
0.30	46	10.37	29.8	0.8	1122.00	112.20	112.43	374.76	1.73	98.27	6.25
0.40	61	10.66	29.7	13.2	2345.00	234.50	346.93	867.32	5.34	94.66	14.46
0.50	77	10.54	29.7	38.1	4475.00	447.50	794.43	1588.86	12.22	87.78	26.48
0.60	92	10.88	29.8	65.6	5635.00	563.50	1357.93	2263.22	20.89	79.11	37.72
0.70	107	12.22	29.8	88.7	5290.00	529.00	1886.93	2695.61	29.03	70.97	44.93
0.80	122	12.26	30.0	119.7	3835.00	383.50	2270.43	2838.04	34.93	65.07	47.30
0.90	138	12.27	30.0	119.0	2905.00	290.50	2560.93	2845.48	39.40	60.60	47.42
1.00	153	12.26	30.0	118.0	2370.00	237.00	2797.93	2797.93	43.05	56.95	46.63
1.25	191	12.26	30.0	117.8	1442.00	360.50	3158.43	2526.74	48.59	51.41	42.11
1.50	230	12.27	29.9	118.0	1083.00	270.75	3429.18	2286.12	52.76	47.24	38.10
2.00	306	12.35	29.9	117.1	692.00	346.00	3775.18	1887.59	58.08	41.92	31.46
2.50	383	12.36	29.6	118.3	453.00	226.50	4001.68	1600.67	61.56	38.44	26.68
3.00	459	12.37	29.6	118.3	266.50	133.25	4134.93	1378.31	63.61	36.39	22.97
3.75	574	12.42	29.6	118.5	200.40	150.30	4285.23	1142.73	65.93	34.07	19.05
4.50	689	12.44	29.4	118.7	121.70	91.28	4376.50	972.56	67.33	32.67	16.21

ตารางที่ ข.3 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชันเรซินที่หมดสภาพด้วย NaOH ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราการรีเจนเนอเรชัน 3 BV/hr (ต่อ)

Regeneration Flow Rate 3 BV/hr. NaOH 6%											
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (ms/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /NaOH (mg/g)
(BV)	(mL)										
5.25	803	12.48	29.1	116.8	80.20	60.15	4436.65	845.08	68.26	31.74	14.08
6.00	918	12.48	29.0	117.3	58.60	43.95	4480.60	746.77	68.93	31.07	12.45

ตารางที่ ข.4 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ไม่ปรับค่าพีเอช อัตราการไหล 20 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH ที่อัตรา 4.5 BV/hr

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L. Non Adjusted pH, Service Flow Rate = 20 BV/hr								
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
0	0							
20	3060	11.71	29.7	780	< 0.03	0.60	0.60	0.03
40	6120	11.71	29.9	783	< 0.03	0.60	1.20	0.03
60	9180	11.67	29.9	762	< 0.03	0.60	1.80	0.03
80	12240	11.70	30.0	787	< 0.03	0.60	2.40	0.03
100	15300	11.62	30.2	783	< 0.03	0.60	3.00	0.03
120	18360	11.58	30.2	786	< 0.03	0.60	3.60	0.03
140	21420	11.48	31.3	790	< 0.03	0.60	4.20	0.03
160	24480	11.52	31.2	788	< 0.03	0.60	4.80	0.03
180	27540	11.54	31.8	790	< 0.03	0.60	5.40	0.03
200	30600	11.37	32.1	717	< 0.03	0.60	6.00	0.03
220	33660	9.90	32.1	426	< 0.03	0.60	6.60	0.03
225	34425	9.71	32.7	427	0.09	0.45	7.05	0.03
230	35190	9.66	32.4	427	0.15	0.75	7.80	0.03
235	35955	9.42	32.2	427	0.26	1.30	9.10	0.04
240	36720	8.60	32.6	426	0.31	1.55	10.65	0.04
245	37485	8.18	32.5	425	0.40	2.00	12.65	0.05
250	38250	8.11	32.4	421	0.52	2.60	15.25	0.06
255	39015	8.07	32.4	420	0.57	2.85	18.10	0.07

ตารางที่ ข.4 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ไม่ปรับค่าพีเอช อัตราการไหล 20 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH ที่อัตรา 4.5 BV/hr (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L. Non Adjusted pH. Service Flow Rate = 20 BV/hr								
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
260	39780	8.28	32.4	417	0.61	3.05	21.15	0.08
265	40545	8.14	32.3	447	0.65	3.25	24.40	0.09
270	41310	8.10	32.1	450	0.69	3.45	27.85	0.10
275	42075	8.04	32.3	417	0.80	4.00	31.85	0.12
280	42840	8.06	32.3	446	1.50	7.50	39.35	0.14
285	43605	8.27	32.4	447	2.00	10.00	49.35	0.17
290	44370	8.45	32.2	442	2.50	12.50	61.85	0.21
295	45135	8.71	32.1	444	3.80	19.00	80.85	0.27
300	45900	8.88	32.1	419	4.60	23.00	103.85	0.35
305	46665	9.12	31.9	411	7.00	35.00	138.85	0.46
310	47430	9.47	31.2	409	7.90	39.50	178.35	0.58
315	48195	9.57	31.2	410	12.30	61.50	239.85	0.76
320	48960	9.71	31.3	410	14.80	74.00	313.85	0.98
325	49725	9.72	31.2	411	17.60	88.00	401.85	1.24
330	50490	9.70	31.2	408	20.10	100.50	502.35	1.52

Inlet Cu concentration = 19.77 mg Cu/L x330 BV = 6524.10 mg Cu/L resin

Cu Concentration on resin = 6524.10 - 502.35 = 6021.75 mg Cu/L resin

ตารางที่ ข.5 ผลการศึกษาการล้างย้อนก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตรา 4.5 BV/hr

Backwash before Regeneration with Flow Rate 4.5 BV/hr, NaOH 6%								
Backwash Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
0.00	0							
3.33	509	8.67	31.1	16.5	0.66	2.20	2.20	0.66
6.67	1021	8.06	30.0	14.1	0.52	1.74	3.93	0.59
10.00	1530	7.96	30.0	10.1	0.44	1.47	5.40	0.54
13.33	2039	7.56	30.2	8.2	0.30	1.00	6.40	0.48

Cu Cocentration on resin after Backwash = 6021.75 - 6.40 = 6015.35 mg Cu/L resin

ตารางที่ ข.6 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชันเรซินที่หมดสภาพด้วย NaOH ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
อัตราการรีเจนเนอเรชัน 4.5 BV/hr

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr, NaOH 6%											
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (ms/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /NaOH (mg/g)
(BV)	(mL)										
0.00	0								0.00	100.00	
0.15	23	10.68	28.0	7.3	2083.00	312.45	312.45	2083.00	5.19	94.81	34.72
0.30	46	10.67	27.7	20.6	6885.00	1032.75	1345.20	4484.00	22.36	77.64	74.73
0.45	69	10.56	27.8	35.3	6925.00	1038.75	2383.95	5297.67	39.63	60.37	88.29
0.60	92	12.04	28.0	67.7	5680.00	852.00	3235.95	5393.25	53.79	46.21	89.89
0.75	115	12.10	28.0	119.7	3405.00	510.75	3746.70	4995.60	62.29	37.71	83.26
0.90	138	12.11	28.2	122.0	2395.00	359.25	4105.95	4562.17	68.26	31.74	76.04
1.05	161	12.11	28.1	120.5	1850.00	277.50	4383.45	4174.71	72.87	27.13	69.58
1.20	184	12.12	28.3	120.7	1447.00	217.05	4600.50	3833.75	76.48	23.52	63.90
1.35	207	12.13	28.5	119.5	1212.00	181.80	4782.30	3542.44	79.50	20.50	59.04
1.50	230	12.12	28.5	118.5	995.00	149.25	4931.55	3287.70	81.98	18.02	54.80
1.88	287	12.13	28.5	118.5	619.00	232.13	5163.68	2753.96	85.84	14.16	45.90
2.25	344	12.13	28.5	119.2	405.00	151.88	5315.55	2362.47	88.37	11.63	39.37
3.00	459	12.14	28.4	118.7	282.00	211.50	5527.05	1842.35	91.88	8.12	30.71
3.75	574	12.13	28.7	119.5	192.00	144.00	5671.05	1512.28	94.28	5.72	25.20
4.50	689	12.15	28.7	120.2	115.00	86.25	5757.30	1279.40	95.71	4.29	21.32
5.63	861	12.19	28.8	119.2	78.80	88.65	5845.95	1039.28	97.18	2.82	17.32
6.75	1033	12.12	29.7	118.7	50.20	56.48	5902.43	874.43	98.12	1.88	14.57

ตารางที่ ข.6 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชันเรซินที่หมดสภาพด้วย NaOH ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
อัตราการรีเจนเนอเรชัน 4.5 BV/hr (ต่อ)

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr, NaOH 6%											
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (ms/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /NaOH (mg/g)
(BV)	(mL)										
7.88	1205	12.12	29.3	119.0	31.60	35.55	5937.98	754.03	98.71	1.29	12.57
9.00	1377	12.13	29.3	119.5	20.20	22.73	5960.70	662.30	99.09	0.91	11.04

ตารางที่ ข.7 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ไม่ปรับค่าพีเอช อัตราการไหล 20 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH ที่อัตรา 6 BV/hr

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, Non Adjusted pH, Service Flow Rate = 20 BV/hr								
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
0	0							
20	3060	11.43	28.4	785	< 0.03	0.60	0.60	0.03
40	6120	11.45	28.4	767	< 0.03	0.60	1.20	0.03
60	9180	11.44	28.6	768	< 0.03	0.60	1.80	0.03
80	12240	11.46	28.5	761	< 0.03	0.60	2.40	0.03
100	15300	11.43	28.4	767	< 0.03	0.60	3.00	0.03
120	18360	11.43	28.4	758	< 0.03	0.60	3.60	0.03
140	21420	11.45	28.6	755	< 0.03	0.60	4.20	0.03
160	24480	11.44	28.7	754	< 0.03	0.60	4.80	0.03
180	27540	11.44	28.8	734	< 0.03	0.60	5.40	0.03
200	30600	11.48	28.5	735	< 0.03	0.60	6.00	0.03
220	33660	11.35	28.6	722	< 0.03	0.60	6.60	0.03
225	34425	11.20	28.7	717	< 0.03	0.15	6.75	0.03
230	35190	10.98	28.6	444	< 0.03	0.15	6.90	0.03
235	35955	10.87	28.8	426	< 0.03	0.15	7.05	0.03
240	36720	10.54	29.1	428	0.05	0.25	7.30	0.03
245	37485	8.90	28.9	424	0.10	0.50	7.80	0.03
250	38250	8.85	29.3	421	0.15	0.75	8.55	0.03
255	39015	7.53	30.2	422	0.19	0.95	9.50	0.04

ตารางที่ ข.7 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ไม่ปรับค่าพีเอช อัตราการไหล 20 BV/hr ก่อนการรีเจเนอเรชันด้วย NaOH ที่อัตรา 6 BV/hr (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L. Non Adjusted pH. Service Flow Rate = 20 BV/hr								
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
260	39780	7.32	30.4	429	0.20	1.00	10.50	0.04
265	40545	7.65	30.6	431	0.37	1.85	12.35	0.05
270	41310	7.65	29.9	428	0.63	3.15	15.50	0.06
275	42075	7.77	30.6	430	0.69	3.45	18.95	0.07
280	42840	7.95	31.2	428	0.88	4.40	23.35	0.08
285	43605	7.65	31.0	426	1.40	7.00	30.35	0.11
290	44370	7.70	31.3	432	2.37	11.85	42.20	0.15
295	45135	7.83	31.4	427	3.85	19.25	61.45	0.21
300	45900	7.88	31.3	421	5.20	26.00	87.45	0.29
305	46665	7.90	31.4	428	7.14	35.70	123.15	0.40
310	47430	8.33	31.7	424	9.28	46.40	169.55	0.55
315	48195	8.34	31.6	423	11.51	57.55	227.10	0.72
320	48960	8.45	31.3	420	15.47	77.35	304.45	0.95
325	49725	8.76	31.4	415	17.20	86.00	390.45	1.20
330	50490	8.79	31.5	411	19.53	97.65	488.00	1.48

Inlet Cu concentration = 19.95 mg Cu/L x330 BV = 6583.50 mg Cu/L resin

Cu Concentration on resin = 6583.50 - 488.00 = 6095.50 mg Cu/L resin

ตารางที่ ข.8 ผลการศึกษาการล้างย้อนก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตรา 6 BV/hr

Backwash before Regeneration with Flow Rate NaOH 6% . 6 BV/hr								
Backwash Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ ls/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)
(BV)	(mL)							
0.00	0							
3.33	509	9.19	28.9	16.1	0.51	1.70	1.70	0.51
6.67	1021	8.80	29.1	9.3	0.35	1.17	2.87	0.43
10.00	1530	8.39	29.2	2.8	0.30	1.00	3.87	0.39
13.33	2039	7.55	28.9	3.9	0.26	0.87	4.73	0.35

Cu Cocentration on resin after Backwash = $6095.50 - 4.73 = 6090.77$ mg Cu/L resin

ตารางที่ ข.9 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชั่นเรซินที่หมดสภาพด้วย NaOH ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
อัตราการรีเจนเนอเรชั่น 6 BV/hr

Regeneration Flow Rate 6 BV/hr, NaOH 6%											
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (ms/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /NaOH (mg/g)
(BV)	(mL)										
0.00	0								0.00	100.00	
0.20	31	10.60	27.5	12.6	4935.00	987.00	987.00	4935.00	15.18	84.82	82.25
0.40	61	10.68	27.6	30.4	6300.00	1260.00	2247.00	5617.50	34.57	65.43	93.63
0.60	92	11.92	28.0	105.4	3765.00	753.00	3000.00	5000.00	46.15	53.85	83.33
0.80	122	11.91	28.0	138.2	2480.00	496.00	3496.00	4370.00	53.78	46.22	72.83
1.00	153	11.91	28.1	127.6	1855.00	371.00	3867.00	3867.00	59.49	40.51	64.45
1.20	184	11.92	28.1	127.1	1459.00	291.80	4158.80	3465.67	63.98	36.02	57.76
1.40	214	11.92	28.2	125.4	1181.00	236.20	4395.00	3139.29	67.62	32.38	52.32
1.60	245	11.92	28.3	125.7	995.00	199.00	4594.00	2871.25	70.68	29.32	47.85
1.80	275	11.93	28.3	126.0	874.00	174.80	4768.80	2649.33	73.37	26.63	44.16
2.00	306	11.93	28.2	127.9	734.00	146.80	4915.60	2457.80	75.62	24.38	40.96
2.50	383	11.93	28.3	126.8	547.00	273.50	5189.10	2075.64	79.83	20.17	34.59
3.00	459	11.93	28.3	126.8	422.50	211.25	5400.35	1800.12	83.08	16.92	30.00
4.00	612	11.94	28.4	126.2	271.50	271.50	5671.85	1417.96	87.26	12.74	23.63
5.00	765	11.94	28.4	126.1	180.00	180.00	5851.85	1170.37	90.03	9.97	19.51
6.00	918	11.94	28.3	126.9	129.00	129.00	5980.85	996.81	92.01	7.99	16.61
7.50	1148	11.94	28.8	126.6	70.20	105.30	6086.15	811.49	93.63	6.37	13.52
9.00	1377	11.95	28.6	126.4	44.90	67.35	6153.50	683.72	94.67	5.33	11.40

ตารางที่ ข.9 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชั่นเรซินที่หมดสภาพด้วย NaOH ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
อัตราการรีเจนเนอเรชั่น 6 BV/hr (ต่อ)

Regeneration Flow Rate 6 BV/hr, NaOH 6%											
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (ms/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L resin)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /NaOH (mg/g)
(BV)	(mL)										
10.50	1607	11.99	28.6	126.3	29.30	43.95	6197.45	590.23	95.35	4.65	9.84
12.00	1836	12.00	28.0	126.2	15.00	22.50	6219.95	518.33	95.69	4.31	8.64

ภาคผนวก ค.
การศึกษามูลของอัตราไหลที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดง
ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

ตารางที่ ค.1 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล.ค่าพีเอช 4 อัตราการไหล 2 BV/hr

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 4. Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0								
0.50	77	4.25	33.6	42.0	< 0.03	0.02	0.02	0.03	< 0.03
1.00	153	4.26	33.8	43.9	0.04	0.02	0.04	0.04	< 0.03
1.50	230	4.31	33.7	41.0	< 0.03	0.02	0.05	0.03	< 0.03
2.00	306	4.83	33.9	43.6	< 0.03	0.02	0.07	0.03	< 0.03
2.50	383	4.74	33.9	43.8	< 0.03	0.02	0.08	0.03	< 0.03
3.00	459	4.73	34.0	46.5	< 0.03	0.02	0.10	0.03	< 0.03
3.50	536	5.25	33.6	41.0	< 0.03	0.02	0.11	0.03	< 0.03
4.00	612	6.31	33.4	45.8	< 0.03	0.02	0.13	0.03	< 0.03
4.50	689	6.44	33.4	46.3	< 0.03	0.02	0.14	0.03	< 0.03
5.00	765	6.52	33.5	46.8	< 0.03	0.02	0.16	0.03	< 0.03
5.50	842	6.50	33.6	47.0	0.04	0.02	0.18	0.03	< 0.03
6.00	918	6.53	33.7	48.2	< 0.03	0.02	0.19	0.03	< 0.03
6.50	995	6.55	33.7	48.7	< 0.03	0.02	0.21	0.03	< 0.03
7.00	1071	6.54	33.8	51.0	< 0.03	0.02	0.22	0.03	< 0.03
7.50	1148	6.36	33.5	53.6	0.20	0.10	0.32	0.04	< 0.03
8.00	1224	6.09	33.4	59.5	2.06	1.03	1.35	0.17	< 0.03
8.50	1301	5.64	33.5	89.8	7.27	3.64	4.99	0.59	< 0.03
9.00	1377	5.32	33.4	92.7	10.23	5.12	10.10	1.12	< 0.03

ตารางที่ ค.1 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล.ค่าพีเอช 4 อัตราการไหล 2 BV/hr (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L. pH 4. Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
9.50	1454	5.25	33.5	99.3	12.33	6.17	16.27	1.71	< 0.03
10.00	1530	5.21	33.2	115.6	13.67	6.84	23.10	2.31	< 0.03
10.50	1607	5.20	33.1	116.2	14.46	7.23	30.33	2.89	< 0.03
11.00	1683	5.34	33.0	112.6	14.43	7.22	37.55	3.41	< 0.03
11.50	1760	5.16	32.9	111.0	15.05	7.53	45.07	3.92	< 0.03
12.00	1836	5.24	32.6	114.6	15.42	7.71	52.78	4.40	< 0.03
12.50	1913	5.22	32.5	115.9	15.95	7.98	60.76	4.86	< 0.03
13.00	1989	5.03	32.6	115.0	16.44	8.22	68.98	5.31	< 0.03
13.50	2066	5.17	32.5	116.5	16.83	8.42	77.39	5.73	< 0.03

Inlet Cu concentration = 19.98 mg Cu/L x 13.50 BV = 269.73 mg Cu/L IOCS

Cu Concentration on IOCS = 269.73 - 77.39 = 192.34 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ ค.2 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล.ค่าพีเอช 4 อัตราการไหล 5 BV/hr

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 4. Service Flow Rate = 5 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0								
0.50	77	4.29	32.3	45.3	< 0.03	0.02	0.02	0.03	< 0.03
1.00	153	4.32	32.3	44.0	< 0.03	0.02	0.03	0.03	< 0.03
1.50	230	4.37	32.2	46.0	< 0.03	0.02	0.05	0.03	< 0.03
2.00	306	4.43	32.2	45.7	0.04	0.02	0.07	0.03	< 0.03
2.50	383	4.52	32.2	43.3	< 0.03	0.02	0.08	0.03	< 0.03
3.00	459	4.57	32.1	41.5	0.04	0.02	0.10	0.03	< 0.03
3.50	536	4.80	32.1	41.2	0.04	0.02	0.12	0.03	< 0.03
4.00	612	5.94	32.1	41.5	< 0.03	0.02	0.14	0.03	< 0.03
4.50	689	6.32	32.0	39.6	< 0.03	0.02	0.15	0.03	< 0.03
5.00	765	6.33	31.7	37.6	< 0.03	0.02	0.17	0.03	< 0.03
5.50	842	6.31	31.7	38.8	< 0.03	0.02	0.18	0.03	< 0.03
6.00	918	6.44	31.7	40.1	< 0.03	0.02	0.20	0.03	< 0.03
6.50	995	5.96	31.6	46.5	1.38	0.69	0.89	0.14	< 0.03
7.00	1071	5.53	31.6	66.2	6.03	3.02	3.90	0.56	< 0.03
7.50	1148	5.18	31.6	79.9	9.41	4.71	8.61	1.15	< 0.03
8.00	1224	5.09	31.6	88.5	11.31	5.66	14.26	1.78	< 0.03
8.50	1301	5.26	31.5	93.8	12.57	6.29	20.55	2.42	< 0.03
9.00	1377	5.23	31.4	98.4	13.53	6.77	27.31	3.03	< 0.03

ตารางที่ ค.2 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล.ค่าพีเอช 4 อัตราการไหล 5 BV/hr (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L. pH 4. Service Flow Rate = 5 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
9.50	1454	5.19	31.3	99.9	14.15	7.08	34.39	3.62	< 0.03
10.00	1530	5.13	31.1	103.5	14.42	7.21	41.60	4.16	< 0.03
11.25	1721	5.12	31.3	105.8	15.08	18.85	60.45	5.37	< 0.03
12.50	1913	5.06	31.1	107.9	16.23	20.29	80.73	6.46	< 0.03
13.75	2104	5.11	30.9	110.1	16.95	21.19	101.92	7.41	< 0.03
15.00	2295	5.06	30.9	110.5	17.22	21.53	123.45	8.23	< 0.03

Inlet Cu concentration = 19.95 mg Cu/L x 15.00 BV = 299.25 mg Cu/L IOCS

Cu Concentration on IOCS = 299.25 - 123.45 = 175.80 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ ค.3 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล.ค่าพีเอช 4 อัตราการไหล 10 BV/hr

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 4, Service Flow Rate = 10 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0								
1.00	153	4.29	31.8	51.5	< 0.03	0.03	0.03	0.03	< 0.03
2.00	306	4.38	31.7	54.2	< 0.03	0.03	0.06	0.03	< 0.03
3.00	459	4.69	31.7	49.4	< 0.03	0.03	0.09	0.03	< 0.03
4.00	612	6.06	31.8	53.8	0.04	0.04	0.13	0.03	< 0.03
5.00	765	6.29	31.7	52.2	0.06	0.06	0.19	0.04	< 0.03
6.00	918	5.65	31.6	73.8	2.05	2.05	2.24	0.37	< 0.03
7.00	1071	5.50	31.6	85.8	12.01	12.01	14.25	2.04	< 0.03
8.00	1224	5.53	31.6	100.5	15.58	15.58	29.83	3.73	< 0.03
9.00	1377	5.24	31.6	109.4	18.42	18.42	48.25	5.36	< 0.03
10.00	1530	5.44	31.4	112.0	20.00	20.00	68.25	6.83	< 0.03
11.00	1683	5.36	31.2	116.3	20.24	20.24	88.49	8.04	< 0.03
12.00	1836	5.33	31.2	116.1	20.74	20.74	109.23	9.10	< 0.03
13.00	1989	5.29	31.2	116.4	20.80	20.80	130.03	10.00	< 0.03
14.00	2142	5.31	31.2	116.4	20.92	20.92	150.95	10.78	< 0.03
16.00	2448	5.35	30.7	116.5	21.05	42.10	193.05	12.07	< 0.03
18.00	2754	5.22	31.0	119.0	21.11	42.22	235.27	13.07	< 0.03
20.00	3060	5.19	30.9	119.3	21.15	42.30	277.57	13.88	< 0.03
26.00	3978	5.20	30.8	123.2	21.16	126.96	404.53	15.56	< 0.03

ตารางที่ ค.3 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล.ค่าพีเอช 4 อัตราการไหล 10 BV/hr (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L. pH 4. Service Flow Rate = 10 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
30.00	4590	5.18	30.9	137.3	21.21	84.84	489.37	16.31	< 0.03

Inlet Cu concentration = 19.97 mg Cu/L x 30.00 BV = 599.10 mg Cu/L IOCS

Cu Concentration on IOCS = 599.10 - 489.37 = 109.73 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ ค.4 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล.ค่าพีเอช 4 อัตราการไหล 20 BV/hr

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 4, Service Flow Rate = 20 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0								
1.00	153	4.32	33.4	52.2	< 0.03	0.03	0.03	0.03	< 0.03
2.00	306	4.35	33.8	52.6	< 0.03	0.03	0.06	0.03	< 0.03
3.00	459	5.20	33.6	56.4	< 0.03	0.03	0.09	0.03	< 0.03
4.00	612	6.48	33.4	56.8	< 0.03	0.03	0.12	0.03	< 0.03
5.00	765	6.18	33.4	62.4	0.21	0.21	0.33	0.07	< 0.03
6.00	918	5.75	33.5	77.6	9.72	9.72	10.05	1.68	< 0.03
7.00	1071	5.53	33.9	91.7	15.88	15.88	25.93	3.70	< 0.03
8.00	1224	5.44	34.1	100.5	18.55	18.55	44.48	5.56	< 0.03
9.00	1377	5.34	34.0	104.5	19.62	19.62	64.10	7.12	< 0.03
10.00	1530	5.33	34.2	109.8	20.00	20.00	84.10	8.41	< 0.03
15.00	2295	5.16	34.0	118.3	20.82	104.10	188.20	12.55	< 0.03
20.00	3060	5.17	33.7	120.9	21.20	106.00	294.20	14.71	< 0.03
25.00	3825	5.13	33.4	127.0	21.15	105.75	399.95	16.00	< 0.03
30.00	4590	5.11	32.9	147.2	21.16	105.80	505.75	16.86	< 0.03
35.00	5355	5.07	32.8	156.0	21.10	105.50	611.25	17.46	< 0.03
40.00	6120	5.03	33.8	147.0	21.16	105.80	717.05	17.93	< 0.03
45.00	6885	4.97	33.3	125.9	21.14	105.70	822.75	18.28	< 0.03
50.00	7650	5.16	32.5	135.2	21.12	105.60	928.35	18.57	< 0.03

ตารางที่ ค.4 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล.ค่าพีเอช 4 อัตราการไหล 20 BV/hr (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 4. Service Flow Rate = 20 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
55.00	8415	5.03	32.6	140.8	21.21	106.05	1034.40	18.81	< 0.03
60.00	9180	5.06	32.5	208.0	21.19	105.95	1140.35	19.01	< 0.03

Inlet Cu concentration = 19.96 mg Cu/L x 60.00 BV = 1197.60 mg Cu/L IOCS

Cu Concentration on IOCS = 1197.60 - 1140.35 = 57.25 mg Cu/L IOCS



ภาคผนวก ง.

การศึกษามูลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดง
ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

ตารางที่ ง.1 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. อัตราการไหล 2 BV/hr ค่าพีเอช 4

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 4. Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0								
0.50	77	5.21	31.5	32.5	< 0.03	0.02	0.02	0.03	< 0.03
1.00	153	6.12	32.0	52.4	< 0.03	0.02	0.03	0.03	< 0.03
1.50	230	6.10	32.1	52.5	< 0.03	0.02	0.05	0.03	< 0.03
2.00	306	6.13	32.0	52.9	< 0.03	0.02	0.06	0.03	< 0.03
2.50	383	6.16	31.8	53.0	< 0.03	0.02	0.08	0.03	< 0.03
3.00	459	6.18	31.9	54.2	< 0.03	0.02	0.09	0.03	< 0.03
3.50	536	6.20	32.1	51.5	< 0.03	0.02	0.11	0.03	< 0.03
4.00	612	6.22	32.0	52.5	< 0.03	0.02	0.12	0.03	< 0.03
4.50	689	6.24	31.8	52.2	< 0.03	0.02	0.14	0.03	< 0.03
5.00	765	6.25	31.4	53.7	< 0.03	0.02	0.15	0.03	< 0.03
5.50	842	6.19	32.3	54.6	< 0.03	0.02	0.17	0.03	< 0.03
6.00	918	6.18	32.3	54.0	< 0.03	0.02	0.18	0.03	< 0.03
6.50	995	5.74	31.8	76.9	2.46	1.23	1.41	0.22	< 0.03
7.00	1071	5.54	31.8	89.6	7.62	3.81	5.22	0.75	< 0.03
7.50	1148	5.49	32.3	100.7	10.30	5.15	10.37	1.38	< 0.03
8.00	1224	5.38	32.2	106.2	11.78	5.89	16.26	2.03	< 0.03
8.50	1301	5.32	31.9	108.8	12.73	6.37	22.63	2.66	< 0.03
9.00	1377	5.31	31.8	116.9	14.01	7.01	29.63	3.29	< 0.03

ตารางที่ ง.1 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. อัตราการไหล 2 BV/hr ค่าพีเอช4 (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 4, Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
9.50	1454	5.30	31.8	118.3	14.90	7.45	37.08	3.90	< 0.03
10.00	1530	5.28	31.8	121.2	15.54	7.77	44.85	4.49	< 0.03
10.50	1607	5.25	31.9	124.7	15.99	8.00	52.85	5.03	< 0.03
11.00	1683	5.25	31.6	123.0	16.60	8.30	61.15	5.56	< 0.03
11.50	1760	4.93	31.3	131.7	16.70	8.35	69.50	6.04	< 0.03
12.00	1836	5.00	31.2	124.5	17.32	8.66	78.16	6.51	< 0.03
12.50	1913	5.07	31.3	127.1	17.49	8.75	86.90	6.95	< 0.03

Inlet Cu concentration = 20.01 mg Cu/L x 12.50 BV = 250.12 mg Cu/L IOCS

Cu Concentration on IOCS = 250.12 - 86.90 = 163.22 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ ง.2 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. อัตราการไหล 2 BV/hr ค่าพีเอช 5

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 5, Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0								
0.50	77	5.13	30.4	29.2	< 0.03	0.02	0.02	0.03	< 0.03
1.00	153	6.06	30.3	60.5	< 0.03	0.02	0.03	0.03	< 0.03
1.50	230	6.24	30.7	47.8	< 0.03	0.02	0.05	0.03	< 0.03
2.00	306	6.30	30.6	53.7	< 0.03	0.02	0.06	0.03	< 0.03
2.50	383	6.43	30.3	57.6	< 0.03	0.02	0.08	0.03	< 0.03
3.00	459	6.55	30.1	56.0	< 0.03	0.02	0.09	0.03	< 0.03
3.50	536	6.60	30.1	56.6	< 0.03	0.02	0.11	0.03	< 0.03
4.00	612	6.66	30.2	56.2	< 0.03	0.02	0.12	0.03	< 0.03
4.50	689	6.68	30.1	56.8	< 0.03	0.02	0.14	0.03	< 0.03
5.00	765	6.73	30.0	56.4	< 0.03	0.02	0.15	0.03	< 0.03
5.50	842	6.74	30.0	57.0	< 0.03	0.02	0.17	0.03	< 0.03
6.00	918	6.66	29.7	56.1	< 0.03	0.02	0.18	0.03	< 0.03
6.50	995	6.67	29.4	56.5	< 0.03	0.02	0.20	0.03	< 0.03
7.00	1071	6.56	29.5	58.3	0.08	0.04	0.24	0.03	< 0.03
7.50	1148	6.06	29.6	71.4	2.37	1.19	1.42	0.19	< 0.03
8.00	1224	5.50	29.0	87.9	7.08	3.54	4.96	0.62	< 0.03
8.50	1301	5.46	29.3	111.8	9.41	4.71	9.67	1.14	< 0.03
9.00	1377	5.35	29.2	111.7	11.06	5.53	15.20	1.69	< 0.03

ตารางที่ ง.2 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. อัตราการไหล 2 BV/hr ค่าพีเอช 5 (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 5. Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
9.50	1454	5.31	29.2	115.7	11.93	5.97	21.16	2.23	< 0.03
10.00	1530	5.38	29.3	119.9	12.28	6.14	27.30	2.73	< 0.03
10.50	1607	5.30	29.3	120.9	12.99	6.50	33.80	3.22	< 0.03
11.00	1683	5.26	29.4	125.8	13.42	6.71	40.51	3.68	< 0.03
11.50	1760	5.23	29.9	125.5	13.94	6.97	47.48	4.13	< 0.03
12.00	1836	5.28	29.7	126.2	14.24	7.12	54.60	4.55	< 0.03
12.50	1913	5.29	29.8	123.2	16.05	8.03	62.62	5.01	< 0.03
13.00	1989	5.33	29.8	124.3	16.23	8.12	70.74	5.44	< 0.03
13.50	2066	5.19	29.8	125.8	16.40	8.20	78.94	5.85	< 0.03
14.00	2142	5.31	29.0	120.4	16.59	8.30	87.23	6.23	< 0.03
15.00	2295	5.30	30.0	122.8	17.28	17.28	104.51	6.97	< 0.03
16.00	2448	5.33	29.1	123.1	17.88	17.88	122.39	7.65	< 0.03

Inlet Cu concentration = 19.98 mg Cu/L x 16.00 BV = 319.68 mg Cu/L IOCS

Cu Concentration on IOCS = 319.68 - 122.39 = 197.29 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ ง.3 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. อัตราการไหล 2 BV/hr ค่าพีเอช 6

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 6, Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0								
0.50	77	4.80	32.6	44.5	< 0.03	0.02	0.02	0.03	< 0.03
1.00	153	4.94	32.6	49.5	< 0.03	0.02	0.03	0.03	< 0.03
1.50	230	5.87	32.8	57.8	< 0.03	0.02	0.05	0.03	< 0.03
2.00	306	6.21	33.0	54.5	< 0.03	0.02	0.06	0.03	< 0.03
2.50	383	6.76	32.7	55.9	< 0.03	0.02	0.08	0.03	< 0.03
3.00	459	6.72	32.6	60.6	< 0.03	0.02	0.09	0.03	< 0.03
3.50	536	6.77	32.5	58.0	< 0.03	0.02	0.11	0.03	< 0.03
4.00	612	6.75	32.5	57.8	< 0.03	0.02	0.12	0.03	< 0.03
4.50	689	6.73	32.4	59.6	< 0.03	0.02	0.14	0.03	< 0.03
5.00	765	6.75	32.5	57.0	< 0.03	0.02	0.15	0.03	< 0.03
5.50	842	6.74	32.5	58.8	< 0.03	0.02	0.17	0.03	< 0.03
6.00	918	6.71	32.4	58.9	< 0.03	0.02	0.18	0.03	< 0.03
6.50	995	6.71	32.0	62.2	< 0.03	0.02	0.20	0.03	< 0.03
7.00	1071	6.49	32.6	60.1	< 0.03	0.02	0.21	0.03	< 0.03
7.50	1148	6.55	31.9	60.2	< 0.03	0.02	0.23	0.03	< 0.03
8.00	1224	6.61	32.0	77.8	< 0.03	0.02	0.24	0.03	< 0.03
8.50	1301	6.53	31.9	75.9	< 0.03	0.02	0.26	0.03	< 0.03
9.00	1377	6.52	31.9	79.2	< 0.03	0.02	0.27	0.03	< 0.03

ตารางที่ ง.3 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. อัตราการไหล 2 BV/hr ค่าพีเอช 6 (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L. pH 6. Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
9.50	1454	6.13	31.9	76.5	< 0.03	0.02	0.29	0.03	< 0.03
10.00	1530	5.85	31.7	81.3	2.13	1.07	1.35	0.14	< 0.03
10.50	1607	5.78	32.1	90.1	6.67	3.34	4.69	0.45	< 0.03
11.00	1683	5.55	31.5	102.0	9.17	4.59	9.27	0.84	< 0.03
11.50	1760	5.30	31.0	119.4	10.55	5.28	14.55	1.26	< 0.03
12.00	1836	5.42	31.1	119.8	11.27	5.64	20.18	1.68	< 0.03
12.50	1913	5.42	31.5	114.1	12.42	6.21	26.39	2.11	< 0.03
13.00	1989	5.33	31.2	113.3	13.37	6.69	33.08	2.54	< 0.03
13.50	2066	5.37	31.0	116.7	13.63	6.82	39.89	2.95	< 0.03
14.00	2142	5.34	30.6	116.1	14.15	7.08	46.97	3.35	< 0.03
15.00	2295	5.06	30.3	133.9	15.47	15.47	62.44	4.16	< 0.03

Inlet Cu concentration = 19.96 mg Cu/L x 15.00 BV = 299.40 mg Cu/L IOCS

Cu Concentration on IOCS = 299.40 - 62.44 = 236.96 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ ง.4 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. อัตราการไหล 2 BV/hr ค่าพีเอช 7

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 7, Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0								
0.50	77	5.25	29.7	123.4	< 0.03	0.02	0.02	0.03	< 0.03
1.00	153	6.74	29.7	121.1	< 0.03	0.02	0.03	0.03	< 0.03
1.50	230	6.78	29.7	126.8	< 0.03	0.02	0.05	0.03	< 0.03
2.00	306	6.77	29.7	128.0	< 0.03	0.02	0.06	0.03	< 0.03
2.50	383	6.75	29.8	130.9	< 0.03	0.02	0.08	0.03	< 0.03
3.00	459	6.78	29.7	135.2	< 0.03	0.02	0.09	0.03	< 0.03
3.50	536	6.82	29.8	136.2	< 0.03	0.02	0.11	0.03	< 0.03
4.00	612	6.78	29.8	137.9	< 0.03	0.02	0.12	0.03	< 0.03
4.50	689	6.80	29.8	139.6	< 0.03	0.02	0.14	0.03	< 0.03
5.00	765	6.73	29.8	142.5	< 0.03	0.02	0.15	0.03	< 0.03
5.50	842	6.74	29.2	135.5	< 0.03	0.02	0.17	0.03	< 0.03

Inlet Cu concentration = 19.97 mg Cu/L x 5.50 BV = 109.84 mg Cu/L IOCS

Cu Concentration on IOCS = 109.84 - 0.17 = 109.66 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ 5 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. อัตราการไหล 2 BV/hr ค่าพีเอช 9

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 9, Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0								
0.50	77	4.88	31.5	158.2	< 0.03	0.02	0.02	0.03	< 0.03
1.00	153	6.21	31.4	154.6	< 0.03	0.02	0.03	0.03	< 0.03
1.50	230	6.37	31.5	154.2	< 0.03	0.02	0.05	0.03	< 0.03
2.00	306	6.38	31.6	159.1	< 0.03	0.02	0.06	0.03	< 0.03
2.50	383	6.40	31.2	163.4	< 0.03	0.02	0.08	0.03	< 0.03
3.00	459	6.85	31.3	158.3	< 0.03	0.02	0.09	0.03	< 0.03

Inlet Cu concentration = 19.96 mg Cu/L x 3.00 BV = 59.88 mg Cu/L IOCS

Cu Concentration on IOCS = 59.88 - 0.09 = 59.79 mg Cu/L IOCS

ภาคผนวก จ.

การศึกษามูลของความเข้มข้นของสาริเจนเนอแรนท์ที่มีต่อประสิทธิภาพใน
การนำกลับทองแดงจากทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

ตารางที่ ๑.1 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ค่าพีเอช 6 อัตราการไหล 2 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย H₂SO อัตรา 4.5 BV/hr 0.1 N

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 6. Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.0	0								
0.5	77	5.07	27.8	67.1	< 0.03	0.00	0.00	0.00	< 0.03
1.0	153	5.14	28.7	61.9	< 0.03	0.02	0.02	0.02	< 0.03
1.5	230	5.32	28.9	62.7	< 0.03	0.02	0.03	0.02	< 0.03
2.0	306	5.50	29.2	64.5	< 0.03	0.02	0.05	0.02	< 0.03
2.5	383	5.68	29.3	63.4	< 0.03	0.02	0.06	0.02	< 0.03
3.0	459	6.63	29.1	63.0	< 0.03	0.02	0.08	0.03	< 0.03
3.5	536	6.58	29.5	63.3	< 0.03	0.02	0.09	0.03	< 0.03
4.0	612	6.38	29.8	63.4	< 0.03	0.02	0.11	0.03	< 0.03
4.5	689	6.21	29.8	66.0	< 0.03	0.02	0.12	0.03	< 0.03
5.0	765	5.74	29.6	91.0	0.25	0.02	0.14	0.03	< 0.03
5.5	842	5.71	29.5	91.3	0.70	0.13	0.26	0.05	< 0.03
6.0	918	5.63	29.4	97.9	6.71	0.35	0.61	0.10	< 0.03
6.5	995	5.59	29.4	107.0	8.88	3.36	3.97	0.61	< 0.03
7.0	1071	5.37	30.0	108.5	9.83	4.44	8.41	1.20	< 0.03
7.5	1148	5.47	29.5	110.7	11.07	4.92	13.32	1.78	< 0.03
8.0	1224	5.34	29.8	113.8	11.21	5.54	18.86	2.36	< 0.03
9.0	1377	5.35	29.8	112.1	12.28	11.21	30.07	3.34	< 0.03
10.0	1530	5.36	29.7	113.2	13.50	12.28	42.35	4.23	< 0.03

ตารางที่ จ.1 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ค่าพีเอช 6 อัตราการไหล 2 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชั่นด้วย H₂SO₄ 0.1 N (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 6, Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
11.0	1683	5.37	29.5	114.4	13.50	13.50	55.85	5.08	< 0.03
12.0	1836	5.36	28.7	116.5	14.14	13.50	69.35	5.78	< 0.03
14.0	2142	5.35	28.4	118.0	14.52	28.28	97.63	6.97	< 0.03
16.0	2448	5.34	28.5	120.3	14.99	29.04	126.67	7.92	< 0.03

Inlet Cu concentration = 19.87 mg Cu/L x16 BV = 317.92 mg Cu/L IOCS

Cu Concentration on IOCS = 317.92 - 126.67 = 191.25 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ จ.2 ผลการศึกษาการล้างย้อนก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย H₂SO₄ อัตรา 4.5 BV/hr 0.1 N

Backwash before Regeneration with Flow Rate 4.5 BV/hr, H ₂ SO ₄ 0.1 N									
Backwash Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µS/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0								
3.33	509	5.39	29.8	18.0	3.14	10.46	10.46	3.14	2.23
6.67	1021	5.50	29.8	11.7	1.70	5.68	16.13	2.42	1.12
10.00	1530	5.53	29.7	9.5	1.27	4.23	20.36	2.04	0.50
13.33	2039	5.49	29.8	8.5	0.94	3.13	23.49	1.76	0.23

Cu Cocentration on IOCS after Backwash = 191.25 - 23.49 = 167.76 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ ๑.3 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชั่นทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่หมดสภาพด้วยอัตราการรีเจนเนอเรชั่น 4.5 BV/hr

H₂SO₄ 0.1 N

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr, H ₂ SO ₄ 0.1 N												
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (μs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /H ₂ SO ₄ (mg/g)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)											
0.00	0								0.00	100.00		
0.15	23	4.12	29.1	817.0	167.00	25.05	25.05	167.00	14.93	85.07	34.08	5.23
0.30	46	2.98	29.1	3120.0	173.50	26.03	51.08	170.25	30.45	69.55	34.74	10.50
0.45	69	2.07	29.1	5230.0	152.00	22.80	73.88	164.17	44.04	55.96	33.50	20.30
0.60	92	1.53	29.1	12400.0	108.00	16.20	90.08	150.13	53.69	46.31	30.64	54.40
0.75	115	1.34	29.3	17370.0	70.20	10.53	100.61	134.14	59.97	40.03	27.38	46.80
0.90	138	1.28	29.2	18660.0	37.00	5.55	106.16	117.95	63.28	36.72	24.07	35.50
1.05	161	1.27	29.1	19410.0	26.00	3.90	110.06	104.81	65.60	34.40	21.39	31.20
1.20	184	1.26	29.1	19530.0	20.30	3.05	113.10	94.25	67.42	32.58	19.23	28.00
1.35	207	1.25	29.1	19900.0	12.53	1.88	114.98	85.17	68.54	31.46	17.38	24.00
1.50	230	1.24	29.2	20000.0	10.57	1.59	116.57	77.71	69.48	30.52	15.86	22.50
1.88	287	1.25	29.1	20400.0	8.75	3.28	119.85	63.92	71.44	28.56	13.04	21.10
2.25	344	1.25	29.0	20700.0	7.26	2.72	122.57	54.48	73.06	26.94	11.12	19.90
3.00	459	1.24	28.9	21100.0	4.76	3.57	126.14	42.05	75.19	24.81	8.58	18.80
3.75	574	1.24	28.8	21200.0	4.50	3.38	129.51	34.54	77.20	22.80	7.05	17.90
4.50	689	1.24	28.7	21400.0	4.46	3.35	132.86	29.52	79.20	20.80	6.03	16.40
5.63	861	1.24	28.8	21200.0	4.24	4.77	137.63	24.47	82.04	17.96	4.99	15.70
6.75	1033	1.24	28.4	21700.0	3.54	3.98	141.61	20.98	84.41	15.59	4.28	16.10

ตารางที่ ๑.3 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชั่นทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่หมดสภาพด้วยอัตราการรีเจนเนอเรชั่น 4.5 BV/hr
H₂SO₄ 0.1 N (ต่อ)

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr, H ₂ SO ₄ 0.1 N												
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /H ₂ SO ₄ (mg/g)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)											
7.88	1205	1.21	28.5	21400.0	3.43	3.86	145.47	18.47	86.71	13.29	3.77	16.20
9.00	1377	1.23	28.5	21800.0	3.32	3.74	149.21	16.58	88.94	11.06	3.38	16.60

ตารางที่ ๑.4 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ค่าพีเอช 6 อัตราการไหล 2 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชั่นด้วย H₂SO อัตรา 4.5 BV/hr 0.01 N

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 6, Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.0	0								
0.5	77	4.87	30.3	72.7	< 0.03	0.02	0.02	0.03	< 0.03
1.0	153	4.98	30.5	71.6	< 0.03	0.02	0.03	0.03	< 0.03
1.5	230	5.02	30.4	76.4	< 0.03	0.02	0.05	0.03	< 0.03
2.0	306	5.02	30.7	72.3	< 0.03	0.02	0.06	0.03	< 0.03
2.5	383	5.13	30.5	77.7	< 0.03	0.02	0.08	0.03	< 0.03
3.0	459	6.65	30.5	72.0	< 0.03	0.02	0.09	0.03	< 0.03
3.5	536	6.68	30.5	74.1	< 0.03	0.02	0.11	0.03	< 0.03
4.0	612	6.72	30.6	76.3	< 0.03	0.02	0.12	0.03	< 0.03
4.5	689	6.39	30.3	75.3	< 0.03	0.02	0.14	0.03	< 0.03
5.0	765	6.20	29.9	78.3	0.30	0.15	0.29	0.06	< 0.03
5.5	842	6.02	30.1	88.9	1.02	0.51	0.80	0.14	< 0.03
6.0	918	5.75	29.9	104.5	6.63	3.32	4.11	0.69	< 0.03
6.5	995	5.61	29.9	105.3	9.02	4.51	8.62	1.33	< 0.03
7.0	1071	5.62	30.0	118.5	9.50	4.75	13.37	1.91	< 0.03
7.5	1148	5.64	30.1	118.0	10.33	5.17	18.54	2.47	< 0.03
8.0	1224	5.59	30.1	118.4	10.90	5.45	23.99	3.00	< 0.03
9.0	1377	5.64	30.3	119.3	11.87	11.87	35.86	3.98	< 0.03
10.0	1530	5.71	29.9	117.5	12.07	12.07	47.93	4.79	< 0.03

ตารางที่ จ.4 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ค่าพีเอช 6 อัตราการไหล 2 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชั่นด้วย H₂SO อัตรา 4.5 BV/hr 0.01 N (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 6, Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
11.0	1683	5.57	30.0	121.1	12.46	12.46	60.39	5.49	< 0.03
12.0	1836	5.55	29.6	120.1	13.14	13.14	73.53	6.13	< 0.03
14.0	2142	5.45	29.6	125.2	13.49	26.98	100.51	7.18	< 0.03
16.0	2448	5.44	29.2	125.6	13.55	27.10	127.61	7.98	< 0.03

Inlet Cu concentration = 20.05 mg Cu/L x 16 BV = 320.80 mg Cu/L IOCS

Cu Concentration on IOCS = 320.80 - 127.61 = 193.19 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ ๑.5 ผลการศึกษาการล้างย้อนก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย H₂SO₄ อัตรา 4.5 BV/hr 0.01 N

Backwash before Regeneration with Flow Rate 4.5 BV/hr , H ₂ SO ₄ 0.01 N									
Backwash Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0								
3.33	509	5.29	29.6	15.6	2.52	8.39	8.39	2.52	2.17
6.67	1021	5.33	29.6	11.5	1.45	4.84	13.23	1.98	1.11
10.00	1530	5.32	29.5	9.2	1.11	3.70	16.93	1.69	0.30
13.33	2039	5.38	29.5	7.4	0.85	2.83	19.76	1.48	0.13

Cu Cocentration on IOCS after Backwash = 193.19 - 19.76 = 173.43 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ ๑.6 ผลการศึกษาการรีเจนเนอแรชั่นทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่หมดสภาพด้วยอัตราการรีเจนเนอแรชั่น 4.5 BV/hr

H₂SO₄ 0.01 N

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr, H ₂ SO ₄ 0.01 N												
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /H ₂ SO ₄ (mg/g)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)											
0.00	0								0.00	100.00		
0.15	23	6.00	28.5	9.8	1.16	0.17	0.17	1.16	0.10	99.90	2.37	< 0.03
0.30	46	5.96	28.5	1.3	1.30	0.39	0.56	1.88	0.33	99.67	3.84	< 0.03
0.45	69	5.84	28.5	16.5	12.00	3.60	4.16	9.25	2.40	97.60	18.88	< 0.03
0.60	92	5.57	28.7	112.3	50.00	15.00	19.16	31.94	11.05	88.95	65.18	< 0.03
0.75	115	5.18	28.7	284.0	88.00	13.20	32.36	43.15	18.66	81.34	88.07	< 0.03
0.90	138	4.31	28.8	372.0	87.00	13.05	45.41	50.46	26.19	73.81	102.98	< 0.03
1.05	161	4.09	28.8	436.0	59.00	8.85	54.26	51.68	31.29	68.71	105.47	< 0.03
1.20	184	4.07	28.8	455.0	44.00	6.60	60.86	50.72	35.09	64.91	103.51	< 0.03
1.35	207	4.05	28.8	463.0	32.00	4.80	65.66	48.64	37.86	62.14	99.27	< 0.03
1.50	230	4.03	28.7	481.0	26.80	4.02	69.68	46.46	40.18	59.82	94.81	< 0.03
1.88	287	4.00	28.7	485.0	20.82	7.81	77.49	41.33	44.68	55.32	84.34	< 0.03
2.25	344	3.99	28.7	491.0	18.25	6.84	84.34	37.48	48.63	51.37	76.49	< 0.03
3.00	459	3.28	28.6	621.0	14.43	10.82	95.16	31.72	54.87	45.13	64.73	2.44
3.75	574	2.88	28.7	853.0	12.95	9.71	104.87	27.97	60.47	39.53	57.07	5.21
4.50	689	2.55	28.7	1182.0	11.23	8.42	113.29	25.18	65.32	34.68	51.38	5.77
5.63	861	2.40	28.6	1482.0	10.20	11.48	124.77	22.18	71.94	28.06	45.27	4.82
6.75	1033	2.34	28.7	1623.0	9.70	10.91	135.68	20.10	78.23	21.77	41.02	4.39

ตารางที่ ๑.6 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชั่นทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่หมดสภาพด้วยอัตราการรีเจนเนอเรชั่น 4.5 BV/hr
 H_2SO_4 0.01 N (ต่อ)

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr, H_2SO_4 0.01 N												
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu / H_2SO_4 (mg/g)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)											
7.88	1205	2.29	28.6	1742.0	7.73	8.70	144.38	18.33	83.25	16.75	37.42	4.15
9.00	1377	2.26	28.6	1859.0	5.39	6.06	150.44	16.72	86.74	13.26	34.11	3.83



ตารางที่ ๑.7 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ค่าพีเอช 6 อัตราการไหล 2 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย H₂SO อัตรา 4.5 BV/hr 0.001 N

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 6, Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.0	0								
0.5	77	4.93	28.6	58.9	< 0.03	0.02	0.02	0.03	< 0.03
1.0	153	5.02	28.7	55.7	< 0.03	0.02	0.03	0.03	< 0.03
1.5	230	5.09	28.6	59.0	< 0.03	0.02	0.05	0.03	< 0.03
2.0	306	5.08	28.2	55.9	< 0.03	0.02	0.06	0.03	< 0.03
2.5	383	6.69	28.6	55.7	< 0.03	0.02	0.08	0.03	< 0.03
3.0	459	6.81	28.2	52.8	< 0.03	0.02	0.09	0.03	< 0.03
3.5	536	6.85	28.3	53.6	< 0.03	0.02	0.11	0.03	< 0.03
4.0	612	6.86	28.5	55.1	< 0.03	0.02	0.12	0.03	< 0.03
4.5	689	6.82	28.5	55.7	< 0.03	0.02	0.14	0.03	< 0.03
5.0	765	6.57	28.6	72.3	0.35	0.18	0.31	0.06	< 0.03
5.5	842	6.10	28.4	76.6	0.49	0.25	0.56	0.10	< 0.03
6.0	918	5.90	28.2	86.4	6.23	3.12	3.67	0.61	< 0.03
6.5	995	5.87	28.2	109.5	8.07	4.04	7.71	1.19	< 0.03
7.0	1071	5.93	28.2	120.7	9.70	4.85	12.56	1.79	< 0.03
7.5	1148	5.86	28.2	120.8	10.51	5.26	17.81	2.37	< 0.03
8.0	1224	5.83	28.2	121.1	10.98	5.49	23.30	2.91	< 0.03
9.0	1377	5.79	28.2	121.3	11.53	11.53	34.83	3.87	< 0.03
10.0	1530	5.71	28.4	123.8	12.31	12.31	47.14	4.71	< 0.03

ตารางที่ จ.7 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ค่าพีเอช 6 อัตราการไหล 2 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย H₂SO อัตรา 4.5 BV/hr 0.001 N (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L. pH 6. Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
11.0	1683	5.69	28.3	124.6	12.61	12.61	59.75	5.43	< 0.03
12.0	1836	5.70	28.3	125.4	12.61	12.61	72.36	6.03	< 0.03
14.0	2142	5.67	28.3	125.3	13.20	26.40	98.76	7.05	< 0.03
16.0	2448	5.66	28.4	125.5	13.60	27.20	125.96	7.87	< 0.03

Inlet Cu concentration = 19.81 mg Cu/L x16 BV = 316.96 mg Cu/L IOCS

Cu Concentration on IOCS = 316.96 - 125.96 = 191.00 mg Cu/L IOCS



ตารางที่ ๑.8 ผลการศึกษาการล้างย้อนก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย H₂SO₄ อัตรา 4.5 BV/hr 0.001 N

Backwash before Regeneration with Flow Rate 4.5 BV/hr . H ₂ SO ₄ 0.001 N									
Backwash Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0								
3.33	509	6.77	30.4	5.9	2.36	7.86	7.86	2.36	2.54
6.67	1021	6.37	30.3	16.7	1.74	5.81	13.67	2.05	1.28
10.00	1530	6.27	30.2	3.9	1.20	4.00	17.67	1.77	0.55
13.33	2039	6.02	30.2	5.8	0.70	2.33	20.00	1.50	0.23

Cu Cocentration on IOCS after Backwash = 191.00 - 20.00 = 171.00 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ ๑.๙ ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชั่นทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่หมดสภาพด้วยอัตราการรีเจนเนอเรชั่น 4.5 BV/hr

H₂SO₄ 0.001 N

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr. H ₂ SO ₄ 0.001 N												
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /H ₂ SO ₄ (mg/g)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)											
0.00	0								0.00	100.00		
0.15	23	5.98	28.7	8.4	1.23	0.18	0.18	1.23	0.11	99.89	25.10	< 0.03
0.30	46	5.91	28.7	8.1	1.25	0.19	0.37	1.24	0.22	99.78	25.31	< 0.03
0.45	69	5.83	28.6	7.0	1.26	0.19	0.56	1.25	0.33	99.67	25.44	< 0.03
0.60	92	5.77	28.7	8.2	1.27	0.19	0.75	1.25	0.44	99.56	25.56	< 0.03
0.75	115	5.79	28.6	13.5	1.30	0.20	0.95	1.26	0.55	99.45	25.76	< 0.03
0.90	138	5.78	28.5	8.0	1.37	0.21	1.15	1.28	0.67	99.33	26.12	< 0.03
1.05	161	5.78	28.6	8.3	1.39	0.21	1.36	1.30	0.80	99.20	26.44	< 0.03
1.20	184	5.78	28.6	8.7	1.43	0.21	1.58	1.31	0.92	99.08	26.79	< 0.03
1.35	207	5.77	28.7	9.3	1.52	0.23	1.80	1.34	1.05	98.95	27.26	< 0.03
1.50	230	5.78	28.7	10.1	1.70	0.26	2.06	1.37	1.20	98.80	28.00	< 0.03
1.88	287	5.76	28.7	14.8	3.05	1.14	3.20	1.71	1.87	98.13	34.85	< 0.03
2.25	344	5.66	28.5	23.5	5.11	1.92	5.12	2.27	2.99	97.01	46.42	< 0.03
3.00	459	5.57	28.4	41.6	9.76	7.32	12.44	4.15	7.27	92.73	84.61	< 0.03
3.75	574	5.30	28.7	49.5	11.07	8.30	20.74	5.53	12.13	87.87	112.87	< 0.03
4.50	689	4.87	28.8	58.3	9.92	7.44	28.18	6.26	16.48	83.52	127.80	< 0.03
5.63	861	4.80	28.7	75.9	6.95	7.82	36.00	6.40	21.05	78.95	130.61	< 0.03
6.75	1033	4.88	28.3	82.3	4.59	5.16	41.16	6.10	24.07	75.93	124.45	< 0.03

ตารางที่ ๑.๑ ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชั่นทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่หมดสภาพด้วยอัตราการรีเจนเนอเรชั่น 4.5 BV/hr
 H_2SO_4 0.001 N (ต่อ)

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr, H_2SO_4 0.001 N												
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (μ S/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu / H_2SO_4 (mg/g)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)											
7.88	1205	4.70	28.3	88.9	3.20	3.60	44.76	5.68	26.18	73.82	116.00	< 0.03
9.00	1377	4.55	28.2	86.8	2.57	2.89	47.65	5.29	27.87	72.13	108.06	< 0.03

ภาคผนวก จ.

การศึกษาผลของอัตราการเงินเนอเรชั่นที่มีต่อประสิทธิภาพในการนำกลับ
ทองแดงจากทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

ตารางที่ จ.1 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ค่าพีเอช 6 อัตราการไหล 2 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย H₂SO₄ 0.01 N อัตรา 3 BV/hr

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 6. Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0								
0.50	77	4.40	30.6	62.5	< 0.03	0.02	0.02	0.03	< 0.03
1.00	153	4.41	30.5	62.8	< 0.03	0.02	0.03	0.03	< 0.03
1.50	230	4.45	30.4	66.7	< 0.03	0.02	0.05	0.03	< 0.03
2.00	306	4.47	30.2	62.5	< 0.03	0.02	0.06	0.03	< 0.03
2.50	383	4.50	29.9	67.7	< 0.03	0.02	0.08	0.03	< 0.03
3.00	459	4.52	29.9	65.8	< 0.03	0.02	0.09	0.03	< 0.03
3.50	536	4.61	29.8	64.1	< 0.03	0.02	0.11	0.03	< 0.03
4.00	612	4.68	29.8	66.8	< 0.03	0.02	0.12	0.03	< 0.03
4.50	689	4.74	29.9	65.3	< 0.03	0.02	0.14	0.03	< 0.03
5.00	765	4.86	30.0	68.3	< 0.03	0.02	0.15	0.03	< 0.03
5.50	842	5.65	29.7	70.4	< 0.03	0.02	0.17	0.03	< 0.03
6.00	918	6.73	29.6	71.7	< 0.03	0.02	0.18	0.03	< 0.03
6.50	995	6.76	29.7	72.6	< 0.03	0.02	0.20	0.03	< 0.03
7.00	1071	6.75	29.6	72.5	< 0.03	0.02	0.21	0.03	< 0.03
7.50	1148	6.61	29.7	72.8	< 0.03	0.02	0.23	0.03	< 0.03
8.00	1224	6.69	29.6	72.4	< 0.03	0.02	0.24	0.03	< 0.03
8.50	1301	6.77	29.4	72.6	< 0.03	0.02	0.26	0.03	< 0.03
9.00	1377	6.73	29.3	73.2	< 0.03	0.02	0.27	0.03	< 0.03

ตารางที่ จ.1 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ค่าพีเอช 6 อัตราการไหล 2 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย H₂SO₄ 0.01 N อัตรา 3 BV/hr (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 6. Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
9.50	1454	6.70	29.3	77.4	< 0.03	0.02	0.29	0.03	< 0.03
10.00	1530	6.45	29.3	80.5	< 0.03	0.02	0.30	0.03	< 0.03
10.50	1607	6.28	29.1	88.9	0.44	0.22	0.52	0.05	< 0.03
11.00	1683	6.14	29.1	92.5	1.27	0.64	1.16	0.11	< 0.03
11.50	1760	5.76	28.7	100.2	4.23	2.12	3.27	0.28	< 0.03
12.00	1836	5.51	28.5	105.5	8.50	4.25	7.52	0.63	< 0.03
12.50	1913	5.43	28.6	104.3	10.02	5.01	12.53	1.00	< 0.03
13.00	1989	5.36	28.8	104.8	10.63	5.32	17.85	1.37	< 0.03
13.50	2066	5.31	28.7	105.6	11.01	5.51	23.35	1.73	< 0.03
14.00	2142	5.24	28.8	110.4	11.71	5.86	29.21	2.09	< 0.03
15.00	2295	5.23	28.7	115.2	12.13	12.13	41.34	2.76	< 0.03
16.00	2448	5.23	28.6	117.1	12.81	12.81	54.15	3.38	< 0.03
18.00	2754	5.12	28.6	119.5	13.67	27.34	81.49	4.53	< 0.03

Inlet Cu concentration = 19.84 mg Cu/L x 18 BV = 357.12 mg Cu/L IOCS

Cu Concentration on IOCS = 357.12 - 81.49 = 275.63 mg Cu/L IOCS

Cu Cocentration on IOCS after Backwash = 275.63 - 21.96 = 253.67 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ ๑.2 ผลการศึกษาการล้างย้อนก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย H₂SO₄ 0.01 N อัตรา 4.5

BV/hr

Backwash before Regeneration with Flow Rate 4.5 BV/hr, H ₂ SO ₄ 0.1 N									
Backwash Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0.00								
3.33	509.49	5.39	29.80	18.00	2.42	8.06	8.06	2.42	2.90
6.67	1020.51	5.50	29.80	11.70	1.94	6.48	14.54	2.18	1.54
10.00	1530.00	5.53	29.70	9.50	1.43	4.76	19.30	1.93	1.21
13.33	2039.49	5.49	29.80	8.50	0.80	2.66	21.96	1.65	0.56

Cu Cocentration on IOCS after Backwash = 275.63 - 21.96 = 253.67 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ ๑.3 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชั่นทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่หมดสภาพด้วย H₂SO₄ 0.01 N

อัตราการรีเจนเนอเรชั่น 3 BV/hr

Regeneration Flow Rate 3 BV/hr, H ₂ SO ₄ 0.01 N												
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /H ₂ SO ₄ (mg/g)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)											
0.00	0								0.00	100.00		
0.10	15	5.58	28.4	12.8	1.80	0.18	0.18	1.80	0.07	99.93	3.67	< 0.03
0.20	31	5.50	28.3	14.4	1.90	0.19	0.37	1.85	0.15	99.85	3.78	< 0.03
0.30	46	5.45	28.2	12.8	1.93	0.19	0.56	1.88	0.22	99.78	3.83	< 0.03
0.40	61	5.41	28.2	14.7	1.99	0.20	0.76	1.91	0.30	99.70	3.89	< 0.03
0.50	77	5.34	28.1	9.6	1.93	0.19	0.96	1.91	0.38	99.62	3.90	< 0.03
0.60	92	5.48	28.4	17.1	2.31	0.23	1.19	1.98	0.47	99.53	4.03	< 0.03
0.70	107	5.35	28.1	57.2	14.12	1.41	2.60	3.71	1.02	98.98	7.57	< 0.03
0.80	122	5.05	28.2	173.0	50.90	5.09	7.69	9.61	3.03	96.97	19.61	< 0.03
0.90	138	4.87	28.0	287.0	94.20	9.42	17.11	19.01	6.74	93.26	38.79	< 0.03
1.00	153	4.78	28.1	352.0	124.60	12.46	29.57	29.57	11.66	88.34	60.34	< 0.03
1.25	191	4.30	28.0	388.0	131.20	32.80	62.37	49.89	24.59	75.41	101.83	< 0.03
1.50	230	4.11	28.0	437.0	76.10	19.03	81.39	54.26	32.09	67.91	110.74	< 0.03
2.00	306	3.60	27.8	508.0	44.80	22.40	103.79	51.90	40.92	59.08	105.91	0.27
2.50	383	2.96	27.9	756.0	32.00	16.00	119.79	47.92	47.22	52.78	97.79	6.93
3.00	459	2.61	28.0	1170.0	25.00	12.50	132.29	44.10	52.15	47.85	90.00	5.47
3.75	574	2.45	27.9	1495.0	21.04	15.78	148.07	39.49	58.37	41.63	80.58	4.66
4.50	689	2.37	28.0	1689.0	19.23	14.42	162.50	36.11	64.06	35.94	73.69	4.52

ตารางที่ จ.3 ผลการศึกษาการรีเจเนอเรชั่นทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่หมดสภาพด้วย H₂SO₄ 0.01 N

อัตราการรีเจเนอเรชั่น 3 BV/hr (ต่อ)

Regeneration Flow Rate 3 BV/hr. H ₂ SO ₄ 0.01 N												
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /H ₂ SO ₄ (mg/g)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)											
5.25	803	2.28	28.1	1847.0	17.89	13.42	175.91	33.51	69.35	30.65	68.38	4.23
6.00	918	2.26	28.0	1953.0	16.80	12.60	188.51	31.42	74.31	25.69	64.12	4.01

ตารางที่ ๑.4 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ค่าพีเอช 6 อัตราการไหล 2 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย H₂SO₄ 0.01 N อัตรา 4.5 BV/hr

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 6, Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0								
0.50	77	4.31	29.1	60.2	< 0.03	0.02	0.02	0.03	< 0.03
1.00	153	4.35	29.2	55.7	< 0.03	0.02	0.03	0.03	< 0.03
1.50	230	4.33	29.3	59.0	< 0.03	0.02	0.05	0.03	< 0.03
2.00	306	4.38	29.3	57.4	< 0.03	0.02	0.06	0.03	< 0.03
2.50	383	4.37	29.5	56.8	< 0.03	0.02	0.08	0.03	< 0.03
3.00	459	4.40	30.2	58.6	< 0.03	0.02	0.09	0.03	< 0.03
3.50	536	4.51	30.1	57.7	< 0.03	0.02	0.11	0.03	< 0.03
4.00	612	4.87	30.1	58.4	< 0.03	0.02	0.12	0.03	< 0.03
4.50	689	5.06	30.1	55.2	< 0.03	0.02	0.14	0.03	< 0.03
5.00	765	5.12	30.2	54.6	< 0.03	0.02	0.15	0.03	< 0.03
5.50	842	5.33	30.3	56.9	< 0.03	0.02	0.17	0.03	< 0.03
6.00	918	5.66	30.2	53.7	< 0.03	0.02	0.18	0.03	< 0.03
6.50	995	6.23	30.5	57.8	< 0.03	0.02	0.20	0.03	< 0.03
7.00	1071	6.60	30.8	59.2	< 0.03	0.02	0.21	0.03	< 0.03
7.50	1148	6.63	30.8	60.1	< 0.03	0.02	0.23	0.03	< 0.03
8.00	1224	6.66	30.9	59.7	< 0.03	0.02	0.24	0.03	< 0.03
8.50	1301	6.84	30.8	63.8	< 0.03	0.02	0.26	0.03	< 0.03
9.00	1377	6.96	31.0	67.0	< 0.03	0.02	0.27	0.03	< 0.03

ตารางที่ ๑.4 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ค่าพีเอช 6 อัตราการไหล 2 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย H₂SO₄ 0.01 N อัตรา 4.5 BV/hr (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 6, Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
9.50	1454	6.68	31.3	63.3	0.05	0.03	0.30	0.03	< 0.03
10.00	1530	6.32	30.6	73.0	0.91	0.46	0.75	0.08	< 0.03
10.50	1607	5.70	30.6	83.5	3.73	1.87	2.62	0.25	< 0.03
11.00	1683	5.55	30.8	90.5	5.67	2.84	5.45	0.50	< 0.03
11.50	1760	5.37	29.9	99.1	7.32	3.66	9.11	0.79	< 0.03
12.00	1836	5.27	30.2	94.0	9.70	4.85	13.96	1.16	< 0.03
12.50	1913	5.29	30.5	96.3	10.97	5.49	19.45	1.56	< 0.03
13.00	1989	5.28	30.4	99.7	11.39	5.70	25.14	1.93	< 0.03
13.50	2066	5.25	30.4	100.4	12.03	6.02	31.16	2.31	< 0.03
14.00	2142	5.23	30.5	105.9	12.55	6.28	37.43	2.67	< 0.03
15.00	2295	5.22	30.3	110.4	13.07	13.07	50.50	3.37	< 0.03
16.00	2448	5.29	30.0	124.2	13.45	13.45	63.95	4.00	< 0.03
18.00	2754	5.21	29.7	118.0	14.15	28.30	92.25	5.13	< 0.03

Inlet Cu concentration = 19.49 mg Cu/L x18 BV = 350.82 mg Cu/L IOCS

Cu Concentration on IOCS = 350.82 - 92.25 = 258.57 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ ๑.5 ผลการศึกษาการล้างย้อนก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย H₂SO₄ 0.01 N อัตรา 4.5

BV/hr

Backwash before Regeneration with H ₂ SO ₄ 0.01 N , Flow Rate 4.5 BV/hr									
Backwash Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0.00								
3.33	509.49	5.39	29.80	18.00	2.03	6.76	6.76	2.03	2.27
6.67	1020.51	5.50	29.80	11.70	1.54	5.14	11.90	1.78	1.83
10.00	1530.00	5.53	29.70	9.50	1.15	3.83	15.73	1.57	0.96
13.33	2039.49	5.49	29.80	8.50	1.13	3.76	19.59	1.46	0.30

Cu Cocentration on IOCS after Backwash = 258.57 - 19.50 = 239.07 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ ๑.6 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชั่นทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่หมดสภาพด้วย H₂SO₄ 0.01 N

อัตราการรีเจนเนอเรชั่น 4.5 BV/hr

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr, H ₂ SO ₄ 0.01 N												
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /H ₂ SO ₄ (mg/g)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)											
0.00	0								0.00	100.00		
0.15	23	5.66	29.4	12.8	1.92	0.29	0.29	1.92	0.12	99.88	3.92	< 0.03
0.30	46	5.61	29.2	12.1	2.02	0.30	0.59	1.97	0.25	99.75	4.02	< 0.03
0.45	69	5.54	29.3	12.3	2.03	0.30	0.90	1.99	0.37	99.63	4.06	< 0.03
0.60	92	5.55	29.3	13.5	1.97	0.30	1.19	1.99	0.50	99.50	4.05	< 0.03
0.75	115	5.48	29.2	30.6	5.56	0.83	2.03	2.70	0.85	99.15	5.51	< 0.03
0.90	138	5.28	29.4	83.5	20.24	3.04	5.06	5.62	2.12	97.88	11.48	< 0.03
1.05	161	4.98	29.0	226.0	68.00	10.20	15.26	14.53	6.38	93.62	29.66	< 0.03
1.20	184	4.78	29.1	325.0	109.40	16.41	31.67	26.39	13.25	86.75	53.86	< 0.03
1.35	207	4.67	29.1	383.0	130.30	19.55	51.22	37.94	21.42	78.58	77.42	< 0.03
1.50	230	4.51	29.0	408.0	131.60	19.74	70.96	47.30	29.68	70.32	96.54	< 0.03
1.88	287	4.17	29.1	436.0	83.60	31.35	102.31	54.56	42.79	57.21	111.35	< 0.03
2.25	344	3.77	29.1	483.0	48.70	18.26	120.57	53.59	50.43	49.57	109.36	< 0.03
3.00	459	2.77	29.1	966.0	29.20	21.90	142.47	47.49	59.59	40.41	96.92	3.18
3.75	574	2.46	29.1	1493.0	19.68	14.76	157.23	41.93	65.77	34.23	85.57	5.77
4.50	689	2.37	29.3	1711.0	16.06	12.05	169.27	37.62	70.80	29.20	76.77	6.51
5.63	861	2.28	29.4	1905.0	11.39	12.81	182.09	32.37	76.16	23.84	66.06	4.82
6.75	1033	2.26	29.1	2030.0	9.89	11.13	193.21	28.62	80.82	19.18	58.42	4.39

ตารางที่ ๑.6 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชั่นทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่หมดสภาพด้วย H₂SO₄ 0.01 N

อัตราการรีเจนเนอเรชั่น 4.5 BV/hr (ต่อ)

Regeneration Flow Rate 4.5 BV/hr. H ₂ SO ₄ 0.01 N												
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /H ₂ SO ₄ (mg/g)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)											
7.88	1205	2.24	29.0	2120.0	8.75	9.84	203.06	25.79	84.94	15.06	52.62	4.15
9.00	1377	2.21	28.9	2160.0	8.04	9.05	212.10	23.57	88.72	11.28	48.10	3.83

ตารางที่ ๑.7 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ค่าพีเอช 6 อัตราการไหล 2 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชั่นด้วย H₂SO₄ 0.01 N อัตรา 6 BV/hr

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 6. Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0								
0.50	77	4.32	28.9	56.9	< 0.03	0.02	0.02	0.03	< 0.03
1.00	153	4.33	28.9	57.6	< 0.03	0.02	0.03	0.03	< 0.03
1.50	230	4.40	28.9	56.4	< 0.03	0.02	0.05	0.03	< 0.03
2.00	306	4.44	28.9	58.3	< 0.03	0.02	0.06	0.03	< 0.03
2.50	383	4.48	28.9	56.4	< 0.03	0.02	0.08	0.03	< 0.03
3.00	459	4.55	28.8	56.8	< 0.03	0.02	0.09	0.03	< 0.03
3.50	536	4.60	28.7	53.7	< 0.03	0.02	0.11	0.03	< 0.03
4.00	612	4.88	28.6	54.6	< 0.03	0.02	0.12	0.03	< 0.03
4.50	689	5.00	28.5	56.1	< 0.03	0.02	0.14	0.03	< 0.03
5.00	765	5.80	28.0	56.5	< 0.03	0.02	0.15	0.03	< 0.03
5.50	842	6.38	28.3	56.7	< 0.03	0.02	0.17	0.03	< 0.03
6.00	918	6.49	28.2	56.8	< 0.03	0.02	0.18	0.03	< 0.03
6.50	995	6.55	28.2	57.2	< 0.03	0.02	0.20	0.03	< 0.03
7.00	1071	6.50	28.0	57.5	< 0.03	0.02	0.21	0.03	< 0.03
7.50	1148	6.60	28.1	57.4	< 0.03	0.02	0.23	0.03	< 0.03
8.00	1224	6.56	28.0	57.9	< 0.03	0.02	0.24	0.03	< 0.03
8.50	1301	6.53	28.0	60.2	< 0.03	0.02	0.26	0.03	< 0.03
9.00	1377	6.61	28.0	61.4	< 0.03	0.02	0.27	0.03	< 0.03

ตารางที่ ๑.7 ผลการศึกษาการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก.ทองแดง/ล. ค่าพีเอช 6 อัตราการไหล 2 BV/hr ก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย H₂SO₄ 0.01 N อัตรา 6 BV/hr (ต่อ)

Inlet Copper Concentration 20 mg Cu/L, pH 6, Service Flow Rate = 2 BV/hr									
Service Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µS/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
9.50	1454	6.53	28.0	65.8	< 0.03	0.02	0.29	0.03	< 0.03
10.00	1530	6.32	27.9	72.3	0.39	0.20	0.48	0.05	< 0.03
10.50	1607	6.11	27.9	76.6	1.11	0.56	1.04	0.10	< 0.03
11.00	1683	5.78	27.8	86.4	4.67	2.34	3.37	0.31	< 0.03
11.50	1760	5.57	27.4	92.5	7.86	3.93	7.30	0.63	< 0.03
12.00	1836	5.55	27.3	93.4	9.10	4.55	11.85	0.99	< 0.03
12.50	1913	5.51	27.2	95.6	10.23	5.12	16.97	1.36	< 0.03
13.00	1989	5.46	27.3	97.8	11.26	5.63	22.60	1.74	< 0.03
13.50	2066	5.44	27.4	102.3	11.48	5.74	28.34	2.10	< 0.03
14.00	2142	5.43	27.5	109.5	11.91	5.96	34.29	2.45	< 0.03
15.00	2295	5.38	27.5	110.4	12.52	12.52	46.81	3.12	< 0.03
16.00	2448	5.35	27.3	118.2	12.91	12.91	59.72	3.73	< 0.03
18.00	2754	5.24	27.3	120.2	13.80	27.60	87.32	4.85	< 0.03

Inlet Cu concentration = 19.33 mg Cu/L x 18 BV = 347.94 mg Cu/L IOCS

Cu Concentration on IOCS = 347.94 - 87.32 = 260.62 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ ๘.8 ผลการศึกษาการล้างย้อนก่อนการรีเจนเนอเรชันด้วย H₂SO₄ 0.01 N อัตรา 6 BV/hr

Backwash before Regeneration with H ₂ SO ₄ 0.01 N , Flow Rate 6 BV/hr									
Backwash Volume		pH	Temperature (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)								
0.00	0.00								
3.33	509.49	5.39	29.80	18.00	2.55	8.49	8.49	2.55	2.95
6.67	1020.51	5.50	29.80	11.70	1.95	6.51	15.00	2.25	1.83
10.00	1530.00	5.53	29.70	9.50	1.35	4.50	19.50	1.95	1.60
13.33	2039.49	5.49	29.80	8.50	0.58	1.93	21.43	1.61	1.07

Cu Cocentration on IOCS after Backwash = 260.62 - 21.43 = 239.19 mg Cu/L IOCS

ตารางที่ จ.9 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชั่นทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่หมดสภาพด้วย H₂SO₄ 0.01 N

อัตราการรีเจนเนอเรชั่น 6 BV/hr

Regeneration Flow Rate 6 BV/hr, H ₂ SO ₄ 0.01 N												
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /H ₂ SO ₄ (mg/g)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)											
0.00	0								0.00	100.00		
0.20	31	5.66	28.8	12.7	1.89	0.38	0.38	1.89	0.16	99.84	3.86	< 0.03
0.40	61	5.60	28.8	11.3	1.94	0.39	0.77	1.92	0.32	99.68	3.91	< 0.03
0.60	92	5.57	28.8	11.7	1.89	0.38	1.14	1.91	0.48	99.52	3.89	< 0.03
0.80	122	5.44	28.8	35.9	7.55	1.51	2.65	3.32	1.11	98.89	6.77	< 0.03
1.00	153	5.01	28.8	216.0	65.30	13.06	15.71	15.71	6.57	93.43	32.07	< 0.03
1.20	184	4.76	28.8	343.0	116.90	23.38	39.09	32.58	16.34	83.66	66.49	< 0.03
1.40	214	4.41	28.8	400.0	118.50	23.70	62.79	44.85	26.25	73.75	91.54	< 0.03
1.60	245	4.24	29.0	423.0	100.10	20.02	82.81	51.76	34.62	65.38	105.63	< 0.03
1.80	275	3.94	29.1	454.0	79.00	15.80	98.61	54.79	41.23	58.77	111.81	< 0.03
2.00	306	3.32	29.3	577.0	61.90	12.38	110.99	55.50	46.40	53.60	113.26	2.47
2.50	383	2.71	29.2	1003.0	37.60	18.80	129.79	51.92	54.26	45.74	105.95	6.93
3.00	459	2.52	29.3	1304.0	25.30	12.65	142.44	47.48	59.55	40.45	96.90	7.80
4.00	612	2.35	29.5	1710.0	18.40	18.40	160.84	40.21	67.25	32.75	82.06	6.22
5.00	765	2.30	29.8	1874.0	12.69	12.69	173.53	34.71	72.55	27.45	70.83	4.35
6.00	918	2.27	29.4	1990.0	10.88	10.88	184.41	30.74	77.10	22.90	62.73	4.23
7.50	1148	2.25	29.5	2100.0	9.50	14.25	198.66	26.49	83.06	16.94	54.06	4.21
9.00	1377	2.21	29.8	2180.0	7.30	10.95	209.61	23.29	87.63	12.37	47.53	4.20

ตารางที่ ๑.9 ผลการศึกษาการรีเจนเนอเรชั่นทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่หมดสภาพด้วย H₂SO₄ 0.01 N

อัตราการรีเจนเนอเรชั่น 6 BV/hr (ต่อ)

Regeneration Flow Rate 6 BV/hr. H ₂ SO ₄ 0.01 N												
Regenerant Volume		pH	Temp (celcius)	Conductivity (µs/cm)	[Cu] (mg Cu/L)	Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu x BV (mg Cu/L IOCS)	Cumulative Cu (mg Cu/L)	Recovery Cu (%)	Non Reovery Cu (%)	Recovery Cu /H ₂ SO ₄ (mg/g)	[Fe] (mg Fe/L)
(BV)	(mL)											
10.50	1607	2.20	29.9	2230.0	6.76	10.14	219.75	20.93	91.87	8.13	42.71	4.18
12.00	1836	2.20	29.9	2280.0	5.50	8.25	228.00	19.00	95.32	4.68	38.78	4.16

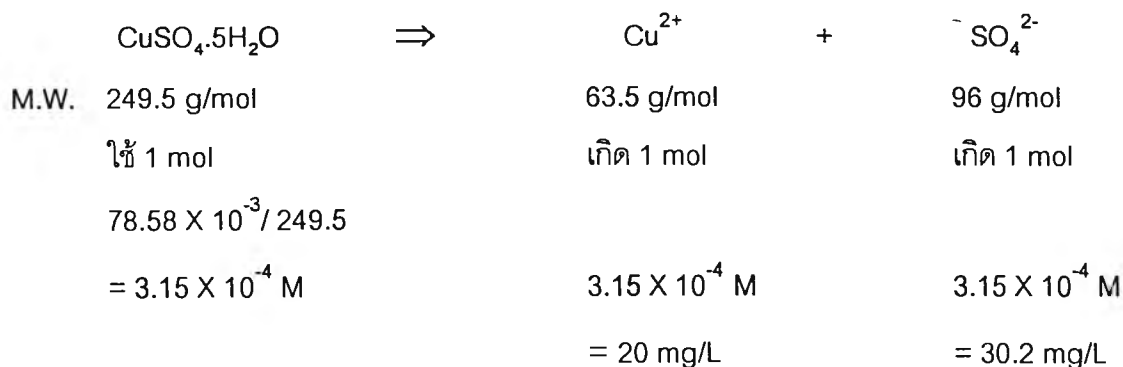
ภาคผนวก ช.

การคำนวณค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบทั้งหมด
ของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

การคำนวณการแลกเปลี่ยนประจุลบทั้งหมดของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

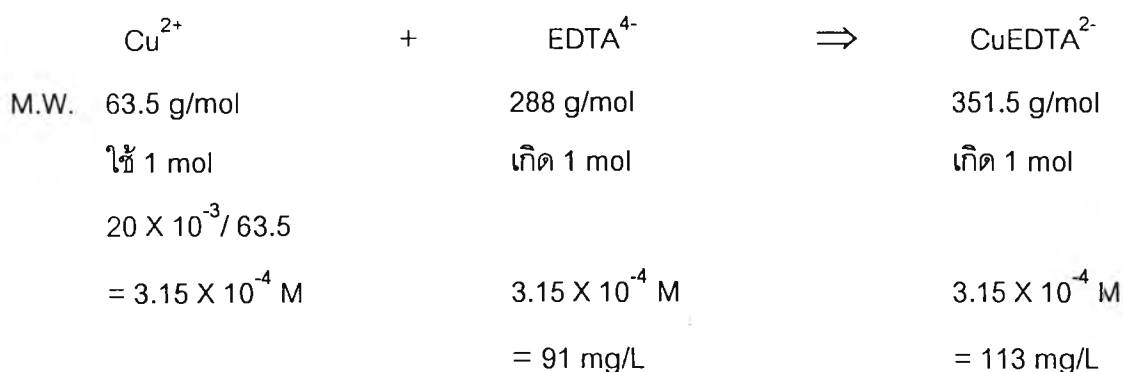
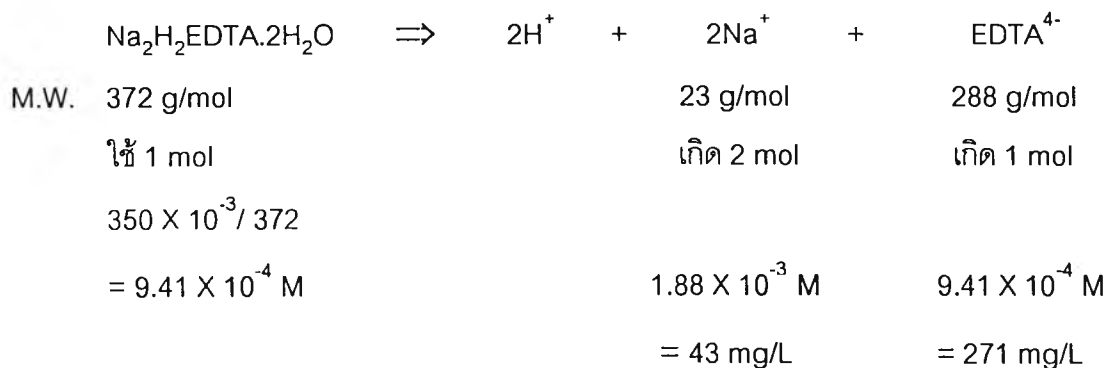
ในน้ำเสียประกอบไปด้วย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 78.58 มก./ล., โซเดียมไฮดรอกไซด์ 75 มก./ล., formaldehyde 30 มก./ล และ เกลือEDTA 350 มก./ล

ปฏิกิริยาเคมีเป็นดังนี้

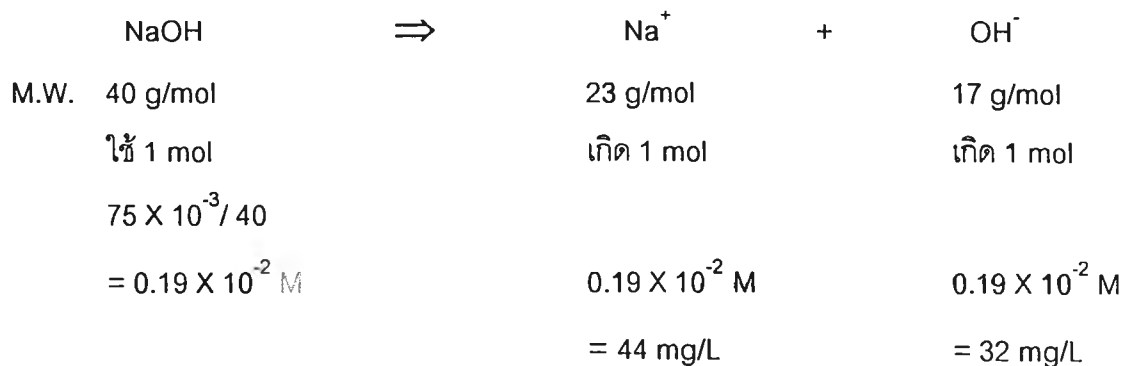
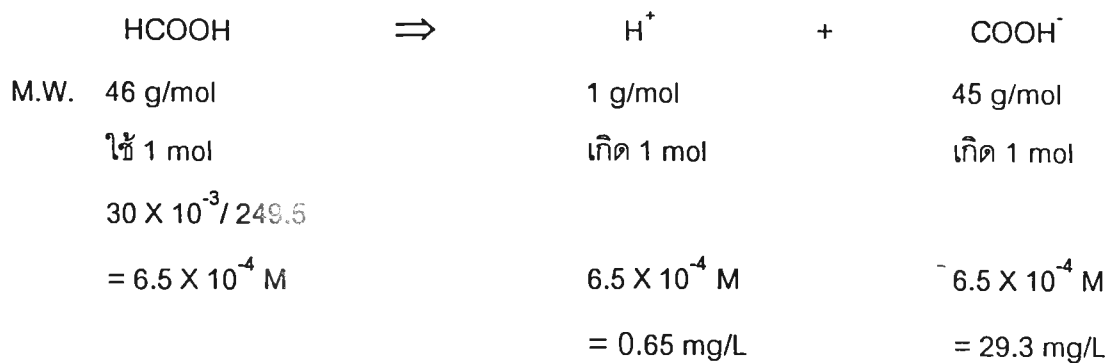


เกลือEDTA = $\text{N}_2(\text{CH}_2)_2(\text{CH}_2\text{COOH})_2(\text{CH}_2\text{COONa})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

= $\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ มี M.W. = 372 g/mol



ดังนั้นเหลือ EDTA อิสระ = $271 - 91 = 180 \text{ mg/L}$



ในน้ำเสียมีพีเอชประมาณ 10 ดังนั้น

$$-\log[\text{H}^+] = 10$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-10} \text{ M} = 1 \times 10^{-7} \text{ mg/L}$$

$$-\log[\text{OH}^-] = 4$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-4} \text{ M} = 1.7 \text{ mg/L}$$

ในน้ำเสียทองแดงเชิงซ้อน ประกอบไปด้วย

$$\text{CuEDTA}^{2-} = 111 \text{ มก. CuEDTA}^{2-} / \text{ล.} \quad (\text{มี Cu} = 20 \text{ มก. Cu} / \text{ล.})$$

$$\text{EDTA}^{4-} = 180 \text{ มก. EDTA}^{4-} / \text{ล.}$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 302 \text{ มก. SO}_4^{2-} / \text{ล.}$$

$$\text{COOH}^- = 29.3 \text{ มก. COOH}^- / \text{ล.}$$

$$\text{OH}^- = 1.7 \text{ มก. OH}^- / \text{ล.}$$

$$\text{Na}^+ = 87 \text{ มก. Na}^+ / \text{ล.}$$

$$\text{H}^+ = 1 \times 10^{-7} \text{ มก. H}^+ / \text{ล.}$$

เรซิน 0.153 ลิตร บำบัดน้ำเสียได้ 44 ลิตร ดังนั้นเรซินปริมาตร 1 ลิตร จะสามารถแลกเปลี่ยนประจุลบกับไอออนของน้ำเสียได้ดังนี้

$$\text{CuEDTA}^{2-} = 31922 \text{ มก. CuEDTA}^{2-} / \text{ล. เรซิน}$$

$$\text{EDTA}^{4-} = 51765 \text{ มก. EDTA}^{4-} / \text{ล. เรซิน}$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 8685 \text{ มก. SO}_4^{2-} / \text{ล. เรซิน}$$

$$\text{COOH}^- = 8426 \text{ มก. COOH}^- / \text{ล. เรซิน}$$

$$\text{จำนวน eq/ล. เรซิน} = \frac{[\text{ปริมาณประจุลบที่ถูกแลกเปลี่ยน (ก./ล. เรซิน)} \times \text{จำนวนประจุ (eq/mol)}]}{\text{มวลโมเลกุล (g/mol)}}$$

ดังนั้น

$$\text{CuEDTA}^{2-} = 31922 \times 10^{-3} \times 2 / 351.5 = 0.18 \text{ eq/ล. เรซิน}$$

$$\text{EDTA}^{4-} = 51765 \times 10^{-3} \times 4 / 288 = 0.72 \text{ eq/ล. เรซิน}$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 8685 \times 10^{-3} \times 2 / 96 = 0.18 \text{ eq/ล. เรซิน}$$

$$\text{COOH}^- = 8426 \times 10^{-3} \times 1 / 45 = 0.19 \text{ eq/ล. เรซิน}$$

ดังนั้นค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบทั้งหมดของเรซิน

$$= 0.18 + 0.72 + 0.18 + 0.19 = 1.27 \text{ eq/ล. เรซิน}$$

ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบทั้งหมดของเรซินจากการทดลองจริงเท่ากับ 1.27 eq/ล. เรซิน ซึ่งใกล้เคียงกับค่าแนะนำของผู้ผลิตคือ 1.2 eq/ล. เรซิน

ภาคผนวก ซ.

ข้อมูลและคำแนะนำสำหรับเรซินต่างแก่ LEWATIT[®] MonoPlus M500

LEWATIT® MonoPlus M 500

Product Information

LEWATIT® MonoPlus M 500 is a strongly basic, gelular anion exchange resin with beads of uniform size (monodisperse) based on a styrene-divinylbenzene copolymer. The monodisperse beads are chemically and osmotically highly stable. The optimized kinetics lead to an increased operating capacity compared to ion exchange resins with heterodisperse bead size distribution.

LEWATIT® MonoPlus M 500 is especially applicable for:

- demineralization of water for industrial steam generation, e.g. Lewatit WS System, Lewatit Liftbed System or Lewatit Rinsebed System
- polishing by a Lewatit Multistep System or mixed bed in combination with **LEWATIT® MonoPlus S 100**.

LEWATIT® MonoPlus M 500 is adding special features to the resin bed:

- high exchange flow rates during regeneration and loading
- good utilization of the total capacity
- low rinse water demand
- homogeneous throughput of regenerants, water and solutions; therefore a homogeneous working zone
- nearly linear pressure drop gradient for the whole bed depth; therefore operation with higher bed depth possible
- good separation behavior of the components in a mixed bed application.

The special properties of this product can only be fully utilized if the technology and process used correspond to the current state-of-the-art. Further advice in this matter can be obtained from Bayer AG, Business Group Specialty Products, Business Unit Ion Exchange Resins and Water Chemicals.

LEWATIT®

Bayer 

LEWATIT® MonoPlus M 500

General Description

Ionic form, as shipped	Cl ⁻
Functional group	quaternary amine, type I
Matrix	crosslinked polystyrene
Structure	gel type beads
Appearance	yellow, translucent

Physical and Chemical Properties

Bead size*	> 90%	mm	0.6 (± 0.05)
Bulk weight	(± 5%)	g/l	670
Density		approx. g/ml	1.08
Water retention		%	50 - 60
Total capacity*		min. eq/l	1.2
Volume change	Cl ⁻ → OH ⁻	max. %	22
Stability	at temperature	max. °C	1 - 100 (Cl ⁻ Form)
Stability	in pH range		0 - 14
Storability	of the product	min. years	2
Storability	at temperature	°C	1 - 40

* These data are specification values and are subject to continuous monitoring.

LEWATIT® MonoPlus M 500

Recommended Operating Conditions**

Operating temperature		max. °C	70
Operating pH range			0 – 12
Bed depth		min. mm	800
Specific pressure loss	(15 °C)	approx. kPa·h/m ²	1
Max. pressure loss		kPa	200
Linear velocity	exhaustion	max. m/h	60***
Linear velocity	backwash (20 °C)	approx. m/h	7
Bed expansion	(20 °C, per m/h)	approx. %	11
Freeboard	as % of resin volume	%	80 – 100
Regenerant			NaOH
Countercurrent regeneration	level	approx. g/l	50
WS-System	concentration	%	2 – 4
Linear velocity	regeneration	approx. m/h	5
Linear velocity	rinsing	approx. m/h	5
Rinse water requirement		approx. BV	3,5
Cocurrent regeneration	level	approx. g/l	100
Cocurrent regeneration	concentration	%	3 – 5
Linear velocity	regeneration	approx. m/h	5
Linear velocity	rinsing	approx. m/h	5
Rinse water requirement		approx. BV	10
Mixed bed operation			
Bed depth		min. mm	500
Regenerant	level	approx. g/l	100
Regenerant	concentration	approx. %	2 – 6

* The recommended operating conditions refer to the use of the product under normal operating conditions. It is based on tests in pilot plants and data obtained from industrial applications. However, additional data are needed to calculate the resin volumes required for ion exchange units. These are to be found in our Technical Information Sheets.

** 100 m/h (Polishing)



Safety precautions

Strong oxidants, e.g. nitric acid, can cause violent reactions if they come into contact with ion exchange resins.

Toxicity

The safety data sheet must be observed. It contains additional data on product description, transport, storage, handling, safety and ecology.

Disposal

A proprietary technical recycling process for used ion exchanger is unknown to us. In the European Community the following possibilities for disposal can be utilized:

Resins used for water treatment and in the sugar industry can be disposed under code number 190 905. Our preference is to recommend disposal in an industrial incinerator.

Ion exchange resins which contain impurities after use in industrial processes, e.g. electroplating, chemicals treatment etc., can be disposed of under code number 190 806. A certificate of disposal is required.

Bayer AG
 BG Specialty Products
 BU Ion Exchange Resins and Water Chemicals
 D-51368 Leverkusen
 Edition: 07/99

Internet: <http://www.lewatit.bayer.com>

LEWATIT® is a registered trademark of Bayer AG, Leverkusen.

Internet: <http://www.bayer.com>

This information and our technical advice – whether verbal, in writing or by way of products – are given in good faith but without warranty, and this also applies where proprietary rights of third parties are involved. Our advice does not free you from the obligation to check its validity and to test our products as to their suitability for the intended processes and uses. The application, use and processing of our products and the products manufactured by you on the basis of our technical advice are beyond our control and, therefore, entirely your own responsibility. Our products are sold in accordance with our general conditions of sale and delivery.





ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจิตตกานต์ สินธุเสก เกิดเมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2541 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2542