

## รายการอ้างอิง



### ภาษาไทย

กระทรวงอุตสาหกรรม. กำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม.  
ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2, 2539.

พนจิตร์ ธนสิน. การกำจัดสังกะสีและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวกลางทรายเคลือบ  
ออกไซด์ของเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิต  
วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

มันสิน ตันตุลเวศม์. วิศวกรรมการประปา เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย, 2538.

มันสิน ตันตุลเวศม์. เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1. กรุงเทพมหานคร: สำนัก  
พิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

### ภาษาอังกฤษ

Anderson, M. A. and Rubin, A. J. Adsorption of Inorganics at Solid-Liquid Interfaces.  
Ann Arbor Science, 1981.

Brugger, R. Nickel Plating. Robert Draper, 1970.

Davis, J.A. and Kent, D.B. "Surface Complexation Modeling in Aqueous Geochemistry",  
Mineral-Water Interface Geochemistry Vol. 23, 1990: 177-260.

Dzombak, D.A., and Morel, F.M.M. Surface Complexation Modeling. John Wiley & Sons,  
1990.

Forstner and Wittmann. Metal Pollution in the Aquatic Environment. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1981

Khaodhiar S. Removal of Chromium, Copper, and Arsenic from Contaminate Groundwater Using Iron-Oxide Composite Adsorbents. Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, Oregon State University, 1997.

Kooner, Z.S., "Adsorption of Copper onto Goethite in Aqueous Systems" Environ. Geol., Water Sci. Vol. 20, 1992: 205-212.

Millward, G.E., and Moore, R.M., "Adsorption of Cu, Mn and Zn by iron-oxyhydroxide in model estuarine solutions" Water Res. Vol. 16, 1982: 981-985.

Richter, R.O., and Theis, T.L. "Nickel Speciation in a Soil/water System". Nickel in the Environment. 1980.

Ratanatamskul C. The Use of Zeolite-Iron Column to Treat Phosphorus and Residual Ammonia from Membrane Process Effluent. M.E. Thesis, Department of Urban Engineering, University of Tokyo, 1993.

Stumm W. Chemistry of the Solid-Water Interface. John Wiley & Sons, 1992.

Stumm W. and Morgan, J. J. Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Water. 3<sup>rd</sup> ed., John Wiley & Sons, 1995.

Sawyer, C.N., McCarty, P.L. and Parkin, G.F. Chemistry for Environmental Engineering. McGraw-Hill, 1994.

Weesner, F.J., and Bleam, W. F. "X-Ray Adsorption and EPR Spectroscopic Characterization of Adsorbed Copper(II) Complexes at the Boehmite (AlOOH) Surface". J. Colloid and Interface Science. Vol. 196, 1997: 79-86.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

กำหนดคุณสมบัติของโลหะหนักจากน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม  
(ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2539)

ตารางที่ ก.1 กำหนดคุณสมบัติของโลหะหนักจากน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม  
(ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2539)

ชนิดของโลหะหนัก	คุณสมบัติ
ปรอท (Mercury)	ไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีเลเนียม (Selenium)	ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร
แคดเมียม (Cadmium)	ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร
ตะกั่ว (Lead)	ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
อาร์เซนิก (Arsenic)	ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
โครเมียม (Chromium)	
Hexavalent Chromium	ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
Trivalent Chromium	ไม่มากกว่า 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร
บาเรียม (Barium)	ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
นิกเกิล (Nickel)	ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
ทองแดง (Copper)	ไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
สังกะสี (Zinc)	ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
แมงกานีส (Manganese)	ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

### ภาคผนวก ข

ลักษณะน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 80 โรงงาน  
ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (พ.ศ. 2537-2541)

ตารางที่ ข.1 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 80 โรงงานในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (พ.ศ.2537-2541)

(ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542)

ลำดับที่	ลักษณะกิจการ	วันที่เก็บตัวอย่างน้ำเสีย	pH	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มก./ล.)				
				Cr	Ni	Cu	Zn	Pb
1	โรงงานชุบโครเมียม	10 มค.2537	1.8	11	6	-	-	-
2	โรงงานชุบสังกะสี	18 มค.2537	9.2	-	-	-	8	-
3	โรงงานทำไฟแช็ค	27 มค.2537	4.6	0.2	300	-	-	-
4	โรงงานผลิตล้อจักรยาน	10 มีค.2537	6.1	60	140	-	-	-
5	โรงงานทำโลหะแปรรูป	11 มีค.2537	3.3	32	44	-	-	-
6	โรงงานผลิตอะไหล่รถจักรยาน	17 มีค.2537	6.2	184	208	-	-	-
7	โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์	19 มีค.2537	7	0.1	3.8	-	-	-
8	โรงงานชุบโลหะ	27 เมย.2537	12.5	1.5	-	-	-	-
9	โรงงานประกอบพัดลม	3 พค.2537	4.3	-	60	-	400	-
10	โรงงานชุบโลหะ	25 มค.2537	9.1	-	-	-	60	-
11	โรงงานชุบโลหะ	26 มค.2537	7.8	0.1	20	1.28	22	-
12	โรงงานผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้ารถยนต์	2 กพ.2537	7.3	0.1	1.6	-	-	-
13	โรงงานผลิตชิบ	2 กพ.2537	7.7	-	0.1	-	0.1	-
14	โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์	3 กพ.2537	8.7	2.7	19	-	-	-
15	โรงงานผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า	8 กย.2537	8.1	0.8	0.3	-	-	-
16	โรงงานชุบโลหะ	3 พค.2537	5.5	41.3	33.3	-	-	-

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ลำดับที่	ลักษณะกิจการ	วันที่เก็บตัวอย่างน้ำเสีย	pH	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มก./ล.)				
				Cr	Ni	Cu	Zn	Pb
17	โรงงานผลิตแผ่นเหล็กชุบสังกะสี	6 พค.2537	7.5	-	-	-	7.3	1.1
18	โรงงานผลิตน็อต,ดอกสว่าน	10 พค.2537	8.4	39.6	0.18	-	29.7	-
19	โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์	18 พค.2537	2.2	51.5	46.6	-	-	-
20	โรงงานผลิตน็อต,ดอกสว่าน	7 มิย.2537	5.1	6.27	-	-	346.5	-
21	โรงงานชุบโลหะ	7 กย.2537	6	-	0.05	-	-	-
22	โรงงานชุบโลหะ	21 กพ.2538	4.4	20.2	300	-	-	-
23	โรงงานชุบสังกะสี	1 พค.2538	2	-	-	-	34	-
24	โรงงานผลิตอุปกรณ์รถยนต์	20 มิย.2538	7	0.02	0.12	-	-	-
25	โรงงานชุบอะไหล่รถจักรยาน	19 กค.2538	5.6	39.4	73.8	-	-	-
26	โรงงานชุบอะไหล่รถจักรยาน	19 กค.2538	4	105	274	-	-	-
27	โรงงานผลิตซีบ	3 สค.2538	7.6	-	0.05	-	0.08	-
28	โรงงานชุบโลหะ	11 สค.2538	2.7	0.06	-	0.19	16.3	-
29	โรงงานผลิตพัดลม	18 สค.2538	8.1	-	4.72	0.02	48	0.01
30	โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์	19 สค.2538	7.9	0.48	54.4	-	0.07	-
31	โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถจักรยาน	25 สค.2538	6.7	-	0.04	-	-	-
32	โรงงานชุบโลหะ	6 กย.2538	7.4	-	0.03	-	-	-
33	โรงงานผลิตน็อต,ตะปู	20 ธค.2538	6.1	-	-	-	61	-



ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ลำดับที่	ลักษณะกิจการ	วันที่เก็บตัวอย่างน้ำเสีย	pH	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มก./ล.)				
				Cr	Ni	Cu	Zn	Pb
34	โรงงานผลิตกลอนประตูและบานพับชุบโครเมียม	28 ธค.2538	2.7	0.04	1.81	-	0.16	-
35	โรงงานชุบโลหะ	5 กพ.2539	7.8	0.11	0.14	-	0.04	-
36	โรงงานชุบโลหะ	2 กพ.2539	5.8	0.87	61.2	-	-	-
37	โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์	9 กพ.2539	6.1	0.25	3.28	-	0.13	-
38	โรงงานผลิตชิป	18 มีค.2539	2.2	-	2.53	1.43	0.32	-
39	โรงงานผลิตน็อต, สกรู	19 มีค.2539	6.5	-	4.16	-	38	-
40	โรงงานผลิตเครื่องประดับชุบ	10 เมย.2539	12	1.17	1.69	9.5	-	-
41	โรงงานชุบโลหะ	28 เมย.2539	7.2	0.05	2.64	-	0.52	-
42	โรงงานชุบโครเมียม	24 พค.2539	11.8	0.95	0.23	0.08	-	-
43	โรงงานชุบโลหะ	13 พค.2539	11.2	0.02	4.2	-	0.04	-
44	โรงงานชุบโลหะ	4 มิย.2539	5.9	9.8	9.1	-	4.36	-
45	โรงงานผลิตเครื่องเรือนจากโลหะ	19 มิย.2539	8.5	4.8	11.4	-	-	-
46	โรงงานผลิตน็อต, สกรูและหมุดย้ำ	27 มิย.2539	5.3	-	0.06	-	3	-
47	โรงงานผลิตรถจักรยาน	4 กค.2539	7.6	0.02	3.94	-	-	-
48	โรงงานท่อเหล็กอบสังกะสี	4 กค.2539	6.6	-	0.16	-	0.68	-
49	โรงงานชุบโครเมียม	8 กค.2539	7.3	0.26	0.82	-	-	-
50	โรงงานชุบโลหะ	19 กค.2539	7.1	-	0.24	0.44	0.59	-

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ลำดับที่	ลักษณะกิจการ	วันที่เก็บตัวอย่างน้ำเสีย	pH	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มก./ล.)				
				Cr	Ni	Cu	Zn	Pb
51	โรงงานชุบโครเมียม	21 สค.2539	2.4	556	324	-	-	-
52	โรงงานชุบโลหะ	21 สค.2539	5.9	128.8	90.8	-	-	-
53	โรงงานผลิตโลหะแปรรูป	20 สค.2539	6.5	21.8	1.08	-	0.18	-
54	โรงงานชุบโลหะ	27 สค.2539	6.9	1.68	1.51	0.28	-	-
55	โรงงานหลอมรีดและชุบอลูมิเนียม	30 สค.2539	6.7	0.04	18	-	-	-
56	โรงงานชุบโครเมียม	30 สค.2539	8.4	26.4	28.8	-	-	-
57	โรงงานชุบโลหะ	25 ธค.2539	10.2	-	17.4	36.8	-	-
58	โรงงานชุบโลหะ	18 ธค.2539	8.2	0.12	1.66	0.24	-	-
59	โรงงานผลิตสังกะสีลูกฟูกและแผ่นเรียบ	16 มค.2540	4.5	-	-	-	188	-
60	โรงงานทำผลิตภัณฑ์โลหะแปรรูป	19 มค.2540	10	23.4	1.4	0.16	0.02	0.44
61	โรงงานชุบโลหะ	10 มีค.2540	6	0.88	4.05	0.79	-	-
62	โรงงานชุบโลหะ	21 มีค.2540	8.6	0.09	0.96	-	1.16	-
63	โรงงานทำผลิตภัณฑ์โลหะแปรรูป	30 เมย.2540	8.6	1.11	0.26	0.04	-	1.39
64	โรงงานชุบสังกะสี	13 พค.2540	8.6	-	-	-	23.5	-
65	โรงงานผลิตแผ่นเหล็กชุบสังกะสี	30 พค.2540	8.8	0.21	-	-	0.05	-
66	โรงงานผลิตน็อต, สกรูและสลัก	17 มิย.2540	10.6	-	0.11	-	0.18	-
67	โรงงานชุบโลหะ	16 กย.2540	11.1	3.4	2.2	3.08	-	-

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ลำดับที่	ลักษณะกิจการ	วันที่เกิดตัวอย่างน้ำเสีย	pH	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มก./ล.)				
				Cr	Ni	Cu	Zn	Pb
68	โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์	25 กย.2540	7.2	-	0.05	-	7	-
69	โรงงานชุบทอง, นาค, เงิน	1 ตค.2540	6.8	-	144	0.04	-	-
70	โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์	10 ตค.2540	2.8	6.4	18.1	4.8	-	-
71	โรงงานชุบทอง, นาค, เงิน	21 ตค.2540	6.8	-	0.32	0.01	-	-
72	โรงงานชุบโลหะ	24 พย.2540	6.4	2.8	-	-	-	-
73	โรงงานชุบโลหะ	3 ธค.2540	2.3	3.9	3.7	2.1	-	-
74	โรงงานผลิตรถจักรยานยนต์	16 ธค.2540	8	0.19	0.14	0.1	-	-
75	โรงงานชุบโลหะ	23 มค.2541	6.2	0.06	132	5.2	-	-
76	โรงงานชุบโลหะ	10 มีค.2541	2.2	1.1	55	63	-	-
77	โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์	23 มีค.2541	8.5	0.19	0.14	0.1	-	-
78	โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์	2 กค.2541	7	0.75	0.68	0.12	-	-
79	โรงงานชุบโลหะ	4 สค.2541	7	50	280	-	-	-
80	โรงงานทำเครื่องประดับ	14 ตค.2541	8	-	0.32	0.12	-	-
ค่าเฉลี่ย			6.76	26.25	41.53	5.41	39.42	0.74
ช่วงของความเข้มข้น			1.8- 12.5	0.02- 556	0.03- 324	0.01- 63	0.02- 400	0.01- 1.39

**ภาคผนวก ค****ผลของความสูงขึ้นตัวกลางที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิล**

ตาราง ค.1 ผลของความสูงชั้นตัวกลางที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิล

วันที่	จำนวน วัน	น้ำเข้า Ni (มก./ล.)	น้ำออก(20 ซม) Ni (มก./ล.)	น้ำออก(40 ซม) Ni (มก./ล.)	น้ำออก(60 ซม) Ni (มก./ล.)	น้ำออก(80 ซม) Ni (มก./ล.)
7/7/99	1	10.30	1.40	0.34	0.39	0.26
7/9/99	3	10.10	4.32	0.99	0.81	0.31
7/11/99	5	10.20	5.02	1.17	0.90	0.61
7/12/99	6	10.70	4.70	0.89	0.70	1.36
7/14/99	8	10.61	4.94	1.82	0.67	1.13
7/16/99	10	9.89	5.80	2.44	0.80	1.36
7/18/99	12	11.40	4.80	3.01	0.81	1.20
7/19/99	13	10.81	5.71	2.90	0.71	1.20
7/21/99	15	10.90	5.43	4.22	0.66	1.53
7/23/99	17	11.00	5.38	4.25	0.68	1.36
7/26/99	20	10.56	5.00	3.98	0.69	1.19
7/28/99	22	10.84	6.10	3.96	0.60	1.37
7/31/99	25	10.00	5.41	5.50	0.49	1.65
8/2/99	27	10.12	5.53	4.26	0.43	1.72
8/4/99	29	9.90	5.77	5.46	0.36	2.06
8/7/99	32	10.20	6.19	5.13	0.34	2.33
8/9/99	34	10.50	6.47	4.31	0.37	2.79
8/11/99	36	10.79	7.00	5.50	0.35	2.45
8/13/99	38	9.90	6.68	6.75	0.53	2.62
8/16/99	41	9.87	7.00	5.37	0.75	2.97
8/18/99	43	9.99	6.77	5.18	0.82	2.55
8/20/99	45	10.90	6.31	5.17	1.21	2.90
8/23/99	47	10.11	7.68	4.49	1.39	0.64
8/25/99	49	10.20	7.24	5.20	1.96	0.41
8/27/99	51	10.70	8.80	5.00	2.10	0.54
8/30/99	54	10.59	8.50	5.30	2.17	0.45
9/1/99	56	10.65	8.29	5.04	2.50	0.46
9/3/99	58	10.10	8.59	5.21	3.00	0.43
9/5/99	60	10.23	7.50	5.18	2.30	0.40
9/8/99	62	9.73	7.30	5.17	2.04	0.38

วันที่	จำนวน วัน	น้ำเข้า Ni (มก./ล.)	น้ำออก(20 ซม) Ni (มก./ล.)	น้ำออก(40 ซม) Ni (มก./ล.)	น้ำออก(60 ซม) Ni (มก./ล.)	น้ำออก(80 ซม) Ni (มก./ล.)
9/10/99	64	10.10	8.19	4.12	2.49	0.33
9/13/99	67	9.93	8.30	4.19	2.40	0.40
9/15/99	69	10.05	8.33	4.36	2.65	0.32
9/17/99	71	10.10	8.47	4.70	2.70	0.40
9/20/99	74	10.00	8.40	4.92	3.30	0.55
9/22/99	76	9.98	8.63	6.00	3.10	0.59
9/24/99	78	9.86	7.29	5.44	3.50	0.71
9/27/99	80	10.32	7.45	5.35	3.90	0.80
9/29/99	82	9.84	7.11	5.22	3.58	0.76
10/1/99	84	10.50	7.54	5.69	3.61	0.38
10/4/99	87	10.40	7.68	6.00	3.80	0.39
10/6/99	89	10.60	8.90	7.00	3.60	0.59

หมายเหตุ น้ำออก(20 ซม), (40 ซม), (60 ซม), (80 ซม) หมายถึง น้ำที่ออกจากคอลัมน์ที่มีความสูงชั้นเศษเหล็กที่ 20, 40, 60 และ 80 ซม. ตามลำดับ

ภาคผนวก ง  
ผลของการกำจัดนิกเกิลที่อัตราไหลต่างๆ

ตารางที่ ง.1 ค่าความเข้มข้นของบิกเกิลที่อัตราไหลต่างๆ

DATE	จำนวนวัน	น้ำเข้า	C 1/1	C 1/2	C 1/3	C2/1	C 2/2	C 2/3	C3/1	C 3/2	C 3/3	C4/1	C 4/2	C 4/3
14/1/00	1	11.06	0.43	0.07	0.07	2.42	0.49	0.14	4.97	1.15	0.43	5.67	1.72	0.66
16/1/00	2	11.18	0.33	0.07	0.05	3.27	0.53	0.12	5.29	1.40	0.44	5.78	1.97	0.71
19/1/00	5	10.90	0.57	0.10	0.09	3.84	0.47	0.10	5.70	1.59	0.56	5.84	2.46	0.76
21/1/00	7	10.60	1.37	0.16	0.08	3.55	0.61	0.16	5.47	1.15	0.52	6.15	2.60	0.83
24/1/00	10	10.94	2.21	0.33	0.10	5.47	0.90	0.23	6.26	2.09	1.22	6.75	3.58	1.07
26/1/00	12	10.57	2.12	0.27	0.13	3.95	1.31	0.36	5.37	2.37	1.16	7.18	3.94	1.85
28/1/00	14	11.58	4.45	0.54	0.29	5.78	1.25	0.43	7.12	3.37	1.06	6.94	5.32	1.87
31/1/00	17	10.98	2.99	0.47	0.18	4.06	1.39	0.35	5.81	2.69	1.30	7.30	3.78	2.04
2/2/00	19	10.40	1.83	0.21	0.13	4.82	1.65	0.41	5.90	2.84	1.28	7.12	4.29	2.06
4/2/00	21	10.84	2.30	0.33	0.15	4.78	1.62	0.48	6.42	2.99	1.29	7.14	4.16	2.14
7/2/00	24	11.39	2.64	0.36	0.29	6.19	1.55	0.60	8.00	4.70	1.25	9.05	5.38	2.17
9/2/00	26	11.08	2.41	0.26	0.14	5.41	2.01	0.57	6.20	2.97	1.46	7.34	4.73	2.15
11/2/00	28	11.80	3.29	0.44	0.17	5.20	2.08	0.65	6.46	3.34	1.58	7.93	4.50	2.18
14/2/00	31	10.66	3.25	0.24	0.12	4.99	1.87	0.56	5.88	2.61	1.31	6.30	3.33	2.27
16/2/00	33	11.64	3.63	0.61	0.14	4.70	1.55	0.36	6.53	2.87	1.04	6.69	3.45	2.16
18/2/00	35	11.08	4.05	0.55	0.17	5.07	1.82	0.44	6.15	2.59	1.06	7.08	3.46	2.08
21/2/00	38	10.15	3.44	0.58	0.15	4.88	1.87	0.38	5.44	2.38	0.94	6.38	3.75	1.88
23/2/00	40	11.56	3.63	0.65	0.18	5.28	1.84	0.51	6.01	3.01	1.42	6.86	3.62	2.00
25/2/00	42	11.59	3.23	0.75	0.25	4.49	1.78	0.46	5.70	3.05	1.26	6.59	3.72	1.98
28/2/00	45	10.32	4.33	1.08	0.25	5.18	2.38	0.57	6.67	1.68	1.77	7.21	4.67	2.63
1/3/00	47	11.32	1.91	0.20	0.09	3.55	1.46	0.35	5.03	2.85	1.53	5.86	3.54	1.95
3/3/00	49	10.70	4.09	0.53	0.30	6.02	1.67	0.54	7.07	4.60	1.40	8.46	4.91	2.50
5/3/00	52	11.38	3.55	0.87	0.19	4.31	1.83	0.56	6.01	3.33	1.78	6.39	3.26	2.82
8/3/00	54	11.75	4.80	0.74	0.29	6.14	1.75	0.67	7.30	5.03	1.80	8.09	5.37	1.87
10/3/00	56	10.86	5.81	0.97	0.32	6.44	1.95	0.73	7.37	5.58	2.13	8.16	5.84	2.36
13/3/00	59	10.96	8.62	0.78	0.30	6.21	2.28	0.82	7.72	5.65	1.77	5.15	6.17	2.48
15/3/00	61	11.00	5.55	0.75	0.25	6.62	4.97	0.76	7.81	4.89	1.70	8.42	6.52	2.72
17/3/00	63	10.90	5.70	1.49	0.21	5.95	3.06	1.18	6.70	4.44	2.63	7.51	5.74	2.91
20/3/00	66	12.00	6.88	1.63	0.45	7.07	2.55	0.77	7.77	5.61	2.59	6.65	7.10	4.09
22/3/00	68	10.91	5.34	2.39	0.78	6.33	3.03	1.44	6.64	5.04	3.28	7.15	6.35	4.02
24/3/00	70	11.86	7.00	1.43	0.44	7.42	2.03	0.75	7.92	5.92	2.73	9.38	6.40	3.88
27/3/00	73	11.10	4.96	2.09	0.42	6.68	3.28	1.32	6.72	5.06	3.21	8.91	6.83	4.16
29/3/00	75	11.90	5.36	0.67	0.25	6.99	2.68	0.80	7.56	5.35	2.24	9.64	7.68	4.75
31/3/00	77	11.50	6.01	0.92	0.38	7.42	3.17	0.95	7.60	5.66	3.14	9.42	7.59	5.27
3/4/00	80	10.47	5.65	0.75	0.28	6.94	3.97	1.08	7.29	5.55	3.08	9.45	7.90	5.44
5/4/00	82	10.92	5.80	2.19	0.98	6.51	4.04	2.36	6.79	4.99	3.71	8.50	7.16	5.28
7/4/00	84	11.80	7.57	1.64	0.48	7.39	4.52	1.32	8.11	5.98	4.31	9.69	8.52	6.22
10/4/00	87	11.46	6.85	1.75	0.64	7.52	4.60	1.55	8.18	5.88	3.83	9.52	8.06	6.45
12/4/00	89	11.20	7.50	1.95	0.84	7.60	4.70	1.61	8.21	5.99	4.21	9.71	8.54	6.51
14/4/00	91	11.31	7.41	2.01	0.88	7.55	4.68	1.65	8.19	5.98	4.31	9.62	8.51	6.55



### ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

#### หมายเหตุ :

1. ค่าความเข้มข้นในตารางมีหน่วยเป็น มก./ล.
2. C1/1, C1/2, C1/3 หมายถึง น้ำออกจากคอลัมน์ที่ 1 ท่อนบน ท่อนกลาง และ ท่อนล่าง ตามลำดับ
3. C2/1, C2/2, C2/3 หมายถึง น้ำออกจากคอลัมน์ที่ 2 ท่อนบน ท่อนกลาง และ ท่อนล่าง ตามลำดับ
4. C3/1, C3/2, C3/3 หมายถึง น้ำออกจากคอลัมน์ที่ 3 ท่อนบน ท่อนกลาง และ ท่อนล่าง ตามลำดับ
5. C4/1, C4/2, C4/3 หมายถึง น้ำออกจากคอลัมน์ที่ 4 ท่อนบน ท่อนกลาง และ ท่อนล่าง ตามลำดับ
6. คอลัมน์ที่ 1 มีอัตราไหล 0.5 BV/Hr (4.89 ลิตร/วัน)
7. คอลัมน์ที่ 2 มีอัตราไหล 1.0 BV/Hr (9.77 ลิตร/วัน)
8. คอลัมน์ที่ 3 มีอัตราไหล 1.5 BV/Hr (14.66 ลิตร/วัน)
9. คอลัมน์ที่ 4 มีอัตราไหล 2.0 BV/Hr (19.54 ลิตร/วัน)

### ภาคผนวก จ

ผลของ Adsorption Isotherm ของปฏิกิริยาระหว่างนิกเกิลและเศษเหล็ก

ตารางที่ จ.1 ปริมาณนิกเกิลที่เหลือหลังการทำปฏิกิริยากับเศษเหล็ก ณ.เวลาใดๆ

เวลา(นาที)	10g/l	20g/l	30g/l	40g/l	50g/l	60g/l
5	10.47	10.14	10.24	10.32	10.01	10.14
10	10.04	9.33	9.30	9.26	9.50	9.41
20	8.87	8.90	8.81	7.54	6.42	6.48
30	8.15	8.21	7.46	6.50	2.33	2.20
45	7.24	6.75	4.34	2.19	1.01	1.18
60	5.89	3.36	1.30	0.69	0.17	0.21
120	3.15	1.51	0.64	0.46	0.27	0.17
180	1.33	0.52	0.55	0.49	0.17	0.18
300	0.90	0.48	0.33	0.30	0.19	0.17
480	0.62	0.47	0.21	0.21	0.20	0.16
720	0.47	0.42	0.20	0.14	0.15	0.29
1440	0.42	0.36	0.16	0.09	0.07	0.02

หมายเหตุ : ปริมาณนิกเกิลที่เหลือ มีหน่วยเป็น มก./ล.

ตารางที่ จ.2 ความสามารถในการดูดติดผิวของนิกเกิลกับเศษเหล็ก

เวลา(นาที)	10g/l	20g/l	30g/l	40g/l	50g/l	60g/l
5	1.047	0.507	0.341	0.258	0.200	0.169
10	1.004	0.466	0.310	0.232	0.190	0.157
20	0.887	0.445	0.294	0.189	0.128	0.108
30	0.815	0.411	0.249	0.162	0.047	0.037
45	0.724	0.337	0.145	0.055	0.020	0.020
60	0.589	0.168	0.043	0.017	0.003	0.003
120	0.315	0.076	0.021	0.012	0.005	0.003
180	0.133	0.026	0.018	0.012	0.003	0.003
300	0.090	0.024	0.011	0.008	0.004	0.003
480	0.062	0.024	0.007	0.005	0.004	0.003
720	0.047	0.021	0.007	0.004	0.003	0.005
1440	0.042	0.018	0.005	0.002	0.001	0.000

หมายเหตุ : ความสามารถในการดูดติดผิวมีหน่วยเป็น มก.นิกเกิล/กรัมของเหล็ก

ภาคผนวก ฉ  
ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิล

ตารางที่ ๑.1 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิล

ตัวอย่างที่	pH เริ่มต้น	ความเข้มข้นของ นิกเกิลที่สมดุล(mg/l)	pH สมดุล	%การกำจัด นิกเกิล
Blank	5.61	5.50		
1	3.0	5.02	3.02	8.73
2	5.0	4.42	5.31	19.64
3	7.0	2.44	7.14	55.64
4	8.5	0.44	8.20	92.00
5	10.0	0.22	10.21	96.00

หมายเหตุ : เศษเหล็กต่อน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 10 กรัม/ลิตร

ภาคผนวก ซ  
ผลของออกซิเจนละลายที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิล

ตารางที่ ข.1 เปอร์เซ็นต์นิกเกิลที่เหลือหลังการทำปฏิกิริยา

เวลา(นาที)	NiSO <sub>4</sub>	NiSO <sub>4</sub> + O <sub>2</sub>	NiSO <sub>4</sub> + N <sub>2</sub>
5	99.44	96.62	98.16
10	95.30	88.59	95.07
20	84.21	84.62	91.30
30	77.44	78.14	82.88
45	68.80	64.60	69.31
60	55.92	49.81	65.47
120	29.89	14.89	41.97
180	12.59	5.61	35.49
300	8.59	4.61	24.49
480	5.90	2.40	17.10
720	4.50	0.92	7.80

หมายเหตุ : เศษเหล็กต่อน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 10 กรัม/ลิตร



ภาคผนวก ซ  
ผลของประจุลบที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิล

**ตารางที่ ข.1** เปอร์เซ็นต์การกำจัดนิกเกิลในน้ำเสียที่มีซัลเฟตไอออน

pH	3	5	7	8.5	10
Ni 0.17 mM	8.73	19.64	55.64	92.00	96.00
Ni 0.17 mM + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.01M	16.92	33.37	66.54	93.56	94.04
Ni 0.17 mM + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.05M	22.49	38.27	74.29	97.86	99.42
Ni 0.17 mM + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.10M	20.91	40.56	67.73	92.20	93.83

**ตารางที่ ข.2** เปอร์เซ็นต์การกำจัดนิกเกิลในน้ำเสียที่มีคลอไรด์ไอออน

pH	3	5	7	8.5	10
Ni 0.17 mM	14.12	31.37	65.54	91.65	94.04
Ni 0.17 mM + NaCl 0.01M	4.74	32.39	59.76	84.58	95.07
Ni 0.17 mM + NaCl 0.05M	11.23	35.45	62.25	89.96	96.32
Ni 0.17 mM + NaCl 0.10M	6.00	41.20	71.70	95.30	98.70

หมายเหตุ : เศษเหล็กต่อน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 10 กรัม/ลิตร

ภาคผนวก ฅ  
ผลของประจุบวกที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิล

ตารางที่ ฅ.1 เปอร์เซนต์การกำจัดนิกเกิลในน้ำเสียที่มีทองแดงและสังกะสี

pH	Ni(II)	Ni(II) + Cu(II)	Ni(II) + Zn(II)	Ni(II) + Cu(II) + Zn(II)
3.0	8.73	12.24	12.48	6.47
5.0	19.64	24.31	25.12	12.55
7.0	55.64	61.55	64.73	59.74
8.5	92.00	89.66	89.85	93.99
10.0	96.00	98.10	94.84	98.13

ตารางที่ ฅ.2 เปอร์เซนต์การกำจัดทองแดงในน้ำเสียที่มีนิกเกิลและสังกะสี

pH	Cu(II)	Cu(II) + Ni(II)	Cu(II) + Zn(II) + Ni(II)
3.0	2.28	7.91	6.75
5.0	17.64	28.97	38.53
7.0	91.21	94.15	95.13
8.5	97.84	95.82	98.70
10.0	99.61	99.44	99.57

ตารางที่ ฅ.3 เปอร์เซนต์การกำจัดสังกะสีในน้ำเสียที่มีนิกเกิลและทองแดง

pH	Zn(II)	Zn(II) + Ni(II)	Zn(II) + Cu(II) + Ni(II)
3.0	5.25	18.07	15.03
5.0	20.32	37.37	22.42
7.0	55.24	60.25	49.54
8.5	96.64	91.35	95.08
10.0	97.52	94.56	98.64

หมายเหตุ : เศษเหล็กต่อน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 10 กรัม/ลิตร

ภาคผนวก ก  
สารละลายบัฟเฟอร์

### ตารางที่ ฎ.1 สารละลายบัฟเฟอร์ (ที่มา : บ.Merck)

สารละลายมาตรฐานควรเตรียมด้วยน้ำกลั่นที่ไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาตร x (ในหน่วย มล) ของสารละลายมาตรฐานซึ่งจำเป็นสำหรับการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ตามพีเอชที่ต้องการ ถูกแสดงไว้ในหน้าถัดไป

สารละลาย บัฟเฟอร์ หมายเลข	สารละลายมาตรฐาน		ส่วนผสมของสาร ละลายบัฟเฟอร์
	A	B	
1	Glycine 0.1 mol/l + NaCl 0.1 mol/l (Gycine: 7.507 g/l + NaCl: 5.844 mol/l)	HCl 0.1 mol/l	x parts A + (100-x) parts B
2	Di-sodium citrate 0.1 mol/l (Citric acid monohydrate: 21.014 g/l + 200 ml NaOH 1 mol/l)	HCl 0.1 mol/l	x parts A + (100-x) parts B
3	Potassium hydrogen phthalate 0.1 mol/l [ $C_8H_5KO_4$ : 20.42 g/l]	HCl 0.1 mol/l	50 ml A + x ml B for 100 ml*
4	As No. 3	NaOH 0.1 mol/l	50 ml A + x ml B for 100 ml*
5	As No. 2	NaOH 0.1 mol/l	x parts A + (100-x) parts B
6	Potassium dihydrogen phosphate 1/15 mol l [ $KH_2PO_4$ : 9.073 g/l]	di-Sodium hydrogen phosphate 1/15 mol/l [ $Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$ : 11.87 g/l]	x parts A + (100-x) parts B
7	5,5-Diethylbarbituric acid sodium salt 0.1 mol/l [Barbital-Na:20.62 g/l]	HCl 0.1 mol/l	x parts A + (100-x) parts B
8	Borax solution 0.05 mol/l [ $H_3BO_3$ : 12.37 g/l] + 100 ml NaOH 1 mol/l	HCl 0.1 mol/l	x parts A + (100-x) parts B
9	As No. 1	NaOH 0.1 mol/l	x parts A + (100-x) parts B
10	Citric acid 0.1 mol/l [Citric acid monohydrate: 21.014 g/l]	di-Sodium hydrogen phosphate 0.2 mol/l [ $Na_2HPO_4 \cdot 2 H_2O$ : 35.60 g/l]	x parts A + (100-x) parts B
11	Sodium acetate 0.1 mol/l l [ $C_2H_3O_2Na$ : 8.204 g/l] or [ $C_2H_3O_2 Na \cdot 3H_2O$ : 13.61 g/l]	Acetic acid 0.1 mol/l	x parts A + (100-x) parts B
12	Imidazole 0.2 mol/l [ $C_3H_4N_2$ : 13.62 g/l]	HCl 0.1 mol/l	25 ml A + x ml B for 100 ml*
13	Triethanolamine 0.5 mol/l + Titriplex <sup>®</sup> [ $C_6H_{15}NO_3$ : 74.60 g/l + Titriplex <sup>®</sup> III: 20g/l]	HCl 0.05 mol/l	10 ml A + x ml B for 100 ml*
14	Tris(hydroxymethyl)aminomethane 0.2 mol/l [TRIS: 24.23 g/l]	HCl 0.1 mol/l	25 ml A + x ml B for 100 ml*
15	Sodium carbonate 0.1 mol l (10.60 g/l) [ $Na_2CO_3$ : 10.60 g/l]	Sodium hydrogen carbonate 0.1 mol/l [ $NaHCO_3$ : 8.401 g/l]	x parts A + (100-x) parts B

\* fill up solution

ตารางที่ ๑ (ต่อ)

แสดงปริมาณ x (ในหน่วย มล.) ของสารละลายมาตรฐานซึ่งเตรียมขึ้นตามข้อมูลในหน้าที่แล้วเพื่อเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ตามพีเอชที่ต้องการ

pH	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	pH
1.0																1.0
1.2	11.1	8.0														1.2
1.4	26.4	17.9														1.4
1.6	36.2	23.6														1.6
1.8	43.9	27.6														1.8
2.0	50.7	30.2														2.0
2.2	56.6	32.2								98.8						2.2
2.4	62.3	34.1	41.0							94.6						2.4
2.6	68.4	36.0	34.3							90.0						2.6
2.8	74.7	37.9	27.8							85.1						2.8
3.0	81.0	39.9	21.6							80.3						3.0
3.2	86.2	42.1	15.9							76.0						3.2
3.4	90.3	44.8	10.9							72.0						3.4
3.6		47.8	6.7							68.4						3.6
3.8		51.2	3.3							65.1	10.9					3.8
4.0		55.1	0.0							62.0	16.6					4.0
4.2		60.0		3.0						69.1	23.9					4.2
4.4		66.4		6.7						68.4	33.5					4.4
4.6		74.9		11.1						63.7	44.9					4.6
4.8		85.6		16.6						61.2	56.6					4.8
5.0		100.0		22.6		99.2				49.0	67.8					5.0
5.2				28.8	87.1	88.4				46.9	76.8					5.2
5.4				34.4	78.0	97.3				44.7	84.0					5.4
5.6				39.1	70.3	96.6				42.2	89.3					5.6
5.8				42.4	64.6	92.8				40.0						5.8
6.0				45.0	60.3	88.9				37.4						6.0
6.2				46.7	57.2	83.0				34.5		43.4				6.2
6.4					54.8	75.4				31.4		40.4				6.4
6.6					53.2	65.3				27.9		36.6				6.6
6.8						63.4				23.6		31.4				6.8
7.0						41.3	63.3			19.0		25.4	86.2			7.0
7.2						29.6	65.0			13.8		19.6	79.6	44.7		7.2
7.4						19.7	67.6			9.8		14.6	71.3	42.0		7.4
7.6						12.8	60.8			6.8		10.2	62.0	39.3		7.6
7.8						7.4	66.2	63.0		4.6		8.6	52.0	33.7		7.8
8.0						3.7	70.6	66.4					42.0	27.9		8.0
8.2							75.6	68.0					31.9	22.9		8.2
8.4							81.2	62.1					22.6	17.3		8.4
8.6							86.2	66.9	94.7				16.0	13.0		8.6
8.8							90.1	73.6	82.0				11.7	8.8		8.8
9.0							93.2	83.6	88.4					6.3		9.0
9.2								86.6	84.0						10.0	9.2
9.4									78.9						18.4	9.4
9.6									73.2						29.3	9.6
9.8									67.2						42.0	9.8
10.0									62.6						53.4	10.0
10.2									58.8						63.7	10.2
10.4									56.7						73.1	10.4
10.6									63.6						81.2	10.6
10.8									62.2						87.9	10.8
11.0									61.2							11.0
11.2									50.4							11.2
11.4									49.6							11.4
11.6									48.7							11.6
11.8									47.6							11.8
12.0									48.0							12.0
12.2									43.2							12.2
12.4									39.1							12.4
12.6									31.6							12.6
12.8									21.4							12.8



## ประวัติผู้เขียน

นายสมบูรณ์ ประถมศรีเมฆ เกิดเมื่อวันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2510 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2533 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2540