ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของเหล็กออกไซด์

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
โทรศัพท์ : (662)564-6500 โทรสาร : (662)564-6501-5
www.mtec.or.th

National Metal and Materials Technology Center
National Science and Technology Development Agency
114 Thailand Science Park Paholyothin Rd., Klong 1,
Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand
Tel : (662)564-6500 Fax : (662)564-6501-5
www.mtec.or.th

MTEC NO.0733/49

รายงานผลการวิเคราะห์

วันที่รายงาน	:	27 กุมภาพันธ์ 2549
ตัวอย่างจาก	:	คุณนคร ศรีธิวงค์ 50/153 ธันยาคารคอนโดฯ ซ.38 ถ.ลาดพร้าว แขวงสามเสนนอก เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310 โทรศัพท์: 0 7979 2459, โทรสาร: 0 2731 1490
ทดสอบโดย	:	ห้องปฏิบัติการเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันและเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ งานห้องปฏิบัติการเครื่องมือทดสอบทั่วไป ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
วันที่รับตัวอย่าง	:	5 มกราคม 2549
วันที่วิเคราะห์	:	20-24 กุมภาพันธ์ 2549
ขอบเขตการวิเคราะห์	:	วิเคราะห์ปริมาณของออกไซด์ในตัวอย่าง
ตัวอย่างที่วิเคราะห์	:	Iron scale
การบ่งชี้ตัวอย่าง	:	ไม่มีข้อมูลระบุจากผู้ส่งตัวอย่าง
เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์	:	X-ray fluorescence Spectrometer, Philips PW-2404
เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์	:	X-ray fluorescence Spectrometry
สภาวะที่ใช้วิเคราะห์	:	Temperature 25 ± 5 °C, Relative humidity 60 ± 10 % R.H.
การเตรียมตัวอย่าง	:	อัดตัวอย่างให้เป็นเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 cm แล้วนำไปวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์ :

จากการวิเคราะห์หาปริมาณของออกไซด์ในตัวอย่างด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ปริมาณของออกไซด์ที่พบในตัวอย่าง แสดงไว้ในตารางข้างล่าง

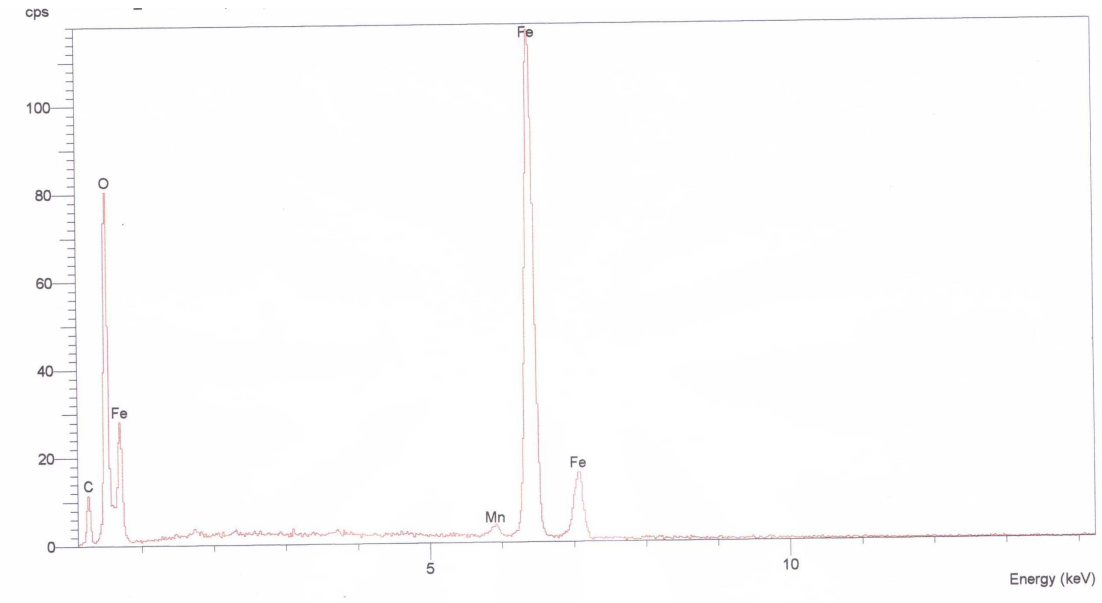
ตารางที่ 1 แสดงปริมาณของออกไซด์ในตัวอย่าง

ออกไซด์	ปริมาณของออกไซด์ ที่พบในตัวอย่าง (%wt)
	Iron Scale
Na_2O	<0.01
MgO	<0.01
Al_2O_3	0.29
SiO_2	0.54
P_2O_5	0.06
SO_3	0.18
Cl	<0.01
K_2O	<0.01
CaO	<0.01
V_2O_5	<0.01
Cr_2O_3	<0.01
MnO	0.52
Fe_2O_3	98.42
NiO	<0.01
CuO	<0.01
ZnO	<0.01
MoO	<0.01
In_2O_3	<0.01
Total	100.00

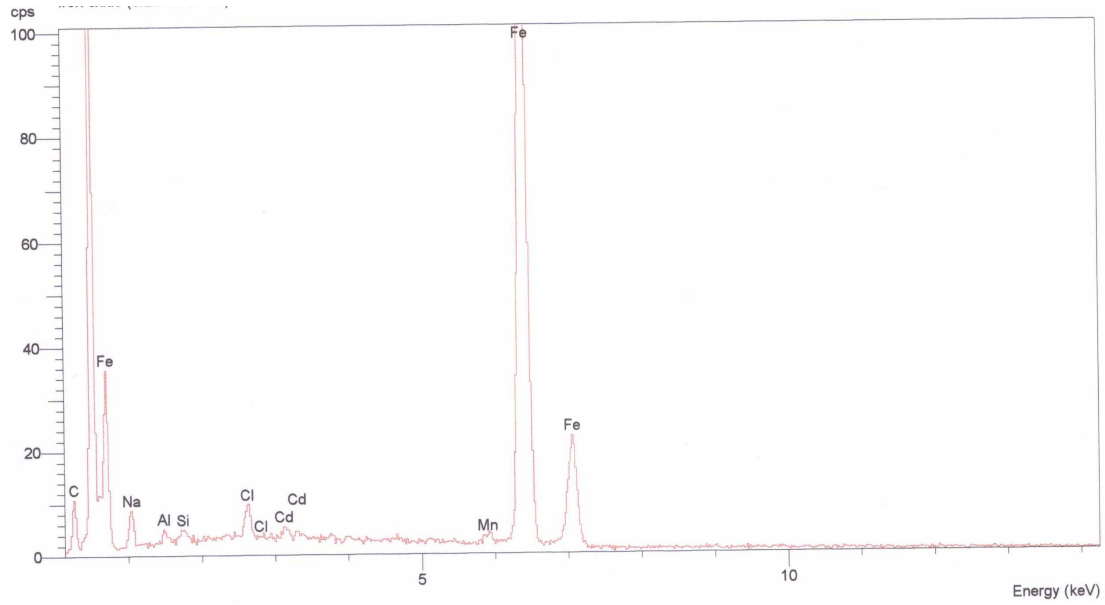
Notes:
1. ข้อจำกัดทางเทคนิค XRF คือไม่สามารถวัดส่วนประกอบที่เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าเลขอะตอมของออกซิเจน (8) และที่มีเลขอะตอมสูงกว่าเลขอะตอมของยูเรเนียม (92)
2. ปริมาณของแต่ละธาตุที่รายงานข้างต้นได้เทียบจากปริมาณรวมของธาตุที่พบด้วยเทคนิค XRF ทั้งหมดให้เป็น 100%
3. ปริมาณของธาตุที่เครื่องมือสามารถวัดได้ต่ำสุดคือ 0.01 wt% นอกจากจะแจ้งไว้นอกเหนือจากนั้น

ภาคผนวก ข

ผลการตรวจสอบลักษณะของเหล็กออกไซด์ก่อนและหลังทำปฏิกิริยา ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ SEM-EDS



<u>ภาพผนวกที่ ข1</u> การตรวจสอบลักษณะของเหล็กออกไซด์ก่อนทำปฏิกิริยากับแคดเมียมไอออน(II) ด้วยเครื่อง SEM-EDS



<u>ภาพผนวกที่ ข2</u> การตรวจสอบลักษณะของเหล็กออกไซด์หลังทำปฏิกิริยากับแคดเมียมไอออน(II) ด้วยเครื่อง SEM-EDS

ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของเหล็กออกไซด์ ด้วยเครื่อง Ultrapycnometer 1000,Quantachrome

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
โทรศัพท์ : (662)564-6500 โทรสาร : (662)564-6501-5
www.mtec.or.th

National Metal and Materials Technology Center
National Science and Technology Development Agency
114 Thailand Science Park, Paholyothin Rd., Klong 1,
Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand
Tel : (662)564-6500 Fax : (662)564-6501-5
www.mtec.or.th

MTEC No.1323/49

รายงานผลการวิเคราะห์

วันที่รายงาน	:	30 มีนาคม 2549
ตัวอย่างจาก	:	คุณนคร ศรีธิวงค์ 50/153 ซ.38 ถ.ลาดพร้าว แขวงสามเสนนอก เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310 โทรศัพท์ : 0 29389775, 0 79792459 โทรสาร : 0 2731 0490
ทดสอบโดย	:	ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของผง งานห้องปฏิบัติการเครื่องมือทดสอบทั่วไป ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
วันที่รับตัวอย่าง	:	17 มีนาคม 2549
วันที่วิเคราะห์	:	22 มีนาคม 2549
ตัวอย่างที่วิเคราะห์	:	Iron oxide (Scale เหล็ก)
การบ่งชี้ตัวอย่าง	:	ไม่มีข้อมูลระบุจากผู้ส่งตัวอย่าง
เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์	:	Ultrapycnometer 1000, Quantachrome.
เทคนิคในการวิเคราะห์	:	เทคนิคการแทนที่ด้วยแก๊ส (Gas Displacement)
สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์	:	Gas : Helium gas (99.999 %) Cell type : Micro cell จำนวนครั้งในการทดลอง 5 ครั้ง อุณหภูมิที่ใช้ : 24.9 °C
การเตรียมชิ้นงาน	:	1. นำตัวอย่างเทลงบน Glass plate แล้วนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่ 45 °C อย่างน้อย 1 คืน 2. นำตัวอย่างที่ผ่านการอบแล้วใส่ในตู้ดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็นนาน 1 ชั่วโมงก่อนนำไปทำการวิเคราะห์ 3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างและนำตัวอย่างใส่ลงใน Cell เพื่อทำการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของอนุภาคด้วยเครื่อง Ultrapycnometer 1000 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ของตัวอย่าง Iron oxide

มวล, (g)	จำนวนครั้งในการทดลอง	ปริมาตร, (cc)	ความหนาแน่นปรากฏ, (g/cc)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1.0868	1	0.2203	4.9325	0.0448
	2	0.2221	4.8937	
	3	0.2238	4.8571	
	4	0.2253	4.8240	
	5	0.2259	4.8108	
	Average	**0.2235**	**4.8632**	

การแปลผล/ความคิดเห็น : ไม่มี

ทดสอบโดย :

(นายนรินทร์ ศิรินันทวิทยา)
เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ

ตรวจสอบโดย :

(ดร. ธรรมรัตน์ ปัญญธรรมาภรณ์)
หัวหน้าห้องปฏิบัติการ

(ดร. กมลรัตน์ ธนัพประภัศร์)
หัวหน้างานห้องปฏิบัติการเครื่องมือทดสอบทั่วไป
หัวหน้างานบริการเทคนิค

หมายเหตุ

1. ศูนย์ฯ ไม่อนุญาตให้มีการแก้ไข เพิ่มเติม หรือเปลี่ยนแปลงรายงาน หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของรายงาน เว้นแต่จะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร จากศูนย์ฯ
2. ทางศูนย์ฯ ไม่สามารถรับผิดชอบต่อความเสียหายใด ๆ ที่จะเกิดขึ้น ไม่ว่าโดยทางตรงหรือทางอ้อม ในกรณีที่นำข้อมูลผลการวิเคราะห์ ข้อสรุปหรือคำแนะนำฉบับนี้ไปใช้ในการออกแบบ การผลิต หรือเพื่อจุดประสงค์ใดก็ตาม
3. ผลการทดลองเป็นจริงเฉพาะตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

ภาคผนวก ง
ผลการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch Experiment)

<u>ตารางผนวกที่ ง1</u> ผลการทดลองหาพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมไอออน(II) โดยเหล็กออกไซด์เป็นตัวดูดซับ

ขนาด (มม.)	พีเอช	ครั้งที่ 1 แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ครั้งที่ 1 (%)	ครั้งที่ 2 แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ครั้งที่ 2 (%)	ครั้งที่ 3 แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ครั้งที่ 3 (%)	ค่าเฉลี่ย แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ย (%)
0.4-0.8	2	2.656	9.91	2.125	27.42	2.134	24.57	2.31	20.63
	5	1.160	60.65	1.813	38.08	2.159	23.68	1.71	40.80
	7	1.728	41.38	1.792	38.80	1.987	29.76	1.84	36.65
	9	1.647	44.13	1.682	42.55	1.727	38.95	1.69	41.88
	10	0.412	86.02	<0.01	99.66	<0.01	99.65	0.14	95.11
	11	0.205	93.05	0.485	83.44	0.098	96.54	0.26	91.01

<u>หมายเหตุ</u> ครั้งที่ 1 ความเข้มข้นแคดเมียมไอออน (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ = 2.948 มก./ล

ครั้งที่ 2 ความเข้มข้นแคดเมียมไอออน (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ = 2.928 มก./ล

ครั้งที่ 3 ความเข้มข้นแคดเมียมไอออน (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ = 2.829 มก./ล.

<u>ตารางผนวกที่ ง2</u> ผลการทดลองทดสอบว่าแคดเมียมไอออน(II) จะตกตะกอนหรือไม่ โดยไม่มีการเติมเหล็กออกไซด์ Cd^{2+} เริ่มต้น เท่ากับ 3.0 มก./ล. และปริมาณแคดเมียม 100 มล. ทดลองที่พีเอช 2, 5, 7, และ 9

pH	ปริมาณแคดเมียม(II) ที่เหลืออยู่ (มก./ล.)
2	2.95
5	2.83
7	2.55
9	2.044

<u>ตารางผนวกที่ ง3</u> ผลการทดลองหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลในการดูดซับแคดเมียมไอออน(II) โดยเหล็กออกไซด์เป็นตัวดูดซับ

ครั้งที่	เวลา (ชม.)	น้ำหนัก (กรัม)	แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (%)
1	0.25	1.0050	1.582	36.99
	0.5	1.0024	1.978	77.78
	1	1.0000	1.189	43.90
	2	1.0000	0.728	38.63
	6	1.0019	0.986	48.31
	12	1.0041	1.385	73.72
	24	1.0008	0.812	69.27
	36	1.0037	0.247	52.53
2	0.25	1.0077	1.447	48.32
	0.5	1.0012	1.734	38.07
	1	1.0000	1.491	46.75
	2	1.0000	1.392	50.29
	6	1.0009	1.376	50.86
	12	1.0098	0.648	76.86
	24	1.0036	0.802	71.36
	36	1.0046	0.757	72.96
3	0.25	1.0026	1.659	36.99
	0.5	1.0231	0.585	77.78
	1	1.0000	1.477	43.90
	2	1.0000	1.616	38.63
	6	1.0086	1.361	48.31
	12	1.0076	0.692	73.72
	24	1.0076	0.809	69.27
	36	1.0079	1.25	52.53

ตารางผนวกที่ ง3 (ต่อ)

ครั้งที่	เวลา (ชม.)	น้ำหนัก (กรัม)	แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (%)
เฉลี่ย	0.25	1.0051	1.5627	41.94
	0.5	1.0089	1.4323	47.15
	1	1.0000	1.3857	48.65
	2	1.0000	1.2453	53.84
	6	1.0038	1.2410	54.03
	12	1.0072	0.9083	66.16
	24	1.0064	0.8077	70.03
	36	1.0054	0.7513	72.07

หมายเหตุ ครั้งที่ 1 ความเข้มข้นแคดเมียมไอออน (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ = 2.659 มก./ล

ครั้งที่ 2 ความเข้มข้นแคดเมียมไอออน (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ = 2.800 มก./ล

ครั้งที่ 3 ความเข้มข้นแคดเมียมไอออน (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ = 2.633 มก./ล.

<u>ตารางผนวกที่ ง4</u> ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของเหล็กออกไซด์ที่มีอนุภาคขนาด 0.4-0.8 มม. ในการดูดซับแคดเมียม (Cd^{2+} เริ่มต้น = 2.4 มก./ล.) ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 ชั่วโมง

ครั้งที่	เหล็กออกไซด์			
	m(g)	Ce(mg/l)	x (mg)	x/m (mg/g)
1	0.2003	1.627	0.0773	0.3859
	0.5011	1.104	0.1296	0.2586
	0.7032	1.033	0.1367	0.1944
	1.0026	0.789	0.1611	0.1607
	1.5015	0.516	0.1844	0.1255
	2.006	0.400	0.200	0.0997
2	0.2011	1.650	0.0750	0.3729
	0.2502	1.080	0.1320	0.5276
	0.5037	1.070	0.1330	0.2640
	0.7021	0.684	0.1716	0.2444
	1.0025	0.406	0.1994	0.1989
	1.5072	0.530	0.1870	0.1241
	2.0016	0.419	0.1981	0.0990
3	0.2029	1.962	0.0438	0.2159
	0.5038	0.982	0.1418	0.2815
	0.7	1.345	0.1055	0.1507
	1.022	0.718	0.1682	0.1646
	1.5072	0.730	0.1670	0.1108
	2.0013	0.351	0.2049	0.1024
เฉลี่ย	0.2014	1.746	0.0654	0.3245
	0.5029	1.052	0.1348	0.2681
	0.7018	1.021	0.1379	0.1966
	1.009	0.638	0.1762	0.1747
	1.5053	0.592	0.1808	0.1201

ตารางผนวกที่ ง4 (ต่อ)

ครั้งที่	เหล็กออกไซด์			
	m(g)	Ce(mg/l)	x (mg)	x/m (mg/g)
	2.0030	0.390	0.201	0.1004

ตารางผนวกที่ ง5 ผลการทดลองการคายซับแคดเมียมไอออน(II) ด้วยน้ำกลั่นและสารละลายพีเอช 5 (Cd^{2+} เริ่มต้น = 2.8 มก./ล. และแคดเมียมที่เหลืออยู่ก่อนนำเหล็กออกไซด์ไปทดสอบน้ำกลั่นและสารละลายกรดพีเอช 5 เท่ากับ 2.370 มก./ล.)

น้ำกลั่น				สารละลายกรดพีเอช 5			
เวลาเข้าสู่สมดุล (ชม.)	พีเอชหลังการดูดซับ	Cd^{2+} ที่ถูกคายออก (มก./ล.)	Cd^{2+} ที่ถูกคายออก (%)	เวลาเข้าสู่สมดุล (ชม.)	พีเอชหลังการดูดซับ	Cd^{2+} ที่ถูกคายออก (มก./ล.)	Cd^{2+} ที่ถูกคายออก (%)
2	7.605	<0.01	0.0042	2	6.560	0.082	0.3460
	7.359	<0.01	0.0042		6.496	0.115	4.8421
	7.362	<0.01	0.0042		6.717	0.119	5.0210
เฉลี่ย	-	<0.01	0.0042	เฉลี่ย	-	0.1053	3.4030

ภาคผนวก จ

การทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่องโดยใช้คอลัมน์ดูดซับ (Continuous Experiment)

<u>ตารางผนวกที่ จ1</u> ผลการทดลองประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้เหล็กออกไซด์เป็นตัวดูดซับ ที่มีอนุภาคขนาด 0.4-0.8 มม. และอัตราการกรอง 0.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.

ชั่วโมงที่	ชั้นความสูงของเหล็กออกไซด์ (ซม.)					
	20		50		80	
	แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (%)	แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (%)	แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (%)
1	<0.01	99.64	<0.01	99.64	<0.01	99.64
2	<0.01	99.64	<0.01	99.64	<0.01	99.64
3	<0.01	99.64	<0.01	99.64	<0.01	99.64
4	<0.01	99.64	<0.01	99.64	<0.01	99.64
5	<0.01	99.64	<0.01	99.64	<0.01	99.64
6	<0.01	99.64	<0.01	99.64	<0.01	99.64
7	<0.01	99.64	<0.01	99.64	<0.01	99.64
8	<0.01	99.64	<0.01	99.64	<0.01	99.64
9	<0.01	99.64	<0.01	99.64	<0.01	99.64
10	<0.01	99.64	<0.01	99.64	<0.01	99.64
11	<0.01	99.64	<0.01	99.64	<0.01	99.64
12	<0.01	99.64	<0.01	99.64	<0.01	99.64
13	<0.01	99.64	<0.01	99.64	<0.01	99.64
14	<0.01	99.64	<0.01	99.64	<0.01	99.64
15	<0.01	99.64	<0.01	99.64	<0.01	99.64
16	<0.01	99.64	<0.01	99.64	<0.01	99.64
17	<0.01	99.64	<0.01	99.64	<0.01	99.64
18	0.130	95.36	<0.01	99.64	<0.01	99.64
19	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64

<u>ตารางผนวกที่</u> จ1 (ต่อ)

ชั่วโมงที่	ชั้นความสูงของเหล็กออกไซด์ (ซม.)					
	20		50		80	
	แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (%)	แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (%)	แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (%)
20	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
21	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
22	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
23	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
24	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
25	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
26	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
27	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
28	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
29	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
30	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
31	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
32	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
33	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
34	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
35	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
36	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
37	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
38	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
39	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

ชั่วโมงที่	ชั้นความสูงของเหล็กออกไซด์ (ซม.)					
	20		50		80	
	แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (%)	แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (%)	แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (%)
40	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
41	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
42	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
43	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
44	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
45	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
46	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
47	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
48	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
49	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
50	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
51	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
52	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
53	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
54	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
55	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
56	NA	NA	<0.01	99.64	<0.01	99.64
57	NA	NA	0.041	98.54	<0.01	99.64
58	NA	NA	NA	NA	<0.01	99.64
59	NA	NA	NA	NA	<0.01	99.64
60	NA	NA	NA	NA	<0.01	99.64
61	NA	NA	NA	NA	<0.01	99.64
62	NA	NA	NA	NA	<0.01	99.64

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

ชั่วโมงที่	ชั้นความสูงของเหล็กออกไซด์ (ซม.)					
	20		50		80	
	แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (%)	แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (%)	แคดเมียมที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (%)
63	NA	NA	NA	NA	<0.01	99.64
64	NA	NA	NA	NA	<0.01	99.64
65	NA	NA	NA	NA	<0.01	99.64
66	NA	NA	NA	NA	0.039	98.61

หมายเหตุ ความเข้มข้นแคดเมียมไอออน (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ = 2.8 มก./ล

NA = Not Applicable

<u>ตารางผนวกที่ จ2</u> ผลการทดลองค่าพีเอชหลังการดูดซับโดยใช้เหล็กออกไซด์เป็นตัวดูดซับที่มีอนุภาคขนาด 0.4-0.8 มม. ที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 9 และอัตราการกรอง 0.3 ลบ.ม./ตร.ม.- ชม.

ชั่วโมงที่	ชั้นความสูงของเหล็กออกไซด์ (ซม.)		
	20	50	80
	ค่าพีเอชหลังการดูดซับ	ค่าพีเอชหลังการดูดซับ	ค่าพีเอชหลังการดูดซับ
1	NA	3.35	6.58
2	6.81	3.80	6.58
3	7.58	NA	7.39
4	NA	NA	7.57
5	7.80	7.60	7.24
6	8.24	8.13	7.61
7	8.00	7.85	7.16
8	7.70	6.80	7.52
9	7.66	7.83	7.44
10	7.14	7.10	7.19
11	7.39	6.82	6.86
12	7.44	7.08	6.64
13	7.59	7.33	7.13
14	7.57	7.32	7.28
15	7.40	7.26	7.09
16	7.45	7.57	7.33
17	7.72	7.53	3.69
18	7.49	7.32	7.09
19	NA	7.27	7.06
20	NA	7.34	7.17
21	NA	7.50	7.25
22	NA	7.28	7.14
23	NA	7.24	7.09

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

ชั่วโมงที่	ชั้นความสูงของเหล็กออกไซด์ (ซม.)		
	20	50	80
	ค่าพีเอชหลังการดูดซับ	ค่าพีเอชหลังการดูดซับ	ค่าพีเอชหลังการดูดซับ
24	NA	7.00	7.31
25	NA	7.62	7.32
26	NA	7.63	7.44
27	NA	7.42	7.15
28	NA	7.54	6.45
29	NA	7.19	7.10
30	NA	7.67	7.37
31	NA	4.99	6.56
32	NA	7.50	6.46
33	NA	6.81	6.96
34	NA	7.71	7.41
35	NA	7.48	7.38
36	NA	6.30	6.97
37	NA	7.58	7.42
38	NA	7.43	7.36
39	NA	7.77	7.37
40	NA	7.46	5.55
41	NA	6.99	7.76
42	NA	7.43	6.56
43	NA	7.22	6.78
44	NA	7.50	7.36
45	NA	7.71	6.73
46	NA	7.80	7.55
47	NA	6.39	6.60
48	NA	6.97	6.84

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

ชั่วโมงที่	ชั้นความสูงของเหล็กออกไซด์ (ซม.)		
	20	50	80
	ค่าพีเอชหลังการดูดซับ	ค่าพีเอชหลังการดูดซับ	ค่าพีเอชหลังการดูดซับ
49	NA	7.09	7.18
50	NA	7.60	6.88
51	NA	7.76	6.93
52	NA	7.69	7.36
53	NA	7.35	7.47
54	NA	7.34	7.32
55	NA	7.66	7.40
56	NA	7.65	7.40
57	NA	7.59	7.49
58	NA	NA	7.71
59	NA	NA	7.46
60	NA	NA	7.53
61	NA	NA	7.50
62	NA	NA	7.45
63	NA	NA	7.43
64	NA	NA	7.13
65	NA	NA	7.32
66	NA	NA	7.38

หมายเหตุ ความเข้มข้นแคดเมียมไอออน (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ = 2.8 มก./ล

NA = Not Applicable

<u>ตารางผนวกที่ จ3</u> ผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างหลังการดูดซับโดยใช้เหล็กออกไซด์เป็นตัวดูดซับที่มีอนุภาคขนาด 0.4-0.8 มม. ที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 9 และอัตราการกรอง 0.3 ลบ.ม./ตร.ม.- ชม.

หน่วย: องศาเซลเซียส

ชั่วโมงที่	ชั้นความสูงของเหล็กออกไซด์ (ซม.)		
	20	50	80
	อุณหภูมิหลังการดูดซับ	อุณหภูมิหลังการดูดซับ	อุณหภูมิหลังการดูดซับ
1	30.2	30.6	29.8
2	30.6	30.7	29.7
3	30.8	30.8	29.5
4	31.1	31.1	29.6
5	31.0	30.5	29.0
6	29.8	30.2	29.5
7	29.9	30.8	29.4
8	31.1	30.2	29.8
9	30.6	31.1	29.7
10	30.7	29.8	29.9
11	30.5	29.7	29.0
12	30.4	30.6	29.5
13	29.9	30.4	29.6
14	31.0	30.8	29.8
15	30.8	30.4	29.7
16	31.0	29.8	29.5
17	29.8	30.0	29.6
18	30.2	31.1	31.2
19	NA	30.7	29.0
20	NA	30.8	29.5
21	NA	30.8	29.8
22	NA	30.7	30.7
23	NA	30.0	29.9

ตารางผนวกที่ จ3 (ต่อ)

หน่วย: องศาเซลเซียส

ชั่วโมงที่	ชั้นความสูงของเหล็กออกไซด์ (ซม.)		
	20	50	80
	อุณหภูมิหลังการดูดซับ	อุณหภูมิหลังการดูดซับ	อุณหภูมิหลังการดูดซับ
24	NA	30.9	29.8
25	NA	30.9	29.8
26	NA	30.7	26.8
27	NA	30.9	30.8
28	NA	30.6	29.5
29	NA	30.8	29.8
30	NA	31.0	29.9
31	NA	30.9	29.5
32	NA	31.0	31.0
33	NA	30.7	29.7
34	NA	30.9	29.8
35	NA	30.4	29.9
36	NA	30.6	29.7
37	NA	31.0	31.1
38	NA	30.6	29.6
39	NA	30.5	29.7
40	NA	30.4	29.8
41	NA	30.9	29.9
42	NA	31.2	31.3
43	NA	30.6	29.8
44	NA	31.0	29.6
45	NA	30.8	29.8
46	NA	30.6	29.9
47	NA	30.9	30.4
48	NA	30.4	29.9

ตารางผนวกที่ จ3 (ต่อ)

หน่วย: องศาเซลเซียส

ชั่วโมงที่	ชั้นความสูงของเหล็กออกไซด์ (ซม.)		
	20	50	80
	อุณหภูมิหลังการดูดซับ	อุณหภูมิหลังการดูดซับ	อุณหภูมิหลังการดูดซับ
49	NA	30.5	29.7
50	NA	30.6	29.6
51	NA	30.7	29.6
52	NA	31.0	30.8
53	NA	30.7	29.7
54	NA	30.6	29.7
55	NA	30.1	29.6
56	NA	29.8	30.9
57	NA	31.0	29.5
58	NA	NA	29.4
59	NA	NA	29.6
60	NA	NA	29.7
61	NA	NA	31.1
62	NA	NA	29.6
63	NA	NA	29.6
64	NA	NA	29.6
65	NA	NA	29.6
66	NA	NA	29.6
ค่าเฉลี่ย	32.3	30.6	29.8
ค่าเฉลี่ย		30.9	

หมายเหตุ ความเข้มข้นแคดเมียมไอออน (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ = 2.8 มก./ล

NA = Not Applicable

ภาคผนวก ฉ

การคำนวณค่าใช้จ่ายในการกำจัดแคดเมียมไอออน(II) ในสารละลายโดยการดูดซับของเหล็กออกไซด์จากสเกลเหล็ก โรงงานผลิตเหล็กรีดร้อน

ฉ1. <u>รายการคำนวณ</u>

1.1 คำนวณหาขนาดคอลัมน์ดูดซับ

จากข้อมูลสารละลายแคดเมียมไอออน(II) เริ่มต้นเท่ากับ 3 มก./ล. ต้องการลดแคดเมียมไอออนให้เหลือ 0.03 มก./ล. เลือกอัตราการกรอง เท่ากับ 0.3 ลบ.ม./ตร.ม-ชม. หรือเท่ากับ 1.192 ลิตร/ชม. ไหลต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ซึ่งคำนวณหาขนาดคอลัมน์ดูดซับและปริมาณเหล็กออกไซด์ที่ต้องใช้บำบัดน้ำที่มีแคดเมียมไอออน(II) ปนอยู่ ดังนี้

วิธีการคำนวณ

ปริมาณแคดเมียมไอออนที่กำจัดใน 1วัน = (2.8-0.03) x 1.192 x 24

= 79.24 มก. Cd^{2+}

จากสมการ Bohart Adams พบว่าเหล็กออกไซด์ปริมาณ 1 กรัม เป็นค่าที่เหมาะสมกับการกำจัดแคดเมียมไอออน(II) ที่ 0.022 มิลลิกรัม โดยความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแคดเมียม เท่ากับ 2.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 9.2 โดยดูดซับแคดเมียมไอออน(II) จนกระทั่งค่าความเข้มข้นต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้เท่ากับ 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร รายการคำนวณ มีดังนี้

$$\frac{X}{M} = 0.022 \text{ มก.}Cd^{+2}/\text{ก.}Fe_2O_3$$

หรือความจุในการดูดซับ $= \frac{0.022 \text{ มก. ของ} Cd^{+2}}{1 \text{ ก. ของเหล็ก}}$

น้ำหนัก เหล็กออกไซด์ ที่ต้องใช้ $= \frac{79.24}{0.022}$

= 3,602 ก. เหล็ก

เลือกประสิทธิภาพ = 50 %

$= \frac{7,204}{0.5}$

= 7,204 ก.เหล็ก

เลือกใช้น้ำหนักของเหล็กออกไซด์จริง	=	8,000	ก. เหล็ก
ความหนาแน่นเชิงปริมาตร(Bulk Density)	=	2,580	กก./ลบ.ม.
หาปริมาตรของเหล็กออกไซด์ที่ต้องใช้	=	$\frac{8,000}{2,580 * 1000}$	
	=	0.0031	ลบ.ม.
เลือกอัตราการกรอง	=	0.3	ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.
	=	0.3	ม. /ชม.
เลือกใช้เวลาสัมผัส เท่ากับ	=	2.67	ชม.
ดังนั้น ความหนาของตัวดูดซับ	=	0.3 x 2.67	
	=	0.80	ม.
พื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์ดูดซับ	=	$\frac{0.0031}{0.8}$	ตร.ม.
	=	0.003875	ตร.ม.
	=	38.75	ตร.ซม.
เลือกพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์ดูดซับจริง	=	39.74	ตร.ซม.

ใช้คอลัมน์ดูดซับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.112 ซม. x สูง 100 ซม. (ระยะช่องว่างด้านบน (Free Board) เท่ากับ 0.20 ซม.)

1.2 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการกำจัดแคดเมียมไอออน(II) ในสารละลายโดยการดูดซับด้วยเหล็กออกไซด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

1.2.1 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเหล็กออกไซด์

การคำนวณค่าใช้จ่ายในการกำจัดแคดเมียมในสารละลายโดยการดูดซับด้วยเหล็กออกไซด์จะพิจารณาเฉพาะต้นทุนจากราคาของตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลองเท่านั้น

เหล็กออกไซด์ ราคา	=	0.20	บาท/กิโลกรัม

คอลัมน์ดูดซับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.8 นิ้ว (7.112 ซม.) ดังนั้น

พื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์ดูดซับ = Πr^2

= $\frac{22}{7} x(3.556)^2$ ตร.ซม.

= 39.74 ตร.ซม.

โดยมีอัตราการกรอง เท่ากับ 0.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม

ดังนั้น ปริมาตรน้ำ = 19.8675 ลบ.ซม./นาที

หรือ = 1.192 ลิตร/ชม.

การคำนวณปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดและเวลาใช้งาน คิดตั้งแต่ผ่านสารละลาย แคดเมียมความเข้มข้นเริ่มต้น 2.8 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้าสู่คอลัมน์ดูดซับ จนกระทั่งน้ำที่ผ่านการบำบัดจนมีความเข้มข้นแคดเมียมเท่ากับมากกว่า 0.039 มิลลิกรัม/ลิตร

การคำนวณความจุของการดูดซับแคดเมียมในคอลัมน์ดูดซับ

เหล็กออกไซด์ขนาดอนุภาค 0.4-0.8 มิลลิเมตร ความสูงของเหล็กออกไซด์ 20 ซม.

ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น	=	2.8	มก./ลิตร
ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมสุดท้าย	=	0.130	มก./ลิตร
ปริมาตรน้ำที่บำบัดได้	=	3.43	ลิตร
น้ำหนักเหล็กออกไซด์	=	2,000	กรัม

ดังนั้น ปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับไว้บนเหล็กออกไซด์

= $\left[\frac{(2.8 - 0.130)x3.43}{(2,000)}\right]$

= 0.0046 มก./กรัมของเหล็ก

เหล็กออกไซด์ขนาดอนุภาค 0.4-0.8 มิลลิเมตร ความสูงของเหล็กออกไซด์ 50 ซม.

ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น	=	2.8	มก./ลิตร
ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมสุดท้าย	=	0.041	มก./ลิตร

ปริมาตรน้ำที่บำบัดได้	=	27.18	ลิตร
น้ำหนักเหล็กออกไซด์	=	5,000	กรัม

ดังนั้น ปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับไว้บนเหล็กออกไซด์

$$= \left[\frac{(2.8 - 0.041)x27.18}{(5,000)}\right]$$

$$= 0.0150 \text{ มก./กรัมของเหล็ก}$$

เหล็กออกไซด์ขนาดอนุภาค 0.4-0.8 มิลลิเมตร ความสูงของเหล็กออกไซด์ 80 ซม.

ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น	=	2.8	มก./ลิตร
ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมสุดท้าย	=	0.039	มก./ลิตร
ปริมาตรน้ำที่บำบัดได้	=	50.36	ลิตร
น้ำหนักเหล็กออกไซด์	=	8,000	กรัม

ดังนั้น ปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับไว้บนเหล็กออกไซด์

$$= \left[\frac{(2.8 - 0.039)x50.36}{(8,000)}\right]$$

$$= 0.0174 \text{ มก./กรัมของเหล็ก}$$

1.2.2 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการคัดแยกขนาดของเหล็กออกไซด์ที่ต้องการ

ตัวดูดซับที่จะใช้ในการทดลอง คือ เหล็กออกไซด์ นำมาจากโรงงานผลิตเหล็กรีดร้อน โดยทำการคัดแยกขนาดของเหล็กออกไซด์ที่ต้องการ โดยนำมาร่อนผ่านตะแกรง โดยเครื่องเขย่า (Test Sieve Shaker) และตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 20 และเบอร์ 40 ซึ่งจะได้เหล็กออกไซด์สำหรับงานวิจัยนี้ คือขนาดเท่ากับ 0.4-0.8 มม.

ราคาการคัดขนาดของเหล็กออกไซด์ที่ต้องการ โดยการใช้เครื่องเขย่า (Test Sieve Shaker) และตะแกรงร่อน ซึ่งได้สอบถามจากกรมวิทยาศาสตร์บริการ อยู่ในอัตรา 350 บาทต่อครั้ง

สรุปค่าใช้จ่ายในราคาตัวดูดซับและการคัดแยกขนาด ดังแสดงในตาราง ภาคผนวกที่ ฉ1

<u>ตารางผนวกที่ ฉ1</u> การคำนวณราคาตัวดูดซับและการคัดแยกขนาดที่ใช้ในการทดลอง

ความลึกของชั้นตัวดูดซับ (ซม.)	น้ำหนักของเหล็กออกไซด์ ขนาด 0.4-0.8 มิลลิเมตร (กิโลกรัม)	ราคาต่อหน่วย (บาท/กิโลกรัม)[1]	ราคารวม (บาท)
20	2	0.20	0.4
50	5	0.20	1.0
80	8	0.20	1.6

<u>หมายเหตุ</u> [1] เหล็กออกไซด์ จำนวน 1 ตัน ราคาประมาณ 200 บาท

1.2.3 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายสารเคมีในการกำจัดแคดเมียมไอออนในสารละลาย

ในการกำจัดแคดเมียมไอออนในสารละลายที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ ใช้วิธีการดูดซับโดยเหล็กออกไซด์เป็นตัวดูดซับ เพื่อให้แคดเมียมที่อยู่ในรูปน้ำทิ้งที่สามารถปล่อยทิ้งได้ ตามมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.003 มิลลิกรัม/ลิตร

ดังนั้นในการคิดคำนวณค่าใช้จ่ายสารเคมี จะคิดเฉพาะในส่วนที่ต้องใช้ในการปรับพีเอชเริ่มต้นไปเป็นระดับพีเอชที่เหมาะสมของงานวิจัยนี้ เท่ากับ 9 ในส่วนของน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นภายหลังการดูดซับโดยเหล็กออกไซด์ ไม่จำเป็นต้องปรับพีเอช เพราะค่าพีเอชหลังการบำบัดสามารถปล่อยทิ้งได้ตามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

สารละลายแคดเมียมไอออนนี้ ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 2.8 ใช้ปริมาณในการทดลองคิดค่าใช้จ่าย 100 มิลลิลิตร เริ่มต้นโดยการปรับพีเอชให้ขึ้นมาอยู่ในช่วงพีเอช 9 โดยใช้ NaOH 1 N ปริมาณ 21.8 ลิตร

ดังนั้นจะต้องใช้ NaOH เท่ากับ

$$\left[\frac{1\,N x 21.8ml}{1,000}\right] = \frac{2.8x(23+16+2)}{1,000}$$

$$= \frac{0.872}{100 \text{ มล.}}$$

$$= 8,720 \quad \text{กรัมต่อลูกบาศก์เมตร}$$

ดังนั้น สารละลายแคดเมียมไอออนปริมาตร 1 ลบ.ม ต้องใช้ NaOH เท่ากับ 8.72 กิโลกรัมราคาของ NaOH 50 % ณ ราคาท้องตลาดปัจจุบันกิโลกรัมละ 8 บาท

เพราะฉะนั้นการบำบัดสารละลายแคดเมียมไอออนปริมาตร 1 ลบ.ม. ต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการปรับพีเอชขึ้นเท่ากับ 9 ต้องใช้ค่าใช้จ่ายเท่ากับ 139.52 บาท

1.2.4 สรุปค่าใช้จ่ายของเหล็กออกไซด์และสารเคมีในการกำจัดแคดเมียมไอออน(II) ในสารละลายสำหรับงานวิจัยนี้ดังแสดงไว้ในตารางที่ ฉ2 และ ค่าใช้จ่ายที่ได้รวมราคาคัดแยกเหล็กออกไซด์แล้ว ตารางที่ ฉ3

<u>ตารางผนวกที่ ฉ2</u> การคำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดแคดเมียมไอออน(II) ในสารละลายโดยการดูดซับด้วยเหล็กออกไซด์

ความลึกของชั้นตัวดูดซับ (ซม.)	ราคาตัวดูดซับ (บาท)	ราคาสารเคมี (บาท)	ปริมาตรน้ำที่บำบัดได้ (ลบ.ม.)	ค่าใช้จ่ายในการบำบัด (บาท/ลบ.ม.)	ค่าใช้จ่ายในการบำบัดแคดเมียมโดยการดูดซับด้วยเหล็กออกไซด์ (บาท/กรัมแคดเมียม)
20	0.4	0.480	0.00343	257	1.0
50	1.0	3.790	0.02718	176	4.0
80	1.6	7.026	0.05036	171	7.0

<u>ตารางผนวกที่ ฉ3</u> การคำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดแคดเมียมไอออน(II) ในสารละลายโดยการดูดซับด้วยเหล็กออกไซด์ (รวมราคาการคัดแยกเหล็กออกไซด์)

ความลึกของชั้นตัวดูดซับ (ซม.)	ราคาตัวดูดซับ (บาท)	ราคาสารเคมี (บาท)	ปริมาตรน้ำที่บำบัดได้ (ลบ.ม.)	ค่าใช้จ่ายในการบำบัด (บาท/ลบ.ม.)[1]	ค่าใช้จ่ายในการบำบัดแคดเมียมโดยการดูดซับด้วยเหล็กออกไซด์ (บาท/กรัมแคดเมียม)[1]
20	0.4	0.480	0.00343	607	351
50	1.0	3.790	0.02718	526	354
80	1.6	7.026	0.05036	521	357

<u>หมายเหตุ</u>: [1] รวมราคาการคัดแยกเหล็กออกไซด์ ประมาณ 350 บาทต่อครั้งแล้ว