

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

บุญขง โล่ห์วงศ์วัฒน์, "การกำจัดกากสารพิษโรงงานอุตสาหกรรม" โรงงาน 10 (ตุลาคม 2533-มกราคม 2534): 60-64.

บริการและการกำจัดกากอุตสาหกรรม, สำนักงาน. "การกำจัดโลหะหนักวิธีใหม่" โรงงาน 8 (กุมภาพันธ์-พฤษภาคม 2532): 74.

ไมตรี สุขจิตต์. สารพิษรอบตัวเรา สาเหตุ กลไกการเกิดพิษและการป้องกัน. ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2531. (98-100)

สุรภี ทรจน์อารยานนท์. การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย (จากห้องปฏิบัติการ) ด้วยกระบวนการเพอร์ไทรต์. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

..... สภาวะแวดล้อมของเราตอนมลพิษสภาวะแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535. (144-151)

..... สารพิษต่างๆ ที่พบในมูลฝอยและการทำลาย. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยสภาวะ-  
แวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535. (อัดสำเนา).

อาวี สุขประเสริฐ. พิษจากโลหะและวัตถุเจือปนในอาหาร. กรุงเทพมหานคร : คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2520. (54-56)

### ภาษาอังกฤษ

Akasaki, Masateru. Treatment of cement wastewater. Chemical Abstracts 107 (1987): Abstract No. 140512 W.

Chen, Chuyan; Lu, kai; Ma, Yali; et al. treatment of waste water containing heavy metals with magnetic cast iron powder. Chemical Abstracts 109 (1988): Abstract No. 236331 D.

- Goto, Sotoharu; Nakura, Torao; Okazuki, Shuji. Active ferrite. Chemical Abstracts 88 (1978): Abstract No. 202236 J.
- Hayashi, S., Heavy Metal Treatment by Ferritization. Chemical Economy & Engineering Review., 7(1975): 32-43.
- International Center for Diffraction Data. 1980 Powder Diffraction File Inorganic Phase Search Manual (Hanawalt). Swarthmore, PA. 1601 Park Lane, 1980.
- Kim, Byung Kwang. et al. Removal of heavy metal by the ferrite process and characterization of sludges containing heavy metals Nippon Kagaku Kaishi. 3 (1988): 351-6 Chemical Abstracts 108 (1988): Abstract No. 173000 B.
- Kim, Ji Hwan; Kang, Nam Kee; Oh, Jae Hyun. Oxidation reaction behaviors of cobalt-nickel hydroxide coprecipitates by oxygen in aqueous solution. Studies on the removal of heavy metals from wastewater by ferrite process-2. Taehan Kumsok Hakhoechi. 28 (1990): 1076-82 Chemical Abstracts 115 (1991): Abstract No. 78037 E.
- Kim, Tae Hoon; Kang, Nam Kee; Oh, Jae Hyun. Studies on the removal of heavy metals from wastewater by ferrite process. I. Oxidation reaction behavior of copper and iron hydroxide coprecipitates by oxygen in aqueous solution. Taehan Kumsok Hakhoechi. 28 (1990): 996-1001 Chemical Abstracts 115 (1991): Abstract No. 78027

- Kitamura, Mitsunobo; Honda, Yoshiji; Takasaki, Hiroshi. Treatment of wastewater containing heavymetal ion by ferrite process. II Effect of phosphate ion concentration on wastewater treatment by ferrite process. Nippon Kagaku Kaishi. 7 (1991): 1014-19 Chemical Abstracts 115 (1991): Abstract No. 98563 B.
- Kiyama, M., Conditions of the Formation of  $Fe_3O_4$  by the Air Oxidation of  $Fe(OH)_2$  Suspension. Bull. of the Chemical Society of Japan., 47(1974): 1946-1650.
- Kondo, Masaki; Nakashima, Nobuaki ; Hirasava, Terutaka. Treatment of waste water containing heavy metal ions by ferrite formation 1. initial pH and dissolved oxygen on  $Fe_3O_4$  formation by aerial oxidation of  $Fe(OH)_2$  suspension. Jpn Soc Powder Metal. 29(1982): 236-240.
- Kondo, Masaki; Suzuki, Akira. Ferrite formation and reduction mercury-containing wastewater. Chemical Abstracts 104 (1986): Abstract No. 55757 H.
- Lin, Qingsong; Zhao, Guoliang; Yuan, Wanghong. Chemical equilibrium calculation in treatment of wastewater containing chromium. Water Treat. 4 (1989): 79-90. Chemical Abstracts 112 (1990): Abstract No. 204089 B.
- Nakashima, Tomio. Removal of heavy metals from waste water. Chemical Abstracts 87 (1977): Abstract No. 140832 U.
- Nakazawa, Hiroshi; Sato, Hayato; Hasebe, Shigeru. Study on the removal of arsenic from hot wastewater by the ferrite formation method. Shigen to Sozai. 105 (1989): 239-44 Chemical Abstracts 111 (1989): Abstract No. 83476 U.



- Nippon Electric Co., Ltd. Heavy metal removal from wastewaters  
Chemical Abstracts 95 (1981): Abstract No. 191933 A.
- \_\_\_\_\_. Wastewaters treatment with ferrite Chemical Abstracts 101  
(1984): Abstract No. 176936 C.
- Nugmanov, A.M.; Kovalenko, Yu. A.; Firsova, L. Yu. et al. Kinetics of  
consumption of alkali in air oxidation of iron (II)  
Precipitated in the presence of chromium (VI). 61 (1988):  
1989-95 (Russ). Chemical Abstracts 110 (1989): Abstract No.  
101084 A.
- Perkin-Elmer. Model 4000 Atomic Absorption Spectrophotometer and Printer  
Model PRS-10 Operator's Manual, p. 112. Norwalk, Connecticut,  
U.S.A., 1980.
- Sano, Masakatsu; Nakama, Hamuri. Treatment of wastewater containing  
heavy metals. Chemical Abstracts 104 (1986): Abstract No.  
23805 W.
- Shin, Hee Deuk; Cho, Dong Sung; Oh, Jae Hyun. A study of ferrite  
process for heavy metal removal in waste water (part 1).  
Ferrosoferric oxide formation by the oxidation of ferrous  
hydroxide suspension. Taehan Kwangsan Hakhoechi 25 (1988):  
340-347. Chemical Abstracts 110 (1989): Abstract No. 178896 Z.
- Shin, Hee Deuk; Cho, Dong Sung; Oh, Jae Hyun. A study of ferrite  
process for heavy metal removal in waste water (part 2). The  
formation and magnetic properties of copper ferrite. Taehan  
Kwangsan Hakhoechi 25 (1988): 348-353. Chemical Abstracts 110  
(1989): Abstract No. 178897 A.

- Tamura, Y; Katsura, T; Rojarayanont, S. et al. "Ferrites Process; Heavy Metal Ions Treatment System" Water Science Technology 23 (1991): 1893-1900.
- \_\_\_\_\_ ; Tu, P.Q.; Rojarayanont, S. et al. "Stabilization of Hazardous Materials into Ferrites" Water Science Technology, 23 (1991): 399-404.
- Tebble, R.S., Craik, D.J., Magnetic Material. John Wiley & Sons. Ltd, 1969.
- Tojo, Tadao; Nagata, Yoshiaki. Treatment of waste water in a refuse treatment plant in Kawasaki city. II Treatment of dust caught by a dust collector in a refuse treatment plant by the "ferrite method" Toshi to Haikibutsu. 7 (1977): 61-8 Chemical Abstracts 88 (1978): Abstract No. 78601 H.
- Topkin, Yu. V et al. Removal of heavy-metal ions from solutions by a ferrite method. 12 (1990): 895-7 (Russ). Chemical Abstracts 114 (1991): Abstract No. 108263 Z.
- Tsai, Chi-Hua. et al. Treatment of wastewater containing chromium, zinc, nickel, cobalt and copper by the ferrite method Chemical Abstracts 92 (1980): Abstract No. 64204 B.
- Wen, Baozhong; Li, Dexi; Liu, Li. Treatment of electroplating and cation column regeneration wastewater by the ferrosinzel method at room temperature. Diandu Yu Huanbao. 7 (1987): 27-9 Chemical Abstracts 106 (1987): Abstract No. 143434 N.
- Willard, H., Merritt, L. and Dean, J.A. Instrumental Methods of Analysis. 5th ed. Litton Educational Publishing, 1974.

Zonglei, Hu; Wuran, Huanjing; Fangzhi, Yu. Operation conditions for the ferrite method for chromium containing wastewater treatment. 11 (1989): 12-14 (Ch). Chemical Abstracts 111 (1989) : Abstract No. 218829 J.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ภาคผนวก

- ตารางแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ออกซิเดชันของการกำจัดโครเมียมและนิกเกิลที่เงื่อนไขต่างๆ ด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์
- ตารางแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ออกซิเดชันของการกำจัดสารผสมโครเมียมและนิกเกิลที่เงื่อนไขต่างๆ ด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์
- ตารางแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ออกซิเดชันของการกำจัดน้ำเสียโรงชุบโลหะด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์
- อะตอมมิค แอ็บซอร์ปชัน สเปกโทรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry)
- การวิเคราะห์โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของเอกซเรย์จากผลึก (X-ray powder diffraction)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
โครเมียม 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 9, อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-895	9.38
1	-795	9.38
2	-730	9.37
3	-750	9.37
4	-735	9.38
5	-752	9.35
6	-733	9.34
7	-650	9.30
8	-568	9.28
9	-583	9.25
10	-560	9.21
11	-608	9.15
12	-510	9.11
13	-475	9.10
14	-445	9.08
15	-440	9.07
16	-430	9.05
17	-430	9.02



ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
โครเมียม 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 9, อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-639	9.31
1	-610	9.30
2	-239	9.28
3	- 88	9.27
4	-115	9.22
5	-100	9.18
6	-100	9.15
7	- 76	9.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
 ไตรเมียม 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 9, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-840	9.31
1	-775	9.31
2	-700	9.30
3	-780	9.29
4	-775	9.27
5	-770	9.28
6	-748	9.25
7	-715	9.25
8	-705	9.24
9	-635	9.20
10	-600	9.21
11	-448	9.18
12	-488	9.17
13	-500	9.18
14	-518	9.16
15	-501	9.15
16	-460	9.14
17	-445	9.14
18	-510	9.13
19	-450	9.11

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
โครเมียม 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-612	10.30
1	-548	10.30
2	-251	10.29
3	-198	10.27
4	-186	10.25
5	-181	10.20
6	-147	10.17
7	-142	10.17
8	-148	10.15
9	-151	10.16
10	-144	10.14
11	-144	10.14

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
โครเมียม 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-557	10.14
1	-557	10.13
2	-469	10.28
3	-350	10.25
4	-267	10.20
5	-164	10.17
6	-126	10.09
7	-116	10.01
8	-112	9.98
9	-115	9.99
10	-111	10.01
11	-106	9.97
12	-96	9.95
13	-98	9.93

ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
โครเมียม 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-607	10.15
1	-604	10.15
2	-590	10.16
3	-584	10.17
4	-500	10.15
5	-440	10.11
6	-335	10.08
7	-392	10.07
8	-429	10.04
9	-370	10.00
10	-325	9.99
11	-295	9.98
12	-297	9.97
13	-276	9.97
14	-317	9.98
15	-284	9.97
16	-245	9.95
17	-226	9.95
18	-239	9.94
19	-236	9.92

ตารางที่ 7 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
 โครเมียม 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 11, อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-735	11.31
1	-730	11.30
2	-665	11.25
3	-512	11.23
4	-469	11.20
5	-290	11.12
6	-245	11.12
7	-225	11.10
8	-255	11.11
9	-259	11.11
10	-239	11.10
11	-239	11.09

ศูนย์วิทยพักร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ตารางที่ 8 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
โครเมียม 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 11, อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-659	11.25
1	-437	11.23
2	-355	11.20
3	-356	11.27
4	-297	11.25
5	-292	11.22
6	-257	11.21
7	-242	11.20
8	-279	11.17
9	-244	11.16
10	-246	11.15
11	-245	11.16

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
 ไตรเมธิล 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 11, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-740	11.12
1	-685	11.12
2	-584	11.10
3	-608	11.08
4	-592	11.09
5	-610	11.07
6	-580	11.08
7	-564	11.08
8	-550	11.06
9	-557	11.07
10	-472	11.05
11	-467	11.06
12	-493	11.04
13	-422	11.04
14	-376	11.03
15	-372	11.04
16	-408	11.03

ตารางที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
 นิเกิล 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 9, อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-679	9.19
1	-665	9.20
2	-636	9.37
3	-614	9.21
4	-587	9.24
5	-570	9.23
6	-544	9.21
7	-498	9.19
8	-488	9.19
9	-442	9.18
10	-440	9.15
11	-442	9.15

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
 นิเกิล 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 9, อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-709	9.35
1	-701	9.35
2	-670	9.34
3	-555	9.34
4	-402	9.32
5	-266	9.33
6	-219	9.30
7	-120	9.27
8	-90	9.25
9	-95	9.25
10	-95	9.26
11	-139	9.27
12	-148	9.25
13	-144	9.26

ตารางที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
 นิเกิล 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 9, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-787	9.31
1	-780	9.30
2	-775	9.30
3	-769	9.28
4	-210	9.27
5	- 74	9.29
6	- 10	9.25
7	- 9	9.25
8	- 5	9.23

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
 นิเกิล 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-756	10.44
1	-717	10.44
2	-664	10.42
3	-602	10.40
4	-579	10.38
5	-520	10.37
6	-435	10.35
7	-339	10.31
8	-277	10.30
9	-227	10.28
10	-207	10.25
11	-206	10.21

ศูนย์วิทยพักรรษากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
 นิเกิล 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-766	10.47
1	-760	10.47
2	-447	10.46
3	-305	10.45
4	-200	10.44
5	-122	10.42
6	-120	10.41
7	-172	10.38
8	-150	10.38
9	-172	10.34
10	-213	10.33
11	-241	10.36
12	-255	10.35
13	-260	10.35



ตารางที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
 นิเกิล 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-697	10.40
1	-700	10.40
2	-701	10.36
3	-680	10.35
4	-658	10.32
5	-571	10.30
6	-378	10.25
7	-127	10.23
8	-122	10.20
9	-125	10.21
10	-125	10.18

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
 นิเกิล 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 11, อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-645	11.18
1	-650	11.19
2	-407	11.20
3	-275	11.18
4	-330	11.16
5	-339	11.17
6	-347	11.15
7	-360	11.16
8	-369	11.13
9	-370	11.11
10	-345	11.10
11	-357	11.09
12	-360	11.09
13	-359	11.07

ตารางที่ 17 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
 นิเกิล 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 11, อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-788	11.25
1	-780	11.23
2	-647	11.24
3	-459	11.27
4	-286	11.25
5	-265	11.28
6	-275	11.27
7	-269	11.27
8	-269	11.28
9	-270	11.28

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 18 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
 นิเกิล 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 11, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-773	11.20
1	-770	11.20
2	-660	11.19
3	-528	11.18
4	-376	11.19
5	-254	11.17
6	-141	11.16
7	-144	11.16
8	-141	11.15
9	-140	11.16
10	-141	11.16

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential  
 ของแบบลงค์ ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-980	10.35
1	-978	10.35
2	-890	10.30
3	-679	10.21
4	-354	10.18
5	-285	10.19
6	-260	10.16
7	-265	10.17
8	-244	10.16
9	-256	10.14
10	-270	10.15
11	-250	10.15

ศูนย์วิทยพักร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 20 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
สารผสมโครเมียมและนิกเกิล 1000 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 10,  
อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-669	10.20
1	-660	10.20
2	-647	10.19
3	-642	10.19
4	-637	10.18
5	-624	10.15
6	-614	10.12
7	-585	10.08
8	-568	10.06
9	-564	10.04
10	-470	10.05
11	-475	10.02
12	-400	10.01
13	-294	10.00
14	-258	10.01
15	-245	10.00
16	-223	10.02
17	-209	10.01
18	-209	10.02
19	-213	10.02

ตารางที่ 21 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
สารผสมโครเมียมและนิกเกิล 1000 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 10,  
อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  28.8 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-782	10.41
1	-762	10.42
2	-745	10.40
3	-726	10.38
4	-725	10.36
5	-715	10.37
6	-694	10.37
7	-676	10.35
8	-665	10.34
9	-642	10.33
10	-626	10.32
11	-570	10.31
12	-575	10.28
13	-470	10.27
14	-468	10.25
15	-415	10.22
16	-330	10.23
17	-270	10.25
18	-240	10.24
19	-245	10.24

ตารางที่ 22 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
สารผสมโครเมียมและนิกเกิล 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 10,  
อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  3.6 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-665	10.26
1	-630	10.27
2	-500	10.26
3	-350	10.26
4	-255	10.25
5	-211	10.22
6	-180	10.23
7	-165	10.21
8	-164	10.24
9	-149	10.23
10	-147	10.22
11	-129	10.21
12	-116	10.19
13	-103	10.18
14	-83	10.20
15	-43	10.25
16	-10	10.22
17	-3	10.23
18	-1	10.20
19	-1	10.21
20	-2	10.22



ตารางที่ 23 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
สารผสมโครเมียมและนิกเกิล 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 10,  
อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  7.2 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-734	10.28
1	-730	10.28
2	-630	10.27
3	-502	10.25
4	-398	10.20
5	-221	10.15
6	-118	10.13
7	-118	10.12
8	-109	10.10
9	-119	10.08
10	-106	10.09
11	-103	10.08
12	- 93	10.05
13	- 95	10.03
14	-110	10.00
15	-103	10.00
16	- 87	10.01
17	- 74	9.98
18	- 75	10.00

ตารางที่ 24 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
สารผสมโครเมียมและนิกเกิล 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 10,  
อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-687	10.27
1	-629	10.26
2	-500	10.25
3	-370	10.20
4	-245	10.20
5	-207	10.18
6	-178	10.15
7	-166	10.15
8	-151	10.12
9	-147	10.10
10	-149	10.09
11	-129	10.08
12	-130	10.07
13	-127	10.07
14	-125	10.07

ตารางที่ 25 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
สารผสมโครเมียมและนิกเกิล 100 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 10,  
อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  28.8 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-742	10.29
1	-663	10.28
2	-565	10.23
3	-468	10.20
4	-340	10.20
5	-242	10.18
6	-160	10.15
7	-105	10.13
8	-140	10.14
9	-150	10.15
10	-152	10.15
11	-165	10.16
12	-152	10.15
13	-155	10.15
14	-145	10.14
15	-164	10.15

ตารางที่ 26 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
สารพิษโลหะหนักและนิเกิล 10 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 10,  
อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-725	10.13
1	-720	10.13
2	-684	10.12
3	-617	10.12
4	-518	10.11
5	-396	10.09
6	-211	10.08
7	-203	10.07
8	- 91	10.05
9	- 92	10.05
10	- 79	10.04
11	- 79	10.04
12	- 70	10.04
13	- 52	10.04
14	- 45	10.05
15	- 46	10.04
16	- 47	10.04



ตารางที่ 27 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
สารผสมโครเมียมและนิกเกิล 5 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 10,  
อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-787	10.24
1	-780	10.24
2	-601	10.22
3	-586	10.20
4	-469	10.18
5	-452	10.18
6	-397	10.16
7	-328	10.14
8	-300	10.14
9	-276	10.13
10	-210	10.11
11	-187	10.10
12	-178	10.08
13	-165	10.08
14	-160	10.08
15	-161	10.08

ตารางที่ 28 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
 สารมลพิษโครเมียมและนิเกิล 1 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 10,  
 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-945	10.13
1	-800	10.11
2	-730	10.09
3	-500	10.05
4	-430	10.04
5	-400	10.04
6	-365	10.03
7	-355	10.03
8	-305	10.00
9	-230	9.98
10	-205	9.98
11	-190	9.97
12	- 80	9.95
13	- 80	9.95
14	- 85	9.95
15	- 80	9.94

ตารางที่ 29 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
สารผสมโครเมียมและนิกเกิล 0.5 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 10,  
อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-830	10.27
1	-788	10.25
2	-785	10.25
3	-710	10.23
4	-628	10.20
5	-540	10.17
6	-445	10.18
7	-352	10.15
8	-256	10.13
9	-160	10.11
10	-163	10.11
11	-165	10.11
12	-163	10.12
13	-163	10.12

ตารางที่ 30 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
สารพิษโมโครเบียลและนิเกิล 0.1 มก./ลบ.คม. ที่พีเอช 10,  
อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-570	10.13
1	-430	10.11
2	-337	10.09
3	-342	10.10
4	-320	10.09
5	-275	10.07
6	-263	10.07
7	-255	10.06
8	-205	10.06
9	-180	10.05
10	-178	10.05
11	-167	10.05
12	-163	10.04
13	-165	10.04
14	-182	10.05
15	-187	10.04
16	-187	10.05
17	-183	10.05



ตารางที่ 31 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
น้ำเสียจากโรงชุบโลหะที่ไม่ปนเปื้อนด้วยไซยาไนด์โดยใช้น้ำเสียนำ  
20 มิลลิลิตร ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-705	10.30
1	-685	10.30
2	-620	10.29
3	-590	10.26
4	-570	10.26
5	-550	10.26
6	-540	10.25
7	-530	10.25
8	-480	10.24
9	-480	10.23
10	-430	10.20
11	-400	10.18
12	-370	10.17
13	-380	10.17
14	-350	10.16
15	-355	10.16
16	-350	10.16

ตารางที่ 32 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
น้ำเสียจากโรงสูบโลหะที่ไม่ปนเปื้อนด้วยไซยาไนด์โดยนำน้ำเสียมา  
25 มิลลิลิตร ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-800	10.50
1	-780	10.49
2	-640	10.45
3	-570	10.40
4	-425	10.40
5	-415	10.40
6	-395	10.38
7	-385	10.37
8	-380	10.37
9	-330	10.35
10	-330	10.35
11	-340	10.34
12	-290	10.32
13	-295	10.32
14	-285	10.31
15	-283	10.32
16	-280	10.32

ตารางที่ 33 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
น้ำเสียจากโรงชุบโลหะที่ไม่ปนเปื้อนด้วยไซยาไนด์โดยนำน้ำเสียมา  
30 มิลลิลิตร ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-548	10.40
1	-540	10.40
2	-500	10.39
3	-490	10.36
4	-365	10.33
5	-320	10.32
6	-305	10.30
7	-330	10.31
8	-335	10.31
9	-335	10.32
10	-330	10.31
11	-300	10.30
12	-300	10.29
13	-310	10.30

ตารางที่ 34 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
น้ำเสียจากโรงชุบโลหะที่ไม่ปนเปื้อนด้วยไซยาไนด์โดยนำน้ำเสียมา  
35 มิลลิลิตร ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-490	10.51
1	-495	10.51
2	-350	10.48
3	-348	10.48
4	-355	10.47
5	-355	10.46
6	-360	10.45
7	-380	10.47
8	-382	10.46
9	-400	10.47
10	-372	10.42
11	-355	10.35
12	-330	10.34
13	-342	10.32
14	-340	10.33
15	-340	10.32
16	-342	10.33
17	-335	10.31





ตารางที่ 35 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
น้ำเสียจากโรงชุบโลหะที่ไม่ปนเปื้อนด้วยไซยาไนด์โดยนำน้ำเสียมา  
40 มิลลิลิตร ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-444	10.15
1	-450	10.15
2	-458	10.15
3	-470	10.17
4	-360	10.10
5	-335	10.11
6	-335	10.10
7	-325	10.08
8	-315	10.08
9	-305	10.09
10	-295	10.06
11	-285	10.06
12	-275	10.03
13	-273	10.03
14	-260	10.04
15	-250	10.03

ตารางที่ 36 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
น้ำเสียจากโรงชุบโลหะที่ไม่ปนเปื้อนด้วยไซยาไนด์โดยนำน้ำเสียมา  
50 มิลลิลิตร ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-735	10.41
1	-730	10.40
2	-575	10.37
3	-505	10.35
4	-445	10.30
5	-410	10.27
6	-400	10.25
7	-345	10.23
8	-300	10.20
9	-290	10.19
10	-270	10.17
11	-230	10.13
12	-228	10.13
13	-220	10.12
14	-240	10.15
15	-235	10.13
16	-205	10.00
17	-190	10.10

ตารางที่ 37 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
น้ำเสียจากโรงบำบัดที่เปลี่ยนด้วยโซลาร์เซลล์ โดยนำน้ำเสียมา  
120 มิลลิตร ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-610	10.15
1	-608	10.15
2	-600	10.15
3	-595	10.12
4	-575	10.10
5	-565	10.10
6	-542	10.07
7	-533	10.05
8	-460	10.00
9	-420	10.01
10	-350	10.01
11	-270	9.95
12	-198	9.98
13	-185	9.94
14	-155	9.90
15	-155	9.87
16	-154	9.88

ตารางที่ 38 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
น้ำเสียจากโรงชุบโลหะที่ปนเปื้อนด้วยไซยาไนด์ โดยนำน้ำเสียมา  
125 มิลลิลิตร ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-622	10.15
1	-595	10.13
2	-500	10.03
3	-490	10.00
4	-483	10.35
5	-460	10.36
6	-430	10.33
7	-425	10.30
8	-305	10.22
9	-200	10.15
10	-165	10.10
11	-155	10.00
12	-148	10.01
13	-145	10.05
14	-145	10.09
15	-142	10.10



ตารางที่ 39 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
น้ำเสียจากโรงชุบโลหะที่ปนเปื้อนด้วยไซยาไนด์ โดยนำน้ำเสียมา  
150 กรัม ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-452	10.20
1	-425	10.20
2	-380	10.15
3	-332	10.11
4	-265	10.05
5	-235	10.01
6	-180	9.87
7	-160	10.39
8	-152	10.35
9	-145	10.25
10	-145	10.22
11	-145	10.19
12	-145	10.15
13	-140	10.16
14	-140	10.10
15	-142	10.16
16	-141	10.20
17	-141	10.30
18	-141	10.25
19	-141	10.28

ตารางที่ 40 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
น้ำเสียจากโรงชุบโลหะที่ปนเปื้อนด้วยไซยาไนด์ โดยนำน้ำเสียมา  
175 มิลลิลิตร ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-425	10.40
1	-410	10.35
2	-400	10.33
3	-380	10.30
4	-325	10.25
5	-250	10.20
6	-220	10.19
7	-185	10.16
8	-155	10.18
9	-145	10.20
10	-140	10.25
11	-138	10.36
12	-130	10.19
13	-125	10.00
14	-125	9.97
15	-125	10.05
16	-120	10.13
17	-120	10.10
18	-120	10.15
19	-120	10.20

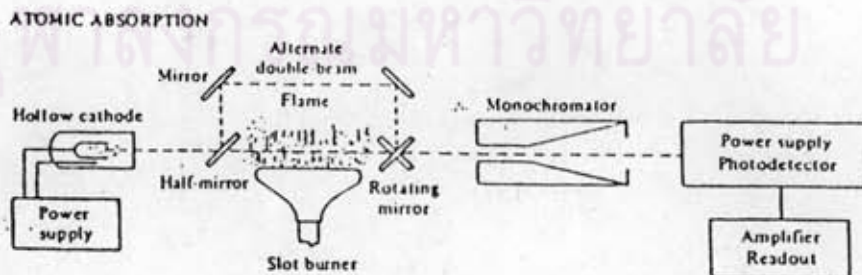
ตารางที่ 41 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation Reduction Potential ของการกำจัด  
น้ำเสียจากโรงสูบน้ำที่ปนเปื้อนด้วยไซยาไนด์ โดยนำน้ำเสียมา  
200 มิลลิลิตร ที่พีเอช 10, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส,  
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14.4 กรัม

Time (min)	ORP (mV)	pH
0	-685	10.30
1	-680	10.30
2	-610	10.30
3	-490	10.27
4	-310	10.15
5	-315	10.10
6	-240	10.05
7	-265	10.17
8	-268	10.35
9	-282	10.29
10	-250	10.31
11	-190	10.30
12	-175	10.27
13	-168	10.26
14	-162	10.24
15	-158	10.20
16	-158	10.19
17	-158	10.16
18	-152	10.18
19	-151	10.17

### อะตอมมิก แอ็บซอร์ปชัน สเปกโทรโฟโตเมตรี

สุรภี วรรณอารยรักษ์ (2530) กล่าวจาก Perkin-Elmer (1980) อะตอมมิก แอ็บซอร์ปชัน สเปกโทรโฟโตเมตรี เป็นการศึกษาความสามารถของอะตอมในการดูดกลืนคลื่นแสง ในช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอัลตราไวโอเล็ตหรือวิสิเบิล โดยการผ่านสารละลายเกลืออนินทรีย์เข้าไปในเปลวไฟที่ได้จากออกซิเจน และเชื้อเพลิงซึ่งทำหน้าที่อะตอมไม่จับตัวอย่างเป็นอะตอมอิสระที่เป็นไอและอยู่ที่สภาวะพื้น (ground state) เมื่อมีคลื่นแสงจากแหล่งกำเนิดคลื่นแสงที่เหมาะสมผ่านเข้าไปชนอะตอมอิสระที่เป็นไอและอยู่ที่สภาวะพื้น อะตอมนี้จะดูดกลืนปริมาณแสงไว้ ทำให้ปริมาณแสงผ่านเข้าเครื่องวัดน้อยลง ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนไว้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของอะตอมที่หลักการนี้จึงสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) สำหรับเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer โดยทั่วไปมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ (ดังแสดงใน รูปที่ 1 )

1. แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)
2. แหล่งกำเนิดอะตอม (Atomizer)
3. เครื่องแยกแสง (Monochromator)
4. ระบบวัดแสง (Photo Detector)
5. อุปกรณ์วัดค่า (Readout Device)



รูปที่ 1 แผนผังแสดงเทคนิคการวัดโดยอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์



(1) แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ประกอบด้วย hollow cathode lamp ซึ่งแอโนดเป็นทั้งสแคน ส่วนแคโทดทำหรือด้วยอิตทริอิม หรือโลหะผสมของธาตุที่ต้องการ วิเคราะห์เป็นรูปทรงกระบอก ขั้วทั้งสองบรรจุในหลอดแก้วปิดสนิท ภายในบรรจุด้วยแก๊สเฉื่อย ได้แก่ แก๊สนีออนหรืออาร์กอน เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าคร่อมขั้วไฟฟ้าทั้งสองนี้สูงมาก แคทไอออนจากแก๊สเฉื่อย ( $Ar^+$  หรือ  $Ne^+$ ) ที่ได้จากการทำให้แตกตัวเป็นไอออนก็จะมีพลังงานมากพอทำให้อะตอมโลหะหลุดจากผิวแอโนดให้กลุ่มอะตอมอิสระ ไอของโลหะนี้จะอยู่ในสภาวะเร้าไม่เสถียร จะคายคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะออกมา ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่สอดคล้องกับการดูดกลืนของธาตุที่ต้องการ

(2) แหล่งกำเนิดอะตอม (Atomizer) เป็นส่วนที่ทำให้ธาตุในสารประกอบตัวอย่าง กลายเป็นไอหรืออะตอมอิสระ ประกอบด้วยเนบิวไลเซอร์ (nebulizer) และตะเกียง (burner) เมื่อดำเนินการของเหลวเข้าไปในเนบิวไลเซอร์เกิดแอโรซอล (aerosol) ภายในสเปย์แรมเบอร์แอโรซอลผ่านเข้าสู่เปลวไฟมีขั้นตอนการเกิดดังนี้

1. ตัวทำละลายระเหยออกเกิดอนุภาคเกลือของแข็งที่มีขนาดเล็ก
2. ของแข็งนี้ถูกเผาให้สลายตัวเป็นโมเลกุล
3. โมเลกุลแตกตัวเกิดตะกอนหรือแร่คัลด์ที่เป็นกลาง อะตอมที่เป็นกลางทำหน้าที่ดูดกลืนคลื่นแสง
4. อะตอมที่เป็นกลางอาจเปลี่ยนไปสู่สภาวะเร้าหรือเกิดการไอออไนซ์ในเปลวไฟ

(3) เครื่องแยกแสง (Monochromator) ทำหน้าที่เลือกคลื่นแสงที่เหมาะสมเพียงความยาวคลื่นเดียวที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ธาตุที่ศึกษา ประกอบด้วยช่องแสงเข้ากระจกทำหน้าทีผลิตลำแสงในแนวขนาน เกรตติง (grating) เป็นวัตถุที่ใช้กระจายแสงและวัตถุรวมแสง ทำหน้าที่รวมภาพ (คลื่นแสง) ที่เข้าสู่ช่องแสงเข้าไปตกบนผิวราบ (focus plane) หรือออกสู่ช่องแสง (exit slit)

(4) ระบบวัดแสง (Photo Detector) โดยการใช้หลอดทวีคูณแสง (photomultiplier tube) วัดความเข้มแสงที่เหลือจากการดูดกลืนแสง และขยายให้มีปริมาณมากขึ้น หลอดทวีคูณแสงนี้ จะประกอบด้วยไดโนด (dynode) ซึ่งคล้ายกับโฟโตทิวบ์ (โฟโตทิวบ์ เป็นหลอดสุญญากาศ และมีขั้วแคโทดเป็นรูปทรงกระบอก ขั้วแอโนดเป็นเส้น)

แต่ไอเล็คโตรดภายในเพิ่มจากปกติอีก 9 อัน ไคโตนหนึ่งได้รับสีกซ์ไฟฟ้าเป็นบวกสูงกว่าแคโทด 90 โวลท์ ไอเล็คตรอนที่หลุดออกจากแคโทดถูกเร่งไปชนไคโตนที่หนึ่ง เกิดไอเล็คตรอนจำนวน มากออกมา และวิ่งไปชนไคโตนค้วที่สอง ซึ่งมีสีกซ์ไฟฟ้าเป็นบวกมากกว่าไคโตนที่หนึ่ง 90 โวลท์ และเกิดปรากฏการณ์เช่นนี้จนครบวงจร ไอเล็คตรอนที่วิ่งเข้าไปสู่แอโนดมีค่าถึง  $10^6$  ถึง  $10^7$  เท่าของ ของเดิมแล้วผ่านเข้าสู่เครื่องขยายและวัดสัญญาณออกมา

(5) อุปกรณ์วัดค่า (Readout Device) เป็นเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าที่ได้จาก หลอดทวิคูณแสง ซึ่งเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเข้มของแสง สำหรับเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ที่ใช้ในงานวิธานิพนธ์นี้เป็นชนิดที่ผลิตโดยบริษัท Perkin-Elmer model 4000 ซึ่งใช้ในงานวิเคราะห์ (operating parameters) ทาปริมาณโครเมียมและนิกเกิล ดังนี้

	โครเมียม	นิกเกิล
ความยาวคลื่น (nm) (Wavelength)	357.9	232.0
ความกว้างของช่องแสง (nm) (Slit width)	0.7	0.2
แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) or Hollow Cathode Lamp	Electrodeless Discharge Lamp	Electrodeless Discharge Lamp or Hollow Cathode Lamp
ชนิดของเปลวไฟ (Flame Type)	Air-Acetylene Flame	Air-Acetylene Flame



การวิเคราะห์โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของเอกซเรย์จากผลึก  
(X-ray powder diffraction)

สุรภี ทรจน์อารยานนท์ (2530) กล่าวจาก Willard, Merrit และ Dean (1980) การเลี้ยวเบนของลำแสงเอกซเรย์จากผลึกเดี่ยว (Single crystal) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาโครงสร้างของสารและการจัดตัวของสาร เงื่อนไขการเลี้ยวเบนคลื่นเอกซเรย์ในผิวของผลึกจะเป็นไปตามกฎของ แบริก (Bragg's law) กล่าวคือ เมื่อลำแสงเอกซเรย์ชนผลึกที่ผิวและทำมุม  $\theta$  อะตอมที่ผิวจะเลี้ยวเบนลำแสงนี้ ลำแสงที่ไม่ถูกเลี้ยวเบนจะผ่านเข้าสู่อะตอมที่อยู่ชั้นที่สอง และเกิดการเลี้ยวเบน ลำแสงส่วนที่เหลือผ่านเข้าสู่อะตอมชั้นที่สามและเกิดการเลี้ยวเบน ผลของการเลี้ยวเบนที่เกิดจากอะตอมที่อยู่ในแนวเดียวกัน และมีระยะห่างระหว่างอะตอมเท่ากัน เป็นการเลี้ยวเบนของลำแสงคล้ายกับการเลี้ยวเบนของคลื่นแสง โดยเกรตติงแบบสะท้อนแสง

การเลี้ยวเบนของคลื่นแสงเกิดได้เมื่อ

1. ระยะห่างระหว่างชั้นอะตอมมีค่าใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแสง
2. ศูนย์กลางการเลี้ยวเบนทำหน้าที่การกระจายเหมือนกัน

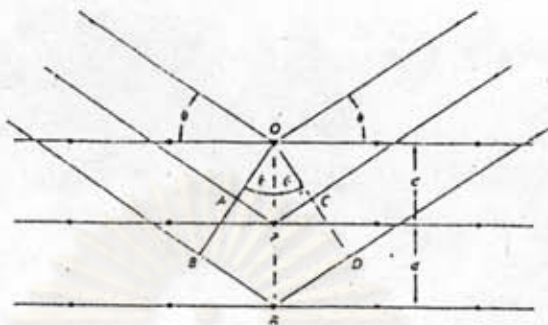
ปี 1912 W.L. Bragg ศึกษาการเลี้ยวเบนของลำแสงเอกซเรย์โดยผลึกตั้งรูปที่ 2 ลำแสงช่วงความยาวคลื่นแคบ ๆ ชนผลึกที่มุม  $\theta$  การเลี้ยวเบนเกิดขึ้นที่มีแรงดึงดูดของคลื่นแสงกับอะตอมที่ตำแหน่ง O, P และ R การเลี้ยวเบนเกิดขึ้นได้เมื่อ  $n$  เป็นตัวเลข คลื่นแสงที่เลี้ยวเบนที่ OCD จะอยู่ในเฟสเดียว ผลึกจะทำหน้าที่สะท้อนคลื่นแสงเอกซเรย์ ดังนั้นจะได้

$$AP = PC = d \sin \theta$$

$d$  คือ ระยะห่างระหว่างชั้นผลึก เมื่อคลื่นแสงมีการอินเทอร์เฟอเรนซ์แบบเสริม (constructive interference)

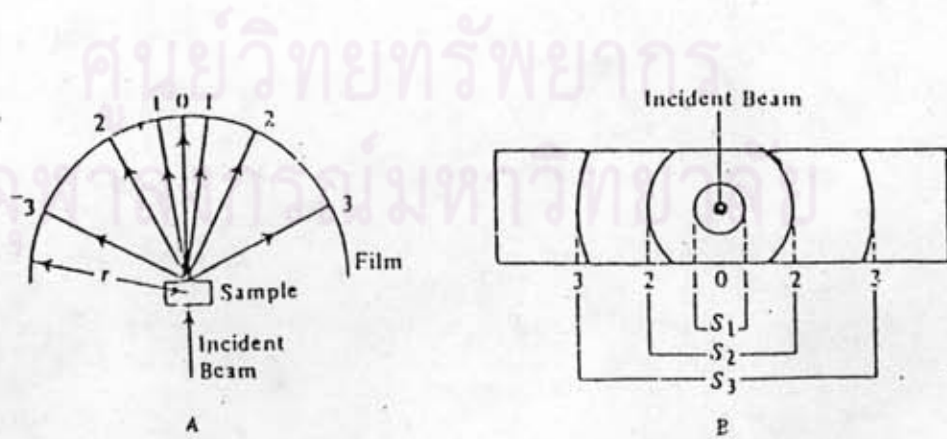
$$n = 2d \sin \theta$$

สมการนี้เป็นสมการของแบรกก์ เอกซเรย์ที่เกิดจากการสะท้อนจากผลึกจะเกิดเมื่อมุมตกกระทบ มีค่า  $\sin \theta = n\lambda / 2d$  ส่วนที่มุมอื่นจะเกิดการหักล้างกัน สารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์จะต้องบดให้เป็นผงละเอียดขนาด 200 ถึง 300 เมช นำสารตัวอย่างไปวางบนแก้วบาง ๆ โดยนำไปวางทางเดินแสงแคบ ๆ ของเอกซเรย์ที่มีความยาวคลื่นเดียว และมีความยาวคลื่นพอ ๆ กับระยะระหว่างอะตอมของผลึก



รูปที่ ๒ การเลี้ยวเบนของเอกซเรย์โดยผลึก

เมื่อเอกซเรย์ชนผลึกจะเกิดการสะท้อนบริเวณผิวหน้าและชั้นถัดไปของอะตอมที่จัดตัวอยู่  
 อย่างเป็นระเบียบ ปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนของผลึกสารตัวอย่างคู่ได้จากฟิล์มถ่ายภาพที่จัดไว้  
 ให้ตั้งฉากกับลำแสงที่ชน รูปวงกลมบนแผ่นฟิล์มเกิดจากเอกซเรย์ที่มีความยาวคลื่นเดียวชนอะตอม  
 ของผลึกที่อยู่บนชั้นต่าง ๆ ทำหน้าที่สะท้อนแสง เนื่องจากผลึกมีหลายระนาบจึงมีหลายมุม  
 ภาพที่ได้จึงเป็นรูปกรวย แต่แผ่นฟิล์มบางมากจึงเห็นเป็นรูปวงกลม หลังจากนำฟิล์มไปถ่ายภาพ  
 ดังรูปที่ ๓



รูปที่ ๓ การเลี้ยวเบนของเอกซเรย์เมื่อชนผลึกที่เป็นผง



ตัวเลขเดียวกันที่อยู่ด้านตรงข้ามกันแทนรูปกรวย รูป A การจัดเครื่องมือ รูป B  
 ฟิล์มที่ล้างเรียงร้อยรัศมีของฟิล์ม ระยะห่างระหว่างเส้นรอบวงของแต่ละรูปกรวย (S)  
 แผ่นฟิล์มถูกจัดไว้เป็นรูปวงกลม (ครึ่งวงกลมหรือเต็มวงกลม) โดยมีสารตัวอย่างอยู่  
 ตรงจุดศูนย์กลาง การจัดแบบนี้ได้

$$4\theta = S/Y$$

Y แทนรัศมีของฟิล์มเป็นมิลลิเมตร

S ระยะห่างระหว่างภาพที่เกิดจากการเลี้ยวเบนของเอกซเรย์เป็นมิลลิเมตร

$\theta$  มุมของการเลี้ยวเบนเป็นเรเดียน

$$2 \text{ เรเดียน} = 360 \text{ องศา}$$

$$1^\circ \text{ เรเดียน} = 360/2^\circ = 180/^\circ$$

$$= 57.296 \text{ องศา}$$

$$\text{ดังนั้น } 4\theta = S/Y (57.296)$$

ปกติปรับ Y ให้เป็นตัวเลขหรือตัวหารของ 57.296 การวัดมุม  $\theta$  ทำได้โดยปรับเส้น  
 ผ่านศูนย์กลางของกล้องให้มีค่า 57.296 มิลลิเมตร เพื่อให้รัศมีของกล้องมีค่า 28.65 มิลลิเมตร

$$4\theta = S (57.296) / (57.296/2)$$

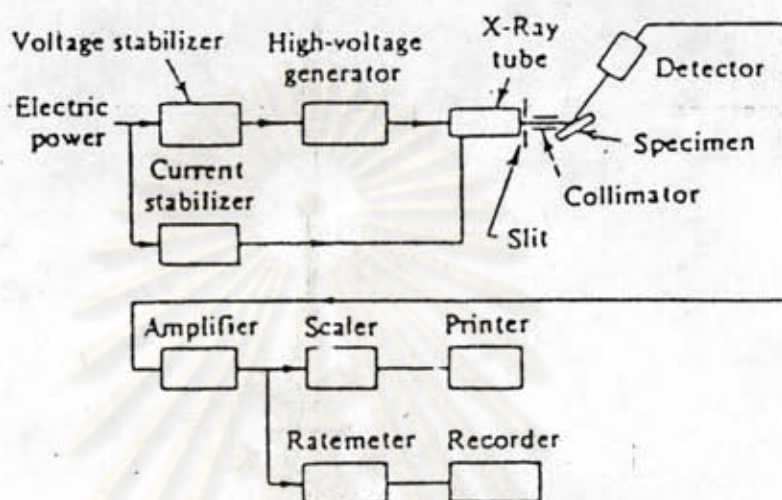
โดยที่ S เป็นมิลลิเมตร

$$4\theta = 2S$$

$$S = 2\theta$$

ความเข้มและระยะห่างที่วัดได้จากฟิล์มที่เกิดจากการเลี้ยวเบนใช้หาคุณภาพได้  
 เมื่อนำค่านี้ไปเปรียบเทียบกับความเข้ม และระยะห่างของสเปกตรัมของสารมาตรฐานเพื่อหา  
 ระยะห่าง แผ่นที่เก็บข้อมูลสารมาตรฐานจัดเรียงลำดับตามความเข้มของเส้น การวิเคราะห์  
 สารตัวอย่าง ต้องเปรียบเทียบกับความเข้มของเส้นต่าง ๆ ที่วัดกับความเข้มเส้นที่ หนึ่ง สอง  
 สาม และ เส้นอื่นๆ

ส่วนประกอบเครื่อง X-ray Diffractometer โดยทั่วไปแล้วจะประกอบด้วย  
 แหล่งกำเนิดแสง อุปกรณ์ที่ใช้จำกัดช่วงความยาวคลื่นแสงที่ต้องการใช้ ที่ใส่สารตัวอย่าง เครื่อง  
 วัดแสงหรือทรานสดิวเซอร์ และระบบอ่านสัญญาณ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ส่วนประกอบของเครื่องเอกซเรย์คัมพเรตมิเตอร์โดยทั่วไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ประวัติผู้เขียน

นางครุณี รัตนสุวรรณ เกิดวันที่ 12 พฤศจิกายน 2506 ที่กรุงเทพมหานคร  
สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2528



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย