

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กรมควบคุมมลพิษ. 2543. มาตรฐานคุณภาพน้ำแลเกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำในประเทศไทย : Water quality standard&criteria in Thailand. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิ์ศักดิ์. 2540. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์เรือนแก้วการพิมพ์. สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- ธีรานี โชติกไกร และชาญ จรรย์าภนิษฐ์. 2534. ไดอะทอมไตต์ แหล่งน้ำแม่ใจ อ.แม่ทะ จ. ลำปาง. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17 (วทท. 17). มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นัทธีรา สรรวมณี. 2541. เคมีสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 2. นครปฐม : ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- เพชรจิตต์ ชัยศรีสวัสดิ์สุข. 2527. การลดปริมาณไนเตรตในน้ำทิ้งจากขบวนการชุบโลหะด้วยทองแดง โดยวิธีออกซิเดชันด้วยเกลือไฮโปคลอไรต์.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- มงคล สุทธิวัฒน์กุล และจาวรรรณ วิระวงษ์นุสร. 2542. วิธีกำจัดไนเตรตในน้ำทิ้ง. วารสารโรงงาน 17 ฉบับที่ 3 (มิถุนายน-กันยายน): 25-27.
- ไมตรี สุทธิจิตต์. 2531. สารพิษรอบตัวเรา. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่ : ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- รัชนี วัชรคุปต์ และชาญ จรรย์าภนิษฐ์. 2533. ไดอะทอมไตต์ แร่อุตสาหกรรมสำหรับอนาคต. ข่าวสารการธรณี. 35(9): 25-30.
- สุจิตร์ พิตรากุล. 2530. แหล่งแร่ และแร่ในอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่ : ศูนย์ส่งเสริมตำราและเอกสารวิชาการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

## ภาษาอังกฤษ

- Adams, M.D. 1994. Removal of Cyanide from Solution using Activated carbon. Mineral Engineering. 7(9): 1165-1177.
- Agdi, K., et al. 2000. Removal of Atrazine and Chlorpyrifos from aqueous solutions by absorption on Diatomaceous earth – Competitive adsorption. The International of Environmental Studies. Vol 3.
- Allen, L.A., Blezard, N. and Wheatland, A.B. 1948. Formation of Cyanogen Chloride During Chlorination of Certain Liquids. Toxicity of Such Liquids to Fish J. Hyg. 46: 184-193.
- ASTM D2036 – 98. 1998. Standard Test Methods for Cyanides in water. Annual Book of ASTM Standards. 11.02 : 79-97.
- Atanasov, At.P. 1972. Production of Support for GC from Bulgarian Kieselguhr II Effect of the Kind of Impurity Removal on the Properties of the Support. 5(1): 73-79.
- Atanasov, A. and Shterev, G. 1974. Production of GC Carries from Bulgarian Kieselguhr IV Production of a Carrier from Kieselguhr at the Gurmen Deposit, Blagoevgrad. Nachni Tr. Plovski University. 12(3): 75-81.
- Aytas, S., et al. 1999. Removal of uranium from aqueous solutions by diatomite (Kieselguhr). Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 240(3) : 973-976.
- Bassi, R. ; Prasher, S.O. and Simpson B. K. 2000. Removal of Selected Metal Ions from Aqueous Solution Using Chitosan Flakes. Separation Science and Technology. 35(4): 547-560.
- Bittell, J.E., and Miller, R.J. 1974. Lead, Cadmium, and Calcium Selectivity Coefficients on a Montmorillonite, Illite, and Kaolinite. Journal of Environmental Quality. 3(3) : 250-253.
- Bridge, WR. 1958. Sodium Cyanide as a Fish Poison. Spe. Sci. Rep. Fish. 11: 253.
- Broderius, S.J. 1973. Determination of Molecular Hydrocyanic Acid in Water and Studies of the Chemistry and Toxicity to Fish of Metal Cyanide Complexes. Ph.D. Thesis, Oregon State University.

- Bucksteeg, W. and Thiele, H. 1957. Possibilities of Experimental Assessment of Population Equivalents for Industrial Wastes. Gas Wasserfash. 98: 909-910.
- Chakravarty, R., et al. 1998. Static removal of Copper(II) from aqueous solutions by hematite. Environmental Technology. 19(3) : 315-322.
- Congar, PS. 1942. Accumulation of Diatomaceous Deposites. J. Sed. Petrol. 12(2): 55-66.
- Cyanide-Selective Electrode Method. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th ed., pp. 4-40 – 4-41.
- Demyanenko, V.N. 1931. Poisoning of Fish by wastewaters from Chemical factories and the Fish test. Gig. Epidemiol. 10(6/7): 13-20.
- Dowing, K.M. 1954. The Influence of Dissolved Oxygen on the Toxicity of Potassium Cyanide to Rainbow Trout. J. Exp. Biol. 31: 161-164.
- Doudoroff, P. 1956. Some Experiments on the Toxicity of Complex Cyanide to Fish. Sewage Ind. Wastes. 28: 1020.
- Doudoroff, P., Leduc, G. and Schneider, C.R. 1966. Acute Toxicity to Fish of Solutions containing Complex Metal Cyanides in Relation to Concentrations of Molecular Hydrocyanic Acid. Trans Am. Fish. Soc. 95: 6-22.
- Eckenfelder, Jr. 1966. Industrial Water Pollution Control. New York: McGraw-Hill.
- Edmonds, C.J. 1974. Cyanide Destruction Gold Mill Effluents. Chemical Abstract 80: 6441n.
- Ellis, MM. 1937. Detection and Measurement of stream Pollution. Bur. Fish. Bull. 22(48): 365-437.
- Ganczarczyk, J.J., Takaoka, P.T. and Ohashi, D.A. 1985. Application of Polysulfide for Pretreatment of Spent Cyanide Liquors. WPCF J. 57(11): 1089-1093.
- Great Britain. 1953. Department of Scientific and Industrial Research. Water Pollution Research 1952. London: H.M. Stationery Office, 42-45.
- Great Britain. 1968. Ministry of Technology. Water Pollution Research 1967. London: H.M. Stationery Office, 60-65.



- Guo, R., et al. 1993. Sorption of low levels of cyanide by granular activated carbon. Water Environmental Research. 65 : 640-644.
- Henderson, C., Pickering, Q.H. and Lemke, A.E. 1961. The Effects of Some Organic Cyanides (Nitriles) on Fish. 15 th ed., Ind. Waste Conf. 45(2): 120-130.
- Hendrickson, T.N. and Daignault, L.G. 1973. Treatment of Complex Cyanide Compounds for Reuse or Disposal. Washington D.C.: GPO Bookstore.
- Honda, A., et al. 1973. Cadmium-Plating Waste water Treatment. Chemical Abstract. 79: 57400r.
- Huang, C.P. and Wu, M.H. 1977. The Removal of Chromium (VI) from Dilute Aqueous Solution by Activated Carbon. Water Research. 11: 673.
- Inove, T., et al. 1937. Decomposition of Potassium Ferri-Cyanide and Potassium Ferrocyanide in Waste Solution. Chemical Abstract 79: 139563k.
- Iseng, Szu-kung. 1974. Treatment of Cyanide waste. Chemical Abstract 80 : 112202a.
- Kadey L. and Fredderic, JR. 1983. Diatomite. Industrial Minerals and Rocks. 2 vols. 5 th ed., pp. 677-708. Maryland: Port City Press.
- Kato, I. 1973. Treatment of Wastewater Containing Complex Cyanide. Chemical Abstract 79: 96674e.
- Lancy, L.E. 1986. Determination of Cyanides Which Can Be Decomposed by An Alkali and Chlorine Treatment. Chemical Abstract 69: 12779y.
- Lee, M.C., Crittenden, J.C., Snoeying, V.L., and Ari, M. 1983. Design of Carbon beds to remove humic substances. J. of Environmental Engineering., 631-645.
- Mathers, SJ. 1989. Costa Rican Diatomite : a review of existing knowledge and future potential. Rev. Geol. Amer. Central. 10: 3-17.
- Mathews, A.P., and Zayas, I. 1989. Particle size and shape effects on adsorption rate parameters. J. of Environmental Engineering., 41-55.
- Montgomery, J.M. 1985. Waste treatment principles and design. New York: John Wiley & Sons.

- Ottenstein, D.M. 1963. Column Support Materials for Use in Gas Chromatography. J. Gas Chromatogr. 1: 11-23.
- Patty, FA. 1973. Industrial Hygiene and Toxicology. 2 nd ed. Rev. New York: Interscience.
- Pettijohn, P.J. 1957. Sedimentary Rocks. 2 nd ed. New York: Harper & Raw, 435.
- Ruby, SM., et al. 1979. Inhibition of Spermatogenesis in Rainbow Trout. Arch. Environ. Contam. Toxicol.(Can). 8(5): 533.
- Savin, NA., et al. 1979. Automation of the Purification Process for Cyanide Containing Wastes Water From Chemical Complex. Chemical Abstract 90 : 11743d.
- Saxana, S., et al. 2001. Adsorption of Cyanide from Aqueous Solution at Pyrophyllite Surface. Separation and Purification Technology. 24: 263-270.
- Schuat, G.G. 1939. Fish Catastrophies during Droughts. J. Am. Water Works Assoc. 31: 771-821.
- Seller, H.G., and Sigel, H.M. 1988. Handbook on toxicity of inorganic compounds. New York : Marcel Dekker, 198-199.
- Smith, RP. 1996. Toxic response of the blood. The basic science of poisons. New York: McGraw-Hill, 350-351.
- Srimurali, M., et al. 1998. A study on a removal of fluorides from drinking water by adsorption onto low-cost materials. Environmental Pollution. 99 : 285-289.
- Stumm, W., Woker, H. and Fischer, H.U. 1954. Detoxification of Wastewaters Containing Cyanide by Oxidation with Hypochlorite. Schweiz. Z. Hydrol. 16: 1-21.
- Talliaferro, NL. 1933. The Relation of Valcanism to Diatomaceous and Associated Siliceous Sediments Geological Science. University California Publish.23: 1-55.
- Vogel, SN. And Sulton, TR. 1981. Cyanide poisoning. Clin Toxicol. 18: 367-383.
- Wallen, I.E., Greer, W.C. and Lasater, R. 1957. Toxicity to Gambusiaaffinis of Certain Pure Chemicals in Turbid Waters. Sewage Ind. Wastes. 29: 695-711.
- Washburn, G.N. 1948. The Toxicity to Warm-Water Fish of Certain Cyanide Plating and Carburizing Salts before and after Treatment by the Alkali-Chorination Method. Sewage Works J. 20: 1074-1083.

- Wuhrmann, K. and Woker, H. 1948. Contributions to fish Toxicology: Experimental Investigation of Ammonia and Hydrocyanic Acid Poisoning. Schweiz. Z. Hydrol. 11: 210-244.
- Yoshitomi, Kenichiro. 1985. Decomposition Treatment of Wastewater Containing Cyanide Ion in the Laboratory. Chemical Abstract 92 : 99053d.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

### การหาไซยาไนด์ไอออน ด้วย Selective Ion Electrode

หลักการ ตามวิธีของ ASTM D 2036 – 98

#### ขอบเขต

การหาไซยาไนด์ไอออนด้วยทฤษฎีนี้ ครอบคลุมการหาไซยาไนด์ในน้ำทั้งหมด (total cyanide) การหาโดยวิธี selective ion electrode จะสามารถหาความเข้มข้นของไซยาไนด์ได้

#### สิ่งรบกวนในการวิเคราะห์ไซยาไนด์

สารพวกออกซิไดส์ซิงเอเจนท์ (oxidizing agent) , ซัลไฟด์ (sulfides) , อัลดีไฮด์ (aldehydes) , กลูโคส และ น้ำตาลอื่นๆ , คาร์บอนเนตที่มีความเข้มข้นสูง , fatty acid , thiocyanate และสารประกอบต่างๆที่มีซัลเฟอร์

#### การเตรียมสารละลาย

1. Sodium Hydroxide Solution (40 g/L)  
ละลาย sodium hydroxide (NaOH) 40 กรัม ละลายในน้ำ 1 ลิตร
2. Sodium Hydroxide Solution (1.6 g/L)  
เจือจาง NaOH (40 g/L) ปริมาตร 40 มิลลิลิตรในน้ำ 1 ลิตร
3. Cyanide Solution , Stock (250 mg/L)  
ละลายโซเดียมไซยาไนด์ (NaCN) 0.4707 กรัม ใน 40 มิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 กรัมต่อลิตร (NaOH 40 g/L) ปรับปริมาตรน้ำให้เป็น 1 ลิตร
4. Cyanide Solution (1000 mg/L)  
ละลายโซเดียมไซยาไนด์ (NaCN) 1.88 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร



เตรียมสารละลายมาตรฐาน

1. สารละลายมาตรฐานไซเดียมไซยาไนด์ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร (NaCN 25 mg/L)  
 เจือจางสารละลายสต็อกไซเดียมไซยาไนด์ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร (NaCN 250 mg/L) 10 มิลลิลิตร ใน สารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.6 กรัมต่อลิตร (NaOH 1.6 g/L) ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. สารละลายมาตรฐานไซเดียมไซยาไนด์ 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (NaCN 2.5 mg/L)  
 เจือจางสารละลายมาตรฐานไซเดียมไซยาไนด์ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร (NaCN 25 mg/L) 10 มิลลิลิตร ใน สารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.6 กรัมต่อลิตร (NaOH 1.6 g/L) ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร
3. สารละลายมาตรฐานไซเดียมไซยาไนด์ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร (NaCN 0.25 mg/L)  
 เจือจางสารละลายมาตรฐานไซเดียมไซยาไนด์ 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (NaCN 2.5 mg/L) 10 มิลลิลิตร ใน สารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.6 กรัมต่อลิตร (NaOH 1.6 g/L) ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร
4. สารละลายมาตรฐานไซเดียมไซยาไนด์ 0.025 มิลลิกรัมต่อลิตร (NaCN 0.025 mg/L)  
 เจือจางสารละลายมาตรฐานไซเดียมไซยาไนด์ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร (NaCN 0.25 mg/L) 10 มิลลิลิตร ใน สารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.6 กรัมต่อลิตร (NaOH 1.6 g/L) ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร
5. สารละลายมาตรฐานไซเดียมไซยาไนด์ 0.0125 มิลลิกรัมต่อลิตร (NaCN 0.0125 mg/L)  
 เจือจางสารละลายมาตรฐานไซเดียมไซยาไนด์ 0.025 มิลลิกรัมต่อลิตร (NaCN 0.025 mg/L) 50 มิลลิลิตร ใน สารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.6 กรัมต่อลิตร (NaOH 1.6 g/L) ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร

### เตรียมสารละลายมาตรฐาน (ต่อ)

6. สารละลายมาตรฐานไซเดียมไซยาไนด์ 0.0025 มิลลิกรัมต่อลิตร

(NaCN 0.0025 mg/L)

เจือจางสารละลายมาตรฐานไซเดียมไซยาไนด์ 0.025 มิลลิกรัมต่อลิตร (NaCN 0.025 mg/L) 10 มิลลิลิตร ใน สารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.6 กรัมต่อลิตร (NaOH 1.6 g/L) ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร

### การวิเคราะห์

Standardization :

- นำสารละลายมาตรฐานไซเดียมไซยาไนด์ 0.0025 มิลลิกรัมต่อลิตร ใส่ในบีกเกอร์ 50 มิลลิลิตร วางบนแมกเนติกสเตอเรียร์ (magnetic stirrer) ใส่แท่งคน (stirrer bar) ปรับอัตราการคนให้คงที่
- ใส่ cyanide ion electrode และ reference electrode ลงในสารละลาย อ่านค่า potential จากเครื่อง บันทึกผล
- นำสารละลายมาตรฐานไซเดียมไซยาไนด์ 0.0125, 0.025, 0.25, 2.5 และ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ไปวัดหา potential และบันทึกผล จากนั้น นำไปเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้น และ potential ของไซยาไนด์ไอออน

หาสารละลายตัวอย่าง :

- นำสารละลายไซยาไนด์ ใส่ในบีกเกอร์ 50 มิลลิลิตร วางบนแมกเนติกสเตอเรียร์ (magnetic stirrer) ใส่แท่งคน (stirrer bar) ปรับอัตราการคนให้คงที่
- ใส่ cyanide ion electrode และ reference electrode ลงในสารละลาย อ่านค่า potential จากเครื่อง บันทึกผล
- นำผลที่ได้ไปเทียบกับกราฟสารละลายไซยาไนด์มาตรฐานที่สร้างไว้ก่อนหน้านี้ แล้วหาค่าความเข้มข้นของไซยาไนด์ไอออน

## ภาคผนวก ข

### แหล่งที่พบสารประกอบไซยาไนด์

#### 1. แหล่งธรรมชาติ

แบคทีเรีย (Cyanogenic bacteria) ได้แก่

*Chromobacterium violaceum*

*Pseudomonas aeruginosa*

*Pseudomonas chloraphis*

*Pseudomonas fluorescens*

สาหร่าย (Cyanogenic algae) ได้แก่

*Chlorella vulgaris*

*Nostoc muscorum*

*Plectonema boryanum*

*Anacystis nidulans*

ราที่ก่อให้เกิดโรคที่ผลิตไซยาไนด์ (Pathogenic fungi generating cyanide) ได้แก่

*Marasmius oreades*

*Stemphyllium loti*

*Gloeocercospora sorghii*

พืช (Cyanogenic crops)

ถั่วอัลมอนด์ (almonds)

มันสำปะหลัง (cassava)

แอปเปิ้ล (apple)

โลควัท (loquat)

ถั่วลิมา (lima beans)

## 2. แหล่งอุตสาหกรรม

การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (electroplating industries)

โรงงานผลิตก๊าซจากถ่านหิน (coal – gasification plants)

โรงงานผลิตก๊าซ (manufactured gas plants)

โรงงานผลิตเส้นใยสังเคราะห์ (synthetic – fiber – producing plants)

โลหกรรม (metallurgy and metal – cleaning operations)

การถลุงโลหะมูลค่าสูง (recovery of precious metals)

กระบวนการพืชที่มีไซยาไนด์ (processing of cyanogenic crops)

อุตสาหกรรมเภสัชเคมี (pharmaceutical chemistry industries)

อุตสาหกรรมผลิตสี (paint – manufacturing industries)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ภาคผนวก ค

### ประสิทธิภาพและความสามารถในการดูดซับไซยาไนด์ไอออน

#### 1. ผลของความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดซับ

ตารางที่ ค-1 ผลของความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดซับ

[CN] เริ่มต้น : Co (ppm)	wt.diatomite (g.)	[CN] สมดุล : Ce (ppm)	Cyanide adsorption, %	Adsorption capacity : q (mg/g)
0.10	1.00	<0.03	>99.00	0.01
0.50	1.00	<0.03	>99.00	0.04
1.00	1.01	0.07	93.10	0.07
5.00	1.01	0.60	85.00	0.33
10.00	1.01	2.00	81.00	0.60
20.00	1.00	8.62	56.90	0.85
30.00	1.00	24.35	18.80	0.42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ผลของ pH ที่เหมาะสมในการดูดซับ ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ 0.5 ppm

ตารางที่ ค-2 ผลของ pH ที่เหมาะสมในการดูดซับ

pH	wt.diatomite (g.)	[CN] สมดุล : Ce (ppm)	Cyanide adsorption, %	Adsorption capacity : q (mg/g)
7	1.00	0.03	93.40	0.04
8	1.00	0.03	93.80	0.04
9	1.00	0.03	94.60	0.04
10	1.00	0.03	93.60	0.04
11	1.00	0.12	76.60	0.03
12	1.00	0.40	19.80	0.01

3. ผลของเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับ ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ 0.5 ppm , pH 9.0

ตารางที่ ค-3 ผลของเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับ

เวลาสัมผัส (hr.)	wt.diatomite (g.)	[CN] สมดุล : Ce (ppm)	Cyanide adsorption, %	Adsorption capacity : q (mg/g)
3	1.00	0.04	91.40	0.04
6	1.00	0.04	91.60	0.04
9	1.00	0.03	93.20	0.03
12	1.00	0.03	93.60	0.03
24	1.00	0.03	93.60	0.04
36	1.00	<0.03	>99.00	0.04

4. ผลของปริมาณดินเบาและความเข้มข้นของไซยาไนด์ไอออน ที่เหมาะสมในการดูดซับ , pH 9.0

ตารางที่ ค-4 ผลของปริมาณดินเบาและความเข้มข้นของไซยาไนด์ไอออน ที่เหมาะสมในการดูดซับ

wt.diatomite (g)	[CN] เริ่มต้น :Co (ppm)	[CN] สมดุล : Ce (ppm)	Cyanide adsorption, %	Adsorption capacity : q (mg/g)
0.10	1.00	0.14	86.20	0.65
0.10	2.00	0.20	90.20	1.35
0.10	5.00	0.31	88.50	3.52
0.10	10.00	1.48	66.60	6.39
0.30	1.00	0.12	87.70	0.22
0.30	2.00	0.18	91.10	0.46
0.30	5.00	0.50	90.10	1.13
0.30	10.00	1.39	68.70	2.15
0.50	1.00	0.06	94.10	0.14
0.50	2.00	0.12	94.20	0.28
0.50	5.00	0.33	93.50	0.70
0.50	10.00	1.26	71.50	1.31

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

wt. diatomite (g)	[CN] เริ่มต้น : Co (ppm)	[CN] สมดุล : Ce (ppm)	Cyanide adsorption, %	Adsorption capacity : q (mg/g)
1.00	1.00	0.03	96.40	0.07
1.00	2.00	0.08	95.80	0.14
1.00	5.00	0.26	94.90	0.36
1.00	10.00	0.78	82.30	0.69
1.50	1.00	0.03	96.90	0.05
1.50	2.00	0.08	96.00	0.10
1.50	5.00	0.25	95.00	0.24
1.50	10.00	1.66	83.40	0.42

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์ไอออนระหว่าง Activatd carbon (Filtra 300) และ ดินเบา (diatomite) ที่สภาวะ ปริมาณ Activated carbon ต่อดินเบา 1 : 1 , ความเข้มข้นของไซยาไนด์ไอออน 0.5 ppm , pH 9.0

ตารางที่ ค - 5 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความสามารถในการดูดซับไซยาไนด์ไอออนระหว่าง Activated carbon (Filtra 300) และ ดินเบา (Diatomite) เมื่อเวลาสัมผัสต่างกัน

Activated Carbon (Filtra 300)		Diatomite				
เวลาสัมผัส (Hr.)	[CN <sup>-</sup> ] สมดุล : Ce (ppm)	CN adsorption, %	capacity adsorption: q (mg/g)	[CN <sup>-</sup> ] สมดุล : Ce (ppm)	CN adsorption, %	capacity adsorption: q (mg/g)
1	0.06	89.00	0.03	0.06	88.70	0.03
3	0.04	91.40	0.03	0.05	90.70	0.03
5	0.03	93.40	0.04	0.04	91.50	0.03
7	0.04	91.60	0.03	0.03	93.80	0.04
9	0.03	94.60	0.04	<0.03	>99.00	0.04
12	<0.03	>99.00	0.04	<0.03	>99.00	0.04

6. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์ไอออนระหว่าง Activatd carbon (เปลือกทุเรียน) และ ดินเบา (diatomite) ที่สภาวะ ปริมาณ Activated carbon ต่อดินเบา 1 : 1 , ความเข้มข้นของไซยาไนด์ไอออน 0.5 ppm , pH 9.0

ตารางที่ ค – 6 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความสามารถในการดูดซับไซยาไนด์ไอออนระหว่าง Activated carbon (เปลือกทุเรียน) และ ดินเบา (Diatomite) เมื่อเวลาสัมผัสต่างกัน

Activated Carbon (เปลือกทุเรียน)		Diatomite	
เวลาสัมผัส (Hr.)	[CN <sup>-</sup> ] สมดุล : Ce (ppm)	CN adsorption, %	capacity adsorption: q (mg/g)
1	0.20	59.30	0.02
3	0.20	61.10	0.02
5	0.16	68.50	0.03
7	0.15	70.40	0.03
9	0.06	87.50	0.03
12	0.04	91.20	0.03
		[CN <sup>-</sup> ] สมดุล : Ce (ppm)	capacity adsorption: q (mg/g)
		0.06	0.03
		0.05	0.03
		0.04	0.03
		0.03	0.04
		<0.03	0.04
		<0.03	0.04

7. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์ไอออนระหว่าง Activatd carbon (Filtra 300) และ ดินเบา (diatomite) ที่สภาวะ ปริมาณ Activated carbon ต่อดินเบา 1 : 1 , เวลาสัมผัส 2 ชั่วโมง , pH 9.0

ตารางที่ ค - 7 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความสามารถในการดูดซับไซยาไนด์ไอออนระหว่าง Activated carbon (Filtra 300) และ ดินเบา (Diatomite) เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์ ต่างๆกัน

Activated Carbon (Filtra 300)		Diatomite				
[CN] เริ่มต้น : Co (ppm)	[CN] สมดุล : Ce (ppm)	CN adsorption, %	capacity adsorption: q (mg/g)	[CN] สมดุล : Ce (ppm)	CN adsorption, %	capacity adsorption: q (mg/g)
0.50	0.05	90.60	0.03	0.03	95.00	0.04
1.00	0.07	93.20	0.07	0.06	94.20	0.07
5.00	0.42	91.50	0.34	0.44	91.30	0.34
10.00	0.69	93.10	0.70	1.49	85.10	0.64
20.00	1.63	91.90	1.38	4.38	78.10	1.17
30.00	3.21	89.30	2.01	8.18	72.70	1.64

## ภาคผนวก ง

### การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว

การวัดขนาดอนุภาคโดยทั่วไป มักจะแสดงผลในรูปของเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลม ซึ่งเป็นการแสดงผลในมิติเดียว และไม่สามารถบอกความแตกต่างลักษณะผิวของวัสดุที่มีรูปร่างไม่แน่นอน ซึ่งเป็นลักษณะโดยทั่วไปของอนุภาค การที่ผิวของอนุภาคไม่เรียบ จะมีผลให้พื้นที่ผิวโดยรวมของอนุภาคเพิ่มมากขึ้น และลักษณะโครงสร้างภายในอนุภาคจะทำให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้นไปอีก ลักษณะเช่นนี้ ในสารเคมีตั้งต้นจะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของอนุภาคเริ่มต้น

หลักการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของเครื่อง Surface analysis

ถ้าเราทราบปริมาตรของก๊าซที่ความดันหนึ่ง แล้วให้มันขยายตัวเข้าไปในอีกปริมาตรหนึ่ง ที่อุณหภูมิคงที่ เราก็สามารถหาความดันใหม่นั้นได้ โดยการคำนวณ โดยใช้สูตร

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

กลไกในการ Adsorb ของ  $N_2$  บนพื้นที่ผิว

กลไกในการ adsorb ของ  $N_2$  บนพื้นผิวแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 เมื่อป้อนก๊าซไนโตรเจนเข้าไปในของแข็งที่อุณหภูมิ 77 องศาเคลวิน เพียงเล็กน้อย และปล่อยเข้าสู่สมดุลโมเลกุลของไนโตรเจนจะเริ่มถูกดูดซับบนพื้นผิวของของแข็ง

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อเพิ่มความดันของก๊าซไนโตรเจน ก๊าซไนโตรเจนจะปกคลุมพื้นที่ผิวของของแข็งเพิ่มขึ้นพอร์มเป็นชั้นที่ 1 ซึ่งที่ขั้นตอนนี้จะใช้สมการ BET ในการคำนวณค่าพื้นที่ผิวของแข็ง

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อเพิ่มความดันของก๊าซขึ้นอีกจะมีโมเลกุลไนโตรเจนปกคลุมพื้นที่ผิวของแข็งหนาขึ้นเป็นหลายชั้น



ขั้นตอนที่ 4 เมื่อเพิ่มความดันของก๊าซไนโตรเจนต่อไปก็จะเกิดการปกคลุมของโมลกุลไนโตรเจนอย่างสมบูรณ์บนพื้นผิว ซึ่งในขั้นตอนนี้มีประโยชน์ต่อการหาขนาดของรูพรุนปริมาตรและการกระจายขนาดของรูพรุน

ส่วนประกอบของเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว รุ่น ASAP 2000

ระบบ ASAP 2000 แยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนการวิเคราะห์ (analyzer) และส่วนควบคุม (control module) ดังแสดงในรูปที่ ง -1

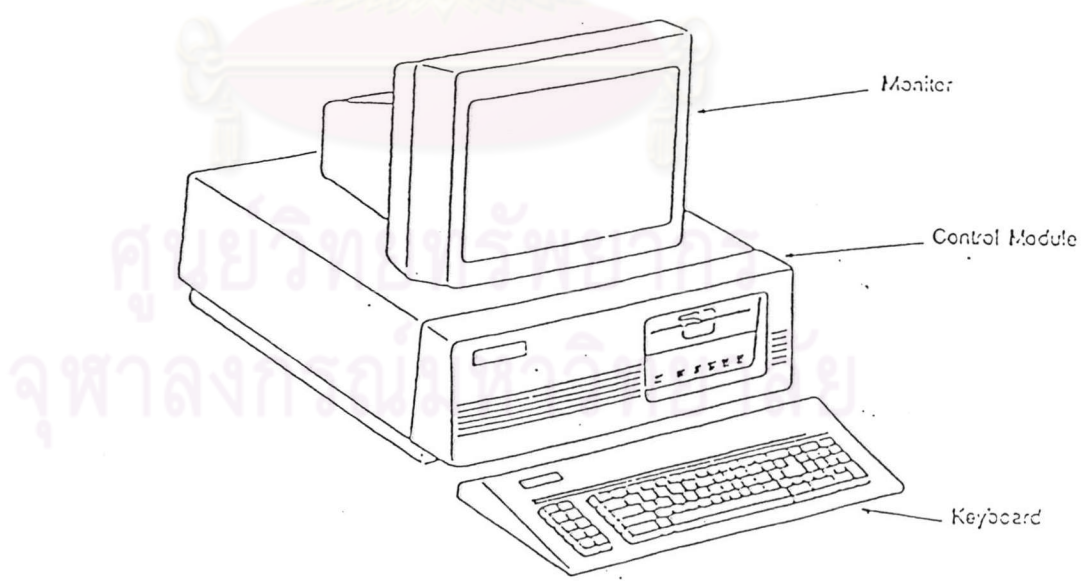
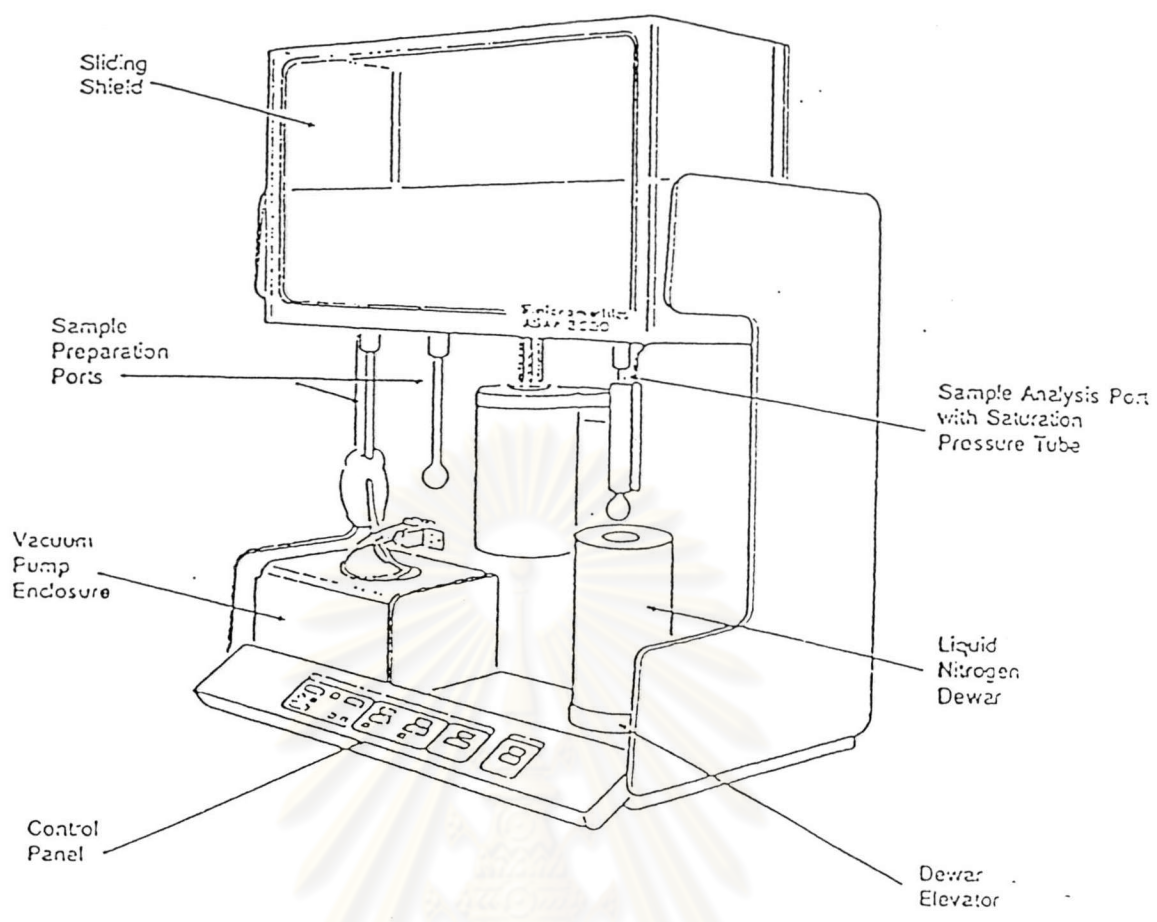
1. ส่วนการวิเคราะห์ (analyzer) แยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนการเตรียมตัวอย่างและส่วนการวิเคราะห์ตัวอย่าง

1.1 ส่วนการเตรียมตัวอย่างจะมี 2 port เพื่อไม่ให้เสียเวลาในการวิเคราะห์ในกรณีที่ตัวอย่างที่ 1 วิเคราะห์เสร็จเรียบร้อยแล้ว port ที่ 2 ก็พร้อมทำการวิเคราะห์ได้ทันที ในส่วนการเตรียมตัวอย่างนี้ มีระบบสุญญากาศเพื่อไล่ความชื้นและสิ่งเจือปนออกจากสารตัวอย่าง โดยมีถุงลีดความร้อนและเทอร์โมคัปเปิ้ล ติดตั้งอยู่ด้านล่าง 2 ชุด เพื่อให้การไล่ความชื้นและสิ่งเจือปนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 ส่วนการวิเคราะห์สารตัวอย่าง จะมีเพียง 1 port ซึ่งวิเคราะห์พื้นที่ผิวตัวอย่างและมีท่อความดันอิมตัว Po ติดตั้งอยู่ติดกับท่อวิเคราะห์สารตัวอย่างนอกจากนี้ด้านล่างยังมีเครื่องยกอัตโนมัติกระเปาะน้ำแข็งที่บรรจุไนโตรเจนเหลวเพื่อยกกระเปาะไนโตรเจนเหลวขึ้นมาควบคุมอุณหภูมิในหลอดสารตัวอย่างให้คงที่ ที่อุณหภูมิ 77 องศาเคลวิน

นอกจากนี้ยังมี cold trap (ซึ่งมีหน้าที่จับสิ่งสกปรกจากไอน้ำมัน) ตั้งอยู่ระหว่างส่วนการเตรียมตัวอย่างและส่วนการวิเคราะห์สารตัวอย่าง และยังมีพลาสติกเลื่อนป้องกัน (slide shield) สามารถเลื่อนขึ้นลงได้เพื่อความปลอดภัยและความสะดวกในการทำงาน

2. ส่วนควบคุม (control module) ประกอบด้วยคีย์บอร์ด จอภาพ และเครื่องพิมพ์ ใช้ในการควบคุม ตั้งค่าตัวแปรต่างๆประสานการทำงานกับส่วน analyzer และ เป็นส่วนประเมินผลพื้นที่ผิวของสารตัวอย่าง และการกระจายขนาดรูพรุน



รูปที่ ง-1 ส่วนประกอบของเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว ASAP 2000

## การเตรียมตัวอย่างและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเครื่อง ASAP 2000

### การเตรียมตัวอย่าง

โดยทั่วไปผงตัวอย่างมักดูดความชื้น และสิ่งเจือปนในบรรยากาศได้ง่ายจึงควรนำตัวอย่างที่จะใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่ผิวไปอบให้แห้งเสียก่อน หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างมาใส่ความชื้นและสิ่งเจือปนอีกครั้งที่ส่วนการเตรียมตัวอย่าง เพื่อให้ได้น้ำหนักสารตัวอย่างที่แน่นอน สำหรับปริมาณตัวอย่างที่จะใช้วิเคราะห์พื้นที่ผิวควรมีปริมาณพื้นที่ผิวอย่างต่ำ 10 ตารางเมตร ซึ่งถ้ามีตัวอย่างน้อยกว่านี้อาจมีผลให้ข้อมูลที่ได้อาจผิดพลาด แต่ถ้าใส่ตัวอย่างมากเกินไปก็จะเสียเวลาวิเคราะห์โดยไม่จำเป็น แต่มีข้อควรระวัง คือ ถ้าสารตัวอย่างที่มีพื้นที่ผิวสูงมาก ก็จะใช้สารมีปริมาณเพียงเล็กน้อยซึ่งอาจทำให้การชั่งน้ำหนักเกิดความผิดพลาดได้ง่าย เป็นผลให้การวิเคราะห์พื้นที่ผิวผิดพลาดด้วย

### การเตรียมอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่ผิวประกอบด้วยหลอดใส่สารตัวอย่าง แท่งแก้ว ห่วงยาง (O-ring) และจุกยาง

ก่อนที่จะนำหลอดใส่สารตัวอย่างและแท่งแก้วมาใช้ ต้องทำความสะอาด โดยใช้แปรงจุ่มน้ำสบู่ ทำความสะอาดภายในหลอดและ rinse ด้วยน้ำร้อนและอะซิโตนแล้วนำไปใส่ในเครื่องทำความสะอาดอุลตราโซนิกให้สิ่งสกปรกหลุดออกจนหมด แล้วจึงนำไปอบให้แห้ง ในการใช้อุปกรณ์เหล่านี้ควรให้อยู่ใน set เดียวกันตลอด เพื่อความสะอาดและไม่สับสนในการชั่งน้ำหนักแต่ละครั้ง

ศูนย์วิทยาศาสตร์พยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ภาคผนวก จ

### Scanning Electron Microscope (SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope หรือ SEM) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาลักษณะและวิเคราะห์รายละเอียดโครงสร้างขนาดเล็กของวัตถุ เนื่องจากมีกำลังขยายสูงกว่ากล้อง optical Microscope ทั่วไป ในปัจจุบันเครื่อง SEM ได้ถูกพัฒนาให้มิกำลังขยายสูงขึ้น เพื่อขยายขอบเขตความสามารถในการทำงานจนในปัจจุบันนี้สามารถศึกษาโครงสร้างที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรได้ นอกจากนี้ได้นำเครื่อง Wavelength Dispersive Spectrometer (WDS) หรือเครื่อง Energy Dispersive Spectrometer (EDS) มาประกอบเข้ากับเครื่อง SEM เพื่อให้สามารถทำการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของสารตัวอย่างได้จากบริเวณที่ต้องการศึกษาจริง โดยการวิเคราะห์สามารถทำได้ทั้งแบบ qualitative และ quantitative

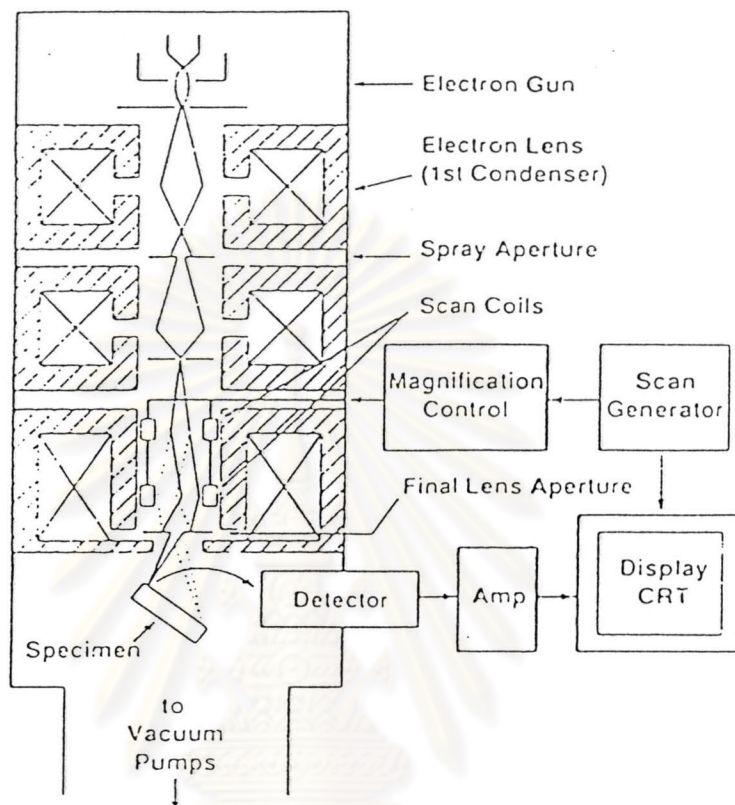
#### หลักการทำงานของเครื่อง SEM

เครื่อง SEM จะประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญต่างๆ ดังรูป จ-1 เมื่อพิจารณาตามหลักการทำงานของเครื่องสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบ คือ

1. ระบบการผลิตลำอิเล็กตรอน
2. ระบบการจับและถ่ายทอดสัญญาณ
3. ระบบการสร้างภาพ

ในระบบการสร้างลำอิเล็กตรอนจะถูกสร้างขึ้นในส่วนประกอบของเครื่อง ที่เรียกว่า ปืนอิเล็กตรอน (Electron gun) ซึ่งในปืนอิเล็กตรอนจะประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ มีไส้หลอด (filament) ส่วนมากใช้โลหะทังสเตนต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ทำหน้าที่เป็นขั้วคาโทด Wehnelt cap ทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด เมื่อให้ความต่างศักย์เข้าไปสูงเกินกว่าค่า work function ของโลหะทังสเตน อิเล็กตรอนจากไส้หลอดจะหลุดออกมาแล้ววิ่งไปยังขั้วแอโนด โดยวิ่งผ่าน Wehnelt cap หรือ Grip cap ที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมให้อิเล็กตรอนวิ่งออกจากขั้วคาโทดเป็นลำผ่านไปยังขั้วแอโนด จากนั้นอิเล็กตรอนจะถูก Condense ให้เป็นลำโดยอิเล็กตรอนเลนส์ ซึ่งจะทำหน้าที่เป็น condenser lens เพื่อบังคับให้อิเล็กตรอนวิ่งไปยังชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์ทดสอบ





รูปที่ ๑-1 ส่วนประกอบของเครื่อง SEM

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่ออิเล็กตรอนวิ่งชนวัตถุที่นำมาทดสอบจะเกิดปฏิกิริยาต่างๆขึ้น โดยพลังงานส่วนหนึ่งของอิเล็กตรอนจะสูญเสียไปเป็นพลังงานความร้อน และที่เหลือจะทำให้เกิดสัญญาณต่างๆ ตามความลึกของอิเล็กตรอนที่กระทบกับวัสดุ

### การเตรียมสารตัวอย่าง

ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสารและข้อมูลที่ต้องการ การเตรียมสารที่สำคัญได้แก่

สารตัวอย่างผง : สามารถกระจายลงบน stud โดยตรงหรืออัดผงเป็นก้อน ก้อนก็ได้  
 พื้นผิวที่ขัดแล้ว : ทำได้โดยขัดด้วยกระดาษ SiC แล้วขัดต่อด้วยผงขัดที่ละเอียด เช่น diamond paste แต่รายละเอียดโครงสร้างขนาดเล็กจะสามารถเห็นได้ต่อเมื่อนำพื้นผิวที่ขัดแล้วไปผ่านกระบวนการ etching ด้วยความร้อนหรือเคมี

พื้นผิวที่หัก (Fracture surface) ปกติเตรียมจากการทดสอบค่าทางกล

ข้อสังเกต : ดึงที่กล่าวแล้วเมื่ออิเล็กตรอนชนสารตัวอย่างจะเกิด SEs และ BSEs ซึ่งจะมีประจุบางส่วนเหลืออยู่บนสารตัวอย่างและไหลลงสู่สายดินถ้าสารตัวอย่างนี้ นำไฟฟ้า ถ้าสารตัวอย่างนั้นไม่นำไฟฟ้าจะเกิดศักย์ไฟฟ้าบนสารตัวอย่าง ซึ่งอาจสูงพอจนเป็นเสมือนกระจกอิเล็กตรอน (electron mirror) สะท้อนลำอิเล็กตรอนออกจากสารตัวอย่างไปสู่ผนังทางเดินอิเล็กตรอน

ดังนั้นเพื่อป้องกันกระบวนการนี้ จึงควรเคลือบสารตัวอย่างที่ไม่นำไฟฟ้าด้วยทอง กราไฟต์ หรือแพลทินัม-พัลเลเดียม

### ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง SEM

ขึ้นอยู่กับชนิดของสารตัวอย่าง

สารตัวอย่างผง

- รูปร่าง จะได้รูปร่างต่างๆของอนุภาค เช่น รูปร่างทรงกลม วงรี เกล็ด หรืออื่นๆ
- ขนาด จะได้ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาค

### พื้นผิวที่ขัดแล้ว

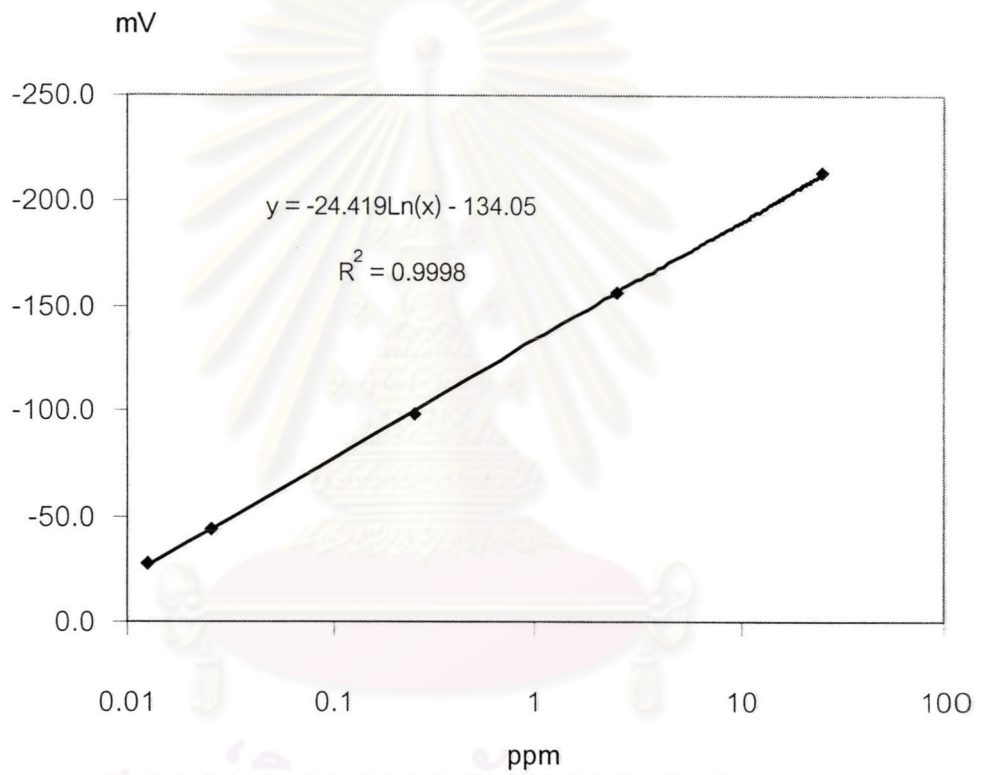
- ขนาดรูเปิด รูเปิดและรูปร่างซึ่งจะแสดงถึงระดับความหนาแน่นของสารตัวอย่าง
- ขนาดเกรน ขนาดเกรนและการกระจายจะแสดงถึงกระบวนการ sintering และบทบาทของตัวเติม (additives)
- การกระจายเฟส การแยกและตำแหน่งของเฟสที่สอง (secondary phase) จะแสดงถึงบทบาทและการเข้ากันได้

### พื้นผิวที่หัก

จะได้ข้อมูลรอยแตก ซึ่งอาจเป็นรอยแตกระหว่างเกรน (intergrain) หรือรอยแตกผ่านเกรน (intragrain) ซึ่งรอยแตกเหล่านี้มักเกิดจากตำแหน่งที่อ่อนที่สุดในสารตัวอย่าง เช่น ตำแหน่งรูเปิด บริเวณเฟสที่สอง หรือบริเวณที่มีรอยแตกเล็กๆ (microcracks)

## ภาคผนวก จ

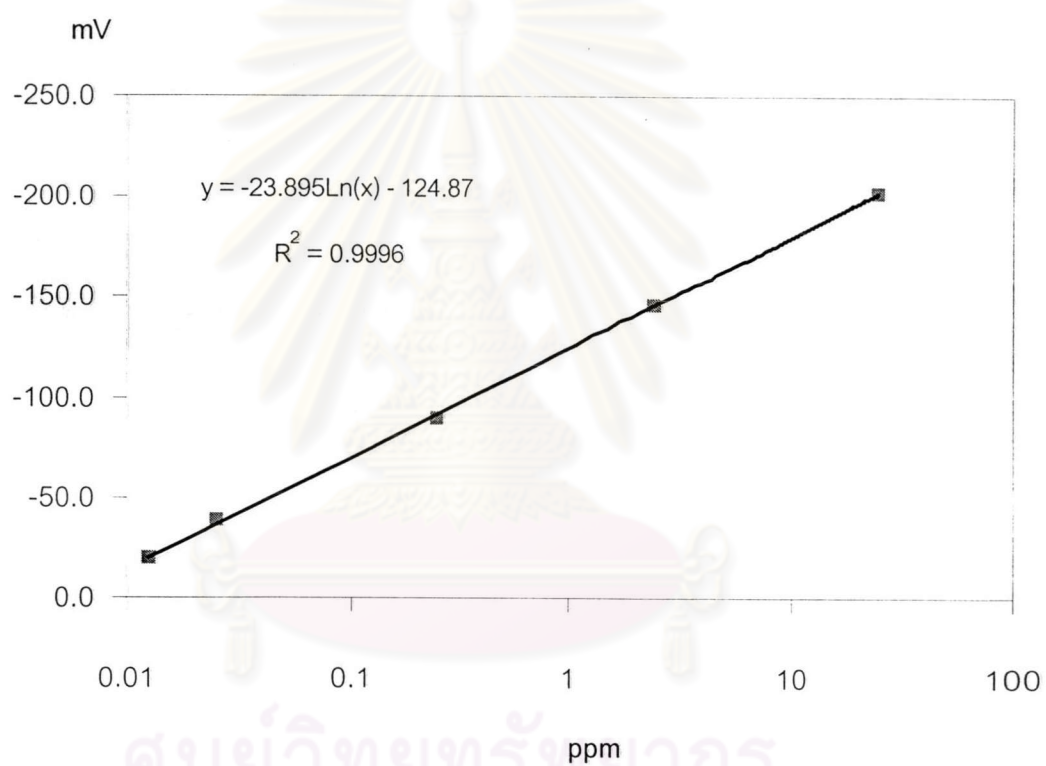
1. กราฟสารละลายมาตรฐานของไซยาไนด์ไอออน เพื่อหาปริมาณตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ และพีเอชของสารละลายที่เหมาะสมต่อการดูดซับด้วยดินเบา



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

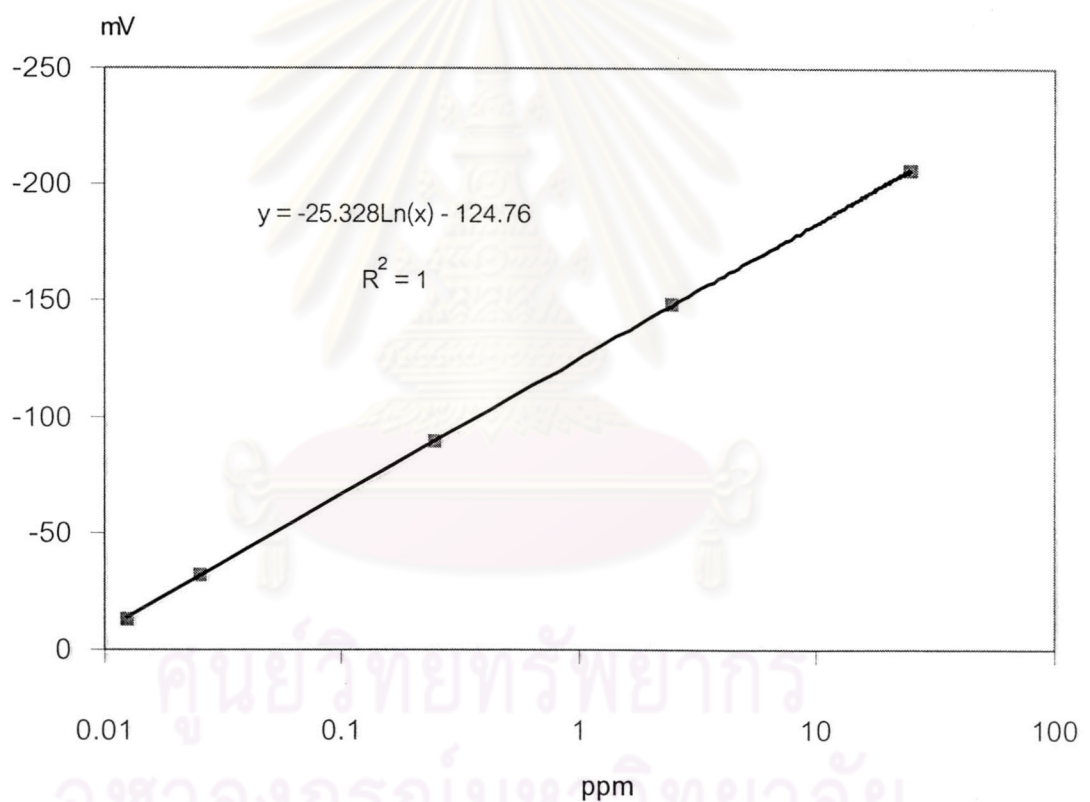


2. กราฟสารละลายมาตรฐานของไซยาไนด์ไอออน เพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายไซยาไนด์ไอออนที่เหมาะสมในการดูดซับด้วยดินเบา

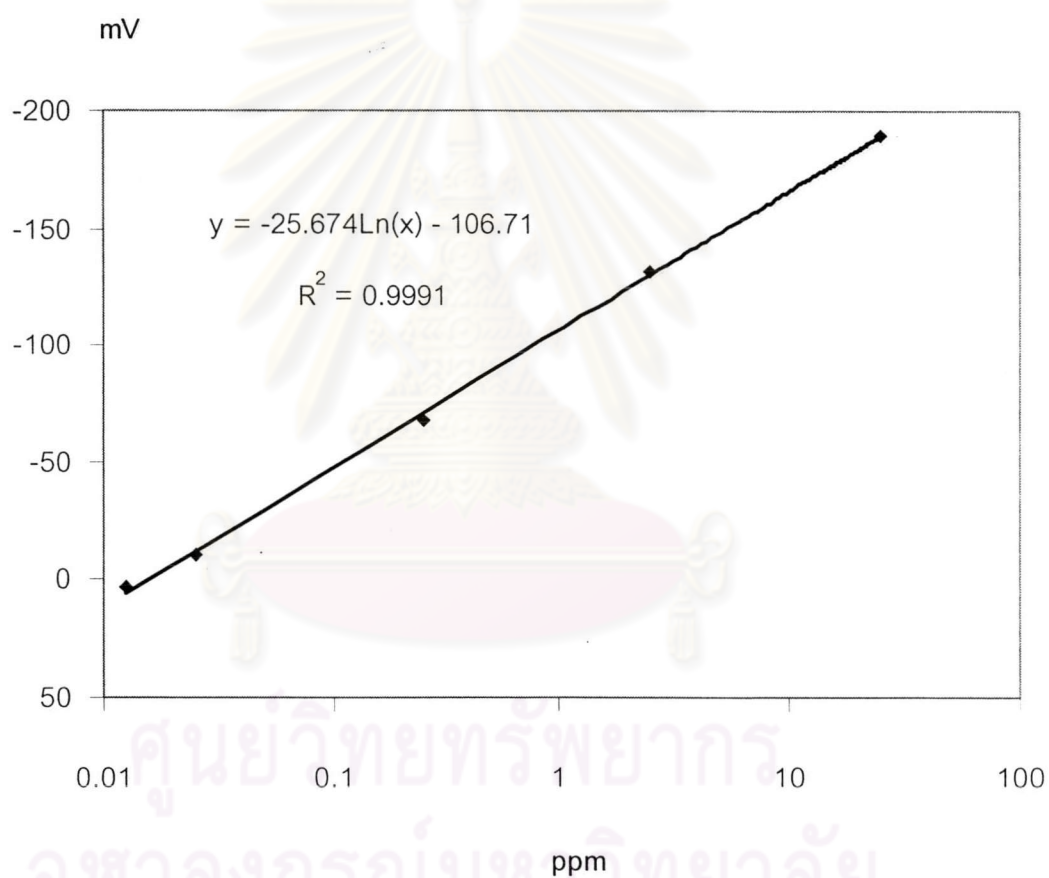


ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. กราฟสารละลายมาตรฐานไซยาไนด์ไอออน เพื่อหาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับด้วยดินเบา



4. กราฟสารละลายมาตรฐานโซเดียมไนไตรต์ไอออน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับระหว่างดินเบา และถ่านกัมมันต์



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศุภวรรณ เกตุคุ้ม เกิดเมื่อวันที่ 27 กันยายน 2517 ที่จังหวัดปราจีนบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป(สิ่งแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2540 ด้วยทุนกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม และบรรจุเข้ารับราชการเพื่อใช้ทุนฯ ที่กองการศึกษาเคมีปฏิบัติ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2540 ในตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ระดับ 3 หลังจากนั้นจึงได้รับการคัดเลือกเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2543 จนกระทั่งสำเร็จการศึกษา ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2545



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย