

รายการอ้างอิง

1. Yokart , B. Mineralogy and geochemistry of lead-zinc deposits in Northwestern Thailand . Master's Thesis . Chiang Mai : Department of geology Chiang Mai University , 1977 .
2. อมรศักดิ์ สุทธิจินดาวงศ์ , หัวหน้าแผนกธรณีวิทยา . สัมภาษณ์ .(ม.ป.ท.,ม.ป.ป.) .
3. ขวัญชัย ธีเฝ้าพันธุ์ . การแต่งแร่ 2 . กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2530 .
4. Clarence , T. Standard flotation separation . vol . 6 . New York : Interscience Encyclopedia , 1961 .
5. Weiss, N.L. Lead and zinc . SME Mineral Processing Handbook (n.p.,n.d.) .
6. Cyanamid Mining Chemical Handbook . eds. Oxidized lead zinc ores. (n.p.,n.d.) .
7. นันทพร ลิมปรีวัฒนา . การแต่งแร่สังกะสีออกจากเหล็ก . เชียงใหม่ : ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , 2544 .
8. รายงานการทดลองลอยแร่สังกะสีที่ขนาด +325 Mesh . ตาก : ผาแดงอินดัสทรี , 2545.
9. รายงานการทดลองลอยแร่สังกะสีที่ทำการ Desliming ที่ 25 ไมครอน . กาญจนบุรี : KEMCO , 2543.
10. วิชา อินเงิน และ สันติภาพ สายเสรีภาพ . การศึกษาเปรียบเทียบการลอยแร่ Slime แร่สังกะสีชนิดเกิดระหว่าง column flotation cell กับ conventional cell . กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2547 .
11. Allen , C. R. SongTho - Boh Yai Zn-Pb-Ag district Kanchanaburi district Thailand . U.S.A : Cominco America Progressive Report , 2000 .
12. Arbiter , N., and Harris , C.C. Flotation kinetics . Froth Flotation 50th Anniversary Volume . U.S.A : The American Institute of Mining , Metallurgical , and Petroleum Engineers ,1962 .
13. Palmer, B.R., Gutierrez, G.B., and Fuerstenau , M.C. Mechanisms involved in the flotation of oxides and silicates with anionic collectors . U.S.A : Trans AIME , 1975 .

14. Bruyn , P.L., and Agar , G.E. Surface chemistry of flotation . Froth Flotation 50th Anniversary Volume . U.S.A : The American Institute of Mining , Metallurgical , and Petroleum Engineers ,1962 .
15. Booth, R.B., and Freyberger , W.L. Froths and frothing agents . Froth Flotation 50th Anniversary Volume . U.S.A : The American Institute of Mining , Metallurgical , and Petroleum Engineers ,1962 .
16. Diehl , P ., and Kern , H. Geology mineralogy and geochemistry of carbonat - hosted lead-zinc deposits in Kanchanaburi province Western Thailand . Econ.Geol . German : (n.p.) , 1981 .
17. Fowkes , F.M. Surfaces and Interfaces 1 : Chemical and physical characteristics . New York : Syracuse University , 1967 .
18. Fuerstenau , D. W. Fine particle flotation : Fine particles processing. Las Vegas : (n.p.) ,1960 .
19. German . Geological Survey of the Federal Republic . Final report of the German geological mission to Thailand . German : Hannover , 1972 .
20. Lewis , G.N., and Randall , M. Thermodynamic . Second Ed . New York : Mc Graw - Hill Book , 1961 .
21. Gaudin , A. M. Flotation . Second Editon . New York : McGraw - Hill Book , 1957 .
22. Gaudin , A. M. Principles of mineral dressing . New York : McGraw-Hill Book , 1939 .
23. Glembotski , V. A., Klassen , V. I., and Plaksin , I.N. Flotation . Primary Sources . New York : (n.p.) , 1963 .
24. Iwasaki , I.S., Cooke , R.B., and Kim , Y.S. Some surface properties and flotation characteristics of magnetite . New York : Trans AIME , 1962 .
25. Rogers , J. Principles of sulfide mineral flotation .Froth Flotation 50th Anniversary Volume . New York : The American Institute of Mining , Metallurgical ,and Petroleum Engineers ,1962 .

26. Janusz , W., Szymula , M., and Szczypa , J. Flotation of synthetic zinc carbonate using potassium ethylxanthate . (n.p.) , 1983 .
27. Yopps , J.A., and Fuerstenau , D.W. The zero point of charge of alpha-alumina colloid . (n.p.) , 1964 .
28. Mining Chemical Handbook . eds. Flotation lead and zinc . (n.p.,n.d.) .
29. Mayer, E., and Schranz , H. Flotation .(N.P.) , 1931 .
30. Permthong , P . Aspects of geology and mineragraphic studies of strata -bound lead-zinc orebodies at Song Toh mine Kanchanaburi . Master's Thesis .
Bangkok : Department of geology Chulalongkorn University , 1982 .
31. Pedall , K.G. Geology and mining of lead ore deposits in Kanchanaburi province Western Thailand in first Asia Pacific mining . Bangkok : Central Plaza Hotel , 1988 .
32. Rabone , P . Circuit for lead-zinc ores in flotation plant practices .(n.p.) , 1956 .
33. Rey , M., Sitia , G., Raffinot , P., and Formanek , W. Flotation of oxidized zinc ores . New York : Trans. AIME , 1954 .
34. Smith , R.W., and Trivedi , N. Variation of point zero charge of oxide minerals as a function of ageing time in water . New York : Trans AIME , 1974 .
35. Smith , R.W., and Akhtar , A. Cationic flotation of oxides and silicates . New York : Trans AIME , 1976 .
36. Read , A.D., and Manser , R.M. The action of fluoride as a modifying agent in silicate flotation . Mineral Processing . (n.p.) , 1974 .
37. Suthum , Y., and Ngampit , Y. Economic geology . Bangkok : Economic Geology Division Department of Mineral Resources , 2519 .
38. Zheng , M., and Wang , X. Genesis of the Daliangzi Pb-Zn deposit in Sichuan Chaina Econ. Geol . Chaina : (n.p.) ,1991 .
39. ทรัพย์ากรธรณี , กรม . คู่มือการแต่งแร่ . กรุงเทพมหานคร : กรมทรัพย์ากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม , 2517.

40. นิคม โชติกานนท์ . การแต่งแร่ . เชียงใหม่ : ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ , 2536 .
41. สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย . การจำลองแบบวงจรลอยแร่ฟลูออไรด์ . กรุงเทพมหานคร : ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2534 .
42. สมพร อติศักดิ์พานิชกิจ และ สุรชัย โกเมนธรรมโสภณ . โครงการศึกษาการทำเหมืองใต้ดิน เหมืองแร่ตะกั่ว . กรุงเทพมหานคร : ฝ่ายพัฒนาเหมืองแร่และเหมืองหินกองการเหมืองแร่, 2529 .
43. โอฟาร์ ศุกลวณิช . รายงานการฝึกงานที่เหมือง KEMCO . กรุงเทพมหานคร : ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2544 .



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

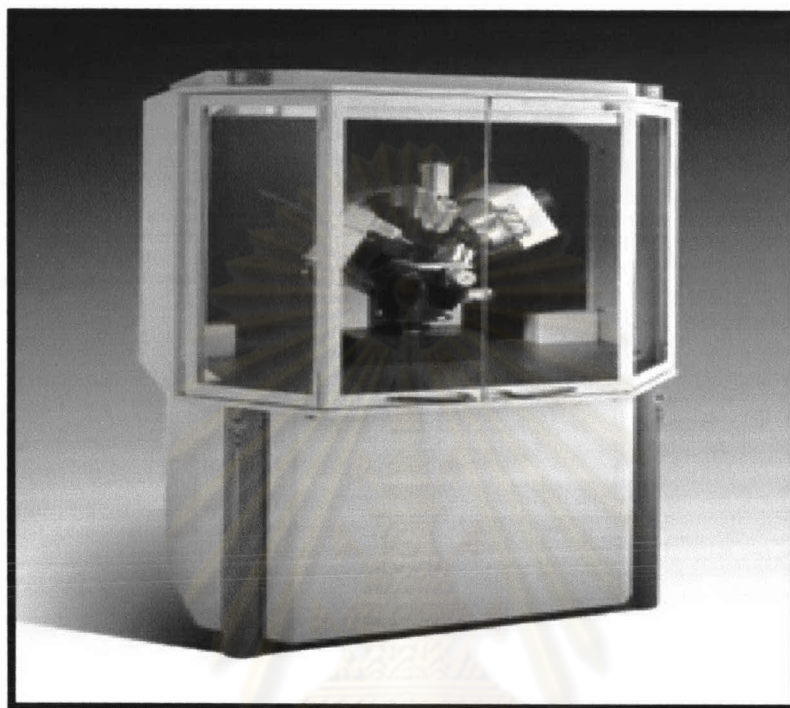


ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-Ray Diffractometer)



รูปแสดงเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD)

เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-Ray Diffractometer) เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุในรูปของสารประกอบ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD) ถูกนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในการค้นคว้าวิจัยสำหรับวิทยาศาสตร์พื้นฐานรวมทั้งในด้านอุตสาหกรรมต่างๆ โดยทั่วไปสามารถประยุกต์ใช้ในด้านของธรณีวิทยา ในด้านของเคมีเกี่ยวกับอนินทรีย์สาร ในด้านของฟิสิกส์ ในด้านการค้นคว้าวิจัยอุปกรณ์เครื่องมือ และในด้านของอุตสาหกรรมแร่ธาตุต่างๆ เป็นต้น หลักการการทำงานของเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD) สามารถอธิบายได้ คือ ในอะตอมหนึ่งของธาตุใดๆจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ นิวเคลียสและอิเล็กตรอน เมื่อลำอิเล็กตรอนซึ่งเป็น Primary Electron ถูกยิงเข้าสู่ผิววัตถุก็จะเคลื่อนที่ไปชนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่อยู่รอบนิวเคลียสของอนุภาคแล้วสะท้อนกลับออกมาอิเล็กตรอนที่สะท้อนกลับออกมาเรียกว่า Backscatter Electron ส่วนอิเล็กตรอนที่ถูกชนได้รับการถ่ายเทพลังงาน Backscatter Electron ทำให้มีพลังงานสูงกว่าแรงดึงดูดจากนิวเคลียสจึงเคลื่อนที่หลุดออกจากวงโคจร อิเล็กตรอนตัวนี้เรียกว่า Secondary Electron หาก Secondary

Electron เป็นอิเล็กตรอนที่หลุดจากวงโคจรชั้นในแล้ว อิเล็กตรอนจากวงโคจรชั้นนอกที่มีพลังงานจลน์สูงกว่า ก็จะกระโดดเข้ามาแทนที่ ทำให้เกิดการคายพลังงานออกมา ซึ่งจะถูกตรวจจับโดยเครื่องตรวจจับสัญญาณและเนื่องจากว่าค่าพลังงานในแต่ละชั้น วงโคจรของในแต่ละธาตุ จะมีค่าเฉพาะตัว ขึ้นอยู่กับขนาดและรัศมีของวงโคจร จึงสามารถทราบได้ว่าเป็นธาตุใด ในขณะที่เดียวกันก็มี Primary Electron บางส่วน ที่ไม่ชนกับอิเล็กตรอนรอบวัตถุเลยและเคลื่อนที่ผ่านนิวเคลียส จึงถูกแรงดึงดูดจากนิวเคลียสเบี่ยงเบนแนวการเคลื่อนที่ให้อิเล็กตรอนกลับขึ้นมา อิเล็กตรอนส่วนนี้เรียกว่า Auger Electron

จากสูตร $n\lambda = 2d\sin\theta$ (θ คือ มุมที่กวาดตอนทำ XRD)

ค่าที่สนใจคือค่า d ซึ่งคือ ระยะระหว่างอะตอมในผลึก อันเกิดจากการเชื่อมพันธะ ค่า d เป็นค่าเฉพาะในแต่ละธาตุ หากทราบค่านี้ก็จะทราบโครงสร้างของธาตุ ทำให้ทราบว่าธาตุที่วิเคราะห์เป็นธาตุใด และจาก $d = \lambda / (2\sin\theta)$ ก็จะสามารถบอกชนิดโครงสร้างของสารประกอบได้ ในการทำ XRD ดังนั้น เมื่อรังสีกระทบตัวอย่าง รังสีจะเกิดการกระจาย จึงต้องใช้ Collimator และ Crystal มาจับให้รวมกันเครื่องตรวจจับจึงสามารถตรวจจับและแปลข้อมูลออกเป็นกราฟได้

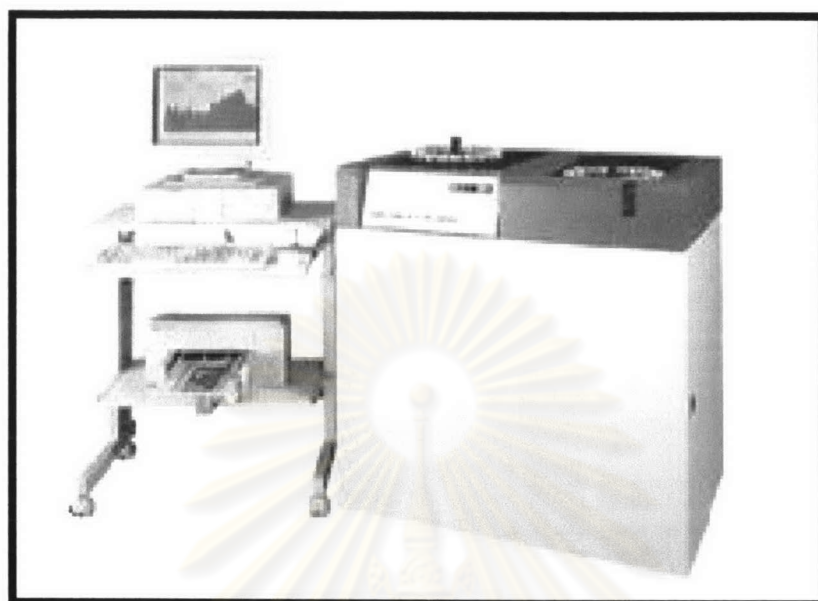
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์(X-Ray Fluorescence Spectrometer:XRF)



รูปแสดงเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์ (XRF)

เมื่อปี ค.ศ. 1895 W.C. Rontgen ได้ค้นพบรังสีเอกซ์ (X-Ray) ซึ่งเป็นสเปกตรัมของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงหนึ่ง มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.1-100 อังสตรอม (\AA) หรือ 0.1-10 nm แต่ที่ใช้ในทางเคมีวิเคราะห์จะอยู่ในช่วง 0.07-0.2 nm รังสีเอกซ์จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์หลายๆอย่าง ซึ่งการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์ เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีเป็นแบบไม่ต้องทำลายตัวอย่าง (Non-Destructive Analysis) สามารถทำได้ทั้งวิเคราะห์ธาตุเดี่ยวๆทีละธาตุ (Sequential) หรือวิเคราะห์หลายธาตุพร้อมกัน (Simultaneously) โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ทันสมัยมีความสามารถสูงได้นำมาใช้ในระบบข้อมูลด้วย ช่วยให้เทคนิคนี้ได้รับความนิยมมากขึ้น ทั้งในด้านอุตสาหกรรมและการวิจัย เพราะสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ทางเคมีได้แทบทุกชนิดของสารตัวอย่างในระดับความเข้มข้นสูงไปจนถึงความเข้มข้นต่ำ บางครั้งสามารถวิเคราะห์ได้ถึงระดับ Trace Analysis (ppm) ซึ่งวิเคราะห์ได้ง่ายและรวดเร็ว การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทาง XRF มีอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบที่วัดความยาวคลื่น (Wavelength Dispersion System) และระบบที่วัดเป็นพลังงาน (KeV) (Energy Dispersion System) โดยในการวิเคราะห์สารด้วยเทคนิคทาง XRF นั้นมีหลักการและขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการดังนี้ คือ ลำรังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่อง X-ray Generator (ซึ่งมีหลอดรังสีเอกซ์อยู่) จะถูกส่งไปยังสารตัวอย่าง

เพื่อให้เกิดอันตรกิริยากับธาตุต่างๆในสารตัวอย่าง แล้วเกิดเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ขึ้นให้เอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ผ่านคอลลิเมเตอร์ (Collimator) เพื่อทำให้ลำรังสีเอกซ์เป็นลำขนานและไปในทิศทางที่ต้องการ คือ ไปกระทบกับ Analysis Crystal ซึ่งอยู่ในสเปกโตรมิเตอร์ที่ทำให้เป็นสัญญาณภาคหรือความกดดันต่ำมากๆ Analysis Crystal นี้จะทำหน้าที่กระจายหรือแยกรังสีเอกซ์ออกไปให้มีความยาวคลื่นต่างๆกัน คล้ายกับเกรตติงทำหน้าที่แยกแสงในเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์ รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นต่างๆกันจะถูกวัดความเข้มหรือกำลัง (Power) ด้วยการสแกน (Scan) ของดีเทคเตอร์ สัญญาณที่วัดได้จะถูกส่งไปยังเครื่องเก็บข้อมูลแล้วถ่ายทอออกมาเป็นสเปกตรัมด้วยเครื่อง Printer หรือ Recorder จากข้อมูลที่ได้ทั้งของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างสามารถนำไปใช้วิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตะแกรงมาตรฐาน (Sieve)



รูปแสดงตะแกรงมาตรฐาน (Sieve)

การวิเคราะห์หขนาดโดยใช้ตะแกรงมาตรฐานเป็นวิธีที่นิยมกันมาก ตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยเส้นลวดนำมาสานกันทำให้เกิดเป็นช่องสี่เหลี่ยมและมักบอกขนาดเป็นเมช (Mesh) ตะแกรงขนาด 10 เมช ซึ่งหมายถึงระยะความยาว 1 นิ้วจะมีช่องรูตะแกรงจำนวน 10 ช่อง และช่องหนึ่งจะมีความกว้าง 0.1 นิ้ว หักออกเสียจากเส้นผ่าศูนย์กลางของลวด ดังนั้นคำว่าเมช จึงยังไม่ได้บอกขนาดที่แท้จริงของอนุภาคที่ผ่านลวดรูตะแกรงจนกว่าจะทราบขนาดเส้นลวดที่โรงงานต่าง ๆ นำมาใช้สานทำตะแกรง วิธีง่าย ๆ อีกวิธีหนึ่งจะทราบขนาดของช่องตะแกรงเป็นเมช ก็คือ เมื่อทราบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดและช่องว่าง (หน่วยเป็นนิ้ว) แล้วนำตัวเลขทั้งสองไปรวมกันแล้วหาร 1 ผลลัพธ์ที่ออกมาจะเป็นเมช เช่น ตะแกรงมีช่องว่าง 0.0015 นิ้ว และมีเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดเท่ากับ 0.0010 นิ้ว เมื่อนำมารวมกันจะได้ 0.0025 นิ้วเมื่อนำไปหาร 1 จะได้เท่ากับ 400 คือขนาดของตะแกรงนั้นเป็น 400 เมช ตะแกรงชุดหนึ่ง ๆ มักจะมีกฎเกณฑ์ขนาดของรูลดหลั่นลงไป ถ้าจะใช้หลักการก้าวหน้าทางเลขคณิต (Arithmetic Series) อย่างง่าย ๆ คือ 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 และ 1 นิ้วตามลำดับ จะเห็นว่าหลักนี้ไม่เหมาะสมเพราะว่าอนุภาคขนาด 1 นิ้ว และ 2 นิ้วมีขนาดแตกต่างกันมาก ซึ่งตรงกันข้ามกับอนุภาคขนาด 9 นิ้วและ 10 นิ้ว ซึ่งดูแล้วเกือบจะไม่เห็นความแตกต่าง ดังนั้นจึงมีผู้คิดค้นใหม่โดยหาตัวคงที่มาคูณ เช่น ใช้ 2 เป็นตัวคูณ ตัวเลขจะออกมา 8, 4, 2 และ $\frac{1}{2}$ นิ้ว เป็นต้น ซึ่งอยู่ในระบบความก้าวหน้าทางเลขคณิต (Geometric Series) แต่ต่อมาได้มีการแก้ไข $\sqrt{2}$ เป็นตัวคูณ และได้กลายเป็นมาตรฐานของ

ตะแกรงที่ใช้กันในประเทศสหรัฐอเมริกาในปัจจุบันในงานคัดคว่ำบางงานใช้ $4\sqrt{2}$ เป็นตัวคูณและทางบริษัทผู้ผลิตได้ยึดเอาตะแกรงขนาด 200 เมชเป็นมาตรฐาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 75 ไมครอนหรือ 0.075 มิลลิเมตร ตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ในงานคัดขนาดทั่วไป จะอยู่ระหว่าง 3 ถึง 400 เมช เป็นส่วนใหญ่ โดยขนาด 400 เมช เท่ากับขนาดของรูตะแกรง 38 ไมครอน (1 ไมครอน = 1/1,000 มิลลิเมตร) สำหรับการคัดขนาดด้วยตะแกรงที่มีรูขนาดเล็กกว่านี้ จะใช้ตะแกรง Micromesh ซึ่งสามารถคัดขนาดได้เล็กถึง 5-10 ไมครอน การคัดขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐานนี้ ทำได้โดยการนำเอาอนุภาคของแข็งไปผ่านบนตะแกรงที่มีขนาดต่างๆ แต่หากต้องการคัดขนาดออกมาหลายๆขนาดก็ต้องวางชุดตะแกรง (Stack of Sieves) เป็นหลายๆชั้น ตะแกรงมาตรฐานที่ใช้คัดขนาดจะติดอยู่กับส่วนล่างของโลหะทองเหลืองรูปกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 8 นิ้ว สูงประมาณ 2 นิ้ว ตะแกรงชุดหนึ่งจะประกอบไปด้วยตะแกรงขนาดต่างๆมีฝาปิดครอบที่ตะแกรงชั้นบนสุดและชั้นล่างสุดจะมี Pan รองรับ Pan มีรูปร่างลักษณะคล้ายกับตะแกรงทุกๆไป แต่ข้างล่างแทนที่จะมีลวดเป็นตะแกรง กลับเป็นโลหะที่บสำหรับรองรับอนุภาคที่ผ่านตะแกรงชั้นที่เหนือกว่าไว้ หลังจากการคัดขนาดจะมีอนุภาคค้างอยู่บนตะแกรง เรียกว่า อนุภาคขนาดเกิน (Oversize) สิ่งที่ต้องระวังในการคัดขนาดก็คือ อย่าใช้ตัวอย่างมากเกินไปในการทดลองครั้งหนึ่งๆ เพราะอนุภาคจะเกิดการอุดตันในรูตะแกรงมาก และอาจจะทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต ซึ่งจะทำให้อนุภาคเม็ดเล็กๆเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ผิดไป นอกจากนี้ความชื้นจะต้องมีน้อยที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กล้องจุลทรรศน์ (Reflected Light Microscope)



รูปแสดงกล้องจุลทรรศน์ (Reflected Light Microscope)

กล้องจุลทรรศน์แบบ (Reflected Light Microscope) เป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ส่องดูวัตถุที่มีขนาดเล็ก ขยายให้เป็นภาพขนาดใหญ่และมองเห็นรายละเอียดมากขึ้นส่วนใหญ่คุณสมบัติการสะท้อนของแสงออกแบบมาใช้กับแร่พวก (Opque Mineral) ปกติตาคนเราจะมีความสามารถในการจำแนกรายละเอียด (Resolving Power) เพียง 0.25 มิลลิเมตร ถ้าใช้กล้องจุลทรรศน์ช่วยจะสามารถแจจแจงรายละเอียดได้ถึง 0.25 μm โดยทั่วไปถ้ากล่าวถึงกล้องจุลทรรศน์จะหมายถึงกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical หรือ Light Microscope) ซึ่งสามารถขยายภาพสูงสุดไม่เกิน 2,000 เท่า ใช้ประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้างานทางด้านวิทยาศาสตร์ได้หลายสาขาวิชา ส่วนประกอบที่สำคัญของกล้องจุลทรรศน์แบบ (Reflected Light Microscope) ได้แก่

เลนส์ใกล้วัตถุ (Objective) เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของกล้อง ทำหน้าที่ในการขยายและให้รายละเอียดของภาพมากที่สุด เพราะภาพที่มองเห็นจะถูกตัดหรือไม่ ขึ้นอยู่กับคุณภาพของเลนส์ชุดนี้ โดยทั่วไปคุณสมบัติของเลนส์จะถูกกำกับไว้ที่ระบอบกเลนส์

เลนส์ใกล้ตา (Eyepiece) ทำหน้าที่ขยายภาพที่ได้จากเลนส์วัตถุให้มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ไม่ได้เพิ่มรายละเอียดของภาพ เลนส์ใกล้ตามีกำลังขยายหลายขนาด ควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับเลนส์ใกล้วัตถุ เลนส์ใกล้ตาที่ใช้ถ่ายภาพเรียกว่า Photo Eyepiece โดยทั่วไปไม่นิยมใช้ Photo Eyepiece ที่มีกำลังขยายสูงโดยไม่จำเป็นเพราะจะได้ภาพที่มีคุณภาพดีกว่า

เลนส์รวมแสง (Polarizer) ทำหน้าที่รวมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงให้มีความเข้มของแสงอยู่ในแนวเหนือใต้ (n_o ตั้งฉากกับ n_e) ที่มีลักษณะเหมือนกับ Analyzer แต่ความเข้มของแสงจะอยู่ในแนวตะวันออกตก เมื่อแสงผ่าน Polarizer ไปแล้วแสงจะไปตกกระทบกระจกสะท้อนไปยังตัวอย่างหรือ Polish Section แล้วสะท้อนกลับเพื่อให้แสงเข้าสู่เลนส์ใกล้วัตถุและเลนส์ใกล้ตา ซึ่งจะทำให้เห็นการสะท้อนแสงของวัตถุนั้นๆ

แท่นวางตัวอย่าง (Stage) เป็นแผ่นโลหะมีลักษณะกลมหรือสี่เหลี่ยม มีช่องอยู่ตรงกลางมีหน้าที่รองรับสไลด์ตัวอย่าง มีปุ่มเลื่อนตัวอย่างได้ทั้งแนวแกน x และแนวแกน y บางรุ่นมีสเกลบอกตำแหน่งทำให้ง่ายต่อการหายเมื่อนำสไลด์เก่ามาดูอีกครั้ง

ระบบให้แสง (Lumination) ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ด้านหลังของกล้องประกอบด้วยหลอดไฟที่มีไส้ หลอดทำด้วยทั้งสแตน ภายในบรรจุก๊าซฮาโลเจน ได้แก่ ก๊าซไอโอดีนหรือ โบรมีน เพื่อระบายความร้อน ระบบให้แสงมี 2 แบบคือ Critical และ Koehler Lumination โดยระบบ Critical Lumination ระบบนี้ภาพของไส้หลอดจะโฟกัสบนตัวอย่างทำให้มองดูภาพไม่ชัดเจน แม้ว่าจะให้แสงสว่างที่มากกว่าแบบ Koehler แต่แสงจะไม่สม่ำเสมอโดยเฉพาะที่กำลังขยายต่ำ ส่วนระบบ Koehler Lumination ภาพของไส้หลอดจะโฟกัสที่แผ่นปรับช่องแสงได้เลนส์รวมแสง จึงตัดปัญหาเรื่องแสงที่ไม่สม่ำเสมอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy: SEM)



รูปแสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

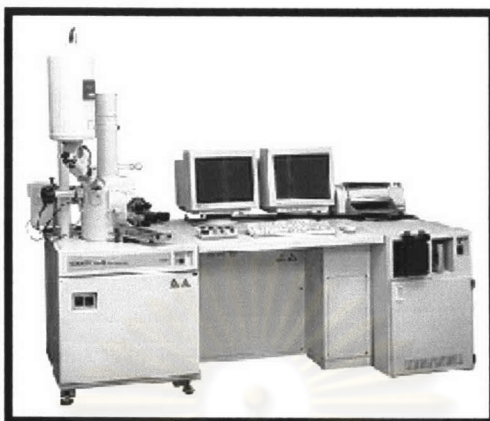
อนุภาคอิเล็กตรอนถูกค้นพบโดย Sir J.J. Thomson ในปี 1897 หลังจากนั้นในปี 1924 Louis De Broglie พบว่าอิเล็กตรอนมีลักษณะคล้ายคลื่น จึงทำให้เกิดแนวความคิดว่าน่าจะนำอิเล็กตรอนมาสร้างเป็นเลนส์ซึ่งจะได้ลักษณะคล้ายคลึงกับกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง แต่มีกำลังในการแจจแสงสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง เนื่องจากความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนมีค่าสั้นกว่าความยาวคลื่นของแสงถ้าใช้ศักดาไฟฟ้าที่มีค่ามากพอ โดย Carl Stormer ได้เริ่มศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็กที่มีลักษณะสมมาตร ปี 1927-1928 ได้มีการสร้างเลนส์แม่เหล็ก (Magnetic Lens) โดย Denis Gobor แต่ไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากความรู้ในเรื่องระบบเลนส์แม่เหล็กยังไม่ดี ต่อมา Max Knoll และ Ennst Ruska ได้สร้างและทดสอบเลนส์แม่เหล็กก็ได้ผลออกมาเช่นเดียวกัน มีการนำเอาแนวคิดเรื่องระบบเลนส์ของ Carl Stormer มาใช้ในการออกแบบและได้มีการปรับปรุงหลายครั้ง ในที่สุดก็ได้มีการสร้างกล้อง Scanning เป็นเครื่องแรกโดย Manfred Von Ardenne ในปี 1930 ซึ่งลักษณะการทำงานโดยทั่วไปคือ เมื่อแคโทดซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนได้รับพลังงานจะปลดปล่อยอิเล็กตรอนและอิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นโดยสนามไฟฟ้า ผ่านมายังระบบเลนส์และจะถูกควบคุมการกวาดบนพื้นผิวของตัวอย่างโดย Scanning Coils ซึ่งพื้นที่ในการกวาดบนผิวดตัวอย่างนี้เป็นสัดส่วนกับกำลังขยายที่ปรากฏบนจอภาพ ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการแจจแสงรายละเอียดภาพ (Image Resolution) ของกล้องชนิดนี้มีมากกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงมากมายหลายเท่าและไม่เพียงแต่มองเห็นภาพของตัวอย่างที่จะศึกษาเท่านั้น ยังสามารถนำสัญญาณอื่นๆ ที่เกิดจากอัตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนและตัวอย่างมาใช้ศึกษาคุณลักษณะอย่างอื่นของตัวอย่าง เช่น วิเคราะห์หาธาตุต่างในตัวอย่างที่สนใจศึกษาลักษณะการเรียงตัวของผลึกในตัวอย่าง เป็นต้น



ภาคผนวก ฉ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่อง Energy Dispersive X-Ray (EDX)



รูปแสดงเครื่อง Energy Dispersive X-Ray (EDX)

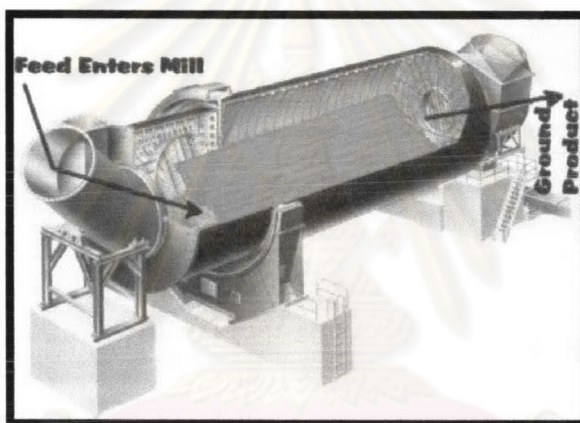
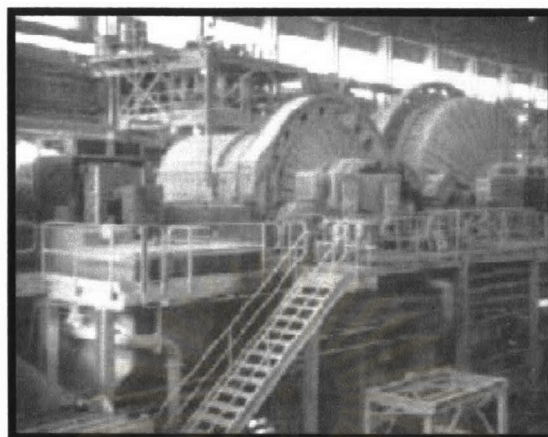
ระบบวิเคราะห์รังสีเอกซ์แบบ EDX เป็นระบบวิเคราะห์ธาตุที่นิยมใช้กันอย่างมากในห้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เพราะติดตั้งเข้ากับกล้องจุลทรรศน์แบบทรานสมิชชันและแบบสแกนนิ่งได้ง่ายสามารถวิเคราะห์ธาตุทุกธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ในเวลาเพียงไม่กี่นาที แต่มีข้อเสียตรงที่ไม่สามารถจะวิเคราะห์ธาตุที่เบากว่าโซเดียม (Na^{11}) ได้และหัววัดเป็นแบบกึ่งตัวนำที่ใช้วัดรังสีต้องรักษาให้มีอุณหภูมิต่ำ ประมาณ 77°K โดยใช้ไนโตรเจนเหลวหล่อเย็นอยู่ตลอดเวลาทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง เครื่องวิเคราะห์ธาตุแบบนี้ อาจใช้การกระตุ้นด้วยไอโซโทปกัมมันตรังสีหรือหลอดรังสีเอกซ์ก็ได้ หลอดรังสีเอกซ์ที่ใช้เป็นเป็นประเภทกำลังงานต่ำขนาด 10-50 W และสามารถให้กำเนิดรังสีเอกซ์ปฐมภูมิที่มีพลังงานต่อเนื่องได้ตั้งแต่ 0-50 keV หัวรังสีที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ หัวรังสีแบบกึ่งตัวนำ Si(Li) (Lithium Drifted Silicon) เหมาะสมสำหรับการวัดรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 1.5-30 keV หรือหัววัด HPGe (High Purity Germanium) ซึ่งสามารถวัดรังสีเอกซ์ได้ช่วงกว้าง 3-200 keV ถึงแม้หัววัด HPGe จะสามารถวัดรังสีเอกซ์ได้ช่วงกว้างกว่าก็จริง แต่ในการวิเคราะห์ธาตุเบาหัวรังสีแบบกึ่งตัวนำ Si(Li) ซึ่งสามารถวัดรังสีเอกซ์พลังงานต่ำในย่าน 1 keV ก็ยังมีความจำเป็นอยู่มาก หัววัดรังสีทั้ง Si(Li) และ HPGe จะเปลี่ยนพลังงานของรังสีเอกซ์ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าในรูปของศักดาไฟฟ้า โดยขนาดของของสัญญาณไฟฟ้าที่ออกจากหัววัดจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบบนหัววัด เครื่องวัด MCA จะเก็บสัญญาณไฟฟ้าจากหน่วยความจำที่อยู่ภายในเครื่อง และสามารถแสดงผลการวิเคราะห์หรือทางจอภาพหรือบันทึกสเปกตรัมลงในกระดาษกราฟ พร้อมทั้งผลวิเคราะห์เชิงปริมาณ ด้วยวิธีการของโปรแกรมสำเร็จที่มีอยู่ในเครื่องวัด MCA ซึ่งมีความซับซ้อนแตกต่างกันแล้วแต่แบบชนิดของบริษัทผู้ผลิต



ภาคผนวก ช

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องบดแร่แบบบดด้วยท่อนเหล็ก (Rod Mill)



รูปแสดงเครื่องบดแร่และโครงสร้างภายในแบบบดด้วยท่อนเหล็ก (Rod Mill)

เครื่องบดแร่แบบบดด้วยท่อนเหล็ก (Rod Mill) สามารถบดให้ละเอียดได้ 200 – 325 เมช และอาจทำได้ถึง 5 ไมครอน สารที่จะป้อนเข้า Rod Mill โดยมากเป็นสารที่ผ่านการย่อยชิ้นต้นและชั้นรองมาแล้ว ขนาดแร่ป้อนของ Rod Mill ขนาดหยาบได้ประมาณ 1 นิ้ว และแร่ที่ถูกบดจะได้ขนาด 65 เมช เครื่องบดแร่แบบ Rod Mill อาจทำเป็นรูปร่างได้หลายแบบแต่โดยมากจะทำเป็นรูปทรงกระบอกมีแผ่นเหล็กปิดหัวท้ายทั้งสองข้างที่ปลายมี Bearing รองรับทรงกระบอกไว้ ภายในมีแผ่นเหล็กบุโดยรอบ (Liner) อาจทำเป็นรูปเรียบ (Smooth) รูปซ้อนกัน (Wave Type) การบดเกิดขึ้นได้จากแรง 2 แรง คือแรงเหวี่ยง (Centrifugal Force) ทำให้สารที่อยู่ภายในใกล้ตัวเกาะติดกับผนังของรูปทรงกระบอก แต่เนื่องจากแรงดึงดูดของโลกทำให้ตกลงมาตรงส่วนล่างต่ำสุดของทรงกระบอก อีกแรงหนึ่งเกิดขึ้นจากการเกิด (Cascading) ของแท่งเหล็กภายในหม้อบดทำให้เกิดการบดแร่ ซึ่งจะควบคุมได้โดยการปรับความเร็วของการหมุน

ของทรงกระบอก ถ้าหมุนเร็วจะทำให้เกิดการบิดได้ในอัตราส่วนสูงจากแรง Shear Impact โดยการตกตัวของแท่งเหล็กที่อยู่ภายใน แต่ถ้าการหมุนของหม้อช้าเกินไปก็เกิดเฉพาะการขัดถู เช่น การกลิ้งตัว การสั่นไถลของสารที่จะบดทำให้แร่ที่ถูกบดมีส่วนละเอียดมากเกินไป ตามทฤษฎีแล้ว ความเร็วของการบดแร่จะต้องเป็นความเร็ววิกฤต (Critical Speed) ซึ่งกำหนดว่าเป็นความเร็วที่แรงเหวี่ยงและแรงดึงดูดกระทำต่อสารที่จะบดภายในอยู่ในภาวะสมดุลย์ หากเกินไปจากนี้จะทำให้สารเกิดการเหวี่ยงตัวไปติดอยู่กับผนังภายในทรงกระบอก (Shell Liner) ความเร็ววิกฤตสำหรับเครื่องบดนี้อาจคิดได้จากสมการ

$$N_c = 54.2 / r^{1/2}$$

N_c = ความเร็ววิกฤตคิดเป็นรอบต่อนาที

r = รัศมีภายในของทรงกระบอกคิดเป็นฟุต

ถ้าเครื่องบดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3,4,6 และ 9 ฟุต การคำนวณจะให้ความเร็วเป็น 31,27,22 และ 18 รอบต่อนาที ในทางปฏิบัติความเร็วของเครื่องบดสำหรับบดอย่างหยาบนิยมใช้กันประมาณ 80 – 90 % ของความเร็ววิกฤต เพราะเกิดการหล่นตัวอย่างอิสระ (Free Falling) ทำให้เกิด Cascading Action ซึ่งเกิดแรง Impact กับสารที่จะบด อันมีผลดีต่อการบดแร่ ส่วนการบดแร่ให้ละเอียดควรจะมีความเร็วเป็น 60 – 70 % ของความเร็ววิกฤต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ซ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS)



รูปแสดงเครื่องวิเคราะห์ธาตุแบบ Atomic Absorption Spectrometer (AAS)

เครื่องวิเคราะห์ธาตุแบบ Atomic Absorption Spectrometer มีหลักการทำงานโดยการทำตัวอย่างหรือสารที่ต้องการวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปของอะตอม ซึ่งในสภาวะปกติอะตอมจะอยู่ในสภาวะเสถียร (Groundstate) แต่เมื่ออะตอมได้รับพลังงาน (Energy) อะตอมจะเปลี่ยนไปอยู่ในสภาวะ Excitedstate เมื่ออะตอมเปลี่ยนสภาวะไปแล้วอะตอมที่ได้รับพลังงาน (Energy) จะคายพลังงานออกมาเป็นพลังงานแสงที่เรียกว่า (Atomic Emission) ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณอะตอม (Concentration) ที่มี Wave Length เฉพาะของธาตุนั้นๆ

เครื่องวิเคราะห์ธาตุแบบ Atomic Absorption Spectrometer จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนใหญ่คือ

1. Flame Atomizer จะเป็นตัว Burner ทำให้ Solution แตกตัวกลายเป็นอะตอม
2. Hollow Cathod Lamp ส่วนใหญ่จะเป็นหลอดแบบ Multi Cathode
3. Photomultiplier จะเป็นตัววัดความเข้มของแสง

หลักการคือ จะต้องทำตัวอย่างให้เปลี่ยนเป็นรูปของอะตอมโดยการเตรียมตัวอย่างให้อยู่ในรูปของสารละลาย (Solution) เสียก่อนแล้วจึงจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ



ภาคผนวก ฅ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ค่ารับเหมาผลิตแร่จากหน้าเหมือง	150	Baht / Ton
ค่าล้างแร่	100	Baht / Ton
ค่าบดแร่ (Ref. โรงงานรับจ้างบดแร่ที่จังหวัดนครปฐม)	200	Baht / Ton
ค่าน้ำยาลอยแร่	884	Baht / Ton
ค่าแรงคนงานโรงล้าง + ค่าน้ำค่าไฟฟ้า	100	Baht / Ton
ค่าแรงคนงานโรงลอยแร่ + ค่าน้ำค่าไฟฟ้า	276	Baht / Ton
ค่าซ่อมบำรุงโรงล้าง	20	Baht / Ton
ค่าซ่อมบำรุงโรงลอยแร่	50	Baht / Ton
ค่าขนส่งจากหน้าเหมืองถึงโรงงาน	30	Baht / Ton
ค่าขนส่งจากโรงงานถึงบริษัทผาแดง	1,200	Baht / Ton
รวมค่าใช้จ่าย	3,010	Baht / Ton
ราคาแร่ในตลาดโลกในปัจจุบัน (970\$ Metal)	38,800	Baht / Ton
คิดที่ 30% Zn (Moisture 45%)	6,402	Baht / Ton
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด	3,010	Baht / Ton
กำไร	3,392	Baht / Ton
(กรณีลอยแร่ + ไม่ได้คิดค่าเครื่องจักรและค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร)		
ค่ารับเหมาผลิตแร่จากหน้าเหมือง	150	Baht / Ton
ค่าล้างแร่	100	Baht / Ton
ค่าบดแร่	200	Baht / Ton
ค่าขนส่งจากหน้าเหมืองถึงโรงงาน	30	Baht / Ton
ค่าขนส่งจากโรงงานถึงบริษัทผาแดง	1,200	Baht / Ton
รวมค่าใช้จ่าย	1,680	Baht / Ton
ราคาแร่ในตลาดโลกในปัจจุบัน (970\$ Ref. Metal Piece.com)	38,800	Baht / Ton
คิดที่ 30% Zn (Moisture 45%)	6,402	Baht / Ton
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด	1,680	Baht / Ton
กำไร	4,722	Baht / Ton
(กรณีไม่ลอยแร่ + ไม่ได้คิดค่าเครื่องจักรและค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร)		
(Ref. ค่าใช้จ่ายต่างๆเป็นกรณีของบริษัท Kemco ยกเว้นค่าบดและราคาแร่ในปัจจุบัน)		

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเสกสรร แสนสะอาด เกิดเมื่อวันที่ 30 เมษายน พ.ศ. 2513 จบการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สาขาธรณีวิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เข้าศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2543 ประสบการณ์ด้านการทำงาน ได้แก่ ผ่านงานด้านการสำรวจแร่ตะกั่วและสังกะสีตำแหน่งนักธรณีวิทยาของบริษัท KEMCO CO.Ltd., อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี และยังมีประสบการณ์ด้านการสำรวจและผลิตแร่ Feldspar ของบริษัท สปาร์เวิลด์เทรด จำกัด อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย