

เอกสารอ้างอิง

1. คณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยการศึกษาวิทยาศาสตร์ และวัฒนธรรมแห่งชาติสำหรับประชาชน คณะอนุกรรมการจัดทำพจนานุกรมศัพท์วิทยา ของคณะกรรมการประสานงาน ด้านธรณีวิทยา, พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา อังกฤษ-ไทย, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ ฯ, 2530.
2. กรมทรัพยากรธรณี, "เฟลด์สปาร์," แร่ (กองเศรษฐกิจและเผยแพร่), หน้า 234-240, ศรีนิรม์การพิมพ์, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ ฯ, 2526.
3. Roger, C.P.Jr.and Neal, J.P., "Feldspar and Albite," Industrial Minerals and Rocks (Lefoud, S.J., ed.), Chap.2, pp. 637-651, Port City Press AIME, New York, 4 th ed., 1975.
4. Mitchell, L., "Ceramic Raw Materials," Industrial Minerals and Rocks (Lefoud, S.J.,ed.), Chap.1, pp. 33-39, Port City Press AIME, New York, 4th ed., 1975.
5. Mills, H.N., "Glass Raws Materials," Industrial Minerals and Rocks (Lefoud, S.J., ed.), Chap.1, pp. 333-347, Port City Press, AIME, New York, 4th ed., 1975.
6. Davis, R.F. and et.al., "Ceramics," Encyclopedia of Chemical Technology (Grayou,M.and et.al.,eds.), Vol.5, pp. 234-253, John- Wiley & Sons Inc., New York, 3rd ed., 1979.
7. ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, "วัตถุดิบ," เซรามิก, หน้า 53-55, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ ฯ, 2523.
8. ชาญ จรรยาวิชัย, "หินเหนียว," สถานการณ์แร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก, หน้า 22-30, กรมทรัพยากรธรณี (คำย่อ กทช.), พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ ฯ, 2529.
9. _____, "แร่หลักในอุตสาหกรรมเซรามิก," แนวทางพัฒนาวัตถุดิบและเซรามิกภาคเหนือ, หน้า 6-10, สภาการเหมืองแร่และ กทช. กรุงเทพฯ ฯ, 2529.
10. นัทักษ์ หาญจวิชัย "เฟลด์สปาร์ในอุตสาหกรรมเซรามิก," ข่าวสารการธรณี, 26 (6), 80-90, 2524.

11. Singer, F. and Singer, S.S., "The Raw Materials," Industrial Ceramics, Chap.1, pp. 101-103, University Press, Cambridge, 3rd ed., 1978.
12. Norton, F.H., "Feldspar and Other Fluxes," Fine Ceramics, pp. 79-91, McGraw-Hill Book Company, New York, 1974.
13. Robbin, J., "Feldspar and Nepheline Syenite - Filling a need ?," Industrial Minerals, 228, 69-101, 1986.
14. Watson, J., "Feldspathic Fluxes-the rivalry reviewed," Industrial Minerals, 163, 21-45, London, 1981.
15. Potter, M.J., "Feldspar," Minerals Fact and Problems, Bulletin 675, U.S. Bureau of Mines, Washington, 1985.
16. _____, "Feldspar, Nepheline Syenite and Aplite," Year book 1985 - Metal and Minerals, Vol.1, pp.385-392, U.S.Bureau of Mines, Washington, 1987.
17. สว่าง ตั้งชวาล, "การบรรยายแร่ประกอบหิน," แร่วิทยาสำหรับวิศวกร, หน้า 186-224, ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ ฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ ฯ, 2526.
18. Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J., "Framework Silicate," Introduction to the Rock Forming Minerals, pp. 281-339, Longman Green and Co.Ltd., London, 2nd ed., 1967.
19. _____, "Framework Silicate," Rock Forming Minerals, Vol. 4, p. 2, Longman Gr.Ltd., 5th ed., 1967.
20. Sinkankas, J., "Silicate Description Mineralogy," Mineralogy a First Course, pp. 449-459, D.Van Nostran Co. Inc., 2nd ed., 1967.
21. Barth, T.F.W., "General Mineralogy and Classification of Rock - Forming Feldspar," Feldspar, pp. 1-59, John Wiley & Sons Inc., London, 1969.
22. Smith, J.V., Feldspar Minerals (Smith, B.F., ed.), Vol. 1-2, Springer - Verlag Berlin, Heidelberg, 1974.

23. Sheiley, D., Manual of Optical Mineralogy, Elsevier Science Publishing Company, Amsterdam, 1975.
24. Herlbut, C.S., Jr. and Klien, C., "Silicate," Manual of Mineralogy (After Dana, J.D., ed.), Chap.8, pp.336-442, John Wiley & Sons Inc., New York, 19 th ed., 1977.
25. Kerr, P.F., Optical Mineralogy , JMC Press, Phillippines, 4th ed., 1977.
26. Mineralogical Society of America, Feldspar Mineralogy (Short Course Notes), (Ribbe, P.H., ed.), Southern Printing Co., Blacksburg, Virginia, 1975.
27. Hutchison, C.S., Laboratory Handbook of Petrographic techniques, John Wiley & Sons Inc, New York, 1974.
28. Wahistrom, .E.E., "Igneous Rocks," Igneous Minerals and Rocks, Part II, pp. 228-267, John Wiley & Sons Inc., 4th ed., New York, 1955.
29. Bayiy, B., "The Use of norms," Introduction to Petrology, Part V , pp. 319-326, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1968.
30. Johannsen, A., "The C.I.P.W. Classification," A Descriptive Petrography of the Igneous Rocks, Vol. I (Introduction, Textures Classification and Glossary), pp. 83-99, 2nd ed., The University of Chicaco Press Ltd., London, 1939.
31. Nold, J.L. and Erickson, K.P., "Changes in K-Feldspar Staining methods and adaptation for field use," A Mineralogist, 52, 1575-1576, 1967.
32. Kreshkon, A.P. and Yaroslartser, A.A., "2.25 Reaction of K^+ ion," First Analytical Group of Cations, Course of Analytical Chemistry, Vol.2, Quantitative Analysis (Nicloas, B., tr.) , Chap.2, 2nd ed., Mir Publisher, Moscow, 1977.

33. Department of Mineral Resources, Mineral Statistics of Thailand 1984-1988, Bangkok, 1989.
34. _____, Mineral Statistics of Thailand, 1988, Bangkok, 1989.
35. เขียวลักษณ์ นิธิสภากา, "ภาวะการผลิตและการส่งออก แร่ที่สำคัญของประเทศไทย-แร่เฟลด์สปาร์," ข่าวสารการธรณี, 36 (1), 2531.
36. สภาการเหมืองแร่, "รายงานสรุปการสัมมนาแร่ดินขาวและเฟลด์สปาร์ กับงานอุตสาหกรรมภาคเหนือ," วารสารเหมืองแร่, 2(7), 26-36, 2532.
37. สภาการเหมืองแร่, "แนวทางและเป้าหมายการส่งออกแร่ ปี 2531 รายงานสรุปการสัมมนาเรื่องแนวทางและเป้าหมายการส่งออก ปี 2532," วารสารเหมืองแร่, 2 (7), 5-21, 2532.
38. ขวัญชัย ลีเฝ้าพิเศษ, "การจัดการทรัพยากรแร่," วารสารเหมืองแร่, 2 (7), 47-58, 2532.
39. บุญสม ศิริบำรุงสุข, "บทวิเคราะห์สถานการณ์การใช้แร่ของประเทศไทย," การประชุมวิชาการเหมืองแร่ ครั้งที่ 3 การจัดการทรัพยากรธรณี (ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ฯ), ภาคที่ 2, หน้า 117-147, พัทยา ชลบุรี, 2532.
40. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, การคาดประมาณประชากรของประเทศไทย 2523-2558, กองวางแผนทรัพยากรมนุษย์, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ ฯ, 2531.
41. อัจ ชะนะ และคณะ รายงานการสำรวจแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ในจังหวัด ชลบุรี, ระยอง, ปัตตานี, ราชบุรี, อุทัยธานี, ตาก, ลำพูน, และเชียงใหม่, กองเศรษฐกิจธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ ฯ, 2515.
42. สุนัตรา วุฒิสภาทิพย์, "แร่ของไทย," ข่าวสารการธรณี, 18(19-20), 70-74 และ 73-80, 2516.
43. กองเศรษฐกิจธรณีวิทยา, "การสำรวจแร่เฟลด์สปาร์," ข่าวสารการธรณี, 22(10), 2520.
44. สิโรจน์ ศัลยพงษ์, "แร่เฟลด์สปาร์," บทบาทของธรณีวิทยาต่อการพัฒนาเหมืองแร่อุตสาหกรรม และเกษตร, หน้า อ.31-34, สมาคมธรณีวิทยาแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ ฯ, 2522.

45. กองเศรษฐธรณีวิทยา, "งานสำรวจแหล่งแร่เฟลด์สปาร์จังหวัดตาก," รายงานการสำรวจ, กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ ๑, 2528.
46. เชิดศักดิ์ อรรถอารุณ, "แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ภาคกลาง," เอกสารตีพิมพ์, กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ ๑, 2528.
47. วุฒิกานต์ สุขเสริม, "เฟลด์สปาร์," เอกสารตีพิมพ์, กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ ๑, 2528.
48. สุวิชัย สัมปัตตวัฒน์ และคณะ, "แร่โลหะของประเทศไทย," รายงานประจำปี 2528, กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ ๑, 2528.
49. Park, CH.F.Jr. and MacDiarmid, R.A., Ore Deposit, San Fransisco W.H. Free Man, 3rd ed., 1975.
50. Bauman, L., Introduction to Ore Deposits, Scottish Academic Press, London, 1976.
51. Smirnov, V.I., "Pegmatite Deposit," Geology of Mineral Deposit (Creighton,H.C., Tr.), pp. 119-137, Mir Publisher, Moscow, 1976.
52. นิमित วรพันธ์ และคณะ, "แหล่งวัตถุดิบและการตรวจสอบคุณภาพ," เอกสารทางวิชาการ การสัมมนาเครื่องปั้นดินเผา, กรมวิทยาศาสตร์, กรุงเทพฯ ๑, 2513.
53. ชาญ จรรยาวัฒน์ และคณะ, "รายงานเรื่องดินขาว ดินเหนียว หินงั้วม้า," รายงานการสังเกตการณ์ 71, ฝ่ายแร่ ๑ กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ ๑, 2517.
54. _____, "รายงานคุณสมบัติของหินงั้วม้า ฉบับที่ 1," รายงานการสังเกตการณ์ 89, ฝ่ายแร่ ๑ กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ ๑, 2522.
55. ลดาวัลย์ โชติมงคล และคณะ, การสำรวจอุตสาหกรรมเซรามิกในประเทศไทย, ร.25-08, รายงานฉบับที่ 3, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ ๑, 2526.
56. กรมทรัพยากรธรณี, "เฟลด์สปาร์," คุณลักษณะของแร่ตามมาตรฐานการใช้งานและมาตรฐานการซื้อขายในตลาดแร่, (กองเศรษฐกิจและเผยแพร่, รวบรวม), หน้า 111-116, โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ ๑, 2526.
57. _____, การใช้ประโยชน์แร่อุตสาหกรรมในประเทศไทย พ.ศ. 2527, (กองเศรษฐกิจและเผยแพร่, รวบรวม), กรุงเทพฯ ๑, 2528.

58. Chemical Analysis Chemistry, "Specification and Recommended procedures after the testing and analysis of glassmaking Sand 1978," Glass Technol., 19 (5), 93-101, 1978.
59. Waye, B.E., "Raw Materials-Fluxed," Introduction to technical Ceramics, Elsevier Publishing Co., England, 1967.
60. Ryan, W., "Fluxes," Properties of Ceramic Raw Materials, pp. 78-80, Pergamon Press, London, 1968.
61. Griffiths, R. and Radford, C., "Typical Analysis," Calculation in Ceramics, p. 147, Liversey Ltd., St. John's Hill, London, 1969.
62. Worrall, W.E., "Soda and Potash-bearing Minerals the Feldspar," Institute of Ceramics Text Book Series, Maclaren and Son Ltd., London, 2nd ed., 1969.
63. The Feldspar Corp., "Range of Feldspar - Chemical Analysis," Ceramic Industry, 127, 34, 1986.
64. สุรพล ภู่วิจิตร, โปรแกรมคอมพิวเตอร์ CIPW NORM Version 1.0 (ยังไม่ตีพิมพ์), ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ ฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , กรุงเทพฯ ฯ, 2532.
65. กรมแผนที่ทหารบก, แผนที่แสดงแหล่งแร่มาตราส่วน 1:50,000, ลำดับชุด L 7017 ระยะเวลาที่ 4836 III, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ ฯ, 2532.
66. JCPDS International Center for Diffraction Data, Powder Diffraction File, Alphabetical Index (Chemical and Mineral Name), Inorganic Phases, USA., 1985.
67. Gaudin, A.M., "Liberation," Principle of Mineral Dressing, Chap. 4, pp. 85-87, Tata McGraw-Hill Publishing Co. Ltd., Bombay, New Delhi, 1939.
68. MacLaughlin, R.J.W., "Atomic Absorption Spectroscopy," Physical Methods in Determinative Mineralogy (Zussman, J., ed.), pp. 371-389, Academic Press, New York, 1977.

69. Kelley, E.G. and Spootiswood, D.J., "Magnetic Separation," Introduction to Mineral Processing, Chap. 14, pp. 274-290, A Wiley-Inter Science Publication John-Wiley & Sons Inc., New York, 1982.
70. Will, B.A., Mineral Processing Technology. Pergamon Press Oxford London, 3rd ed., 1985.
71. วิทยุ มีช้ำะ, "การแยกแร่ด้วยวิธีแม่เหล็ก," เอกสารประกอบการสอนวิชา 166-521 (Physical Mineral Processing), บทที่ 5-6, หน้า 83-158, ภาค วิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ ฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ ฯ, 2532.
72. Langguth., F., Handbuch der Elektrochemie Electromagnetische Aufbereitung, Halle A.S., 1903.
73. Korda, D., "La Separation Electromagnetique et Electrostatique des Mineraux," L' Eclairage Electrique, Paris, 1905.
74. Gunther, C.G., Electro-magnetic Ore Separation, McGraw-Hill Publishing Co., 1909.
75. Roe, L.A., "Advances in Magnetic Separation of Ores," Trans. SME/AIME, Vol. 211, 1261-1265, 1958.
76. Bronkala, W.J., "Magnetic Separation" in Mineral Processing Plant Design, (Mular, A.L. and Bhappu, R.B., ed.), pp. 467-478, AIME, 2nd ed., 1980,
77. _____, "Magnetic Separations and Their Applications in the Mineral Industry," SME/AIME, Preprint 69-B-364, 1969.
78. Oberteuffer, J.A., "Magnetic Separation : A Review of Principles , Devices and Applications," IEEE Trans. Magn., MAG-10, 223-238, 1974.
79. Taggart, A.F., "Elements of Ore Dressing," John Wiley & Sons, Inc., 1951.
80. Lawver, J.E. and Hopstock, D.M., "Wet Magnetic Separation of Weakly Magnetic Minerals," Miner. Sci. Engng., Vol. 66 (3), 154-172, 1974.

81. Meechumna, P., "Recovery of Rarer Minerals From Thai Cassiterite Concentrates," Ph.D. Thesis, Department of Mining and Mineral Engineering, The University of Leeds, Leeds, 1985.
82. ASTM Designation : E -380-70- "Metric Practice Guide," 1970.
83. Hopstock, D.M., "Fundamental Aspects of Design and Performance of Low - Intensity Dry Magnetic Separator," Trans. SME/AIME, Vol. 258, 222-227, 1975.
84. Bronkala, W.J., Haskin, R.J., Tenpas, E.J. and Lawver, J.E., "Types of Magnetic Separator" SME Mineral Processing Handbook (Weiss, N.L., ed.), Vol.1, pp. 6-20 to 6-39, AIME Inc., New York, 1985.
85. Lindgren, E., "Dry Magnetic Separation Practice in Europe of the Sala-Morstell Separator," Proc. 26th Annual Mining Symposium, p. 111, Minnesota, 1965.
86. Derkac, V. and Galevkaja, T.N., Report of Intitute Mechanonbra No. 159 a, Leningrad, 1965.
87. Hudson, S.B., "The Gill High-Intensity Wet Magnetic Separator," Proc. 8th Int. Miner. Process. Congr., Paper B-6, Leningrad, 1968.
88. Readings of Lismore, PTY, Ltd., Bull. MW2/0469, Lismore, New South Wales, Australia, nd.
89. Jones, G.H., British Patent 768 451, 1955.
90. Vanderbilt University, "Magnetic Separation of Non Ferrous Metals," Annual Report, Department of Physics and Astronomy, Vanderbilt University, Nashville, Tennessee, Apr. 1971.
91. Jones, G.H., "Wet Magnetic Separator for Feebly Magnetic Minerals I-Description and Theory," Proc.5th Int. Miner. Process. Congr., London, 1960.

92. Stone, W.J.D., "Wet Magnetic Separator for Feebly Magnetic Minerals - II," Proc. 5th Int. Miner. Process. Congr., London, 1960.
93. Jones, G.H., "The Separation of Strongly Magnetic Particles Particularly Those of Small Dimensions," Proc. 7th Int. Miner. Process. Congr., p. 405, New York, 1964.
94. Wyman, R.A., Stone, W.J.D. and Hartman, F.H., "Illustrative Applications of the Jones Wet Magnetic Mineral Separator," Technical Bulletin, TB 36, Department of Mines and Tech. Survey, Ottawa, Jun. 1972.
95. Forrer, R.C., "Magnetic Separator Operating in an Aqueous Medium," U.S. Patent 2 976 995, 1961.
96. De Robert, J. and Casnabet, L., "The Forrer Separator : A New Apparatus for Wet Magnetic Separation of Weakly Paramagnetic Minerals," Proc. 5th Int. Miner. Process. Congr., London, 1960.
97. Carpenter, J.H., "Carpco - Amax High Intensity Wet Magnetic Separator," Proc. 7th Int. Miner. Proc. Congr., pp. 399-404, New York, 1964.
98. _____, "Magnetic Separator" U.S. Patent 3 375 925, 1968.
99. Bartnik, J.A. and Stone, W.D.J., "Capital and Operating Costs of the Jones High Intensity Wet Magnetic Separator," Proc. 33rd Annual Mining Symposium, p. 26, Duluth, Minn., 1972.
100. Wenz, L. and Zabel, W.H., "Dressing of Feebly Magnetic Iron Ores with the Aid of High Intensity Wet Magnetic Separator," Aufberit - Tech. Vol. 13, 142, 1973.
101. Skillings, Jr., D.N., "Cia Vale do Rio Doce," Skillings Min. Rev., Vol. 61, 12, 1972.
102. Bartnik, J.A., Stone, W.J.D. and Zabel, W.H., "Superconcentrate Production by Jones Separator : Capital and Operating Costs," Int. Symposium of Iron and Steel Industry, Brazil, 1973.

103. White, L., "Swedish Symposium offer Iron Ore Industry : An Overview of Ore Dressing Developments," Eng. Min. J., Vol.179, 71, 1978.
104. Rapid Magnetic Ltd., "Type H.W. High Intensity Wet Magnetic Separators," Birmingham, Rapid Magnetic Ltd., Pub.No.042.
105. Bartnik, J.A. and Twichell, E.S., "Exploring the New Area of Wet Magnetics," Engng. Min. J., Vol. 167 (9), 138-141, 1966.
106. Pouillon, E., Cribla S.A., Brussels, Belgium, 1974.
107. Fraas, F., "The Matrix - Type Magnetic Separator," U.S. Bureau of Mines, RI 6722, 11pp., Washington, 1966.
108. Hencl, V., Voracek, M. and Kolar, O., "New High Intensity Wet Magnetic Separator for Treatment of Fine Fraction of Weakly Magnetic Materials," Proc.9th Int.Miner.Process. Congr., pp. 60-67, Prague, 1970.
109. Roters, H.C., Electromagnetic Devices, Wiley, 1941.
110. Marston, P.G., Nolan, J.J. and Lontai, L.M., "Magnetic Separator and Magnetic Separation Method," U.S. Patent 3 627 678, 1971.
111. Kolm, H.H. and Montgomery, D.B., "Proc. Conf. on High Magnetic Fields and Their Applications," Nottingham, 1969.
112. Watson, J.H.P., "Applications of and Improvements in High Gradient Magnetic Separation," Conf. on Filtration, Productivity and Profits, Filtech/77, London, 1977.
113. Iannicelli, J. and Millman, N., "Process for Improving the Brightness of Clays," U.S. Patent 3 471 011, 1969.
114. Malden, P.J. and Windle, W., "Method of Improving the Whiteness of Clays," U.S. Patent 3 482 685, 1969.

115. Oberteuffer, J.A. and Kelland, D.R., Eds., "Proceedings of the High Gradient Magnetic Separation Symposium," M.I.T. Francis Bitter National Magnet Laboratory, Cambridge, Massachusetts, 1973.
116. Kelland, D.R., Maxwell, E. and Oberteuffer, J.A., "High Gradient Magnetic Separation :An Industrial Application of Magnetism," Proceedings of NATO Institute on Superconducting Machines and Devices : Large System Applications, Francis Bitter National Magnet Laboratory, Cambridge, Massachusetts, 1974.
117. Gaudin, A.M., "Progress in Magnetic Separation Using High - Intensity High - Gradient Separators," Min. Congr. J., Vol. 60 (1), 2-21, 1974.
118. Kelland, D.R., "Magnetic Separation of Non-Magnetic Taconite," Proc. 35th Annual Mining Symposium, Duluth, Minn., 1974.
119. Anon., "Trade Notes," Skillings Min. Rev., 14th, 32, 1973.
120. Watson, J.H.P., Clark, N.O., and Windle, H., "A Superconducting Magnetic Separator and Its Application in Improving Ceramic Raw Materials," Proc. 11th Int. Miner. Process. Congr., pp. 795-812, Universita di Cagliari, Cagliari, 1975.
121. Cohen, H.E. and Good, J.A., "Principles, Design and Performance of a Superconducting Magnet System for Mineral Separation in Magnetic Fields of High Intensity," Proc. 11th Int. Miner. Process. Congr., pp. 777-793, Universita di Cagliari, Cagliari, 1975.
122. Israelson, A.F., "Magnetic Separation of Minerals," Mines Mag., Vol. 211, 1978.
123. Dobby, G. and Finch, J.A., "Capture of Mineral Particles in a High Gradient Magnetic Field," Powder Technol., Vol. 17, 73-82, 1977.

124. Murray, H.H., "High Intensity Magnetic Beneficiation of Industrial Minerals - A Survey," SME/AIME Preprint 76-4-93, 1976.
125. Arellano, M.E. and Zambrana, G.Z. "High Gradient Magnetic Separation Applied to Tin Minerals," IEEE Trans. Magn., Vol. MAG-14, 488-490, 1978.
126. Aktao, I.Y., "Mathematical Modelling of High-Gradient Magnetic Separation Devices," IEEE Trans. Magn., Vol. MAG-13, 1486-1489, 1977.
127. Bartnik, J.A., Zabel, W.H. and Hopstock, D.M., "On the Production of Iron Ore Superconcentrates by High Intensity Wet Magnetic Separation," Int. J. Miner. Process., Vol. 2, 117-126, 1975.
128. Jacob, W., Brenecke, K. and Wasmuth, H.D., "Comparative Test for Using Wet High Intensity Magnetic Separation," Proc. 11th Int. Miner. Process. Congr., pp. 337-362, Universta di Cagliari, Cagliari, 1975.
129. Lawver, J.E., Beebe, R.R. and Hays, R.M., "New Methods for Beneficiating Semitaconites," Min. Congr. J., Vol. 5 (4), 69-74, 1965.
130. Lawver, J.E. and Hays, R.W., "A Technical and Economic Appraisal Methods of Beneficiating Mesabi Range Iron Ore," Proc. 8th Int. Miner. Process. Congr., Paper B-3, Leningrad, 1967.
131. Hopstock, D.M., "Wet High Intensity Magnetic Beneficiation of Oxidised Taconites," US Bureau of Mines, RI 8363, 1979.
132. Murray, H.H., "Beneficiation of Selected Industrial Minerals and Coal by High Intensity Magnetic Separation," IEEE Trans. Magn., Vol. MAG-12, 498-502, 1976.

133. Ianniceli, J., "High Intensity High Gradient Magnetic Separation as a New Process Tool," Aquafine Corp., 1978.
134. Trinade, S.G. and Kom, H.H., "Magnetic Desulfurisation of Coal," IEEE Trans. Magn., Vol. MAG-9, 310-313, 1973.
135. Freyberger, W.L., Keck, J.W. and Spottiswood, D.J., "Cleaning of Eastern Bituminous Coals by Fine Grinding Flotation and High Gradient Magnetic Separation," Proc. Symp. on Coal Cleaning, Department of Energy/Environment Protection Agency, 1978.
136. Liu, Y.A., Physical Cleaning of Coal : Present and Developing Methods, Marcel Dekkor, 1982.
137. Tyrell, A.J., "Magnetic Filtration and Separation," Filtr. of Sepn., Vol. 10 (2), 206-210, 1973.
138. Delatour, C., "Magnetic Separation in Water Pollution Control," IEEE Trans. Magn. Vol. MAG-9, 314-316, 1973.
139. Benson, W.H., Bartnik, J.A. and Rose, G.D., "Demagnetising Coils and Magnetic Flocculators Used in the Magnetite Beneficiation Industry," Proc. 24th Mining Symp., pp. 139-144, Minn., 1968.
140. Lantto, H., "The Effect of Magnetic Flocculation on the Beneficiation of Magnetic Materials," Acta Polytechn., Scand. Chem. Incl. Met. Ser. No. 133, 1977.
141. Johnson, H.B., "Selective Electrostatic Separation," Trans. AIME, Vol. 134, 409-423, 1939.
142. Frass, F., "Feldspar Beneficiation," Electrostatic Separation of Granular Materials, Bulletin 603, US. Bureau of Mines, pp. 115-117, Washington, 1962.
143. Gandin, A.M., "The Principle of Electrostatic Processing With Particular Application to Electrostatic Separation," Minerals Sci. Engng., Vol. 3 (2), 46-57, 1971.

144. Eriez Co. Ltd., "Installation, Operation and Maintenance Instructions for 500 lb per hour High Intensity Wet Magnetic Separator (CF-5 HIW)," Japan, 2530.
145. Eriez Co. Ltd., "Wet High Intensity Magnetic Separator, WHIMS," USA, 1984.
146. Taggart, A.F., Handbook of Mineral Dressing, John Wiley and Sons Inc., New York, 1953.
147. Gaudin, A.M., Flotation, McGraw-Hill Co. Inc., New York, 2nd. ed., 1957.
148. _____, "Flotation Kinetic," Flotation, Chap. 8, pp. 215-246, McGraw-Hill Co. Inc., New York, 2nd ed., 1957.
149. AIME, Froth Flotation 50th Anniversary Volume (Fuerstenau, D.W., ed.), New York, 1962.
150. Manser, R.M., Handbook of Silicate Flotation, Warren Spring Laboratory, London, 1975.
151. AIME, Flotation A.M. Gaudin Memorial (Fuerstenau, M.C., ed.) Vol. 1-2, New York, 1976.
152. _____, "Cationic Flotation of Oxide and Silicate," Flotation A.M. Gaudin Memorial (Fuerstenau, M.C., ed.), Vol. 1, Chap. 2, pp. 87-113, New York, 1976.
153. Kelly, E.G. and Spootiswood, D.J., "Surface and Interface," Introduction to Mineral Processing, Chap. 6, pp. 95-112, A Wiley-Inter Science Publication John-Wiley & Sons Inc., New York, 1982.
154. King, R.P., Principle of Flotation, South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, 1982.
155. Pyror, E.J., Mineral Processing, Applied Science Publishers, London and New York, 3rd ed., 1983.
156. Will, B.A., "Flotation," Mineral Processing Technology, Chap. 12, pp. 316-387, Pergamon Press Oxford, London, 3rd ed., 1985.

157. Cyanamid Co.Ltd., Mining Chemical Handbook, Mineral Dressing Note No. 26, USA., 1986.
158. Denver Equipment Co. Ltd., Modern Mineral Processing Flowsheet, Denver, 2nd ed., n.d.
159. Eddy, W.H. and et. al., "Selective Flotation of Minerals From North Carolina Mica Tailing," US Bureau of Mines RI 7313, Washington, 1969.
160. Hills, T.E., and et.al., "Separation Feldspar, Quartz and Mica from Granite," US.Bureau of Mines RI 7245, 1969.
161. Eddy, W.H. and et.al., "Recovery of Feldspar and Glass Sand From South Carolina Waste Granite Fines," US. Bureau of Mines RI 7651, Washington, 1972.
162. _____, "Recovery of Feldspar and Glass Sand From Geogia Waste Granite Fines," US. Bureau of Mines RI 7928, Washington, 1974.
163. Clarke, G., "3-Froth Flotation," Industrial Minerals, (201), 30-49, 1984.
164. พัทธ์ หาดภูวามิษฐ์ และคณะ, การวิจัยการลอยแร่เฟลด์สปาร์เพื่ออุตสาหกรรมเซรามิก, ฝ่ายแต่งแร่ ฯ กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ ฯ, 2527.
165. จดیب ปัทมสุต, "การลอยแร่เฟลด์สปาร์เพื่ออุตสาหกรรมเซรามิก," เอกสารประกอบการประชุมและสัมมนาทางวิชาการเรื่องแร่ดีบุก และเฟลด์สปาร์กับงานอุตสาหกรรมภาคเหนือ, กรมทรัพยากรธรณีและสภาการเหมืองแร่, เชียงใหม่, 2532.
166. Fuerstenau, M.C. and et.al., "Surface Phenomena," Chemistry of Flotation, SME/AIME, New York, 1985.
167. Wroble, S.A., "Economic Flotation of minerals," Min. Mag., (122), 281, 1970.
168. Yopps, J.A. and Fuerstenau, D.W., J. Colloid Sci., Vol. 19, 61, 1964.

169. Zettlemyer, A.C., J. Colloid Interface Sci., Vol. 28, 343, 1968.
170. Fuerstenau, M.C., Palmer, B.R. and Gutierrez, G.B., Trans. AIME, Vol. 26, 234, 1977.
171. Iwaski, I., Cooke S.R.B., Harraway, D.H., and Choi, H.S., Trans. AIME, Vol. 223, 97, 1962.
172. Smith, R.W. and Trivedi, N., Trans. AIME, Vol. 255, 73, 1974.
173. Fuerstenau, M.C., Rice, D.A., Somasunndaran, P., and Fuerstenau, D.W., Bull. Inst. Min. and Met., No. 701, p. 381, London, 1965.
174. Cases, J.M., Trans. AIME, Vol. 247, 123, 1970.
175. Johansen, P.G. and Buchanan, A.S., Australian J. Chem., Vol. 10, 3980, 1957.
176. Palmer, B.R., Fuerstenau, M.C. and Aplan, F.F., Trans. AIME, Vol. 258, 261, 1975.
177. Laskowski, J. and Sobieraz, S., Trans. IMM, Vol. 28, C163, 1969.
178. Palmer, B.R., Gutierrez, G.B. and Fuerstenau, M.C., Trans. AIME, Vol. 258, 257, 1975.
179. Fuerstenau, M.C., Elgillani, D.A. and Miller, J.D., Trans. AIME, Vol. 247, 11, 1970.
180. Fuerstenau, D.W. and Modi, H.J. J. Electrochem. Soc., Vol. 106, 336, 1959.
181. Iwasaki, I., Cooke, S.R.B. and Choi, H.S., Trans. AIME, Vol. 220, 394, 1961.
182. Park, G.A., Chem Rev., Vol. 65, 177, 1961.
183. Stauter, J.C., Ph.D.Thesis, University of Utah, 1970.
184. Miller, J.D. and Calora, J.V., Flotation (Fuerstenau, D.W., ed.), p. 170 and 173, AIME, New York, 1962.
185. Hunt, J.P., "Metal Ions in Aqueous Solutions," Reading, Mass. p. 124, W.A. Benjamin, Inc., 1965.

186. Van Olphen, H., An Introduction to Clay Colloid Chemistry, p. 89, Interscience, 1963.
187. Mular, A.L., Trans. AIME., Vol. 232, 204, 1965.
188. Rao, B.V.P. Lovell, H.C. and Simkorich, G., Trans. AIME, Vol. 241, 328, 1968.
189. Aplan, F.F., Spearin, E.Y. and Simkorich, G., "Flotation of the p - type Semiconductor NiO as a Function of Point Defects," submitted for Publication to Int. J. of Mineral Processing.
190. Aplan, F.F. and Fuerstenau, D.W., Froth Flotation, (Fuerstenau, D.W., ed.), p. 170 and 173, AIME, 1962.
191. Gaudin, A.M., Fuerstenau, D.W., "Quartz Flotation with Cationic Collector," Trans. AIME, Vol. 202, 958, 1955.
192. Shaw, D.J., "Changed interfaces," Introduction to Colloid and Surface Chemistry, pp. 148-212, Butterworth & Co.Ltd., 1980.
193. Dukhin, S.S. and Deryagin, B.V., "Equilibrium/non-equilibrium double Layer and electrokinetic phenomena," 1974.
194. Shaw, D.J., Electrophoresis, Academic Press, 1969.
195. Smith, R.W. and Akhtar, S., "Cationic Flotation of Oxides and Silicate," Flotation A.M. Gaudin Memorial Volume (Fuerstenau, M.C., ed.), Vol. 1, pp. 27-196, New York, 1976.
196. Modi, H.J. and Fuerstenau, D.W., "Flotation of Corundum, An Electrochemical Interpretation," Trans. AIME, Vol. 217, 381-387, 1960.
197. Smith, R.W., "Effect of Amine Structure in Cationic Flotation of Quartz," Trans. AIME, Vol. 254, 353-357, 1973.
198. Ralston, A.W., Fatty acids and their Derivertives, John Wiley and Sons, New York, 1948.

199. Shinoda, K., Nkagawa, T., Tamamushi, B. and Isemura, T.,
Colloid Surfactants, Academic Press, New York, 1963.
200. Smith, R.W. and Lai, R.W.M., "On the Relationship Between
contact angle and Flotation Behavior," Trans. AIME,
Vol. 235, 413-418, 1966.
201. Finch, J.A. and Smith, G.W., "Alkaline Dodecylamine Acetate
Solutions in Oxide Flotation," Trans. IMM, Vol. 81,
C213-C218, 1972.
202. Iwasaki, I., Cooke, S.R.B. and Choi, H.S., "Flotation Charac-
teristics of Hematite, Goethite and Activate Quartz
with 18-Carbon Aliphatic Acid and Related Compound,"
Trans. AIME, Vol. 217, 237, 1960.
203. Schubert, H., "Die Rolle der Assoziation de Unpolaren Gruppen
bei der Sammler adsorption," Freiberger Forschungshefte
, A 514, pp. 3-84, 1972.
204. Smith, R.W., "Coadsorption of Dodecylamine Ion and Molecule
on Quartz," Trans. AIME, Vol. 226, 427-433, 1963.
205. _____, "Effect of Fluoride Addition on Contact Angle in the
system Microcline - Dodecylamine Solution - Nitrogen,"
Proceeding, South Dakota Academy of Science, Vol. 42,
60-64, 1963.
206. _____, "Activation of Beryl and Feldspar by Fluoride in
Cationic Collector System," Trans. AIME, Vol. 232,
160-167, 1965.
207. Smith, R.W. and Smolik, T.J., "Infrared and X-ray Diffraction
Study of the Activation of Beryl and Feldspar by
Fluorides in Cationic Collector System," Trans. AIME,
Vol. 232, 196-204, 1965.
208. Sullin, D.B. and Smith, R.W., "Hallimond Tube Investigation of
Fluoride Activation of BERYL in Cationic Collector
System," Trans. IMM, London, Vol. 75, C333-C336, 1966.

209. Warren, L.J. and Kitchener, J.A., "Role of Fluoride in the Flotation of Feldspar : Adsorption on Quartz, Corandum and Potassium Feldspar," Trans. IMM, Vol. 81, C137-147, London, 1972.
210. Macdonald, R.D. and Brison, R.J., "Applied research in flotation," Froth Flotation 50th Anniversary Volume, p. 298, AIME, New York, 1962.
211. Finch, J.A., Kitchong, R. and Robertson, K.S., "Laboratory Simulation of a closed-circuit grind for heterogeneous ore", CIM Bulletin, No. 72, p. 199, 1979.
212. Dzieniewiez, J. and Pryor, E.,j., Trans. IMM, (59), 1950.
213. Sun, S.C. and Troxell, R.,C., Engng. Min. J., Vol. 158, 79, 1957.
214. Lee, A.F., "A New bubble pick-up technique as a rapid flotation test method," CIM Bulletin, No. 71, 119, 1978.
215. Finch, J.A. and Smith, G.W., "Contact angle and Wetting," Miner. Sci. Eng., (11), 36-63, 1979.
216. Laskowski, J., "Particle-Bubble Attachment in Flotation," Miner. Sci. Eng., (6), 223-235, 1974.
217. Rao, S.R., "Surface Forces in Flotation," Miner. Sci. Eng., (6), 45-53, 1974.
218. Sutherland, K.L., "Physical Chemistry of Flotation XI, Kinetic of the Flotation Process," Phys. Colloid Chem., (52), 394-425, 1948.
219. Agar, G.E. and Kipkie, W.B., "Predicting locked cycle flotation test result from batch data," CIM Bulletin, No. 71, 119, 1978.
220. Dorenfeld, A.C., "Flotation circuit design," Froth Flotation 50 th Anniversary Volume, p. 365, AIME, New York, 1962.

221. Lindgren, E. and Broman, P., "Aspects of flotation circuit design," Concentrate 1, 6, 1976.
222. Woodburn, E.T., King, R.P. and Colburn, R.P. "The Effect of Particle Distribution on the Performance of A phosphate Flotation Process," Met. Trans., 2, 3163-3174, 1971.
223. Rose, E.H., AIME Trans., Vol. 169, 240, 1946.
224. Sutherland, K.L. and Wark, I.W., "Variable of Flotation," Principle of Flotation, Chap. II, pp. 133-23, Australasian Inst. of Mining and Metallurgy, Melbourne, 1955.
225. Zussman, J., "X - ray Diffraction," Physical Methods in Deterinative Mineralogy (Zussman, J., ed.), pp. 391-461, Academic Press, New York, 2nd ed., 1975.
226. Willard, H.H., Merritt, L.L.Jr., Dean, J.A. and Settle, F.A.Jr., Intrumental Method of Analysis, Wadsworth Publishing Co.Ltd., California, 6th ed., 1981.
227. Cullity, B.D., Element of X-Ray Diffraction, Addison-Wisley Publishing Co.Inc., 2nd ed., 1978.
228. JEOL LTD., JDX-8030 Series X-Ray Diffractometer System, Instruction Manual, Japan, 1988.
229. Bertin, B.P., Introduction to X-Ray Spectrometric Analysis, Phenum Press, New York and London, 1976.
230. Jenkins, R. and De Vries, J.L., Practical X-Ray Spectrometry, Springer-Verlag, New York, 2nd ed., 1975.
231. Norrish, K. and Chappell, B.W., "X-Ray Fluorescence Spectroscopy," Physical Methods in Determinative Mineralogy (Zussman, J., ed.), pp. 201-266, Academic Press, New York, 1977.
232. Geological Survey of Japan, Naegi granite Hirukawa mura, Ena-gun, Gifu Prefecture, Japan, 1987.

233. OY LOHJA MINERALS : FFF FINISH FLÓTAION FELDSPAR, Pegmatite on the Island of Kemio in South-Western, Finland, 1988.
234. Shimudzu Corporation., "Mannual of X-Ray Fluprescent, Wavelength and Emission Dispersive, Japan, n.d.
235. ASTM, X-Ray and Adsorption wavelengths and two-theta table (White, E.W. and Johnson, G.G., Jr., ed.), ASTM Data Series Ds 37A, Pheiladenphia, 1970.
236. _____, X-Ray Emission Wavelength and KEV table for Non diffractive Analysis (White, E,W and Johnson, G.G., Jr., ed.), ASTM DATA Series DS 46, Philadelphia, 1970.
237. Shimadzu Corporation, Mannual Operation of Shimadzu Atomic Absorption/Flame Spectrometer Model AA-650, Japan, n.d.
238. Anon., "Iron," Standard Method of Chemical Analysis (Furman, N.H., ed.), Vol. 1, pp. 529-555, D. Van Nostrand Co.Ltd., 6th ed., Canada, 1962.
239. ASTM, "Standard Method for Chemical Analysis of Ceramic White-ware Clays," Annual Book of ASTM Standard, Vol. 15.02, USA., 1986.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

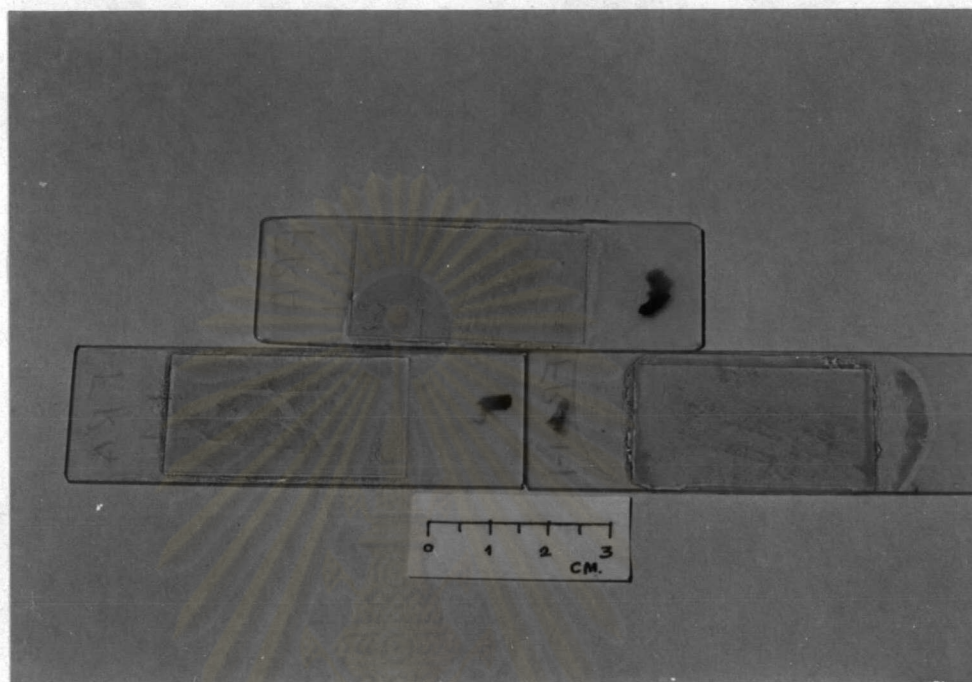
การเตรียมตัวอย่างแร่ตัดบาง (Thin Section) เพื่อการศึกษาทางแร่วิทยา

การเตรียมตัวอย่างแร่มีหลายวิธี ที่ใช้สำหรับการศึกษาทางกล้องจุลทรรศน์ชนิดโพลาไรซ์ (Polarised Microscope) วิธีที่แพร่หลายใช้กันมากคือ แผล่แร่ตัดบางซึ่งเหมาะสำหรับแร่โปร่งใส ถึงแร่โปร่งแสง⁽¹⁷⁻²⁷⁾ โดยเลือกบริเวณตัวอย่างแร่ที่สนใจตัดเป็นแผ่นบางพื้นที่ประมาณ 1-2 ตร.ซม. ทหนาประมาณ 0.03 มม. โดยมีแผ่นแก้วปกคลุมอยู่ด้านบน

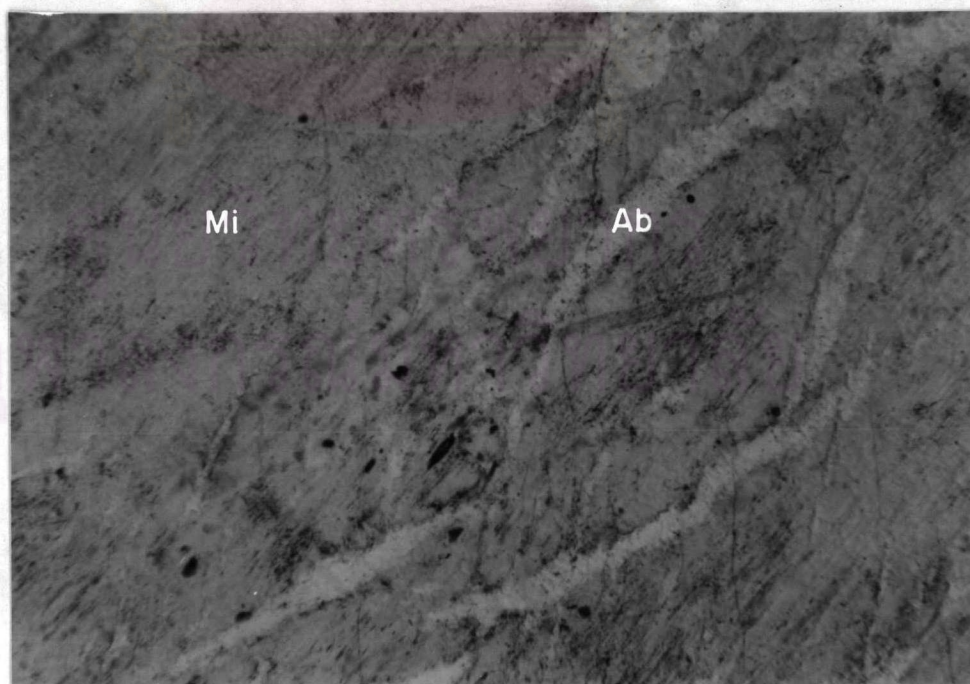
วิธีและลำดับขั้นตอนการทำแร่ตัดบาง (17, 23, 25, 27)

1. กำหนดบริเวณตัวอย่างก้อนแร่หรือหินที่สนใจต้องการศึกษา โดยทำการตัดเป็นชิ้น (Chip or Slide) มีความหนาที่ขนานกันสองด้านประมาณ 2 มม. ด้วยเลื่อยใบพัดชนิดทังสแตเนียมคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide, WC_4) หรือฝังเพชร
2. ผ่าชิ้นตัวอย่างให้เรียบด้วยล้อหมุนที่มีผงซิลิกอนคาร์ไบด์ (Silicon Carbide, SiC_4) เกรด 300 เพื่อให้ได้ระดับทั้งสองด้าน โดยเน้นด้านที่จะใช้ติดกับกระจกใส (ขนาด $1.2 \times 25.4 \times 76.2$ มม.)
3. นำชิ้นตัวอย่างย่างให้แห้งแล้วติดด้านที่ผิวเรียบกับกระจกใส (ซึ่งผ่านการขัดผิวด้วย ผงซิลิกอนคาร์ไบด์ เกรด 300 เช่นกัน) โดยการติดใช้เทอร์โมพลาสติกควอตซ์ (Thermo Plastic Quartz) ทากทั้งชิ้นตัวอย่างและกระจกใสลงอย่างแห้ง การติดพยายามไล่อากาศระหว่างผิวออกให้หมดเพื่อแนบสนิทจริง ๆ ทั้งให้แห้งประมาณ 5-10 นาที
4. ขัดผิวด้านตรงข้ามชิ้นตัวอย่างให้เรียบ ใช้ผงซิลิกอนคาร์ไบด์ เกรด 300 จนถึง 1000 เพื่อความละเอียดของผิวและให้มีความหนาของแผ่นบางตามต้องการ พิจารณาจากการเปรียบเทียบกับตารางสีแทรกสอด (Interference Color) ของแร่ที่สังเกตง่ายเช่น ควอตซ์, เฟลด์สปาร์ เป็นต้น
5. หยดคานาดาบัลซัม (Canada Balsum) บนกระจกปิด (Cover Glass) ขนาด 22×40 มม. นำไปปิดทับแผ่นบางโดยไล่อากาศให้หมด วางให้ได้รับความร้อนจากหลอดไฟฟ้า 100 วัตต์ ประมาณ 48 ชั่วโมง เพื่อให้แห้งติดสนิท ต่อจากนั้นล้างส่วนที่เปื้อนของ

คานาดาบาลซึมด้วยไซลอน (Xylon) ก็จะได้แผ่นแร่ตัดบางที่นำไปใช้ศึกษาแร่วิทยาต่อไป ดังตัวอย่างแร่ตัดบาง ตามรูปที่ ก-1 และ ก-2



รูปที่ ก-1 แผ่นแร่ตัดบาง (Thin section) ในการศึกษาทางแร่วิทยา



รูปที่ ก-2 ภาพแร่เฟลด์สปาร์ ไมโครไคลน์-ไมโครเพอร์ไทต์ ของแร่ตัดบาง ภายใต้อกล้องจุลทรรศน์, 25X, X-Nicol

ภาคผนวก ข

การกัดผิวตัวอย่างแร่^(27,31)

(Staining Surface of Minerals)

1. วัตถุประสงค์

เพื่อการจำแนกชนิดแร่ (Mineral Classification) โปแทสเซียมเฟลด์สปาร์, แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ ของตัวอย่างช่วงขนาดแร่ (Size Fraction) เพื่อการหาสัดส่วนที่อยู่ร่วมกัน โดยวิธีนับเม็ด (Particle or Grain Counting)⁽⁸⁷⁾

2. สารเคมีที่ใช้

2.1 กรดกัดแก้ว (HF) ความเข้มข้น 30 %

2.2 สารละลายโซเดียมโคบอลทไนไตรต์ (Sodium Cobaltinitrite) มีสูตรเคมี $\text{Na}_3(\text{Co}(\text{NO}_2)_6)$ อิมิตวในน้ำ

3. วิธีทำ

3.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแร่แต่ละช่วงขนาดประมาณ 1.0 กรัม ในภาชนะพลาสติก ขนาด 50 มิลลิลิตร

3.2 เติมกรดกัดแก้วลงในภาชนะ (กระทำภายในตู้ควัน) ปริมาณเพียงพอกัดผิวตัวอย่างแร่ จับเวลาประมาณ 20-40 วินาที (ขนาดหยาบมากกว่าขนาดละเอียด)

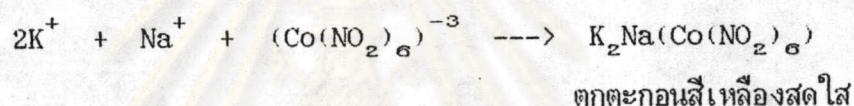
3.3 เทกรดกัดแก้วลงกระดาดกรอง เบอร์ 42 ที่รองรับด้วยภาชนะพลาสติก ขนาด 100 มิลลิลิตร

3.4 เติมน้ำกลั่นลงในภาชนะที่มีตัวอย่างแร่ที่ผ่านการกัดผิว เพื่อล้างกรดกัดแก้วที่ยัง

เหลืออยู่ออกทิ้งไป

3.5 เติมสารละลายโซเดียมโคบอลทิงไนไตรต์อิมิตัว ลงในตัวอย่างแร่ ข้อ 3.4 ปริมาณพอเพียงที่เกิดปฏิกิริยา จับเวลาประมาณ 2-4 นาที

3.6 รินสารละลายโซเดียมโคบอลทิงไนไตรต์ออกจากภาชนะ ฯ แล้วนำตัวอย่างแร่ที่ผ่านการทำปฏิกิริยาล้างด้วยน้ำกลั่น แล่งล้างบนกระดาษกรองทิ้งให้แห้ง ก็จะได้ตัวอย่างเม็ดแร่ที่ผ่านการกัฒิว และแสดงความแตกต่างระหว่างโปแทสเซียมเฟลด์สปาร์ และแร่แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ ในที่นี้เม็ดแร่โซเดียมเฟลด์สปาร์ ชนิดแอลไบต์ กล่าวคือแร่โปแทสเซียมเฟลด์สปาร์ จะกลายเป็นสีเหลืองสดใส (Yellow Bright) ส่วนแร่โซเดียมเฟลด์สปาร์จะมีสีขาวชอล์ค (Chalky White) และแร่ควอร์ตซ์จะมีสีเทาหม่น (Dull Grey) ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างโปแทสเซียมเฟลด์สปาร์ และแร่โซเดียมเฟลด์สปาร์ แสดงตามสมการ⁽³²⁾



3.7 แร่ตัวอย่างแต่ละช่วงขนาดที่ผ่านการกัฒิวดังกล่าว จะถูกนำไปจำแนกชนิดแร่, สัดส่วนที่อยู่ร่วมกัน และแสดงถึงลักษณะการเป็นอิสระ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ตามวิธีนับเม็ด (Particle Counting)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การจำแนกชนิดแร่โดยวิธีรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (Mineral Identification by X-Ray Diffraction)

1. การทำงานของรังสีเอกซ์เลี้ยวเบนเพื่อการจำแนกชนิดแร่ ⁽²²⁵⁻²²⁷⁾

แร่มีรูปผลึกซึ่งมีระยะระหว่างระนาบ (d-Spacing) ของแต่ละหน้าผลึกที่คงที่ของแต่ละชนิดแร่ กล่าวคือ เมื่อรังสีเอกซ์ปฐมภูมิมากระทบระนาบของผลึกแร่ เกิดการเลี้ยวเบนเป็นไปตามกฎของ Bragg ($n\lambda = 2d\sin \theta$ โดย λ คือความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ, θ คือมุมที่เกิดการเลี้ยวเบนที่วัดได้) ก็จะสามารถคำนวณหาระยะห่างระหว่างระนาบได้ โดยแสดงผลออกมาเป็นความเข้มของการนับ (Count) หรือพีค (Peak) การแปลค่าความหมายของความเข้มของการนับ, มุม 2θ และระยะห่างระหว่างระนาบ กระทำโดยการเปรียบเทียบค่าดังกล่าวจากตาราง JCPDS ^(๑๑) หรือใช้การประยุกต์ทางคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบ ก็สามารถทำให้จำแนกชนิดแร่ที่อยู่ร่วมกันได้

2. อุปกรณ์, ลำดับการทำงานและการเตรียมตัวอย่างแร่

2.1 อุปกรณ์

เครื่องวิเคราะห์รังสีเอกซ์เลี้ยวเบน ของบริษัท JEOL จก. รุ่น JDX-8030 เชื่อมโยงการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ 16 บิต ซึ่งในรายละเอียดต่าง ๆ สามารถค้นคว้าจากคู่มือการทำงานได้ ^(22๘)

2.2 ลำดับการทำงาน

การทำงานของเครื่องวิเคราะห์รังสีเอกซ์เลี้ยวเบน ของ บริษัท JEOL จำกัด นี้ เชื่อมโยงกับเครื่องคอมพิวเตอร์โดยมีโปรแกรม JDX ^(22๘) โดยการทำงานจะมี Main Menu ให้เลือกคำสั่งหลายประเภท แต่ในที่นี้ใช้งานเพียง 3 ประเภท ของการจำแนกชนิดแร่คือ คำสั่ง

การวัด (Measure), การเลือกพีค (Peak Search) และการเลือกชนิดแร่ (Search Match)

2.2.1 สภาวะการทำงานของกรวัด

2.2.1.1	Target	Cu
	KV	45
	mA	30
2.2.1.2	Start Angle	5.00 deg.
	Stop Angle	70.00 deg.
	Step Angle	0.040 deg.
	M.Time	0.50 sec.

2.2.1.3 Scintillation Counter

2.2.2 การเลือกพีค (Peak Search) เป็นการเจาะจงเลือกพีคที่ต้องการ ซึ่งจะได้ค่าความเข้มของการนับ, มุม 2θ และ d-Spacing นอกเหนือจากค่าที่โปรแกรมเลือกให้จากการวัด ของตัวอย่างแร่

2.2.3 การเลือกชนิดแร่ (Search Match) คือ การเลือกชนิดแร่จากพีค และรูปแบบ (Pattern) ของตัวอย่างแร่ ต่อพีคและรูปแบบของแร่มาตรฐานชนิดต่าง ๆ จากไฟล์ JCPDS ซึ่งอยู่ใน Hard Disk โดยมีพีค และรูปแบบ ของแร่ที่ควรมีในตัวอย่างแร่ ที่คล้องจองกัน ด้วยโปรแกรม JDX

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

2.3.1 ชักตัวอย่างแร่ของการจำแนกชนิดแร่ เพื่อเป็นตัวแทนที่แท้จริงแล้วทำการบดละเอียด -200 เมช ASTM โดยถ้วยบดชนิด Agate Motar (โดยการชักตัวอย่างจะใช้ประโยชน์ทั้งการจำแนกชนิดแร่ และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพร้อมกัน)

2.3.2 นำตัวอย่างอบไล่ความชื้นที่ 105°C จนน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง

2.3.3 เติผงตัวอย่างลงในหลุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 1.6×2.5 ซม.² ลึก 0.45 มม. ของแผ่นกระจกใส่ตัวอย่าง (Glass Sample Plate) โดยทำการปาดผิวให้เรียบ และทำให้มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ เพื่อให้ตัวอย่างเป็นชั้นบาง และเม็ดแร่กระจายตัวกัน

2.4 ผลการจำแนกชนิดแร่ของแต่ละลำดับการทำงาน

การศึกษาเริ่มต้นจาก ร่มมาตรฐานที่ทราบชนิดแร่ และองค์ประกอบทางเคมี (เช่นเดียวกับที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์ เรือง) แล้วจึงทำการจำแนกชนิดแร่ที่อยู่ในแร่ตัวอย่างต่าง ๆ โดยผลการวิเคราะห์การจำแนกชนิดแร่แสดง ตามตารางที่ ค-1 และผลการวัดดังแสดงตามรูปที่ ค-1 ถึง ค-11 การจำแนกชนิดแร่ด้วยรังสีเอกซ์ เลี้ยวเบนนี้ใช้ข้อมูลของการศึกษาแร่วิทยาของแร่ตัดบาง, การศึกษาแร่บดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และคุณสมบัติการติดแม่เหล็กมาร่วมประกอบการพิจารณาด้วย

ตารางที่ ค-1

การวิเคราะห์การจำแนกชนิดแร่ด้วยรังสีเอกซ์ เลี้ยวเบน

รหัส	รายละเอียด	ค่าของพีคสูงสุด			ชนิดแร่ (คำย่อ)
		2 θ	d-Spacing	Counts	
1. KF-1	แร่เฟลด์สปาร์จาก ประเทศอินโดนีเซีย ลำดับ 1	26.56	3.353	722	ควออร์ตซ์ (Q)
		27.36	3.257	2537	ไมโครไคลน์ (Mi)
		27.84	3.202	3418	แอลไบต์ (Ab)
2. KF-2	แร่เฟลด์สปาร์จาก ประเทศอินโดนีเซีย ลำดับ 2	26.56	3.353	707	ควออร์ตซ์ (Q)
		27.36	3.257	2607	ไมโครไคลน์ (Mi)
		27.84	3.202	2066	แอลไบต์ (Ab)
3. JF-2	แร่เฟลด์สปาร์จาก ประเทศญี่ปุ่น	27.44	3.248	3194	ไมโครไคลน์ (Mi)
		27.88	3.197	905	แอลไบต์ (Ab)
4. QTZ (CL)	แร่ควออร์ตซ์	26.56	3.353	9139	Max.Line (Q)
		20.76	4.275	1966	2nd Line (Q)
		50.00	1.823	1163	3rd Line (Q)
		20.76	4.275	1966	1st Line (Q)
5. FRAA	แร่เฟลด์สปาร์ตัดขาย เกรด AA	27.44	3.248	5005	ไมโครไคลน์ (Mi)
		27.88	3.197	1246	แอลไบต์ (Ab)

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

การวิเคราะห์การจำแนกชนิดแร่โดยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน

รหัส	รายละเอียด	ค่าของพีคสูงสุด			ชนิดแร่ (คำย่อ)	
		2 θ	d-Spacing	Counts		
6. FRA1-1	แร่เฟลด์สปาร์ตัดขาด เกรด A	26.52	3.358	516	ควออตซ์ (Q)	
		27.36	3.257	2257	ไมโครไคลน์ (Mi)	
		27.84	3.202	1300	แอลไบต์ (Ab)	
7. FRA-2	แร่เฟลด์สปาร์ตัดขาด เกรด A	26.56	3.353	1474	ควออตซ์ (Q)	
		27.84	3.202	6815	แอลไบต์ (Ab)	
		30.40	2.930	450	ซอร์ไลต์ (Sl)	
8. FRB	แร่เฟลด์สปาร์ตัดขาด เกรด B	34.92	2.567	273	แอลมันไดต์ (Ad)	
		8.76	10.086	122	1st Line	
					มีสโคไวต์ (Mv)	
		26.56	3.353	2464	ควออตซ์ (Q)	
		27.36	3.257	2177	ไมโครไคลน์ (Mi)	
9. FGQT	สินแร่หน้าเหมือง	27.84	3.202	1428	แอลไบต์ (Ab)	
		30.64	2.919	257	ซอร์ไลต์ (Sl)	
		34.96	2.564	172	แอลมันไดต์ (Ad)	
		26.56	3.353	3682	ควออตซ์ (Q)	
		27.40	3.252	488	ไมโครไคลน์ (Mi)	
		27.84	3.202	1509	แอลไบต์ (Ab)	
10. FM	แร่มีสโคไวต์ (ส่วนใหญ่)	30.40	2.938	193	ซอร์ไลต์ (Sl)	
		34.92	2.567	134	แอลมันไดต์ (Ad)	
		34.60	2.590	172	สเปซซาร์ไทต์ (St)	
		26.72	3.334	2133	มีสโคไวต์ (Mv)	
			27.44	3.248	1126	ไมโครไคลน์ (Mi)
			27.84	3.202	1055	แอลไบต์ (Ab)

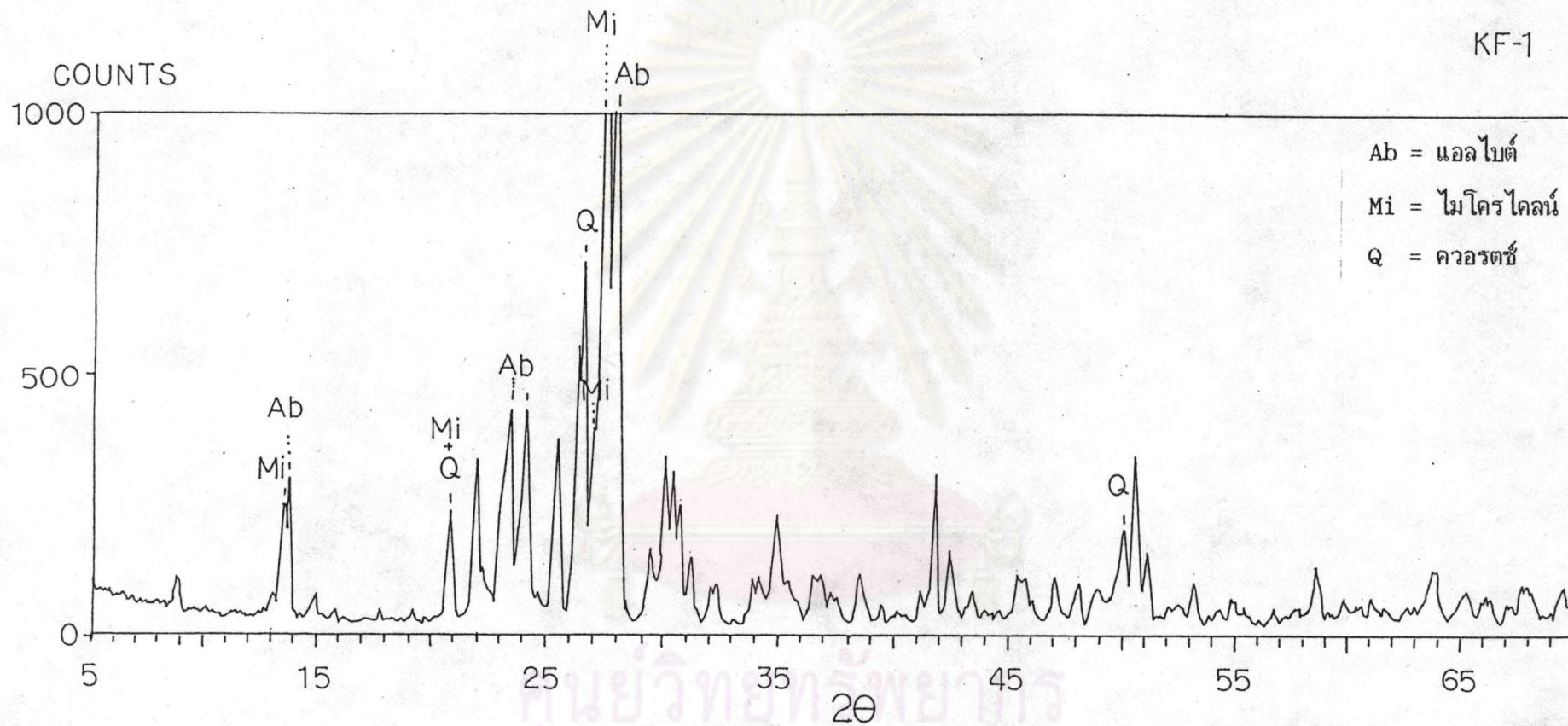
ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

การวิเคราะห์การจำแนกชนิดแร่โดยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน

รหัส	รายละเอียด	ค่าของพีคสูงสุด			ชนิดแร่ (คำย่อ)
		2 θ	d-Spacing	Counts	
11.FGTM	แร่ติดแม่เหล็ก (ส่วนใหญ่) Frantz Isodynamic	26.56	3.353	1036	ควออร์ตซ์ (Q)
		26.68	3.338	972	มีสโดไต์ (Mv)
		27.40	3.252	287	ไมโครไคลน์ (Mi)
		27.80	3.206	774	แอลไบต์ (Ab)
		30.80	2.901	220	ซอร์ไลต์ (Sl)
		34.60	2.590	977	สเปสซาร์ไทต์ (St)

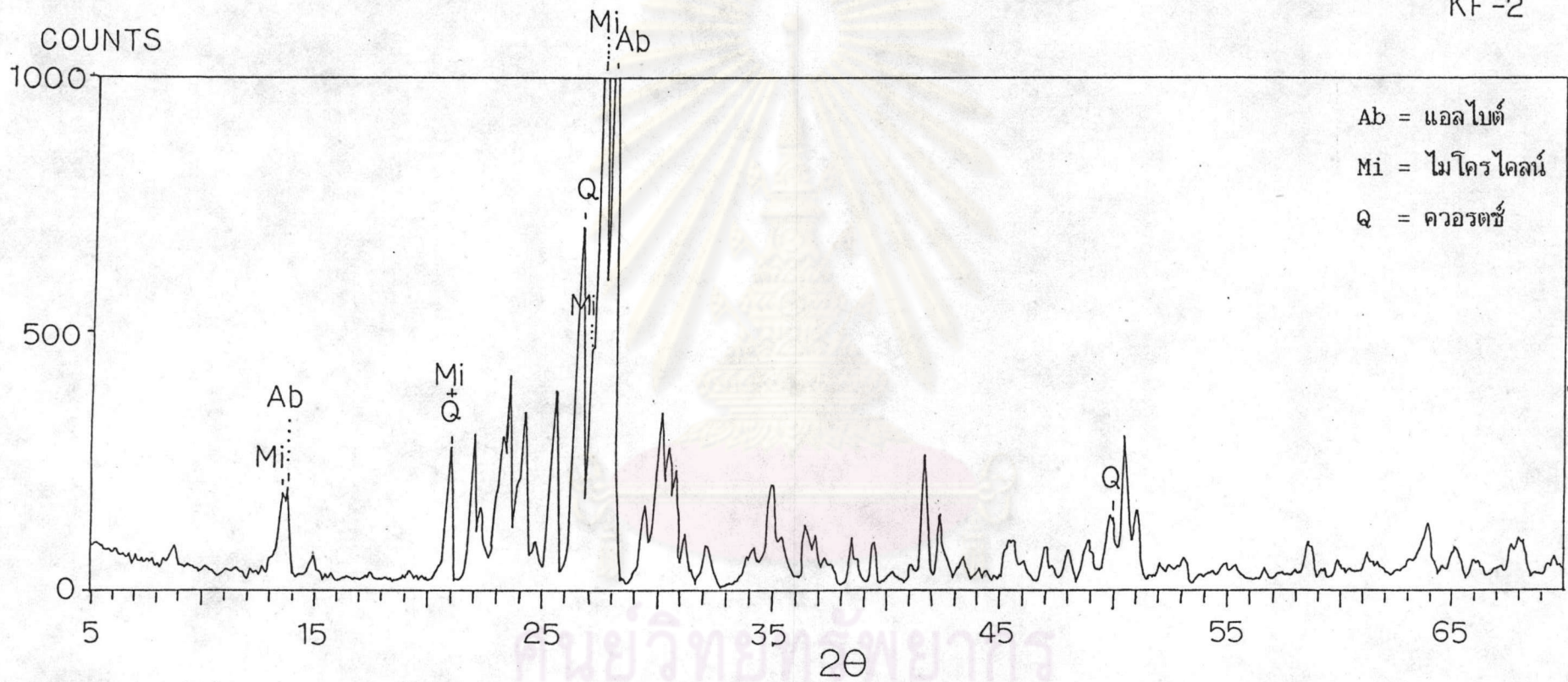
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

KF-1



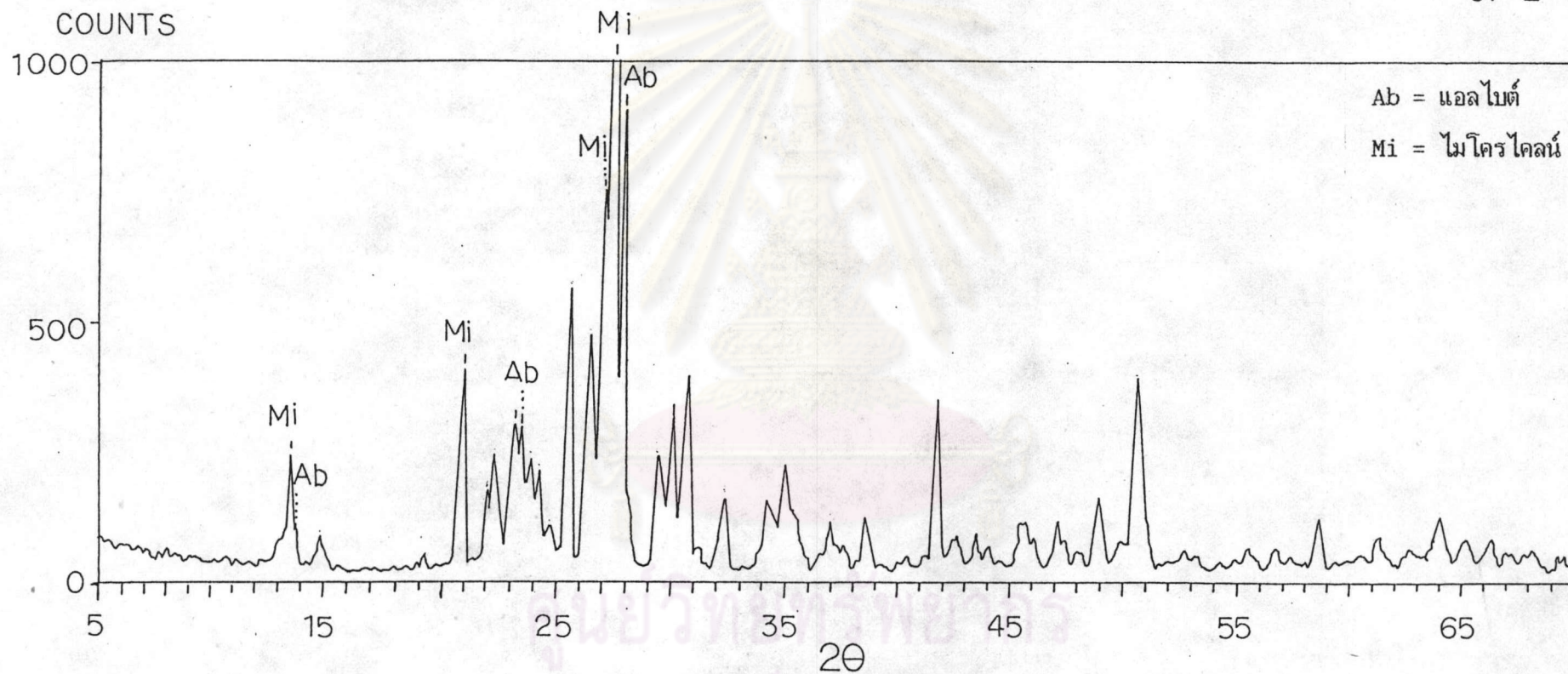
รูปที่ ค-1 ผลการวัด (Measurement) ของแร่มาตรฐานจากประเทศฟินแลนด์ ลำดับที่ 1 (KF-1)

KF-2

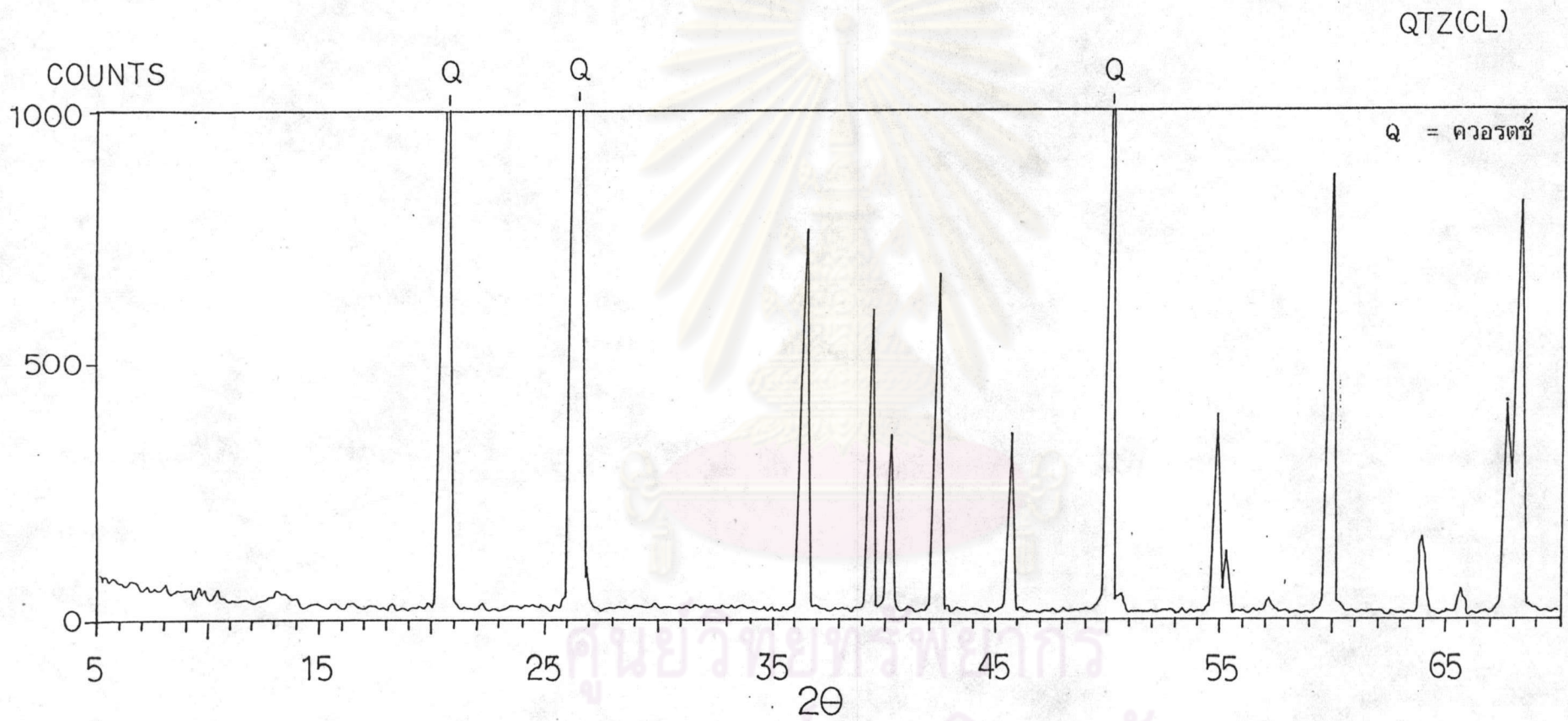


รูปที่ ค-2 ผลการวัด (Measurement) ของแร่มาตรฐานจากประเทศฟินแลนด์ ลำดับที่ 2 (KF-2)

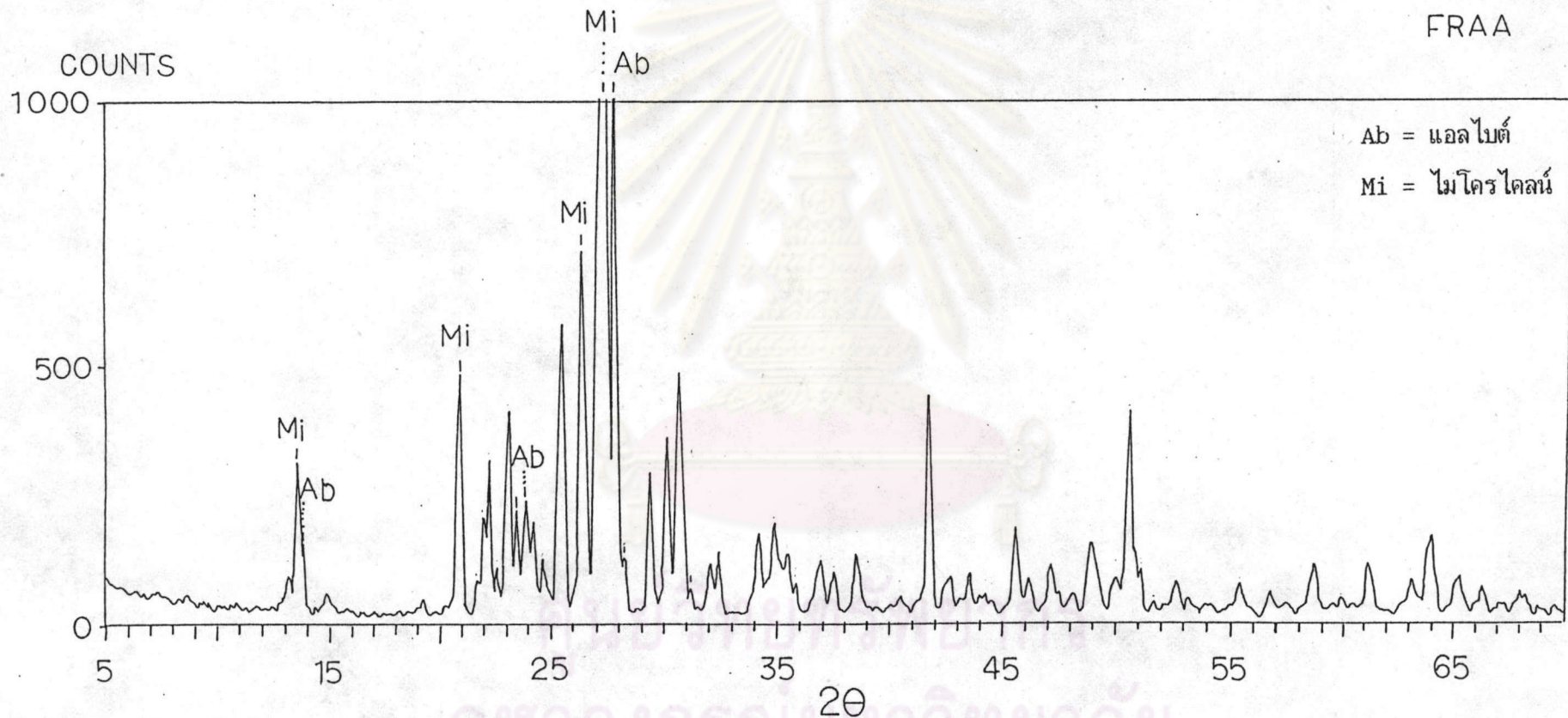
JF-2



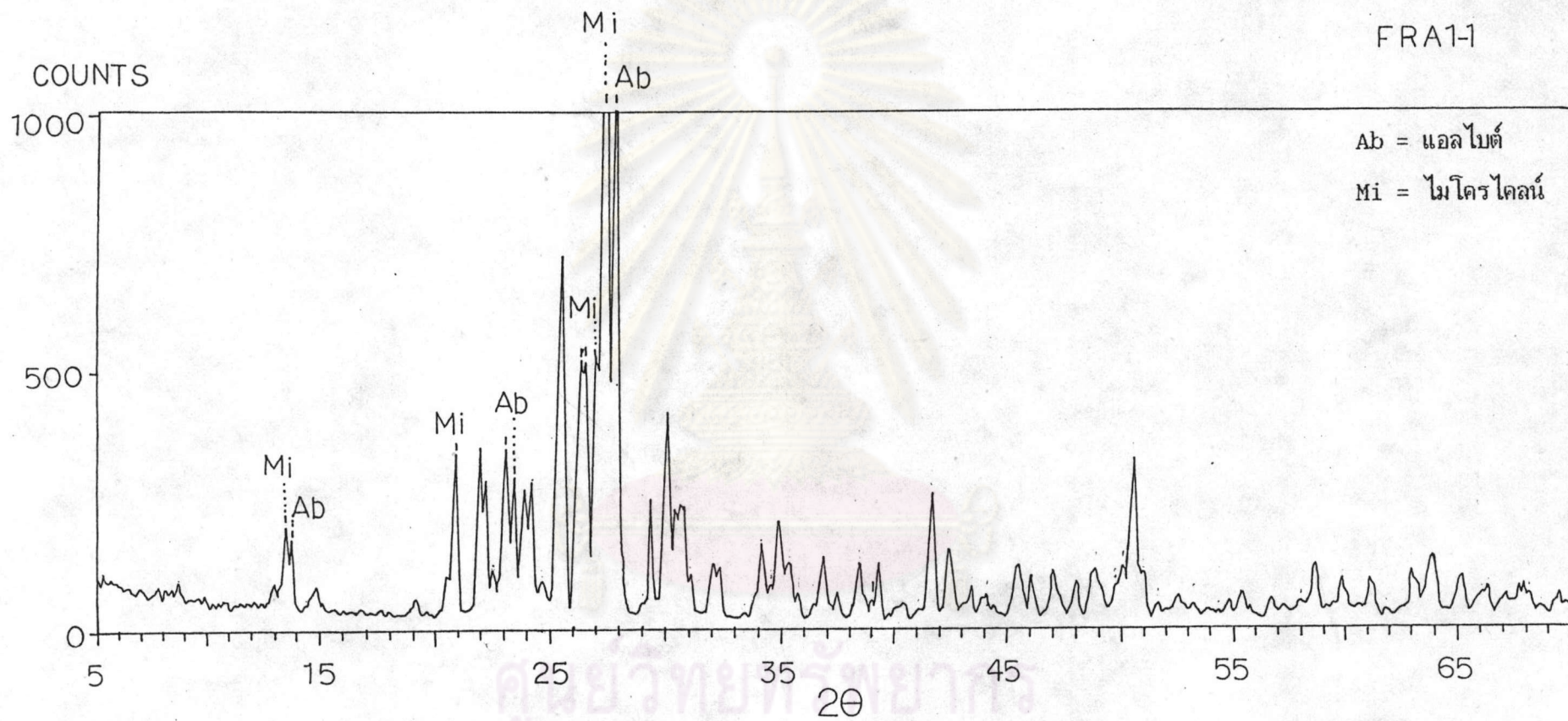
รูปที่ ค-3 ผลการวัด (Measurement) ของแร่มาตรฐานจากประเทศไทย (JF-2)



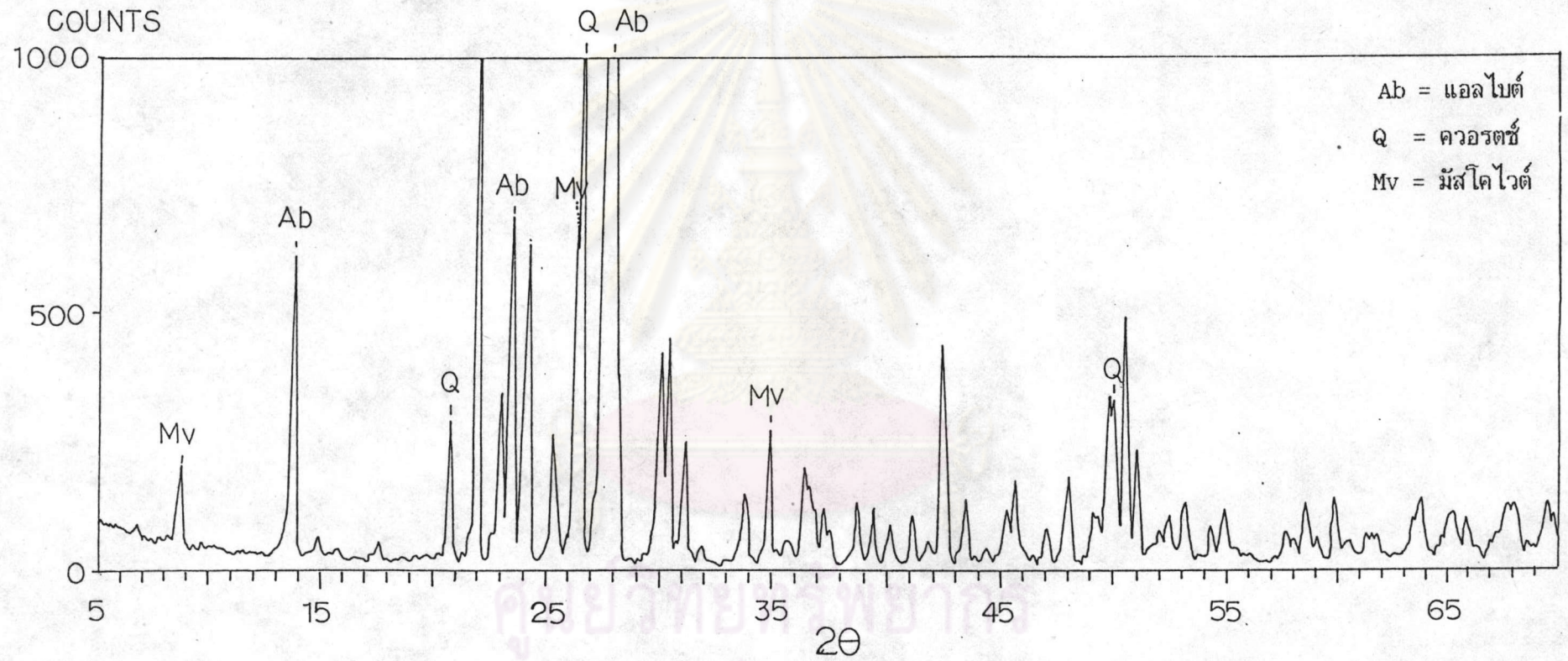
รูปที่ ค-4 ผลการวัด (Measurement) ของแร่ควออตซ์ (QTZ(CL))



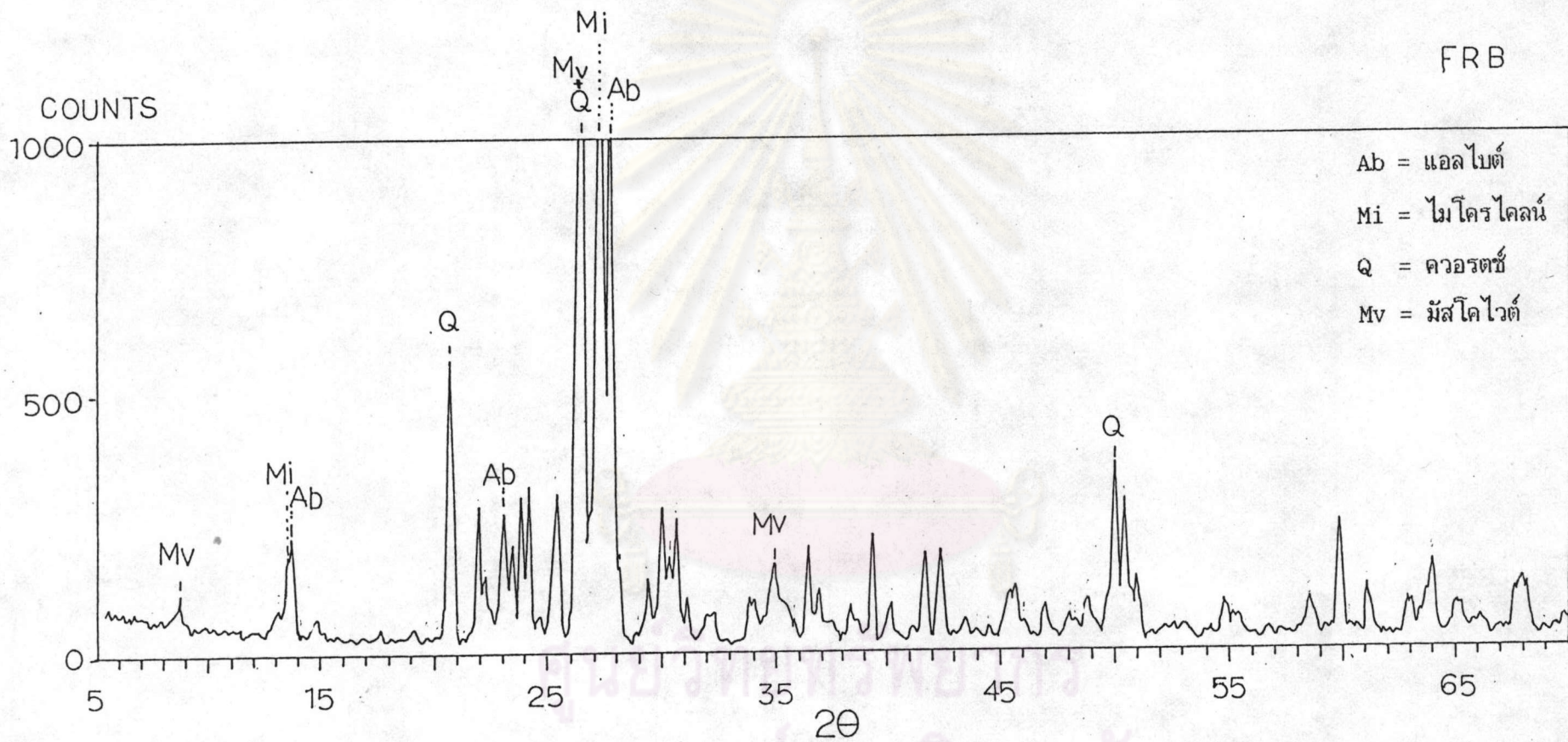
รูปที่ ค-5 ผลการวัด (Measurement) ของแร่เฟลด์สปาร์ตัดขาย เกรด AA (FRAA)



รูปที่ ค-6 ผลการวัด (Measurement) ของแร่เฟลด์สปาร์คัดชาย เกรด A (FRA1-1)

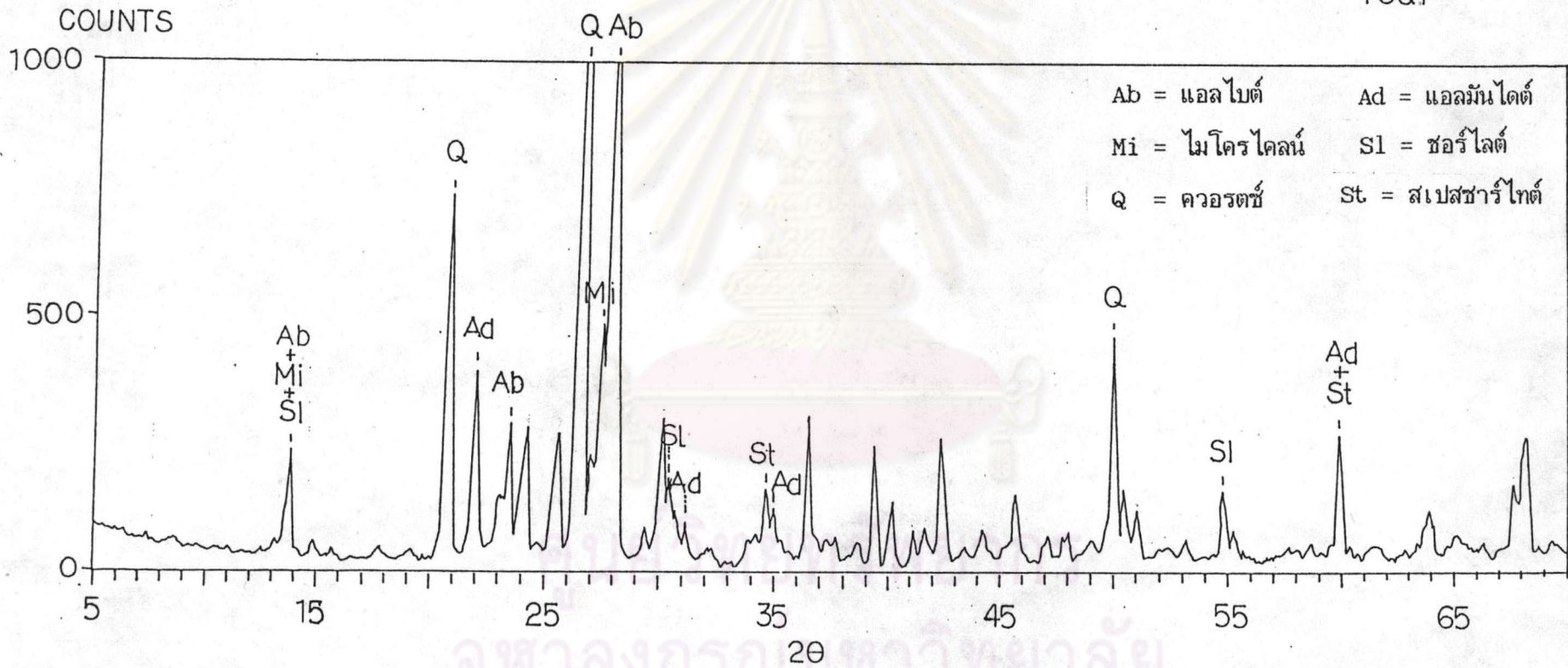


รูปที่ ค-7 ผลการวัด (Measurement) ของแร่เฟลด์สปาร์ตัดขาย เกรด A (FRA-2)

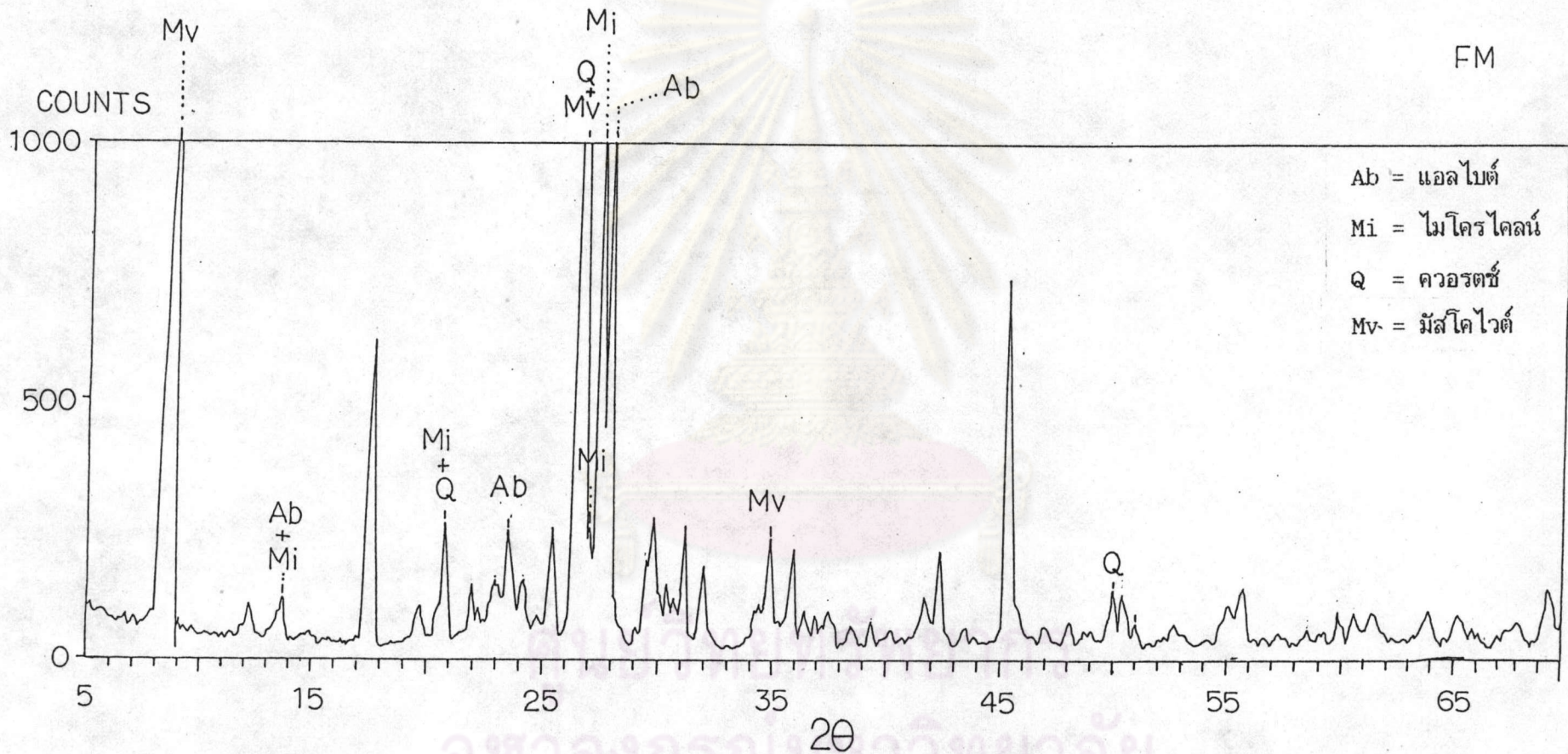


รูปที่ ค-8 ผลการวัด (Measurement) ของแร่เฟลด์สปาร์ตัดชาย เกรด B (FRB)

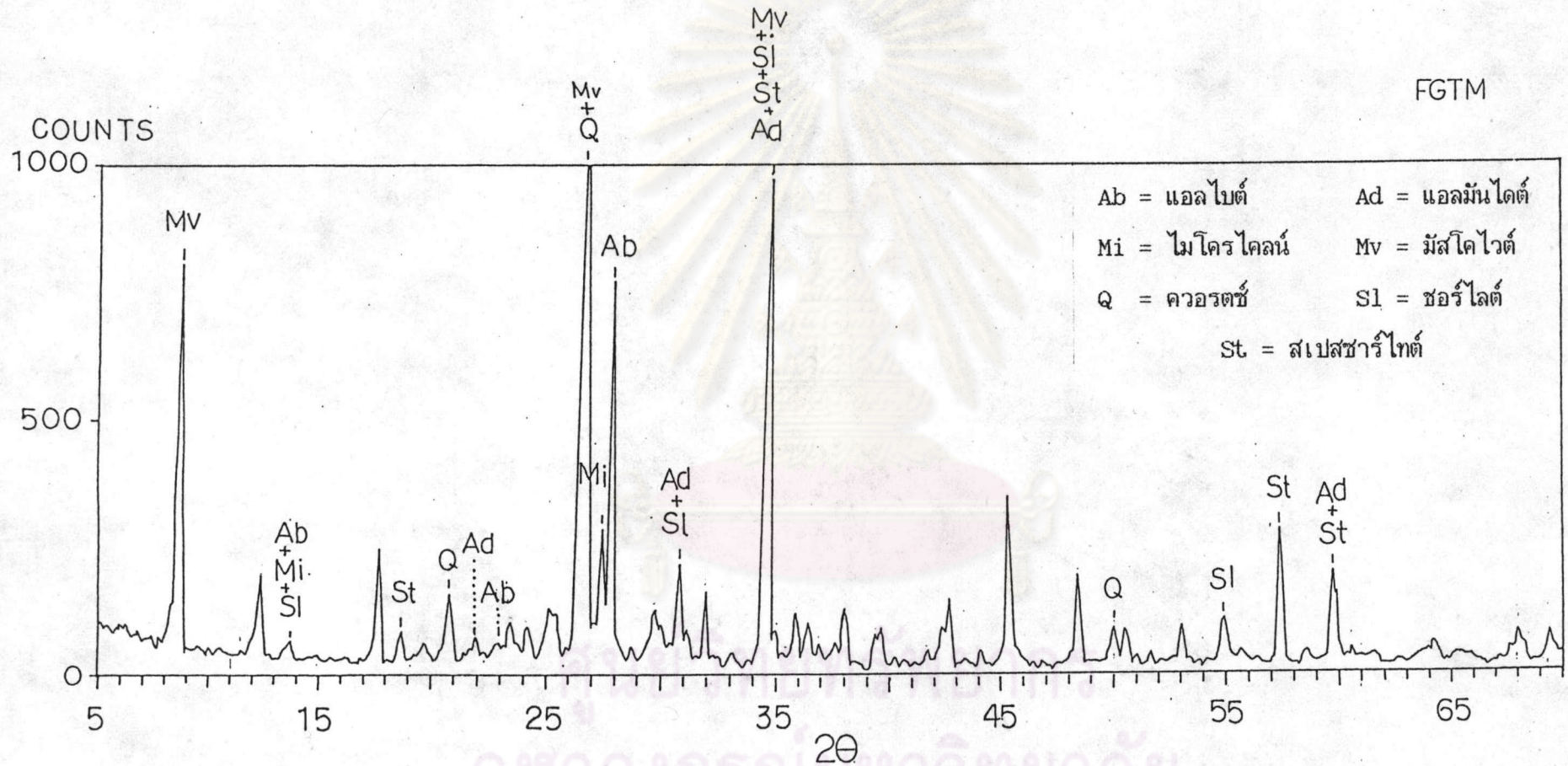
FGQT



รูปที่ ค-9 ผลการวัด (Measurement) ของสินแร่หน้าเหมือง (FGQT)



รูปที่ ค-10 ผลการวัด (Measurement) ของแร่มีสโคไวต์โดยส่วนใหญ่ (FM)



รูปที่ ค-11 ผลการวัด (Measurement) ของแร่ติดแม่เหล็กโดยส่วนใหญ่ (FGTM) ซึ่งผ่านการแยกโดย Frantz Isodynamic Separator

ภาคผนวก ง

การจำแนกชนิดแร่ด้วยคุณสมบัติการติดแม่เหล็ก ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กที่ใช้ในห้องปฏิบัติการชนิด Frantz Isodynamic

1. วัตถุประสงค์

เพื่อการจำแนกชนิดแร่ติดแม่เหล็ก ที่การแปรเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าต่าง ๆ กัน

2. วิธีทดลอง

2.1 ปรับตัวแปรของเครื่องแยกแม่เหล็กชนิด Frantz Isodynamic

- i) Side Slope 15 องศา
- ii) Forward Slope 25 องศา

2.2 ลำดับการศึกษาตัวอย่าง

2.2.1 แร่ป้อนผ่านการบด -60 เมช เพื่อการจำแนกชนิดแร่ที่อยู่ร่วมกันทั้งรวม และไม่รวม -200 เมช

2.2.2 แร่ที่ผ่านการแยกโดย เครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ที่สภาวะการทำงานแยกแร่ติดแม่เหล็กเพียง 1 ครั้ง

- i) แร่ไม่ติดแม่เหล็กที่ อัตราป้อนของผสม 20 ลิตร/นาที, % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 20 ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 ม./นาที (H1NM2BR2)
- ii) แร่ไม่ติดแม่เหล็กที่ อัตราป้อนของผสม 20 ลิตร/นาที, % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 20 ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 3.38 ม./นาที (H1NM2BR10)
- iii) แร่ติดแม่เหล็กที่ อัตราป้อนของผสม 20 ลิตร/นาที, % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 20 ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 3.38 ม./นาที (H1MG2BR10)

2.2.3 นำแร่แต่ละลำดับผ่านเครื่องแยกแม่เหล็กดังกล่าวที่กระแสไฟฟ้า 0.4 0.60, 0.80, 1.00, 1.20, 1.40, 1.50 แอมแปร์ (Ampere) ตามลำดับ

2.2.4 นำแร่แต่ละช่วงการทำงาน ศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อการจำแนกชนิดแร่ ดังแสดงผลตามตารางที่ ง-1 ถึง ง-4

ตารางที่ ง-1

แร่ป้อนบดรวม -60 เมช ไม่คัด -200 เมช ทั้ง

ลำดับ ที่	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	% นน.แร่ ติดแม่เหล็ก	การจำแนกชนิดแร่
1	0.40	0.26	การแร่เนื้อสีแดงออกชมพู
2	0.60	0.11	ทิวร์มาลีนโดยส่วนใหญ่ และการแร่
3	0.80	0.15	ทิวร์มาลีนโดยส่วนใหญ่ และมัสโคไวต์
4	1.00	0.19	มัสโคไวต์โดยส่วนใหญ่ และทิวร์มาลีน
5	1.20	0.15	มัสโคไวต์
6	1.40	0.17	มัสโคไวต์
7	1.50	0.16	มัสโคไวต์
	รวม	1.19*	แร่เฟลด์สปาร์, ควออตซ์, มัสโคไวต์ และแร่ทิวร์มาลีนที่เป็น เข้มแทรกใน ควออตซ์และแอลไบต์, ไพไรต์
% นน. แร่ไม่ติดแม่เหล็ก = 98.81			

ตารางที่ ง-2

แร่ป้อนรวม -60 เมช คัด -200 เมช ที่ง

ลำดับ ที่	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	% เหน.แร่ ติดแม่เหล็ก	การจำแนกชนิดแร่
1	0.20	0.12	การ์เนตสีแดงออกซิมพู
2	0.40	0.30	การ์เนตสีแดงออกซิมพู
3	0.60	0.15	ทิวร์มาลีนโดยส่วนใหญ่ และการ์เนต
4	0.80	0.14	ทิวร์มาลีนโดยส่วนใหญ่ และมิสโคไวต์
5	1.20	0.21	มิสโคไวต์ และทิวร์มาลีน
6	1.50	0.23	มิสโคไวต์
	รวม	1.15*	แร่เฟลด์สปาร์, ควออร์ตซ์, มิสโคไวต์ และแร่ทิวร์มาลีนที่เป็น ซีมแทรก ในควออร์ตซ์และแอลไบต์, ไพไรต์
% เหน.แร่ไม่ติดแม่เหล็ก = 98.95			

* ความแตกต่างของ % น้ำหนักแร่ติดแม่เหล็กที่ขนาด -200 เมช 0.04 %

ตารางที่ ง-3

แร่ติดแม่เหล็ก (H1MG2BR10) ผ่านการแยกโดย WHIMS

ขนาดแร่ (เมช)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	% เหน.แร่ ติดแม่เหล็ก	การจำแนกชนิดแร่
-60	0.20	1.65	สปีมเหล็กจากท่อ และการ์เนต
-60	0.40	5.24	การ์เนต และสปีมเหล็ก
-60	0.60	3.41	การ์เนต, สปีมเหล็ก, ทิวร์มาลีน
-60	0.80	3.71	ทิวร์มาลีน และมิสโคไวต์

ตารางที่ ง-3 (ต่อ)

แร่ติดแม่เหล็ก (H1MG2BR10) ผ่านการแยกโดย WHIMS

ขนาดแร่ (เมช)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	% นน.แร่ ติดแม่เหล็ก	การจำแนกชนิดแร่
-60	1.20	5.77	มีสโคไวต์ และทัวร์มาลีน
-60	1.50	5.51	มีสโคไวต์ และทัวร์มาลีน
+70	ค้ำตะแกรง	0.68	มีสโคไวต์ และสลิมเหล็ก
	รวม	25.96	
% นน.แร่ไม่ติดแม่เหล็ก = 74.04			แร่ไม่ติดแม่เหล็กมีสีแดงเนื่องจาก การย่างแห้ง

ตารางที่ ง-4

แร่ไม่ติดแม่เหล็กผ่านการแยกโดย WHIMS

ลำดับ ที่	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	(H1NM2BR2)		(H1NM2BR10)	
		% นน.แร่ ติดแม่เหล็ก	ชนิดแร่	% นน.แร่ ติดแม่เหล็ก	ชนิดแร่
1	1.5	0.16	มีสโคไวต์***	0.16	มีสโคไวต์***
2	1.5	0.19	มีสโคไวต์***	0.15	มีสโคไวต์***
	เฉลี่ย	0.175**		0.155**	

** ความแตกต่าง % น้ำหนักแร่ติดแม่เหล็ก เท่ากับ 0.02 กรัม

*** มีสโคไวต์ขนาดละเอียด

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีรังสีเอกซ์เรือง (Chemical Analysis by X-Ray Fluorescent)

1. การทำงานโดยรังสีเอกซ์เรือง (226, 229-231)

หลักเบื้องต้นในการวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรือง ที่ใช้วิเคราะห์ทั้งด้านคุณภาพและปริมาณ (Qualitative and Quantitative Analysis) กล่าวคือ รังสีเอกซ์ปฐมภูมิ (Primary X-Ray) ไปกระตุ้นธาตุในตัวอย่างไม่ให้เกิดรังสีเอกซ์เรืองทุติยภูมิ (Secondary X-Ray) แล้วก็ทำการวัดรังสีเอกซ์เรืองที่เกิดขึ้นจากธาตุในตัวอย่างไม่ โดยที่ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของธาตุนั้นในตัวอย่างไม่ ซึ่งการทำงานสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบ ดังนี้คือ

1.1 การวัดแบบการกระจายของความยาวคลื่น (Wavelength Dispersive Spectrometry, WDS) โดยที่รังสีเอกซ์เรืองทุติยภูมิ ที่ปล่อยจากธาตุในตัวอย่างไม่ถูกกระจาย (Dispersed) โดยผลึกวิเคราะห์ (Analyzing Crystal) นำสู่วัดของแต่ละความยาวคลื่นของธาตุ

1.2 การวัดแบบการกระจายของพลังงาน (Energy Dispersive Spectrometry, EDS) เครื่องวัดจะรับรังสีเอกซ์เรืองทุติยภูมิ ที่เกิดจากธาตุในตัวอย่างไม่ทั้งหมด โดยหัววัด (Detector) ซึ่งจะทำให้การแจกแจงพลังงาน (Energy Resolution) ของแต่ละธาตุ โดยแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าซึ่งเป็นปริมาณโดยตรงกับพลังงานรังสีเอกซ์ ที่กระจายบนหัววัดนั้น

โดยหลักการแล้วระบบการวัดทั้งสองต่างกันที่ การแจกแจงรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่เกิดจากธาตุในตัวอย่างไม่ กล่าวคือระบบ WDS ทำการแจกแจงรังสีเอกซ์เฉพาะตัว โดยผลึกวิเคราะห์ ตามความสัมพันธ์ของ $n\lambda = 2d\sin\theta$ โดยที่ λ คือความยาวคลื่นของธาตุในตัวอย่างไม่, θ คือมุมเลี้ยวเบน ที่กระทำบนระนาบ d-Spacing ที่ทราบค่าของผลึกวิเคราะห์ ส่วนระบบ EDS นั้น การแจกแจงรังสีเอกซ์เฉพาะตัวเกิดขึ้นในหัววัดรังสี ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานของรังสีเอกซ์

เฉพาะตัวนั้น เป็นความต่างศักย์ของพัลส์ (Pulse) ซึ่งมีขนาดเป็นปฏิภาคโดยตรงกับพลังงานรังสีเอกซ์เฉพาะตัว

ขีดความสามารถในการทำงานของทั้ง 2 ระบบต่างกัน คือ ระบบ WDS มีข้อเสียเปรียบที่การวิเคราะห์ธาตุหลาย ๆ ธาตุในตัวอย่างเดียวกันใช้เวลานานแต่ระบบ EDS สามารถวิเคราะห์ได้รวดเร็ว ส่วนข้อดีของระบบ WDS คือ การแจกแจงพลังงานดีกว่าระบบ EDS ประมาณ 10 เท่า⁽²²⁹⁾

ในการวิเคราะห์แร่เฟลด์สปาร์และแร่ควอร์ตซ์ จะใช้ทั้ง 2 ระบบ โดยจะใช้ระบบ EDS วิเคราะห์ออกไซด์ของธาตุ Si, Ti, Al, Fe, Mn, Ca และ K ส่วนระบบ WDS ใช้วิเคราะห์ออกไซด์ของธาตุเบา เช่น Na (เนื่องจากการวิเคราะห์ออกไซด์ของธาตุ Na ด้วยระบบ EDS จะแม่นยำน้อยกว่าระบบ WDS)

2. การเตรียมตัวอย่าง (Specimen Preparation)⁽²²⁹⁻²³⁰⁾

ตัวอย่างในการวิเคราะห์ด้วย XRF นั้นสามารถเตรียมได้หลายรูปแบบ ขึ้นกับตัวอย่างนั้นอยู่ในสถานะภาพใด ในการวิจัยนี้ ตัวอย่างเป็นของแข็งหรือเป็นแร่ชนิดของแร่ป้อน, แร่ผ่านการแต่ง และมีการใช้ตัวอย่างแร่มาตรฐานเป็นหลักในการวิเคราะห์ โดยที่ตัวอย่างแร่วิจัยและตัวอย่างแร่มาตรฐานผ่านการบดแร่เป็นผง (Powder) แล้วผ่านการอบไล่ความชื้น (H_2O^-) ที่อุณหภูมิ $105^{\circ}C$ จึงใช้สารเชื่อม (Binder) ผสมเพื่อยึดผงตัวอย่างแร่อยู่ด้วยกันของการทำเป็น วงแหวนอัด (Pellet) โดยคงความเป็นเมทริกซ์ของขนาดเม็ดแร่ และการวิเคราะห์เป็นไปแนวทางเดียวกัน ลำดับขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง สำหรับ XRF มีดังนี้

- 2.1 ชักตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 20.0 กรัม บดละเอียดเป็นผง (Powder) ที่ขนาด -200 เมช ASTM โดย Agate Motar
- 2.2 ชั่งน้ำหนักประมาณ 10.0000 กรัม (ส่วนที่เหลือเป็นตัวอย่างอ้างอิง หรือใช้ในการวิเคราะห์วิธีอื่น)
- 2.3 ชั่งน้ำหนักสารเชื่อมซึ่งใช้ ผงกรดบอริก (Boric Acid Powder, H_3BO_3) ในที่นี้สัดส่วนการผสมที่ 23% โดยน้ำหนักของตัวอย่างแร่และสารเชื่อม หรืออัตราส่วนโดยน้ำหนักตัวอย่างแร่ต่อสารเชื่อม เท่ากับ 10:3 และคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) โดยบดละเอียดอีกครั้ง

2.4 ตัวอย่างถูกตัดใส่ในวงแหวนอะลูมิเนียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 มม. โดยเกลี่ยให้มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ อัดแน่นด้วยเครื่องอัด (Electric Briquette Press Type Mp-50-02, Shimadzu Corporation), แรงอัด (Pressure) ที่ 30 ตัน, เวลาที่ใช้ในการอัด 7.5 วินาที และเวลาลดแรงอัด 7.5 วินาที เช่นกัน ผลการอัดตัวอย่างแร่เป็นวงแหวนอัด (Pellet) ดังแสดงตามรูปที่ จ-1

ข้อระวังของการอัดตัวอย่างแร่ในการวิจัย และตัวอย่างแร่มาตรฐานต้องคงลักษณะของความหนาแน่น, อัตราส่วนสารเชื่อมที่ผสม, การเป็นเนื้อเดียว, แรงอัดต้องเท่ากัน อีกทั้งการป้องกันจากสิ่งเจือปนด้วย

3. การเลือกตัวอย่างแร่มาตรฐาน

ในการวิจัยนี้ได้แบ่งกลุ่มของตัวอย่างแร่เป็น 2 กลุ่มของการใช้ตัวอย่างแร่มาตรฐาน ดังนี้คือ

3.1 ตัวอย่างแร่มาตรฐานสำหรับแร่ป้อน, แร่ไม่ติดแม่เหล็กที่ผ่านการแยกด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก (WHIMS) และแร่จมของการลอยแร่ ใช้ตัวอย่างแร่มาตรฐาน หินแกรนิตจากประเทศญี่ปุ่น รหัส JG-2⁽²³²⁾

3.2 ตัวอย่างแร่มาตรฐาน สำหรับแร่ผ่านการแต่งโดยการลอยแร่ของแร่ลอยได้ ใช้ตัวอย่างแร่เฟลด์สปาร์ที่ได้จากการลอยแร่จากประเทศฟินแลนด์ รหัส KF-2⁽²³³⁾

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสัดส่วนแร่ที่อยู่ร่วมกันของแร่มาตรฐาน แสดงตามตารางที่ จ-1

ตารางที่ จ-1

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสัดส่วนแร่ที่อยู่ร่วมกัน

ของตัวอย่างแร่มาตรฐาน

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	หินแกรนิต จากประเทศไทย	แร่เฟลด์สปาร์ จากประเทศฟินแลนด์
SiO ₂	76.95	67.0
TiO ₂	0.04	-
Al ₂ O ₃	12.41	18.50
Fe ₂ O ₃	0.36	0.12
FeO	0.52	-
MnO	0.015	-
MgO	0.04	-
CaO	0.80	0.50
Na ₂ O	3.55	5.00
K ₂ O	4.76	8.00
P ₂ O ₅	0.002	-
H ₂ O ₊	0.25	-
H ₂ O ₋	0.13	0.30
Cl ⁻	-	0.01
Water Soluble (K+Na)	-	0.07
รวม	99.83	99.12

ตารางที่ จ-1(ต่อ)

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสัดส่วนแร่ที่อยู่ร่วมกัน

ของตัวอย่างแร่มาตรฐาน

สัดส่วนแร่ที่อยู่ร่วมกัน (CIPW NORM) (ร้อยละ)	หินแกรนิต จากประเทศญี่ปุ่น	แร่เฟลด์สปาร์ จากประเทศฟินแลนด์
ไมโครไคลน์	28.13	47.28
แอลไบต์	30.03	42.30
อะนอร์ไทต์	3.97	2.48
รวมแร่เฟลด์สปาร์	62.13	92.06
แร่ควออตซ์	35.91	6.23
แร่อื่น ๆ	1.88	0.82

4. อุปกรณ์และสภาวะการทำงาน⁽²³⁴⁾

4.1 ระบบการวัดแบบการกระจายของความยาวคลื่น (WDS) สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโซเดียม (Na)

4.1.1 เครื่องวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรือง ของ JEOL รุ่น JSX 60 PA

4.1.2 สภาวะการทำงาน

i) ระบบการกำเนิดรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ

: AFX-51A-Rh, 2KW Rhodium Tube

: High Voltage 30 Kv, 40 mA

- ii) X-Ray Spectrometer Proper
 - : Analyzing Crystal
 - (Rubidium Acid Phthlate, RbAP,
 - 2d = 26.121 Angstrom)
- iii) Counting/Measuring System
 - : Proportional Counter
 - : Window Foil Thickness, Mylar 4 ไมครอน
- iv) Sample Holder
 - : Aluminium Ring Dia. 30 mm
- v) Goniometer Control Panel and Angle Indicator
 - : Spin on, Vacuum
 - : Scan Speed 2 degree
- vi) Recorder
 - : Chart Speed 20 mm/min.

4.2 ระบบการวัดแบบการกระจายของพลังงาน (EDS) สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุ Si, Ti, Al, Fe, Mn, Ca, K

4.2.1 เครื่องวิเคราะห์รังสีเอกซ์ รุ่น EDXRF XR-200

4.2.2 สภาวะการทำงาน

a) ระบบการกำเนิดรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ

: Rhodium Target

: High Voltage 30 KV, 0.3 mA

b) หัววัด (Detector)

: Lithium Drifted Silicon, Si(Li)

c) เวลาในการวัด 200 วินาที

4.2.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้แสดงผลการวิเคราะห์ คือ โปรแกรม X-Ray Fluorescence Analysis with Fundamental Parameter ร่วมกับ Filtered Least Square, XFF/FLS⁽²³⁴⁾

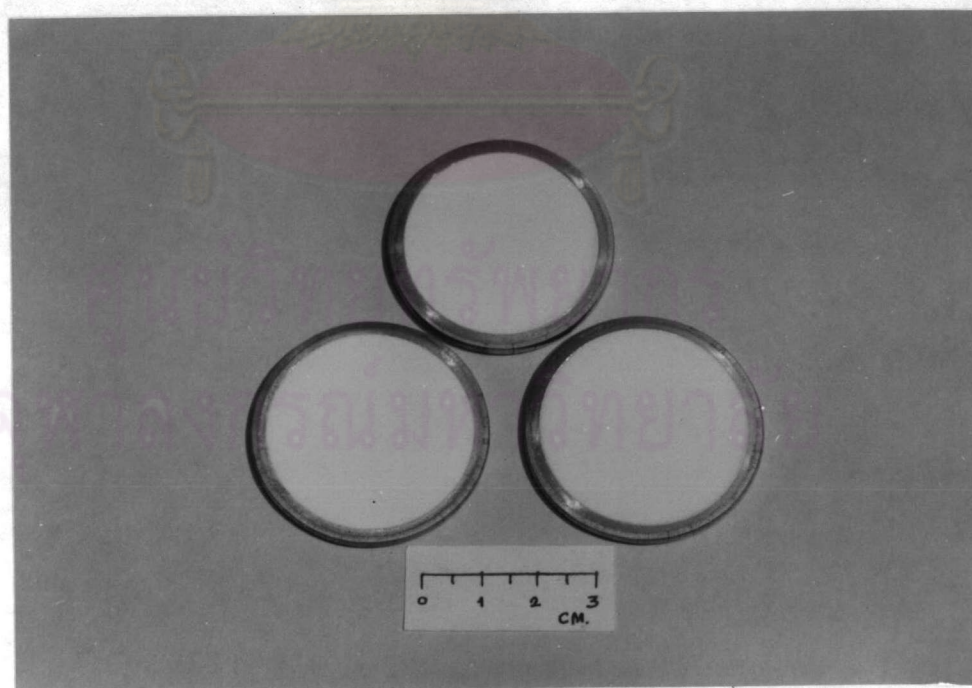
5. ลำดับการวิเคราะห์

5.1 ทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุโซเดียม (Na) ด้วยระบบ WDS ใช้แร่มาตรฐานเปรียบเทียบค่าการนับ (Count) ⁽²³⁵⁾ แล้วคำนวณเปรียบเทียบกับหาปริมาณธาตุโซเดียม เป็นองค์ประกอบออกไซด์ของ Na₂O

5.2 นำค่าปริมาณของธาตุโซเดียม (Na) จากระบบ WDS มากำหนดค่าคงที่ของระบบ EDS ⁽²³⁶⁾ ซึ่งใช้โปรแกรม XFF/FLS โดยมีการแจกแจงพลังงานของแร่มาตรฐานเป็นตัวเปรียบเทียบกับตัวอย่างแร่วิจัย

5.3 ปริมาณของธาตุในตัวอย่างแร่วิจัยจะออกมาเป็นค่าองค์ประกอบออกไซด์ ของ Si, Ti, Al, Fe, Mn, Ca, Na, K ที่เรียกว่า Stoichiometry Normalized

5.4 ปริมาณของ Fe₂O₃ จากการวิเคราะห์ด้วยอะตอมมิก แอบซอร์บชั่น รวมทั้งค่าการสูญเสียจากการเผาไหม้ (LOI) ถูกนำมาปรับค่าเพื่อ Normalized ก็จะได้ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเป็นออกไซด์ของธาตุในตัวอย่างแร่ในการวิจัย



รูปที่ ๑-1 วงแหวนอัด (Pellet) ของตัวอย่างแร่ สำหรับการวิเคราะห์ โดยวิธีรังสีเอกซ์เรือง (XRF)

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุเหล็กด้วยเทคนิคการดูดกลืนแสง โดยวิธีอะตอมมิก แอพออร์บตัน

1. หลักการทำงานของอะตอมมิกแอพออร์บตัน (68, 226)

เป็นวิธีในการวิเคราะห์ธาตุทั้งเชิงปริมาณ และคุณภาพที่ตัวอย่างมีปริมาณธาตุที่สนใจ
อยู่น้อย ที่สถานะภาพทั้งของแข็งและของเหลว ใช้หลักการวัดคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืนโดยอะตอม
อิสระในสถานะก๊าซ และอยู่ที่สภาวะพื้น (Ground State)

เทคนิคการดูดกลืนด้วยเปลวไฟ โดยทำการดูดสารละลายแล้วทำให้เป็นฝอยละเอียด
เล็ก ๆ (Aerosol) เข้าสู่เปลวไฟ ซึ่งการเกิดเป็นฝอยละเอียดเป็นการระเหยตัวทำละลาย
ออกจากเกลือ ต่อมาเกลือจะแตกตัวเป็นอะตอมอิสระในสถานะก๊าซเช่น เปลวไฟชนิด อากาศ/
อะเซทิลีน (Air/Acetylene) เปลี่ยนเกลือของสารละลายเป็นอะตอมอิสระในสถานะก๊าซและ
อยู่ที่สภาวะพื้น เมื่อมีคลื่นแสงจากแหล่งกำเนิด โดยเป็นคลื่นแสงชนิดเดียวกับอะตอมของธาตุที่ต้อง
การวิเคราะห์ผ่านเปลวไฟ อะตอมอิสระที่อยู่ในสถานะก๊าซ และสภาวะพื้น จะดูดกลืนคลื่นแสง
จากแหล่งกำเนิดคลื่นแสงของอะตอมชนิดเดียวกัน คือ เส้นเรโซแนนซ์ (Resonance Line)
ที่พุ่งสู่สภาวะพลังงานสูง (Energy State) ปริมาณคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืน แปรผันโดยตรงกับ
ความเข้มข้นของธาตุที่อยู่ในเปลวไฟ โดยทั่วไปมักแสดงค่าเป็น แอพบอร์เบแนนซ์ (Absorbance)
ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลายที่มีธาตุนั้น ๆ อยู่

ในทางปฏิบัติจะทำการวัดค่าแอพบอร์เบแนนซ์ ของสารละลายมาตรฐาน (Standard
Solution) ที่ทราบค่าความเข้มข้นแน่นอน ในสภาวะเงื่อนไขการทำงานที่ค่าแอพบอร์เบแนนซ์
ของตัวอย่างที่ต้องการวัดอยู่ในช่วงที่ครอบคลุมถึง หรือสามารถเปรียบเทียบกันได้ มักเสนอในรูป
กราฟที่เรียกกันว่า เคอร์ฟมาตรฐาน (Calibration Curve)

2. การเตรียมตัวอย่างสารละลาย

โดยที่ตัวอย่างแร่วิจัยเป็นของแข็ง ทั้งแร่ป้อน, แร่ผ่านการแต่ง และแร่มาตรฐานที่ใช้ตรวจสอบผลการวิเคราะห์ จึงต้องทำให้เป็นสารละลายโดยการเผา (Fusion) ด้วยสารหลอมละลายชนิดเป็นด่าง (Alkali Flux) แล้วทำให้อยู่ในสภาวะสารละลายด้วยกรด (Acid Attack) ซึ่งมีธาตุที่ต้องการอยู่โดยไม่สูญเสีย และมีความคงตัวสำหรับการวิเคราะห์

ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ในที่นี้ คือธาตุเหล็ก (Fe) ซึ่งถือเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก แสดงเป็น % Fe_2O_3 ว่ามีผลการเปลี่ยนแปลงลดลงมากน้อยเพียงใดของการแปรเปลี่ยนสภาวะการทำงาน เพราะ % Fe_2O_3 ของแร่เฟลด์สปาร์จะมีผลต่อการทำผลิตภัณฑ์ทางเซรามิก เกี่ยวกับสี หรือความสกปรกของชิ้นงาน

ตัวอย่างแร่ผ่านการชั่งตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนที่แท้จริง และบดละเอียดเป็นผงที่ขนาด -200 เมช ASTM แล้วทำการอบไล่ความชื้น (H_2O^-) ที่อุณหภูมิ $105^{\circ}C$ จนน้ำหนักคงที่

2.1 การละลายตัวอย่างแร่⁽²³⁸⁾

2.1.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแร่ประมาณ 0.2000 กรัม ในภาชนะพอร์ซเลน (Porcelain Crucible) การใช้ปริมาณของตัวอย่างมากน้อย ขึ้นกับการพิจารณาปริมาณของธาตุที่สนใจว่ามีมากน้อยเพียงใดเช่น ถ้าธาตุเหล็กมาก ควรใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย หรือในทางกลับกัน อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงปริมาณสารหลอมละลาย (Flux) และขนาดบรรจุของภาชนะ ในการเผาที่อุณหภูมิสูงอีกด้วย

2.1.2 ชั่งน้ำหนักสารหลอมละลาย โดยในที่นี้ใช้ โพแตสเซียมไบซัลเฟต ($KHSO_4$) เกรดเคมี ปริมาณที่ใช้เป็น 10 เท่า ของน้ำหนักตัวอย่างแร่ (≈ 2.0000 กรัม) เเทรมใส่ในภาชนะพอร์ซเลนที่มีตัวอย่างแร่ แล้วนำไปหลอมละลาย (Fusion) โดยหงายฝาปิดไว้ การเผาที่ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ประมาณ 30-45 นาที เพื่อการหลอมละลายตัวอย่างแร่อย่างแท้จริง ทิ้งไว้จนเย็น ประมาณ 15 นาที

2.1.3 นำพอร์ซเลนดังกล่าวไปใส่ในบีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 250 มล. ซึ่งมีกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 5 % (โดยปริมาตร) ที่ปริมาณ 100 มล. แล้วนำอุ่นบน Hot Plate เพื่อให้กรดไฮโดรคลอริกละลายตัวอย่างที่หลอมเหลวกับสารหลอมละลาย โดยใช้เวลาประมาณ 10 นาที

2.1.4 กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 42 ของ Whatman ลงสู่ Volumetric Flask ขนาด 100 มล. (หรือ 250 มล. ถ้าปริมาณธาตุเหล็กมาก) ตะกอนค้างบนกระดาษกรอง ทำการปรับปริมาตรสารละลายให้ถูกต้อง ก็จะได้สารละลายตัวอย่างแร่ เพื่อการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุเหล็ก โดยวิธีอะตอมมิก แอบซอร์บชัน

2.1.5 การเตรียมสารละลาย Blank ก็ลักษณะเช่นเดียวกันแต่ไม่มีตัวอย่างแร่ ใช้ล้างเพียงสารหลอมละลาย โดยน้ำหนักที่ใช้และปริมาตรเช่นเดียวกับ ตัวอย่างแร่ในกลุ่มนี้

2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานของธาตุเหล็ก

ในการวิจัยนี้ใช้สารละลายมาตรฐานของธาตุเหล็ก ที่มีความเข้มข้น 1,000 PPM ความเข้มข้นสารละลายที่เหมาะสมในช่วงการทำงานของความยาวคลื่นธาตุเหล็กที่ 2,483 อังสตรอม อยู่ในช่วง 2.5 ถึง 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร (หรือ $\mu\text{g/ml}$, PPM) โดยเตรียมเป็นช่วง ๆ คือ 2.5, 5.0, 7.5 และ 10 $\mu\text{g/ml}$ (หรือช่วงที่เหมาะสมกับปริมาณธาตุเหล็กของตัวอย่างแร่ที่จะวิเคราะห์)

3. อุปกรณ์และสภาวะการทำงาน

3.1 อุปกรณ์

เครื่องอะตอมมิก แอบซอร์บชัน ของ บริษัท ซิมส์คูคอร์โปเรชัน จำกัด, SHIMADZU ATOMIC ABSORPTION/FLAME SPECTROPHOTO-METER MODEL AA-650 DOUBLE-BEAM DIGITAL

3.2 สภาวะการทำงานในการวัดปริมาณธาตุเหล็ก⁽²³⁷⁾

ความยาวคลื่น (Wave Length)	2,483	อังสตรอม
ความกว้างช่องเปิดคลื่น (Spectral Band Width)	2	อังสตรอม
MODE ที่ใช้	Background Correction	

กระแสไฟฟ้า (Lamp Current)	10	มิลลิแอมป์
เชื้อเพลิง อากาศ/อะเซทิลีน :-		
- อัตราการไหลของอากาศ	10	ลิตร/นาที
- อัตราการไหลอะเซทิลีน	25	ลิตร/นาที
ความสูงของ Burner	5	มิลลิเมตร
ความไวต่อการวิเคราะห์ธาตุเหล็ก (Absorption Sensitivity)	0.13	PPM
ขีดจำกัดต่ำสุดการวิเคราะห์ธาตุเหล็ก (Detection Limit)	0.50	PPM

4. การคำนวณ % Fe₂O₃

4.1 สร้างเคอร์ฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน ที่ความเข้มข้น 2.5, 5.0, 7.5, 10 PPM (หรือช่วงที่เหมาะสมกับปริมาณธาตุเหล็กของตัวอย่างที่จะวิเคราะห์)

4.2 วัดค่าแอมพลิจูดของสารละลายตัวอย่าง และนำค่าที่ได้หาความเข้มข้นของธาตุเหล็ก จากกราฟ ชื่อ 4.1 ได้ค่าเป็น PPM

4.3 การคำนวณ

$$\% \text{ Fe} = \frac{[\text{ความเข้มข้นของปริมาณธาตุเหล็ก}^* \text{ (PPM)}] \times 100}{[\text{ความเข้มข้นของปริมาณแร่ทั้งหมด (PPM)}]}$$

$$\% \text{ Fe}_2\text{O}_3 = \% \text{ Fe} \times 1.4297$$

* หากมีการเจือจางสารละลายแร่ตัวอย่างก็ต้องคูณด้วย แฟคเตอร์ความเจือจาง (Dilution Factor)

ภาคผนวก ข

การหาปริมาณความชื้นและการสูญเสียจากการเผาไหม้

1. วิธีหาปริมาณความชื้น (H_2O^-) (239)

1.1 ซึ่งตัวอย่างแร่ที่ผ่านการบดละเอียด -200 เมช หนักประมาณ 2.0000 กรัม ในภาชนะพอร์ซเลน (Porcelian Crucible)

1.2 นำตัวอย่างแร่อบในเตาโอเวน (Oven Furnance) ซึ่งปรับอุณหภูมิ $105^{\circ}C$ เป็นเวลาประมาณ 1 ชม. (เปิดฝาภาชนะพอร์ซเลนไว้)

1.3 นำตัวอย่างที่ปิดฝาภาชนะแล้วมาตั้งในภาชนะกันความชื้น (Dessicator) ตั้งไว้จนเย็นที่อุณหภูมิห้อง (ใช้เวลาประมาณไม่ต่ำกว่า 1/2 ชม.), ซึ่งน้ำหนักและบันทึกไว้

1.4 ทำซ้ำอีกครั้งตั้งแต่ลำดับ 1.2 ลงมา จนได้น้ำหนักแร่ตัวอย่างแร่ที่อบได้ความชื้นที่น้ำหนักคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

$$1.6 \text{ \% ความชื้น } (H_2O^-) = \frac{\text{หน. แร่ก่อนอบ} - \text{หน. แร่ผ่านการอบจนหน. คงที่}}{\text{หน. แร่ก่อนอบ}} \times 100$$

2. วิธีหาการสูญเสียจากการเผาไหม้ (Loss On Ignition, LOI) (239)

2.1 นำตัวอย่างแร่ที่ผ่านการอบได้ความชื้นจนน้ำหนักคงที่เข้าเผาที่เตาเผาอุณหภูมิสูง (Muffle Furnance) ที่อุณหภูมิ $1,000^{\circ}C$ เป็นเวลา 1 ชม. ปิดฝาภาชนะพอร์ซเลนด้วย

2.2 นำแร่ตัวอย่างออกเมื่อครบเวลา (อุณหภูมิที่นำออกได้ประมาณ $500^{\circ}C$ เก็บไว้ในภาชนะกันความชื้น ทั้งไว้จนเย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแร่, บันทึกไว้

2.3 กระทำซ้ำตามข้อ 2.1 ลงมา จนได้น้ำหนักแร่คงที่

2.4 \% การสูญเสียจากการเผาไหม้ (LOI)

$$= \frac{\text{หน. แร่ก่อนเผาไหม้} - \text{หน. แร่คงที่หลังการเผาไหม้}}{\text{หน. แร่ก่อนเผาไหม้}} \times 100$$

ภาคผนวกที่ ๗

การทดสอบตัวอย่างแร่โดยการเผารูปกรวยที่อุณหภูมิ $1,200^{\circ}\text{C}$ ⁽¹¹⁻¹²⁾

1. วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบการเผาแร่เฟลด์สปาร์ที่อุณหภูมิ $1,200^{\circ}\text{C}$ ว่ามีลักษณะของการหลอมตัว, สี, จุดต่างดำ และความเป็นมัน-ความเป็นแก้ว ซึ่งเกิดจากองค์ประกอบทางเคมี, ควอร์ตซีอัส, ขนาดเม็ดแร่ และมลทินของแร่ที่มีธาตุเหล็กหรือไทเทเนียมอยู่มากน้อยเพียงใด และทราบถึงร้อยละการหดตัวโดยปริมาตร (% Volumetric Shrinkage) ด้วย

2. วิธีทำ

2.1 ตัวอย่างแร่ที่ผ่านการชั่งตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนที่แท้จริง (ตัวอย่างกลุ่มเดียวกับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี) บดละเอียดขนาด -200 เมช บดอัดในแม่พิมพ์ (Mould) รูปกรวย (Cone) ที่ทำด้วยทองเหลืองหรือทองแดง ตามรูปที่ ๗-1 ซึ่งเป็นรูปกรวยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความสูง 1 นิ้ว (25.4 มม.) เท่ากัน

2.2 เมื่ออัดจนความหนาแน่นของตัวอย่างคงตัว ก็คว่ำแม่พิมพ์ลงบนแผ่นกระเบื้องไม่เคลือบ ขนาด 2x2 ตารางนิ้ว ซึ่งเป็นแผ่นรองรับของรูปกรวย

2.3 เขียนรหัส หรือชื่อขึ้นตัวอย่าง บนแผ่นกระเบื้องไม่เคลือบด้วย สี Metallic Oxide ผสมน้ำมันสน เพื่อให้ทราบว่า เป็นตัวอย่างแร่ประเภทใด

2.4 นำตัวอย่างแร่รูปกรวยบรรจุในเตาเผา (ซึ่งใช้ก๊าซอะเซทิลีนให้ความร้อน) ที่อุณหภูมิ $1,200^{\circ}\text{C}$ โดยบันทึกแผนผังการวางตำแหน่งของแต่ละตัวอย่างภายในเตาเผา เพื่อจะได้อ่านถึงการได้รับความร้อนของรูปกรวยภายในเตาที่ยังคงมีความแตกต่างกัน ซึ่งใช้เวลาเผาประมาณ 3 ชม. ปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง

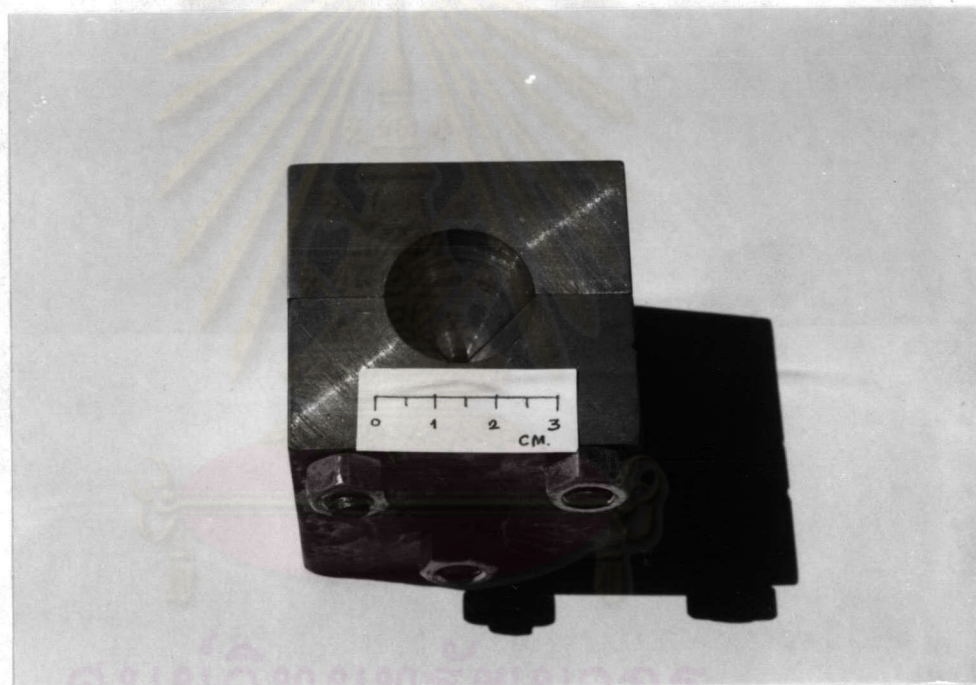
2.5 นำตัวอย่างแร่รูปกรวยที่ผ่านการเผามาพิจารณาถึง การหลอมตัว, ความเป็นมัน-ความเป็นแก้ว หรือความสากมือ, สี, จุดมลทิน ประกอบกับผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O เป็นต้น หากยังไม่แน่ใจว่าตัวอย่าง

ดังกล่าวได้รับความร้อนเพียงพอ ก็ทำซ้ำของตัวอย่างเดิม แต่เปลี่ยนตำแหน่งการบรรจุภายในเตาเผา

2.6 ทำการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความสูงของตัวอย่างรูปกรวยที่ผ่านการเผา ก็จะ สามารถคำนวณหาร้อยละการหดตัวโดยปริมาตรของรูปกรวยได้

2.7 การคำนวณ ร้อยละการหดตัวโดยปริมาตร

$$= \frac{\text{ปริมาตรรูปกรวยก่อนการเผา} - \text{ปริมาตรรูปกรวยหลังการเผา}}{\text{ปริมาตรรูปกรวยก่อนการเผา}} \times 100$$



รูปที่ ๗-1 เบบ้าสำหรับการขึ้นรูปกรวย (Mould of Cone Firing Test)

ภาคผนวก ฉ

การวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กและอัตราเร็วถึงคาร์บูเชล ของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก (144-145)

1. การวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก

1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1 เพื่อหาความสัมพันธ์ของการแปรเปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่มีต่อความเข้มสนามแม่เหล็ก

1.1.2 ความเข้มสนามแม่เหล็ก ที่แปรเปลี่ยนตามระยะห่างจากขั้วแม่เหล็กตามแนวเส้นรอบวงของทรงกระบอกวงแหวนกลาง (Annular Ring) หรือถึงคาร์บูเชลของ WHIMS

1.2 วิธีทำ

1.2.1 ปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเริ่มต้น 10 โวลต์ บันทึกค่ากระแสไฟฟ้า และความเข้มสนามแม่เหล็ก ซึ่งวัดโดยเกาส์มิเตอร์ (Digital Gauss Meter Model M1-100 DH-Magnet Laboratories, Inc.) ที่จุดตามแนวเส้นรอบวงถึงคาร์บูเชล ณ ขั้วแม่เหล็ก หรือที่บริเวณจุดป้อนแร่โดยจุดเริ่มต้นระหว่างทวนเข็มและตามเข็มให้ห่างกัน 10 ซม.

1.2.2 วัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กตามจุดต่อจากข้อ 1.2.1 ไปตามแนวเส้นรอบวงระยะห่างครั้งละ 5 ซม. อีก 9 จุด ทั้งทวนเข็มและตามเข็ม รวมทั้งข้อ 1.2.1 จึงเป็น 10 จุด

1.2.3 บันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าและความเข้มสนามแม่เหล็กที่วัดได้แต่ละจุด

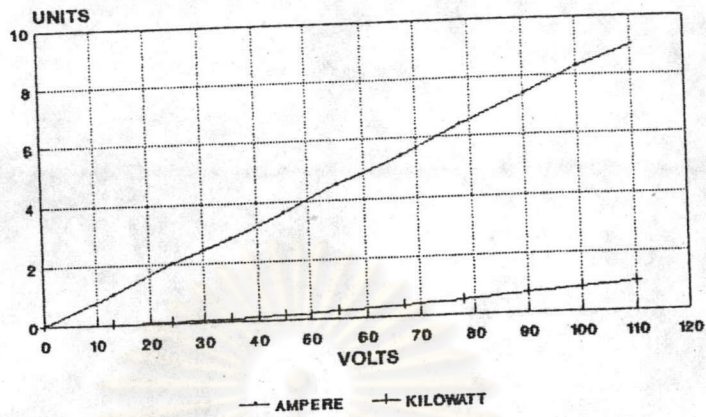
1.2.4 ปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มครั้งละ 10 โวลต์ และกระทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 1.2.2, 1.2.3 จนเต็มความสามารถของการปรับศักย์ไฟฟ้า

1.2.5 นำค่าที่ได้มาแสดงเป็นกราฟของ การแปรเปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่มีผลต่อ ความเข้มข้นแม่เหล็กในอากาศ (H_0) ตามระยะห่างทวนเข็มและตามเข็มของถังคาร์บูเรเตอร์ ดังแสดงผลตามตารางที่ ฅ-1 ถึง ฅ-2 และกราฟรูปที่ ฅ-1 ถึง ฅ-3

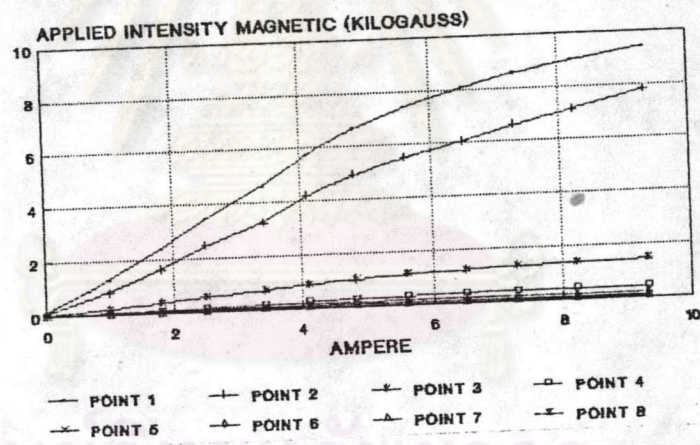
ตารางที่ ฅ-1

ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตสนามแม่เหล็กความเข้มสูง

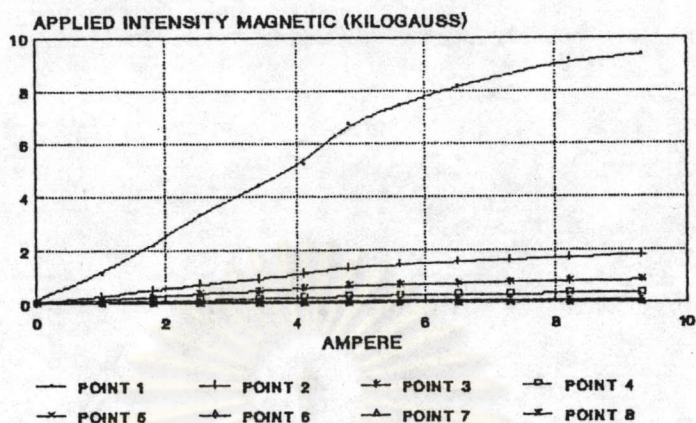
ค่าตามสเกล (Scale No.)	ศักย์ไฟฟ้า (Volts)	กระแสไฟฟ้า (Ampere)	กำลังไฟฟ้า (Kilowatt)
0	0	0	0
1	13	1.0	0.01
2	24	2.0	0.05
3	35	2.8	0.10
4	45	3.6	0.16
5	55	4.5	0.25
6	67	5.4	0.36
7	78	6.4	0.50
8	90	7.4	0.67
9	100	8.3	0.83
10	110	9.0	0.99



รูปที่ ๑-1 ปริมาณกำลังไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ใช้ในการผลิตสนามแม่เหล็กความเข้มสูง



รูปที่ ๑-2 ค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก (H_0) ที่วัดตามจุดที่คำนวณเข้มนาฬิกาของถังคาร์บูเซลล์



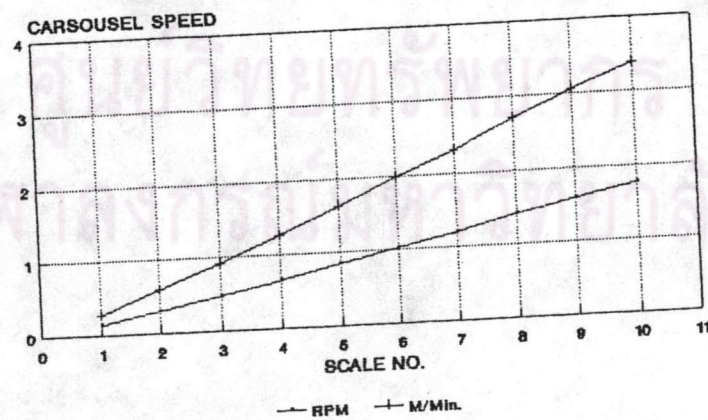
รูปที่ ๗-3 ค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก (H_0) ที่วัดตามจุดที่ติดตามเข็มหน้าฬิกาของถังคาร์บูเชล

2. การวัดค่าอัตราเร็วถังคาร์บูเชล

ถังคาร์บูเชล หรือวงแหวนเมทริกซ์แม่เหล็ก ประกอบด้วยทรงกระบอกกลางเหล็กกล้าสแตนเลส (Stainless Steel) 2 ชั้น ที่มีขนาดรัศมีภายนอก 24 นิ้ว, รัศมีภายใน 23 นิ้ว ระหว่างทรงกระบอกบรรจุเมทริกซ์แม่เหล็ก ชนิดตาข่ายสแตนเลส (Stainless Wire Mesh) รุ่น EX-4Z จำนวน 8 ชุด มี 12 ชั้นเมทริกซ์/ชุด, น้ำหนักโดยเฉลี่ย 108.6 กรัม/ชั้น, 1,315.78 กรัม/ชุด และน้ำหนักรวมทั้งสิ้น 10,526.23 กก. (8ชุด), การวัดอัตราเร็วของถังคาร์บูเชล ก็เพื่อให้ทราบอัตราเร็วเปรียบเทียบของการหมุน แสดงผลการวัดตามตารางที่ ๗-4 และกราฟรูปที่ ๗-5

ตารางที่ ฅ-3
ผลการวัดอัตราเร็วถึงคารูเซิล

ค่าตามเสกัล	รอบ/นาที	เมตร/นาที
1	0.14	0.27
2	0.31	0.60
3	0.48	0.92
4	0.66	1.27
5	0.85	1.62
6	1.03	1.98
7	1.21	2.31
8	1.42	2.71
9	1.59	3.05
10	1.76	3.38



รูปที่ ฅ-4 ผลการวัดอัตราเร็วถึงคารูเซิล (Carousel Speed)

ภาคผนวก ๗

ค่าสัมพัทธ์ของการดึงดูดแม่เหล็ก (Relative Attractability) ของแร่ชนิดต่าง ๆ (๘๙)

MINERAL	SOURCE OF SAMPLE	RELATIVE ATTRACTABILITY	MINERAL	SOURCE OF SAMPLE	RELATIVE ATTRACTABILITY	MINERAL	SOURCE OF SAMPLE	RELATIVE ATTRACTABILITY
GROUP 1 — FERRO-MAGNETIC								
Iron	Unknown	100.00	Quartz	Franklin Furnace, N.J.	0.093	Serpentine, red	Unknown	0.014
Magnetite	Perth Henry, N.Y.	41.000	Orpiment	Gravel Mountain, Ga.	0.089	Calcite	Joplin, Mo.	0.013
Franklinite	Franklin Furnace, N.J.	14.862	Bornite	Freiberg, Saxony	0.086	Silbite	Jubb Cevayr, Utah	0.013
		13.089	Asphalite	New South Wales, Australia	0.083	Diopside	Unknown	0.0094
GROUP 2 — MODERATELY MAGNETIC								
Ilmenite	Edge Hill, Pa.	9.139	Tetrahedrite	Franklin Furnace, N.J.	0.080	Cuprite	Colona, Ill.	0.008
Mica, speckled, ruby	Bangal, India	5.480	Wittmannite	Utah Bridge, Maryland	0.074	Gahnite	Unknown	0.0044
Pyrrhotite	Sudbury, Ontario	2.490	Bornite	Low South Wales, Australia	0.037	Wilhelmit	Cumberland, England	0.0034
Franklinite	Franklin Furnace, N.J.	1.480	Spinel	Sing Sing, N.Y.	0.037	Mica, ruby, clear	Bengal, India	0.0032
GROUP 3 — WEAKLY MAGNETIC								
Hematite	Lehigh Superior district	0.769	Cerussite	Jefferson County, N.Y.	0.034	Orthoclase	Alexandria, N.Y.	0.0033
Siderite	Lehigh, Penn.	0.743	Dalmanite	Acton, York Co., Maine	0.031	Cobaltite	Unknown	0.003
Rhodochrosite	Franklin Furnace, N.J.	0.360	Chalcocyanite	South Australia	0.031	Sapphirite	Unknown	0.0032
Hematite	Iron Mountain, Minn.	0.331	Cuprite	North Australia	0.048	Pyrite, siliceous	Unknown	0.0011
Limonite	Iron Mountain, Minn.	0.314	Molybdenite	Stratford Island, Ohio	0.038	Pyrite, siliceous	Unknown	0.001
Pyrolusite	Thuringia	0.280	Celadonite	Bulle, Montana	0.038	Spinel	Unknown	0.0008
Corundum	Gaston County, N.C.	0.254	Chalcocite	New Almaden, California	0.038	Spinel	Unknown	0.0004
Hamamelite	Cumberland, England	0.248	Cinnabar	Derbyshire, England	0.038	Spinel	Unknown	0.0004
Pyrite, siliceous	Barlow County, Ga.	0.203	Crystom	Franklin Furnace, N.J.	0.038	Spinel	Unknown	0.0003
Pyrite, siliceous	French Creek, Pa.	0.194	Zincite	Elm, Pa.	0.035	Zircon	Unknown	0.0003
Pyrite, siliceous	Bridgesville, N.Y.	0.187	Oribacite	Unknown	0.035			
Pyrite, siliceous	Friedensville, Pa.	0.182	Epidote	Rockdale, Ill.	0.035			
Pyrite, siliceous	Friedensville, Pa.	0.178	Fluorite	Mineral Point, Wis.	0.035			
Pyrite, siliceous	Friedensville, Pa.	0.175	Smithsonite	Unknown	0.034			
Pyrite, siliceous	Cumberland, England	0.175	Augite	Marlboro, Va.	0.034			
Pyrite, siliceous	Magnet Cove, Ark.	0.168	Hornblende	Unknown	0.033			
Pyrite, siliceous	Unknown	0.149						
Pyrite, siliceous	Unknown	0.140						
Pyrite, siliceous	Unknown	0.134						
Pyrite, siliceous	Hendersonville, N.C.	0.118						
Pyrite, siliceous	Frankford, Pa.	0.115						
Pyrite, siliceous	Bangal, India	0.103						
Pyrite, siliceous	Henderson, N.C.	0.103						
Pyrite, siliceous	Silver Clif, N.M.	0.103						
Pyrite, siliceous	Chokhiewan, Korea	0.102						
Pyrite, siliceous	Guanajuato, Mexico	0.102						
Pyrite, siliceous	Malaya	0.101						
Pyrite, siliceous	Climax, Colo.	0.100						
GROUP 4 — FEIBLY MAGNETIC								
			Pyrite	Rio Tinto, Spain	0.032			
			Smithsonite	Kelly, N.M.	0.032			
			Spinel	Joplin, Mo.	0.032			
			Silbite	Germany	0.032			
			Crysolite	Greenland	0.019			
			Enargite	Bulle, Montana	0.019			
			Galena	Joplin, Mo.	0.019			
			Magnetite	Lancaster County, Texas	0.019			
			Samaranite	Unknown	0.019			
			Gypsum	Grand Rapids, Mich.	0.018			
			Nickelite	Hebra Heise, Germany	0.018			
GROUP 5 — NON-MAGNETIC AND DIAMAGNETIC								
			Berilite	Barlow County, Ga.	0.0			
			Adularia	Unknown	-0.0004			
			Calcite	Unknown	-0.0004			
			Fluorite	Unknown	-0.0004			
			Habitite	Unknown	-0.0004			
			Sphalerite	Unknown	-0.0003			
			Celsite	Unknown	-0.0003			
			Quartz	Unknown	-0.0004			
			Tepal	Unknown	-0.0011			
			Colony	Unknown	-0.0033			
			Antimony, native	Unknown	-0.0032			
			Blomvik	Unknown	-0.0034			
			Apollite	Unknown	-0.0048			
			Argonite	Unknown	-0.0036			
			Graphite	Ceylon	-			
			Graphite	Ceylon	-			

Note : Relative attractability will vary according to source of sample. Relative attractabilities were calculated using the volume susceptibility of $250,000 \times 10^{-6}$ emu. cm^{-3} Oe⁻¹ as equal to 100.



ประวัติผู้เขียน

นายไพรัตน์ เตชะวิวัฒนาการ เกิดเมื่อวันที่ 14 พฤศจิกายน พ.ศ. 2501 ที่อำเภอ
ห้วยยอด จังหวัดตรัง ได้รับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหะวิทยา มหาวิทยาลัย
สงขลานครินทร์ เมื่อปีการศึกษา 2524, เข้ารับราชการที่กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม
เมื่อปี พ.ศ. 2525 ลักษณะงานต้นค้ำและส่งเสริมผลผลิตเหมืองแร่ และได้เข้าทำการ
ศึกษาต่อทางสาขาวิศวกรรมเหมืองแร่ หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2529 ปัจจุบันเป็น วิศวกรเหมืองแร่ ประจำ ณ สำนักงานทรัพ-
ยากรธรณี จังหวัดพังงา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย