

__/__/__

Date of submit

__/__/__

Date of approval

.....

(Assoc. Prof. Dr. Chakkaphan Sutthirat)

Senior Project Advisor

ศิลาวรรณนาและกรณีเคมีของหินแคลซ์ซิลิเกตและหินแอมไฟโบไลต์
จากเหมืองในพื้นที่โมกก ประเทศพม่า

นายพรท ฟองสุข

รหัสนิสิต 5332722423

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY OF CALC-SILICATE AND
AMPHIBOLITE FROM MOGOK STONE TRACT, MYANMAR

Mr. PAROT FONGSUK

ID. 5332722423

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

DEPARTMENT OF GELOGY, FACULTY OF SCIENCE

CHULALONGKORN UNIVERSITY 2012

ชื่อโครงการ: ศิลาวรรณนาและธรณีเคมีของหินแคลซ์ซิลิเกตและหินแอมฟิโบไลต์ จากเหมือง
ในพื้นที่โมกก ประเทศพม่า

ชื่อนิสิต: นายพรท พองสุข รหัสประจำตัวนิสิต 5332722423

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา: รศ. ดร. จักรพันธ์ สุทธิรัตน์

ภาควิชา: ธรณีวิทยา

ระดับการศึกษา:ปริญญาตรี

ปีการศึกษา: 2556

บทคัดย่อ:

ประเทศพม่าอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีลักษณะทางธรณีฐานานวิทยาที่
แบ่งออกได้เป็น 3 แบบคือ แนวหินคดโค้งทางตะวันตก (Western Fold Belt, WFB) พื้นที่ราบตอนกลาง
(Central Lowland, CL) และพื้นที่เขาทางตะวันออก (Eastern Highland, EH) โดยบริเวณที่ศึกษาคือ
บริเวณพื้นที่ในแนวหินแปรโมกก (Mogok stone tract) เป็นส่วนหนึ่งของ WFB ซึ่งอยู่ติดกับขอบที่ราบสูง
ฉาน โดยหินที่พบส่วนใหญ่จะเป็นหินที่เกิดจากการแปร โดยหินแคลซ์ซิลิเกตและหินแอมฟิโบไลต์ก็สามารถ
พบได้บริเวณแนวหินแปรนี้ด้วยเช่นกัน

จากการศึกษาศิลาวรรณนาและธรณีเคมีพบว่าหินแอมฟิโบไลต์มีธาตุองค์ประกอบในหินเป็นสัดส่วน
32.53 - 34.89 % SiO_2 , 13.41 - 15.45 % Al_2O_3 , 10.29 - 11.28 % CaO , 10.87 - 12.94 % FeO , 10.22 -
11.58 % MgO ส่วนหินแคลซ์ซิลิเกตมีองค์ประกอบที่ค่อนข้างเปลี่ยนแปลงมากกว่า โดยองค์ประกอบในหินจะเป็น
23.56- 57.19 % SiO_2 , 6.31 - 18.43 % Al_2O_3 , 1.21-31.30 % CaO , 0.73 - 12.94 % FeO , 0.09 -
1.21 % MgO จากลักษณะทางศิลาวรรณนาและธรณีเคมีของหินทั้งสองชนิดสามารถสรุปการเกิดได้ว่า หินแอมฟิ
โบไลต์มีต้นกำเนิดจากการแปรสภาพของหินบะซอลต์จากแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรโบราณ ส่วนหินแคลซ์ซิลิเกต
เกิดจากหินปูนสกปรกที่เกิดบริเวณใกล้กับชายฝั่งมากกว่าทำให้ได้เม็ดของตะกอนจากชายฝั่งปะปนอยู่กับเนื้อหิน

Title: PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY OF CALC-SILICATE AND
AMPHIBOLITE FROM MOGOK STONE TRACT, MYANMAR

By: Parot Fongsuk ID 5332722423

Advisor: Associate Professor Dr. Chakkaphan Sutthirat

Department: Geology

Degree: Bachelor's Degree

Academic year: 2013

Abstract

Myanmar is the country where is located in the north-western region of Thailand. Geomorphology in Myanmar can be divided into 3 types: Western Fold Belt (WFB), Central Lowland (CL) and Eastern Highland (EH). The study area is Mogok stone tract in the WFB which is adjacent to Shan scarp of Shan-Thai plate. Many metamorphic rocks can be found in this study area including calc-silicate and amphibolite.

Base on petrographic and geochemical investigations, both of calc-silicate and amphibolite show high-graded metamorphic texture. However, the geochemical composition are different. Amphibolite contains 32.53 - 34.89 % SiO_2 , 13.41 - 15.45 % Al_2O_3 , 10.29 - 11.28 % CaO , 10.87 - 12.94 % FeO , 10.22 - 11.58 % MgO . Calc-silicate contains 23.56- 57.19 % SiO_2 , 6.31 - 18.43 % Al_2O_3 , 1.21-31.30 % CaO , 0.73 - 12.94 % FeO , 0.09 - 1.21 % MgO . The origin of amphibolite appears to be related to basalt in ancient oceanic plate seems to be between Shan-Thai and Western-Burma plates. Calc-silicate seems to be impure limestone which formed in the shallow marine with influence of continental sediment.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการศึกษาในโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของ
รายวิชา โครงการวิทยาศาสตร์ (Senior project) รหัสวิชา 2301499 โดยได้มี รศ.ดร.จักรพันธ์
สุทธิรัตน์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดการทำโครงการเป็นอย่างดี
อาจารย์ ดร.ประหยัด นันทศิลป์ ซึ่งเป็นผู้เก็บตัวอย่างจากเหมืองโมกก ในประเทศพม่ากลับมาที่ประเทศ
ไทย เพื่องานการศึกษาในครั้งนี้ นอกจากนี้ยังขอขอบคุณอาจารย์ และพี่ ๆ บุคลากรทุกท่านในภาควิชา
ธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในทุก ๆ ด้านจึงทำให้
รายงานฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ข้อมูลทั่วไปและความสำคัญของการศึกษา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 พื้นที่ศึกษา	2
1.4 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.5 ขอบเขตการศึกษา	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 วิธีดำเนินงานวิจัย	5
2.1 ระเบียบวิธีการวิจัย	6
2.2 เครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์และเก็บข้อมูล	7
บทที่ 3 ผลการปฏิบัติงาน	10
3.1 ข้อมูลภาคสนามและการเก็บตัวอย่าง	10
3.2 การจำแนกตัวอย่างหิน	13

สารบัญ (ต่อ)

3.3 ศิลาวรรณา	15
3.4 ธรรมเนียมของหินตั้งก้อน	17
3.5 ธรรมเนียมของแร่	22
บทที่ 4 สรุปและอภิปรายผลการศึกษา	29
เอกสารอ้างอิง	32

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงตำแหน่งของพื้นที่โม่กบและโครงสร้างหลักของประเทศพม่า	2
2.1	แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอน	5
2.2	แสดงกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ (Polarizing microscope)	7
2.3	แสดงเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ X-ray Fluorescence (XRF)	8
2.4	แสดงเครื่องอิเล็กตรอนโพรบไมโครแอนาไลเซอร์ Electron Probe Micro Analyzer	9
3.1	แผนที่ธรณีวิทยา (จาก Themelis , 2006) และตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง	10
3.2	แสดงภาพเหมือง Baw Mar ซึ่งเก็บตัวอย่าง MK24	11
3.3	แสดงภาพเหมือง Kyauk Sar Taung โดยได้เก็บตัวอย่าง MK32 และ MK34	11
3.4	แสดงภาพเหมือง Inn Gaung ที่ได้เก็บตัวอย่าง MK39 และ MK40	12
3.5	แสดงภาพเหมือง Kyauk Saung ที่เก็บตัวอย่าง MK 61	12
3.6	ตัวอย่างหินกลุ่มแอมฟิโบไลต์ จากแหล่งพลอยโม่กบ ประเทศพม่า	13
3.7	ตัวอย่างหินกลุ่มแคลซ์ซิลิเกตจากแหล่งพลอยโม่กบ ประเทศพม่า	14
3.8	แสดงลักษณะเนื้อหินแอมฟิโบไลต์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสดงโพลาไรซ์	15
3.9	แสดงตัวอย่างหินแคลซ์ซิลิเกตและภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของหิน	16
3.10	แสดง Harker-type variation diagram ของการพลอตค่า SiO ₂ กับ Major oxide	18
3.11	แสดง Harker-type variation diagram ของการพลอตค่า Mg Number กับ Major oxide	19
3.12	แสดง Discriminated diagram ของหินบะซอลต์โดยเป็น	
	การพล็อตค่าของ MgO-FeO-Al ₂ O ₃ (Pearce et al. 1977)	20

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
3.13	แสดง Pseudo section ของตัวอย่าง MK39 โดยบอกถึงอุณหภูมิและความดันการเกิดหิน	21
3.14	แสดงการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกพม่าตะวันตก (Western Burma plate) ที่เคลื่อนเข้ามาทางตะวันออกเฉียงเข้าหาแผ่นฉานไทย (Charusiri P. et al., 2002)	30

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงตำแหน่งเหมืองที่ได้มีการเก็บตัวอย่างที่ทำการศึกษา	11
3.2	แสดงองค์ประกอบของแร่หลักและแร่รอง วิเคราะห์โดยเครื่องมือ X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF)	17
3.3	แสดงผลเคมีของธาตุหลักและธาตุรองในแร่ฮอร์นเบลนด์	22
3.4	แสดงผลเคมีของธาตุหลักและธาตุรองในแร่ควอตซ์	23
3.5	แสดงผลเคมีของธาตุหลักและธาตุรองในแร่ฟลาจิโอเคลส	24
3.6	แสดงผลเคมีของธาตุหลักและธาตุรองในแร่แคลไซต์	25
3.7	แสดงผลเคมีของธาตุหลักและธาตุรองในแร่เฟลสปาร์	26
3.8	แสดงผลเคมีของธาตุหลักและธาตุรองในแร่สคาไฟไลต์	27
3.9	แสดงผลเคมีของธาตุหลักและธาตุรองในแร่ไดออปไซด์	28

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ข้อมูลทั่วไปและความสำคัญของการศึกษา

ประเทศพม่าตั้งอยู่ทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยลักษณะทางธรณีฐานฐานของประเทศเป็นพื้นที่ภูเขาทางตอนเหนือ ทางตะวันออกและตะวันตก ส่วนทางตอนกลางเป็นที่ราบต่อไปถึงทางภาคใต้ที่เป็นพื้นที่ชายทะเล โดย Muang Thein (1993) ได้แบ่งพื้นที่ประเทศพม่าตามลักษณะทางธรณีวิทยาออกเป็น 3 พื้นที่หลัก คือ แนวหินคดโค้งทางตะวันตก (Western Fold Belt; WFB) พื้นที่ราบตอนกลาง (Central Lowland; CL) และพื้นที่เขาทางตะวันออก (Eastern Highland; EH) โดยที่แนวหินคดโค้งทางตะวันตก (WFB) นั้นประกอบไปด้วยลำดับชั้นหินตะกอนจากทะเลลึก (Flysch type sedimentary rocks) และ หินผสม (melange) ของหินเมฟิกและหินอัลตราเมฟิกและหินปูนที่อยู่ใน ophiolite suite พื้นที่เขาทางตะวันออกประกอบไปด้วยที่ราบสูงหินปูนอายุเก่าและหน่วยหินแปรสลับซับซ้อน (Metamorphic complex) ส่วนพื้นที่ราบตอนกลางวางตัวตามแนวเหนือ-ใต้และมีแนวรอยเลื่อนสะเกียง(Sagaing fault) ตัดผ่านทางตะวันออกของบริเวณที่ราบนี้ด้วย (Win Swe,1981)

แนวหินแปรโมกกเกิดทางตะวันตกของแนวเขาสูงตะวันออก (EH) อยู่ระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลกฉาน-ไทย และรอยเลื่อนสะเกียงที่มีความกว้างประมาณ 50 กิโลเมตร และมีความยาวในแนวเหนือ-ใต้ประมาณ 1200 กิโลเมตร โดยประกอบไปด้วยหินแปรหลายชนิด เช่นหินอ่อน หินชีสต์ และหินไนส์ และยังพบหินอัคนีพวกหินแกรนิตเป็นมวลหินขนาดใหญ่ด้วย ซึ่งมักพบแหล่งอัญมณีบริเวณแนวหินแปรนี้ (Garnier et al.,2008) จากการศึกษาของ Lacassin et al.(1997) พบว่าทางตอนเหนือของแนวหินนี้เกี่ยวข้องกับเกิดเทือกเขาหิมาลัยและทางตอนใต้เป็นแนวหินที่เชื่อมต่อกับรอยเลื่อนวังและรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ต่อเนื่องมาทางตะวันตกของประเทศไทย

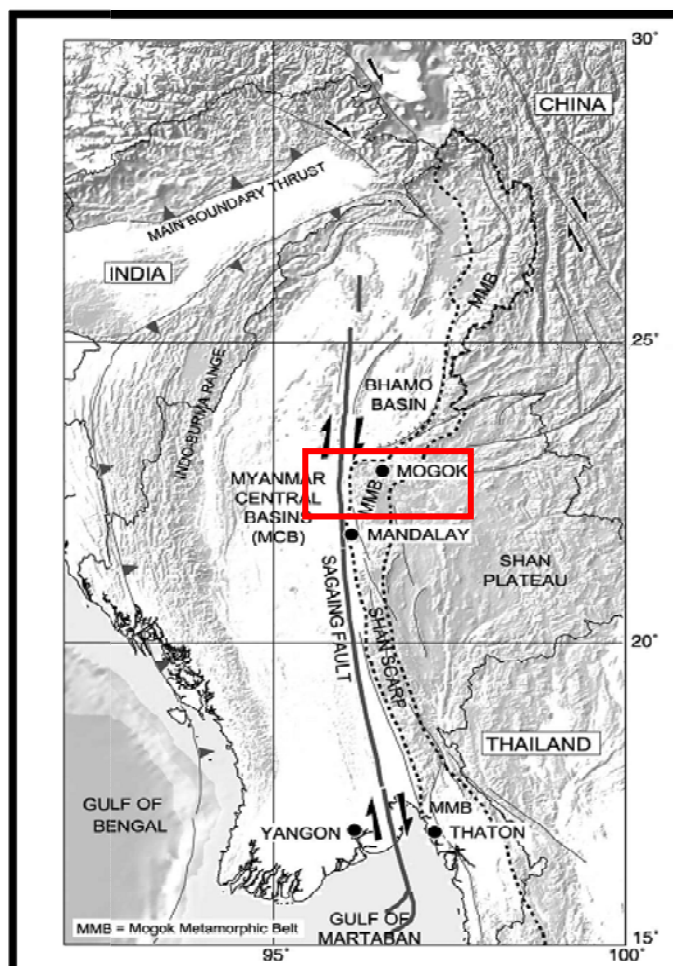
การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาศิลาวรรณนา ธรณีเคมีของหินแปรชนิดแคลตซิลิเกตและหินแอมไฟโบไลต์จากเหมืองในพื้นที่โมกก ประเทศพม่า เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีความสำคัญด้านแหล่งอัญมณี โดยเฉพาะทับทิม แซปไฟร์และอัญมณีอื่น ๆ ซึ่งการศึกษาจะบอกได้ถึงองค์ประกอบเคมีแร่ ลักษณะเนื้อหิน และสัดส่วนของแร่ซึ่งอาจมีความสัมพันธ์กับกระบวนการเกิดของอัญมณีในแหล่งโมกกนี้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและธรณีเคมีของหินแคลตซิลิเกตและหินแอมไฟโบไลต์จากเหมืองในพื้นที่โมกก ประเทศพม่า

1.3 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาอยู่ในประเทศพม่าที่โดยแบ่งออกเป็น 3 พื้นที่หลักแบ่งเป็น Indo-Burma range เป็นบริเวณ Eastern Highland (EH) ตอนกลางของประเทศเป็น Central Lowland หรือ Central basin และบริเวณด้านตะวันตกของประเทศเป็น Western fold belt ซึ่งในบริเวณของที่ราบสูงฉาน โดยพื้นที่ศึกษาแนวหินแปรโมกก (Mogok stone tract หรือ Mogok Metamorphic belt, MMB) คือบริเวณที่อยู่ติดกับขอบของที่ราบสูงฉาน โดยมีรอยเลื่อนสเกียงตัดผ่านทางตะวันออกของแนวหิน



รูปที่ 1.1 แสดงตำแหน่งของพื้นที่โมกกและโครงสร้างหลักของประเทศพม่า พื้นที่ศึกษาคือบริเวณในกรอบสี่เหลี่ยมสีแดงดังรูป (Mitchell et.al., 2004)

1.4 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประเทศพม่าเกิดจากกระบวนการเทคโทนิค 2 เหตุการณ์ คือ การชนกันของแผ่นเปลือกโลกพม่าตะวันตก (Western Burma plate) กับแผ่นเปลือกโลกชาน-ไทย (Shan-Thai plate) ซึ่งทำให้เกิดรอยเลื่อนสะเกียง (Sagaing Fault) และอีกเหตุการณ์หนึ่งคือการชนของแผ่นเปลือกโลกอินเดีย (Indian plate) ชนกับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian plate) ทำให้เกิดความดันและอุณหภูมิที่เกิดเนื่องจากการชนสูงมากจนทำให้หินเกิดการแปรแบบไพศาลขึ้นและทำให้ได้แนวหินแปรโมกก (Metcafe, 1993)

แนวหินแปรโมกกประกอบไปด้วยหินตะกอนแปรสภาพ (meta-sedimentary rocks) หินอัคนีแทรกซอนแปรสภาพ (meta-intrusive rocks) และหินอัคนีแทรกซอนอายุอ่อน (Ba Than Haq and Searle, 1964) โดยทางตอนเหนือของพื้นที่เป็นแหล่งอัญมณีพวกทับทิม แซปไฟร์ และอัญมณีอื่น ๆ ที่สำคัญจากการศึกษาของ Chhibber (1934) และ Iyer (1953) พบว่าหินอ่อนกำเนิดทับทิมมีอายุในยุคพรีแคมเบรียน ส่วนหินไนส์และหินอ่อนบริเวณตะวันตกของโมกกเกิดขึ้นในยุคไซลูเรียนและออคโตวิเชียนบริเวณที่ราบสูงฉานได้จากการเทียบสัมพันธ์โดยการศึกษาของ Myint Lwin Thein et al. (1988)

ส่วนในทางตอนใต้ของแนวหินแปรโมกก ซึ่งพบทับทิมน้อย Maung Thein and Soe Win (1969) ให้อายุของหินแปรทางตะวันออกของ Kyaukse เป็นอายุจูแรสสิก นอกจากนี้ Bertrand et al. (1999;2001) พบเศษของหินแปรและโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีแนวต่อเนื่องจากทางตะวันออกของโมกกไปทางตะวันออกของเมืองย่างกุ้ง

การศึกษาของ Bertrand et al. (2001) ได้อายุของแนวหินแปรโมกก ด้วยวิธีการหาอายุจากแร่มีสโคไวท์ (Muscovite) แร่ไบโอไทต์ (Biotite) และแร่ฟิโลโกไปท์ (Phlogopite) โดยวิธี $K^{40} - Ar^{40}$ ได้อายุของตัวอย่างทางตอนใต้อยู่ในช่วง 25.9-26.9 ล้านปี ตอนกลางของพื้นที่มีอายุช่วง 22.4-25.4 ล้านปี และทางตอนเหนือมีอายุอยู่ในช่วง 18.4-22.7 ล้านปี ซึ่งอายุของหินอ่อนลงจากทางตอนใต้ไปทางตอนเหนือ และมีอายุอยู่ในช่วงโอลิโกซีนตอนต้นถึงตอนกลางของยุคไมโอซีน

1.5 ขอบเขตการศึกษา

การทำงานวิจัยนี้เน้นศึกษาด้านศิลาวรรณนาและธรณีเคมีของหินแคลด์ซิลิเกตและหินแอมฟิโบไลต์ จากแหล่งแร่พลอยโมกก ประเทศพม่า โดยแบ่งการศึกษาได้เป็นดังนี้

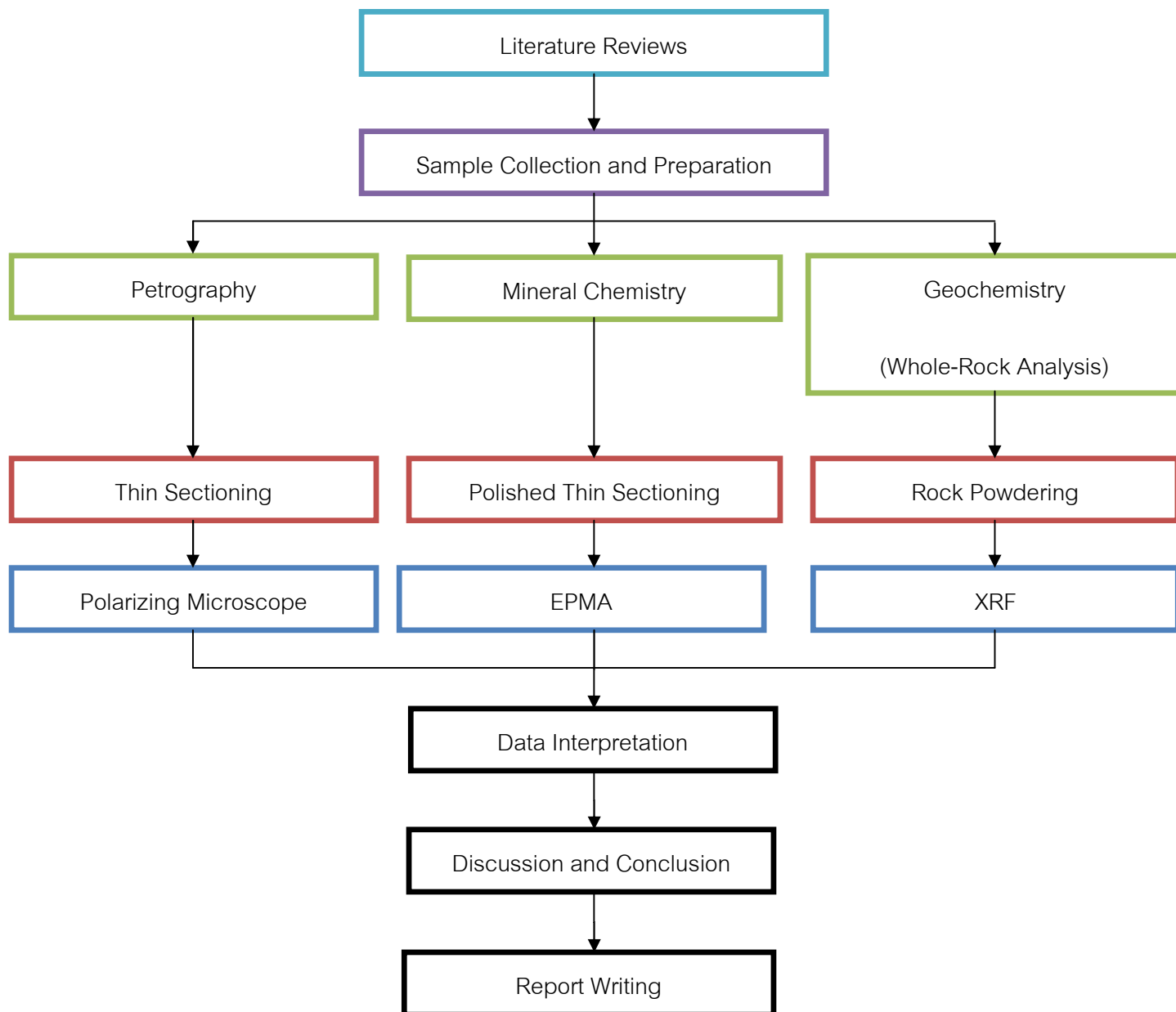
1. การศึกษาลักษณะศิลาวรรณนา (Petrography) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing Microscope)
2. การศึกษาวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบในหินตัวอย่าง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ X-ray Fluorescence Spectrometry (XRFs)
3. การวิเคราะห์ทางเคมีแร่ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ข้อมูลศิลาวรรณนา ธรณีเคมีของหินและสภาพอุณหภูมิและความดันในการแปรสภาพของหินแคลด์ซิลิเกตและแอมฟิโบไลต์จากเหมืองในพื้นที่โมกก ประเทศพม่า

บทที่ 2

วิธีดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 2.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอน คือ การศึกษางานวิจัยเก่า การเตรียมตัวอย่างหิน การวิเคราะห์ตัวอย่างหิน การตีความข้อมูล การสรุปผล และการทำรูปเล่มรายงาน

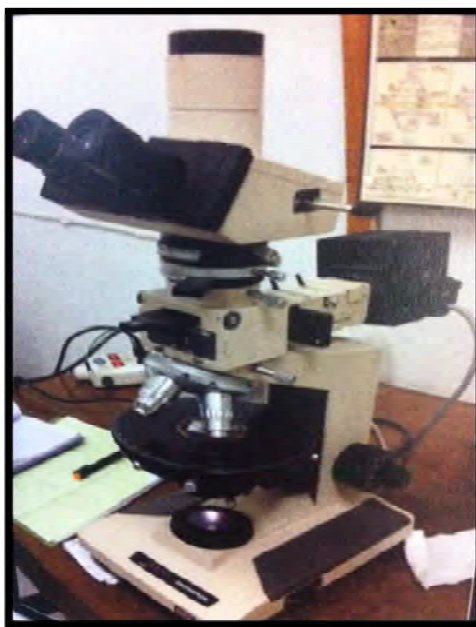
2.1 ระเบียบวิธีการวิจัย

1. ศึกษาและรวบรวมเอกสารและรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษาเพื่อศึกษาลักษณะของหิน การเกิดหินซึ่งเป็นแหล่งอัญมณีในประเทศพม่ารวมทั้งลักษณะทางธรณีวิทยาทั่วไปในพื้นที่ศึกษา
2. คัดเลือกและตรวจสอบตัวอย่างหินที่ต้องการจากหินที่ได้จากการเก็บจากภาคสนามโดยคณะผู้วิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)
3. หินที่ได้นำมาใช้ในการศึกษานี้นำมาเตรียมตัวอย่างเป็นแผ่นหินบาง (Thin section) แผ่นหินบางขัดมัน (Polished thin section) และบดเป็นผงหิน (Rock Powder) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะทางสีลาอรรณาและธรณีเคมีของหินต่อไป
4. การวิเคราะห์ประกอบด้วย
 - 4.1 ศึกษาลักษณะสีลาอรรณา (Petrography) ของหิน โดยใช้แผ่นหินบาง (Thin section) ที่มีความหนา 30 ไมโครเมตร ส่งผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ (Polarizing microscope) โดยศึกษาลักษณะเนื้อหิน (Texture) และองค์ประกอบแร่ที่ปรากฏอยู่ในแผ่นหิน
 - 4.2 วิเคราะห์เคมีแร่ (Mineral chemistry) โดยใช้แผ่นหินบางขัดมัน (Polished thin section) ผ่านเครื่อง Electron Probe Microanalyzer (EPMA) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JXA-8100 เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแร่ประกอบหลัก ให้ผลในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ออกไซด์ของธาตุองค์ประกอบ
 - 4.3 วิเคราะห์ธรณีเคมี (Geochemistry) ของหินทั้งก้อน (Whole-rock analysis) โดยใช้หินผง (Rock Powder) ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRFs) ยี่ห้อ Pioneer รุ่น Bruker AXS S4 เพื่อศึกษาธาตุองค์ประกอบหลักและองค์ประกอบรองทางเคมีรวมของหินทั้งก้อน (Whole rock analysis) ผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นปริมาณ Major Oxide และ Minor Oxide ของแร่เช่น SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O และ K_2O
5. แปลผลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากห้องปฏิบัติการและสรุปผลการศึกษา
6. จัดทำรายงานและนำเสนอในรูปแบบของงานนำเสนอ

2.2 เครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์และเก็บข้อมูล

กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ (Polarizing microscope) (รูปที่ 2.2)

การศึกษาด้านซิลิโคกราฟี (Petrography) ผ่านแผ่นหินบาง (Thin section) ใช้หลักการหักเหและการแทรกสอดของแสงความยาวคลื่นเดียวภายในกล้องผ่านช่องที่ทำให้แสงออกมาในระนาบสันทิศทางเดียว แสงโพลาไรซ์ (Polarized light) เมื่อแสงตกกระทบกับแร่จะหักเหอีกครั้งทำให้แร่มีสมบัติแสงที่แตกต่างกันภายใต้กล้อง ทำให้จำแนกความแตกต่างของแร่และเนื้อหินได้



รูปที่ 2.2 แสดงกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ (Polarizing microscope)

เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ X-ray Fluorescence (XRF) (รูปที่ 2.3)

ใช้วิเคราะห์ด้านธรณีเคมี (Geochemistry) โดยใช้ตัวอย่างผงหินจากการบดหินรวมทั้งก้อน (Whole-rock analysis) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาชนิดและปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง โดยอาศัยหลักการการตกกระทบของรังสีเอ็กซ์ที่ตัวอย่าง กระตุ้นให้ตัวอย่างปลดปล่อยโฟตอนออกมา (fluorescenced) ซึ่งธาตุแต่ละชนิดจะปลดปล่อยโฟตอนออกมาในช่วงความยาวคลื่นและพลังงานที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของธาตุนั้น ๆ ทำให้สามารถบอกชนิดของธาตุนั้นได้ นอกจากนี้ปริมาณโฟตอนที่ปลดปล่อยออกมาสัมพันธ์กับปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างด้วย

การศึกษตัวอย่างของหินทางด้านธรณีเคมี ใช้การศึกษาโดยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRFs) เปรียบเทียบตัวอย่างมาตรฐานแร่ วิเคราะห์ปริมาณธาตุหลัก และธาตุรองใน

องค์ประกอบทางเคมีรวมของหิน โดยนำตัวอย่างทั้งหมด 7 ตัวอย่างมาบดเป็นผงละเอียดแล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF ผลที่วิเคราะห์ได้เป็นปริมาณ Major Oxide และ Minor Oxide ประกอบด้วย SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 และ TiO_2

1. ค่า Lower Limit Detection (LLD) ต้องมีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นของสารประกอบออกไซด์ที่วิเคราะห์ได้

2. ค่า Overlap ซึ่งเป็นค่าที่แสดงกราฟที่วิเคราะห์ธาตุนั้นมีความน่าเชื่อถือมากเท่าใด หากค่า Overlap สูงกว่าแสดงว่าธาตุที่เราวิเคราะห์มีรูปแบบกราฟของธาตุอื่นเหมือนกันด้วย ความน่าเชื่อถือของกราฟของธาตุนั้นจึงน้อยลง และหลังจากนั้นข้อมูลที่ได้จะนำไปพล็อตในแผนภูมิต่าง ๆ เพื่อศึกษาลักษณะทางเคมีและจำแนกชนิดของหินต่อไป

เครื่องยี่ห้อ Bruker AXS จากประเทศเยอรมัน เป็นแบบ S4 Pioneer Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence (WDXRF) กระแสไฟฟ้าที่ใช้ 60 kV / 50mA

Condition : Range 0.2 - 20 A (60-0.6 Kev)

Total Resolution 3 - 100 eV

Typical measurement time 2 - 10 second per element

Program used : SPECTRA Plus software ของ Bruker ที่ใช้ร่วมกับการวิเคราะห์ standardless Analysis

Standard : SDC-1, BHVO-2, STM-1 และ SGR-1 ซึ่งเป็นตัวอย่างจาก USGS



รูปที่ 2.3 แสดงเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ X-ray Fluorescence (XRF)

เครื่องอิเล็กตรอนโพรบไมโครแอนาไลเซอร์ Electron Probe Micro Analyzer (EPMA) (รูปที่ 2.4)

การวิเคราะห์ทางเคมีแร่ (Mineral chemistry) โดยใช้แผ่นหินบางขัดมัน (Polished thin section) โดยเครื่องมือวิเคราะห์ EPMA ที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นผิวของตัวอย่างคล้ายกับเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) สามารถบอกชนิดและปริมาณของธาตุที่ประกอบในแร่ได้ด้วยหลักการ X-ray fluorescence โดยการกระทบของลำอิเล็กตรอนบนผิวตัวอย่าง เครื่อง EPMA เป็นยี่ห้อ JEOL รุ่น JXA-8100 โดยการวิเคราะห์ได้ใช้กระแสไฟฟ้า 15 kV / 2.4*100 A และลำแสงขนาด $10^{-8} < 1$ ไมโครเมตร เครื่องมือทั้งหมดเป็นของภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Standard: Std - Jadei

Std - Ensta



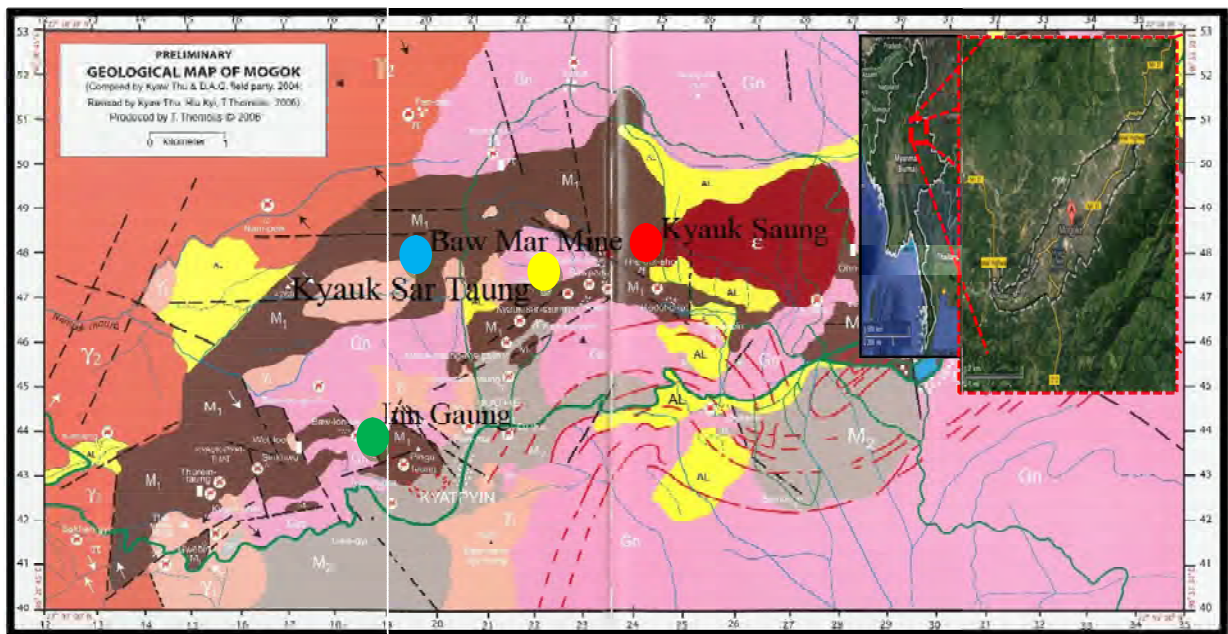
รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องอิเล็กตรอนโพรบไมโครแอนาไลเซอร์ Electron Probe Micro Analyzer

บทที่ 3

ผลการปฏิบัติงาน

3.1 ข้อมูลภาคสนามและการเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างหินที่นำมาศึกษาได้มาจากเหมืองในบริเวณโมกก ประเทศพม่า ซึ่งเป็นเหมืองที่มีการขุดหาอัญมณี (รูปที่ 3.1) โดยจากการศึกษาข้อมูลงานวิจัยเก่าพบว่าหินที่พบอัญมณีมากที่สุดบริเวณนี้คือหินอ่อน แต่หินบริเวณนี้นอกจากหินอ่อนก็ยังพบหินชนิดอื่นอีกด้วย โดยจากการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นที่หินแคลซ์ซิลิเกตและหินแอมฟิโบไลต์ที่เก็บจากเหมืองทั้งหมด 4 เหมืองดังแสดงในแผนที่ (รูปที่ 3.2-3.5) โดยได้รับความกรุณาจากกลุ่มวิจัยของสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)



AL	Alluvium	
Y ₁	Leuco Granite	Coarse-grained, composed of alkali feldspar and quartz with tourmaline,
Y ₂	Biotite Microgranite	Medium-grained, compose of quartz, alkali feldspar, biotite with apatite,
E	Syenetic rock	Coarse-grained, mainly nodmakite (quartz-bearing alkali syenite)
π	Pegmatite	Localized veins intruded into microgranite, bearing topaz, quartz, beryl, and muscovite
Qtz	Quartzite	Fine-grained, greyish to bluish, often light pink
M ₁	Marble (Ruby-bearing)	Ruby bearing marble, Scapolite marble, Diopside marble,
M ₂	Marble (Graphite-bearing)	Graphite marble, Diopside marble, Calc-silicate rock
Gn	Gneiss	Garnet-biotite gneiss, leucogneiss

รูปที่ 3.1 แผนที่ธรณีวิทยา (จาก Themelis , 2006) และตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 3.1 แสดงตำแหน่งเหมืองที่ได้มีการเก็บตัวอย่างที่ทำการศึกษา

Location	Sample	Latitude	Longitude
Baw Mar	MK24	22.9322	96.4162 Zone: 47 Easting: 235013 Northing: 2538344
Kyauk Sar Taung	MK32 MK34	22.9302	96.4384 Zone: 47 Easting: 237287 Northing: 2538082
Inn Gaung	MK39 MK40	22.8997	96.4070 Zone: 47 Easting: 234006 Northing: 2534760
Kyauk Saung	MK61	22.9344	96.4593 Zone: 47 Easting: 239440 Northing: 2538510





รูปที่ 3.4 แสดงภาพเหมือง Inn Gaung ที่ได้เก็บตัวอย่าง MK39 และ MK40 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นบริเวณที่ทำเหมืองในส่วนที่หินผุพังเป็นดิน ลักษณะของหินโผล่สีสดเป็นสีขาว

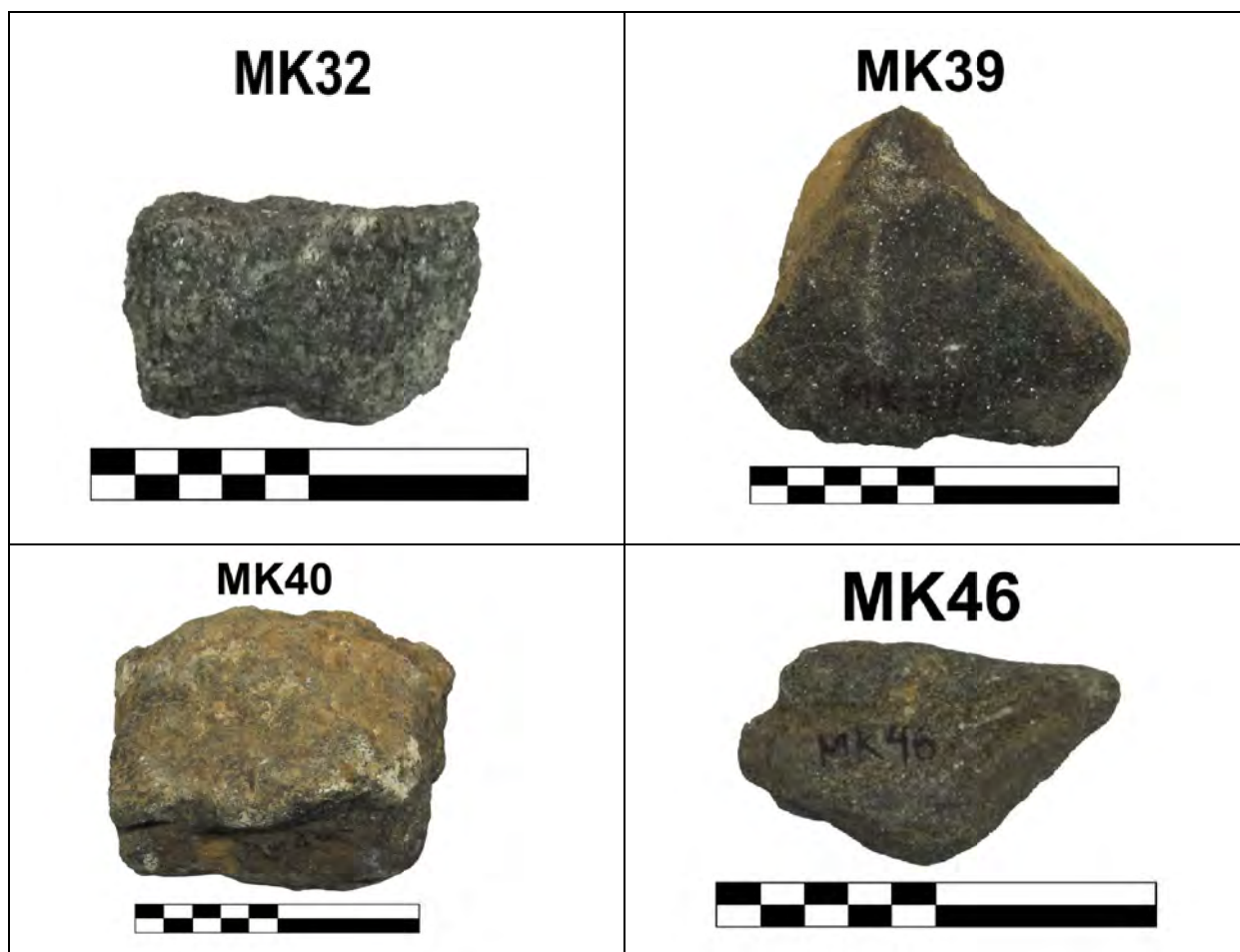


รูปที่ 3.5 แสดงภาพเหมือง Kyauk Saung ที่เก็บตัวอย่าง MK 61 หินโผล่ที่พบสีสดเป็นสีขาว สีฝุ่นออกสีเทา เข้มถึงสีดำ

3.2 การจำแนกตัวอย่างหิน

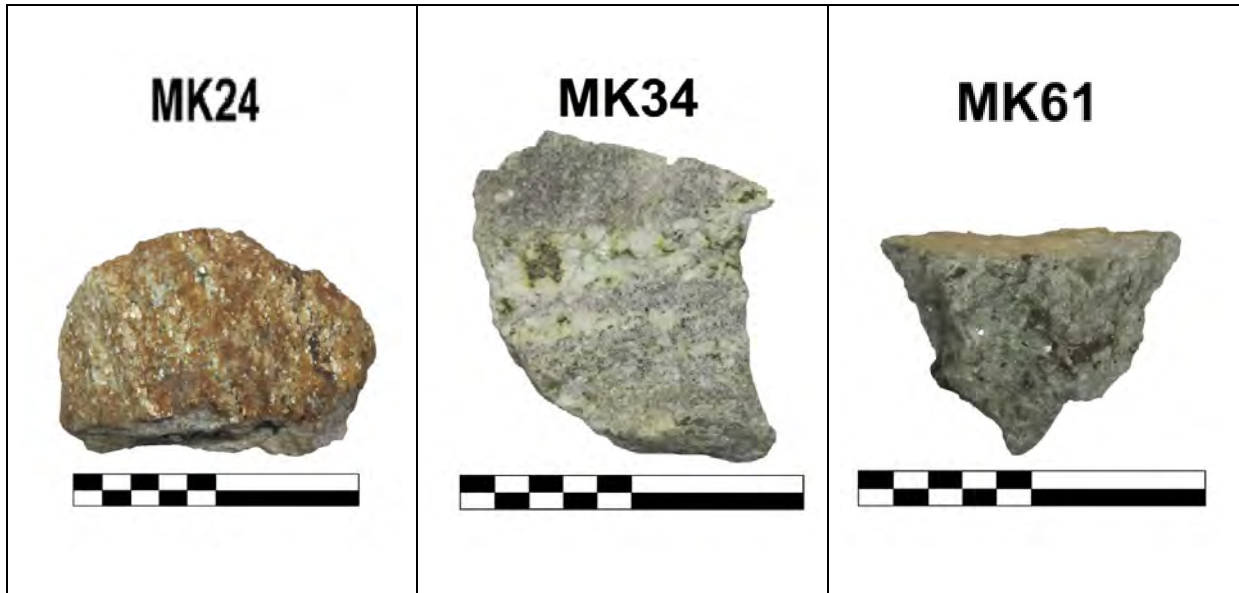
ตัวอย่างหินที่ใช้ในการศึกษามีทั้งหมด 7 ตัวอย่าง โดยใช้รหัสตัวอย่าง MK24, MK32, MK34, MK39, MK40, MK46, MK61 จากการศึกษาแบ่งชนิดของหินตัวอย่างตามลักษณะของหินที่ปรากฏให้เห็นชัดเจนหรือ texture ของหินออกเป็น 2 กลุ่มด้วยกัน ดังนี้

กลุ่มที่ 1 แอมฟิโบไลต์เป็นกลุ่มหินที่มีสีดำ น้ำตาลผสมดำ เนื้อหินไม่แสดงลักษณะริ้วลาย (non-foliated rock) ลักษณะ texture ของหินเป็นแบบเนื้อละเอียด (aphanitic texture) โดยคาดว่าแร่สีดำที่พบส่วนใหญ่เป็นแร่ Mafic mineral พวก Amphibole group (Hornblende) ส่วนแร่อื่น ๆ เป็นแร่รอง กลุ่มหินนี้ประกอบไปด้วยตัวอย่าง MK32, MK39, MK40 และ MK46 (ดูรูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างหินกลุ่มแอมฟิโบไลต์ จากแหล่งพลอยโมกก ประเทศพม่า

กลุ่มที่ 2 แคลซ์ซิลิเกตเป็นกลุ่มหินที่มีสีขาวยิ่งขาวเทา และสีส้ม เนื้อหินแสดงลักษณะริ้วลาย (foliation) ลักษณะ texture ของหินหยาบกว่าแบบ phaneritic texture โดยแร่ที่พบเป็นแร่สีขาวสลับกับแร่สีเทาหรือส้ม ซึ่งเป็นแถบของแร่สลับกันในเนื้อหิน โดยแร่สีขาวคาดว่าเป็นสายแร่ calcite ที่ตัดแทรกเข้ามาในเนื้อหิน กลุ่มหินนี้ประกอบไปด้วยตัวอย่าง MK24, MK34 และ MK61 (ดูรูปที่ 3.7)

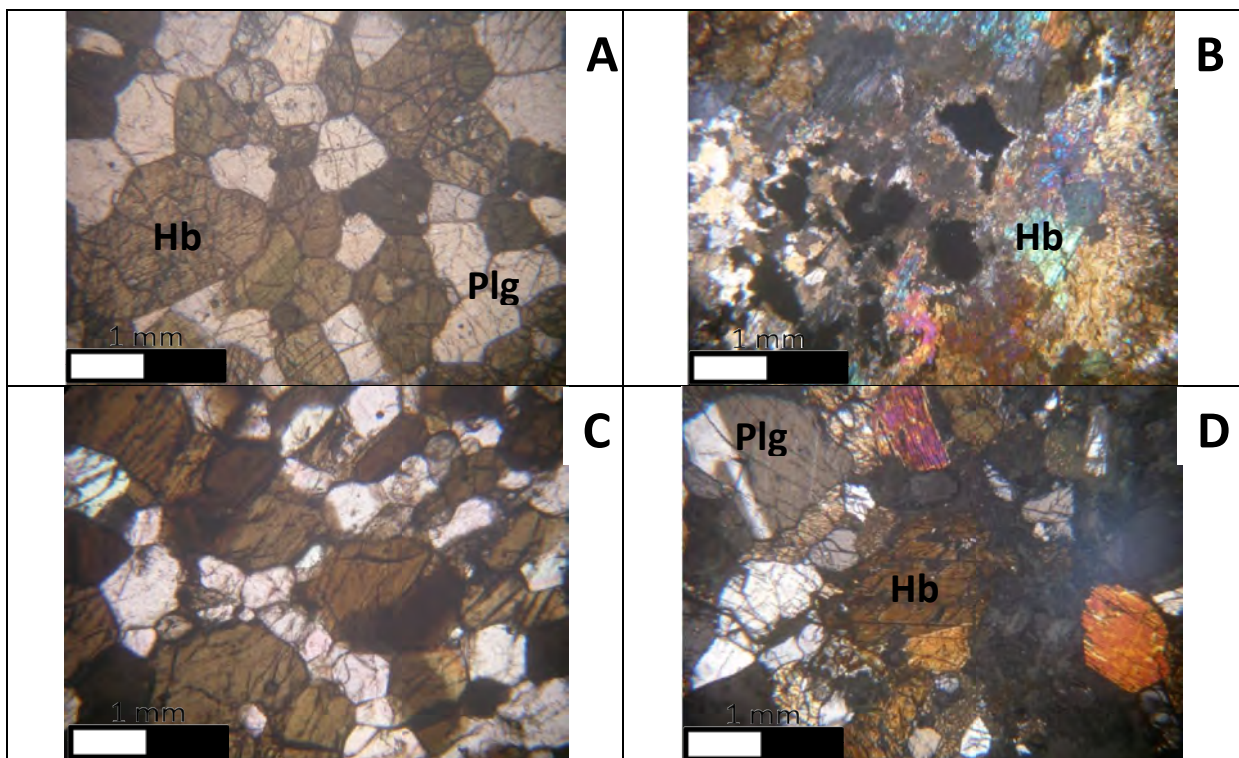


รูปที่ 3.7 ตัวอย่างหินกลุ่มแคลซ์ซิลิเกตจากแหล่งพลอยโมกก ประเทศพม่า

3.3 ศิลาวรรณา

หินแอมฟิโบไลต์

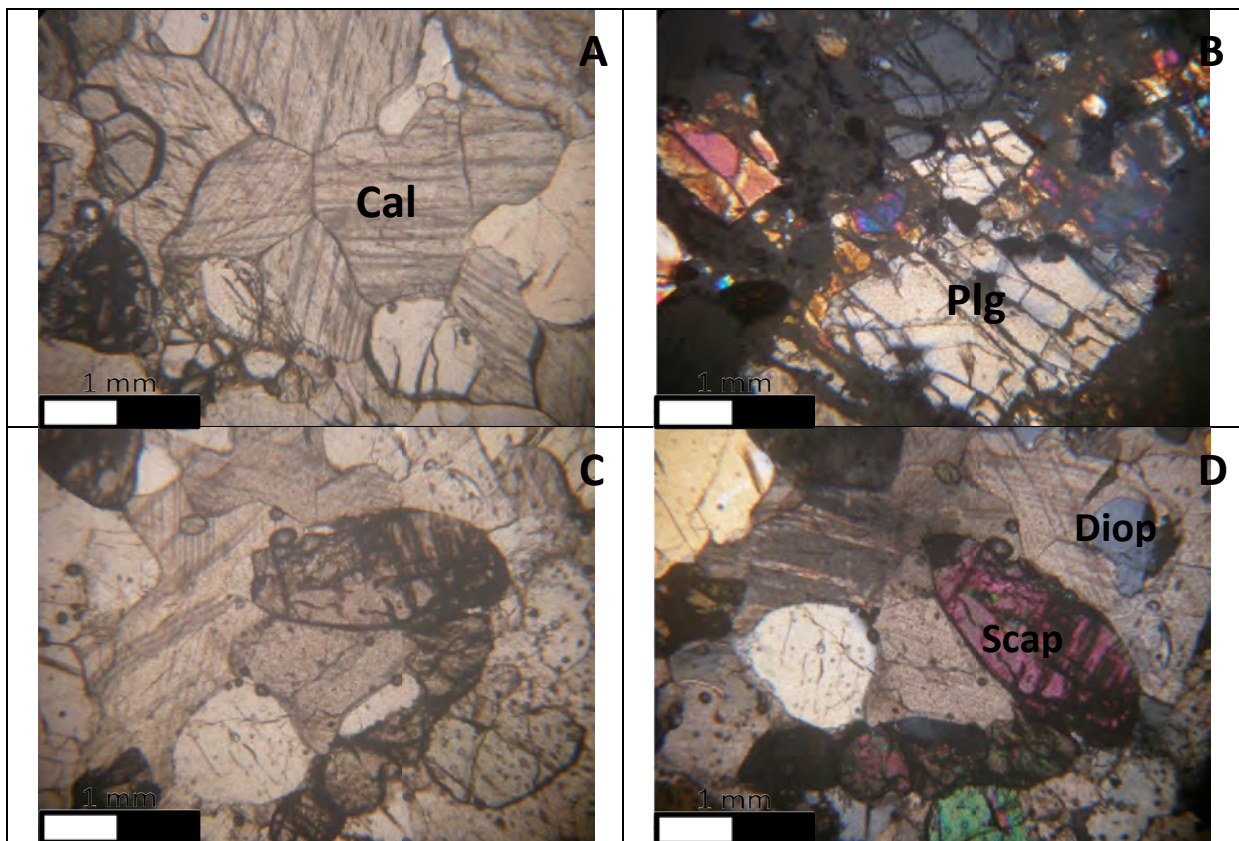
หินแอมฟิโบไลต์มีแร่หลักที่ประกอบในเนื้อหินคือ แร่แอมฟิโบล 60 - 70 % , แร่เฟลซิโอเคลส 15 - 20 % , และแร่ควอตซ์ 10 - 15 % เนื้อหินแอมฟิโบไลต์แสดงลักษณะเนื้อผลึกเม็ดหลายหน้า (polygonal mosaic texture) โดยประกอบไปด้วยผลึกแร่กึ่งสมบุรณ์ (subhedral) ขนาดใกล้เคียงกัน มีหน้าผลึกเรียบ พบลักษณะของรอยต่อระหว่าง 3 ผลึกทำมุมกันประมาณ 120 องศา เป็นมุมประกบ 3 ผลึก (triple junction) คล้ายตัว Y ประกอบอยู่ในเนื้อหินด้วย โดยแร่ที่มาประกอบกันเป็นแร่ในกลุ่มแอมฟิโบลและแร่เฟลสปาร์ และเนื้อหินแอมฟิโบไลต์ก็ยังแสดงลักษณะของการเรียงตัวของเม็ด โดยแร่เฟลสปาร์และฮอร์นเบลนด์ เรียงตัวกันลักษณะเป็นแนว ซึ่งเป็นแถวของแต่ละเม็ดแร่ แต่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จะเห็นได้เฉพาะภายใต้กล้องจุลทรรศน์เท่านั้น (รูปที่ 3.8)



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะเนื้อหินแอมฟิโบไลต์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสดงโพลาไรซ์

หินแคลซ์ซิลิเกต

หินแคลซ์ซิลิเกตประกอบไปด้วยแร่แคลไซต์ 50 - 60 เปอร์เซ็นต์ แร่เพลจีโอเคลส 20 - 25 % , แร่ควอตซ์ 10 % และไดออปไซด์กับสคาโฟไลต์อีกอย่างละ 5 % บางตัวอย่างยังพบแร่แผ่นชนิดโฟลโกไปต์ เกิดร่วมด้วย ประมาณ 5 % โดยพบลักษณะเนื้อผลึกเม็ดหลายหน้า (polygonal mosaic texture) เนื้อหิน ประกอบไปด้วยผลึกแร่กึ่งสมบุรณ์ (subhedral) และมีขนาดใกล้เคียงกัน แร่แคลไซต์มีค่าไบรีฟริงเจนซ์ (birefringence) ที่สูงทำให้ สี interference color อยู่ในลำดับที่ 2 - 3 นอกจากนี้ยังแสดงลักษณะของ triple junction ร่วมด้วย โดยลักษณะคล้ายตัว Y ที่รอยต่อระหว่างผลึกทำมุมกัน 120 องศา ประกอบอยู่ ร่วมกัน 3 ผลึก (รูปที่ 3.9)



รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างหินแคลซ์ซิลิเกตและภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของหิน

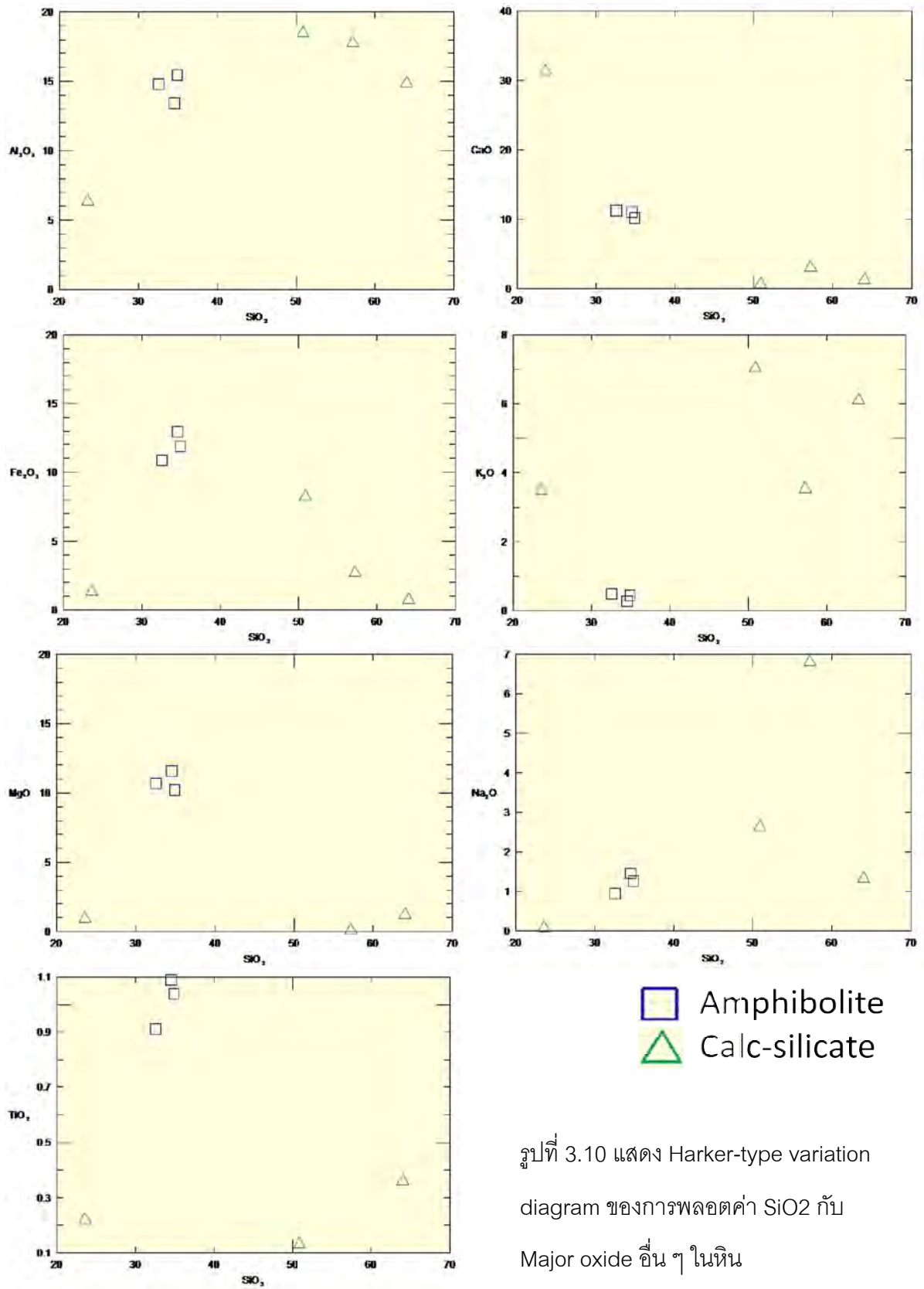
3.4 ธรณีเคมีของหินทั้งก้อน

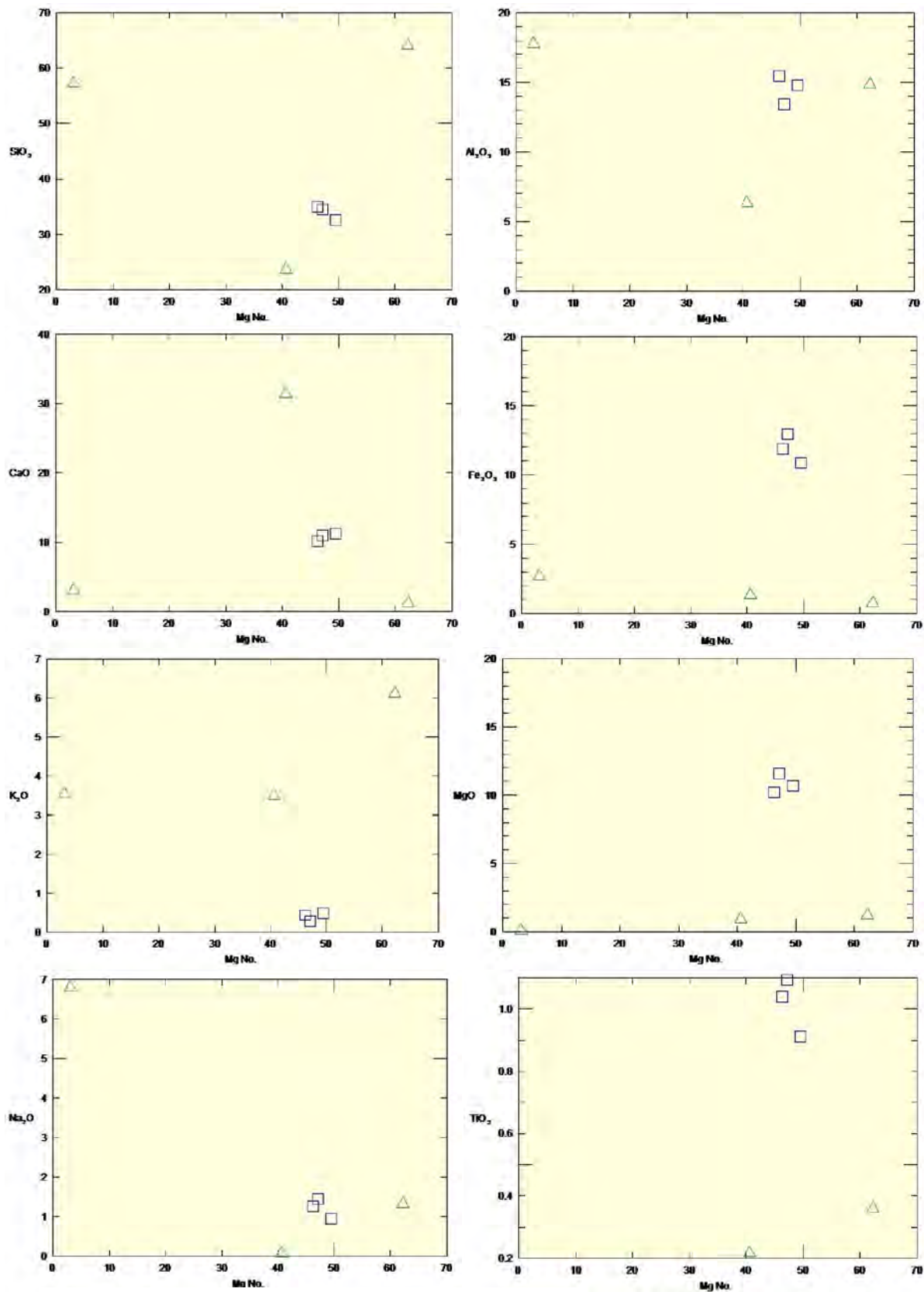
ตารางที่ 3.2 แสดงองค์ประกอบของแร่หลักและแร่รอง วิเคราะห์โดยเครื่องมือ X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

Sample	MK24	MK32	MK34	MK39	MK40	MK46	MK61
SiO ₂	50.89	23.56	64.01	34.56	32.53	34.89	57.19
Al ₂ O ₃	18.44	6.32	14.81	13.41	14.81	15.45	17.78
Fe ₂ O ₃	8.24	1.31	0.73	12.95	10.87	11.88	2.69
CaO	0.65	31.30	1.21	11.06	11.28	10.20	3.03
MgO	BDL	0.89	1.21	11.59	10.66	10.23	0.09
Na ₂ O	2.64	0.07	1.31	1.46	0.94	1.26	6.80
K ₂ O	7.03	3.48	6.11	0.28	0.48	0.44	3.53
TiO ₂	0.13	0.22	0.36	1.09	0.91	1.04	BDL
LOI	3.64	19.85	3.05	1.54	2.62	2.88	2.53
Sum	91.65	86.98	92.79	87.93	85.12	88.25	93.64

* BDL = Below Detection Limit

จากการวิเคราะห์ธรณีเคมีหินทั้งก้อน (Whole-rock geochemistry) ของหินแอมไฟโบไลต์และแคลด์ซิลิเกตจากเหมืองโมกกในประเศพม่า ศึกษาโดยเครื่องมือ X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF) (ตารางที่ 3.2) ประกอบด้วย SiO₂ มีปริมาณอยู่ในช่วง 23.55 - 64.00 %, Al₂O₃ มีปริมาณอยู่ในช่วง 6.31 - 18.43 %, Fe₂O₃ มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.73 - 12.94 %, CaO มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.65 - 11.28 %, MgO มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.89 - 11.58 %, Na₂O มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.06 - 6.79 %, K₂O มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.28 - 7.08 % และ TiO₂ มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.13 - 1.09 %



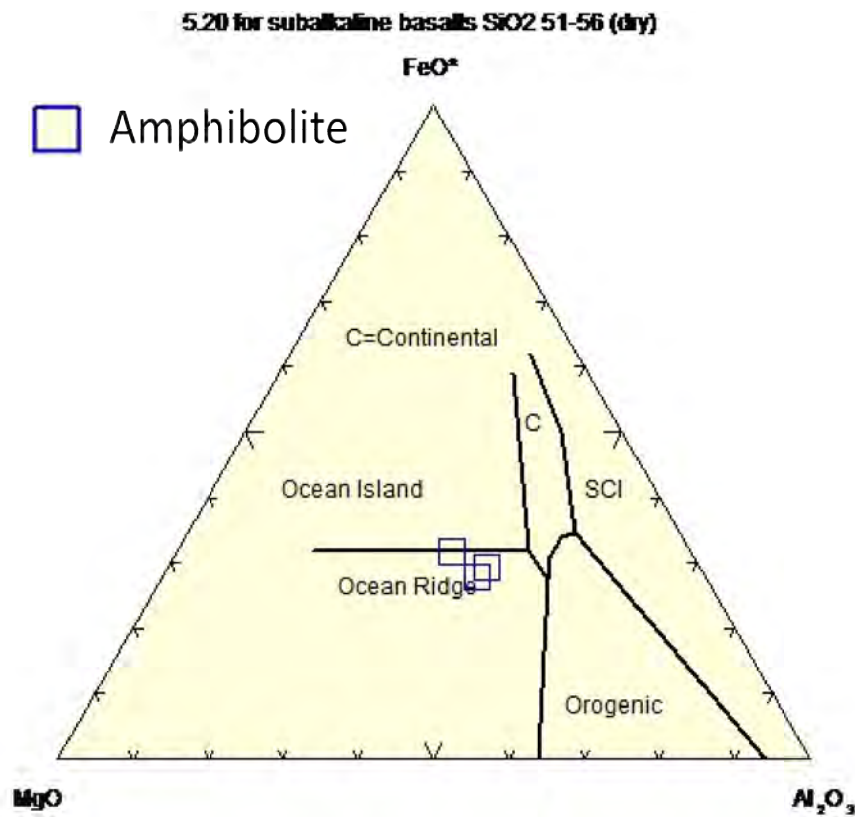


รูปที่ 3.11 แสดง Harker-type variation diagram ของการ

พลอตค่า Mg Number กับ Major oxide อื่น ๆ ในหิน

Amphibolite
 Calc-silicate

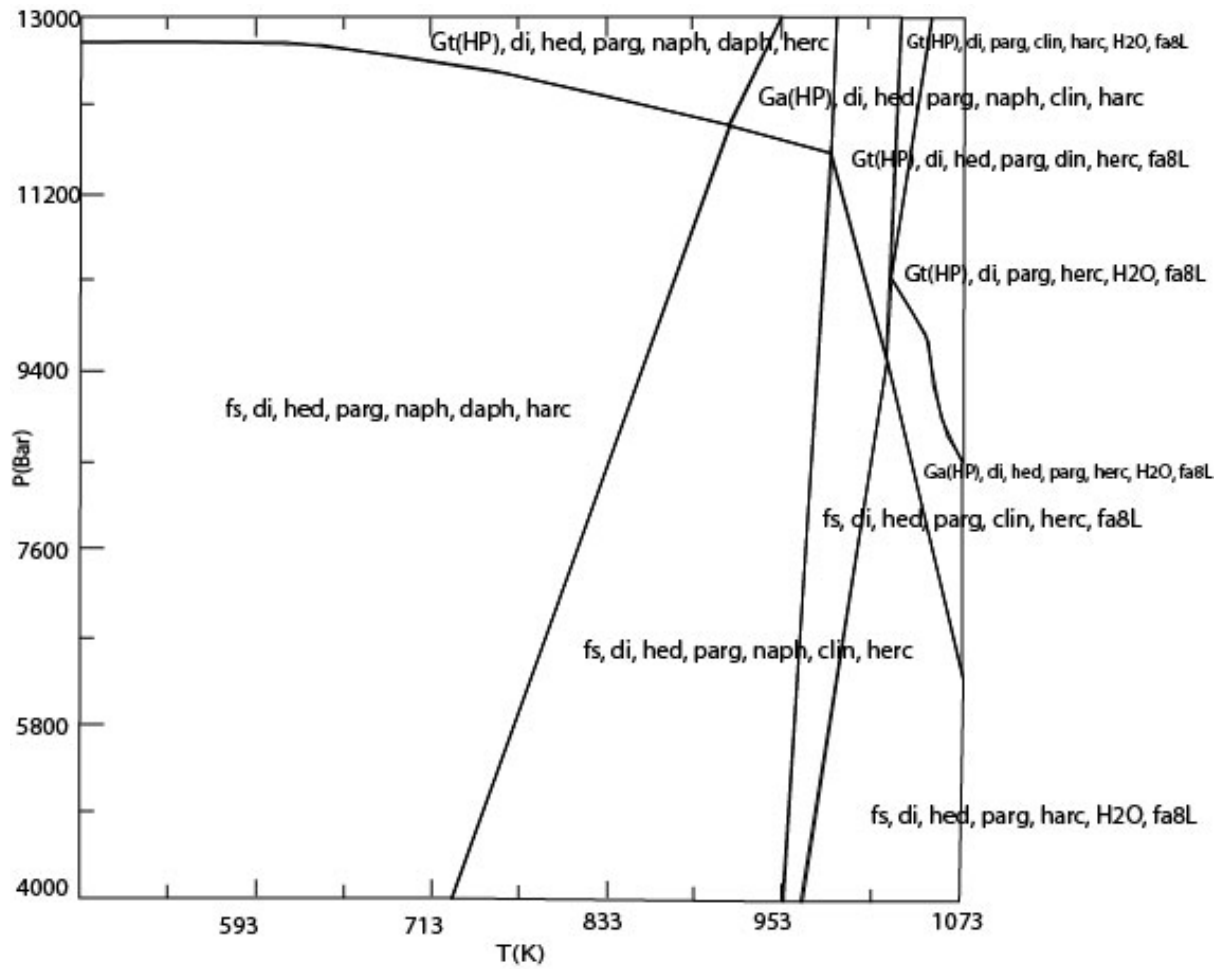
จากรูปที่ 3.10 และ 3.11 แสดงให้เห็นองค์ประกอบเคมีของแร่ในหินแอมไฟโบไลต์และแคลซ์ซิลิเกต ใช้ตัวอย่างในการพลอตทั้งหมด 7 ตัวอย่าง โดยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมสีน้ำเงินแสดงถึงหินแอมไฟโบไลต์ ทั้งหมด 3 ตัวอย่าง ส่วนสัญลักษณ์สามเหลี่ยมสีเขียวแสดงถึงแคลซ์ซิลิเกต ทั้งหมด 4 ตัวอย่าง โดยหินทั้งสองถูกพลอตลงใน Harker's variation diagram ที่มี SiO_2 (รูปที่ 3.10) และ Mg Number (รูปที่ 3.11) อยู่ในแนวแกน X เป็นค่าคงที่เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงในแนวแกน Y โดยจะสังเกตเห็นว่าหินแอมไฟโบไลต์นั้นมีองค์ประกอบทางเคมีของแร่ค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกันและเกาะกลุ่มกันมากกว่าผลของแคลซ์ซิลิเกตซึ่งกระจายตัวกันมากกว่า



รูปที่ 3.12 แสดง Discriminated diagram ของหินบะซอลต์โดยแสดงต้นกำเนิดของหินบะซอลต์ซึ่งแปรไปเป็นหินแอมไฟโบไลต์ของเหมืองในพื้นที่โมกก ประเทศพม่า โดยเป็นการพล็อตค่าของ $\text{MgO-FeO-Al}_2\text{O}_3$ (Pearce et al. 1977)

Discriminated diagram ของหินบะซอลต์ ใช้ตัวอย่างหินแอมไฟโบไลต์ทั้งหมด 3 ตัวอย่าง โดยเป็นการพล็อตค่าของ $\text{MgO-FeO-Al}_2\text{O}_3$ (Pearce et al. 1977) แสดงให้เห็นถึงหินบะซอลต์ซึ่งเป็นหินต้นกำเนิดของหินแอมไฟโบไลต์มีต้นกำเนิดมาจากบริเวณที่เป็น Oceanic ridge (รูปที่ 3.12) ซึ่งเกิดขึ้นในบริเวณที่เป็นสภาพแวดล้อมแบบทะเล (Marine environment)

Pseudo section



รูปที่ 3.13 แสดง Pseudo section ของตัวอย่าง MK39 โดยบอกถึงอุณหภูมิและความดันการเกิดหิน

ภาพ pseudo section แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิและความดันในการเกิดหินแอมไฟโบไลต์จากเหมือง Inn Gaung ในบริเวณแนวหินโมกก ประเทศพม่า

3.5 เคมีของแร่

การศึกษาเคมีของแร่ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ตัวอย่างที่เป็นตัวอย่างชัดเจนโดยศึกษาผ่านเครื่อง EPMA (Electron Probe Micro Analyzer) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์เคมีของแร่แต่ละจุด

ตารางที่ 3.3 แสดงผลเคมีของธาตุหลักและธาตุรองในแร่ฮอร์นเบลนด์ที่ศึกษาผ่านเครื่อง Electron Probe Microanalyzer (EPMA) โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ออกไซด์ของแต่ละธาตุ

Hornblende									
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	43.13	42.53	42.99	46.37	46.81	46.40	41.02	41.48	41.81
TiO ₂	1.46	1.38	1.43	1.32	1.32	1.29	1.35	1.25	1.24
Al ₂ O ₃	13.41	13.65	13.23	12.49	12.30	12.29	14.94	14.62	15.11
Cr ₂ O ₃	0.04	0.10	0.02	0.04	0.11	0.07	0.02	0.02	0.02
CaO	11.27	11.00	11.31	10.48	10.66	10.61	12.55	12.59	12.43
FeO	14.19	13.85	13.98	12.36	12.13	12.86	11.82	11.75	11.79
MgO	12.90	12.44	12.81	13.89	13.02	13.77	12.86	12.98	12.57
MnO	0.22	0.24	0.24	0.13	0.10	0.16	0.13	0.18	0.24
NiO	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.07	0.00	0.00
Na ₂ O	2.60	2.45	2.47	2.51	2.52	2.40	2.68	2.68	2.71
K ₂ O	0.67	0.64	0.65	0.88	0.87	0.89	0.61	0.60	0.64
Cl	0.06	0.05	0.04	0.07	0.06	0.08	0.10	0.09	0.07
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00
SO ₃	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Total	99.96	98.34	99.19	100.54	99.89	100.83	98.23	98.22	98.62
Comment	MK39	MK39	MK39	MK40	MK40	MK40	MK46	MK46	MK46

แร่ฮอร์นเบลนด์เป็นแร่ที่อยู่ในหินแอมไฟโบไลต์ จากการศึกษาร้อยเปอร์เซ็นต์ใช้ 9 จุดศึกษาจากทั้งหมด 3 ตัวอย่าง คือ MK39, MK40 และ MK46 โดยมีออกไซด์ของธาตุหลักในแร่คือ SiO₂ อยู่ในช่วง

41 - 46 % , Al_2O_3 อยู่ในช่วง 12 - 15 % , FeO อยู่ในช่วง 11 - 14 % , MgO อยู่ในช่วง 12 - 13 % , และ Na_2O อยู่ในช่วง 2 % ส่วนธาตุอื่น ๆ เป็นธาตุรองของแร่นี้

ตารางที่ 3.4 แสดงผลเคมีของธาตุหลักและธาตุรองในแร่ควอตซ์ที่ศึกษาผ่านเครื่อง Electron Probe Microanalyzer (EPMA) โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ออกไซด์ของแต่ละธาตุ

Quartz										
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	97.92	97.17	98	97.03	97.03	97.28	97.09	97.47	97.03	97.39
TiO ₂	0.02	0.02	0.03	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.02	0.04
Al ₂ O ₃	0.11	0.08	0.1	0.00	0.00	0.08	0.35	0.12	0.28	0.33
Cr ₂ O ₃	0.01	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01
CaO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.07	0.18	0.07	0.15	0.19
FeO	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.05	0.06	0.06	0.12	0.14
MgO	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.07	0.02	0.07	0.08
MnO	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.06	0.00
Na ₂ O	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.04	0.07	0.08
K ₂ O	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03	0.09	0.01	0.04	0.04
Cl	0.00	0.00	0.01	0.12	0.35	0.02	0.00	0.03	0.01	0.01
F	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₃	0.00	0.00	0.02	0.36	0.36	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01
Total	98.08	97.32	98.22	97.59	97.75	97.57	97.94	97.81	97.9	98.32
Comment	MK34	MK34	MK34	MK34	MK34	MK61	MK61	MK61	MK61	MK61

แร่ควอตซ์เป็นแร่ที่อยู่ในหินแอมไฟโบไลต์และแคลซ์ซิลิเกต จากการศึกษารูปร่างใช้ 10 จุดศึกษาจากทั้งหมด 2 ตัวอย่าง คือ MK34 และ MK61 โดยมีออกไซด์ของธาตุหลักในแร่คือ SiO₂ อยู่ในช่วง 97 - 98 % หรือเกือบทั้งหมดในเม็ดแร่ ส่วนธาตุอื่น ๆ เป็นธาตุรอง

ตารางที่ 3.5 แสดงผลเคมีของธาตุหลักและธาตุรองในแร่เฟลด์สปาร์ไอโซเคลสที่ศึกษาผ่านเครื่อง Electron Probe Microanalyzer (EPMA) โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ออกไซด์ของแต่ละธาตุ

Plagioclase					
No.	1	2	3	4	5
SiO ₂	46.29	45.97	46.38	46.58	46.46
TiO ₂	0.01	0.03	1.34	0.00	0.01
Al ₂ O ₃	34.9	34.46	33.94	34.31	34.97
Cr ₂ O ₃	0.00	0.01	0.07	0.01	0.00
CaO	15.19	15.05	15.2	14.43	15.16
FeO	0.14	0.16	0.2	0.25	0.26
MgO	0.03	0.00	0.3	0.00	0.01
MnO	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Na ₂ O	2.01	1.95	2.15	2.02	2.12
K ₂ O	0.04	0.04	0.83	0.04	0.03
Cl	0.01	0.00	0.05	0.00	0.01
F	0.00	0.01	0.00	0.47	0.05
SO ₃	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
Total	98.62	97.7	100.61	98.1	99.07
Comment	Mk40	MK40	Mk40	MK40	MK40

แร่เฟลด์สปาร์ไอโซเคลสเป็นแร่ที่อยู่ในหินแอมไฟโบไลต์และแคลซ์ซิลิเกต จากการศึกษแร่เฟลด์สปาร์ไอโซเคลสใช้ 5 จุดศึกษาจากทั้งหมด 1 ตัวอย่าง คือ MK40 โดยมีออกไซด์ของธาตุหลักในแร่คือ SiO₂ อยู่ในช่วง 45 - 46 % , Al₂O₃ อยู่ในช่วง 33 - 34 % , CaO อยู่ในช่วง 14 - 15 % และ Na₂O อยู่ในช่วง 2 % ส่วนธาตุอื่น ๆ เป็นธาตุรองของแร่

ตารางที่ 3.6 แสดงผลเคมีของธาตุหลักและธาตุรองในแร่แคลไซต์ที่ศึกษาผ่านเครื่อง Electron Probe Microanalyzer (EPMA) โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ออกไซด์ของแต่ละธาตุ

Calcite										
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.23	0.14	0.22	0.10	0.37	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00
CaO	54.69	54.70	54.20	53.38	54.01	56.13	52.65	52.22	52.33	53.50
FeO	0.06	0.08	0.16	0.17	0.23	0.22	0.03	0.05	0.10	0.07
MgO	0.05	0.09	0.09	0.03	0.06	0.11	0.47	0.46	0.43	0.43
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.04	0.02	0.05	0.04
NiO	0.09	0.04	0.14	0.04	0.23	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
Na ₂ O	0.02	0.00	0.03	0.06	0.07	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
K ₂ O	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
SO ₃	0.02	0.06	0.03	0.09	0.07	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Total	55.18	55.11	54.87	53.87	55.06	56.60	53.23	52.80	52.94	54.05
Comment	MK32	MK32	MK32	MK32	MK32	MK32	MK61	MK61	MK61	MK61

แร่แคลไซต์เป็นแร่ที่อยู่ในแคลซ์ซิลิเกต จากการศึกษารูปร่างแคลไซต์ใช้ 10 จุดศึกษาจากทั้งหมด 2 ตัวอย่าง คือ MK32 และ MK61 โดยมีออกไซด์ของธาตุหลักในแร่คือ CaO อยู่ในช่วง 52 - 54 % ส่วนธาตุอื่น ๆ เป็นธาตุรองของแร่

ตารางที่ 3.7 แสดงผลเคมีของธาตุหลักและธาตุรองในแร่เฟลสปาร์ที่ศึกษาผ่านเครื่อง Electron Probe Microanalyzer (EPMA) โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ออกไซด์ของแต่ละธาตุ

Feldspar										
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	66.18	65.55	65.36	66.58	66.12	66.42	66.67	64.66	64.87	64.18
TiO ₂	0.02	0.02	0.03	0.01	0.06	0.02	0.04	0.00	0.02	0.01
Al ₂ O ₃	19.76	19.04	19.68	19.06	19.53	19.60	18.12	20.39	20.30	20.20
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
CaO	0.44	0.40	0.07	0.71	0.70	0.71	0.60	0.99	1.01	1.03
FeO	0.42	0.33	0.36	0.05	0.00	0.00	0.25	0.02	0.02	0.00
MgO	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
MnO	0.01	0.00	0.02	0.04	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03
Na ₂ O	4.55	4.53	5.58	5.42	5.30	5.47	5.89	8.95	8.55	8.60
K ₂ O	8.70	8.56	8.29	8.51	8.62	8.42	8.02	3.66	3.98	3.76
Cl	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₃	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
Total	100.08	98.45	99.41	100.45	100.33	100.68	99.60	98.71	98.77	97.83
Comment	MK24	MK24	MK24	MK24	MK24	MK24	Mk24	MK61	MK61	MK61

แร่เฟลสปาร์เป็นแร่ที่อยู่ในหินแคลซ์ซิลิเกต จากการศึกษารูปร่างเฟลสปาร์ใช้ 10 จุดศึกษาจากทั้งหมด 2 ตัวอย่าง คือ MK24 และ MK61 โดยมีออกไซด์ของธาตุหลักในแร่คือ SiO₂ อยู่ในช่วง 64 - 66 % , Al₂O₃ อยู่ในช่วง 18 - 20 % , K₂O อยู่ในช่วง 3 - 8 % และ Na₂O อยู่ในช่วง 4 - 8 % ส่วนธาตุอื่น ๆ เป็นธาตุรอง

ตารางที่ 3.8 แสดงผลเคมีของธาตุหลักและธาตุรองในแร่สคาไฟไลต์ที่ศึกษาผ่านเครื่อง Electron Probe Microanalyzer (EPMA) โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ออกไซด์ของแต่ละธาตุ

Scapolite								
No.	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	52.60	52.57	52.10	52.65	52.23	53.43	53.36	53.48
TiO ₂	0.05	0.05	0.08	0.06	0.08	0.07	0.07	0.07
Al ₂ O ₃	1.33	1.14	1.11	1.06	1.28	1.10	1.07	1.06
Cr ₂ O ₃	0.05	0.04	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.02
CaO	23.70	24.58	24.61	22.62	22.53	22.80	22.87	22.80
FeO	11.50	12.36	12.60	12.87	12.72	12.37	12.57	12.86
MgO	9.57	9.62	9.61	9.40	10.00	9.49	9.69	9.57
MnO	0.41	0.37	0.35	0.42	0.39	0.36	0.35	0.34
NiO	0.01	0.00	0.00	0.06	0.02	0.03	0.00	0.00
Na ₂ O	0.15	0.18	0.18	0.18	0.17	0.14	0.16	0.13
K ₂ O	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₃	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Total	99.38	100.91	100.65	99.35	99.44	99.81	100.14	100.34
Comment	MK32	MK32	MK32	MK32	MK32	MK32	MK32	MK32

แร่สคาไฟไลต์เป็นแร่ที่อยู่ในหินแคลซ์ซิลิเกต จากการศึกษารูปร่างแร่สคาไฟไลต์ใช้ 8 จุดศึกษาจากทั้งหมด 1 ตัวอย่าง คือ MK32 โดยมีออกไซด์ของธาตุหลักในแร่คือ SiO₂ อยู่ในช่วง 52 - 53 % , CaO อยู่ในช่วง 22 - 24 % , FeO อยู่ในช่วง 11 - 12 % และ MgO อยู่ในช่วง 9 - 10 % ส่วนธาตุอื่นๆ เป็นธาตุรอง

ตารางที่ 3.9 แสดงผลเคมีของธาตุหลักและธาตุรองในแร่ไดออปไซด์ที่ศึกษาผ่านเครื่อง Electron Probe Microanalyzer (EPMA) โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ออกไซด์ของแต่ละธาตุ

Diopside			
No.	4	5	6
SiO ₂	47.55	47.26	47.27
TiO ₂	0.00	0.03	0.00
Al ₂ O ₃	28.74	28.81	28.73
Cr ₂ O ₃	0.01	0.01	0.00
CaO	20.85	20.97	20.68
FeO	0.25	0.30	0.29
MgO	0.06	0.09	0.12
MnO	0.00	0.03	0.00
NiO	0.03	0.01	0.00
Na ₂ O	1.84	1.77	1.89
K ₂ O	0.13	0.14	0.16
Cl	0.05	0.04	0.03
F	0.00	0.00	0.00
SO ₃	0.00	0.00	0.00
Total	99.52	99.44	99.18
Comment	MK32	MK32	MK32

แร่ไดออปไซด์เป็นแร่ที่อยู่ในหินแคลซ์ซิลิเกต จากการศึกษารั้วไดออปไซด์ใช้ 3 จุดศึกษาจากทั้งหมด 1 ตัวอย่าง คือ MK32 โดยมีออกไซด์ของธาตุหลักในแร่คือ SiO₂ อยู่ในช่วง 47 % , Al₂O₃ อยู่ในช่วง 28 % , CaO อยู่ในช่วง 20 % และ NaO อยู่ในช่วง 1% ส่วนธาตุอื่นๆ เป็นธาตุรอง

บทที่ 4

สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาในรายงานการศึกษานี้ โดยมีข้อมูลของศิลาวรรณา (Petrography) การวิเคราะห์เคมีของหินทั้งก้อน (Whole rock analysis) และเคมีของแร่ (Mineral chemistry) ทำให้สามารถอภิปรายผลของข้อมูลได้ดังต่อไปนี้

ศิลาวรรณาของหินแอมฟิโบไลต์ : แร่ประกอบหินคือแร่กลุ่มแอมฟิโบลเป็นส่วนใหญ่ และมีแร่พลาจิโอเคลสประกอบร่วมด้วย โดยแสดงลักษณะของรอยต่อของแร่ที่ทำมุมกัน 120 องศาของแร่ 3 เม็ด (Triple junction) นอกจากนั้นแร่บางเม็ดยังแสดงถึงการหักงอ (Kinking) เนื่องจากแรงที่มากระทำอีกด้วย โดยลักษณะเนื้อหินที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงถึงการแปรแบบขั้นสูง (High grade metamorphism)

ศิลาวรรณาของหินแคลตซิลิเกต : แร่ประกอบหินประกอบไปด้วยแร่แคลไซต์ ควอร์ตซ์ ไดออปไซด์ และสคาไฟไลต์ โดยลักษณะเนื้อหินที่แสดงให้เห็นเด่นชัดคือ Triple junction เหมือนกับลักษณะของหินแอมฟิโบไลต์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดในการแปรขั้นสูง (High grade metamorphism) เช่นเดียวกัน

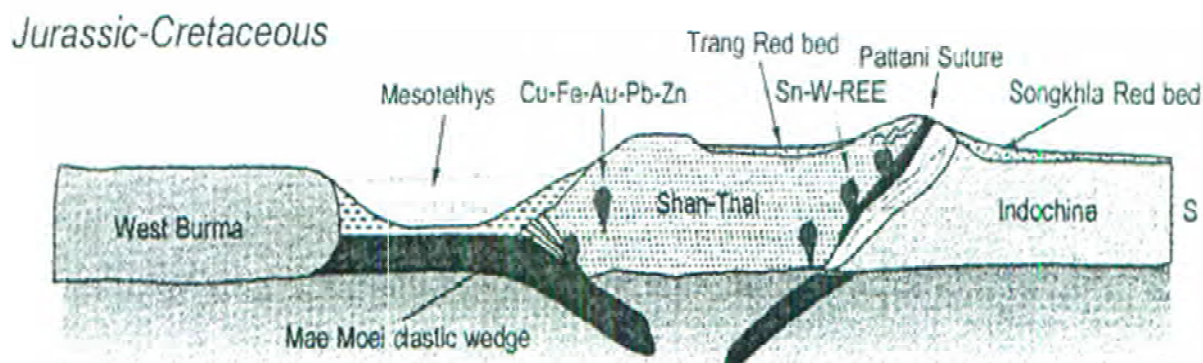
ชุดหินแปรแอมฟิโบไลต์ (Amphibolite facies)

เกิดจากการแปรสภาพขั้นสูงในการแปรแบบไพศาล (Regional metamorphism) ที่อุณหภูมิและความดันประมาณ 700 - 800 องศาเซลเซียส 7 - 8 Kbar และถ้าหากเกิดอุณหภูมิและความดันที่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้แปรไปเป็นชุดหินแปรแกรนูไลต์ (Granulite facies)

แร่ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในชุดหินแปรแอมฟิโบไลต์คือ Plagioclase ที่มี An content < 20, Amphibole (Hornblende) , Pyroxene (Diopside), Staurolite, Cordierite, Garnet (Grossularite or Andradite)

เมื่อดูจากแร่ที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงชุดหินแปรแอมฟิโบไลต์ จะเห็นได้ว่าแร่ในหินทั้งสองชนิดที่นำมาศึกษาประกอบอยู่ในแร่ในชุดหินแปรแอมฟิโบไลต์ ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าแคลตซิลิเกตและแอมฟิโบไลต์ที่นำมาศึกษาเกิดขึ้นในช่วงของการแปรแบบไพศาล (Regional metamorphism) ที่มีอุณหภูมิและความดันในการแปรสูง

การเกิดของหินแอมไฟไบไลต์และแคลตซิลิเกต



Charusiri P. et al., 2002

รูปที่ 3.14 แสดงการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกพม่าตะวันตก (Western Burma plate) ที่เคลื่อนเข้ามาทางตะวันออกเฉียงเหนือเข้าหาแผ่นฉานไทย และได้มีการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรเข้าไปใต้แผ่นฉานไทยอีกด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดหินในพื้นที่ศึกษาขึ้น

ประเทศพม่าตั้งอยู่บนขอบของแผ่นเปลือกโลก 2 แผ่นคือแผ่นเปลือกโลกพม่าตะวันตก (Western Burma plate) และ แผ่นเปลือกโลกฉาน-ไทย (Shan-Thai plate) โดยบริเวณที่เป็นรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกทั้งสองแผ่นนั้นเคยเป็นทะเลมาก่อน โดยเรียกกันว่า Mesotethys ซึ่งเป็นทะเลที่เกิดขึ้นในช่วง Permian-Triassic หลังจากที่ Paleotethys ปิดไปแล้ว โดยทะเลนั้นได้มีตะกอนจากบนบกมาตกสะสมในบริเวณใกล้กับชายฝั่ง และบริเวณที่ห่างออกไปก็ได้มีการสะสมตัวของหินปูนทั้งที่เป็นหินปูนสะอาด ไม่มีตะกอนอื่นอยู่ในเนื้อหิน และหินปูนสกปรกที่มีตะกอนบกปะปนในเนื้อหินด้วย และบริเวณที่ไกลออกไปซึ่งเป็นบริเวณที่ไกลชายฝั่งออกไป น้ำจะลึกมากกว่าบริเวณใกล้ชายฝั่ง ก็มีตะกอนละเอียดมาสะสม รวมทั้งเกิดหินบะซอลต์อยู่ใต้ทะเลร่วมด้วย ซึ่งเกิดจากการแทรกดันขึ้นมาผ่านแผ่นมหาสมุทรบริเวณนั้น

จากการพลอตกราฟการเกิดหินบะซอลต์ ทำให้ทราบว่าหินนั้นเกิดบริเวณที่เป็น Oceanic island arc ซึ่งเป็นบริเวณของแผ่นมหาสมุทร โดยจากค่าของ Mg Number ที่พลอตนั้นมีค่าอยู่ที่ประมาณ 50 เปอร์เซนต์ ซึ่งบอกได้ถึงการสูญเสียของ Mg ไปเมื่อตอนเย็นตัวในทะเล เนื่องจากในทะเลมีแร่ธาตุอยู่ในปริมาณมาก ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกันระหว่างบะซอลต์กับน้ำทะเล ทำให้ปริมาณของ Mg เกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วย

หลังจากนั้นเกิดเหตุการณ์ของ Sea floor spreading ซึ่งทำให้แผ่นมหาสมุทรเคลื่อนตัวออกจาก ศูนย์กลางการแผ่ ทำให้บะซอลต์เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กับแผ่นดินมากขึ้น ซึ่งเป็นบริเวณที่ต้น โดยมีหินปูนเกิด สะสมตัวอยู่ใกล้กับชายฝั่ง เนื่องจากมีสภาพอุณหภูมิที่เหมาะสม ซึ่งหินปูนก็มีทั้งหินปูนสะอาด ไม่มีตะกอน อื่นปนในเนื้อหิน และหินปูนที่สกปรก ก็จะมีตะกอนบางส่วนปะปนอยู่ในเนื้อหินด้วย โดยเป็นตะกอนที่พัด พามาจากบนบก โดยเมื่อหินบะซอลต์เคลื่อนตัวเข้ามาก็ทำให้เกิดการทับกัน และแทรกสลักระหว่าง หินปูนและหินบะซอลต์ ซึ่งบ่งบอกได้ถึงการพบหินสองชนิดนี้อยู่ด้วยกันได้

เมื่อตอนช่วงกลางยุค Cenozoic สมัย Eocene เกิดการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกอินเดีย (Indian plate) ขึ้นมาทางเหนือ ทำให้เกิดการชนกันของแผ่นเปลือกโลกระหว่างแผ่นทวีปอินเดียและแผ่น ทวีปยูเรเชีย ทำให้เกิดความร้อนและความดันบริเวณที่เป็นแนวรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกเดิม รวมทั้ง บริเวณแนวหินแปรโมกกซึ่งเป็นรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกพม่าตะวันตกกับแผ่นเปลือกโลกฉาน-ไทยด้วย ซึ่งส่งผลให้เกิดการแปรแบบไพศาลขึ้นในหลายบริเวณ ทำให้หินนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยหินบะซอลต์ แปรไปเป็นหินแอมไฟไบไลต์ ส่วนหินปูนนั้นแปรไปเป็นหินอ่อน หินปูนที่สกปรกก็แปรเป็นแคลด์ซิลิเกต

เอกสารอ้างอิง

- Barley M. E. and Pickard A. L., Zaw K, Rak P. and Doyle M.G., 2003. Jurassic to Miocene magmatism and metamorphism in the Mogok metamorphic belt and the India-Eurasia collision in Myanmar. *Tectonics*, 22, No.3, 1019
- Bertrand G., Rangin N. Maluski H., Bellon H. and GIAC Scientific party. Diachronous cooling along the Mogok Metamorphic Belt (Shan scarp, Myanmar): the trace of the northward migration of the Indian syntaxis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 19, 649-659
- Garnier V., Giuliani G., Ohnenstetter D., Fallick A.E., Dubessy J., Banks D., Vinh H.Q., Lhomme T., Maluski Henri, Pecher A., Bakhsh K.A., Long P.V., Trinh P.T. and Schwarz D., 2008. Marble-hosted ruby deposits from Central and Southeast Asia: Towards a new genetic model. *Ore Geology Review*, 34, 169-191
- Mitchell A.H.G., Htay M.T., Htun K.M., Win M.N., Oo T. and Hlaing T., 2007. Rock relationships in the Mogok metamorphic belt, Tatkon to Mandalay, central Myanmar. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29, 891-910
- Themelis T., 2008. *Gems and Mines of Mogok*. Thailand, 52, 15-67
- Yui T.F., Zaw K. and Wu C.W., 2008. A preliminary stable isotope study on Mogok Ruby, Myanmar. *Ore Geology Review*, 34, 192-199