

ศิลปวรรณคดีและธรรมเนียมของจีนในสมัยโบราณ บริเวณแนวหินโมกกก ประเทศพม่า

นางสาวสิริลักษณ์ ฝักจันทร์

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY OF GNEISS
ALONG MOGOK STONE TRACT, MYANMAT

MISS SIRILUKKANA PHAJUN

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

DEPARTMENT OF GEOLOGY, FACULTY OF SCIENCE

CHULALONGKORN UNIVERSITY, 2013

ศิลาวรรณนาและธรณีเคมีของหินไนส์ บริเวณแนวหินโมกก ประเทศพม่า

นางสาวสิริลักษณ์ ฝาคันทร

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์: 083-7702449 อีเมล: aom_niimi@hotmail.com

บทคัดย่อ

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่บริเวณแนวหินโมกก ประเทศพม่า ซึ่งพื้นที่ศึกษามีการกระจายตัวของหินอัคนี และหินแปร ในการศึกษาครั้งนี้สนใจศึกษาเฉพาะหินแปร ประเภทหินไนส์ จากการศึกษาลักษณะศิลาวรรณนา สามารถแบ่งหินออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ไบโธไทต์ ไนส์ และ ไบโธไทต์ - การ์เน็ต ไนส์ ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์มีขนาดของผลึกแร่ตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ถึง 6 มิลลิเมตร โดยมีแร่ประกอบหลักคือ แร่ควอตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ แร่ไบโธไทต์ และแร่การ์เน็ต และมีลักษณะเนื้อหินที่สำคัญได้แก่ Heterogranoblastic และ Myrmekitic จากการศึกษาธรณีเคมีของหินทั้งก้อนพบว่า ประกอบด้วย 40 – 76% SiO₂, 9 – 24% Al₂O₃, < 7% Fe₂O₃, < 6% K₂O, < 2% CaO, < 2% Na₂O, < 1% MnO, < 2% MgO, < 1% TiO₂, < 0.3% P₂O₅ เมื่อแสดงด้วยแผนภูมิของฮาร์เกอร์ พบว่าตัวอย่างเกาะกลุ่มกัน ซึ่งแสดงถึงองค์ประกอบที่คล้ายกัน ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแร่พบว่า แร่อัลคาไลน์เฟลด์สปาร์ จัดอยู่ในกลุ่มออร์โทเคลส ส่วนแพลจีโอเคลสอยู่ในช่วงของโอลิโกเคลส ซึ่งสัมพันธ์กับสภาวะการเกิดที่อุณหภูมิปานกลางถึงสูง และมีความดันปานกลาง จาก ACF diagram บ่งบอกถึงองค์ประกอบของหินต้นกำเนิดว่าเป็นหินตะกอนจำพวก Pelitic rock และ Quartzo-feldspathic rock หรือหินจำพวก Subgreywack และ Siliceous shale

คำสำคัญ : แนวหินโมกก, หินแปร, หินไนส์

PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY OF GNEISS ALONG
MOGOK STONE TRACT, MYANMAR

Sirilukkana Phajun

Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Tel: 083-7702449, E-mail: aom_niimi@hotmail.com

Abstract

The study area is located in Mogok stone tract, Myanmar in which is geologically occupied by igneous rocks and metamorphic rocks. Rock specimens collected from the study area can be divided, based on grain size and mineral assemblage, into 2 groups including Biotite Gneiss and Biotite-Garnet Gneiss. Gneisses found in this area have various grain size (fine to medium grain) in microscopic and found heterogranoblastic texture and myrmekitic texture. Rock-forming minerals are composed of mainly quartz, feldspar, biotite and garnet. Whole-rock geochemistry of gneisses range in narrow ranges of 40 – 76%SiO₂, 9 – 24% Al₂O₃, < 7% Fe₂O₃, < 6% K₂O, < 2% CaO, < 2% Na₂O, < 1% MnO, < 2% MgO, < 1% TiO₂, <0.3% P₂O₅. Based on mineral chemistry, alkali feldspar are characterized by orthoclase and plagioclase feldspar are characterized by oligoclase. These indicate medium to high pressure and medium to high temperature environment of metamorphism. These geochemistry analyses, ACF diagram indicated that their protolith maybe Pelitic rock, Quartzo-feldspathic rock, subgreywack and siliceous shale.

Keywords : Mogok stone tract, Metamorphic rock, Gneiss

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเล่มนี้จะสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีไม่ได้หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำจากบุคคลหลายท่าน ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. จักรพันธ์ สุทธิรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยที่คอยให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือตลอด งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีขอขอบคุณอาจารย์ ดร. ประหยัด นันทศิลป์ ที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้ตลอดจนบุคลากรประจำภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่คอยช่วยเหลือ โดยเฉพาะ คุณจิระประภา เนียมปาน, คุณไศภิต พุ่มพวง และคุณประจัน ทองประชุม ที่คอยช่วยเหลือในงานวิจัยในครั้งนี้

สารบัญ

บทคัดย่อ	ง
Abstract	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 : บทนำ	
1.1 ข้อมูลทั่วไป	2
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 พื้นที่ศึกษา	3
1.4 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
1.5 ขอบเขตงานวิจัย	5
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 : วิธีดำเนินงานวิจัย	
2.1 วิธีดำเนินงานวิจัย	7
2.2 เครื่องมือในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล	9
2.3 การรวบรวมตัวอย่าง	12
บทที่ 3 : ผลการศึกษา	
3.1 ธรณีวิทยาทั่วไป	15
3.2 ศิลาวรรณนา	17
3.3 ธรณีเคมีของหิน	20
3.4 องค์ประกอบทางเคมีแร่	23
บทที่ 4 : อภิปรายผลและสรุปผล	
4.1 กำเนิดศิลา	27
4.2 สรุปผล	31
เอกสารอ้างอิง	32

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1 : ภาพแผนที่ธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษาและตำแหน่งแสดงจุดศึกษา ที่มีการเก็บตัวอย่าง	3
รูปที่ 2.1 : แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานในโครงการนี้	7
รูปที่ 2.2 : กล้องจุลทรรศน์แบบแสงโพลาไรด์ส่องผ่าน	9
รูปที่ 2.3 : เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer	10
รูปที่ 2.4 : เครื่อง Electron Probe Micro Analyzer (EPMA)	11
รูปที่ 2.5 : พื้นที่ศึกษาบริเวณแพนหวินโมกก ประเทศพม่า โดยเป็นเหมืองพลอย ซึ่งหินในพื้นที่ศึกษาส่วนมากจะประกอบไปด้วยหินไนส์และหินอ่อน โดยรูป (A) เหมือง Baw Mar (B) เหมือง Pein Pyit (C) เหมือง San Taw Wyn (D) เหมือง Kin	13
รูปที่ 3.1 : รูปแสดงเหตุการณ์ทางธรณีวิทยา ที่แสดงถึงวิวัฒนาการของธรณีแปร สัณฐานในบริเวณแนวหินแปรโมกก ประเทศพม่า	16
รูปที่ 3.2 : ตัวอย่างของหินไบโอไทต์ ไนส์ (Biotite Gneiss) เนื้อหินแสดงลักษณะ Hetrogranoblastic texture และ Myrmekitic texture โดยมีลักษณะ ผลึกแบบ anhedral ถึง subhedral	18
รูปที่ 3.3 : ตัวอย่างของหินไบโอไทต์-การ์เนต ไนส์ (Biotite-Garnet Gneiss) เนื้อหินแสดงลักษณะ Heterogranoblastic texture โดยส่วนใหญ่ มีลักษณะผลึกแบบ anhedral ถึง subhedral	10
รูปที่ 3.4 : Harker variation diagram ของ Major และ Minor Oxides เปรียบเทียบ กับเปอร์เซ็นต์ของ SiO ₂	22
รูปที่ 4.1 : ACF diagram (Eskolar, 1915) แสดงหินต้นกำเนิดของหินไนส์ โดย อยู่ในช่วง Pelitic rocks และ Quartzo-feldspathic rocks	28

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

- รูปที่ 4.2 : $\text{CaO}+\text{MgO} - \text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (Wahlstrom and Kim, 1959) 28
แสดงหินต้นกำเนิดของหินไนส์ โดยอยู่ในช่วงของหิน Subgreywacke
และ Siliceous shale
- รูปที่ 4.3 : Pseudosection ของตัวอย่าง MK 44 โดยจากการศึกษาแร่องค์ประกอบ 29
พบว่าช่วงความดันและอุณหภูมิที่ทำให้เกิดหินไนส์นั้นอยู่ในช่วงความดัน
7-9 kbar และช่วงอุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส
- รูปที่ 4.4 : Pseudosection ของตัวอย่าง MK 65 โดยจากการศึกษาแร่องค์ประกอบ 30
พบว่าช่วงความดันและอุณหภูมิที่ทำให้เกิดหินไนส์นั้นอยู่ในช่วงความดัน
3-7 kbar และช่วงอุณหภูมิ 550-800 องศาเซลเซียส

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 : ตำแหน่งศึกษาและตัวอย่างที่เก็บตามแนวหินแปรสภาพโมกก ประเทศพม่า	12
ตารางที่ 3.1 : ความสัมพันธ์ของหินในเหมืองต่างๆบริเวณ Tatkon-Mandalay	15
ตารางที่ 3.2 : ข้อมูล Whole-rock analyses ของหินไนส์ ประกอบด้วย Major Oxides และ Minor Oxides	20
ตารางที่ 3.3 : ผลวิเคราะห์ EPMA ค่าตัวแทนข้อมูลขอแร่การ์เน็ต จากบริเวณ แนวหินแปรโมกก ประเทศพม่า	23
ตารางที่ 3.4 : ผลวิเคราะห์ EPMA ค่าตัวแทนข้อมูลขอแร่เฟลจีโอเคส และอัลคไลน์ เฟลด์สปาร์ จากบริเวณแนวหินแปรโมกก ประเทศพม่า	24
ตารางที่ 3.5 : ผลวิเคราะห์ EPMA ค่าตัวแทนข้อมูลขอแร่ไบโอไทต์ จากบริเวณ แนวหินแปรโมกก ประเทศพม่า	25

บทที่ 1 : บทนำ

1.1 ข้อมูลทั่วไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.3 พื้นที่ศึกษา

1.4 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ข้อมูลทั่วไป

พม่าเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นดิน ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จากลักษณะทางธรณีวิทยา สามารถแบ่งแนวของการแปรสัณฐานออกเป็น 6 แนวในแนวเหนือใต้ 1.The Arakan (Rakhine) Costal Strip 2.The Indo-Buraman Ranges 3.The Western Inner-Burma Tertiary Basin 4.The Ventral Volcanic Belt 5.the Eastern Inner-Burma Tertiary Basin และ 6.The Sino-Burma Ranges or Shan-Tenasserim Massif

แนวหินโมกก (Mogok Stone Tract) เป็นส่วนหนึ่งของแนวการแปรสภาพโมกก (Mogok Metamorphic Belt) ซึ่งตั้งอยู่ทางใต้แนวการชนของเทือกเขาหิมาลัยตะวันออกเฉียง (Eastern Himalayan Syntaxis) และทางตะวันตกของขอบแผ่นทวีปฉานไทย โดยพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้อยู่ทางเหนือของแนวการแปรสภาพโมกก ซึ่งมีความสนใจในการเกิดแหล่งอัญมณี โดยเฉพาะ ทับทิม แซปไฟร์ และแหล่งแร่มีค่าทางเศรษฐกิจอื่นๆ โดยสภาพทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษาที่มีความซับซ้อนประกอบด้วย หินแปรชั้นสูงและหินอัคนีบาดาล มีลำดับชั้นหินจากหินอายุแก่ ก่ไปอ่อนดังนี้

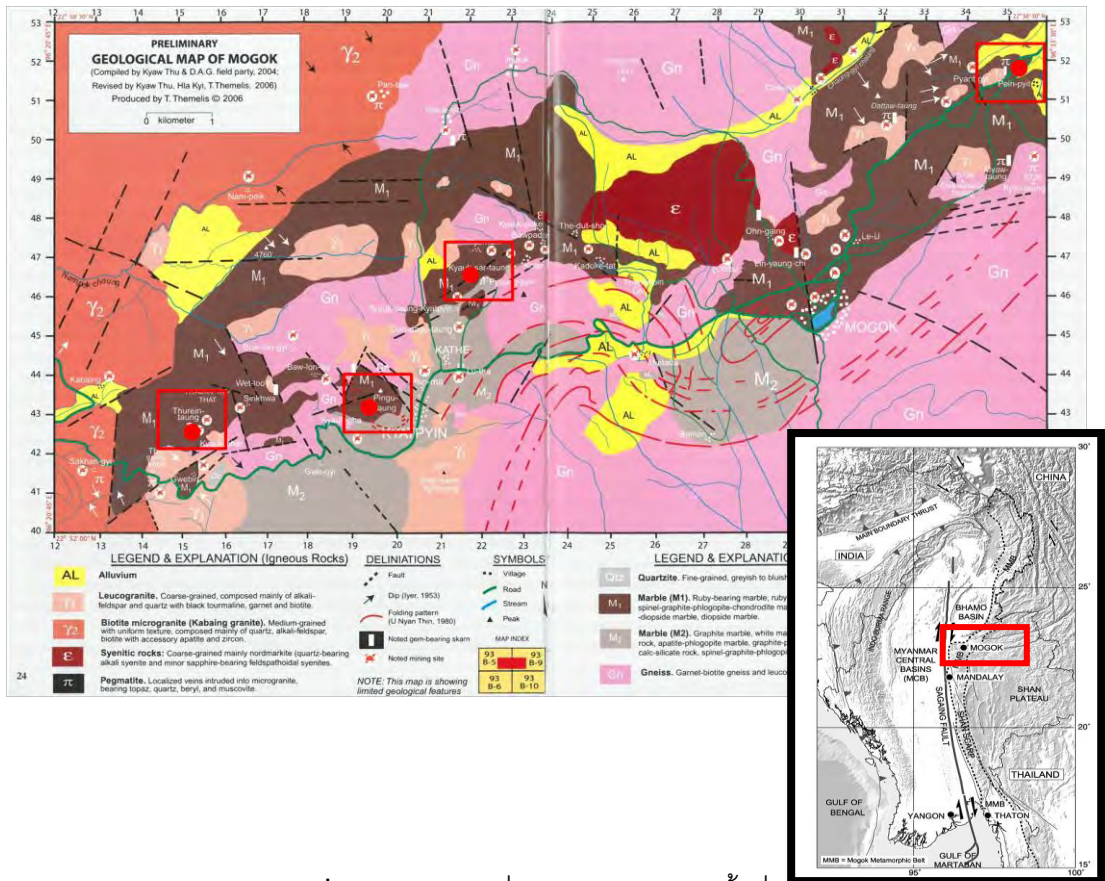
- 1.Mogok metamorphic rock (Lower Paleozoic)
- 2.Ultramafic and mafic rock (Jurassic)
- 3.Leucogranite (Early Oligocene)
- 4.Syenitic rock (Late Oligocene)
- 5.Kabaing Granite (Middle Miocene) และ
- 6.Pegmatites and aplites (Middle Miocene) (รูปที่ 1.1)

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะสิลาวรรณมาและธรณีเคมีของหินไนส์ ในพื้นที่ Mogok Stone-tracts ประเทศพม่า

1.3 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา อยู่ในบริเวณแนวหินโมกก ประเทศพม่า ประกอบไปด้วยตัวอย่างหินจาก 4
เหมือง ได้แก่ 1.Kin 2.Baw Mar 3.San Taw Wyn และ 4.Pein Pyit



รูปที่ 1.1 ภาพแผนที่ธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา
และตำแหน่งแสดงจุดศึกษาที่มีการเก็บตัวอย่าง

1.4 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประเทศพม่าเกิดจากกระบวนการธรณีแปรสัณฐานจาก 2 เหตุการณ์หลัก ได้แก่ การมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกอินเดีย (Indian plate) เข้าไปได้แผ่นเปลือกโลกพม่า (Burma plate) ในยุคเพอร์เมียน ตามแนว Andaman Megathrust Zone และอีกเหตุการณ์หนึ่งคือการเคลื่อนตัวไปทางเหนือของแผ่นเปลือกโลกพม่า (Burma plate) ในยุคจูแรสสิก ทำให้เกิดลักษณะของพื้นที่หลักของประเทศเป็น 3 แบบ คือ แนวหินคดโค้งทางตะวันตก พื้นที่ราบตอนกลาง และพื้นที่ภูเขา สูงทางตะวันออก ท่ามกลางแนวโครงสร้างทางธรณีวิทยาในบริเวณพม่า แนวเทือกเขาหินแปรโมกก นับเป็นแนวที่มีชื่อเสียงที่สุด บริเวณทางตอนใต้ของแนวเทือกเขานี้ มีแนวการวางตัวทางทิศเหนือยาวถึง 720 กม. ผ่านตอนกลางของพม่า เริ่มตั้งแต่ทาง ใต้ของ Moulmein ผ่าน ผาฉาน (Shan Scarps) ไปจรดเหนือ Thabeikgyin ซึ่งเป็นทางตะวันตกของโมกก ตามที่ La Touche (1913) และ Chhibber (1934) ในมหายุคพาลีโอโซอิกตอนปลาย หรือยุคครีเทเชียส ตอนกลาง หน่วยการลำดับชั้นหินสามารถเทียบสัมพันธ์ได้กับหินอ่อนเนื้อโดโลไมต์ (Dolomitic marble) ในพื้นที่แหล่งแร่บริเวณโมกก

แนวหินแปรโมกกประกอบไปด้วยหินตะกอนแปรสภาพ (meta-sedimentary rocks) และหินอัคนีบาดาลแปรสภาพ (meta-intrusive rocks) และหินอัคนี โดยทางตอนเหนือของพื้นที่เป็นบริเวณที่มีอัญมณีพวกทับทิม แซปไฟร์ และอัญมณีอื่น ๆ อยู่ด้วย โดยจากการศึกษาของ Chhibber (1934) และ Iyer (1953) พบว่าหินอ่อนที่มีทับทิมเป็นหินยุคพรีแคมเบรียน หินไนส์และหินอ่อนบริเวณตะวันตกของโมกกเกิดขึ้นในยุคไซลูเรียนและออโดวิเซียนบริเวณที่ราบสูงฉาน จากการเทียบสัมพันธ์โดย Mitchell et al. (2007) ส่วนในทางตอนใต้ของ แนวหินแปรโมกก ซึ่งพบทับทิมได้น้อย ไม่เป็นที่สนใจเท่าใดนัก อายุของหินแปรทางตะวันออกของ Kyaukse อายุจูแรสสิก นอกจากนี้ Bertrand et al. (1999 และ 2001) พบเศษของหินแปรและโครงสร้างทางธรณีวิทยา ตะวันออกของโมกกไปทางตะวันออกของเมืองย่างกุ้งมีแนวสัมพันธ์กัน การหาอายุของแนวหินแปรโมกกมีการใช้ข้อมูลของ U/Pb ของสาย Pegmatite (Searle and Ba Than Haq, 1964) Ar/Ar และ K/Ar ในหินแกรนิตและหินแปร (Bertrand et al., 1999, 2001) ทำให้ทราบว่ามีเหตุการณ์ที่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นในช่วงต้นถึงกลางยุคเทอร์เชียรี

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาลักษณะศิลาเคมีของหินไนส์ จากเหมืองบริเวณแนวหินโมกก ประเทศพม่า จำนวน 7 ตัวอย่าง โดยมีการวิเคราะห์ทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ลักษณะทางศิลาวรรณนา องค์ประกอบทางเคมีเพื่อใช้ในการจำแนกชนิดของหินแปรอย่างละเอียด เพื่อบ่งบอกลักษณะการกำเนิดหินแปรที่มีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่ในพื้นที่ศึกษา และใช้เป็นฐานข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการสำรวจแหล่งอัญมณีต่อไป

บทที่ 2 : วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 วิธีดำเนินงานวิจัย

2.2 เครื่องมือในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

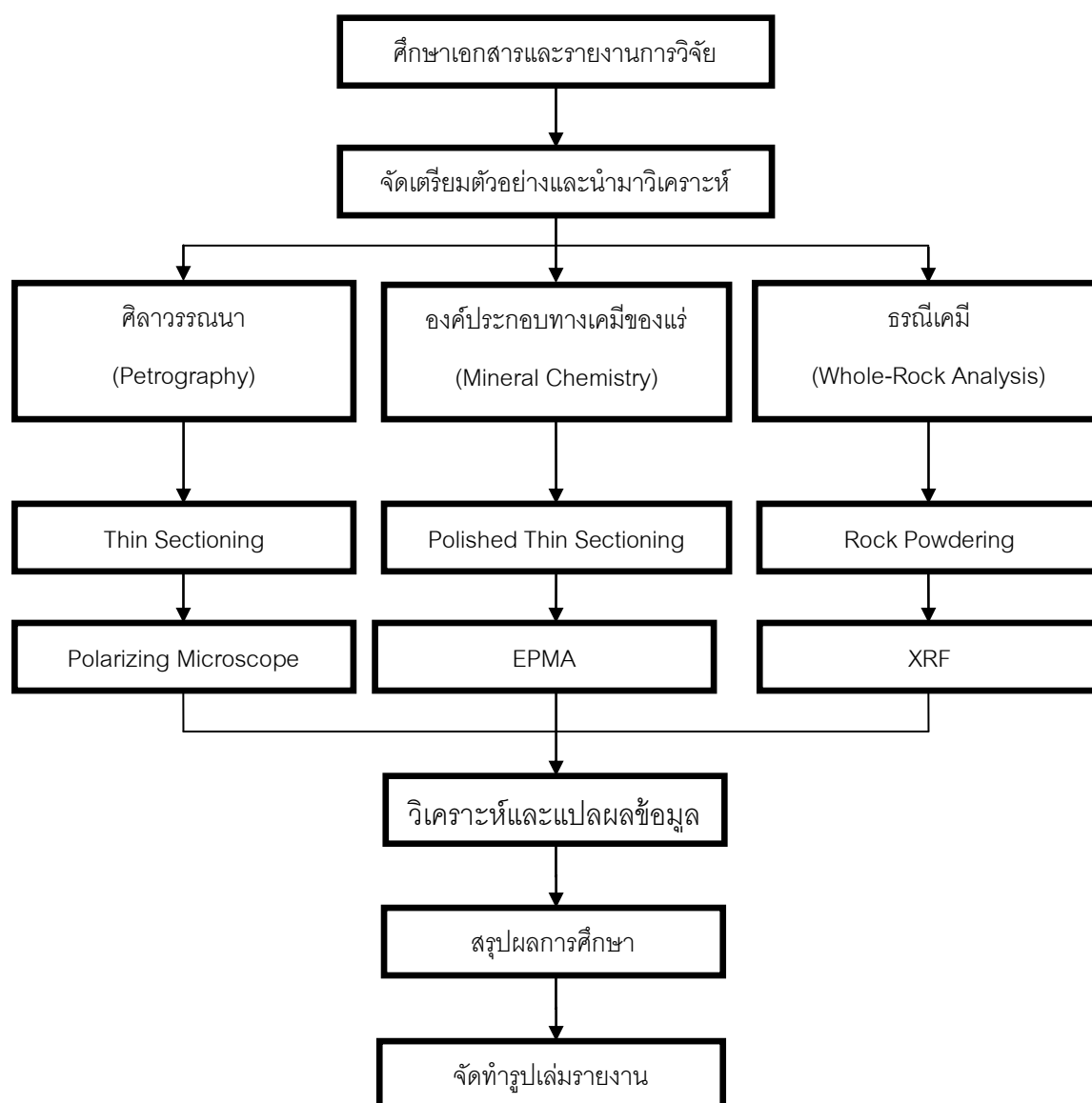
2.3 การรวบรวมตัวอย่าง

บทที่ 2

วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 วิธีดำเนินงานวิจัย

วิธีการศึกษาสามารถแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน โดยสรุปเป็นแผนภาพ (รูปภาพที่ 2.1) และอธิบายขั้นตอนต่างๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานในโครงการนี้

1. ศึกษาเอกสารและรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาโดยรวมของพื้นที่ และแนวทางในการวิจัย
2. เตรียมตัวอย่างที่ได้จากการออกภาคสนาม ของกลุ่มวิจัยสถาบันวิจัย และพัฒนา อัญมณีและเครื่องประดับ แห่งชาติ (องค์การมหาชน) โดย
 - นำตัวอย่างหินมาทำแผ่นหินบาง (Thin Section)
 - นำตัวอย่างหินมาทำแผ่นหินบางขัดมัน (Polished Thin Section)
 - นำตัวอย่างหินมาบดเป็นผง (Rock Powder)
3. การวิเคราะห์ตัวอย่างประกอบด้วย
 - 3.1 ตัวอย่างแผ่นหินบาง (Thin Section) ใช้ศึกษาลักษณะสีลาวยรรรณนาของหิน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อศึกษารายละเอียดของแร่และเนื้อหินสำหรับจำแนกชนิดหิน โดยแผ่นหินบางมีขนาด 0.03 มิลลิเมตร
 - 3.2 วิเคราะห์แผ่นหินบางขัดมัน (Polished Thin Section) ด้วยเครื่อง Electron Probe Micro Analyzer (EPMA) เพื่อวิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบที่สำคัญของแร่ที่สำคัญ โดยจะแสดงเป็น เปอร์เซ็นต์ออกไซด์ของธาตุองค์ประกอบในแร่เหล่านั้นๆ
 - 3.3 วิเคราะห์องค์ประกอบเคมีรวมของหิน (Whole rock geochemistry) ใช้ผงหินตัวอย่าง มาวิเคราะห์ โดยวิธี X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF) เพื่อหาองค์ประกอบเคมีรวมของหินทั้งก้อนโดย จะแสดงในรูปแบบของ Major และ Minor Oxides
4. วิเคราะห์และแปลผลข้อมูลที่ได้จากห้องปฏิบัติการ
5. สรุปผลการศึกษา
6. จัดทำรายงานและนำเสนอ

2.2 เครื่องมือช่วยในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล (Aids to Data Collection and Analysis)

-Polarizing Microscope (รูปที่ 2.2) เพื่อทำการศึกษาศิลาวรรณนา ดูแร่องค์ประกอบ และเนื้อหิน ในแผ่นหินบาง



รูปที่ 2.2 กล้องจุลทรรศน์แบบแสงโพลาไรต์
ส่องผ่าน (Polarizing Microscope)

-X-ray Fluorescence Spectrometry (XRFs) (รูปที่ 2.3) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ องค์ประกอบในสารตัวอย่าง กรณีที่ศึกษาคือผงหิน ด้วยเทคนิคที่อาศัยหลักการของรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงไปกระทบตัวอย่างทำให้ตัวอย่างปล่อย Photon ออกมา และเนื่องจากโฟตอนที่ปล่อยออกมานั้นมีค่าความเข้มแสงที่แตกต่างกันตามชนิดของธาตุ เครื่องจึงตรวจวัดเป็นค่าเฉพาะของธาตุนั้นๆได้ โดยข้อมูลที่ได้จะออกมาในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ออกไซด์ของธาตุแต่ละชนิดในตัวอย่าง เพื่อศึกษาธาตุองค์ประกอบในหินทั้งก้อน (Whole-rock analysis)

เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-ray Fluorescence Spectrometer) ที่ใช้ ยี่ห้อ Pioneer รุ่น Bruker AXS S4 ค่าพลังงาน 60 kV/50mA

Conditions Range 0.2-20 A (60-0.6keV)

Total resolution 3-100 eV

Typical measurement time 2-10s per element

1. ค่า Lower Limit Detection (LLD) ต้องมีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นของสารประกอบ ออกไซด์ที่วิเคราะห์ได้

2. ค่า Overlap ซึ่งเป็นค่าที่แสดงกราฟที่วิเคราะห์ธาตุนั้นมีความน่าเชื่อถือมากเท่าใด หากค่า Overlap สูงกว่าแสดงว่าธาตุที่เราวิเคราะห์มีรูปแบบกราฟของธาตุอื่นเหมือนกัน ด้วยความน่าเชื่อถือของกราฟของธาตุนั้นจึงน้อยลง และหลังจากนั้นข้อมูลที่ได้จะนำไปพล็อตในแผนภูมิต่าง ๆ เพื่อศึกษาลักษณะทางเคมีและจำแนกชนิดของหินต่อไป

สารมาตรฐาน (Standard) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ JG-1a, JG-2, JR-1, BHVO, DTS-2b, SGR-1, STM-1, SDC-1 เตรียมตัวอย่างโดยบดเป็นผงแล้วนำมาอัด



รูปที่ 2.3 เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer (XRFs)

- Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA) (รูปที่ 2.4) เป็นเครื่องมือใช้ในการวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำสูงหลักการเสมือนการรวมเครื่อง XRF กับเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) มาไว้ในเครื่องเดียว สามารถตรวจวิเคราะห์พื้นผิวโดยขยายภาพได้ โดยแหล่งกำเนิดแสงปล่อยลำแสงอิเล็กตรอนเพื่อกระตุ้นให้ตัวอย่างปล่อยรังสี X-ray เฉพาะแต่ละธาตุ เหมาะกับการวิเคราะห์ ชนิด ปริมาณ และส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงาน หรือ บนผิว วนหน้าของวัสดุ

หรือสารเคลือบผิว กรณีที่ศึกษาคือแผ่นหินขัดมัน เพื่อศึกษาหาองค์ประกอบทางเคมีแร่ โดยจะรู้
องค์ประกอบ ณ. จุดที่ทำการศึกษา

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



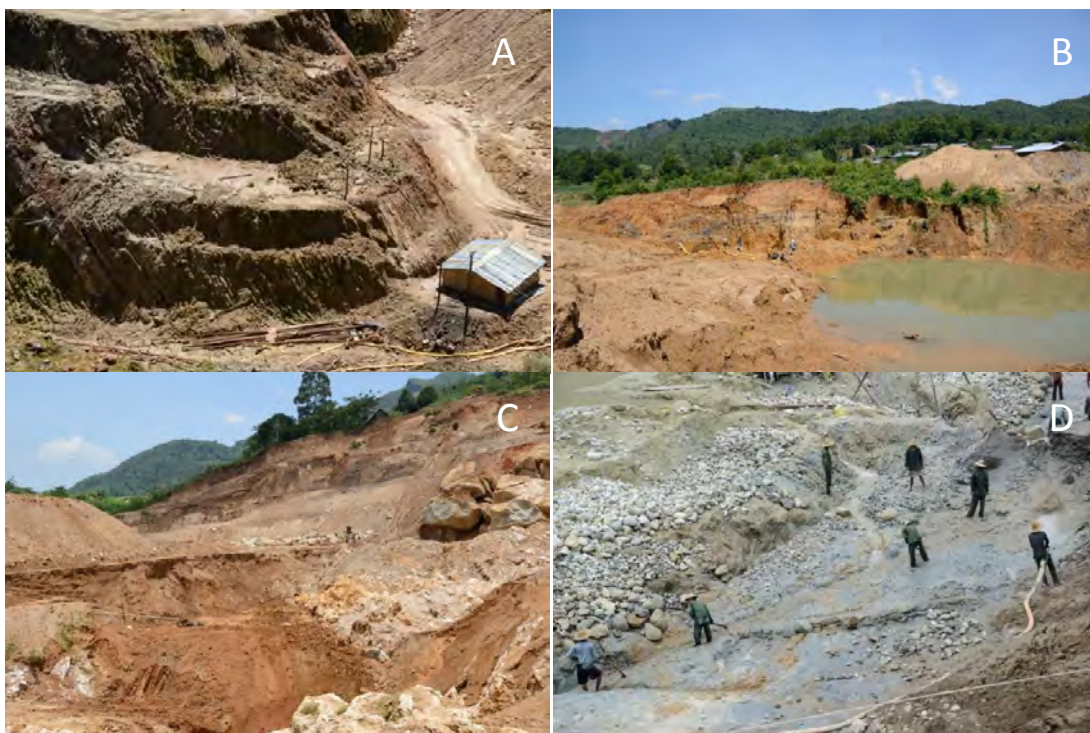
รูปที่ 2.4 เครื่อง Electron Probe Micro Analyzer (EPMA)

2.3 การรวบรวมตัวอย่าง

ตัวอย่างหินที่นำมาศึกษาได้มาจากเหมืองในบริเวณ แนวหินโมกก ประเทศพม่า ประกอบไปด้วยตัวอย่างหินจาก 4 เหมือง ได้แก่ 1. Kin 2. Baw Mar 3.San Taw Wyn และ 4. Pein Pyit (รูปที่ 2.5) โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตำแหน่งศึกษาและตัวอย่างที่เก็บตามแนวหินแปรสภาพโมกก ประเทศพม่า (ดูรูปที่ 1.1ประกอบ)

Location	Sample	Latitude	Longitude
Baw Mar	MK29	22.9322	96.4162
San Taw Wyn	MK43	22.9041	96.3761
Pein Pyit	MK44	22.9756	96.5636
	MK45		
Kin	MK64	22.9306	96.3203
	MK65		
	MK66		



รูปที่ 2.5 พื้นที่ศึกษาบริเวณแนวหินโม่ก ประเทศพม่า โดยเป็นเหมืองพลอยซึ่งหินในพื้นที่ศึกษา ส่วนมากจะประกอบไปด้วยหินไนส์และหินอ่อน โดยรูป (A) เหมือง BawMar (B) PeinPyit (C) SanTawWyn (D) Kin

บทที่ 3 : ผลการศึกษา

3.1 ธรณีวิทยาทั่วไป

3.2 ศิลาวรรณนา

3.3 ธรณีเคมีของหิน

3.4 องค์ประกอบทางเคมีแร่

บทที่ 3 ผลการศึกษา

3.1 ธรณีวิทยาทั่วไป

แนวหินโมกก (Mogok Stone Tract) เป็นส่วนหนึ่งของแนวหินแปรโมกก (Mogok Metamorphic Belt) อยู่บริเวณทางตะวันออกเฉียงใต้ของเทือกเขาหิมาลัย และทางตะวันตกของที่ราบสูงฉาน โดยลักษณะทางธรณีวิทยาของบริเวณแนวหินแปรสภาพโมกกจะประกอบไปด้วยหินแปรสภาพขั้นสูง (High-grade metamorphic), หินอัคนีบาดาล ซึ่งเป็นตัวนำพาอัฏมณีขึ้นมา โดยอายุของหินแปรในบริเวณนี้คาดว่ามีความอายุนมหายุคพรีแคมเบรียน ถึง ยุคครีเตเชียส และอายุของหินอัคนีมีอายุในช่วงมหายุคมีโซโซอิกถึงยุคเทเชียรี (Mitchell et al., 2007) (ตารางที่ 3.1)

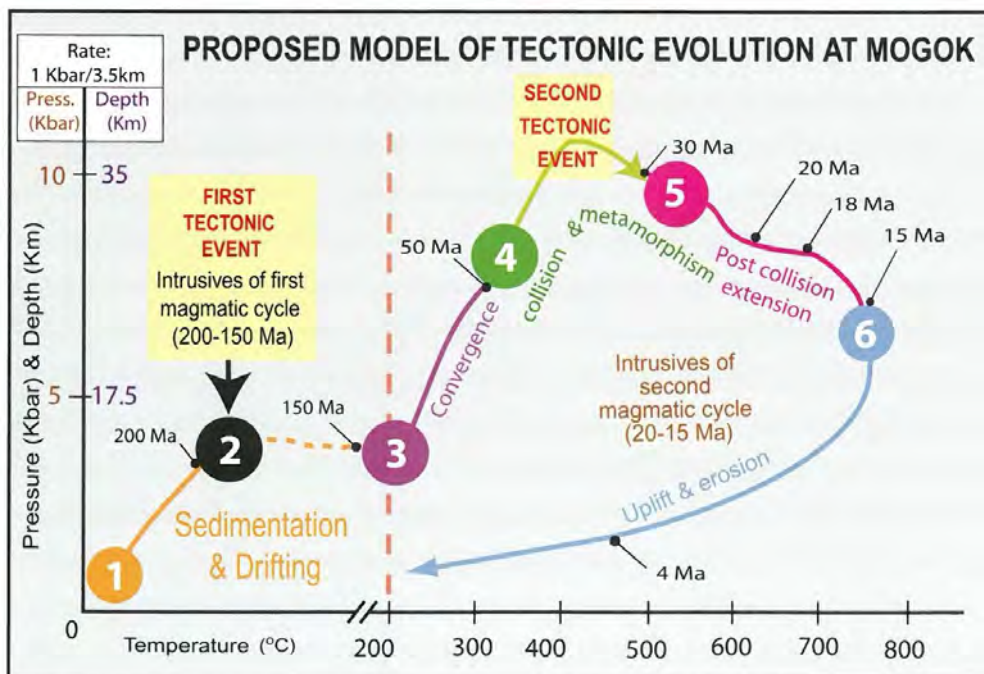
ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ของหินในเหมืองต่างๆ บริเวณ Tatkon-Mandalay (Mitchell et al., 2007)

Field relationships among rocks in quarries, Tatkon-Mandalay						
Typical rock	Kyanigan N. Mandalay	Belin N. Kyaukse	Kyaukse hill	Payangazu E. Thazi	Nattaung	Tatkon east
G Sedo granite, S-type, youngest intrusion		Flow-banded BI granite dyke, cuts D pegmatite, cuts E			Porphyritic Sedo granite east of quarry	GA TO pegmatite, coarse-grained biotite granite
F Syenite Mandalay hill only						
E Calc-alkaline intrusions		Flow-banded BI diorite dyke, cuts D. Hornblendeite, with xenolith of C1		Dacite porphyry, BI HB granodiorite, diorite cut A, B, C1, D1 TO GA pegmatite		Granodiorite dykes cut C1
D2 TO GA pegmatite as dykes, veins, pods, local leucogranite in A, B, C, D	TO GA pegmatite veins, masses, and leucogranite cut C1	TO pegmatite cuts A	TO GA pegmatite sheets in C1 locally in A		TO BI Ga pegmatite dykes, veins, pods, in D1 M64	GA TO pegmatite sheets in A, B, C
D1 Nattaung granite BI GA granite, foliation		Granite and pegmatic dykes. Schist rafts.		BI GA granite cuts C	Foliated fine GR BI granite stocks, dykes, sheets cut A, C GA BI HB black gneiss. Intrudes C1 Megacrystic augen gneiss discordant TO A	
C2 GA BI HB black gneiss						
C1 Augen gneiss foliated granite	Augen gneiss		Augen gneiss, partly megacrystic cuts A	Foliated BI/GA granite, augen gneiss sheets in A		Coarse foliated BI granite, augen gneiss
B Ortho-gneiss						GA BI ortho-gneiss, augen gneiss
A Meta-sedimentary rocks	DI PH marble, sillimanite and kyanite schist	Migmatite, DI marble, calc-silicate, schist	Sillimanite schist, DI marble, quartzite	Migmatite, sillimanite schist, quartzite	GA biotite black gneiss, biotite schist, migmatite	Schist, graphite marble, DI GA calc-silicate

BI, biotite; DI, diopside; GA, garnet; HB, hornblende; PH, phlogopite; TO, tourmaline.

โดยธรณีแปรสัณฐานบริเวณนี้มีอิทธิพลมาจากการชนกันของแผ่นจุลทวีปฉานไทย (Shan Thai Microcontinent) และแผ่นจุลทวีปพม่าตะวันตก (Western Burma Microcontinent) ซึ่งทำให้ตะกอนหรือหินที่มีการสะสมตัวในช่วงก่อนหน้านั้นถูกยกตัวขึ้นมา และเมื่อแผ่นทวีปอินเดีย (Indian Continent Plate) เข้ามาชนกับแผ่นทวีปยูเรเชีย (Eurasian Plate) ในช่วงยุคอีโอซีน ทำให้บริเวณแนวหินแปรโมกกเกิดการแปรสภาพครั้งใหญ่ และหลังจากนั้นก็มีการแทรกดันตัวของหินอัคนีบาดาลเข้ามา ทำให้เราพบหินหลากหลายชนิดในบริเวณแนวหินโมกก จากรูปที่ 3.1 นั้นจะ

แสดงถึงวิวัฒนาการทางธรณีแปรสัณฐานในบริเวณแนวหินแปรโมกอก โดยแบ่งออกเป็น 6 ช่วง ได้แก่ 1. ช่วงที่ตะกอนมีการสะสมตัว 2. การเคลื่อนตัวของแผ่นจุลทวีป 3. การชนกันของแผ่นทวีป 4. การชนกันและการแปรสภาพ 5. การเกิดแอ่งหลังการชนกันของแผ่นทวีป 6. การยกตัวและการกัดกร่อน



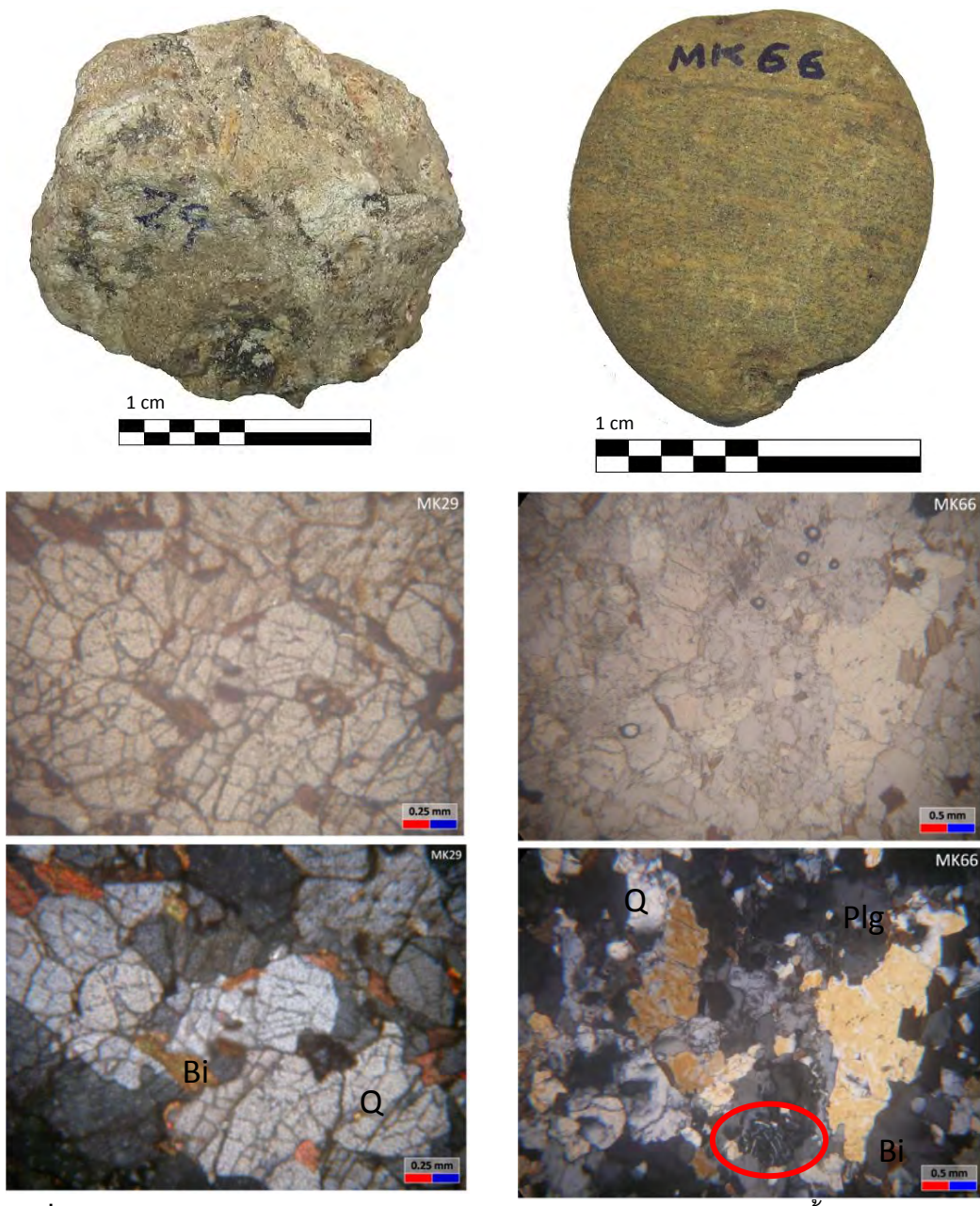
รูปที่ 3.1 รูปแสดงเหตุการณ์ทางธรณีวิทยา ที่แสดงถึงวิวัฒนาการของธรณีแปรสัณฐานในบริเวณแนวหินแปรโมกอก ประเทศพม่า (Themelis, 2008)

3.2 ศิลาวรรณนา

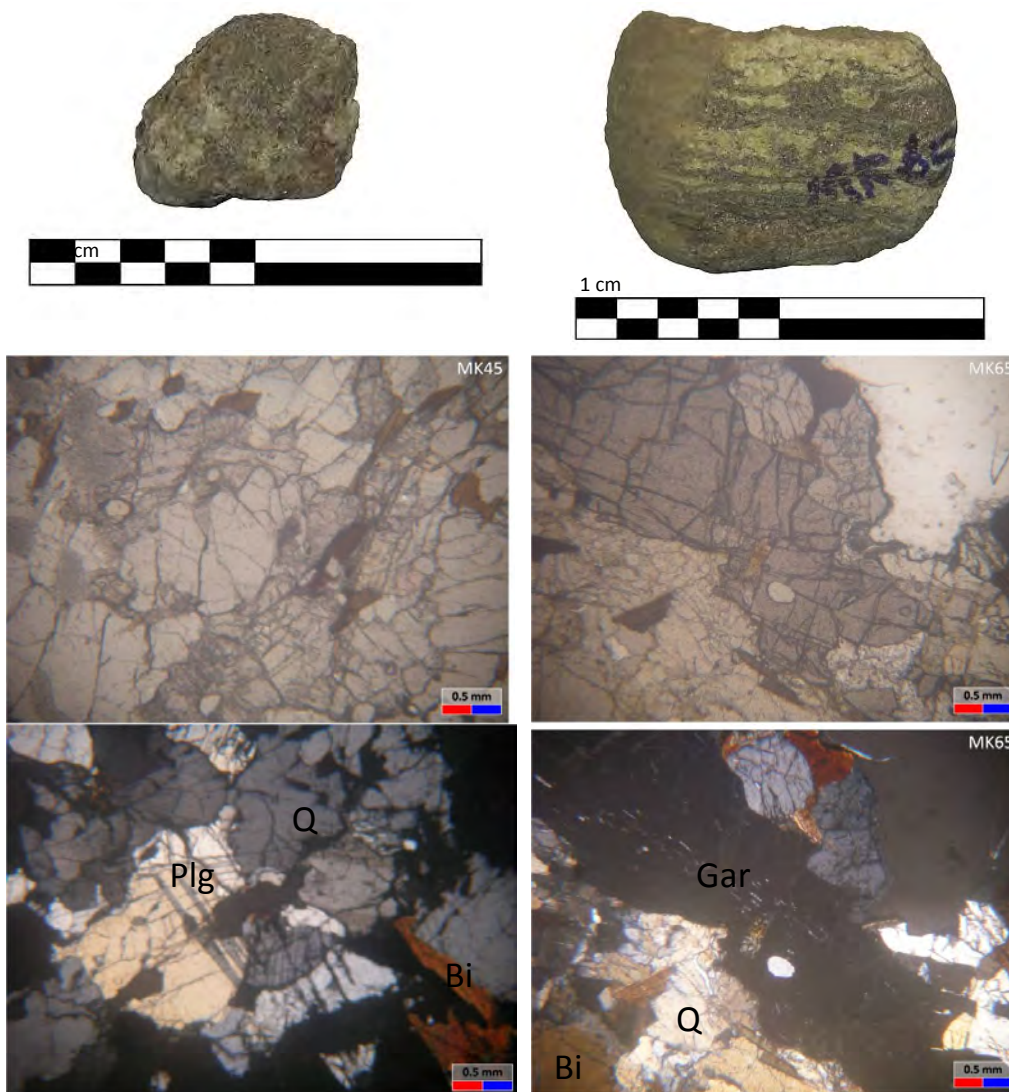
ตัวอย่างหินที่ศึกษา สามารถแบ่งโดยใช้แร่องค์ประกอบของหินเป็น 2 กลุ่ม ประกอบด้วยไบโอไทต์ไนส์ (Biotite Gneiss) และ ไบโอไทต์-การ์เนตไนส์ (Biotite-Garnet Gneiss) จากตัวอย่างในงานวิจัยทั้งหมด 7 ก้อน โดยมีรายละเอียดของสถานที่ในการเก็บตัวอย่าง ตามตารางที่ 2.2 และมีรายละเอียดของแต่ละกลุ่มดังต่อไปนี้

ไบโอไทต์ ไนส์ : แสดงลักษณะของแถบสีขาวสลับดำ ส่วนใหญ่มีลักษณะผลึกตั้งแต่ anhedral ถึง subhedral โดยลักษณะของผลึกแร่ในแผ่นหินบางนั้นมีขนาดเล็กประมาณ 1 มิลลิเมตร ถึง 3 มิลลิเมตร เนื้อหินมีลักษณะของ Heterogranoblastic texture และ Myrmekitic texture แสดงในรูปที่ 3.2 มีแร่ประกอบหลักคือ Quartz (45-80%), Plagioclase (10-25%), Biotite (20-40%) และพบแร่ประกอบรองอื่นๆ เช่น Muscovite เกิดร่วมด้วย (รูปที่ 3.2)

ไบโอไทต์-การ์เนต ไนส์ : แสดงลักษณะของแถบสีขาวสลับดำโดยจะมีแถบสีดำที่เด่นชัดกว่ากลุ่มแรก ส่วนใหญ่มีลักษณะผลึกตั้งแต่ anhedral ถึง subhedral โดยลักษณะของผลึกแร่ในแผ่นหิน บางนั้นมีขนาดประมาณ 3 มิลลิ เมตร ถึง 4 มิลลิ เมตร เนื้อหินมีลักษณะของ Hetrogranoblastic texture แสดงรูปที่ 3.3 มีแร่ประกอบหลักคือ Quartz (30-60%), Plagioclase (10-30%), Biotite (20-30%) และ Garnet (10-15%) นอกจากนี้ยังมีแร่ประกอบรองอื่นๆ เช่น Orthopyroxene และ Silimanite เกิดร่วมด้วย (รูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างของหินไบโอไทต์ไนส์ (Biotite Gneiss) เนื้อหินแสดงลักษณะ Heterogranoblastic texture และ Myrmekitic texture โดยส่วนใหญ่มีลักษณะผลึกแบบ anhedral ถึง subhedral



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างของหินไบโอไทต์ - การ์เนต ไนส์ (Biotite-Garnet Gneiss) เนื้อหินแสดงลักษณะ Heterogranoblastic texture โดยส่วนใหญ่มีลักษณะผลึกแบบ anhedral ถึง subhedral

3.2 ธรณีเคมีของหิน

จากตัวอย่างหินทั้งหมดที่ได้จากพื้นที่ศึกษา ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาค่าตัวแทนของข้อมูล ซึ่งค่าที่ได้มานั้นจะประกอบด้วย ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในองค์ประกอบทางเคมีของหิน โดยนำตัวอย่างหินทั้ง 7 ตัวอย่างไปบดแล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) ผลวิเคราะห์ที่ได้ออกมาเป็นปริมาณของ Major Oxide และ Minor Oxide ประกอบไปด้วย SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 , Na_2O , K_2O , MnO และ P_2O_5 ซึ่งค่า Major และ Minor Oxides (weight%) แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ข้อมูล Whole-rock analyses ของหินไนส์ประกอบด้วย Major Oxides และ Minor Oxides

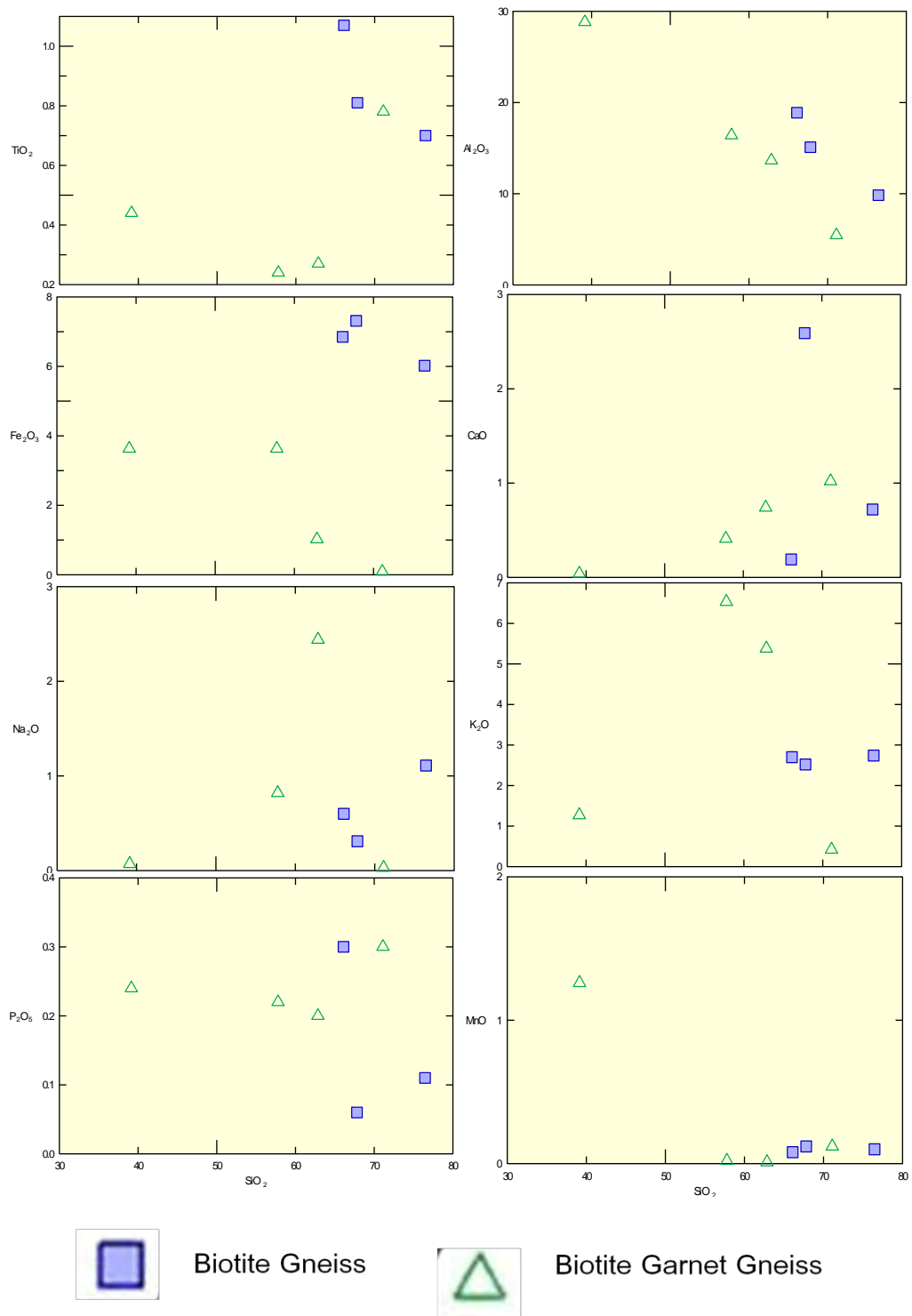
	Biotite Gneiss			Biotite-Garnet Gneiss			
	MK29	MK43	MK66	MK44	MK45	MK64	MK65
SiO_2	39.14	57.78	62.85	71.11	67.81	76.46	66.10
TiO_2	0.44	0.24	0.27	0.78	0.81	0.70	1.07
Al_2O_3	24.34	16.40	13.65	8.64	15.10	9.84	18.88
Fe_2O_3	3.63	0.09	1.02	7.60	7.31	6.02	6.85
MnO	1.26	0.02	0.01	0.12	0.12	0.10	0.08
MgO	0.36	0.39	0.74	1.23	2.31	1.99	2.61
CaO	0.11	0.41	1.06	1.02	2.59	0.72	0.19
Na_2O	0.07	0.82	2.50	0.03	0.31	1.11	0.60
K_2O	1.27	6.53	5.38	0.42	2.52	2.74	2.70
P_2O_5	0.24	0.22	0.20	0.30	0.30	0.11	0.06
LOI	25.08	4.71	0.82	3.85	1.70	0.46	1.35
Total	95.93	87.61	88.51	95.10	100.89	100.24	100.50

ค่า Major Oxides และ Minor Oxides ของหินไนส์ จากบริเวณแนวหินแปรโมกก ประเทศพม่า สามารถแบ่งกลุ่มและมีค่าดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 ไบโอบีโอบีไนส์ มีค่า Major Oxides และ Minor oxides ดังนี้ 39.14 – 62.85% SiO₂, 13.65 – 24.34% Al₂O₃, 0.09 – 3.63% Fe₂O₃, 1.27 – 6.53% K₂O, 0.11 – 1.06% CaO, 0.07 – 2.50% Na₂O, 0.01 – 1.26% MnO, 0.36 – 0.74% MgO, 0.24 – 0.44% TiO₂, 0.20 – 0.24% P₂O₅

กลุ่มที่ 2 ไบโอบีโอบีไนส์-การ์เนต ไนส์ มีค่า Major Oxides และ Minor oxides ดังนี้ 66.10 – 76.46% SiO₂, 8.64 – 18.88% Al₂O₃, 6.02 – 7.60% Fe₂O₃, 0.42 – 2.74% K₂O, 0.72 – 2.59% CaO, 0.03 – 1.11% Na₂O, 0.08 – 0.12% MnO, 1.23 – 2.61% MgO, 0.70 – 1.07% TiO₂, 0.06 – 0.30% P₂O₅

Harker diagram เป็น variation diagram ที่ใช้ข้อมูลน้ำหนักเปอร์เซ็นต์ ของ Major และ Minor Oxides เปรียบเทียบกับน้ำหนักเปอร์เซ็นต์ของ SiO₂ ที่แสดงในรูปที่ 3.3 จากกราฟ จะเห็นได้ว่าชุดข้อมูลตัวอย่างหินในงานวิจัยเกาะกลุ่มกัน ซึ่งแสดงถึงองค์ประกอบของหินไนส์ จากบริเวณแนวหินแปรโมกก นั้นมาจากแหล่งเดียวกัน มีหินต้นกำเนิดชนิดเดียวกัน



รูปที่ 3.4 Harker variation diagram ของ Major และ Minor Oxides เปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์
ของ SiO_2

3.3 องค์ประกอบทางเคมีแร่

ผลการวิเคราะห์ของเครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA) ของแร่สำคัญที่ได้เลือกไว้ โดยแสดงเป็นตารางตั้งแต่ตารางที่ 3.3 – 3.5 ซึ่งตารางที่ 3.3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแร่การ์เนตที่ปรากฏอยู่ในหินตัวอย่างกลุ่มไบโอไทต์ -การ์เนต ไนส์ โดยจะมีองค์ประกอบของธาตุ Al, Fe, Mg และ Ca ตารางที่ 3.4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแร่ เฟลด์สปาร์ ที่มีองค์ประกอบของธาตุ Si, Al, Na, Ca และ K โดยแบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือ แพลจิโอเคลส เฟลด์สปาร์ และ อัลคาไลน์เฟลด์สปาร์ และตารางที่ 3.5 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแร่ไมกา ที่มีองค์ประกอบของธาตุ Al, Fe และ Mg ซึ่งส่วนมากจะเป็นแร่ไบโอไทต์

ตารางที่ 3.3 ผลวิเคราะห์ EPMA ค่าตัวแทนข้อมูลของแร่การ์เนต จากบริเวณแนวหินแปรโมกก ประเทศพม่า

Biotite Garnet Gneiss						
	MK45-1	MK45-2	MK64-1	MK64-2	MK65-1	MK65-2
SiO ₂	40.18	40.20	39.33	37.44	37.23	38.31
TiO ₂	0.05	0.05	0.02	0.08	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	19.72	19.89	19.16	19.23	19.85	18.28
FeO	29.09	28.76	32.58	32.34	35.37	35.99
MnO	0.68	0.77	0.99	0.81	1.44	1.52
MgO	8.82	8.68	7.26	7.51	5.42	4.47
CaO	2.57	2.57	0.91	1.09	0.92	0.99
Na ₂ O	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02
K ₂ O	0.00	0.09	0.00	0.00	0.01	0.00
Total	101.12	101.02	100.28	98.52	100.24	99.59

ตารางที่ 3.4 ผลวิเคราะห์ EPMA ค่าตัวแทนข้อมูลของแร่เพลจีโอเนส และอัลคาไลน์เฟลด์สปาร์ จากบริเวณแนวหินแปรโมกก ประเทศพม่า

	Biotite Gneiss			Biotite Garnet Gneiss					
	MK66-1	MK66-2	MK66-3	MK45-1	MK45-2	MK64-1	MK64-2	MK64-3	MK65-1
SiO ₂	64.14	63.14	64.18	60.95	59.04	62.21	62.45	62.08	62.74
TiO ₂	0.03	0.03	0.02	0.02	0.00	0.03	0.03	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	23.07	19.74	23.03	24.48	24.87	18.82	18.89	23.47	18.88
FeO	0.02	0.00	0.02	0.40	0.06	0.02	0.03	0.03	0.04
MnO	0.04	0.00	0.00	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.18	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01
CaO	4.18	0.07	4.22	5.58	5.28	0.07	0.08	5.72	0.13
Na ₂ O	9.30	4.33	9.16	8.44	9.28	2.16	2.19	8.12	1.86
K ₂ O	0.30	11.58	0.32	0.22	0.28	14.60	14.54	0.27	14.73
Total	101.07	98.89	100.94	100.32	98.85	97.94	98.22	99.68	98.39

ตารางที่ 3.5 ผลวิเคราะห์ EPMA ค่าตัวแทนข้อมูลของแร่ไบโอไทต์ จากบริเวณแนวหินแปรโมกก ประเทศพม่า

	Biotite Gneiss			Biotite Garnet Gneiss					
	MK66-1	MK66-2	MK66-3	MK45-1	MK45-2	MK64-1	MK64-1	MK65-1	MK65-2
SiO ₂	38.44	39.82	39.61	37.28	37.21	37.94	37.89	37.67	37.03
TiO ₂	4.58	4.76	4.50	6.78	6.68	5.04	5.32	5.76	5.23
Al ₂ O ₃	19.48	19.27	19.50	16.80	16.10	18.45	18.28	19.91	18.02
FeO	17.69	17.38	17.28	18.09	18.15	16.88	16.95	19.67	21.13
MnO	0.04	0.13	0.04	0.00	0.02	0.05	0.05	0.05	0.04
MgO	8.66	8.22	7.53	12.94	12.95	11.43	11.49	7.80	7.58
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Na ₂ O	0.21	0.22	0.15	0.09	0.11	0.18	0.20	0.18	0.17
K ₂ O	9.64	9.95	9.97	9.60	9.45	9.79	9.83	9.56	9.82
Total	98.73	99.75	98.58	101.57	100.67	99.77	100.01	100.61	99.03

บทที่ 4 : อภิปรายผลและสรุปผล

4.1 กำเนิดศิลา

4.2 สรุปผล

บทที่ 4

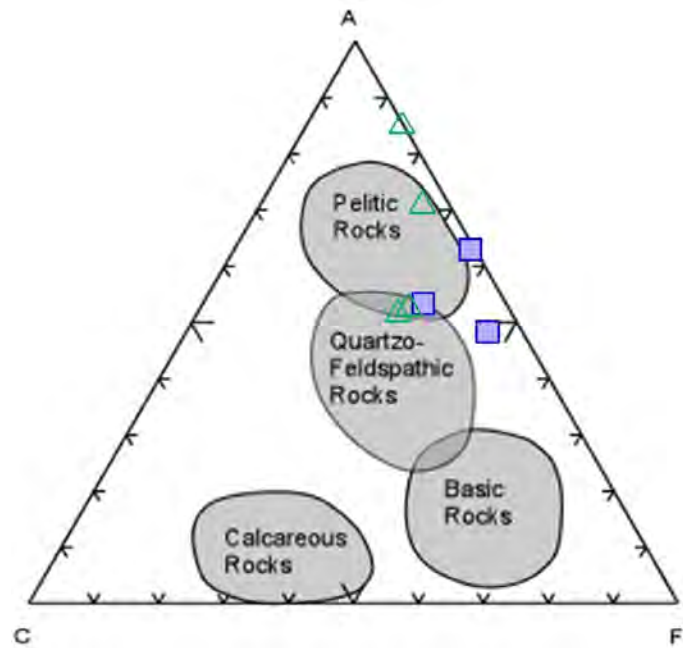
อภิปรายผล และ สรุปผล

4.1 กำเนิดศิลา

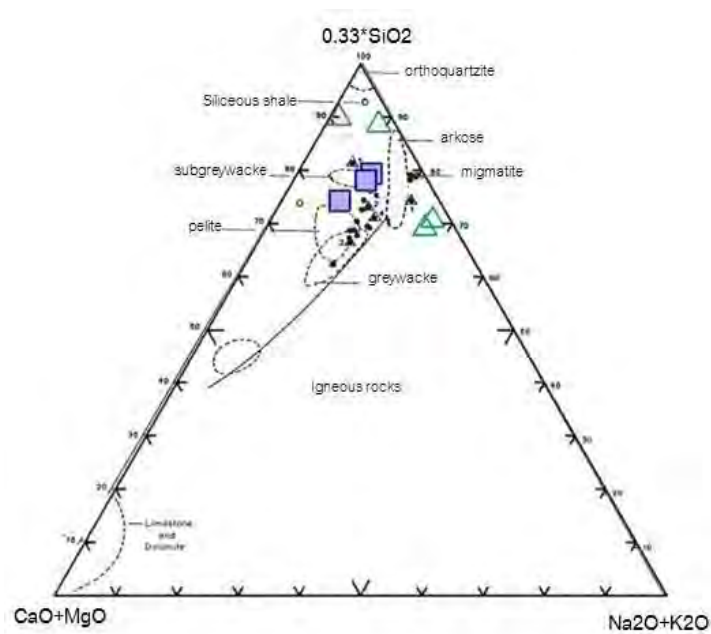
หินไนส์ บริเวณแนวหินแปรโมกก ประเทศพม่า สามารถแบ่งโดยใช้แร่องค์ประกอบของหินได้เป็น 2 กลุ่ม ประกอบด้วย ไบโอไทต์ไนส์ (Biotite Gneiss) และไบโอไทต์-การ์เนตไนส์ (Biotite-Garnet Gneiss) โดยทั้งสองกลุ่มมีแร่องค์ประกอบ ธรณีเคมี และองค์ประกอบของหินทั้งก้อนที่คล้ายคลึงกัน โดยมีแร่องค์ประกอบหลักคือ Quartz, Feldspar, Biotite และ Garnet อาจจะมีแร่องค์ประกอบรองได้ในปริมาณไม่มากเช่น Orthopyroxene และ Muscovite

จากข้อมูลธรณีเคมีของหินทั้งก้อน สามารถลงจุดไดอะแกรมหินต้นกำเนิดของหินตัวอย่างได้ ซึ่งจากรูปที่ 4.1 หินไนส์มีต้นกำเนิดมาจากหินตะกอนจำพวก Pelitic และ Quartzofeldspathic โดยระบุได้จาก ACF Diagram ของ Eskola, 1915 และหินต้นกำเนิดมาจากหิน Subgraywack และ Siliceous shale จาก $CaO+MgO - SiO_2 - Na_2O+K_2O$ diagram ของ Wahlstrom and Kim, 1959 ในรูปที่ 4.2

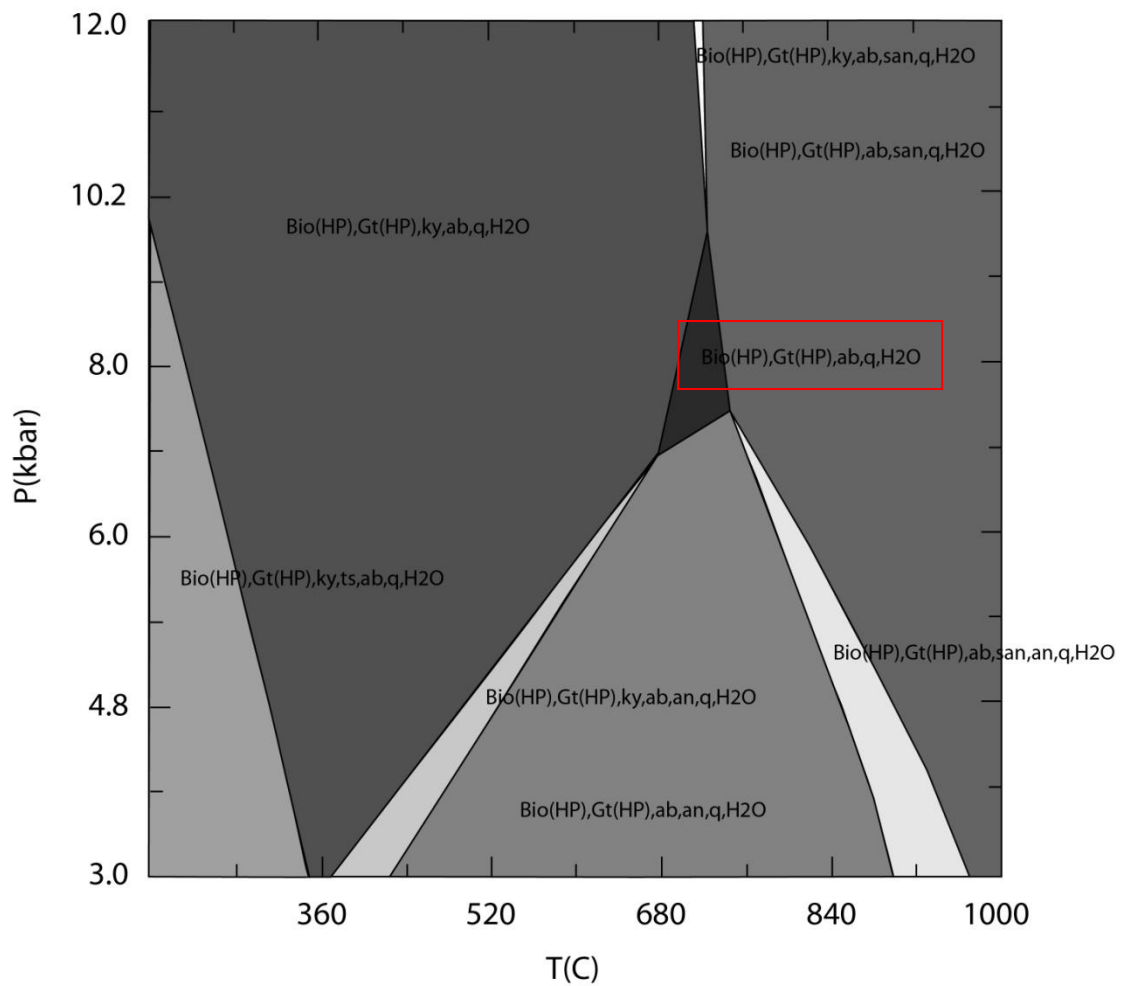
และจากข้อมูลศิลาวรรณนาและธรณีเคมีของหินทั้งก้อน ทำให้ทราบถึงช่วงของอุณหภูมิและความดันคร่าวๆ ที่ทำให้เกิดหินไนส์ขึ้นมา โดยจากหินตัวอย่างของเราพบว่ามีอุณหภูมิการเกิดอยู่ในช่วง 550 – 800 องศาเซลเซียส และมีความดันการเกิดอยู่ในช่วง 3 – 9 กิโลบาร์



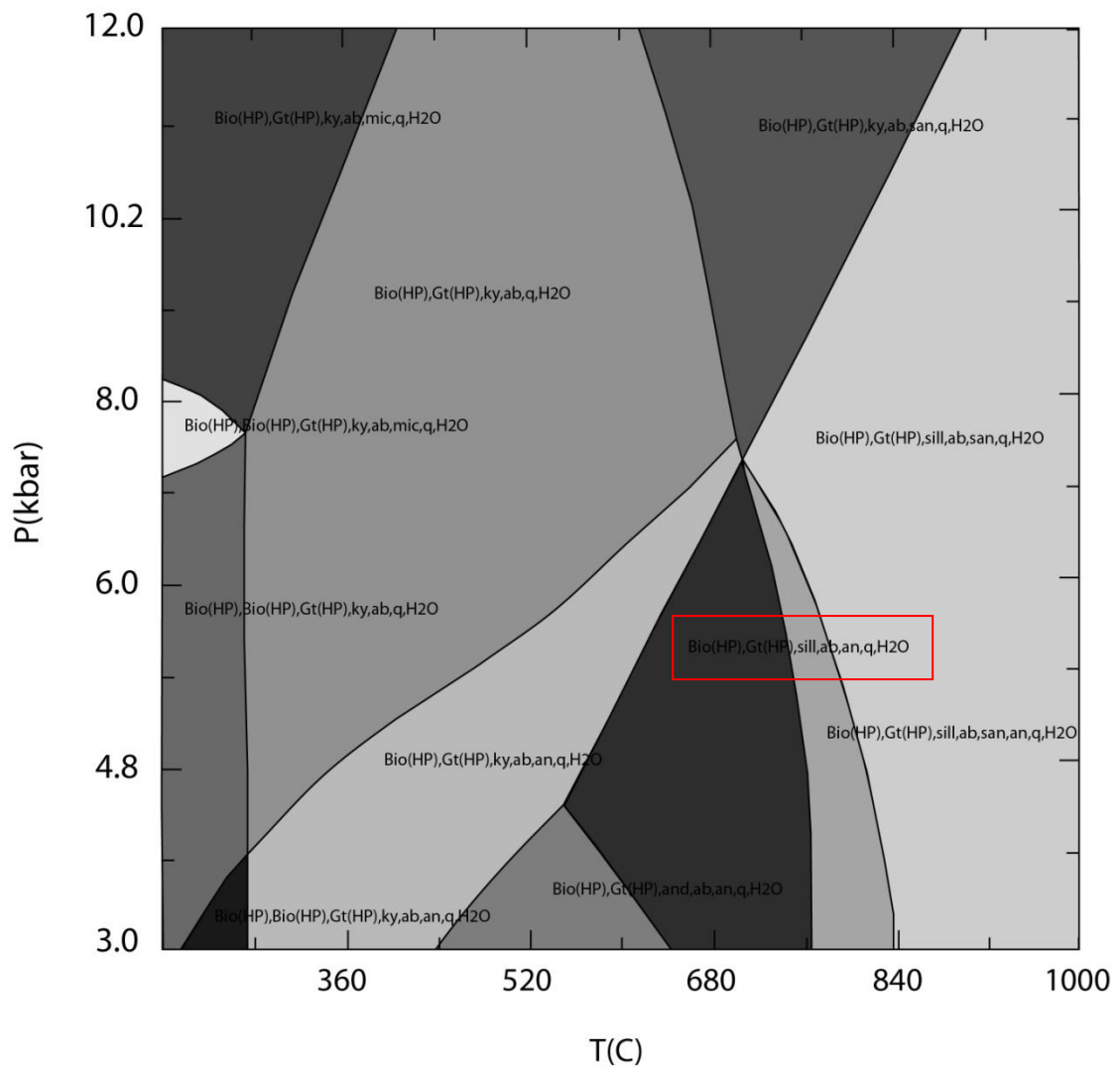
รูปที่ 4.1 ACF diagram (Eskola, 1915) แสดงหินต้นกำเนิดของหินไนส์ โดยอยู่ในช่วง Pelitic rocks และ Quartzo-feldspathic rocks



รูปที่ 4.2 CaO+MgO – SiO₂ – Na₂O+K₂O diagram (Wahlstrom and Kim, 1959) แสดงหินต้นกำเนิดของหินไนส์ โดยอยู่ในช่วงของหิน Subgreywacke และ Siliceous shale



รูปที่ 4.3 แสดง Pseudosection ของตัวอย่าง MK 44 โดยจากการศึกษาแร่องค์ประกอบ พบว่าช่วงความดันและอุณหภูมิที่ทำให้เกิดหินไนส์นั้นอยู่ในช่วงความดัน 7 – 9 kbar และช่วงอุณหภูมิ 600 – 800 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.4 แสดง Pseudosection ของตัวอย่าง MK 65 โดยจากการศึกษาแร่องค์ประกอบ พบว่าช่วงความดันและอุณหภูมิที่ทำให้เกิดหินไนส์นั้นอยู่ในช่วงความดัน 3 - 7 kbar และช่วงอุณหภูมิ 550 - 800 องศาเซลเซียส

4.2 สรุปผล

1. หินไนส์บริเวณแนวหินโมกก ประเทศพม่า สามารถแยกออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ไบโอไทต์ไนส์ (Biotite Gneiss) และ ไบโอไทต์-การ์เนต ไนส์ (Biotite-Garnet Gneiss)
2. หินดั้งเดิม (Protolith) ของหินไนส์ เป็น Pelitic rocks, Quartzo-feldspathic rocks, Subgreywacke และ Siliceous shale
3. หินของพื้นที่นี้จัดอยู่ในหินแปรชั้นสูงจากขนาดของผลึกและแร่องค์ประกอบหิน ซึ่งมีอุณหภูมิการเกิดประมาณ 550 – 800 องศาเซลเซียส และความดันการเกิดประมาณ 3 – 9 กิโลบาร์

เอกสารอ้างอิง

- Barley, M.E., Doyle, M.G., Khin Zaw, Pickard, A.L., Rak, P., 2003. Jurassic–Miocene magmatism and metamorphism in the Mogok metamorphic belt and the India–Eurasia collision in Myanmar. *Tectonics* 22, 1–11.
- Bertrand, G., Rangin, C., Maluski, H. The GIAC Scientific Party, 2001. 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.
- Chhibber, H.L., 1934. *The Geology of Burma*. Macmillan, London, p. 538.
- Iyer, L.A.N., 1953. The geology and gem-stones of the Mogok Stone Tract, Burma. *Geological Survey of India Memoir* 82, 100.
- Kyaw Win, Kirwin, D., 1998. Exploration, geology and mineralization of the Monywa copper deposits, central Myanmar. In: *Porphyry and Hydrothermal Copper and Gold Deposits: A Global Perspective*. Proceedings of the Australian Mineral Foundation Conference. Perth, pp. 61–74.
- Mitchell, A.H.G., Myint Thein Htay, Kyaw Min Htun, Myint Naing Win, Thura Oo, Tin Hlaing, 2007. Rock relationships in the Mogok Metamorphic belt, Tatkon to Mandalay, central Myanmar. *Journal of Asian Earth Sciences* 29, 891–910.
- Ridd, M.F., 1971. South-East Asia as a part of Gondwana land. *Nature* 234, 531–533.
- Searle, D.L., Ba Than Haq, 1964. The Mogok belt of Burma and its relationship to the Himalayan orogeny. In: *Proceedings of the 22nd International Geological Conference*, vol. 11. Delhi, pp. 132–161.
- Themelis T., 2008. Gems and Mines of Mogok. *Thailand*, 52, 15-67