

ศิลาเคมี ของหินไนส์ที่สัมพันธ์กับแหล่งอัญมณี บริเวณแนวหินโม่กก เมียนมาร์

นางสาว สุภัทชา ดำรงมณี

รหัสนิสิต 5532744423

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2558

PETROCHEMISTRY OF GNEISS RELATED TO GEMDEPOSIT IN MOGOK STONE
TRACT, MYANMAR

Ms. SUPATCHA DAMRONGMANEE

ID. 5532744423

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

DEPARTMENT OF GEOLOGY, FACULTY OF SCIENCE

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2015

หัวข้องานวิจัย : ศีลาเคมีของหินไนส์ที่สัมพันธ์กับแหล่งอัญมณี บริเวณแนวหินโมกก เมียนมาร์

ผู้ทำการวิจัย : นางสาว สุภัทธา ดำรงมณี รหัสประจำตัวนิสิต : 5532744423

อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. จักรพันธ์ สุทธิรัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : อาจารย์ ดร. อภิสัทธี ซาลำ

ภาควิชา : ธรณีวิทยา

ปีการศึกษา : 2558

บทคัดย่อ

แนวการแปรสภาพโมกกอยู่ในบริเวณตะวันออกตอนเหนือของประเทศเมียนมาร์ ปรากฏเป็นแนวหินแปรขนาดใหญ่ที่อยู่ทางตะวันออกของรอยเลื่อนสะเกียง มีความซับซ้อนทางธรณีวิทยาสูง นอกจากนี้ แหล่งพลอยโมกกยังมีชื่อเสียงในด้านการผลิตอัญมณีคุณภาพสูง พื้นที่ในบริเวณนี้จึงมีการทำเหมืองอัญมณีเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้หินเหย้าของอัญมณีที่พบเป็นส่วนใหญ่คือ หินแปร โดยเฉพาะ หินไนส์ และ หินอ่อน

หินไนส์ในแนวหินโมกก จำแนกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ หินไบโอไทต์-การ์เนต ไนส์ หินไบโอไทต์ ไนส์ และหินการ์เนต ไนส์ โดยหินไบโอไทต์-การ์เนต ไนส์ ประกอบด้วยแร่หลักคือควอตซ์ และเฟลด์สปาร์โดยพบ ไบโอไทต์ และการ์เนตเป็นแร่ที่สำคัญในกลุ่มนี้มักแสดงลักษณะเนื้อหินริ้วลาย และมีผลึกดอกแปรสำหรับหินไบโอไทต์ ไนส์ ประกอบด้วยแร่ที่สำคัญคือ ไบโอไทต์ และแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ พบผลึกดอกแปรของแร่คอร์ันดัม และพบลักษณะริ้วผลึกแยกตัวของแร่อัลคาไลน์เฟลด์สปาร์อีกด้วย และหินการ์เนตไนส์นอกจากจะพบควอตซ์และเฟลด์สปาร์เช่นเดียวกับสองกลุ่มแรกแล้วยังพบแร่ที่สำคัญคือ การ์เนต หินในกลุ่มนี้แสดงลักษณะผลึกดอกแปรของแร่การ์เนต ผลวิเคราะห์เคมีของหินทั้งก้อนของหินทั้งสามกลุ่ม พบว่ามีองค์ประกอบที่คล้ายคลึงกัน และมีการศึกษาอุณหภูมิและความดันของสภาพการเกิดหินไนส์ บริเวณแนวหินโมกก จาก Pseudosection โดยหินไบโอไทต์การ์เนตไนส์ มีความดันอยู่ในช่วง 2.4 – 9.0 กิโลบาร์ และมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 300 – 490 องศาเซลเซียส หินไบโอไทต์ไนส์มีความดันอยู่ในช่วง 5.0 – 7.0 กิโลบาร์ และมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 300 – 390 องศาเซลเซียส หินการ์เนตไนส์มีความดันอยู่ในช่วง 5.0 – 9.0 กิโลบาร์ และมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 500 – 750 องศาเซลเซียส

Title : PETROCHEMISTRY OF GNEISS RELATED TO GEMDEPOSIT IN MOGOK
STONE TRACT. MYANMAR

By : Supatcha Damrongmanee ID : 5532744423

Adviser : Associate Professor Dr. Chakkaphan Sutthirat

Co-Adviser : Dr. Abhisit Salam

Department : Geology

Acedemic year : 2015

Abstract

Mogok Stone Tract. is located in the north eastern Myanmar, which is in the east of Sagiang Fault. Therefore, geology of the area is complex. Mogok is also famous for high quality gemstone production. There are plenty of mines around the area. The host rock of gemstone is metamorphic rocks, particularly gneiss and marble.

Gneiss samples collected from Mogok stone tract can be divided into 3 groups including biotite – garnet gneiss, biotite gneiss and garnet gneiss. Quartz and feldspar are the main assemblage of these gneiss rocks; however, there are some different crucial minerals contains biotite and garnet as crucial component with garnet usually forms as porphyroblastic texture. This rock group also shows foliated texture. Biotite gneiss contains biotite and Plagioclase as crucial component. Garnet gneiss contains garnet as crucial component. Whole-rock chemical analyses, shows similarity of these gneiss groups. Thermobarometry based on pseudosection indicates that biotite-garnet gneiss equilibrated at 2.4 – 9.0 Kbar and 300 – 490 °C, biotite gneiss equilibrated at 5.0 – 7.0 Kbar and 300 – 390 °C and garnet gneiss equilibrated at 5.0 – 9.0 Kbar and 500 – 750 °C

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์

อาจารย์ ดร.อภิสิทธิ์ ซาลำ

นายอลงกต ฝั้นกา

นายปิ่นรุจน์ เอกภัทรไพบูลย์

บุคคลากรภาควิชาธรณีวิทยาทุกท่าน

เพื่อนๆ Geo'56

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ.
สารบัญตาราง	ช.
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	2
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 พื้นที่ศึกษา	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	5
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ความสัมพันธ์ของหินแปรกับ การเกิดอัญมณีในเมียนมาร์	7
2.2 ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	8
2.3 กระบวนการแปรสภาพและ กระบวนการแปรสัณฐาน	10
2.4 ลักษณะหินไนส์ที่สัมพันธ์กับ แหล่งอัญมณี	13
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการดำเนินงาน	14
3.1 วิธีการดำเนินงาน	15
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	17

3.3 การรวบรวมตัวอย่าง	21
บทที่ 4 ผลการศึกษา	22
4.1 ศิลาวรรณา	23
4.2 เคมีของหินทั้งก้อน	29
4.3 เคมีของแร่	32
บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา	40
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก ก	48
ภาคผนวก ข.	50

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	แผนที่แสดงอาณาเขตของสาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาร์ และกรอบสีแดงแสดงที่ตั้งของแนวหินโมกก (Mogok stone tract)	4
2.1	แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณแนวหินโมกก (Mogok stone tract) และมีหมุดสีเขียวบอตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างศึกษา	9
2.2	แสดงลำดับเหตุการณ์ทางธรณีวิทยาและวิวัฒนาการของธรณีแปรสัณฐานในบริเวณแนวหินแปรโมกก รวมถึงอุณหภูมิและความดันที่เกี่ยวข้องกับแต่ละเหตุการณ์ (Themelis, 2008)	12
3.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	15
3.2	Polarizing Microscope	17
3.3	เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer (XRFs)	19
3.4	เครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA)	20
4.1	ตัวอย่างของหินไบโอไทต์การ์เนต ไนส์ (ตัวอย่าง Mk 43) โดยผลึกควอตซ์ (Qtz) แสดงลักษณะยึดตัวของรูปผลึก	24
4.2	ตัวอย่างศึกษาหินไบโอไทต์การ์เนตไนส์ (ตัวอย่าง Mk 48) และเนื้อหินแสดงลักษณะเนื้อผลึกมลทิน (Poikiloblastic texture) ของแร่รูไทล์และแร่ไบโอไทต์ในแร่การ์เนต	24
4.3	ตัวอย่างศึกษาของหินไบโอไทต์การ์เนตไนส์ (ตัวอย่าง Mk 50) แร่การ์เนตแสดงลักษณะผลึกดอกแปร (Porphyroblastic Texture) และยังแสดงลักษณะผลึกตำหนิ ของแร่ควอตซ์ในแร่การ์เนต	25
4.4	ตัวอย่างศึกษาของหินไบโอไทต์การ์เนตไนส์ (ตัวอย่าง Mk 66) แสดงลักษณะ รอยต่อระหว่างผลึกทำมุม 120 องศา และแร่อัลคาไลน์เฟลด์สปาร์แสดงลักษณะริ้วผลึกแยกตัว (Exsolution lamellae)	25
4.5	ตัวอย่าง Mk 28 (ก.) ตัวอย่างศึกษาของหิน ไบโอไทต์ ไนส์ หมายเลข 28 (ข.) ลักษณะเนื้อเม็ดขนาดผสม (Heteroblastic Texture) และแร่สปิเนล แสดงลักษณะผลึกดอกแปร (Porphyroblastic Texture) (ค.) แซปไฟร์แสดงลักษณะเป็นผลึกดอกแปร (Porphyroblastic texture) ในตัวอย่าง Mk 28	27
4.6	ตัวอย่างหิน การ์เนต ไนส์ หมายเลข (Mk 31) แสดงลักษณะเนื้อผลึกเม็ดผสมขนาด (Heteroblastic Texture) แร่การ์เนต (Grt) แสดงลักษณะเนื้อผลึกดอกแปร (Porphyroblastic Texture) และมีแร่ควอตซ์ (Qtz) เป็นผลึกมลทิน (Poikiloblastic Texture) ในแร่การ์เนต นอกจากนี้ยังพบการเกิดขอบแร่ปฏิกิริยา (Reaction Rim) ของแร่ฮีมาไทต์ (Hmt) ที่ขอบแร่การ์เนต	28

4.7	Harker Variation Diagram ของ Major และ Minor Oxides เปรียบเทียบกับ SiO ₂	31
4.8	แผนภูมิ 3 องค์ประกอบของไฟโรป สแปสซาทีน และอัลมันดีน	34
4.9	แผนภูมิสามองค์ประกอบ อัลไบต์ ออร์โทเคลส และ อะนอร์ไทต์	37
5.1	AKF Diagram ซึ่งแสดงแร่ประกอบหินอยู่ในชุดหินแปรแอมฟิโบลิต์ตอนบน	42
5.2	ACF Diagram แสดงหินต้นกำเนิดของหินไนส์ซึ่งอยู่ในช่วง Pelitic rocks	42
5.3	Pseudosection จากผลวิเคราะห์เคมีของหินทั้งก้อน ของตัวอย่าง Mk 48	43
5.4	Pseudosection จากผลวิเคราะห์เคมีของหินทั้งก้อน ของตัวอย่าง Mk 28	44
5.5	Pseudosection จากผลวิเคราะห์เคมีของหินทั้งก้อน ของตัวอย่าง Mk 31	45

สารบัญตาราง

รูปที่		หน้า
3.1	แสดงชื่อเหมืองที่เป็นจุดเก็บตัวอย่างศึกษา พิกัด และ หมายเลขตัวอย่าง	22
4.1	แสดงผลวิเคราะห์ XRF ของเคมีของหินทั้งก้อน (whole-rock chemistry)	31
4.2	ผลวิเคราะห์เคมีของแร่การ์เนต จากกลุ่มตัวอย่าง ไบโอไทต์การ์เนตไนส์ และ ไบโอไทต์ไนส์	34
4.3	ผลวิเคราะห์เคมีของแร่เฟลด์สปาร์ กลุ่มแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ จากกลุ่มตัวอย่าง ไบโอไทต์การ์เนตไนส์ และ ไบโอไทต์ไนส์	36
4.4	ผลวิเคราะห์เคมีของแร่เฟลด์สปาร์ กลุ่มอัลคาไลน์เฟลด์สปาร์ จากกลุ่มตัวอย่าง ไบโอไทต์การ์เนตไนส์ ไบโอไทต์ไนส์ และการ์เนตไนส์	37
4.5	ผลวิเคราะห์เคมีของแร่ไบโอไทต์ จากหินไบโอไทต์การ์เนตไนส์ และ ไบโอไทต์ไนส์	40

บทที่ 1

บทนำ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เมียนมาร์ มีความสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติสูง โดยเฉพาะทรัพยากรป่าไม้ ทรัพยากรแร่ ในรายงานนี้จะเน้นกล่าวถึง “ อัญมณี ” อัญมณีที่มีชื่อเสียงของเมียนมาร์เช่น ทับทิม แซปไฟร์ ล้วนมาจากแหล่งโมกก ตามแนวหินโมกก (Mogok stone tract) ซึ่งเป็นส่วนของการแปรสภาพโมกก (Mogok metamorphic belt)

เมียนมาร์ หรือ สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาร์ มีอาณาเขตติดกับตะวันตกของประเทศไทย สามารถแบ่งแนวของการแปรสัณฐานออกเป็น 6 แนวตามแนวเหนือใต้ ประกอบด้วย 1. Arakan (Rakhine) Coastal Strip 2. Indo-Burman Ranges 3. Western Inner-Burma Tertiary Basin 4. Ventral Volcanic Belt 5. Eastern Inner-Burma Tertiary Basin และ 6. (Khin Zaw, 1992)

แนวหินโมกก (Mogok Stone Tract) อยู่บริเวณพื้นที่เขาสูงตะวันออกของเมียนมาร์ จัดอยู่ในแนวการแปรสัณฐาน Sino-Burma Ranges or Shan-Tenasserim Massif มีความซับซ้อนทางธรณีวิทยาสูง ซึ่งบริเวณแนวหินโมกกนั้นมีชื่อเสียงในด้านแหล่งอัญมณีที่มีคุณภาพ ได้แก่ ทับทิม แซปไฟร์ เป็นต้น นอกจากนี้แนวหินโมกกยังประกอบด้วยหินหลายชนิด โดยสามารถเรียงลำดับจากอายุแก่ไปอ่อนได้ดังนี้ 1.Mogok metamorphic rock (Lower Paleozoic) 2.Ultramafic and mafic rock (Jurassic) 3.Leucogranite (Lower Paleozoic) 4.Syenitic rock (Late Oligocene) 5.Kabaing Granite (Middle Miocene) 6.Pegmatites and aplites (Middle Miocene) (Kyaw Thu, 2007) ซึ่งมักจะพบอัญมณีในหินแปร โดยเฉพาะ หินอ่อนและหินไนส์

ด้วยความนิยมจากตลาดอัญมณีจึงทำให้การศึกษาหินเฮอร์ (host-rock) ของอัญมณีในพื้นที่นี้เป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่ง โครงการศึกษาชิ้นนี้มุ่งเน้นศึกษาลักษณะของหินไนส์ซึ่งเป็นหินเฮอร์ (host-rock) ของอัญมณี ในแนวหินโมกก เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการวางแผนในการสำรวจแหล่งอัญมณีต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะหินไนส์ ที่สัมพันธ์กับ แหล่งอัญมณี บริเวณแนวหินโมกก เมียนมาร์

1.3 พื้นที่ศึกษา

แนวหินโมกก (Mogok stone tract) อยู่ตอนเหนือค่อนไปทางตะวันออกของ สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาร์ ซึ่งมีอาณาเขตติดกับตะวันตกของประเทศไทย ซึ่งแสดงตำแหน่งของพื้นที่ศึกษาในกรอบสีแดงในรูปที่

1.1 ซึ่งจุดเก็บตัวอย่างศึกษานั้นเป็นตำแหน่งที่มีการทำเหมืองอัญมณีในปัจจุบัน



รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงอาณาเขตของสาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาร์ และกรอบสีแดงแสดงที่ตั้งพื้นที่ศึกษาในบริเวณของแนวหินโมก (Mogok stone tract) และจุดเก็บตัวอย่าง

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาลักษณะของหินไนส์ 3 กลุ่มตัวอย่างได้แก่ หินไปโอไทต์-การ์เนต ไนส์, หินไปโอไทต์ ไนส์ และ หินการ์เนต ไนส์ จากเหมืองอัญมณีบริเวณแนวหินโมกก เมียนมาร์ จำนวน 10 ตัวอย่าง โดยมีการวิเคราะห์ศิลาวรรณและองค์ประกอบทางเคมี

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ลักษณะของหินไนส์ที่สัมพันธ์กับแหล่งอัญมณี บริเวณแนวหินโมกก เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวางแผนการสำรวจแหล่งอัญมณีต่อไป

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

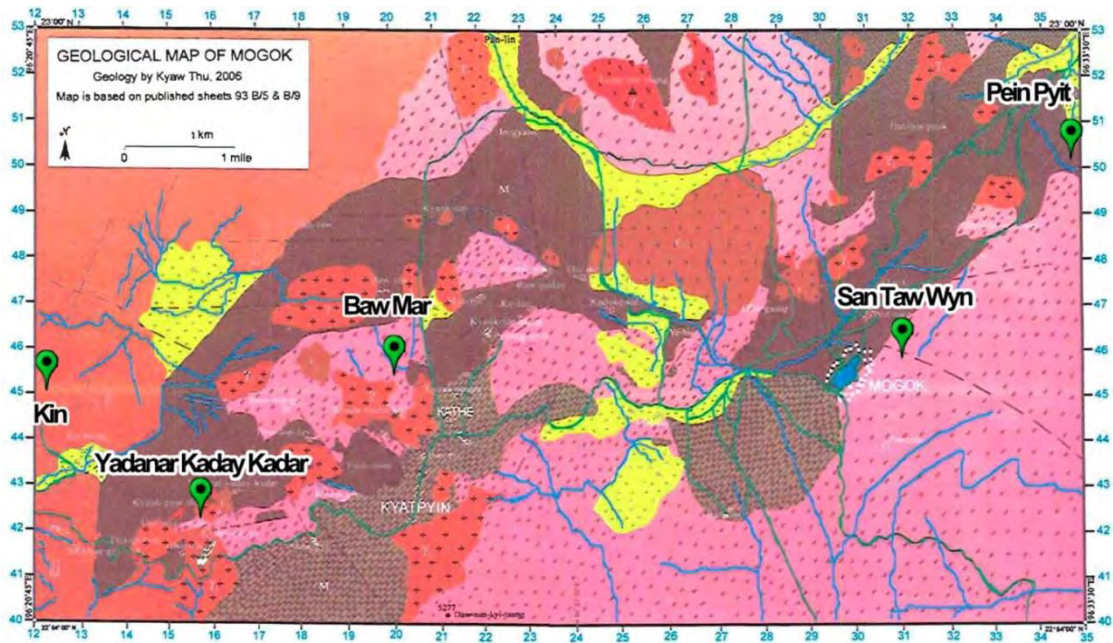
2.1 ความสัมพันธ์ของหินแปรกับการเกิดอัญมณีในเมียนมาร์

บริเวณทางตอนเหนือของแนวการแปรสภาพโมกอก (Mogok metamorphic belt) จะพบอัญมณีจำพวก ทับทิม แซปไฟร์ และอัญมณีจำพวกอื่นๆ ซึ่งหินแปรที่พบเป็นหินเหย้า (host-rock) ของอัญมณีเป็นหินไนส์ และหินอ่อน Chhibber (1934) และ Iyer (1953) กล่าวว่า หินอ่อนที่มีทับทิมเป็นหินยุคพรีแคมเบรียน ทับทิมและสปิเนลที่อยู่ในหินอ่อน มีแหล่งกำเนิดมาจากแร่ไดออปไซด์-โพลโกไปท์ที่อยู่ในหินอ่อน (Iyer, 1953) และยังมีอีกทฤษฎีหนึ่งโดย Kyaw Wunna (1993) ว่า ทับทิม ในหินอ่อนมาจากกระบวนการแปรสภาพที่มีเกรดการแปรสภาพปานกลางถึงสูง นอกจากนี้ยังกล่าวอีกว่า แซปไฟร์เกิดจากหินตะกอนแปรสภาพ (Meta-sedimentary rock) ก่อนแล้วมาอยู่ใน Pegmatite และ skarn ภายหลัง หรืออีกกรณีหนึ่งคือแซปไฟร์เกิดมาจากหินอัคนี Syenitic rock ภายหลัง สำหรับทฤษฎีของอัญมณีในหินไนส์นั้นถูกกล่าวโดย Pwint Phu Law (1999) กล่าวว่า แซปไฟร์ที่พบใน Garnet –Biotite Gneiss เป็นผลเนื่องจากการบวนการ Metasomatism และ Hydrothermal Alteration ของกระบวนการแปรสภาพของหินประเภท Pelitic rock (โดยกระบวนการแปรสภาพแบบบริเวณไพศาล (Regional metamorphism))

2.2 ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

แผนที่ธรณีวิทยาของแนวหินโมกก (Mogok stone tract) รูปที่ 2.1 แสดงหินที่พบส่วนใหญ่ในบริเวณนี้คือหินไนส์ โดยพบเป็น หินไบโอไทต์ ไนส์ (Biotite gniess) เป็นส่วนใหญ่ และ หินซิลลิแมนไนท์ – การ์เน็ต ไนส์ (Sillimanite – Garnet Gniess) ที่มีผลึกขนาดใหญ่ และยังพบหินอ่อนที่มีแร่ไดออปไซด์-โพลโกโปท์ เป็นองค์ประกอบ (Iyer, 1953) จัดอยู่ในชุดหินแปรโมกก (Mogok metamorphic rock) มีอายุในมหายุคพรีแคมเบรียน ถึง จูแรสสิก (Serle and Ba Than Haq, 1964) และหินอัคนีบาดาล โดยพบทั้ง หินแกรนิต และหินเพกมาไทต์ เป็นชุดหินอัคนีในยุคครีเตเชียสตอนต้นถึงไมโอซีนตอนกลาง (Kyaw Thu, 2006)

จุดเก็บตัวอย่างศึกษา แสดงโดยหมุดสีเขียวในรูปที่ 2.1 ซึ่งล้วนเป็นตำแหน่งของเหมืองอัญมณีทั้งสิ้น จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 เหมือง Bawmar พบหินไนส์ ซึ่งอัญมณีที่พบได้แก่ แซปไฟร์ ทับทิมเป็นหลัก นอกจากนี้ยังพบอัญมณีชนิดอื่นๆเช่น สปิเนล คริสโตเบริล เบริล เป็นต้น จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 เหมือง Yadannar Kaday Kadar อยู่ในพื้นที่ของหินไนส์และพบหินอ่อนที่มีแร่ diopside เป็นองค์ประกอบ และหินอ่อนชนิดอื่นๆ อัญมณีที่เป็นตัวหลักได้แก่ ทับทิม, แซปไฟร์ ยังพบ สปิเนล และ โทแพซ ร่วมด้วย จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 เหมือง Pein Pyit อยู่ในพื้นที่ของหินเพกมาไทต์ อัญมณีที่เป็นตัวหลักได้แก่ ทับทิม แซปไฟร์ สปิเนล การ์เน็ต (อัลมันดีน) ชนิตรองเช่น คริสโตเบริล เบอริล จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 เหมือง San Taw Wyn อยู่ในพื้นที่หินไนส์ อัญมณีที่พบคือ ทับทิมและแซปไฟร์ คุณภาพไม่สูง จุดเก็บตัวอย่างที่ 5 เหมือง Kin อยู่ในพื้นที่ของหินแกรนิต (Kabaing Granite) พบ แซปไฟร์ มูนสโตน เบริล (อะความารีน) ทัวมารีน โดยพบ ทับทิมและสปิเนล จำนวนไม่มาก แซปไฟร์บางส่วนจากเหมืองนี้จะพบจาก Secondary Deposit ใกล้ๆกับแม่น้ำ Kin ซึ่งเป็น แซปไฟร์สีน้ำเงินคุณภาพดี (Themelis., 2008)



Explanation

	Alluvium	Quaternary	
IGNEOUS ROCKS			
	Pegmatites and apites: Localized vein intruded into the biotite microgranite, carrying topaz, quartz, beryl, muscovite, etc.	Middle Miocene	
	Kabaing Granite: Medium-grained with uniform texture, composed mainly of quartz, alkali-feldspar, and biotite.	Middle Miocene	
	Urtite Seires: Coarse-grained, composed mainly of nepheline, hornblende and some augite.	probable Late Oligocene	
	Syenitic rocks: Coarse-grained mainly of nardmarkite, minor sapphire bearing feldspathoidal syenites and sapphire bearing leucocratic alkali syenite pegmatite.	Late Oligocene	
	Leucogranite: Coarse-grained, composed of alkali-feldspar and quartz with some biotite and garnet.	Early Oligocene	
	Augite-biotite granite: Coarse-grained, foliated, composed of quartz, alkali-feldspar, plagioclase, augite and biotite.	Early Cretaceous	
METAMORPHIC ROCKS			
(metamorphosed Lower Paleozoic rock units)			
	Gwe-bin quartzite	} (metamorphic age) Late Oligocene	
	Aye-nye-in-chan-thar calc-silicate rocks		
	Wabyu taung marble		
	Kabe gneiss		
SYMBOLS			
	Village		Motor road
	Peak		Stream
	Fault		Lithologic boundary

รูปที่ 2.1 แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณแนวหินโมก (Mogok stone tract) และมีหมุดสีเขียว

บอกตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างศึกษา

ที่มา : <http://www.palaminerals.com/mogok.php>

2.3 กระบวนการแปรสภาพและกระบวนการแปรสัณฐาน

ลักษณะทางธรณีวิทยาของสาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาร์เกิดจากกระบวนการแปรสัณฐานสองเหตุการณ์หลัก ได้แก่ การที่ Indian plate มุดตัวลงไปใต้ Burma plate ในช่วง Permian ตามแนว Megathrust zone และ เหตุการณ์ที่ Burma plate เคลื่อนตัวไปทางเหนือ ในช่วง Jurassic ซึ่งจากทั้งสองเหตุการณ์ ส่งผลให้เกิดภูมิประเทศเป็นแนวคดโค้งในบริเวณตะวันตกของประเทศ เกิดที่ราบในตอนกลาง และเกิดพื้นที่ภูเขาสูงในบริเวณตะวันออกของประเทศ แนวคดโค้งทางตะวันตกของประเทศเป็นผลเนื่องมาจากการมุดตัวของ Indian plate ลงไปใต้ Burma plate ตามแนว Bengal tectonic boundary การชนกันของแผ่นเปลือกโลกทั้งสองทำให้เกิดเทือกเขาสูงในบริเวณตะวันตกของเมียนมาร์ และยังพบลำดับชั้นของหินตะกอนหนา หินกรวดเหลี่ยมของหินอัคนีและหินปูนจาก Ophiolite suit ที่ราบลุ่มตอนกลาง เป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำอันอุดมสมบูรณ์ที่อยู่ตอนกลางของประเทศ ถูกแบ่งขอบเขตโดยภูเขาและเทือกเขาที่ทอดตัวตั้งแต่เหนือไปใต้ ซึ่งมี Mount Popa เป็นภูเขาไฟที่เป็นภูเขาไฟหลักในพื้นที่นี้ และ พื้นที่ภูเขาสูงในบริเวณตะวันออกของประเทศ เป็นส่วนหนึ่งของแผ่นฉาน-ไทย (Shan-Thai) ธรณีแปรสัณฐานหลักๆเกี่ยวข้องกับแผ่นธรณีแปรสัณฐานแปซิฟิก ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มหินอายุเก่า ได้แก่ หินปูนและหินแปรที่มีความซับซ้อนในการเกิด (Maung Thein, 1993) มีรอยเลื่อนสะเกียงซึ่งเป็นรอยเลื่อนมีพลังขนาดใหญ่พาดผ่านทางตะวันออกของประเทศ (Win Swe, 1981)

แนวหินโมกก (Mogok Stone Tract) เป็นส่วนหนึ่งของแนวการแปรสภาพโมกก (Mogok Metamorphic Belt) ซึ่งเป็นแนวหินแปรที่อยู่ทางตะวันออกของรอยเลื่อนสะเกียง (Sagaing Fault) (บริเวณทางตะวันออกเฉียงใต้ของเทือกเขาหิมาลัย และทางตะวันตกของที่ราบสูงฉาน) มีความยาวประมาณ 1500 กม. วางตัวตามขอบ ฉาน-ไทย (Shan-Thai) โดยลักษณะทางธรณีของบริเวณแนวการแปรสภาพโมกก (Mogok Metamorphic Belt) ประกอบด้วยหินแปรสภาพสูง (High-grade metamorphic), หินอัคนีบาดาล ซึ่งเป็นตัวนำพาอัฏมณีขึ้นมา โดยอายุของหินแปรในบริเวณนี้คาดว่ามีความอายุนมหายุคพรีแคมเบรียน ถึง ยุคครีเทเชียส และอายุของหินอัคนีมีอายุในช่วงมหายุคมีโซโซอิกถึงยุคเทอเชียรี (Mitchell *et al.*, 2007)

ธรณีแปรสัณฐานบริเวณนี้มีอิทธิพลมาจากการชนกันของแผ่นจุลทวีปฉานไทย (Shan Thai Microcontinent) และแผ่นจุลทวีปมาจาวันต (Western Burma Microcontinent) ซึ่งทำให้ตะกอนหรือหินที่มีการสะสมตัวในช่วงก่อนหน้านั้นถูกยกตัวขึ้นมา และเมื่อแผ่นทวีปอินเดีย (Indian continent Plate) เข้าชนกับแผ่นทวีปยูเรเชีย (Eurasian Plate) ในช่วงยุคอีโอซีน ทำให้บริเวณแนวหินแปรโมกกเกิดการแปรสภาพครั้งใหญ่

และหลังจากนั้นก็มีการแทรกดันตัวของหินอัคนีบาดาลเข้ามา จึงเป็นสาเหตุให้เราพบหินหลากหลายชนิดในบริเวณแนวหินโมกอก สำหรับรูปที่ 2.2 แสดงวิวัฒนาการทางธรณีแปรสัณฐานในบริเวณแนวหินแปรโมกอก (Themelis, 2008) สามารถแบ่งออกเป็น 6 ช่วง ได้แก่

1. ตะกอนสะสมตัว (ก่อน 200 ล้านปี) บริเวณแนวหินโมกอกเคยเป็นทะเลมาก่อนจึงมีสภาพแวดล้อมการสะสมตัวของตะกอนบริเวณทะเลซึ่งในแต่ละบริเวณจะมีระดับความลึกที่แตกต่างกันไป ในส่วนบริเวณที่ลึกนั้นจะประกอบด้วยหินทราย หินดินดานและเลนส์ของหินปูนซึ่งรวมตัวและตกตะกอนในกันเองตะกอน โดยชุดหินตะกอนนี้จะเรียกโดยรวมว่า Rock of Mogok series หลังจากนั้นจึงเกิดการแทรกตัวของแมกมาครั้งแรกของหินอัคนีจำพวกแกรนิตเข้ามาในชุดหินตะกอนเมื่อประมาณ 200 และ 150 ล้านปีที่ผ่านมา

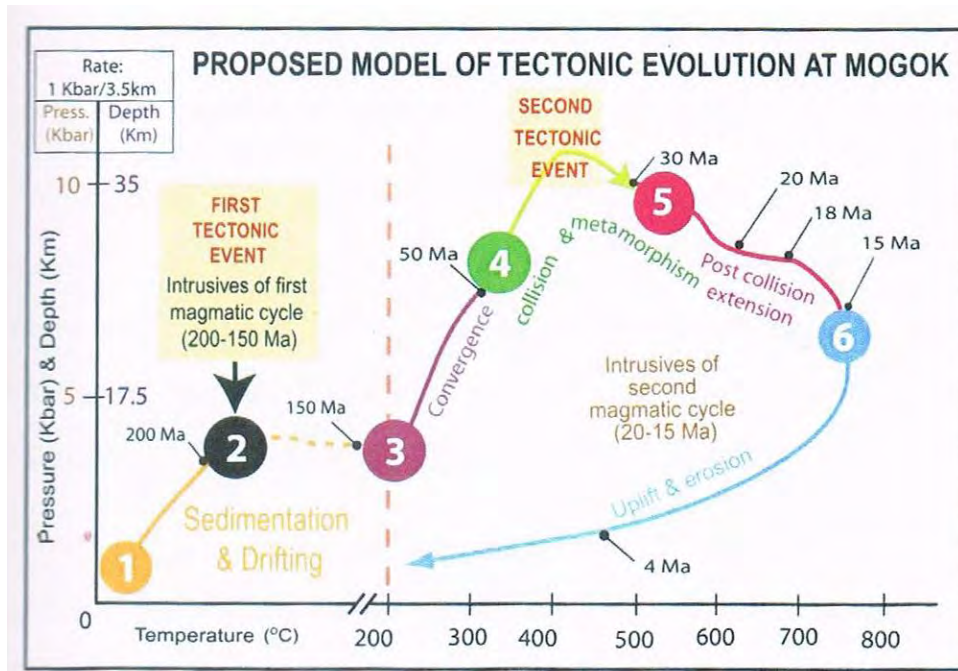
2. เกิดการเลื่อนตัวของแผ่นจูลทวีป (200-150 ล้านปี) เป็นเหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐานครั้งแรกและยังเกิดการแทรกตัวของหินหนืดครั้งแรกอีกด้วย

3. การเลื่อนตัวเข้าหากันของแผ่นจูลทวีป (150 ล้านปี) เกิดการเลื่อนตัวเข้าหากันของแผ่นจูลทวีปพม่าจะวันตก (Western Burma Microcontinent) และ แผ่นจูลทวีปฉานไทย (Shan Thai Microcontinent)

4. การชนกันและการแปรสภาพนับเป็นธรณีแปรสัณฐานครั้งที่ 2 (50 ล้านปี) เกิดการชนกันของแผ่นเปลือกโลกทั้งสอง จากการชนกันทำให้แผ่นจูลทวีป จูลทวีปพม่าจะวันตก (Western Burma Microcontinent) จึงมุดตัวลงไปได้แผ่นจูลทวีปฉานไทย (Shan Thai Microcontinent) ทำให้เกิดแรงบีบอัดทางด้านข้าง และทำให้เกิดการแปรสภาพของชุดหินตะกอนและแมกมาชุดแรก เช่น หินปูนแปรสภาพเป็นหินอ่อน หินดินดานแปรสภาพเป็นหินพาราไนส์ หินทรายแปรสภาพเป็นหินควอตไซต์ และหินแกรนิตแปรสภาพเป็นหินออร์โธไนส์

5. การเกิดแอ่งหลังจากการขยายตัวหลังการชน (30 ล้านปี) การขยายตัวของบริเวณขอบหลังจากการชนกันนั้นทำให้เกิดการแทรกตัวของหินที่มาจากที่ลึก อุณหภูมิจะเพิ่มมากขึ้นโดยที่ความดันจะค่อยๆลดลง เป็นผลทำให้เกิดการแปรสภาพของหินโมกอก บางส่วนของหินตะกอนแสดงการแปรสภาพเป็นการโค้งงอของชั้นหิน

6. การยกตัวและการกักร่อน (15 ล้านปี) จากการศึกษาของ Bertard and Rangin (2000; 2003) การแจกจ่ายของแรงเครียดทำให้เกิดการยกตัวของที่ราบสูงฉาน ซึ่งทำให้เกิดการกักร่อนและการแตกทั่วพื้นที่และด้วยกระบวนการทางธรรมชาติก็ส่งผลให้เกิดลักษณะภูมิประเทศที่เห็นในปัจจุบัน



รูปที่ 2.2 แสดงลำดับเหตุการณ์ทางธรณีวิทยาและวิวัฒนาการของธรณีแปรสัณฐานในบริเวณแนวหินแปรโมกอก รวมถึงอุณหภูมิและความดันที่เกี่ยวข้องกับแต่ละเหตุการณ์ (Themelis, 2008)

2.4 ลักษณะหินไนส์ที่สัมพันธ์กับแหล่งอัญมณี

สิริลักษณ์ ภาจันทร์ (2556) กล่าวว่า หินไนส์ บริเวณแนวหินแปรโมกก ประเทศพม่า สามารถแบ่งโดยใช้แร่องค์ประกอบของหินเป็น 2 กลุ่ม ประกอบด้วย ไบโอไทต์ ไนส์ (Biotite Gneiss) และ ไบโอไทต์-การ์เนต ไนส์ (Biotite – Garnet Gneiss) โดยทั้งสองกลุ่มมีแร่องค์ประกอบ และองค์ประกอบเคมีของหินทั้งก้อนที่คล้ายคลึงกัน และจากการศึกษาข้อมูลธรณีเคมีของหินทั้งก้อนพบว่า หินไนส์ มีต้นกำเนิดมาจากหินตะกอนจำพวก Pelitic, Quartzo-feldspathic, Subgraywack และ Siliceous shale

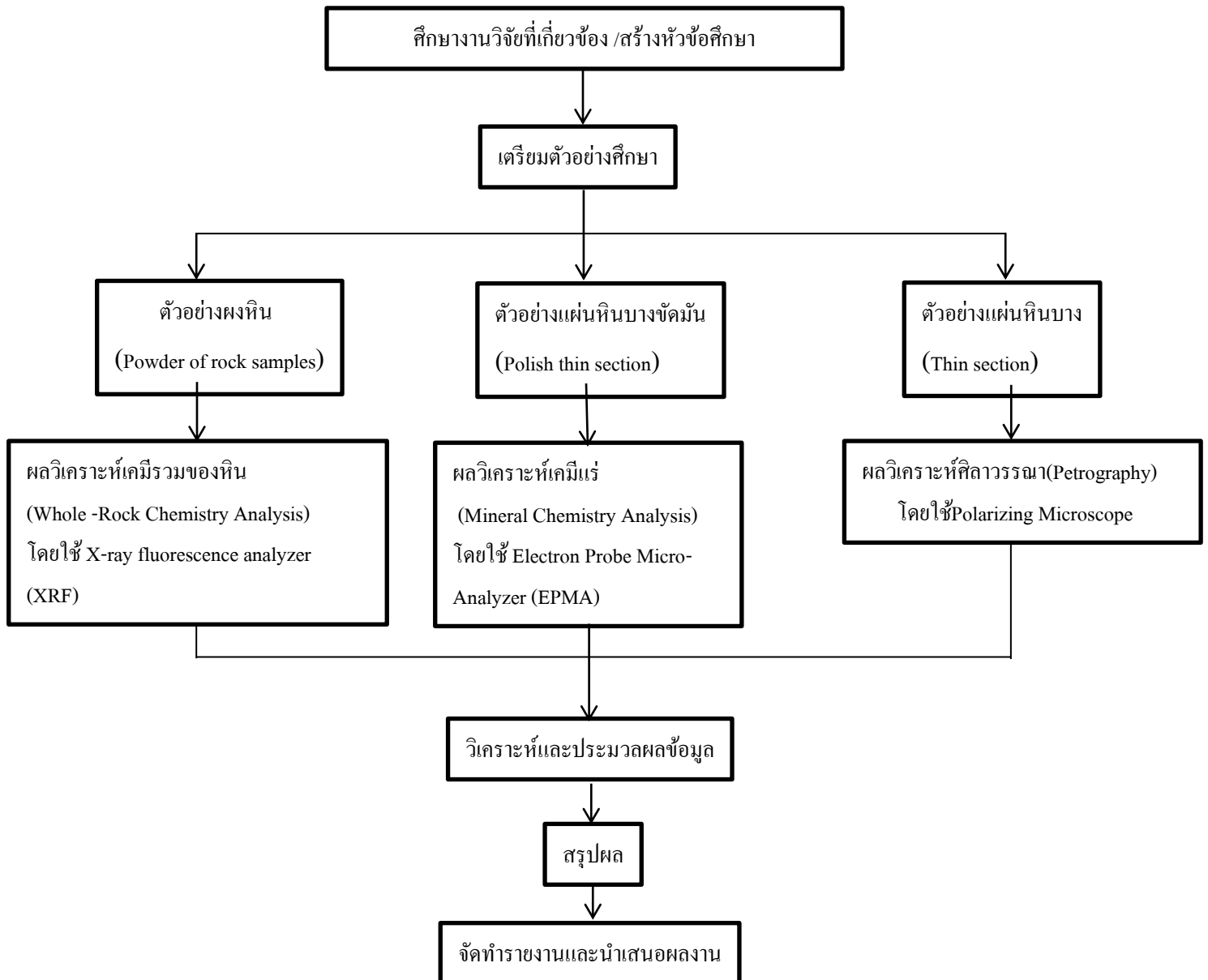
บทที่ 3

ระเบียบวิธีการทำงาน

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการดำเนินงาน

3.1 วิธีดำเนินงาน



วิธีการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังแสดงในแผนภาพ (รูปที่ 3.1)

3.1.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง /สร้างหัวข้อศึกษา

รวบรวมข้อมูลและศึกษารายงาน เอกสารและงานวิจัยเก่า ที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษา เช่นธรณีวิทยา ธรณีแปรสัณฐาน ของ แนวการแปรสภาพโมกก และ ลักษณะของหินในพื้นที่ศึกษา

3.1.2 เตรียมตัวอย่างศึกษา

นำตัวอย่างมาแบ่งเป็น 2 ส่วน นำส่วนหนึ่งไปตัดเป็นแผ่นหิน เพื่อทำเป็น แผ่นหินบาง และแผ่นหินบางขัดมันเพื่อศึกษา ศิลาวรรณ (Petrography) และวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีแร่ (Mineral chemistry analysis) ตามลำดับ และอีกส่วนนำมาบดเป็นผง เพื่อนำไปวิเคราะห์ วิเคราะห์เคมีรวมของหิน (Whole-rock chemistry analysis)

3.1.3 ศึกษาลักษณะศิลาวรรณ

ศึกษาจากตัวอย่างแผ่นหินบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงโพลาไรซ์ (Polarized Light Microscope) (รูปที่ 3.2) เพื่อศึกษาแร่องค์ประกอบในหิน ดูลักษณะเนื้อหิน สามารถนำไปใช้แปลความถึงลักษณะความสัมพันธ์ของแร่ต่างๆ ลำดับการเกิดของแร่ และเป็นแนวทางในการวิเคราะห์เคมีแร่ (Mineral chemistry analysis) ต่อไป

3.1.4 ศึกษาลักษณะทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแร่ (Mineral chemistry analysis) จาก แผ่นหินบางขัดมัน โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูงได้แก่ Electron probe micro analyser (EPMA) (รูป 3.4) และ วิเคราะห์เคมีรวมของหิน (Whole-rock chemistry analysis)จากตัวอย่างผง โดยใช้เครื่องมือ X-ray fluorescent analyzer (XRF) (รูปที่ 3.3)

3.1.5 วิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล

นำผลวิเคราะห์ศิลาวรรณ (Petrography) ผลวิเคราะห์เคมีแร่ (Mineral chemistry analysis) และผลวิเคราะห์เคมีรวมของหิน (Whole-rock chemistry analysis) แปลความและประมวลผล

3.1.6 สรุปผลการศึกษาและจัดทำรูปเล่มรายงาน

3.2 เครื่องมือในการวิเคราะห์

Polarizing Microscope

ใช้สำหรับศึกษาสัณฐานวิทยาในแผ่นหีนบาง (Thin Section) ดูแร่องค์ประกอบ และเนื้อหิน เป็นข้อมูลพื้นฐานและแนวทางสำหรับการวิเคราะห์เคมีในขั้นตอนต่อไป (รูป 3.2)



รูปที่ 3.2 Polarizing Microscope

เครื่องมือจากภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

X-ray Fluorescence Spectrometer (XRFs)

เป็นเครื่องมือที่วิเคราะห์หาปริมาณธาตุ หรือองค์ประกอบในหินทั้งก้อน (Whole-rock analysis) โดยใช้ตัวอย่างผง (Powder) ในการวิเคราะห์ ใช้หลักการของรังสีเอ็กซ์ที่มีพลังงานสูงไปกระตุ้นตัวอย่าง และตัวอย่างจะปล่อย โฟตรอน ออกมา ซึ่งโฟตรอนที่ปล่อยออกมาจากธาตุที่ต่างกันจะให้พลังงานและความยาวคลื่นที่ต่างกันซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของธาตุนั้นๆ และข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จะเป็นปริมาณออกไซด์ของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่าง

สำหรับเครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer ที่ใช้ คือ Pioneer รุ่น Bruker AXS S4
ค่าพลังงาน 60 kV/50mA (รูป 3.3)

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

Total resolution 3-100 eV

Typical measurement time 2-10s per element

Program used SPECTRA Plus software of the Bruker with the standardless

Analysis

1. ค่า Lower Detection Limit ต้องมีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นของสารประกอบออกไซด์ที่วิเคราะห์ได้
2. ค่า Overlap ซึ่งเป็นค่าที่แสดงกราฟที่วิเคราะห์ธาตุนั้นมีความน่าเชื่อถือมากเท่าใด ถ้าค่า Overlap สูงแสดงว่าธาตุที่เราวิเคราะห์มีรูปแบบกราฟของธาตุนั้นเหมือนกันด้วย ความน่าเชื่อถือของกราฟของธาตุนั้นจะน้อยลง



รูปที่ 3.3 เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer (XRFs)

เครื่องมือจาก ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ ชนิด ปริมาณ องค์ประกอบ และส่วนผสมทางเคมีของตัวอย่าง ศึกษา โดยจัดเป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูง หลักการทำงานเหมือนนำ เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF) มาผสมกับ เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) คือสามารถวิเคราะห์พื้นผิวโดยขยายภาพได้ และปล่อยลำแสงอิเล็กตรอนเพื่อกระตุ้นให้ตัวอย่างปล่อยรังสี X-ray ซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของธาตุนั้นๆ โดยในการศึกษานี้ใช้ตัวอย่างแผ่น หินขัดมัน (Polish Thin Section)

เครื่อง EPMA ที่ใช้ คือ JEOL รุ่น JXA-8100 (รูป 3.4) ใช้กระแสไฟฟ้า 15 kV/2.4*100 A และลำแสงมีขนาด $10^{-8} < 1$ ไมโครเมตร



รูปที่ 3.4 เครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA)

เครื่องมือจาก ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การรวบรวมตัวอย่าง

ตัวอย่างศึกษา เก็บจากเหมืองที่บริเวณแนวหินโมกก เมียนมาร์ซึ่งเก็บจาก 5 จุด ได้แก่ 1.Baw Mar 2.Yadannar Kaday Kadar 3.Pein Pyit 4.San Taw Wyn 5.Kin ซึ่งแสดงรายละเอียดพิกัดของจุดเก็บตัวอย่าง และจำนวนตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงชื่อเหมืองที่เป็นจุดเก็บตัวอย่างศึกษา พิกัด และ หมายเลขตัวอย่าง

Location	Deposit	Latitude & Longitude	Sample No.	Rock type
Baw Mar	Sapphire, Ruby , Spinel, Christoberyl, Beryl	23° 0'6.12"N 96°27'53.64"E	Mk 27	Biotite gniess
			Mk 28	Biotite gniess
			Mk 31	Garnet gniess
Yadannar Kaday Kadar	Ruby, Sapphire, Spinel , Topaz	22°54'14.76"N 96°22'33.96"E	Mk 43	Biotite-Garnet gniess
Pein Pyit	Ruby, Sapphire, spinel, Almandine Garnet, Chrystoberyl, Beryl	22°58'32.16"N 96°33'48.96"E	Mk 48	Biotite-Garnet gniess
			Mk 50	Biotite-Garnet gniess
			Mk 51	Biotite-Garnet gniess
San Taw Wyn	Ruby, Sapphire	22°56'13.92"N 96°31'21.36"E	Mk 55	Biotite gniess
			Mk 56	Biotite-Garnet gniess
Kin	Sapphire, Moonstone, Aquamarine , Tourmaline	22°55'50.16"N 96°19'13.08"E	Mk 66	Biotite-Garnet gniess

บทที่ 4

ผลการศึกษา

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 ศิลาวรรณา

ตัวอย่างหินที่ใช้ศึกษามีทั้งหมด 10 ตัวอย่าง ได้แก่ Mk 27, Mk 28, Mk 31, Mk 43, Mk 48, Mk 50, Mk 53, Mk 55, Mk 56, Mk 66 จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพสามารถแบ่งหินตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 ไบโอบีโอดีคาร์เนตไนส์

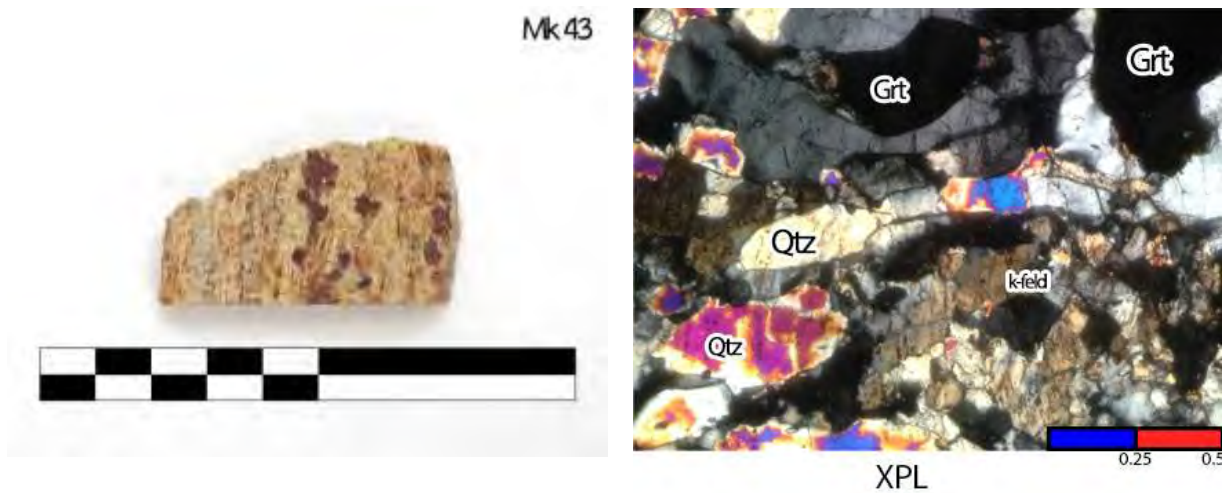
หินไนส์ในกลุ่มนี้มีประกอบด้วยแร่ที่สำคัญคือ พบแร่คาร์เนต และไบโอบีโอดีประกอบอย่างชัดเจน เนื้อหินแสดงลักษณะ เนื้อหินริ้วลาย (Foliated rock) ของแถบแร่ขาวดำสลับกัน โดยแร่ดำที่พบเรียงตัวเป็นแถบคือแร่ไบโอบีโอดี และพบแร่คาร์เนตเป็นผลึกดอกแปรสภาพ (Porphyroblastic texture)

สำหรับแร่องค์ประกอบหลักของหินไนส์กลุ่มนี้ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ 30% - 40% แร่กลุ่มเฟลด์สปาร์ ทั้ง แพลจิโอเครสเฟลด์สปาร์ และ อัลคาไลน์เฟลด์สปาร์ 15% - 20% แร่ไบโอบีโอดี 5% - 25% และแร่คาร์เนต 15% - 30% ในบางตัวอย่างพบแร่ประกอบรองที่มีปริมาณน้อยกว่า 5% ได้แก่ แร่มีสโคไวท์ และแร่ทึบแสง

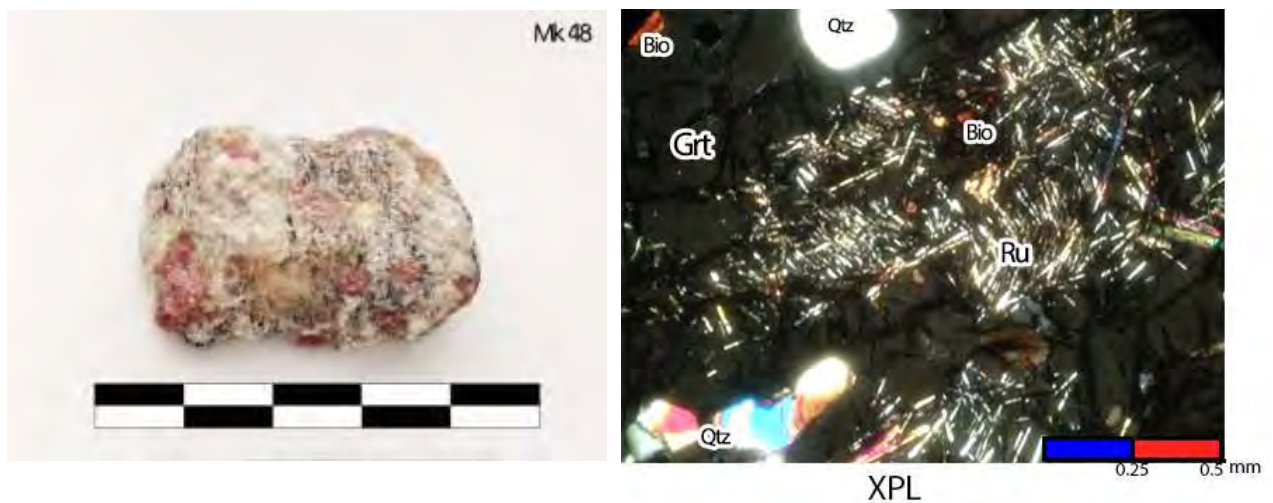
โดยรวมผลึกแร่แสดงลักษณะเนื้อผลึกเม็ดผสมขนาด (Heteroblastic Texture) แร่ควอตซ์และแร่กลุ่มเฟลด์สปาร์ มีขนาดหลากหลาย 0.5 - 2 มิลลิเมตร มีรูปผลึกไม่สมบูรณ์ถึงกึ่งสมบูรณ์ (Anhedral - Subhedral shape) โดยแร่กลุ่มเฟลด์สปาร์ชนิด อัลคาไลน์เฟลด์สปาร์ บางตัวแสดงลักษณะริ้วผลึกแยกตัว (Exsolution lamellae) (รูป 4.4) นอกจากนี้แร่ควอตซ์ ยังพบลักษณะของเนื้อหินบด (Mortar Texture) ขนาด 0.05 - 0.2 มิลลิเมตร และในบางตัวอย่างพบลักษณะการยึดตัวของผลึกแร่ควอตซ์ (Nematoblastic Texture) มีขนาด 3 - 5 มิลลิเมตร (รูป 4.1) แร่ไบโอบีโอดีแสดงลักษณะการสานเกี่ยวของแร่แผ่น (Lepidoblastic Texture) ขนาด 0.5 - 3 มิลลิเมตร มีรูปผลึกกึ่งสมบูรณ์ (Subhedral shape) และแร่คาร์เนตแสดงลักษณะเนื้อผลึกดอกแปร (Porphyroblastic texture) ขนาด 3 - 10 มิลลิเมตร มีรูปผลึกกึ่งสมบูรณ์ (Subhedral shape) ทั้งนี้แร่คาร์เนต

บางตัวอย่างศึกษายังแสดงลักษณะผลึกตำหนิ (Polioblastic exture) โดยมีแร่ ควอตซ์ รูไทล์ และ ไบโอไทต์ เป็นผลึกมลทิน (รูป 4.2 และ 4.3) และเกิดเนื้อขอบปฏิกิริยา (Reaction rims) ของแร่ฮีมาไทต์ที่ตามขอบรอยแตกของ แร่การ์เนต

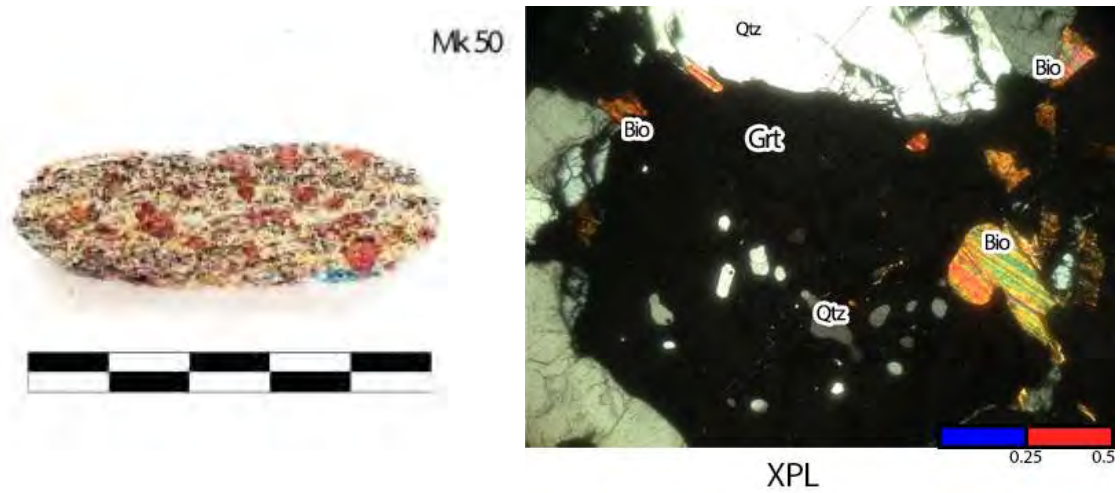
กลุ่มหินนี้ประกอบด้วยตัวอย่าง Mk 43, Mk 48, Mk 50, Mk 53, Mk 56 และ Mk 66



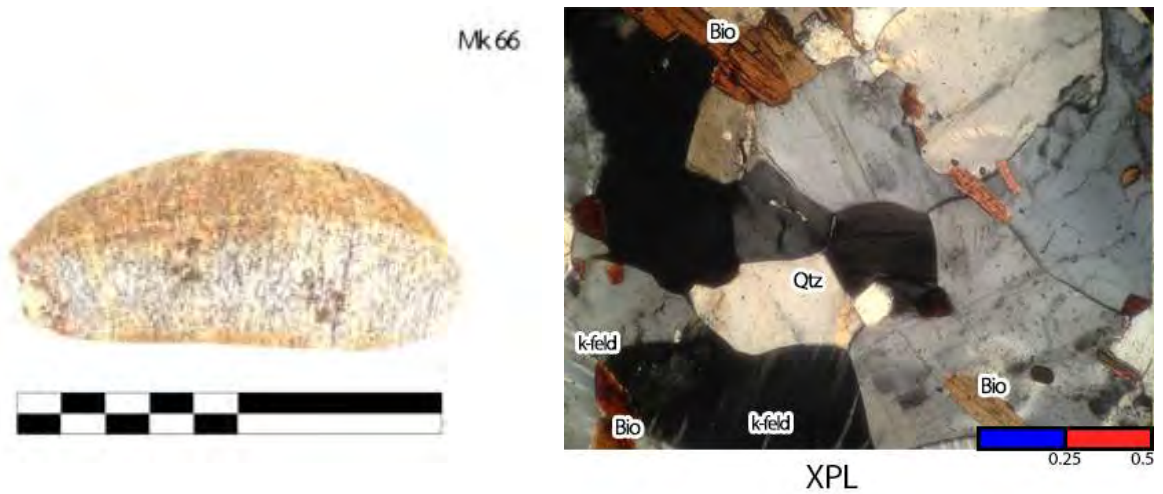
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างของหินไบโอไทต์การ์เนต ไนส์ (ตัวอย่าง Mk 43) โดยผลึกควอตซ์ (Qtz) แสดงลักษณะยึดตัวของรูปผลึก



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างศึกษาหินไบโอไทต์การ์เนตไนส์ (ตัวอย่าง Mk 48) และเนื้อหินแสดงลักษณะเนื้อผลึกมลทิน (Polioblastic texture) ของแร่รูไทล์ (Ru) และแร่ไบโอไทต์ (Bio) ในแร่การ์เนต (Grt)



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างศึกษาของหินไบโอไทต์การเนตไนส์ (ตัวอย่าง Mk 50) แร่การเนต (Grt) แสดงลักษณะผลึกดอกแปร (Porphyroblastic Texture) และยังแสดงลักษณะผลึกตำหนิ ของแร่ควอตซ์ (Qtz) ในแร่การเนต (Grt)



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างศึกษาของหินไบโอไทต์การเนตไนส์ (ตัวอย่าง Mk 66) แสดงลักษณะ รอยต่อระหว่างผลึกทำมุม 120 องศา และแร่อัลคาไลน์เฟลด์สปาร์ (K-feld) แสดงลักษณะริ้วผลึกแยกตัว (Exsolution lamellae)

กลุ่มที่ 2 ไบโอบีโอดีไนส์

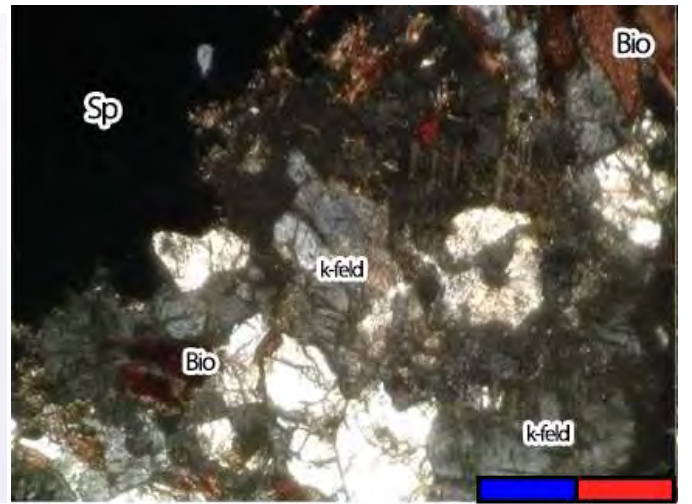
หินไนส์กลุ่มนี้พบแร่ไบโอบีโอดีเป็นองค์ประกอบสำคัญ ตัวอย่าง Mk 28 เนื้อหินแสดงลักษณะ เนื้อหินริ้วลาย (Foliated rock) พบแชปไฟร์เป็นผลึกดอก (Porphyroblastic texture) ผลึกมีขนาด ตั้งแต่ 0.5 – 2 เซนติเมตร พบแถบการเรียงตัวของแร่ไบโอบีโอดี กว้างประมาณ 2 เซนติเมตร และยังพบแถบแร่สีดำ กว้าง 0.25 – 0.5 เซนติเมตร ตัวอย่าง Mk 27 และ Mk 55 ไม่พบลักษณะการการแยกตัวของแถบแร่ ขาวดำ

แร่องค์ประกอบหลักของหินไนส์ในกลุ่มนี้ประกอบด้วยแร่ควอร์ซประมาณ 10% - 35% แร่กลุ่มเฟลด์สปาร์ 20% - 55% ทั้ง แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ และ อัลคาไลน์เฟลด์สปาร์ แร่ไบโอบีโอดี 10% - 25% แร่ไพรอกซีน ประมาณ 5% สำหรับตัวอย่าง Mk 27 จะพบ แชปไฟร์ 15% - 20% และ แร่สปิเนล 5% - 10% เป็นแร่องค์ประกอบหลักด้วย (รูป 4.5 (ค.)) แร่ประกอบรองได้แก่ คลอไรต์ 10% มัสโคไวท์ น้อยกว่า 5% และแร่ทึบแสง น้อยกว่า 5% เช่นกัน

ผลึกแร่แสดงลักษณะเนื้อผลึกเม็ดผสมขนาด (Heteroblastic Texture) แร่ควอร์ซ ขนาด 1 – 4 มิลลิเมตร แสดงลักษณะรอยต่อระหว่างสามผลึกทำมุม 120 องศา (Tripple Junction) ในบางบริเวณ ยังแสดงลักษณะห่อหุ้มเนื้อหอน (Myrmekitic Texture) และลักษณะของเนื้อหินบด (Mortar Texture) อีกด้วย กลุ่มแร่เฟลด์สปาร์ พบหลากหลายขนาด โดยแร่ แพลจิโอเคลส เฟลด์สปาร์ จะพบปริมาณมากกว่า อัลคาไลน์ เฟลด์สปาร์ แต่มีขนาดเพียง 0.5 – 2 มิลลิเมตร ซึ่งเล็กกว่า อัลคาไลน์ เฟลด์สปาร์ ที่มีปริมาณน้อยแต่มีขนาดถึง 3 – 5 มิลลิเมตร และพบลักษณะริ้วผลึกแยกตัว (Exsolution Texture) แร่ไบโอบีโอดี ขนาด 0.5 – 2 มิลลิเมตร แสดงลักษณะการสานเกี่ยวของแร่แผ่น (Lepidoblastic Texture) และแร่ค่อนข้างจะวางตัวไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งพบลักษณะของการบิดของผลึกไบโอบีโอดี อีกด้วย แชปไฟร์ ที่พบในตัวอย่าง Mk 28 แสดงลักษณะผลึกดอกแปร (Porphyroblastic Texture) (รูป 4.5(ข.)) ขนาด 5-12 มิลลิเมตร รูปผลึกกึ่งสมบรูณ์ – รูปผลึกสมบรูณ์ (Subhedral – Euhedral shape) และแร่สปิเนล ที่พบเฉพาะในตัวอย่าง Mk 28 พบผลึกขนาด 0.5 – 7 มิลลิเมตร ไร้รูปผลึก – รูปผลึกกึ่งสมบรูณ์ (Anhedral – Subhedral shape) จะพบการเรียงตัวเป็นแนวของผลึกแร่ขนาด 0.5 – 1 มิลลิเมตร (รูป 4.5(ง.)) แร่ไพรอกซีน ขนาด 4 – 8 มิลลิเมตร รูปผลึกกึ่งสมบรูณ์ (Subhedral shape) พบเฉพาะในตัวอย่าง Mk 55 พบแร่คลอไรต์เฉพาะในบางตัวอย่างศึกษา ขนาด 0.2 – 2 มิลลิเมตร ไร้รูปผลึก – รูปผลึกกึ่งสมบรูณ์ (Anhedral – Subhedral shape) แร่มัสโคไวท์ ขนาด 0.1 – 0.3 มิลลิเมตร ไร้รูปผลึก (Anhedral shape) และแร่ทึบแสง

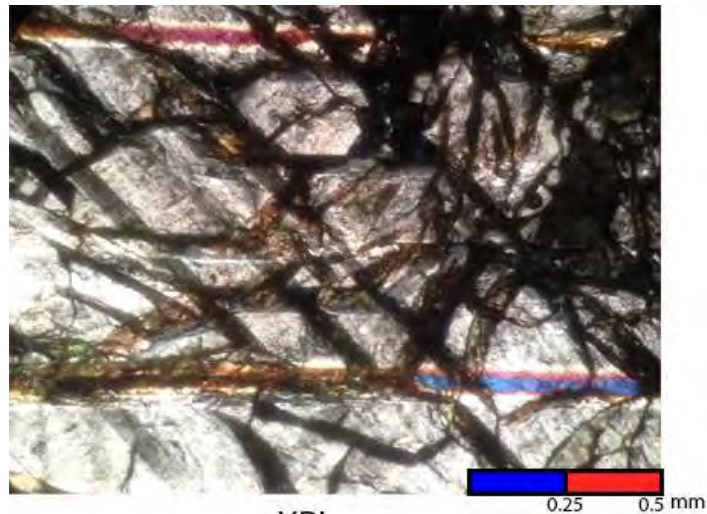


ก.



XPL

ข.



XPL

ค.

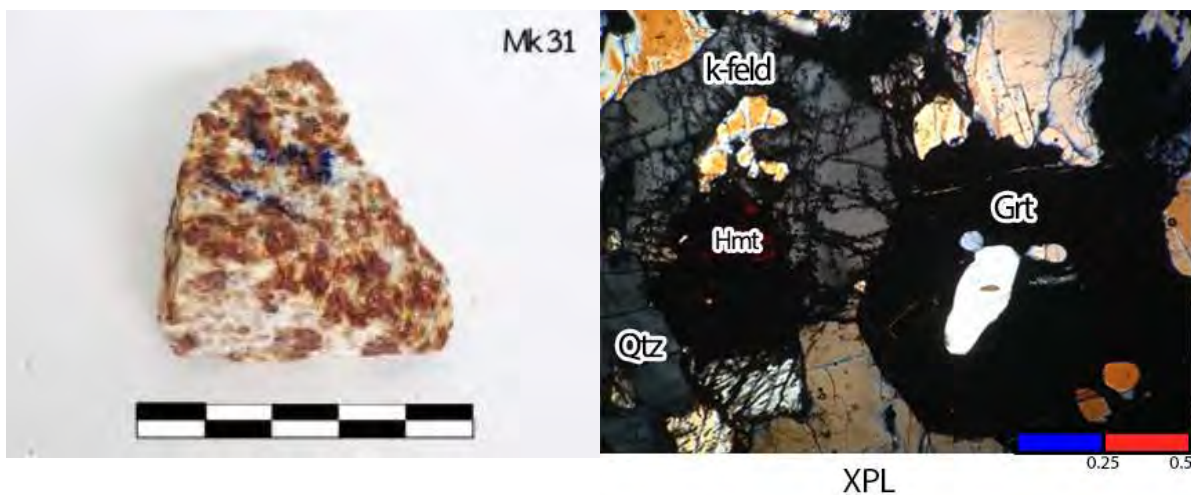
รูปที่ 4.5 (ก.) ตัวอย่างศึกษาของหิน โปโอไทต์ ไนส์ หมายเลข 28 (ข.) แซปไฟร์แสดงลักษณะเป็นผลึกดอกแปร (Porphyroblastic texture) ในตัวอย่าง Mk 28 (ค.) ลักษณะเนื้อเม็ดขนาดผสม (Heteroblastic Texture) และแร่สปิเนล (Sp) แสดงลักษณะผลึกดอกแปร (Porphyroblastic Texture)

กลุ่มที่ 3 การ์เนตไนส์

หินไนส์ในกลุ่มนี้มีแร่การ์เนตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ กลุ่มหินนี้ประกอบด้วยตัวอย่าง Mk 31 เพียงตัวอย่างเดียว โดยพบเนื้อหินไม่แสดงลักษณะริ้วลาย (Non-foliated texture) แร่การ์เนตเป็นผลึกดอกแปร (Porphyroblastic texture) มีขนาด 0.2 – 1.2 เซนติเมตร (รูปที่ 4.6)

แร่องค์ประกอบหลักของหินไนส์ในกลุ่มนี้ประกอบด้วย แร่ควอตซ์ประมาณ 30% - 35% แร่อัลคาไลน์ เฟลด์สปาร์ 15% - 20% แร่การ์เนต 40% - 45% และแร่ประกอบรองได้แก่ แร่มีสโคไวท์ ปริมาณน้อยกว่า 5%

ผลึกแร่แสดงลักษณะเนื้อผลึกเม็ดผสมขนาด (Heteroblastic Texture) แร่ควอตซ์ ขนาด 1 – 3 มิลลิเมตร แร่อัลคาไลน์ เฟลด์สปาร์ ขนาด 0.5 -2 มิลลิเมตร แร่การ์เนตแสดงลักษณะผลึกดอกแปร (Porphyroblastic Texture) ขนาด 3 – 12 มิลลิเมตร และเกิดเนื้อขอบปฏิกิริยา (Reaction rims) ของแร่ฮีมาไทต์ที่ขอบรอยแตกของ แร่การ์เนต



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างหิน การ์เนต ไนส์ หมายเลข (Mk 31) แสดงลักษณะเนื้อผลึกเม็ดผสมขนาด (Heteroblastic Texture) แร่การ์เนต (Grt) แสดงลักษณะเนื้อผลึกดอกแปร (Porphyroblastic Texture) และมีแร่ควอตซ์ (Qtz) เป็นผลึกมลทิน (Poikioblastic Texture) ในแร่การ์เนต (Grt) นอกจากนี้ยังพบการเกิดขอบแปรปฏิกิริยา (Reaction Rim) ของแร่ฮีมาไทต์ (Hmt) ที่ขอบแร่การ์เนต (Grt)

4.2 เคมีของหินทั้งก้อน

ตัวอย่างศึกษาทั้ง 10 ตัวอย่างจาก 3 กลุ่มภูฏานวิเคราะห์เคมีของหินทั้งก้อน ด้วยเครื่องมือ X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) ซึ่งค่าที่ได้นั้นจะออกมาในรูปของปริมาณออกไซด์ของธาตุต่างๆที่เป็นองค์ประกอบ (weight% oxide) ประกอบด้วย SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O และ K₂O (ดังแสดงในตาราง 4.1) จากการวิเคราะห์เคมีของหินทั้งก้อน (Whole-rock chemistry) พบว่า

หินไบโอไทต์คาร์เนตไนส์ ประกอบด้วย

SiO₂ 58.81 % - 69.31 % , TiO₂ 0.53 % - 2.52 % , Al₂O₃ 13.42 % - 20.60 % , Fe₂O₃ 2.55 % - 9.15 % , CaO 0.61 % - 2.18 % , MgO 0.27 % - 2.38 % , Na₂O 0.96 % - 1.67 % และ K₂O 0.99 % - 10.16 %

หินไบโอไทต์ไนส์ ประกอบด้วย

SiO₂ 56.52 % - 65.93 % , TiO₂ 0.32 % - 1.06 % , Al₂O₃ 15.11 % - 24.98 % , Fe₂O₃ 3.00 % - 3.95 % , CaO 0.99 % - 4.42 % , MgO 0.73 % - 1.89 % , Na₂O 3.30 % - 4.28 % และ K₂O 2.70% - 10.85 %

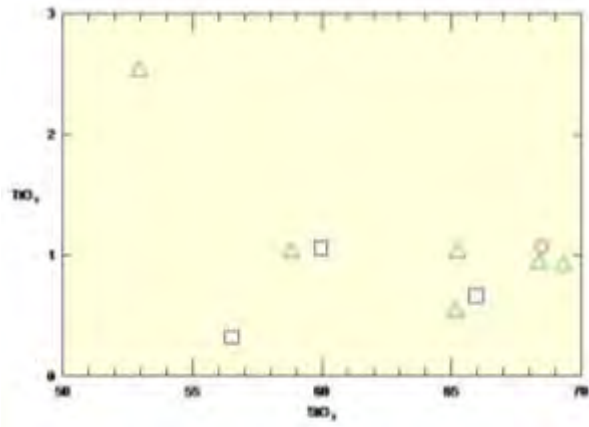
หินการ์เนตไนส์ ประกอบด้วย

SiO₂ 68.50 % , TiO₂ 1.61 % , Al₂O₃ 10.74 % , Fe₂O₃ 12.03 % , CaO 0.35 % , MgO 0.86% , Na₂O 0.51 % และ K₂O 3.20 %

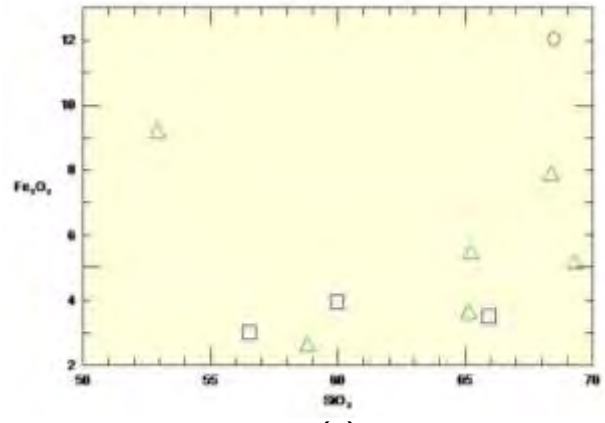
Harker Type Variation Diagram จากการใช้ข้อมูลผลวิเคราะห์ของ Major และ Minor Oxides เปรียบเทียบกับน้ำหนักเปอร์เซ็นต์ของ SiO₂ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นได้ว่าชุดข้อมูลตัวอย่างทั้งสามกลุ่มมีองค์ประกอบคล้ายคลึงกัน มีความสัมพันธ์ระหว่าง SiO₂ กับองค์ประกอบอื่นๆไม่ชัดเจน แต่พบแนวโน้มความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่าง SiO₂ กับ Al₂O₃ และ K₂O + Na₂O หรือปริมาณอัลคาไลน์รวมซึ่งแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยขององค์ประกอบแบบเฟลสิกันนั่นเอง นอกจากนี้ยังพบลักษณะการแปรผันตามระหว่าง SiO₂ กับ Fe₂O₃

ตาราง 4.1 แสดงผลวิเคราะห์ XRF ของเคมีของหินทั้งก้อน (whole-rock chemistry)

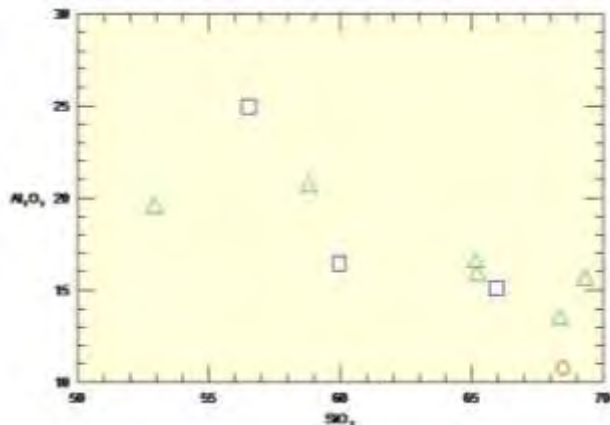
	1.Biotite-Grt Gneiss						2.Biotite Gneiss			3.Garnet Gneiss	
	Mk 43	Mk 48	Mk 50	Mk53	Mk 56	Mk 66	Mk 27	Mk 28	Mk 55	Mk 31	
SiO ₂	58.81	65.22	52.94	69.31	68.37	65.13	65.93	56.51	59.96		68.50
TiO ₂	1.02	1.02	2.52	0.92	0.93	0.53	0.67	0.32	1.06		1.07
Al ₂ O ₃	20.60	15.77	19.45	15.56	13.42	16.48	15.11	24.98	16.45		10.74
Fe ₂ O ₃	2.55	5.41	9.15	5.13	7.83	3.57	3.49	3.00	3.95		12.03
CaO	0.61	1.34	2.10	2.18	1.60	1.75	4.42	1.77	0.98		0.35
MgO	0.27	1.52	2.38	0.60	2.21	0.84	1.32	0.73	1.68		0.86
Na ₂ O	0.96	1.67	0.97	1.56	1.43	2.78	3.58	4.28	3.30		0.51
K ₂ O	10.16	5.49	4.96	0.99	2.76	7.64	2.70	7.62	10.84		3.20
LOI	3.93	1.57	2.67	2.21	1.13	0.90	1.77	0.43	0.83		1.93
Total	98.91	99.01	97.14	98.45	99.69	99.62	98.98	99.65	99.07		99.19



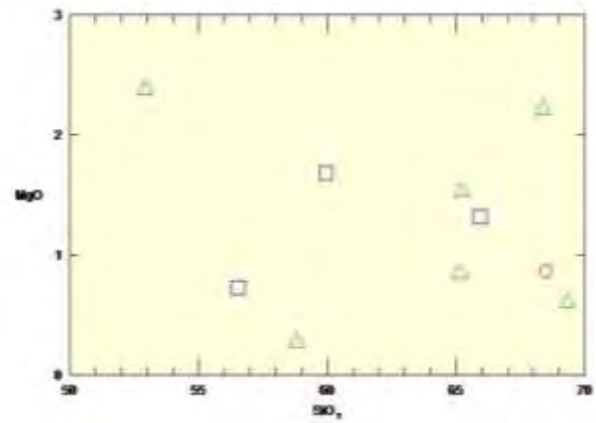
(ก)



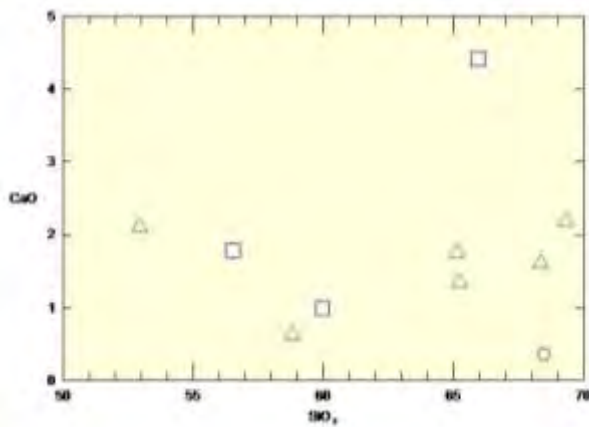
(ข)



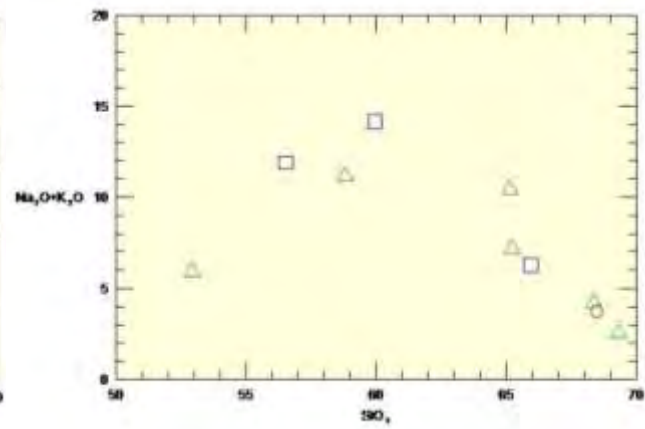
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

- △ Bio - Grt Gniess
- Bio - Gniess
- Grt - Gniess

รูปที่ 4.7 Harker Variation Diagram ของ Major และ Minor Oxides เปรียบเทียบกับ SiO₂

4.3 เคมีของแร่

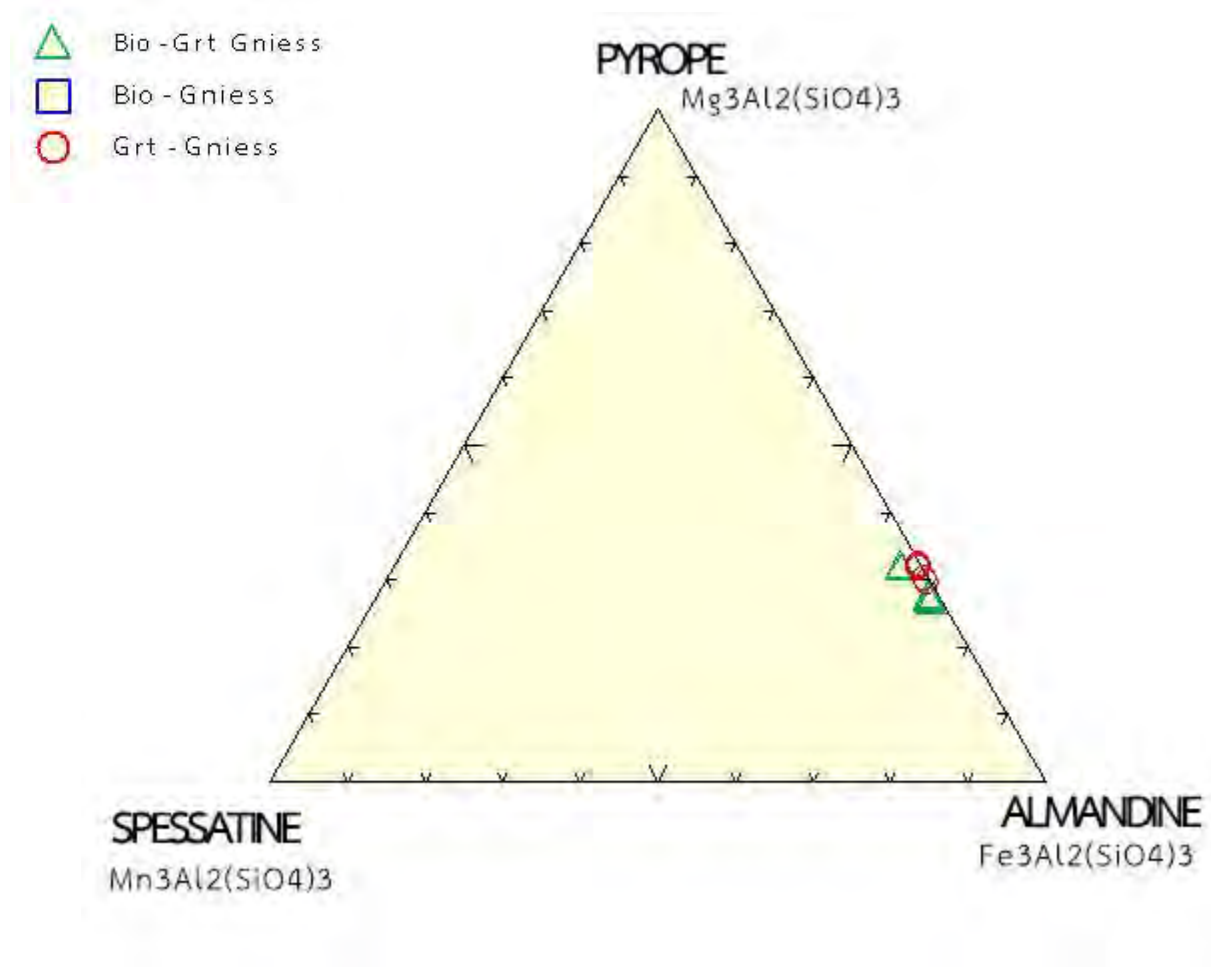
ผลวิเคราะห์เคมีของแร่ โดยเครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA) ของแร่การ์เนต จากตัวอย่างกลุ่ม ไบโอบีโอดีการ์เนตไนส์ และกลุ่มการ์เนตไนส์ (ตารางที่ 4.2) แร่กลุ่มเฟลด์สปาร์ซึ่งพิจารณาเป็น 2 กลุ่มคือ แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ และ อัลคาไลน์เฟลสปาร์ จากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่าง (ตารางที่ 4.3 และ 4.4) และ แร่ไบโอบีโอดี จากตัวอย่างกลุ่ม ไบโอบีโอดีการ์เนตไนส์ และ ไบโอบีโอดีไนส์ (ตารางที่ 4.5)

จาก

ตารางที่ 4.2 ผลวิเคราะห์เคมีของแร่แกรนิต จากกลุ่มตัวอย่าง ไบโอไทท์แกรนิตในส์ และ ไบโอไทท์ในส์

	1. Bio-Grt. Guess										3. Grt. Guess			
	43-1	43-2	43-4	43-5	66-2	66-5	51-1	51-2	51-3	51-4	51-5	12(O)	12(O)	12(O)
SiO ₂	38.44	38.22	38.22	38.77	38.63	37.01	37.04	38.36	38.87	39.15	39.00			
TiO ₂	0.02	0.03	0.03	0.05	0.04	0.01	0.03	0.04	0.05	0.02	0.08			
Al ₂ O ₃	22.26	22.45	22.45	22.36	22.34	21.76	21.90	21.85	21.85	21.81	21.89			
Fe _{total}	30.21	30.16	30.16	30.83	30.43	29.84	29.46	29.49	29.97	29.33	29.65			
MnO	0.61	0.72	0.72	0.72	0.70	1.32	1.35	0.15	0.13	0.17	0.18			
MgO	6.49	6.31	6.31	6.33	6.44	7.96	7.96	7.91	7.93	7.18	7.01			
CaO	1.27	1.21	1.21	1.17	1.28	0.85	0.85	1.45	1.64	1.49	1.55			
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.03	0.04	0.00	0.03	0.01			
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00			
Total	99.30	99.09	99.09	100.24	99.87	98.78	98.62	99.29	100.42	99.18	99.38			
Formula	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)			
Si	3.014	3.004	3.004	3.017	3.014	2.934	2.936	2.998	3.006	3.053	3.042			
Al	2.057	2.079	2.079	2.050	2.054	2.033	2.046	2.012	1.991	2.004	2.012			
Ti	0.001	0.002	0.002	0.003	0.003	0.000	0.002	0.002	0.003	0.001	0.005			
Fe _{total}	1.980	1.982	1.982	2.006	1.985	1.978	1.952	1.927	1.938	1.913	1.933			
Mn	0.041	0.048	0.048	0.047	0.046	0.089	0.091	0.010	0.008	0.011	0.012			
Mg	0.757	0.758	0.758	0.753	0.748	0.940	0.940	0.920	0.913	0.835	0.815			
Ca	0.106	0.102	0.102	0.098	0.107	0.072	0.072	0.121	0.135	0.124	0.130			
Na	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.004	0.004	0.006	0.000	0.004	0.002			
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000			
Total	7.957	7.954	7.954	7.955	7.958	8.051	8.042	7.997	7.995	7.946	7.949			

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์เคมีของแร่การ์เนตของกลุ่มหินไบโอไทต์การ์เนตไนส์ และการ์เนตไนส์สามารถนำข้อมูลมาพลอตลงแผนภูมิ 3 องค์ประกอบ (รูปที่ 4.8) พบว่าการ์เนตจากทั้งสองกลุ่มหิน มีองค์ประกอบเป็น อัลมันดีน - ไพโรป การ์เนต ซึ่งการ์เนตจากกลุ่มหินไบโอไทต์การ์เนตไนส์ มีอัตราส่วน Fe : Mg คือ 65%-70% : 30%-35% และกลุ่มแร่การ์เนตไนส์ มีอัตราส่วน Fe : Mg คือ 70% : 30% ซึ่งการ์เนตทั้งสองกลุ่มมีองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.8 แผนภูมิ 3 องค์ประกอบของไพโรป สเปสซาทีน และอัลมันดีน

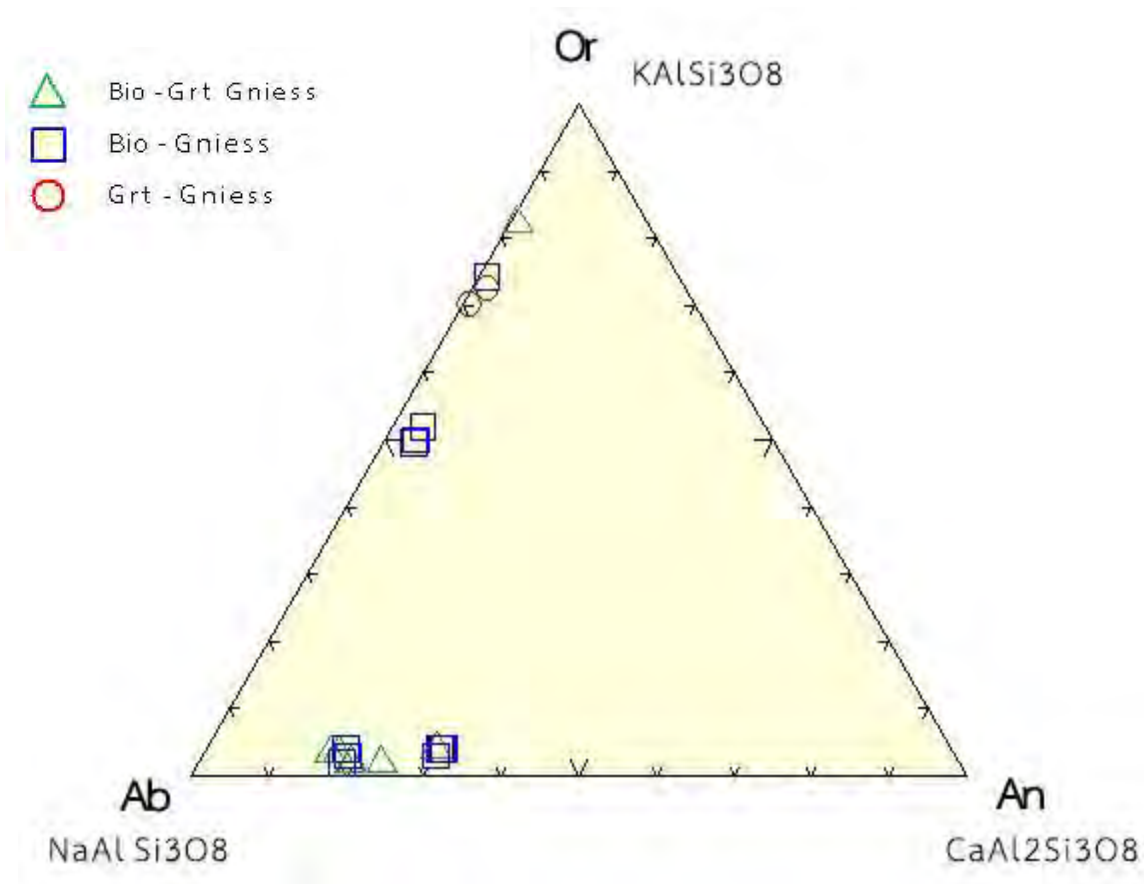
ตารางที่ 4.3 ผลวิเคราะห์เคมีของแร่เฟลด์สปาร์ กลุ่มแพลสิโอเคลสเฟลด์สปาร์ จากกลุ่มตัวอย่าง ไบโอเทคกรีนไดโนส และ ไบโอไทฟไดโนส

	Biotite-Garnet Gniess					Biotite Gniess						
	43-2	43-3	48-2	48-3	66-2	66-3	27-1	27-2	27-3	27-4	28-4	28-5
SiO ₂	65.98	65.98	67.21	66.58	64.46	64.72	60.53	62.28	60.62	60.08	66.58	65.21
TiO ₂	0.01	0.01	0.03	0.02	0.00	0.01	0.02	22.89	0.02	0.01	0.00	0.03
Al ₂ O ₃	20.25	20.25	20.06	20.63	20.08	20.12	24.70	0.00	24.72	24.75	20.06	20.91
Fe _{Total}	0.04	0.04	0.02	0.07	0.02	0.02	0.05	0.08	0.08	0.00	0.00	0.07
MnO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
CaO	5.09	5.09	3.28	3.31	4.33	4.32	6.21	6.29	6.39	6.23	4.03	3.95
Na ₂ O	8.99	8.99	8.73	8.59	9.74	9.64	7.60	7.73	7.69	7.68	9.66	9.23
K ₂ O	0.43	0.43	0.58	0.60	0.40	0.33	0.72	0.61	0.76	0.74	0.39	0.47
Total	100.79	100.81	99.91	99.80	99.06	99.16	99.82	99.91	100.30	99.48	100.73	99.86
Formular	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)
Si	2.90	2.90	2.95	2.93	2.88	2.89	2.701	2.772	2.697	2.693	2.918	2.883
Al	1.05	1.05	1.04	1.07	1.06	1.06	1.299	1.200	1.296	1.307	1.036	1.089
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
Fe _{Total}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.002	0.003	0.003	0.000	0.000	0.003
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Ca	0.24	0.24	0.15	0.16	0.21	0.21	0.297	0.300	0.304	0.299	0.189	0.187
Na	0.76	0.76	0.74	0.73	0.84	0.83	0.658	0.667	0.663	0.667	0.820	0.791
K	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.041	0.034	0.043	0.042	0.022	0.026
Total	4.97	4.97	4.92	4.92	5.02	5.01	4.998	4.978	5.008	5.008	4.985	4.980

ตารางที่ 4.4 ผลวิเคราะห์เคมีของแร่เฟลด์สปาร์ กลุ่มอัลคาไลอัมเฟลด์สปาร์ จากกลุ่มตัวอย่าง ไบโอไทต์กรีนไดไนส์ ไบโอไทต์กรีนไดไนส์ และการ์เนตไดไนส์

	Bio-Grt Gneiss			Biotite Gneiss					Garnet Gneiss	
	66-1	66-3	8(O)	28-3	28-4	28-5	55-4	55-5	31-1	31-2
SiO ₂	64.09	63.43		64.72	64.93	64.89	64.02	64.08	63.99	63.54
TiO ₂	0.02	0.01		0.07	0.04	0.06	0.02	0.02	0.03	0.05
Al ₂ O ₃	19.58	19.66		19.87	19.95	19.98	19.60	19.82	19.53	19.60
Fe _{total}	0.05	0.07		0.03	0.00	0.02	0.77	0.09	0.00	0.03
MnO	0.00	0.00		0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
MgO	0.02	0.01		0.00	0.01	0.00	0.25	0.01	0.00	0.00
CaO	0.12	0.04		0.78	0.87	0.79	0.12	0.04	0.30	0.35
Na ₂ O	1.69	2.06		5.16	5.40	5.33	2.75	3.10	3.27	2.85
K ₂ O	14.04	14.20		9.10	8.75	8.84	12.26	12.48	12.00	12.58
Total	99.61	99.48		99.72	99.94	99.91	99.79	99.63	99.12	99.00
Formular	8(O)	8(O)		8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)
Si	2.953	2.937		2.937	2.936	2.935	2.938	2.941	2.947	2.939
Al	1.063	1.073		1.062	1.063	1.065	1.060	1.072	1.060	1.068
Ti	0.001	0.000		0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002
Fe _{total}	0.002	0.003		0.001	0.000	0.001	0.029	0.003	0.000	0.001
Mn	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.001	0.001		0.000	0.000	0.000	0.017	0.001	0.000	0.000
Ca	0.006	0.002		0.038	0.042	0.038	0.006	0.002	0.015	0.017
Na	0.150	0.185		0.454	0.473	0.467	0.245	0.275	0.292	0.255
K	0.825	0.838		0.527	0.505	0.510	0.717	0.730	0.705	0.742
Total	5.002	5.038		5.020	5.021	5.019	5.013	5.025	5.020	5.024

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 ผลการวิเคราะห์เคมีของแร่กลุ่มแพลจิโอเคลสของกลุ่มหินไบโอไทต์การ์เนตไนส์และกลุ่มหินไบโอไทต์ไนส์ และแร่อัลคาไลน์เฟลด์สปาร์ จากทั้งสามกลุ่มหินสามารถนำมาพลอตลงแผนภูมิ 3 องค์ประกอบ ของ อัลไบต์ ออร์โทเคลส และอะนอร์ไทต์ (รูปที่ 4.9)



รูปที่ 4.9 แผนภูมิสามองค์ประกอบ อัลไบต์ ออร์โทเคลส และ อะนอร์ไทต์

จากแผนภูมิสามองค์ประกอบ อัลไบต์ ออร์โทเคลส และ อะนอร์ไทต์ (รูปที่ 4.9) พบว่า แร่กลุ่มแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ที่พบในกลุ่มหินไบโอไทต์ไนส์การ์เนตเป็นแร่โอลิโกเคลส ซึ่งมี An Content ประมาณ 20% - 30% แร่กลุ่มแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ที่พบในกลุ่มหินไบโอไทต์ไนส์ เป็นแร่โอลิโกเคลส ซึ่งมี An Content ประมาณ 20% - 30% แร่กลุ่มอัลคาไลน์เฟลด์สปาร์ที่พบในกลุ่มหินไบโอไทต์การ์เนตไนส์ เป็นแร่ออร์โทเคลส ซึ่งมีสัดส่วน % Or ค่อนข้างสูงถึง 80% แร่กลุ่มอัลคาไลน์เฟลด์สปาร์ที่พบในกลุ่มหินไบโอไทต์ไนส์ เป็นแร่ไมโครไคลน์

และออร์โทเคลส ซึ่งมี % Or 50%-55% และ 70% ตามลำดับ และแร่กลุ่มอัลคาไลน์เฟลด์สปาร์ที่พบในกลุ่มการ์เนตไนส์ เป็นแร่ออร์โทเคลส ซึ่งมี % Or ประมาณ 70%

สำหรับองค์ประกอบของแร่ไบโอไทต์ แสดงในตารางที่ 4.5 มีองค์ประกอบที่ค่อนข้างหลากหลาย แม้จะอยู่ในกลุ่มหินเดียวกัน น่าจะสัมพันธ์กับปฏิกิริยาหินแปรหลายกระบวนการซึ่งควรจะมีการศึกษาในรายละเอียดต่อไป

ตารางที่ 4.5 ผลวิเคราะห์เคมีของแร่ไบโอไทต์ จากหินไบโอไทต์แกรนิตไบส และ ไบโอไทต์ไบส

	Biotite-Garnet Gneiss							Biotite Gneiss			
	43-5	48-3	48-4	66-1	66-2	66-4	27-5	55-1	55-5	55-7	
SiO ₂	37.58	38.68	38.27	36.73	35.42	35.58	36.60	40.50	39.58	40.66	
TiO ₂	7.35	6.49	6.27	2.21	2.09	2.13	9.54	0.79	0.89	0.15	
Al ₂ O ₃	17.15	16.72	16.19	18.66	19.64	20.62	13.85	17.02	17.09	17.01	
Fe _{total}	16.36	12.71	13.83	22.80	22.96	22.27	18.72	7.78	7.68	7.76	
MnO	0.02	0.03	0.02	0.10	0.07	0.15	0.02	0.12	0.07	0.10	
MgO	10.60	15.16	14.46	8.69	8.62	8.50	9.77	22.66	22.87	22.99	
CaO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	
Na ₂ O	0.14	0.17	0.14	0.18	0.15	0.13	0.10	0.37	0.40	0.32	
K ₂ O	9.00	9.05	9.65	9.45	9.66	9.61	9.65	9.76	9.85	9.51	
Total	98.21	99.01	98.83	98.82	98.61	98.99	98.24	99.00	98.43	98.54	
Formula	10(O)	10(O)	10(O)	10(O)	10(O)	10(O)	10(O)	10(O)	10(O)	10(O)	
Si	2.474	2.482	2.485	2.481	2.408	2.396	2.465	2.544	2.506	2.560	
Al	1.330	1.264	1.239	1.485	1.574	1.637	1.099	1.260	1.275	1.262	
Ti	0.364	0.313	0.306	0.112	0.107	0.108	0.483	0.037	0.042	0.007	
Fe _{total}	0.900	0.682	0.751	1.287	1.305	1.254	1.054	0.409	0.407	0.409	
Mn	0.001	0.001	0.001	0.006	0.004	0.008	0.001	0.006	0.004	0.005	
Mg	1.040	1.449	1.399	0.874	0.873	0.853	0.980	2.120	2.157	2.156	
Ca	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	
Na	0.017	0.022	0.017	0.024	0.020	0.016	0.013	0.045	0.049	0.040	
K	0.756	0.740	0.799	0.814	0.837	0.825	0.828	0.782	0.795	0.764	
Total	6.883	6.954	6.997	7.083	7.127	7.098	6.923	7.202	7.236	7.204	

บทที่ 5

อภิปรายผลการศึกษา

บทที่ 5

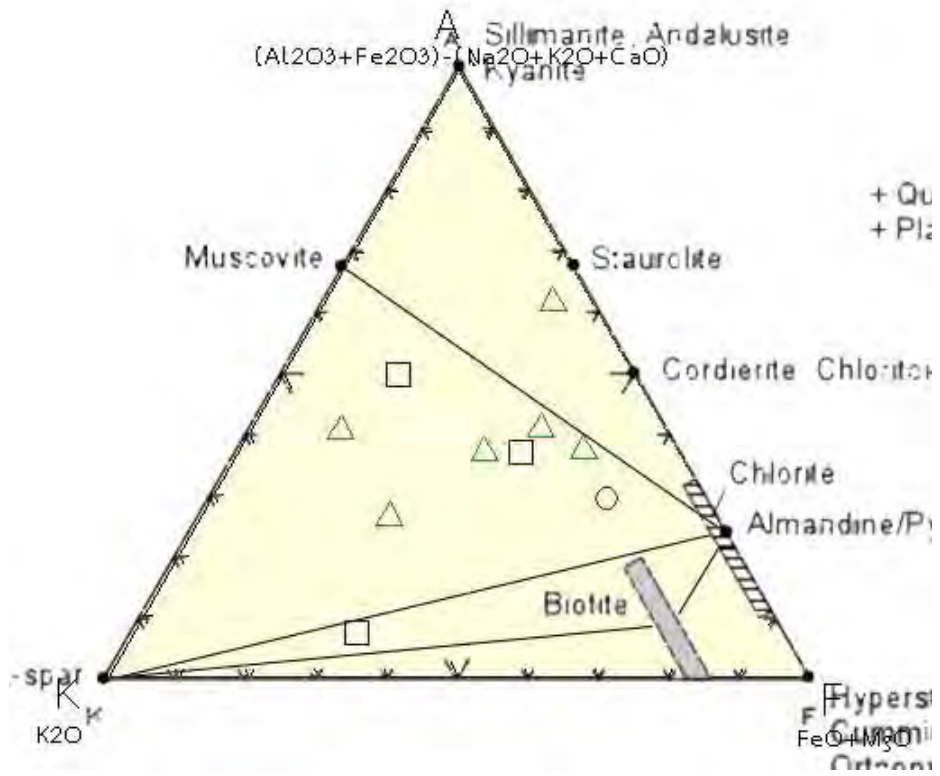
อภิปรายผลการศึกษา

5.1 กำเนิดหินไนส์

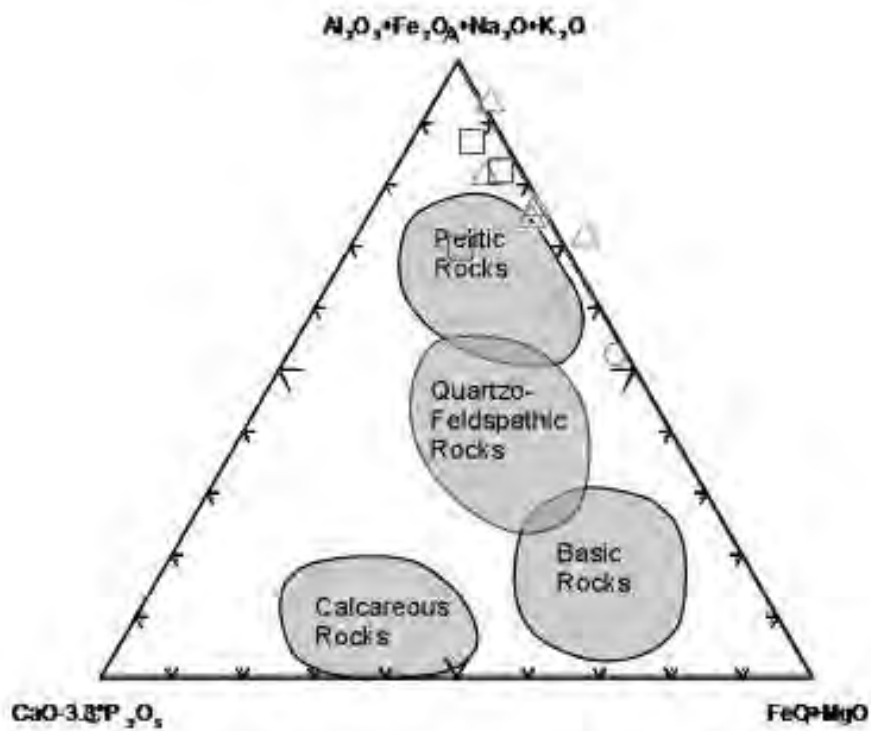
หินไนส์จากบริเวณแนวหินโมกก เมียนมาร์ นั้นสามารถแบ่งโดยใช้แร่องค์ประกอบของหินออกเป็น 3 กลุ่ม ประกอบด้วย ไบโอไทต์การ์เนตไนส์ ไบโอไทต์ไนส์ และ การ์เนตไนส์ หินทั้งสามกลุ่มมีแร่องค์ประกอบ ธรรมิเคมีของหินที่คล้ายคลึงกัน โดยมีแร่องค์ประกอบหลักคือ ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ ที่พบเหมือนกันทุกกลุ่มตัวอย่าง ส่วนไบโอไทต์ พบเฉพาะในกลุ่มไบโอไทต์การ์เนตไนส์และกลุ่มไบโอไทต์ไนส์ การ์เนตพบเฉพาะในไบโอไทต์การ์เนตไนส์ และการ์เนตไนส์ นอกจากนี้ยังพบ แชนไพร์ และสปิเนลในกลุ่มหินไบโอไทต์ไนส์อีกด้วย และมัสโคไวท์ คลอไรด์ รูไทล์ เป็นแร่ประกอบรองที่พบในปริมาณไม่มากนัก

จากผลวิเคราะห์เคมีของหินทั้งก้อน สามารถลงจุดในไดอะแกรม AKF เพื่อหาชุดหินการแปรสภาพ ซึ่งได้ผลว่าหินไนส์จากบริเวณแนวหินโมกก อยู่ในชุดหินแอมฟิโบลิต์ตอนบน (รูปที่ 5.1) และนำผลวิเคราะห์เคมีของหินทั้งก้อนไปลงจุดในไดอะแกรม ACF จะได้ข้อมูลหินต้นกำเนิดของหินไนส์คือหินตะกอนละเอียด (Pelitic rocks) (รูป 5.2)

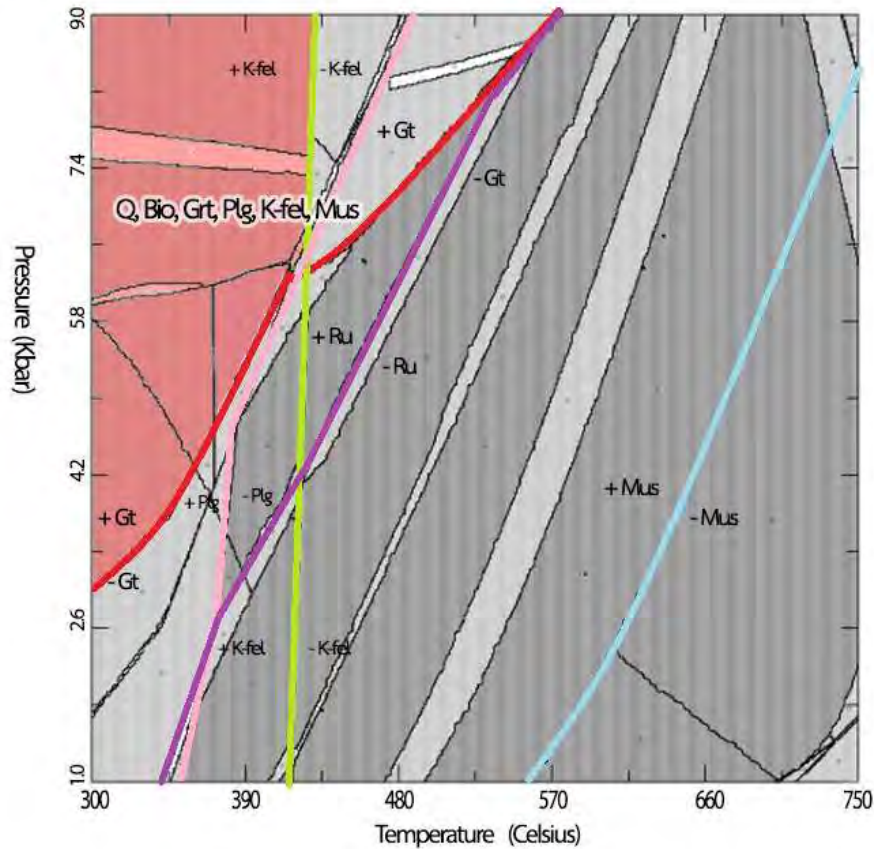
จากข้อมูลสิลาบรรณาและผลวิเคราะห์เคมีของหินทั้งก้อนทำให้ทราบอุณหภูมิและความดันของการแปรสภาพของหินไนส์ โดยพบว่า อุณหภูมิสำหรับการเกิดหินไนส์ ในแนวหินโมกกอยู่ที่ 300 -750 องศาเซลเซียส และความดันอยู่ที่ 2.4 – 9.0 กิโลบาร์ ซึ่งจัดอยู่ในชุดหินกรีนชีสต์ อีพิโดต-แอมฟิโบลิต์ ถึง แกรนูลิต์ ซึ่งชุดหินที่ได้จากข้อมูลสิลาบรรณาและผลวิเคราะห์เคมีของหินทั้งก้อนนั้นมีขอบเขตที่กว้างกว่าข้อมูลที่ได้จากลงจุดไดอะแกรม AKF น่าจะเป็นผลมาจากความหลากหลายของสภาพอุณหภูมิและความดันในการแปรสภาพหลายขั้นตอน เนื่องจากบริเวณแนวหินโมกกมีความซับซ้อนทางธรณีวิทยาสูง และมีบริเวณค่อนข้างกว้างใหญ่จึงน่าจะเป็นเหตุผลที่ทำให้มีชุดหินแปรแตกต่างกันไปในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง แต่ถึงอย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่ได้ก็สอดคล้องไปในทางเดียวกัน



รูปที่ 5.1 AKF Diagram ซึ่งแสดงแร่ประกอบหินอยู่ในชุดหินแปรแอมฟิโบลิตตอนบน

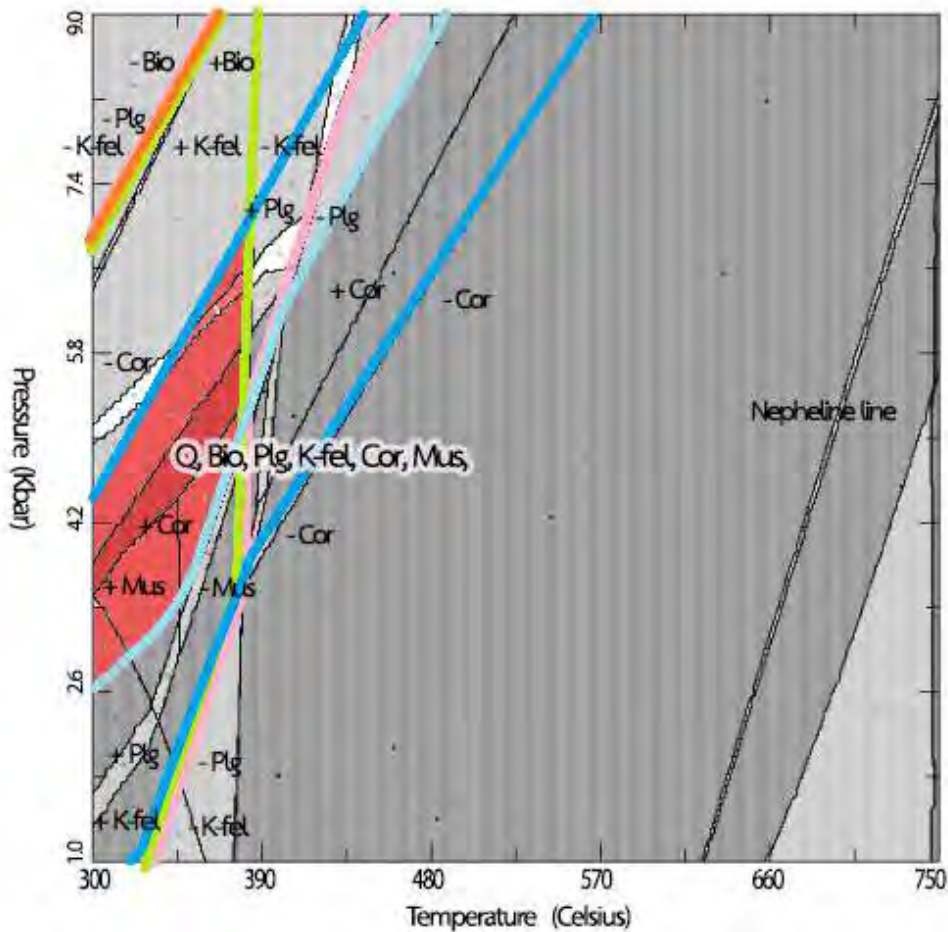


รูปที่ 5.2 ACF Diagram แสดงหินต้นกำเนิดของหินไนส์ซึ่งอยู่ในช่วง Pelitic rocks



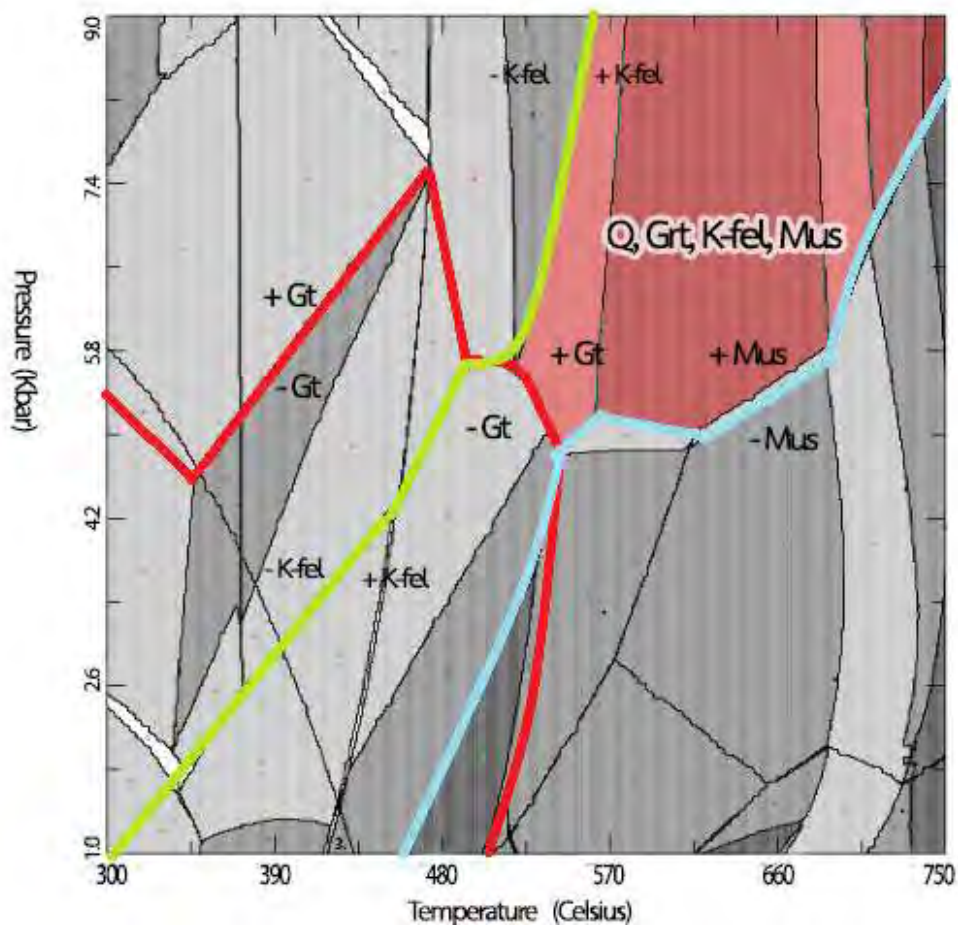
รูป 5.3 Pseudosection จากผลวิเคราะห์เคมีของหินทั้งก้อน ของตัวอย่าง Mk 48

Pseudosection ของตัวอย่าง Mk 48 ซึ่งเลือกเป็นตัวแทนข้อมูลของกลุ่มหินไบโอไทต์การ์เนตไนส์ แสดงความเป็นไปได้ในการเกิดแร่ประกอบหินที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ซึ่งจากการศึกษาสิลาวรรณของตัวอย่าง Mk 48 พบว่าแร่ประกอบหินของตัวอย่าง Mk 48 ได้แก่ ควอตซ์ (Q) ไบโอไทต์ (Bio) แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ (Plg) อัลคาไลน์เฟลด์สปาร์ (K-fel) การ์เนต (Gt) มัสโคไวท์ (Mus) และรูไทล์ (Ru) และเส้นบอกขอบเขตสมดุลการเกิดแร่ชนิดต่างๆ แทนด้วยสีต่างกัน การ์เนตแทนด้วยสีแดง แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์แทนด้วยสีชมพู อัลคาไลน์เฟลด์สปาร์แทนด้วยสีเขียว รูไทล์แทนด้วยสีม่วง มัสโคไวท์แทนด้วยสีฟ้า ไบโอไทต์และควอตซ์ไม่แสดงเส้นบอกขอบเขตสมดุลเพราะสามารถเกิดได้ทุกสมดุล ช่วงอุณหภูมิและความดันของสมดุลของแร่ประกอบหินกลุ่มนี้อยู่ในช่วง 300 – 490 องศาเซลเซียส และ 2.4 – 9.0 กิโลบาร์ แสดงตำแหน่งในพื้นที่สีแดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.4 แสดง Pseudosection จากผลวิเคราะห์เคมีของหินทั้งก้อน ของตัวอย่าง Mk 28

Pseudosection ของตัวอย่าง Mk 28 ซึ่งเลือกเป็นตัวแทนข้อมูลของกลุ่มไบโอไทต์ไนส์ แสดงความเป็นไปได้ในการเกิดแร่ประกอบหินที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ซึ่งจากการศึกษาตีลาวรรณาของตัวอย่าง 48 พบว่าแร่ประกอบหินของตัวอย่าง Mk 48 ได้แก่ ควอตซ์ (Q) แพลจิโอเคลสเฟลสปาร์ (Plg) อัลคาลีนเฟลสปาร์ (K-feld) มัสโคไวท์ (Mus) แซปไฟร์ (Cor) สปิเนล (Sp) และมัสโคไวท์ (Mus) เส้นบอกขอบเขตสมดุลการเกิดแร่ต่างๆ แทนด้วยสีต่างกัน ไบโอไทต์แทนด้วยสีส้ม แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์แทนด้วยสีชมพู อัลคาลีนเฟลด์สปาร์แทนด้วยสีเขียว มัสโคไวท์แทนด้วยสีฟ้า แซปไฟร์แทนด้วยเส้นสีน้ำเงิน ซึ่งพื้นที่ที่เกิดสมดุลของแร่ประกอบหินกลุ่มนี้อยู่พื้นที่สีแดงของรูปกราฟ คืออยู่ในช่วง 300 -390 องศาเซลเซียส และมีช่วงความดันอยู่ในช่วง 5.0 – 7.0 กิโลบาร์



รูปที่ 5.5 Pseudosection จากผลวิเคราะห์เคมีของหินทั้งก้อน ของตัวอย่าง Mk 31

Pseudosection ของตัวอย่าง Mk 31 ซึ่งเลือกเป็นข้อมูลของกลุ่มการเนตไนส์ แสดงความเป็นไปได้ในการเกิดแร่ประกอบหินที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ซึ่งจากการศึกษาสิลาวรรณของตัวอย่าง 31 พบว่าแร่ประกอบหินของตัวอย่าง Mk 48 ได้แก่ ควอตซ์ (Q) อัลคัลไลน์เฟลสปาร์ (K-feld) การเนต (Gt) มัสโคไวท์ (Mus) และเส้นบอกขอบเขตสมดุลการเกิดแร่ชนิดต่างๆ แทนด้วยสีต่างกัน การเนตแทนด้วยเส้นสีแดง อัลคัลไลน์เฟลด์สปาร์แทนด้วยสีเขียว มัสโคไวท์แทนด้วยสีฟ้า ซึ่งพื้นที่ที่เกิดสมดุลของแร่ประกอบหินกลุ่มนี้อยู่ที่สีแดงของรูปกราฟ คืออยู่ในช่วง 500 -750 องศาเซลเซียส และมีช่วงความดันอยู่ในช่วง 5.0 – 9.0 กิโลบาร์

เอกสารอ้างอิง

สิริลักษณ์ ผาจันทร์, 2556. ศีลาบรรณและธรณีเคมีของหินไนส์ บริเวณโมกก ประเทศพม่า, กรุงเทพฯ, หน้า 1-32.

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 Asia Earth Sciences* 19, 649-659

Chhibber, H.L., 1934. *The Geology of Burma*. Macmillan, London, p.538.

Gia.edu, 2015. Blue Sapphires from the Baw Mar Mine in Mogok | Gems & Gemology. [online] Available at: <http://www.gia.edu/gems-gemology/WN13-Karampelas-Blue-Sapphires-Mogok> [Accessed 25 Nov. 2015].

Iyer, L.A.N., 1953. *The geology and gem-stones of the Mogok Stone Tract, Burma*.

Mitchell, A., Htay, M., Htun, K., Win, M., Oo, T. and Hlaing, T., 2007. Rock relationships in the Mogok metamorphic belt, Tatkon to Mandalay, central Myanmar. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29(5-6), pp.891-910.

Myint Lwin Thein, Ohn Myint and Sun Kyi., 1988. *Geology and stratigraphy of the metamorphosed Palaminerals.com, 2015. Palaminerals.com: Mogok Stone Tract Ch. 1 & 2*. [online] Available at: <http://www.palaminerals.com/mogok.php> [Accessed 13 Oct. 2015]

Searle, D.L., Ba Than Haq, 1964. The Mogok belt of Burma and its relation to the Himalayan orogeny. In: *Proceedings of the 22nd International Geological Conference*, vol. 11. Delhi, pp.132-161.

Searle, M., Noble, S., Cottle, J., Waters, D., Mitchell, A., Hlaing, T. and Horstwood, M., 2007.

Tectonic evolution of the Mogok metamorphic belt, Burma (Myanmar) constrained by

U- Th- Pb dating of metamorphic and magmatic rocks. *Tectonics*, 26(3), p.1-24.

Themelis T., 2008. Gems and Mines of Mogok. Thailand, 52, 15-67

ภ า ค ผ น ว ก ก .
ร ู ป ตั ว อ ย่ า ง ศี ก ษ า

รูปตัวอย่างศึกษาที่ไม่ได้ใส่ในบทที่ 4

กลุ่มหินไบโอไทต์คาร์เนตไนส์

Mk 53



Mk 56



ตัวอย่างกลุ่มหินไบโอไทต์ไนส์

Mk 27



Mk 55



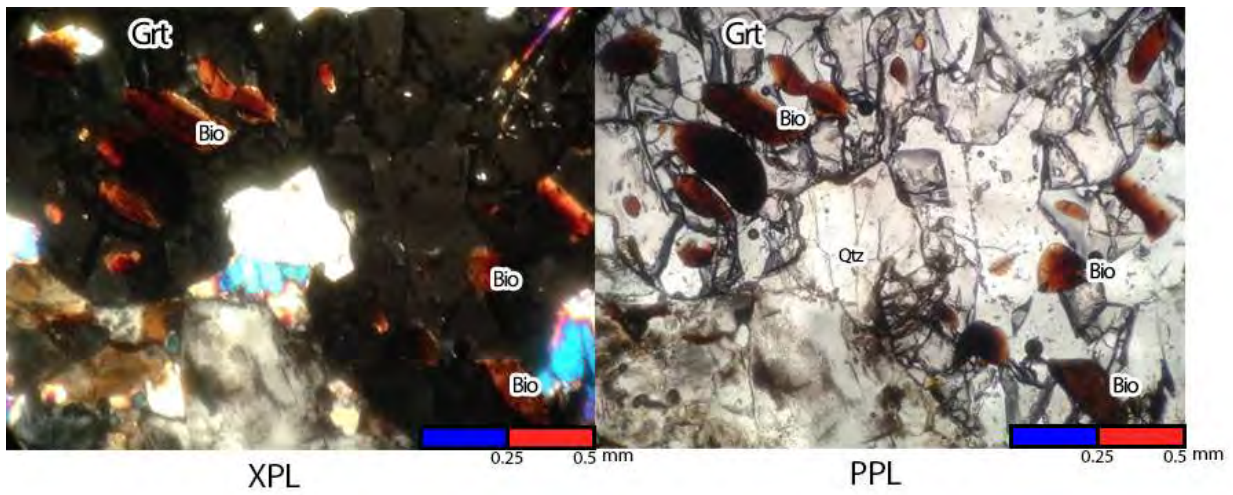
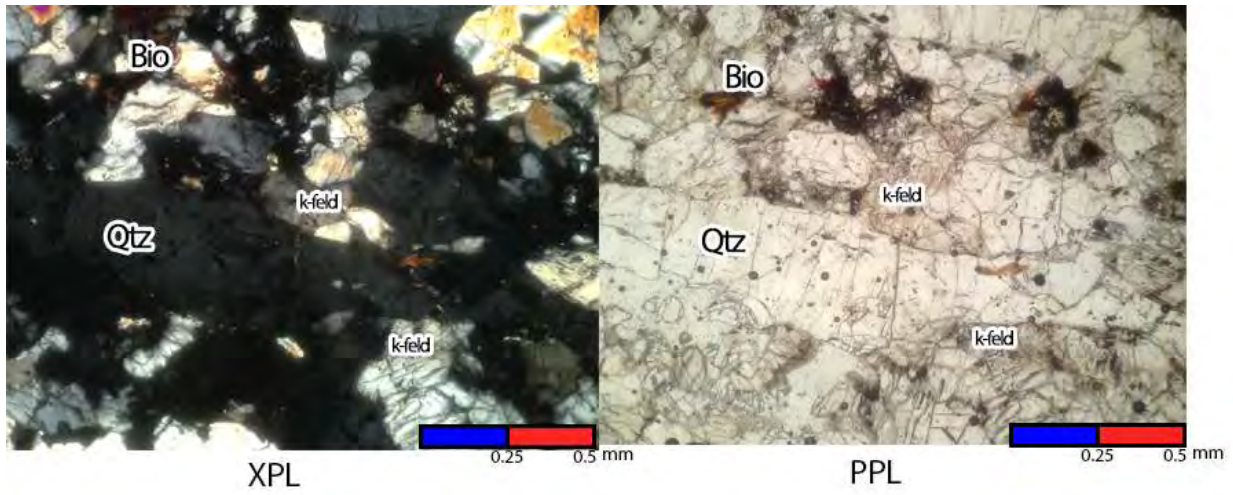
ภ า ค ผ น ว ก ข.

ร ู ป จ า ก แ ผ น หิ น บ า ง

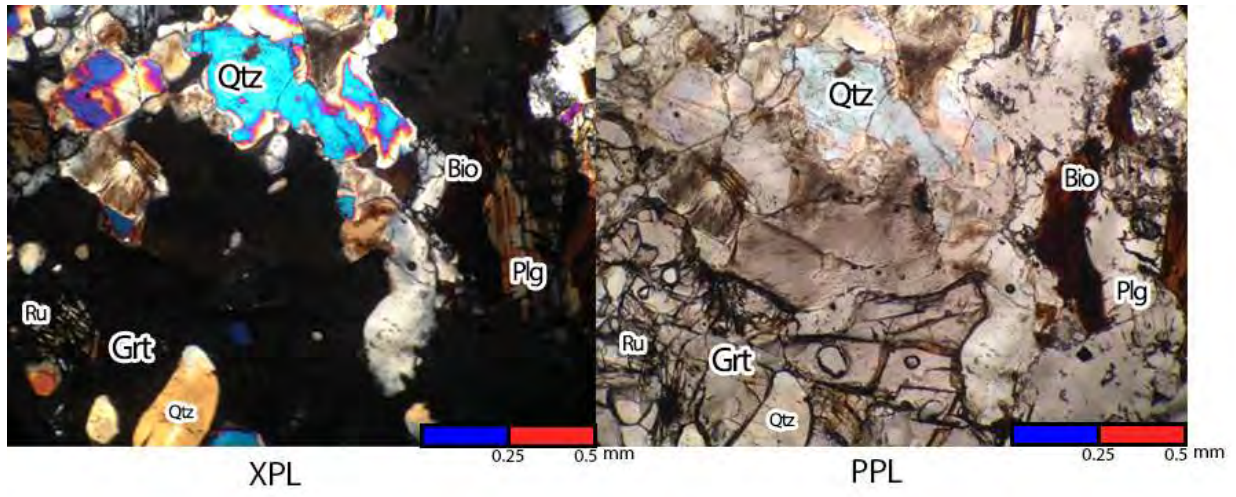
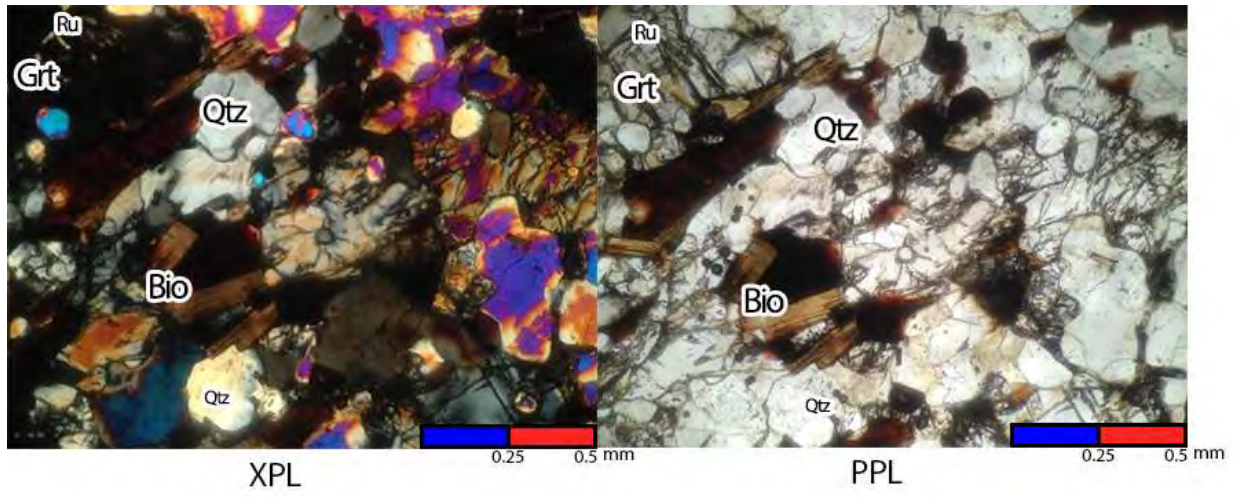
ศิลาวรรณนา

กลุ่มหินไบโอไทต์การ์เนตไนส์

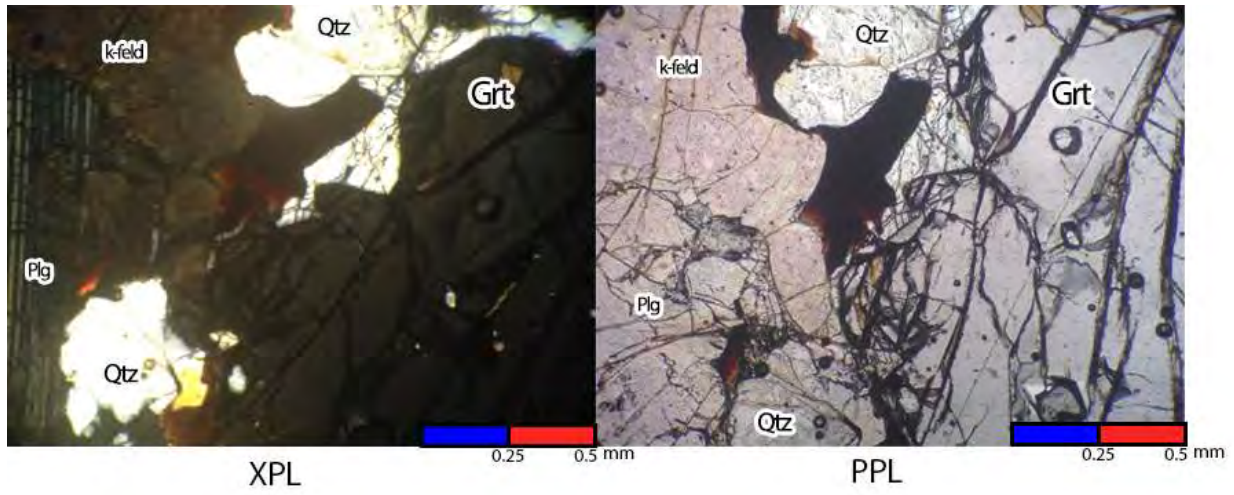
ตัวอย่าง Mk 43



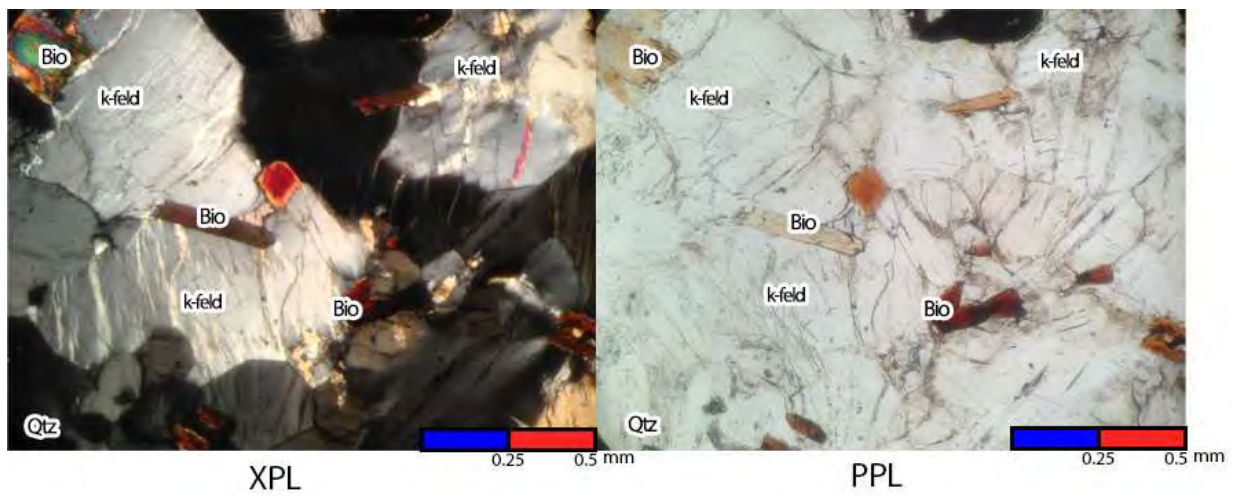
ตัวอย่าง Mk 48

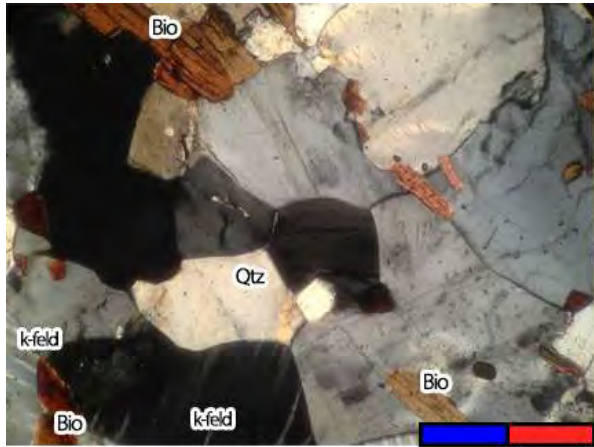


ตัวอย่าง Mk 56

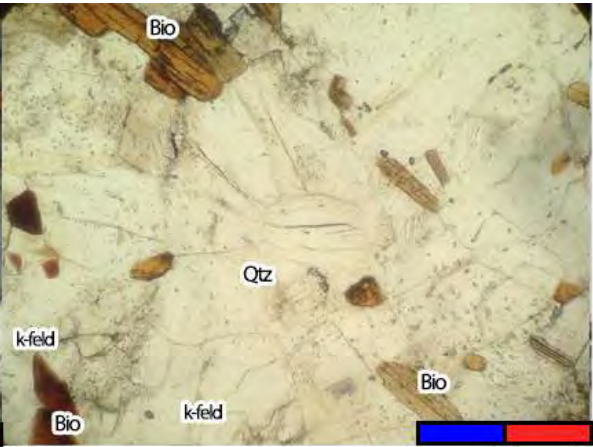


ตัวอย่าง Mk 66

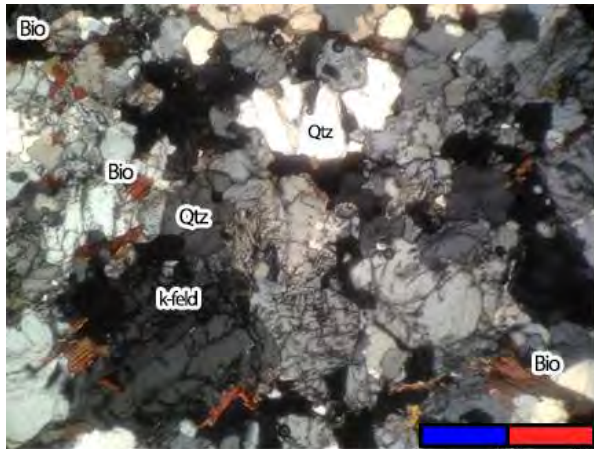




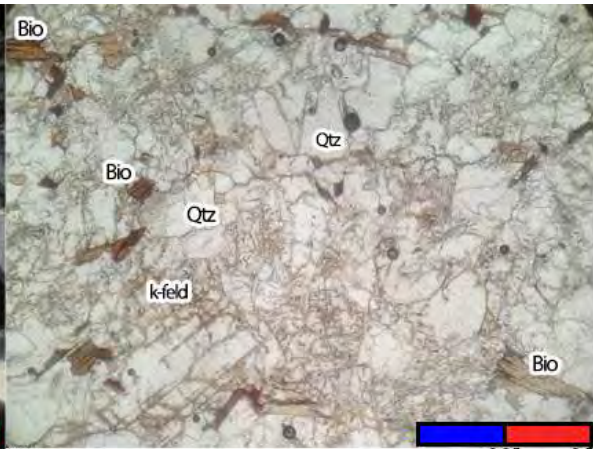
XPL



PPL



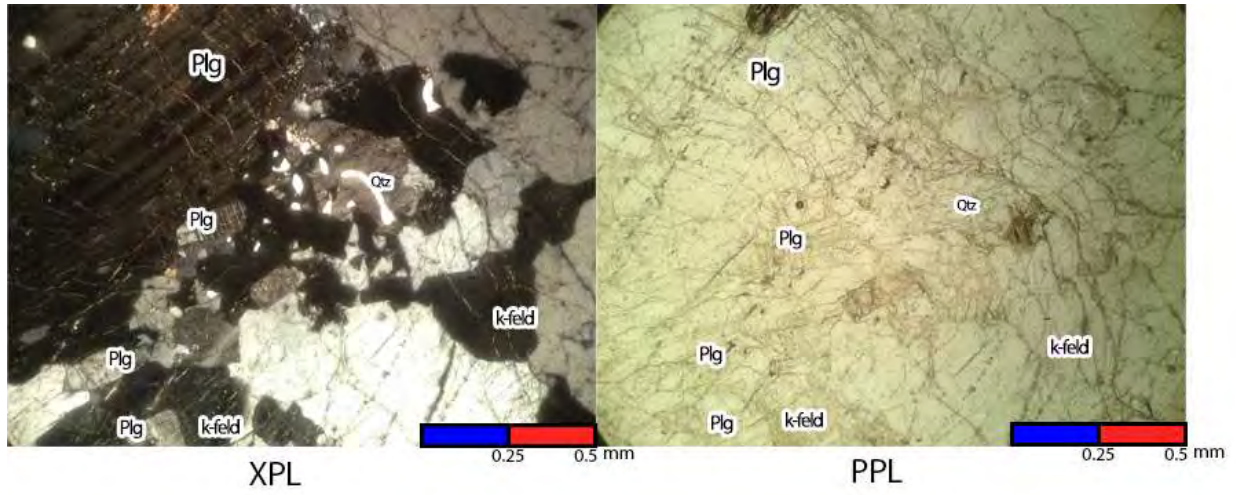
XPL



PPL

กลุ่มหินไบโอไทต์ไนส์

ตัวอย่าง Mk 27



ตัวอย่าง Mk 55

