

PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY OF DUNITE ALONG MOGOK STONE TRACT,
MANDALAY, MYANMAR

CHE-AZLAN CHEMONG

A report submitted in partial fulfillment of the requirement for the Bachelor of Science

Department of Geology Faculty of Science Chulalongkorn University

Academic Year 2013

วันที่ส่ง

วันที่อนุมัติ

.....

รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษา

หัวข้อโครงการ	ศิลาวรรณนาและธรณีเคมีของหินดันไนต์ บริเวณแนวหินโมกก ประเทศพม่า
นิสิตผู้นำเสนอโครงการ	นายเจ๊ะอัสรัน เจ๊ะโมง รหัสประจำตัวนิสิต 5332704123
ภาควิชา	ธรณีวิทยา
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์

บทคัดย่อ

แหล่งโมกกตั้งอยู่ทางตอนเหนือของเขตมณฑลสะเลย์ ตอนกลางของประเทศพม่า ซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษาของงานวิจัยนี้ เป็นพื้นที่ที่มีการกระจายตัวของหินแปร และหินอัคนีหลายชนิด โดยงานวิจัยนี้สนใจศึกษาเพียงหินอัคนีจำพวกอัคร้าเมฟิกคือ หินดันไนต์ที่มีการกระจายตัวอยู่บริเวณ Bernardmyo ทางตอนเหนือของแหล่งโมกก โดยจากการศึกษาศิลาวรรณนา สามารถแบ่งหินออกเป็น 2 กลุ่มคือ หินดันไนต์ และหินดันไนต์ที่พบการแปรสภาพเซอร์เพนไทไนซ์ (serpentinized dunite) โดยลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของทั้งสองกลุ่มมีขนาดของผลึกแร่ตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ถึง 3 มิลลิเมตร มีแร่ประกอบหลักคือ แร่โอลิวีน ไพร์รอกซีน และแร่ทึบแสง และมีลักษณะเนื้อหินที่สำคัญได้แก่ ลักษณะเนื้อมวลผลึก โดยแร่มีขนาดใกล้เคียงกัน พบผลึกตั้งแต่ผลึกกึ่งสมบูรณ์จนถึงผลึกไม่สมบูรณ์ ซึ่งผลของการศึกษาธรณีเคมีของหินทั้งก้อนประกอบด้วยธาตุหลักและธาตุรอง ดังนี้ 38.71 - 49.63% SiO₂, 0.37 - 0.67% Al₂O₃, 6.17 - 9.01% Fe₂O₃, 0.00 - 0.56% Cr₂O₃, 0.03 - 0.04% MnO, 0.19 - 0.58% NiO, 36.08 - 45.10% MgO, 0.00 - 0.61% CaO, 0.00 - 0.26% K₂O และ 0.00 - 0.70% SO₃ โดยเมื่อพล็อตกราฟระหว่างธาตุประกอบออกไซด์แต่ละชนิดกับ Mg# (magnesium number) พบว่าลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลมีการเกาะกลุ่มกัน ซึ่งแสดงถึงองค์ประกอบมีความคล้ายคลึงกัน และจากการศึกษาเคมีแร่พบ ฟอर्सเทอร์ไรต์โอลิวีน ไพร์รอกซีนจำพวกออร์โธไพร์รอกซีน และแร่โครไมต์ ซึ่งจากผลข้อมูลธรณีเคมีและเคมีแร่ของหินตัวอย่าง สามารถตีความถึงต้นกำเนิดได้ว่ามาจาก cumulative rock

คำสำคัญ : แนวหินโมกก, หินอัคร้าเมฟิก, หินดันไนต์

TITLE PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY OF DUNITE ALONG MOGOK
STONE TRACT,MANDALAY, MYANMAR

RESEARCHER CHE-AZLAN CHEMONG

STUDENT ID : 533 27041 23

DEPARTMENT GEOLOGY

ACADEMIC YEAR 2013

ADVISOR ASSOC. PROF. DR. CHAKKAPHAN SUTTHIRAT

ABSTRACT

The study area is located in Mogok Stone Tract, Central Myanmar in which is geologically occupied by complex igneous and metamorphic rocks. Rock specimens collected for this study can be divided, based on physical feature, into 2 groups including dunite and serpentized dunite. Petrographic description indicates holocrystalline texture, equigranular texture, subhedral crystal - anhedral crystal with average grain size of 1-3 mm.. Rock-forming minerals are mainly composed of olivine, pyroxene and opaque mineral. Whole-rock geochemistry of dunite ranges between 38.71 - 49.63% SiO₂, 0.37 - 0.67% Al₂O₃, 6.17 - 9.01% Fe₂O₃, 0.00 - 0.56% Cr₂O₃, 0.03 - 0.04% MnO, 0.19 - 0.58% NiO, 36.08 - 45.10% MgO, 0.00 - 0.61% CaO, 0.00 - 0.26% K₂O and 0.00 - 0.70% SO₃. Based on mineral chemistry, olivines are characterized by forsterite (Mg-rich olivine); pyroxenes are orthopyroxene and opaque minerals are characterized by chromite. These indicate that dunite in Mogok was cumulate rocks which had formed during the differentiation process of a magmatic event.

Keywords: Mogok stone tract, Ultramafic rock, Dunite

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์ และอาจารย์
ประหยัด นันทศีล ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าเพื่อถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ รวมถึงให้คำแนะนำ คำติชม
และโอกาสในการทำงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้
ให้วิชาความรู้ ตลอดจนให้คำแนะนำ และคำปรึกษา ตลอดการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณพี่ๆบุคลากรทุกท่าน ที่ช่วยในทุกๆขั้นตอนของงานวิจัย

สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Geo#54 Geo#55 และ Geo#56

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ง
ABSTRACT	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญรูป	ซ
สารบัญตาราง	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	2
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 พื้นที่ศึกษาและจุดเก็บตัวอย่าง	3
บทที่ 2 ระเบียบวิธีวิจัย	
2.1 วิธีการดำเนินงาน	6
2.2 ขั้นตอนการศึกษา	7
2.3 การเตรียมตัวอย่าง	8
บทที่ 3 ผลการศึกษา	
3.1 ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
3.2 ธรณีวิทยาทั่วไป	13
3.3 หินตัวอย่างและการแบ่งกลุ่ม	18
3.4 ศิลาวรรณนา	21
3.5 ธรณีเคมีของหิน	25
3.6 องค์ประกอบทางเคมีแร่	28
บทที่ 4 อภิปรายและสรุปผลการวิจัย	33
เอกสารอ้างอิง	35

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูป 1.1 แผนที่แสดงที่ตั้งของแหล่งพลอยโมกก ประเทศพม่า พื้นที่ศึกษาและตำแหน่งเก็บตัวอย่าง (ภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth)	4
รูป 2.1 เครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JXA-8100 ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	10
รูป 2.2 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (XRFS) ยี่ห้อ Pioneer รุ่น Bruker AXS S410 ยี่ห้อ Pioneer รุ่น Bruker AXS S4 ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	
รูป 3.1 โครงสร้างหลักทางธรณีวิทยาของประเทศพม่าและแนวหินแปรโมกก (Mogok metamorphic belt) (ที่มา : Mitchell, 1993, นำมาจาก Geology and mineral Resources of Myanmar, 1997; Atlas of Mineral Resources of Escap Region, Vol. 12, United Nation Publication, Sales No. E95.II.F.17 แก้ไขโดย T.Themelis จากการปรึกษา G.Harlow และผู้ให้การช่วยเหลืออื่นๆ 2004-2007)	13
รูป 3.2 แบบจำลองการวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีบริเวณโมกก โดยแบ่งออกเป็น 6 เหตุการณ์หลักคือ 1.การสะสมตัวของตะกอน 2.การเคลื่อนตัวของทวีป 3.การเคลื่อนที่เข้าหากัน 4.การชนกันและการแปรสภาพ 5.การขยายหลังจากการชน 6.การยกตัวและการกัดกร่อน (แก้ไขจาก T.Themelis with contribution from G.Giuliani, V.Garnier, J.Touret, B.Goffe and F.Pezzotta)	14
รูป 3.3 แผนที่ธรณีวิทยาระดับภูมิภาค Bernardmyo ประเทศพม่า (ที่มา : Preliminary Geological map of Bernardmyo Geology by Tet Thin Nyunt, 2003 Produced by T.Themelis copyright 2004)	17
รูป 3.4 ตัวอย่างหินดันไนต์จากแหล่งพลอยโมกก ประเทศพม่า	19
รูป 3.5 ลักษณะเนื้อหินจากแผ่นหินเรียบของหินตัวแทนของกลุ่มหินที่ 1 และ 2 คือ หินตัวอย่าง MK 17 และ MK 20	20
รูป 3.6 ลักษณะสีลาวรรณนาของหินตัวแทนหินตัวอย่างกลุ่ม 1	22
รูป 3.7 ลักษณะสีลาวรรณนาของหินตัวแทนหินตัวอย่างกลุ่ม 2	23
รูป 3.8 ไดอะแกรมที่ใช้จำแนกชนิดหินอัคนีจำพวกอัลตราแมฟิก โดย IUGS	24
รูป 3.9 Variation diagram ที่พล็อตระหว่างธาตุประกอบออกไซด์และ $Mg\# = 100 * (MgO / (FeO + MgO))$	27

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 สรุปแร่องค์ประกอบหลักของหินตัวอย่างทั้งสองกลุ่ม	23
ตารางที่ 3.2 ข้อมูล Whole rock analysis ของหินต้นไนต์ที่เป็นค่า Major Oxide และ Minor Oxide	25
ตารางที่ 3.3 รายละเอียดองค์ประกอบทางเคมีแร่โอลิวีน (olivine)	28
ตารางที่ 3.4 รายละเอียดองค์ประกอบทางเคมีแร่ออโรไทไฟร็อกซีน (orthopyroxene)	29
ตารางที่ 3.5 รายละเอียดองค์ประกอบทางเคมีแร่คลิโนไฟร็อกซีน (clinopyroxene)	30
ตารางที่ 3.6 รายละเอียดองค์ประกอบทางเคมีแร่ทึบแสง (opaque mineral)	31

บทที่ 1 บทนำ

- 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย
- 1.2 วัตถุประสงค์
- 1.3 พื้นที่ศึกษาและจุดเก็บตัวอย่าง

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

แหล่งโมกก ตั้งอยู่ที่เมืองทตโคนซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของเขตมณฑลพะเลย์ ตอนกลางของประเทศพม่า เป็นแหล่งที่พบอัญมณีที่มีชื่อเสียงแห่งหนึ่งของโลก มีเหมืองพลอยโดยเฉพาะทับทิมมาเป็นเวลายาวนานกว่า 800 ปี อีกทั้งยังมีอัญมณีชนิดอื่นๆที่พบ เช่น เพอริดอต สปิเนล ฯลฯ ซึ่งอัญมณีเหล่านี้ล้วนแล้วแต่มีคุณภาพ และมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ซึ่งเกิดอยู่บริเวณแนวหินแปรโมกกที่เกิดจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลก Indo-Asian (Bertrand et al., 2001) และเกิดที่อุณหภูมิสูงในช่วงโอลิโกซีนทำให้เกิดเป็นแนวหินแปรขนาดใหญ่ และเกิดโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สำคัญ เช่น Shan scarp fault zone และ Sagaing fault

Kyaw Thu (2007) ทำการศึกษาหินอัคนีของแหล่งโมกก ประเทศพม่า พบลักษณะธรณีวิทยาและการลำดับชั้นหินของบริเวณนี้ประกอบไปด้วย หินแปรโมกก เป็นหน่วยหินในมหายุคพาลีโอโซอิกตอนปลายที่ถูกแปรสภาพในสมัยโอลิโกซีนตอนปลาย หินอัลตาเมฟิกและเมฟิกยุคจูแรสซิก (?) ลิวโคแกรนิตสมัยโอลิโกซีนตอนต้น หินซาอีนิติกสมัยโอลิโกซีนตอนต้น หินแกรนิตสมัยไมโอซีนตอนกลาง หินเพกมาไทต์และหินแอไพคลด์สมัยไมโอซีนตอนกลาง

จากการศึกษาของ Lyer (1953) พบว่าหินอัคนีจำพวกอัลตาเมฟิกมีการกระจายตัวอยู่บริเวณ Bernardmyo ซึ่งอยู่บริเวณถัดขึ้นไปทางตอนเหนือใกล้แหล่งโมกก และพบอัญมณีจำพวกเพอริดอตในหินที่เป็นชุดของหินดันไนต์และหินฮาร์ชเบอร์ไกต์ ร่วมกับโครมิไทต์เล็กน้อยที่อยู่ภายในหินคาร์เนต-ไนส์ ซึ่งหินเหล่านี้ถูกตัดโดยสายแร่เพกมาไทต์และหินอัคนีแทรกซอนชนิดกราฟฟิคแกรนิต

จากที่ได้กล่าวไปข้างต้น พื้นที่โมกกนี้เป็นแหล่งอัญมณีหลายชนิดจากหินหลากหลายชนิด โดยการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นที่ลักษณะศิลาวรรณนา ธรณีเคมีและการแปลความหมายด้านการกำเนิดสภาพอุณหภูมิและความดันของอัคนีชนิดดันไนต์ในบริเวณพื้นที่โมกก ประเทศพม่า ซึ่งมีความสำคัญเนื่องจากเป็นแหล่งของอัญมณีจำพวกเพอริดอต (Chhibber, 1934) และยังมีอาจมีความสัมพันธ์กับการเกิดอัญมณีประเภทอื่นๆ โดยผลการศึกษาอาจบ่งบอกองค์ประกอบทางเคมีของแร่ ลักษณะของเนื้อหิน และสัดส่วนของแร่ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเกิดของอัญมณีที่สำคัญแหล่งโมกกนี้

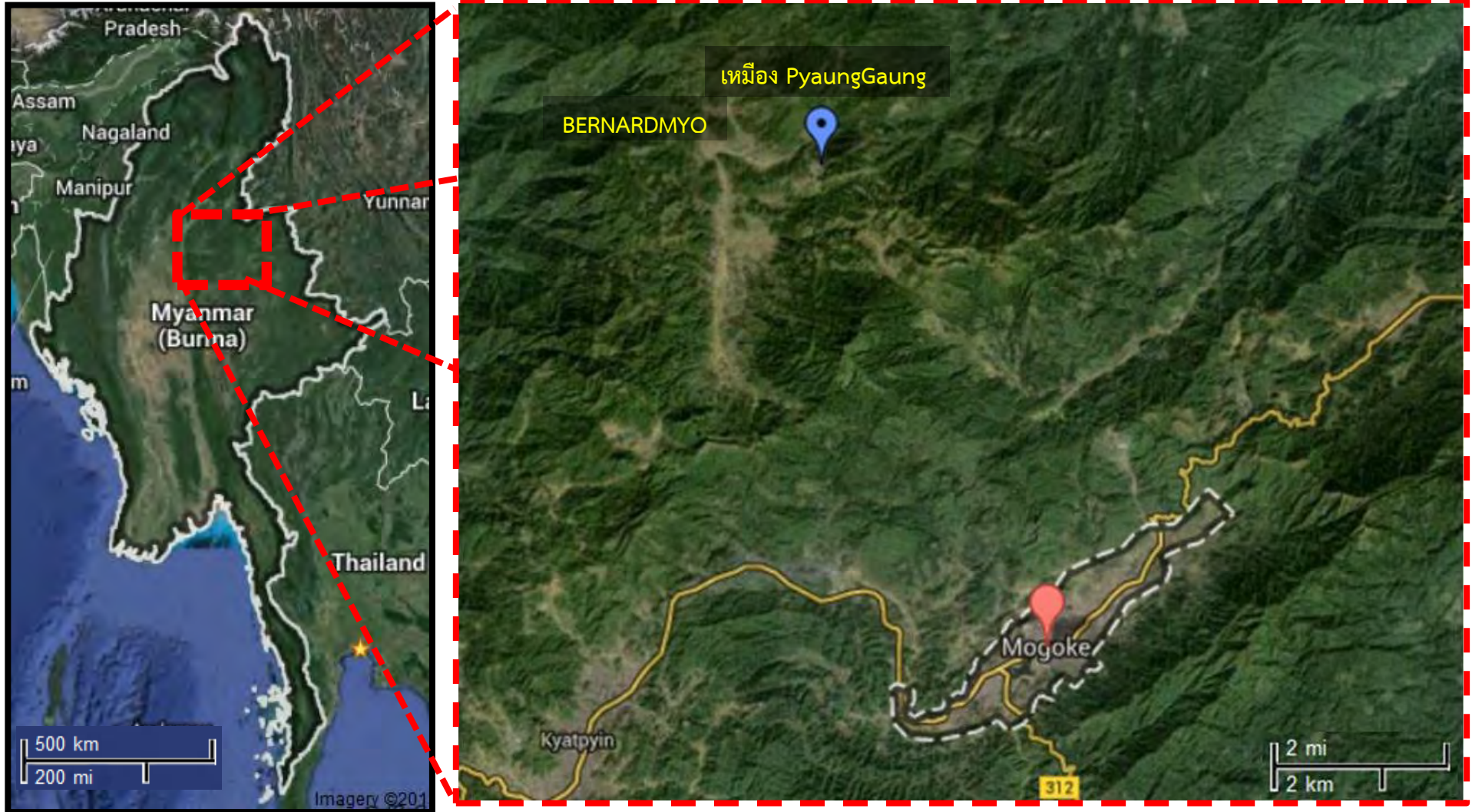
1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะศิลาวรรณนาและธรณีเคมีของหินอัคนีชนิดดันไนต์ บริเวณแหล่งพลอยโมกก ประเทศพม่า

1.3 พื้นที่ศึกษาและจุดเก็บตัวอย่าง

ในงานวิจัยชิ้นนี้ทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาและธรณีเคมีในหินอัคนีชนิดต้นไนต์ บริเวณแหล่งพลอยโมกก ประเทศพม่าซึ่งตั้งอยู่ทางตอนเหนือของเขตมณฑลพะเล่ย์ รัฐฉาน ตอนกลางของประเทศพม่า ดังรูป 1.1

ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นหินอัคนีจำพวกอัลตราเมฟิก จำนวนทั้งสิ้น 6 ตัวอย่างได้จากการเก็บตัวอย่างจากจุดศึกษาโดยคณะวิจัยของสถาบันอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ซึ่งจุดเก็บตัวอย่างอยู่บริเวณ Bernardmyo ซึ่งห่างจากแหล่งพลอยโมกกไปทางทิศเหนือประมาณ 6-7 กิโลเมตร บริเวณเหมือง Pyaung Gaung ละติจูดที่ 23.0017 ลองจิจูดที่ 96.4649 สูงจากระดับน้ำทะเล 1,753 เมตร



รูป 1.1 แผนที่แสดงที่ตั้งของแหล่งพลอยโมกอก ประเทศพม่า พื้นที่ศึกษาและตำแหน่งเก็บตัวอย่าง (ภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth)

บทที่ 2 ระเบียบวิธีวิจัย

- 2.1 วิธีการดำเนินงาน
- 2.2 ขั้นตอนการศึกษา
- 2.3 การเตรียมตัวอย่าง

บทที่ 2

ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากงานวิจัยเก่าหรือข้อมูลธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษา เพื่อให้ได้ทราบถึงลักษณะโดยรวมของพื้นที่ศึกษาและแนวทางปฏิบัติโดยภาพรวมในการทำการวิจัย

2. จัดกลุ่มและเตรียมตัวอย่างหิน โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือตัดแผ่นหินบาง แผ่นหินบางขัดมันและบดตัวอย่างหินเพื่อนำตัวอย่างที่เตรียมไปวิเคราะห์ดังนี้

2.1 ศึกษาแผ่นหินบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อศึกษาแร่องค์ประกอบหินสำหรับทำ Modal analysis และลักษณะเนื้อหิน เพื่อเก็บข้อมูลนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไปเลือกตัวอย่างหินที่จะนำมาวิเคราะห์แผ่นหินบางขัดมันด้วยเครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA) เพื่อศึกษาธาตุองค์ประกอบของแร่ที่สำคัญ

2.2 นำตัวอย่างหินผง ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometry (XRFs) โดยหินที่ได้คัดเลือกจากข้อ 2 มาทำการบดละเอียดเพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบ จากเครื่อง XRFs โดยนำข้อมูลที่ได้ เก็บไว้ในการพิจารณาขั้นตอนต่อไป

3. ตรวจสอบข้อมูลและการประมวลผล เพื่อให้งานวิจัยถูกต้องมากที่สุด ในกรณีที่พบสิ่งผิดพลาด จะทำการทดลองซ้ำหรือวิเคราะห์ใหม่

4. รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อตีความผลการศึกษา

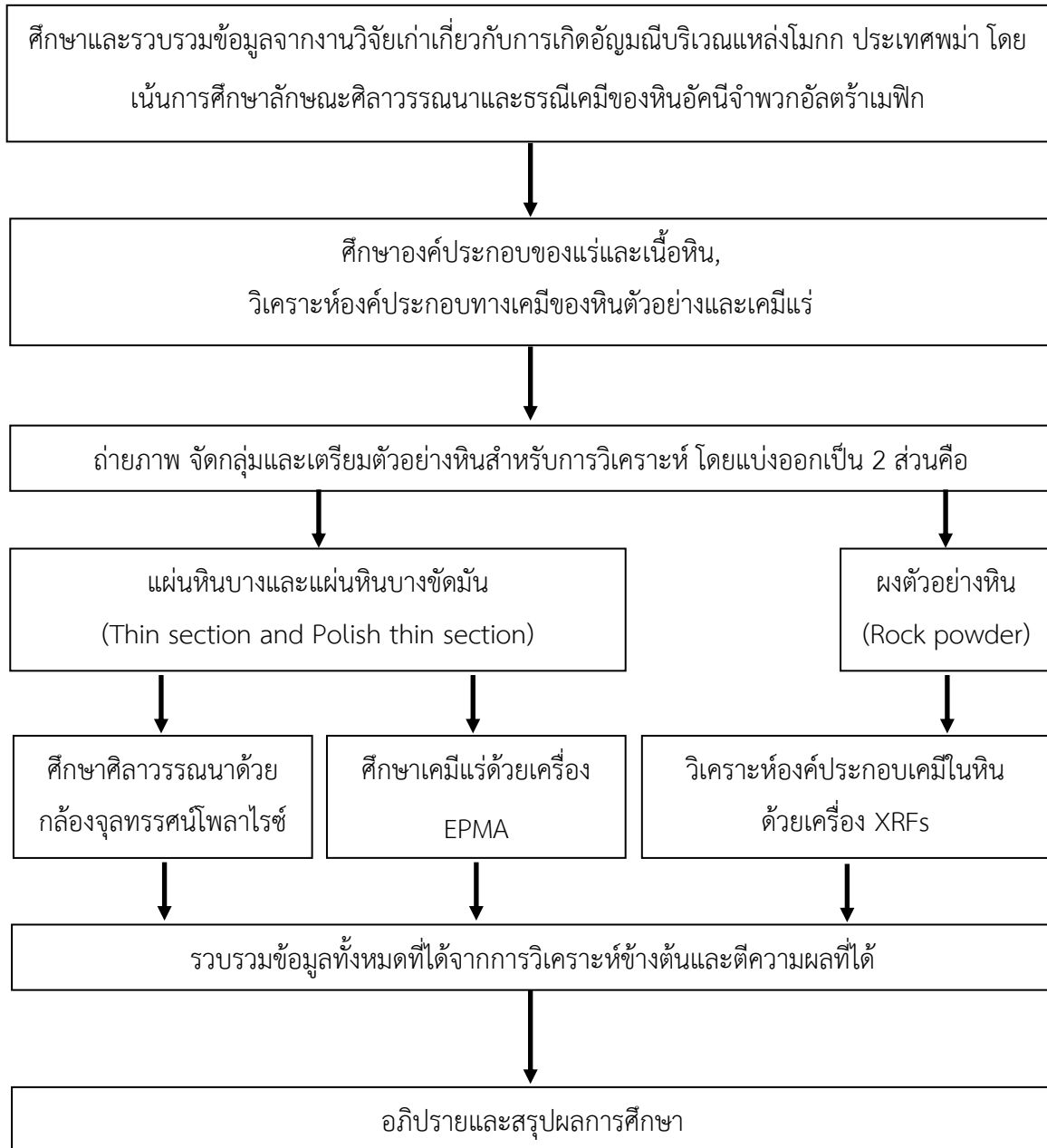
4.1 รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการศึกษาตีความวรรณกรรมและกรณีศึกษา

4.2 ตีความและประมวลผลที่ได้จากการศึกษา

5. อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

6. นำเสนอและจัดทำรูปเล่มรายงาน

2.2 ขั้นตอนการศึกษา



2.3 การเตรียมตัวอย่าง

หลังจากการจัดกลุ่มตัวอย่างหินต้นไนต์ข้างต้น จะนำมาเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาและธรณีเคมีในลำดับต่อไป โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. แผ่นหินบาง

1.1 แผ่นหินบาง นำไปศึกษาสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ โดยการเตรียมตัวอย่างแผ่นหินบาง มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตัดก้อนตัวอย่างหินให้มีขนาดเล็กลงใกล้เคียงกับขนาดกระจกสไลด์ โดยมีความหนาแน่นน้อยกว่า 3 เซนติเมตร
2. ติดหินตัวอย่างลงบนกระจกด้วยกาว balsam บน hot plate แล้วรอให้แห้งสนิท
3. ฝนหินตัวอย่างที่ติดกระจกเรียบร้อยแล้วด้วยเครื่องขัดหินบางอย่างหยาบ
4. ฝนหินตัวอย่างให้บางด้วยกระจกและผลขัดหินที่มีความละเอียด 600 ไมครอนและ 1,000 ไมครอนตามลำดับ จนกระทั่งแผ่นหินตัวอย่างมีความบางประมาณ 0.003 มิลลิเมตร
5. ปิดด้วยกระจกกันใส

หลังจากปฏิบัติตามขั้นตอนดังกล่าวแล้ว นำตัวอย่างแผ่นหินบางไปศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ต่อไป

1.2 แผ่นหินบางขัดมัน นำไปศึกษาธรณีเคมีโดยใช้เครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA) โดยการเตรียมตัวอย่างหินบางขัดมัน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตัดก้อนตัวอย่างหินให้มีขนาดเล็กลงใกล้เคียงกับขนาดกระจกสไลด์ โดยมีความหนาแน่นน้อยกว่า 3 เซนติเมตร
2. ติดหินตัวอย่างลงบนกระจกด้วยกาว epoxy บน hot plate แล้วรอให้แห้งสนิท
3. ฝนหินตัวอย่างที่ติดกระจกเรียบร้อยแล้วด้วยเครื่องขัดหินบางอย่างหยาบให้มีความหนาน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร

4. ผนหินตัวอย่างให้บางด้วยกระจกและผงขัดหินให้มีความเรียบสม่ำเสมอทั้งแผ่น

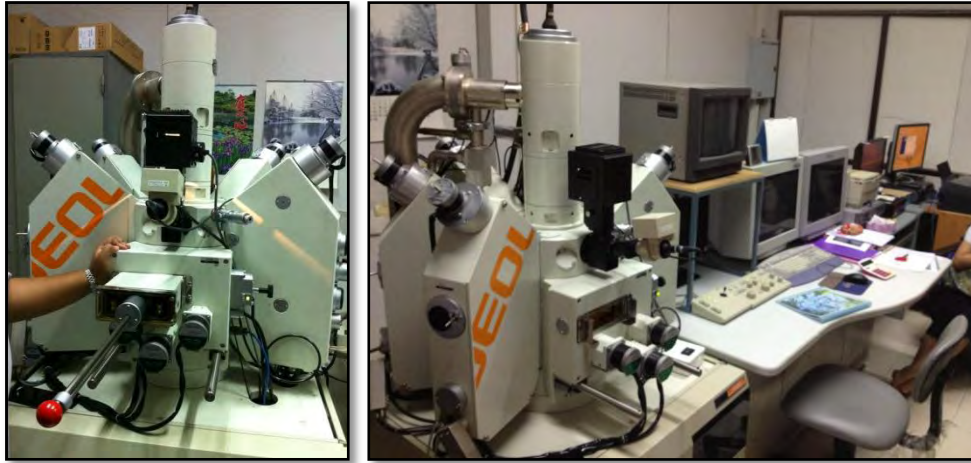
5. ขัดมันด้วยเครื่องขัดมันที่มีขนาดความละเอียด 6, 3 และ 1 ไมครอนตามลำดับ

หลังจากปฏิบัติตามขั้นตอนดังกล่าวแล้ว นำตัวอย่างแผ่นหินบางขัดมันไปศึกษาองค์ประกอบเคมีของแร่ที่สนใจด้วยเครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA) ซึ่งเป็นเครื่องที่ทำงานโดยใช้หลักการของ WDS (Weave length Dispersive Spectroscopy) เครื่อง EPMA ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุคาร์บอนได้ทุกเครื่อง ขึ้นอยู่กับความสามารถของตัวตรวจจับ (Detector) ที่อยู่กับเครื่องใช้ในการวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำสูงเหมาะสมกับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ พื้นที่ผิวขรุขระ, ชิ้นงานที่โค้งเว้า หรือเป็นชั้นๆบาง และพวกฟิล์มบางๆ สามารถตรวจวิเคราะห์พื้นผิวโดยขยายภาพได้ตั้งแต่ 50 - 400,000 แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ยังวิเคราะห์ได้มาจาก electron อาจใช้เครื่องมืออื่นมาช่วยในการวิเคราะห์ได้ เช่น ions, X-ray และ Synchrotron เป็นต้น โดยเครื่อง EPMA เป็นยี่ห้อ JEOL รุ่น JXA-8100 โดยการวิเคราะห์ได้ใช้กระแสไฟฟ้า 15 kV / 2.4*100 A และลำแสงขนาด $10^{-8} < 1$ ไมโครเมตร (รูป 2.1) สารมาตรฐาน (standard) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ แจไดต์ (jadite) และเอนสตาไทต์ (enstatite)

2. ผงตัวอย่างหิน นำไปศึกษาองค์ประกอบของหินต้นไนต์ ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence

spectrometry (XRFs) โดยการเตรียมผงตัวอย่างหินคือนำตัวอย่างหินไปบดให้เป็นผงตัวอย่างหินด้วยครก

หลังจากนั้นผงตัวอย่างหินจะนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometry (XRFs) โดยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-ray Fluorescence Spectrometer) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาชนิดและปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างทั้งที่เป็น ของแข็ง โดยอาศัยหลักการรังสีเอ็กซ์ที่มีพลังงานสูงไปยิงกระทบตัวอย่าง ทำให้เกิดการปล่อยโฟตอนออกมา (fluoresced) เนื่องจากโฟตอนที่ถูกปล่อยออกมาจากธาตุต่างชนิดจะมีความยาวคลื่นหรือพลังงานเฉพาะสำหรับธาตุนั้นๆ จึงทำให้สามารถจำแนกชนิดของธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ทั้งนี้ปริมาณโฟตอนเปล่งออกมาขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุในสารตัวอย่าง ข้อมูลนี้จึงสามารถนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแต่ละชนิดได้โดยเฉพาะธาตุองค์ประกอบหลักและรอง (major and minor elements) ในหินทั่วไป โดยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-ray Fluorescence Spectrometer) ที่ใช้ ยี่ห้อ Pioneer รุ่น Bruker AXS S4 (Voltage 60 kV, Current 50 mA, Condition Range 0.2-20 A (60-0.6 keV), Total resolution 3-100 eV, Typical measurement time 2-10 s per element) (รูป 2.2) สารมาตรฐาน (standard) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ DTS-2b GSP-2 PCC-1 และ SDC-1



รูป 2.1 เครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JXA-8100
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 2.2 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (XRF) ยี่ห้อ Pioneer รุ่น Bruker AXS S4
ยี่ห้อ Pioneer รุ่น Bruker AXS S4 ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3 ผลการศึกษา

- 3.1 ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.2 ธรณีวิทยาทั่วไป
- 3.3 การแบ่งกลุ่มหินตัวอย่าง
- 3.4 ศิลาวรรณนา
- 3.5 ธรณีเคมีของหิน
- 3.6 องค์ประกอบทางเคมีแร่

3.1 ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและรวบรวมรายงาน เอกสารและงานวิจัยเก่าพร้อมทั้งอภิปรายข้อมูลเบื้องต้น ซึ่งเกี่ยวกับลักษณะทางธรณีวิทยาทั่วไป กระบวนการทางเทคนิค รวมถึงการแปรสภาพของพื้นที่บริเวณ แหล่งโมกก ประเทศพม่า โดยเน้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอัญมณี เช่น

กระบวนการเทคนิคที่เกิดขึ้นกับประเทศพม่ามี 2 เหตุการณ์หลัก คือ การมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก อินเดีย (Indian plate) ใต้แผ่นเปลือกโลกพม่า (Burma plate) ตามแนว Andaman mega thrust zone และการเคลื่อนตัวไปทางเหนือของแผ่นเปลือกโลกพม่า (Burma plate) ทำให้เกิดลักษณะของพื้นที่หลักของประเทศเป็น 3 แบบ (Muang Thein, 1998) คือ แนวหินคดโค้งทางตะวันตก พื้นที่ราบตอนกลาง พื้นที่เขาทางตะวันออก

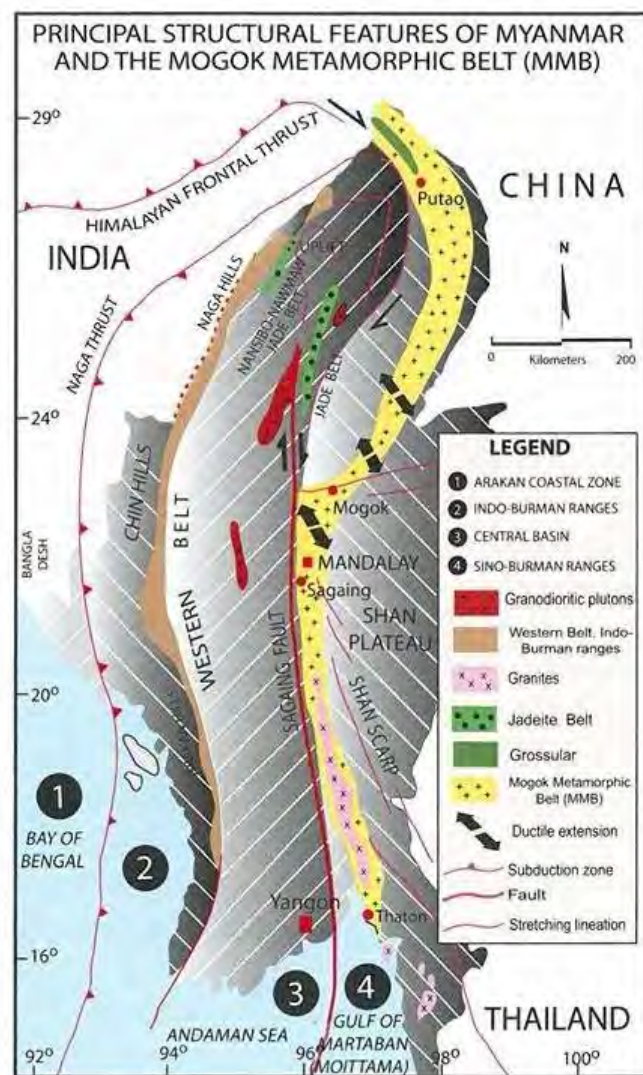
Searle and Haq (1964) จากการศึกษาพบว่าแนวหินแปรโมกกประกอบไปด้วยหินตะกอนที่ถูกแปรสภาพ (meta-sedimentary rocks) หินอัคนีแทรกซอนที่ถูกแปรสภาพ (meta-intrusive rocks) และหินอัคนีแทรกซอนที่มีอายุอ่อน โดยทางตอนเหนือของพื้นที่เป็นพื้นที่ที่พบอัญมณีพวกทับทิม แซปไฟร์และอัญมณีชนิดอื่นๆเป็นจำนวนมาก และจากการศึกษาของ Chhibber (1934) และ Lyer (1953) กล่าวว่าหินอ่อนที่พบทับทิมมาอยู่ในยุคพรีแคมเบรียน หินไนส์และหินอ่อนบริเวณตะวันตกของโมกกเกิดขึ้นในยุคโซลูเรียนและอโดวิเซียนที่ที่ราบสูงฉานโดยเทียบสัมพันธ์จากการศึกษาของ Thein et al. (1998)

ส่วนในทางตอนใต้ของแนวหินแปรโมกก ซึ่งพบทับทิมได้น้อย โดยอายุของหินแปรทางตะวันออกของ Kyaukse เป็นอายุจูแรสสิก (MaungThein and Soe Win, 1970) นอกจากนี้ Bertrand et al. (1999 ; 2001) พบเศษของหินแปรและโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีแนวจากทางตะวันออกของโมกกไปทางตะวันออกของเมืองย่างกุ้ง

การหาอายุของแนวหินแปรโมกกมีการใช้ข้อมูลของ U/Pb zircon ของสายแร่เพกมาไทต์ (Searle and Haq, 1964) และ Ar/Ar และ K/Ar ในหินแกรนิต หินอัคนีชนิดอัลตราเมฟิกและหินแปร (Bertrand et al., 1999; 2001) ทำให้ทราบถึงอายุของหินแต่ละชนิด ซึ่งอายุของหินอัคนีชนิดอัลตราเมฟิก มีอายุในช่วงยุคจูแรสสิกตอนต้น

3.2 ธรณีวิทยาทั่วไป

แหล่งโมกอกตั้งอยู่ในแนวหินแปรโมกอก (Mogok stone tract หรือ Mogok metamorphic belt (MMB)) ซึ่งเกิดจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลก Indo-Asian (Bertrand et al., 2001) และเกิดที่อุณหภูมิสูงในช่วงโอลิโกซีนทำให้เกิดเป็นแนวหินแปรขนาดใหญ่ และเกิดโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สำคัญของบริเวณประเทศพม่านี้ เช่น Shan scarp fault zone และ Sagaing fault โดยแสดงในรูป 3.1

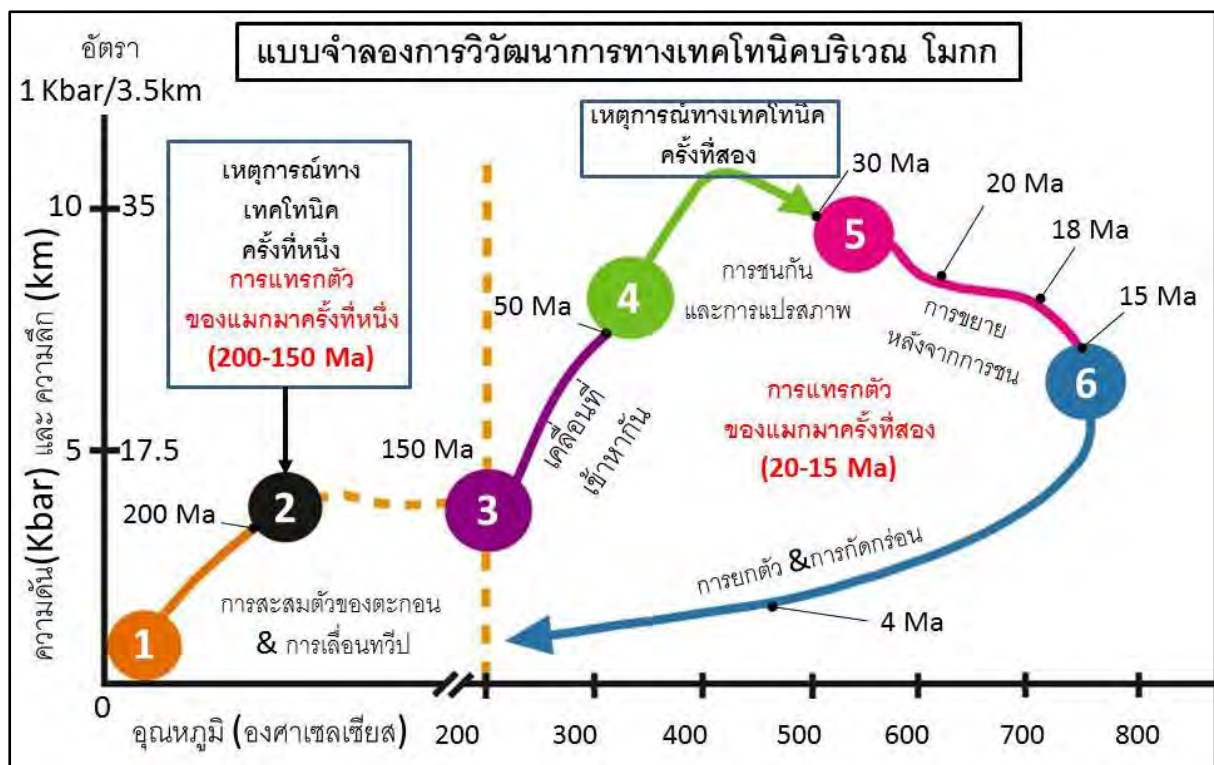


รูป 3.1 โครงสร้างหลักทางธรณีวิทยาของประเทศพม่าและแนวหินแปรโมกอก (Mogok metamorphic belt) (ที่มา : Mitchell, 1993, นำมาจาก Geology and mineral Resources of Myanmar, 1997; Atlas of Mineral Resources of Escap Region, Vol. 12, United Nation Publication, Sales No. E95.II.F.17 แก้ไขโดย T.Themelis จากการปรึกษา G.Harlow และผู้ให้การช่วยเหลืออื่นๆ 2004-2007)

จากการศึกษาของ (T.Themelis โดยการสนับสนุนจาก G.Giuliani, V.Garnier, J.Touret, B.Goffe และ F.Pezzotta) กล่าวว่าบริเวณโมกอกนี้มีการวิวัฒนาการทางธรณีวิทยา ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 เหตุการณ์หลัก โดยเริ่มเกิดการวิวัฒนาการมาตั้งแต่ 200 ล้านปีที่ผ่านมา ซึ่งแสดงให้เห็นเป็นแบบจำลองในรูป 3.2 โดยมีรายละเอียดในแต่ละระยะ ดังนี้

1. การสะสมตัวของตะกอน เมื่อหลายร้อยล้านปีที่ผ่านมา บริเวณโมกอกนี้เคยอยู่ใต้ทะเลมาก่อน ดังนั้นจึงมีสภาพแวดล้อมการสะสมตัวของตะกอนบริเวณทะเลโดยในแต่ละบริเวณมีความลึกแตกต่างกันไป มีการ

สะสมตัวเป็นชั้นในแนวราบในส่วนใหญ่ ตะกอนที่สะสมตัวในระยะแรกมีที่มาจากกรัดกร่อนของชั้นหินฐานที่มายุมากกว่าและการตกตะกอนทางเคมีของหินจำพวกคาร์บอนेट (U ko-ko, pers.commun,1999; others) ในส่วนที่อยู่ในบริเวณที่ลึกนั้นส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินทราย หินดินดานและเลนส์ของหินปูนซึ่งรวมตัวและตกตะกอนในกันเองตะกอน โดยชุดหินตะกอนที่ได้นั้นเรียกโดยรวมว่า Rocks of Mogok series หลังจากนั้นจึงเกิดการแทรกตัวของแมกมาครั้งแรกของหินอัคนีจำพวกหินแกรนิตเข้ามาในชุดหินตะกอนเมื่อประมาณ 200 และ 150 ล้านปีที่ผ่านมา



รูป 3.2 แบบจำลองการวิวัฒนาการทางเทคนิคริเวณโมกก โดยแบ่งออกเป็น 6 เหตุการณ์หลักคือ 1.การสะสมตัวของตะกอน 2.การเลื่อนตัวของทวีป 3.การเคลื่อนที่เข้าหากัน 4.การชนกันและการแปรสภาพ 5.การขยายหลังจากการชน 6.การยกตัวและการกัดกร่อน (แก้ไขจาก T.Themelis with contribution from G.Giuliani, V.Garnier, J.Touret, B.Goffe and F.Pezzotta)

2.การเลื่อนตัวของทวีป ในขณะที่เกิดเหตุการณ์ทางเทคนิครั้งที่หนึ่ง ก็เกิดการเลื่อนตัวของทวีป เช่นเดียวกัน ซึ่งจากทฤษฎีต่างๆที่สนับสนุนทฤษฎีการเลื่อนตัวของทวีป (continental drift) นั้นเป็นหลักฐานได้อย่างดีว่าแผ่นเปลือกโลกมีการเลื่อนตัว

3. การเลื่อนตัวเข้าหากัน หลังจากนั้นเมื่อประมาณ 50 ล้านปีที่ผ่านมาการเลื่อนตัวเข้าหากันจึงเกิดขึ้น

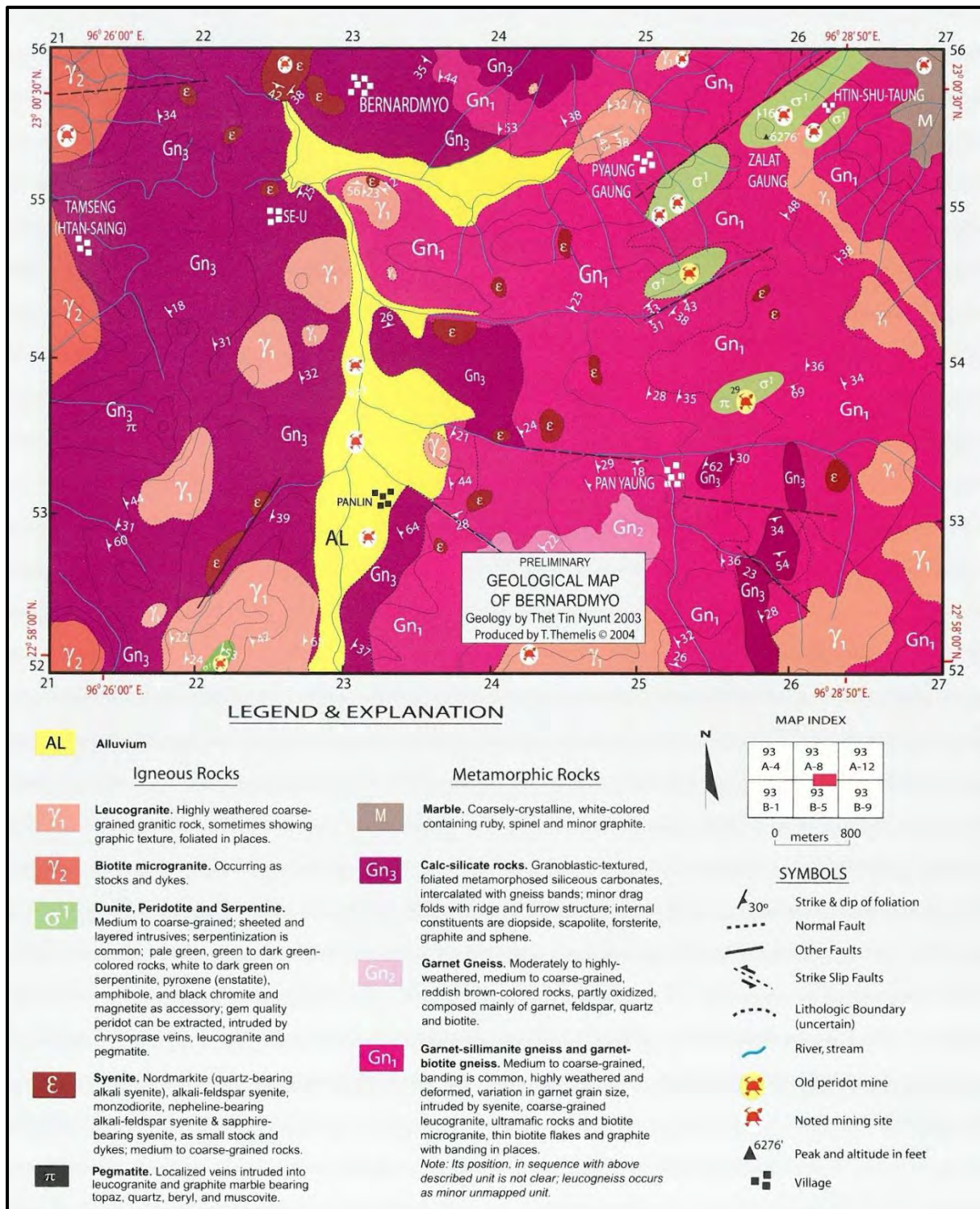
4. การชนกันและการแปรสภาพ บริเวณแหล่งโมกกเป็นบริเวณที่อยู่บนจุลทวีปพม่า ที่ติดกับเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เมื่อ 150-90 ล้านปีที่ผ่านมา (Metcalf, 1993, 1994) นักธรณีวิทยาคนอื่นๆกล่าวว่าแผ่นจุลทวีปพม่าคือแผ่นที่แตกจากแผ่นซุนดา (Sunda plate) การชนกันดังกล่าวทำให้เกิดการมุดตัวโดยมีการมุดไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ทำให้เกิดแรงบีบอัดทางด้านข้าง และทำให้เกิดการแปรสภาพของชุดหินตะกอนและแมกมาชุดแรก เช่น ทำให้หินปูน (limestone) แปรสภาพเป็นหินอ่อน (marble) หินดินดาน (shale) แปรสภาพเป็นหินพาราไนส์ (paragneiss) หินทราย (sandstone) แปรสภาพเป็นหินควอร์ตไซต์ (quartzite) และหินแกรนิต (Granite) แปรสภาพเป็นออร์โธไนส์ (orthogneiss) โดยบริเวณที่แผ่นอินเดียมุดตัวลงไปใต้แผ่นเอเชียมีความดันสูงสุดถึง 12 Kbar ที่ความลึกประมาณ 40 km แต่มีอุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 450 องศาเซลเซียส) จึงไม่ทำให้เกิดการหลอม

5. การขยายหลังจากการชน การขยายตัวของบริเวณขอบหลังจากการชนกันนั้นทำให้เกิดการแทรกตัวของหินที่มาจากที่ลึกอุณหภูมิค่อยๆเพิ่มขึ้นในขณะที่ความดันค่อยๆลดลง เป็นผลทำให้เกิดการแปรสภาพของหินโมกก ในบางส่วนของชุดหินตะกอนแสดงการแปรสภาพเป็นการโค้งงอของชั้นหิน และเนื่องจากการหลอมของเปลือกโลกทำให้เกิดการแทรกตัวของแมกมาเมื่อประมาณ 20 และ 15 ล้านปีที่ผ่านมาซึ่งเป็นช่วงที่ทับทิมฟอร์มตัวเมื่อประมาณ 18 ล้านปีที่ผ่านมา (Garnier et al, 2003) ซึ่งอัญมณีที่พบในแหล่งโมกกนั้นมีการเกิดที่แตกต่างกันไป

6. การยกตัวและการกัดกร่อน จากการศึกษาของ Bertrand and Rangin (2000; 2003) การแจกจ่ายของแรงเครียดทำให้เกิดการยกตัวของที่ราบสูงฉาน ซึ่งทำให้เกิดการกัดกร่อนและการแตกทั่วพื้นที่และด้วยกระบวนการทางธรรมชาติก็ส่งผลให้เกิดลักษณะภูมิประเทศดังที่เห็นในปัจจุบัน

3.2.1 ธรณีวิทยาของบริเวณพื้นที่ศึกษา

บริเวณพื้นที่ศึกษานั้นอยู่ห่างจากแหล่งโม่กกประมาณ 6-7 กิโลเมตรไปทางทิศเหนือ (Bernardmyo) ซึ่งจะมีการกระจายตัวของหินแตกต่างจากบริเวณแหล่งโม่กกเล็กน้อย กล่าวคือบริเวณ (Bernardmyo) จะเป็นบริเวณที่พบการกระจายตัวของหินอัคนีจำพวกอัลตราแมฟิก เช่น ดันไนต์ (duntie) เพอร์ริโดไทต์ (peridotite) ซึ่งเป็นแหล่งที่กำเนิดให้อัญมณีชนิดเพอร์ริดอต (peridot) แสดงให้เห็นในรูป 3.3 แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณ Bernardmyo ซึ่งบริเวณนี้จะพบการกระจายตัวของหินแปรเป็นส่วนใหญ่ โดยหินแปรในพื้นที่ประกอบด้วยหินไนส์ (gneiss) พบการแทรกสลับบางช่วง (intercalated) ด้วยหินอ่อน (marble) และหินแคลค์ซิลิเกต (calc-silicate) โดยหินแปรพวกนี้ถูกแทรกตัดโดยหินอัคนีจำพวกหินลิวโคแกรนิต (leucogranite) หินไบโอไทต์แกรนิต (biotitemicrogranite) และหินซายีนิต (syenite) เป็นที่น่าสังเกตว่าเหมืองพลอยส่วนใหญ่พบอยู่ในโซนของหินอ่อนซึ่งเหมืองที่ทำการเก็บตัวอย่างมีชื่อว่า Pyaung Gaung โดยที่สามารถดูตำแหน่งของเหมืองพลอยชนิดต่างๆ ได้จากรูป 3.3



รูป 3.3 แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณ Bernardmyo ประเทศพม่า (ที่มา : Preliminary Geological map of Bernardmyo Geology by Tet Thin Nyunt, 2003 Produced by T.Themelis copyright 2004)

3.3 หินตัวอย่างและการแบ่งกลุ่ม

การเก็บตัวอย่างหินอัคนีจำพวกอัลตราแมฟิก จากจุดศึกษาบริเวณแหล่งโมกก ประเทศพม่า นั้น เก็บตัวอย่างมาทั้งสิ้น 6 ตัวอย่างดังแสดงในรูป 3.4

จากตัวอย่างข้างต้น สามารถแบ่งกลุ่มหินตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้ลักษณะทางกายภาพของหินตัวอย่าง ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

กลุ่มหินตัวอย่างประเภทที่ 1 ประกอบไปด้วย ตัวอย่าง MK-17 MK-18 และ MK-19

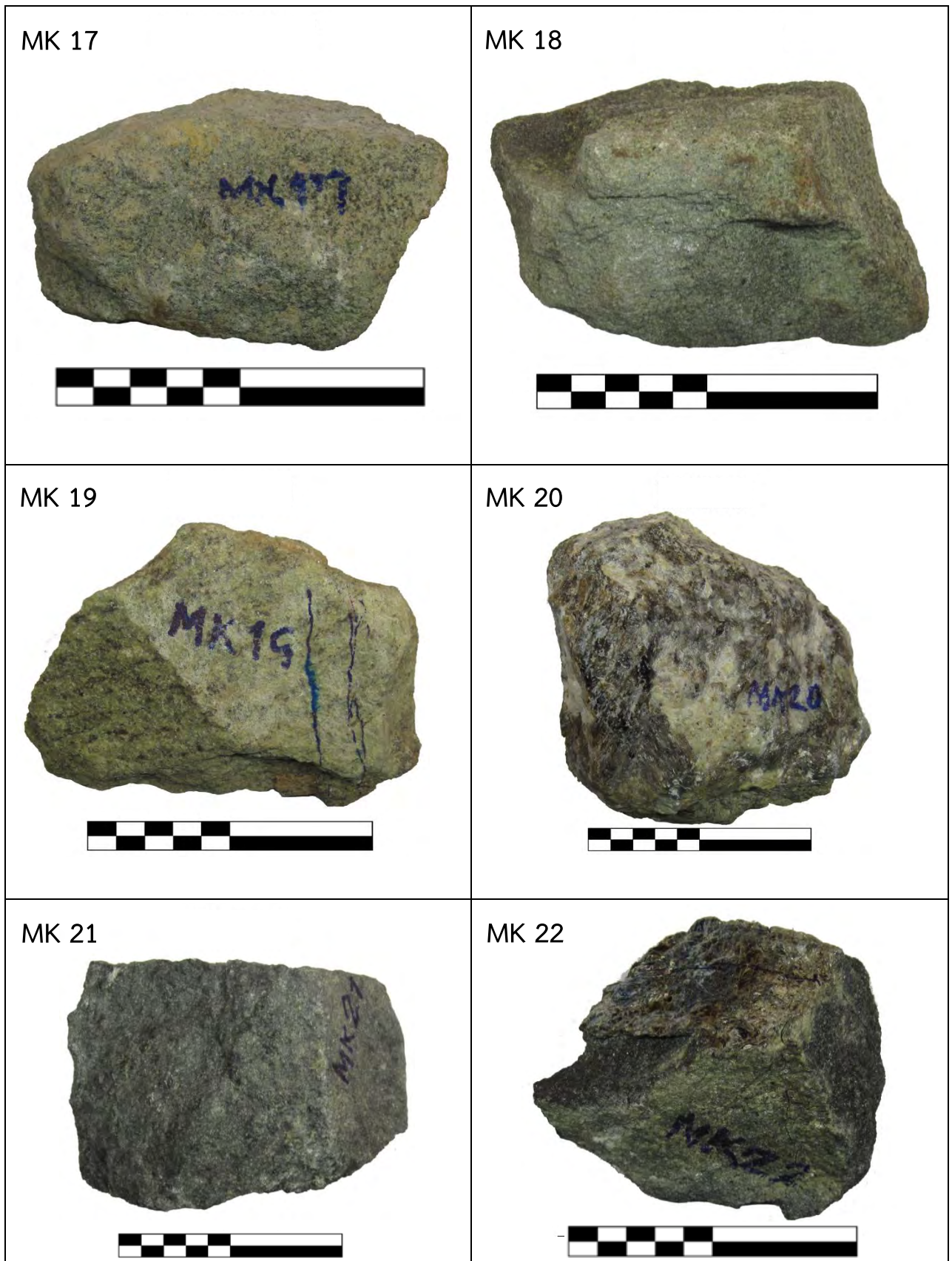
สมบัติทางกายภาพของกลุ่มหินตัวอย่างประเภทที่ 1

- ชนิดหิน หินอัคนีบาดาล (plutonic rock) จำพวกอัลตราแมฟิก (ultramafic)
- สีสด เขียวอมเหลือง
- สีผุ น้ำตาลส้ม
- ความผูกพัน ปานกลาง
- เนื้อหิน เนื้อหยาบ (phaneritic texture)

กลุ่มหินตัวอย่างประเภทที่ 2 ประกอบไปด้วย ตัวอย่าง MK-20 MK-21 และ MK-22

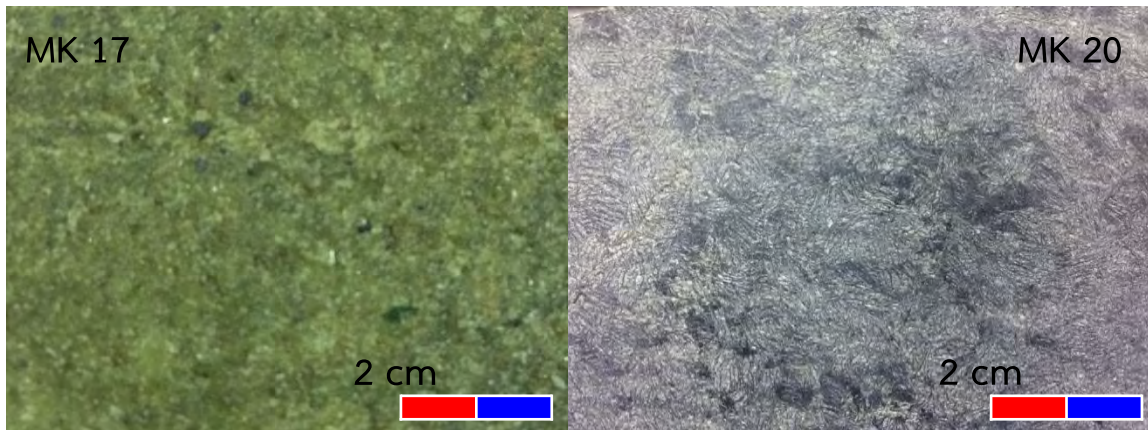
สมบัติทางกายภาพของกลุ่มหินตัวอย่างประเภทที่ 2

- ชนิดหิน หินอัคนีบาดาล (plutonic rock) จำพวกอัลตราแมฟิก (ultramafic)
- สีสด เทาอ่อน-เทาเข้ม
- สีผุ น้ำตาล-ดำ
- ความผูกพัน น้อย
- เนื้อหิน เนื้อหยาบ (phaneritic texture)



รูป 3.4 ตัวอย่างหินดินเหนียวจากแหล่งพลอยโมกก ประเทศพม่า

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบแร่โดยรวมของกลุ่มหินตัวอย่างทั้งสองประเภทนั้น มีแร่องค์ประกอบหลักคล้ายคลึงกัน ดังนี้คือ แร่โอลิวีน (olivine) และไพร็อกซีน (pyroxene) ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ นั้นมีความคล้ายคลึงกันเช่นเดียวกัน จึงจำเป็นต้องแบ่งกลุ่มหินตัวอย่างโดยใช้สีสดในการพิจารณา ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มหินตัวอย่างได้เป็นสองกลุ่มข้างต้น และลักษณะเนื้อหินจากแผ่นหินเรียบของหินตัวแทนของกลุ่มหินที่ 1 และ 2 คือ หินตัวอย่าง MK 17 และ MK 20 ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นในรูป 3.5



รูป 3.5 ลักษณะเนื้อหินจากแผ่นหินเรียบของหินตัวแทนของกลุ่มหินที่ 1 และ 2 คือ หินตัวอย่าง MK 17 และ MK 20

3.4 ศิลาวรรณนา

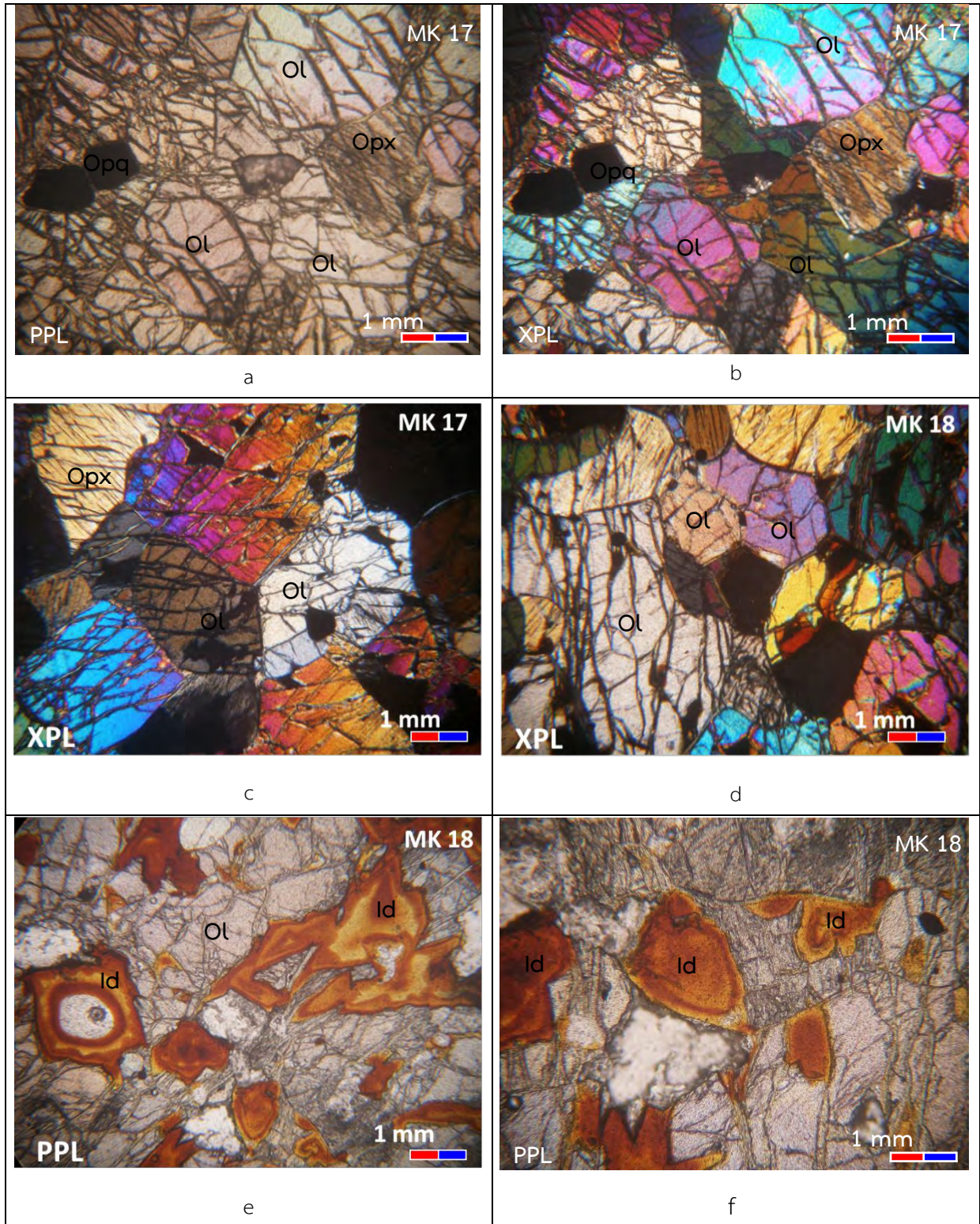
หลังจากขั้นตอนการแบ่งกลุ่มตัวอย่างโดยเกณฑ์ที่ใช้คือ ลักษณะทางกายภาพของหินตัวอย่างนั้น สามารถแบ่งหินตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มข้างต้น โดยมีผลของการศึกษาและรายละเอียดลักษณะศิลาวรรณนา ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ดังนี้

หินตัวอย่างกลุ่มที่ 1

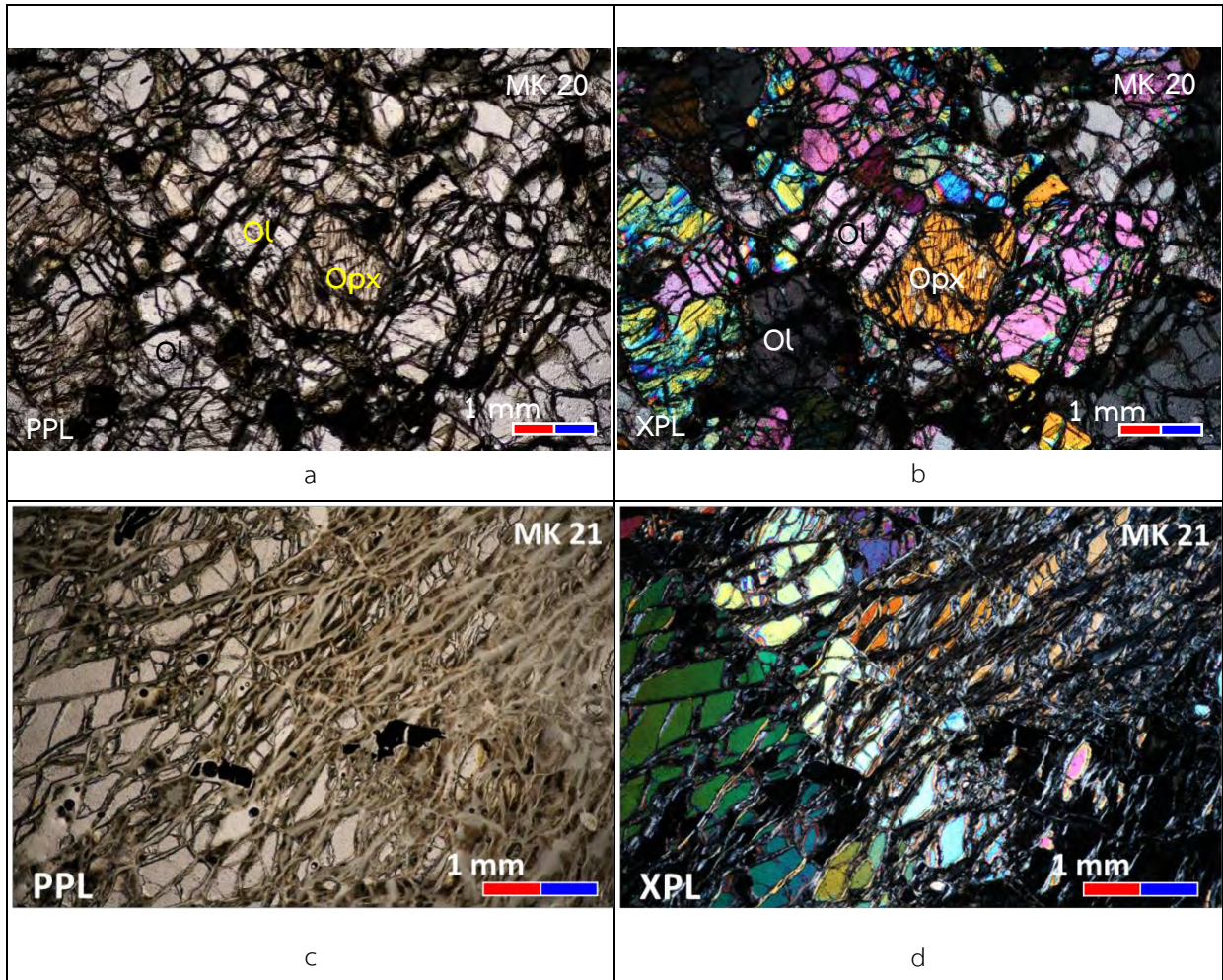
หินกลุ่มแรกแสดงลักษณะเนื้อมวลผลึก (holocrystalline) ซึ่งมีขนาดผลึกเฉลี่ย 1-3 มิลลิเมตร โดยประกอบไปด้วยแร่โอลิวีน (olivine) เป็นส่วนใหญ่ (95-97%) แสดงลักษณะเนื้อหินสานเกี่ยวกันของผลึกแร่โอลิวีน (olivine) ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน (equigranular) ประกอบกับผลึกของแร่ออร์โทไพโรซีน (orthopyroxene) (2-4%) และแร่ทึบแสง (opaque mineral) (1-2%) (ดังรูป 3.6a, 3.6b) ผลึกของแร่นี้แสดงลักษณะ ตั้งแต่ผลึกกึ่งสมบูรณ์ (subhedral crystal) จนถึงผลึกไม่สมบูรณ์ (anhedral crystal) ในบางบริเวณพบขอบผลึกเรียบของแร่โอลิวีน (olivine) ซึ่งแสดงมุมประจบระหว่าง 3 ผลึก (triple junction) ประมาณ 120 องศา (ดังรูป 3.6c และ 3.6d) และในบางตัวอย่างหิน (MK 18) พบแร่อิดดิงไซด์ (iddingsite) ที่แสดงการแปรสภาพจากการผุพัง (weather) ของแร่โอลิวีนซึ่งจะแสดงให้เห็นเป็นคราบสีน้ำตาลคล้ายสนิมเหล็กใน (PPL) และมีดสนิทไน (XPL) (รูป 3.6e และ 3.6f)

หินตัวอย่างกลุ่มที่ 2

หินกลุ่มที่สองแสดงหินกลุ่มแรกแสดงลักษณะเนื้อมวลผลึก (holocrystalline) ซึ่งมีขนาดผลึกเฉลี่ย 1-3 มิลลิเมตร โดยประกอบไปด้วยแร่โอลิวีน (olivine) เป็นส่วนใหญ่ (96-98%) แสดงลักษณะเนื้อหินสานเกี่ยวกันของผลึกแร่โอลิวีน (olivine) ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน (equigranular) ประกอบกับผลึกของแร่ออร์โทไพโรซีน (orthopyroxene) (2-3%) แร่ทึบแสง (opaque mineral) (1-2%) และพบแร่เซอร์เพนทีน (serpentine) (ดังรูป 3.7a, 3.7b) ผลึกของแร่นี้แสดงลักษณะ ตั้งแต่ผลึกกึ่งสมบูรณ์ (subhedral crystal) จนถึงผลึกไม่สมบูรณ์ (anhedral crystal) ในบางตัวอย่าง (MK 21 และ MK 22) (1-2%) ที่แสดงการแปรสภาพ (alteration) ของแร่โอลิวีนซึ่งจะพบอยู่ตามรอยแตกและขอบของแร่โอลิวีน โดยแสดงลักษณะคล้ายเส้นใย (รูป 3.7c และ 3.7d)



รูป 3.6 ลักษณะคิลาวรรณนาของหินตัวแทนหินตัวอย่างกลุ่ม 1



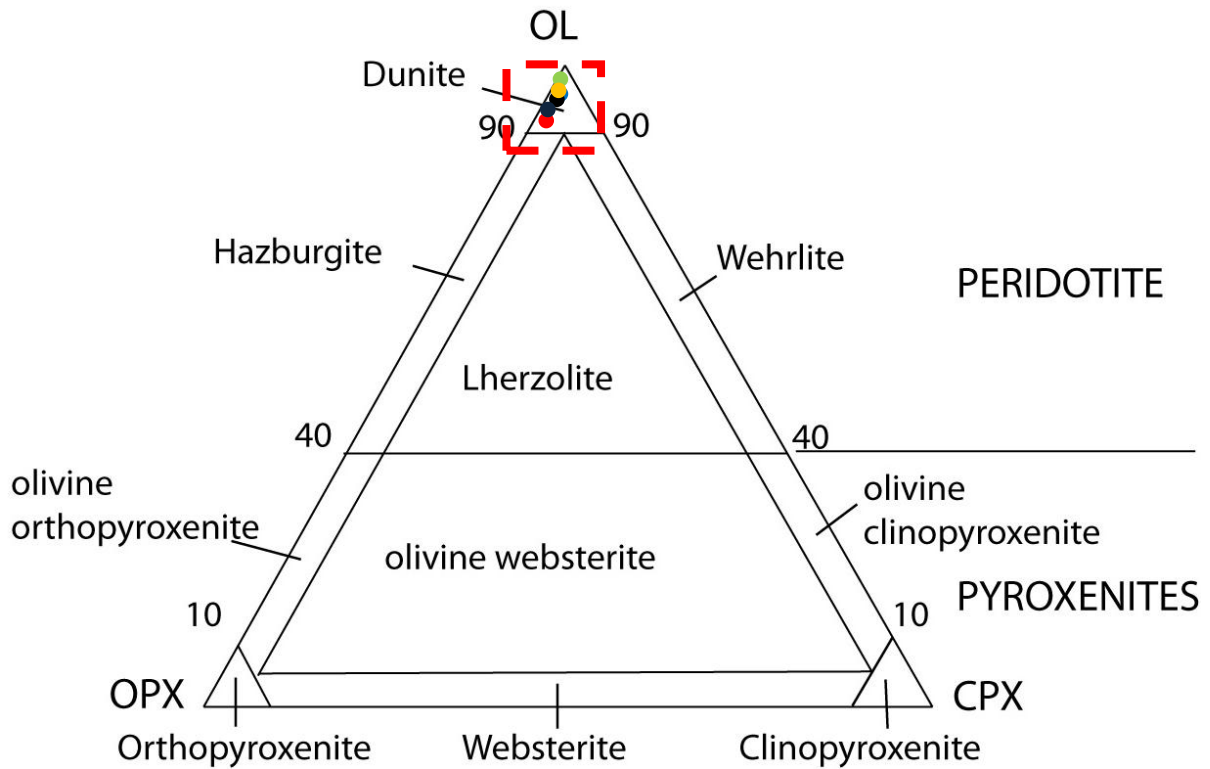
รูป 3.7 ลักษณะศิลารรณนาของหินตัวแทนหินตัวอย่างกลุ่ม 2

จากการศึกษาลักษณะของศิลารรณนาของหินตัวอย่างทั้ง 6 ก้อนภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ที่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มนั้นสามารถสรุปได้ว่า หินทั้งสองกลุ่มมีองค์ประกอบแร่หลักคล้ายคลึงกันดังตาราง 3.1

แร่	จำนวน (%)
โอลีวิน (olivine)	95-98
ไพร์อกซีน (pyroxene)	2-4
แร่ทึบแสง (opaque mineral)	1-2
แร่อื่น (แร่เซอร์เพนทีน (serpentine), แร่อิดดิงไซด์ (iddingsite))	1-2

ตารางที่ 3.1 สรุปแร่องค์ประกอบหลักของหินตัวอย่างทั้งสองกลุ่ม

จากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ทำให้ทราบถึงจำนวนของแร่ โดยการนับแร่ที่เป็น Color mineral index เช่น แร่โอลิวีน (olivine) แร่ออร์โธไพร์อกซีน (orthopyroxene) และแร่คลิโนไพร์อกซีน (clinopyroxene) นำไปพล็อตในไดอะแกรมของ International Union of Geological Science (IUGS) ซึ่งเป็นไดอะแกรมที่ใช้ในการจำแนกชนิดหินอัคนีจำพวกอัลตราเมฟิกซึ่งแสดงดังรูป 3.8



จากการนำแร่ Color mineral index ไปพล็อตในไดอะแกรมของ IUGS นั้น ผลที่ได้คือ ทุกตัวอย่าง ตกอยู่ในพื้นที่ดังรูป 3.8 ซึ่งมีองค์ประกอบของแร่โอลิวีน (olivine) มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นหินตัวอย่าง ทั้ง 6 ก้อนเป็นหินดันไนต์

3.4 ธรณีเคมีของหิน

จากการเก็บตัวอย่างหินทั้ง 6 ก้อนจากพื้นที่ศึกษานำเข้าสู่ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างผงหิน โดยการบดและนำไปวิเคราะห์ทางเคมีด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) ซึ่งค่าที่ได้มานั้นจะประกอบด้วยปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในองค์ประกอบทางเคมีของหิน ผลวิเคราะห์ที่ได้ออกมานั้นเป็นปริมาณของ Major Oxide และ Minor Oxide ประกอบไปด้วย SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CrO₂, MnO, NiO, MgO, CaO, K₂O และ SO₃ ซึ่งค่า Major และ Minor Oxide (weight% oxide) แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ข้อมูล Whole rock analysis ของหินต้นไนต์ที่เป็นค่า Major Oxide และ Minor Oxide

Sample	Group 1			Group 2		
	MK 17	MK 18	MK 19	MK 20	MK 21	MK 22
Major oxide (wt%)						
SiO ₂	41.34	40.54	40.85	49.63	38.71	40.12
Al ₂ O ₃	0.39	0.48	0.37	0.66	0.00	0.67
Fe ₂ O ₃	9.01	8.76	7.55	6.17	7.89	8.47
Cr ₂ O ₃	0.44	0.41	0.40	0.52	0.00	0.56
MnO	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
NiO	0.49	0.51	0.50	0.19	0.58	0.53
MgO	45.10	41.32	41.68	39.08	42.89	40.89
CaO	0.16	0.61	0.00	0.23	0.11	0.17
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
SO ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70
LOI	2.15	2.45	5.00	1.25	12.30	3.60
Total	99.13	95.14	96.41	97.79	102.54	96.01

จากการนำผงหินตัวอย่างผ่านปฏิบัติการด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) ผลวิเคราะห์ที่ได้ออกมาเป็นปริมาณของ Major Oxide และ Minor Oxide ซึ่งผลวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมดได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 3.2 ในรูปของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักออกไซด์ (weight % oxide) ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มและมีค่าดังต่อไปนี้

SiO_2 : ในตัวอย่างหินทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 40% มีเพียงหนึ่งตัวอย่างที่มีค่าสูงกว่า 40% คือ ตัวอย่าง MK 21 ซึ่งมีค่า 38.71%

Al_2O_3 : ในตัวอย่างหินทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 0.39-0.67%

Fe_2O_3 : ในตัวอย่างหินทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 7.5-9% มีเพียงหนึ่งตัวอย่างที่มีค่าต่ำกว่า 7% คือ ตัวอย่าง MK 20 ซึ่งมีค่า 6.17%

CrO_2 : ในตัวอย่างหินทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 0.40-0.56%

MnO : ในตัวอย่างหินทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 0.03%

NiO : ในตัวอย่างหินทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 0.5% มีเพียงหนึ่งตัวอย่างที่มีค่าต่ำกว่าคือ ตัวอย่าง MK 20 ซึ่งมีค่า 0.19%

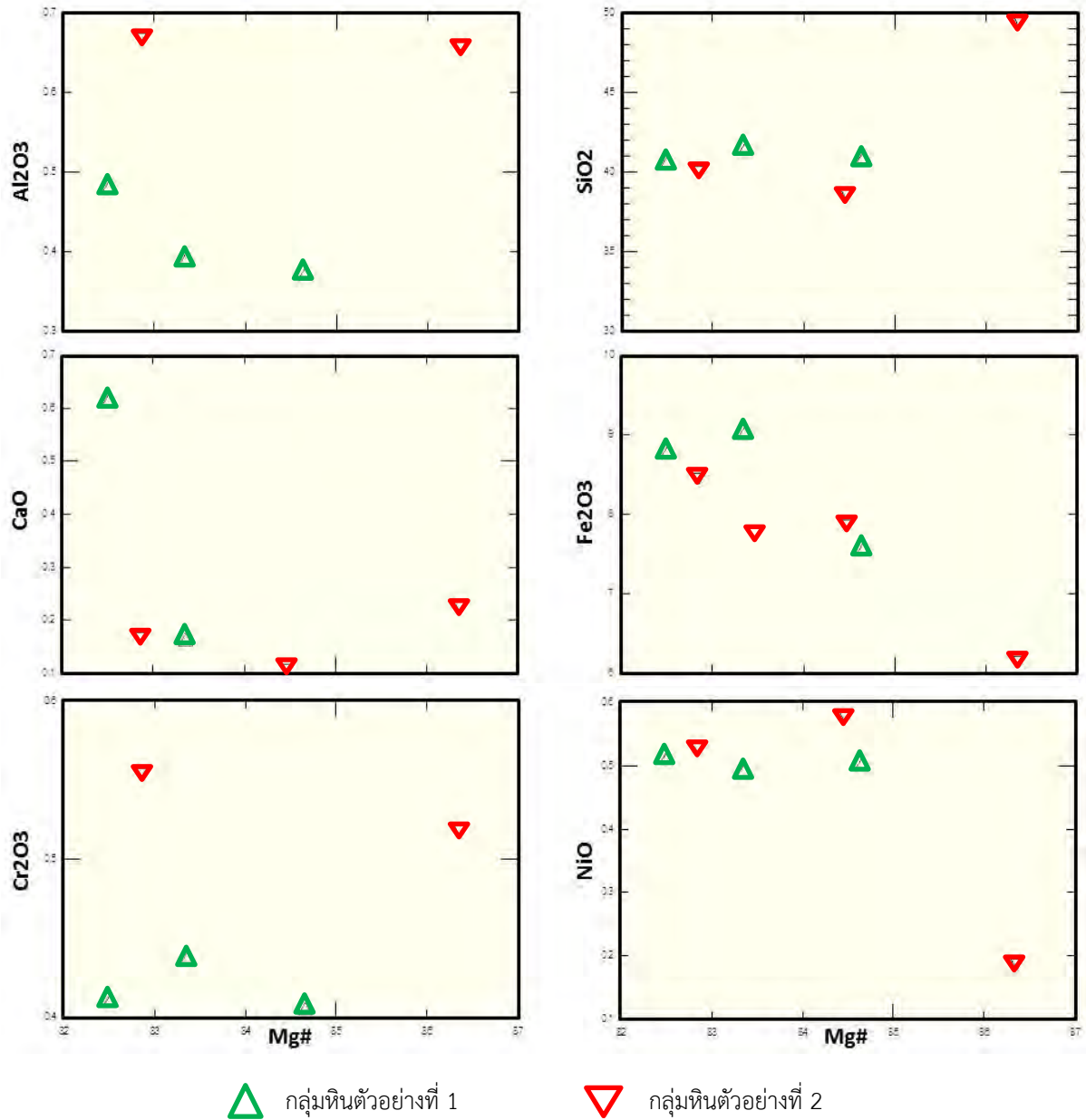
MgO : ในตัวอย่างหินทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 40-45% มีเพียงหนึ่งตัวอย่างที่มีค่าต่ำกว่า 40% คือ ตัวอย่าง MK 20 ซึ่งมีค่า 39.08%

CaO : ในตัวอย่างหินทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 0.1-0.2% มีเพียงหนึ่งตัวอย่างที่มีค่าสูงกว่า 0.2% คือ ตัวอย่าง MK 18 ซึ่งมีค่า 0.61%

K_2O : ในตัวอย่างหินทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันคือ 0% มีเพียงหนึ่งตัวอย่างที่มีค่าสูงกว่าคือ ตัวอย่าง MK 22 ซึ่งมีค่า 0.26%

SO_3 : พบเพียงในตัวอย่างหิน MK 22 มีค่า 0.7%

จากผลธรณีเคมีข้างต้นนำมาพล็อตลงในกราฟระหว่างธาตุประกอบออกไซด์และ Magnesium number (Mg#) = $100 * (MgO / (FeO + MgO))$ ซึ่งพล็อตเพื่อดูการกระจายตัวของธาตุองค์ประกอบออกไซด์ในแต่ละชนิด ซึ่งแสดงในรูป 3.9



รูป 3.9 Variation diagram ที่พล็อตระหว่างธาตุประกอบออกไซด์และ $Mg\# = 100 * (MgO / (FeO + MgO))$

3.5 องค์ประกอบทางเคมีแร่

ผลการวิเคราะห์จากเครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA) ของแร่สำคัญเช่น แร่โอลิวีน (olivine) แร่ทึบแสง (opaque mineral) และแร่ไพร็อกซีน (pyroxene) ที่ได้เลือกไว้ โดยแสดงเป็นตารางตั้งแต่ตารางที่ 3.3 – 3.6 ในรูปของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักออกไซด์ (weight % oxide)

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดองค์ประกอบทางเคมีแร่โอลิวีน (olivine)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	42.13	41.55	42.12	41.99	41.53	41.50	41.82	41.71	41.96	41.53
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
FeO	7.38	7.41	7.35	7.18	7.23	5.44	5.82	6.84	6.41	6.39
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00
MnO	0.11	0.09	0.05	0.12	0.17	0.10	0.15	0.07	0.12	0.05
NiO	0.38	0.37	0.40	0.38	0.42	0.33	0.36	0.25	0.23	0.21
MgO	50.31	50.53	50.65	50.64	50.75	52.59	51.93	51.30	50.23	51.43
CaO	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.00	0.02
K ₂ O	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
รวม	100.31	99.96	100.60	100.36	100.14	100.00	100.09	100.26	98.97	99.68

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดองค์ประกอบทางเคมีแร่ฮอร์โทไพโรกซีน (orthopyroxene)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	58.41	58.84	58.63	58.76	58.27	57.94	57.53	59.85	58.94	57.82
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01
Al ₂ O ₃	0.56	0.53	0.52	0.54	0.66	0.63	0.64	0.61	0.68	0.52
FeO	4.00	4.08	3.85	3.75	3.37	3.33	3.18	4.77	4.59	3.65
Cr ₂ O ₃	0.05	0.05	0.08	0.12	0.04	0.02	0.05	0.14	0.14	0.05
MnO	0.14	0.11	0.10	0.14	0.16	0.13	0.12	0.09	0.13	0.08
NiO	0.07	0.12	0.06	0.12	0.06	0.10	0.05	0.02	0.11	0.11
MgO	36.22	36.28	36.72	36.12	36.70	36.91	36.96	33.09	35.78	36.96
CaO	0.10	0.09	0.09	0.08	0.21	0.20	0.21	0.48	0.52	0.10
K ₂ O	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Na ₂ O	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.02
รวม	99.57	100.11	100.07	99.66	99.48	99.27	98.75	99.08	100.90	99.31

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดองค์ประกอบทางเคมี แร่ไคลโนไพโรอกซีน (clinopyroxene)					
	1	2	3	4	5
SiO ₂	43.78	43.82	43.48	43.47	44.56
TiO ₂	0.01	0.01	0.02	0.06	0.05
Al ₂ O ₃	5.24	5.06	5.70	5.40	5.92
FeO	6.61	6.26	6.74	6.26	3.36
Cr ₂ O ₃	0.01	0.11	0.02	0.06	0.05
MnO	0.03	0.00	0.02	0.04	0.02
NiO	0.00	0.29	0.14	0.00	0.04
MgO	38.81	38.79	38.14	38.21	38.27
CaO	5.83	5.96	5.68	5.68	5.47
K ₂ O	0.02	0.08	0.04	0.11	0.11
Na ₂ O	0.03	0.12	0.05	0.29	0.18
รวม	100.36	100.50	100.03	99.59	98.02

ในส่วนของผลเคมีแร่ของแร่ทึบแสง (Opaque mineral) นั้นอาศัยข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เคมีแร่จากเครื่อง อิเล็กตรอน microprobe โดยใช้หลักการของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและเทคโนโลยีการวิเคราะห์ X-ray สเปกโตรสโกปี ซึ่งผลที่ได้จะออกมาจะคล้ายคลึงกับผลที่ได้จากเครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA) ซึ่งรายละเอียดผลวิเคราะห์ได้รวบรวมในตารางที่ 3.6 โดยข้อมูลจะรายงานออกมาในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักออกไซด์ (weight % oxide) เช่นเดียวกัน ซึ่งผลเคมีแร่ของแร่ทึบแสงนี้ได้จากการปฏิบัติการของ ดร.ประหยัด นันทศีล นักวิจัยของสถาบันอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดองค์ประกอบทางเคมีแร่ทึบแสง (opaque mineral)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	0.22	0.18	0.29	0.10	0.18	0.25	0.27	0.26	0.05	0.16
TiO ₂	0.00	0.01	0.08	0.02	0.10	0.01	0.03	0.05	0.11	0.03
Al ₂ O ₃	17.48	15.82	15.90	18.03	17.42	18.21	17.27	18.03	17.27	18.97
Cr ₂ O ₃	41.92	42.85	43.54	40.96	41.25	40.09	41.82	40.72	42.00	40.15
FeO	29.42	30.93	28.61	30.08	31.44	31.76	29.94	30.34	29.44	28.51
MnO	0.17	0.17	0.23	0.35	0.22	0.25	0.18	0.21	0.11	0.23
MgO	10.05	8.96	10.46	9.42	8.46	8.97	9.78	9.44	9.94	10.64
CaO	0.05	0.05	0.06	0.08	0.04	0.02	0.01	0.09	0.07	0.04
ZnO	0.25	0.42	0.17	0.24	0.17	0.32	0.25	0.29	0.03	0.19
รวม	99.56	99.39	99.34	99.28	99.28	99.88	99.55	99.43	99.02	98.92

บทที่ 4 อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

บทที่ 4

อภิป്രายและสรูปผลการวิจัย

4.1 การกำเนิดหินดันไนต์

หินที่ทนต่อการหลอมละลายสูง เพอริโดไทต์ (peridotite) ฮาร์ซเบอร์ไกต์ (harzburgite) และดันไนต์ (dunite) มักพบใน oceanic หรือ continental lithospheric mantle และมักจะถูกตีความว่าเป็นผลมาจากการหลอมละลายบางส่วน (partial melting) ที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งมีผลต่อเคมีของบริเวณแมนเทิล (Dick and Bullen, 1984; Dick et al., 1984; Frey et al., 1985) โดยทั่วไปของหินอัคนีจำพวกอัลตราแมฟิกแล้วสามารถสันนิษฐานได้ 2 กรณีคือ (1) (Primitive magma) หินที่หลอมละลายบางส่วนจากแมนเทิลและยังไม่ถูกการ differentiation ซึ่งจะแสดงถึงองค์ประกอบเคมีเริ่มต้นของแมกมา (2) (Culmulate rock) หินที่เกิดจากการตกผลึกลำดับส่วน (crystal fractionation) และตกผลึกในขณะที่เกิดกระบวนการ differentiation ของแมกมา ซึ่งในทั้ง 2 กรณีผลขององค์ประกอบทางเคมีจะเป็นตัวบ่งบอกถึงการกำเนิดของแมกมา

องค์ประกอบทางเคมีของแมกมาถูกควบคุมโดยแร่ที่ตกผลึกหลังจากการเย็นตัว ตัวอย่างเช่น การหลอมละลายหินอัคนีจำพวกอัลตราแมฟิก ปริมาณ MgO และ SiO₂ เป็นตัวกำหนดว่า forsterite olivine หรือ enstatite pyroxene จะตกผลึก ดังนั้นผลทางธรณีเคมีและเคมีแร่ของงานวิจัยนี้สามารถนำมาใช้ตีความถึงการกำเนิดของหินดันไนต์ (dunite) ได้

จากผลของธรณีเคมีของหินตัวอย่างทั้งหมดซึ่งมีค่าธาตุหลัก และธาตุรองดังนี้ 38.71 - 49.63% SiO₂, 0.37 - 0.67% Al₂O₃, 6.17 - 9.01% Fe₂O₃, 0.00 - 0.56% Cr₂O₃, 0.03 - 0.04% MnO, 0.19 - 0.58% NiO, 36.08 - 45.10% MgO, 0.00 - 0.61% CaO, 0.00 - 0.26% K₂O และ 0.00 - 0.70% SO₃ ประกอบกับเคมีแร่ของแร่โอลิวีนที่สามารถสรุปจากองค์ประกอบเคมีได้ว่าเป็นแร่โอลิวีนที่มี Mg สูง (magnesium-rich) หรือ ฟอสเทอร์ไรต์ (forsterite) รวมถึงเคมีแร่ของแร่ทึบแสง (opaque mineral) ที่มีค่า Cr₂O₃ สูงและจากธาตุองค์ประกอบอื่นๆสามารถสรุปได้ว่าแร่ทึบแสงนี้เป็นแร่โครไมต์ (chromite)

ดังนั้นการกำเนิดของหินดันไนต์บริเวณแหล่งโมกก ซึ่งเป็นหินให้กำเนิดอัญมณีชนิดเพอริโดไทต์นั้น เริ่มจากการหลอมละลายบางส่วนของแมนเทิล จากนั้นเกิดการตกผลึกลำดับส่วน (crystal fractionation) กลายเป็น Culmulate rock ที่มีองค์ประกอบเปลี่ยนแปลงไปจากแมกมาตั้งต้น (primitive magma) เล็กน้อย และจากกระบวนการทางเทคนิคของบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีการชนและมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกเป็นเหตุให้เกิดการ obduction ทำให้หินอัคนีจำพวกอัลตราแมฟิกสามารถขึ้นมาด้านบน ซึ่งบริเวณที่เกิดเหตุการณ์ทาง

เทคโนโลยีธรณืแรงดังกล่าวนี้คือบริเวณทางตอนเหนือของแหล่งโม่กก ที่พบการกระจายตัวของหินอัคนีจำพวก อัลตราเมฟิกเช่น ดันไนต์และเพอร์ริโดไทต์

4.2 การกลายเป็นแร่เซอร์เพนทีนของหินดันไนต์ (serpentinized dunite)

จากผลของการศึกษาสิลาวรรณพบว่า องค์ประกอบของแร่ในแต่ละตัวอย่างใกล้เคียงกัน แต่ในกลุ่มตัวอย่างหินกลุ่มที่ 2 นั้นพบแร่เซอร์เพนทีน (serpentine) มากกว่ากลุ่มหินตัวอย่างที่ 1 โดยจะพบแร่เซอร์เพนทีนที่บริเวณขอบและรอยแตกของแร่โอลีวิน และจากผลของธรณีเคมีของทั้งสองกลุ่มหินตัวอย่าง เมื่อนำมาเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีแล้ว พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าหินทั้งสองกลุ่มนั้นเป็นหินที่มีต้นกำเนิดเดียวกัน แต่ในหินตัวอย่างกลุ่มที่ 2 มีการกลายเป็นแร่เซอร์เพนทีนของโอลีวิน ซึ่งแสดงการแปรสภาพ (alteration) ของแร่โอลีวิน โดยที่แร่เซอร์เพนทีนนั้นเกิดจากแร่โอลีวินซึ่งมีหลายปฏิกิริยาเคมีที่สามารถเกิดขึ้นได้ โดยจากหินตัวอย่างที่มีแร่โอลีวินเป็น magnesium-endmember นั้นสามารถเกิดจากการที่มีน้ำเข้าไปในโครงสร้างแล้วทำให้ซิลิกาเปลี่ยนแปลงไปเป็นแร่ในกลุ่มเซอร์เพนทีน ดังนั้นจึงทำให้ลักษณะทางกายภาพของหินตัวอย่างทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

- Bertrand, G., C. Rangin, H. Maluski, T. A. Han, M. Thein, O. Myint, W. Maw, and S. Lwin (1999), Cenozoic metamorphism along the Shan scarp (Myanmar): Evidences for ductile shear along the Sagaing fault or the northward migration of the eastern Himalayan syntaxis?, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 915 – 918.
- Bertrand, G., Rangin, C., Maluski, H., Bellon, 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*, Mac-Millan, London.
- Dick, H.J.B. and Bullen, Th., 1984, Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas, *Contrib Mineral, Petro* 84: 54-76
- Dick, H.J.B., 1989, Abyssal peridotites, very low spreading ridges and ocean ridge magmatism In: A.D. Saunders and M.J. Norry (Editor), *Magmatism in the Ocean Basins*, Geol. Soc, Spec. Publ., 42: 71-105.
- Frey, F.A., Suen, C.J. and Stockman, H.W., 1985, The Ronda high temperature peridotite: Geochemistry and Petrogenesis, *Genchim, Cosmochim, Acta* 49: 2469-2491.
- Iyer, L. A. N. (1953), The geology and gem-stones of the Mogok stone tract, Burma, *Geol. Surv. India Mem.*, 82.
- Kyaw Thu (2007), *The Igneous Rocks of the Mogok Stone Tract: Their Distributions, Petrography, Petrochemistry, Sequence, Geochronology and Economic Geology*. PhD Thesis University of Yangon, Myanmar
- Maung, Thien, and Soe Win (1970), The metamorphic petrology, structure and mineral resources of the Shantung-u-Thandawmywet Range, Kyaukse District, Burma, *Burma J. Sci. Tech.*, 3, 487 – 514,
- Myint Lwin Thein, Ohn Myint, Sun Kyi (1988). *Geology and stratigraphy of the metamorphosed early Palaeozoic rocks of the Thabeikkyin-Mogok areas*. Applied Geology Department, University of Rangoon, 57 p, unpub.
- Searle, D. L., and B. T. Haq (1964), The Mogok belt of Burma and its relationship to the Himalayan orogeny, *Proc. Int. Geol. Congr.*, 22, 132 – 161.
- Ted Themelis, *Gems and Mines of Mogok: (Burma)*, GEMLAB, 2008, 352