

ศิลปวรรณคดีและธรรมเนียมของแร่ไปโอไทต์ในหินแกรนิตของประเทศไทย

นางสาวมยุรา แดงประสิทธิ์พร

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY OF SOME BIOTITE IN
GRANITES OF THAILAND

Miss. Mayura Dangprasitthiporn

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Bachelor of Science Department of Geology
Chulalongkorn University
Academic Year 2011

วันที่ส่ง/...../.....

วันที่อนุมัติ...../...../.....

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปัญญา จารุศิริ)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้อเรื่อง	: ศิลาวรรณนาและธรณีเคมีของแร่ไบโอไทต์ในหินแกรนิตของประเทศไทย
ผู้วิจัย	: นางสาวมยุรา แดงประสิทธิ์พร
อาจารย์ที่ปรึกษา	: รองศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา จารุศิริ
ภาควิชา	: ธรณีวิทยา
ปีการศึกษา	: 2554

บทคัดย่อ

แร่ไบโอไทต์เป็นแร่สีเข้มที่เป็นแร่ประกอบหินที่สำคัญในหินแกรนิต เป็นแร่หนึ่งในกลุ่มแร่ไมกา มีสูตร $K(Mg, Fe^{2+})_3(Al, Fe^{3+})Si_3O_{10}(OH)_2$ มีรูปผลึกอยู่ในระบบหนึ่งแกนเอียง มีความหนาแน่น 2.7-3.3 ความแข็ง 2-3 มีสีดำ น้ำตาลแก่ หรือเขียวแก่ มีแนวแตกเรียบ ในแนว {001} ชัดเจน มีสมบัติการเปลี่ยนสี

ลักษณะศิลาวรรณนาและธรณีเคมีได้นำมาใช้ในการศึกษาแร่ไบโอไทต์ในหินยุคมีโซโซอิกแกรนิตของประเทศไทยในครั้งนี้ ผลจากการศึกษาทางด้านศิลาวรรณนาทำให้สามารถจำแนกแร่ไบโอไทต์ออกเป็น 2 กลุ่มตามลักษณะสีพลีโอโคอิคที่ปรากฏ ได้แก่ กลุ่มพลีโอโคอิคสีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้ม และกลุ่มที่มีสีเขียวอมน้ำตาลถึงน้ำตาลอมเขียว จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของแร่ไบโอไทต์โดยเครื่อง EPMA สามารถจำแนกแร่ไบโอไทต์ออกเป็น 3 กลุ่มที่มีลักษณะเฉพาะ คือ กลุ่ม Fe-Al biotite, Fe-biotite และ Mg-biotite โดยในกลุ่มของ Fe-Al biotite มีปริมาณของ Fe และ Al สูง ขณะที่ปริมาณของ Si มีค่าน้อย ประกอบด้วย $34.18 \pm 1.28\%$ SiO_2 , $3.28 \pm 0.96\%$ TiO_2 , 19.19 ± 1.33 Al_2O_3 , 22.91 ± 1.19 FeO , $0.47 \pm 0.11\%$ MnO , 8.64 ± 0.89 MgO และ $10.20 \pm 0.45\%$ K_2O จากผลดังกล่าวบ่งบอกว่าแร่ในกลุ่ม Fe-Al biotite นี้เกิดจากการตกผลึกจาก peraluminous magma โดยการหลอมละลายบางส่วน (partial melting) จากแผ่นเปลือกโลกทวีป ซึ่งเชื่อว่าหินแกรนิตที่มีแร่ไบโอไทต์ในกลุ่มนี้ มีความสัมพันธ์กับ S-type granites แร่ไบโอไทต์ในกลุ่มนี้แสดงพลีโอโคอิคสีน้ำตาล ในกลุ่มของ Fe-biotite เป็นกลุ่มที่มีปริมาณของ FeO มากที่สุด โดยมีองค์ประกอบ $36.61 \pm 1.01\%$ SiO_2 , $3.17 \pm 0.92\%$ TiO_2 , 14.41 ± 1.71 Al_2O_3 , 28.32 ± 3.38 FeO , $0.64 \pm 0.35\%$ MnO , 7.50 ± 0.91 MgO และ $7.85 \pm 2.63\%$ K_2O เกิดจากการตกผลึกที่มาจากหลายแหล่ง เช่น แผ่นเปลือกโลกมหาสมุทร และแผ่นเปลือกโลกทวีป (S/I-type granites) แร่ไบโอไทต์ในกลุ่มนี้แสดงพลีโอโคอิคสีเขียวอมน้ำตาลถึงน้ำตาลอมเขียว สำหรับ Mg-biotite มีปริมาณของ MgO สูงสุด โดยมีปริมาณธาตุองค์ประกอบอยู่ $37.26 \pm 0.61\%$ SiO_2 , $2.79 \pm 0.90\%$ TiO_2 , 15.24 ± 1.56 Al_2O_3 , 17.47 ± 1.81 FeO , $1.98 \pm 0.50\%$ MnO , 13.64 ± 0.77 MgO และ $9.49 \pm 0.59\%$ K_2O กลุ่มแร่ไบโอไทต์ที่มีปริมาณ Mg สูงนี้เกิดจากการตกผลึกจาก calc-alkaline magma (I-type granites) และในกลุ่มนี้จะมีพลีโอโคอิคเหมือนกับกลุ่ม Fe-biotite

Project title : PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY OF SOME BIOTITE IN
GRANITES OF THAILAND

Name : Miss. Mayura Dangprasitthiporn

Project advisor : Assoc.Prof.Dr. Punya Charusiri

Department : Geology

Academic year : 2011

Abstract

Biotite is one of the most important ferromagnesian constituents of granites and can be characterized by platy morphology and perfect basal cleavage. Pleochroism is the diagnostic property of biotite.

Biotites in Mesozoic granite of Thailand have been determined by their geochemistry and petrography. Petrographical investigations show that biotites can be divided into 2 groups base on the basis of pleochroism viz. brown to dark brown group and brownish green to greenish brown group. Biotites can be distinguished into three groups: Fe-Al-, Fe- and Mg-biotite. Fe-Al-biotite is rich in Fe,Al but poor in Si. Result on EPMA analysis of biotite shows that the biotite. Base on this analysis contains contents of $34.18 \pm 1.28\%$ SiO₂, $3.28 \pm 0.96\%$ TiO₂, 19.19 ± 1.33 Al₂O₃, 22.91 ± 1.19 FeO, $0.47 \pm 0.11\%$ MnO, 8.64 ± 0.89 MgO, $10.20 \pm 0.45\%$ K₂O. Our result reveals that the Fe-Al biotite crystallized from peraluminous melts originating mostly from the partially melted Al-rich continental crust. We believe that the granites contains this group of biotite belong to S-type affinity. This biotite group shows brown pleochroism under microscope. Fe-biotite group is richest in FeO and comprises contents of $36.61 \pm 1.01\%$ SiO₂, $3.17 \pm 0.92\%$ TiO₂, 14.41 ± 1.71 Al₂O₃, 28.32 ± 3.38 FeO, $0.64 \pm 0.35\%$ MnO, 7.50 ± 0.91 MgO, $7.85 \pm 2.63\%$ K₂O. The Fe-rich biotite group probably crystallized from melts originating from different source, e.g., oceanic and continental crusts (S/I type granites). The color of pleochroism is brownish green to greenish brown. Mg-biotite is characterized by high content of MgO and contains of $37.26 \pm 0.61\%$ SiO₂, $2.79 \pm 0.90\%$ TiO₂, 15.24 ± 1.56 Al₂O₃, 17.47 ± 1.81 FeO, $1.98 \pm 0.50\%$ MnO, 13.64 ± 0.77 MgO, $9.49 \pm 0.59\%$ K₂O. The Mg-rich biotites crystallized mostly from calc-alkaline magma (I-type granites). The pleochroic color is similar to Fe-biotite.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา จารุศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่คอยแนะนำและให้ความรู้ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาในทุกขั้นตอนการวิจัย รวมทั้งความช่วยเหลืออื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง และขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ช่วยในการสนับสนุนการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอบพระคุณอาจารย์ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ทำการประสิทธิประสาทวิชาความรู้ รวมถึงประสบการณ์ต่างๆ และให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

ในส่วนของการวิจัย ขอขอบคุณ คุณประจันและคุณสุริยะ เจ้าหน้าที่ประจำห้องตัดหิน ภาควิชาธรณีวิทยา ที่ช่วยแนะนำและช่วยเหลือในการจัดทำแผ่นหินบาง ขอขอบคุณ คุณจิระประภา เจ้าหน้าที่ดูแลห้อง XRD และคุณโคภิต เจ้าหน้าที่ดูแลห้อง EPMA ที่คอยช่วยแนะนำและช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่าง และขอบคุณบุคลากรภาควิชาธรณีวิทยาทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการประสานงานต่างๆ

และท้ายสุด ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ เพื่อน พี่น้องธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเพื่อน พี่น้องสายปัญญาทุกท่าน ที่คอยแนะนำ ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ข้อมูลทั่วไป	2
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
1.3 วัตถุประสงค์	6
1.4 ขอบเขตการศึกษา	6
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.6 ธรณีวิทยาทั่วไป	6
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	
2.1 วิธีดำเนินการวิจัย	10
2.2 พื้นที่ศึกษา	12
2.3 แผ่นหินบาง	13
2.4 X-ray diffraction (XRD)	14
2.5 Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA)	14
บทที่ 3 ผลการวิจัย	
3.1 Petrographic description	16
3.1.1 Mesoscopic investigation	16
3.1.2 Microscopic investigation	25
3.2 ผลวิเคราะห์ธรณีเคมีของแร่ไบโอไทต์	33
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล	
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างธรณีเคมีและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแร่ไบโอไทต์	38
4.2 การกำเนิดแร่และอุณหภูมิจาก	43
4.3 ธรณีแปรสัณฐาน	45

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	
5.1 สรุปผลการวิจัย	47
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
รายการอ้างอิง	49
ภาคผนวก	50

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของแร่ไบโอไทต์ในหินอัคนี (Deer และคณะ, 1996)	3
ตารางที่ 1.2.1 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบเคมีของแร่ไบโอไทต์แต่ละกลุ่ม (Buda และคณะ, 2004)	4
ตารางที่ 1.2.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของแร่ไบโอไทต์ (Nonsung, 2010)	5
ตารางที่ 4.1.1 ค่าเฉลี่ยธาตุองค์ประกอบหลักของแร่ไบโอไทต์แต่ละกลุ่ม	39

สารบัญรูปร่างภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1.1 Components of biotite composition และ natural biotite lie (Deer และคณะ, 1996)	2
รูปที่ 1.2.1 ลักษณะ X-ray Powder Diffraction ของแร่ไบโอไทต์จาก Jasper country, Georgia USA (RRUFF project at University of Arizona)	6
รูปที่ 1.6.1 การกระจายตัวของหินแกรนิต (สีดำ) และแนวหินแกรนิตในประเทศไทยและข้างเคียง (Charusiri และคณะ, 1993)	7
รูปที่ 2.1.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงาน	10
รูปที่ 2.2.1 แผนที่แสดงการกระจายตัวของหินแกรนิตในประเทศไทย, แนวหินแกรนิตทั้ง 3 แนว และแสดงจุดศึกษาที่ทำการเก็บตัวอย่าง (Charusiri, 1993)	12
รูปที่ 3.1.1.1 ตัวอย่างหินแกรนิต จังหวัดเลย ประกอบไปด้วยแร่ขนาดเล็กถึงปานกลางของแร่เฟลด์สปาร์สีชมพูและสีขาวยาวขนาดประมาณ 0.2 cm แร่ควอร์ตซ์และแร่ไบโอไทต์ที่มีขนาดเล็ก 0.1-0.2 cm. ซึ่งทั้งหมดมองเห็นด้วยตาเปล่า ขนาดเท่าๆ กันเป็นเนื้อหินแบบ equigranular	18
รูปที่ 3.1.1.2 ตัวอย่างหินแกรนิตจังหวัดตาก ประกอบไปด้วยแร่เฟลด์สปาร์สีขาวยาวและแร่ควอร์ตซ์ ขนาดประมาณ 0.5 cm, และแร่ไบโอไทต์ ขนาดประมาณ 0.2-0.3 cm ซึ่งทั้งหมดนี้มองเห็นด้วยตาเปล่า มีเนื้อหินแบบ phaneritic	19
รูปที่ 3.1.1.3 หินแกรนิต อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี ประกอบไปด้วยแร่ขนาดปานกลางถึงหยาบของแร่ ควอร์ตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ และแร่ไบโอไทต์ ขนาดเม็ดแร่ประมาณ 0.1 – 0.3 cm. สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีเนื้อหินแบบ phaneritic	20
รูปที่ 3.1.1.4 หินแกรนิต เขาชีจรรย์ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี ประกอบไปด้วยแร่ที่มีขนาดเล็กถึงปานกลางขนาดเท่าๆ กัน ของแร่ควอร์ตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ และแร่ไบโอไทต์ ขนาดประมาณ 0.1-0.2 cm สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีเนื้อหินแบบ phaneritic	21
รูปที่ 3.1.1.5 หินแกรนิต บริเวณวัดหนองหว้า อำเภอแก่ง จังหวัดระยอง ประกอบไปด้วยแร่ควอร์ตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ แร่มีสโคไวต์ และแร่ไบโอไทต์ ขนาดเม็ดแร่ประมาณ 0.5 – 1 cm. โดยแร่ไบโอไทต์มีขนาดค่อนข้างใหญ่ 0.1-0.3 cm. สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีเนื้อหินแบบ phaneritic	22

- รูปที่ 3.1.1.6 หินแกรนิตบริเวณหาดกะรน อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต ประกอบไปด้วยแร่
เฟลด์สปาร์สีขาว ที่เป็นผลึกดอก ขนาดประมาณ 2-4 cm, แร่ควอตซ์ขนาด
ประมาณ 0.5-1 cm, และแร่ไบโอไทต์ ขนาดประมาณ 0.1-0.3 cm
มีแร่ฮอร์นเบลนด์เล็กน้อย ซึ่งทั้งหมดนี้มองเห็นด้วยตาเปล่า มีเนื้อหินแบบ
porphyritic ผลึกดอกของแร่เฟลด์สปาร์ 23
- รูปที่ 3.1.1.7 หินแกรนิตบริเวณหาดกะตะ อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต ประกอบไปด้วยแร่
เฟลด์สปาร์สีขาว ที่เป็นผลึกดอก ขนาดประมาณ 2 cm., แร่ควอตซ์ขนาด
ประมาณ 0.5 – 1 cm. และแร่ไบโอไทต์ ขนาดประมาณ 0.2 – 0.4 cm.
มีแร่ฮอร์นเบลนด์เล็กน้อย ซึ่งทั้งหมดนี้มองเห็นด้วยตาเปล่า มีเนื้อหินแบบ
porphyritic ผลึกดอกของแร่เฟลด์สปาร์ 24
- รูปที่ 3.1.2.1 (รูปที่ 3.1.2.1 (ก) ปราศจากนิโคล, รูปที่ 3.1.2.1 (ข) ใส่นิโคล) ของหินแกรนิต 26
ในพื้นที่บริเวณหาดกะตะ จังหวัดภูเก็ต แสดงแร่ไบโอไทต์ ขนาดกว้างประมาณ
0.4 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 0.8 มิลลิเมตร ไม่แสดงแนวแตกเรียบ มีพลีโอโคอิค
สีเขียวอมน้ำตาล มี inclusion เป็นแร่ Zircon และมีแร่ที่พบร่วมกัน ได้แก่
แร่ควอรตซ์ โฟแทสซียมเฟลด์สปาร์
- รูปที่ 3.1.2.2 (รูปที่ 3.1.2.2 (ก) ปราศจากนิโคล, รูปที่ 3.1.2.2 (ข) ใส่นิโคล) ของหินแกรนิต 27
ในพื้นที่บริเวณ จังหวัดตาก แสดงแร่ไบโอไทต์ ขนาดกว้างประมาณ
0.1 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 1.3 มิลลิเมตร แสดงแนวแตกแบบ flaky cleavage
มีพลีโอโคอิคสีน้ำตาลอมเขียว
- รูปที่ 3.1.2.3 (รูปที่ 3.1.2.3 (ก) ปราศจากนิโคล, รูปที่ 3.1.2.3 (ข) ใส่นิโคล) ของหินแกรนิต 28
ในพื้นที่บริเวณอำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี แสดงแร่ไบโอไทต์ ขนาดกว้าง
ประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 1.2 มิลลิเมตร มีพลีโอโคอิคสีน้ำตาลเข้ม
มี inclusion เป็นแร่เซอร์คอน แร่ที่พบร่วมกันประกอบด้วย แร่ควอรตซ์ มัสโคไวท์
และโฟแทสซียมเฟลด์สปาร์
- รูปที่ 3.1.2.4 (รูปที่ 3.1.2.4 (ก) ปราศจากนิโคล, รูปที่ 3.1.2.4 (ข) ใส่นิโคล) ของหินแกรนิตใน 29
พื้นที่เขาชีจรรย์ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี แสดงแร่ไบโอไทต์ขนาดกว้าง
0.2 มิลลิเมตร ยาว 0.5 มิลลิเมตร ไม่แสดงแนวแตกเรียบ มีพลีโอโคอิคสี
น้ำตาลเข้ม พบร่วมกับแร่ควอรตซ์ โฟแทสซียมเฟลด์สปาร์

รูปที่ 3.1.2.5	(รูปที่ 3.1.2.5 (ก) ปรากฏจากนิโคล, รูปที่ 3.1.2.5 (ข) ใส่ไนโคล) ของหินแกรนิต ในพื้นที่บริเวณวัดหนองหัวัว จังหวัดระยอง แสดงแร่ไบโอไทต์ ขนาดกว้าง ประมาณ 0.5-0.7 มิลลิเมตร แสดงแนวแตกเรียบ 1 แนวชัดเจน แบบ flaky cleavage และไม่แสดงแนวแตกเรียบ มีฟลีโอโคอิคส์น้ำตาลเข้ม มี inclusion เป็นแร่เซอร์คอน แร่ไบโอไทต์แสดงลักษณะการมอดแบบ parallel extinction และมีลักษณะเป็น bird eye extinction	30
รูปที่ 3.1.2.6	(รูปที่ 3.1.2.6 (ก) ปรากฏจากนิโคล, รูปที่ 3.1.2.6 (ข) ใส่ไนโคล) ของหินแกรนิต ในพื้นที่บริเวณหาดกะรน จังหวัดภูเก็ต แสดงแร่ไบโอไทต์ ขนาดกว้างประมาณ 1.3 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 1.7 มิลลิเมตร มีฟลีโอโคอิคส์น้ำตาลเข้มอมเขียว มีลักษณะเป็น Subhedral	31
รูปที่ 3.1.2.7	(รูปที่ 3.1.2.7 (ก) ปรากฏจากนิโคล, รูปที่ 3.1.2.7 (ข) ใส่ไนโคล) ของหินแกรนิตใน พื้นที่บริเวณหาดกะตะ จังหวัดภูเก็ต แสดงแร่ไบโอไทต์ ขนาดกว้างประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 0.7 มิลลิเมตร มีฟลีโอโคอิคส์เขียวในแร่ไบโอไทต์ ที่ไม่แสดงแนวแตก และมีน้ำตาลอ่อนอมเขียวในแร่ที่แสดง flaky cleavage และมีแร่ที่พบร่วมกัน ได้แก่ แร่ควออตซ์ โฟแทสซีเยมเฟลด์สปาร์ แพลกจิโอเคส และพบแร่ฮอร์นเบลนด์ร่วมด้วย	32
รูปที่ 3.2.1	กราฟพล็อตช่วงน้ำหนักเปอร์เซ็นต์ของธาตุองค์ประกอบหลักในแร่ไบโอไทต์แต่ละแห่ง	34
รูปที่ 3.2.2	แผนภาพกล่องของน้ำหนักเปอร์เซ็นต์ของธาตุองค์ประกอบหลักในแร่ไบโอไทต์ แต่ละแห่ง	36
รูปที่ 4.1.1	Function territorial map ของแร่ไบโอไทต์ที่มีความแตกต่างทางด้านธรณีเคมี ในหินแกรนิตของประเทศไทย (โดยใช้ตัวแปร: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , FeO^* , MnO , MgO) (Buda และคณะ, 2004)	39
รูปที่ 4.1.2	Box-plots ระหว่างธาตุองค์ประกอบ (major oxide) ของแร่ไบโอไทต์แต่ละกลุ่ม	40
รูปที่ 4.1.2	Box-plots ระหว่างธาตุองค์ประกอบ (major oxide) ของแร่ไบโอไทต์แต่ละกลุ่ม	41
รูปที่ 4.1.4	Harker variation diagram เป็นการพล็อตระหว่าง $\% \text{SiO}_2$ กับ Major Oxide และ Minor Oxide	42
รูปที่ 4.2.1	แผนภาพสามเหลี่ยมพล็อตระหว่าง $\text{MgO}-\text{FeO}^*(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO})-\text{Al}_2\text{O}_3$ (Abdel-Rahman, 1994) ของแร่ไบโอไทต์แต่ละกลุ่ม	44
รูปที่ 4.2.2	แผนภาพสามเหลี่ยมพล็อตระหว่าง $\text{MgO}-\text{FeO}^*(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO})-\text{Al}_2\text{O}_3$ (Nockolds, 1974) ของแร่ไบโอไทต์แต่ละกลุ่ม	44

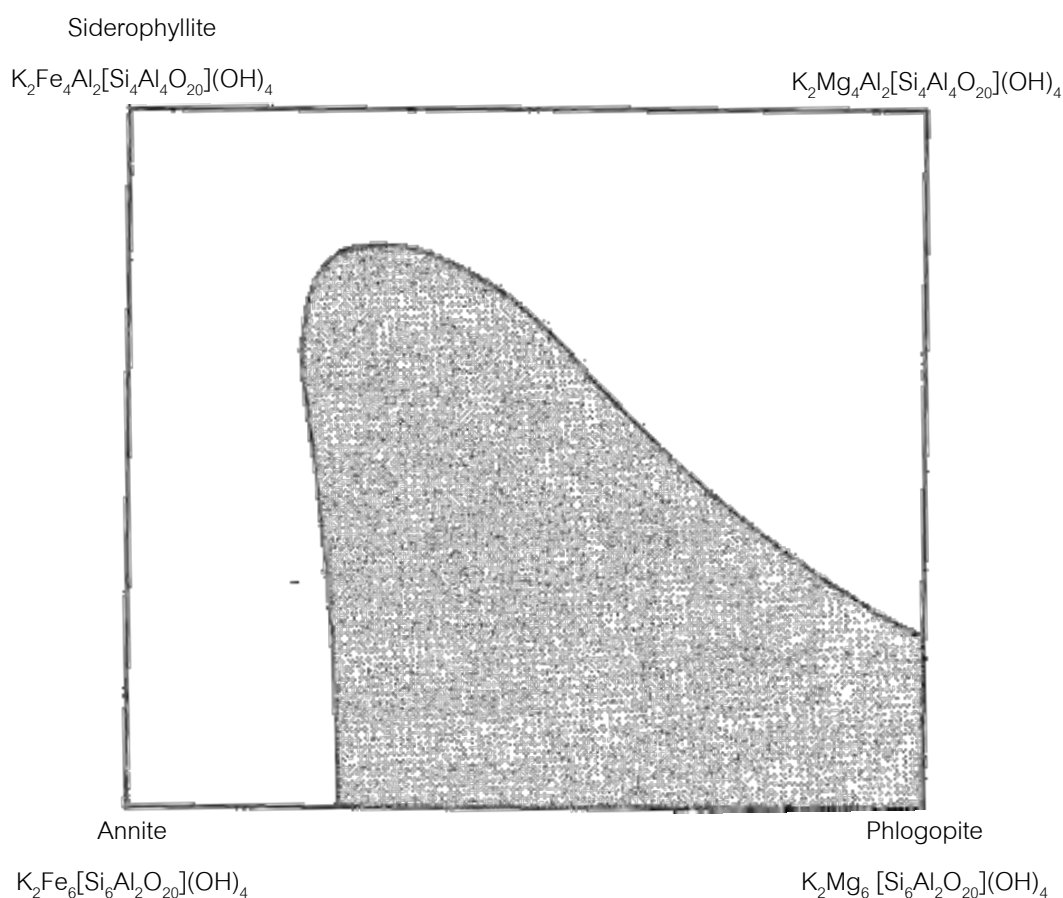
บทที่ 1: บทนำ

- 1.1 ข้อมูลทั่วไป
- 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.3 วัตถุประสงค์
- 1.4 ขอบเขตการศึกษา
- 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ
- 1.6 ธรณีวิทยาทั่วไป

1.1 ข้อมูลทั่วไป

แร่ไบโอไทต์ เป็นแร่ประกอบหินที่สำคัญแร่หนึ่งในกลุ่มแร่ไมกา มีสูตร $K(Mg, Fe^{2+})_3(Al, Fe^{3+})Si_3O_{10}(OH)_2$ มีรูปผลึกอยู่ในระบบหนึ่งแกนเอียง มีความหนาแน่น 2.7-3.3 ความแข็ง 2-3 มีสีดำ น้ำตาลแก่ หรือเขียวแก่ มีแนวแตกเรียบ ในแนว {001} ชัดเจน มีสมบัติการเปลี่ยนสี (pleochroism) ชัดเจน ได้แก่ สีน้ำตาล น้ำตาลเขียว เขียว เขียวเข้ม จนถึงน้ำตาลเข้ม (Deer และคณะ, 1996)

ธรณีเคมีของแร่ไบโอไทต์ มีความสัมพันธ์กับการแบ่งชนิดของแร่ในกลุ่มของแร่ไบโอไทต์ ซึ่งมีลักษณะเป็นไปดังรูปที่ 1.1 และมีค่าองค์ประกอบเคมีดังแสดงในตารางที่ 1.1 ซึ่งเป็นผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างจากแร่ไบโอไทต์ในหินอัคนี (Deer และคณะ, 1996)



รูปที่ 1.1.1 Components of biotite composition และ natural biotite lie (Deer และคณะ, 1996)

	1	2	3	4	5
SiO ₂	38.22	39.14	34.33	37.36	34.96
TiO ₂	2.96	4.27	3.63	6.28	3.99
Al ₂ O ₃	14.71	13.1	14.8	15.82	15.29
Fe ₂ O ₃	3.83	12.94	2.48	4.42	2.9
FeO	13.44	5.05	19.07	15.43	18.3
MnO	0.52	0.14	0.36	0.02	0.39
MgO	13.46	12.75	11.62	10.25	10.42
CaO	1.46	1.64	1.56	1.3	1.11
Li ₂ O	-	-	0.36	-	0.33
Na ₂ O	0.5	0.7	0.65	0.52	0.41
K ₂ O	7.9	6.55	8.16	8.16	7.99
Rb ₂ O	-	-	-	-	-
F	-	1.11	2.38	1.25	1.17
H ₂ O+	1.89	2.41	2.32	0.6	3.07
H ₂ O-	<u>0.6</u>	<u>0.58</u>	<u>0.18</u>	=	<u>0.41</u>
	99.56	100.38	101.89	100.4	100.74

ตารางที่ 1.1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของแร่ไบโอไทต์ในหินอัคนี (Deer และคณะ, 1996)

สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางแสงของแร่ไบโอไทต์ ขึ้นอยู่กับปริมาณของเหล็ก (iron content) ที่เพิ่มขึ้นและยังเป็นผลจากธาตุอื่นๆด้วย (เช่น ปริมาณ Mn, Ti ที่เพิ่มขึ้น, ปริมาณ F ที่ลดลง) ดังนั้นการใช้วิธีการทางแสงมาเพื่อหา Fe/Mg จึงไม่เหมาะสม ลักษณะทางแสงที่ปรากฏออกมาจะแตกต่างกันไปตามลักษณะแสงที่เข้ามาว่าเข้ามาขนาน ตั้งฉากหรือทำมุมกับแกนแสง แนวแบ่งมุมแหลมระหว่างแนวแกนแสงปกติแล้วจะอยู่ในแนว (001) ดังนั้นการตัดตั้งฉากกับแนวแตกเรียบ (001) จะแสดงให้เห็น positive elongation (Deer และคณะ, 1996)

สีของแร่ไบโอไทต์จะมีสีเข้มกว่าแร่ฟลิกโทไซต์ โดยทั่วไปจะมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบและสัดส่วนของ Fe³⁺, Fe²⁺ และ Ti แร่ไบโอไทต์ที่มี Ti ต่ำ จะมีสีตั้งแต่ สีน้ำเงิน-เขียวถึงสีเหลือง หรือสีเขียว-น้ำตาล และสีน้ำตาล ตามปริมาณของ Fe ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่หากมีปริมาณ Ti สูง จะมีสีน้ำตาลแดงโดยไม่คำนึงถึงปริมาณของ Fe (Deer และคณะ, 1996)

แร่ไบโอไทต์ เกิดได้ในสภาวะแวดล้อมทางธรณีวิทยาได้หลากหลายกว่าแร่ในกลุ่มแร่ไม่ก้ำอื่นๆ ในหินแปรเกิดได้ในช่วงอุณหภูมิและความดันที่กว้าง และเกิดมากในหินตะกอนที่มีการแปรสภาพทั้งแบบสัมผัสและการแปรสภาพไพศาล ในหินอัคนีแทรกซอนพบได้ในหินแกรนิต หินแพกมาไทต์ แกรโนไดโอไรต์ ฯลฯ (Deer และคณะ, 1996)

1.2 การศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Buda และคณะ (2004) ได้ศึกษาเรื่องความแตกต่างขององค์ประกอบของแร่ไบโอไทต์ จาก Variscan Granitoids ใน Central Europe สามารถจัดกลุ่มแร่ไบโอไทต์ออกเป็น 4 กลุ่ม คือ Mg-, Fe-Al-, Fe-Mg- และ Fe-Mn-biotite โดยที่ Mg-biotite เกิดในหิน metaluminous calc-alkaline plutonic rock series (monzonitic suite) Fe-Al-biotite เกิดในหิน peraluminous plutonic rock series (granodioritic suite) Fe-Mg-biotite เกิดในหินแกรนิตระหว่าง calc-alkaline และ peraluminous rock series และ Fe-Mn-biotite เกิดในหิน alkali-rich peraluminous hypabyssal plutonic rock (granodioritic suite) แต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบหลักดังในตารางที่ 1.2

	I. group		II. group		III. group		IV. group	
	Mg-biotite (n=109)	Localities (n=116)	Fe-Al biotite (n=39)	Localities (n=39)	Fe-Mg biotite (n=37)	Localities (n=29)	Fe-Mn biotite (n=18)	Localities (n=19)
SiO ₂	37.7±0.8	37.5±0.9	35.2±1.5	34.8±1.3	35.1±0.9	35.7±1.3	35.8±0.7	35.8±0.8
TiO ₂	2.7±0.8	2.9±0.9	2.9±0.4	3.2±0.9	3.6±1.0	2.8±0.5	1.8±1.6	1.9±1.5
Al ₂ O ₃	14.8±0.9	14.8±1.1	17.9±1.4	16.9±2.1	14.5±1.2	15.4±1.9	12.9±0.7	13.2±1.3
FeO*	17.1±2.3	17.5±2.7	21.9±2.1	22.9±1.9	22.8±2.5	20.9±2.7	30.0±1.7	29.6±2.0
MnO	0.24±0.08	0.25±0.09	0.35±0.2	0.32±0.14	0.32±0.15	0.30±0.13	0.6±0.1	0.6±0.2
MgO	13.1±2.0	12.7±2.4	7.9±1.9	7.9±1.4	9.3±2.1	10.4±2.3	6.2±0.6	5.9±1.3
K ₂ O	9.3±0.6	9.2±0.6	8.6±0.7	8.5±0.6	8.4±0.9	8.5±1.0	8.6±0.6	8.5±0.6

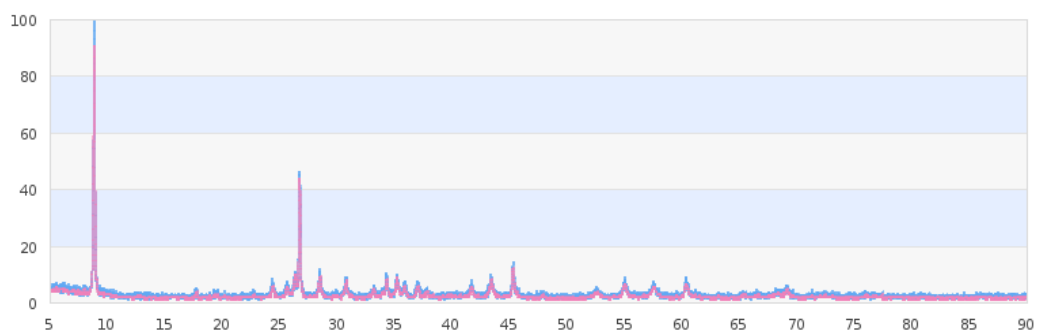
ตารางที่ 1.2.1 ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบเคมีของแร่ไบโอไทต์แต่ละกลุ่ม (Buda และคณะ, 2004)

นอกจากนี้จาก Nonsung (2010) ได้ทำการศึกษาหินแกรนิตในพื้นที่อำเภอชาติ จังหวัดปราจีนบุรี และได้ทำการวิเคราะห์เคมีของแร่ไบโอไทต์ พบว่ามีลักษณะคล้ายกันและมีส่วนประกอบทางเคมีช่วงแคบ คือ $K_{0.7-1.2}$, $Mg_{1.1-1.6}$ และ $Fe^{2+}_{0.8-1.6}$ มีผลวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 1.3

comment	Biotite												
	monzonite						monzodiorite			granodiorite	gneiss		
	255	115	47	178	7	91	172	345	480	399	16	133	349
SiO ₂	35.61	41.30	35.55	38.47	33.64	35.25	46.46	42.36	45.54	38.37	45.76	44.45	42.65
TiO ₂	0.04	0.91	0.98	0.82	0.09	1.23	1.24	3.52	3.45	1.38	3.13	3.18	3.46
Al ₂ O ₃	18.92	19.85	14.85	15.98	18.59	14.00	13.22	7.37	8.14	13.53	9.27	13.05	7.29
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.11	0.00	0.02	0.03	0.18	0.22	0.00
FeO	24.71	20.05	24.93	22.13	22.90	22.13	13.68	21.32	17.77	25.71	19.81	19.90	21.91
MnO	0.05	0.63	0.34	0.59	0.61	0.24	0.62	1.08	0.43	0.82	0.51	0.55	1.04
MgO	14.06	10.05	14.32	14.59	14.12	14.05	13.62	12.69	12.65	11.04	11.37	11.72	12.40
CaO	0.04	0.08	0.25	0.06	0.32	0.46	0.36	0.04	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.04	0.00	0.01	0.05	0.03	0.05	0.04	0.13	0.12	0.03	0.12	0.18	0.13
K ₂ O	9.01	7.38	9.67	8.42	9.03	12.80	9.44	9.24	7.16	8.34	9.14	7.02	8.78
Total	102.48	100.266	100.81	101.10	99.34	100.44	98.77	97.73	95.30	99.36	99.29	100.3	97.68
Formula 11(O)													
Si	2.573	2.909	2.648	2.772	2.515	2.661	3.256	3.176	3.351	2.873	3.296	3.129	3.195
Ti	0.002	0.048	0.055	0.044	0.005	0.070	0.065	0.198	0.191	0.078	0.170	0.168	0.195
Al	1.611	1.648	1.303	1.357	1.638	1.245	1.092	0.651	0.706	1.194	0.787	1.083	0.644
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.006	0.000	0.001	0.002	0.010	0.012	0.000
Fe*	1.492	1.181	1.553	1.334	1.432	1.397	0.801	1.336	1.093	1.610	1.193	1.172	1.373
Mn	0.003	0.038	0.021	0.360	0.039	0.016	0.037	0.068	0.027	0.052	0.031	0.033	0.066
Mg	1.514	1.055	1.590	1.567	1.574	1.580	1.423	1.418	1.388	1.232	1.221	1.230	1.385
Ca	0.003	0.006	0.020	0.005	0.026	0.037	0.027	0.000	0.003	0.010	0.000	0.000	0.000
Na	0.006	0.000	0.002	0.007	0.005	0.008	0.006	0.019	0.018	0.004	0.016	0.024	0.019
K	0.831	0.663	0.909	0.774	0.861	1.232	0.844	0.839	0.884	0.797	0.840	0.630	0.839
Total*	8.036	7.550	8.1001	7.895	8.094	8.259	7.555	7.716	7.662	7.852	7.564	7.482	7.716

ตารางที่ 1.2.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของแร่ไบโอไทต์ (Nonsung, 2010)

นอกจากการศึกษารัศมีเคมีของแร่ไบโอไทต์แล้ว ยังมีการศึกษาถึงลักษณะทาง X-Ray Powder Diffraction ของแร่ไบโอไทต์ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2.1 ลักษณะ X-ray Powder Diffraction ของแร่ไบโอไทต์จาก Jasper country, Georgia USA (RRUFF project at University of Arizona)

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความแตกต่างด้านวิทยาแร่ทางแสงและธรณีเคมีของแร่ไบโอไทต์ในหินแกรนิตจากที่ต่างๆในประเทศไทย

1.4 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้เน้นด้านวิทยาแร่ทางแสงและธรณีเคมีของหิน โดยการนำเอาตัวอย่างหินแกรนิตจากหลายสถานที่ในประเทศไทย มาวิเคราะห์เพื่อหาแร่องค์ประกอบของหินและสมบัติทางแสงของแร่ไบโอไทต์ โดยศึกษาพรรณนา (petrography) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (polarizing microscope) และไม่ใช้วิธีการศึกษาขั้นสูงเช่น SEM, DTA วิเคราะห์หาลักษณะทาง XRD ของแร่ไบโอไทต์ และวิเคราะห์เคมีของแร่ด้วยวิธี EPMA เพื่อหาเฉพาะออกไซด์ของธาตุหลักในแร่ไม่เน้นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณธาตุพบน้อยหรือธาตุหายากในแร่

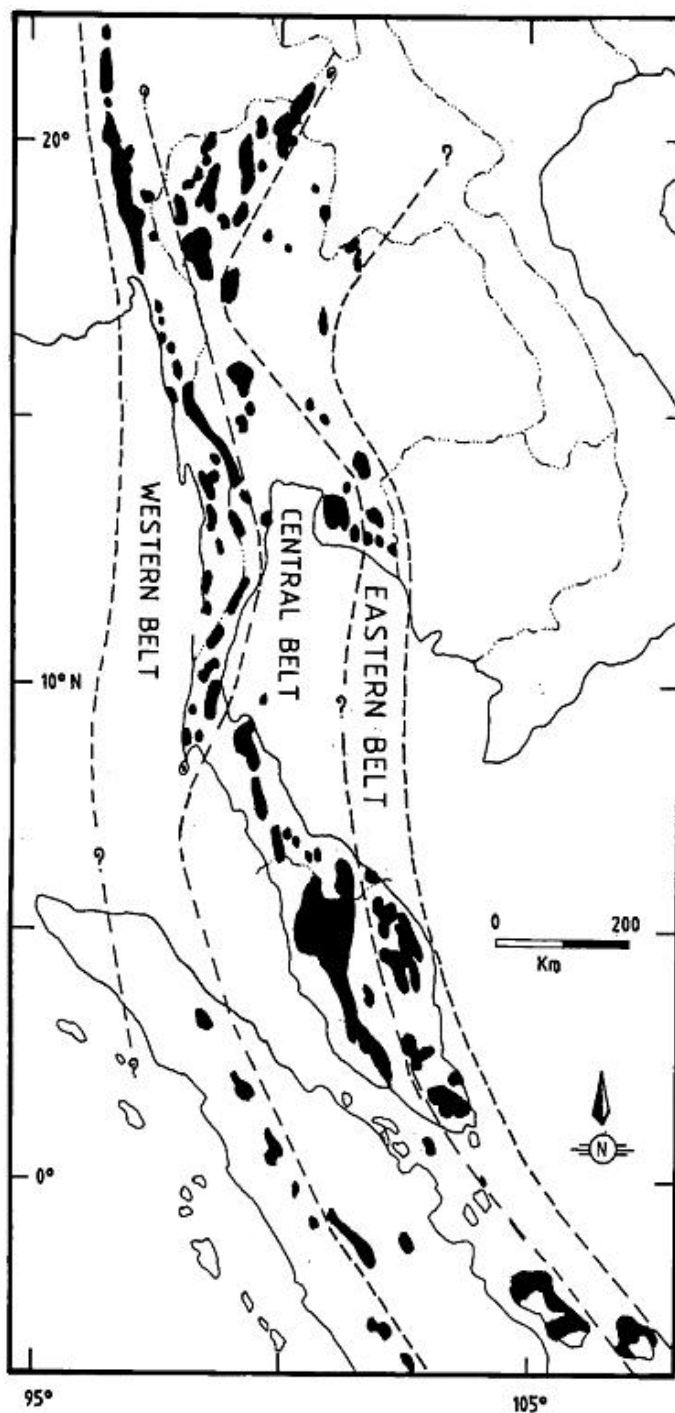
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบความแตกต่างระหว่างแร่ไบโอไทต์ในหินแกรนิตที่เก็บมาจากที่ต่างๆในประเทศไทย

1.6 ธรณีวิทยาทั่วไป

หินแกรนิตเป็นหินอัคนีแทรกซอน ประเภทหนึ่งที่มีพบค่อนข้างมากในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในประเทศไทยพบค่อนข้างมากและมีความหลากหลาย หินแกรนิตมักจะมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับการกำเนิดแร่เศรษฐกิจเช่น แร่ดีบุก ทังสแตน ทองแดง เหล็ก ทองคำ ฟลูออไรต์ เป็นต้น โดยทั่วไปบริเวณที่พบหินแกรนิตและพื้นที่ใกล้เคียงมักจะมีการสะสมตัวของแร่โลหะและอโลหะต่างๆ ซึ่ง Charusiri และคณะ

(1993) ได้ศึกษา ขอบเขตและการแผ่กระจายของหินแกรนิตในบริเวณต่างๆ ของประเทศไทย สามารถจำแนกออกเป็นสามแนว ได้แก่ หินแกรนิตแนวตะวันออก หินแกรนิตแนวตอนกลาง และหินแกรนิตแนวตะวันตก (รูปที่ 1.2) โดยแสดงรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 1.6.1 การกระจายตัวของหินแกรนิต (สีดำ) และแนวหินแกรนิตในประเทศไทยและข้างเคียง (Charusiri และคณะ, 1993)

หินแกรนิตแนวตะวันออก (Eastern Granitoid Belt): พบต่อเนื่องจาก Billiton Island, Indonesia, eastern Peninsular Malaysia ขึ้นมาทางตะวันออกของประเทศไทยจนถึงขอบที่ราบสูงโคราช และไปสิ้นสุดที่ประเทศลาวและทางใต้ของประเทศจีน บริเวณจังหวัดตาก แพร่-น่าน ลำปาง เลย จันทบุรี และนราธิวาส มีอายุอยู่ในช่วงคาร์บอนิเฟอรัสถึงไทรแอสซิกตอนปลาย

Charusiri (1989) ได้ทำการศึกษาธรณีเคมีของหินแกรนิตแนวตะวันออกของประเทศไทย พบว่าหินแกรนิตดังกล่าวนี้ น่าจะกำเนิดมาจากตกผลึกลำดับส่วน (differential crystallization) หรือการหลอมละลายบางส่วน (partial melting) จากหินหนืดแท้ (true magma) นอกจากนี้ Chappell and White (1974) ได้จัดให้หินแกรนิตนี้อยู่ใน I-type granite และหินแกรนิตกลุ่มนี้ยังบ่งบอกถึงลักษณะ magnetite series granitoid ตามวิธีจำแนกของ Ishihara และคณะ (1980)

หินแกรนิตแนวตอนกลาง (Central Granitoid Belt): พบบริเวณทางตอนเหนือ-ตอนกลางของประเทศไทย บริเวณจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง ลำพูน ชลบุรี ระยอง สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา และต่อเนื่องไปถึงประเทศมาเลเซีย Bangka Singkep และ Tuju Islands ของประเทศอินโดนีเซีย มีอายุอยู่ในช่วงพาลีโอโซอิกตอนปลายถึงยุคมีโซโซอิกตอนต้น

หินแกรนิตแนวตอนกลางมีความแตกต่างโดยสิ้นเชิงกับหินแกรนิตแนวตะวันออกทั้งในแง่ของการเกิดและสภาพทางธรณีวิทยา ธรณีเคมีของหินแกรนิตแนวตะวันออกค่อนข้างมีความหลากหลายเนื่องจากเกิดจากการหลอมละลายบางส่วน โดยหินแกรนิตแนวตอนกลางส่วนใหญ่จัดอยู่ใน S-type granite (Chappel and White, 1974) และเป็น ilmenite-series granitoids (Ishihara, 1977)

แกรนิตแนวตะวันตก (Western granitoid Belt): พบแพร่กระจายในประเทศพม่าเป็นหลัก ในประเทศไทยพบบริเวณทางด้านตะวันตกของประเทศ ตามแนวชายแดนไทย-พม่า บริเวณจังหวัดกาญจนบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ระนอง พังงา และภูเก็ต

จากการศึกษาทางด้านธรณีวิทยา ศิลาบรรณและวิทยาแร่ของหินแกรนิตในแนวตะวันตกนี้ชี้ให้เห็นว่าเป็นแกรนิตแท้ (Streckeisen, 1976) ลักษณะทางธรณีเคมี ประมาณ 98% จัดเป็นแกรนิตประเภท S-type และ ilmenite-series มีส่วนน้อยที่จัดอยู่ใน I-type หรือ magnetite-series

บทที่ 2: วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วิธีดำเนินการวิจัย

2.2 พื้นที่ศึกษา

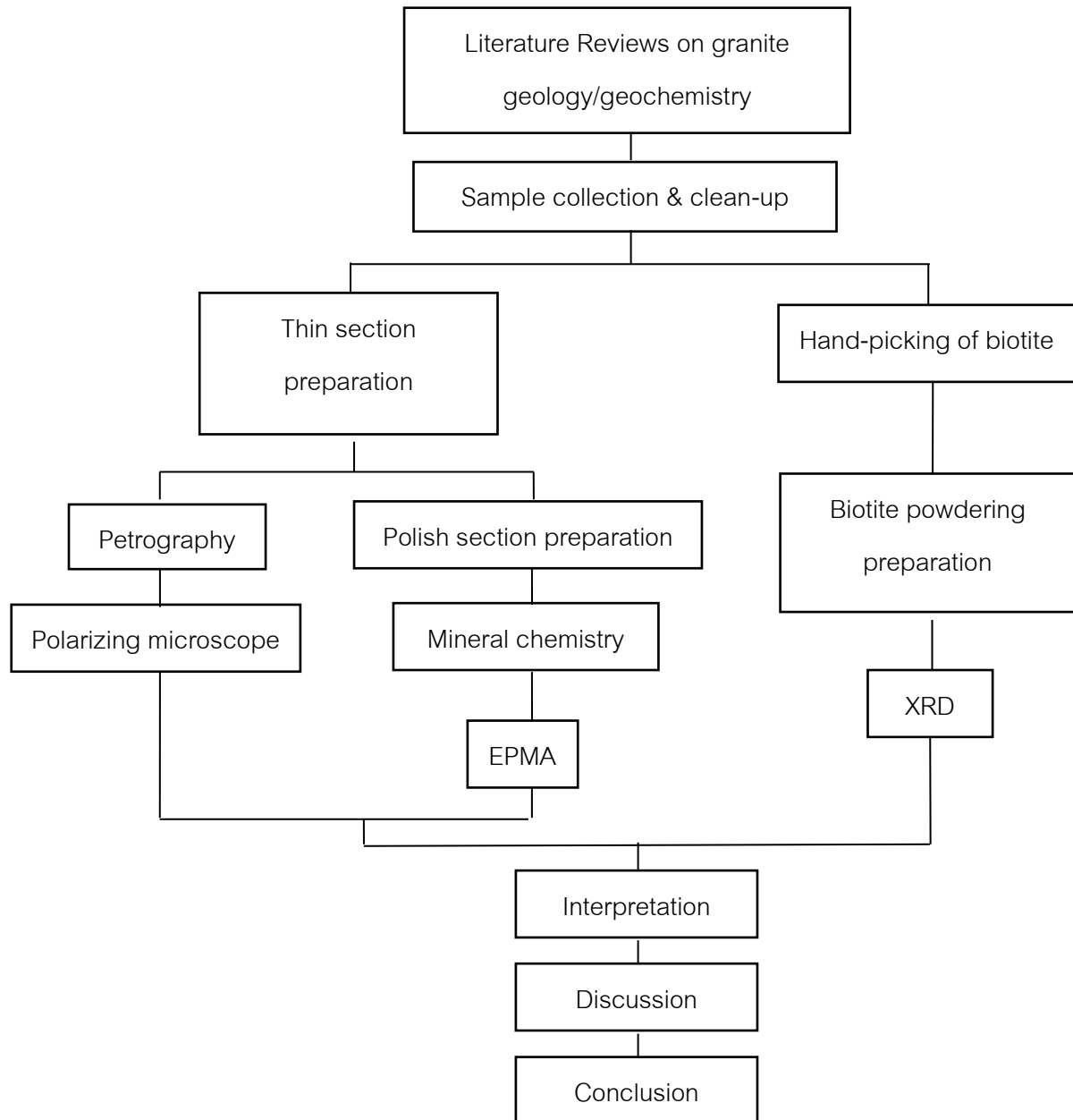
2.3 แผ่นหีนบาง (Thin section)

2.4 X-ray diffraction (XRD)

2.5 Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA)

2.1 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการศึกษาสามารถแบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอน โดยสรุปเป็นแผนภาพ (รูปที่ 2.1) และอธิบายขั้นตอนต่างๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

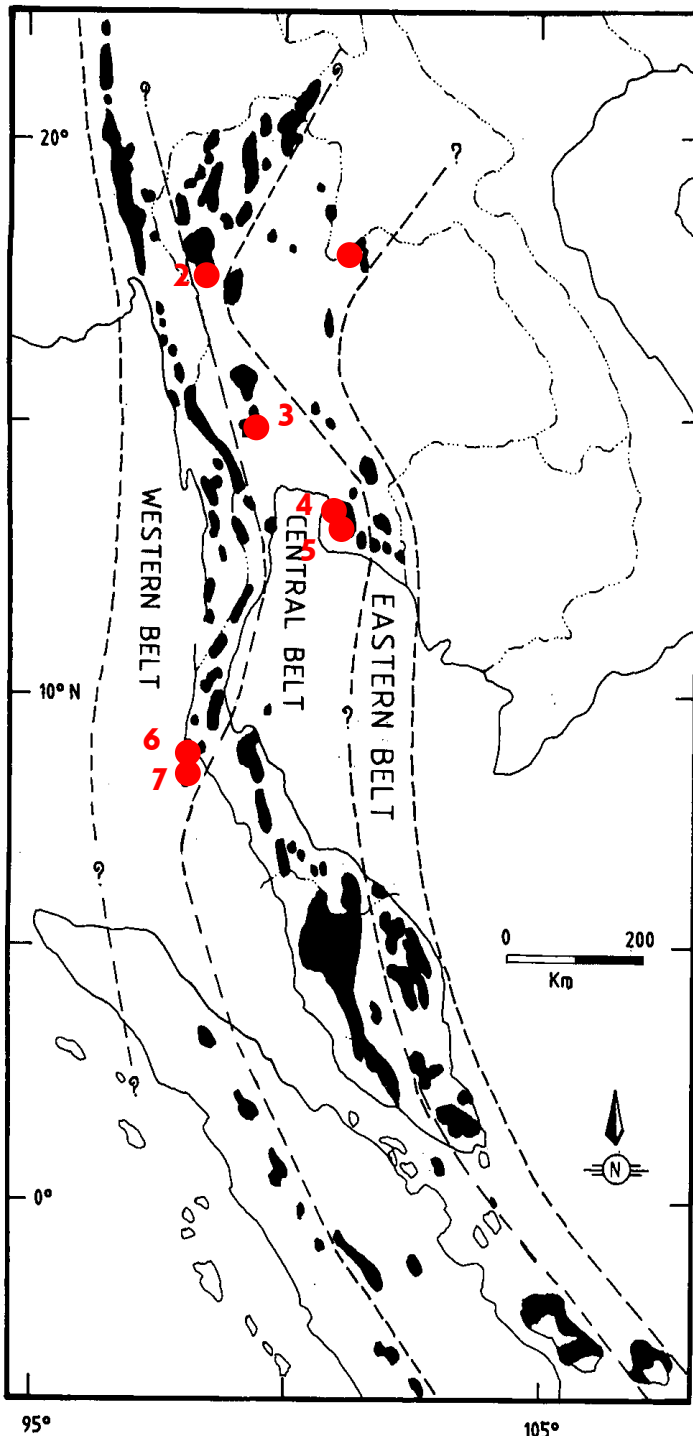


รูปที่ 2.1.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงาน

1. รวบรวมข้อมูลและเอกสารต่างๆที่เกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะธรณีวิทยาหินแกรนิต ทั้งของประเทศไทยและต่างประเทศ เพื่อให้ทราบลักษณะธรณีเคมีของแร่องค์ประกอบของ หินแกรนิต
2. ออกภาคสนามเพื่อเก็บตัวอย่างและทำการคัดสรรตัวอย่างหินที่สะอาด
3. การเตรียมตัวอย่างแบ่งออกเป็นสองส่วนคือส่วนที่ทำเป็นแผ่นหินบาง หินบางขัดมันและอีก ส่วนเพื่อบดตัวอย่างหินเพื่อวิเคราะห์เคมี
4. ศึกษาแผ่นหินบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อศึกษาแร่องค์ประกอบโดยเฉพาะสมบัติทางแสง (pleochroism) ของแร่ไบโอไทต์ และเลือกตัวอย่างหินที่จะมาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EPMA
5. วิเคราะห์แผ่นหินบางขัดมันด้วยเครื่อง EPMA เพื่อศึกษาธาตุองค์ประกอบหลักของแร่ไบโอ ไทต์
6. นำหินผงที่แยกเอาไบโอไทต์ออกด้วยมือ (hand-pick sorting) เพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD หาลักษณะเฉพาะทาง XRD ของแร่ไบโอไทต์ในหิน
7. รวบรวมข้อมูลและประมวลผลข้อมูล เพื่อการตีความ
8. นำข้อมูลที่ได้มาอภิปรายและสรุปผล

2.2 พื้นที่ศึกษา

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เก็บตัวอย่างหินแกรนิตบริเวณพื้นที่ต่างๆในประเทศไทยที่พบการกระจายตัวของหินแกรนิต โดยครอบคลุมหินแกรนิตทั้ง 3 แนว (Charusiri, 1993) ได้แก่ หินแกรนิต จากจังหวัดเลย, จังหวัดตาก, อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี, จากเขาชีจรรย์ จังหวัดชลบุรี, วัดหนองหว่า จังหวัดระยอง, หาดกะตะ และหาดกะรน จังหวัดภูเก็ต



รูปที่ 2.2.1 แผนที่ แสดงการกระจายตัวของหินแกรนิตในประเทศไทย (พื้นที่สีดำ), แนวหินแกรนิตทั้ง 3 แนว (เส้นประ) และแสดงจุดศึกษาที่ทำการเก็บตัวอย่าง (จุดวงกลมสีแดง) (Charusiri, 1993)

1. หินแกรนิต จากจังหวัดเลย
2. หินแกรนิต จากจังหวัดตาก
3. หินแกรนิต จากอำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี
4. หินแกรนิต จากเขาชีจรรย์ จังหวัดชลบุรี
5. *หินแกรนิต จากวัดหนองหว่า จังหวัดระยอง
6. *หินแกรนิต จากหาดกะตะ จังหวัดภูเก็ต
7. *หินแกรนิต จากหาดกะรน จังหวัดภูเก็ต

*เป็นตัวอย่างที่เก็บโดย Charusiri และคณะ

2.3 แผ่นหिनบาง (Thin section)

แผ่นหिनบางเป็นตัวอย่างที่เตรียมขึ้นเพื่อใช้ในการนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงโพลาไรซ์ส่องผ่าน ทำให้ทราบถึงแร่ประกอบในหินชนิดนั้นๆ สมบัติทางแสงของแร่ชนิดต่างๆ ดังนั้นควรให้ความสำคัญอย่างยิ่งในการเตรียมตัวอย่างเพื่อให้ได้แผ่นหिनบางที่มีคุณภาพ และได้มาซึ่งข้อมูลที่ต้องการ ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเตรียมตัวอย่างแผ่นหिनบางร่วมกับนายพนธ์นัฐพร เพชรรัตน์กุล โดยมีวิธีการดังนี้

1. **ตัดก้อนตัวอย่าง** ตัดหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร แล้วตัดแบ่งให้มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดประมาณ 24 x 24 มิลลิเมตร แต่ถ้าก้อนตัวอย่างมีความเปราะสามารถตัดให้มีความหนามากกว่า 3 มิลลิเมตรจนถึง 10 มิลลิเมตร

2. **ติดหินตัวอย่าง** นำหินตัวอย่างที่ได้ไปขัดให้เรียบด้วยเครื่องขัดหินหยาบและเครื่องขัดหินละเอียดด้านหนึ่ง หลังจากนั้นนำหินตัวอย่างนี้และกระจกวางบน hot plate ที่อุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียส จากนั้นนำกาว balsam วางบนหินตัวอย่างและกระจกที่ให้ความร้อนแล้ว เมื่อกาวละลายแล้วกลับกระจกแล้ววางบนหินตัวอย่างด้วยมุม 45 องศาอย่างช้าๆ พยายามไม่ให้มีฟองอากาศเข้าไปแทรกระหว่างหินตัวอย่างกับกระจก เมื่อติดกระจกเรียบร้อยแล้วนำลงจาก hot plate และปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง พร้อมทั้งกำหนดตำแหน่งบนก้อนตัวอย่าง ทำความสะอาดกาวที่ติดอยู่หลังกระจกด้วยใบมีดโกน

3. **ขัดหินตัวอย่างให้บาง** ขัดหินตัวอย่างที่ติดบนกระจกแล้วด้วยเครื่องขัดหินบางจนบาง และนำไปขัดต่อด้วยผงขัด จนกระทั่งได้ความหนา 0.03 มิลลิเมตร โดยระวังไม่ให้หินตัวอย่างหลุดออกจากกระจก ความหนานี้จะทำให้ได้ค่าหักเหสองแนวที่เป็นมาตรฐาน

4. **ปิดด้วยกระจกกันไส** ถ้าหากแผ่นหिनบางถูกปิดด้วยกระจกกันไสจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์สัณฐานวิทยา แต่ไม่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ที่บ่งชี้ด้วยแสงสะท้อนหรือในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน การปิดด้วยกระจกกันไสทำได้โดย 1. ล้างแผ่นหिनบางที่ฝนแล้วและวางบน hot plate ที่ 140 องศาเซลเซียสให้แห้ง กระจกกันไสจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าแผ่นหिनบางที่จะปิด 2. เกลี่ยกาวแคนาดาลงบนพื้นผิวของแผ่นหिनบาง สังเกตเมื่อเริ่มมีควันเกิดขึ้นให้ติดกระจกกันไสด้วยมุม 45 องศาลงบนแผ่นหिनบาง โดยไม่ให้มีฟองอากาศเกิดขึ้น จากนั้นยกลงแล้วปล่อยให้แผ่นหिनบางเย็นที่อุณหภูมิห้อง 3. ล้างแผ่นหिनบางด้วยคีโรซีนเพื่อล้างกาวที่ติดอยู่

2.4 XRD

ศึกษาลักษณะเฉพาะทาง XRD ของแร่ไบโอไทต์ในหิน โดยการนำหินบดหยาบแยกเอาเฉพาะแร่ไบโอไทต์ด้วยมือ (hand-pick sorting) มาบดให้ละเอียดและนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ได้ผลวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบ diffractogram

2.5 EPMA

เตรียมตัวอย่างเป็นแผ่นหินบางขัดมัน โดยมีขั้นตอนการทำคล้ายกับการเตรียมตัวอย่างแผ่นหินบาง แต่ขัดให้มีความหนามากกว่า และนำไปเปิดหน้าขัดให้หน้ามันเรียบด้วยเครื่องขัดขนาด 6 ไมครอน, 3 ไมครอน และขนาด 1 ไมครอน ตามลำดับ จนกระทั่งได้แผ่นหินบางที่มีหน้าเรียบ โดยสามารถตรวจสอบได้จากการดูจากกล้องจุลทรรศน์ เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาหาองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของแร่ด้วยเครื่อง EPMA รุ่น JXA-8100 โดยใช้ analytical condition ที่ 15KV กระแสประมาณ 2.4×10^{-8} A ของ focus beam ($<1\mu\text{m}$) และเปรียบเทียบตัวอย่างมาตรฐานแร่ และ pure oxide

บทที่ 3: ผลการวิจัย

3.1 Petrographic description

3.1.1 Mesoscopic investigation

3.1.2 Microscopic investigation

3.2 ผลวิเคราะห์ธรณีเคมีของแร่ไบโอไทต์

3.1 Petrographic description

3.1.1 Mesoscopic investigation

1) หินแกรนิต จังหวัดเลย

ตัวอย่างหินแกรนิต จังหวัดเลย (รูปที่ 3.1.1.1) ประกอบไปด้วยแร่ขนาดเล็กลงถึงปานกลางของแร่เฟลด์สปาร์สีชมพูและสีขาวยาวขนาดประมาณ 0.2 cm แร่ควอร์ตและแร่ไบโอไทต์ที่มีขนาดเล็ก 0.1-0.2 cm. ซึ่งทั้งหมดมองเห็นด้วยตาเปล่า ขนาดเท่าๆกันเป็นเนื้อหินแบบ equigranular โดยตัวอย่างนี้อยู่ในหินแกรนิตแนวตะวันออก เป็นหินแกรนิตชนิด I-type มีอายุประมาณ 227 – 235 Ma (Charusiri, 1989)

2) หินแกรนิต จังหวัดตาก

ตัวอย่างหินแกรนิตจังหวัดตาก (รูปที่ 3.1.1.2) ประกอบไปด้วยแร่เฟลด์สปาร์สีขาวยาวและแร่ควอร์ตซ์ขนาดประมาณ 0.5 cm, และแร่ไบโอไทต์ ขนาดประมาณ 0.2-0.3 cm ทั้งหมดสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีเนื้อหินแบบ phaneritic โดยตัวอย่างนี้อยู่ในหินแกรนิตแนวตอนกลาง เป็นหินแกรนิตชนิด I-type มีอายุประมาณ 220-225 Ma (Charusiri, 1993)

3) หินแกรนิต อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี

หินแกรนิต อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี (รูปที่ 3.1.1.3) ประกอบไปด้วยแร่ขนาดปานกลางถึงหยาบของแร่ ควอร์ตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ และแร่ไบโอไทต์ ขนาดเม็ดแร่ประมาณ 0.1 – 0.3 cm. สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีเนื้อหินแบบ phaneritic อยู่ในหินแกรนิตแนวตอนกลาง มีอายุประมาณ 220-245 Ma อยู่ในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนต้นถึง ตอนปลาย (Charusiri, 1989)

4) หินแกรนิต เขาช้างจรรย์ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี

หินแกรนิต เขาช้างจรรย์ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี (รูปที่ 3.1.1.4) ประกอบไปด้วยแร่ที่มีขนาดเล็กถึงปานกลางขนาดเท่าๆ กัน ของแร่ควอร์ตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ และแร่ไบโอไทต์ ขนาดประมาณ 0.1-0.2 cm สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีเนื้อหินแบบ phaneritic อยู่ในหินแกรนิตแนวตอนกลาง มีอายุประมาณ 205-207 Ma (Charusiri, 1989)

5) หินแกรนิต บริเวณวัดหนองหว้า จังหวัดระยอง

หินแกรนิต บริเวณวัดหนองหว้า อำเภอแกลง จังหวัดระยอง (รูปที่ 3.1.1.5) ประกอบไปด้วยแร่ควอร์ตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ แร่มีส์โคไวด์ และแร่ไบโอไทต์ ขนาดเม็ดแร่ประมาณ 0.5 – 1 cm. โดยแร่ไบโอไทต์มีขนาดค่อนข้างใหญ่ 0.1-0.3 cm. สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีเนื้อหินแบบ phaneritic อยู่ในหินแกรนิตแนวตอนกลาง จัดอยู่ในหินแกรนิตชนิด S-type มีอายุประมาณ 205-207 Ma (Charusiri, 1989)

6) หินแกรนิต บริเวณหาดกะรน อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต

หินแกรนิตบริเวณหาดกะรน อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต (รูปที่ 3.1.1.6) ประกอบไปด้วยแร่เฟลด์สปาร์สีขาวยาว ที่เป็นผลึกดอก ขนาดประมาณ 2-4 cm, แร่ควอร์ตซ์ขนาดประมาณ 0.5-1 cm แร่ไบโอไทต์ขนาดประมาณ 0.1-0.3 cm มีแร่ฮอร์นเบลนด์เล็กน้อย ซึ่งทั้งหมดนี้มองเห็นด้วยตาเปล่า มีเนื้อหินแบบ

porphyritic ผลึกดอกของแร่เฟลด์สปาร์ อยู่ในหินแกรนิตแนวตะวันตก เป็นหินแกรนิตชนิด S-type มีอายุประมาณ 72-73 Ma (Charusiri, 1989)

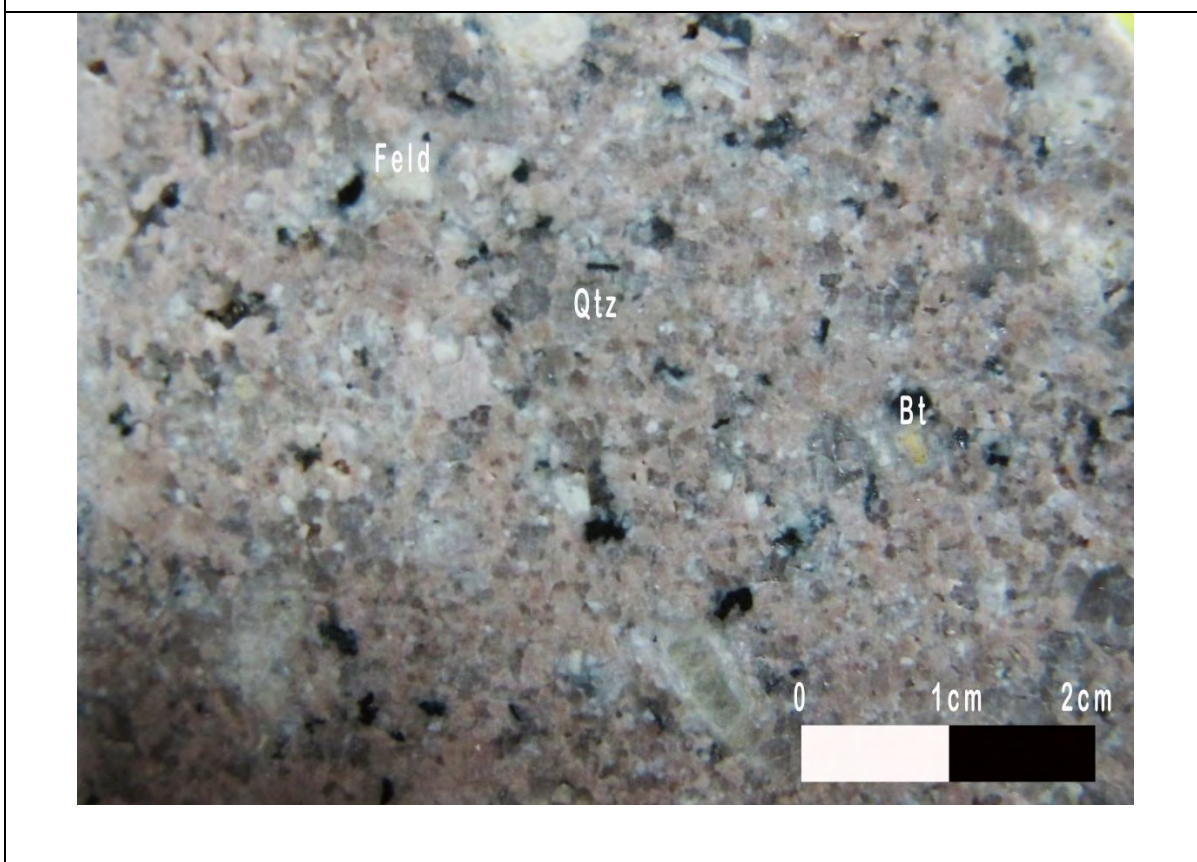
7) หินแกรนิตบริเวณหาดกะตะ อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต

หินแกรนิตบริเวณหาดกะตะ อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต (รูปที่ 3.1.1.7) ประกอบด้วยแร่เฟลด์สปาร์สีขาว ที่เป็นผลึกดอก ขนาดประมาณ 2 cm. แร่ควอร์ตซ์ขนาดประมาณ 0.5 – 1 cm. แร่ไบโอไทต์ ขนาดประมาณ 0.2 – 0.4 cm. และมีแร่ฮอร์นเบลนด์เล็กน้อย มีเนื้อหินแบบ porphyritic ผลึกดอกของแร่เฟลด์สปาร์ อยู่ในหินแกรนิตแนวตะวันตก เป็นหินแกรนิตชนิด S-type มีอายุประมาณ 72-73 Ma (Charusiri, 1989)

รูปที่ 3.1.1.1 ตัวอย่างหินแกรนิต จังหวัดเลย ประกอบไปด้วยแร่ขนาดเล็กลงถึงปานกลางของแร่เฟลด์สปาร์ สีชมพูและสีขาวขนาดประมาณ 0.2 cm แร่ควอร์ตซ์และแร่ไบโอไทต์ที่มีขนาดเล็ก 0.1-0.2 cm. ทั้งหมดมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ขนาดเท่าๆกัน เป็นเนื้อหินแบบ equigranular

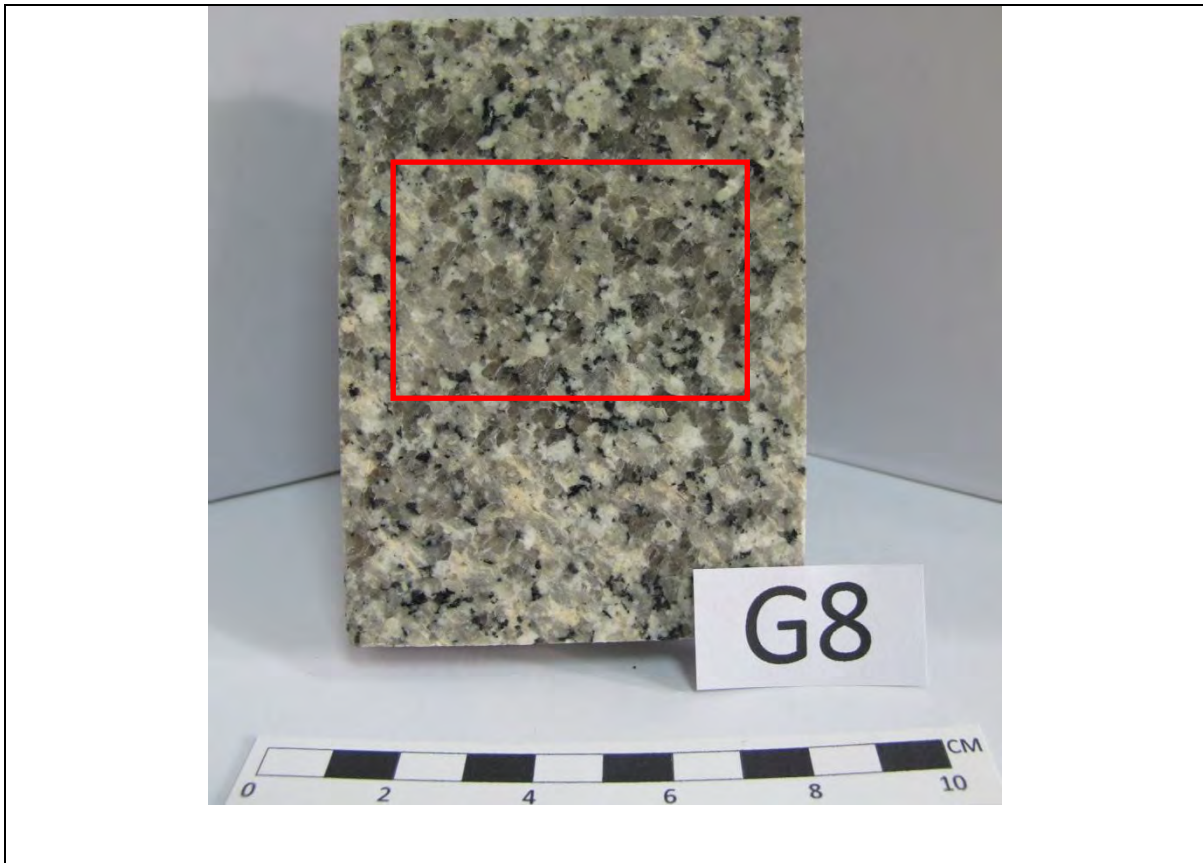


รูปที่ 3.1.1.1 (ก)

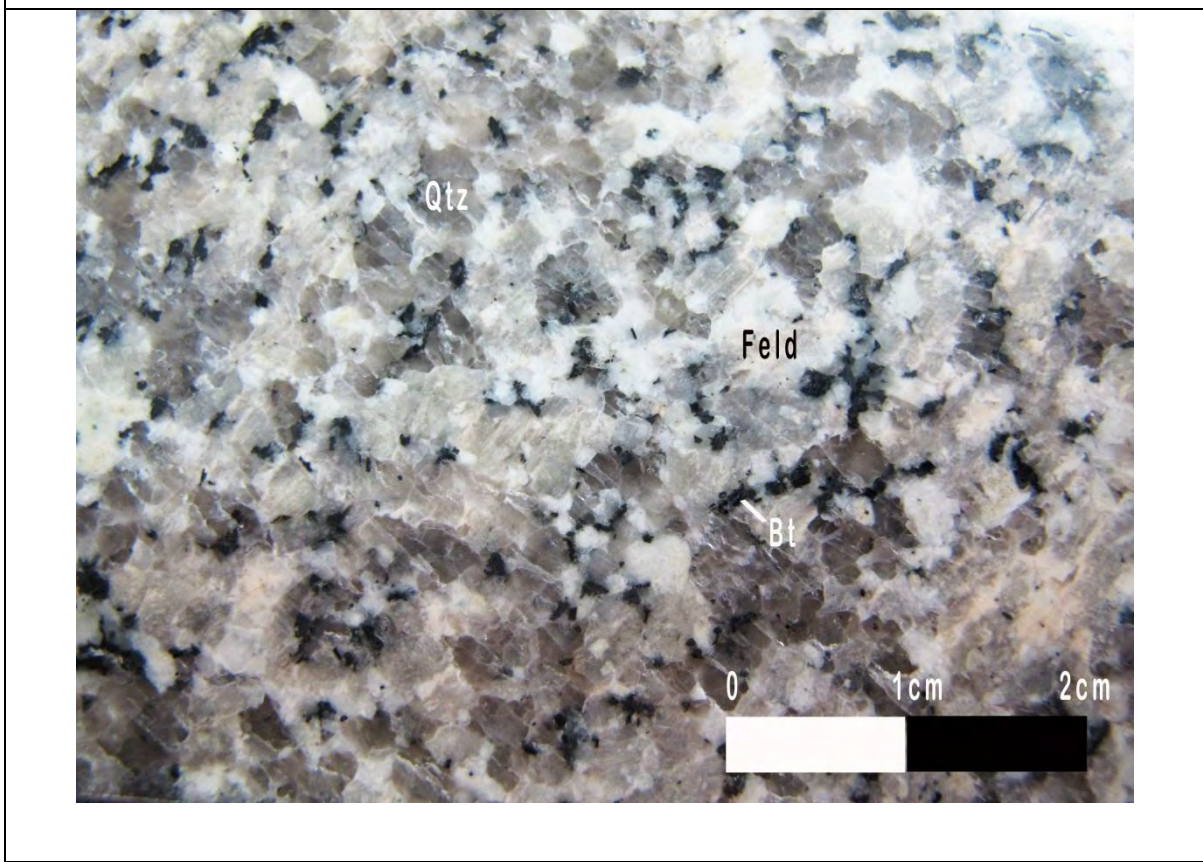


รูปที่ 3.1.1.1 (ข)

รูปที่ 3.1.1.2 ตัวอย่างหินแกรนิตจังหวัดตาก ประกอบไปด้วยแร่เฟลด์สปาร์สีขาวและแร่ควอร์ตซ์ ขนาดประมาณ 0.5 cm, และแร่ไบโอไทต์ ขนาดประมาณ 0.2-0.3 cm มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แสดงเนื้อหินแบบ phaneritic

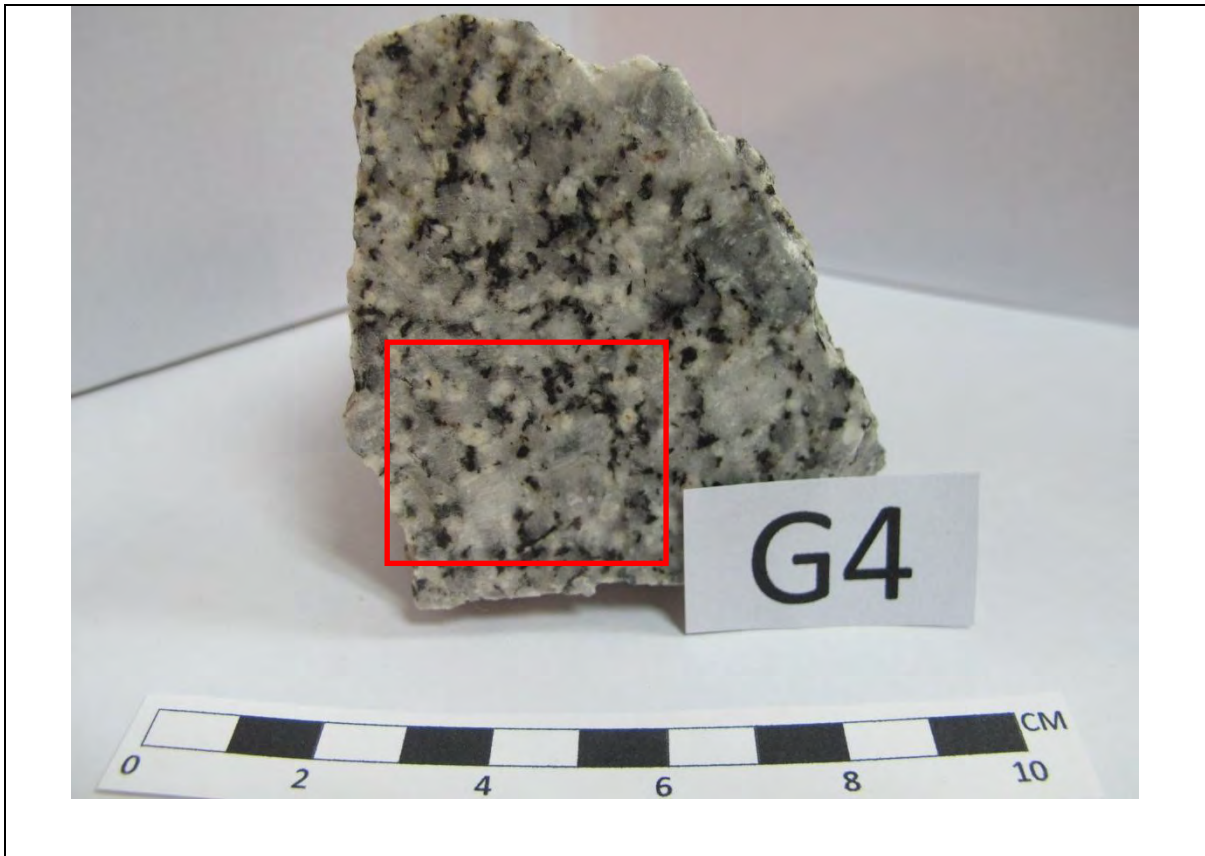


รูปที่ 3.1.1.2 (ก)

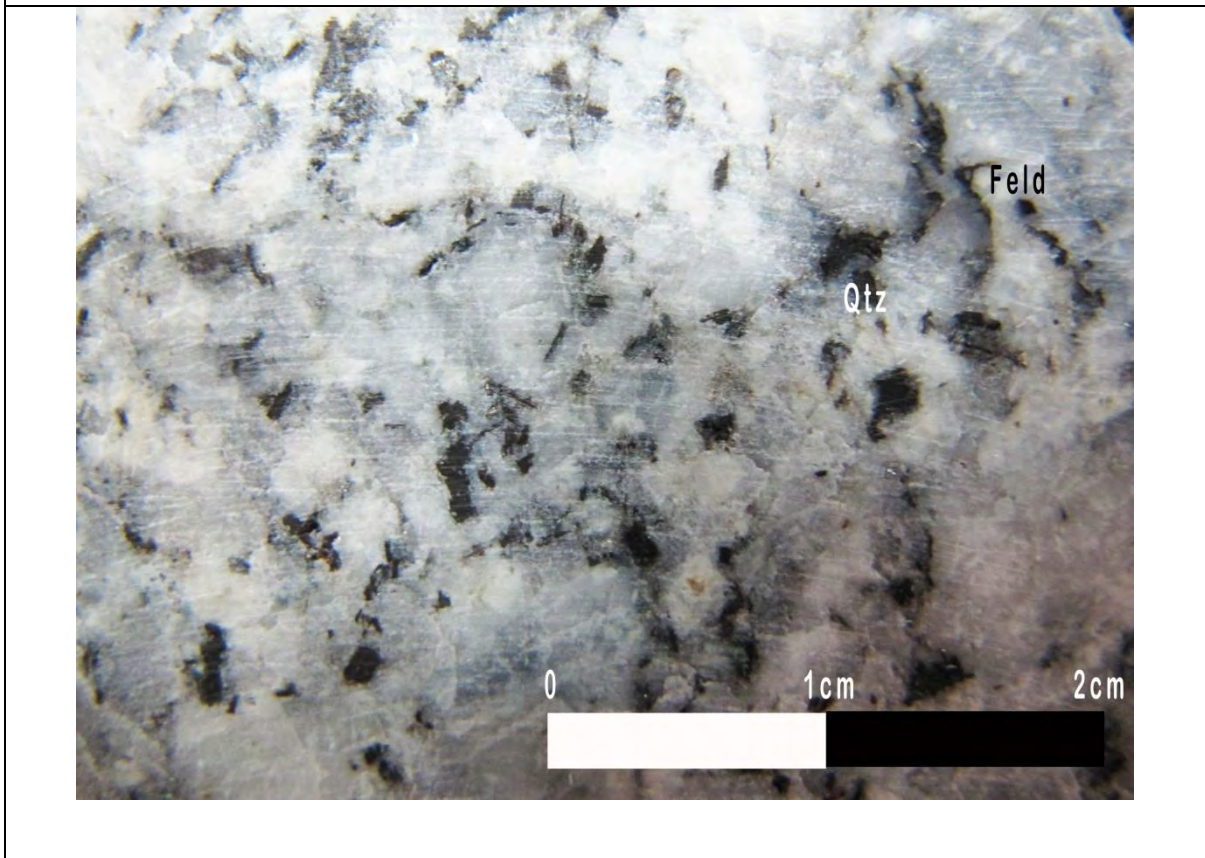


รูปที่ 3.1.1.2 (ข)

รูปที่ 3.1.1.3 หินแกรนิต อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี ประกอบไปด้วยแร่ขนาดปานกลางถึงหยาบของแร่ ควอร์ตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ และแร่ไบโอไทต์ ขนาดเม็ดแร่ประมาณ 0.1 – 0.3 cm. สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีเนื้อหินแบบ phaneritic

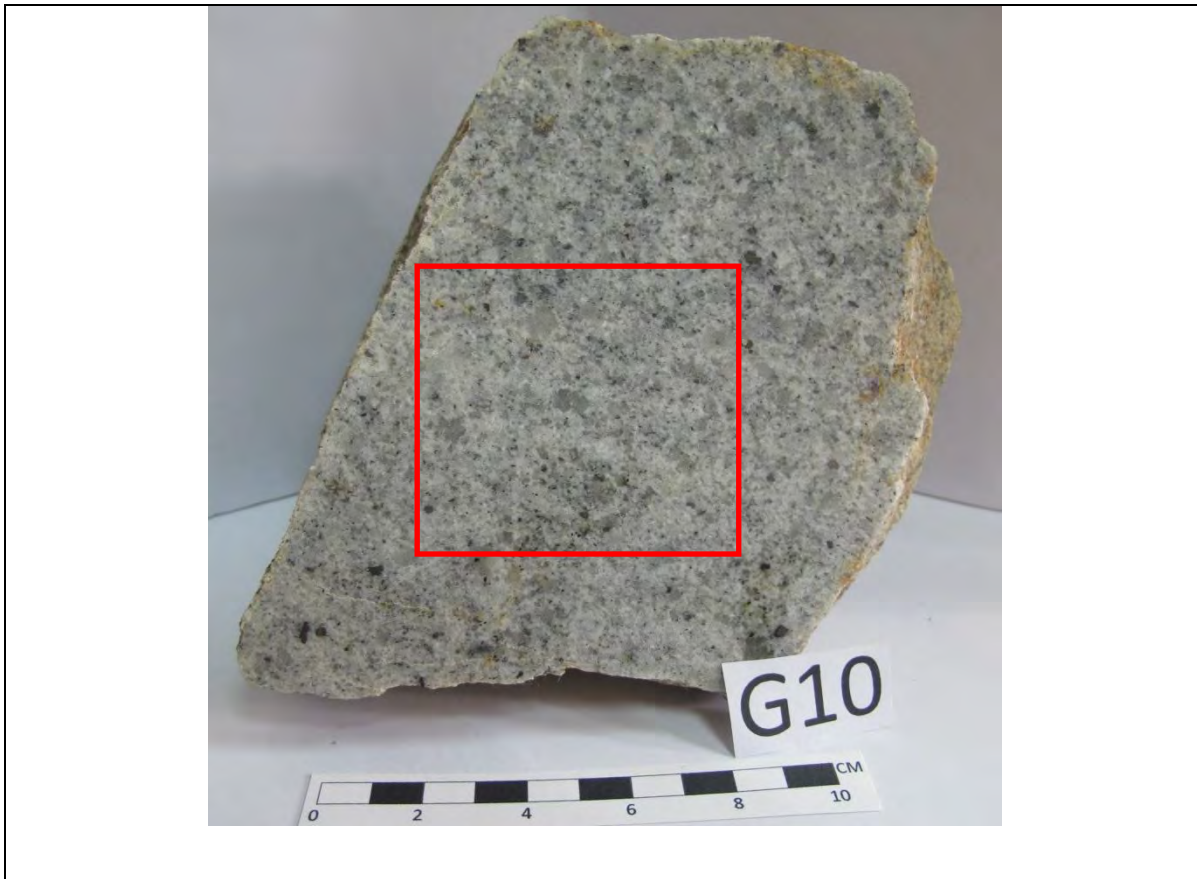


รูปที่ 3.1.1.3 (ก)

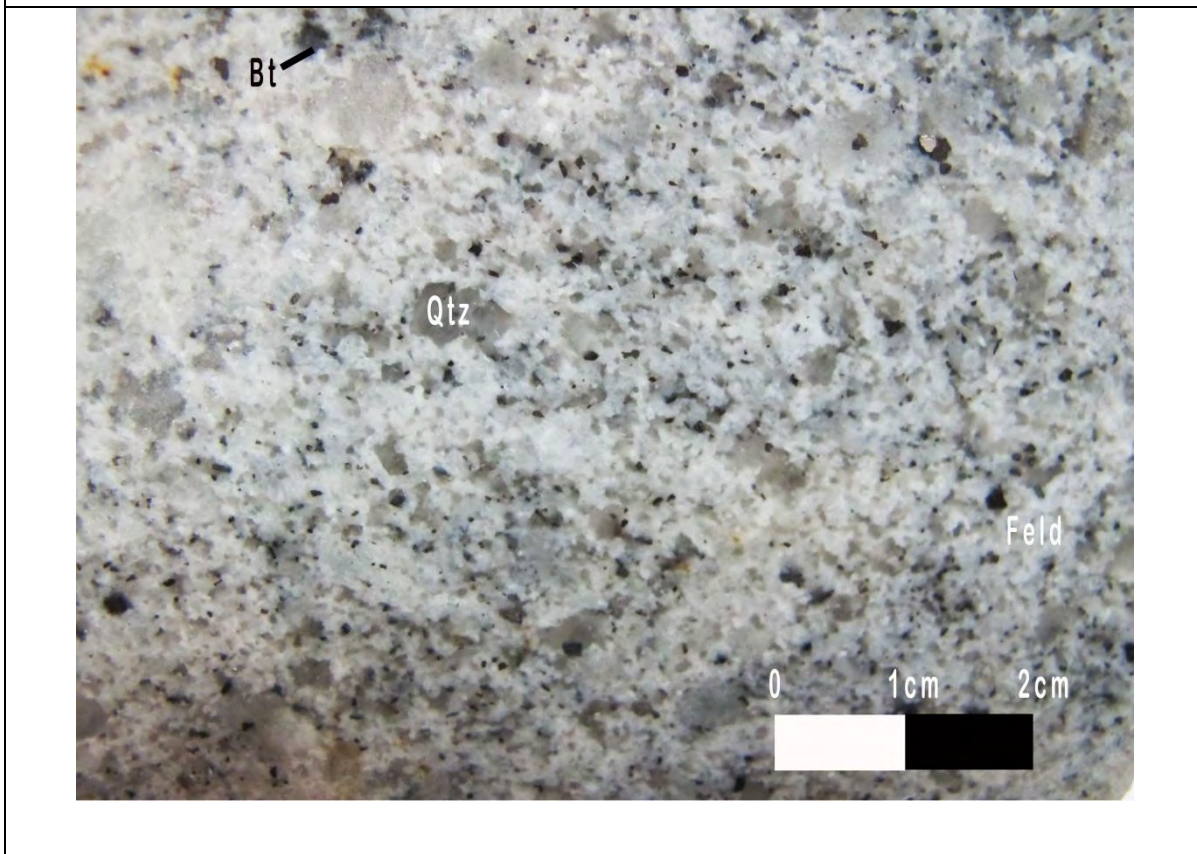


รูปที่ 3.1.1.3 (ข)

รูปที่ 3.1.1.4 หินแกรนิต เขาชีจรรย์ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี ประกอบด้วยแร่ที่มีขนาดเล็กถึงปานกลางขนาดเท่าๆ กัน ของแร่ควอร์ตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ และแร่ไบโอไทต์ ขนาดประมาณ 0.1-0.2 cm ซึ่งทั้งหมดนี้มองเห็นด้วยตาเปล่า มีเนื้อหินแบบ phaneritic

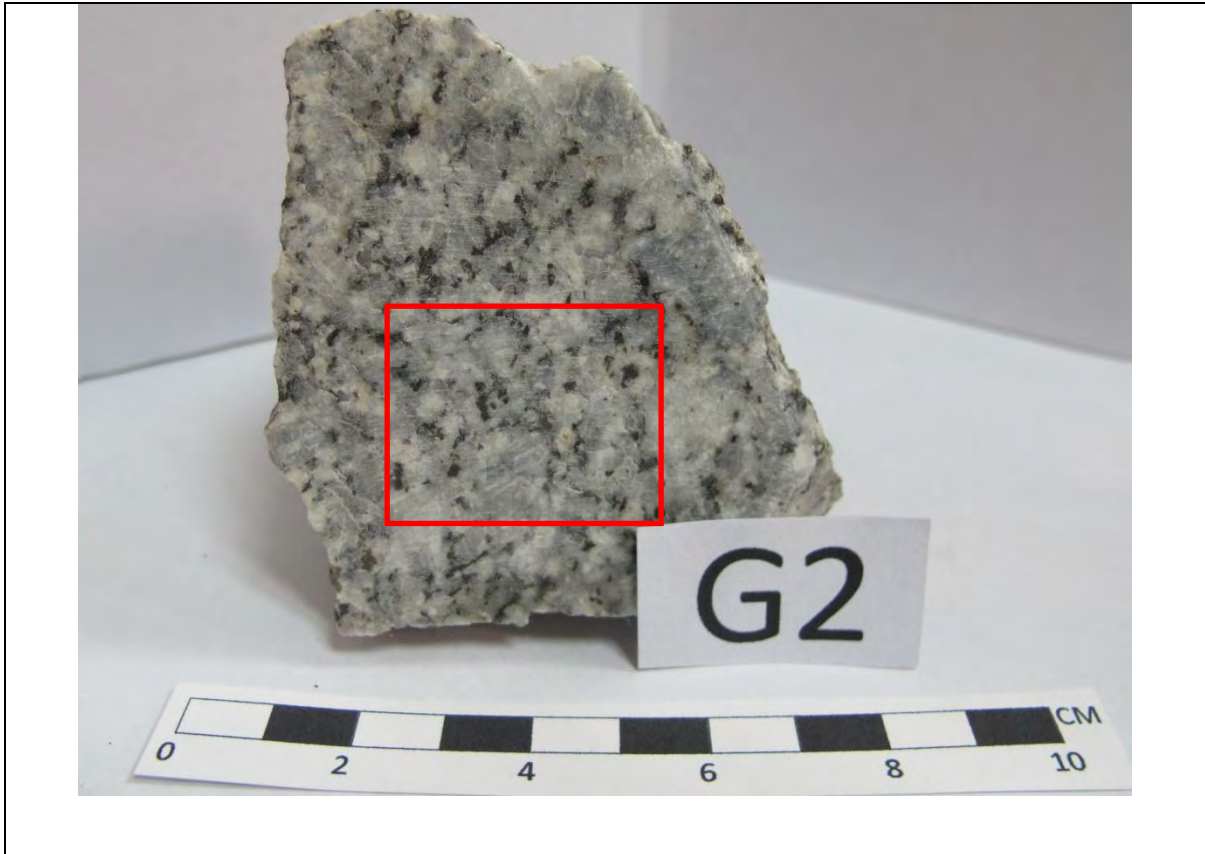


รูปที่ 3.1.1.4 (ก)

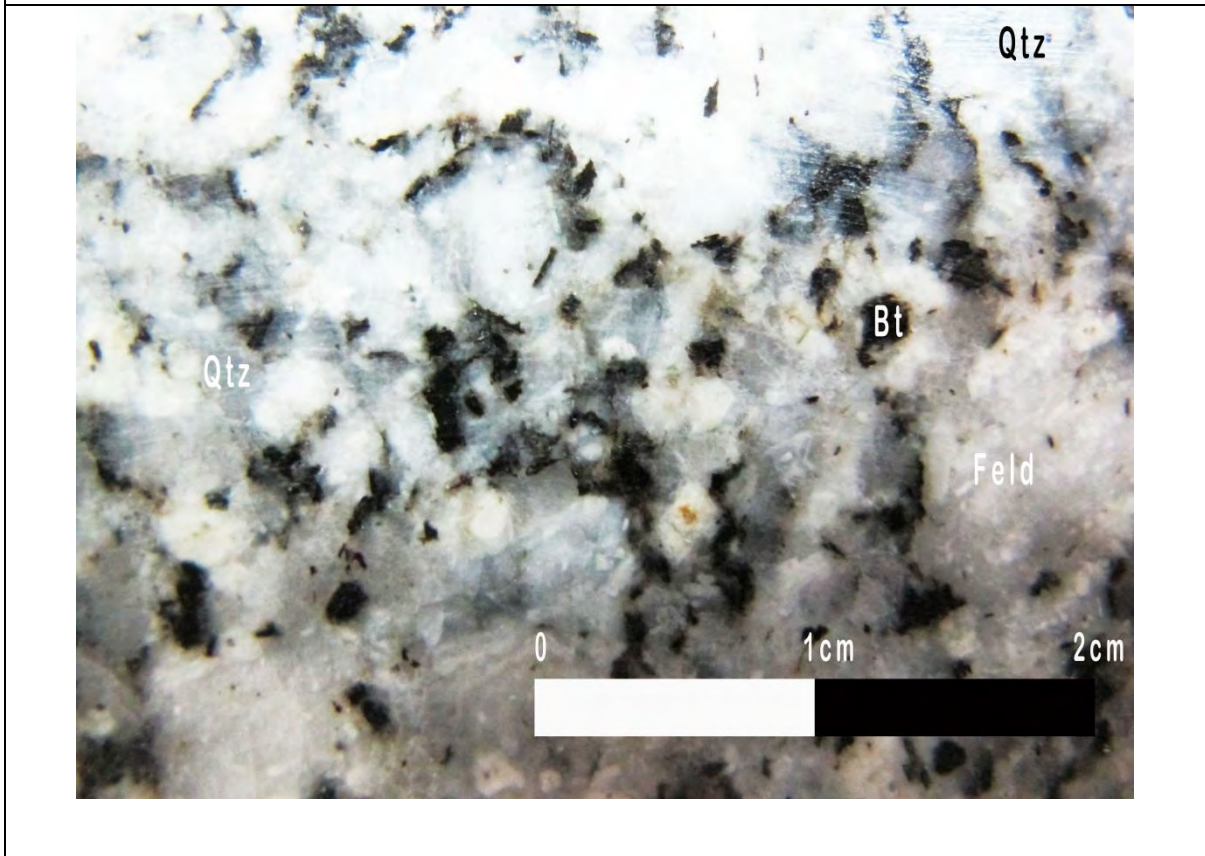


รูปที่ 3.1.1.4 (ข)

รูปที่ 3.1.1.5 หินแกรนิต บริเวณวัดหนองหว้า อำเภอแก่ง จังหวัดระยอง ประกอบด้วยแร่ควอร์ตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ แร่มีสโคไวต์ และแร่ไบโอไทต์ ขนาดเม็ดแร่ประมาณ 0.5 – 1 cm. โดยแร่ไบโอไทต์มีขนาดค่อนข้างใหญ่ 0.1-0.3 cm. ซึ่งทั้งหมดนี้มองเห็นด้วยตาเปล่า มีเนื้อหินแบบ phaneritic



รูปที่ 3.1.1.5 (ก)

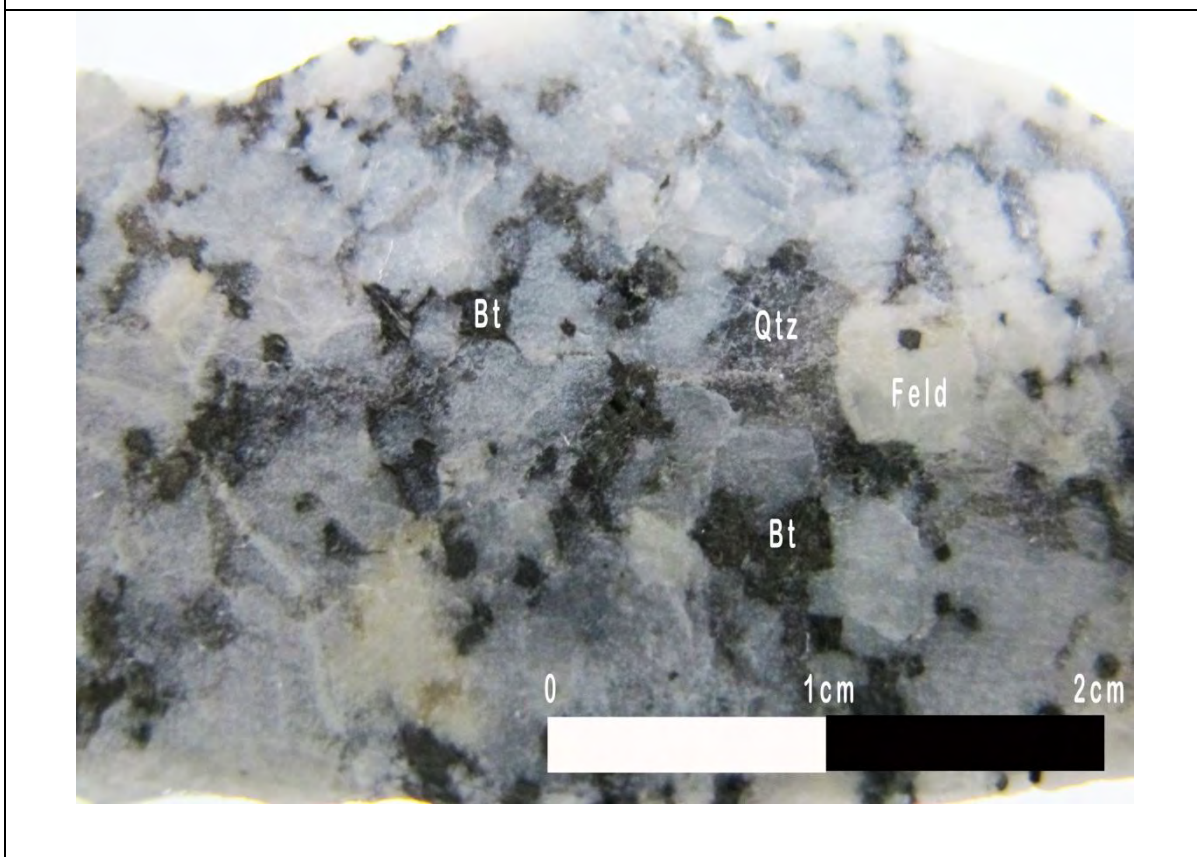


รูปที่ 3.1.1.5 (ข)

รูปที่ 3.1.1.6 หินแกรนิตบริเวณหาดกะรน อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต ประกอบไปด้วยแร่เฟลด์สปาร์สีขาว ขนาดประมาณ 2-4 cm แร่ควอตซ์ขนาดประมาณ 0.5-1 cm และแร่ไบโอไทต์ ขนาดประมาณ 0.1-0.3 cm และมีแร่ฮอร์นเบลนด์อยู่ในปริมาณที่น้อย สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีเนื้อหินแบบ porphyritic ผลึกดอกของแร่เฟลด์สปาร์

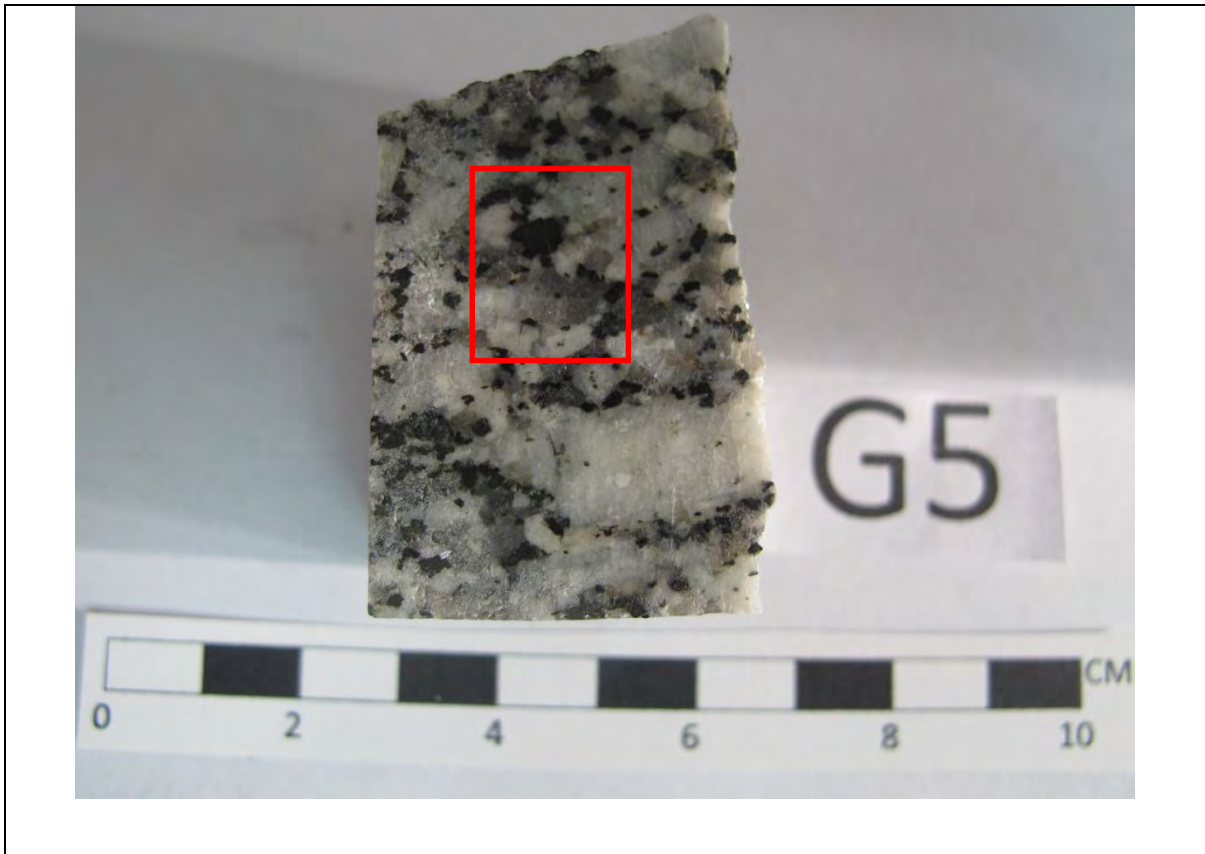


รูปที่ 3.1.1.6 (ก)

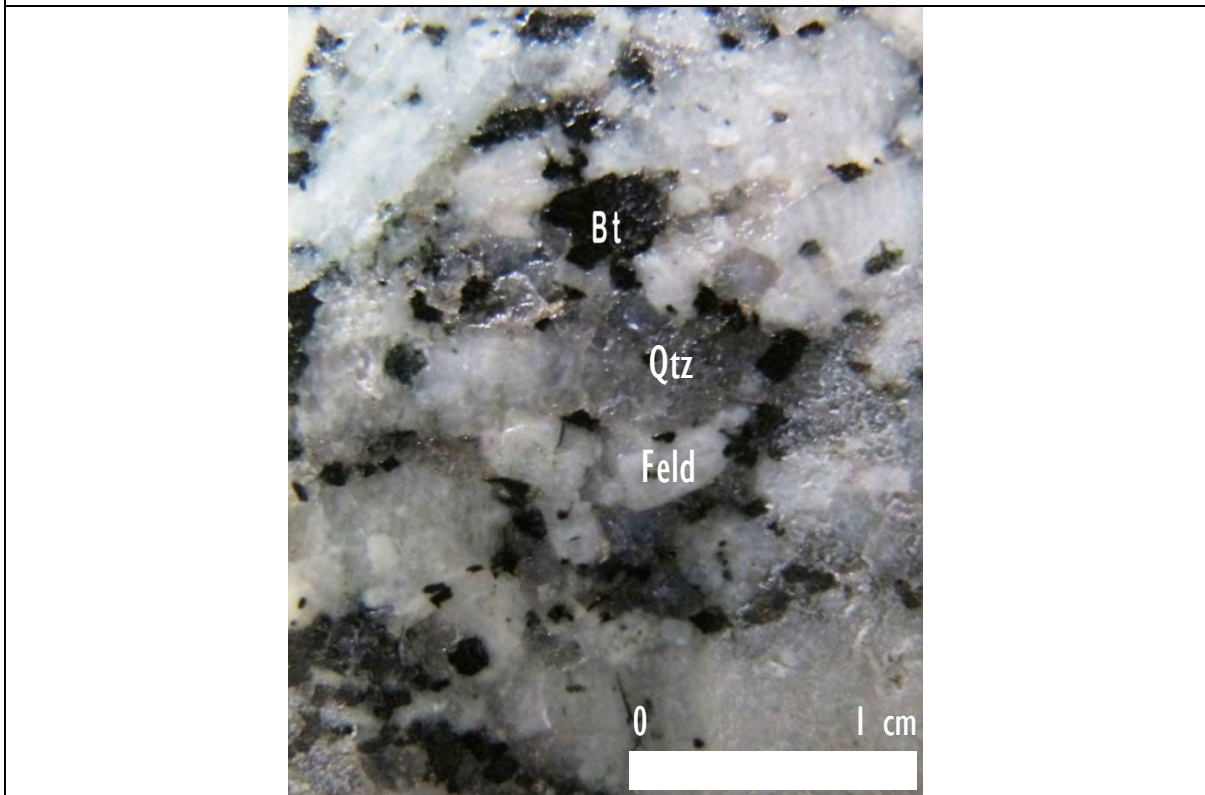


รูปที่ 3.1.1.6 (ข)

รูปที่ 3.1.1.7 หินแกรนิตบริเวณหาดกะตะ อำเภอมะนัง จังหวัดภูเก็ต ประกอบด้วยแร่เฟลด์สปาร์สีขาว ที่เป็นผลึกดอก ขนาดประมาณ 2 cm. แร่ควอตซ์ขนาดประมาณ 0.5 – 1 cm. แร่ไบโอไทต์ ขนาดประมาณ 0.2 – 0.4 cm. และมีแร่ฮอร์นเบลนด์เล็กน้อย มีเนื้อหินแบบ porphyritic ผลึกดอกของแร่เฟลด์สปาร์



รูปที่ 3.1.1.7 (ก)



รูปที่ 3.1.1.7 (ข)

3.1.2 Microscopic investigation

ในการศึกษาแผ่นหินบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ เพื่อศึกษาแร่องค์ประกอบโดยเน้นศึกษาแร่ไบโอไทต์ โดยเฉพาะแร่ไบโอไทต์ที่ไม่แสดงแนวแตกเรียบ เพื่อศึกษาถึงสมบัติทางแสง (pleochroism) ของแร่ไบโอไทต์ โดยศึกษาจากหินแกรนิตจากทั้งสิ้น 7 แห่ง กระจายทั่วประเทศไทย สามารถแบ่งกลุ่มตามลักษณะสีพลีโอโคอิคที่ปรากฏเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

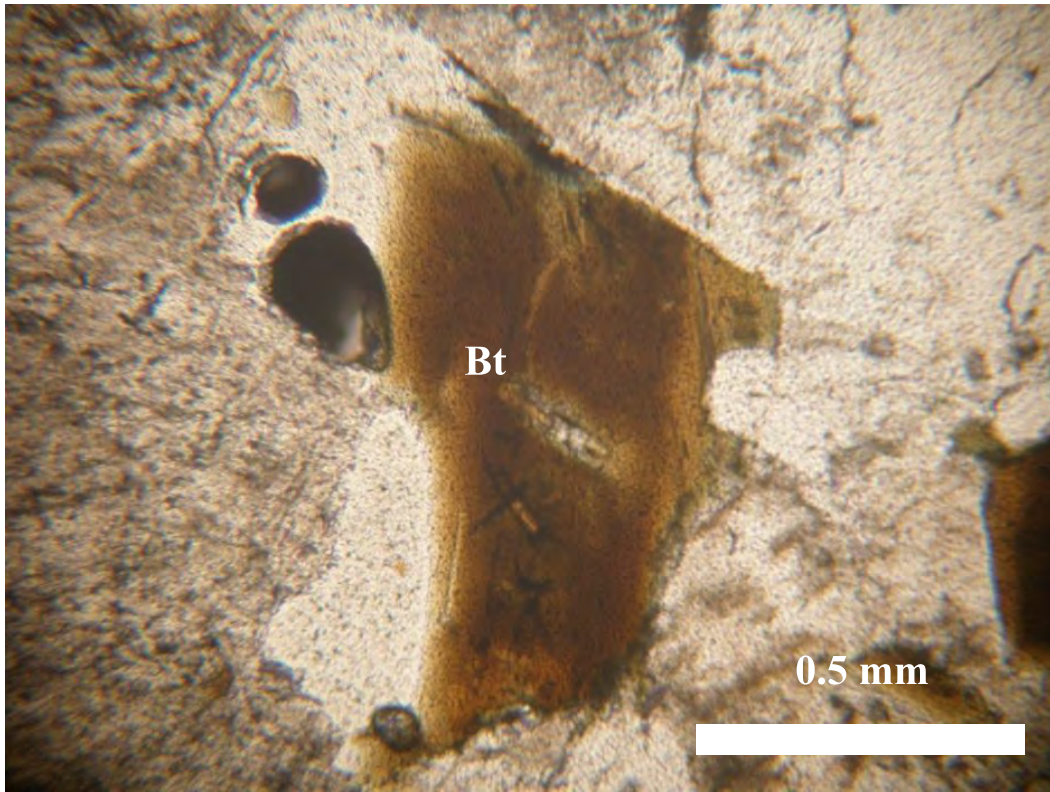
1) กลุ่มพลีโอโคอิคน้ำตาล

พบในหินแกรนิตจากอำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี, เขาชีจรรย์ จังหวัดชลบุรี และวัดหนองหัว จังหวัดระยอง (รูปที่ 3.1.2.3, 3.1.2.4 และ 3.1.2.5) ในกลุ่มนี้มีพลีโอโคอิคสีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลเข้ม พบร่วมกับแร่ควออตซ์ โฟแทสซีอิมเฟลด์สปาร์ แพลกจิโอเคส และมัสโคไวท์ มี inclusion ส่วนใหญ่เป็นแร่เซอร์คอนและโมนาไซต์

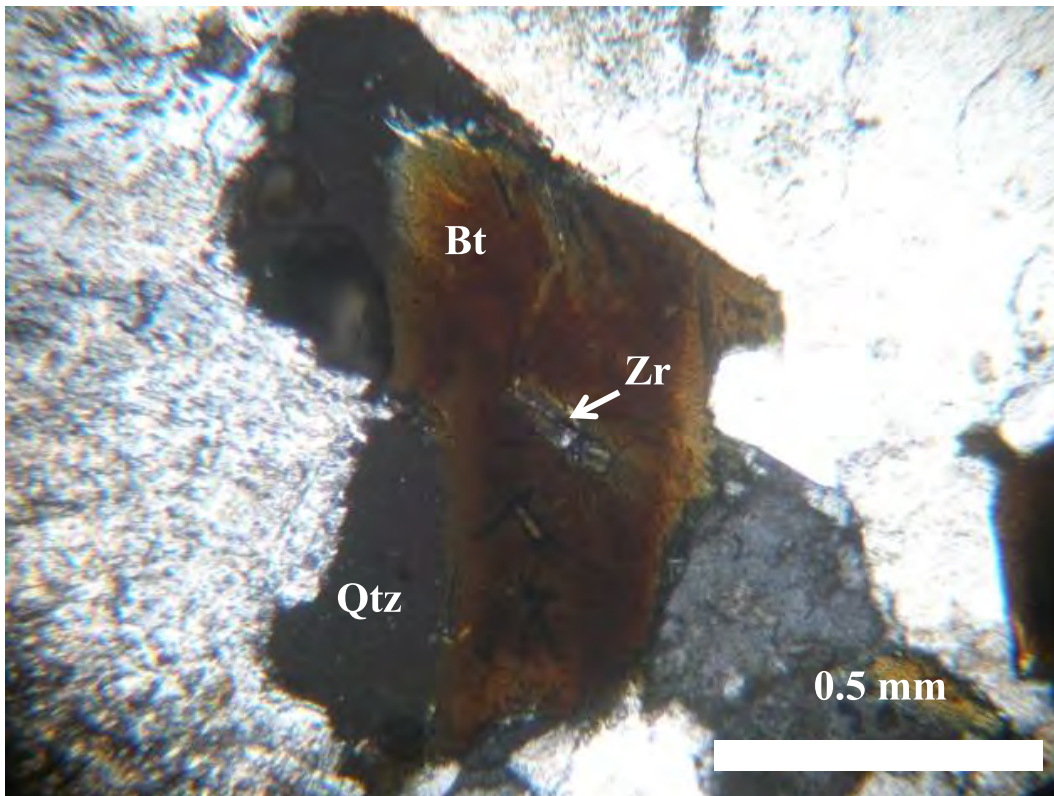
2) กลุ่มพลีโอโคอิคสีเขียว

พบในหินแกรนิตจากหาดกะตะ จังหวัดภูเก็ต, หาดกะรน จังหวัดภูเก็ต จังหวัดตาก และจังหวัดเลย (รูปที่ 3.1.2.1, 3.1.2.2, 3.1.2.6 และ 3.1.2.7) แร่ไบโอไทต์ในกลุ่มนี้มีพลีโอโคอิคสีเขียวอมน้ำตาลถึงน้ำตาลอมเขียว เกิดร่วมกับแร่ควออตซ์ โฟแทสซีอิมเฟลด์สปาร์ แพลกจิโอเคส และฮอร์นเบลนด์ มี inclusion ส่วนใหญ่เป็นแร่เซอร์คอน

รูปที่ 3.1.2.1 (รูปที่ 3.1.2.1 (ก) ปราศจากนิโคล, รูปที่ 3.1.2.1 (ข) ใส่ไนโคล) ของหินแกรนิต
จังหวัดเลย แสดงแร่ไบโอไทต์ ขนาดกว้างประมาณ 0.4 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 0.8 มิลลิเมตร ไม่แสดง
แนวแตกเรียบ มีฟลูโอโคอิคส์เขียวอมน้ำตาล มี inclusion เป็นแร่ Zircon และมีแร่ที่พบร่วมกัน ได้แก่
แร่ควออตซ์ โฟแทสซีมเฟลด์สปาร์

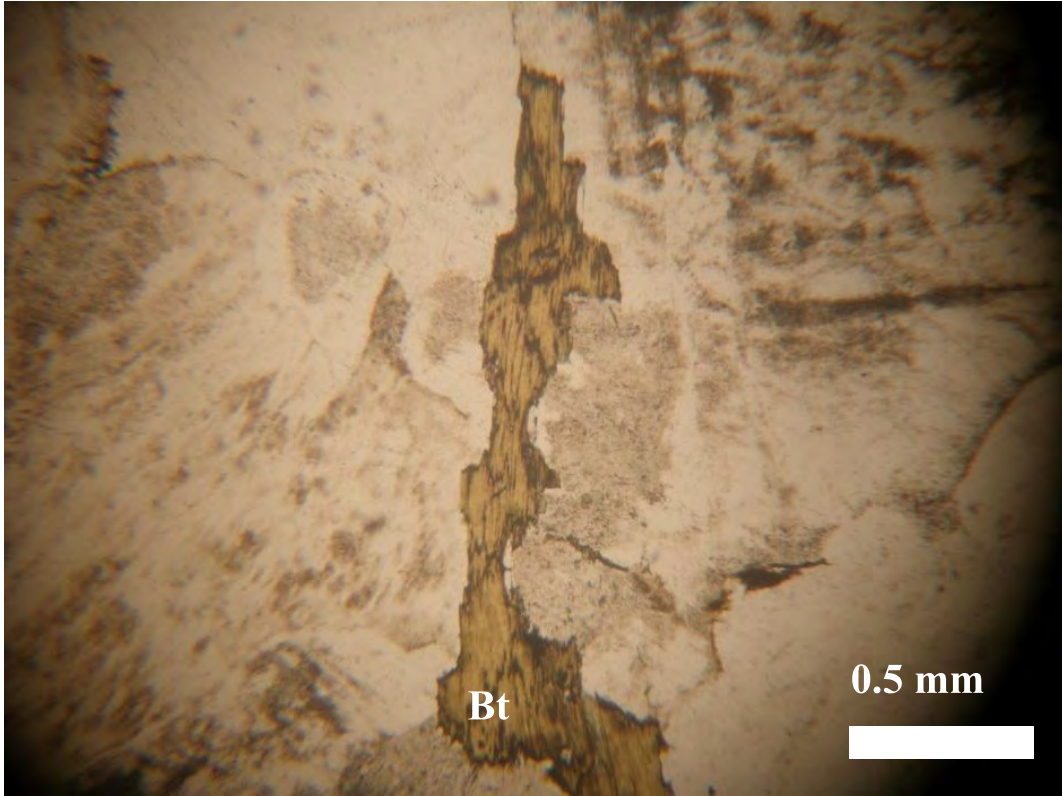


รูปที่ 3.1.2.1 (ก)

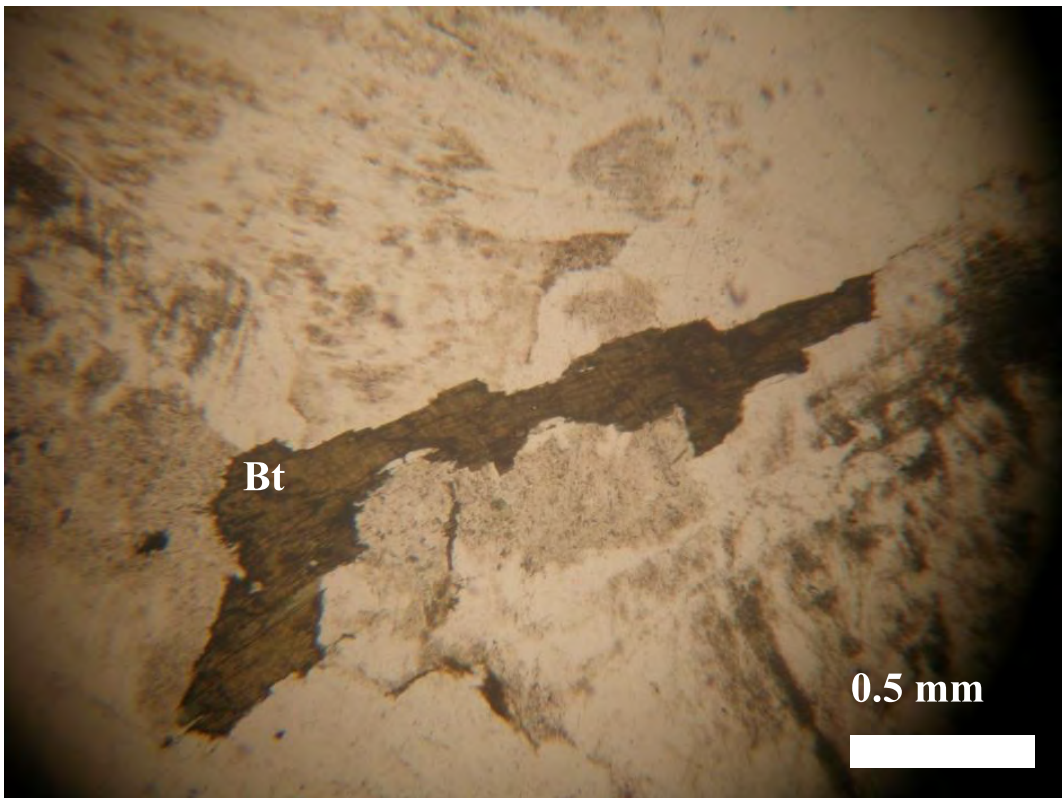


รูปที่ 3.1.2.1 (ข)

รูปที่ 3.1.2.2 (รูปที่ 3.1.2.2 (ก,ข) ปรัชจากนิโคล ของหินแกรนิตในพื้นที่บริเวณ จังหวัดตาก แสดงแร่ไบโอไทต์ ขนาดกว้างประมาณ 0.1 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 1.3 มิลลิเมตร แสดงแนวแตกแบบ flaky cleavage มีฟลูออโคอิกสีน้ำตาลอมเขียว

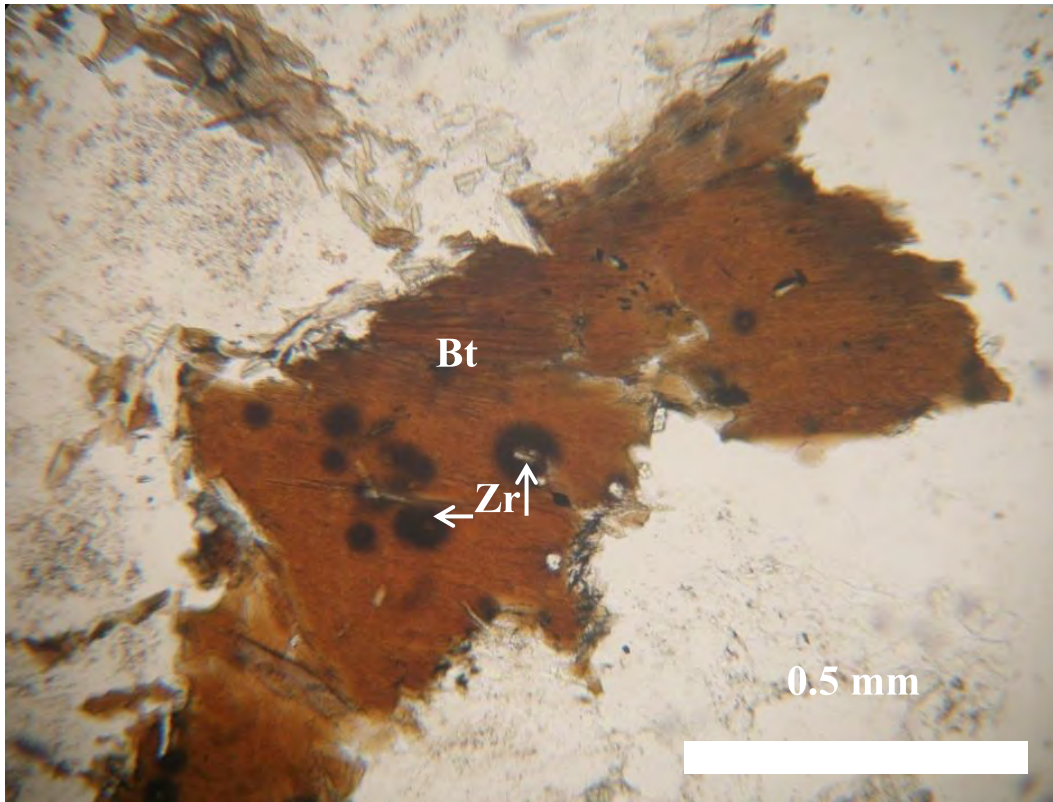


รูปที่ 3.1.2.2 (ก)

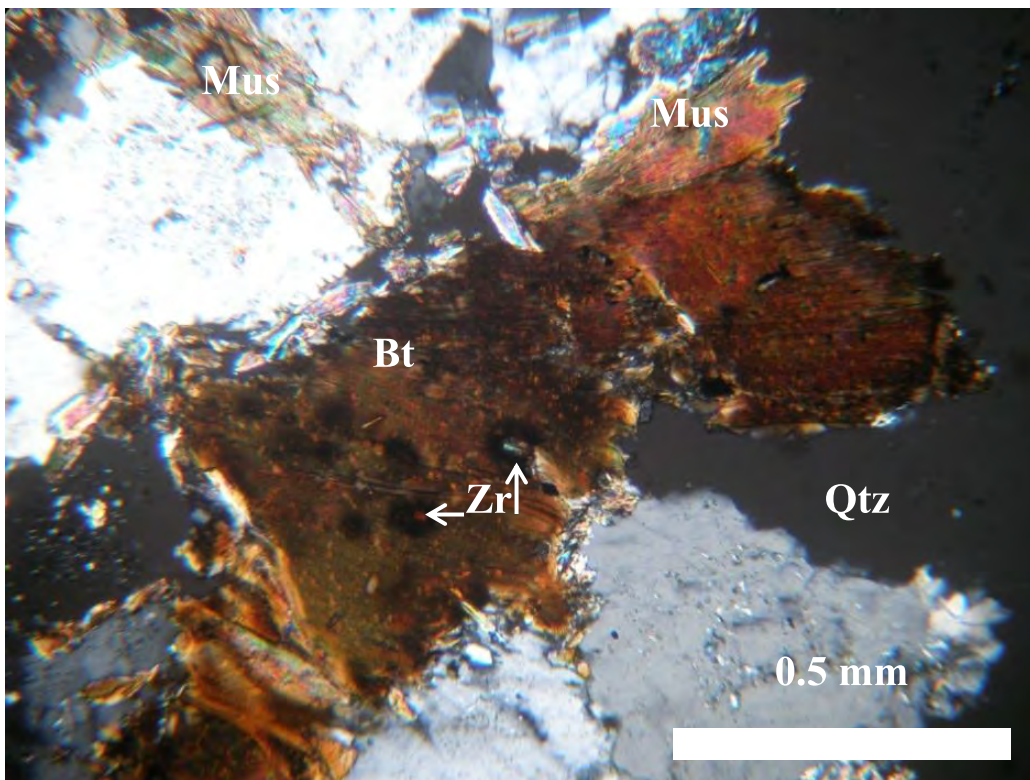


รูปที่ 3.1.2.2 (ข)

รูปที่ 3.1.2.3 (รูปที่ 3.1.2.3 (ก) ปราศจากนิโคล, รูปที่ 3.1.2.3 (ข) ใส่นิโคล) ของหินแกรนิตในพื้นที่
บริเวณอำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี แสดงแร่ไบโอไทต์ ขนาดกว้างประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ยาว
ประมาณ 1.2 มิลลิเมตร มีพลีโอโคอิคส์น้ำตาลเข้ม มี inclusion เป็นแร่เซอร์คอน แร่ที่พบร่วมกัน
ประกอบด้วย แร่ควออตซ์ มัสโคไวท์ และโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์

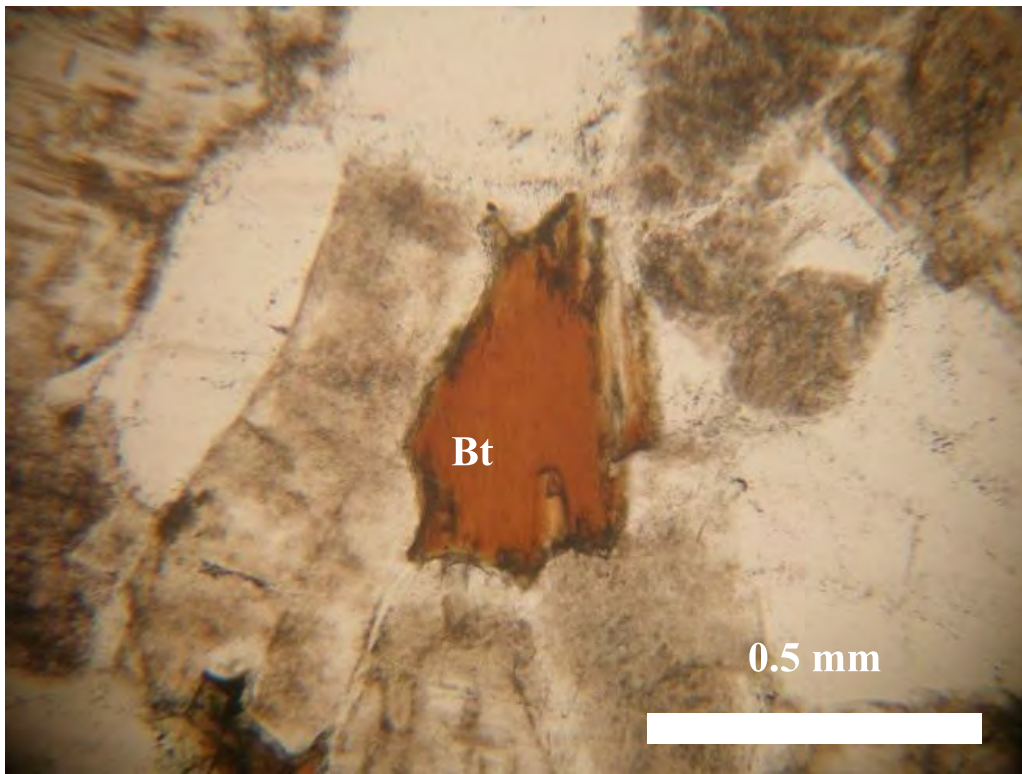


รูปที่ 3.1.2.3 (ก)

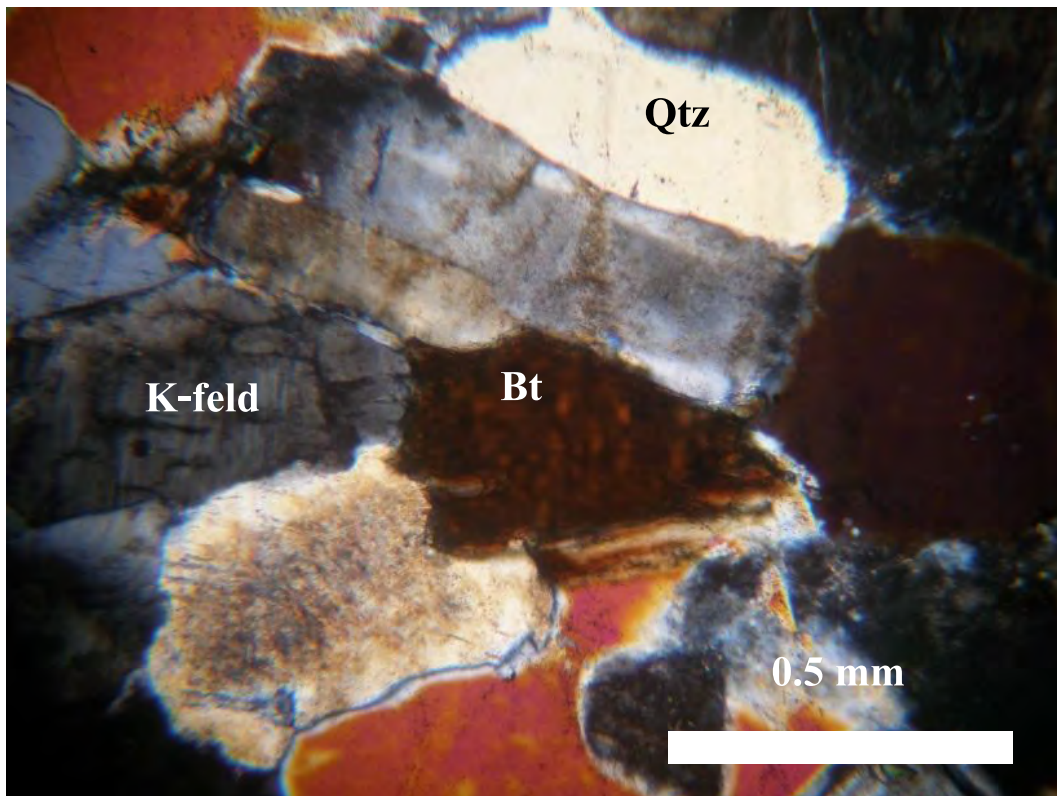


รูปที่ 3.1.2.3 (ข)

รูปที่ 3.1.2.4 (รูปที่ 3.1.2.4 (ก) ปราศจากนิโคล, รูปที่ 3.1.2.4 (ข) ใส่นิโคล) ของหินแกรนิตในพื้นที่เขาชี
จรรย์ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี แสดงแร่ไบโอไทต์ขนาดกว้าง 0.3 มิลลิเมตร ยาว 0.5 มิลลิเมตร ไม่
แสดงแนวแตกเรียบ มีพลีโอโคอิคสีน้ำตาลเข้ม พบร่วมกับแร่ควอร์ตซ์ โฟแทสซีเอ็มเฟลด์สปาร์

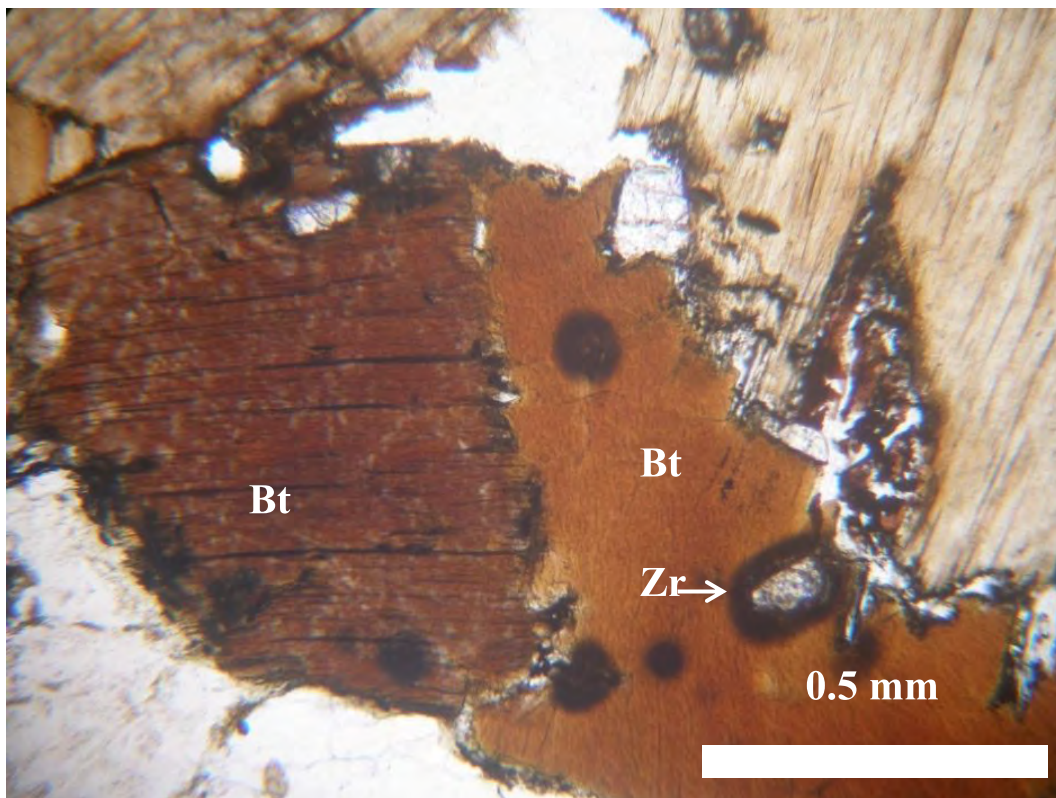


รูปที่ 3.1.2.4 (ก)

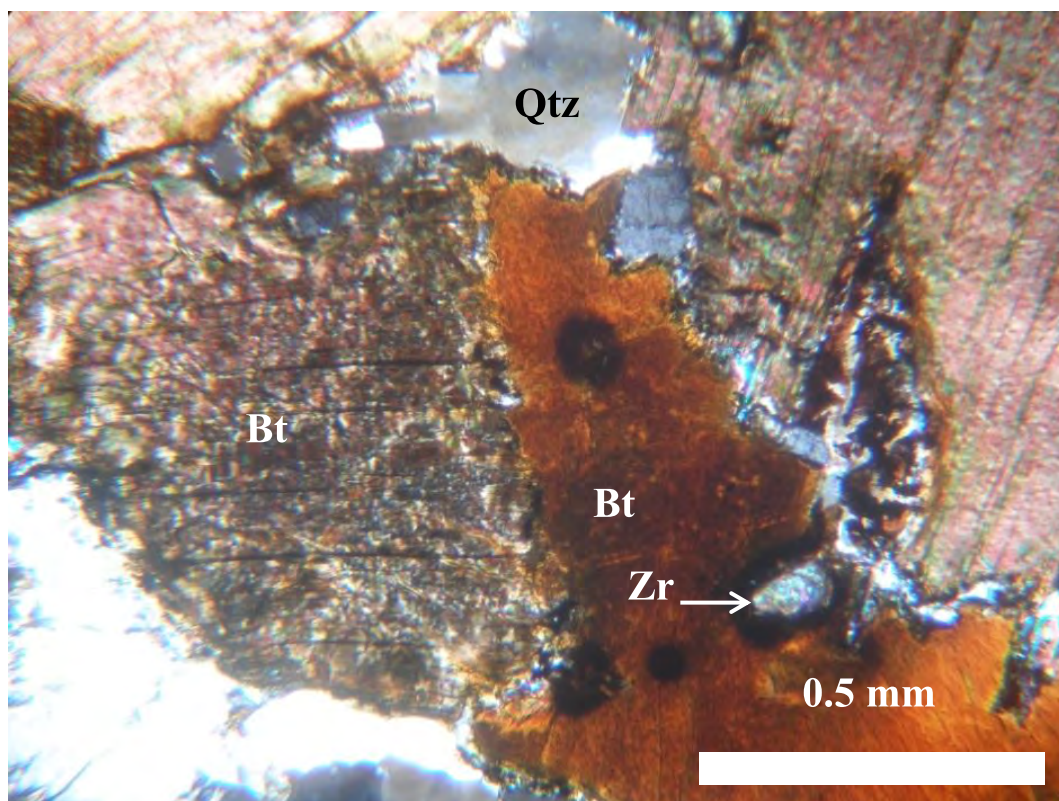


รูปที่ 3.1.2.4 (ข)

รูปที่ 3.1.2.5 (รูปที่ 3.1.2.5 (ก) ปราศจากนิโคล, รูปที่ 3.1.2.5 (ข) ใส่นิโคล) ของหินแกรนิตในพื้นที่บริเวณวัดหนองหว้า จังหวัดระยอง แสดงแร่ไบโอไทต์ ขนาดกว้างประมาณ 0.5-0.7 มิลลิเมตร แสดงแนวแตกเรียบ 1 แนวชัดเจน แบบ flaky cleavage และไม่แสดงแนวแตกเรียบ มีพลีโอโคคิซีน้ำตาลเข้ม มี inclusion เป็นแร่เซอร์คอน ไบโอไทต์แสดงลักษณะการมอดแบบ parallel extinction และมีลักษณะเป็น bird eye extinction

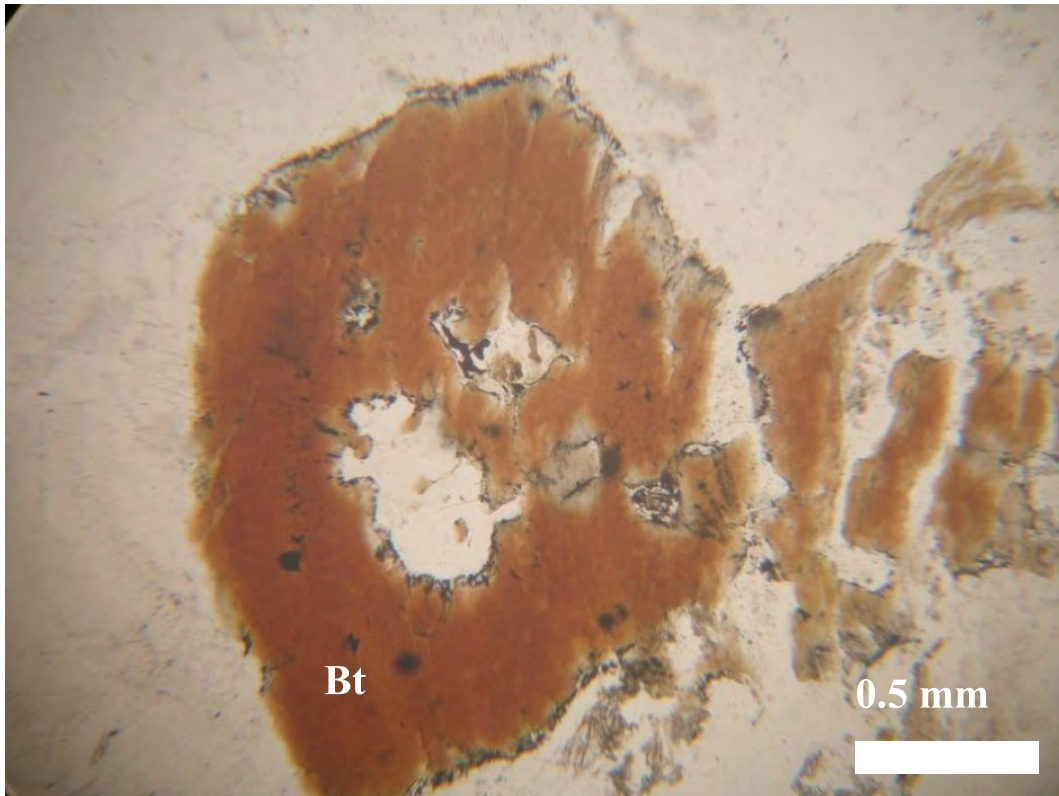


รูปที่ 3.1.2.5 (ก)

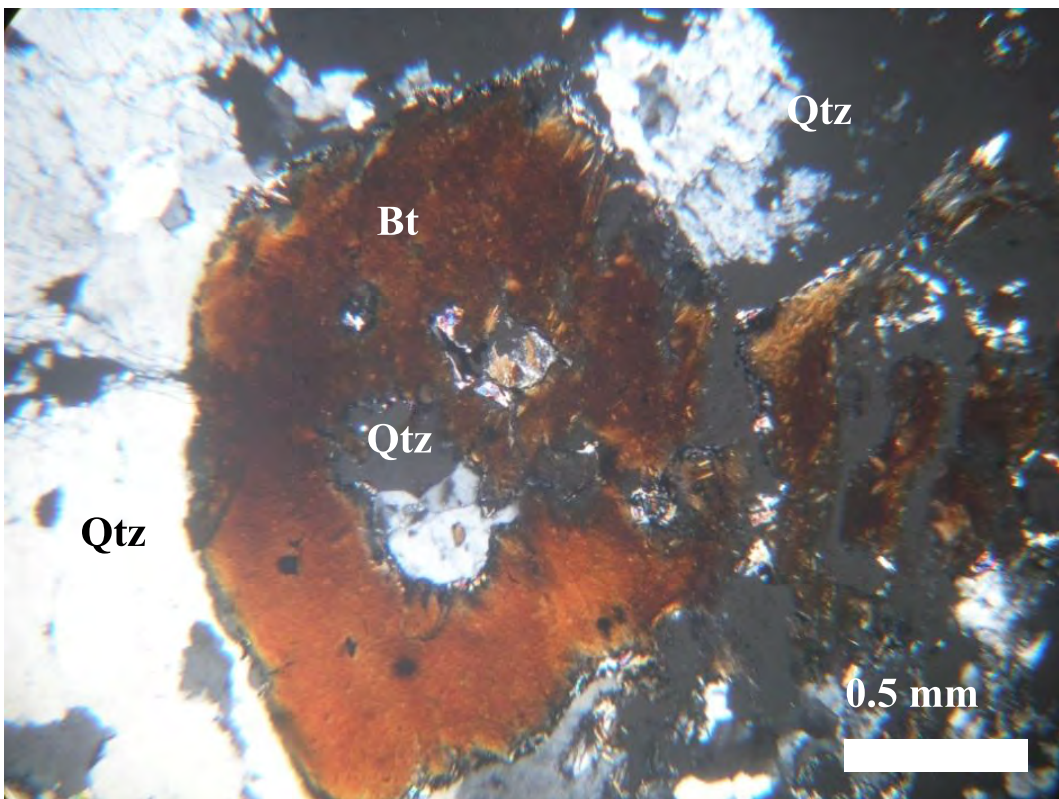


รูปที่ 3.1.2.5 (ข)

รูปที่ 3.1.2.6 (รูปที่ 3.1.2.6 (ก) ปราศจากนิโคต, รูปที่ 3.1.2.6 (ข) ใส่นิโคต) ของหินแกรนิตในพื้นที่
บริเวณหาดกะรน จังหวัดภูเก็ต แสดงแร่ไบโอไทต์ ขนาดกว้างประมาณ 1.3 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 1.7
มิลลิเมตร มีพลีโอโคคิสน้ำตาลเข้มอมเขียว มีลักษณะเป็น Subhedral

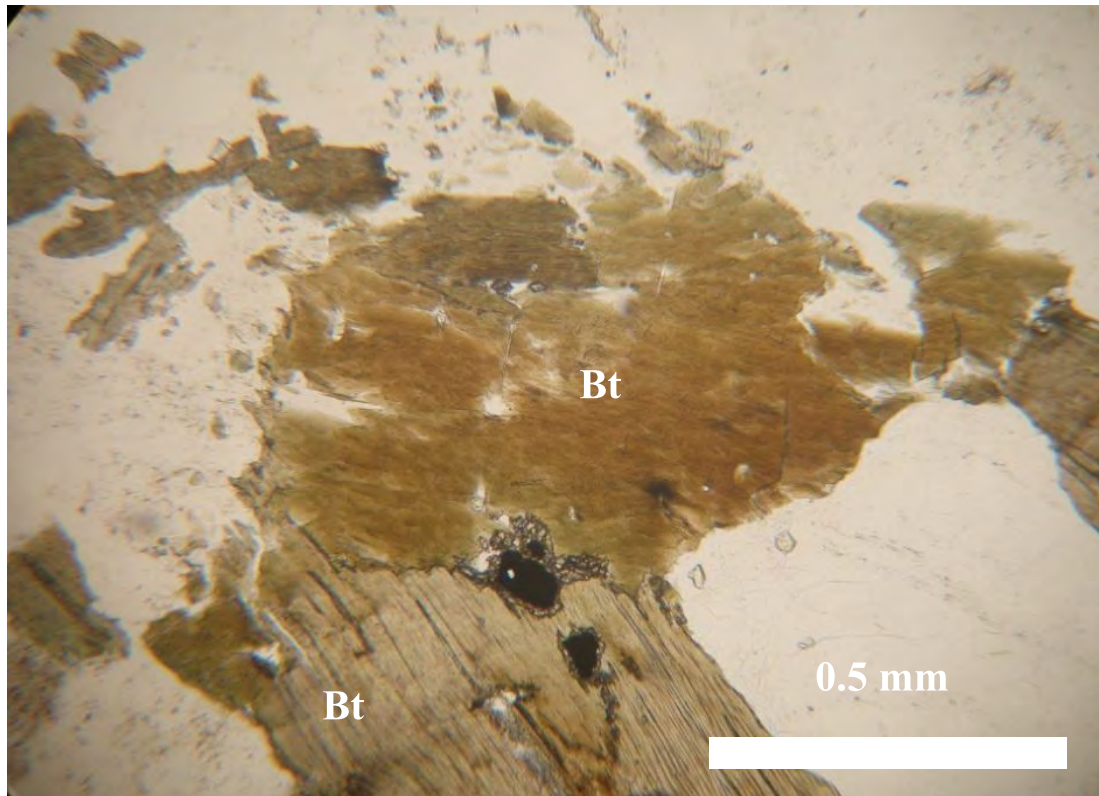


รูปที่ 3.1.2.6 (ก)

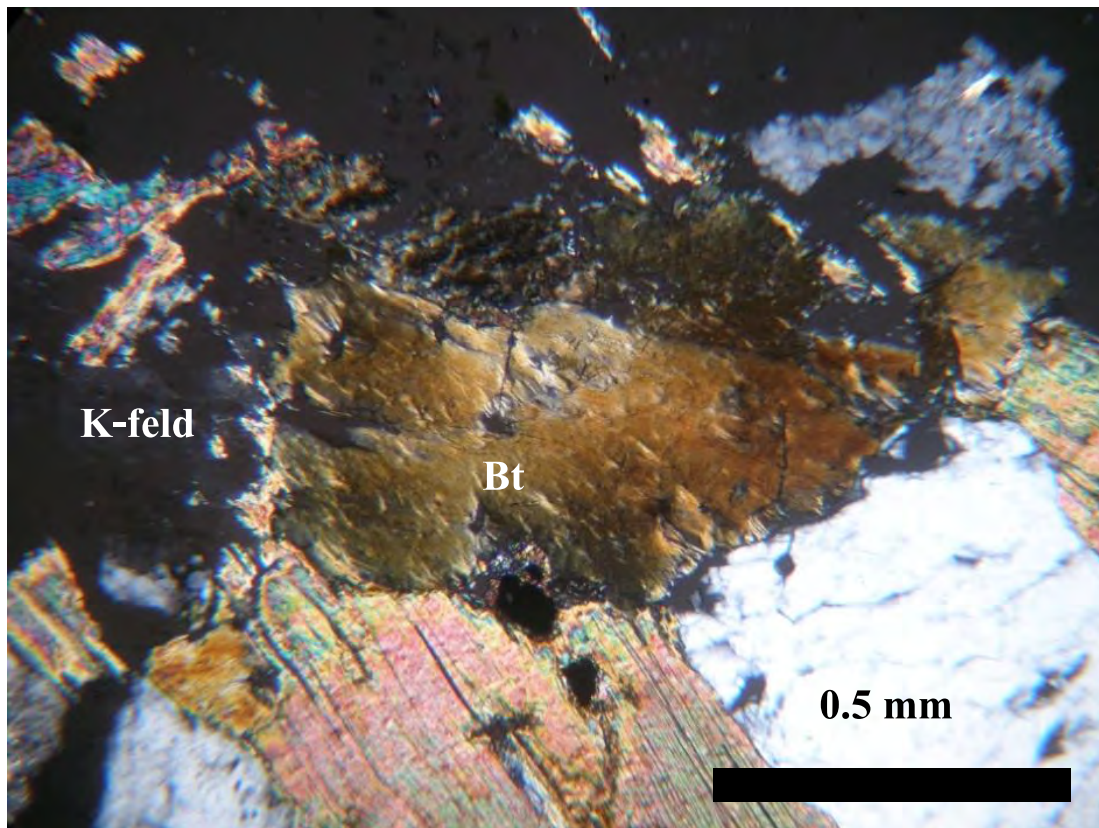


รูปที่ 3.1.2.6 (ข)

รูปที่ 3.1.2.7 (รูปที่ 3.1.2.7 (ก) ปราศจากนิโคล, รูปที่ 3.1.2.7 (ข) ใส่ไนโคล) ของหินแกรนิตในพื้นที่บริเวณหาดกะตะ จังหวัดภูเก็ต แสดงแร่ไบโอไทต์ ขนาดกว้างประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 0.7 มิลลิเมตร มีพลีโอโคคิสีเขียวในแร่ไบโอไทต์ที่ไม่แสดงแนวแตก และมีน้ำตาลอ่อนอมเขียวในแร่ที่แสดง flaky cleavage และมีแร่ที่พบร่วมกัน ได้แก่ แร่ควออตซ์ โฟแทสซีมเฟลด์สปาร์ แพลกจีโอเคส และพบแร่ฮอร์นเบลนด์ร่วมด้วย



รูปที่ 3.1.2.7 (ก)



รูปที่ 3.1.2.7 (ข)

3.2 ผลวิเคราะห์ธรณีเคมีของแร่ไบโอไทต์

หินทั้งหมดที่ได้จากพื้นที่ศึกษา ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA) ได้ข้อมูลธรณีเคมีของแร่ไบโอไทต์ทั้งธาตุองค์ประกอบหลัก (Major oxide) และธาตุส่วนน้อย (minor oxide) ที่เป็นองค์ประกอบของแร่ไบโอไทต์ ดังแสดงผลในรูปของกราฟและแผนภาพกล่อง (box plots) ดังรูปที่ 3.2.1 และ 3.2.2 ตามลำดับ

1) หินแกรนิต จังหวัดเลย

มีค่า SiO_2 $37.26 \pm 0.61\%$, TiO_2 $2.79 \pm 0.90\%$, Al_2O_3 $15.24 \pm 1.56\%$, FeO^* $17.47 \pm 1.81\%$, MnO $1.98 \pm 0.50\%$, MgO $13.64 \pm 0.77\%$ และ K_2O 9.49 ± 0.59

2) หินแกรนิต เขาโพน จังหวัดตาก

มีค่า SiO_2 $36.40 \pm 1.19\%$, TiO_2 $2.80 \pm 1.60\%$, Al_2O_3 $13.95 \pm 2.56\%$, FeO^* $31.48 \pm 0.3.63\%$, MnO $0.1.15 \pm 0.17\%$, MgO $6.84 \pm 0.76\%$ และ K_2O $6.63 \pm 3.88\%$

3) หินแกรนิต อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี

มีค่า SiO_2 $35.22 \pm 0.83\%$, TiO_2 $2.67 \pm 0.32\%$, Al_2O_3 $19.73 \pm 0.31\%$, FeO^* $21.54 \pm 0.66\%$, MnO $0.33 \pm 0.03\%$, MgO $9.31 \pm 0.21\%$ และ K_2O $10.18 \pm 0.19\%$

4) หินแกรนิต เขาชีจรรย์ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี

มีค่า SiO_2 $34.29 \pm 0.87\%$, TiO_2 $4.58 \pm 0.53\%$, Al_2O_3 $17.54 \pm 0.28\%$, FeO^* $22.80 \pm 0.53\%$, MnO $0.56 \pm 0.05\%$, MgO $9.29 \pm 0.28\%$ และ K_2O $10.05 \pm 0.40\%$

5) หินแกรนิต บริเวณวัดหนองหว้า จังหวัดระยอง

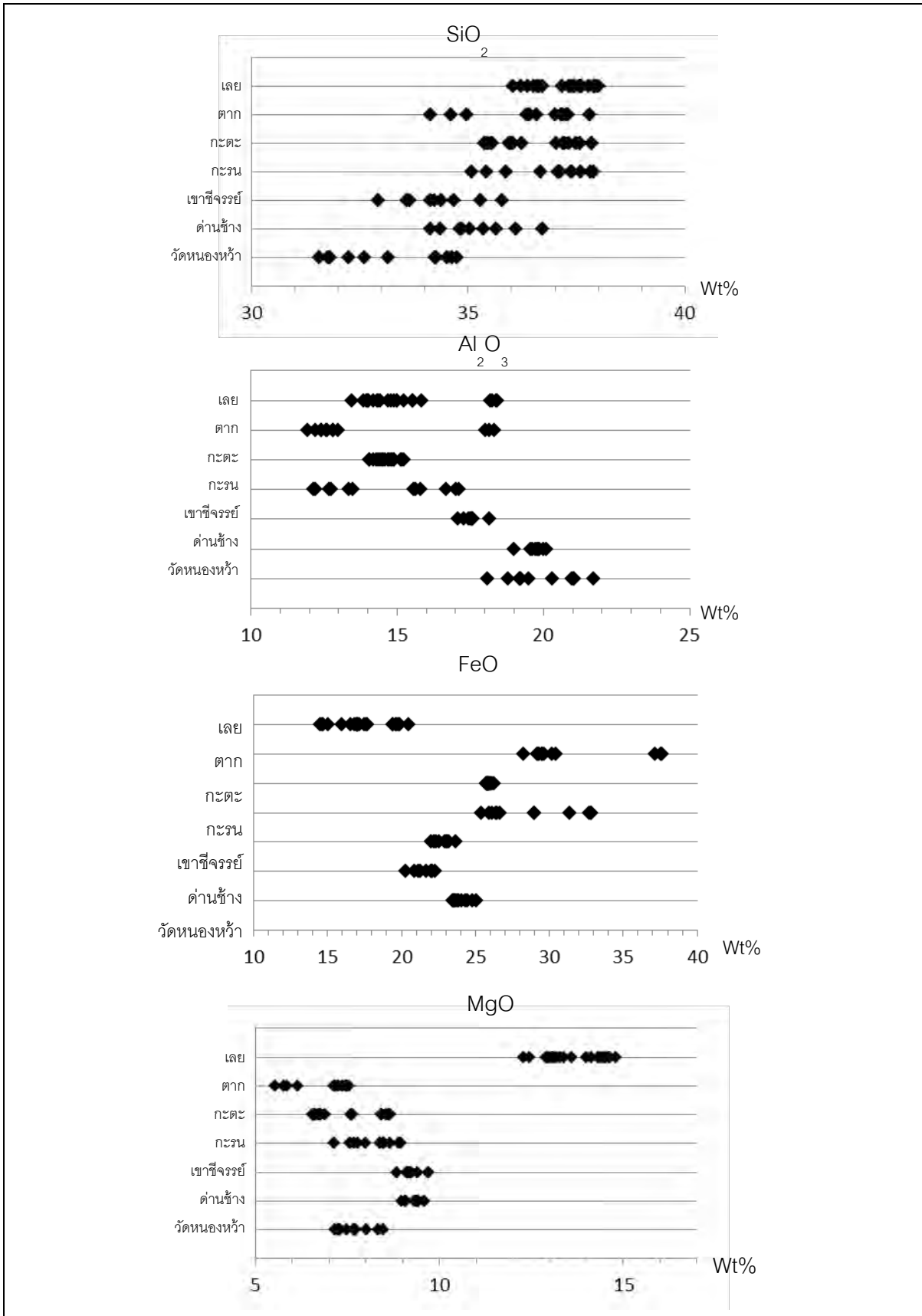
มีค่า SiO_2 $33.32 \pm 1.25\%$, TiO_2 $2.77 \pm 0.44\%$, Al_2O_3 $20.02 \pm 1.14\%$, FeO^* $24.03 \pm 0.53\%$, MnO $0.52 \pm 0.04\%$, MgO $7.64 \pm 0.44\%$ และ K_2O $10.33 \pm 0.59\%$

6) หินแกรนิต บริเวณหาดกะรน อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต

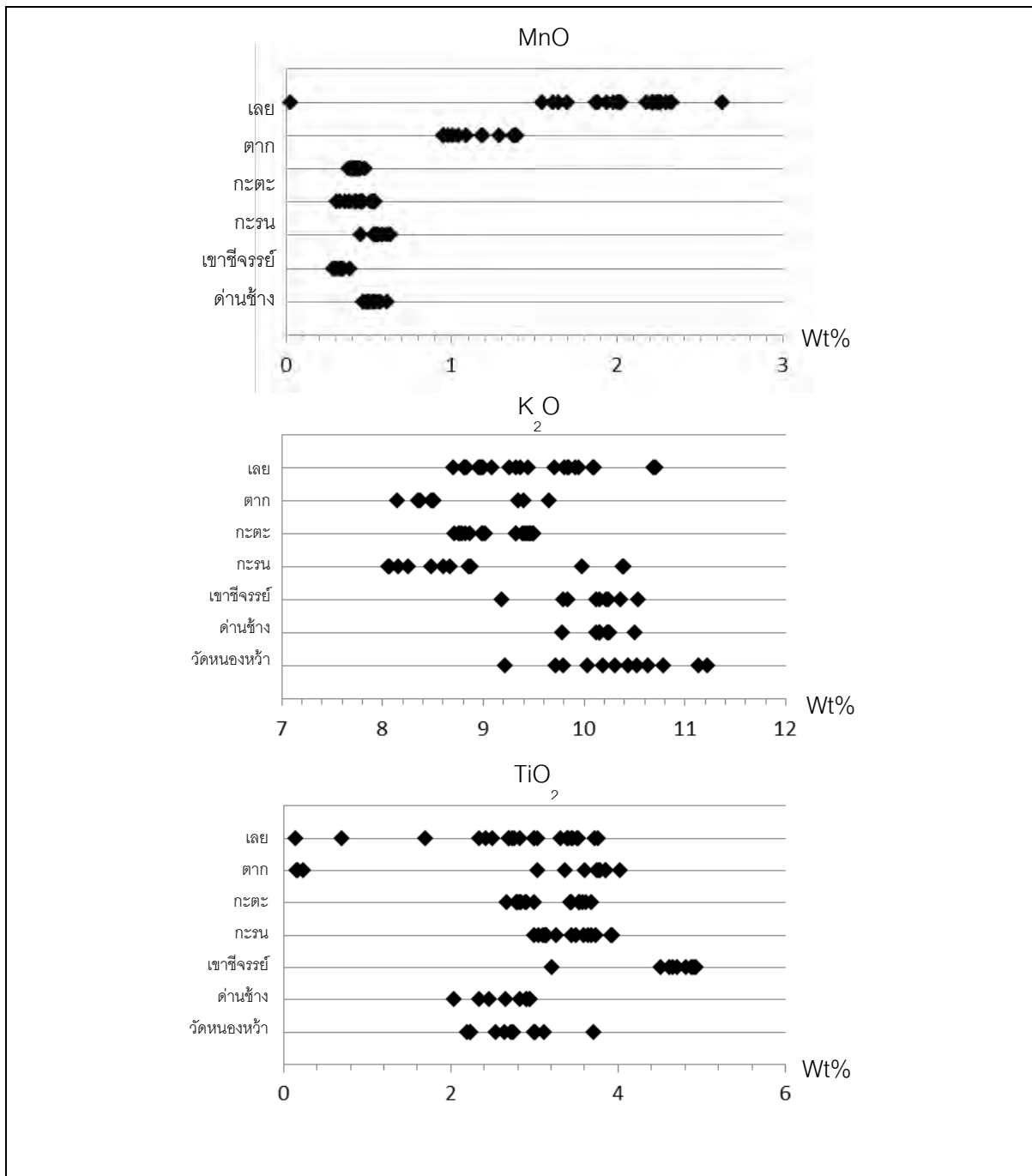
มีค่า SiO_2 $36.87 \pm 0.93\%$, TiO_2 $3.50 \pm 0.31\%$, Al_2O_3 $14.55 \pm 1.94\%$, FeO^* $28.74 \pm 2.96\%$, MnO $0.44 \pm 0.08\%$, MgO $8.21 \pm 0.57\%$ และ K_2O $7.15 \pm 0.2.38\%$

7) หินแกรนิตบริเวณหาดกะตะ อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต

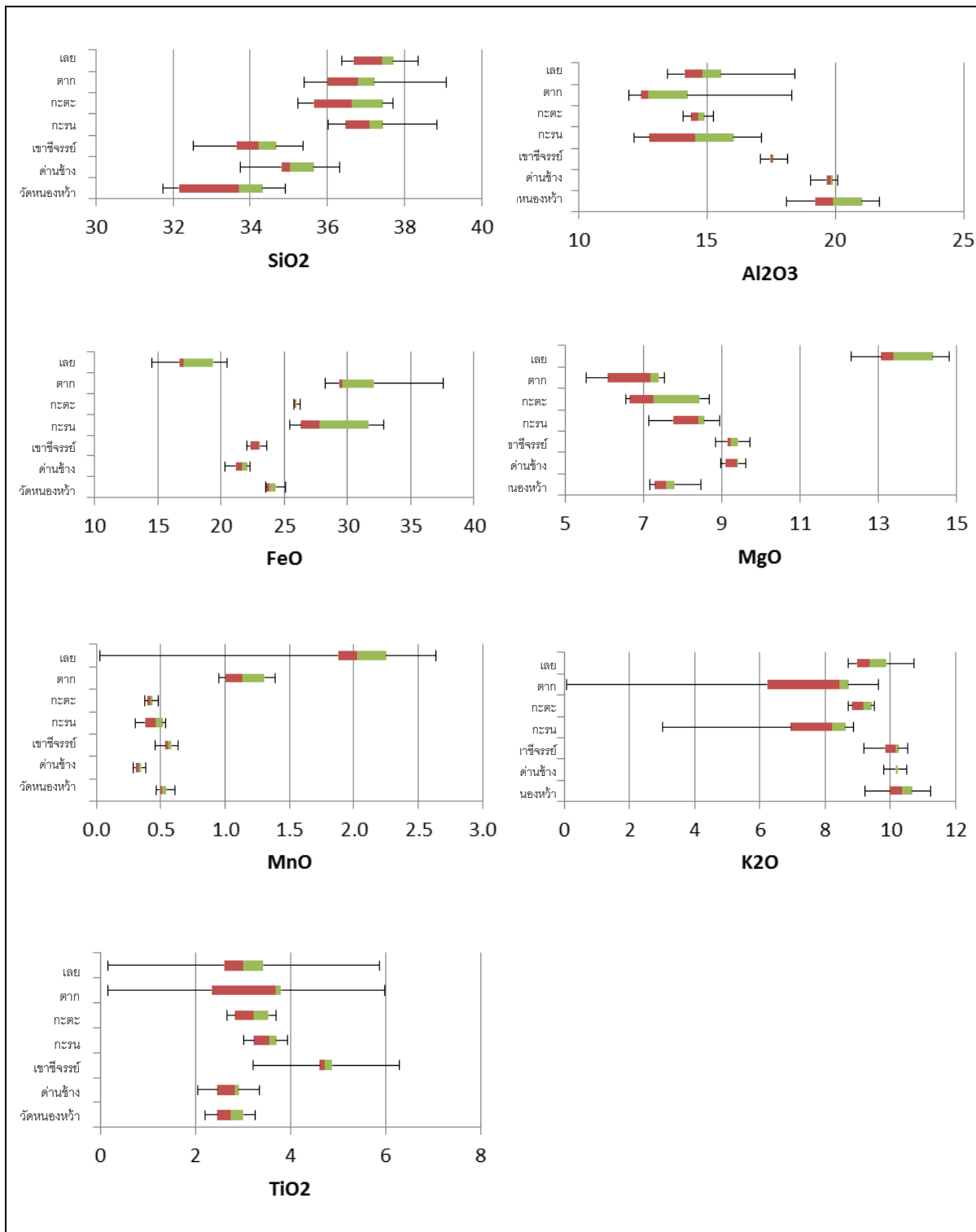
มีค่า SiO_2 $36.59 \pm 0.94\%$, TiO_2 $3.19 \pm 0.31\%$, Al_2O_3 $14.64 \pm 0.36\%$, FeO^* $25.92 \pm 0.14\%$, MnO $0.42 \pm 0.03\%$, MgO $7.47 \pm 0.87\%$ และ K_2O $9.14 \pm 0.30\%$



รูปที่ 3.2.1 กราฟพล็อตช่วงน้ำหนักเปอร์เซ็นต์ของธาตุองค์ประกอบหลักในแร่ไบโอไทต์แต่ละแห่ง



รูปที่ 3.2.1 กราฟพล็อตช่วงน้ำหนักเปอร์เซ็นต์ของธาตุองค์ประกอบหลักในแร่ไบโอไทต์แต่ละแห่ง (ต่อ)



รูปที่ 3.2.2 แผนภาพกล่องของน้ำหนักเปอร์เซ็นต์ของธาตุองค์ประกอบหลักในแร่ไบโอไทต์แต่ละแห่ง

บทที่ 4: การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

- 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างธรณีเคมีและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแร่ไบโอไทต์
- 4.2 การกำเนิดแร่และอุณหภูมิจากข้อมูล
- 4.3 ธรณีแปรสัณฐาน

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างธรณีเคมีและลักษณะทางศิลาวรรณนาของ แร่ไบโอไทต์

จากข้อมูลธรณีเคมีและลักษณะทางศิลาวรรณนาของแร่ไบโอไทต์ที่มีความแตกต่างกัน ทำให้สามารถแบ่งกลุ่มแร่ออกเป็น 3 กลุ่มที่มีลักษณะเฉพาะ ซึ่งอาศัยธาตุองค์ประกอบหลัก 6 ธาตุ (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg) และใช้ discriminant function วิเคราะห์ (รูปที่ 4.1.1) โดยมีฟังก์ชัน ดังนี้ (Buda และคณะ, 2004)

$$F1 = 0.410\text{SiO}_2 - 0.81\text{TiO}_2 - 0.290\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.929\text{FeO} + 0.384\text{MnO} - 0.607\text{MgO} \dots \dots \dots (4.1)$$

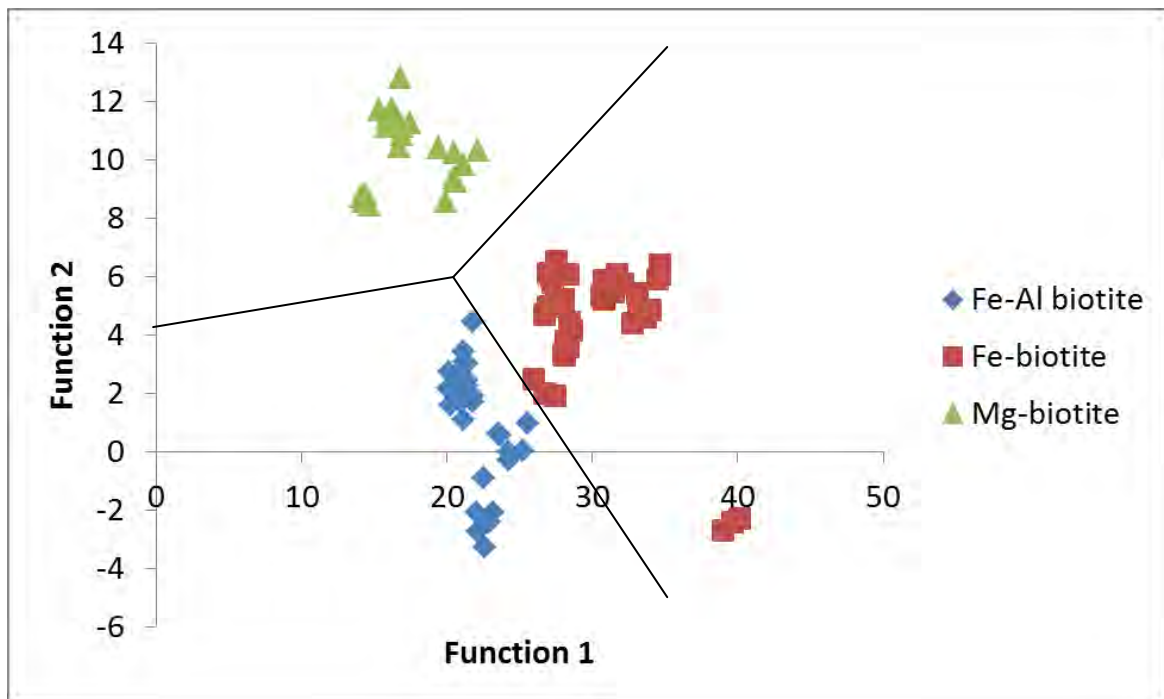
$$F2 = 0.582\text{SiO}_2 - 0.124\text{TiO}_2 - 0.856\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.290\text{FeO} - 0.085\text{MnO} + 0.539\text{MgO} \dots \dots \dots (4.2)$$

I. Fe-Al biotite มีพ्लीโอโคอิกซีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลเข้ม เกิดร่วมกับแร่ควอร์ตซ์ โฟแทสซีเยม เฟลด์สปาร์ แพลกจิโอเคส และมัสโคไวท์ มี inclusion ส่วนใหญ่เป็นแร่เซอร์คอน โมนาไซต์ มีปริมาณ Fe และ Al สูง ในขณะที่ปริมาณ Si ต่ำ และมีค่า FeO^*/MgO เท่ากับ 2.65 (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1.2) โดยแร่ไบโอไทต์กลุ่มนี้มีแนวโน้มค่อนข้างไปทางกลุ่มของ siderophillite biotite (รูปที่ 4.1.3) พบในหินแกรนิตจากอำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี, เขาชีจรรย์ จังหวัดชลบุรี และวัดหนองหว่า จังหวัดระยอง

II. Fe-biotite มีพ्लीโอโคอิกสีเขียวยอมน้ำตาลถึงน้ำตาลอมเขียว เกิดร่วมกับแร่ควอร์ตซ์ โฟแทสซีเยม เฟลด์สปาร์ แพลกจิโอเคส และฮอร์นเบลนด์ มี inclusion ส่วนใหญ่เป็นแร่เซอร์คอน มีปริมาณ Fe สูงที่สุด มีค่า FeO^*/MgO เท่ากับ 3.78 (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2) ค่อนข้างไปทางแร่ annite biotite (รูปที่ 4.1.3) พบในหินแกรนิตจากหาดกะตะ จังหวัดภูเก็ต, หาดกะรน จังหวัดภูเก็ต และจังหวัดตาก

III. Mg-biotite มีลักษณะทางศิลาวรรณนาเหมือนกับกลุ่ม Fe-biotite คือมีพ्लीโอโคอิกสีเขียวยอมน้ำตาลน้ำตาลอมเขียว เกิดร่วมกับแร่ควอร์ตซ์ โฟแทสซีเยม เฟลด์สปาร์ แพลกจิโอเคส และฮอร์นเบลนด์ มี inclusion ส่วนใหญ่เป็นแร่เซอร์คอน มีปริมาณ Mg สูงสุด ขณะที่ปริมาณของ Fe ต่ำสุด มีค่า FeO^*/MgO เท่ากับ 1.28 (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1.2) ซึ่งมีค่าต่ำสุดในสามกลุ่ม อยู่ในกลุ่มค่อนข้างไปทางแร่ phlogopite biotite เป็นส่วนใหญ่ (รูปที่ 4.1.3) พบในหินแกรนิตจากจังหวัดเลย

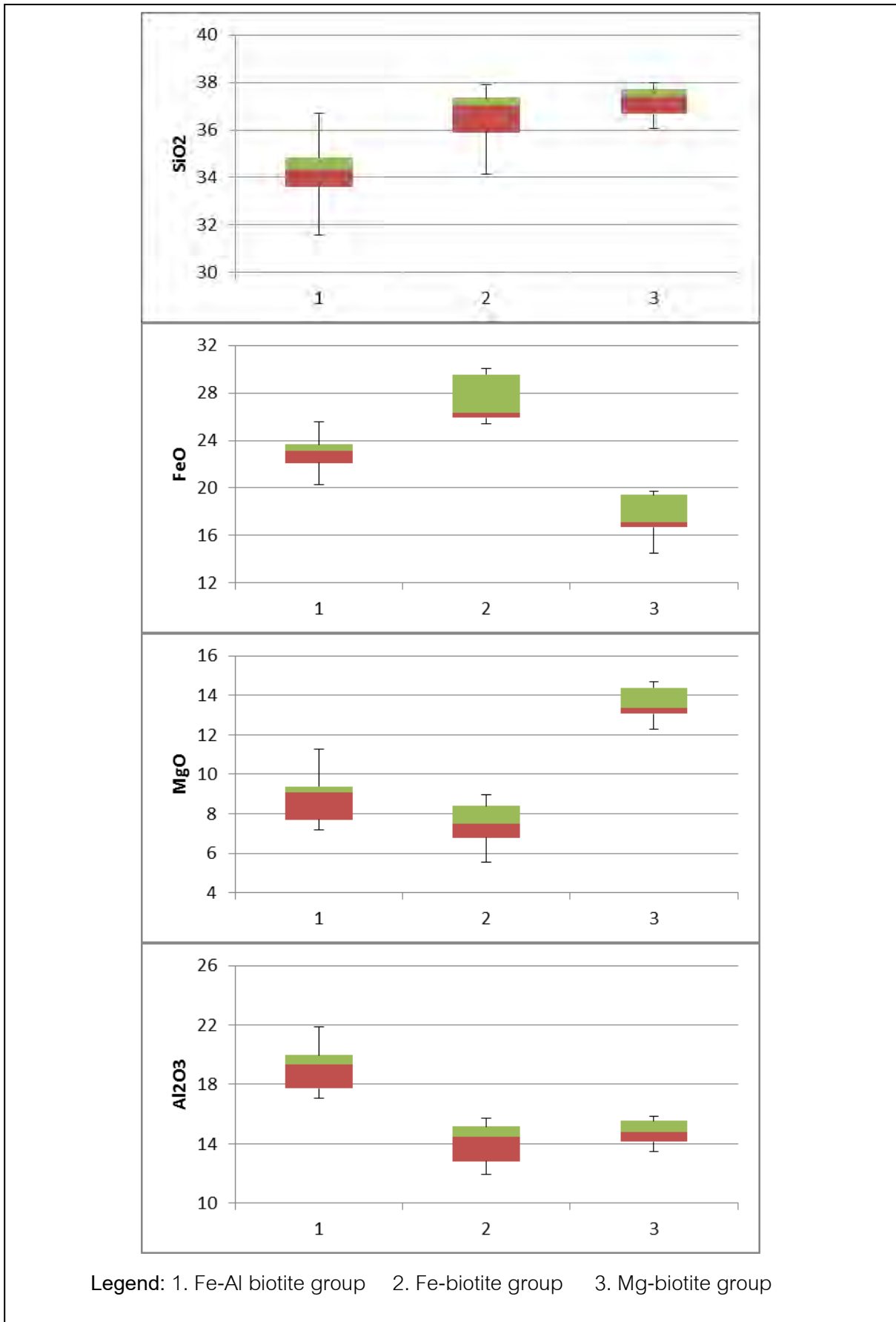
นอกจากนี้จาก Harker variation diagrams ซึ่งเป็นการพล็อตระหว่าง SiO_2 กับปริมาณธาตุองค์ประกอบหลัก (major oxide) (รูปที่ 4.6) พบว่า Fe-Al biotite มีความเป็น mafic มากกว่าแต่กลุ่มอื่นๆ เมื่อปริมาณ SiO_2 เท่ากัน ปริมาณ Al_2O_3 ในกลุ่มของ Fe-Al biotite มีปริมาณมากที่สุด ปริมาณ FeO ในกลุ่ม Fe-biotite มีค่ามากที่สุด Fe-Al biotite และ Mg-biotite มีค่าลดลงตามลำดับ ในขณะที่ Mg-biotite มีปริมาณ MgO มากที่สุด Fe-Al biotite และ Fe-biotite มีค่าลดลงตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการแบ่งกลุ่มไบโอไทต์ออกเป็น 3 กลุ่มดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



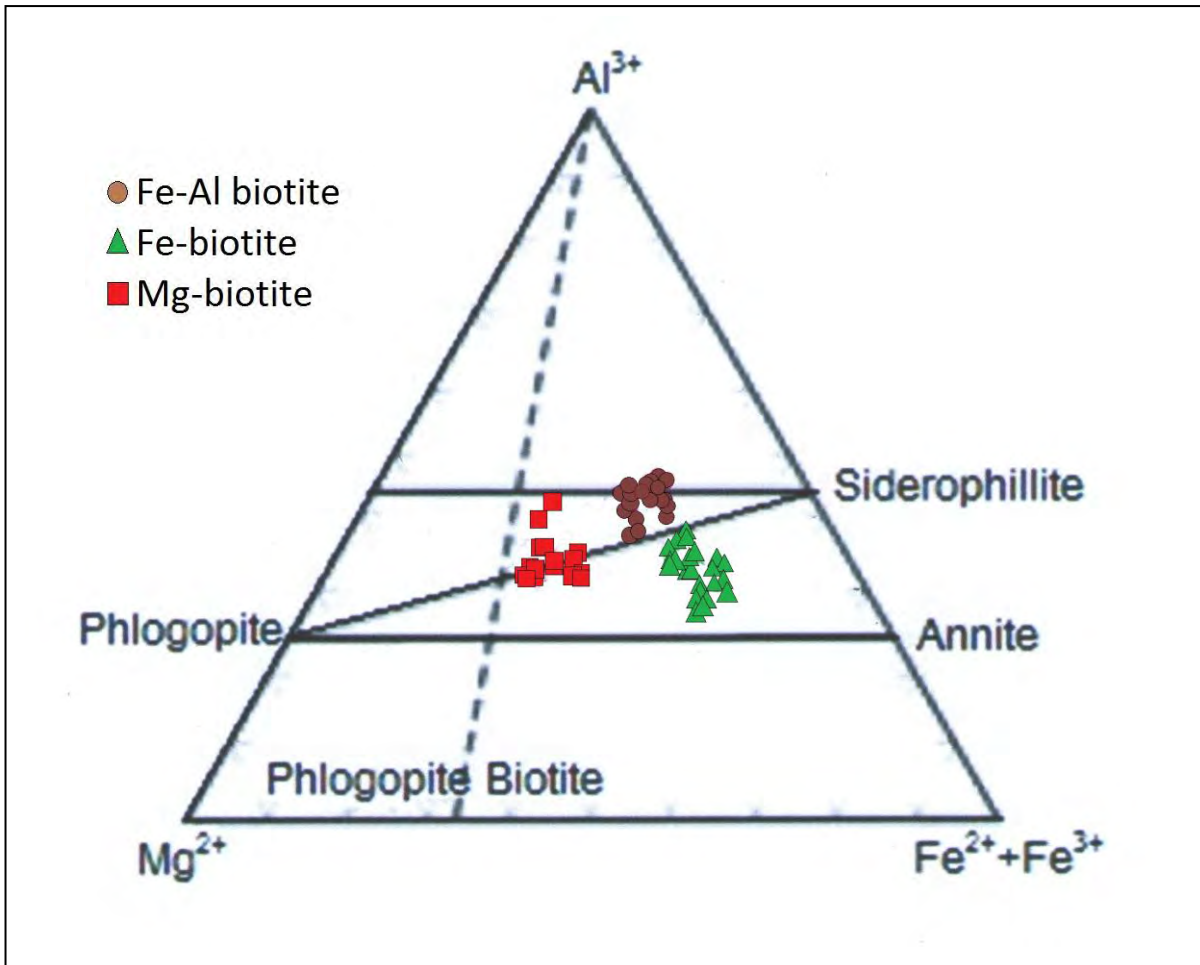
รูปที่ 4.1.1 Function territorial map ของแร่ไบโอไทต์ที่มีความแตกต่างทางด้านธรณีเคมีในหินแกรนิตของประเทศไทย (โดยใช้ตัวแปร: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , FeO^* , MnO , MgO) (Buda และคณะ, 2004)

	Fe-Al biotite			Fe-biotite			Mg-biotite		
	min	max	Mean	min	max	mean	min	max	mean
SiO ₂	31.56	36.72	34.18±1.28	34.13	37.89	36.61±1.01	36.04	38.00	37.26±0.61
TiO ₂	2.04	4.93	3.28±0.96	0.17	4.03	3.17±0.92	0.16	3.77	2.79±0.90
Al ₂ O ₃	17.10	21.71	19.19±1.33	11.96	18.32	14.41±1.71	13.47	18.44	15.24±1.56
FeO*	20.32	25.09	22.91±1.19	25.44	37.61	28.32±3.38	14.53	20.48	17.47±1.81
MnO	0.29	0.63	0.47±0.11	0.31	1.39	0.64±0.35	0.03	2.64	1.98±0.50
MgO	7.18	9.71	8.64±0.89	5.55	8.95	7.50±0.91	12.31	14.80	13.64±0.77
CaO	0.00	0.15	0.01±0.03	0.00	0.12	0.02±0.03	0.00	0.67	0.08±0.19
Na ₂ O	0.04	0.27	0.12±0.06	0.00	0.15	0.04±0.04	0.00	0.40	0.13±0.13
K ₂ O	9.18	11.23	10.20±0.45	0.08	9.65	7.85±2.63	8.70	10.71	9.49±0.59
P ₂ O ₅	0.00	0.05	0.01±0.01	0.00	0.07	0.01±0.02	0.00	0.04	0.01±0.01
FeO/MgO ratio	2.65			3.78			1.28		

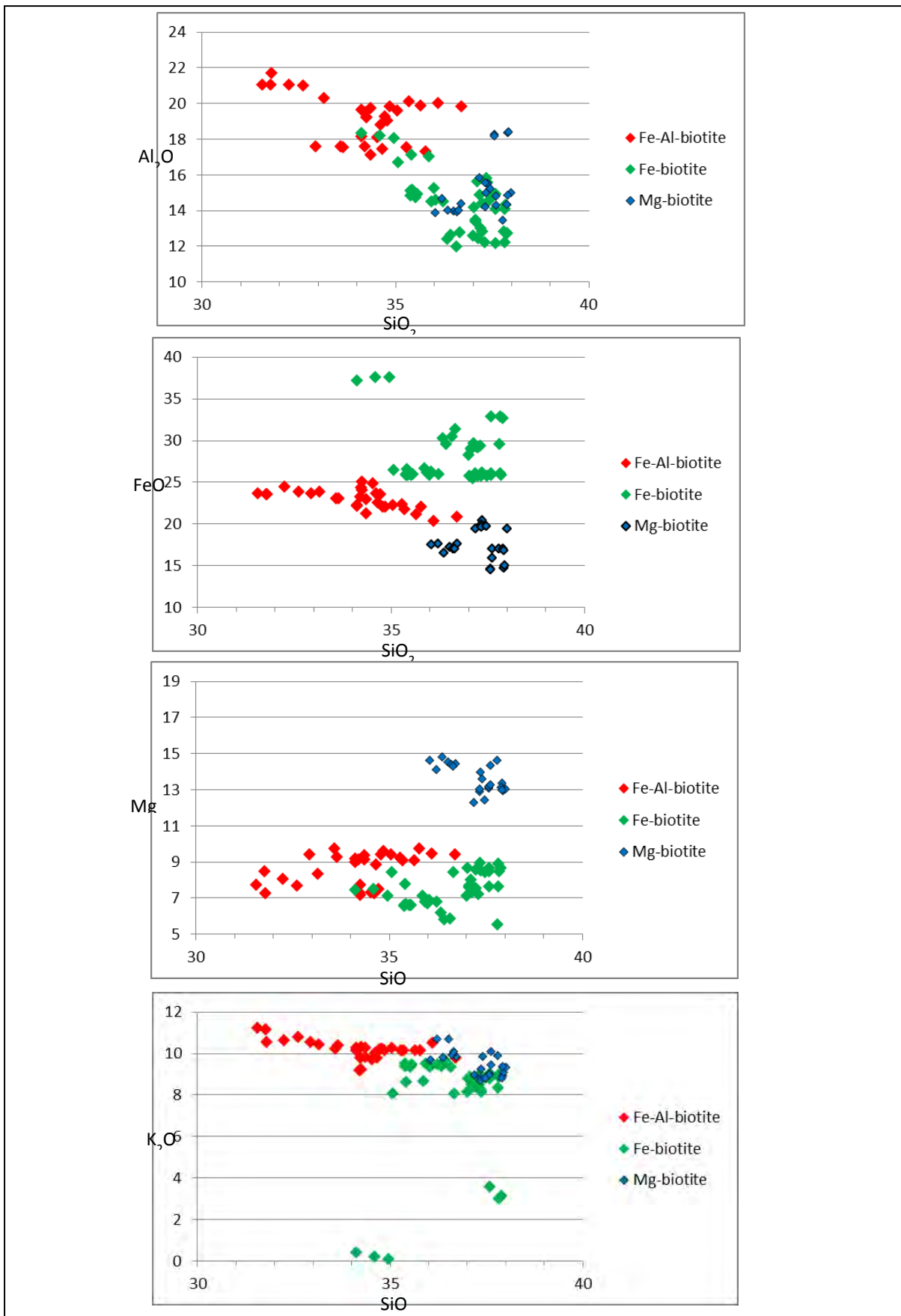
ตารางที่ 4.1.1 ค่าเฉลี่ยธาตุองค์ประกอบหลักของแร่ไบโอไทต์แต่ละกลุ่ม



รูปที่ 4.1.2 Box-plots ระหว่างธาตุองค์ประกอบหลัก (major oxide) ของแร่ไบโอไทต์แต่ละกลุ่ม



รูปที่ 4.1.3 แผนภาพสามเหลี่ยมพล็อตระหว่าง Mg^{2+} - Al^{3+} - $Fe^{2+}+Fe^{3+}$ (Némec, 1972) โดยใช้องค์ประกอบเคมีของแร่ไบโอไทต์ในแต่ละกลุ่ม เพื่อบ่งบอกแนวโน้มชนิดของแร่ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.1.4 Harker variation diagram เป็นการพล็อตระหว่าง %SiO₂ กับ Major Oxide และ Minor Oxide

4.2 การกำเนิดแร่และอุณหภูมิจาก

เมื่อทำการศึกษาข้อมูลธรณีเคมีของแร่ไบโอไทต์ โดยการนำมาพล็อตลงในไดอะแกรมของ Abdel-Rahman (1994) และ Nockolds (1974) (รูปที่ 4.2.1 และ 4.2.2) พบว่ามีแร่ไบโอไทต์แต่ละกลุ่มมีความสัมพันธ์กับชนิดของแมกมาและความสัมพันธ์กับแร่ที่เกิดร่วม ดังนี้

I. Fe-Al biotite แร่ไบโอไทต์ในกลุ่มนี้เกิดจากหินหนืดพวก peraluminous magma แร่ที่เกิดร่วมได้ในกลุ่มนี้คือแรมส์โคไวต์ หรืออาจพบเดี่ยวๆได้

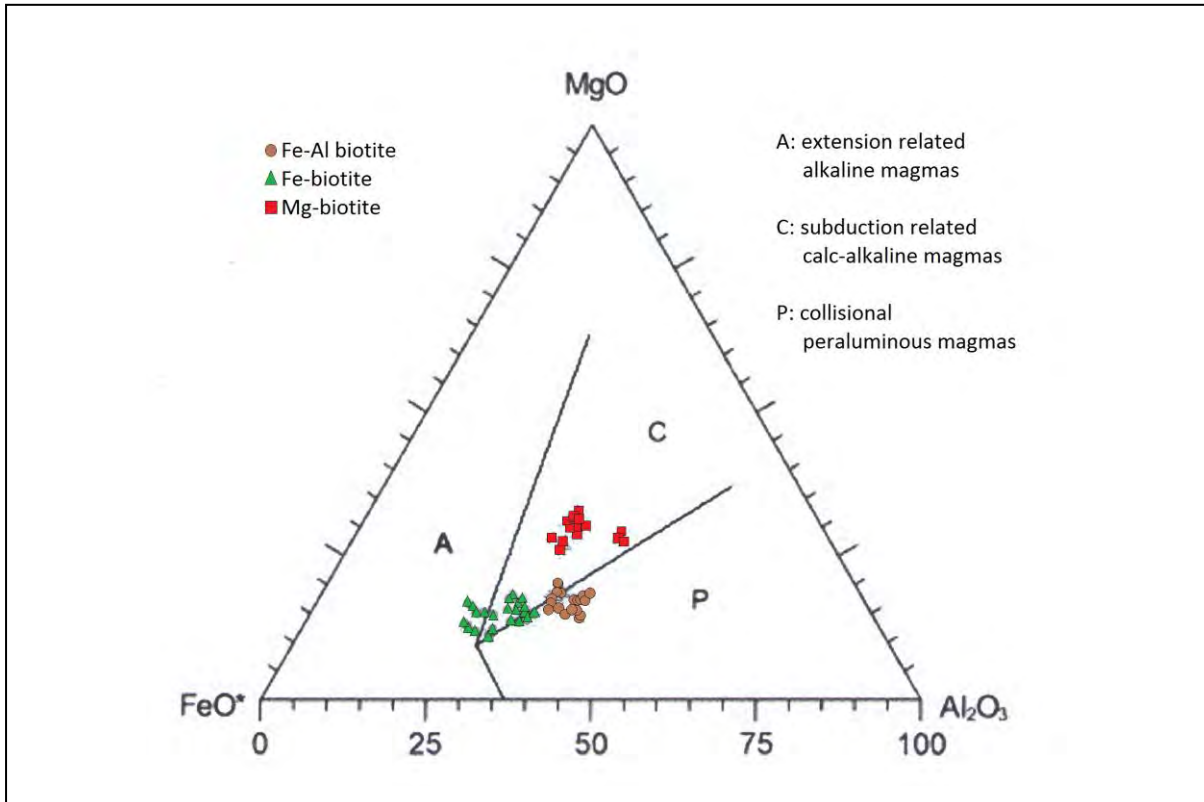
II. Fe-biotite แร่ไบโอไทต์ในกลุ่มนี้เกิดได้จากหินหนืดหลายประเภททั้ง peraluminous magma, calc-alkaline magma และ alkaline magma แต่ส่วนใหญ่เกิดจาก calc-alkaline magma มีส่วนน้อยเกิดจาก peraluminous magma และ alkaline magma โดยแร่ในกลุ่ม Fe-Al biotite นี้เกิดได้เดี่ยวๆ หรือเกิดร่วมกับแร่ในกลุ่มแอมฟิโบล

III. Mg-biotite จากการศึกษพบว่าเกิดจากหินหนืดพวก calc-alkaline magma โดยแร่ที่เกิดร่วมเป็นแร่ในกลุ่มแอมฟิโบล

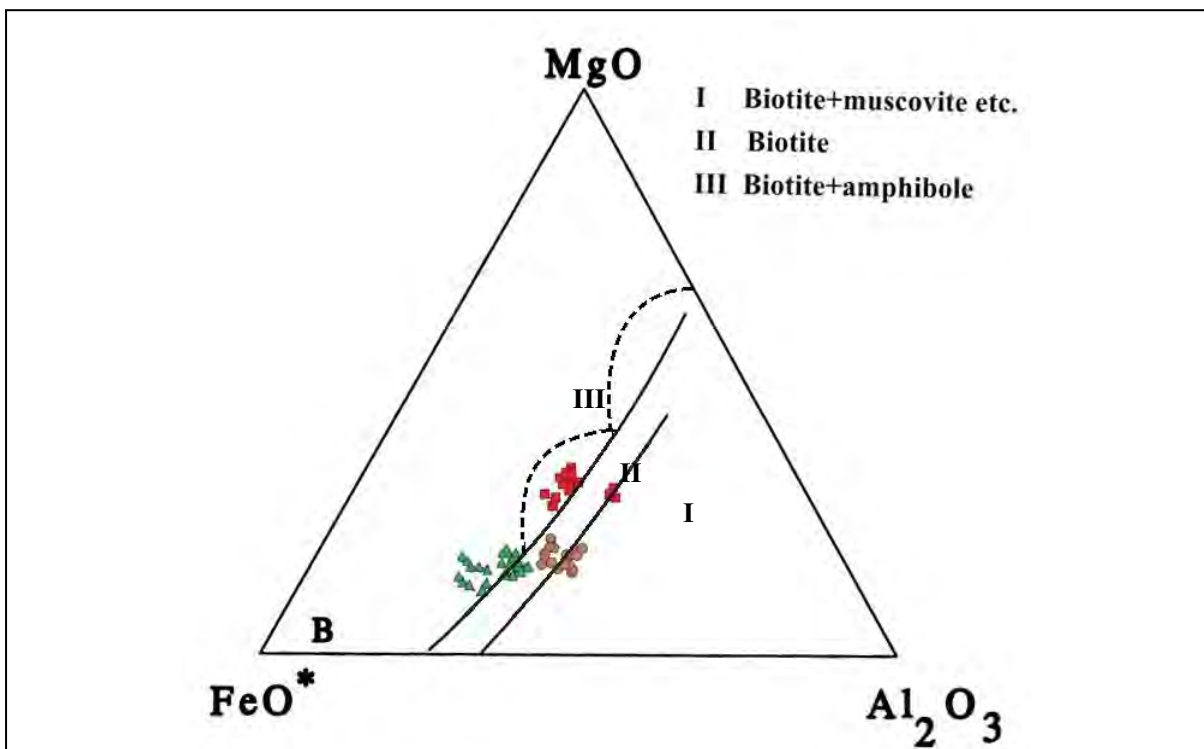
Buda และคณะ (2004) และ Buda (1985) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิการเกิดของแร่ไบโอไทต์ พบว่าแร่ในกลุ่ม Phlogopitic biotite ตกผลึกที่อุณหภูมิมากกว่า 800°C และในกลุ่มของ annite ตกผลึกที่อุณหภูมิลดลงประมาณ 680°C ที่ความดัน 200 MPa นอกจากนี้จากการทดลองของ Rutherford (1973) แร่ไบโอไทต์ในกลุ่มที่มีปริมาณ Fe-Al สูงจะมีความเสถียรกว่าในกลุ่ม annite

ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้ แร่ไบโอไทต์ในกลุ่ม Mg-biotite ซึ่งค่อนข้างไปทางแร่ phlogopite จึงน่าจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าแร่ไบโอไทต์ในกลุ่ม Fe-Al biotite และ Fe-biotite ตามลำดับ นอกจากนี้จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิลดลง ปริมาณของ Fe จะเพิ่มมากขึ้น (ปริมาณ Fe ในกลุ่มของ Fe-biotite มากกว่ากลุ่มของ Fe-Al biotite และ Mg-biotite ตามลำดับ)

นอกจากนั้น จากข้อมูลของ Charusiri และคณะ (1989) พบว่าหินแกรนิตที่พบในพื้นที่อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี, เขาชีจรรย์ จังหวัดชลบุรี และวัดหนองหญ้า จังหวัดระยอง เป็นหินแกรนิตชนิด S-type ดังนั้น Fe-Al biotite กลุ่มนี้จึงน่าจะมีความสัมพันธ์กับหินแกรนิตประเภท S-type สำหรับในกลุ่ม Fe-biotite พบอยู่ในหินแกรนิตจากหาดกะตะ จังหวัดภูเก็ต, หาดกะรน จังหวัดภูเก็ตและจังหวัดตาก ซึ่งพบว่ามีทั้งหินแกรนิตประเภท S-type และ I-type ดังนั้น Fe-biotite กลุ่มนี้จึงพบได้ทั้งในหินแกรนิตประเภท S-type และ I-type และในกลุ่ม Mg-biotite พบที่จังหวัดเลย พบว่าหินแกรนิตในพื้นที่นี้เป็นประเภท I-type แกรนิต ดังนั้นไบโอไทต์กลุ่มนี้จึงน่าจะเกิดในหินแกรนิตประเภท I-type



รูปที่ 4.2.1 แผนภาพสามเหลี่ยมพล็อตระหว่าง MgO-FeO*(Fe₂O₃+FeO)-Al₂O₃ (Abdel-Rahman, 1994) ของแร่ไบโอไทต์แต่ละกลุ่ม



รูปที่ 4.2.2 แผนภาพสามเหลี่ยมพล็อตระหว่าง MgO-FeO*(Fe₂O₃+FeO)-Al₂O₃ (Nockolds, 1974) ของแร่ไบโอไทต์แต่ละกลุ่ม

4.3 ธรณีแปรสัณฐาน

จากการศึกษาแร่ไบโอไทต์ในแต่ละกลุ่มในด้านของธรณีเคมี พบว่าจะมีความสัมพันธ์กับธรณีแปรสัณฐาน โดยแร่ไบโอไทต์แต่ละกลุ่มจะมีลักษณะธรณีสัณฐานที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

Fe-Al biotite น่าจะมีความสัมพันธ์กับการกำเนิดแบบหลอมละลายบางส่วน (partial melting) จากแผ่นเปลือกโลกทวีป (continental crust) สำหรับ Fe-biotite มีแหล่งกำเนิดทั้งจากแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรและเปลือกโลกทวีป สัมพันธ์กับการเกิดแบบ subduction และ Mg-biotite สัมพันธ์กับการเกิดแบบ subduction กำเนิดจากชั้นแมนเทิลส่วนบนและจากแผ่นเปลือกโลกทวีป

บทที่ 5: สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาศิลาบรรณนาและธรณีเคมีของแร่ไบโอไทต์ สามารถแบ่งกลุ่มแร่ไบโอไทต์ออกเป็น 3 กลุ่มที่มีลักษณะเฉพาะแตกต่างกัน

I. Fe-Al biotite

มีลักษณะค่อนข้างไปทาง siderophillite biotite เกิดจากหินหนืดพวก peraluminous magma และมีความสัมพันธ์กับการกำเนิดแบบหลอมละลายบางส่วน (partial melting) จากแผ่นเปลือกโลกทวีป (continental crust) ตกผลึกที่อุณหภูมิมากกว่า 800°C และสัมพันธ์กับหินแกรนิตประเภท S-type พบในพื้นที่อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี, เขาชีจรรย์ จังหวัดชลบุรี และวัดหนองหว่า จังหวัดระยอง

ศิลาบรรณนาของแร่ไบโอไทต์กลุ่มนี้ มีฟลิโอโคอิกซีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลเข้ม เกิดร่วมกับแร่ควอร์ตซ์ โฟแทสเซียมเฟลด์สปาร์ แพลกจิโอเคส และมัสโคไวท์ มี inclusion ส่วนใหญ่เป็นแร่เซอร์คอน โมนาไซต์ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลทางด้านธรณีเคมีที่พบว่า แร่ไบโอไทต์ในกลุ่มนี้จะสามารถเกิดร่วมได้กับแร่มัสโคไวท์ได้ สำหรับธรณีเคมีของแร่ในกลุ่มนี้ มีปริมาณ Fe และ Al สูง ในขณะที่ปริมาณ Si ต่ำ และมีค่า FeO^*/MgO เท่ากับ 2.65

II. Fe-biotite

มีแนวโน้มอยู่ในกลุ่มของ annite biotite เป็นส่วนใหญ่ เกิดได้จากหินหนืดหลายประเภททั้ง peraluminous magma, calc-alkaline magma และ alkaline magma แต่ส่วนใหญ่เกิดจาก calc-alkaline magma มีส่วนน้อยเกิดจาก peraluminous magma และ alkaline magma จึงมีแหล่งกำเนิดทั้งจากแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรและเปลือกโลกทวีปและสัมพันธ์กับการเกิดแบบ subduction ตกผลึกที่อุณหภูมิประมาณ 680°C พบได้ทั้งในหินแกรนิตประเภท S-type และ I-type แร่ไบโอไทต์กลุ่มนี้พบในพื้นที่หาดกะตะ จังหวัดภูเก็ต, หาดกะรน จังหวัดภูเก็ตและจังหวัดตาก

ศิลาบรรณนาของไบโอไทต์กลุ่มนี้ มีฟลิโอโคอิกสีเขียวน้ำตาลถึงน้ำตาลอมเขียว เกิดร่วมกับแร่ควอร์ตซ์ โฟแทสเซียเฟลด์สปาร์ แพลกจิโอเคส และฮอร์นเบลนด์ มี inclusion ส่วนใหญ่เป็นแร่เซอร์คอน ธรณีเคมีของแร่ พบว่ามีปริมาณ Fe สูงที่สุด และมีค่า FeO^*/MgO เท่ากับ 3.78

III. Mg-biotite

จัดอยู่ในกลุ่มค่อนข้างไปทาง phlogopite biotite เป็นส่วนใหญ่ จากการศึกษพบว่าเกิดจากหินหนืดพวก calc-alkaline magma ซึ่งคาดว่ามีความสัมพันธ์กับการเกิดแบบ subduction โดยมีอุณหภูมิในการตกผลึกของแร่ต่ำที่สุด พบในหินแกรนิตจากจังหวัดเลย เกิดในหินแกรนิตประเภท I-type

มีลักษณะทางศิลาบรรณนาเหมือนกับกลุ่ม Fe-biotite คือมีฟลิโอโคอิกสีเขียวน้ำตาลน้ำตาลอมเขียว เกิดร่วมกับแร่ควอร์ตซ์ โฟแทสเซียเฟลด์สปาร์ แพลกจิโอเคส และฮอร์นเบลนด์ มี inclusion ส่วนใหญ่

เป็นแร่เซอร์คอน และธรณีเคมีของไบโอไทต์กลุ่มนี้ มีปริมาณ Mg สูงสุด ขณะที่ปริมาณของ Fe ต่ำสุด มีค่า FeO^*/MgO เท่ากับ 1.28

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ ยังไม่มีการศึกษาถึงลักษณะเฉพาะทาง XRD ซึ่งน่าจะมีความสอดคล้องกับข้อมูลทางด้านธรณีเคมีและซิลิการรณนา จึงควรจะมีการศึกษาต่อไปในอนาคตเพื่อหาความสัมพันธ์ และลักษณะเฉพาะของแร่ไบโอไทต์ที่พบในหินแกรนิต เพื่อที่จะนำมาแปลความหมายและบ่งบอกข้อมูลการเกิด ความสัมพันธ์กับธรณีแปรสัณฐาน หรืออื่นๆ ได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Abdel-rahman, A. F. M. 1994. Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and peraluminous magmas. *J. Petrology* 35, 525-541.
- Bailey, S.W., 1984. Micas mineralogy. Mineralogical Society of America, 213-226.
- Buda, GY., 1985. Correlation of Variscan granitoids of Central Europe. CSc thesis (manuscript in Hungarian). 148.
- Buda, GY et al., 2004. Compositional variation of biotite from variscan granitoids in central Europe: A statistical evaluation. *ACTA Mineralogica Petrographica*, 45/1, 21-37.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8:713-714.
- Charusiri, P., 1989. Lithophile Metallogenetic Epochs of Thailand: a Geological and Geochronological investigation: Ph. D. thesis, Queen's University, Kingston, Canada, 891 p.
- Charusiri, P., 1993. Granite belts in Thailand: evidence from the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological and geological syntheses. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 8, nos 1-4, 127-136.
- Cobbing, E.J., Pitfield, P.E.J., Darbyshire, D.P.F. and Mallick, D.I.J., 1992. The granites of the South-East Asian tin belt, Overseas Memoir 10, British Geological Survey, London, 369 p.
- Ishihara, S., 1977. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geol.*, 27, 293-305.
- Němec, D., 1972. Micas of the lamprophyres of Bohemian Massif. *N. Jb. Min. Abh.*, 117, No.2. 196-216.
- Nockolds, S. R., 1947. The relation between chemical composition and paragenesis in the biotite micas of igneous rocks. *Amer. Jour. Sci.*, 245, No.7., 401-420.
- Rutherford, M. J., 1973. The phase relations of aluminous iron biotite in the system $\text{KAlSi}_3\text{O}_8\text{-KAlSiO}_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe-O-H}$. *J. Petrology*, 14, 159-180.
- Deer, W.A., et al., An introduction to the rock-forming minerals. 1996. 2nd edition. China: Addison Wesley Longman limited, 696 p.

ภาคผนวก

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ไบโโพลีเมอร์ด้วยเครื่อง EPMA

No.	วัดตนเองห้า										ค่าที่อ่าน										
	G2.1-1	G2.1-2	G2.1-3	G2.2-1	G2.2-2	G2.2-3	G2.3-1	G2.3-2	G2.3-3	G2.4-1	G2.4-2	G2.4-3	G4.1-1	G4.1-2	G4.1-3	G4.2-1	G4.2-2	G4.2-3	G4.3-1	G4.3-2	G4.3-3
Major oxide (wt%)																					
SiO ₂	33.15	31.81	32.62	31.56	31.78	32.26	34.24	34.63	34.73	34.26	34.25	34.53	36.72	35.65	36.10	34.13	34.37	35.36	34.80	35.04	34.85
TiO ₂	3.01	2.21	2.24	2.73	2.24	2.75	3.12	3.72	3.00	3.00	2.54	2.64	2.35	2.95	2.66	2.91	2.95	2.04	2.83	2.46	2.92
Al ₂ O ₃	20.31	21.71	20.98	21.04	21.05	21.06	19.49	18.82	19.24	19.20	19.20	18.10	19.83	19.89	20.00	19.65	19.72	20.10	19.02	19.58	19.81
FeO	23.83	23.51	23.86	23.64	23.56	24.45	24.33	23.66	23.52	24.07	25.09	24.80	20.89	21.17	20.32	22.10	21.26	21.72	22.08	22.27	22.03
MnO	0.47	0.49	0.54	0.61	0.56	0.57	0.53	0.49	0.46	0.49	0.50	0.51	0.29	0.33	0.39	0.35	0.35	0.31	0.31	0.29	0.33
MgO	8.34	7.25	7.67	7.73	8.48	8.03	7.30	7.27	7.50	7.18	7.71	7.29	9.39	9.09	9.44	8.98	9.34	9.09	9.43	9.41	9.61
CaO	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
Na ₂ O	0.07	0.04	0.06	0.11	0.06	0.06	0.15	0.10	0.12	0.09	0.06	0.06	0.06	0.12	0.11	0.08	0.07	0.11	0.10	0.07	0.09
K ₂ O	10.44	10.53	10.79	11.23	11.13	10.63	9.80	10.04	10.19	10.31	9.22	9.72	9.78	10.16	10.50	10.13	10.24	10.16	10.23	10.26	10.16
P ₂ O ₅	0.05	0.04	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.03	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.04	0.03	0.00
Total	99.69	97.61	98.76	98.65	98.86	99.84	98.95	98.73	98.77	98.62	98.59	97.65	99.33	99.39	99.51	98.32	98.32	98.88	98.86	99.41	99.80
Numbers of ions on the basis of 22(O)																					
Si	2.49	2.45	2.48	2.42	2.43	2.44	2.59	2.61	2.62	2.60	2.60	2.65	2.69	2.63	2.65	2.57	2.58	2.63	2.60	2.60	2.58
Ti	0.17	0.13	0.13	0.16	0.13	0.16	0.18	0.21	0.17	0.17	0.14	0.15	0.13	0.16	0.15	0.16	0.17	0.11	0.16	0.14	0.16
Al	1.80	1.97	1.88	1.90	1.89	1.87	1.73	1.67	1.71	1.72	1.72	1.64	1.71	1.73	1.73	1.74	1.74	1.76	1.68	1.72	1.73
Fe	1.50	1.51	1.52	1.52	1.50	1.54	1.54	1.49	1.48	1.53	1.59	1.59	1.28	1.31	1.25	1.39	1.33	1.35	1.38	1.38	1.36
Mn	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Mg	0.93	0.83	0.87	0.88	0.96	0.90	0.82	0.82	0.84	0.81	0.87	0.83	1.03	1.00	1.03	1.01	1.04	1.01	1.05	1.04	1.06
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
K	1.00	1.03	1.05	1.10	1.08	1.02	0.94	0.97	0.98	1.00	0.89	0.95	0.91	0.96	0.98	0.97	0.98	0.96	0.98	0.97	0.96
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total	7.94	7.96	7.98	8.03	8.04	7.99	7.85	7.83	7.85	7.87	7.85	7.86	7.78	7.83	7.84	7.88	7.88	7.86	7.89	7.89	7.88

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ไอโซไทต์ด้วยเครื่อง EPMA (ต่อ)

No.	เขตที่จรรยา										กะรน											
	G7.1-1	G7.1-2	G7.1-3	G7.2-1	G7.2-2	G7.2-3	G7.3-1	G7.3-2	G7.3-3		G6.1-1	G6.1-2	G6.1-3	G6.2-1	G6.2-2	G6.2-3	G6.3-1	G6.3-2	G6.3-3	G6.4-1	G6.4-2	G6.4-3
Major oxides (wt%)																						
SiO ₂	34.22	34.37	34.67	33.65	32.94	33.59	35.78	35.28	34.12		35.87	35.43	35.08	37.08	37.08	36.67	37.89	37.82	37.60	37.39	37.37	37.12
TiO ₂	4.72	4.65	4.81	4.88	4.91	4.61	3.21	4.51	4.93		3.74	3.65	3.93	3.92	3.69	3.11	3.26	3.14	3.46	3.01	3.51	3.59
Al ₂ O ₃	17.58	17.10	17.45	17.53	17.56	17.60	17.30	17.55	18.15		17.02	17.13	16.69	13.38	13.48	12.77	12.70	12.23	12.15	15.56	15.82	15.63
FeO	23.20	22.97	22.58	23.09	23.66	23.09	22.04	22.35	22.21		26.70	26.50	26.42	29.02	28.97	31.37	32.70	32.84	32.85	25.97	26.12	25.44
MnO	0.59	0.54	0.53	0.61	0.55	0.56	0.45	0.56	0.63		0.46	0.53	0.51	0.47	0.46	0.53	0.33	0.31	0.36	0.43	0.54	0.39
MgO	9.11	9.15	8.85	9.26	9.42	9.71	9.71	9.22	9.18		7.13	7.79	8.41	7.69	7.58	8.41	8.65	8.91	8.48	8.52	8.95	8.00
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00		0.05	0.00	0.09	0.02	0.08	0.04	0.03	0.03	0.02	0.12	0.04	0.01
Na ₂ O	0.21	0.17	0.18	0.27	0.25	0.17	0.16	0.25	0.15		0.01	0.00	0.03	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00
K ₂ O	9.18	9.84	9.80	10.37	10.54	10.23	10.15	10.13	10.25		8.68	8.61	8.08	8.88	8.86	8.06	3.12	3.02	3.57	8.16	8.25	8.49
P ₂ O ₅	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.03	0.00		0.03	0.01	0.01	0.01	0.04	0.02	0.04	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01
Total	98.81	98.78	98.86	99.64	99.84	99.59	98.95	99.87	99.63		99.69	99.64	99.25	100.46	100.25	100.99	98.74	98.30	98.52	99.16	100.61	98.68
Numbers of ions on the basis of 22(O)																						
Si	2.57	2.59	2.61	2.53	2.49	2.53	2.68	2.62	2.55		2.69	2.66	2.64	2.80	2.81	2.78	2.86	2.87	2.86	2.80	2.76	2.79
Ti	0.27	0.26	0.27	0.28	0.28	0.26	0.18	0.25	0.28		0.21	0.21	0.22	0.22	0.21	0.18	0.19	0.18	0.20	0.17	0.19	0.20
Al	1.56	1.52	1.55	1.56	1.56	1.56	1.53	1.54	1.60		1.51	1.52	1.48	1.19	1.20	1.14	1.13	1.09	1.09	1.37	1.38	1.39
Fe	1.46	1.45	1.42	1.45	1.49	1.45	1.38	1.39	1.39		1.68	1.67	1.67	1.83	1.83	1.99	2.06	2.08	2.09	1.63	1.61	1.60
Mn	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04		0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02
Mg	1.02	1.03	0.99	1.04	1.06	1.09	1.08	1.02	1.02		0.80	0.87	0.94	0.87	0.86	0.95	0.97	1.01	0.96	0.95	0.98	0.90
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00		0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Na	0.03	0.02	0.03	0.04	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.88	0.95	0.94	1.00	1.02	0.98	0.97	0.96	0.98		0.83	0.83	0.78	0.86	0.86	0.78	0.30	0.29	0.35	0.78	0.78	0.81
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total	7.83	7.87	7.83	7.93	7.98	7.93	7.88	7.85	7.87		7.76	7.78	7.78	7.81	7.81	7.86	7.54	7.55	7.57	7.74	7.75	7.72

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แร่ไบโอไทต์ด้วยเครื่อง EPMA (ต่อ)

No.	กะตะ															ปาก						
	G5.1-1	G5.1-2	G5.1-3	G5.2-1	G5.2-2	G5.2-3	G5.3-1	G5.3-2	G5.3-3	G5.4-1	G5.4-2	G5.4-3	G5.5-1	G5.5-2	G5.5-3	G5.6-1	G5.6-2	G5.6-3	G8.1-1	G8.1-2	G8.1-3	
Major oxide (wt%)																						
SiO ₂	35.94	36.03	36.25	35.39	35.52	35.56	35.39	35.44	35.99	37.58	37.86	37.33	37.84	37.59	37.48	37.25	37.03	37.18	36.35	36.42	36.58	
TiO ₂	3.00	2.91	2.90	2.79	2.80	2.67	2.84	2.80	2.83	3.44	3.62	3.55	3.54	3.43	3.58	3.54	3.69	3.45	3.05	3.61	3.36	
Al ₂ O ₃	14.52	14.61	14.51	14.81	14.73	14.91	15.12	15.17	15.25	14.06	14.30	14.37	14.06	14.90	14.71	14.42	14.19	14.85	12.41	12.62	11.96	
FeO	26.16	26.27	25.91	25.82	25.81	25.92	25.96	25.88	25.85	25.87	25.87	25.76	26.08	26.04	25.80	25.78	25.78	26.02	30.22	29.55	30.45	
MnO	0.40	0.42	0.38	0.43	0.40	0.44	0.43	0.41	0.45	0.45	0.38	0.44	0.43	0.41	0.48	0.43	0.40	0.40	1.18	1.19	1.29	
MgO	6.78	6.90	6.80	6.56	6.62	6.60	6.59	6.63	6.71	8.65	8.45	8.60	7.63	7.64	8.41	8.55	8.67	7.59	6.16	5.79	5.88	
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Na ₂ O	0.10	0.15	0.14	0.07	0.04	0.07	0.05	0.05	0.06	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.08	0.08	0.12	
K ₂ O	9.50	9.33	9.47	9.39	9.33	9.46	9.49	9.43	9.41	9.00	9.02	8.99	8.87	8.80	8.82	8.71	8.77	8.76	9.40	9.65	9.34	
P ₂ O ₅										0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	
Total	96.39	96.63	96.36	95.27	95.26	95.63	95.88	95.80	96.58	99.09	99.51	99.06	98.46	98.83	99.29	98.69	98.58	98.27	98.85	98.91	98.99	
	Numbers of ions on the basis of 22(O)																					
Si	2.81	2.81	2.83	2.80	2.81	2.80	2.78	2.79	2.80	2.83	2.84	2.81	2.87	2.84	2.81	2.81	2.81	2.82	2.84	2.84	2.86	
Ti	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.17	0.17	0.17	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.20	0.20	0.21	0.20	0.18	0.21	0.20	
Al	1.34	1.34	1.34	1.38	1.37	1.39	1.40	1.41	1.40	1.25	1.26	1.28	1.26	1.33	1.30	1.28	1.27	1.33	1.14	1.16	1.10	
Fe	1.71	1.71	1.69	1.71	1.71	1.71	1.71	1.70	1.68	1.63	1.62	1.62	1.65	1.64	1.62	1.63	1.63	1.65	1.97	1.93	1.99	
Mn	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.08	0.08	0.09	
Mg	0.79	0.80	0.79	0.77	0.78	0.78	0.77	0.78	0.78	0.97	0.94	0.97	0.86	0.86	0.94	0.96	0.98	0.86	0.72	0.67	0.68	
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Na	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	
K	0.95	0.93	0.94	0.95	0.94	0.95	0.95	0.95	0.94	0.87	0.86	0.86	0.86	0.85	0.84	0.84	0.85	0.85	0.94	0.96	0.93	
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
total	7.82	7.82	7.81	7.82	7.81	7.83	7.83	7.82	7.80	7.78	7.76	7.78	7.73	7.73	7.76	7.76	7.78	7.74	7.88	7.86	7.87	

ภาคผนวก

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์รังสีเอกซ์ด้วยเครื่อง EPMA (ต่อ)

No.	ธาตุ										ไอ																			
	G8.2-1	G8.2-2	G8.2-3	G8.3-1	G8.3-2	G8.3-3	G8.4-1	G8.4-2	G8.4-3		G10.2-1	G10.2-2	G10.2-3	G10.3-1	G10.3-2	G10.3-3	G10.4-1	G10.4-2	G10.4-3	G10.5-1	G10.5-2	G10.5-3								
Major oxide (wt%)																														
SiO ₂	37.20	37.32	37.02	37.26	37.81	37.14	34.97	34.13	34.61		36.22	36.71	36.51	36.04	36.37	36.59	36.64	37.62	37.79	37.57	37.57	37.92								
TiO ₂	3.86	4.03	3.75	3.85	3.78	3.79	0.17	0.24	0.17		3.04	3.01	3.00	3.53	3.45	3.41	3.73	3.77	3.32	2.74	2.70	2.43								
Al ₂ O ₃	12.99	12.23	12.57	12.82	12.84	12.43	18.03	18.32	18.17		14.70	14.42	14.01	13.87	14.04	13.96	14.03	14.33	13.47	18.27	18.19	18.39								
FeO	29.27	29.35	28.27	29.19	29.52	29.67	37.61	37.16	37.55		17.68	17.65	17.20	17.53	16.58	17.04	17.02	17.02	17.08	14.66	14.53	14.74								
MnO	1.04	0.96	0.95	0.99	1.09	1.01	1.39	1.38	1.39		2.01	2.22	2.02	2.21	2.22	2.18	2.25	2.26	2.26	1.70	1.55	1.61								
MgO	7.38	7.23	7.14	7.55	5.55	7.29	7.13	7.46	7.48		14.15	14.47	14.52	14.64	14.80	14.43	14.33	14.34	14.62	13.10	13.17	13.38								
CaO	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.03		0.00	0.04	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00								
Na ₂ O	0.02	0.01	0.03	0.03	0.05	0.05	0.00	0.01	0.00		0.28	0.17	0.00	0.32	0.40	0.26	0.29	0.34	0.29	0.03	0.07	0.04								
K ₂ O	8.38	8.48	8.15	8.51	8.35	8.51	0.08	0.43	0.22		10.69	9.85	10.71	9.70	9.80	9.95	10.10	10.09	9.91	9.01	8.98	8.96								
P ₂ O ₅	0.04	0.01	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01		0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00								
Total	100.20	99.60	97.97	100.18	98.99	98.89	99.43	98.14	99.62		98.75	98.54	98.64	97.85	97.68	97.84	98.37	99.77	98.72	97.08	96.75	97.47								
											Numbers of ions on the basis of 22(O)																			
Si	2.82	2.85	2.86	2.83	2.90	2.84	2.64	2.59	2.62		2.70	2.73	2.72	2.70	2.72	2.73	2.73	2.75	2.79	2.74	2.75	2.75								
Ti	0.22	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22	0.01	0.01	0.01		0.17	0.17	0.17	0.20	0.19	0.19	0.21	0.21	0.18	0.15	0.15	0.13								
Al	1.16	1.10	1.15	1.15	1.16	1.12	1.61	1.64	1.62		1.29	1.26	1.23	1.23	1.24	1.23	1.23	1.23	1.17	1.57	1.57	1.58								
Fe	1.86	1.88	1.83	1.85	1.90	1.90	2.38	2.36	2.37		1.10	1.10	1.07	1.10	1.04	1.06	1.06	1.04	1.05	0.90	0.89	0.90								
Mn	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.09	0.09	0.09		0.13	0.14	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.11	0.10	0.10								
Mg	0.83	0.82	0.82	0.85	0.63	0.83	0.80	0.85	0.84		1.57	1.60	1.61	1.63	1.65	1.61	1.59	1.56	1.61	1.43	1.44	1.45								
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00								
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00		0.04	0.02	0.00	0.05	0.06	0.04	0.04	0.05	0.04	0.00	0.01	0.01								
K	0.81	0.83	0.80	0.82	0.82	0.83	0.01	0.04	0.02		1.02	0.93	1.02	0.93	0.93	0.95	0.96	0.94	0.93	0.84	0.84	0.83								
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00								
total	7.78	7.78	7.75	7.79	7.71	7.80	7.55	7.59	7.57		8.01	7.95	8.00	7.97	7.97	7.95	7.95	7.92	7.93	7.74	7.74	7.74								

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แร่ไบโอไทต์ด้วยเครื่อง EPMA (ต่อ)

		ดย											
No.		G10.6-1	G10.6-2	G10.6-3	G10.7-1	G10.7-2	G10.7-3	G10.7-4	G10.8-1	G10.8-2	G10.8-3	G10.8-4	
Major oxide (wt%)													
SiO ₂	37.93	38.00	37.41	37.35	37.89	37.62	37.91	37.34	37.18	37.34	37.46	37.46	
TiO ₂	2.83	2.35	0.70	0.16	3.39	3.46	3.52	2.77	2.70	1.70	2.50	2.50	
Al ₂ O ₃	18.44	15.00	15.53	15.00	14.38	14.82	14.89	14.20	15.84	15.55	15.23	15.23	
FeO	15.03	19.41	19.82	20.48	17.00	15.96	16.83	19.91	19.41	19.62	19.70	19.70	
MnO	1.65	0.03	1.89	1.94	2.64	1.87	1.98	2.32	2.33	2.02	2.30	2.30	
MgO	12.96	13.06	13.60	14.00	13.16	13.27	12.99	12.90	12.31	13.06	12.45	12.45	
CaO	0.00	0.67	0.20	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.13	0.03	0.03	
Na ₂ O	0.05	0.01	0.04	0.01	0.05	0.04	0.08	0.06	0.10	0.01	0.05	0.05	
K ₂ O	9.08	9.32	9.85	9.26	8.81	9.44	9.37	8.83	8.98	8.70	8.81	8.81	
P ₂ O ₅	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	0.00	0.01	0.01	
Total	97.97	97.90	99.05	98.28	97.32	96.48	97.58	98.35	98.90	98.13	98.53	98.53	
Numbers of ions on the basis of 22(O)													
Si	2.75	2.81	2.77	2.79	2.82	2.81	2.81	2.78	2.75	2.77	2.78	2.78	
Ti	0.15	0.13	0.04	0.01	0.19	0.19	0.20	0.16	0.15	0.09	0.14	0.14	
Al	1.57	1.31	1.36	1.32	1.26	1.30	1.30	1.25	1.38	1.36	1.33	1.33	
Fe	0.91	1.20	1.23	1.28	1.06	1.00	1.04	1.24	1.20	1.22	1.22	1.22	
Mn	0.10	0.00	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	0.15	0.15	0.13	0.14	0.14	
Mg	1.40	1.44	1.50	1.56	1.46	1.48	1.43	1.43	1.35	1.45	1.38	1.38	
Ca	0.00	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	
Na	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	
K	0.84	0.88	0.93	0.88	0.84	0.90	0.88	0.84	0.85	0.82	0.83	0.83	
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
total	7.73	7.84	7.98	7.98	7.79	7.80	7.80	7.86	7.84	7.86	7.84	7.84	

