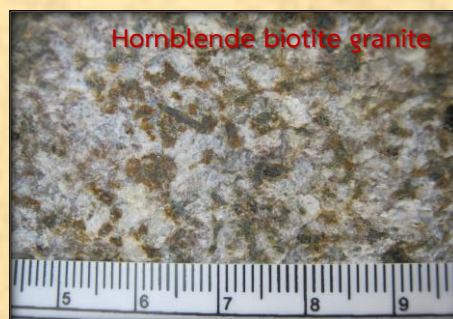
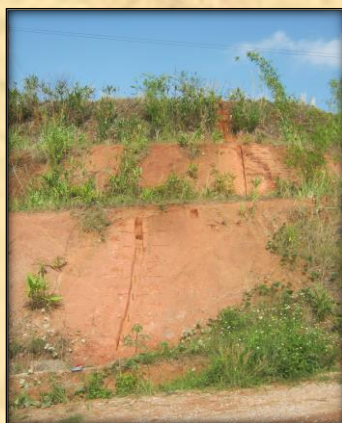




รายงานเผยแพร่ฉบับสมบูรณ์



งานสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ ธาตุหายากและธาตุกัมมันตรังสีแฝง (ระดับรายละเอียด) จังหวัดเชียงราย



สำนักทรัพยากรแร่
กรมทรัพยากรธรณี



การสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากร
ธาตุหายากและธาตุกัมมันตรังสีแสง (ระดับรายละเอียด)
จังหวัดเชียงราย

ธวัชชัย เชื้อเหล้าวานิช
ธนัช วัชรมัย
สมคิด ไชยชนะ
เอลิน สุขสวัสดิ์

สำนักทรัพยากรแร่

กรมทรัพยากรธรณี

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

อธิบดีกรมทรัพยากรธรณี

ดร.ทศพร นุชอนงค์

ผู้อำนวยการสำนักทรัพยากรแร่

นายมนตรี เหลืองอิงคะสุต

ผู้อำนวยการส่วนแร่โลหะ

นายรชต วรรณพีระ

จัดพิมพ์โดย

สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี
ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0-2621-9782
พิมพ์ครั้งที่ 1
กันยายน 2559
จำนวน 100 เล่ม

ข้อมูลการลงรายงานการบรรณานุกรม

ธวัชชัย เชื้อเหล้าวานิช ธนัช วัชรมัย สมคิด ไชยชนะ และเอลิน สุขสวัสดิ์

รายงานฉบับสมบูรณ์ งานสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรธาตุหายากและธาตุกัมมันตรังสีแฝง (ระดับรายละเอียด) จังหวัดเชียงราย กรุงเทพฯ : สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี. 2559.

127 หน้า : ภาพประกอบ : แผนที่ : ตาราง ; 30 ซม.

รายงานฉบับสมบูรณ์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	iii
สารบัญรูป	v
สารบัญตาราง	vi
บทคัดย่อ	vii
คำขอบคุณ	ix
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 กิจกรรมการดำเนินงาน	2
1.4 เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน	2
1.5 ที่ตั้ง อาณาเขตและลักษณะทางภูมิศาสตร์	3
1.6 การคมนาคมและการเข้าถึงพื้นที่	5
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแร่หนักและธาตุหายาก	7
2.1 แร่หนัก	7
2.2 ธาตุหายาก	10
บทที่ 3 ธรณีวิทยาทั่วไป	17
3.1 หินอัคนีแทรกซอน	17
3.2 หินอัคนีพุ	20
3.3 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	20
บทที่ 4 ธรณีวิทยาแหล่งแร่	23
4.1 ธรณีวิทยาแหล่งแร่ทั่วไป	23
4.2 ธรณีวิทยาแหล่งแร่เฉพาะแหล่ง	24
บทที่ 5 การสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ชั้นรายละเอียด	37
5.1 การสำรวจธรณีฟิสิกส์	39
5.2 การชุดหลุมทดลอง	42
5.3 ผลวิเคราะห์เคมีในพื้นที่คัดสรร	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่	47
6.1 การประเมินปริมาณทรัพยากรธาตุหายาก	47
6.2 การจำแนกประเภทแหล่งแร่ตามหลัก UNFC-2009	50
6.3 การประเมินและจำแนกเขตแหล่งแร่	52
บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ	55
7.1 สรุป	55
7.2 ข้อเสนอแนะ	56
7.3 พื้นที่แหล่งแร่สำหรับการลงทุนพัฒนาเหมืองแร่ของภาคเอกชน	57
เอกสารอ้างอิง	59
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก ก: ตารางแสดงผลวิเคราะห์แร่หนักตกค้างในตัวอย่างตะกอนทางน้ำและในตัวอย่าง ดิน/หินผุ จากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น	61
ภาคผนวก ข: ตารางแสดงผลวิเคราะห์เคมีธาตุหายากรวมในตัวอย่างดิน/หินผุและหินสด จาก พื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น	73
ภาคผนวก ค: ผลการศึกษาศิลาวรรณนา	81

สารบัญรูป

	หน้า
1. แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศ และเขตการปกครองภายในจังหวัดเชียงราย	4
2. แผนภาพตารางธาตุแสดงตำแหน่งของกลุ่มธาตุหายาก	12
3. แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณจังหวัดเชียงราย	18
4. กลุ่มรอยเลื่อนที่พาดผ่านในบริเวณจังหวัดเชียงราย.....	21
5. แผนที่ภูมิประเทศ เขตการปกครอง พร้อมขอบเขตการกระจายตัวของหินแกรนิตและ หยาบพื้นที่มีค่าผิดปกติของความเข้มข้นมันตรังสีธาตุทอเรียม (Th) ที่ได้จากการแปลผล การบินสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ บริเวณจังหวัดเชียงราย พร้อมกรอบพื้นที่ เป้าหมาย 3 พื้นที่ และกรอบพื้นที่คัดสรรนางแล	25
6. ผลการวัดค่าความเข้มข้นมันตรังสีธาตุทอเรียม (Th) ในชั้นดิน/หินผุ.....	27
7. แผนที่แสดงผลการวัดค่าสภาพแร่แม่เหล็กได้ในหิน.....	28
8. (ก) ลักษณะภูมิประเทศพื้นที่ “แม่จัน – แม่ฟ้าหลวง” เป็นที่ราบสลับเนินเขาไม่สูงชัน (ข) ลักษณะเนื้อหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อดอก ผลึกขนาดปานกลาง (ค) ลักษณะเนื้อหินภูเขาไฟ/หินกรวดภูเขาไฟ ซึ่งให้ชั้นดิน/หินผุหนา (ง) และ (จ) ลักษณะทางศิลาวรรณนาของหินมอนโซแกรนิต (ตัวอย่างหมายเลข CR019Rk) ประกอบด้วย ไมโครไคลน์ (Micr), แอลลาไนต์ (Alln), ไททาไนต์ (Titn) และอะพาไทต์ (Apat) (ง) ภายใต้แสงส่องผ่านธรรมดา (จ) ภายใต้แสงส่องผ่านอนุภาครังสี.....	30
9. (ก) ลักษณะภูมิประเทศพื้นที่ “เวียงป่าเป้า-แม่สรวย” มีลักษณะเป็นภูเขาสูงชันสลับเนินเขา เตี้ย ๆ (ข) ลักษณะเนื้อหินไบโอไทต์-มัสโคไวต์แกรนิต ผลึกขนาดปานกลางถึงหยาบ (ค) ลักษณะเนื้อหินลูโคแกรนิต (ง) และ (จ) ลักษณะทางศิลาวรรณนาของหินมอนโซแกรนิต (ตัวอย่างหมายเลข CR030Rk บริเวณพิกัด 542439E / 2177736N อ.แม่สรวย จ.เชียงราย) ประกอบด้วยควอตซ์ (Qtz), แพลจิโอเคลส (Plag), ไบโอไทต์ (Biot), เซอร์คอน (Zirc) และ อะพาไทต์ (Apat) (ง) ภายใต้แสงส่องผ่านธรรมดา (จ) ภายใต้แสงส่องผ่านอนุภาครังสี.....	32
10. (ก) ลักษณะภูมิประเทศพื้นที่ “เชียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง” มีลักษณะเป็นเนินเขาเตี้ย ๆ สลับที่ราบ (ข) ลักษณะเนื้อหินไบโอไทต์-ฮอร์นเบลนด์แกรนิต ผลึกขนาดปานกลางถึงหยาบ (ค) ลักษณะเนื้อหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อดอก ผลึกขนาดปานกลาง (ง) และ (จ) ลักษณะทาง ศิลาวรรณนาของหินแกรนิตไดออไรต์ (ตัวอย่างหมายเลข CR034Rk บริเวณพิกัด 614895E / 2239282N อ.เชียงแสน จ.เชียงราย) ประกอบด้วย เซอร์คอน/โมนาไซต์ (Zirc) และอะพาไทต์ (Apat) ในไบโอไทต์ (ง) ภายใต้แสงส่องผ่านธรรมดา (จ) ภายใต้แสงส่องผ่านอนุภาครังสี.....	34
11. แผนที่ภูมิประเทศ พร้อมกรอบพื้นที่คัดสรร “นางแล”.....	38

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
12. (ก) ลักษณะภูมิประเทศพื้นที่คัดสรร “นางแล” เป็นที่ราบสลับเนินเขาไม่สูงชัน (ข) และ (ค) ลักษณะเนื้อหินโปไอโทต์แกรนิตเนื้อดอก ผลึกขนาดปานกลาง	38
13. จุดที่ทำการวัดค่ากัมมันตรังสีและรูปแบบการแผ่กระจายของค่ากัมมันตรังสีของธาตุ ทอเรียม	39
14. ตำแหน่งสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก.....	40
15. ภาพตัดขวาง 3 มิติแสดงโครงสร้างชั้นดิน/หินแกรนิตที่ได้จากการประมวลผลการ สำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึกในบริเวณ (บน) พื้นที่ย่อยบ่อทอง (กลาง) พื้นที่ย่อยแม่ข้าวต้ม และ (ล่าง) พื้นที่ย่อยห้วยพลู.....	41
16. การเปรียบเทียบรูปแบบการแบ่งชั้นดิน/หินแกรนิตที่ได้ที่ทีมผู้สำรวจได้ออกแบบขึ้นมาใหม่ กับการแบ่งชั้นดิน/หินตามที่ใช้ทั่วไป.....	44

สารบัญตาราง

	หน้า
1. ข้อมูลพื้นฐาน และความสมบูรณ์ (ppm) ของธาตุหายากที่มีอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของโลก (Bulk Earth) และในชั้นเปลือกโลก	13
2. การใช้ประโยชน์หลักๆ ของธาตุหายากแต่ละชนิด	15
3. สรุปเปรียบเทียบผลสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่เฉพาะแหล่งและผลวิเคราะห์เคมีในพื้นที่เป้าหมาย เบื้องต้นทั้ง 3 พื้นที่.....	26
4. การเปรียบเทียบรูปแบบการแบ่งชั้นดิน/หินแกรนิตที่ได้ที่ทีมผู้สำรวจได้ออกแบบขึ้นมาใหม่กับการแบ่ง ชั้นดิน/หินตามมาตรฐาน.....	43
5. ปริมาตรของชั้นดิน/หินแกรนิตและช่วงค่าธาตุหายากรวมในแต่ละพื้นที่คัดสรรย่อย	48
6. ปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวมในแต่ละพื้นที่คัดสรรย่อย.....	49
7. ราคาและมูลค่าทรัพยากรธาตุหายากเบื้องต้นในพื้นที่คัดสรรย่อย	50

งานสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ ธาตุหายากและธาตุกัมมันตรังสีแพลง (ระดับรายละเอียด) จังหวัดเชียงราย

บทคัดย่อ

กรอบพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น จำนวน 3 พื้นที่ คือ พื้นที่ (1) เวียงป่าเป้า-แม่สรวย (2) พื้นที่แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง (3) พื้นที่เชียงของ-เชียงแสน-เวียงเชียงรุ้ง (มีค่า Th จากผลการบินสำรวจต่ำ และไม่สัมพันธ์กับแร่ดีบุก) กำหนดขึ้นจากการใช้ระดับค่าผิดปกติทอเรียมซึ่งได้จากผลการบินสำรวจวัดค่ากัมมันตรังสีทางอากาศ เทียบเท่า 35 ppm eqv. ขึ้นไปเป็นปัจจัยฐาน ควบคู่กับลักษณะความลาดชันของพื้นที่ และเขตหวงห้ามตามกฎหมาย ในการกำหนดขอบเขตหย่อมพื้นที่หินแกรนิตที่อยู่นอกเขตหวงห้ามตามกฎหมายที่น่าจะมีศักยภาพธาตุหายาก สำหรับสำรวจภาคสนาม โดย สองพื้นที่แรกเป็นพื้นที่มีผลทอเรียมหินแกรนิตแนวกลางยุคโทรแอสซิก แสดงค่า Th จากผลการบินสำรวจสูงและสัมพันธ์กับพื้นที่แหล่งแร่ดีบุก ส่วนพื้นที่สุดท้ายเป็นพื้นที่มีผลทอเรียมหินแกรนิตแนวตะวันออกยุคโทรแอสซิก ซึ่งกำหนดเป็นพื้นที่เป้าหมายเพื่อการเปรียบเทียบ แสดงค่า Th จากผลการบินสำรวจต่ำและไม่สัมพันธ์กับแร่ดีบุก จากผลการสำรวจเบื้องต้นพบว่า พื้นที่ “แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง” มีปริมาณธาตุหายากรวม (TREY) ในชั้นดิน/หินผุค่อนข้างสูง 220.31-422.43 ppm เฉลี่ย 351.13 ppm และชั้นดิน/หินผุมีค่า CIA ในช่วง 83-98% ทั้งหินสดและเนื้อดิน/หินผุมีอัตราส่วนธาตุหายากหนัก (HREY) ต่อธาตุหายากเบา (LREE) เฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ 13:87 และ 28:72 ตามลำดับ ในขณะที่มีปริมาณแร่หนักที่มีศักยภาพให้ธาตุหายาก ชนิดโมนาไซต์-ซีโนไทม์ และเซอร์คอน หลงเหลือตกค้างน้อยกว่าพื้นที่อื่น ๆ เป็นข้อบ่งชี้ว่าปริมาณธาตุหายากที่ตรวจวัดได้จากชั้นดิน/หินผุมีแนวโน้มที่จะตกค้างสะสมในรูปของการดูดซับประจุ (ion adsorption) ที่ผิวผลึกแร่ดินในปริมาณที่สูงกว่าอยู่ในโครงสร้างของแร่หนักตกค้าง จึงเลือกพื้นที่นี้เป็นพื้นที่สำหรับการสำรวจประเมินปริมาณทรัพยากรธาตุหายากในแหล่งแบบฝังอยู่กับที่ (in-situ deposit) โดยได้กำหนดกรอบพื้นที่คัดสรรย่อยสำหรับสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ใต้ดินไว้ 3 พื้นที่ คือ “บ่อทอง” ขนาด 7 ตร.กม. ตั้งอยู่ในเขต ต.ท่าสอ อ.เมือง จ.เชียงราย มีช่วงค่า TREY 52 – 29,957 ppm “แม่ข้าวต้ม” ขนาด 6 ตร.กม. ตั้งอยู่ในเขต ต.ท่าสอ อ.เมือง จ.เชียงราย มีช่วงค่า TREY 42 – 23,565 ppm และ “ห้วยพลู” ขนาด 25 ตร.กม. ตั้งอยู่ในเขต ต.ท่าสอ อ.เมือง จ.เชียงราย มีช่วงค่า TREY 230 – 133,675 ppm โดยมีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวมเบื้องต้นประมาณ 75,440 ตันโลหะ, 59,450 ตันโลหะ และ 336,580 ตันโลหะ ตามลำดับ ที่ค่าความสมบูรณ์เฉลี่ย 350 ppm มีปริมาณทรัพยากรธาตุทอเรียมแพลงอยู่เบื้องต้นประมาณ 13,580 ตันโลหะ, 10,700 ตันโลหะ และ 60,570 ตันโลหะ ที่ค่าความสมบูรณ์เฉลี่ย 63 ppm และมีปริมาณทรัพยากรธาตุยูเรเนียมแพลงอยู่เบื้องต้นประมาณ 4,120 ตันโลหะ, 3,250 ตันโลหะ และ 18,380 ตันโลหะ ที่ค่าความสมบูรณ์เฉลี่ย 19 ppm ซึ่งมีระดับความเชื่อมั่นของการประเมินปริมาณทรัพยากรตามหลักการของ UNFC-2009 ในพื้นที่คัดสรรย่อยทั้งสามแห่งข้างต้น เทียบเท่า 333, 333 และ 334 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ธาตุหายาก REE ธาตุกัมมันตรังสี หินแกรนิต แหล่งแบบฝังอยู่กับที่ ion adsorption แร่หนัก เชียงราย

คำขอบคุณ

งานสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรธาตุหายากและธาตุกัมมันตรังสีแฝง (ระดับรายละเอียด) จังหวัดเชียงรายนี้ได้สำเร็จลงด้วยดี ซึ่งคณะผู้สำรวจขอขอบคุณในความสนับสนุนและการเอื้อเฟื้อในด้านต่าง ๆ จากหลาย ๆ ท่าน อาทิ คุณรชต วรรณพิระ ผู้อำนวยการส่วนแร่โลหะ ที่คอยกำกับดูแลและให้คำชี้แนะที่เป็นประโยชน์ คุณณัด สร้อยชา คุณวนิดา ระงับพิศม์ และคณะ จากสำนักเทคโนโลยีธรณี สำหรับการแปลความหมายข้อมูลธรณีฟิสิกส์กัมมันตรังสีทางอากาศ และงานสำรวจธรณีฟิสิกส์ภาคสนามในพื้นที่สำรวจ เจ้าหน้าที่จากกองวิเคราะห์และตรวจสอบทรัพยากรธรณี อาทิ คุณเบญจมาคมวงษ์เทพ และคุณปิยนันท์ อำนาจสกุลฤทธิ์ สำหรับงานวิเคราะห์เคมี คุณเจษ จิระเชษฐา คุณจิณห์นิภาห์ สวัสดิมงคล และคุณเสาวนีย์ เสียมไหม สำหรับงานตรวจสอบชนิดแร่หนัก

นอกจากนี้คณะผู้เขียนขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในส่วนแร่โลหะ ได้แก่ คณะสำรวจภาคสนามซึ่งประกอบด้วย คุณประภาพิศ เดชบุญ คุณณอมศักดิ์ พัฒน์ฤกษ์สินธุ์ และคุณแอบ เกลี้ยงสง ที่ได้ร่วมกันปฏิบัติงานสนามจนสำเร็จลุล่วง คุณพัชรินทร์ จรุงจันทร์ ที่ช่วยในงานธุรการและเอกสารต่าง ๆ รวมถึงคุณนพพร แซ่อึ้ง คุณบุญถม กัณณิการ์ ที่ช่วยในการจัดประชุมเผยแพร่ผลสำรวจ และท้ายสุดนี้ขอขอบพระคุณ พ่อแม่ และครูอาจารย์ทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอนให้วิชาความรู้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

จากปัญหาสถานการณ์เศรษฐกิจของประเทศในปัจจุบัน การกำหนดต้นทุนและแนวทางการบริหารจัดการด้านทรัพยากรแร่ มีความจำเป็นในขั้นพื้นฐานในการพัฒนาเศรษฐกิจต่อไปในอนาคต การกำหนดแนวทางการใช้วัตถุดิบทรัพยากรแร่ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีความจำเป็นอย่างมากต่อประเทศในการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคมและการควบคุมสิ่งแวดล้อม การใช้ทรัพยากรแร่ที่ไม่ถูกต้องไม่คุ้มค่าประโยชน์เป็นการสูญเสียทรัพยากรที่ไม่มีหนทางจะหาทดแทนได้อีก ประกอบกับสถานการณ์เปลี่ยนแปลงของโลกในด้านต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก สาเหตุสำคัญประการหนึ่งคือการนำทรัพยากรแร่มาใช้ประโยชน์ในทางที่ไม่ถูกต้อง ทั้งนี้สาเหตุจากการที่ไม่มีแนวทางการบริหารจัดการที่ถูกต้อง

กรมทรัพยากรธรณี มีภารกิจหลักในการสงวน อนุรักษ์ ปั่นฟู และบริหารจัดการด้านธรณีวิทยา และทรัพยากรธรณี โดยการสำรวจตรวจสอบสภาพธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี การประเมินศักยภาพแหล่งทรัพยากรธรณี การกำหนด และกำกับดูแลเขตพื้นที่สงวน และอนุรักษ์ทรัพยากรธรณี เพื่อการพัฒนาทรัพยากรธรณี คุณภาพชีวิต เศรษฐกิจ และสังคมอย่างยั่งยืน ซึ่งการบริหารจัดการทรัพยากรธรณีที่มีประสิทธิภาพนั้น ต้องอาศัยข้อมูลฐานที่มากพอเพียง โดยต้องทราบถึงต้นทุนศักยภาพแร่สำหรับประกอบการประเมินในมิติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง อาทิ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ดังนั้นการสำรวจเก็บข้อมูลแร่ที่เกี่ยวข้องทั้งในลักษณะภาพรวมของพื้นที่กว้างในรูปแบบของการสำรวจแบบไพศาล และลักษณะการสำรวจลงในรายละเอียดของแหล่งแร่ในแต่ละแหล่ง จึงเป็นสิ่งจำเป็นต้องดำเนินการเพื่อผนวกกันกำหนดเป็นแนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรแร่

งานสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรธาตุหายากและธาตุกัมมันตรังสีแฝง (ระดับรายละเอียด) จังหวัดเชียงราย เป็นงานหนึ่งภายใต้โครงการเร่งจัดทำแนวเขตการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรณี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 ของสำนักทรัพยากรแร่ ซึ่งเป็นแผนงานต่อเนื่องงานสำรวจและประเมินพื้นที่ศักยภาพแร่ชั้นรายละเอียด (แร่หนัก-ธาตุหายาก) ที่เริ่มดำเนินการมาตั้งแต่ปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 ประกอบไปด้วยพื้นที่ได้ดำเนินการไปแล้ว ดังนี้

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558: แร่หนัก-ธาตุหายาก ในเขตจังหวัดชุมพร-สุราษฎร์ธานี

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2557: แร่หนัก-ธาตุหายาก ในเขตจังหวัดอุทัยธานี-สุพรรณบุรี

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556: แร่หนัก-ธาตุหายาก ในเขตจังหวัดระนอง

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2555: แร่หนัก-ธาตุหายาก ในเขตจังหวัดกาญจนบุรี

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานจากการสำรวจและการประเมินต้นทุนทรัพยากรแร่ (ธาตุหายาก) ของประเทศสำหรับใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรธรณี

1.3 กิจกรรมการดำเนินงาน

1. รวบรวม ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน และประมวลผลข้อมูลศักยภาพทางแร่แหล่งต่าง ๆ จากงานสำรวจที่มีมาก่อน พร้อมทั้งประสานหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่เป้าหมายเพื่อชี้แจงรายละเอียด
2. ศึกษาธรณีวิทยาแหล่งแร่เฉพาะแหล่งโดยรอบพื้นที่สำรวจ พร้อมเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง
3. สำรวจธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่ และธรณีเคมี ขึ้นรายละเอียด พร้อมวิเคราะห์ตัวอย่าง ประมวลผลข้อมูล และสรุปผลการสำรวจเพื่อคัดเลือกพื้นที่ในการสำรวจขั้นต่อไป
4. สำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ใต้ดิน (งานสำรวจธรณีฟิสิกส์ และ/หรือชุดหลุม/คุทดลอง และ/หรืองานเจาะสำรวจ) เพื่อตรวจสอบและกำหนดขอบเขตแหล่งแร่
5. ตรวจสอบวินิจฉัยคุณสมบัติของตัวอย่างแร่และหินจากการสำรวจในห้องปฏิบัติการ นำตัวอย่างดิน/หินอ้างอิง ไปจัดเก็บ ณ ศูนย์วิจัยแร่และหิน จังหวัดระยอง และบำรุงรักษาเครื่องมือ อุปกรณ์ของห้องปฏิบัติการ
6. จัดการระดมความคิดเห็นและเผยแพร่องค์ความรู้
7. ประมวลผลการสำรวจ และประเมินปริมาณสำรองแร่ ความสมบูรณ์ และมูลค่าแหล่งแร่ พร้อมจัดทำข้อเสนอเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรแร่ และจัดทำรายงานสรุปผลการดำเนินงานพร้อมจัดพิมพ์เพื่อเผยแพร่ผลงาน

1.4 เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน

ผู้ปฏิบัติงานสำรวจภาคสนาม ภายใต้การกำกับดูแลของ นายรชต วรรณพิระ ผู้อำนวยการส่วนแร่โลหะ ประกอบด้วยเจ้าหน้าที่ 2 คนะ คือ

คณะสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ ประกอบด้วยเจ้าหน้าที่จากสำนักทรัพยากรแร่ จำนวน 6 คน ได้แก่

- | | |
|----------------------------------|------------------------|
| 1. นายธวัชชัย เชื้อเหล่านิช | นักธรณีวิทยาชำนาญการ |
| 2. นายธนัช วัชรมัย | นักธรณีวิทยาปฏิบัติการ |
| 3. นายสมคิด ไชยชนะ | นายช่างสำรวจชำนาญงาน |
| 4. นางสาวเอลิน สุขสวัสดิ์ | นักธรณีวิทยา |
| 5. นายถนอมศักดิ์ พัฒน์ฤกษ์สินธุ์ | ช่างสำรวจ |

6. นายแอบ เกลี้ยงสง พนักงานขับรถยนต์
คณะสำรวจธรณีฟิสิกส์ ประกอบด้วยเจ้าหน้าที่จากสำนักเทคโนโลยีธรณี จำนวน 8 คน
ได้แก่

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1. นายณัฐ สร้อยชา | นักธรณีวิทยาชำนาญการ |
| 2. นางสาววนิดา ระจับพิศม์ | นักธรณีวิทยาชำนาญการ |
| 3. นางสาวรัชมี สมสัตย์ | นักธรณีวิทยาปฏิบัติการ |
| 4. นายจักรพันธ์ คำบุญเรือง | นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ |
| 5. นายสถาพร มิตรมาก | นักธรณีวิทยา |
| 6. นางสาวกุลธิดา เสวตกุล | นักธรณีวิทยา |
| 7. นายสมชาย แก้ววิวัฒน์ | พนักงานขับรถยนต์ |
| 8. นายคณิต จันทรมหา | พนักงานขับรถยนต์ |

1.5 ที่ตั้ง อาณาเขต และลักษณะทางภูมิศาสตร์

ที่ตั้งและอาณาเขต

จังหวัดเชียงราย ตั้งอยู่ภาคเหนือของประเทศไทย บริเวณละติจูด 19 องศาเหนือ ถึง 20 องศา 30 ลิปดาเหนือ และลองจิจูด 99 องศา 15 ลิปดาตะวันออก ถึง 100 องศา 45 ลิปดาตะวันออก ห่างจากกรุงเทพมหานครไปทางทิศเหนือประมาณ 824 กิโลเมตร มีพื้นที่ประมาณ 11,680 ตารางกิโลเมตร มีอาณาเขตติดต่อกับบริเวณใกล้เคียง ดังนี้

ทิศเหนือ ติดต่อกับสหภาพเมียนมาร์ และสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

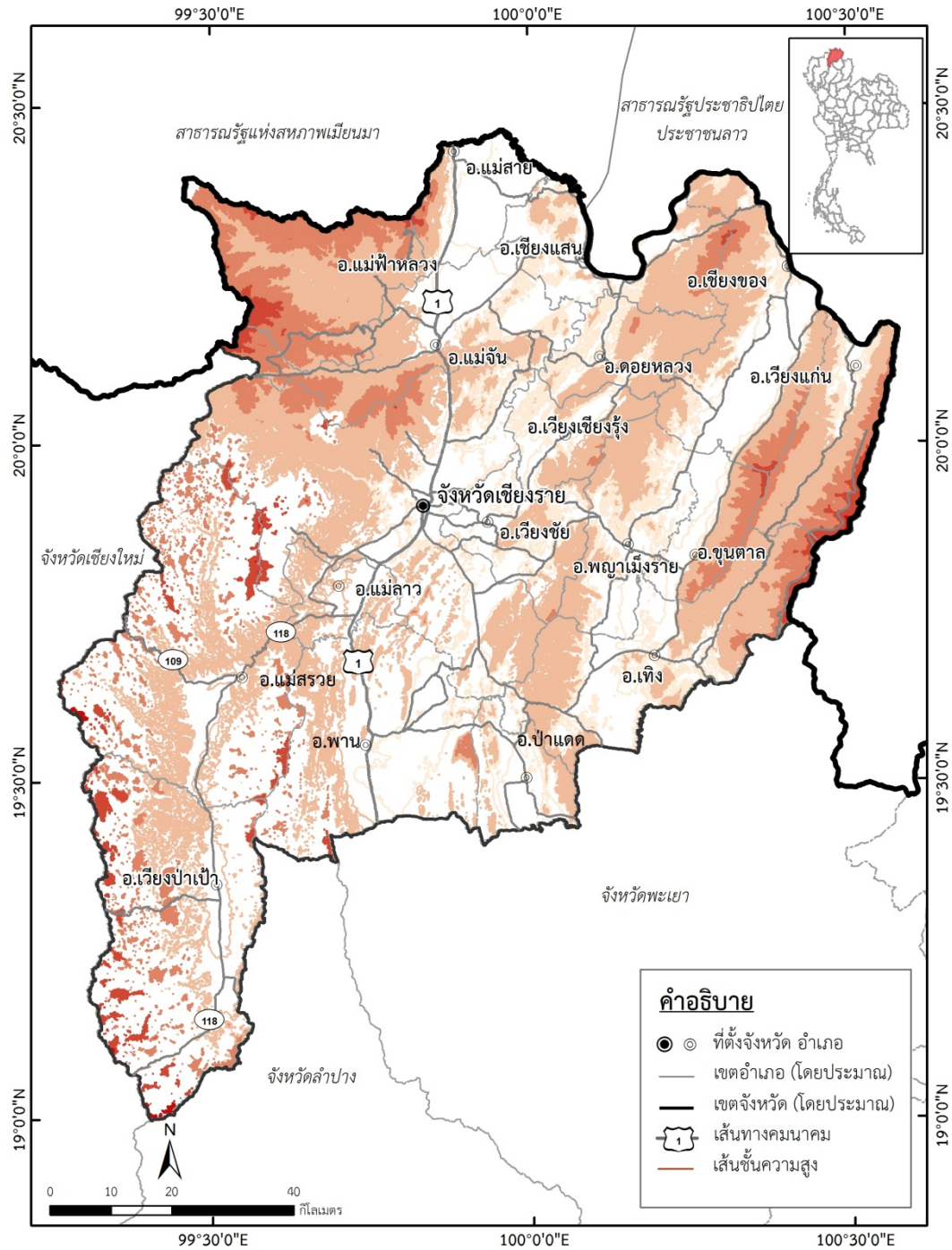
ทิศใต้ ติดต่อกับจังหวัดลำปาง และจังหวัดพะเยา

ทิศตะวันออก ติดต่อกับจังหวัดพะเยา และสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

ทิศตะวันตก ติดต่อกับจังหวัดเชียงใหม่ และสหภาพเมียนมาร์

ลักษณะภูมิประเทศ

จังหวัดเชียงราย มีลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงประมาณร้อยละ 65 พบทั้งด้านตะวันตก ตะวันออก และตอนใต้ของจังหวัด มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 500-2,000 เมตร เทือกเขาทางด้านตะวันตกและด้านใต้ของพื้นที่เป็นเทือกเขาสลับซับซ้อนวางตัวในแนวเกือบเหนือ-ใต้ ส่วนเทือกเขาทางด้านตะวันออกของพื้นที่วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ สำหรับที่ราบลุ่มระหว่างหุบเขาพบบริเวณตอนเหนือ ตอนกลาง และตะวันออกของจังหวัด เป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำกกและแม่น้ำอิงเป็นที่ตั้งของตัวจังหวัดเชียงราย และแม่น้ำสายที่สำคัญคือ แม่น้ำกก แม่น้ำลาวา แม่น้ำอิง และแม่น้ำโขง (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศและเขตการปกครองภายในจังหวัดเชียงราย

ลักษณะภูมิอากาศ

จังหวัดเชียงราย มีลักษณะภูมิประเทศแบบที่ราบสูงเหนือระดับน้ำทะเล ซึ่งแต่ละฤดูกาลจะเป็นแบบมรสุมเขตร้อนโดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในช่วงฤดูฝน และลมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงฤดูหนาว แบ่งเป็น 3 ฤดู คือ ฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม เป็นช่วงว่างจากลมมรสุมส่งผลให้มีอากาศร้อนและร้อนที่สุดในช่วงเดือนเมษายน ฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม พื้นที่จะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งจะพัดพาเอาความร้อนขึ้นมาจากมหาสมุทรอินเดีย ส่งผลให้มีฝนตกทั่วไป และฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ พื้นที่จะได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งจะพัดพาเอาอากาศแห้งและเย็นมาจากประเทศจีน

1.6 การคมนาคมและการเข้าถึงพื้นที่

การเดินทางจากกรุงเทพมหานครไปยังจังหวัดเชียงรายสามารถเลือกเดินทางได้ในหลายลักษณะ กล่าวคือ

ทางรถยนต์ สามารถเลือกเดินทางได้ 3 เส้นทาง ได้แก่

(1) เส้นทางกรุงเทพฯ-นครสวรรค์-ตาก-ลำปาง-พะเยา-เชียงราย (สายเอเชีย หรือสายเก่า) จากรังสิตตามถนนพหลโยธิน (ทางหลวงหมายเลข 1) แล้วแยกซ้ายเข้าทางหลวงหมายเลข 32 ที่อำเภอวังน้อย จากนั้นผ่านจังหวัดอยุธยา สิงห์บุรี เข้าทางหลวงหมายเลข 1 อีกครั้งที่ จังหวัดชัยนาท ตรงไปจังหวัดนครสวรรค์ ผ่านกำแพงเพชร ตาก เข้าสู่อำเภอเถิน ตรงไปจังหวัดลำปาง ผ่านอำเภองาว แล้วตรงไปจังหวัดพะเยา จนเข้าสู่เชียงราย รวมระยะทาง 830 กิโลเมตร

(2) เส้นทางกรุงเทพฯ-นครสวรรค์-พิษณุโลก-แพร่-เชียงราย (สายใหม่) ใช้เส้นทางเดียวกับเส้นทางที่ (1) เมื่อไปถึงจังหวัดนครสวรรค์ ให้แยกขวามือไปตามทางหลวงหมายเลข 117 (นครสวรรค์-พิษณุโลก) จากนั้นใช้เส้นทางหลวงหมายเลข 11 (พิษณุโลก-เด่นชัย) จากจังหวัดพิษณุโลกผ่านจังหวัดอุตรดิตถ์ จนถึงอำเภอเด่นชัย ให้เลี้ยวไปทางจังหวัดแพร่ ตามทางหลวงหมายเลข 101 (แพร่-น่าน) จนถึงอำเภอร้องกวาง เลี้ยวซ้ายไปตามทางหลวงหมายเลข 103 ไปบรรจบกับถนนพหลโยธินที่อำเภองาว จังหวัดลำปาง เข้าสู่จังหวัดพะเยา แล้วตรงต่อไปจนถึงจังหวัดเชียงราย ระยะทางประมาณ 804 กิโลเมตร

(3) เส้นทางกรุงเทพฯ-นครสวรรค์-ลำปาง-เชียงใหม่-เชียงราย ใช้เส้นทางเดียวกับเส้นทางที่ (1) จนถึงจังหวัดลำปาง จึงเปลี่ยนไปใช้ทางหลวงหมายเลข 11 (ลำปาง-เชียงใหม่) ผ่านไปจังหวัดลำพูน แล้วเข้าสู่จังหวัดเชียงใหม่ แล้วใช้ทางหลวงหมายเลข 118 (เชียงใหม่-เชียงราย) ผ่านดอยสะเก็ด แม่ะจาง เวียงป่าเป้า เข้าสู่เชียงราย รวมระยะทาง 900 กิโลเมตร มีทางหลวงหมายเลข 11 ผ่านลำพูนมาลำปาง บรรจบกับทางหลวงหมายเลข 1 ผ่านจังหวัดตาก จังหวัดนครสวรรค์ เพื่อเดินทางกลับกรุงเทพฯ

ทางรถไฟ สามารถเดินทางโดยสารรถไฟสายเหนือจากสถานีรถไฟหัวลำโพงลงที่ สถานีรถไฟนครลำปาง เป็นระยะทาง 642 กิโลเมตร แล้วเดินทางต่อไปตามทางหลวงแผ่นดิน หมายเลข 1 (พหลโยธิน) ถึงตัวเมืองจังหวัดเชียงราย เป็นระยะทางอีก 234 กิโลเมตร รวมเป็น 876 กิโลเมตร

ทางอากาศ จังหวัดเชียงรายมีท่าอากาศยานนานาชาติแม่ฟ้าหลวงเชียงราย เป็น ท่าอากาศยานนานาชาติ 1 ใน 6 ของบริษัทท่าอากาศยานไทยจำกัด (มหาชน) ซึ่งให้บริการเที่ยวบิน ทั้งในและต่างประเทศ

บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแร่หนักและธาตุหายาก

2.1 แร่หนัก (Heavy minerals)

2.1.1 ลักษณะทั่วไป

แร่หนัก หรือ heavy mineral ตามศัพท์บัญญัติของราชบัณฑิตยสถาน (2544) มี 2 ความหมาย คือ (1) ในทางศิลาวิทยา หมายถึง แร่ประกอบหินที่มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่า 2.9 และ (2) ในทางวิทยาตะกอน หมายถึง เศษแร่จากหินชั้นที่มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่า 2.85 มักเกิดเป็นแร่ส่วนน้อยในหิน โดยทั่วไปพบมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 1 ในดินทราย นอกจากนี้แร่หนักมักจะมี ความคงทนต่อการสีกกร่อนผุพังจากสภาพดินฟ้าอากาศ และปฏิกิริยาเคมีในสภาวะปกติ (Pettijohn, 1957) ซึ่งแร่หนักส่วนใหญ่จะเกิดเป็นแร่เสริม (accessory mineral) ในหินอัคนีชนิดต่าง ๆ โดยแหล่งแร่หนัก ที่พบส่วนใหญ่เป็นแหล่งแร่ทุติยภูมิ ทั้งแบบลานแร่ (placer deposits) ที่เกิดจากการผุพังของหินที่มี แร่หนักเกิดรวมอยู่ ทำให้แร่หลุดออกจากหินและเคลื่อนตัวไปสะสมยังที่ต่ำกว่าโดยมีน้ำเป็นตัวพัดพาไป แบบสะสมตัวตามชายหาดและชายหาดเดิม (beach and old beach deposits) เกิดจากอิทธิพลของ น้ำทะเล และแบบแหล่งแร่ในทะเล (off-shore deposits) ที่คาดว่าแต่เดิมน่าจะเกิดจากการสะสมตัว แบบลานแร่บนบกก่อนที่จะจมตัวอยู่ใต้ระดับน้ำทะเลจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยา เช่น การเคลื่อนตัวของแผ่นดิน หรือการรुकืบของระดับน้ำทะเล และบางส่วนอาจเกิดจากการผุพังของหินพื้น ทะเลที่มีแร่หนักฝังประอยู่แล้วเกิดการสะสมตัวใหม่จากอิทธิพลของกระแสคลื่น

ในการจำแนกกลุ่มชนิดแร่หนักด้วยคุณสมบัติความถ่วงจำเพาะ สามารถใช้ สารละลายที่เรียกว่า “สารเหลวหนัก (heavy liquids)” ซึ่งแต่ละชนิดจะมีค่าความถ่วงจำเพาะ มาตรฐานที่แตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้ ซึ่งจะช่วยแยกกลุ่มชนิดแร่หนักกว่าออกจากแร่ ที่เบากว่า โดยแร่เบาจะลอยค้ำอยู่บนผิวของสารเหลวหนัก ขณะที่แร่หนักจะแยกตัวจมลงสู่เบื้องล่าง สารเหลวหนักชนิดที่นิยมใช้กันทั่วไป คือ สารประกอบโบรมีฟอร์ม (Bromoform) แต่ด้วยโบรมีฟอร์ม มีความเป็นพิษสูง ในปัจจุบันจึงเริ่มมีการนิยมใช้สารประกอบในกลุ่ม โพลีทังสเตทส์ (Polytungstates) เช่น โซเดียมโพลีทังสเตทส์ หรือ ลิเทียมโพลีทังสเตทส์ ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับโบรมีฟอร์ม แต่มีระดับความเป็นพิษต่ำมาใช้ทดแทน นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกกลุ่มชนิดแร่หนักตามคุณสมบัติ ทางแม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยเครื่องแยกแร่ที่เรียกว่า “ฟรานซ์ (Frantz)” โดยใช้หลักการปรับค่า กระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเครื่องเพื่อไปสร้างพลังสนามแม่เหล็กในระดับความเข้มต่าง ๆ เพื่อแยกแร่หนัก ออกเป็นกลุ่ม ๆ ตามคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กของแร่หนักแต่ละชนิดที่มีไม่เท่ากัน

2.1.2 ลักษณะและชนิดของแร่หนักที่พบมากในประเทศไทย

แร่หนักที่เป็นผลผลิตสำคัญของประเทศไทยในอดีต ได้แก่ แร่ดีบุก รวมถึง แร่หนักที่ให้ธาตุหายาก (หรือบางครั้งเรียกว่า แร่หายาก) เช่น โมนาไซต์ และซีโนไทม์ และแร่หนักชนิดอื่น ๆ ที่มักพบร่วม อาทิ อิลเมไนต์ เซอร์คอน การ์เน็ต แมกนีไทต์ ทัวร์มาลีน วุลแฟรมไมต์ รูไทล์ ลูโคซีน โคลัมไบต์-แทนทาไลต์ และสตรูเวไรต์ เป็นต้น ซึ่งแร่หนักเหล่านี้เป็นแร่พลอยได้จากการทำเหมืองแร่ดีบุก ลักษณะรายละเอียดโดยสังเขปของแร่หนักแต่ละชนิด มีดังนี้

1. โมนาไซต์ (Monazite: $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Th}) \text{PO}_4$) เป็นแร่ในตระกูลแร่ฟอสเฟตที่มีกลุ่มธาตุหายากเบา ได้แก่ ซีเรียม (Ce) แลนทานัม (La) เป็นส่วนประกอบหลัก และมักมีธาตุทอเรียม (Th) เกิดรวมในโครงสร้างแร่ ซึ่งสามารถมีส่วนส่วนของทอเรียมไดออกไซด์ (ThO_2) ได้สูงถึงประมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ส่วนใหญ่พบในแหล่งลานแร่ดีบุกเกือบทุกแหล่ง พบตามหาดทรายและตามท้องน้ำลำธารทั่วไปที่ใกล้ภูเขาหินแกรนิต หรือไนส์ เป็นแร่พลอยได้จากการทำเหมืองแร่ดีบุก เช่นเดียวกับแร่หนักหรือแร่หายากชนิดอื่น ๆ ในอดีตเคยมีการผลิตแร่โมนาไซต์โดยการแต่งแร่ดีบุกจากจังหวัดภูเก็ต พังงา ระนอง ชุมพร สุราษฎร์ธานี ประจวบคีรีขันธ์ อุทัยธานี ระยอง และเชียงใหม่ จัดเป็นแร่หนักในกลุ่มที่มีความเป็นแม่เหล็กต่ำมาก (very low magnetic) ที่ติดแม่เหล็กไฟฟ้าที่ระดับกระแสไฟฟ้า 0.7 - 1.2 แอมแปร์ และไม่มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้า (non-conductor)

2. ซีโนไทม์ (Xenotime: YPO_4) เป็นแร่ในตระกูลแร่ฟอสเฟตที่มีอิตเทียม (Y) ซึ่งมักจัดรวมในกลุ่มของธาตุโลหะหายากหนักเป็นส่วนประกอบหลัก ประกอบด้วย Y_2O_3 และ P_2O_5 ประมาณร้อยละ 61.4 และ 38.6 โดยน้ำหนักตามลำดับ บ่อยครั้งที่ธาตุอิตเทียมถูกแทนที่ด้วยธาตุหายากหนัก ชนิด เออร์เบียม (Er) เป็นจำนวนมาก และอาจถูกแทนที่ด้วยธาตุซีเรียม ซีลีคอน หรือทอเรียมได้บ้างเล็กน้อย จัดเป็นแร่หนักในกลุ่มที่มีความเป็นแม่เหล็กต่ำ (low magnetic) ที่ติดแม่เหล็กไฟฟ้าที่ระดับกระแสไฟฟ้า 0.4-0.7 แอมแปร์ และไม่มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้า (non-conductor) ในอดีตเป็นผลพลอยได้จากการแต่งแร่ดีบุก เช่นเดียวกับแร่หนักและแร่หายากชนิดอื่น ๆ จากจังหวัดภูเก็ต พังงา ระนอง ประจวบคีรีขันธ์ และอุทัยธานี

3. อิลเมไนต์ (Ilmenite: FeTiO_3) เป็นแร่เศรษฐกิจที่สำคัญของโลหะไทเทเนียม นอกเหนือจาก แร่รูไทล์ (Rutile) และลูโคซีน (Leucoxene) มี Fe ร้อยละ 36.8 Ti ร้อยละ 31.6 และ O ร้อยละ 31.6 ปริมาณของไทเทเนียมกับเหล็กอาจแปรเปลี่ยนได้เนื่องจากมลทินของโลหะอื่น พบปนอยู่ในทรายร่วมกับ แมกนีไทต์ รูไทล์ เซอร์คอน และโมนาไซต์ ในแหล่งดีบุก นอกจากนี้ อิลเมไนต์มักพบได้ในแหล่งพลอยทับทิม-แซปไฟร์หลายแหล่ง แร่อิลเมไนต์ในแหล่งดีบุกจะมีขนาดเท่าเม็ดทรายเป็นชิ้นแร่ที่ขาวเหมือนมักเรียกว่า “อามัง” ส่วนในแหล่งพลอยมักพบเป็นก้อนหรือผลึกขนาดโต (megacryst) จัดเป็นแร่หนักในกลุ่มที่มีเป็นแม่เหล็กค่อนข้างสูง ที่ติดแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงระดับกระแสไฟฟ้า 0.4 แอมแปร์

4. เซอร์คอน (Zircon: $ZrSiO_4$) หรือเพทาย สูตรเคมี มี ZrO_2 ร้อยละ 67.2 และ SiO_2 ร้อยละ 32.8 ซึ่งแร่เซอร์คอนชนิดผลึกละเอียดพบในเหมืองลานแร่ดิบทุกแห่ง และตามชายทะเลฝั่งทะเลทั่วไป ที่สำคัญได้แก่ ชายทะเลที่ระยอง ประจวบคีรีขันธ์ และชุมพร ส่วนชนิดที่เป็นรัตนชาติ หรือพลีโต ๆ มักพบเกิดร่วมกับหินภูเขาไฟ ชนิดหินบะซอลต์ที่จังหวัดจันทบุรี ตราด อุบลราชธานี ศรีสะเกษ และแพร่ จัดเป็นแร่หนักในกลุ่มที่ไม่ติดแม่เหล็กไฟฟ้า (non-magnetic) และไม่มีคุณสมบัติที่เป็นตัวนำไฟฟ้า (non-conductor)

5. การ์เนต (Garnet: $A_3B_2(SiO_4)_3$) นั้นมาจากภาษาละติน granatus มีความหมายว่าเหมือนเมล็ด (seed-like) ที่ว่าเหมือนเมล็ดนั้นหมายถึงเหมือนเมล็ดสีแดงในผลทับทิม ทั้งนี้เนื่องจากมักจะได้พบผลึกพลอยโกเมนสีแดงฝังอยู่ในเนื้อหิน โดยมีลักษณะการฝังตัวเหมือนเมล็ดในผลทับทิม โดยทั่วไปถ้ากล่าวถึงโกเมนจะหมายถึงการ์เนตสีแดง ซึ่งจะเป็นการ์เนตชนิดไพโรป แต่ในธรรมชาตินั้น แร่นี้มีสีสันได้หลายสี ยกเว้นสีน้ำเงิน โดยที่ในสูตรเคมี A อาจเป็นแคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) หรือ แมงกานีส (Mn) และ B อาจเป็นอลูมิเนียม (Al) เหล็ก (Fe) ไทเทเนียม (Ti) หรือ โครเมียม (Cr) ส่วนจะมีธาตุอย่างใดเป็นส่วนประกอบเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของแหล่งที่เกิดของแต่ละแหล่ง มีความแข็ง 6.5-7.5 ความถ่วงจำเพาะ 3.6-4.2 มีการแบ่งแร่ชนิดนี้ออกเป็นชนิดย่อย ๆ อีกหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีสีและคุณสมบัติทางฟิสิกส์อื่น ๆ ที่แตกต่างกันออกไปด้วย มักพบในหินแปร ชนิดหินไนส์ (gneiss) และหินชีสต์ (schist) เป็นหลัก ส่วนในหินอัคนีจะพบได้บ้างในหินแกรนิต หรือในหินแกรโบร บริเวณอำเภอขุนหาญ จังหวัดศรีสะเกษ สำหรับชนิดพลีโต ๆ ที่สามารถใช้เป็นรัตนชาติได้นั้น พบได้ในบริเวณหินบะซอลต์ ในเขตอำเภอบ่อไร่ จังหวัดตราด จัดเป็นแร่หนักในกลุ่มที่มีความเป็นแม่เหล็กค่อนข้างสูง ที่ติดแม่เหล็กไฟฟ้าที่ระดับกระแสไฟฟ้า 0.4 แอมแปร์

6. ดีบุก (Tin: SnO_2) ที่พบในประเทศไทยมี 2 ชนิด คือ แคสซิเทอไรต์ (Cassiterite) ซึ่งพบเป็นแร่เศรษฐกิจเพียงชนิดเดียว โดยมีส่วนประกอบของ Sn และ O ประมาณร้อยละ 78.6 และ 21.4 ตามลำดับ อีกชนิดหนึ่งคือ สแตนนไนต์ (Stannite) พบน้อยมากและไม่มีการผลิต โดยทั่วไปแล้วจะเกิดอยู่ในสายแร่แบบน้ำร้อนแทรกในหินพวกแกรนิตหรือหินชั้นที่อยู่ข้างเคียง และอาจเกิดเป็นก้อนหรือผลึกเล็กๆ ฝังในหินเพกมาไทต์ หินสการ์น รวมถึงในหินแกรนิตที่อยู่ใกล้กับบริเวณเขตสัมผัสกับหินข้างเคียงด้วย จัดเป็นแร่หนักในกลุ่มที่ไม่ติดแม่เหล็กไฟฟ้า

7. แมกนีไทต์ (Magnetite: Fe_3O_4) มี Fe 72% เป็นแร่ที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กในตัวเอง ประโยชน์การใช้แร่เหล็กภายในประเทศส่วนใหญ่ ใช้ในโรงงานถลุงเหล็กเพื่อการผลิตเหล็กและเหล็กกล้า โดยที่ในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กและเหล็กกล้าดังกล่าว จะใช้แร่เหล็กเปอร์เซ็นต์สูง ส่วนแร่เหล็กเปอร์เซ็นต์ต่ำ จะนำไปใช้ในการทำซีเมนต์ จัดเป็นแร่หนักในกลุ่มที่มีความเป็นแม่เหล็กสูง ที่เป็นแม่เหล็กในตัวเอง

8. ทัวร์มาลีน (Tourmaline: $Na(Mg,Fe,Li,Al)_3Al_6(Si_6O_{18})(BO_3)_3(OH, F)_4$) เป็นแร่ในกลุ่มซิลิเกต มีสีดำ น้ำตาล ม่วง เขียว ชมพู สีม่วงละเอียด สีขาว จัดเป็นแร่หนักในกลุ่มที่มีความเป็นแม่เหล็กปานกลางจนถึงต่ำ ที่ติดแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงระดับกระแสไฟฟ้า 0.7 - 1.2 แอมแปร์

9. **รูไทล์ (Rutile: TiO_2)** ชื่อมาจากภาษาละติน rutilus หมายถึงสีแดง สีทองแดง มี Ti ร้อยละ 60 และ O ร้อยละ 4.0 มี นอกจากเกิดในธรรมชาติแล้ว ยังสังเคราะห์ขึ้นได้ด้วยกรรมวิธีเวอร์เนียล (Verneuil process) แร่ที่สังเคราะห์ได้มีคุณสมบัติเป็นรัตนชาติ สังเคราะห์ที่มีน้ำ (fire) ดี แวแวเหลือบรุ้งยิ่งกว่าเพชร มีการจำหน่ายกันในชื่อต่าง ๆ กัน ที่รู้จักกันดีคือ ไททาเนีย (Titania) พลอยเคนยา (Kenya gem) และมิริดิส (Miridis) เป็นแร่ที่มีคุณสมบัติไม่เป็นแม่เหล็กไฟฟ้า

10. **โคลัมไบต์-แทนทาลาไลต์ (Columbite-tantalite: $(\text{Fe,Mn})(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_6$)** เป็นแร่ที่มีธาตุไนโอเบียม (โคลัมเบียม) และแทนทาลัม เป็นส่วนประกอบหลัก มีส่วนประกอบของธาตุไนโอเบียม และแทนทาลัมจะมีผลในการเรียกชื่อแร่ โดยจะเรียกแร่โคลัมไบต์เมื่อแร่นั้นมี ธาตุไนโอเบียมมากกว่าแทนทาลัม และเรียกแทนทาลาไลต์ เมื่อแร่มีธาตุแทนทาลัมมากกว่าไนโอเบียม แร่โคลัมไบต์-แทนทาลาไลต์นั้นมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับหินแกรนิต และหินคาร์บอนาไทต์ ผลผลิตโคลัมไบต์-แทนทาลาไลต์ ในประเทศไทยเป็นเพียงแร่พลอยได้จากการทำเหมืองแร่ดีบุกเท่านั้น

11. **วุลแฟรมไมต์ (Wolframite: $(\text{Fe,Mn})\text{WO}_4$)** เป็นคำที่มาจากภาษาเยอรมันดั้งเดิม เกิดในสายแร่เพกมาไทต์ หรือเกิดในสายแร่ควอตซ์ ชนิดอุณหภูมิสูง มักจะพบเกิดร่วมกับแร่ดีบุก ซีไลต์ อาร์เซโนไฟไรต์ ไฟไรต์ กาลีนา และสฟาเลอไรต์ ในสายแร่บางแห่งอาจพบเกิดเป็นเนื้อวุลแฟรมทั้งหมดซึ่งมีลักษณะแบนเป็นกระเปาะ โดยปกติไม่ค่อยพบวุลแฟรมในบริเวณที่เป็นแหล่งลานแร่

2.2 ธาตุหายาก (Rare earth elements)

2.2.1 ลักษณะทั่วไป

ธาตุหายาก หรือ “rare earths” ตั้งขึ้นโดย Johann Gadolin ในปี ค.ศ. 1794 เป็นธาตุโลหะในกลุ่มธาตุทรานซิชัน ที่จัดอยู่ในอนุกรมธาตุแลนทาไนด์ (lanthanide series) บางครั้งอาจเรียกว่า กลุ่มธาตุแลนทานันส์ (lanthanous) หรือ กลุ่มธาตุแลนทานอยด์ (lanthanoids) ซึ่งประกอบด้วยธาตุ 15 ธาตุ มีเลขอะตอมตั้งแต่ 57 ถึง 71 ธาตุ (รูปที่ 2) ทั้งหมดนี้มีตำแหน่งตามตารางธาตุจัดอยู่ในกลุ่ม III B โดยยังมีธาตุในกลุ่มเดียวกันอีก 2 ธาตุ คือ สแกนเดียม (Sc) เลขอะตอม 21 และธาตุอิตเทรียม (Y) เลขอะตอม 39 ที่มักนับรวมไว้ในกลุ่มของธาตุหายากด้วย เนื่องจากมีคุณสมบัติทางเคมีที่คล้ายคลึงมาก (Moeller, 1963; Connelly and others, 2005) ธาตุหายากสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ กลุ่มธาตุหายากเบา (light rare earth elements: LREE) หรือกลุ่มซีเรียม (Cerium group) และกลุ่มธาตุหายากหนัก (heavy rare earth elements: HREE) หรือกลุ่มอิตเทรียม (Yttrium Group) อย่างไรก็ตามเกณฑ์การแบ่งจำนวนธาตุในกลุ่มย่อยสองกลุ่มนี้มีหลากหลาย แต่ในที่นี้จะแบ่งกลุ่มย่อยตามหลักการที่ USGS ยึดถือตามคำจำกัดความที่กำหนดขึ้นโดย The International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) โดยพิจารณาจากลักษณะและจำนวนอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงชั้น 4f เป็นเกณฑ์ กล่าวคือ ธาตุใน **กลุ่มธาตุหายากเบา** แต่ละตัวจะ ไม่มีการจับคู่ของอิเล็กตรอน (unpaired electron; 0-7 electron) ในวงชั้น 4f โดยอิเล็กตรอนมีการ

หมุนตัวแบบตามเข็มนาฬิกา (clockwise spinning) ประกอบด้วยธาตุหายากจำนวน 8 ธาตุที่มีเลขอะตอม 57 ถึง 64 ได้แก่ แลนทานัม (La) ซีเรียม (Ce) เพอร์ซีโอติเมียม (Pr) นีโอติเมียม (Nd) โพรมิเทียม (Pm) ซาแมเรียม (Sm) ยูโรเพียม (Eu) และแกโดลิเนียม (Gd) ในขณะที่ธาตุใน **กลุ่มธาตุหายากหนัก** ทุกตัวจะมีอิเล็กตรอนจับกันเป็นคู่ (paired electron) ในวงชั้นดังกล่าว ซึ่งการหมุนตัวของอิเล็กตรอนจะพบได้ทั้งการหมุนตัวแบบตามเข็มนาฬิกา (clockwise or counter-clockwise spinning) ประกอบด้วยธาตุหายากจำนวน 7 ธาตุที่มีเลขอะตอม 65 ถึง 71 ได้แก่ เทอร์เบียม (Tb) ดิสโพรเซียม (Dy) โฮลเมียม (Ho) เออร์เบียม (Er) ทูเลียม (Tm) อิตเทอร์เบียม (Yb) ลูทีเทียม (Lu) และมักนีส อิตเทรียม เข้าอยู่ในกลุ่มย่อยนี้ด้วยรวมเป็นจำนวน 8 ธาตุ ขณะที่ธาตุสแกนเดียมนั้นจะไม่จัดรวมอยู่ในทั้งสองกลุ่มย่อย (Cordier, 2011; Haque and others, 2014)

โดยทั่วไปสามารถพบธาตุหายากได้ในเนื้อหินเกือบทุกชนิดที่เป็นส่วนประกอบของเปลือกโลก แต่จะพบในปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ถึงกระนั้นก็เป็นหายากที่จะพบบริเวณที่มีการสะสมของกลุ่มธาตุหายากในปริมาณเข้มข้นที่มากพอจะสกัดออกมาใช้ประโยชน์ได้ โดยเฉพาะในส่วนของชั้นเปลือกโลกที่มีปริมาณธาตุหายากทั้งหมดรวมกันอยู่ในช่วง 180 - 240 ส่วนในล้านส่วน โดยปริมาณของธาตุหายากในแต่ละชนิดจะพบได้ในมากกว่าธาตุหายากหนัก (ตารางที่ 1) ซึ่งในภาพรวมเมื่อเทียบปริมาณในธรรมชาติของธาตุหายากรวมกับปริมาณของธาตุโลหะอื่นๆ ที่เรารู้จักกันดีในชีวิตประจำวัน เช่น สังกะสี (70 ส่วนในล้านส่วน) หรือทองแดง (50 ส่วนในล้านส่วน) พบว่ามีปริมาณที่มากกว่าเล็กน้อย แต่หากเทียบกับปริมาณของโลหะมีค่า เช่น เงิน ทองคำ หรือแพลตินัม แล้ว นับได้ว่าธาตุหายากรวมมีปริมาณมากกว่าหลายเท่าตัว (อาทิ Lide, 2004) ทั้งนี้สัดส่วนปริมาณของธาตุหายากในแต่ละชนิดที่พบจะมีมากกว่าของธาตุหายากหนัก ซึ่งในธรรมชาติมีแร่กว่า 200 ชนิด ที่มีธาตุหายากเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างผลึกในปริมาณเล็กน้อยแตกต่างกัน แต่มีราว 73 ชนิดแร่เท่านั้นที่จัดเป็นแร่หายากที่มีธาตุหายากเป็นองค์ประกอบหลัก และโดยทั่วไปมีเพียงแร่แบสตันไนต์ โมโนไนต์ ซีโนไนต์ และอะพาไทต์ ที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน (กิ่งดาว เคลือบทอง และคณะ, 2553) นอกจากนี้ยังมีแร่อื่น ๆ ที่ให้ธาตุหายากเป็นผลพลอยได้ เช่น *บรานเนอร์ไรต์ (Brannerite)* ที่เป็นแร่ให้ธาตุยูเรเนียมที่เกิดในเพกมาไทต์ ซึ่งมีอิตเทรียมเป็นธาตุพลอยได้จากกระบวนการแต่งแร่ หรือแร่ดินตระกูลเคโอลินในชั้นหินแกรนิตที่ดูดซับปะจุธาตุหายากไว้ที่ผิวผลึก เป็นต้น

2.2.2 รูปแบบแหล่งธาตุหายากที่สำคัญ

ในธรรมชาติแหล่งธาตุหายาก มีรูปแบบการกำเนิดอยู่หลายลักษณะ แต่แบบที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ มี 3 ลักษณะ กล่าวคือ

แหล่งแร่แบบหินแอลคาไลและคาร์บอเนไทต์ (Alkaline and carbonatite rocks) โดยพบในหินอัคนีประเภทหินแอลคาไลหลายชนิดและโดยเฉพาะอย่างยิ่งหินคาร์บอเนไทต์ที่เกิดร่วมจะมีธาตุโลหะหายากอยู่ในปริมาณค่อนข้างมาก ทั้งในรูปแบบของแร่โลหะหายาก และโดยการแทนที่ธาตุในส่วนประกอบของแร่อื่น เช่น อะพาไทต์ และไฟโรคลอร์

Modified from <http://vl.alexpress.com/popular/modernium-period.html>; REE Subgroups defined by The International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)

รูปที่ 2 แผนภาพตารางธาตุแสดงตำแหน่งของกลุ่มธาตุหายาก

แหล่งแร่แบบลานแร่ (Placer Deposits) โดยพบแร่โมนาไซต์และซีโนไทม์ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูง คือ 5.0 และ 4.8 และมีความทนทานต่อการผุสลายตัว เกิดเป็นแร่หนักสะสมตัวอยู่ในแหล่งแร่แบบลานแร่ร่วมกับแร่หนักชนิดอื่น ๆ เช่น อิลเมนไนต์ เซอร์คอน รูไทล์ และดีบุก ซึ่งประเทศไทยเคยมีการผลิตแร่หายากประเภทนี้เป็นแร่พลอยได้จากการทำเหมืองแร่ดีบุกในอดีต สำหรับการสกัดธาตุหายากออกจากแร่โมนาไซต์นั้น ประเทศไทย โดยสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ มีเทคโนโลยีและโรงสกัดธาตุหายากออกจากแร่โมนาไซต์ได้ ด้วย “กระบวนการต่าง (alkali process)” โดยใช้โซดาไฟ (NaOH) เข้มข้น (พิพัฒน์ พิเชษฐพงษ์, 2555)

แหล่งแร่แบบฝังอยู่กับที่ (In situ Deposits) ที่เกิดจากการฝังทางเคมีของหินต้นกำเนิดซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินแกรนิตที่มีความสมบูรณ์ของธาตุหายาก (REE-rich host rocks) ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีความชุ่มชื้นสูง มีฝนตกชุกและมีธรณีแปรสัณฐานที่เสถียรเป็นระยะเวลานานส่งผลให้เนื้อหินมีอัตราการฝังอยู่กับที่กลายเป็นชั้นดินปิดทับชั้นเนื้อหินที่มีความผุสูง ซึ่งแร่ธาตุหายากในเนื้อหินบางส่วนที่ไม่สามารถทนต่อการฝังทางเคมีจะปลดปล่อยอะตอมของธาตุหายากออกจาก โครงสร้างแร่ นั้น ๆ และถูกจับยึดไว้ที่ผิวผลึกของแร่ดินที่เป็นผลมาจากการฝังของแร่อื่น ๆ ในเนื้อหินต้นกำเนิดในรูปแบบของ การดูดซับไอออน (ion-adsorption type) ในขณะที่แร่ธาตุหายากบางส่วนที่ยังทนต่อสภาพการฝังทางเคมีได้จะคงลักษณะเม็ดแร่เกิดเป็นส่วนของแร่ตกค้างสะสม (Residual REE minerals) รวมอยู่ในชั้นดิน/หินผุเดียวกัน การสะสมตัวในลักษณะนี้สามารถทำให้มีปริมาณธาตุหายากในชั้นดิน/หินผุเข้มข้นมากขึ้นได้ 1-5 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับในเนื้อหินต้นกำเนิด และสามารถแยกธาตุหายากออกมาจากแร่ดินได้ด้วยกรดอ่อน (Wu and others, 1990; Bao and Zhao, 2008) โดยเฉลี่ยแล้วแหล่งแร่แบบดูดซับไอออนมีความสมบูรณ์อยู่ในช่วง

ตารางที่ 1 ข้อมูลพื้นฐาน และความสมบูรณ์ (ppm) ของธาตุหายาก ที่มีอยู่ในส่วนต่างๆของโลก (Bulk Earth) และในชั้นเปลือกโลก (ดัดแปลงจาก จำรูญ อัยศิริไพศาล, 2535 และ Long and others, 2010)

ข้อมูลพื้นฐานของธาตุหายาก		ความสมบูรณ์ (ppm) ของธาตุหายาก							
รายชื่อธาตุ	เลขอะตอม	Bulk Earth		Crust					
		Ganapathy and Anders (1974)	Smith (1977)	Taylor (1964)	Mason and Moore (1982)	Jackson and Christiansen (1993)	Sabot and Maestro (1995)	Wedephol (1995)	Lide (1997)
กลุ่มธาตุหายากเบา (La-Eu)		3.15	4.47	133.40	133.40	154.30	100.50	130.30	165.25
แลนทานัม (Lanthanum; La)	57	0.48	0.78	30.00	30.00	29.00	18.00	30.00	39.00
ซีเรียม (Cerium; Ce)	58	1.28	2.20	60.00	60.00	70.00	46.00	60.00	66.50
เพรซีโอดิเมียม (Praseodymium; Pr)	59	0.16	-	8.20	8.20	9.00	5.50	6.70	9.20
นีโอดิเมียม (Neodymium; Nd)	60	0.87	1.20	28.00	28.00	37.00	24.00	27.00	41.50
โพรมิเทียม (Promethium; Pm)	61	-	-	-					
ซาแมเรียม (Samarium; Sm)	62	0.26	0.22	6.00	6.00	8.00	6.50	5.30	7.05
ยูโรเพียม (Europium; Eu)	63	0.10	0.07	1.20	1.20	1.30	0.50	1.30	2.00
กลุ่มธาตุหายากหนัก (Gd-Lu)+Y		1.661	0.668	50.28	72.7	50.9	59.4	54	76.92
แกโดลิเนียม (Gadolinium; Gd)	64	0.37	0.35	5.4	5.4	8	6.4	4	6.2
เทอร์เบียม (Terbium; Tb)	65	0.067	-	0.9	0.9	2.5	0.9	0.65	1.2
ดิสโพรเซียม (Dysprosium; Dy)	66	0.45	0.21	3	3	5	5	3.8	5.2
โฮล์มีียม (Holmium; Ho)	67	0.101	-	1.2	1.2	1.7	1.2	0.8	1.3
เออร์เบียม (Erbium; Er)	68	0.29	0.093	2.8	2.8	3.3	4	2.1	3.5
ทูลเลียม (Thulium; Tm)	69	0.044	-	0.48	0.5	0.27	0.4	0.3	0.52
อิตเทอร์เบียม (Ytterbium; Yb)	70	0.29	-	3	3.4	0.33	2.7	2	3.2
ลูทีเทียม (Lutetium; Lu)	71	0.049	0.015	0.5	0.5	0.8	0.8	0.35	0.8
สแกนเดียม (Scandium; Sc)	21	-	-	-	22	-	10	16	22
อิตเทรียม (Yttrium; Y)	39	-	-	33	33	29	28	24	33
Total rare earth elements		4.81	5.13	183.68	206.10	205.20	159.90	184.30	242.17

300 - 2,000 ppm โดยประมาณ แตกต่างกันไปตามชนิดของหินต้นกำเนิด (Wu and others, 1996; Bao and Zhao, 2008; Murakami and Ishihara, 2008)

สำหรับประเทศไทยนั้น มีศักยภาพสูงที่จะสามารถพบแหล่งธาตุหายากได้ 2 แบบ คือ แหล่งแร่แบบลานแร่ และแหล่งแร่แบบฝังอยู่กับที่ที่สัมพันธ์กับมวลหินแกรนิต ส่วนแหล่งแร่แบบที่สัมพันธ์กับหินแอลคาไล นั้นมีโอกาสเป็นไปได้น้อย เนื่องจากการกระจายตัวของพื้นที่หินชนิดนี้ที่พบในประเทศไทยนั้นมีน้อยและมักเกิดเป็นหย่อมขนาดเล็ก สำหรับแหล่งธาตุหายากแบบที่สัมพันธ์กับหินคาร์บอนาต นั้นมีโอกาสเป็นไปได้ยาก เนื่องจากยังไม่มีรายงานการพบหินชนิดนี้ในประเทศไทย

สำหรับพื้นที่ศักยภาพแร่หนัก-ธาตุหายากในเขตจังหวัดเชียงรายนั้น มีโอกาสพบแหล่งธาตุหายากได้ทั้ง 2 ลักษณะ ประกอบกัน คือ แหล่งแร่แบบลานแร่ และแหล่งแร่แบบฝังอยู่กับที่ แต่ในแผนการสำรวจในครั้งนี้จะให้น้ำหนักความสำคัญไปที่พื้นที่ที่มีศักยภาพให้แหล่งแร่แบบหลัง เนื่องจากมีโอกาสเป็นแหล่งแร่ที่ยังคงความสมบูรณ์ของธาตุหายากได้ดีกว่า ในขณะที่พื้นที่แหล่งแร่แบบลานแร่นั้น ส่วนใหญ่ผ่านการฉีกล้างจากการทำเหมืองแร่ดิบๆในอดีตไปแล้ว โอกาสที่พื้นที่แหล่งแร่จะยังคงความสมบูรณ์ของธาตุหายากจึงถือได้ว่าต่ำ

2.2.3 การใช้ประโยชน์ของธาตุหายาก

โดยภาพรวมธาตุโลหะกลุ่มนี้ทั้ง 16 ชนิด เป็นวัตถุดิบต้นน้ำสำคัญในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเทคโนโลยีขั้นสูงหลากหลายประเภท อาทิ การผลิตโลหะผสม แม่เหล็กถาวรกำลังสูง (permanent magnet) ซึ่งถือเป็นวัสดุสำคัญสำหรับการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ชีวิตประจำวันแทบทุกชนิดที่มีสมรรถนะสูง ประหยัดพลังงานไฟและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็น โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต โทรทัศน์จอแบน คอมพิวเตอร์ ชุดเครื่องเสียงลำโพงขนาดเล็ก กล้องดิจิทัล หลอดประหยัดไฟเบอร์ 5 แบตเตอรี่แบบชาร์จปะ รวมไปถึงชิ้นส่วนรถยนต์ไฮบริดจ์ เครื่องบิน กังหันลมผลิตไฟฟ้า สารเร่งปฏิกิริยา (catalysts) ในกระบวนการกลั่นน้ำมัน สารให้สีในเครื่องแก้วและเซรามิกส์ สารเรืองแสง แว่นตาสำหรับใช้งานในเวลากลางคืน อาวุธยุทโธปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องการความแม่นยำสูง ยาและอุปกรณ์การแพทย์ ปุ๋ย อุปกรณ์การกีฬา เป็นต้น ซึ่งธาตุหายากแต่ละตัวมีการนำไปใช้ประโยชน์ที่หลากหลายแตกต่างกัน ดังแสดงสรุปไว้ในตารางที่ 2

[illegible]

บทที่ 3

ธรณีวิทยาทั่วไป

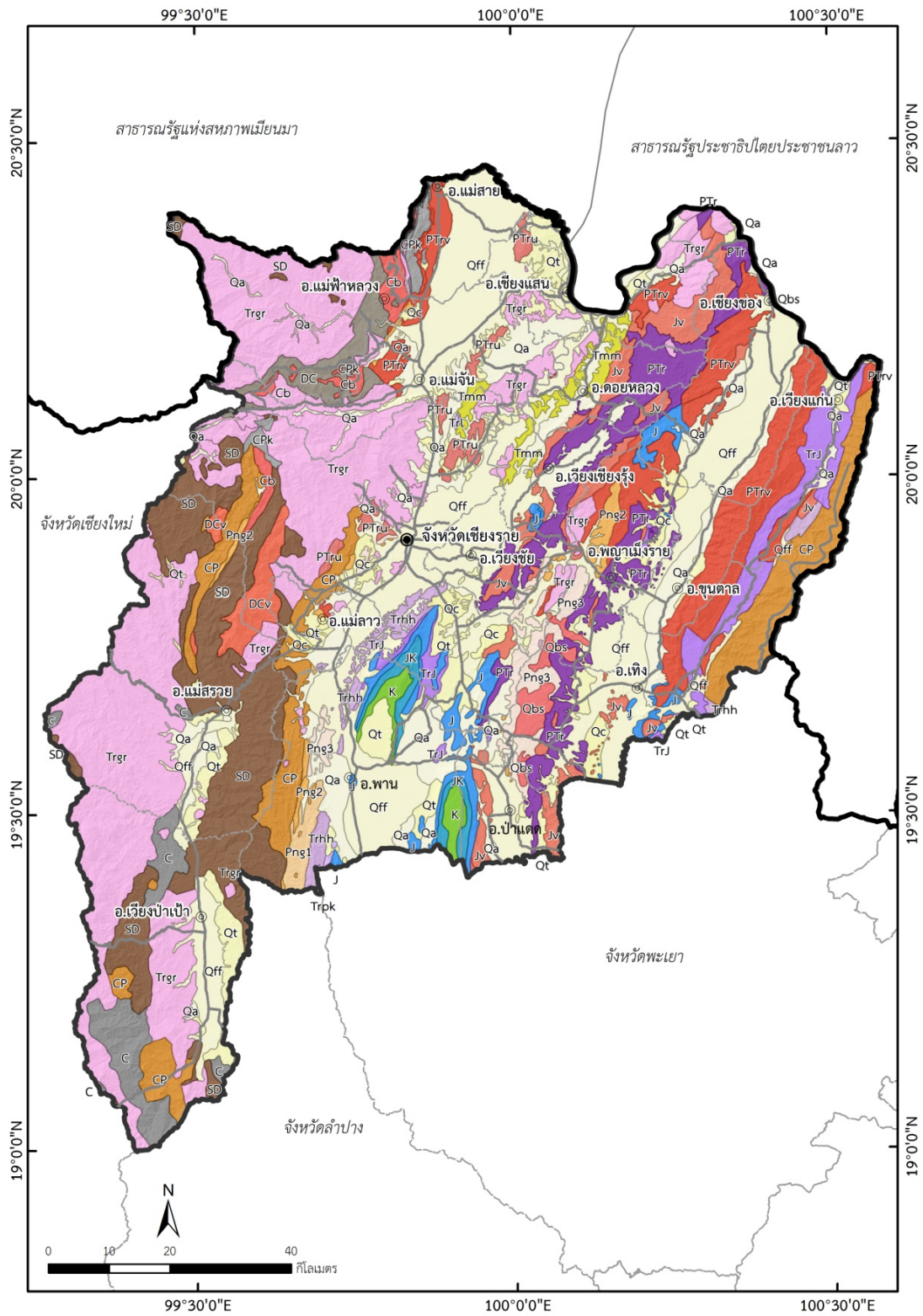
พื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดเชียงราย ประมาณร้อยละ 75-80 ของพื้นที่ทั้งหมด รองรับด้วยหิน ตะกอน หินแปร และตะกอนร่วน ที่มีอายุหินตั้งแต่ยุคไซลูเรียนจนถึงตะกอนอายุปัจจุบัน ในขณะที่ร้อยละ 20-25 จะรองรับด้วยหินอัคนี ที่ประกอบด้วยหินอัคนีแทรกซอนชนิดหินแกรนิตเป็นหลักและมีหินอัคนีพูนิตหินบะซอลต์ บ้างเล็กน้อย โดยพืดหินแข็งส่วนใหญ่พบปรากฏกระจายตัวอยู่ 2 บริเวณ ได้แก่ พื้นที่ทางด้านตะวันตกของจังหวัด และพื้นที่ตอนกลางของจังหวัด เป็นหินอัคนีแทรกซอนชนิดหินแกรนิต หินแกรโนไดออไรต์ และหินไดออไรต์ ส่วนพื้นที่ทางซีกตะวันออกของจังหวัดเป็นหินอัคนีพูนิตหินบะซอลต์ หินแอนดีไซต์ หินไรโอไลต์ หินกรวดมนภูเขาไฟ และหินทัฟฟ์ ในขณะที่ตะกอนอายุปัจจุบันส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ในบริเวณที่ราบตอนกลาง และตะวันออกของจังหวัด (รูปที่ 3) (กรมทรัพยากรธรณี, 2550 ค)

3.1 หินอัคนีแทรกซอน

3.1.1 หินแกรนิต

กลุ่มหินแกรนิตยุคไทรแอสซิก (TRgr) จากข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยา (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) พบว่าในเขตจังหวัดเชียงราย ประกอบด้วยมณฑลหินแกรนิต 2 แนว คือ แนวกลาง (Central Granitic Belt) และแนวตะวันออก (Eastern Granitic Belt) โดยหินแกรนิตแนวกลางส่วนใหญ่เป็นจำพวก S-type ที่กระจายตัวบริเวณด้านตะวันตกของจังหวัดเชียงราย พบเป็นหย่อมใหญ่กระจายตัวเป็นเทือกยาวในเขตอำเภอเวียงป่าเป้า แม่สรวย เมือง แม่จัน และอำเภอแม่ฟ้าหลวง และพบในลักษณะหย่อมขนาดเล็กในเขตอำเภอแม่ลาว ลักษณะเนื้อหินส่วนใหญ่เป็นหินเนื้อดอกทั้งชนิดไบโอไทต์-มัสโคไวต์แกรนิต และไบโอไทต์-มัสโคไวต์-ทัวร์มาลีนแกรนิต นอกจากนี้ยังพบหินลูโครแกรนิต และสายแร่ควอตซ์เกิดร่วมอยู่ด้วย และในบางบริเวณที่ใกล้กับรอยเลื่อน เนื้อหินจะแสดงการเรียงตัวของผลึกแร่ สำหรับหินแกรนิตแนวตะวันออกส่วนใหญ่เป็นจำพวก I-type พบกระจายบริเวณตอนกลางของจังหวัดเชียงราย ในเขตอำเภอเชียงแสน ดอยหลวง เชียงของ เวียงเชียงรุ้ง และอำเภอพญาเม็งราย ลักษณะเนื้อหินส่วนใหญ่มีทั้งที่เป็นเนื้อดอกและเนื้อผลึกขนาดเดียวที่มีขนาดผลึกละเอียดถึงหยาบ ทั้งชนิดไบโอไทต์แกรนิต และไบโอไทต์-ฮอร์นเบลนด์แกรนิต นอกจากนี้เนื้อหินแกรนิตในบางจุดมีการแปรเปลี่ยนของแร่

กลุ่มหินไดออไรต์ยุคไทรแอสซิก (TRdi) ประกอบด้วย หินไดออไรต์ สีเทาเข้ม เนื้อละเอียดถึงปานกลาง และหินแกรโนไดออไรต์ เนื้อละเอียดถึงปานกลาง กระจายตัวเป็นหย่อมเล็ก ๆ อยู่ทางด้านตะวันออกของอำเภอแม่จัน และทางทิศเหนือของอำเภอเชียงของ ซึ่งพบว่าหินไดออไรต์ มีค่าสภาพรับแม่เหล็กได้ (magnetic susceptibility) อยู่ในช่วง $24.6-32.7 \times 10^{-3}$ SI



รูปที่ 3 แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณจังหวัดเชียงราย (ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรธรณี, 2550 ค)

คำอธิบาย

หินตะกอนและหินแปร

Sedimentary and Metamorphic rocks

Qa	ตะกอนธารน้ำพา กรวด หทราย หทรายแป้ง และดินเหนียวสะสมตัวตามร่องน้ำ ค้นดินแม่น้ำ และแอ่งน้ำท่วมถึง
Qff	ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง ดินเหนียวสะสมตัวต่อน้ำหลาก สีเทาถึงเทาจาง บางส่วนสลับชั้นด้วยเลนส์ของทรายปนกรวด
Qc	ตะกอนเศษหินเชิงเขาและตะกอนผุอยู่กับที่ กรวด หทราย หทรายแป้ง สีลาและและเศษหิน
Qt	ตะกอนตะกักน้ำ กรวด หทราย หทรายแป้ง ดินเหนียวและสีลาและ
Tmm	หินกึ่งแข็งตัว หินเคลย์และหินทรายแป้ง สีแดงถึงน้ำตาลแดง ลิกไนต์ หินเคลย์เนื้อปูนผสม หินปูนผสม หินโคลน หินเคลย์ปนลิกไนต์มีเนื้อปูนผสม พบซากหอย กาสโตรพอด(หอยกาบเดียว) ปลาโบราณ หอยออสตราคอด หินกรวดมน หินทราย สีขาวถึงสีเทาจาง การคัดขนาดปานกลาง ดินดาน สีเทาถึงสีขาว
K	หินทรายและหินโคลน สีแดง
JK	หินทรายอาร์โคส สีขาว มีหินกรวดมนและหินดินดานแทรกสลับบ้าง
J	หินกรวดมน สีแดง หินทราย สีน้ำตาลแดง แทรกสลับด้วย หินดินดานและหินโคลน
TrJ	หินกรวดมน หินทรายสีน้ำตาลแดง แทรกสลับด้วยหินดินดานและหินโคลน
Trhh	หินโคลน สีเทาถึงเทาเข้ม แทรกสลับด้วยหินทรายบ้าง แสดงชั้นบางถึงหนา มีซากหอยสองฝาสกุลฮาโลเบียและดาโอนลลา
Trpk	หินปูน สีเทาเข้ม แสดงชั้นปานกลางถึงชั้นมวลหนาหรือเป็นปื้น มีหินทราย และหินโคลนแทรกเล็กน้อย ในตอนกลางของลำดับชั้นหิน
Trl	หินกรวดมนฐาน สีแดง เนื้อปูนผสม หินดินดาน สีเทา แทรกสลับด้วยหินทรายแป้งและหินทราย
PTlr	หินทราย หินทรายเนื้อภูเขาไฟ หินปูนเนื้อดิน หินไรโอลิติกทัฟฟ์กึ่งแปรสภาพ หินดินดาน หินปูนเป็นเลนส์ หินเชิร์ตและหินปูนเนื้อไขปลา
Png3	หินดินดาน และหินโคลน สีเทาดำ หินทราย หินปูน
Png2	หินปูน แสดงชั้นและชั้นมวลหนาหรือเป็นปื้น สีเทา ดำแทรกสลับด้วยหินดินดานและหินทราย
Png1	หินทรายเนื้อภูเขาไฟ หินทราย หินดินดาน สีเทาถึงเขียวเทา หินปูนในตอนบนของการลำดับชั้นหิน
CP	หินทราย หินปูนเนื้อดิน หินดินดาน และหินเชิร์ต
CPk	หินโคลนปนกรวด หินดินดาน หินทรายแป้ง หินเชิร์ต หินทรายเนื้อภูเขาไฟ หินทรายเนื้อซิลิกา สีเทา เทาเขียว และน้ำตาล มีซากหอยแบรคิพอด ไบรโอซัว ปะการังและไครนอยด์
C	หินกรวดมน หินทราย หินดินดาน หินชนวน หินเชิร์ตและหินปูนหินกรวดมน
DC	หินเชิร์ต หินทัฟฟ์ หินปูน และหินภูเขาไฟ ส่วนใหญ่ถูกแปรสภาพ
SD	หินฟิลไลต์ หินฟิลไลต์เนื้อคาร์บอน และหินฟิลไลต์เนื้อซิลิกา

หินอัคนี

Igneous rocks

Qbs	หินแอลคาไลน์โอสิวินบะซอลต์ที่ไร้แร่ฟลอย ฮาวายไต์ มูเออร์ไรต์ หินเนฟิไลน์ที่ไร้ฟลอย หินบาซาไนต์ และหินเนฟิไลน์ฮาวายไต์
Jv	หินไรโอไลต์ หินไรโอลิติกทัฟฟ์ และหินแอนดิซิดิกทัฟฟ์
Trgr	หินไบโอไทต์แกรนิต หัวมารีนแกรนิต แกรโนไดโอไรต์ ไบโอไทต์มีสโคไวต์แกรนิต มีสโคไวต์หัวมารีนแกรนิต ไบโอไทต์หัวมารีนแกรนิต
PTru	หินไพโรกซีนไต์ หินเพอร์โดไต์ หินเซอร์เพนไทต์ และหินฮอร์นเบลนด์
PTlv	หินไรโอไลต์ แอนดิไซด์ หินทัฟฟ์แสดงการไหล หินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ หินไรโอลิติกทัฟฟ์และหินแอนดิซิดิกทัฟฟ์
Cb	หินเบสิก หินควอตซ์แกบโบร และหินพนัง
DCv	หินบะซอลต์ และหินทัฟฟ์

รูปที่ 3 (ต่อ) คำอธิบายหน่วยหินในแผนที่ธรณีวิทยาบริเวณจังหวัดเชียงราย (ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรธรณี, 2550 ค)

3.1.2 กลุ่มหินเมฟิกและอัลตราเมฟิก

ประกอบด้วย หินแกบโบร ไพรอกซีนิต์ เพอริโดไทต์ เซอร์เพนทีไนต์ และ ฮอร์นเบลนด์ กระจายตัวเป็นหย่อมเล็ก ๆ อยู่ทางตอนเหนือของจังหวัดเชียงราย บริเวณอำเภอแม่จัน อำเภอเชียงแสน และอำเภอแม่สาย ซึ่งพบว่าหินแกบโบร มีค่าสภาพรีบแมเหล็กได้สูงมากอยู่ ในช่วง $77.6-136.0 \times 10^{-3}$ SI

3.2 หินอัคนีพุ

3.2.1 หินบะซอลต์

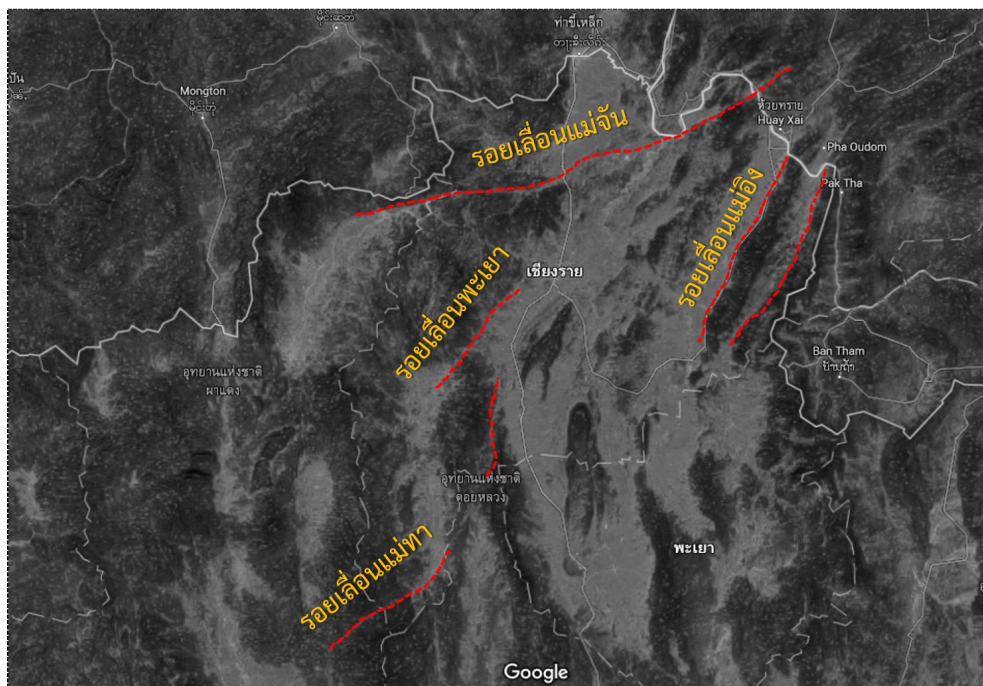
กลุ่มหินบะซอลต์ ประกอบด้วยเนื้อหิน 2 ชุด คือ หินบะซอลต์ยุคนีโอจีน (B-ng) มีสีเทา เข้มถึงดำ เนื้อละเอียด ที่ฝังประด้วยแร่ดอกจำพวกสปีเนล ซานิดิน และ หินแปรกล่อมชนิดหินเลอร์โซไลต์ ซึ่งพบเป็นหย่อมเล็ก ๆ ทางทิศเหนือของอำเภอเชียงของ บริเวณบ้านวังหลวง ตำบลเวียง มีค่าสภาพรีบแมเหล็กได้ อยู่ในช่วง $3.64-4.50 \times 10^{-3}$ SI และหินบะซอลต์ ยุคควอเทอร์นารี-เทอร์เชียรี (Bs) มีสีเทาเข้มถึงดำ เนื้อปานกลาง ที่ฝังประด้วยแร่ดอกจำพวกสปีเนล ซานิดิน และหินแปรกล่อมชนิดหินเลอร์โซไลต์เช่นเดียวกัน ซึ่งพบกระจายตัวเป็นหย่อม ๆ ทางทิศใต้ของอำเภอพญาเม็งราย และทางทิศเหนือของอำเภอเทิง มีค่าสภาพรีบแมเหล็กได้ อยู่ในช่วง $2.19-48.6 \times 10^{-3}$ SI

กลุ่มหินไรโอไรต์และหินแอนดีไซต์ ประกอบด้วยหินไรโอไรต์ หินแอนดีไซต์ หินทัฟฟ์ และหินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ พบกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างทางตอนเหนือและด้าน ตะวันออกของจังหวัดเชียงราย บริเวณอำเภอแม่จัน อำเภอแม่สาย อำเภอเชียงแสน อำเภอดอยหลวง อำเภอเชียงของ อำเภอเวียงแก่น อำเภอขุนตาล และพบในลักษณะหย่อมขนาดเล็กในเขตอำเภอ แม่ลาว นอกจากนี้ยังพบผนังหินแอนดีไซต์แทรกตัดเข้ามาในมวลหินแกรนิตในบริเวณอำเภอเชียงแสน

3.3 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

จังหวัดเชียงราย ตั้งอยู่ในบริเวณที่พบกลุ่มรอยเลื่อนที่ยังมีพลังที่สำคัญ 4 กลุ่ม ได้แก่ *กลุ่มรอยเลื่อนแม่จัน* วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งต่อเนื่องมาจากบริเวณ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว และพาดผ่านบริเวณตอนเหนือของจังหวัดเชียงรายตั้งแต่ อำเภอแม่จัน อำเภอเชียงแสน จนถึงแอ่งอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ตามแนวเส้นทางหลวงหมายเลข 1089 *กลุ่มรอยเลื่อนพะเยา* วางตัวในแนวใกล้เคียงกับกลุ่มรอยเลื่อนแม่จัน พาดผ่านบริเวณอำเภอเมือง เชียงราย และอำเภอแม่สรวย *กลุ่มรอยเลื่อนแม่อิง* วางตัวในแนวใกล้เคียงกับกลุ่มรอยเลื่อนแม่จัน พาดผ่านบริเวณอำเภอเชียงของ และอำเภอขุนตาล และ *กลุ่มรอยเลื่อนแม่ทา* วางตัวในแนวใกล้เคียง กับกลุ่มรอยเลื่อนแม่จัน พาดผ่านบริเวณอำเภอพาน และอำเภอเวียงป่าเป้า ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างทาง

ธรณีวิทยาในบริเวณนี้อยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้เป็นหลัก โดยกลุ่มรอยเลื่อนแม่จัน มีการเคลื่อนตัวไปทางซ้าย (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 กลุ่มรอยเลื่อนที่พาดผ่านในบริเวณจังหวัดเชียงราย (ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรธรณี, 2550 ค)

บทที่ 4

ธรณีวิทยาแหล่งแร่

4.1 ธรณีวิทยาแหล่งแร่ทั่วไป

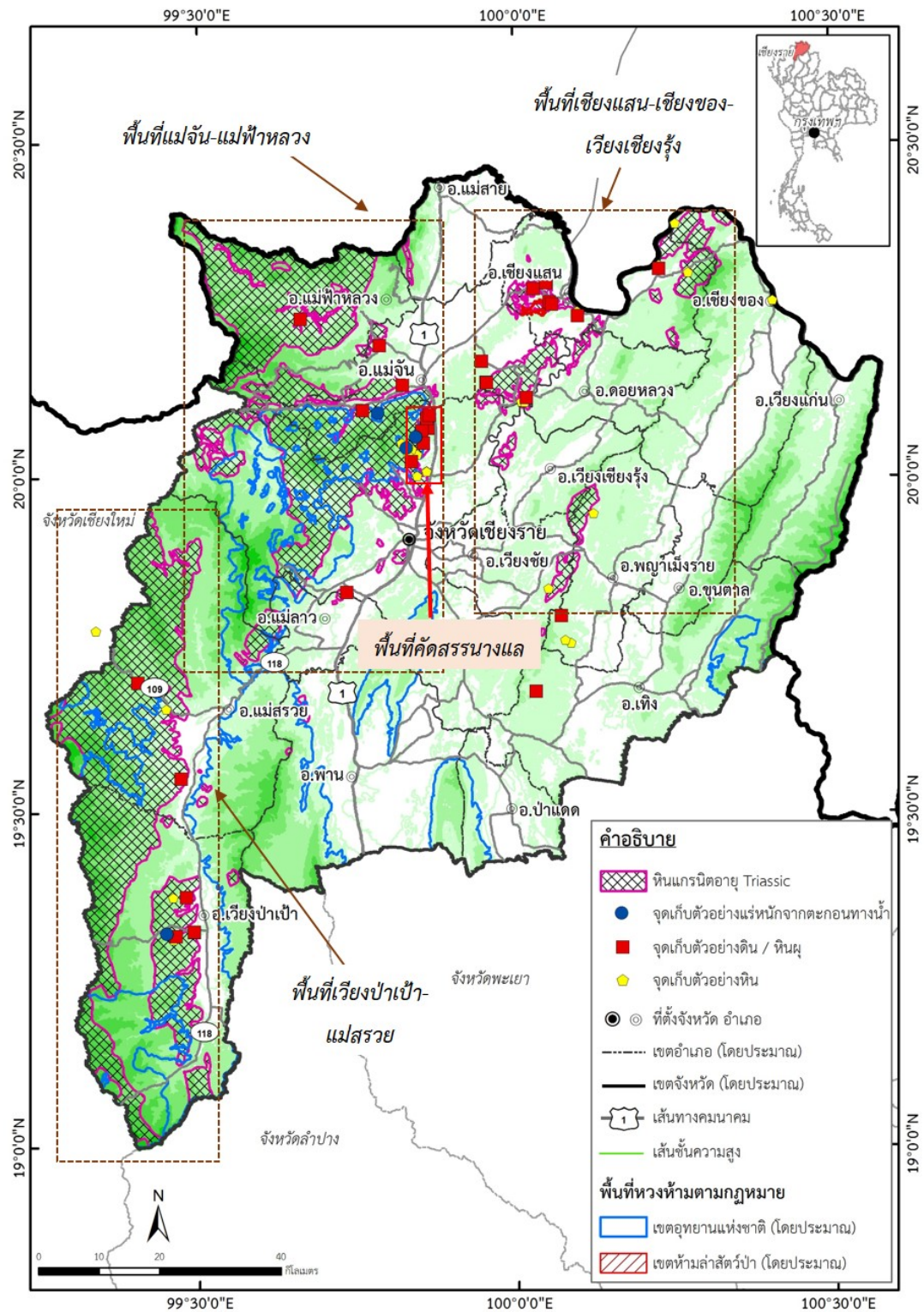
ด้วยลักษณะทางธรณีวิทยาประกอบกับภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทยนั้น มวลหินตระกูลแกรนิต เป็นมวลหินชนิดหนึ่งที่มีแนวโน้มในการให้แหล่งธาตุหายากสูง ไม่ว่าจะเป็นในลักษณะของการเป็นแหล่งให้กำเนิดแร่หนักให้ธาตุหายาก อาทิ แร่โมนาไซต์ ซีโนไทม์ แอลลาไนต์ ที่มักถูกพัดพามาสะสมตัวร่วมกับแร่ดีบุกเกิดเป็นชั้นกะสะให้แร่ (placer deposit type) หรือลักษณะของการสะสมตัวธาตุหายากในชั้นดิน/หินผุจากกระบวนการผุสลายทางเคมีอยู่กับที่ที่ปลดปล่อยประจุธาตุหายากออกมาจากโครงสร้างผลึกแร่ประกอบหิน แล้วถูกดูดซับด้วยแร่ดินที่ผุสลายแร่เฟลด์สปาร์ (ion adsorption type) ขณะเดียวกันธาตุกัมมันตรังสีทอเรียมและยูเรเนียมจะได้รับการปลดปล่อยออกมาด้วยเช่นกัน จากการศึกษาข้อมูลธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ในเบื้องต้นพบว่า พื้นที่หินแกรนิตแนวกลางในบริเวณสำรวจนั้น ประกอบด้วยหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อดอกผลึกขนาดปานกลางถึงหยาบ ซึ่งในพื้นที่ทางตอนใต้เนื้อหินบางบริเวณได้เกิดการแปรเปลี่ยนด้วยน้ำร้อน (hydrothermal alteration) ส่งผลให้แร่ไบโอไทต์บางส่วนกลายเป็นแรมส์โคไวต์ และมีการแทรกตัดด้วยสายลูโคแกรนิต สายเพกมาไทต์ และสายควอตซ์ จึงมักสัมพันธ์กับการเกิดแหล่งแร่ดีบุกและดินขาว ในอดีตเคยมีการทำเหมืองดีบุกบริเวณพื้นที่อำเภอเวียงป่าเป้าและพื้นที่ใกล้เคียง การกระจายตัวของหินแกรนิตส่วนใหญ่อยู่ในภูมิประเทศ ซึ่งเป็นแนวเทือกเขาสูงมีชั้นดิน/หินผุไม่หนา ซึ่งไม่เอื้อกับการสะสมตัวของธาตุหายาก สำหรับพื้นที่เอื้อกับการสะสมตัวของแหล่งธาตุหายากที่ได้จากกระบวนการผุพังอยู่กับที่นั้น จะอยู่บริเวณเชิงเขารอยต่อกับพื้นที่ราบ โดยจะมีความลาดชันไม่มากนัก ส่วนพื้นที่หินแกรนิตแนวตะวันออกนั้น ประกอบด้วยหินไบโอไทต์แกรนิต หินไบโอไทต์ฮอร์นเบลนด์แกรนิต และหินแกรโนไดออไรต์ โดยบางส่วนจะได้รับอิทธิพลจากกระบวนการแปรเปลี่ยนด้วยน้ำร้อนด้วยเช่นกัน ซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดแหล่งแร่ดินขาว แต่ไม่พบแหล่งแร่ดีบุกในบริเวณนี้ แม้ว่าสภาพการกระจายตัวของมวลหินแกรนิตส่วนใหญ่มีภูมิประเทศแบบเนินเขาไม่สูงชันมากนักซึ่งเอื้อต่อการเกิดแหล่งธาตุหายากแบบผุพังอยู่กับที่ แต่เนื่องจากเป็นหินแกรนิตจำพวก I-type โดยส่วนใหญ่จะมีปริมาณธาตุหายากในเนื้อหินน้อยกว่าหินแกรนิตจำพวก S-type ส่งผลให้บริเวณแนวหินแกรนิตบริเวณด้านตะวันออกนี้มีความน่าสนใจน้อยกว่าหินแกรนิตบริเวณด้านตะวันตกของจังหวัด จากการประมวลผลข้อมูลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศในพื้นที่จังหวัดเชียงราย พบว่าระดับค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสีทอเรียมเทียบเท่า (eTh) อยู่ในช่วง 50.75-0.37 ppm โดยมีค่าเฉลี่ย 16.23 ppm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 9.03 ppm จึงได้ทำการกำหนดค่าผิดปกติทอเรียมอยู่ที่ระดับค่า 35 ppm ขึ้นไป (ค่าผิดปกติทอเรียม ~ ค่าเฉลี่ย + (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน × 2)) เป็นค่าฐานในการกำหนดขอบเขต

หอย่อมพื้นที่ที่น่าจะมีศักยภาพธาตุหายากสูง โดยพื้นที่ที่แสดงค่าผิดปกติหรือเริ่มส่วนใหญ่ครอบคลุมบริเวณที่รองรับด้วยหินแกรนิตและหินภูเขาไฟอายุเพอร์โม-ไทรแอสซิก ในเขตอำเภอเวียงป่าเป้า แม่สรวย แม่ลาว เมือง แม่จัน แม่ฟ้าหลวง และเชียงแสน แต่หอย่อมพื้นที่ที่แสดงค่าความเข้มข้นตรงสี่ทอเรียมระดับสูงมากจะอยู่ในบริเวณอำเภอเมืองและแม่จันเป็นส่วนใหญ่ และจากผลศึกษาการกำเนิดธาตุหายากในหินแกรนิตบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย (กิงดาว เคลือบทอง และคณะ, 2557) ได้ให้ข้อสรุปเบื้องต้นว่า ระดับค่าความเข้มข้นตรงสี่ทอเรียมจากผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศในพื้นที่ศึกษา แสดงแนวโน้มความสัมพันธ์แบบผันตรงกับปริมาณธาตุหายากในเนื้อหินแกรนิต ดังนั้นในการกำหนดกรอบพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้นเพื่อสำรวจและประเมินศักยภาพธาตุหายากและธาตุกัมมันตรังสีแฝง จึงใช้ข้อมูลธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ซึ่งบ่งบอกลักษณะการกระจายตัวของหินแกรนิตในพื้นที่ ประกอบกับข้อมูลระดับค่าความเข้มข้นตรงสี่ทอเรียมจากผลการบินสำรวจเป็นปัจจัยพื้นฐานในการช่วยคัดเลือกพื้นที่ที่น่าจะมีศักยภาพธาตุหายากและธาตุกัมมันตรังสีแฝง จึงได้เลือกกำหนดบริเวณพื้นที่หอย่อมหินแกรนิต จำนวน 3 พื้นที่ ประกอบด้วย พื้นที่ (1) “แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง” (2) “เวียงป่าเป้า-แม่สรวย” และ (3) “เชียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง” (รูปที่ 5) เป็นพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้นสำหรับการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่เฉพาะแหล่งต่อไป

4.2 ธรณีวิทยาแหล่งแร่เฉพาะแหล่ง

ในการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่เฉพาะแหล่ง ได้ดำเนินสำรวจหาปริมาณแร่หนักตกค้างด้วยการร่อนเลียงตะกอนชั้นกะสะทางน้ำ (ด้วยปริมาตรตัวอย่าง 10 ลิตร) ควบคู่กับร่อนเลียงหาปริมาณแร่หนักตกค้างในชั้นดิน/หินผุ (ด้วยปริมาตรตัวอย่าง 10 ลิตร) ครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้นทั้ง 3 พื้นที่ (โดยหัวแร่ได้จากการร่อนเลียงทุกตัวอย่าง จะผ่านขั้นตอนการลอยแร่ด้วยสารละลายโบรโมฟอร์ม ก่อนที่จะส่งวินิจฉัยชนิดแร่หนัก) และทำการเก็บตัวอย่างหินแกรนิตสด และชั้นดิน/หินแกรนิตผุ เพื่อส่งวิเคราะห์เคมีด้วยวิธี ICP-MS หาปริมาณธาตุหายากและธาตุรองรอยอื่น ๆ (บดตัวอย่างด้วยชุดหัวบดเซรามิกส์) และด้วยวิธี XRF หาปริมาณธาตุองค์ประกอบหลัก สำหรับนำมาประเมินระดับการผุพังทางเคมีโดยพิจารณาจากค่า CIA (Chemical Index of Alteration) (บดตัวอย่างด้วยชุดหัวบดทั้งสเตนคาร์ไบด์) และทำการวัดค่ากัมมันตรังสีภาคพื้นดินด้วยเครื่อง Gamma-ray spectrometer ของตัวอย่างหิน/ดิน/หินแกรนิตผุ ดังแสดงการเปรียบเทียบผลไว้ในตารางที่ 3 นอกจากนี้ยังทำการเก็บตัวอย่างหินสด จำนวน 20 ตัวอย่าง ส่งทำแผ่นหินบาง เพื่อศึกษารูปแบบการสะสมตัว และการเกิดธาตุกัมมันตรังสีแฝงและธาตุหายาก

ทั้งนี้ได้ทำการวัดค่ากัมมันตรังสีภาคพื้นดินด้วยเครื่อง Gamma-ray spectrometer ของตัวอย่างหิน/ดิน/หินผุ รวม 188 จุด ซึ่งให้ค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสีโพแทสเซียม (K) อยู่ในช่วงร้อยละ 0.07-5.93 (ค่าเฉลี่ย 2.20 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.64) ค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสียูเรเนียม (eU) อยู่ในช่วง 0.47-19.93 ppm (ค่าเฉลี่ย 8.49 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.73 ppm) และค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสีทอเรียม (eTh) อยู่ในช่วง 0.23-95.80 ppm (ค่าเฉลี่ย 34.25 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

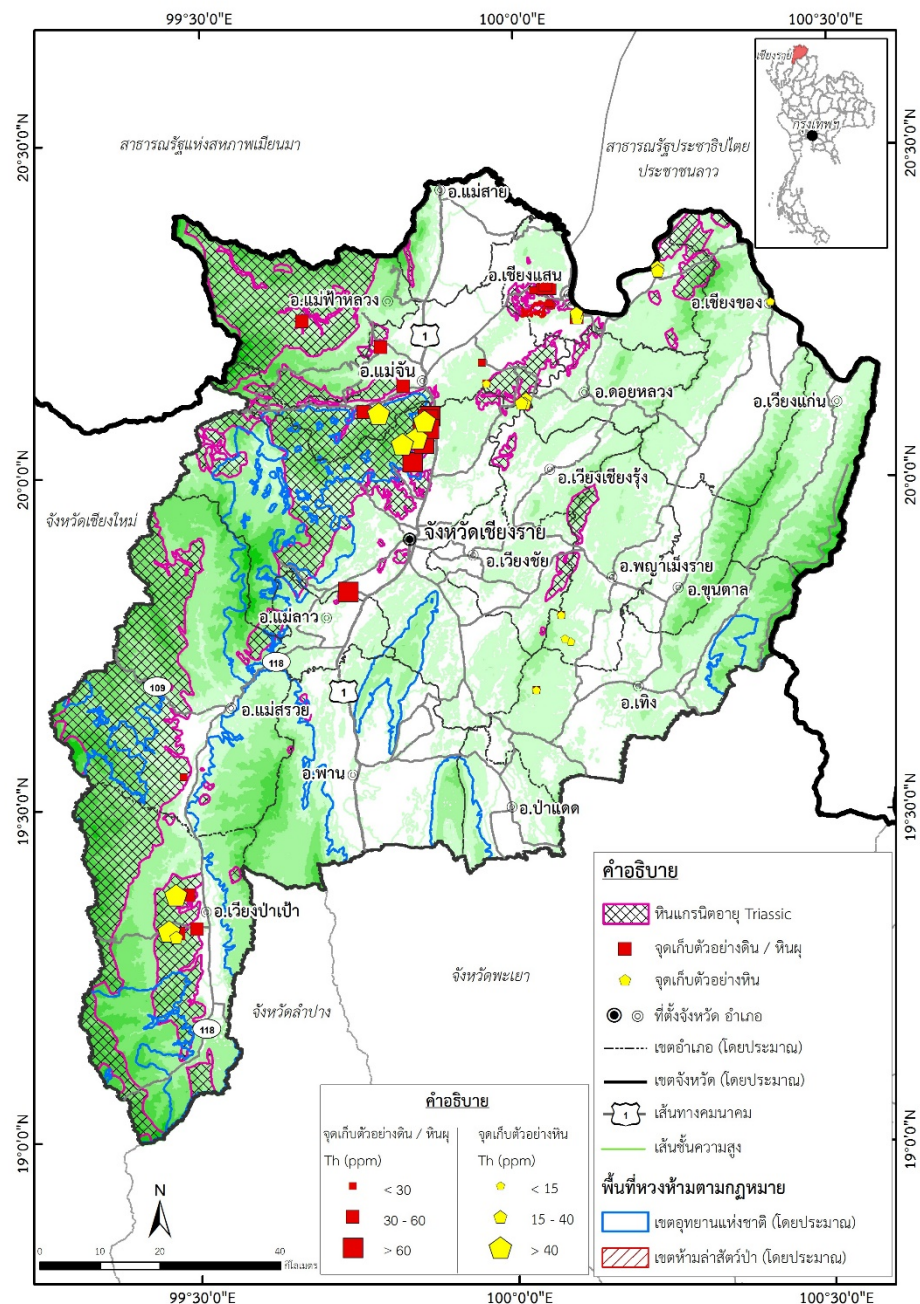


รูปที่ 5 แผนที่ภูมิประเทศ เขตการปกครอง พร้อมขอบเขตการกระจายตัวของหินแกรนิตและห่อมพื้นที่มีค่าผิดปกติของความเข้มข้นมันตรังสีธาตุทอเรียม (Th) ที่ได้จากการแปลผลการบินสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ บริเวณจังหวัดเชียงราย พร้อมกรอบพื้นที่เป้าหมาย 3 พื้นที่ และกรอบพื้นที่คัดสรรนางแล

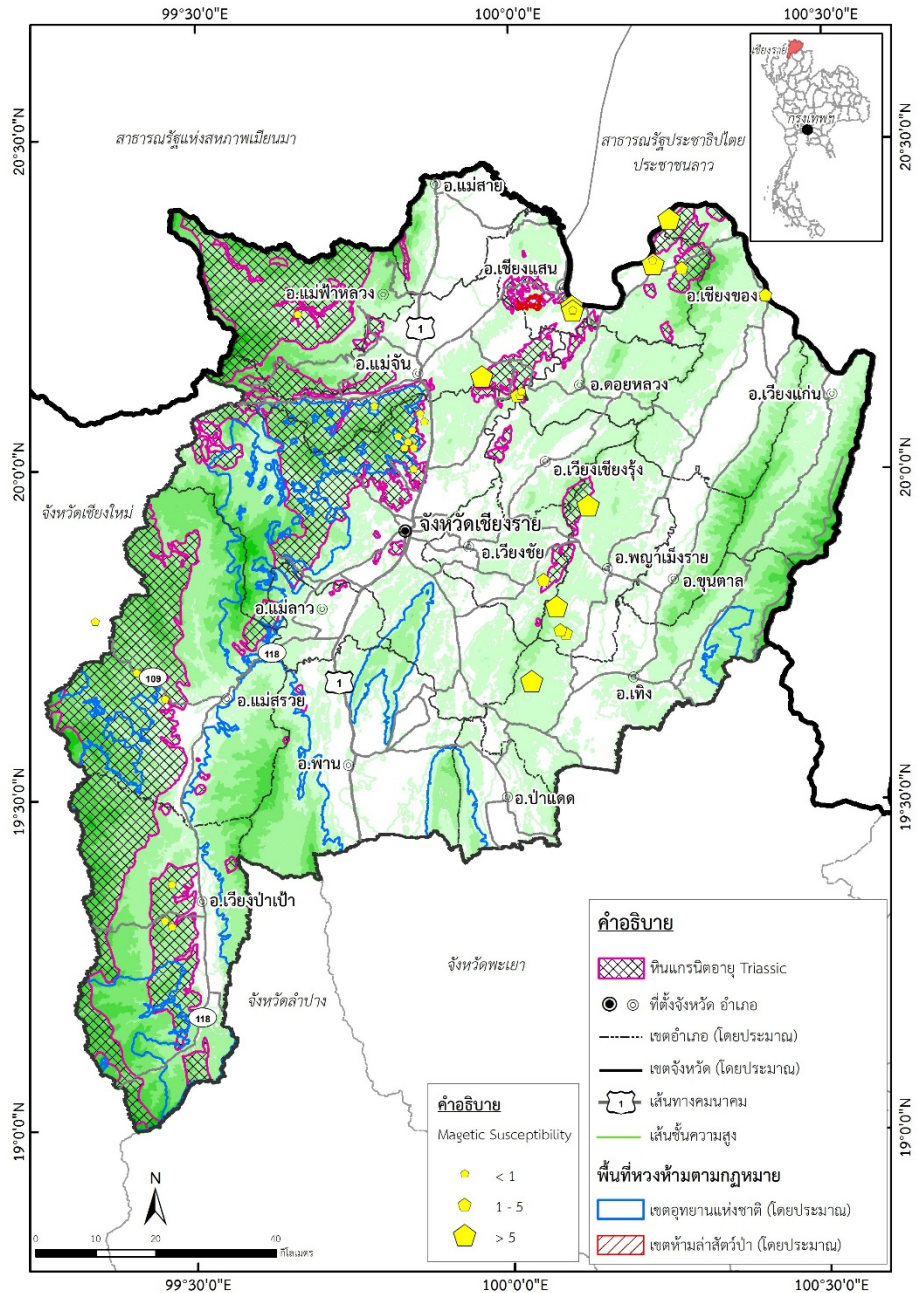
ตารางที่ 3 สรุปเปรียบเทียบผลสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่เฉพาะแหล่งและผลวิเคราะห์เคมีในพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้นทั้ง 3 พื้นที่

พื้นที่/ชนิดหิน	แม่จัน – แม่ฟ้าหลวง		เวียงป่าเป้า – แม่สรวย	เชียงแสน – เชียงของ – เวียงเชียงรุ้ง	
	หินแกรนิต	หินแก่งภูเขาไฟและ หินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ	หินแกรนิต	หินแกรนิต	หินแกรโนไดออไรต์ และหินแกบโบร
ค่าความเป็นแม่เหล็ก ($\times 10^{-3}$ SI)	0.08 – 0.15		0.03 – 0.12	0.11 – 19.72	0.03 – 116.66
<u>ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นมาตรฐานสภาพพื้นดิน</u>					
ดิน/หินผุ : หิน					
โพแทสเซียม (K) (%)	1.78 : 4.37	3.11 : -	1.03 : 4.94	2.63 : 3.65	0.39 : 2.45
ยูเรเนียม (U) (ppm)	16.08 : 17.26	9.36 : -	10.14 : 12.94	6.53 : 6.95	2.33 : 5.27
ทอเรียม (Th) (ppm)	65.46 : 46.12	45.41 : -	47.51 : 39.40	36.89 : 26.53	5.95 : 17.97
<u>ปริมาณแร่หนักรวม (g/m³)</u>					
ตะกอนทางน้ำ	50 -110	230		-	
ชั้นดิน	1.48 – 480.57	10.76 – 1,721.80		2.91 – 22,598.36	
<u>ปริมาณธาตุหายากรวม (ppm)</u>					
ดิน/หินผุ	220.31 – 422.43	167.97 – 888.70	55.80 – 470.56	158.66 – 529.26	21.04 – 139.77
ค่าเฉลี่ย	351.13	412.41	264.56	288.32	35.72
ค่า SD	60.56	179.33	135.74	97.42	32.17
ค่าเฉลี่ย HREY:LREE	13:87	14:86	24:76	20:80	34:66
ค่า CIA	83.40 – 98.74	78.94 – 98.82	83.64 – 98.64	79.19 – 98.36	60.30 – 99.40
หิน	17.94 – 272.88	-	186.96 – 361.47	154.14 – 258.33	96.59 – 112.79
ค่าเฉลี่ย	192.61	-	286.40	194.51	104.69
ค่า SD	103.96	-	66.06	44.61	11.46
ค่าเฉลี่ย HREY:LREE	28:72	-	24:76	22:78	39:61
ค่า CIA	41.41 – 52.59	-	51.99 – 52.50	49.47 – 75.14	41.54 – 43.71

23.94 ppm) พบว่าหอย่อมพื้นที่ที่มีค่าผิดปกติของความเข้มข้นมันตรังสีธาตุทอเรียมีส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่บริเวณพื้นที่อำเภอแม่จัน และทางทิศเหนือของอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นหินแกรนิตแนวกลางจำพวก S-type เป็นส่วนใหญ่ (รูปที่ 6) และได้ทำการวัดค่าสภาพรับแม่เหล็กได้อของตัวอย่างหิน รวม 42 จุด พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง $0.03-116.66 \times 10^{-3}$ SI (ค่าเฉลี่ย 7.06 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 19.20×10^{-3} SI) พื้นที่ที่มีค่าผิดปกติของค่าสภาพรับแม่เหล็กได้ออยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัดเชียงราย บริเวณอำเภอเชียงของ เชียงแสน เวียงเชียงรุ้ง และอำเภอดอยหลวง จังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นหินแกรนิตแนวตะวันออก จำพวก I-type หินแกบโบร และหินไดออไรต์ (รูปที่ 7) โดยผลการสำรวจเบื้องต้นในแต่ละพื้นที่มีดังนี้



รูปที่ 6 แสดงผลการวัดค่าความเข้มข้นมันตรังสีธาตุทอเรียม (Th) ในชั้นดิน/หินผุ



รูปที่ 7 แผนที่แสดงผลการวัดค่าสภาพแม่เหล็กได้ในหิน

4.2.1 พื้นที่ “แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง”

พื้นที่เป้าหมายเบื้องต้นที่ 1 “แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง” ตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอเมือง แม่จัน และอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ลักษณะภูมิประเทศบริเวณทางด้านตะวันตกเป็นภูเขาสูงไม่ค่อยเอื้อกับการสะสมตัวของแหล่งแร่แบบฝังอยู่กับที่ สำหรับบริเวณตอนกลางของพื้นที่ เป็นพื้นที่ราบสลับกับเนินเขาไม่สูงชันซึ่งเอื้อกับการพัฒนาของแหล่งแร่แบบฝังอยู่กับที่มากกว่า เช่นเดียวกับบริเวณทางด้านตะวันตกและตอนเหนือของเขตอำเภอเมืองต่อกับอำเภอแม่จัน (รูปที่ 8 ก) เนื้อหินแกรนิตในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อดอก ผลึกขนาดปานกลางเป็นส่วนใหญ่

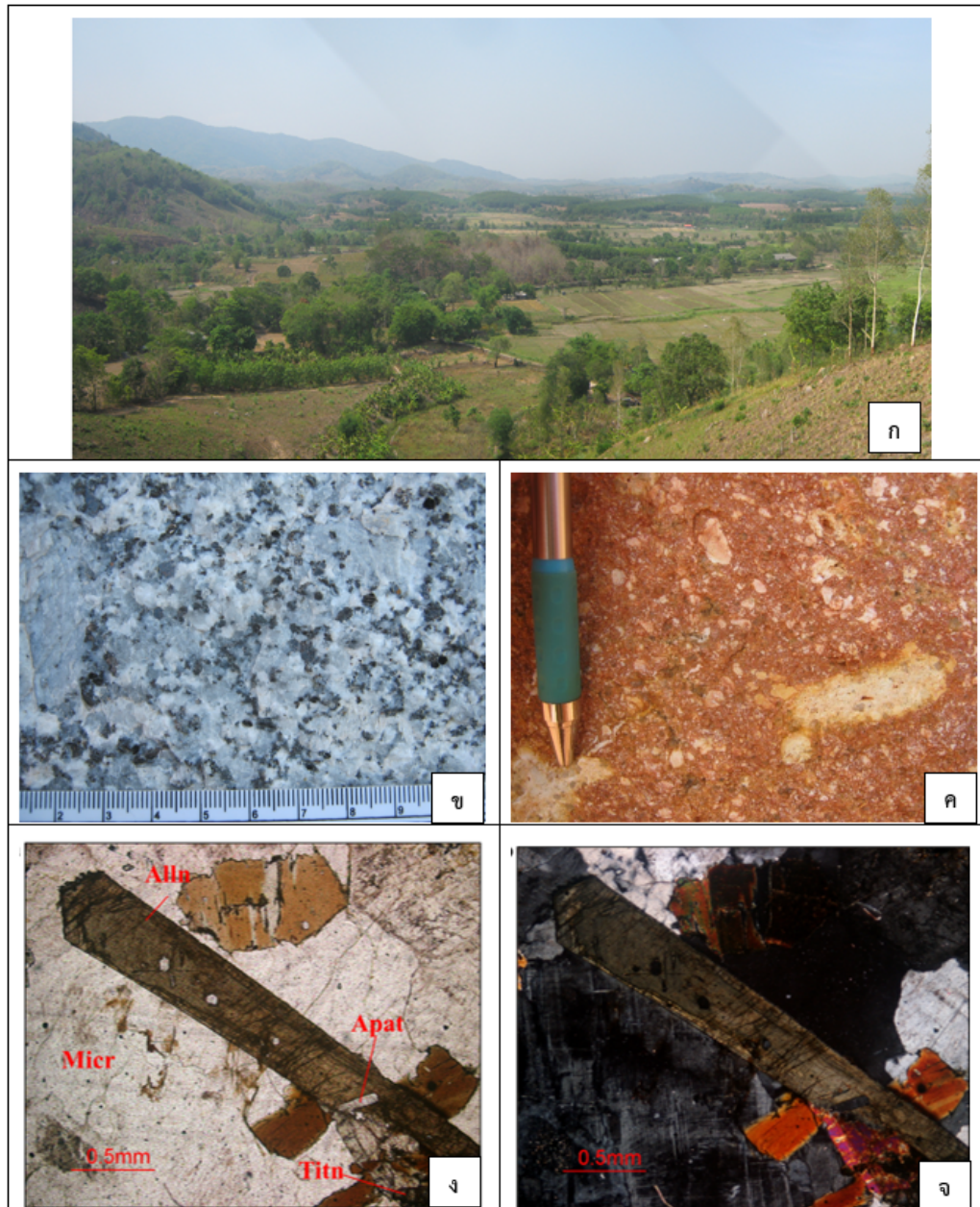
และพบผลึกขนาดหยาบบ้างเล็กน้อย (รูปที่ 8 ข) จากผลการศึกษาศิลาวรรณนา จำนวน 2 ตัวอย่าง พบว่าเป็นหินอัคนีระดับลิกชนิดหินมอนโซแกรนิต และหินแกรโนไดออไรต์ (รูปที่ 8 ง และ จ)

ในบริเวณพื้นที่ราบสลับกับเนินเขาไม่สูงชัน พบว่าชั้นดิน/หินผุแสดงลักษณะการผุสลายทางเคมีในระดับปานกลาง-สูงใกล้เคียงกับพื้นที่ “เวียงป่าเป้า-แม่สรวย” แต่หินในบริเวณนี้จะได้รับอิทธิพลจากกระบวนการแปรเปลี่ยนด้วยสายแร่ร้อนน้อยกว่ามาก นอกจากนี้ยังพบการกระจายตัวของหินภูเขาไฟ/หินกรวดภูเขาไฟหยาบเล็ก ๆ บริเวณอำเภอแม่ลาว (รูปที่ 8 ค) ซึ่งแสดงลักษณะการผุสลายทางเคมีในระดับสูง เนื้อหินแกรนิตมีค่าสภาพรีดแม่เหล็กได้อยู่ในช่วง $0.08-0.15 \times 10^{-3}$ SI ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ บ่งชี้เบื้องต้นว่าหินแกรนิตในบริเวณนี้น่าจะเป็นกลุ่มหินแกรนิตประเภท ilmenite series และได้ทำการวัดค่ากัมมันตรังสีภาคพื้นดินทั้งสิ้น 77 จุด โดยแบ่งเป็นตัวอย่างดิน/หินแกรนิตผุ จำนวน 56 จุด พบว่ามีค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสีโพแทสเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.48-4.00 ค่าเฉลี่ย 1.78 (ค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสียูเรเนียมอยู่ในช่วง 13.76-19.60 ppm ค่าเฉลี่ย 16.08 และค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสีทอเรียมอยู่ในช่วง 48.92-76.59 ppm ค่าเฉลี่ย 65.46 ตัวอย่างหินแกรนิต จำนวน 4 จุด พบว่ามีค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสีโพแทสเซียมอยู่ในช่วง ร้อยละ 4.20-4.63 ค่าเฉลี่ย 4.37 ค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสียูเรเนียมอยู่ในช่วง 13.07-19.93 ppm ค่าเฉลี่ย 17.26 และค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสีทอเรียมอยู่ในช่วง 40.20-50.03 ppm ค่าเฉลี่ย 46.12 และดิน/หินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ/หินเถ้าภูเขาไฟผุ พบว่ามีค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสีโพแทสเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.49-4.23 ค่าเฉลี่ย 3.11 ค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสียูเรเนียมอยู่ในช่วง 5.35-19.70 ppm ค่าเฉลี่ย 9.36 และค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสีทอเรียมอยู่ในช่วง 30.17-95.80 ppm ค่าเฉลี่ย 45.41

จากผลการร่อนเลียงในพื้นที่ “แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง” นี้ พบว่ามีปริมาณแร่หนักตกค้างอยู่ในช่วง 50-110 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 83.33 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในตะกอนทางน้ำ จำนวน 3 จุดเก็บตัวอย่าง มีปริมาณแร่หนักตกค้างในตัวอย่างดิน/หินแกรนิตผุ จำนวน 72 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 1.48-480.57 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 57.16 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร แร่หนักที่พบส่วนใหญ่เป็นเซอร์คอน มีความสมบูรณ์อยู่ในช่วง 0.35-129.63 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาได้แก่ อิลเมไนต์ ฮีมาไทต์ ซีไลต์ ไพไรต์ แมกนีไทต์ ทัวร์มาลีน โมนาไซต์-ซีโนไทม์ และการ์เนต นอกจากนี้ยังพบเอพิโดต แร่ในตระกูลรูไทล์ ดีบุก และทอไรต์

จากผลวิเคราะห์เคมีตัวอย่างดิน/หินแกรนิตผุ จำนวน 23 ตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 220.31-422.43 ppm ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 351.13 ppm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 60.56 ppm ทอเรียมเฉลี่ย 74.05 ppm ยูเรเนียมเฉลี่ย 25.87 ppm และมีค่า CIA ในช่วง 83.40-98.74% ส่วนตัวอย่างหินแกรนิต จำนวน 5 ตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 17.94-272.88 ppm ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 192.61 ppm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 103.96 ppm ทอเรียมเฉลี่ย 31.62 ppm ยูเรเนียมเฉลี่ย 12.83 ppm และมีค่า CIA ในช่วง 41.41-52.59% ซึ่งทั้งหิน/ดินแกรนิตผุ และหินแกรนิต มีอัตราส่วนธาตุหายากหนักต่อธาตุหายากเบาเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ 13:87 และ 28:72 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างดิน/หินเถ้าภูเขาไฟและหินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟผุ จำนวน 19 ตัวอย่าง

มีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 167.97-888.70 ppm ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 412.41 ppm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน อยู่ที่ 179.33 ppm ทอเรียมเฉลี่ย 52.62 ppm ยูเรเนียมเฉลี่ย 11.69 ppm และมีค่า CIA ในช่วง 78.94-98.82% มีอัตราส่วนธาตุหายากหนักต่อธาตุหายากเบาเฉลี่ย 14:86



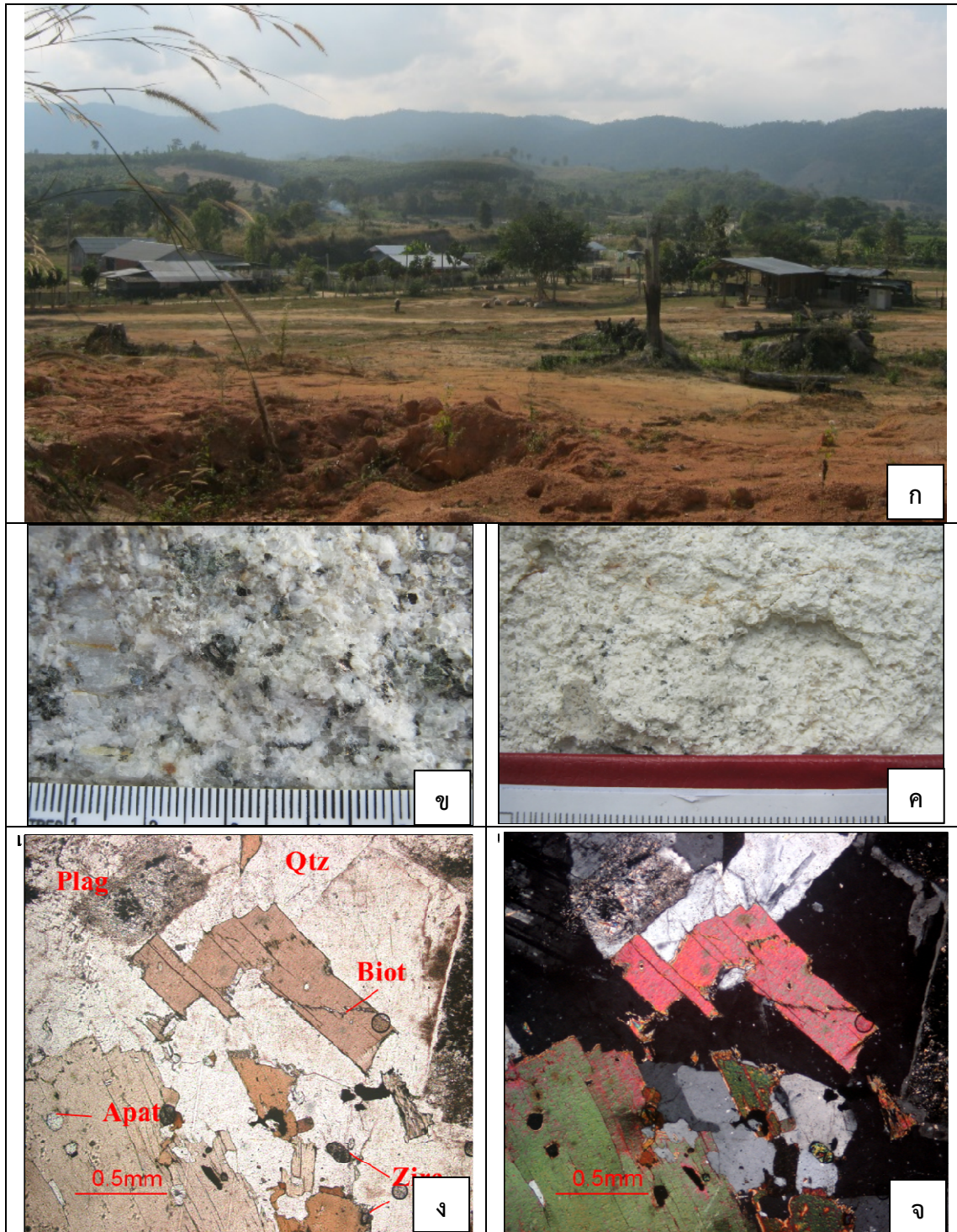
รูปที่ 8 (ก) ลักษณะภูมิประเทศพื้นที่ “แม่จัน - แม่ฟ้าหลวง” เป็นที่ราบสลับเนินเขาไม่สูงชัน
 (ข) ลักษณะเนื้อหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อดอก ผลึกขนาดปานกลาง
 (ค) ลักษณะเนื้อหินภูเขาไฟ/หินกรวดภูเขาไฟ ซึ่งให้ชั้นดิน/หินผุหนา
 (ง) และ (จ) ลักษณะทางคิลาบรรณนาของหินมอนโซแกรนิต (ตัวอย่างหมายเลข CR019Rk) ประกอบด้วย ไมโครโคลน์ (Micr), แอลลาไนต์ (Alln), ไททาไนต์ (Titn) และอะพาไทต์ (Apat)
 (ง) ภายใต้แสงส่องผ่านธรรมดา (จ) ภายใต้แสงส่องผ่านอนาไรเซอร์

4.2.2 พื้นที่ “เวียงป่าเป้า-แม่สรวย”

พื้นที่เป้าหมายเบื้องต้นที่ 2 “เวียงป่าเป้า-แม่สรวย” ตั้งอยู่ในเขตอำเภอเวียงป่าเป้า และอำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย ลักษณะภูมิประเทศบริเวณทางด้านตะวันตกของพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นภูเขาสูงชันไม่เอื้อกับการสะสมตัวของแหล่งแร่แบบฝังอยู่กับที่ ขณะที่บริเวณด้านตะวันออกของพื้นที่ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นเนินเขาเตี้ย ๆ มีอัตราการพังทลายต่ำ ซึ่งเอื้อกับการพัฒนาชั้นดิน/หินแกรนิตผุดอยู่กับที่มากกว่า แต่ทั้งนี้พื้นที่บางส่วนได้ผ่านการชะล้างจากการทำเหมืองดีบุกในอดีต ส่งผลให้ชั้นดิน/หินผุในบริเวณดังกล่าวมีความหนาไม่มากนัก (รูปที่ 9 ก) เนื้อหินแกรนิตในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นหินเนื้อดอก ทั้งชนิดหินไบโอไทต์แกรนิต และไบโอไทต์-มัสโคไวต์แกรนิต (รูปที่ 9 ข) ผลึกขนาดปานกลางถึงหยาบ นอกจากนี้ยังพบหินลูโกลิไทต์ สายเพกมาไทต์ สายแอไพต์ และสายแร่ควอตซ์แทรกตัดเข้ามาในบางบริเวณ (รูปที่ 9 ค) และลักษณะเนื้อหินแกรนิตในบริเวณนี้มักจะได้รับอิทธิพลจากกระบวนการเปลี่ยนสภาพด้วยน้ำร้อน โดยเฉพาะในบริเวณอำเภอเวียงป่าเป้า ชั้นดิน/หินผุในบริเวณพื้นที่ราบหรือเนินเขาเตี้ย ๆ มีการผุสลายทางเคมีในระดับปานกลาง-สูง ในบริเวณที่เนื้อหินเกิดการเปลี่ยนสภาพไปเป็นดินขาว (kaolinization) บางจุดพบว่าพบชั้นดิน/หินผุมีความหนามากกว่า 20 เมตร จากผลการศึกษาตีความจำนวน 4 ตัวอย่าง พบว่าเป็นหินอัคนีระดับลึกชนิดหินมอนโซแกรนิตและหินไซโอโนแกรนิต (รูปที่ 9 ง-จ)

เนื้อหินแกรนิตมีค่าสภาพรีบแมเหล็กได้ อยู่ในช่วง $0.03-0.12 \times 10^{-3}$ SI ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ บ่งชี้เบื้องต้นว่าหินแกรนิตในบริเวณนี้น่าจะเป็นกลุ่มหินแกรนิตประเภท ilmenite series และได้ทำการวัดค่ากัมมันตรังสีภาคพื้นดินทั้งสิ้น 29 จุด โดยแบ่งเป็นตัวอย่างดิน/หินแกรนิตผุ จำนวน 26 จุด พบว่ามีค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสีโพแทสเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.33-2.92 ค่าเฉลี่ย 1.03 ค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสียูเรเนียมอยู่ในช่วง 5.55-14.35 ppm ค่าเฉลี่ย 10.14 และค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสีทอเรียมอยู่ในช่วง 11.48-58.12 ppm ค่าเฉลี่ย 47.51 และตัวอย่างหินแกรนิต จำนวน 3 จุด พบว่ามีค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสีโพแทสเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 4.40-5.43 ค่าเฉลี่ย 4.94 ค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสียูเรเนียมอยู่ในช่วง 9.73-18.37 ppm ค่าเฉลี่ย 12.94 และค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสีทอเรียมอยู่ในช่วง 27.60-49.00 ppm ค่าเฉลี่ย 39.40

จากผลการร่อนเลียงในพื้นที่ “เวียงป่าเป้า-แม่สรวย” พบว่ามีปริมาณแร่หนักตกค้าง 230 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในตะกอนทางน้ำ จำนวน 1 จุดเก็บตัวอย่าง และในตัวอย่างดิน/หินแกรนิตผุ จำนวน 28 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 10.76-1,721.80 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 248.96 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งแร่หนักที่พบส่วนใหญ่เป็นทัวร์มาลีน ค่าความสมบูรณ์อยู่ในช่วง 0.64-1,054.12 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาได้แก่ ฮีมาไทต์ เซอร์คอน อิลเมไนต์ แร่ในตระกูลรูไทล์ โมนาไซต์-ซิโนไทม์ แมกนีไทต์ และดีบุก



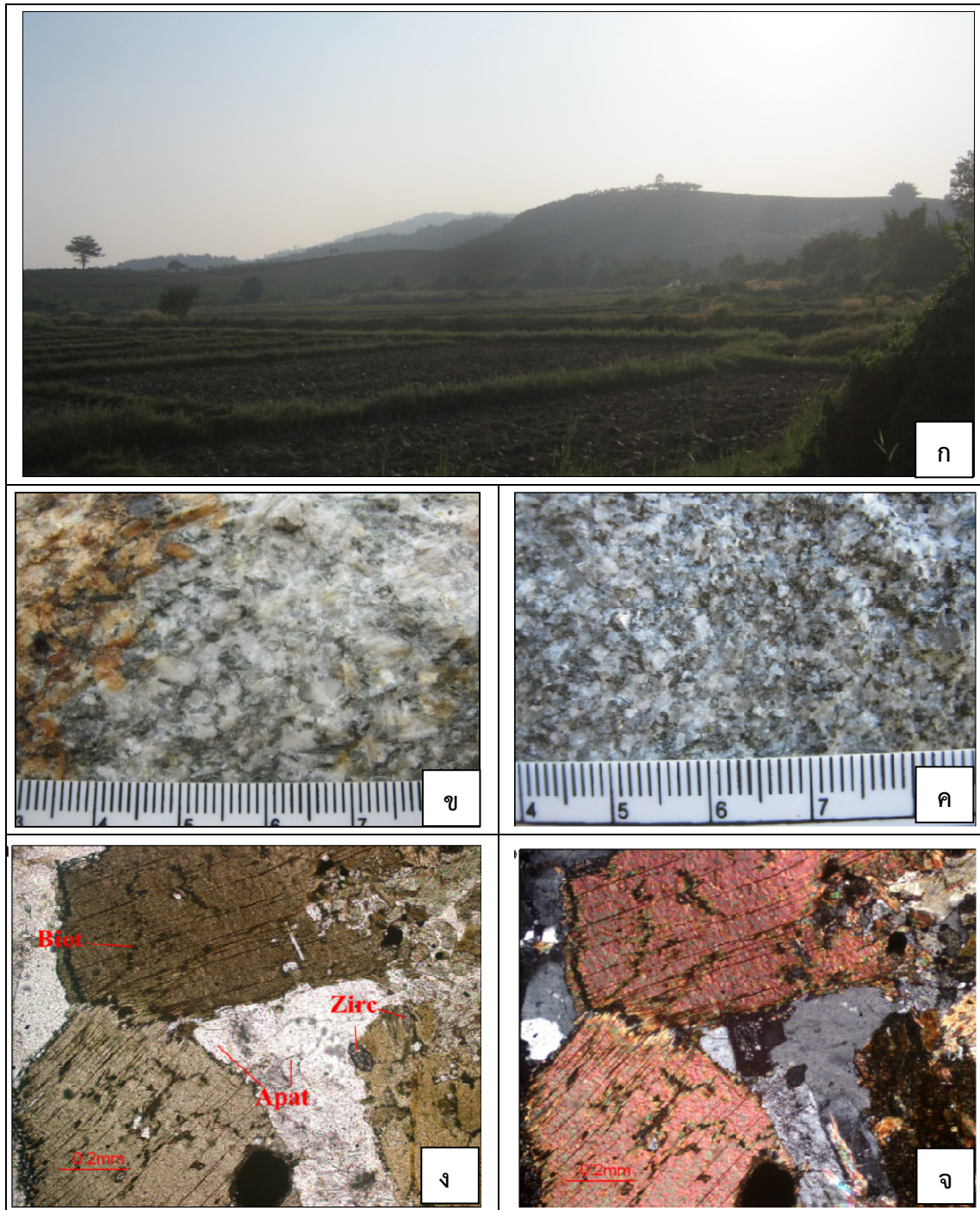
รูปที่ 9 (ก) ลักษณะภูมิประเทศพื้นที่ “เวียงป่าเป้า-แม่สรวย” มีลักษณะเป็นภูเขาสูงชันสลับเนินเขาเตี้ย ๆ
 (ข) ลักษณะเนื้อหินไบโอไทต์-มัสโคไวต์แกรนิต ผลึกขนาดปานกลางถึงหยาบ
 (ค) ลักษณะเนื้อหินลูโคแกรนิต
 (ง) และ (จ) ลักษณะทางสีลาบรรณนาของหินมอนโซแกรนิต (ตัวอย่างหมายเลข CR030Rk
 บริเวณพิกัด 542439E / 2177736N อ.แม่สรวย จ.เชียงราย) ประกอบด้วยควอตซ์ (Qtz),
 แพลจิโอเคลส (Plag), ไบโอไทต์ (Biot), เซอร์คอน (Zirc) และอะพาไทต์ (Apat)
 (ง) ภายใต้งแสงส่องผ่านธรรมดา (จ) ภายใต้งแสงส่องผ่านอนาไรเซอร์

จากผลวิเคราะห์เคมีตัวอย่างดิน/หินแกรนิตผุ จำนวน 17 ตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 55.80-470.56 ppm ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 264.56 ppm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 135.74 ppm และมีค่า CIA ในช่วง 83.64-98.64% ทอเรียมเฉลี่ย 43.04 ppm และยูเรเนียมเฉลี่ย 12.99 ppm ส่วนตัวอย่างหินแกรนิต จำนวน 5 ตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 186.96-361.47 ppm ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 286.40 ppm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 66.06 ppm และมีค่า CIA ในช่วง 51.99-52.50% ทอเรียมเฉลี่ย 36.94 ppm และยูเรเนียมเฉลี่ย 11.68 ppm ซึ่งทั้งดิน/หินแกรนิตผุ และหินแกรนิต มีอัตราส่วนธาตุหายากหนักต่อธาตุหายากเบาเฉลี่ยเท่ากัน คือ 24:76

4.2.3 พื้นที่ “เชียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง”

พื้นที่เป้าหมายเบื้องต้นที่ 3 พื้นที่ “เชียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง” ตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอเชียงแสน เชียงของ ดอยหลวง เวียงเชียงรุ้ง เวียงชัย พญาเม็งราย และบางส่วนของอำเภอขุนตาล จังหวัดเชียงราย ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่ของพื้นที่นี้จะเป็นเนินเขาเตี้ย ๆ ซึ่งเกี่ยวกับการพัฒนาของชั้นดิน/หินผุอยู่กับที่ (รูปที่ 10 ก) เนื้อหินแกรนิตในพื้นที่นี้ประกอบด้วยเป็นหินไบโอไทต์-ฮอร์นเบลนด์แกรนิต (รูปที่ 10 ข) หินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อดอก (รูปที่ 10 ค) และหินแกรโนไดออไรต์ เนื้อขนาดปานกลางถึงหยาบ เนื้อหินแกรนิตบางบริเวณมีการเปลี่ยนสภาพด้วยน้ำร้อนเป็นเนื้อดินขาว จากผลการศึกษาศิลาบรรณานุกรม จำนวน 6 ตัวอย่าง พบว่าหินในพื้นที่เป็นหินอัคนีระดับลึก ชนิดหินควอตซ์-ไมโครแกรโน/ไมโครไดออไรต์ หินโทนาไลต์ หินแกรโนไดออไรต์ และหินมอนโซแกรนิต และเป็นหินภูเขาไฟ ชนิดหินควอตซ์แอลคาไลเฟลด์สปาร์ไรโอไลต์ (รูปที่ 10 ง-จ) ในบริเวณอำเภอเชียงแสน และอำเภอพญาเม็งราย บริเวณพื้นที่ราบหรือเนินเขาเตี้ย ๆ มีการระดับการผุพังของชั้นดิน/หินผุในระดับปานกลาง-สูง โดยเฉพาะบริเวณที่หินได้รับอิทธิพลจากกระบวนการแปรเปลี่ยนเป็นดินขาว อาจพบชั้นดิน/หินผุมากกว่า 20 เมตร

เนื้อหินแกรนิตในพื้นที่นี้มีค่าสภาพรีบแม่เหล็กได้ ที่แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีค่าค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง $0.11-0.31 \times 10^{-3}$ SI บ่งชี้ว่าน่าจะเป็น ilmenite series และกลุ่มที่มีค่าสูงมากอยู่ในช่วง $4.10-6.97 \times 10^{-3}$ SI บ่งชี้ว่าน่าจะเป็น magnetite series และได้ทำการวัดค่ากัมมันตรังสีภาคพื้นดินทั้งสิ้น 75 จุด โดยแบ่งเป็นตัวอย่างดิน/หินแกรนิตผุ จำนวน 43 จุด พบว่ามีค่าความเข้มกัมมันตรังสีโพแทสเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 2.30-3.04 ค่าเฉลี่ย 2.63 ค่าความเข้มกัมมันตรังสียูเรเนียมอยู่ในช่วง 5.40-8.11 ppm ค่าเฉลี่ย 6.53 และค่าความเข้มกัมมันตรังสีทอเรียมอยู่ในช่วง 22.00-86.61 ppm ค่าเฉลี่ย 36.89 ตัวอย่างหินแกรนิต จำนวน 5 จุด พบว่ามีค่าความเข้มกัมมันตรังสีโพแทสเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 3.03-4.23 ค่าเฉลี่ย 3.65 ค่าความเข้มกัมมันตรังสียูเรเนียมอยู่ในช่วง 4.53-8.83 ppm ค่าเฉลี่ย 6.95 และค่าความเข้มกัมมันตรังสีทอเรียมอยู่ในช่วง 21.57-36.07 ppm ค่าเฉลี่ย 26.53 ตัวอย่างดิน/หินแกรโนไดออไรต์ และหินแกรโนไดออไรต์ จำนวน 21 จุด พบว่ามีค่าความเข้มกัมมันตรังสีโพแทสเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.08-1.06 ค่าเฉลี่ย 0.39 ค่าความเข้มกัมมันตรังสียูเรเนียมอยู่ในช่วง 0.47-6.79 ppm ค่าเฉลี่ย 2.33 และค่าความเข้มกัมมันตรังสีทอเรียมอยู่ในช่วง 0.25-19.74 ppm



รูปที่ 10 (ก) ลักษณะภูมิประเทศพื้นที่ “เชียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง” มีลักษณะเป็นเนินเขาเตี้ย ๆ สลับที่ราบ
 (ข) ลักษณะเนื้อหินไบโอไทต์-ฮอร์นเบลนด์แกรนิต ผลึกขนาดปานกลางถึงหยาบ
 (ค) ลักษณะเนื้อหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อดอก ผลึกขนาดปานกลาง
 (ง) และ (จ) ลักษณะทางคิลาวรรณนาของหินแกรนิตไดออไรต์ (ตัวอย่างหมายเลข CR034Rk
 บริเวณพิกัด 614895E / 2239282N อ.เชียงแสน จ.เชียงราย) ประกอบด้วย เซอร์คอน/
 โมนาไซต์ (Zirc) และอะพาไทต์ (Apat) ในไบโอไทต์
 (ง) ภายใต้งแสงส่องผ่านธรรมดา (จ) ภายใต้งแสงส่องผ่านอนาไรเซอร์

ค่าเฉลี่ย 5.95 ตัวอย่างหินแกรนิตไดออไรต์ และหินแกบโบร จำนวน 6 จุด พบว่ามีค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสีโพแทสเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.07-5.93 ค่าเฉลี่ย 2.45 ค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสียูเรเนียมอยู่ในช่วง 0.47-11.43 ppm ค่าเฉลี่ย 5.27 และค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสีทอเรียมอยู่ในช่วง 0.23-36.87 ppm ค่าเฉลี่ย 17.97

จากผลการร่อนเลียงในพื้นที่ “เชียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง” นี้ พบว่ามีปริมาณแร่หนักตกค้างในตัวอย่างดิน/หินแกรนิต 66 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 2.91-22,598.36 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1,797.38 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร แร่หนักที่พบส่วนใหญ่เป็นแมกนีไทต์ มีความสมบูรณ์อยู่ในช่วง 0.00-22,100 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาได้แก่ ทัวร์มาลีน เอพิโดต ฮีมาไทต์ แร่ในตระกูลลูทไธล เซอร์คอน อิลเมนไต์ โมนาไซต์-ซีโนไทม์ และการ์เนต

จากผลวิเคราะห์เคมีตัวอย่างดิน/หินแกรนิต 42 ตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 158.66-529.26 ppm ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 288.32 ppm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 97.42 ppm ทอเรียมเฉลี่ย 32.99 ppm ยูเรเนียมเฉลี่ย 6.75 ppm และมีค่า CIA ในช่วง 79.19-98.36% ตัวอย่างหินแกรนิต จำนวน 5 ตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 154.14-258.33 ppm ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 194.51 ppm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 44.61 ppm ทอเรียมเฉลี่ย 20.38 ppm ยูเรเนียมเฉลี่ย 5.98 ppm และมีค่า CIA ในช่วง 49.47-75.14% ซึ่งทั้งดิน/หินแกรนิตและหินแกรนิตมีอัตราส่วนธาตุหายากหนักต่อธาตุหายากเบาเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ 20:80 และ 22:78 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างดิน/หินแกรนิตไดออไรต์และหินแกบโบร จำนวน 13 ตัวอย่าง มีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 21.04-139.77 ppm ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 35.72 ppm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 32.17 ppm ทอเรียมเฉลี่ย 1.39 ppm ยูเรเนียมเฉลี่ย 0.66 ppm และมีค่า CIA ในช่วง 60.30-99.40% ตัวอย่างหินแกรนิตไดออไรต์และหินแกบโบร จำนวน 2 ตัวอย่าง มีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 96.59-112.79 ppm ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 104.69 ppm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 11.46 ppm ทอเรียมเฉลี่ย 14.55 ppm ยูเรเนียมเฉลี่ย 5.25 ppm และมีค่า CIA ในช่วง 41.54-43.71% ซึ่งทั้งดิน/หินแกรนิตไดออไรต์/หินแกบโบรและหินสด มีอัตราส่วนธาตุหายากหนักต่อธาตุหายากเบาเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ 34:66 และ 39:61 ตามลำดับ

จากการประมวลผลรวมของทุกพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น จะสังเกตได้ว่าช่วงค่าความเป็นแม่เหล็กของเนื้อหินที่วัดได้ส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำ ประกอบกับมักพบแร่อิลเมนไต์เป็นแร่หนักตกค้างในชั้นดิน/หิน ซึ่งเป็นการบ่งชี้เบื้องต้นว่าหินแกรนิตในบริเวณพื้นที่สำรวจนี้น่าจะจัดเป็นหินแกรนิตประเภท Ilmenite series โดยส่วนใหญ่ ยกเว้นในบางบริเวณของพื้นที่ “เชียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง” ที่เนื้อหินแกรนิตแสดงค่าความเป็นแม่เหล็กค่อนข้างสูง ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเป็น magnetite series

โดยเปรียบเทียบแล้ว พบว่าในพื้นที่ “แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง” พื้นที่ “เวียงป่าเป้า-แม่สรวย” และพื้นที่ “เชียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง” มีชั้นดิน/หินที่ให้ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุหายากรวมสูงกว่าในเนื้อหินสดราว 1.8, 0.9 และ 1.5 เท่า ตามลำดับ

ผลจากการศึกษาธรณีวิทยาแหล่งแร่เฉพาะแหล่งพบว่าพื้นที่ที่มีศักยภาพในการสะสมตัวของธาตุหายากในชั้นดิน/หินผุ ได้แก่ พื้นที่ “แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง” และ “เชียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง” เนื่องจากพื้นที่ทั้ง 2 พื้นที่ มีปริมาณธาตุหายากสะสมตัวในชั้นดิน/หินผุมากกว่าปริมาณธาตุหายากในหินแกรนิตสดอย่างชัดเจน ในขณะที่พื้นที่ “เวียงป่าเป้า-แม่สรวย” มีปริมาณธาตุหายากสะสมตัวในชั้นดิน/หินแกรนิตผุใกล้เคียงกับปริมาณธาตุหายากในหินแกรนิตสด เมื่อพิจารณาถึงชนิดเนื้อหินแกรนิต ระดับการผุพังอยู่กับที่ของเนื้อหินแกรนิต ความหนาและความต่อเนื่องของชั้นดิน/หินผุ ควบคู่กับระดับค่าความเข้มข้นมันตรังสีทางอากาศของธาตุทอเรียม และลักษณะการใช้ประโยชน์พื้นที่แล้วพบว่า พื้นที่ “เวียงป่าเป้า-แม่สรวย” และ “เชียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง” มีศักยภาพของพื้นที่ที่มีชั้นดิน/หินแกรนิตผุที่จะเอื้อต่อการสะสมตัวของธาตุหายากแบบผุพังอยู่กับที่ต่ำกว่าพื้นที่ “แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง” ประกอบกับพื้นที่ “แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง” เป็นพื้นที่ที่มีปริมาณแร่หนักในกลุ่มที่ให้ธาตุหายาก (โมนาไซต์-ซีโนไทม์ และเซอร์คอน) หลงเหลือในชั้นดิน/หินผุน้อยกว่าพื้นที่อื่น ๆ ในขณะที่มีปริมาณธาตุหายากจากผลวิเคราะห์เคมีใกล้เคียงกัน (บ่งบอกว่าปริมาณธาตุหายากน่าจะอยู่ในรูปของไอออนไม่ได้อยู่ในรูปของแร่หนัก) ดังนั้นพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้นที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการสำรวจชั้นรายละเอียดในลำดับต่อไปคือ พื้นที่ “แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง”

บทที่ 5

การสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ชั้นรายละเอียด

เมื่อพิจารณาจากปัจจัยร่วมทางธรณีวิทยาแหล่งแร่ทั้งหลาย ซึ่งประกอบด้วยชนิดเนื้อหินแกรนิต ระดับการผุพังอยู่กับที่ของเนื้อหินแกรนิต ความหนาและความต่อเนื่องของชั้นดิน/หินผุ ควบคู่กับระดับค่าความเข้มข้นมันตรังสีทางอากาศของธาตุทอเรียม และผลวิเคราะห์เคมีบางส่วนที่แล้วเสร็จ สามารถจัดลำดับความมีศักยภาพของพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้นที่มีชั้นดิน/หินแกรนิตผุที่จะเอื้อกับการสะสมตัวของธาตุหายากแบบผุพังอยู่กับที่ (จากสูงสุดไปต่ำสุด) ได้ดังนี้ คือ พื้นที่ “แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง” > “เวียงป่าเป้า-แม่สรวย” > “เชียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง”

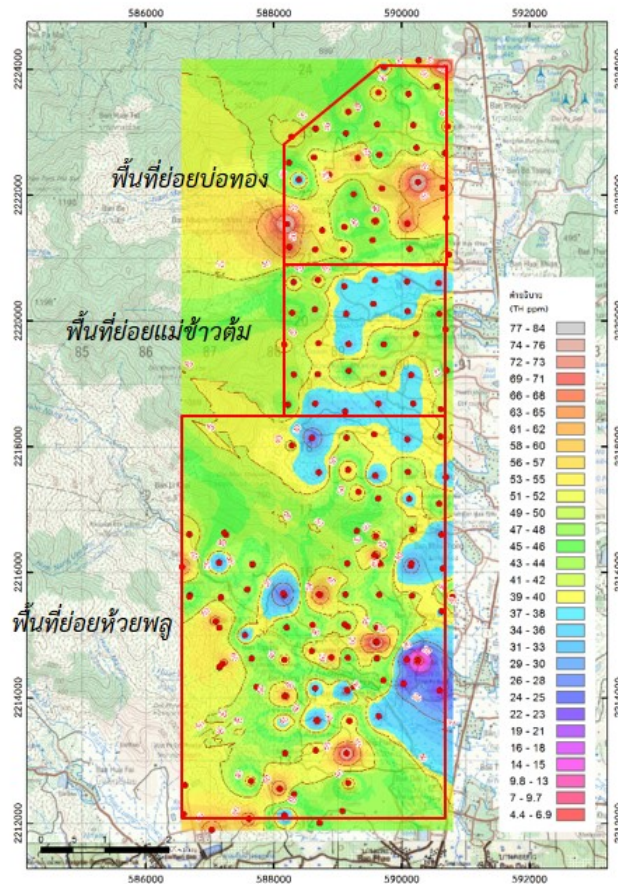
จากข้อมูลการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ในพื้นที่เป้าหมาย “แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง” สามารถกำหนดกรอบพื้นที่คัดสรร “นางแล” ขนาดพื้นที่ประมาณ 38 ตร.กม. (รูปที่ 11) ตั้งอยู่ในบริเวณที่ราบเชิงเขาทางด้านตะวันตกของถนนหมายเลข 1 ในเขตการปกครองของตำบลนางแล ตำบลท่าสุด อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย สำหรับดำเนินการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ชั้นรายละเอียดต่อไป

พื้นที่คัดสรร “นางแล” ตั้งอยู่ในพื้นที่ตำบลนางแล และตำบลท่าสุด อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบสลับกับเนินเขาไม่สูงชันซึ่งเอื้อกับการพัฒนาของแหล่งแร่แบบผุพังอยู่กับที่ (รูปที่ 12 ก) เนื้อหินแกรนิตในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นหินใบโอไรต์แกรนิตเนื้อดอก ผลึกขนาดปานกลางเป็นส่วนใหญ่ และพบผลึกขนาดหยาบบ้างเล็กน้อย (รูปที่ 12 ข และ ค) และได้ทำการวัดค่ากัมมันตรังสีภาคพื้นดินทั้งสิ้น 266 จุด พบว่ามีค่าความเข้มข้นมันตรังสีโพแทสเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.47-6.00 ค่าเฉลี่ย 2.24 ค่าความเข้มข้นมันตรังสียูเรเนียมอยู่ในช่วง 10.47-29.75 ppm ค่าเฉลี่ย 16.60 และค่าความเข้มข้นมันตรังสีทอเรียมอยู่ในช่วง 34.13-92.33 ppm ค่าเฉลี่ย 68.47 (รูปที่ 13)

ในการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ชั้นรายละเอียดเพื่อศึกษาการกระจายตัวและประเมินปริมาณทรัพยากรธาตุหายากที่สะสมตัวในแหล่งแร่แบบผุพังอยู่กับที่ จึงมุ่งเน้นไปที่การสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ใต้ดินโดยใช้วิธีการสำรวจ 2 ลักษณะประกอบกัน คือ (1) การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ ด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก (sounding resistivity method) เพื่อประเมินความหนาและรูปแบบการแผ่กระจายตัวของชั้นดิน/หินแกรนิตผุเหนือพื้นที่หินแกรนิต และ (2) ขุดหลุมทดลอง/เจาะร่องบริเวณตำแหน่งจุด ณ จุดเดียวกัน (หรือใกล้เคียง) กับตำแหน่งที่ได้มีการสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก โดยทำการขุดเป็นหลุมสี่เหลี่ยม 1x1 เมตร ลึกไปจนกว่าจะไม่สามารถขุดต่อได้ เพื่อศึกษาลักษณะของชั้นตะกอนพร้อมกับตรวจสอบผลการแปลความหมายระดับต้นจากการสำรวจธรณีฟิสิกส์ ณ ตำแหน่งดังกล่าว จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างตะกอนในหลุมทุกระยะ 0.5 เมตร ด้วยวิธีเจาะร่อง 20x10 เซนติเมตร (จะได้ปริมาตรตะกอนตัวอย่าง 10 ลิตร) ไปร่อนเลียงหาแร่หนักตกค้าง และเก็บตัวอย่างอีกประมาณ 5 ลิตร ทุกระยะ 0.5 เมตร ส่งวิเคราะห์เคมีเพื่อหาปริมาณธาตุหายากด้วยวิธี ICP-MS และเพื่อหาปริมาณธาตุองค์ประกอบหลักด้วยวิธี XRF

Figure 1 consists of three panels. Panel (a) is a panoramic photograph of a landscape, showing a valley with green fields and distant mountains under a clear sky. Panel (b) is a close-up photograph of a rock sample, showing a light-colored matrix with dark, irregular spots. Panel (c) is a close-up photograph of a rock sample, showing a light-colored matrix with dark, irregular spots. A ruler is visible at the bottom of panels (b) and (c).

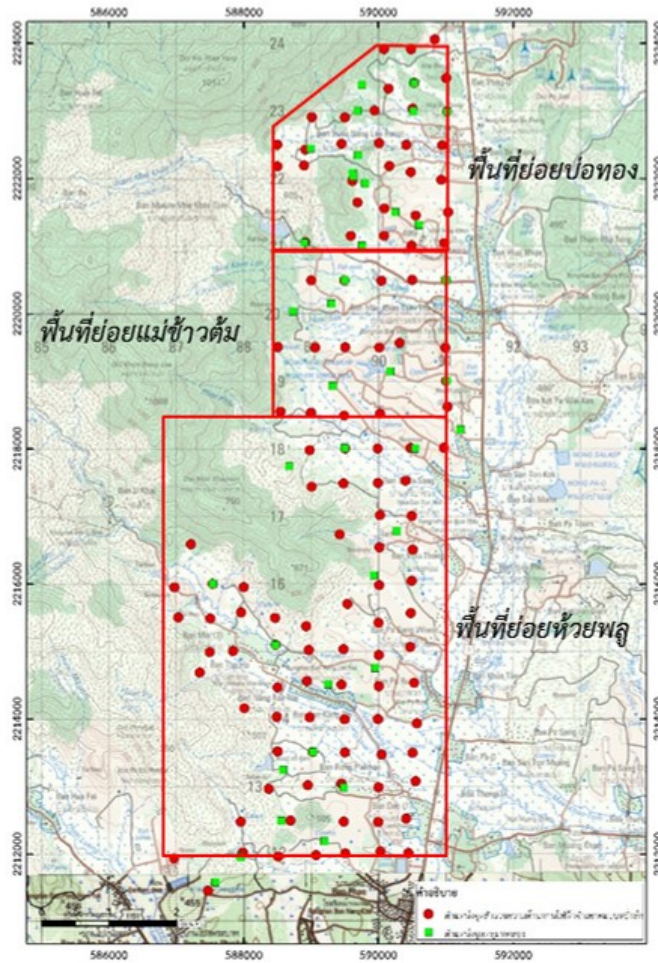
รูปที่ 12 (ก) ลักษณะภูมิประเทศพื้นที่คัสโตร “นางแล” เป็นที่ราบสลับเนินเขาไม่สูงชัน
(ข) และ (ค) ลักษณะเนื้อหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อดอก ผลึกขนาดปานกลาง



รูปที่ 13 จุดที่ทำการวัดค่ากัมมันตรังสี และรูปแบบการแผ่กระจายของค่ากัมมันตรังสีของธาตุทอเรียม

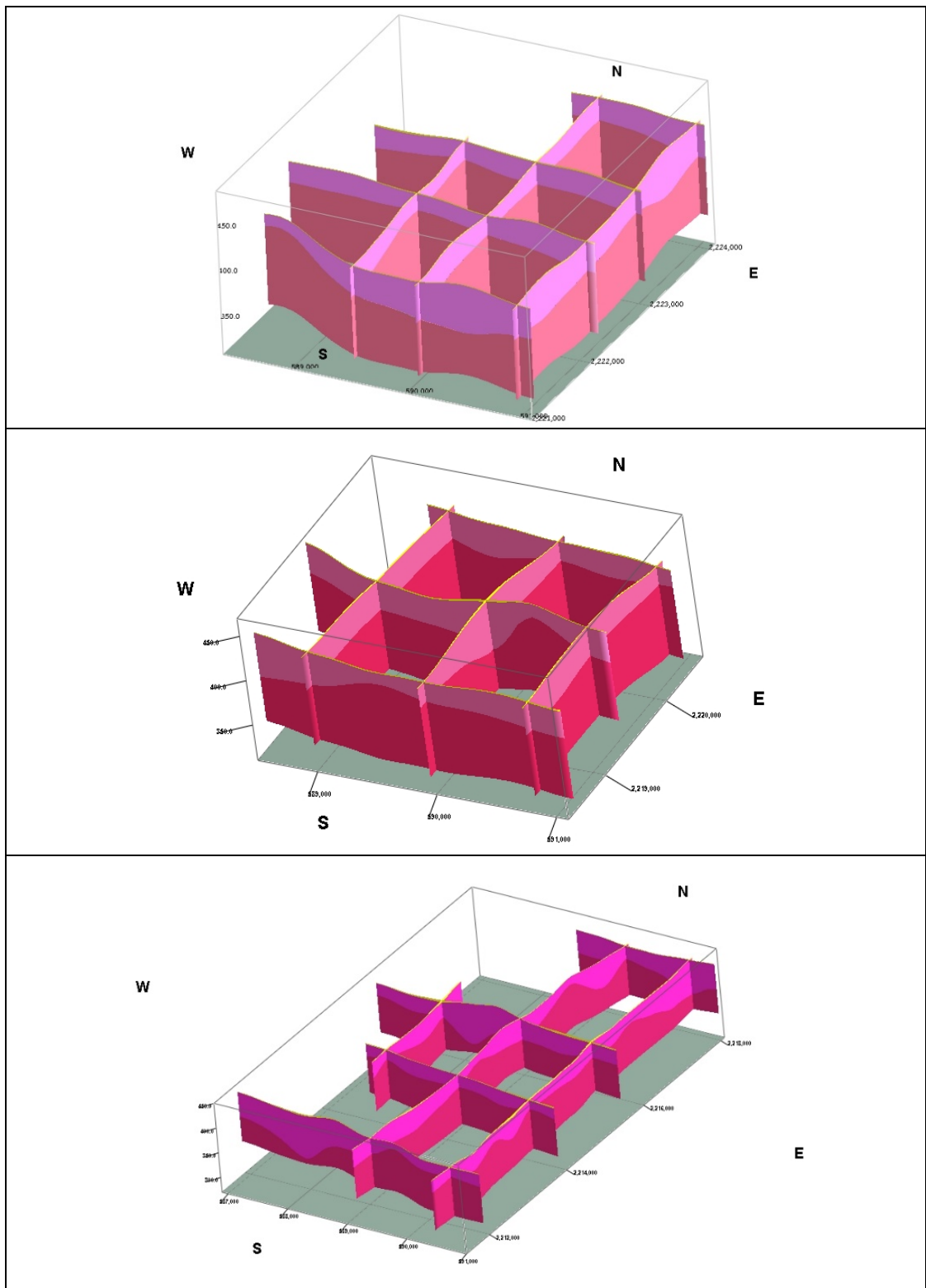
5.1 การสำรวจธรณีฟิสิกส์

ในกรอบพื้นที่คัดสรร “นางแล” ได้แบ่งพื้นที่ออกเป็น 3 ส่วนย่อย ได้แก่ (1) พื้นที่ย่อยบ่อทอง (2) พื้นที่ย่อยแม่ข้าวต้ม และ (3) พื้นที่ย่อยห้วยพลู เพื่อดำเนินการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึกตามแนวสำรวจ จำนวน 24 แนวสำรวจ และได้ทำการสำรวจวัดค่ารวมทั้งสิ้น 120 จุด เพื่อหาความหนาและรูปแบบการแผ่กระจายตัวของชั้นดิน/หินแกรนิตในพื้นที่ โดยพื้นที่ย่อยบ่อทอง และพื้นที่ย่อยห้วยพลู ได้กำหนดระยะห่างระหว่างจุดสำรวจ 500 เมตร และระยะห่างระหว่างแนวสำรวจ 500 เมตร ขณะที่ในพื้นที่ย่อยแม่ข้าวต้ม ซึ่งสภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบนาข้าว ได้กำหนดระยะห่างระหว่างจุดสำรวจ 500 เมตร และระยะห่างระหว่างแนวสำรวจ 1,000 เมตร (รูปที่ 14) ลักษณะชั้นดิน/หินแกรนิต ประกอบด้วยชั้นแรก (L1) ที่คาดว่าเป็นชั้นเปลือกดินส่วนบน (top soil) (เทียบได้กับ A-horizon ใน soil profile) ที่มีความชื้นน้อย การเกาะตัวและการคัดขนาดไม่ดี ทำให้มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง ได้แก่ กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว วางตัวปิดทับบนตะกอนชั้นกลาง (L2) ที่คาดว่าจะจะเป็นชั้นหิน (เทียบได้กับ B-C-horizon ใน soil profile)



รูปที่ 14 ตำแหน่งสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก

ที่มีค่าความชื้นสูงขึ้นทำให้มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าอยู่ในระดับปานกลางถึงต่ำ และชั้นล่าง (L3) ที่คาดว่าจะจะเป็นชั้นหินแข็งหรือหินดาน (เทียบได้กับ D-horizon) จะแสดงค่าสภาพต้านทาน ไฟฟ้าสูงกว่าชั้นกลาง ซึ่งชั้นนี้จะมีลักษณะค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแปรเปลี่ยนค่อนข้างมากจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งจากผลการสำรวจพบว่า (1) พื้นที่ย่อยบ่อทอง สะท้อนลักษณะชั้นดิน/หินแกรนิตผุ ประกอบด้วย ชั้นแรก (L1) มีความหนา 0.60-7.60 เมตร เฉลี่ย 1.92 เมตรโดยประมาณ วางตัวปิดทับบนชั้นหินผุ (L2) มีความหนา 5.00-68.40 เมตร เฉลี่ย 27.44 เมตรโดยประมาณ และชั้นล่าง (L3) ที่คาดว่าจะจะเป็นชั้นหินแข็งเริ่ม ที่ระดับช่วงความลึกเฉลี่ย 27.44 เมตรลงไปโดยประมาณ (รูปที่ 15 บน) (2) พื้นที่ย่อยแม่ข้าวต้ม สะท้อนลักษณะชั้นดิน/หินแกรนิตผุ ประกอบด้วยชั้นแรก (L1) มีความหนา 0.60-2.70 เมตร เฉลี่ย 1.26 เมตร โดยประมาณ วางตัวปิดทับบนชั้นหินผุ (L2) มีความหนา 3.10-65.60 เมตร เฉลี่ย 30.43 เมตรโดยประมาณ และชั้นล่าง (L3) ที่คาดว่าจะจะเป็นชั้นหินแข็งเริ่มที่ระดับช่วงความลึกเฉลี่ย 30.43 เมตรลงไปโดยประมาณ (รูปที่ 15 กลาง) และ (3) พื้นที่ย่อยห้วยพลู สะท้อนลักษณะชั้นดิน/หินแกรนิตผุ ประกอบด้วยชั้นแรก (L1) มีความ หนา 0.50-6.40 เมตร เฉลี่ย 1.60 เมตรโดยประมาณ วางตัวปิดทับบนหินผุ (L2) มีความหนา 3.10-166.40 เมตร เฉลี่ย 35.93 เมตร โดยประมาณ และชั้นล่าง (L3) ที่คาดว่าจะจะเป็นชั้นหินแข็งเริ่มที่ระดับช่วงความลึก เฉลี่ย 35.93 เมตรลงไปโดยประมาณ (รูปที่ 15 ล่าง)



รูปที่ 15 ภาพตัดขวาง 3 มิติแสดงโครงสร้างชั้นดิน/หินแกรนิตที่ได้จากการประมวลผลการสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึกในบริเวณ (บน) พื้นที่ย่อยบ่อทอง (กลาง) พื้นที่ย่อยแม่ข้าวต้ม และ (ล่าง) พื้นที่ย่อยห้วยพลู

5.2 การขุดหลุมทดลอง

เพื่อตรวจสอบผลการแปลความหมายระดับต้นจากการสำรวจธรณีสัณฐาน พร้อมกับการศึกษาลักษณะของชั้นตะกอน โดยการจดบันทึกรายละเอียดของชั้นดิน/หินแกรนิตผุภายในหลุมทดลองจากการสำรวจครั้งนั้น ผู้สำรวจได้มีการออกแบบระบบการแบ่งชั้นดิน/หินผุขึ้นมาใหม่ให้สามารถสะท้อนระดับการผุพังทางกายภาพและทางเคมีที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าได้ชัดเจนขึ้น ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4 โดยยังคง สามารถเทียบเคียงกับการแบ่งชั้นดิน/หินผุตามเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ทั่วไปได้ (รูปที่ 16)

พื้นที่คัดสรร “นางแล” ดำเนินการขุดหลุมทดลอง และเจาะร่องเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาลักษณะของชั้นตะกอน และธรณีวิทยาแหล่งแร่ใต้ดินของแร่หนัก-ธาตุหายาก พร้อมกับการตรวจสอบผลการแปลความหมายระดับต้นจากการสำรวจธรณีสัณฐานในพื้นที่คัดสรร “นางแล” รวมทั้งสิ้น 36 จุดสำรวจครอบคลุมทั้งพื้นที่ โดยหลุมทดลองมีช่วงความลึกอยู่ระหว่าง 1.0 – 14.5 เมตร พร้อมทำการเก็บตัวอย่างทุกช่วงความลึก 0.5 เมตรรวมจำนวนทั้งสิ้น 265 ตัวอย่างสำหรับคัดเลือกส่งวิเคราะห์ปริมาณธาตุหายากที่สะสมอยู่ในชั้นดิน/หินแกรนิตผุ

พื้นที่คัดสรรย่อย “บ่อทอง” ดำเนินการขุดหลุมทดลอง และเจาะร่องหน้าตัดดินเพื่อศึกษาลักษณะของชั้นตะกอน และธรณีวิทยาแหล่งแร่ใต้ดินของแร่หนัก-ธาตุหายาก พร้อมกับการตรวจสอบผลการแปลความหมายระดับต้น รวมทั้งสิ้น 12 จุดสำรวจ ประกอบด้วย หลุมสำรวจจำนวน 3 หลุมสำรวจ มีช่วงความลึกอยู่ระหว่าง 0.5-5.0 เมตร แนวเจาะร่อง จำนวน 9 ร่องสำรวจ มีช่วงความลึกอยู่ระหว่าง 1.5-9.0 เมตร พร้อมทำการเก็บตัวอย่างทุกช่วงความลึก 0.5 เมตรรวมจำนวนทั้งสิ้น 86 ตัวอย่าง สำหรับคัดเลือกส่งวิเคราะห์ปริมาณธาตุหายากที่สะสมอยู่ในชั้นดิน/หินแกรนิตผุ ซึ่งขณะนี้ตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ระหว่างการดำเนินการวิเคราะห์ทางเคมียังไม่แล้วเสร็จ

พื้นที่คัดสรรย่อย “แม่ข้าวต้ม” ดำเนินการขุดหลุมทดลอง และเจาะร่องหน้าตัดดินเพื่อศึกษาลักษณะของชั้นตะกอน และธรณีวิทยาแหล่งแร่ใต้ดินของแร่หนัก-ธาตุหายาก พร้อมกับการตรวจสอบผลการแปลความหมายระดับต้น รวมทั้งสิ้น 8 จุดสำรวจ ประกอบด้วย หลุมสำรวจจำนวน 3 หลุมสำรวจ มีช่วงความลึกอยู่ระหว่าง 1.0-4.0 เมตร แนวเจาะร่อง จำนวน 5 ร่องสำรวจ มีช่วงความลึกอยู่ระหว่าง 2.5-14.5 เมตร พร้อมทำการเก็บตัวอย่างทุกช่วงความลึก 0.5 เมตรรวมจำนวนทั้งสิ้น 74 ตัวอย่าง สำหรับคัดเลือกส่งวิเคราะห์ปริมาณธาตุหายากที่สะสมอยู่ในชั้นดิน/หินแกรนิตผุ ซึ่งขณะนี้ตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ระหว่างการดำเนินการวิเคราะห์ทางเคมียังไม่แล้วเสร็จ

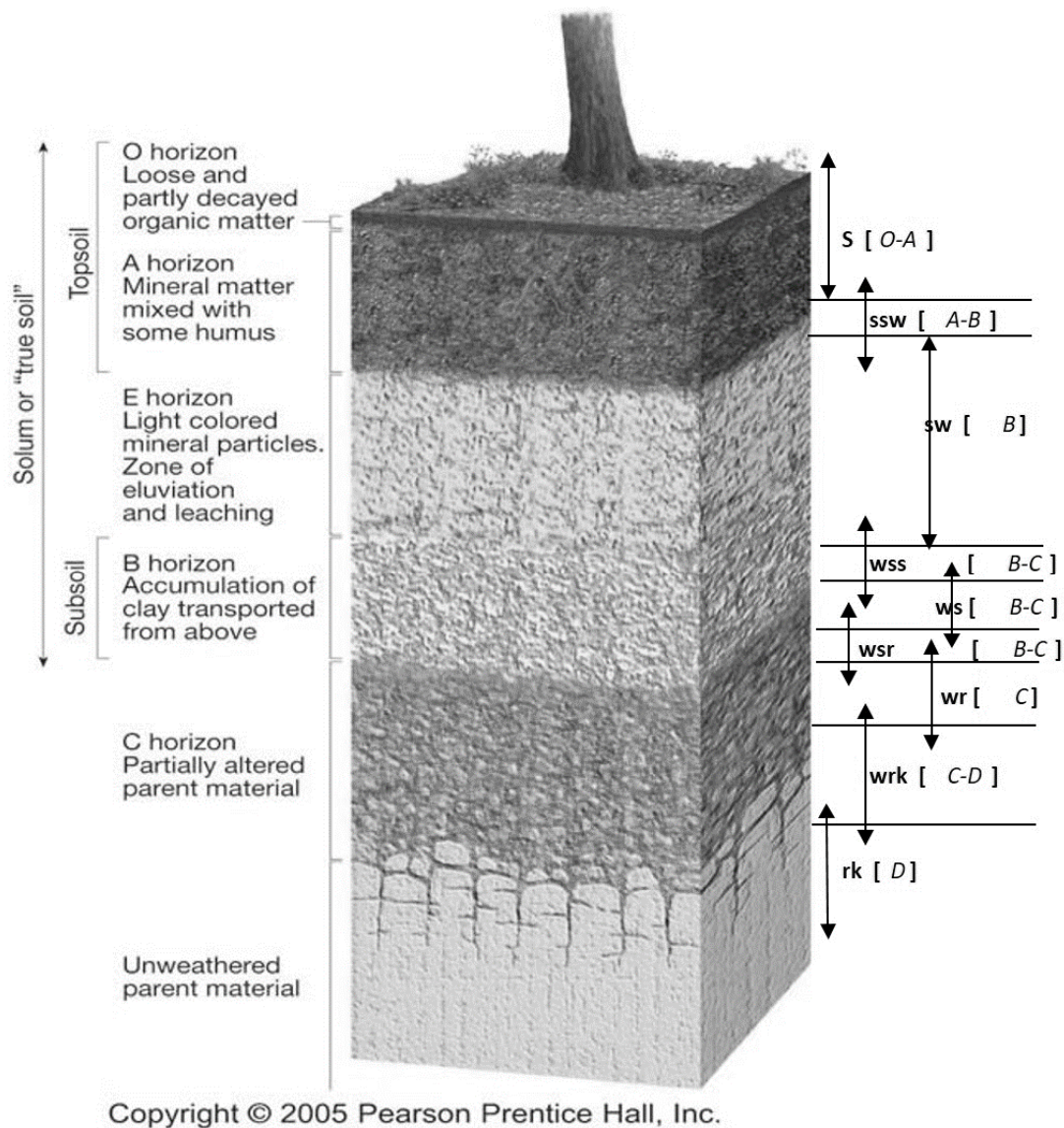
พื้นที่คัดสรรย่อย “ห้วยพลู” ดำเนินการขุดหลุมทดลอง และเจาะร่องหน้าตัดดินเพื่อศึกษาลักษณะของชั้นตะกอน และธรณีวิทยาแหล่งแร่ใต้ดินของแร่หนัก-ธาตุหายาก พร้อมกับการตรวจสอบผลการแปลความหมายระดับต้น รวมทั้งสิ้น 16 จุดสำรวจ ประกอบด้วย หลุมสำรวจจำนวน 6 หลุมสำรวจ มีช่วงความลึกอยู่ระหว่าง 1.0-2.5 เมตร แนวเจาะร่อง จำนวน 10 ร่องสำรวจ มีช่วงความลึกอยู่ระหว่าง 2.0-11.0 เมตร พร้อมทำการเก็บตัวอย่างทุกช่วงความลึก 0.5 เมตรรวมจำนวนทั้งสิ้น 105 ตัวอย่าง สำหรับคัดเลือกส่งวิเคราะห์ปริมาณธาตุหายากที่สะสมอยู่ในชั้นดิน/หินแกรนิตผุ ซึ่งขณะนี้ตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ระหว่างการดำเนินการวิเคราะห์ทางเคมียังไม่แล้วเสร็จ

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบรูปแบบการแบ่งชั้นดิน/หินแกรนิตผุที่ทีมผู้สำรวจได้ออกแบบขึ้นมากับการแบ่งชั้นดิน/หินผุตามมาตรฐาน

Standard Soil Profile	Descriptive abbreviation for soil profile defined in REE work
O - A	s = ชั้นดินที่ไม่เหลือร่องรอยใดๆของโครงสร้างชั้นหินเดิม ซึ่งอาจมีการพัฒนาชั้นอินทรีย์สารใหม่หรือไม่ก็ได้
A - B	ssw = ชั้นที่เนื้อหินมีระดับการผุสูงมากจนไม่สามารถระบุจำแนกประเภทหินดั้งเดิมได้ โดยไม่มีร่องรอยโครงสร้างภายในชั้นหินหลงเหลือให้สังเกตได้แล้ว แต่มีหย่อมกระจุกลีที่เกิดจากการสะสมของสนิมเหล็ก-แมงกานีสไฮดรอกไซด์ หรือเม็ดลูกรังฝังปะกระจายในเนื้อหินผุเกิดขึ้นในสัดส่วนที่สูงไม่เกินร้อยละ 10 โดยพื้นที่
B	sw = ชั้นที่เนื้อหินมีระดับการผุสูงมากในลักษณะเดียวกับ “ ssw ” แต่มีหย่อมกระจุกลีที่เกิดจากการสะสมของสนิมเหล็ก-แมงกานีสไฮดรอกไซด์ หรือเม็ดลูกรังฝังปะกระจายในเนื้อหินผุเกิดขึ้นในสัดส่วนที่มากกว่าร้อยละ 10 โดยพื้นที่
B-C	wss = ชั้นที่เนื้อหินมีระดับการผุสูงมากจนไม่สามารถระบุจำแนกประเภทหินดั้งเดิมได้ แต่ร่องรอยโครงสร้างภายในชั้นหินยังคงเหลือให้พอสังเกตได้ราง รางๆ ทั้งนี้อาจมีหรือไม่มีการพัฒนาหย่อมหรือกระจุกลีที่เกิดจากการสะสมของสนิมเหล็ก หรือเม็ดลูกรังปะกระจายในเนื้อหินผุก็ได้
B-C	ws = ชั้นที่เนื้อหินมีระดับการผุมากจนไม่สามารถระบุจำแนกประเภทหินดั้งเดิมได้ แต่ยังคงเหลือโครงสร้างภายในชั้นหินให้พอสังเกตได้ ทั้งนี้อาจมีหรือไม่มีการพัฒนาหย่อมหรือกระจุกลีที่เกิดจากการสะสมของสนิมเหล็ก หรือเม็ดลูกรังปะกระจายในเนื้อหินผุก็ได้
B-C	wsr = ชั้นที่เนื้อหินมีระดับการผุปานกลางถึงมากโดยแร่ประกอบหินส่วนใหญ่ผุสลายจนไม่สามารถระบุเรียกชื่อชนิดหินอย่างจำเพาะเจาะจงได้ แต่ยังพอที่จะระบุจำแนกประเภทกลุ่ม หรือชนิดหินอย่างกว้างๆ ได้ (เป็นต้นว่า หินอัคนีเนื้อหยาบ หินภูเขาไฟ หินแปร หินตะกอน หินแกรนิตเนื้อดอก หินทราย หรือหินโคลน เป็นต้น) โดยเนื้อหินผุยุ่ยมากพอจะขุดเจาะได้ด้วยพลั่วทั้งนี้อาจมีหรือไม่มีการพัฒนาหย่อมหรือกระจุกลีที่เกิดจากการสะสมของสนิมเหล็ก หรือเม็ดลูกรังปะกระจายในเนื้อหินผุก็ได้
C	wr = ชั้นที่เนื้อหินมีระดับการผุปานกลางที่แร่ประกอบหินส่วนใหญ่ยังคงสภาพดีพอที่จะสามารถระบุเรียกชื่อชนิดหินอย่างจำเพาะเจาะจงได้ (เป็นต้นว่า หินแกรนิตเนื้อโปไอโทต์ หรือ หินแกรนิตเนื้อโมกา 2 ชนิด หรือหินแกรนิตเนื้อทัวร์มาลีน-มัสโคไวต์ เป็นต้น) โดยเนื้อหินผุยังพอที่จะขุดเจาะได้ด้วยอีเตอร์ ชะแรง หรือจอบ
C-D	wrk = ชั้นที่เนื้อหินมีระดับการผุเล็กน้อยถึงปานกลาง ที่สามารถระบุเรียกชื่อชนิดหินได้อย่างจำเพาะเจาะจง โดยเนื้อหินผุมีความแข็งค่อนข้างมากแต่พอจะขุดเจาะด้วยอีเตอร์ ชะแรง หรือจอบได้ด้วยความลำบาก
D	rk = ชั้นที่เนื้อหินมีความสดถึงผุเล็กน้อยและมีความแกร่งสูงไม่สามารถขุดเจาะได้ด้วยอีเตอร์ ชะแรง หรือจอบ

หมายเหตุ

- + = ช่วงรอยต่อระหว่างชั้นดินมีการเปลี่ยนชั้นของเนื้อดินอย่างชัดเจน (abrupt changing) เช่น $s+sw$, $ws+wr$
 - = ช่วงรอยต่อระหว่างชั้นดินมีการเปลี่ยนชั้นของเนื้อดินแบบค่อยเป็นค่อยไป (gradual changing) เช่น $s-sw$, $ws-wsr$



รูปที่ 16 การเปรียบเทียบรูปแบบการแบ่งชั้นดิน/หินแกรนิตที่ทีมผู้สำรวจได้ออกแบบขึ้นมาใหม่กับการแบ่งชั้นดิน/หินตามที่ใช้ทั่วไป (รูป soil profile คัดลอกจาก Pearson Prentice Hall, Inc., 2005)

5.3 ผลวิเคราะห์เคมีในพื้นที่คัดสรร

ในศึกษาลักษณะรูปแบบการกระจายตัวของธาตุหายากที่สะสมตัวอยู่ในชั้นดิน/หินแกรนิตในแต่ละจุดสำรวจนั้น มีขั้นตอนวิธีการเก็บและเตรียมตัวอย่างในรูปแบบเดียวกัน คือ แต่ละจุดเก็บจะทำการเจาะเก็บตัวอย่าง เป็นช่วงระยะ 50 เซนติเมตรต่อหนึ่งตัวอย่าง ให้ได้ตัวอย่าง 2 ส่วน ส่วนแรก (ใช้ปริมาตรตะกอนประมาณ 10 ลิตรต่อตัวอย่าง) นำไปร่อนเลียงเพื่อดูชนิดและปริมาณแร่หนักที่ยังตกค้างในชั้นดิน/หิน และส่วนที่สอง (ใช้ปริมาตรตะกอนประมาณ 5 ลิตรต่อตัวอย่าง) สำหรับนำไปวิเคราะห์เคมี ซึ่งตัวอย่างส่วนที่สองที่เก็บมานี้จะนำมาผึ่งแห้งและผสมคลุกเคล้าตะกอนตัวอย่างให้เข้ากันก่อนจะทำการสุ่มแบ่งตัวอย่าง โดยใช้กล่องแบ่งตัวอย่าง (shuffle splitter)

ในการแบ่งส่วนให้ได้ตัวแทนตัวอย่าง (เต็มถุงชิปขนาด 4"×6" น้ำหนักรวม ประมาณ 600-700 กรัม) จำนวน 3 ถุง/ตัวอย่าง โดยถุงหนึ่งจะส่งบดละเอียดทั้งหมดก่อนจะสุ่มซัดผงตัวอย่างอีกครั้ง เพื่อทำวิเคราะห์เคมีด้วยวิธี ICP-MS หาปริมาณธาตุหายาก และด้วยวิธี XRF หาปริมาณออกไซด์หลัก ส่วนอีก 2 ถุงที่เหลือจะเก็บไว้เป็นตัวอย่างอ้างอิง

จากผลการร่อนเลียงในพื้นที่คัดสรร “นางแล” นี้ พบว่ามีปริมาณแร่หนักตกค้างในตัวอย่างดิน/หินแกรนิตผุ จำนวน 265 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 0-210.54 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 47.61 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากผลตรวจชนิดแร่หนักตกค้างในชั้นดิน/หินผุเบื้องต้น พบว่ามีแร่ที่สัมพันธ์กับธาตุหายากและธาตุกัมมันตรังสี 3 ชนิดหลัก คือ โมนาไซต์ เซอร์คอน และซีโนไทม์

พื้นที่คัดสรรย่อย “บ่อทอง” จากค่าผลวิเคราะห์เคมีธาตุหายากในตัวอย่างชั้นดิน/หินแกรนิตผุ พบว่า มีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 52 – 29,957 ppm เฉลี่ย $4,233.2 \pm 7,137.0$ ppm โดยในชั้นเปลือกดิน (L1) มีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 52-1,522 ppm มีค่าเฉลี่ย 371.5 ± 432.0 ppm อัตราส่วนธาตุหายากหนักต่อธาตุหายากเบาเฉลี่ยเทียบเท่า 15 : 85 และในชั้นหินผุ (L2) มีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 1,271 – 29,957 ppm มีค่าเฉลี่ย $8,094.8 \pm 8,600.7$ ppm อัตราส่วนธาตุหายากหนักต่อธาตุหายากเบาเฉลี่ยเทียบเท่า 17 : 83

พื้นที่คัดสรรย่อย “แม่ข้าวต้ม” จากค่าผลวิเคราะห์เคมีธาตุหายากในตัวอย่างชั้นดิน/หินแกรนิตผุ พบว่า มีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 42 – 23,565 ppm เฉลี่ย $3,336.1 \pm 5,611.2$ ppm โดยในชั้นเปลือกดิน (L1) มีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 42-1,248 ppm มีค่าเฉลี่ย $304.5.5 \pm 354.1$ ppm อัตราส่วนธาตุหายากหนักต่อธาตุหายากเบาเฉลี่ยเทียบเท่า 15 : 85 และในชั้นหินผุ (L2) มีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 1,000 – 23,565 ppm มีค่าเฉลี่ย $6,367.8 \pm 6,765.7$ ppm อัตราส่วนธาตุหายากหนักต่อธาตุหายากเบาเฉลี่ยเทียบเท่า 16 : 84

พื้นที่คัดสรรย่อย “ห้วยพลู” จากค่าผลวิเคราะห์เคมีธาตุหายากในตัวอย่างชั้นดิน/หินแกรนิตผุ พบว่า มีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 230 – 133,675 ppm เฉลี่ย $18887.5 \pm 31,848.1$ ppm โดยในชั้นเปลือกดิน (L1) มีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 230-6,777 ppm มีค่าเฉลี่ย $1,653.7 \pm 1,923.1$ ppm อัตราส่วนธาตุหายากหนักต่อธาตุหายากเบาเฉลี่ยเทียบเท่า 15 : 85 และในชั้นหินผุ (L2) มีปริมาณธาตุหายากรวมอยู่ในช่วง 5,672 – 133,675 ppm มีค่าเฉลี่ย $36,121.3 \pm 38,378.7$ ppm อัตราส่วนธาตุหายากหนักต่อธาตุหายากเบาเฉลี่ยเทียบเท่า 17 : 83

บทที่ 6

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่

6.1 การประเมินปริมาณและมูลค่าทรัพยากรธาตุหายาก

6.1.1 การคำนวณปริมาตรของชั้นตะกอน

จากการแปลผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ ทั้งในพื้นที่คัดสรรย่อยบ่อทอง แม่ข้าวต้ม และ ห้วยพลู พบว่ามีลักษณะโครงสร้างชั้นดิน/หินแกรนิตผุ แบ่งได้เป็น 3 ชั้น ประกอบด้วยชั้นแรก (L1) ที่คาดว่าจะเป็ชั้นเปลือกดินส่วนบนที่มีความชันน้อย การเกาะตัวและการคัดขนาดไม่ดี ทำให้มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง วางตัวปิดทับบนตะกอนชั้นกลาง (L2) ที่คาดว่าจะเป็ชั้นหินผุที่มีค่าความชันสูงชันทำให้มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าอยู่ในระดับปานกลางถึงต่ำ และชั้นล่าง (L3) ที่คาดว่าจะเป็ชั้นหินแข็งหรือหินดาน ซึ่งชั้นนี้จะมีลักษณะค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแปรเปลี่ยนค่อนข้างมากจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการแปลผลความต้านทานไฟฟ้าแบบยังลึกับผลการขุดหลุมทดลอง พบว่าความคาดเคลื่อนของค่าความหนาและระยะการเปลี่ยนชั้นดินที่ได้จากการแปลผลส่วนใหญ่อยู่ในพิสัยที่รับได้ คือ $\pm$ ไม่เกิน 2 เมตร จึงได้ทำการประเมินความหนาของชั้นดิน/หินแกรนิตผุในแต่ละจุดสำรวจด้วยผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ โดยอาศัยโปรแกรม Rockwork 15 สำหรับประมวลผลและสร้างภาพจำลอง 3 มิติ (รูปที่ 15) ด้วยวิธีการคิดคำนวณแบบระยะทางผกผัน (inversed distance method) ตั้งแต่วัดระดับผิวดินจนถึงความลึก 200 เมตร ซึ่งแบบจำลองนี้จะช่วยทำนายลักษณะการแผ่กระจายตัวของชั้นดิน/หินแกรนิตผุ ความหนา-บางของชั้นดิน/หินผุเหนือมวลหินแกรนิตแข็ง และสามารถหาคำนวนหาปริมาตรของชั้นดิน/หินแกรนิตผุในแต่ละชั้นในพื้นที่คัดสรรย่อยทั้งสามพื้นที่ได้ ซึ่งสามารถคำนวณปริมาตรรวมของแต่ละชั้นได้ (ตารางที่ 5)

6.1.2 การคำนวณปริมาณทรัพยากรธาตุหายาก

สำหรับการประเมินปริมาณทรัพยากรธาตุหายากเบื้องต้นนี้ จะใช้หลักของการเฉลี่ยค่าครอบคลุมกรอบพื้นที่คัดสรรย่อยของทั้งสามพื้นที่ เนื่องจากยังไม่สามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่แหล่งแร่ที่มีความสมบูรณ์ของธาตุหายากสูงแยกจากพื้นที่แหล่งแร่ที่มีความสมบูรณ์ต่ำได้ ทั้งนี้เพราะในการคำนวณหาปริมาณทรัพยากรธาตุหายากนั้น จะทำการคำนวณปริมาณแยกเป็นรายชนิดธาตุ ตามสูตรคำนวณดังข้างล่าง จากนั้นจะนำเอาค่าปริมาณทรัพยากรธาตุหายากแต่ละธาตุที่คำนวณมารวมกันเป็นปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวม ทั้งนี้จะคัดเอาเฉพาะชนิดธาตุหายากที่มีค่าความสมบูรณ์เฉลี่ยของธาตุมากกว่า 5 ppm ขึ้นไป

ตารางที่ 5 ปริมาตรของชั้นดิน/หินแกรนิตและช่วงค่าธาตุหายากรวมในแต่ละพื้นที่คัดสร้อย

ชั้นดิน/หินแกรนิต	“บ่อทอง”	“แม่ข้าวต้ม”	“ห้วยพลู”
ชั้นบน (L1) หรือ ชั้นเปลือกดิน (A horizon)			
ความหนาชั้นดิน (เมตร)	0.60-7.60 (เฉลี่ย 1.92)	0.60-2.70 (เฉลี่ย 1.26)	0.50-6.40 (เฉลี่ย 1.60)
ชั้นกลาง (L2) หรือ ชั้นหินผุ (B-C horizon)			
ความหนาชั้นดิน (เมตร)	5.00-68.40 (เฉลี่ย 27.44)	3.10-65.60 (เฉลี่ย 30.43)	3.10-166.40 (เฉลี่ย 35.93)
ชั้นล่าง (L3) หรือ ชั้นหินแข็ง (D horizon)			
ลึกจากผิวดิน (เมตร)	เฉลี่ย 27.44	เฉลี่ย 30.43	เฉลี่ย 35.93
หลุมทดลอง/เจาะร่อง			
ความลึก (เมตร)	0.5-9.0 (9 ร่อง, 3 หลุม)	1.0-14.5 (5 ร่อง, 3 หลุม)	1.0-11.0 (10 ร่อง, 6 หลุม)
จำนวนตัวอย่าง	86	74	105
ปริมาณธาตุหายากรวม (TREY)			
ช่วงค่า (ppm)	52 – 29,957 (เฉลี่ย $4,233.2 \pm 7,137.0$)	42 – 23,565 (เฉลี่ย $3,336.1 \pm 5,611.2$)	230 – 133,675 (เฉลี่ย $18887.5 \pm 31,848.1$)

ปริมาณธาตุหายากในชั้นดินตะกอน (ตันโลหะ)

= ค่าปริมาณธาตุเฉลี่ย $\times$ ปริมาตรชั้นตะกอน (ลบ.ม.) $\times 1.4$ (ถ.พ.ชั้นดิน) $\times 10^6 \times 0.7$ (ค่าปรับลดปัจจัยเสี่ยง)

ผลการคำนวณปริมาณทรัพยากรธาตุหายากเบื้องต้นที่ได้ ณ ขณะนี้ (ตารางที่ 6) แสดงให้เห็นว่า พื้นที่คัดสร้อย “บ่อทอง” มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวมเบื้องต้น ประมาณ 75,440 ตันโลหะ (หรือ $\sim 10,777$ ตันโลหะต่อพื้นที่ 1 ตร.กม.) ประกอบด้วยธาตุหายากชนิดหลัก 4 ชนิด คือ ซีเรียม (Ce), แลนทานัม (La), นีโอติเมียม (Nd) และอิตเทรียม (Y) และธาตุหายากชนิดรอง อีก 5 ชนิด คือ สแกนเดียม (Sc) เพอร์ซีโอติเมียม (Pr), ซาแมเรียม (Sm), แกโดลิเนียม (Gd) และ ดิสโพรเซียม (Dy) และมีปริมาณทรัพยากรของธาตุกัมมันตรังสีแฉ่ง ชนิดทอเรียม และยูเรเนียม ประมาณ 13,580 ตันโลหะ (หรือ $\sim 1,940$ ตันโลหะต่อพื้นที่ 1 ตร.กม.) และ 4,120 ตันโลหะ (หรือ 589 ตันโลหะต่อพื้นที่ 1 ตร.กม.) ตามลำดับ ส่วนพื้นที่คัดสร้อย “แม่ข้าวต้ม” มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวมเบื้องต้น ประมาณ 59,450 ตันโลหะ (หรือ $\sim 9,908$ ตันโลหะต่อพื้นที่ 1 ตร.กม.) ประกอบด้วยธาตุหายากชนิดหลัก 4 ชนิด คือ ซีเรียม (Ce), แลนทานัม (La), นีโอติเมียม (Nd) และอิตเทรียม (Y) ประกอบด้วยธาตุหายาก

ตารางที่ 6 ปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวมในแต่ละพื้นที่คัดสรรย่อย

	“บ่อทอง”	“แม่ข้าวต้ม”	“ห้วยพลู”
ปริมาตรชั้นตะกอนรวม (ม³)	75,436	59,450	336,581
ชั้นเปลือกดินบน L1 (ม ³)	3,302	2,706	14,700
ชั้นหินผุเหนือดาน L2 (ม ³)	72,134	56,744	321,881
ถ.พ. เฉลี่ยของชั้นดิน/หินผุ	1.47 ± 0.17	1.37 ± 0.08	1.07 ± 0.04
ปริมาณทรัพยากรเบื้องต้น (เมตริกตันโลหะ) @ cut-off grade ≥ 5 ppm [ค่าความสมบูรณ์เฉลี่ยของธาตุหายากรายชนิด (ppm)]			
LREE: La	14,006 [63.53]	11,036 [63.53]	62,491 [63.53]
Ce	31,479 [149.14]	24,813 [149.14]	140,452 [149.14]
Pr	3,127 [14.00]	2,464 [14.38]	13,950 [14.38]
Nd	10,912 [50.00]	8,599 [50.31]	48,685 [50.31]
Sm	1,955 [9.00]	1,541 [9.02]	8,724 [9.02]
Gd	1,564 [7.00]	1,232 [7.00]	6,976 [7.00]
HREY: Dy	1,323 [6.00]	1,042 [6.00]	5,902 [6.00]
Y	8,497 [38.00]	6,694 [38.08]	37,910 [38.08]
Sc	2,575 [12.00]	2,029 [12.00]	11,489 [12.00]
ธาตุหายากรวม	75,436 [349.56]	59,450 [349.56]	336,581 [349.56]
ธาตุหายากหายาก	13,575 [63.19]	10,699 [63.19]	60,568 [63.19]
ธาตุหายากหายาก	4,119 [19.01]	3,246 [19.01]	18,376 [19.01]
ระดับศักยภาพของแหล่งแร่	ค่อนข้างต่ำ-ปานกลาง	ค่อนข้างต่ำ-ปานกลาง	ปานกลาง
UNFC-2009 Code	333	333	334

ชนิดรองอีก 5 ชนิด คือ สแกนเดียม (Sc) เพอร์ซีโอติเนียม (Pr), ซาแมเรียม (Sm), แกโดลิเนียม (Gd) และ ดิสโพรเซียม (Dy) และมีปริมาณทรัพยากรของธาตุกัมมันตรังสีแฉ่ง ชนิดโทเรียม และยูเรเนียม ประมาณ 10,700 ตันโลหะ (หรือ ~ 1,783 ตันโลหะต่อพื้นที่ 1 ตร.กม.) และ 3,250 ตันโลหะ (หรือ 542 ตันโลหะต่อพื้นที่ 1 ตร.กม.) ตามลำดับ และพื้นที่คัดสรรย่อย “ห้วยพลู” มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวมเบื้องต้น ประมาณ 336,580 ตันโลหะ (หรือ ~ 13,463 ตันโลหะต่อพื้นที่ 1 ตร.กม.) ประกอบด้วยธาตุหายากชนิดหลัก 4 ชนิด คือ ซีเรียม (Ce), แลนทานัม (La), นีโอติเนียม (Nd) และ อิตเทรียม (Y) และธาตุหายากชนิดรองอีก 5 ชนิด คือ สแกนเดียม (Sc) เพอร์ซีโอติเนียม (Pr), ซาแมเรียม (Sm), แกโดลิเนียม (Gd) และ ดิสโพรเซียม (Dy) และมีปริมาณทรัพยากรของธาตุ

กัมมันตรังสีแฟง ชนิดทอเรียม และยูเรเนียม ประมาณ 60,570 ตันโลหะ (หรือ ~ 2,423 ตันโลหะต่อพื้นที่ 1 ตร.กม.) และ 18,380 ตันโลหะ (หรือ 735 ตันโลหะต่อพื้นที่ 1 ตร.กม.) ตามลำดับ

6.1.3 การประเมินมูลค่าทรัพยากรธาตุหายาก

สำหรับการประเมินมูลค่าเบื้องต้นของทรัพยากรธาตุหายากในพื้นที่คัดสรรย่อยนี้จะคิดเฉพาะจากปริมาณธาตุหายากเพียง 5 ธาตุ คือ La, Ce, Pr, Nd และ Y เท่านั้น โดยใช้ราคาที่ประกาศไว้ใน <http://www.metal-pages.com> ซึ่งเป็นราคาโลหะ ณ เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2557 โดยใช้อัตราแลกเปลี่ยนที่ 35 บาท/US\$ (ตารางที่ 7) โดยมีมูลค่าทรัพยากรธาตุหายากเบื้องต้นในพื้นที่คัดสรรย่อย “บ่อทอง” ประมาณ 83,745 ล้านบาท (~11,964 ล้านบาท/ตร.กม.) พื้นที่คัดสรรย่อย “แม่ข้าวต้ม” ประมาณ 65,991 ล้านบาท (~10,999 ล้านบาท/ตร.กม.) และพื้นที่คัดสรรย่อย “ห้วยพลู” ประมาณ 373,632 ล้านบาท (~14,945 ล้านบาท/ตร.กม.) รวมมีมูลค่าทรัพยากรธาตุหายากเบื้องต้นทั้งสิ้นประมาณ 523,368 ล้านบาท

ตารางที่ 7 ราคาและมูลค่าทรัพยากรแร่ในพื้นที่คัดสรรย่อย

	“บ่อทอง” (7 ตร.กม.)		“แม่ข้าวต้ม” (6 ตร.กม.)		“ห้วยพลู” (25 ตร.กม.)	
	ปริมาณ ทรัพยากร (เมตริกตัน โลหะ)	มูลค่า ทรัพยากร เบื้องต้น (ล้านบาท)	ปริมาณ ทรัพยากร (เมตริกตัน โลหะ)	มูลค่า ทรัพยากร เบื้องต้น (ล้านบาท)	ปริมาณ ทรัพยากร (เมตริกตัน โลหะ)	มูลค่า ทรัพยากร เบื้องต้น (ล้านบาท)
La (10 US\$/Kg)	14,006	49,021	11,036	3,863	62,491	21,872
Ce (11 US\$/Kg)	31,479	12,119	24,813	9,553	140,452	54,074
Pr (150 US\$/Kg)	3,127	16,417	2,464	12,936	13,950	73,238
Nd (85 US\$/Kg)	10,912	32,463	8,599	25,582	48,685	144,838
Y (60 US\$/Kg)	8,497	17,844	6,694	14,057	37,910	79,611
มูลค่าแต่ละพื้นที่		83,745		65,991		373,632
มูลค่ารวมทั้งสิ้น	523,368 ล้านบาท					

6.2 การจำแนกประเภทแหล่งแร่ตามหลัก UNFC-2009

ในการจำแนกประเภทแหล่งแร่จะใช้พื้นฐานการประเมินตามมาตรฐานการจำแนกประเภทปริมาณแร่ของสหประชาชาติและสังคมแห่งสหประชาชาติ ปีพ.ศ. 2552 (United Nations International Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources (UNFC), 2009) (ECE, 2013) ซึ่งอาศัยปัจจัยหลักในการประเมิน 3 ปัจจัย (3 แกน) คือ การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของแหล่งแร่ (Economic Viability: แกน E มี 3 ระดับของการ

ประเมิน) การประเมินความเป็นไปได้ของโครงการทำเหมือง (Feasibility Assessment: แกน F มี 4 ระดับของการประเมิน) และการประเมินทางธรณีวิทยา (Geological Assessment: แกน G มี 4 ระดับของการประเมิน) โดยรายละเอียดและระดับความเชื่อมั่นของการประเมินในแต่ละปัจจัยจะบ่งบอกด้วยรหัสตัวเลข ซึ่งรหัสเลข 1 ระดับความละเอียดหรือระดับความเชื่อมั่นของการประเมินสูงสุด ส่วนรหัสเลข 3 หรือ 4 ระดับความเชื่อมั่นต่ำสุดในปัจจัยเฉพาะด้านนั้น ๆ ดังเช่น ตัวเลขปริมาณแร่สำรองที่กำกับด้วยรหัส 111 บ่งชี้ว่าแหล่งแร่ นั้น ๆ มีค่าปริมาณแร่สำรองที่ได้พิสูจน์ชัดเจนตามหลักวิชา ผ่านการประเมินความเป็นไปได้ในการทำเหมืองอย่างละเอียด และมีความคุ้มค่าในการพัฒนาแหล่งขึ้นมาใช้ประโยชน์ เป็นต้น

6.2.1 พื้นที่คัดสรรย่อย “บ่อทอง”

- การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ในการสำรวจพื้นที่แหล่งธาตุหายากครั้งนี้ได้ดำเนินการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและความเสี่ยงด้านผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตแยกธาตุหายากจากชั้นดินในเบื้องต้นแล้ว โดยพิจารณาปริมาณและค่าความสมบูรณ์เฉลี่ยของชนิดธาตุหายากหลัก ได้แก่ Ce, La, Pr, Nd และ Y ที่มีอยู่ในชั้นดิน/หินผุเทียบกับระดับราคาตลาดในรูปของโลหะของธาตุดังกล่าวแล้ว พบว่าพื้นที่แหล่งธาตุหายากนี้ยังคงไม่มีความคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจ ดังนั้นการประเมินในปัจจัยด้านนี้ จึงจัดอยู่ในระดับ 3

- การประเมินความเป็นไปได้ของโครงการทำเหมือง ในการสำรวจครั้งนี้มีเพียงการศึกษาทางด้านธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่เท่านั้น แต่ไม่ได้ดำเนินการประเมินความเป็นไปได้ของโครงการทำเหมืองในด้านอื่น ๆ ดังนั้นการประเมินในปัจจัยด้านนี้ จึงจัดอยู่ในระดับ 3

- การประเมินทางธรณีวิทยา ประกอบด้วยการสำรวจธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่ธรณีฟิสิกส์ และธรณีวิทยาแหล่งแร่ใต้ดิน แต่ผลวิเคราะห์เคมีที่ใช้ในการคำนวณปริมาณทรัพยากรยังไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ จึงจัดให้อยู่ในระดับ 3

ฉะนั้นในการจำแนกประเภทแหล่งแร่การสำรวจพื้นที่แหล่งธาตุหายากในพื้นที่คัดสรรย่อย “บ่อทอง” จึงเทียบเท่า UNFC-2009 ที่ระดับ 333 โดยยังจัดอยู่ในชั้นของโครงการสำรวจ (class of Exploration Projects)

6.2.2 พื้นที่คัดสรรย่อย “แม่ข้าวต้ม”

- การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ในการสำรวจพื้นที่แหล่งธาตุหายากครั้งนี้ได้ดำเนินการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและความเสี่ยงด้านผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตแยกธาตุหายากจากชั้นดินในเบื้องต้นแล้ว โดยพิจารณาปริมาณและค่าความสมบูรณ์เฉลี่ยของชนิดธาตุหายากหลัก ได้แก่ Ce, La, Pr, Nd และ Y ที่มีอยู่ในชั้นดิน/หินผุเทียบกับระดับราคาตลาดในรูปของโลหะของธาตุดังกล่าวแล้ว พบว่าพื้นที่แหล่งธาตุหายากนี้ยังคงไม่มีความคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจ ดังนั้นการประเมินในปัจจัยด้านนี้ จึงจัดอยู่ในระดับ 3

- การประเมินความเป็นไปได้ของโครงการทำเหมือง ในการสำรวจครั้งนี้มีเพียงการศึกษาทางด้านธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่เท่านั้น แต่ไม่ได้ดำเนินการประเมินความเป็นไปได้ของโครงการทำเหมืองในด้านอื่น ๆ ดังนั้นการประเมินในปัจจุบันด้านนี้ จึงจัดอยู่ในระดับ 3

- การประเมินทางธรณีวิทยา ประกอบด้วยการสำรวจธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่ ธรณีฟิสิกส์ และธรณีวิทยาแหล่งแร่ใต้ดิน แต่ผลวิเคราะห์เคมีที่ใช้ในการคำนวณปริมาณทรัพยากรยังไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ จึงจัดให้อยู่ในระดับ 3

ฉะนั้นในการจำแนกประเภทแหล่งแร่การสำรวจพื้นที่แหล่งธาตุหายากในพื้นที่คัดสรรย่อย “แม่ข้าวต้ม” จึงเทียบเท่า UNFC-2009 ที่ระดับ 333 โดยยังจัดอยู่ในชั้นของโครงการสำรวจ (class of Exploration Projects)

6.2.3 พื้นที่คัดสรรย่อย “ห้วยพลู”

- การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ในการสำรวจพื้นที่แหล่งธาตุหายากครั้งนี้ได้ดำเนินการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและความเสี่ยงด้านผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตแยกธาตุหายากจากชั้นดินในเบื้องต้นแล้ว โดยพิจารณาปริมาณและค่าความสมบูรณ์เฉลี่ยของชนิดธาตุหายากหลัก ได้แก่ Ce, La, Pr, Nd และ Y ที่มีอยู่ในชั้นดิน/หินผุเทียบกับระดับราคาตลาดในรูปของโลหะของธาตุดังกล่าวแล้ว พบว่าพื้นที่แหล่งธาตุหายากนี้ยังคงไม่มีความคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจ ดังนั้นการประเมินในปัจจุบันด้านนี้ จึงจัดอยู่ในระดับ 3

- การประเมินความเป็นไปได้ของโครงการทำเหมือง ในการสำรวจครั้งนี้มีเพียงการศึกษาทางด้านธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่เท่านั้น แต่ไม่ได้ดำเนินการประเมินความเป็นไปได้ของโครงการทำเหมืองในด้านอื่น ๆ ดังนั้นการประเมินในปัจจุบันด้านนี้ จึงจัดอยู่ในระดับ 3

- การประเมินทางธรณีวิทยา ประกอบด้วยการสำรวจธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่ ธรณีฟิสิกส์ และธรณีวิทยาแหล่งแร่ใต้ดิน แต่การสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึกยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ ขาดการสำรวจวัดค่ากัมมันตรังสีภาคพื้นดินประกอบกับผลวิเคราะห์เคมีที่ใช้ในการคำนวณปริมาณทรัพยากรยังไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ จึงจัดให้อยู่ในระดับ 4

ฉะนั้นในการจำแนกประเภทแหล่งแร่การสำรวจพื้นที่แหล่งธาตุหายากในพื้นที่คัดสรรย่อย “ห้วยพลู” จึงเทียบเท่า UNFC-2009 ที่ระดับ 334 โดยยังจัดอยู่ในชั้นของโครงการสำรวจ (class of Exploration Projects)

6.3 การประเมินและจำแนกเขตแหล่งแร่

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลที่น่าเสนอไว้ในตารางที่ 6 และในตารางที่ 7 ควบคู่กัน จะเห็นได้ว่า แหล่งธาตุหายาก “บ่อทอง” “แม่ข้าวต้ม” และ “ห้วยพลู” นอกจากจะมีมูลค่าทรัพยากรธาตุหายากเบื้องต้นรวมกันประมาณ 523,368 ล้านบาทแล้วยังมีปริมาณทรัพยากรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์แฝงในพื้นที่แหล่งแร่ทั้งสามส่วนนี้ด้วย ทั้งนี้เมื่อพิจารณาข้อมูลผลสำรวจรวมกับข้อจำกัดการใช้พื้นที่ตาม

กฎหมายที่กำหนดในหลักเกณฑ์การจำแนกเขตทรัพยากรแร่เพื่อการบริหารจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีตามมติคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ที่นำมาใช้พิจารณา ดังนี้

1. พื้นที่ป่าตามผลการจำแนกเขตการใช้ประโยชน์ทรัพยากรและที่ดินป่าไม้ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติโดยกรมป่าไม้ ตามมติคณะรัฐมนตรี ขอบเขตพื้นที่แหล่งธาตุหายากที่ได้ทำการประเมินปริมาณทรัพยากรธาตุหายากไว้ข้างต้นนั้นไม่ได้อยู่ในเขตพื้นที่หวงห้ามทางกฎหมายใด ๆ
2. เขตคุณภาพลุ่มน้ำ ตามผลการกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ โดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ขอบเขตพื้นที่แหล่งธาตุหายากนี้เป็นพื้นที่ที่มีการทำเกษตรกรรมและไม่ได้อยู่ในเขตลุ่มน้ำชั้นที่ 1

จากหลักเกณฑ์ข้อจำกัดในการใช้พื้นที่ตามกฎหมายข้างต้น กล่าวได้ว่าพื้นที่แหล่งธาตุหายากนี้ อยู่ในเขตที่สามารถพัฒนาทรัพยากรแร่มาใช้ประโยชน์ได้ โดยต้องอยู่ภายใต้การกำกับของกฎหมายแร่ และกฎระเบียบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งอาจกล่าวโดยสรุปได้ว่าพื้นที่แหล่งแร่นี้มีเป็นแหล่งทรัพยากรสำรองสำหรับธาตุหายากและเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ เพื่อความมั่นคงทางพลังงานในอนาคตของประเทศ

บทที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุป

จากผลการสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ชั้นรายละเอียดธาตุหายากและธาตุกัมมันตรังสีแฝง ในพื้นที่จังหวัดเชียงราย สามารถกำหนดพื้นที่แหล่งธาตุหายากและธาตุกัมมันตรังสีแฝงได้ 3 แหล่ง คือ แหล่ง “บ่อทอง” ครอบคลุมเนื้อที่ชั้นต่ำ 7 ตร.กม. อยู่ในบริเวณตำบลท่าสุด อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย แหล่ง “แม่ข้าวต้ม” ครอบคลุมเนื้อที่ชั้นต่ำ 6 ตร.กม. อยู่ในบริเวณตำบลท่าสุด อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย และแหล่ง “ห้วยพลู” ครอบคลุมเนื้อที่ชั้นต่ำ 25 ตร.กม. อยู่ในบริเวณตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ซึ่งทั้งสามแหล่งจัดเป็นแหล่งธาตุหายากแบบทุติยภูมิที่เกิดจากการผุพังอยู่กับที่เหนือมวลหินไบโอไทต์แกรนิต (Trgr) เนื่อดอก โดยปริมาณธาตุหายากสะสมตัวในชั้นดิน/หินผุมีแนวโน้มที่จะอยู่ในรูปแบบของการดูดซับประจุด้วยแร่ดินเป็นหลัก

แหล่ง “บ่อทอง” มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวมเบื้องต้นประมาณ 75,440 ตันโลหะ ฤ ค่าความสมบูรณ์เฉลี่ย 350 ppm มีปริมาณทรัพยากรธาตุทอเรียมแฝงเบื้องต้น ประมาณ 13,580 ตันโลหะ ฤ ค่าความสมบูรณ์เฉลี่ย 63 ppm มีปริมาณทรัพยากรธาตุยูเรเนียมแฝงเบื้องต้น ประมาณ 4,120 ตันโลหะ ฤ ค่าความสมบูรณ์เฉลี่ย 19 ppm โดยมีศักยภาพของการพัฒนาแหล่งอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง ระดับความเชื่อมั่นของการประเมินปริมาณทรัพยากรเบื้องต้นตามหลักการของ UNFC-2009 เทียบเท่า 333

แหล่ง “แม่ข้าวต้ม” มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวมเบื้องต้นประมาณ 59,450 ตันโลหะ ฤ ค่าความสมบูรณ์เฉลี่ย 350 ppm มีปริมาณทรัพยากรธาตุทอเรียมแฝงเบื้องต้น ประมาณ 10,700 ตันโลหะ ฤ ค่าความสมบูรณ์เฉลี่ย 63 ppm มีปริมาณทรัพยากรธาตุยูเรเนียมแฝงเบื้องต้น ประมาณ 3,250 ตันโลหะ ฤ ค่าความสมบูรณ์เฉลี่ย 19 ppm โดยมีศักยภาพของการพัฒนาแหล่งอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง ระดับความเชื่อมั่นของการประเมินปริมาณทรัพยากรเบื้องต้นตามหลักการของ UNFC-2009 เทียบเท่า 333

แหล่ง “ห้วยพลู” มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวมเบื้องต้นประมาณ 336,580 ตันโลหะ ฤ ค่าความสมบูรณ์เฉลี่ย 350 ppm มีปริมาณทรัพยากรธาตุทอเรียมแฝงเบื้องต้น ประมาณ 60,570 ตันโลหะ ฤ ค่าความสมบูรณ์เฉลี่ย 63 ppm มีปริมาณทรัพยากรธาตุยูเรเนียมแฝงเบื้องต้น ประมาณ 18,380 ตันโลหะ ฤ ค่าความสมบูรณ์เฉลี่ย 19 ppm โดยมีศักยภาพของการพัฒนาแหล่งอยู่ในระดับปานกลาง ระดับความเชื่อมั่นของการประเมินปริมาณทรัพยากรเบื้องต้นตามหลักการของ UNFC-2009 เทียบเท่า 334

7.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับข้อเสนอแนะในการดำเนินการต่อไปในพื้นที่ศักยภาพธาตุหายากและธาตุกัมมันตรังสีแฝง จังหวัดเชียงราย มีดังนี้

7.2.1 มิติด้านการสำรวจและการพัฒนาทรัพยากรธาตุหายาก

จากผลการสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรธาตุหายากและธาตุกัมมันตรังสีแฝงระดับรายละเอียด จังหวัดเชียงราย ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 สามารถกำหนดพื้นที่แหล่งแร่ได้ 3 พื้นที่ซึ่งมีศักยภาพของแหล่งอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง แต่ผลการสำรวจนั้นเป็นการศึกษาในพื้นที่ขนาดใหญ่ (7 ตร.กม., 6 ตร.กม. และ 25 ตร.กม.) และยังพบว่า ณ บางจุดสำรวจในพื้นที่มีชั้นดินที่ให้ค่า TREY ที่ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณโดยรอบ ดังนั้นหากมีการสำรวจเพิ่มเติมอาจจะสามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่มีขนาดเล็กลง มีศักยภาพสูงมากพอและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจในการที่จะพัฒนาแหล่งขึ้นมาใช้ประโยชน์ จึงควรที่จะมีการดำเนินการในอนาคตเพิ่มเติม ดังนี้

1. ควรสำรวจในรายละเอียดเพิ่มเติมในพื้นที่มีชั้นดินที่ให้ค่า TREY สูง เพื่อหาขอบเขตการแผ่กระจายของชั้นดินให้ธาตุหายากสูง และประเมินปริมาณทรัพยากรธาตุหายากเพิ่มเติมในบริเวณดังกล่าว ต่อไป

2. ควรมีการศึกษาด้านแร่วิทยาอย่างละเอียด เพื่อให้ทราบลักษณะของแร่ให้ธาตุหายากว่าเกิดอยู่ในรูปแบบใดในเนื้อหินแกรนิตต้นกำเนิด รวมถึงสัดส่วนของธาตุหายากที่ถูกดูดซับด้วยแร่ดินที่ชัดเจน ซึ่งจะเป็นข้อมูลฐานสำคัญสำหรับการพัฒนากระบวนการสกัดแยกธาตุหายากที่เหมาะสมกับลักษณะทางธรณีวิทยาของแหล่ง ที่จะทำให้ทราบถึงต้นทุนสำหรับใช้ในการประเมินความคุ้มค่าในการพัฒนาแหล่งได้ดียิ่งขึ้น

3. ควรมีการนำตัวอย่างดินในพื้นที่ที่มีค่าความสมบูรณ์ต่ำมาทดลองวิจัยหาความเป็นไปได้ในการสกัดแยกธาตุหายาก เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

7.2.2 มิติด้านการพัฒนาวิชาการ

1. ควรส่งเสริมให้สถาบันการศึกษาและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำเอาผลการสำรวจและตัวอย่างที่ได้จัดเก็บมาไปใช้ศึกษาวิจัยต่อยอดในเชิงลึกถึงรูปแบบรายละเอียดของการเกิดแหล่งธาตุหายากแบบตกค้างสะสม เพื่อเปรียบเทียบกับแหล่งศักยภาพแหล่งอื่นในประเทศ รวมถึงเปรียบเทียบกับแหล่งที่พัฒนาเป็นเหมืองแล้วในประเทศจีน และแหล่งที่กำลังจะพัฒนาเป็นเหมืองในประเทศเพื่อนบ้าน เช่น ลาว และเวียดนาม เพื่อที่จะนำไปสู่การค้นพบแหล่งธาตุหายากใหม่ ๆ

2. ควรส่งเสริมให้เกิดข้อตกลงความร่วมมือทางวิชาการระหว่างกรมทรัพยากรธรณีและกรมอุทยาน สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ที่ร่วมกันทำบูรณาการการสำรวจศึกษาชั้นดินตามเทือกหินแกรนิตในเขตอุทยานแห่งชาติ ซึ่งโดยธรรมชาติมักเป็นพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มสูง เพื่อให้ได้ข้อมูลทางธรณีวิทยา รวมถึง

ความมีศักยภาพทางแร่ของธาตุหายากสำหรับเป็นต้นทุนสำรองของประเทศในอนาคต อีกทั้งอาจเป็นการช่วยลดอัตราเสี่ยงภัยจากดินถล่มได้อีกทางหนึ่ง

7.3 พื้นที่แหล่งแร่สำหรับการลงทุนพัฒนาเหมืองแร่ของภาคเอกชน

พื้นที่แหล่งแร่ที่พบนี้ยังไม่เหมาะสมสำหรับการลงทุนพัฒนาเหมืองแร่ของภาคเอกชนในปัจจุบัน ทั้งนี้ในอนาคตควรทำการเจาะสำรวจหาความสมบูรณ์ของธาตุหายากในชั้นหินผุในระดับลึกเพิ่มเติม รวมถึงทำการการศึกษารูปแบบการสะสมตัวของธาตุหายากในเชิงลึกให้ทราบรายละเอียดสำหรับการนำไปต่อยอดหากระบวนการสกัดแยกธาตุหายากที่เหมาะสมกับแหล่ง เพื่อใช้ในการประเมินความคุ้มค่าสำหรับการพัฒนาเป็นเหมืองและใช้กำหนดแนวทางการควบคุมและป้องกันผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการทำเหมืองและการสกัดแยกธาตุหายากจากชั้นดิน/หินผุต่อไป และควรมีการประสานกับชุมชนในท้องถิ่นเพื่อชี้แจงผลได้ผลเสียจากการทำเหมือง รวมถึงสอบถามแนวความคิดเกี่ยวกับการฟื้นฟูและการใช้ประโยชน์พื้นที่หลังการทำเหมืองแร่

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี, 2549 ก, การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดเชียงราย, กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 64 หน้า.
- _____, 2550 ข, ธรณีวิทยาประเทศไทย, พิมพ์ครั้งที่ 2 ฉบับปรับปรุง, กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 628 หน้า.
- _____, 2550 ค, แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเชียงราย มาตราส่วน 1:250,000, กรมทรัพยากรธรณี, 1 แผ่น.
- กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ในช่วง พ.ศ. 2550 – 2556, กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร รวบรวมโดย: สำนักสถิติพยากรณ์ สำนักงานสถิติแห่งชาติ
- กิ่งดาว เคลือบทอง, จำรูญ อัยศิริไพศาล และคณะทำงานจัดทำและกำหนดมาตรฐานคุณสมบัติการใช้ประโยชน์ทรัพยากรแร่, 2553, การจัดทำและกำหนดมาตรฐานคุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ทรัพยากรแร่โลหะหนักและแร่โลหะหายากของประเทศไทย, สำนักทรัพยากรแร่, กรมทรัพยากรธรณี, รายงานวิชาการ, 64 หน้า.
- จำรูญ อัยศิริไพศาล, 2535, การสำรวจและวิจัยแร่และธาตุโลหะหายากในประเทศไทย, ฉบับที่ กศ 1/2536, กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, 93 หน้า.
- พิพัฒน์ พิเชษฐพงษ์, 2555, กระบวนการแปรสภาพแร่โมโนไซต์และการสกัดธาตุหายาก ใน เอกสารประกอบการระดมความคิดเห็นและเผยแพร่องค์ความรู้ “งานสำรวจและประเมินศักยภาพแร่หนัก-ธาตุหายาก จังหวัดกาญจนบุรี” ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555, กรุงเทพฯ, 11 หน้า.
- ราชบัณฑิตยสถาน, 2544, พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา ฉบับราชบัณฑิตยสถาน, กรุงเทพฯ, หน้า 175.
- Bao, Z. and Zhao, Z., 2008, Geochemistry of mineralization with exchangeable REE in the weathering crusts of granitic rocks in South China. *Ore Geol. Rev.*, 33, p. 519-535.
- Bleiwas and Gambogi, 2013, Preliminary estimates of the quantities of rare-earth elements contained in selected products and in imports of semimanufactured products to the United States, 2010. Open-File Report 2013-1072, U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior, p. 5.
- Cobbing, E.J., 2011, Granitic rocks. In: Ridd, M.F., Barber, A.J. and Crow, M.J. (eds.), *Geology of Thailand*, Geological Society, London, p. 441-458.
- Connelly, N.G., Damhus, T., Hartshorn, R.M., and Hutton, A.T., 2005, Nomenclature of inorganic chemistry-IUPAC recommendations 2005. Cambridge, United Kingdom, Royal Society of Chemistry, 366 p.
- Cordier, D.J., 2011, Rare Earths (Advance release). In 2009 Minerals Yearbook, Volume 1, U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior, p. 60.1.
- ECE, 2013, United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009, ECE Energy Series No. 42, United Nations, 57 p.
- Haque, N., Hughes, A., Lim, S. and Vernon, C., 2014, Rare Earth Elements: Overview of Mining, Mineralogy, Uses, Sustainability and Environmental Impact. *Resources* 2014, 3, 614-635. Available source: <http://www.mdpi.com/journal/resources>. Doi:10.3390/resources3040614
- Haxel, G.B., Hedrick, J.B. and Orris, G.J., 2002, Rare Earth Elements—Critical Resources for High Technology. *USGS Fact Sheet 087-02*, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, <http://pubs.usgs.gov/fs/2002/fs087-02>, 4 p.
- Lide, D.R., ed., 2004, Abundance of elements in the Earth's crust and in the sea, In sec. 14 of CRC handbook of physics and chemistry—A ready-reference book of chemical and physical data (85th edition): Boca Raton, Fla., CRC Press, p. 17

- Moeller, T., 1963, The Chemistry of the Lanthanides. New York: Reinhold Publishing Corporation.
- Murakami, H. and Ishihara, S., 2008, REE mineralization of weathered crust and clay sediment on granitic rocks in the Sanyo belt, SW Japan and southern Jiangxi province, China. *Resource Geol.*, 58, 373-401.
- Pettijohn, F.J., 1957, Sedimentary Rocks. Harper & Brothers New York.
- Wu, C., Huang, D. and Guo, Z., 1990, REE geochemistry in the weathered crust of granites, Longnan area, Jiangxi province. *Acta Geol. Sinica*, 3, p. 193-210.
- Wu, C, Yuan, Z. and Bai, G., 1996, Rare earth deposits in China. In: Jones, A.P., Wall, F. and Williams, C.T. (eds.), *Rare Earth Minerals: Chemistry origin and ore deposits* (The Mineralogical Society Series, 7), Chapman & Hall, p. 281-310.
- <http://www.metal-pages.com>
- http://www.chiangrai.net/CRwp/?page_id=145

บรรณานุกรม

- กึ่งดาว เคลือบทอง, ญะวี พุ่มหมอก, อรพินท์ รุจิรานพวงศ์ และวนิดา ระเบียบพิศม์, 2556, โครงการศึกษาการกำหนดธาตุหายากในหินแกรนิต บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย พื้นที่จังหวัดเชียงราย พะเยา แพร่ และอุตรดิตถ์, สำนักทรัพยากรแร่, กรมทรัพยากรธรณี, รายงานฉบับสมบูรณ์, 237 หน้า
- กรมทรัพยากรธรณี, 2549, โครงการเร่งรัดการสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ พื้นที่แปลงที่ 1/2549 “เชียงทอง” โดย บริษัท จีเอ็มที คอร์ปอเรชั่น จำกัด (สัญญาจ้างเลขที่ 126/2549): รายงานฉบับสมบูรณ์, กรมทรัพยากรธรณี, 200 หน้า.
- _____, 2550, โครงการเร่งรัดการสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ พื้นที่แปลงที่ 2/2550 “เชียงราย” โดย บริษัท จีเอ็มที คอร์ปอเรชั่น จำกัด (สัญญาจ้างเลขที่ 127/2550): รายงานฉบับสมบูรณ์, กรมทรัพยากรธรณี, 198 หน้า.
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541, การประเมินศักยภาพทางธรณีวิทยาเกี่ยวกับปริมาณของแร่ซึ่งมีโลหะหายากในประเทศไทย, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อ สกว., 260 หน้า
- ปัญญา จารุศิริ, สุวิทย์ โคสุวรรณ, วัฒนา ตูตี่จัน และชัยยุทธ ชันธปราบ, 2537, ธรรณีเคมีของธาตุหายากในหินแกรนิตของประเทศไทย: ความเกี่ยวเนื่องกับการสำรวจในอนาคต, เอกสารประกอบการประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่ ครั้งที่ 5 “อุตสาหกรรมแร่และพลังงานเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ,” 24-25 พฤศจิกายน 2537 ณ โรงแรม บีพี แกรนด์ทาวเวอร์, สงขลา, หน้า 2-22-47.
- Nakapadungrat, S., 2014, Igneous and metamorphic rocks. In: Nuchanong, T. and others (eds.), *Geology of Thailand*, Department of Mineral Resources, Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok, Thailand, p. 207-217.
- Potissat, S., 1995, Rare-earth element resources in Thailand, เอกสารกองพัฒนาทรัพยากรธรณี ฉบับที่ 2/2538, กรมทรัพยากรธรณี, 11 หน้า
- U.S. Department of the Interior, 2007, Rare Earths. *Minerals Yearbook*, Volume 1, U.S. Geological Survey (USGS)

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลวิเคราะห์แร่หนักตกค้างในตัวอย่างตะกอนทางน้ำ
และในตัวอย่างดิน/หินผุ จากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น

ภาคผนวก ก ตารางแสดงผลวิเคราะห์แร่หนักตกค้างในตัวอย่างตะกอนทางน้ำที่เก็บจากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น

พื้นที่	น้ำหนักรวม (g/m ³)	Ilmenite (g/m ³)	Garnet (g/m ³)	Hematite/ Iron oxide (g/m ³)	Monazite- Xenotime (g/m ³)	Tourmaline (g/m ³)	Zircon (g/m ³)	Rutile- anatase (g/m ³)	Cassiterite (g/m ³)	Thorite (g/m ³)	Amphibole (g/m ³)	Schelite (g/m ³)	Epidote (g/m ³)	Pyrite (g/m ³)	spinel (g/m ³)
ปริมาณแร่หนักที่ได้จากการร่อนเลียงดิน/หินแกรนิตผุ ปริมาตร 10 ลิตร															
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	60.00	2.43	-	17.78	-	1.08	8.07	1.45	-	-	-	-	5.86	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	130.00	-	15.89	-	-	1.70	3.81	-	-	-	-	-	-	108.60	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	20.00	-	-	1.18	-	3.28	0.74	-	-	-	-	6.30	1.79	1.31	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	31.86	1.73	-	11.52	3.67	-	12.03	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	140.00	4.94	-	47.05	-	-	57.33	-	-	-	-	-	2.38	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	35.75	-	-	15.37	-	-	10.84	-	-	-	-	-	0.94	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	29.93	7.01	-	10.02	-	-	6.98	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	70.00	23.40	-	8.93	-	-	27.19	-	-	-	-	-	1.69	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	43.88	12.19	-	11.62	-	-	14.57	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	50.00	15.62	-	12.41	2.77	-	12.96	-	-	-	-	3.32	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	38.55	8.29	-	7.90	4.41	-	14.44	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	80.00	16.89	-	24.15	8.98	-	25.22	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	120.00	33.18	-	22.22	-	-	52.86	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	100.00	31.48	-	15.01	44.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	61.98	16.30	-	9.33	3.47	-	29.21	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	59.07	17.99	-	8.69	3.23	-	27.22	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	26.37	9.39	-	2.56	0.86	-	12.02	-	0.79	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	80.00	17.57	0.73	8.38	4.67	-	34.98	-	-	-	-	-	7.62	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	59.95	9.75	-	18.60	3.46	-	22.66	-	-	-	-	-	-	-	-

ภาคผนวก ก (ต่อ) ตารางแสดงผลวิเคราะห์แร่หนักตกค้างในตัวอย่างตะกอนทางน้ำที่เก็บจากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น

พื้นที่	น้ำหนักรวม (g/m ³)	Ilmenite (g/m ³)	Garnet (g/m ³)	Hematite/ Iron oxide (g/m ³)	Monazite- Xenotime (g/m ³)	Tourmaline (g/m ³)	Zircon (g/m ³)	Rutile- anatase (g/m ³)	Cassiterite (g/m ³)	Thorite (g/m ³)	Amphibole (g/m ³)	Schelite (g/m ³)	Epidote (g/m ³)	Pyrite (g/m ³)	spinel (g/m ³)
ปริมาณแร่หนักที่ได้จากการร่อนเลียงดิน/หินแกรนิตผุ ปริมาตร 10 ลิตร															
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	110.00	11.72	-	33.51	9.97	1.56	46.65	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	97.15	10.72	-	30.65	11.40	-	32.00	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	80.00	8.53	-	28.46	-	-	38.21	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	460.00	248.72	-	94.90	-	-	74.29	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	60.00	13.41	-	15.99	-	-	20.03	3.01	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	90.00	10.93	-	10.42	-	14.53	32.63	4.90	-	-	-	-	3.95	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	70.00	8.63	-	8.23	-	5.74	25.80	3.87	-	-	-	-	3.12	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	70.00	2.44	-	7.74	-	2.70	40.39	3.64	-	-	-	-	2.93	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	110.00	3.83	-	2.50	-	8.69	69.00	2.34	-	-	-	-	4.73	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	9.12	2.62	-	2.00	0.56	0.35	1.57	0.47	-	-	-	-	-	0.11	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	14.04	1.58	-	1.51	1.35	2.10	4.72	1.42	0.47	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	9.12	0.52	-	0.98	1.64	2.05	3.08	0.46	0.15	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	1.64	0.19	-	0.19	0.21	0.32	0.39	0.17	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	10.32	2.30	-	2.19	1.19	1.15	2.29	0.52	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	22.92	2.63	-	3.76	2.79	4.37	5.23	1.88	0.78	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	1.62	0.10	-	0.27	0.20	0.38	0.47	0.09	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	43.60	2.19	-	-	-	-	41.41	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	62.48	-	-	6.10	-	-	51.01	-	2.84	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	50.30	-	-	4.91	-	-	41.06	-	2.29	-	-	-	-	-	-

ภาคผนวก ก (ต่อ) ตารางแสดงผลวิเคราะห์แร่หนักตกค้างในตัวอย่างตะกอนทางน้ำที่เก็บจากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น

พื้นที่	น้ำหนักรวม (g/m ³)	Ilmenite (g/m ³)	Garnet (g/m ³)	Hematite/ Iron oxide (g/m ³)	Monazite- Xenotime (g/m ³)	Tourmaline (g/m ³)	Zircon (g/m ³)	Rutile- anatase (g/m ³)	Cassiterite (g/m ³)	Thorite (g/m ³)	Amphibole (g/m ³)	Schelite (g/m ³)	Epidote (g/m ³)	Pyrite (g/m ³)	spinel (g/m ³)
ปริมาณแร่หนักที่ได้จากการร่อนเลียงดิน/หินแกรนิตผุ ปริมาตร 10 ลิตร															
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	65.85	-	-	6.49	-	-	54.21	-	2.02	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	60.59	-	-	8.97	-	-	46.84	-	1.85	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	84.34	-	-	1.64	-	-	77.16	-	2.55	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	96.62	-	-	1.89	-	0.66	89.82	-	1.47	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	36.37	9.70	-	5.55	-	-	15.45	3.48	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	30.17	6.54	-	3.12	-	-	16.28	1.47	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	251.63	-	-	29.57	32.99	103.12	77.20	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	13.04	0.74	-	5.66	0.79	-	3.69	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	3.79	0.41	-	2.32	0.22	-	0.61	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	45.39	-	-	28.54	-	-	12.41	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	25.03	1.32	-	17.68	-	-	5.28	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	7.18	-	-	3.92	-	-	2.04	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	17.17	-	-	7.29	-	-	7.61	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	36.30	-	-	15.45	-	-	16.13	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	33.93	-	-	14.48	-	-	15.12	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	12.00	-	-	5.13	-	-	5.36	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	7.00	-	-	3.42	-	-	3.58	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	15.00	-	-	6.73	-	0.55	6.53	-	-	-	-	-	0.12	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	41.00	14.67	-	12.78	0.45	-	12.52	-	-	-	0.28	-	0.30	-	-

ภาคผนวก ก (ต่อ) ตารางแสดงผลวิเคราะห์แร่หนักตกค้างในตัวอย่างตะกอนทางน้ำที่เก็บจากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น

พื้นที่	น้ำหนักรวม (g/m ³)	Ilmenite (g/m ³)	Garnet (g/m ³)	Hematite/ Iron oxide (g/m ³)	Monazite- Xenotime (g/m ³)	Tourmaline (g/m ³)	Zircon (g/m ³)	Rutile- anatase (g/m ³)	Cassiterite (g/m ³)	Thorite (g/m ³)	Amphibole (g/m ³)	Schelite (g/m ³)	Epidote (g/m ³)	Pyrite (g/m ³)	spinel (g/m ³)
ปริมาณแร่หนักที่ได้จากการร่อนเลียงดิน/หินแกรนิตผุ ปริมาตร 10 ลิตร															
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	29.00	10.38	-	9.05	0.32	-	8.86	-	-	-	-	-	0.21	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	39.00	14.13	-	11.55	-	-	12.09	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	30.00	11.22	-	6.73	-	-	9.58	-	-	-	-	-	0.47	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	23.00	8.23	-	6.73	-	-	7.50	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	35.00	5.54	-	8.81	-	-	18.40	-	-	-	-	-	0.27	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	44.00	13.57	-	8.63	0.48	-	20.27	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	18.00	3.71	-	4.42	0.20	-	9.24	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	19.00	4.90	-	3.74	-	-	9.76	-	-	-	-	-	0.14	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	24.00	4.95	-	5.89	0.26	-	12.31	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	20.69	0.62	-	0.40	9.90	0.69	8.24	-	-	0.47	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	29.39	0.27	-	1.39	13.35	0.39	13.07	-	-	0.33	-	-	0.21	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	19.49	0.25	-	0.38	8.51	0.93	8.57	-	-	0.11	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	32.20	0.33	-	0.63	13.99	1.53	14.73	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	27.01	-	-	0.53	12.52	0.93	11.16	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	30.37	0.63	-	1.50	15.10	2.10	9.42	0.28	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	29.71	-	-	0.86	19.15	0.60	7.47	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	41.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	23.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง	34.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ภาคผนวก ก (ต่อ) ตารางแสดงผลวิเคราะห์แร่หนักตกค้างในตัวอย่างตะกอนทางน้ำที่เก็บจากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น

พื้นที่	น้ำหนักรวม (g/m ³)	Ilmenite (g/m ³)	Garnet (g/m ³)	Hematite/ Iron oxide (g/m ³)	Monazite- Xenotime (g/m ³)	Tourmaline (g/m ³)	Zircon (g/m ³)	Rutile- anatase (g/m ³)	Cassiterite (g/m ³)	Thorite (g/m ³)	Amphibole (g/m ³)	Schelite (g/m ³)	Epidote (g/m ³)	Pyrite (g/m ³)	spinel (g/m ³)
ปริมาณแร่หนักที่ได้จากการร่อนเลียงดิน/หินแกรนิต ผุ ปริมาตร 10 ลิตร															
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	80.00	-	-	8.86	-	24.71	37.01	6.66	2.75	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	40.00	-	-	2.18	4.86	9.10	13.63	10.23	-	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	60.00	-	-	-	8.62	16.17	14.53	-	2.40	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	70.00	2.41	-	1.53	8.53	18.66	27.95	7.19	2.37	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	110.00	-	-	4.10	15.25	25.73	28.55	3.86	4.24	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	20.00	-	-	-	6.08	4.56	6.37	1.02	0.68	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	20.00	-	-	1.10	4.92	5.38	6.91	1.04	-	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	72.76	8.63	-	4.11	2.75	29.83	17.19	3.87	6.38	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	34.42	2.22	-	2.11	-	11.79	8.83	1.99	1.97	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	19.92	5.31	-	3.04	-	0.71	9.52	0.38	-	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	90.00	10.67	-	10.18	17.03	7.09	26.57	0.95	-	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	40.00	4.58	-	4.37	7.31	3.05	11.41	4.11	-	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	100.00	33.52	-	10.66	17.83	5.94	11.13	5.01	3.31	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	10.76	-	-	1.29	1.43	0.90	4.03	-	-	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	37.72	-	-	7.96	8.88	1.39	14.54	-	-	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	354.85	-	-	49.54	-	207.27	-	23.31	-	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	1131.57	-	-	158.87	-	775.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	1310.85	-	-	183.39	-	959.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	780.29	-	-	55.95	-	585.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ภาคผนวก ก (ต่อ) ตารางแสดงผลวิเคราะห์แร่หนักตกค้างในตัวอย่างตะกอนทางน้ำที่เก็บจากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น

พื้นที่	น้ำหนักรวม (g/m ³)	Ilmenite (g/m ³)	Garnet (g/m ³)	Hematite/ Iron oxide (g/m ³)	Monazite- Xenotime (g/m ³)	Tourmaline (g/m ³)	Zircon (g/m ³)	Rutile- anatase (g/m ³)	Cassiterite (g/m ³)	Thorite (g/m ³)	Amphibole (g/m ³)	Schelite (g/m ³)	Epidote (g/m ³)	Pyrite (g/m ³)	spinel (g/m ³)
ปริมาณแร่หนักที่ได้จากการร่อนเลียงดิน/หินแกรนิตผุ ปริมาตร 10 ลิตร															
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	1721.80	-	-	75.24	-	1310.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	320.67	-	-	13.98	-	244.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	44.60	9.48	-	4.52	7.56	3.15	9.44	4.25	3.51	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	36.01	7.86	-	3.75	4.18	2.61	7.83	3.53	2.91	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	62.05	6.84	-	6.52	10.91	9.10	13.63	6.14	5.06	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	94.32	17.04	-	10.84	12.09	18.89	22.64	-	-	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	54.73	6.54	-	9.35	6.96	10.87	13.03	-	0.97	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	94.45	11.03	-	10.52	11.73	22.00	32.95	-	-	-	-	-	-	-	-
เวียงป่าเป้า-แม่สรวย	159.06	19.06	-	18.16	20.28	38.02	47.43	-	-	-	-	-	-	-	-
เวียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	600.00	-	-	42.96	-	419.64	-	16.20	-	-	-	-	19.56	-	-
เวียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	490.00	-	-	-	-	301.15	-	33.86	-	-	-	-	27.29	-	-
เวียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	220.00	-	-	-	-	161.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เวียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	400.00	-	-	29.24	-	244.76	-	-	-	-	-	-	22.20	-	-
เวียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	850.00	-	-	-	-	42.50	-	-	-	-	-	-	555.14	-	-
เวียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	48.85	13.61	-	5.19	-	1.81	13.55	2.44	-	-	-	-	-	-	-
เวียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	3.20	-	-	0.35	0.79	0.05	1.30	-	-	-	-	-	0.08	-	-
เวียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	7.85	-	-	2.41	-	-	2.02	0.45	-	-	-	-	-	-	-
เวียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	38.79	13.89	-	7.57	6.33	-	9.88	-	-	-	-	-	-	-	-
เวียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	21.95	3.59	-	5.71	2.55	0.80	5.48	2.15	-	-	-	-	-	-	-

ภาคผนวก ก (ต่อ) ตารางแสดงผลวิเคราะห์แร่หนักตกค้างในตัวอย่างตะกอนทางน้ำที่เก็บจากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น

พื้นที่	น้ำหนักรวม (g/m ³)	Ilmenite (g/m ³)	Garnet (g/m ³)	Hematite/ Iron oxide (g/m ³)	Monazite- Xenotime (g/m ³)	Tourmaline (g/m ³)	Zircon (g/m ³)	Rutile- anatase (g/m ³)	Cassiterite (g/m ³)	Thorite (g/m ³)	Amphibole (g/m ³)	Schelite (g/m ³)	Epidote (g/m ³)	Pyrite (g/m ³)	spinel (g/m ³)
ปริมาณแร่หนักที่ได้จากการร่อนเลียงดิน/หินแกรนิตผุ ปริมาตร 10 ลิตร															
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	19.03	2.14	-	7.15	2.28	0.71	3.20	0.96	-	-	-	-	0.77	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	14.60	1.18	-	4.83	0.54	0.34	5.04	-	-	-	-	-	0.24	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	60.00	6.88	-	16.40	3.66	4.57	20.54	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	80.00	4.74	-	27.13	5.05	3.15	18.89	4.26	-	-	-	-	3.43	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	70.00	-	-	31.31	4.37		20.43	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	9.93	2.30	-	1.65	-	0.61	2.87	1.03	-	-	-	-	0.17	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	43.78	7.72	-	4.91	5.47	3.42	10.24	4.61	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	3.08	-	-	0.81	-	0.98	0.42	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	20.00	2.39	-	2.28	3.81	1.59	4.76	0.64	-	-	-	-	0.35	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	29.66	1.83	-	6.97	1.95	4.86	7.28	0.98	-	-	-	-	0.53	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	150.00	-	-	10.31	-	57.47	32.27	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	18.15	1.95	-	3.72	5.19	0.39	4.86	-	-	-	-	-	0.28	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	80.00	4.99	-	19.03	5.30	13.27	14.91	-	-	-	-	-	-	5.31	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	60.00	10.23	-	16.27	2.18	2.27	20.38	-	-	-	-	-	0.99	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	23.29	3.80	-	8.47	2.70	-	5.81	-	-	-	-	-	0.37	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	50.00	18.26	-	9.95	8.33	-	10.39	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	60.00	24.74	1.54	17.70	-	1.24	14.78	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	100.00	28.28	4.69	21.58	12.04	3.76	16.90	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	80.00	21.83	-	12.50	9.29	2.90	26.09	-	-	-	-	-	-	-	-

ภาคผนวก ก (ต่อ) ตารางแสดงผลวิเคราะห์แร่หนักตกค้างในตัวอย่างตะกอนทางน้ำที่เก็บจากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น

พื้นที่	น้ำหนักรวม (g/m ³)	Ilmenite (g/m ³)	Garnet (g/m ³)	Hematite/ Iron oxide (g/m ³)	Monazite- Xenotime (g/m ³)	Tourmaline (g/m ³)	Zircon (g/m ³)	Rutile- anatase (g/m ³)	Cassiterite (g/m ³)	Thorite (g/m ³)	Amphibole (g/m ³)	Schelite (g/m ³)	Epidote (g/m ³)	Pyrite (g/m ³)	spinel (g/m ³)
ปริมาณแร่หนักที่ได้จากการร่อนเลียงดิน/หินแกรนิตผุ ปริมาตร 10 ลิตร															
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	100.00	16.71	-	5.14	22.93	3.58	42.93	-	-	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	32.55	6.94	-	-	12.92	0.69	8.64	-	-	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	20.00	3.39	-	4.32	3.61	2.26	4.51	-	-	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	30.00	6.72	1.40	4.81	7.15	1.12	5.02	-	-	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	28.45	3.62	-	6.91	-	-	7.22	-	-	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	80.40	15.03	-	19.11	-	-	19.96	-	-	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	39.63	4.87	-	9.29	2.59	1.62	9.70	-	-	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	28.25	1.78	-	6.78	1.89	1.18	7.08	-	-	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	125.39	-	-	32.59	9.09	5.68	17.02	-	-	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	54.80	6.95	-	9.94	3.69	-	13.83	-	-	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	73.42	13.87	-	13.22	4.92	3.07	13.81	-	-	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	14.41	2.75	-	4.38	0.98	0.24	-	-	0.54	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	40.59	7.83	-	4.98	-	1.74	10.40	-	-	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	63.41	4.60	-	13.16	-	-	4.59	-	-	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	29.58	3.92	-	3.74	2.08	-	5.85	-	-	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	18.60	1.30	-	1.24	1.38	-	3.88	-	-	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	18.43	-	-	3.51	1.30	-	4.89	-	-	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	66.17	-	-	12.95	4.82	-	13.52	-	-	-	-	-	-	-	-
เซียงแสน-เซียงของ-เวียงเซียงรุ่ง	112.35	7.49	-	21.44	15.94	-	7.46	6.72	-	-	-	-	-	-	-

ภาคผนวก ก (ต่อ) ตารางแสดงผลวิเคราะห์แร่หนักตกค้างในตัวอย่างตะกอนทางน้ำที่เก็บจากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น

พื้นที่	น้ำหนักรวม (g/m ³)	Ilmenite (g/m ³)	Garnet (g/m ³)	Hematite/ Iron oxide (g/m ³)	Monazite- Xenotime (g/m ³)	Tourmaline (g/m ³)	Zircon (g/m ³)	Rutile- anatase (g/m ³)	Cassiterite (g/m ³)	Thorite (g/m ³)	Amphibole (g/m ³)	Schelite (g/m ³)	Epidote (g/m ³)	Pyrite (g/m ³)	spinel (g/m ³)
ปริมาณแร่หนักที่ได้จากการร่อนเลียงดิน/หินแกรนิตผุ ปริมาตร 10 ลิตร															
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	17.43	1.12	-	5.34	-	-	4.46	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	25.51	-	-	19.07	-	-	3.53	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	18.07	-	-	11.40	-	-	2.16	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	14.70	-	-	10.52	-	-	1.69	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	9.81	-	-	6.18	-	-	1.17	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	7.81	-	-	5.59	-	-	0.90	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	7.30	-	-	4.69	-	-	1.63	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	2.93	-	-	1.46	-	0.05	0.85	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	49.25	2.61	-	34.80	-	-	10.38	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	19.83	0.42	-	14.01	0.45	-	4.30	-	-	-	-	-	0.30	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	29.44	-	-	8.96	-	-	18.71	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	22.88	-	-	10.28	-	-	11.93	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	118.26	-	-	66.73	-	-	44.35	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	155.02	-	-	64.69	-	-	75.99	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	172.20	-	-	108.11	-	-	28.22	-	-	-	-	-	-	-	30.55
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	366.42	-	-	191.42	-	-	59.95	-	17.81	-	-	-	-	-	81.16
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	37.00	4.18	-	26.07	-	-	1.26	-	-	-	-	-	-	-	-
เขียงแสน-เขียงของ-เวียงเชียงรุ้ง	245.00	27.86	-	172.65	-	-	8.33	-	-	-	-	-	-	-	-

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลวิเคราะห์เคมีปริมาณธาตุหายากรวมในตัวอย่างดิน/หินผุ
และหินสด จากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น

ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลวิเคราะห์เคมีปริมาณธาตุหายากรวมในตัวอย่างดิน/หินผุและหินสดที่เก็บจากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น

No.	ตัวอย่าง	TREYs	LREE	HREY	%LREE	%HREY	ASI	CIA
							Al ₂ O ₃ /(Na ₂ O +K ₂ O+CaO)	100*Al ₂ O ₃ /(Al ₂ O ₃ + Na ₂ O+K ₂ O+CaO)
ผลวิเคราะห์เคมีตัวอย่างดิน/หินแกรนิตผุพื้นที่แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง								
1	CR 002 SoC (1) S	361.24	279.23	82.01	77.30	22.70	5.04	83.43
2	CR 002 SoC (2) WSR-WR	508.79	339.76	169.03	66.78	33.22	3.75	78.94
3	CR 002 SoC (3) WS	457.77	356.46	101.31	77.87	22.13	4.48	81.74
4	CR 015 Pt (1) S	414.02	359.61	54.41	86.86	13.14	30.29	96.80
5	CR 015 Pt (2) S-WS	354.25	297.12	57.13	83.87	16.13	20.60	95.37
6	CR 015 Pt (3) WS	357.89	302.76	55.13	84.60	15.40	17.50	94.60
7	CR 015 Pt (4) WS	378.75	324.89	53.86	85.78	14.22	43.87	97.77
8	CR 015 Pt (5) WS	361.43	312.85	48.58	86.56	13.44	43.80	97.77
9	CR 015 Pt (6) WS-WSR	324.21	280.04	44.17	86.38	13.62	17.68	94.65
10	CR 015 Pt (7) WS-WSR	328.77	282.48	46.29	85.92	14.08	44.47	97.80
11	CR 016 Pt (1) S	401.25	373.69	27.56	93.13	6.87	58.48	98.32
12	CR 016 Pt (2) S	407.90	380.53	27.37	93.29	6.71	56.43	98.26
13	CR 016 Pt (3) WS	342.93	314.64	28.29	91.75	8.25	57.87	98.30
14	CR 016 Pt (4) WS	272.50	250.94	21.56	92.09	7.91	74.66	98.68
15	CR 016 Pt (5) WS	220.31	203.68	16.63	92.45	7.55	78.26	98.74
16	CR 016 Pt (6) WS	250.34	231.89	18.45	92.63	7.37	59.64	98.35
17	CR 016 Pt (7) WS	220.48	200.78	19.70	91.06	8.94	58.18	98.31
18	CR 017 Pt (1) S	422.43	376.84	45.59	89.21	10.79	30.35	96.81
19	CR 017 Pt (2) S	366.98	326.97	40.01	89.10	10.90	34.52	97.18
20	CR 017 Pt (3) WS	408.59	371.83	36.76	91.00	9.00	40.52	97.59
21	CR 017 Pt (4) WS	366.72	332.06	34.66	90.55	9.45	38.75	97.48
22	CR 017 Pt (5) WS	335.32	300.96	34.36	89.75	10.25	31.87	96.96
23	CR 22 SoC (1) S	415.20	321.77	93.43	77.50	22.50	14.66	93.61
24	CR 22 SoC (2) S	370.23	274.95	95.28	74.26	25.74	9.72	90.67
25	CR 23 Pt (1) S	400.14	305.89	94.25	76.45	23.55	7.07	87.62
26	CR 23 Pt (2) S	415.39	318.27	97.12	76.62	23.38	5.78	85.26
27	CR 23 Pt (3) WS	396.79	305.85	90.94	77.08	22.92	5.93	85.56
28	CR 23 Pt (4) WS	328.65	261.01	67.64	79.42	20.58	5.02	83.40
29	CR 040 Pt (1) S	403.49	345.05	58.44	85.52	14.48	5.31	84.16
30	CR 040 Pt (2) S	444.60	377.34	67.26	84.87	15.13	4.20	80.76
31	CR 040 Pt (3) S	494.81	425.91	68.90	86.08	13.92	5.02	83.38
32	CR 040 Pt (4) S-WS	676.39	592.82	83.57	87.64	12.36	6.64	86.90
33	CR 040 Pt (5) WS	888.70	807.90	80.80	90.91	9.09	7.07	87.61
34	CR 040 Pt (6) S-WSS	465.32	402.70	62.62	86.54	13.46	5.03	83.41
35	CR 040 Pt (7) S-WSS	626.38	536.02	90.36	85.57	14.43	5.25	84.01
36	CR044 Pt (1) WS-WSR	261.62	248.06	13.56	94.82	5.18	43.81	97.77
37	CR044 Pt (2) WS-WSR	207.56	193.21	14.35	93.09	6.91	39.34	97.52
38	CR044 Pt (3) WS-WSR	328.2	315.29	12.91	96.07	3.93	46.49	97.89

ภาคผนวก ข (ต่อ) ตารางแสดงผลวิเคราะห์เคมีปริมาณธาตุหายากรวมในตัวอย่างดิน/หินผุและหินสดที่เก็บ
จากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น

No.	ตัวอย่าง	TREYs	LREE	HREY	%LREE	%HREY	ASI	CIA
							$Al_2O_3/(Na_2O + K_2O + CaO)$	$100 * Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O + K_2O + CaO)$
39	CR044 Pt (4) WS-WSR	167.97	154.89	13.08	92.21	7.79	49.05	98.00
40	CR044 Pt (5) WS-WSR	238.04	224.15	13.89	94.16	5.84	71.52	98.62
41	CR044 Pt (6) WS-WSR	231.87	218.26	13.61	94.13	5.87	83.53	98.82
42	CR044 Pt (7) WS-WSR	287.68	269.76	17.92	93.77	6.23	63.89	98.46
43	CR 049 Pt (1) S	259.14	237.07	22.07	91.48	8.52	28.89	96.65
44	CR 049 Pt (2) S	308.42	284.49	23.93	92.24	7.76	40.12	97.57
45	CR 049 Pt (3) S	321.42	294.98	26.44	91.77	8.23	38.31	97.46
46	CR 049 Pt (4) S	219.12	196.17	22.95	89.53	10.47	22.85	95.81
47	CR 049 Pt (5) S-WSS	248.42	220.9	27.52	88.92	11.08	19.10	95.02
48	CR 049 Pt (6) S-WSS	274.82	245.72	29.1	89.41	10.59	8.71	89.71
49	CR 049 Pt (7) WSS	199.93	175.26	24.67	87.66	12.34	14.65	93.61
50	CR 049 Pt (8) WSS	182.87	161	21.87	88.04	11.96	17.39	94.56
51	CR 049 Pt (9) WSS-WS	215.69	192.32	23.37	89.17	10.83	21.45	95.55
52	CR 049 Pt (10) WS	255.73	232.76	22.97	91.02	8.98	26.68	96.39
53	CR 049 Pt (11) WS	260.28	237.74	22.54	91.34	8.66	34.87	97.21
54	CR 049 Pt (12) WS	220.42	199.88	20.54	90.68	9.32	38.58	97.47
55	CR 049 Pt (13) WS	240.03	217.83	22.2	90.75	9.25	33.26	97.08
56	CR 049 Pt (14) WSR-WR	374.76	311.53	63.23	83.13	16.87	5.74	85.15
57	CR 057 Pt (1) S	436.34	376.11	60.23	86.20	13.80	23.40	95.90
58	CR 057 Pt (2) WSS	501.98	428.98	73	85.46	14.54	23.14	95.86
59	CR 057 Pt (3) WSS	497.15	421.02	76.13	84.69	15.31	14.46	93.53
60	CR 057 Pt (4) WSS	421.66	349.96	71.7	83.00	17.00	25.39	96.21
61	CR 057 Pt (5) WSS	365.11	303.86	61.25	83.22	16.78	33.04	97.06
62	CR 057 Pt (6) WSS	345.8	286.91	58.89	82.97	17.03	26.50	96.36
63	CR 057 Pt (7) WSS	343.03	289.84	53.19	84.49	15.51	21.81	95.62
64	CR 057 Pt (8) WSS	358.06	304.78	53.28	85.12	14.88	16.50	94.29
65	CR 057 Pt (9) WSS	284.62	241.18	43.44	84.74	15.26	26.27	96.33
66	CR 057 Pt (10) WSS	350.98	303.54	47.44	86.48	13.52	16.68	94.34
67	CR 059 Pt (1) WSS	441.06	330.23	110.83	74.87	25.13	7.82	88.66
68	CR 059 Pt (2) WSS	450.18	338.53	111.65	75.20	24.80	7.15	87.73
69	CR 059 Pt (3) WSS	406.63	304.77	101.86	74.95	25.05	6.62	86.87
70	CR 059 Pt (4) WSS	400.95	302.7	98.25	75.50	24.50	5.88	85.48
71	CR 059 Pt (5) WSR-WS	350.92	250.3	100.62	71.33	28.67	4.81	82.78
72	CR 059 Pt (6) WSR-WS	321.49	220.17	101.32	68.48	31.52	3.87	79.48
73	CR 059 Pt (7) WSR	270.96	176.81	94.15	65.25	34.75	3.55	78.03
74	CR 064 Pt (1) So-S	447.29	366.62	80.67	81.96	18.04	4.93	83.14
75	CR 064 Pt (2) S	481.44	392.35	89.09	81.50	18.50	5.07	83.52
76	CR 064 Pt (3) S	401.17	328.8	72.37	81.96	18.04	4.96	83.23
	ค่าเฉลี่ย	360.13	305.58	54.55	85.49	14.51		

ภาคผนวก ข (ต่อ) ตารางแสดงผลวิเคราะห์เคมีปริมาณธาตุหายากรวมในตัวอย่างดิน/หินผุและหินสดที่เก็บ
จากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น

No.	ตัวอย่าง	TREYs	LREE	HREY	%LREE	%HREY	ASI	CIA
							Al ₂ O ₃ /(Na ₂ O +K ₂ O+CaO)	100*Al ₂ O ₃ /(Al ₂ O ₃ +Na ₂ O+K ₂ O+CaO)
ผลวิเคราะห์เคมีตัวอย่างหินแกรนิตสดพื้นที่แม่จัน-แม่ฟ้าหลวง								
1	CR 014 Rk	242.11	191.4	50.71	79.05	20.95	1.03	50.77
2	CR 015 Rk	275.27	223.38	51.89	81.15	18.85	1.27	56.00
3	CR 018 Rk	272.88	223.23	49.65	81.81	18.19	1.11	52.59
4	CR 019 Rk	252.63	210.07	42.56	83.15	16.85	0.99	49.87
5	CR 021 Rk	177.49	120.01	57.48	67.62	32.38	1.09	52.21
6	CR 024 Rk	17.94	8.49	9.45	47.32	52.68	0.71	41.41
	ค่าเฉลี่ย	206.39	162.76	43.62	73.35	26.65		
ผลวิเคราะห์เคมีตัวอย่างดิน/หินแกรนิตผุพื้นที่เวียงป่าเป้า-แม่สรวย								
1	CR 008 Pt (1) S	302.29	240.21	62.08	79.46	20.54	20.20	95.28
2	CR 008 Pt (2) S	364.76	299.26	65.50	82.04	17.96	23.62	95.94
3	CR 008 Pt (3) S	417.37	348.97	68.40	83.61	16.39	20.29	95.30
4	CR 008 Pt (4) S-WSS	372.64	312.62	60.02	83.89	16.11	17.89	94.71
5	CR 008 Pt (5) WSS-WS	319.34	262.50	56.84	82.20	17.80	15.80	94.05
6	CR 008 Pt (6) WS	389.41	328.69	60.72	84.41	15.59	17.14	94.49
7	CR 008 Pt (7) WS	437.32	366.96	70.36	83.91	16.09	17.19	94.50
8	CR 011 SoC (1) S	254.61	183.95	70.66	72.25	27.75	46.01	97.87
9	CR 011 SoC (2) S	275.69	202.62	73.07	73.50	26.50	46.36	97.89
10	CR 011 SoC (3) WS-WSR	233.47	164.49	68.98	70.45	29.55	32.92	97.05
11	CR 011 SoC (4) WS-WSR	470.56	353.69	116.87	75.16	24.84	16.15	94.17
12	CR 011 SoC (5) WS-WSR	416.22	323.44	92.78	77.71	22.29	13.67	93.18
13	CR 011 SoC (6) WS-WSR	402.47	262.21	140.26	65.15	34.85	72.52	98.64
14	CR 030 SoC (1) WS-WSR	323.14	259.17	63.97	80.20	19.80	3.40	77.28
15	CR 030 SoC (2) WSR-WR	300.70	235.24	65.46	78.23	21.77	2.15	68.25
16	CR 038 Pt (1) WSR	55.80	34.63	21.17	62.06	37.94	5.82	85.34
17	CR 038 Pt (2) WSR	70.88	45.00	25.88	63.49	36.51	5.32	84.18
18	CR 038 Pt (3) WSR	77.27	46.51	30.76	60.19	39.81	5.99	85.69
19	CR 038 Pt (4) WSR	89.50	55.27	34.23	61.75	38.25	6.35	86.39
20	CR 038 Pt (5) WSR	67.80	37.09	30.71	54.71	45.29	5.11	83.64
21	CR 038 Pt (6) WSR	76.60	49.17	27.43	64.19	35.81	5.22	83.93
22	CR 039 Pt (1) WSS	248.45	203.09	45.36	81.74	18.26	52.33	98.12
23	CR 039 Pt (2) WSS	225.45	188.26	37.19	83.50	16.50	30.71	96.85
24	CR 039 Pt (3) WSS	232.82	190.73	42.09	81.92	18.08	37.27	97.39
25	CR 039 Pt (4) WSS	280.30	238.36	41.94	85.04	14.96	44.16	97.79
26	CR 039 Pt (5) WSS-WS	234.46	193.78	40.68	82.65	17.35	59.93	98.36
27	CR 039 Pt (6) WS	242.68	194.71	47.97	80.23	19.77	58.76	98.33
28	CR 039 Pt (7) WS	290.44	235.56	54.88	81.10	18.90	51.07	98.08
	ค่าเฉลี่ย	266.87	209.15	57.72	75.53	24.47		

ภาคผนวก ข (ต่อ) ตารางแสดงผลวิเคราะห์เคมีปริมาณธาตุหายากรวมในตัวอย่างดิน/หินผุและหินสดที่เก็บ
จากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น

No.	ตัวอย่าง	TREYs	LREE	HREY	%LREE	%HREY	ASI	CIA
							Al ₂ O ₃ /(Na ₂ O +K ₂ O+CaO)	100*Al ₂ O ₃ /(Al ₂ O ₃ +Na ₂ O+K ₂ O+CaO)
ผลวิเคราะห์เคมีตัวอย่างหินแกรนิตสดพื้นที่เวียงป่าเป้า-แม่สรวย								
1	CR 004 Rk	299.31	206.83	92.48	69.10	30.90	1.10	52.44
2	CR 007 Rk	308.65	238.62	70.03	77.31	22.69	1.10	52.32
3	CR 009 Rk	361.47	257.14	104.33	71.14	28.86	1.08	52.03
4	CR 012 Rk	186.96	132.44	54.52	70.84	29.16	1.11	52.50
5	CR 029 Rk	260.68	213.42	47.26	81.87	18.13	1.08	51.99
6	CR 030 Rk	314.26	246.98	67.28	78.59	21.41	1.08	52.00
	ค่าเฉลี่ย	288.56	215.91	72.65	74.81	25.19		
ผลวิเคราะห์เคมีตัวอย่างดิน/หินแกรนิตผุพื้นที่เชียงแสน-เชียงของ-เวียงเชียงรุ้ง								
1	CR 025 Pt (1) WS-WSR	21.37	11.85	9.52	55.45	44.55	1.63	61.95
2	CR 025 Pt (2) WS-WSR	21.04	10.86	10.18	51.62	48.38	1.90	65.48
3	CR 025 Pt (3) WS-WSR	21.95	11.28	10.67	51.39	48.61	1.52	60.35
4	CR 025 Pt (4) WS-WSR	24.57	14.01	10.56	57.02	42.98	1.52	60.30
5	CR 025 Pt (5) WS-WSR-WR	22.72	13.01	9.71	57.26	42.74	1.61	61.63
6	CR 028 Soc S	387.73	312.55	75.18	80.61	19.39	7.98	88.87
7	CR 031 SoC (1) WSR-WR	345.19	297.67	47.52	86.23	13.77	5.75	85.18
8	CR 031 SoC (2) WSR-WR	318.40	267.20	51.20	83.92	16.08	6.23	86.18
9	CR 035 Pt (1) WSS-WS	351.26	291.12	60.14	82.88	17.12	13.33	93.02
10	CR 035 Pt (2) WSS-WS	458.65	386.40	72.25	84.25	15.75	12.68	92.69
11	CR 035 Pt (3) WSS-WS	519.65	438.47	81.18	84.38	15.62	14.61	93.59
12	CR 035 Pt (4) WS	476.57	402.14	74.43	84.38	15.62	10.98	91.65
13	CR 035 Pt (5) WS-WSR	397.78	332.45	65.33	83.58	16.42	7.48	88.21
14	CR 035 Pt (6) WS-WSR	369.07	323.10	45.97	87.54	12.46	3.80	79.19
15	CR 035 Pt (7) WS-WSR	304.74	259.50	45.24	85.15	14.85	3.84	79.36
16	CR 036 Pt (1) S	277.62	227.65	49.97	82.00	18.00	8.14	89.06
17	CR 036 Pt (2) S	238.85	175.24	63.61	73.37	26.63	6.71	87.03
18	CR 036 Pt (3) S-WSR	191.85	136.97	54.88	71.39	28.61	6.15	86.01
19	CR 036 Pt (4) WSR	193.10	148.23	44.87	76.76	23.24	6.22	86.15
20	CR 036 Pt (5) WSR	234.38	183.08	51.30	78.11	21.89	6.35	86.40
21	CR 036 Pt (6) WSR	166.41	125.35	41.06	75.33	24.67	6.03	85.78
22	CR 036 Pt (7) WSR	180.85	133.45	47.40	73.79	26.21	5.88	85.47
23	CR 036 Pt (8) WSR	165.83	113.56	52.27	68.48	31.52	5.49	84.60
24	CR 036 Pt (9) WSR	200.49	163.36	37.13	81.48	18.52	5.39	84.35
25	CR 036 Pt (10) WSR	224.57	170.00	54.57	75.70	24.30	5.65	84.97
26	CR 037 Pt (1) S	307.69	252.36	55.33	82.02	17.98	8.27	89.22
27	CR 037 Pt (2) S	302.25	249.65	52.60	82.60	17.40	8.43	89.40
28	CR 037 Pt (3) S-WS-WSR	303.93	255.61	48.32	84.10	15.90	6.95	87.42
29	CR 037 Pt (4) WS-WSR	264.89	208.99	55.90	78.90	21.10	6.12	85.96

ภาคผนวก ข (ต่อ) ตารางแสดงผลวิเคราะห์เคมีปริมาณธาตุหายากรวมในตัวอย่างดิน/หินผุและหินสดที่เก็บ
จากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น

No.	ตัวอย่าง	TREYs	LREE	HREY	%LREE	%HREY	ASI	CIA
							$\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$	$100 * \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$
30	CR 037 Pt (5) WSR	258.23	204.23	54.00	79.09	20.91	5.51	84.63
31	CR 037 Pt (6) WSR	311.52	265.40	46.12	85.20	14.80	5.26	84.01
32	CR 037 Pt (7) WSR	276.02	224.69	51.33	81.40	18.60	5.41	84.39
33	CR 037 Pt (8) WSR	285.00	231.89	53.11	81.36	18.64	5.46	84.53
34	CR 041 Pt (1) S	383.01	340.12	42.89	88.80	11.20	7.22	87.83
35	CR 041 Pt (2) S	529.26	488.91	40.35	92.38	7.62	6.55	86.76
36	CR 041 Pt (3) S	224.58	160.78	63.80	71.59	28.41	6.66	86.94
37	CR 041 Pt (4) WS-WSR	158.66	111.04	47.62	69.99	30.01	8.14	89.06
38	CR 041 Pt (5) WS-WSR	187.72	127.69	60.03	68.02	31.98	6.71	87.03
39	CR 041 Pt (6) WS-WSR	186.30	135.73	50.57	72.86	27.14	8.27	89.22
40	CR 041 Pt (7) WS-WSR	204.01	155.57	48.44	76.26	23.74	8.43	89.40
41	CR 041 Pt (8) WS-WSR	185.66	133.13	52.53	71.71	28.29	7.22	87.83
42	CR 041 Pt (9) WS-WSR	232.39	178.96	53.43	77.01	22.99	6.55	86.76
43	CR 041 Pt (10) WS-WSR	460.90	418.52	42.38	90.80	9.20	6.66	86.94
44	CR 041 Pt (11) WS-WSR	340.15	297.62	42.53	87.50	12.50	5.50	84.61
45	CR 041 Pt (12) WS-WSR	279.24	230.92	48.32	82.70	17.30	5.06	83.50
46	CR 041 Pt (13) WS-WSR	248.43	200.01	48.42	80.51	19.49	5.88	85.45
47	CR 041 Pt (14) WS-WSR	303.12	248.69	54.43	82.04	17.96	4.94	83.16
48	CR 041 Pt (15) WS-WSR	261.42	211.35	50.07	80.85	19.15	4.91	83.07
49	CR 042 Soc	78.89	68.91	9.98	87.35	12.65	12.43	92.55
50	CR 043 Pt (1) SW	49.79	36.98	12.81	74.27	25.73	116.07	99.15
51	CR 043 Pt (2) SW	139.77	117.59	22.18	84.13	15.87	141.10	99.30
52	CR 043 Pt (3) SW	25.33	20.53	4.80	81.05	18.95	110.84	99.11
53	CR 043 Pt (4) SW-WSS	32.37	24.48	7.89	75.63	24.37	91.25	98.92
54	CR 043 Pt (5) SW-WSS	23.31	15.66	7.65	67.18	32.82	92.55	98.93
55	CR 043 Pt (6) SW-WSS	29.18	20.21	8.97	69.26	30.74	107.94	99.08
56	CR 043 Pt (7) SW-WSS-WS	25.10	16.99	8.11	67.69	32.31	128.47	99.23
57	CR 043 Pt (8) WS	27.83	19.42	8.41	69.78	30.22	164.70	99.40
58	CR 045 Pt (1) WS	134.22	109.26	24.96	81.40	18.60	24.89	96.14
59	CR 045 Pt (2) WS	132.88	109.57	23.31	82.46	17.54	21.70	95.59
60	CR 045 Pt (3) WS	157.36	128.75	28.61	81.82	18.18	31.89	96.96
61	CR 045 Pt (4) WS	170.09	140.25	29.84	82.46	17.54	25.48	96.22
62	CR 045 Pt (5) WS	186.39	152.47	33.92	81.80	18.20	22.81	95.80
63	CR 045 Pt (6) WS	181.25	147.52	33.73	81.39	18.61	18.73	94.93
64	CR 058 Pt (1) S-SSW	34.93	22.48	12.45	64.36	35.64	62.44	98.42
65	CR 058 Pt (2) S-SSW	42.31	26.50	15.81	62.63	37.37	62.81	98.43
	ค่าเฉลี่ย	216.62	176.28	40.34	77.14	22.86		

ภาคผนวก ข (ต่อ) ตารางแสดงผลวิเคราะห์เคมีปริมาณธาตุหายากรวมในตัวอย่างดิน/หินผุและหินสดที่เก็บ
จากพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น

No.	ตัวอย่าง	TREYs	LREE	HREY	%LREE	%HREY	ASI	CIA
							Al ₂ O ₃ /(Na ₂ O+K ₂ O+CaO)	100*Al ₂ O ₃ /(Al ₂ O ₃ +Na ₂ O+K ₂ O+CaO)
ผลวิเคราะห์เคมีตัวอย่างหินแกรนิตสดพื้นที่เชียงใหม่-เชียงใหม่ของ-เวียงเชียงใหม่								
1	CR 032 Rk (2)	84.56	46.59	37.97	55.10	44.90	1.18	54.09
2	CR 027 Rk	221.44	174.76	46.68	78.92	21.08	1.34	57.29
3	CR 028 Rk	258.33	202.65	55.68	78.45	21.55	1.26	55.73
4	CR 034 Rk	154.14	118.77	35.37	77.05	22.95	0.98	49.47
5	CR 032 Rk (1)	180.80	137.39	43.41	75.99	24.01	1.05	51.30
6	CR 026 Rk (2)	122.65	82.89	39.76	67.58	32.42	3.00	75.02
7	CR 033 Rk	112.79	88.43	24.36	78.40	21.60	0.71	41.54
8	CR 026 Rk (3)	96.59	42.66	53.93	44.17	55.83	0.78	43.71
9	CR 026 Rk (1)	157.83	124.53	33.30	78.90	21.10	3.02	75.14
	ค่าเฉลี่ย	154.35	113.19	41.16	70.51	29.49		

ภาคผนวก ค

ผลการศึกษาศิลาพรรณนา

1. Sample number: CR 007 RK

Rock name: Monzogranite

Hand specimen: The rock sample has a coarse-grained crystalline texture (grain sizes average 5 mm across) and shows a porphyritic texture. The phenocrysts (sizes up to 12 mm across) are made up of alkali feldspar which show a slightly trachytoid texture. Cutting surface was stained to distinguish feldspars (Fig.1). This rock is made up mostly of felsic minerals, quartz (39.72 modal %), plagioclase (28.58 modal %) and alkali feldspar (24.70 modal %), with a small amount of mafic minerals (7.00 modal %). This rock does not react with cold diluted hydrochloric acid and is non magnetic.

Thin section: The rock sample is made up principal of quartz, plagioclase and alkali feldspar, with a small amount of biotite as accessory mineral (Fig. 2) and very small amounts of apatite and zircon/monazite (Fig. 3).

Quartz is anhedral (sizes up to 6 mm across) and has a consertal outline that is a feature of a primary quartz. It is located in between other minerals and contain inclusion of plagioclase, biotite and zircon. Quartz shows undulatory extinction.

Plagioclase is subhedral (sizes up to 4 mm across) and slightly to moderately altered to sericite/fine white mica. Zoning is commonly present in plagioclase and some shows myrmekitic texture at rim. Plagioclase crystals are broken and fold by deformation. Biotite inclusion is present in plagioclase crystals.

Alkali feldspar is anhedral (sizes up to 6.5 mm across) and show simple twin (orthoclase). Perthitic texture of orthoclase can be observed in this sample. Alkali feldspar is slightly replaced by clay minerals. Plagioclase and biotite inclusions are commonly present in alkali feldspar crystal.

Bitoite is anhedral with sizes up to 1.5 mm across. It has a pleochroism in brown-very pale yellow color. Biotite is slightly to moderately replaced by chlorite with small amount of epidotes and titanite. Its crystals are kink by deformation. Zircon and apatite inclusions are very common in this biotite.

Zircon/monazite is fine-grain and has an euhedral outlines (sizes up to 0.1 mm across). Pleochroic halo has been observed around zircon/monazite crystal in color minerals such as biotite.

Apatite is fine-grain and shows an euhedral-columnar outlines (sizes up to 0.15 mm across).

Remarks: The rock sample is classified to be monzogranite after their mineral composition and texture. Order of crystallization is normal to Bowen's series after inclusion criteria. The rock has an experience of deformation, evidence by broken and folded crystals.



Figure 1 Stained hand specimen of monzogranite (CR 007 RK), dark yellow = alkali feldspar, light yellow = plagioclase, color less = quartz, dark mineral = biotite.

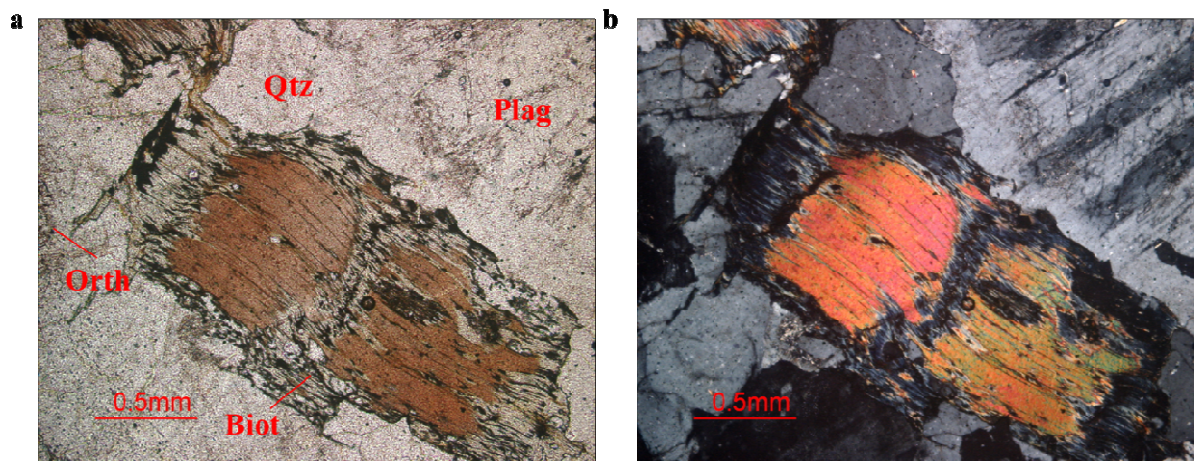


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), Orthoclase (Orth) and biotite (Biot). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

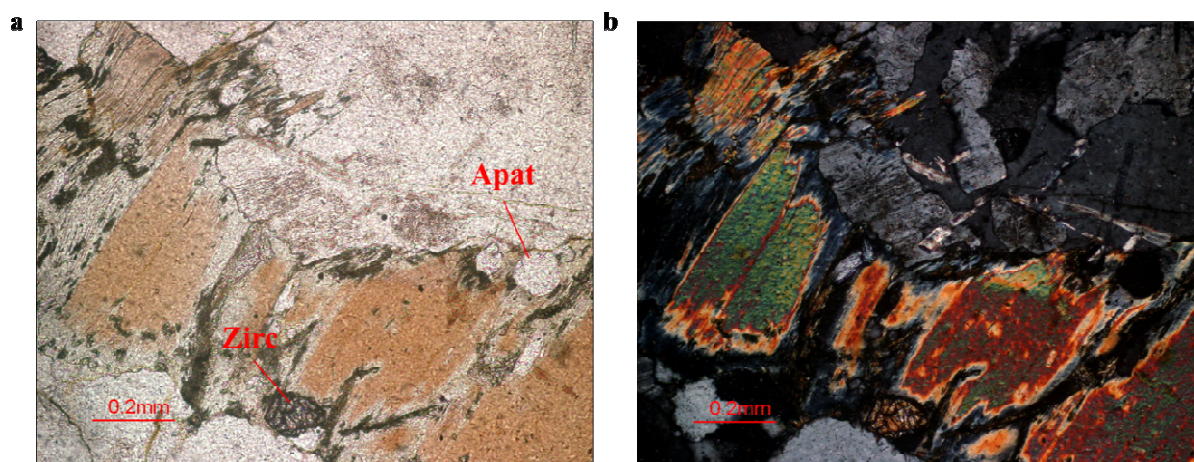


Figure 3 Zircon/monazite (Zirc) and apatite (Apat) in biotite. (a) Ordinary light and (b) cross polars.

2. Sample number: CR 009 RK

Rock name: Monzogranite

Hand specimen: The rock sample has a porphyritic texture with a medium grained groundmass. The phenocrysts are made up of alkali feldspar and have grain sizes up to 1.7 mm across (Fig. 1). The rock sample is composed mainly of alkali feldspar (36 modal %), plagioclase (31.5 modal %) and quartz (27 modal %), with a small amount of mafic mineral (5.5 modal %). Around mafic mineral has a yellowish brown tarnish. The rock does not react with cold diluted hydrochloric acid. It is non magnetic.

Thin section: The rock sample is made up largely of alkali feldspar, plagioclase and quartz (coarse-fine), with a small amount of biotite (Fig. 2) and trace amounts of zircon/monazite and apatite (Fig. 3).

Alkali feldspar is anhedral (sizes up to 8 mm across) and slightly to moderately replaced by clay minerals. Almost of them is orthoclase, the rest is microcline. Orthoclase crystals show a perthitic texture and contain inclusions, as apatite, zircon/monazite, biotite and plagioclase.

Plagioclase is subhedral to euhedral with sizes up to 3.5 mm across. It is moderately to highly replaced by sercite, fine-white mica and clay minerals. Zoning and myrmekitic intergrowth is very common in this sample. Plagioclase crystals are broken and folded.

Quartz is anhedral with sizes up to 2.1 mm across. It shows a consertal texture that is a typical of primary quartz and an undulatory extinction. Quartz crystallizes in space between other minerals and contains biotite, apatite and alkali feldspar inclusion. Fine-grained quartz (grain sizes average 0.2 mm across) is single crystal and forms as secondary deposit in this rock.

Biotite is anhedral (sizes up to 2 mm across) and has a pleochroic color in reddish brown and pale yellow. It is slightly to moderately replaced by chlorite with a small amount of titanite. Zircon/monazite and apatite as inclusions are very common in the biotite crystals. Broken crystals and kink band are commonly present.

Zircon/monazite is fine-grained euhedral (sizes up to 0.07 mm across). It has a pleochroic halo, which is rounded crystals, especially in color mineral such as biotite.

Apatite is euhedral and fine-grain with size up to 0.1 mm across. It has a long columnar shape.

Remarks: This rock sample is classified as monzogranite after its mineral composition and textures. It shows a normal crystallization after Bowen's series, inclusion criteria. The rock has an experience of deformation, evidence by broken and folded crystals.



Figure 1 Stained hand specimen, dark yellow = alkali feldspar, pale yellow = plagioclase, color less = quartz, dark mineral = biotite.

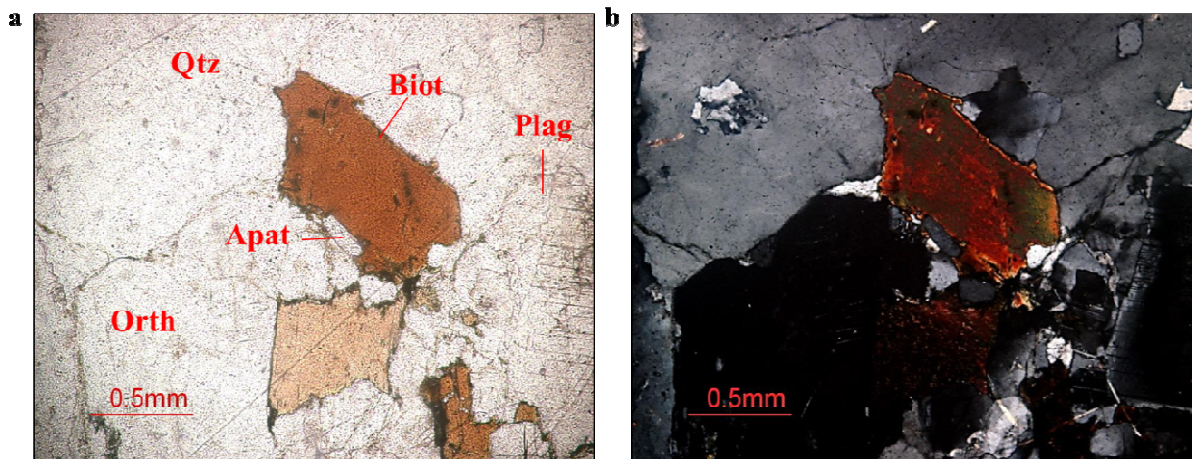


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), Orthoclase (Orth), biotite (Biot) and apatite (Apat). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

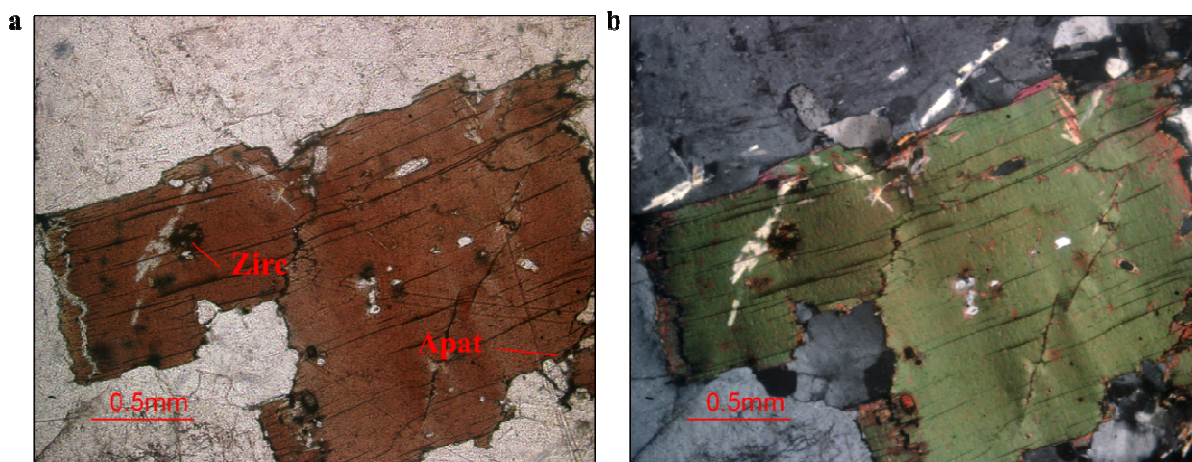


Figure 3 Zircon/monazite (Zirc) and apatite (Apat) in biotite. (a) Ordinary light and (b) cross polars.

3. Sample number: CR 0012 RK

Rock name: Syenogranite

Hand specimen: The granitic rock sample is medium-grained texture (grain sizes average less than 5 mm across) and shows a porphyritic texture. The phenocrysts (sizes up to 13 mm across) are made up of alkali feldspar. Cutting surface was stained to distinguish feldspars (Fig.1). This sample is made up mostly of felsic minerals, quartz (56.40 modal %), alkali feldspar (22.47modal %) and plagioclase (16.11 modal %), with a small amount of mafic minerals (5.00 modal %). The rock does not react with cold diluted hydrochloric acid and is non magnetic.

Thin section: The rock sample is made up mostly of quartz (coarse-fine), plagioclase and alkali feldspar, with small amounts of biotite and muscovite (Fig. 2) and very small amounts of zircon/monazite and apatite (Fig. 3).

Quartz is anhedral with sizes up to 3 mm across. It show a consertal texture that indicate primary quartz. Undulatory extinction is commonly present in quartz crystals. Biotite and muscovite can be observed in quartz crystals. Fine-grained quartz (grain sizes average 0.1 mm across) forms as secondary quartz in this rock.

Alkali feldspar is orthoclase and has an anhedral outline (sizes up to 3 mm across). It is slightly replaced by clay minerals. The orthoclase crystals show a perthitic texture and some is replaced by microcline. It contain plagioclase, biotite and muscovite inclusions.

Plagioclase is euhedral (sizes up to 3.5 mm across) and slightly to moderately replaced by sercite, fine-white mica and clay minerals. Zoning is very common in this granite and myrmekitic can be observed in some crystals.

Biotite is anhedral (sizes up to 1.5 mm across) and shows irregular outlines. Crystal rims react and replaced by muscovite. Biotite has a pleochroic color in yellow to reddish brown and contains zircon/monazite and apatite. It is slightly to moderately replaced by chlorite. Biotite crystals are broken and folded.

Muscovite is anhedral (sizes up to 0.4 mm across) and has an irregular outlines.

Zircon/monazite is euhedral and fine grain (sizes up to 0.08 mm across) and shows pleochroic halo in color minerals.

Apatite is euhedral and fine grain (sizes up to 0.12 mm across). It commonly form as inclusion in biotite.

Remarks: This granitic rock is made up largely of alkali feldspar with subordinate plagioclase, so it is called syenogranite. Order of crystallization is normal to Bowen's series, inclusion criteria. The rock has an experience of deformation, evidence by broken biotite.

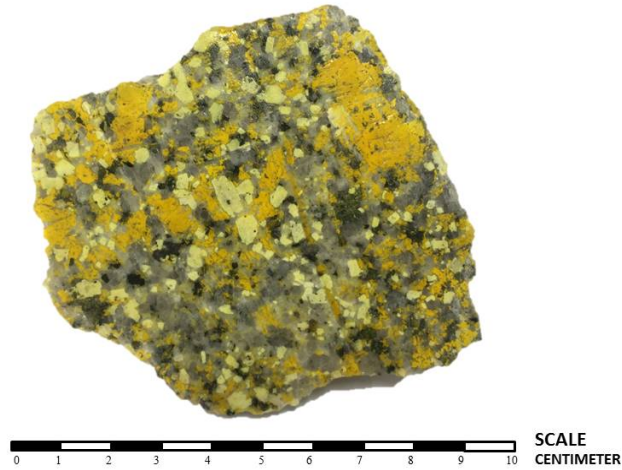


Figure 1 Stained hand specimen, dark yellow = alkali feldspar, pale yellow = plagioclase, color less = quartz, dark mineral = bitoite.

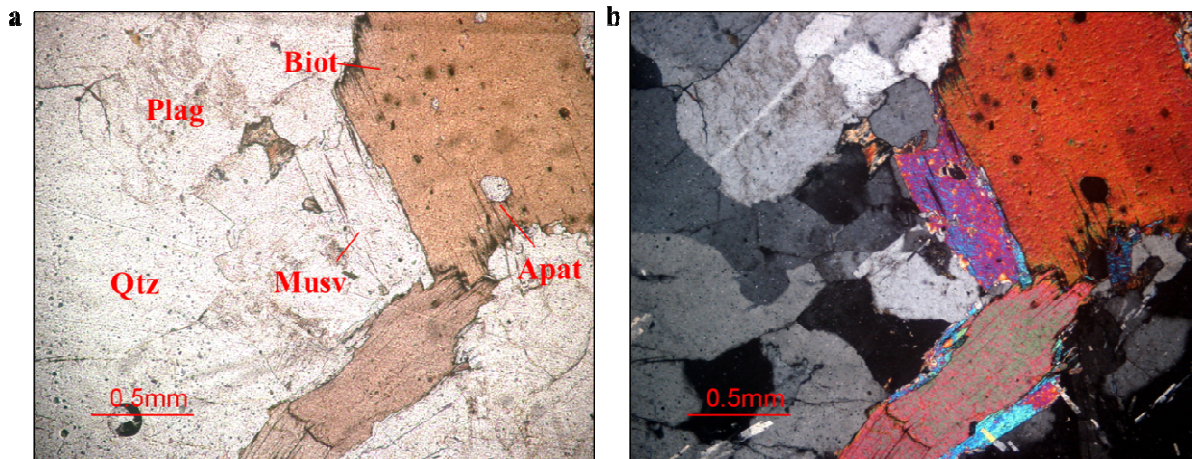


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), muscovite (Musv), biotite (Biot) and apatite (Apat). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

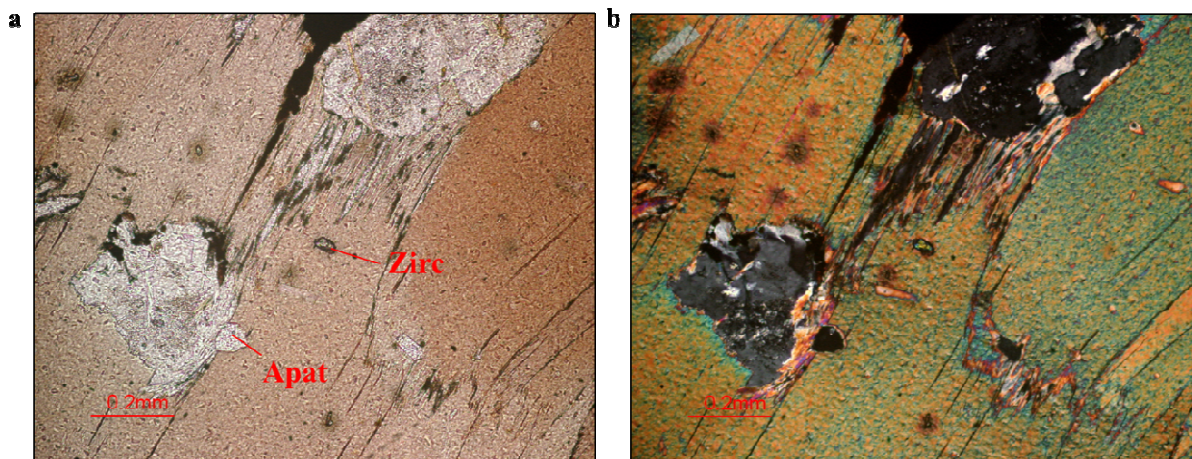


Figure 3 Zircon/monazite (Zirc) and apatite (Apat) in biotite. (a) Ordinary light and (b) cross polars.

4. Sample number: CR 0014 RK

Rock name: Granodiorite

Hand specimen: The granitic rock sample has a seriated and mildly foliated. The phenocrysts are composed of plagioclase, that sit in a medium-grained groundmass (grain sizes average less than 3 mm across). Cutting surface was stained to distinguish feldspars (Fig. 1). Principal composition of this sample is made up of quartz (47.66 modal %), plagioclase (30.72 modal %) and alkali feldspar (14.12 modal %). Accessory minerals (dark mineral) (7.5 modal %) are commonly present in this rock. The rock sample does not react with cold diluted hydrochloric acid and is non magnetic.

Thin section: The rock sample is made up principal of quartz, plagioclase and alkali feldspar, with small amounts of biotite (Fig. 2) and hornblende (?) (Fig. 3) and trace amount of titanite, zircon/monazite and apatite. Foliation in hand specimen can be observed under microscope, parallel of long axes in biotite. Patches of epidotes is slightly present in the sample.

Quartz is anhedral (sizes up to 1.5 mm across) and has both consertal texture (primary quartz) and triple junction boundaries (recrystalline quartz). Undulatory extinction is common in quartz crystals. Biotite and apatite inclusions are present in quartz crystals.

Plagioclase is euhedral to subhedral (sizes up to 3.75 mm across) and slightly replaced by sericite and clay minerals. Plagioclase crystals commonly show zoning and myrmekitic texture. Some plagioclase are overgrowth by albitization. Biotite inclusion is present in plagioclase crystals. Plagioclase is broken and folded and quartz and biotite refill in fractures.

Alkali feldspar is anhedral and shows both simple twin (orthoclase) and grid twin (microcline) (sizes up to 1.65 mm across). They are slightly replaced by clay minerals. Perthitic texture of orthoclase is common in this rock. Biotite, apatite and titanite inclusions are commonly present in alkali feldspar crystals.

Biotite is anhedral (sizes up to 1 mm across) and has a pleochroic color in reddish brown - pale yellow. It is slightly to highly replced by chlorite with a small amount of titanite. Zircon/monazite and apatite inclusions are present in biotite crystals. Biotite is broken and shows kink feature.

Hornblende (?) is subhedral with size up to 3 mm across. Its crystals break down to fine-grained bioite (Fig. 3), especially in fracture trend. Hornblende has a pleochroic color as X = cololess, Y = pale yellow and Z = pale greenish yellow.

Titanite is subhedral to anhedral (sizes up to 1.25 mm across).

Zircon/monazite is euhedral and fine-grain (sizes up to 0.05 mm across). Pleochroic halo around its crystals is present in color minerals, such as biotite.

Apatite is euhedral and has a long columnar outlines (sizes up to 0.1 mm across).

Remark: This granitic rock sample comprises more plagioclase than alkali feldspar, so it can be classified as granodiorite. Rock name is consistent with mineral composition as the present of hornblende. Order of crystallization is normal to Bowen's series. The rock has an experience of deformation, evidence by broken and folded crystals and slightly foliation.



Figure 1 Stained hand specimen, dark yellow = alkali feldspar, pale yellow = plagioclase, color less = quartz, .

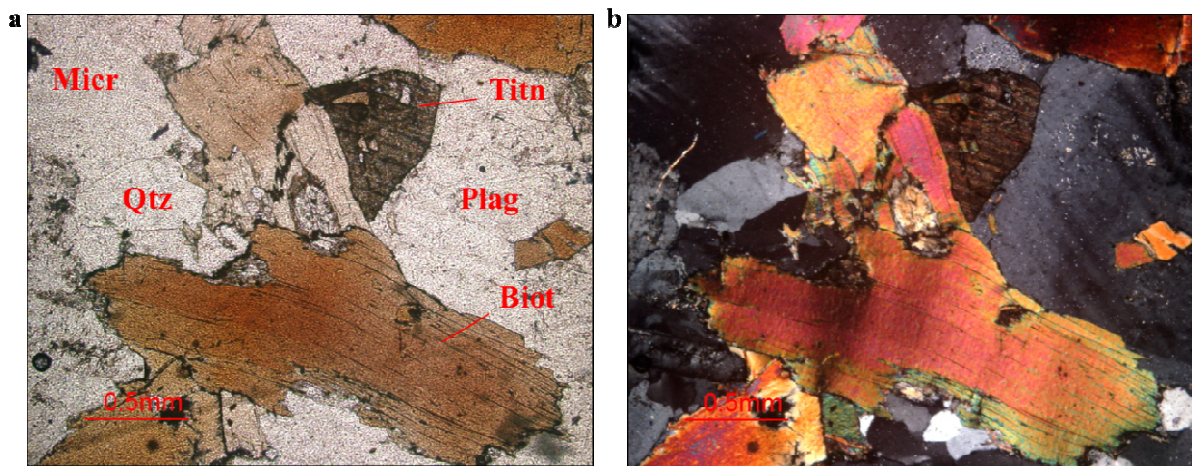


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), microcline (Micr), biotite (Biot) and titanite (Titn). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

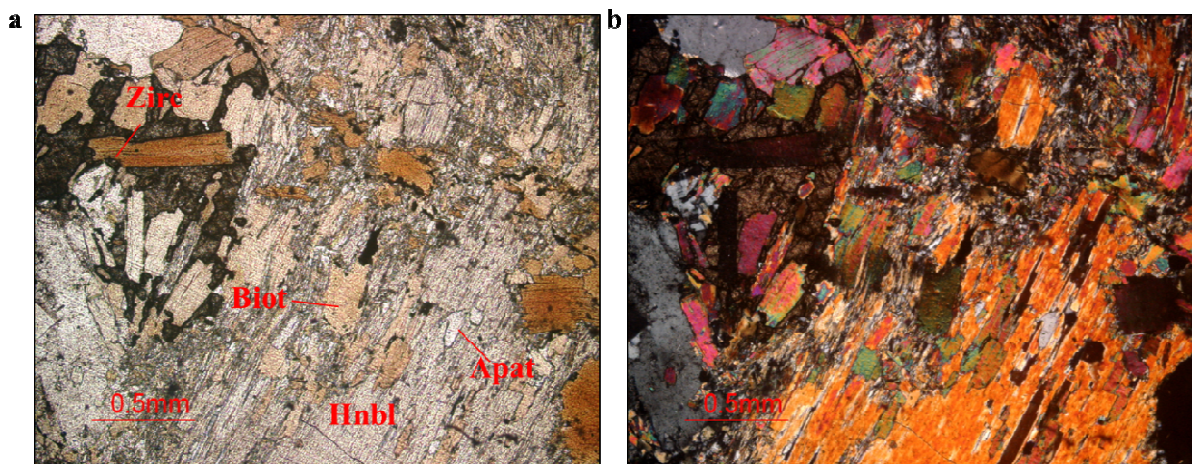


Figure 3 Zircon/monazite (Zirc), apatite (Apat) and hornblende (Hnbl). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

5. Sample number: CR 019 RK

Rock name: Monzogranite

Hand specimen: The granitoid sample has a white color and shows a slightly porphyritic texture. The phenocrysts are made up of alkali feldspar (sizes up to 12 mm across) which is sit in the medium-grained groundmass. The rock sample was stained for distinguishing feldspar (Fig. 1). The rock sample is made up largely of quartz (20.21 modal %), plagioclase (25.00 modal %) and alkali feldspar (48.29 modal%), with a small amount of mafic mineral (6.50 modal %). It does not react with cold diluted hydrochloric acid and is non magnetic.

Thin section: This granite is made up mainly of quartz, plagioclase and alkali feldspar, with small amounts of biotite and hornblende and trace amounts of zircon/monazite (Fig. 2) titanite, allanite, and apatite (Fig. 3). Secondary minerals (epidotes and opaque minerals) are slightly dissemination replaced in this rock.

Quartz is anhedral (sizes up to 2.5 mm across) and has a consertal texture, feature of primary quartz. It crystallized in the space between other crystal. Biotite and plagioclase inclusion in quartz crystal can be observed. Quartz has an undulatory extinction.

Plagioclase is subhedral to euhedral with size up to 3 mm across. It is slightly to moderately replaced by sericite, fine white mica and clay minerals. Zoning is very common and some crystals show myrmekitic texture. Biotite inclusion is preseent in plagioclase crystals.

Alkali feldspar comprise 2 phase, microcline (grid twin) and orthoclase (simple twin), both is anhedral with sizes up to 2.5 mm across. They are slightly replaced by clay minerals. Orthoclase in this sample shows a perthitic texture. Inclusions commonly occurred in the alkali feldspar crystal are made up of hornblende, biotite and plagioclase.

Biotite is subhedral to euhedral (sizes up to 1.25 mm across) and shows pleochroism in reddish berown - pale yellow. It is slightly replaced by chlorite and patches of titanite. Biotite crystals contain inclusions of zircon/monazite, apatite and titanite (primary phase).

Hornblended is subhedral (sized up to 1.1 mm across) and shows pleochroic color in X= pale yellow, Y = yellowish green and Z = yellowish green. The hornblende crystals contain titanite, biotite and apatite inclusion.

Zircon/monazite is euhedral and fine grain (sizes up to 0.08 mm across). It shows a pleochroic halo of radioactive reaction around crystals, especially in color minerals, such as biotite.

Titanite is euhedral to subhedral and shows wedge shapes with sizes up to 0.35 mm across.

Allanite is euhedral-columnar and has a brown color (sizes up to 0.6 mm across). Allanite crystals show color zoning.

Apatite is euhedral-columnar outlines and fine grain with sizes up to 0.08 mm across.

Remarks: The granitic sample is classified to be monzogranite after its mineral composton and texture. Order of crystallization is normal to Bowen's series, except hornblende that form after biotite.



Figure 1 Stained hand specimen, dark yellow = alkali feldspar, pale yellow = plagioclase, color less = quartz, dark mineral = biotite and hornblende.

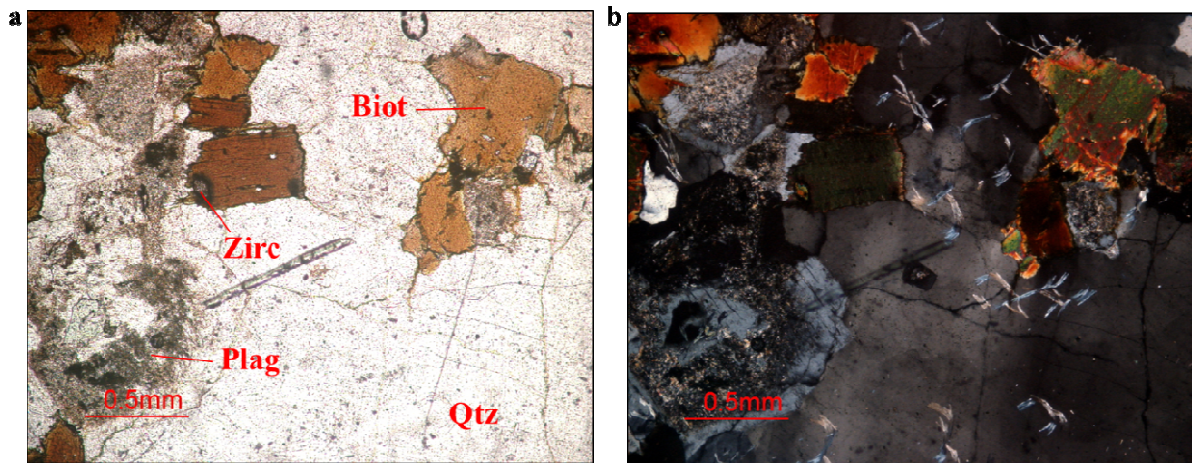


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), biotite (Biot) and zircon (Zirc). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

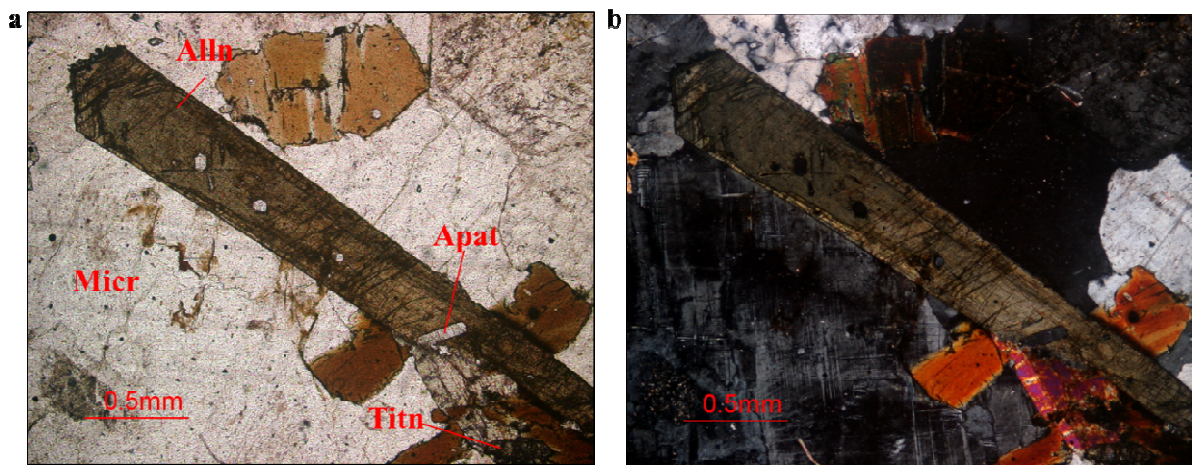


Figure 3 Mineral composition of study sample, microcline (Micr), allanite (Alln), titanite (Titn) and apatite (Apat). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

6. Sample number: CR 024 RK

Rock name: Cumulus gabbro

Hand specimen: The igneous rock sample has a greenish gray in color and is fine grained (grain size average less than 0.1 mm across). Tarnished surface is pale - moderate yellowish brown. It is made up of dark and colorless minerals (Fig. 1). Tiny veins of light gray materials are rarely present in the hand specimen. The sample does not react with cold diluted hydrochloric acid and is magnetic.

Thin section: The rock sample is equigranular (grain size in the range of 0.2 - 0.8 mm across) and show cumulus texture (Fig. 2). The cumulus crystals are made up mainly of plagioclase (40 modal %), with subordinate clinopyroxene (30 modal %) and unidentified mafic mineral (18 modal %). The intercumulus crystals comprise hornblende (7 modal %) and opaque mineral (magnetite?) (5 modal %) (Fig. 3). Patches of calcite, chlorite, epidotes and clay minerals are slightly replaced in this rock. Tiny veins (sizes up to 0.25 mm wide) of chlorite, calcite and hematite/iron hydroxide are present in small amount.

Plagioclase is euhedral to subhedral, long prismatic (sizes up to 0.8 mm across) and moderately to highly replaced by scapolite, chlorite, epidotes and clay minerals. Plagioclase crystals line parallel along long axis.

Clinopyroxene is subhedral (sizes up to 0.8 mm across) and colorless. It is slightly to moderately replaced by incipient amphibole and brown amphibole and some crystals show herring bone structure (convert to pigeonite). Plagioclase inclusion has been observed in clinopyroxene crystals.

Unidentified mafic mineral is euhedral and has a short-prismatic/prismatic shapes (sizes up to 0.5 mm across). It is completely replaced by serpentine/chlorite and small amounts pale brown amphibole and opaque minerals.

Hornblende is anhedral (sizes up to 1 mm across) and shows a intercumulus crystallization. It has a pleochroic formula as X = pale yellow, Y = yellowish brown and Z = greenish brown. Inclusions of unidentified mafic mineral, clinopyroxene and plagioclase are commonly present in this amphibole crystal.

Opaque mineral (magnetite?) is anhedral with sizes up to 0.5 mm across and slightly replaced by titanite/leucoxene. It formed as intercumulus crystallization. Plagioclase inclusion can be observed in the opaque mineral.

Remarks: This rock is named as cumulus gabbro after its textures and mineral composition. Order of crystallization is unidentified mafic mineral - plagioclase → clinopyroxene → hornblende - opaque mineral.



Figure 1 Stained hand specimen of cumulus gabbro (CR 024), white = plagioclase, dark = mafic minerals (pyroxene, unidentified mafic minerals and hornblende) and opaque mineral.

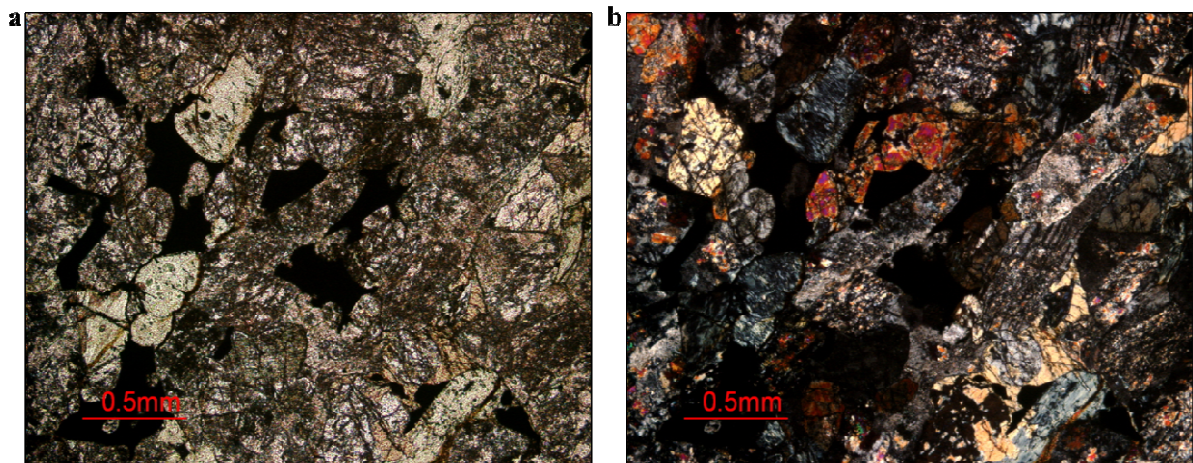


Figure 2 The study sample show cumulus texture. (a) Ordinary light and (b) cross polars.

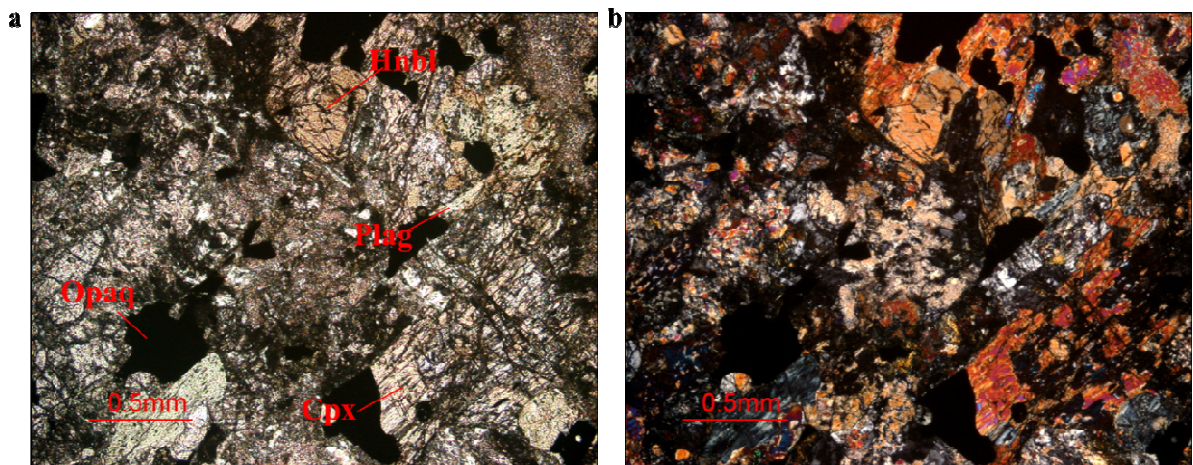


Figure 3 Mineral composition of study sample, plagioclase (Plag), clinopyroxene (Cpx), Hornblende (Hbl), and opaque minerals (Opaq). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

7. Sample number: CR 028 RK

Rock name: Tonalite

Hand specimen: The rock sample is slightly porphyritic with a medium-grained groundmass (grain sizes average less than 2 mm across). The phenocrysts are made up of plagioclase with sizes up to 7 mm across. Cutting surface was stained to distinguish feldspars (Fig. 1). The rock is composed mainly of plagioclase (58.45 modal %), quartz (24.30 modal %) and mafic mineral (14.25 modal %), with a small amount white mica (3.00 modal %). The sample does not react with cold diluted hydrochloric acid and is non magnetic.

Thin section: The rock sample is made up mainly of plagioclase, quartz and biotite, with a small amount of muscovite (Fig. 2). Trace minerals, zircon/monazite (Fig. 3) and apatite, can be detected in this sample. This rock has an equigranular texture with grain sizes average less than 1 mm across. Opaque minerals can be observed as secondary deposit in this sample. Very small amounts of secondary epidotes and chlorite are present in this sample.

Plagioclase is mostly euhedral (sizes up to 2.25 mm across) and very slightly replaced by sericite, fine white mica and calcite. Except the core of some zoning plagioclase, it is highly replaced by clay minerals and fine-white mica. Biotite inclusion is normally present in the plagioclase crystals.

Quartz is anhedral (sizes up to 2.5 mm across) and has a consertal texture (feature of primary quartz). Undulatory extinction is common in quartz crystal. Inclusions in quartz crystals are made up of biotite and plagioclase.

Biotite is anhedral and has irregular outlines (sizes up to 1.25 mm across). It has a pleochroic color in pale yellow -reddish brown. Biotite is slightly replaced by chlorite. Plagioclase inclusion can be detected in biotite crystals.

Muscovite is anhedral and has irregular outlines (sizes up to 1.25 mm across). Biotite inclusion is rarely observed in muscovite crystals.

Zircon/monazite is euhedral and fine-grain (sizes up to 0.12 mm across). It shows a pleochroic halo, especially in color mineral, such as biotite

Apatite is fine-grain, elongate and euhedral to subhedral with sizes up to 0.18 mm across.

Remark: The rock sample is made up of principle minerals, which is classified to be tonalite. Order of crystallization is normal to Bowen's series. Its texture, alteration and accessory minerals may be indicated that it is late stage crystallization or aplite.



Figure 1 Stained hand specimen, pale yellow = plagioclase, color less = quartz, dark mineral = biotite.

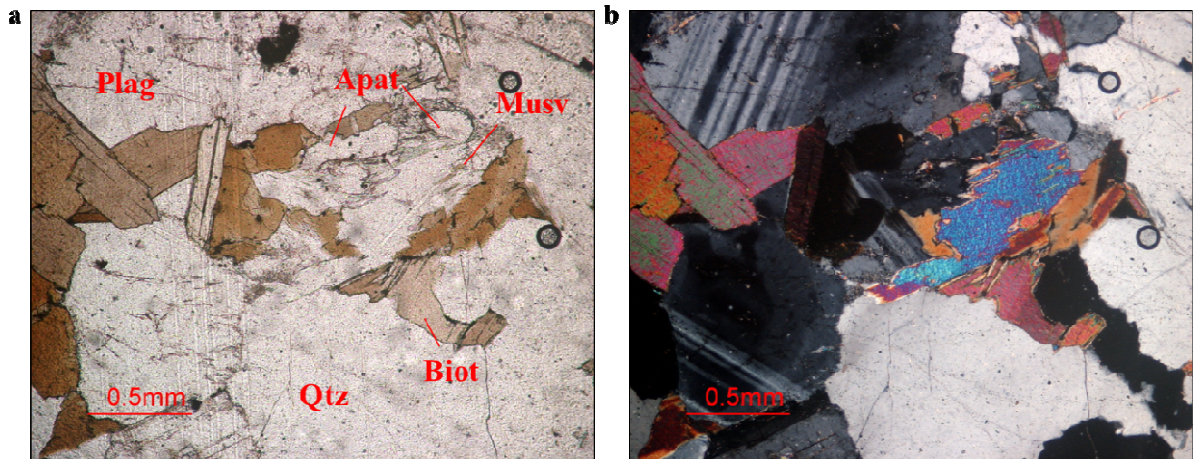


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), muscovite (Musv), biotite (Biot) and apatite (Apat). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

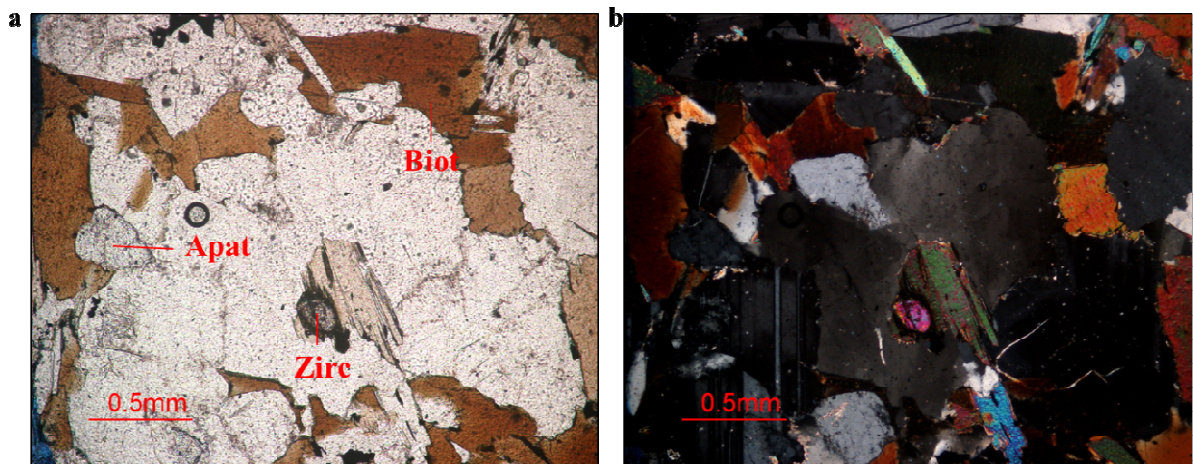


Figure 3 Zircon/monazite (Zirc) and apatite (Apat) in biotite. (a) Ordinary light and (b) cross polars.

8. Sample number: CR 029 RK

Rock name: Monzogranite

Hand specimen: The rock sample has medium to coarse - grained texture (grain sizes average in range of 2-7 mm across). It may have a seriated texture with alkali feldspar phenocrysts (sizes up to 10 mm across). Cutting surface was stained to distinguish feldspars (Fig. 22). This rock is made up largely of quartz (39.33 modal %), plagioclase (26.72 modal %) and alkali feldspar (24.7 modal %), with a small amount of mafic mineral (9.25 modal %). The sample does not react with cold diluted hydrochloric acid and is non magnetic.

Thin section: The rock sample is composed principally of quartz, alkali feldspar and plagioclase, with a small amount of biotite (Fig. 23) and trace amount of zircon/monazite and apatite (Fig. 24).

Quartz is anhedral (sizes up to 2.5 mm across) and has a consertal outlines that is a feature of primary quartz. Inclusions of biotite, zircon/monazite and apatite are commonly present in the quartz crystals.

Plagioclase is euhedral to subhedral (sizes up to 5.1 mm across) and slightly to moderately replaced by sericite and fine-white mica. Zoning crystals can be normally observed. Albite overgrowth and myrmekitic texture are common in plagioclase. Biotite and zircon/monazite inclusions are slightly present in the plagioclase crystals.

Alkali feldspar is anhedral (sizes up to 6 mm across) and show perthitic texture on simple twin (orthoclase). It is slightly replaced by clay minerals. Alkali feldspar crystallize in between space of other minerals, include quartz. Biotite, plagioclase, zircon/monazite, apatite and quartz inclusions have been observed in the alkali feldspar crystals.

Biotite is anhedral with sizes up to 2.65 mm across. It has a pleochroic color in pale yellow - reddish brown. Biotite is slightly to moderately replaced by chlorite and muscovite (reaction rim) with a small amount of titanite. Inclusions, zircon/monazite and apatite, are commonly present in biotite crystals. Some biotite crystals are broken.

Zircon/monazite is euhedral (sizes up to 0.16 mm across) and form as fine-grained inclusion in other minerals. It has a pleochroic halo, especially in color minerals, such as biotite.

Apatite is euhedral and fine-grain (sizes up to 0.13 mm across). It has a columnar shapes and form as inclusion in other minerals (common in biotite).

Remark: This rock sample is classified as monzogranite, depend on its mineral composition and texture. Order of crystallization is normal to Bowen's series, except crystallization of alkali feldspar after quartz. This rock may have an experience of very slightly deformation, evidence by broken crystals.



Figure 1 Stained hand specimen, dark yellow = alkali feldspar, pale yellow = plagioclase, color less = quartz, dark mineral = biotite.

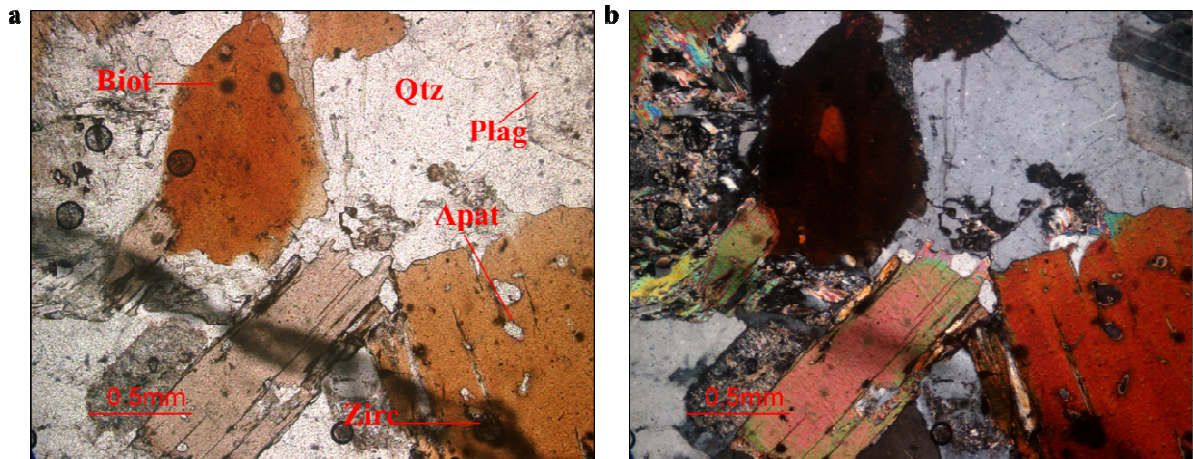


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), biotite (Biot), zircon (Zirc) and apatite (Apat). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

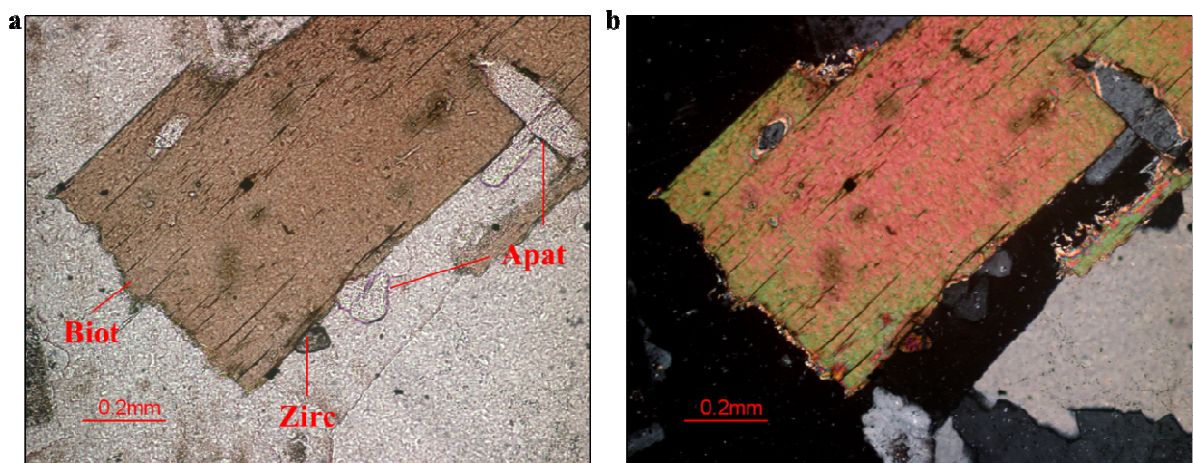


Figure 3 Zircon/monazite (Zirc) and apatite (Apat) in biotite. (a) Ordinary light and (b) cross polars.

9. Sample number: CR 030 RK

Rock name: Monzogranite

Hand specimen: The granitic rock sample is medium to coarse - grained texture (grain sizes average in the range of 2 - 8 mm across). Cutting surface was stained to distinguish feldspars (Fig. 1). The rock is made up major of quartz (51.62 modal %), plagioclase (21.47 modal %) and alkali feldspar (18.91 modal %), with small amount of mafic mineral (8.00 modal %). The sample does not react with cold diluted hydrochloric acid and is non magnetic.

Thin section: The studied sample is composed largely of quartz, plagioclase and alkali feldspar (Fig. 2), with small amounts of biotite and opaque mineral (Fe-Ti oxides) and trace amount of zircon/monazite and apatite (Fig. 3).

Quartz shows anhedral outlines with sizes up to 4 mm across and has a consertal texture (feature of primary quartz). Biotite, plagioclase and apatite inclusions have been detected in the quartz crystals.

Plagioclase is subhedral (sizes up to 3 mm across) and slightly to moderately replaced by sericite, fine-white mica, clay minerals and scapolite (?). Zoning is common in plagioclase. Plagioclase has albite overgrowth and myrmekitic texture at rim. Biotite inclusion may be observed in the plagioclase crystals.

Alkali feldspar is anhedral to subhedral (sizes up to 6 mm across) and slightly repleted by clay minerals. It has a simple twin (orthoclase) and normally shows a perthitic texture. Alkali feldspar crystallize in space between other minerals. Inclusions in alkali feldspar crystals consist of bitoite, plagioclase and quartz.

Biotite is anhedral (irregular outlines) and with sizes up to 2.5 mm across and has a pleochroic color in pale yellow - reddish brown. It is slightly replaced by chlorite with small amonut of titanite, epidotes and scapolite. Biotite crystals commonly contain zircon/monazite, apatite and opaque minerals as inclusions. It is slightly broken and may shows kink band.

Opaque mineral (Fe-Ti oxides) is anhedral and has irregular outlines with sizes up to 0.2 mm cross.

Zircon/monazite is euhedral and fine-grain (sizes up to 0.15 mm across). It form as inclusion in other minerals and shows pleochroic halo, especially in biotite.

Apatite is euhedral and fine-grain (sizes up to 0.10 mm across). It form as inclusion in other minerals.

Remark: The rock sample is named as monzogranite following mineral composition and texture. Order of crystallization is normal to Bowen's seies, except alkali feldspar crystalize after quartz. The rock may be slightly deformed, evidence by broken and kink biotite.

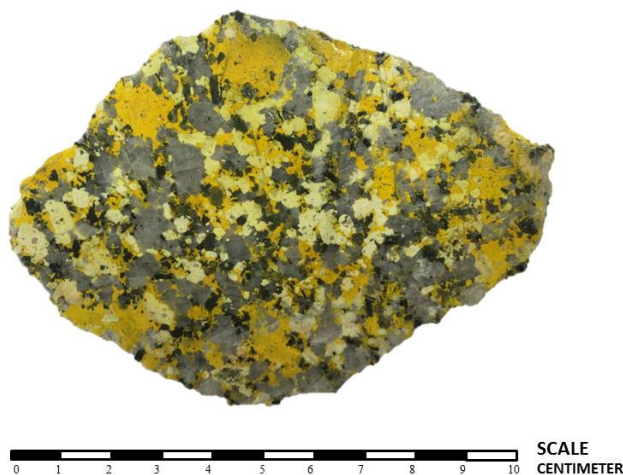


Figure 1 Stained hand specimen, dark yellow = alkali feldspar, pale yellow = plagioclase, color less = quartz, mafic mineral = biotite.

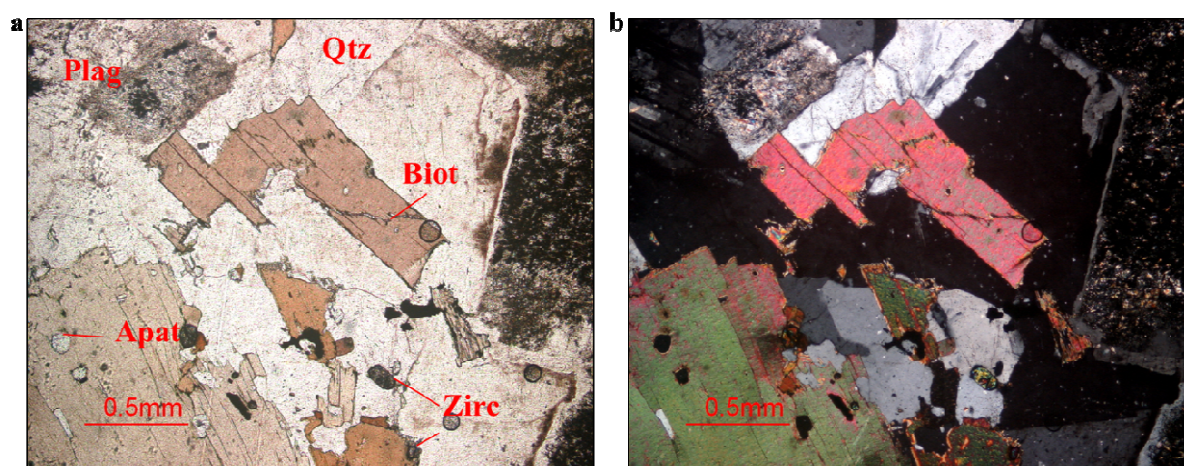


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), biotite (Biot), zircon (Zirc) and apatite (Apat). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

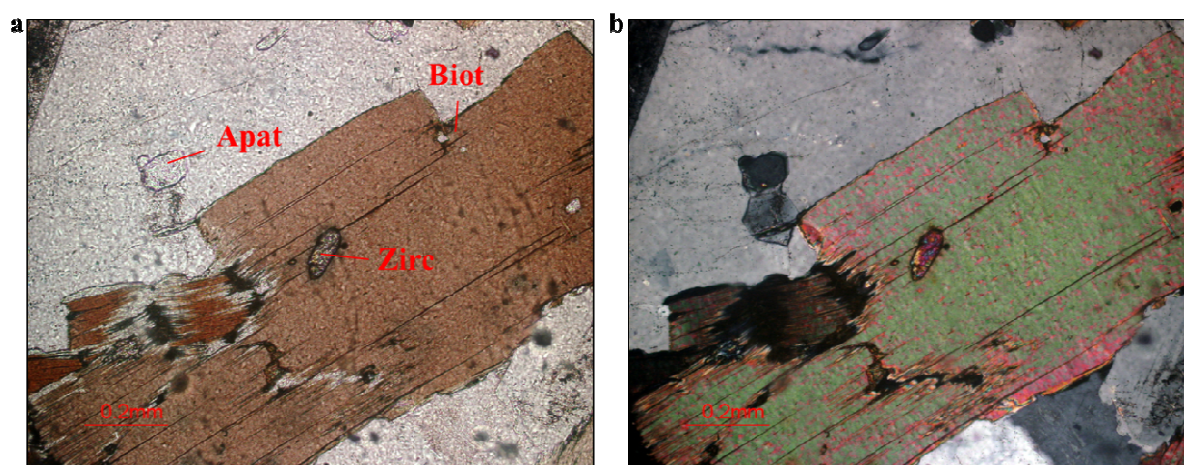


Figure 3 Zircon/monazite (Zirc) and apatite (Apat) in biotite. (a) Ordinary light and (b) cross polars.

10. Sample number: CR 032(1) RK

Rock name: Monzogranite

Hand specimen: The rock sample has a seriated texture (sizes up to 3.5 mm across). The phenocrysts are made up of quartz and plagioclase. The groundmass phase is made up mostly of quartz and alkali feldspar. Cutting surface was stained to distinguish feldspars (Fig. 1). This rock is made up mostly of alkali feldspar (39.25 modal %), quartz (31.55 modal %) and plagioclase (25.25 modal %), with a small amount of mafic mineral (3.95 modal %). Pyrite has been observed as disseminated distribution in this sample (sizes up to 5 mm wide). The rock does not react with cold diluted hydrochloric acid and is non magnetic.

Thin section: This rock sample is composed principal of alkali feldspar, quartz and plagioclase (Fig. 2), with a small amount of biotite (Fig. 3). Trace minerals present in this rock comprise zircon/monazite and apatite. Patches of epidotes and opaque mineral (pyrite) are slightly present in this rock.

Alkali feldspar is anhedral (sizes up to 1.50 mm across) and normally shows granophyric texture (intergrowth with quartz). It has a simple twin and shows perthitic texture (orthoclase). Alkali feldspar is slightly to moderately replaced by clay minerals.

Quartz is euhedral to anhedral (sizes up to 4.00 mm across). It commonly shows granophyric intergrowth with alkali feldspar.

Plagioclase is subhedral to euhedral (sizes up to 2.50 mm across) and moderately to highly replaced by sericite, clay minerals, chlorite and epidotes. Zoning is present in plagioclase. Inclusions of biotite and apatite can be slightly detected in plagioclase crystals.

Biotite is anhedral and has irregular outlines (sizes up to 2.00 mm across). It shows pleochroic color in pale greenish yellow - dark brown. Biotite is slightly to completely replaced by chlorite with small amounts of epidotes and titanite. Biotite crystals are broken and has a kink feature. Fine-grained inclusions in biotite crystals are very slightly present and composed of zircon/monazite and apatite.

Zircon/monazite is euhedral and fine-grain (sizes up to 0.07 mm across). It commonly present as inclusion in biotite. Pleochroic halo around zircon/monazite are shown in color mineral, such as biotite.

Apatite is euhedral and fine-grain (sizes up to 0.06 mm across) and forms as inclusion in biotite.

Remark: The rock is classified as monzogranite following mineral composition and texture. Granophyric texture indicate that this rock is a late stage crystallization granitic rock. The rock may has an experience of deformation, evidence by broken and kink feature in biotite.



Figure 1 Stained hand specimen, dark yellow = alkali feldspar, pale yellow = plagioclase, color less = quartz, dark mineral = biotite.

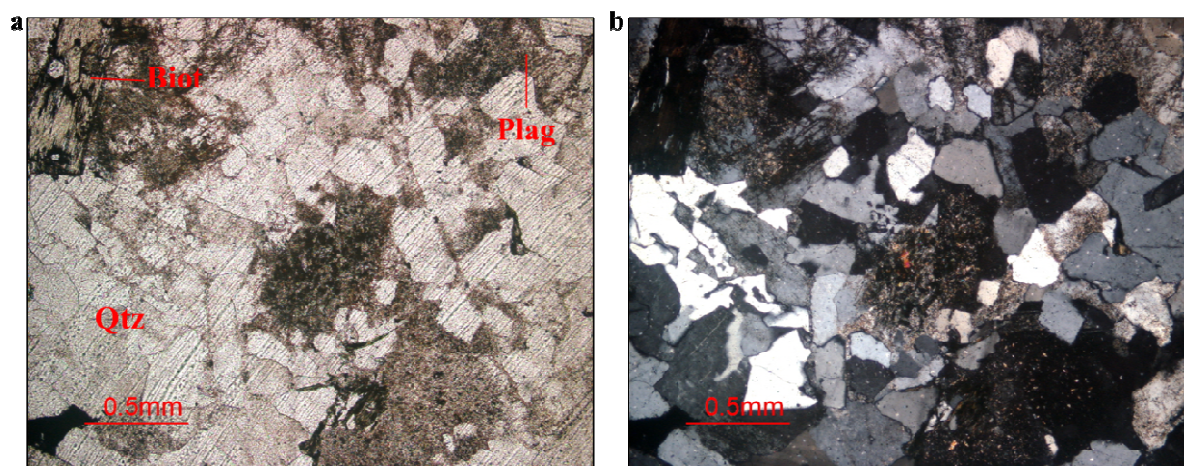


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), and biotite (Biot). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

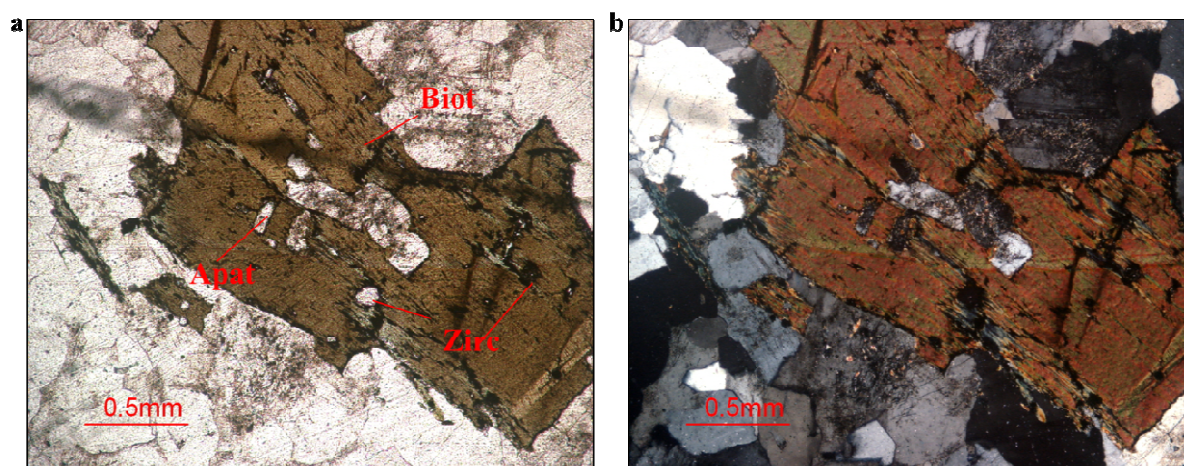


Figure 3 Zircon/monazite (Zirc) and apatite (Apat) in biotite. (a) Ordinary light and (b) cross polars.

11. Sample number: CR 0032(2) RK**Rock name:** Microgabbro/microdiorite

Hand specimen: The rock sample has a dark gray color and surface is covered by dark yellowish brown materials. It is equigranular and fine-grained (grain sizes less than 1 mm across). Cutting surface was stained to distinguish feldspar (Fig. 1). The sample contains a white lath-shaped crystals (plagioclase). It does not react with cold diluted hydrochloric acid. This rock has a magnetic character.

Thin section: The rock sample is slightly porphyritic with plagioclase phenocrysts/microphenocrysts (3 modal %) (Fig. 2). The groundmass phase is made up largely of plagioclase (50 modal %) and amphibole (after pyroxene) (44 modal %), with a small amount of opaque mineral (magnetite?) (3 modal %). Plagioclase and amphibole in the groundmass phase are ophitic/subophitic intergrowth (Fig. 3).

Plagioclase phenocrysts/microphenocrysts are euhedral and short prismatic (sizes up to 0.75 mm across), whereas groundmass plagioclase is subhedral and long prismatic (grain sizes average in the range of 0.05 - 0.15 mm across). Plagioclase is moderately replaced by epidotes, clay minerals, and fine-white mica.

Amphibole (after pyroxene) is anhedral with sizes up to 1 mm across and is ophitic/subophitic with groundmass plagioclase laths. Amphibole has a pleochroic color as X = pale yellow, Y = pale yellowish green and Z = pale green, that is both hornblende and tremolite - actinolite series characteristic. Secondary opaque minerals may be present amphibole crystals.

Opaque mineral (magnetite?) is subhedral - equant (sizes up to 0.2 mm across) and intergranular with plagioclase laths.

Remarks: The rock is classified as microgabbro/microdiorite after mineral composition and texture. The presence of ophitic/subophitic texture suggests that the rock have been formed as shallow intrusive, such as dike and sill.



Figure 1 Stained hand specimen, pale yellow = plagioclase, mafic mineral = amphibole.

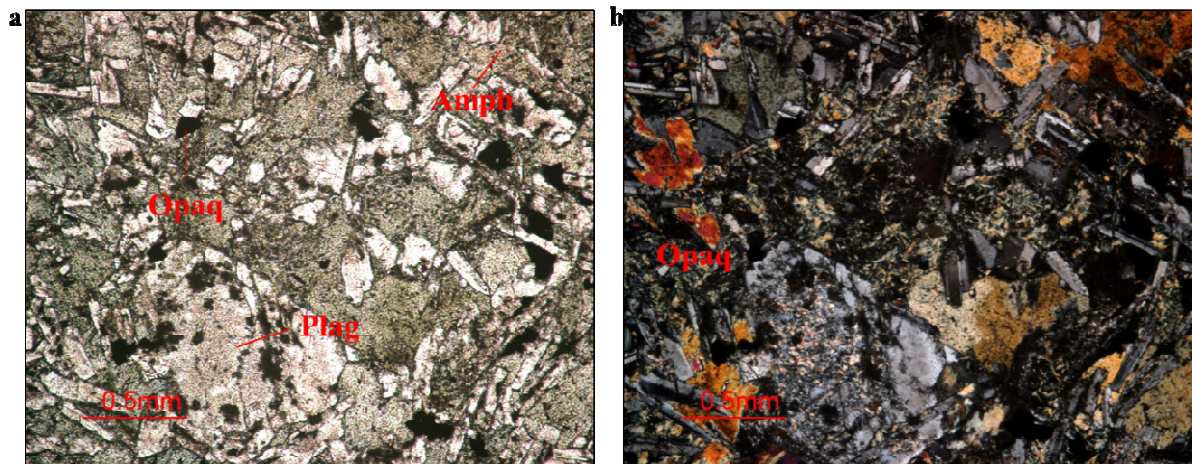


Figure 2 Mineral composition of study sample, plagioclase (Plag), amphibole (Amph) and opaque minerals (Opaq). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

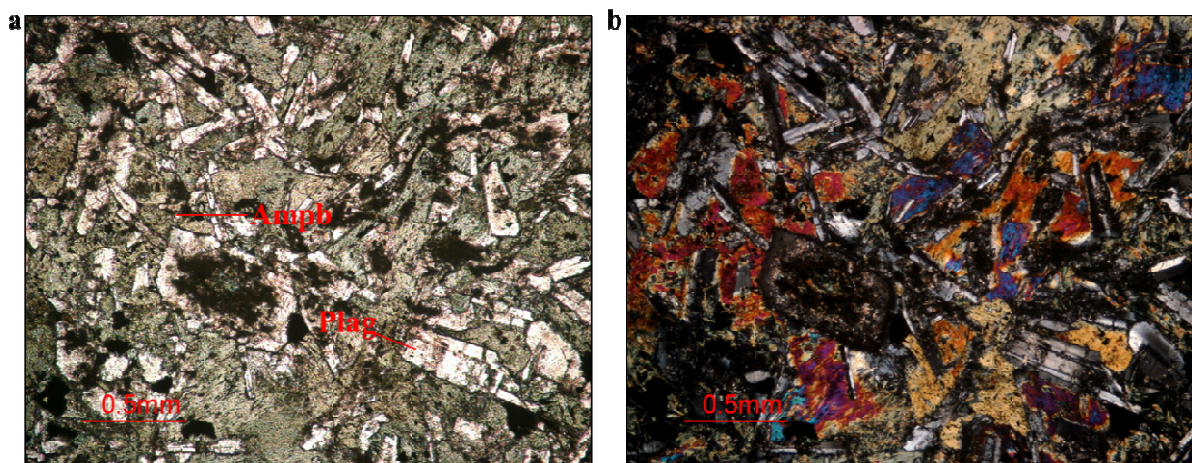


Figure 3 Plagioclase and amphibole in the groundmass phase are ophitic/subohitic intergrowth. (a) Ordinary light and (b) cross polars.

12. Sample number: CR 0033 RK

Rock name: Quartz alkali feldspar rhyolite

Hand specimen: The white rock sample is very fine-grain and porphyritic. The phenocrysts are made up of quartz (colorless) and feldspars (white), which is embedded in the very fine-grained groundmass. Cutting surface was stained for distinguish feldspars. This sample is made up mostly of alkali feldspar (Fig. 1). The rock does not react with cold diluted hydrochloric acid and is non magnetic.

Thin section: The phenocrysts/microphenocrysts in the sample are made up largely of quartz and alkali feldspar, with a small amount of plagioclase (Fig. 2). The groundmass phase is made up mainly of quartz-alkali feldspar granophyric and spherulitic intergrowth (Fig. 3), with small amounts of quartz, alkali feldspar and muscovite. Luecoxene and clay minerals commonly present in the groundmass phase.

Quartz phenocrysts/microphenocrysts is euhedral to subhedral (sizes up to 1.5 mm across). It commonly shows rounded edges and embayed outlines. Groundmass quartz is anhedral with sizes up to 0.1 mm across.

Alkali feldspar phenocrysts/microphenocrysts is subhedral to euhedral (sizes up to 1 mm across). It shows simple twin and perthitic texture (sanidine type). Groundmass alkali feldspar is anhedral with sizes up to 0.1 mm across. Alkali feldspar is slightly replaced by clay minerals.

Plagioclase phenocryst/microphenocrysts is subhedral with sizes up to 0.85 mm across. Its crystals show carlsbad twin and albite twin and is slightly to moderately replaced by sericite and clay minerals.

Quartz-alkali feldspar intergrowth groundmass is composed of microgranophyric intergrowth and spherulite (sizes up to 1.5 mm across). Granophyric intergrowth is made up of radial quartz embedded in alkali feldspar. Spherulite is radial aggregate of quartz and feldspar.

Muscovite is anhedral and fine-grain with sizes up to 0.2 mm across.

Remark: The rock is named as quartz alkali feldspar rhyolite following its mineral composition and texture. The present of granophyric texture indicate that this is a late stage crystallization rock.



Figure 1 Stained hand specimen, dark yellow = alkali feldspar, color less = quartz.

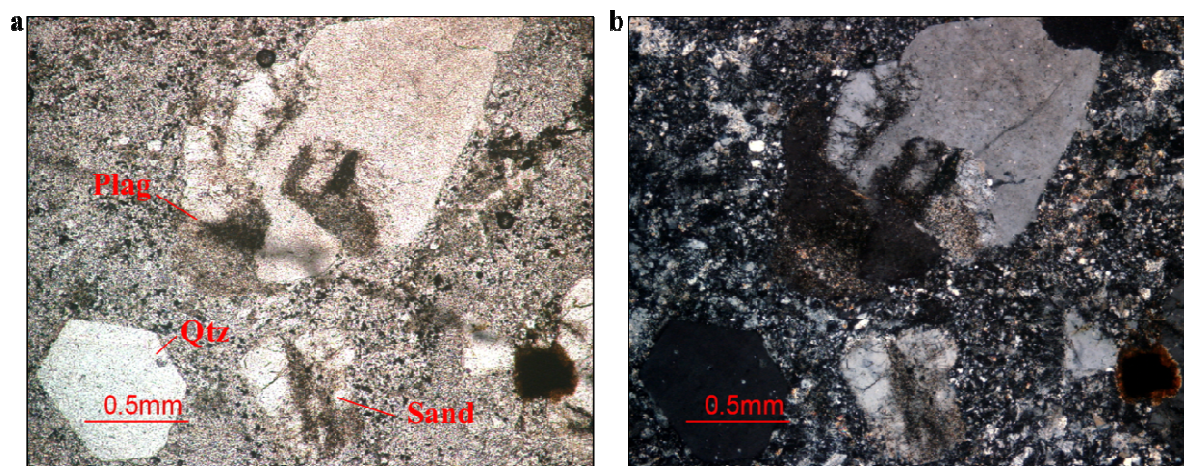


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), and sanidine (Sand). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

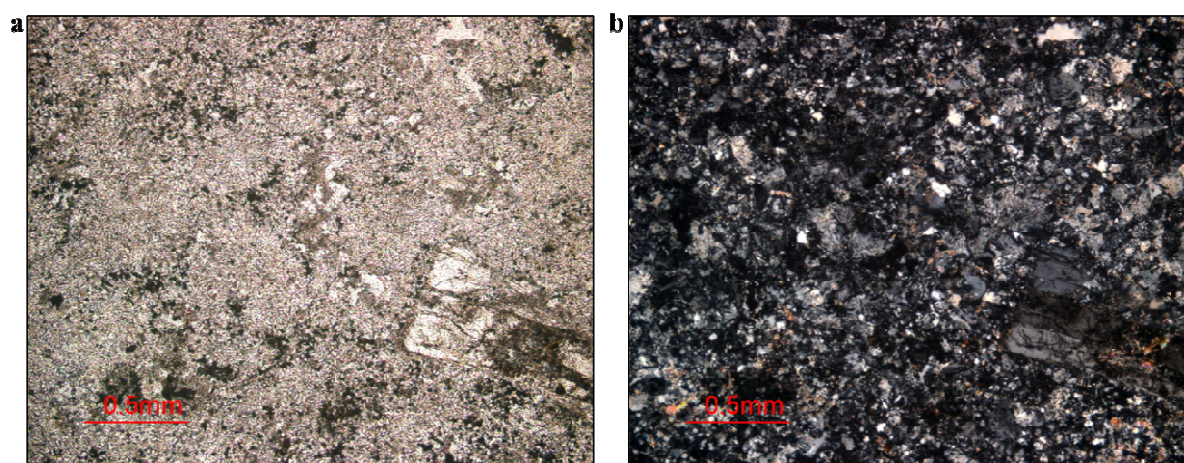


Figure 3 The groundmass phase is made up mainly of quartz-alkali feldspar granophyric and spherulitic intergrowth. (a) Ordinary light and (b) cross polars.

13. Sample number: CR 0034 RK

Rock name: Granodiorite

Hand specimen: The granitic rock sample has a medium-grained texture (grain sizes average in the range of 1 - 3 mm across). Cutting surface was satin to distinguish feldspars (Fig. 1). This sample is composed mainly of plagioclase (44.89 modal %), quartz (31.89 modal %) and alkali feldspar (17.72 modal %), with a small amount of mafic mineral (5.5 modal %). This rock does not react with cold diluted hydrochloric acid and is non magnetic.

Thin section: The rock sample are made up principal of plagioclase, quartz and alkali feldspar (Fig. 2), with small amounts of hornblende, biotite and opaque mineral. Trace amount of zircon/monazite and apatite have been detected in this sample (Fig. 3).

Plagioclase can be separate into two phase, by alteration, high and low alteration. The highly altered plagioclase is euhedral (sizes up to 2.00 mm across) and highly to completely replaced by sericite and clay minerals with a small amount of epidotes and opaque mineral. The slightly altered plagioclase is subhedral to euhedral (sizes up to 1.50 mm across) and very slightly replaced by sericite and clay minerals. Zoning is present in the low alteration type and alkali feldspar overgrowth (antirapakivi) is also present.

Quartz is anhedral (sizes up to 1.00 mm across) with a consertal texture, feature of primary quartz. It forms in the space between other minerals. Micrographic texture (quartz-alkali feldspar intergrowth can be slightly detected. Biotite and alkali feldspar inclusions are present in the quartz crystals.

Alkali feldspar is anhedral (sizes up to 4.00 mm across) and normally shows simple twin and perthitic texture, that is an a feature of orthoclase. It is slightly replaced by clay minerals.

Biotite is anhedral and has an irregular outlines (sizes up to 2.00 mm across). It has a pleochroic color in pale yellow - dark brown and is slightly to highly replaced by chlorite and small amounts of titanite and epidotes. Inclusions in biotite crystals are composed of hornblende and opaque mineral. The biotite crystals are broken and folded.

Hornblende is subhedral to euhedral (sizes up to 0.80 mm across) and has a pleochroic color as X = peale yellow, Y = yellowish green and Z = yellowish green. Inclusions of opaque mineral and apatite have been observed in the hornblende crystals.

Opaque mineral is subhedral to anhedral (sizes up to 0.6 mm across) and slightly replaced by titanite at rim.

Zircon is euhedral and fine-grain (sizes up to 0.16 mm across). It forms as inclusion in other minerals and commonly show pleochroic halo, especially in biotite.

Apatite is euhedral and fine-grain (sizes up to 0.13 mm across). It normally forms as inclusion in other minerals.

Remarks: The rock sample is classified as granodiorite following mineral composition and texture. It is consistent with the present of hornblende. Order of crystallization is normal to Bowen's series. This rock has an experience of deformation, evidence by broken and folded feature in biotite crystals.



Figure 1 Stained hand specimen, dark yellow = alkali feldspar, pale yellow = plagioclase, color less = quartz, mafic mineral = hornblende and biotite.

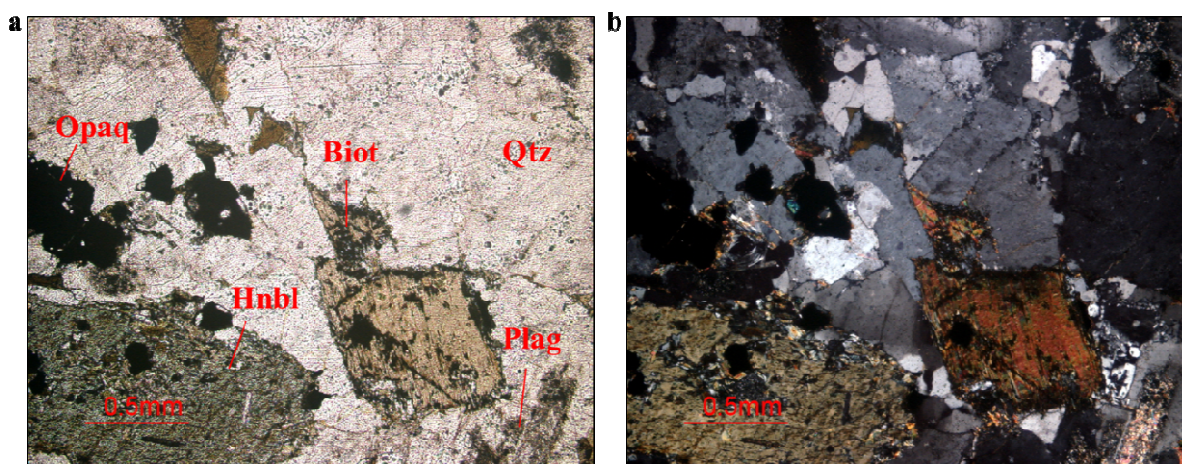


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), biotite (Biot), hornblende (Hnbl) and opaque minerals (Opaq). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

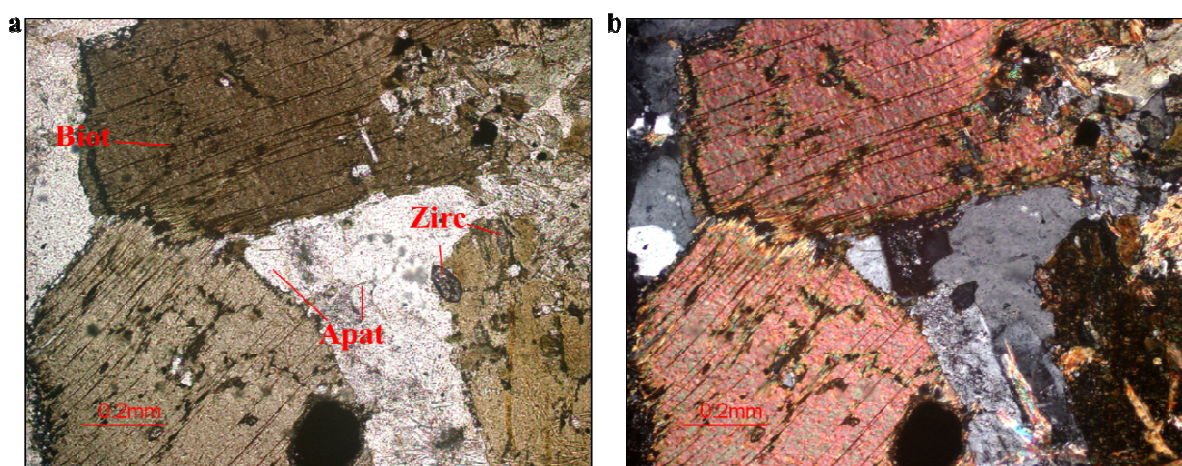


Figure 3 Zircon/monazite (Zirc) and apatite (Apat) in biotite. (a) Ordinary light and (b) cross polars.

14. Sample number: CR 028 RK

Rock name: Granodiorite/leucogarnodiorite

Hand specimen: The rock sample contains 2 parts following textures and mineral composition; darker part (grain sizes average in the range of 1-2 mm across) and lighter part (grain sizes average in the range of 3-5 mm across). Cutting surface was stain to distinguish feldspars (Fig. 1). The darker part is made up mainly of quartz (38.25 modal %), alkali feldspar (7.25 modal %) and plagioclase (37.00 modal %), with a mafic mineral (17.00 modal %). The light part is made up of quartz (46.50 modal %), alkali feldspar (12.00 modal %) and plagioclase (41.50 modal %). The rock sample does not react with cold diluted hydrochloric acid and is non magnetic.

Thin section: The rock is composed of 2 parts, (1) dark part and (2) light part.

Dark part

The dark part is made up principally of quartz, plagioclase, and alkali feldspar. Accessory minerals in this part comprise biotite, with subordinate muscovite (Fig. 2). A trace amount of zircon/monazite is present in this part.

Quartz is anhedral (sizes up to 1.60 mm across) and has a consertal texture (feature of primary quartz). Undulatory extinction is common. Quartz crystals crystallize in between other minerals and contain biotite and plagioclase inclusions.

Plagioclase is subhedral (sizes up to 1.75 mm across) and slightly replaced by sericite. Zoning is commonly present, whereas myrmekitic is rarely present. Inclusions in the plagioclase crystals consist of biotite.

Alkali feldspar is anhedral with sizes up to 1 mm across. It is slightly to moderately replaced by clay minerals and sericite. It shows simple twin, indicating that it is microcline. Inclusion of biotite in alkali feldspar crystals can be detected.

Biotite is anhedral (sizes up to 1.25 mm across) and has a pleochroic in yellow - reddish brown. It is slightly broken and has a kink band in some crystals. Zircon inclusions are rarely present in the biotite crystals.

Muscovite is anhedral and has irregular outlines (sizes up to 1.75 mm across). It shows a skeletal and sieve (?) texture with inclusions of quartz.

Zircon/monazite is euhedral to subhedral and very fine-grained (sizes up to 0.03 mm across). It forms as an inclusion in other minerals and has a pleochroic halo in biotite.

Light part

The light part is made up largely of quartz, alkali feldspar and plagioclase, with small amounts of muscovite and biotite (Fig. 3). The rock is broken into fragment and sealed by sericite/fine-white mica.

Quartz is anhedral (sizes up to 2.00 mm across) and has a consertal texture (primary feature).

Alkali feldspar is anhedral (sizes up to 5.25 mm across) and has a grid twin (microcline). Inclusions, biotite and plagioclase, are commonly present in the alkali feldspar crystals. Alkali feldspar and quartz have a micrographic texture, present in small amount in this part.

Plagioclase is subhedral (sizes up to 3.00 mm across) and slightly to moderately replaced by sericite. Zoning, albitized overgrowths and myrmekitic texture of plagioclase is normally present. Biotite inclusion can be detected in plagioclase crystals.

Muscovite is anhedral (sizes up to 1.00 mm across) and normally react to be a fine-grained (grain sizes average less than 0.05 mm across). Symplectitic texture of muscovite-quartz is present in this part.

Biotite is anhedral (sizes up to 0.75 mm across) and has a pleochroic color in pale yellow - reddish brown. It is slightly replaced by chlorite and titanite.

Remark: There are 2 parts in this rock sample. The dark part is granodiorite, whereas the light part is leucogranodiorite, following the mineral composition and textures. Order of crystallization is normal to Bowen's series, inclusion criteria. Zircon/monazite is only present in the dark part. The relation of two phases should be checked in the field.



Figure 1 Stained hand specimen, dark yellow = alkali feldspar, pale yellow = plagioclase, color less = quartz, dark mineral = bitoite.

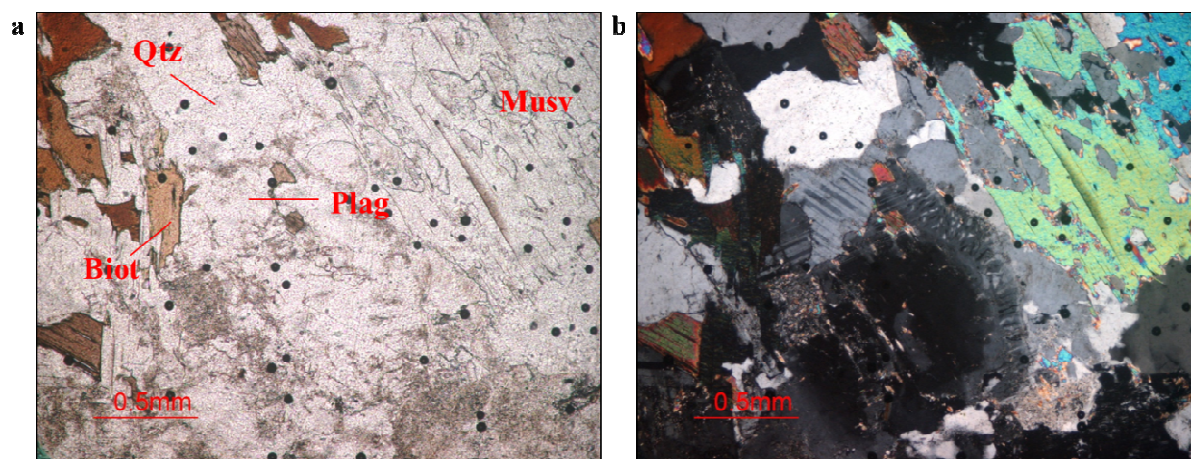


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), Alkali muscovite (Musv) and biotite (Biot). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

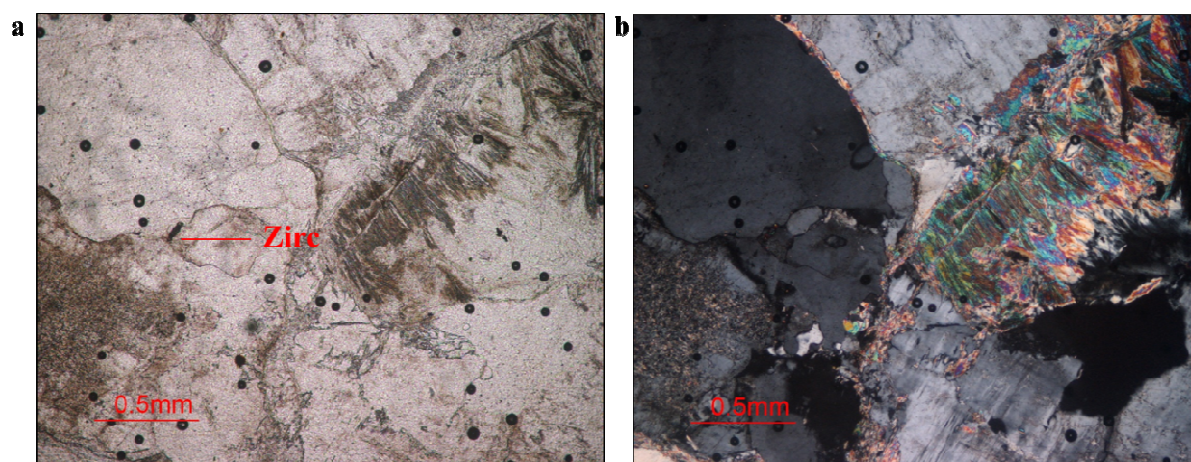


Figure 3 Accessory mineral compositions of study sample, zircon/monazite (Zirc) (a) Ordinary light and (b) cross polars.

15. Sample number: CR 043 RK

Rock name: Diorite

Hand specimen: The rock sample has a dark gray color with a yellowish brown weathering surface. It shows equigranular texture (medium-fine grain) with a parallel alignment of plagioclase laths. Cutting surface was stain to distinguish feldspars (Fig. 1). The sample is made up largely of plagioclase (70.00 modal %) with subordinate mafic minerals (30.00 modal %). The rock sample does not react with cold diluted hydrochloric acid and is slightly magnetic.

Thin section: The rock sample is made up largely of plagioclase with subordinate hornblende and opaque mineral (magnetite ?) (Fig. 1). It shows a cumulus texture, which is made up of cumulus plagioclase and intercumulus hornblende and magnetite (?) (Fig. 2).

Plagioclase cumulus is subhedral to euhedral with sizes up to 1 mm across. They show a parallel alignments of long axes. Plagioclase crystals are slightly to moderately replaced by sericite, fine green amphibole, chlorite and epidote. Zoning and albitization overgrowth are commonly present in the plagioclase laths.

Hornblend intercumulus is anhedral (sizes up to 0.8 mm across) and has a pleochroic formula as X = pale brownish yellow, Y = pale yellowish brown and Z = brownish green. It is slightly replaced by fine green amphibole. Plagioclase inclusion is commonly present in the hornblende crystals.

Opaque mineral (magnetite?) is anhedral (sizes up to 0.3 mm across) and has an irregular outlines. It occurs as intercumulus crystal with hornblende.

Remark: The rock sample is named as diorite following the present of plagioclase and hornblende. The cumulus texture indicated that it is cumulate.



Figure 1 Stained hand specimen, dark yellow = alkali feldspar, pale yellow = plagioclase, color less = quartz, dark mineral = bitoite.

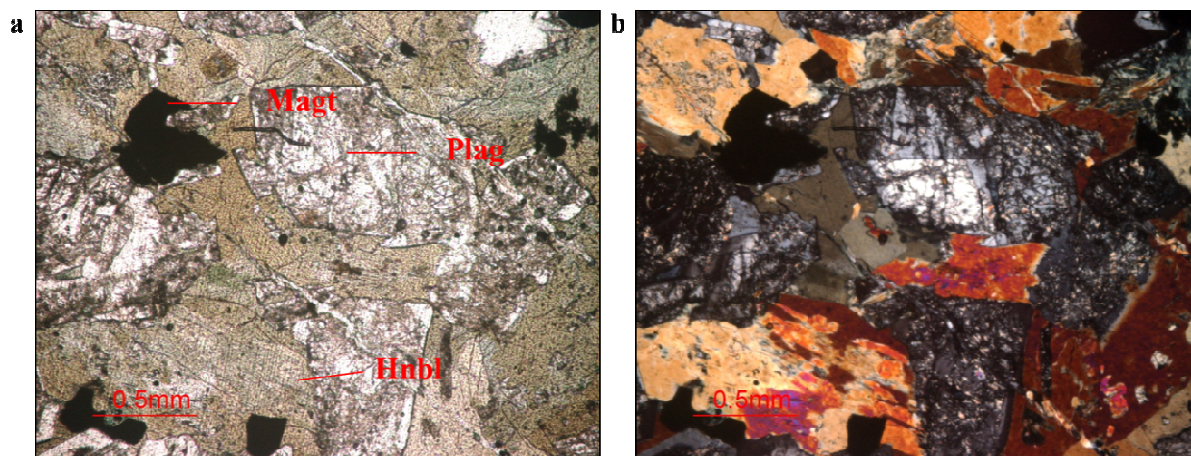


Figure 2 Mineral composition of study sample, plagioclase (Plag), hornblende (Hnbl) and magnetite (Magt). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

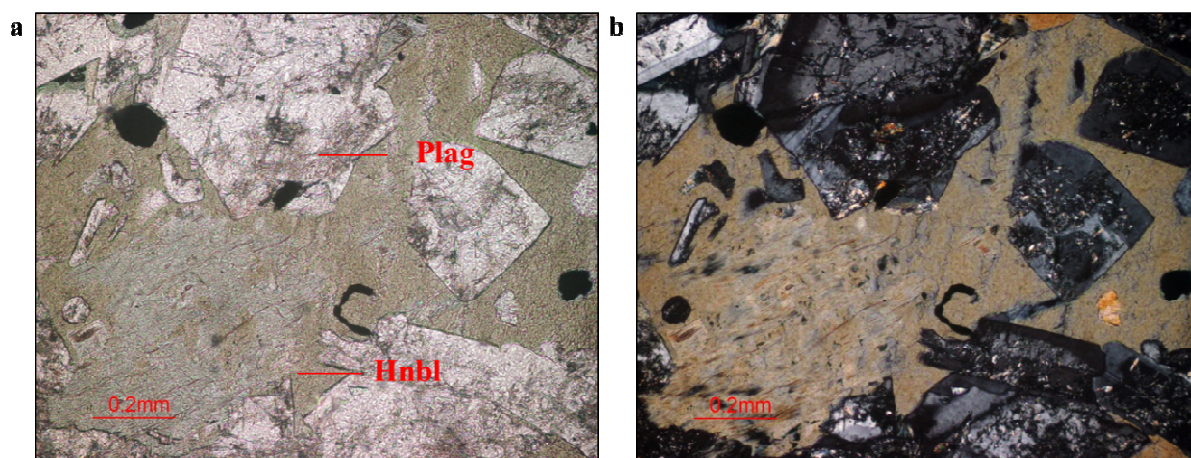


Figure 3 cumulus plagioclase and intercumulus hornblende and magnetite (?), plagioclase (Plag) and hornblende (Hnbl). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

16. Sample number: CR045RK (1)

Rock name: granodiorite

Hand specimen: The rock sample has a medium gray color with a yellowish brown weathering surface. It has a medium grained texture with grain sizes average in the range of 2-4 mm across). Cutting surface was stain to distinguish feldspars (Fig. 1). It is made up mostly of plagioclase (45.75 modal %), quartz (29.25 modal %) and alkali feldspar (14.50 modal %) and mafic mineral (10.50 modal%). The rock sample does not react with cold diluted hydrochloric acid and is non magnetic.

Thin section: The rock sample is made up principally of plagioclase with subordinate quartz and alkali feldspar (Fig. 2). Accessory minerals are dominated by hornblende with very small amounts of bitoite, titanite and apatite (Fig. 3). A trace amount of opaque mineral can be observed.

Plagioclase is subhedral to euhedral with sizes up to 3.25 mm across. It is moderately to highly replaced by sericite and epidotes. The plagioclase crystals commonly show zoning overgrowth, myrmekitic intergrowth and albitization at rim.

Quartz is anhedral with sizes up to 2.25 mm across and shows a consertal texture which is indicated a primary quartz. Undulatory extinction in quartz crystals is common. Hornblende, plagioclase and apatite inclusions are normally present.

Alkali feldspar is anhedral (sizes up to 1.5 mm across) and has a perthitic texture. Inclusions in alkali feldspar crystals comprise hornblende and plagioclase.

Hornblende is euhedral to subhedral with sizes up to 1.5 mm across. It is green with pleochroic formula as X = pale yellowish green, Y = pale yellowish green and Z = pale green. The hornblende crystals are broken and partly replaced by subhedral chlorite, white mica (muscovite) and titanite. Plagioclase inclusion is slightly present in hornblende.

Bitoitite is subhedral (sizes up to 0.5 mm across) and totally replaced by chlorite and tianite/leucoxene.

Titainite is anhedral (sizes up to 0.5 mm across) and forms as crystal in space between plagioclase and hornblende.

Apatite is fine-grained (sizes up to 0.05 mm across) and has an euhedral long columnar shapes. It forms as inclusion in quartz.

Opaque mineral is anhedral and have an equant outlines with sizes up to 0.3 mm across.

Remark: The rock sample is classified as granodiorite following its principal mineral composition and textures. That is supported by the present of amphibole (hornblende). Order of crystallization is normal to Bowen's series, inclusion criteria. The rock has an experience of deformation, indicated by undulose quartz and brokken amphibole replaced by chlorite crystal.



Figure 1 Stained hand specimen, dark yellow = alkali feldspar, pale yellow = plagioclase, color less = quartz, dark mineral = bitoite.

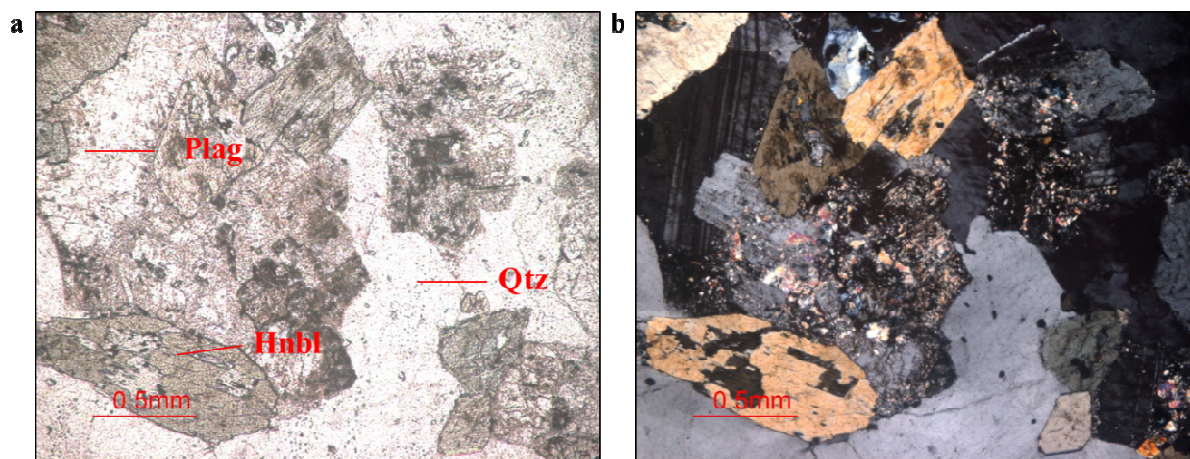


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), and hornblende (Hnbl). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

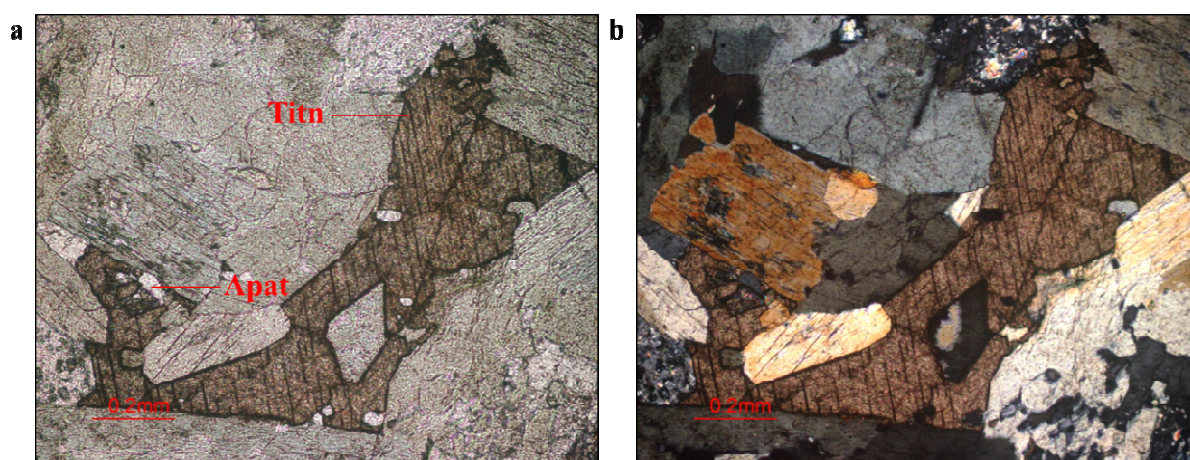


Figure 3 Accessory mineral compositions of study sample, apatite (Apat) and titanite (Titn). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

17. Sample number: CR 046 RK

Rock name: Granodiorite

Hand specimen: The rock sample has a medium gray color with a yellowish brown weathering surface. It has a medium grained texture with grain sizes average in the range of 2-4 mm across). Cutting surface was stain to distinguish feldspars (Fig. 1). It is made up mostly of plagioclase (45.25 modal %), quartz (30.00 modal %) and alkali feldspar (12.00 modal%) and mafic mineral (12.75 modal%). Xenoliths of fine-grained igneous rock (sizes up to 10 mm across are present in this rock. The rock sample does not react with cold diluted hydrochloric acid and is non magnetic.

Thin section: Essential minerals in this rock sample are made up largely of highly altered plagioclase with subordinated quartz and alkali feldspar. Accessory minerals are composed mainly of hornblende and a small amount of bitoite (Fig. 2). Very small amounts of titanite, apatite and zircon (Fig. 3) have been observed in this sample.

Plagioclase is euhedral to subhedral (sizes up to 3 mm across) and highly to completely replaced by sericite/clay minerals and epidotes. Most of plagioclase crystal shows relict of polysynthetic twin and some is broken. Hornblende inclusion is present in the plagioclase crystals.

Quartz is anhedral (sizes up to 3 mm across) and forms in space between other minerals. It has a consertal texture that is indicated a primary quartz. Quartz shows undulatory extinction. Plagioclase and hornblende inclusions are commonly present in the quartz crystals.

Alkali feldspar is anhedral (sizes up to 2.5 mm across). Most of alkali feldspar is perthite (orthoclase), whereas microcline can be slightly observed. Inclusion in alkali feldspar commonly comprise hornblende and plagioclase.

Hornblende is mostly euhedral (sizes up to 1.5 mm across) and has a pleochroic color as X = yellow, Y = brownish green and Z = green . Hornblende crystals contain apatite and plagioclase inclusions.

Biotite has an anhedral-irregular shapes (sizes up to 2.5 mm across) and shows a brown color. It is highly to completely replaced by chlorite and titanite/leucoxene. Biotite normally shows kink feature. Hornblende and apatite inclusions are present in the biotite crystal.

Titanite is anhedral and has an irregular outlines with sizes up to 0.3 mm across.

Apatite is euhedral with a long columnar shapes. It is fine-grained crystals (sizes up to 0.05 mm across).

Zircon has an euhedral outlines and is fine-grained crystals (sizes up to 0.1 mm across).

Remark: The rock sample is named as granodiorite after mineral composition classified under stained surface. It is consistent with the present of hornblende and bitoite. Order of crystallization is normal to Bowen's series. The rock has an experience of deformation that suggest by kink biotite, undulose quartz and broken plagioclase.

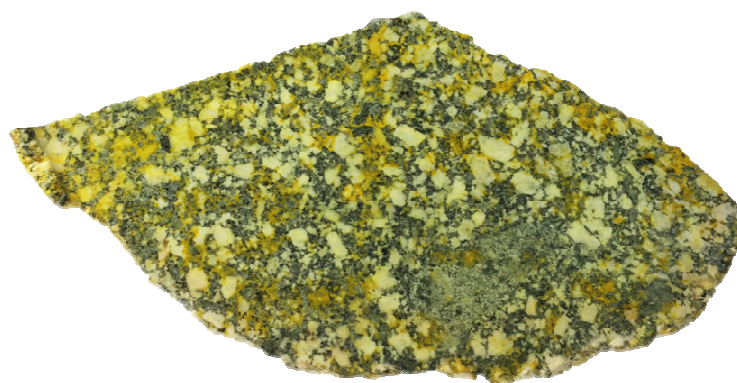


Figure 1 Stained hand specimen, dark yellow = alkali feldspar, pale yellow = plagioclase, color less = quartz, dark mineral = bitoite.

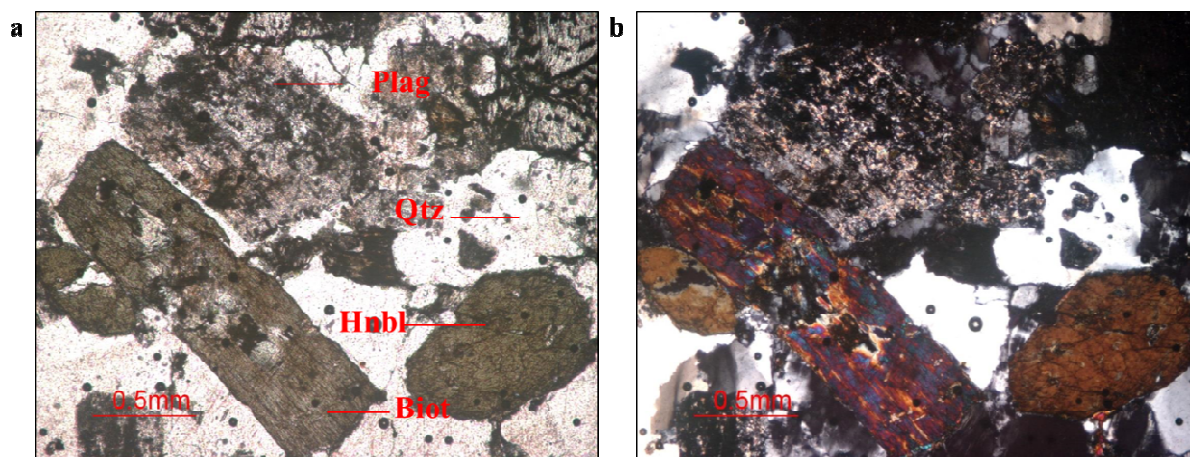


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), hornblende (Hnbl) and biotite (Biot). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

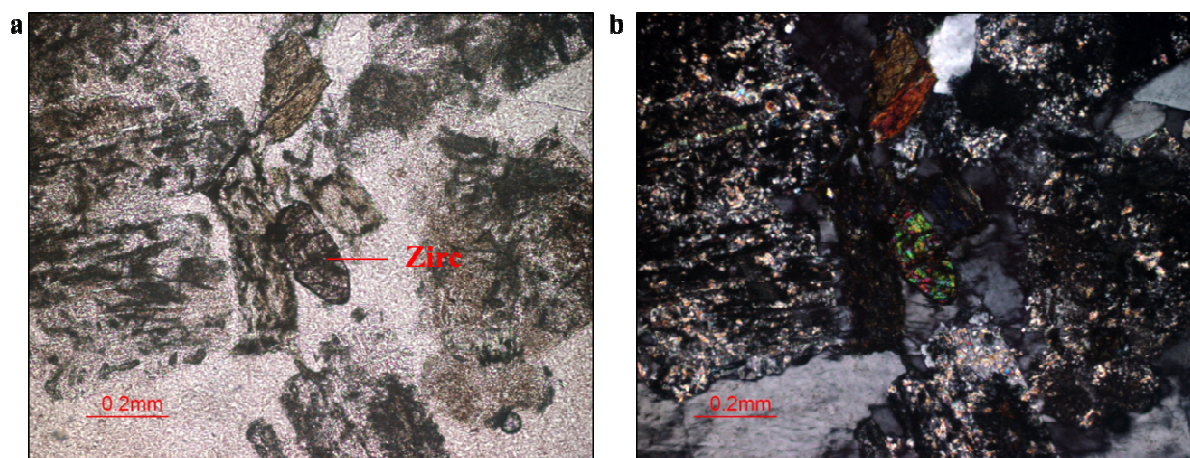


Figure 3 Accessory mineral composition of study sample, zircon (Zirc). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

18. Sample number: CR 047 RK (1)

Rock name: Quartz diorite

Hand specimen: The rock sample has a yellowish gray color with a yellowish brown weathering surface. It shows layered texture (quartz-rich layer and quartz-poor layers) and equigranular texture (medium-fine grain) with a parallel alignment of plagioclase laths. Cutting surface was stain to distinguish feldspars (Fig. 1). The sample is made up largely of plagioclase (48.50 modal %) and quartz (30 modal %) with subordinate mafic minerals (21.00 modal %). The rock sample does not react with cold diluted hydrochloric acid and is slightly magnetic.

Thin section: The rock sample is composed largely of plagioclase with minor amount of hornblende, clinopyroxene, opaque mineral and biotite and a small amount of quartz (Fig. 2). A very small amount of apatite can be observed (Fig. 3). It has a slightly porphyritic texture and contains plagioclase phenocrysts (sizes up to 2 mm across). Crystals in this rock are broken and fractures filled by fine-grained green biotite and a small amount of epidotes and sericite.

Plagioclase phenocrysts are euhedral and show zoning and sieve texture. Groundmass plagioclase is feldted and subhedral (grain sizes average 0.2-0.5 mm across). All plagioclase is slightly replaced by sericite and epidotes.

Hornblende is subhedral to anhedral (sizes up to 1 mm across) and has a pleochroic formula as X = pale yellow, Y = greenish brown and Z = green. It is partly replaced by pale green fine-grained amphibole (tremolite -actinolite series). Hornblende is intergranular with plagioclase laths. Plagioclase and clinopyroxene inclusion are slightly present in the hornblende crystals.

Clinopyroxene is subhedral and short prismatic (sizes up to 0.5 mm across) and colorless. It is commonly replaced by pale green fine-grain amphibole (tremolite -actinolite series).

Opaque mineral (magnetite ?) is anhedral and has an irregular equant outlines (sizes up to 0.3 mm across). It is slightly replaced by pyrite. Opaque mineral is intergranular to plagioclase laths and normally forms as inclusion in biotite.

Biotite is subhedral and has an irregular outlines (sizes up to 0.7 mm across). It has a pleochroic color in pale yellow to greenish brown. Biotite is highly replaced by chlorite and titanite. Kink feature is commonly present in biotite crystals. It contains hornblende, clinopyroxene, opaque mineral and apatite as inclusion.

Quartz is anhedral (sizes up to 2 mm across) and forms in space between other crystals. It is interstitial with plagioclase laths.

Apatite is euhedral with a long columnar shapes (sizes up to 0.18 mm across). It forms as inclusion in the other previous minerals.

Remark: The rock sample is made up mainly of plagioclase and mafic minerals (clinopyroxene, hornblende and biotite), so it is named as Quartz diorite to tonalite. Order of crystallization is normal to Bowen's series. The rock has an experience of deformation, evidence by broken and kink feature.



Figure 1 Stained hand specimen, dark yellow = alkali feldspar, pale yellow = plagioclase, color less = quartz, dark mineral = bitoite.

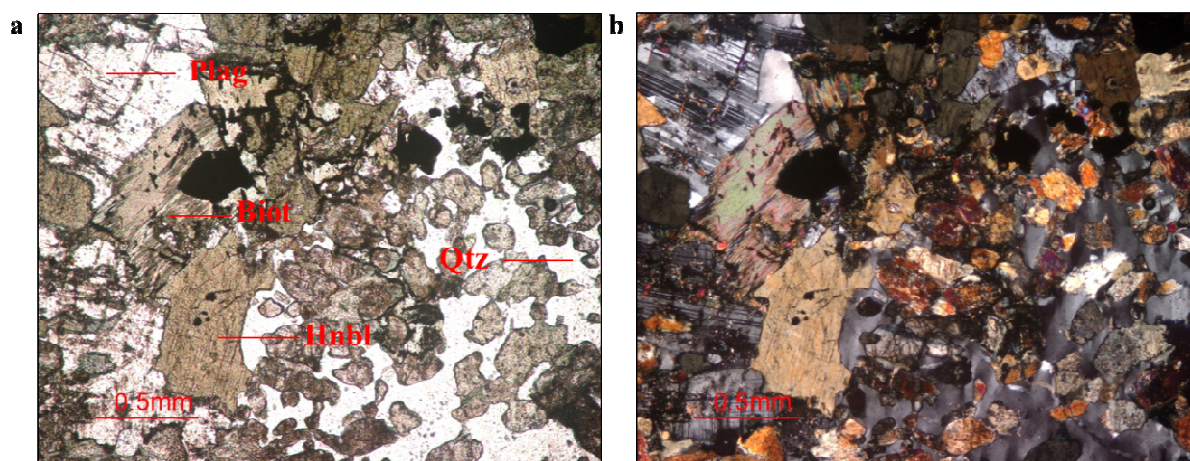


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), hornblende (Hnbl) and biotite (Biot). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

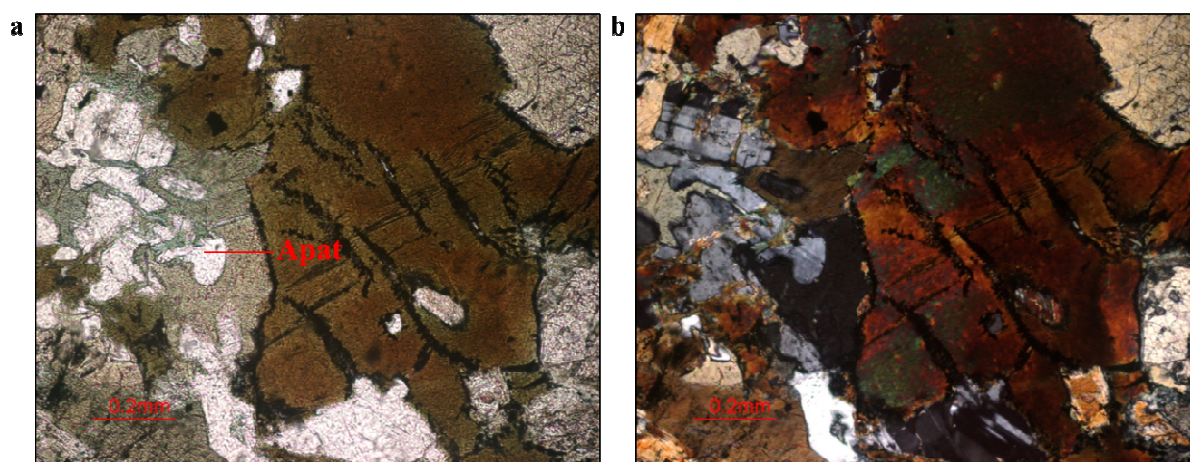


Figure 3 Accessory mineral composition of study sample, apatite (Apat). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

19. Sample number: CR 047 RK (2)

Rock name: Quartz Monzodiorite

Hand specimen: The rock sample has a medium-grained texture (grain sizes averages in the range of 3-4 mm across) and made up of felsic and mafic minerals. Cutting surface was stain to distinguish feldspars (Fig. 1). The sample is made up largely of plagioclase (61.50 modal %), alkali feldspar (11.50 modal %) and quartz (11.00 modal %) with mafic minerals (16.00 modal %). The rock sample does not react with cold diluted hydrochloric acid and is slightly magnetic.

Thin section: The principal constituents are made up largely of plagioclase with minor amounts of alkali feldspar and quartz (Fig. 2). Accessory minerals are composed mostly of biotite with very small amount of apatite, zircon/monazite and opaque mineral. Secondary minerals replacement, such as epidotes, biotite and fine-grained quartz have been detected in small amount.

Plagioclase is subhedral (sizes up to 2.5 mm across) and very slightly replaced by sericite. Microcline in plagioclase may forms as exsolution (Zoning and folding in plagioclase crystals are normally present. Plagioclase crystals are broken into piece and fractures filled by fine-grained quartz. Apatite, zircon/monazite and biotite inclusions are present in plagioclase.

Alkali feldspar is anhedral to subhedral with sizes up to 1.5 mm across. It shows a perthitic texture (orthoclase). Biotite inclusions can be observed in the alkali feldspar crystals.

Quartz is anhedral and has a various grain sizes from fine (0.01 mm across) to coarse (0.7 mm across). Quartz has a consertal texture (feature of primary quartz). Biotite and apatite inclusions are present in the quartz crystals.

Biotite is anhedral (sizes up to 1.5 mm across) with irregular outlines. It has a pleochroic color in pale yellow to greenish brown. Reaction rim made a green fine-grained biotite, opque mineral, titanite and quartz. Biotite crystals are broken and features filled with opaque minerals. Apatite and zircon/monazite inclusions are present in biotite crystals.

Apatite is euhedral and fine-grained with sizes up to 0.05 mm across. It normally forms as inclusion in biotite and quartz.

Zircon/monazite is euhedral to subhedral (sizes up to 0.05). It has a pleochroic halo around the crystals, especially in color minerals, such as biotite.

Opaque minerals (Fe-Ti oxides?) is anhedral (sizes up to 0.1 mm across).

Remark: The rock sample is classified as quartz monzodiorite after mineral composition and its texture. Order of crystallization is normal to Bowen's series. The rock has an experience of deformation, evidence by broken and kink feature.

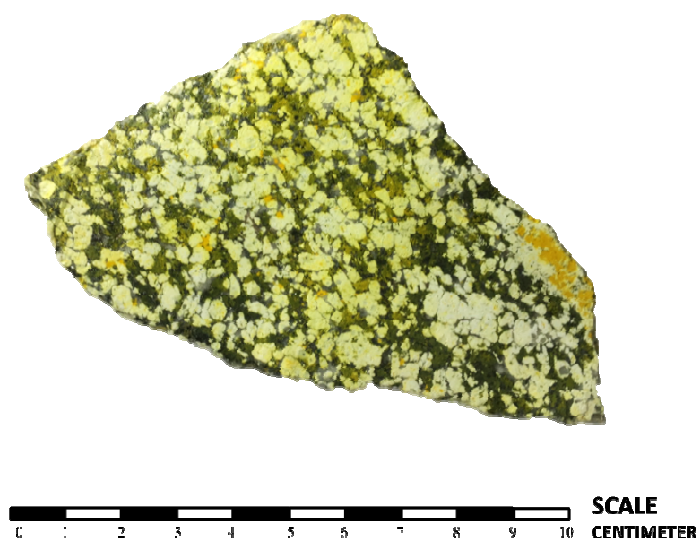


Figure 1 Stained hand specimen, dark yellow = alkali feldspar, pale yellow = plagioclase, color less = quartz, dark mineral = bitoite.

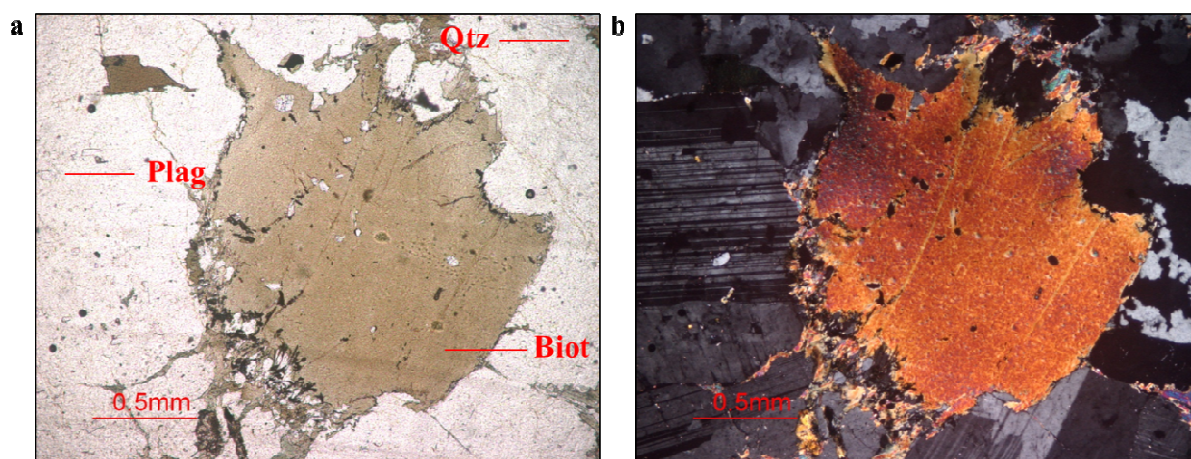


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), and biotite (Biot). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

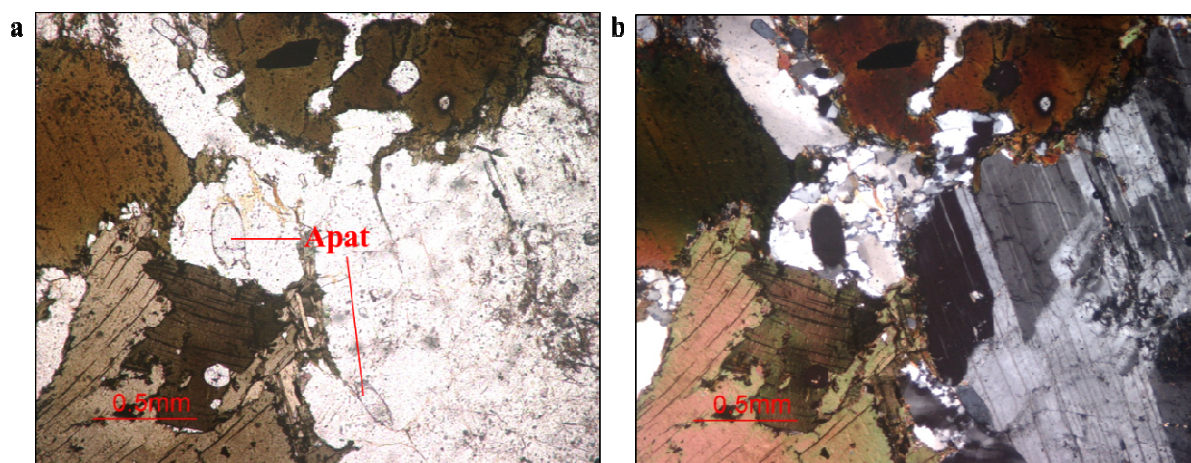


Figure 3 Accessory mineral composition of study sample, apatite (Apat). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

20. Sample number: CR 047 R (3)

Rock name: Brecciated syenogranite

Hand specimen: The rock sample has a white in color and made up mostly of felsic minerals with a small amount of mafic minerals. It has a medium-grained texture (grain sizes average in the range of 1-2 mm across). Cutting surface was stain to distinguish feldspars (Fig. 1). It made up of alkali feldspar (50.75 modal %), plagioclase (24.25 modal %), quartz (21.25 modal %), and mafic minerals (3.75 modal %). The rock sample does not react with cold diluted hydrochloric acid and is non magnetic.

Thin section: The rock sample is made up of mineral breccias that is cemented by fine-grained quartz and other minerals. The mineral breccias are composed mostly of alkali feldspar with subordinate plagioclase and quartz with a small amount of biotite (Fig. 2). Cement materials consist mainly of quartz and small amount of fine-grained green biotite, muscovite and epidote (Fig. 3).

Alkali feldspar breccias are angular with sizes up to 3 mm across. They are composed of perthite and microcline in equal amount. Biotite inclusions have been detected in alkali feldspar crystals.

Quartz is angular fragments (sizes up to and most of them is re-crystallization to fine-grained quartz, which is cements.

Plagioclase is angular fragments (sizes up to 2.5 mm across) and highly replaced by sericite and epidotes.

Biotite fragments has a fish shapes and some of them breakdown to fine-grained biotite. Biotite has a pleochroic color in pale yellowish brown to brown. Inclusions of zircon/monazite and apatite have been observed in the biotite crystals.

Remark: The rock has a mineral composition classified into syenogranite. However, it is fragmental and cements mostly by fine-grained quartz, so the suffix brecciated is applied for the sample.



Figure 1 Stained hand specimen, dark yellow = alkali feldspar, pale yellow = plagioclase, color less = quartz, dark mineral = bitoite.

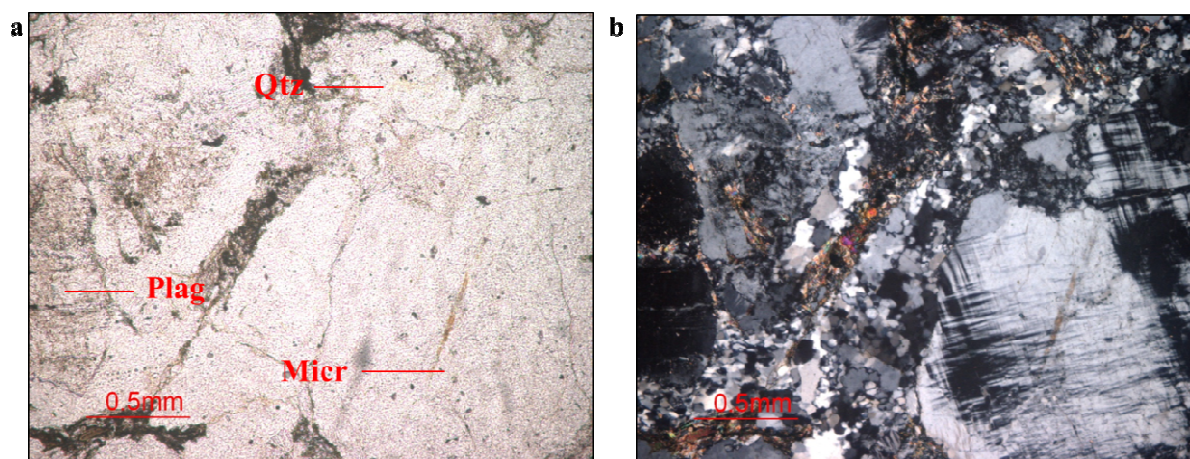


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), and microcline (Mier). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

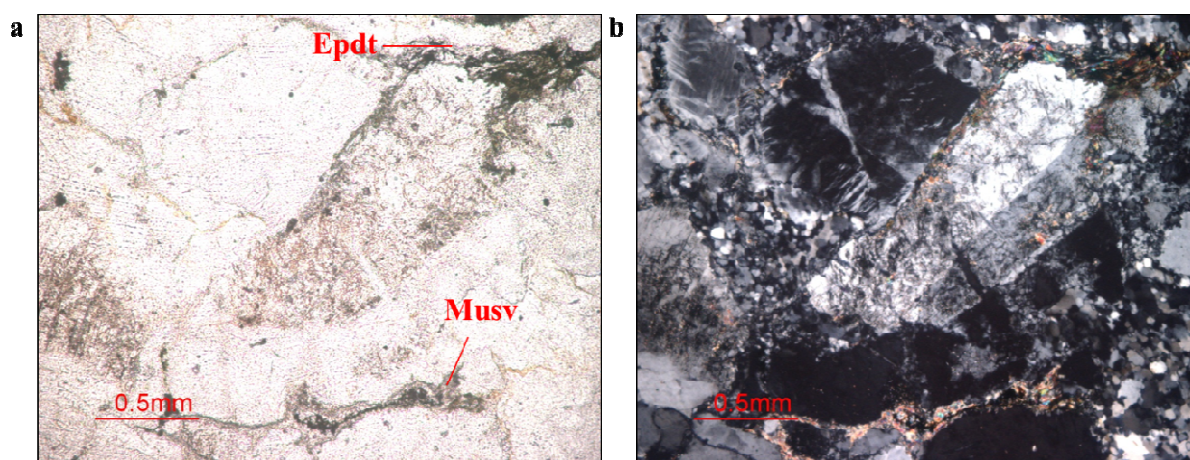


Figure 3 Accessory mineral composition of study sample, muscovite (Musv) and epidote (Epdt). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

21. Sample number: CR048RK

Rock name: Quartz monzodiorite

Hand specimen: The rock sample has a very light gray in color and made up mostly of felsic minerals with a small amount of mafic minerals. It has a fine-grained texture (grain sizes average in the range of 0.5-1 mm across). Cutting surface was stain to distinguish feldspars (Fig. 1). It made up of alkali feldspar (23.50 modal %), plagioclase (50.00 modal %), quartz (18.25 modal %), and mafic minerals (8.25 modal %). The rock sample does not react with cold diluted hydrochloric acid and has a slightly magnetic character.

Thin section: The rock is made up principally of plagioclase with subordinate alkali feldspar and small amounts of orthopyroxene, clinopyroxene, biotite, quartz and opaque mineral (Fig. 2). A trace amount of apatite is present in the sample.

Plagioclase is subhedral (sizes up to 1.5 mm across) and has a long prismatic shapes. It is felted and slightly to highly replaced by sericite and clay minerals. Some of them contains pyroxene inclusion. Zoning and myrmekitic texture is commonly present in the plagioclase at rim.

Alkali feldspar is anhedral (sizes up to 1 mm across) and has a perthitic texture (orthoclase). It forms in space between other minerals and some shows micrographic/ granophyric texture with quartz.

Orthopyroxene is subdederal (sizes up to 0.8 mm across) and has a pale pink color. It is moderately replaced by fine-grained greenish brown biotite and green amphibole.

Clinopyroxene is subhedra (sizes up to 0.5 mm across) and has a pale green color. It commonly has a twin and some shows hering-bone feature (pigeonite) (Fig. 3).

Biotite is anhedral with irregular outlines, skeletal (sizes up to 0.5 mm across) and has a pleochroic color in yellow to brown. Inclusions of plagioclase and opaque mineral are commonly present in biotite crystals.

Quartz is anhedral (sizes up to 0.5 mm across) and form together with alkali feldspars as graphic/micrographic texture.

Opaque mineral (magnetite) is anhedral and has an equant outlines (sizes up to 0.4 mm across). It commonly forms together with skeletal biotite.

Remark: The rock is made up largely of mafic minerals, but feldspar and quartz still dominate. So, this rock named as quartz monzodiorite, following mineral composition and the present of biotite. Order of crystallization is normal to Bowen's series. Graphic and granophyric texture in this rock indicated eutectic crystallization.



Figure 1 Stained hand specimen, dark yellow = alkali feldspar, pale yellow = plagioclase, color less = quartz, dark mineral = bitoite.

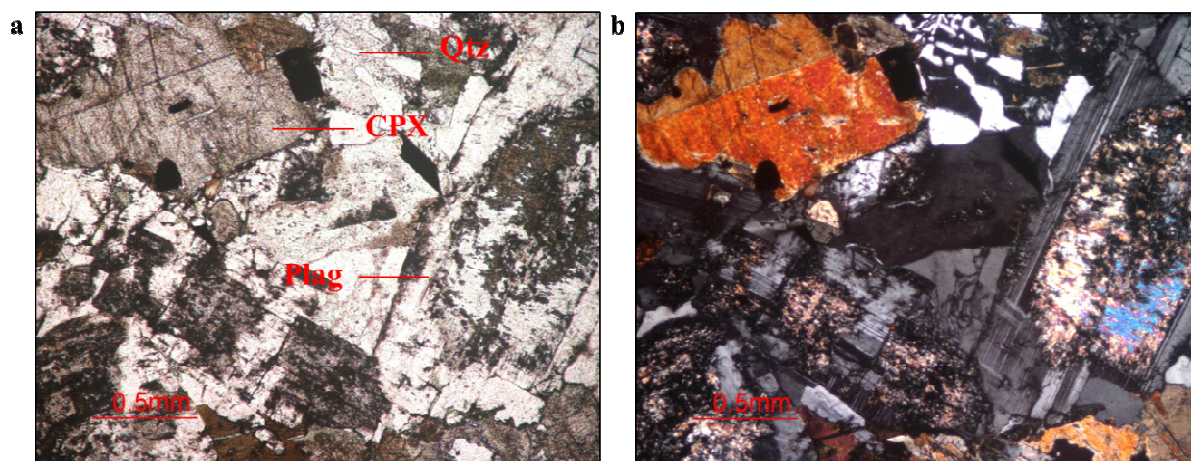


Figure 2 Mineral composition of study sample, quartz (Qtz), plagioclase (Plag), and clinopyroxene (CPX). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

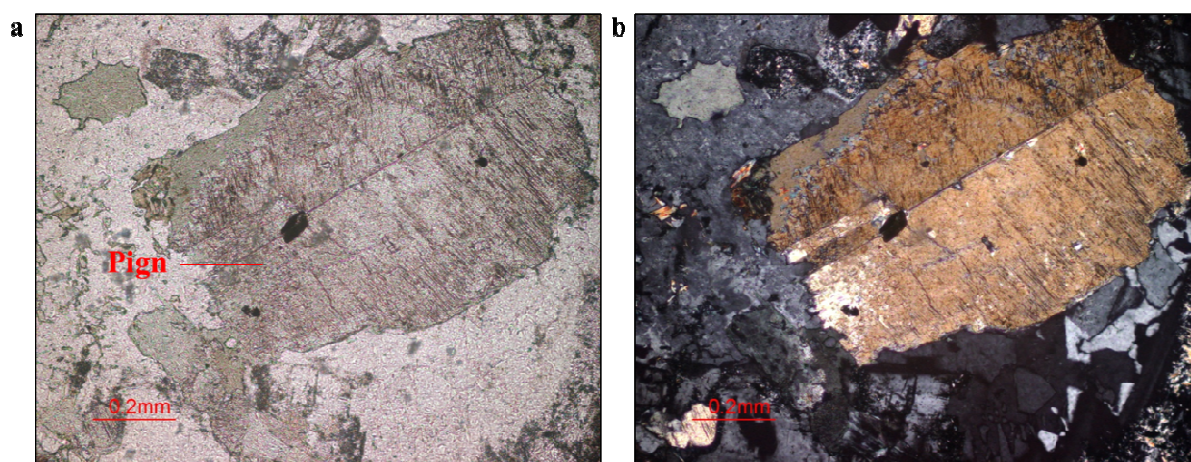


Figure 3 Clinopyroxene shows hering-bone feature pigeonite (Pign). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

22. Sample number: CR 054 RK

Rock name: Basalt

Hand specimen: The dark greenish gray rock sample has yellowish brown surface. It has a porphyritic texture with colorless and dark color phenocrysts. The groundmass phase is very fine-grained (Fig. 1). It has a magnetic character and does not react with cold diluted hydrochloric acid.

Thin section: This volcanic rock sample has a seriated texture. The phenocrysts/microphenocrysts are made up of plagioclase (15.00 modal %) and olivine (5.00 modal %) (Fig. 2). Cumulocrysts of plagioclase-olivine can be observed. They are embedded in a very fine-grained groundmass, which is made up largely of mildly trachytic plagioclase laths (45.00 modal %), with subordinate clinopyroxene (22.00 modal %) and opaque mineral (10.00 modal %) and small amount of olivine (3.00 modal %) (Fig. 3).

Plagioclase phenocrysts/microphenocrysts are anhedral to anhedral with irregular outlines (sizes up to 6.00 mm across) and show reaction rim. Groundmass plagioclase is subhedral with grain sizes average less than 0.05 mm across and trachytic. Zoning is commonly present in phenocrysts/microphenocrysts.

Olivine phenocrysts/microphenocrysts are euhedral (sizes up to 0.85 mm across), whereas groundmass olivine is subhedral and idiomorphic to plagioclase laths. All olivine is slightly replaced by serpentine/chlorite along fractures.

Clinopyroxene groundmass is subhedral (grain sizes average less than 0.05 mm across) and very pale yellow. It is idiomorphic and intergranular to plagioclase laths.

Opaque mineral (magnetite ?) is subhedral (grain sizes average less than 0.05 mm across). It occurs as idiomorphic- and intergranular- relation to plagioclase laths.

Remark: The rock sample is classified as basalt following the mineral composition and textures. Anhedral and zoning in plagioclase may be suggested that they are megacrysts/micromegacrysts. Minerals of no alteration is indicated that this basaltic rock sample is young (post Cretaceous).

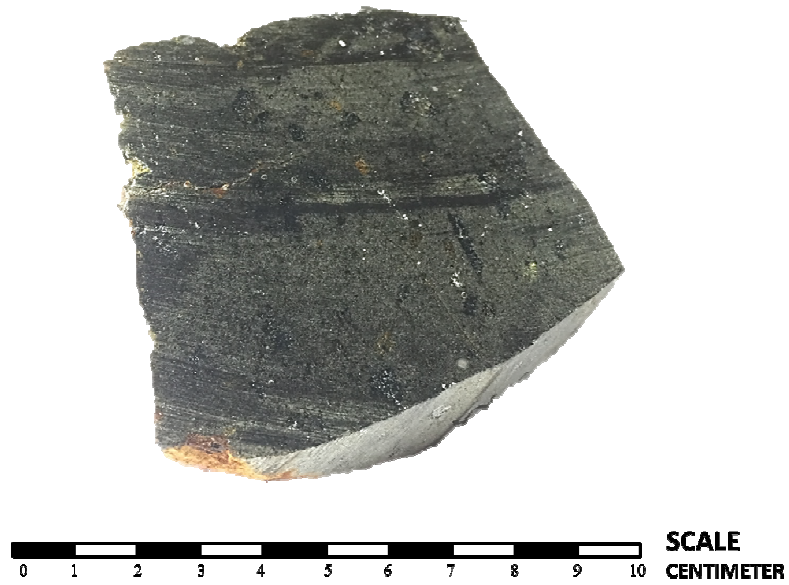


Figure 1 The dark greenish gray rock sample has yellowish brown surface.

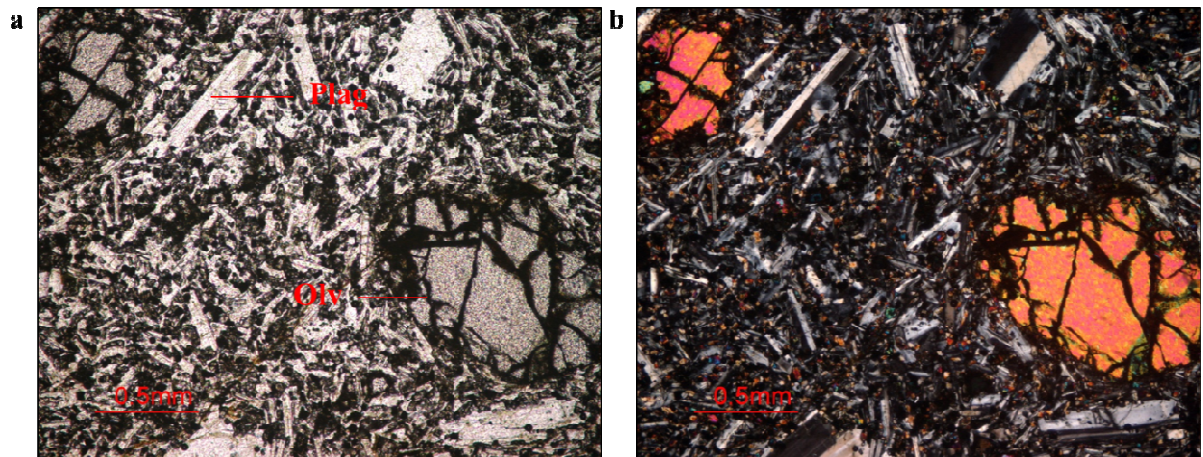


Figure 2 The phenocrysts/ microphenocrysts are made up of plagioclase (Plag) and olivine (Olv). (a) Ordinary light and (b) cross polars.

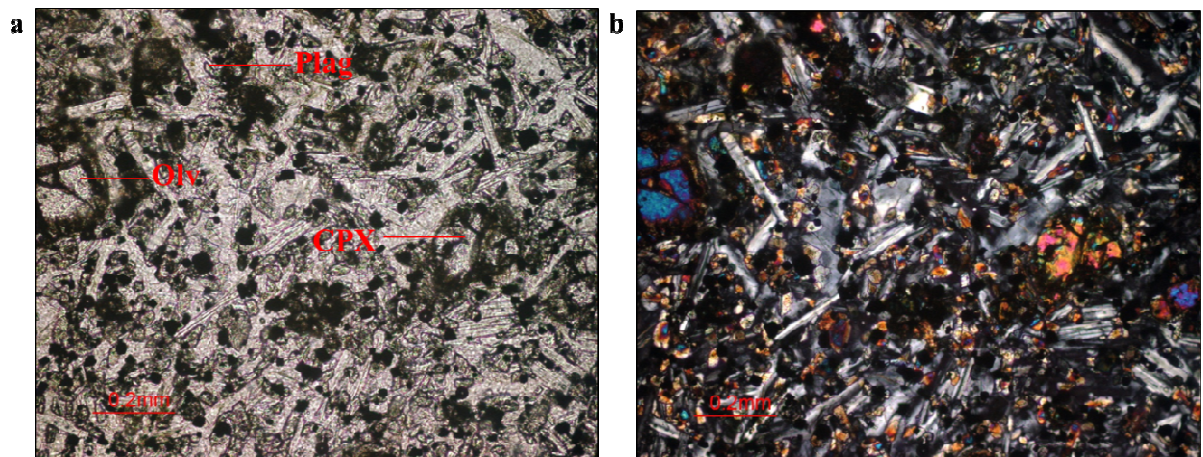


Figure 3 Basalt shows mildly trachytic plagioclase laths, plagioclase (Plag), clinopyroxene (CPX) and olivine (Olv). (a) Ordinary light and (b) cross polars

