

การศึกษาลักษณะเฉพาะของแหล่งแร่เหล็กสการ์นเขาเหล็ก

อำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์

นางสาวชนพรรณ จงใจงาม

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

CHARACTERISTICS OF KHAO LEK IRON SKARN DEPOSIT,
AMPHOE NONG BAO, CHANGWAT NAKHON SAWAN.

Miss Thanaphan Jongjaingarm

A Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Bachelor of Science Program in Geology

Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Academic Year 2016

หัวข้อโครงการ

การศึกษาลักษณะเฉพาะของแหล่งแร่เหล็กสการ์น
เขาเหล็ก อำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์

โดย

นางสาวชนพรรณ จงใจงาม

สาขาวิชา

ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

อ.ดร. อภิสิตี ซาลำ

วันที่ส่ง.....

วันที่อนุมัติ.....

.....
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

(อ.ดร. อภิสิตี ซาลำ)

ชนพรรณ จงใจงาม : การศึกษาลักษณะเฉพาะของแหล่งแร่เหล็กสการ์นเขาเหล็ก อำเภอหนองบัว
จังหวัดนครสวรรค์. (CHARACTERISTICS OF KHAO LEK IRON SKARN DEPOSIT,
AMPHOE NONG BAO, CHANGWAT NAKHON SAWAN) อ.ที่ปรึกษาโครงการ: อ.ดร.
อภิสิทธิ์ ซาลำ, 36 หน้า

แหล่งแร่เหล็กและแหล่งแร่สการ์นพบในพื้นที่เขาเหล็ก อ.หนองบัว จ.นครสวรรค์ เขาเหล็กตั้งอยู่ใน
บริเวณแนวคดโค้งเลยเพชรบูรณ์ซึ่งเคยมีการทำเหมืองแร่เหล็กจากแหล่งแร่สการ์น และแหล่งแร่ที่เกิดกับ
น้ำแร่ร้อนอุณหภูมิต่ำ

บริเวณพื้นที่เขาเหล็ก พบหินท้องที่ 2 ชนิด คือ หินภูเขาไฟ ได้แก่ หินแอนดิซิดิกขนาดเนื้อทราย
และเหลี่ยม และ หินปูน ซึ่งถูกแปรสภาพจากการแทรกดันของหินอัคนีบาดาล(ไดโอรไรต์)เกิดเป็นแหล่งแร่
สการ์นที่ให้สินแร่เหล็ก(เหล็กสการ์น) โดยพบการเกิดสการ์น 2 ชนิดด้วยกันคือ เอนโดสการ์นและเอกโซ
สการ์น แต่ในบริเวณพื้นที่เหมืองสามารถพบเห็นการแปรเปลี่ยนแบบเอกโซสการ์นได้เพียงอย่างเดียว
เนื่องจากส่วนของเอนโดสการ์นถูกแทนที่ด้วยแร่แมกนีไทต์ไปหมดแล้ว การแปรเปลี่ยนแบบเอกโซสการ์น
ยังสามารถจำแนกย่อยออกได้อีก 2 ประเภท คือ โพรเกรดสการ์นและ รีโทรเกรดสการ์น โดยโพรเกรด
สการ์น พบโซนแร่ที่ทั้งหมด 3 โซนด้วยกันคือ 1.โซนการ์เนต ขนาดเม็ดแร่ของการ์เนต มีขนาด 1 มิลลิเมตร
จนถึง 2 เซนติเมตร กระจายตัวแบบไม่สม่ำเสมอ สามารถเห็นรูปผลึกอย่างชัดเจน พบการ์เนตทั้งสี แดง
น้ำตาล และสีเขียว 2.โซนไพรอกซีน พบทางด้านทิศใต้ อยู่ถัดจากโซนการ์เนต มาทางด้านทิศตะวันออก
มีขนาดกว้างประมาณ 3 เมตร และ 3.โซนหินอ่อน ตั้งอยู่ทางตะวันตกเฉียง-เหนือของเหมือง ประเภทที่สอง
ของการแปรเปลี่ยนแบบเอกโซสการ์นคือรีโทรเกรดสการ์น พบเป็นสายแร่ คลอไรต์-เอปีโดท และสายแร่
แคลไซต์ ให้แร่ เอปีโดท และ คลอไรต์ ซึ่งเป็นแร่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาสินแร่เหล็กพบว่าแร่
ส่วนใหญ่เป็นแร่แมกนีไทต์และพบแร่ไพไรต์,ซาลโคไพไรต์ และ สฟาเลอไรต์ โดยสามารถลำดับการเกิด
ของแร่ในตัวสินแร่เหล็กได้ 2 ลำดับ โดย ลำดับที่ 1 คือ แมกนีไทต์ เป็นลำดับแรกที่เกิดก่อน และ ลำดับที่ 2
คือ ไพไรต์,ซาลโคไพไรต์ และ สฟาเลอไรต์ พบเป็นลักษณะสายแร่ที่ตัดเข้ามาในแร่แมกนีไทต์อีกที

ภาควิชา	ธรณีวิทยา	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา	ธรณีวิทยา	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา	2559	

5632713023 : MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS: KHAO LEKL, IRON, ANDESITIC

CHARACTERISTICS OF KHAO LEK IRON SKARN DEPOSIT, AMPHOE NONG BAO,
CHANGWAT NAKHON SAWAN. ADVISOR : ABHISIT SALAM Ph.D., 36 pp.

Iron ore deposit and skarn alteration was found at Khoa Lek, Amphoe Nong Bao, Changwat Nakhon Sawan. Khao Lek is located in Loei-Petchabun Fold Belt where iron mining was operated from skarn deposited and epithermal deposited. Host rock in this area is volcanoclastics (andesitic sandstone and andesitic breccias) and limestone which are metamorphosed by diorite intrusion. This deposit is iron skarn deposit that comprises of endoskarn and exoskarn. Endoskarn is formed in diorite intrusion but it cannot observe in the field because diorite intrusion is completely replaced by magnetite. Exoskarn, prograde skarn, comprises of garnet zone, pyroxene zone, and marble zone. Garnet zone has a red garnet, brownish red garnet, and green garnet which size 1 millimeter to 2 centimeters. Pyroxene zone is located in the south of this area covering approximately 3 meters thick and almost pyroxene in this zone is clinopyroxene. Marble zone is located in northwest of this area and is comprised of calcite. Retrograde skarn, chlorite-epidote vein and calcite vein cross cutting in volcanoclastic rocks, causes low temperature mineral deposit (retrograde mineral) such as epidote, chlorite, calcite, and quartz. From studying iron ore body with reflected light microscopy and electron probe micro-analyzer (EPMA), the ore body comprised of major magnetite and minor pyrite, chalcopyrite, and sphalerite. Paragenesis in iron ore has two stage. The first stage is magnetite which is main mineral. The second stage is pyrite, chalcopyrite and sphalerite veins cross cutting in magnetite.

Department : Geology Student's Signature.....

Field of Study : Geology Advisor's Signature.....

Academic Year : 2016

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อ.ดร.อภิสิทธิ์ ซาล่า อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ช่วยอำนวยความสะดวกในการเข้าพื้นที่ศึกษา คอยให้คำชี้แนะและอบรมสั่งสอนอย่างละเอียด สนับสนุนการเข้าใจเครื่องมือ ไม่ว่าจะว่าจะเป็นห้องจัดเงา และต่อกล้องแบบสะท้อนแสง รวมทั้งสอนวิธีการใช้เครื่องมือต่างๆ นอกจากนี้ยังคอยดูแลแนะนำในเรื่องอื่นๆที่นอกเหนือจากการเรียนอีกด้วย ขอขอบคุณ นายปิ่นณรุจน์ เอกภัทรไพบูลย์ และนางสาว เมษา วิทยานนทเวช ที่ช่วยลงพื้นที่เก็บข้อมูลและศึกษาข้อมูล ทั้งการถ่ายรูป เดินภาคสนาม ตลอดทั้ง 6 วัน

ในส่วน of เครื่องมือการวิเคราะห์และตรวจสอบผล ขอขอบคุณ คุณจิระประภา เจ้าหน้าที่บริการวิทยาศาสตร์ที่ช่วยวิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง XRD คุณ โสภิต เจ้าหน้าที่บริการวิทยาศาสตร์ ที่ช่วยสอนวิธีเตรียมตัวอย่าง และวิเคราะห์แผ่นหินขัดมันด้วยเครื่อง EPMA คุณสุริยะและคุณประจักษ์ที่ช่วยสอนวิธีการเตรียมแผ่นหินบางและแผ่นหินสำหรับขัดมัน

และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณแม่ คุณตา คุณยาย และเพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือ และสนับสนุนในการทำโครงการวิจัยมาโดยตลอด ทั้งให้กำลังใจ และช่วยตรวจสอบดูแลงานให้ ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ และภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ประสบการณ์ และโอกาสในการทำโครงการเล่มนี้

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
บทที่ 1 : ความสำคัญของโครงการ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 การเข้าถึงพื้นที่ศึกษา	2
1.3 ลักษณะภูมิประเทศ	3
1.4 เอกสารงานวิจัย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4-5
1.5 วัตถุประสงค์ของโครงการ	5
1.6 ขอบเขตการวิจัย	6
1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.8 ขั้นตอนการวิจัย	6-7
1.9 แผนการดำเนินงาน	7

หัวข้อ	หน้า
บทที่ 2 : ธรณีวิทยาทั่วไป	8
2.1 คำนำ	8
2.2 ธรณีบริเวณกว้าง (Regional Geology)	9
2.3 แหล่งแร่ที่สัมพันธ์กับแนวคดโค้งเลย (Loei-Petchabun Fold Belt)	9-12
บทที่ 3 : ธรณีวิทยาของแหล่งแร่	13
3.1 คำนำ	13
3.2 หินท้องถิ่น (Country rock)	13-15
3.3 สการ์น โชน(Prograde skarn)	16-20
บทที่ 4 : ลักษณะเฉพาะของแหล่งแร่เหล็กและการแปรเปลี่ยนของแร่	21
4.1 คำนำ	21
4.2 การเกิดแร่เหล็ก (Mineralization)	22
4.3 ลำดับการเกิดแร่ (Paragenesis)	23-25
4.4 รีโทรเกรดสการ์น (retrograde skarn)	26-27
บทที่ 5 : อภิปรายผลและสรุปผลการศึกษา	28
5.1 อภิปรายผลการศึกษา	28-29
5.2 สรุปผลการศึกษา	29-30
เอกสารอ้างอิง	31-32
ภาคผนวก	33-36

สารบัญรูปลูกภาพ

รูป		หน้า
รูปที่ 1.1	แสดงตำแหน่งเขาเหล็ก อำเภอนองบัว จังหวัดนครสวรรค์	2
รูปที่ 1.2	เหมืองเขาเหล็ก A. เหมืองเปิด (open pit) แสดงหินภูเขาไฟปิดทับหินปูน B แสดงบริเวณพื้นที่และระดับความสูงของเขาเหล็ก, C. ภาพมุมกว้างแสดงบริเวณพื้นที่เหมือง	3
รูปที่ 2.1	ภาพแสดงแนวการแปรธรณีสัณฐานในไทย และแนวรอยคดโค้งเลย (Loei - Petchabun fold belt) ซึ่งเป็นแนวที่สัมพันธ์กับพื้นที่ศึกษา (Barr, 2000; Sone and Metcalfe, 2008).	8
รูปที่ 2.2	ภาพแสดงแผนที่ธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่เขาเหล็กและเขาแม่แก้วแสดงการกระจายตัวของหินภูเขาไฟและหินอัคนีบาดาล (Mami; draft master thesis, 2017)	10
รูปที่ 2.3	แสดงแหล่งแร่หลักพบแบบแหล่งแร่สการ์น และแหล่งแร่แบบ epithermal ในแนวคดโค้งเลย(Loei-Petchabun Fold Belt)	12
รูปที่ 3.1	แสดงให้เห็นขอบเขตของหินท้องที่ภายในบริเวณเหมืองเขาเหล็ก	13
รูปที่ 3.2	แสดงให้เห็นหิน โผล่ที่เป็นหินปูนและ บริเวณหิน โผล่ที่เป็นหินอ่อน(A)	14
รูปที่ 3.3	แสดงขอบเขตของ หินท้องที่ที่เป็นหินภูเขาไฟ (A), แสดงลักษณะของแร่ภายในหินภูเขาไฟ (B)(C)	15
รูปที่ 3.4	แสดงให้เห็นขอบเขตของ โซนแร่สการ์นที่ประกอบไปด้วย โซนไพรอกซีน (Pyroxene zone), โซนการ์เนต (Garnet zone) และ โซนหินอ่อน (Marble zone)	16
รูปที่ 3.5	แสดงให้เห็นหิน โผล่ของหินปูน, บริเวณหิน โผล่หินอ่อน และแสดงให้เห็น ส่วนบริเวณ โซนการ์เนต ภาพแสดงลักษณะ(A), แสดงลักษณะ sugary texture ของหินอ่อน (B), แสดงให้เห็นหินอ่อน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์จะพบว่าเป็น แร่คาร์บอเนต มี cleavage เป็นรูป Rhombohedral (C)	17

รูป		หน้า
รูปที่ 3.6	รูปที่ 3.6 โชนการ์เนต A. แสดงให้เห็นหินโผล่ของหินภูเขาไฟ และบริเวณ โชนการ์เนต B. และแสดงให้เห็นส่วนบริเวณตัวอย่างหินที่แสดงรอยแต้ระหว่าง โชนการ์เนต และ โชนหินอ่อน C. แสดงขนาดของเม็ดการ์เนตที่พบในส่วนของ โชนหินอ่อน	18
รูปที่ 3.6	(ต่อ) โชนการ์เนต D. แสดงให้เห็นหินโผล่ของหินภูเขาไฟ ภาพแสดงการ์เนตภายใต้กล้องจะเห็นว่ารูปผลึกเป็นรูปผลึกหกเหลี่ยมอย่างเห็นได้ชัดเจนซึ่งเป็นลักษณะเด่นของของการ์เนต E. แสดงลักษณะ โชนของการ์เนตภายใต้กล้องจุลทรรศน์)	19
รูปที่ 3.7	แสดงขอบเขตของ โชนไพพรอกซีน ที่อยู่ในตัวหินท้องที่เป็นหินภูเขาไฟ (A), แร่ โชนไพพรอกซีน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน(B),(C)	20
รูปที่ 4.1	แสดงให้เห็นแนวการวางตัวและขอบเขตของสินแร่เหล็กซึ่งตั้งอยู่ตรงส่วนกลางของเหมืองเขาเหล็ก	21
รูปที่ 4.2	แสดงให้เห็นแมกนีไทด์ที่พื้น มีทิศการวางตัวในแนว ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (A), กระจาปะแร่ชาลโคไฟไรต์ในแร่แมกนีไทด์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์(B),ตัวอย่างของแร่แมกนีไทด์เนื้อแน่น (C)	22
รูปที่ 4.3	แสดงลักษณะของแร่แมกนีไทด์ที่มีสีขาวเทาอันเนื่องมาจากมีคุณสมบัติสะท้อนแสงได้ดี (A) และแสดงลักษณะของชาลโคไฟไรต์ สฟาเลอไรท์ และ ควอซต์ที่เกิดอยู่ในแมกนีไทด์ (B)	24
รูปที่ 4.4	แสดงลักษณะแร่แมกนีไทด์ที่มีขนาดเนื้อแน่น (A), แสดงลักษณะแมกนีไทด์ที่ชาลโคไฟไรต์เกิดแทรกในพื้นที่ย่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง (B)	24
รูปที่ 4.5	แสดงสายแร่ไฟไรต์-ชาลโคไฟไรต์ ในตัวอย่างหินตัดเรียบ	25
รูปที่ 4.6	แสดงลักษณะของแร่ไฟไรต์ที่มีสีขาวเทา A), ชาลโคไฟไรต์ที่เกิดอยู่ในแมกนีไทด์ และมีแร่สฟาเลอไรต์เกิดร่วมกับชาลโคไฟไรต์ด้วย (B)	25
รูปที่ 4.7	retrograde skarn พบในหินภูเขาไฟมีลักษณะเป็นสายแร่คลอไรท์-เอปีโดท และสายแร่แคลไซต์ (calcite vein)	26
รูปที่ 4.8	แสดงแร่เอปีโดทภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่านโดยไม่ใส่ cros section(A),และใส่ cross section(B)	27

รูป		หน้า
รูปที่ 4.9	แสดงแร่คอลลอยต์ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่านโดยไมไล่ ซึ่งแร่คอลลอยต์ เข้าไปแทนที่ในแร่ไพรอกซีน (A),(B)	27
รูปที่ 6.1	แสดงการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี XRD พบแร่ควอตซ์มากที่สุด รองลงมาคือแร่แคลไซต์ (albite)	35
รูปที่ 6.2	แสดงการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี XRD พบแร่แคลไซต์ (albite) มากที่สุด รองลงมาพบแร่ทริโมไลท์ อนอร์ไทต์ และ คอลลอยต์ ตามลำดับ	35
รูปที่ 6.3	แสดงการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี XRD พบแร่แคลไซต์มากที่สุด รองลงมาพบแร่เอปีโดท และแร่ควอตซ์ ตามลำดับ	36
รูปที่ 6.3	แสดงการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี XRD พบแร่แมกนีไทต์มากที่สุด รองลงมาพบแร่การ์เนต ตามลำดับ	36

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1.1	แสดงช่วงระยะเวลาการทำงานตั้งแต่เดือน กันยายน 2559 – พฤษภาคม 2560	7
ตาราง 4.1	แสดงลำดับการเกิดของแร่ในสายแร่เหล็กและรีโทรเกรดสการ์น	23
ตารางที่ 6.1	แสดงตัวอย่างการตรวจสอบแร่ด้วยเครื่องมือ Electron probe micro-analyzer	34

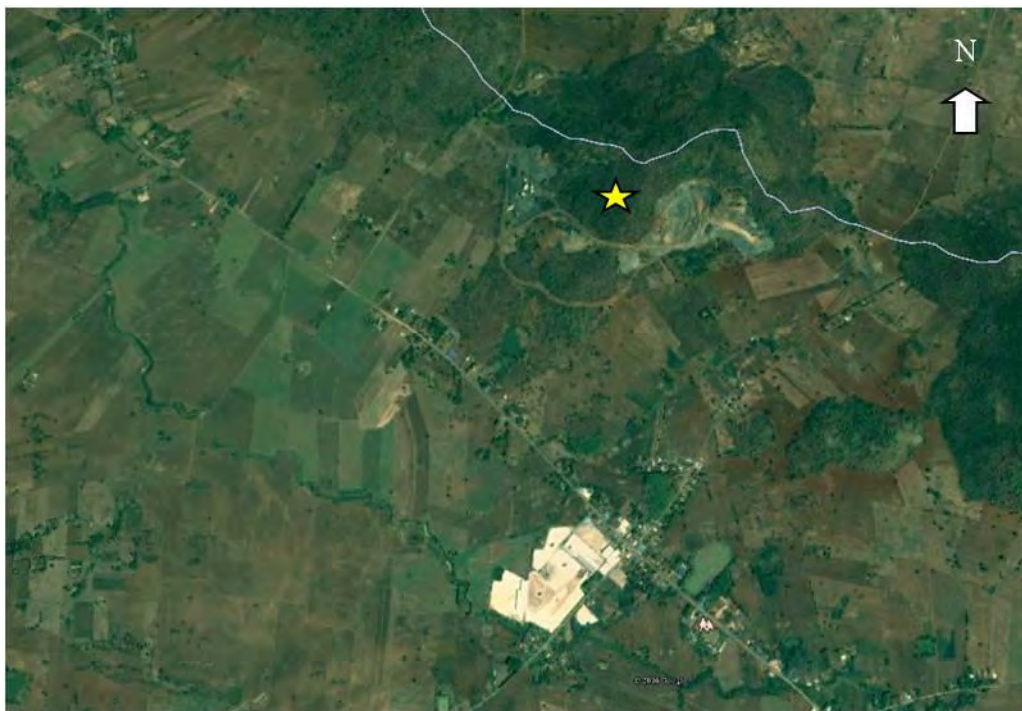
บทที่ 1 ความสำคัญของโครงการ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เหล็ก คือ โลหะสีเงินเทา เป็นเงา นำไฟฟ้าได้ดี มีความเหนียว และทนทาน มีความต้านทานแรงดึงสูง ด้วยคุณสมบัติต่างๆเหล่านี้ทำให้เหล็กเป็น โลหะชนิดแรกๆที่มนุษย์มีการนำมาใช้ประโยชน์ ตั้งแต่ยุคโลหะ(1206-1150 ปีก่อนคริสตกาล) โดยนำไปใช้ผลิตอาวุธหรือเครื่องใช้ในครัวเรือน แต่ในปัจจุบัน เหล็กมีการนำมาใช้กว้างขวางขึ้น ไม่ว่าจะเป็นงานก่อสร้างขนาดใหญ่ เช่น การก่อสร้างถนน อาคารพาณิชย์ หรือ สนามบิน และถือได้ว่าเหล็กเป็น โลหะพื้นฐานที่ทุกอุตสาหกรรมต้องการใช้ จึงเกิดการสำรวจและทำเหมืองเหล็กมากมาย ยกตัวอย่างแหล่งแร่ที่ให้เหล็ก คือ แหล่งแร่เหล็กแบบสายน้ำแร่ร้อน (hydrothermal deposit), แหล่งแร่เหล็กแบบการแทนที่ในหินเย้า (replacement deposit), แหล่งแร่เหล็กแบบเป็นแถบชั้น (Banded Iron Formation) โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งแร่ที่เราสนใจคือ แหล่งแร่เหล็กแบบสการ์น (skarn deposit) (DMR, 2554)

ลักษณะของแหล่งแร่สการ์น คือ แหล่งแร่เกิดขึ้นเนื่องจากหินอัคนีหนืดร้อนแทรกดันขึ้นมาในหินท้องที่ที่เป็นหินจำพวกคาร์บอเนต เช่น หินปูน, หิน โดโลไมต์ (DMR, 2016) โดยแหล่งแร่สามารถพบได้ทั่วโลกและยังเป็นแหล่งที่ให้แร่ที่มีความหลากหลายไม่เพียงให้แค่แร่เหล็ก แต่ยังสามารถพบ แร่ทองคำ แร่ทองแดง แร่สังกะสี แร่โมลิบดีนัม เป็นต้น (Meinert, 1992) จะเห็นได้ว่าแร่ที่กล่าวไปข้างต้นนั้นเป็นแร่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ซึ่งในประเทศไทยก็พบแหล่งแร่สการ์นที่เป็นแหล่งแร่เศรษฐกิจด้วย อาทิเช่น แหล่งแร่ภูทับฟ้า จ.เลย ซึ่งเป็นแหล่งแร่ที่เกิดแบบสการ์นและให้แร่ทองคำ (DMR, 2544) และในบริเวณพื้นที่เขาเหล็ก อำเภอนองบัว จังหวัดนครสวรรค์ เป็นอีกแหล่งแร่สการ์นที่พบในไทยและมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงธรณีสัณฐาน ของจุลทวีปหลัก 2 จุลทวีป ได้แก่ฉาน-ไทยและอินโดจีน โดยทั้ง 2 จุลทวีปได้เคลื่อนที่เข้ามาเชื่อมติดกันในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนปลาย (จารุศิริ, 2002) ด้วยความน่าสนใจทางธรณีวิทยาของพื้นที่เขาเหล็กประกอบกับพื้นที่นี้ยังไม่มีการศึกษาอย่างเป็นทางการมาก่อน ทางผู้จัดทำจึงมีความสนใจที่จะศึกษาในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว

1.2. การเข้าถึงพื้นที่ศึกษา



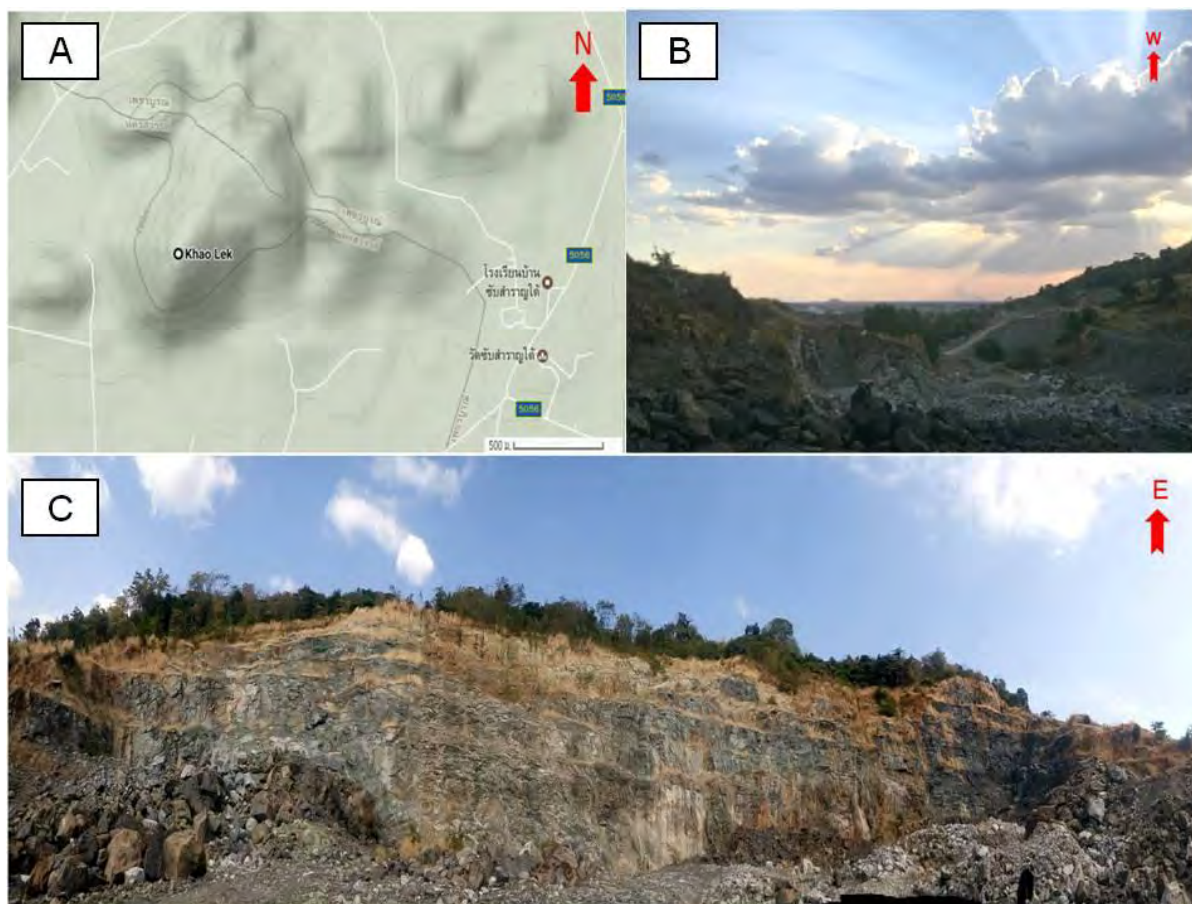
รูปที่ 1.1 แสดงตำแหน่งเขาเหล็ก อำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์ (www. google earth. com)

การเข้าถึงพื้นที่ศึกษาสามารถเดินทางออกจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ถนนพระราม 4 มุ่งหน้าไปทางทิศตะวันออกเพื่อขึ้นทางพิเศษศรีรัชเป็นระยะทาง 14 กิโลเมตรและลงถนนอุดรรัถยา เพื่อเปลี่ยนเส้นทางไปทางหลวงหมายเลข 1 เป็นระยะทาง 50 กิโลเมตร แล้วจึงเปลี่ยนเส้นทางไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อเข้าสู่ทางหลวงหมายเลข 21 เป็นระยะทาง 90 กิโลเมตรจะถึงสี่แยกราหุล ถนนสระบุรี-หล่มสัก ตำบล บึงสามพัน อำเภอ บึงสามพัน จ.เพชรบูรณ์ จากนั้นมุ่งหน้าไปทางทิศตะวันตกโดยใช้ทางหลวงหมายเลข 225 เป็นระยะทาง 14 กิโลเมตร จะพบกับแยกชุมชนบ้านศรีมงคล เดินทางในทิศตะวันออกเฉียงเหนือโดยใช้ทางหลวงไม่ทราบหมายเลข เป็นระยะทาง 7 กิโลเมตร จะพบกับทางเข้าเหมืองเป็นทางลูกรังระยะทาง 400 เมตร

โดยปัจจุบันได้มีการบริเวณเหมืองได้มีการเปิดเหมืองเพื่อผลิตหินสำหรับการก่อสร้าง ของบริษัท โศกพนา (2512) จำกัด โดยการขอเข้าสำรวจพื้นที่จะต้องได้รับอนุญาตจากทางบริษัทก่อน

1.3 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาเป็นภูเขาสูงปานกลาง สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 260 เมตร จากระดับน้ำทะเล ลักษณะของภูเขาเป็นรูปหลังเต่า เขาหลักมีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 1 ตารางกิโลเมตร ทางด้านตะวันตกของของเขาคือเขาสูง และเขามรกต



รูปที่ 1.2 เหมือนเขาหลัก A. เหมือนเปิด (open pit) แสดงหินภูเขาไฟปิดทับหินปูน (ไม่ปรากฏในรูป) B แสดงบริเวณพื้นที่และระดับความสูงของเขาคหลัก, C. ภาพมุมกว้างแสดงบริเวณพื้นที่เหมือน

1.4 เอกสารงานวิจัย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและทำความเข้าใจการเกิดแหล่งแร่แบบสการ์นศึกษาเหตุการณ์ทางธรณีวิทยาในแนวการเกิดของแหล่งแร่บริเวณเขาเหล็ก อำเภอนองบัว จังหวัดนครสวรรค์

1. วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย : การประมวลและการวิเคราะห์แนวใหม่ (จารุศิริ, 2002)

ได้มีการศึกษาวิวัฒนาการของจุลทวีปฉาน-ไทย และอินโดจีน โดยทั้ง 2 จุลทวีปได้เคลื่อนที่เข้ามาเชื่อมติดกันในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนปลาย โดยได้ข้อสรุปว่าการเคลื่อนที่เข้ามาชนกันของฉาน-ไทยและจุลทวีปพม่าตะวันตกในระยะสุดท้ายทำให้เกิดหินแกรนิตแนวตะวันตก ต่อจากนั้นจึงเกิดการชนกันของทวีปอินเดียและเอเชียในสมัยอีโอซีนเป็นจุดเริ่มต้นของขั้นแปรสัณฐานใหม่ โดยเหตุการณ์ที่สำคัญในขั้นนี้คือการเกิดรอยเลื่อนแนวระดับเกิดการเคลื่อนที่กลับทิศ และการปะทุของหินบะซอลต์ที่ได้มาจากการหลอมละลายของเนื้อโลกมีอัญมณีอยู่ด้วย การระเบิดของภูเขาไฟในช่วงมหายุคซีโนโซอิกนี้อาจเป็นผลมาจากการยกตัวบริเวณกว้าง การเกิดการรักร่อนอย่างรุนแรง และการเกิดการสะสมตัวแบบลานแร่ใหญ่ๆ ของดีบุกทอง และอัญมณีอีกด้วย

2. *The origin and evolution of skarn-forming fluids from the Phu Lon deposit, northern*

Loei Fold Belt, Thailand: Evidence from fluid inclusion and sulfur isotope studies (Kamvong, 2009)

เป็นการศึกษาแหล่งแร่สการ์นภูโลนซึ่งเป็นแหล่งแร่ที่ให้ทองแดงและทอง มีอายุในช่วง พาลีโอโซอิกถึง ซีโนโซอิก และตั้งอยู่บนแนวคดโค้งเลย (Loei Fold Belt) โดยใช้วิธีการศึกษาโดยดูลูกประกอบทางเคมีของแร่ หินแคลก์ซิลิเกต (calc-silicate) ไอโซโทปของแร่ซัลเฟอร์ และ วิเคราะห์องค์ประกอบของของไหลที่กักเก็บภายในผลึกแร่ (fluid inclusion) โดยผลจากการวิเคราะห์ช่วยสนับสนุนทฤษฎีความสัมพันธ์ของการเกิดแร่กับน้ำแร่ร้อนที่เป็นตัวตั้งต้นในการเกิดแร่ต่างๆ

3. *Skarns and skarn deposits (Meinert, 1992)*

เป็นการศึกษาโดยให้ข้อมูลของลักษณะและปัจจัยต่างๆที่ทำให้เกิดสการ์นที่เป็นรูปแบบทั่วไปของโลก การแบ่งชนิดของสการ์นซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิด คือ Fe, W, Au, Cu, Zn, Mo, Sn โดยมีการอธิบายคร่าวๆขององค์ประกอบทางเคมี, โครงสร้างการเกิดสการ์น, หินท้องที่ และการแปรธรณีฐาน โดยนำข้อมูลทั้งหมดมาสร้างรูปแบบจำลองการเกิดสการ์นและลักษณะที่จะสามารถพบได้ในบริเวณพื้นที่ที่เป็นสการ์น เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาต่อไป

4. *A geological, geochemical and metallogenic study of the Chatree epithermal deposit, Phetchabun Province, central Thailand (Salam, 2013)*

เป็นการศึกษาธรณีวิทยาทั่วไป, องค์ประกอบทางเคมี และ การเกิดแร่ ในบริเวณพื้นที่ เมืองทองชาตรี โดยเมืองทองชาตรีตั้งอยู่บนแนวคดโค้งเลย (Loei Fold Belt) เป็นแหล่งแร่ที่เกิดจากน้ำแร่ร้อน อุณหภูมิต่ำ (epithermal) ซึ่งให้แร่ทองและเงิน โดยมีหินภูเขาไฟเป็นหินท้องที่ อายุเพอร์เมียนตอนปลาย (Late Permian) จากการศึกษาทางเคมีพบว่าหินท้องที่ที่เป็นหินภูเขาไฟมีอายุ 2 ช่วงอายุด้วยกันคือ 258.6 ถึง 250 ล้านปี และ 250 ถึง 247 ล้านปี โดยหินภูเขาไฟที่อายุแก่กว่ามีลักษณะพิเศษคือมีธาตุเหล่านี้ Ti, P, Mg, Zr, Ce และ Y ในปริมาณน้อย มีองค์ประกอบเป็น Tholeiite ส่วนที่มีอายุน้อยจัดเป็น Calc-alkaline

1.5 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะทางด้านแร่วิทยาและการแปรเปลี่ยนของแร่ของแหล่งแร่เหล็กสการ์น บริเวณเขาเหล็ก อำเภอนองบัว จังหวัดนครสวรรค์

1.6 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้เน้นการศึกษาลักษณะพิเศษของแหล่งแร่สการ์น โดยศึกษาธรณีวิทยาของแหล่งหินเย้า ลักษณะการเกิดแหล่ง (Mineralization) โดยรวมการศึกษาการลำดับการเกิดแร่ (Paragenesis) ศีลาบรรณแร่ โลหะ (Ore microscopy) การแปรเปลี่ยนของหินท้องที่โดยน้ำร้อน (Hydrothermal alteration) ช่วยจำแนก ชนิดของการเกิดแหล่งแร่เขาเหล็ก อำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์

1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบลักษณะเฉพาะของแหล่งแร่สการ์นเขาเหล็ก
2. ทราบชนิดการเกิดแหล่งแร่ (deposit type)
3. การแปรเปลี่ยนของแร่องค์ประกอบของแหล่งแร่และทราบลำดับการเกิดแร่

1.8 ขั้นตอนการวิจัย

1.8.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- ศึกษาความหมายของสการ์น, การเกิดแหล่งแร่แบบสการ์น
- ศึกษาแหล่งแร่แบบสการ์นที่พบในไทย และมีลักษณะใกล้เคียงกับการเกิดของแหล่งแร่สการ์นบริเวณเขาเหล็ก

1.8.2 เก็บข้อมูลธรณีวิทยาภาคสนามและเก็บตัวอย่างหินและแร่

- เก็บตัวอย่างหินและแร่ทุกชนิดที่พบ
- ทำการบันทึกข้อมูลขอบเขตและบริเวณที่พบของหินและแร่

1.8.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างหินในห้องปฏิบัติการ

- นำตัวอย่างที่ได้มาทำเป็น แผ่นหินบางขัดมัน (Polish thin section) และระบุแร่ภายใต้กล้อง (Reflected Light Microscope)
- ทำการยืนยันแร่ที่พบโดยการระบุด้วยวิธี Electron probe micro-analyzer (EPMA)

- ในกรณีที่แร่มีลักษณะเป็นผงยากต่อการทำแผ่นหินบางชัดเจน จะนำตัวอย่างไปบดและตรวจสอบด้วยวิธี X-Ray Diffraction (XRD) เพื่อระบุแร่

1.8.4 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาคสนามและห้องปฏิบัติการ

- รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการระบุได้กล้อง, EPMA และ XRD
- ตีความหมายและประมวลผล เพื่อบอกถึงการเกิดแหล่งแร่และการแปรเปลี่ยนของแร่ในพื้นที่ศึกษา

1.8.5 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

- สรุปแร่ที่พบ, การแปรเปลี่ยนของแร่และลำดับการเกิดแหล่งแร่

1.8.6 จัดทำรูปเล่มรายงานและนำเสนองานวิจัย

- เตรียมเสนอผลงานและจัดทำรูปเล่ม ส่งตามระยะเวลาที่กำหนด

1.9 แผนการดำเนินงาน

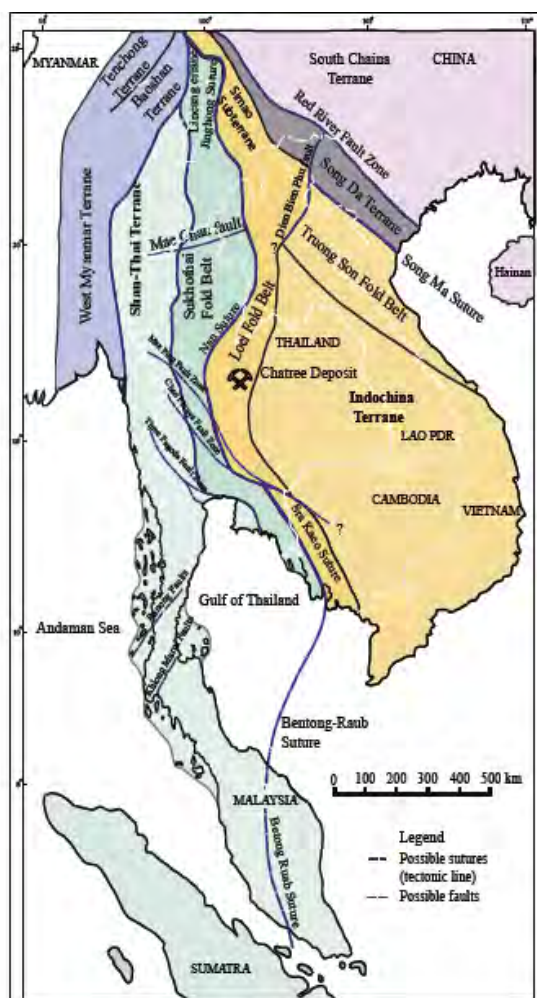
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. การศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง									
2. การสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม									
3. การวิเคราะห์ข้อมูล									
4. การรวบรวมและสรุปผลการศึกษา									
5. การนำเสนอข้อมูล									
6. จัดทำรูปเล่มฉบับสมบูรณ์									

ตารางที่ 1.1 แสดงช่วงระยะเวลาการทำงานตั้งแต่เดือน กันยายน 2559 – พฤษภาคม 2560

บทที่ 2 ธรณีวิทยาทั่วไป

2.1 คำนำ

บริเวณพื้นที่เขาเหล็ก อำเภอนองบัว จังหวัดนครสวรรค์ตั้งอยู่บนแนวคดโค้งเลย (Loei Fold Belt-LFB) ซึ่งแผ่กว้างตั้งแต่บริเวณตอนเหนือของประเทศลาวลงมาทางทิศใต้ พาดผ่านจังหวัดเลย เพชรบูรณ์ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยและต่อไปในประเทศกัมพูชา (รูปที่ 2.1) แนวคดโค้งเลยตั้งอยู่ระหว่างแผ่นจุลทวีปฉานไทย (Shan-Thai) และ อินโดจีน (Indochina) นอกจากนั้นทางด้านตะวันตกของแนวคดโค้งเลยยังมีแนวคดโค้งสุโขทัย (Sukhothai Fold Belt-SFB) โดยอยู่บริเวณขอบด้านตะวันออกเฉียงเหนือของแผ่นจุลทวีปฉานไทย (รูปที่ 2.1) ซึ่งเกิดการก่อกำเนิดของแนวคดโค้งทั้งสองน่าจะเกิดในช่วงยุคไซลูเรียนถึงไทรแอสสิก (Panopas, 1981; Metcalfe, 2002; Khin Zaw et al., 2014)



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงแนวการแปรธรณีสัณฐานในไทย และแนวรอยคดโค้งเลย (Loei - Petchabun fold belt) ซึ่งเป็นแนวที่สัมพันธ์กับพื้นที่ศึกษา (Barr, 2000; Sone and Metcalfe, 2008).

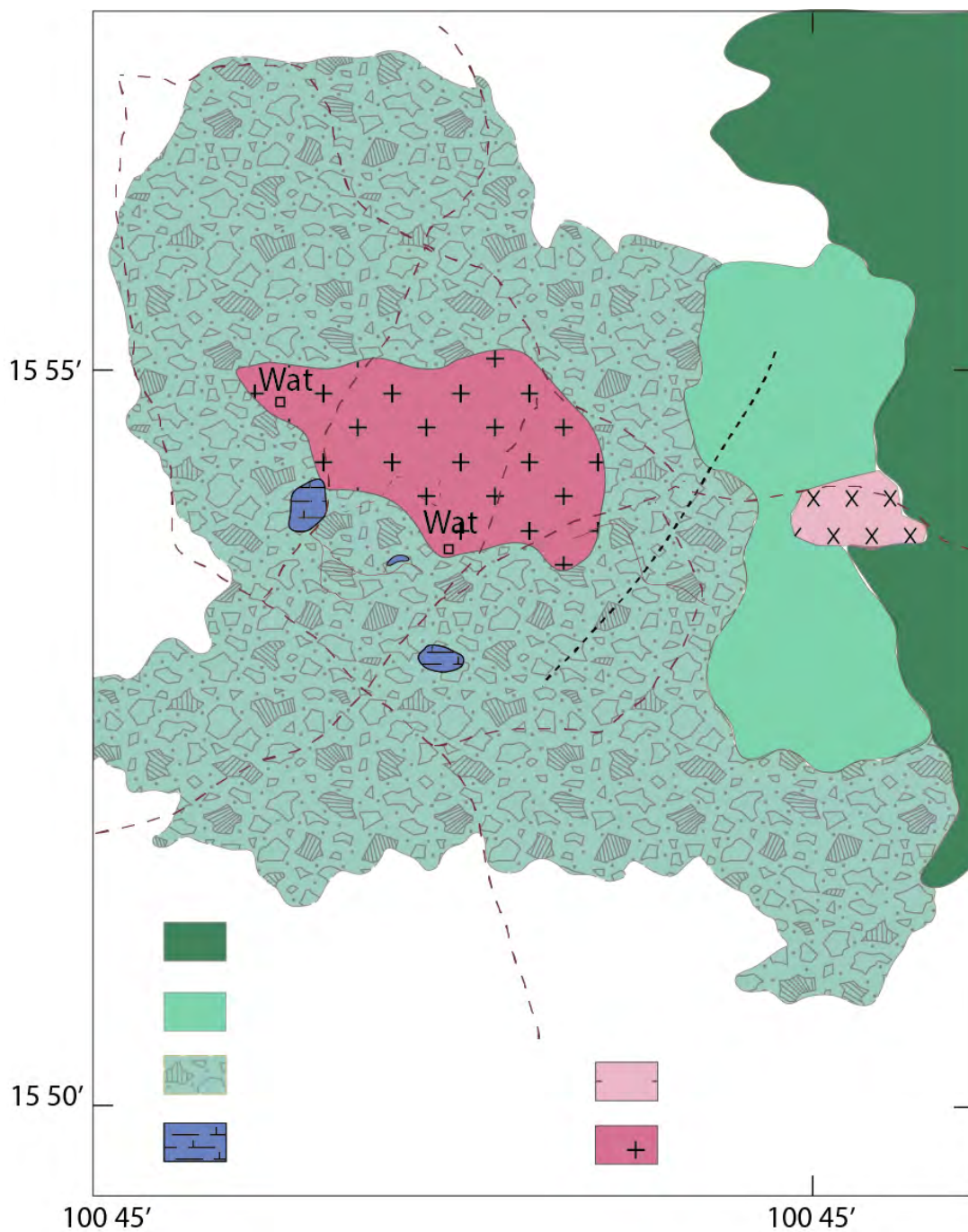
2.2 ธรณีบริเวณกว้าง (Regional Geology)

ธรณีวิทยาบริเวณเขาเหล็กและพื้นที่ข้างเคียงแสดงดังรูปที่ 2.2 หน่วยหินที่แก่ที่สุดในบริเวณนี้คือ หินปูนอายุเพอร์เมียน กลุ่มหินสระบุรี ประกอบด้วย limestone, chert, shale, sandstone, tuffaceous sandstone ซึ่งโผล่ในบริเวณพื้นที่เขาเหล็ก หินชุดนี้โผล่เป็นลักษณะเป็นหย่อมๆ ซึ่งถูกปิดทับด้วยหินภูเขาไฟอายุเพอโม-ไทรแอสสิก หินภูเขาไฟอายุเพอโม-ไทรแอสสิก พบกระจายทั่วไปบริเวณเขาเหล็กประกอบด้วย หินภูเขาไฟเนื้อแน่น (coherent) และหินโวลคานิคคลาสติก (volcaniclastic rocks) และหินถ้ำภูเขาไฟ (pyroclastic rocks) มีองค์ประกอบตั้งแต่บะซอลต์ (Basalt) ถึง แอนดิไซต์ (andesite) หินภูเขาไฟชุดนี้มีลักษณะคล้ายกับหินภูเขาไฟที่พบบริเวณเหมืองทองคำชาติซึ่งมี 2 ช่วงอายุ คือ 258.6 ถึง 250 ล้านปี และ 250 ถึง 247 ล้านปี (Salam, 2014) และอายุของหินภูเขาไฟบริเวณเขาเหล็กโดยการศึกษาของ Khositantont (2008) คือ 258 ถึง 250 ล้านปี พบแกรนิตโผล่ทางตอนเหนือของเหมืองเขาเหล็ก โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วย ไดออไรท์ (diorite) ถึง แกรโนไดออไรท์ (Granodiorite) และบางส่วนเป็นแกรนิตเนื้อปานกลางถึงเนื้อหยาบ (Khositanont, 2008) ส่วนบริเวณรอบ ๆ เขาเหล็กและพื้นที่ราบถูกปกคลุมด้วยตะกอนยุคควอเทอร์นารี

2.3 แหล่งแร่ที่สัมพันธ์กับแนวคดโค้งเลย (Loei-Petchabun Fold Belt)

พบแหล่งแร่จำนวนมากที่มีความสัมพันธ์กับแนวคดโค้งเลย (Loei-Petchabun Fold Belt) (ดังรูป 2.3). ซึ่งแหล่งแร่หลักพบแบบแหล่งแร่สการ์น และแหล่งแร่ที่เกิดกับน้ำแร่ร้อนอุณหภูมิต่ำ (epithermal) และแนวรอยคดโค้งนี้ ยังเป็นบริเวณที่น่าสนใจในการสำรวจแหล่งแร่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มากที่สุดแห่งหนึ่งอีกด้วย

แหล่งแร่ในแนวคดโค้งเลย (Loei-Petchabun Fold Belt) มีความสัมพันธ์กับหินอัคนีและหินอัคนีบาดาล (volcano-plutonic rocks) ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วง เพอร์เมียนตอนปลาย ถึง จูราสสิกตอนต้น (Late Permian to Early Jurassic) และให้แร่ ทอง, ทองแดง, เงิน และเหล็ก (Salam, 2013) เช่น แหล่งแร่กู่ทับฟ้า



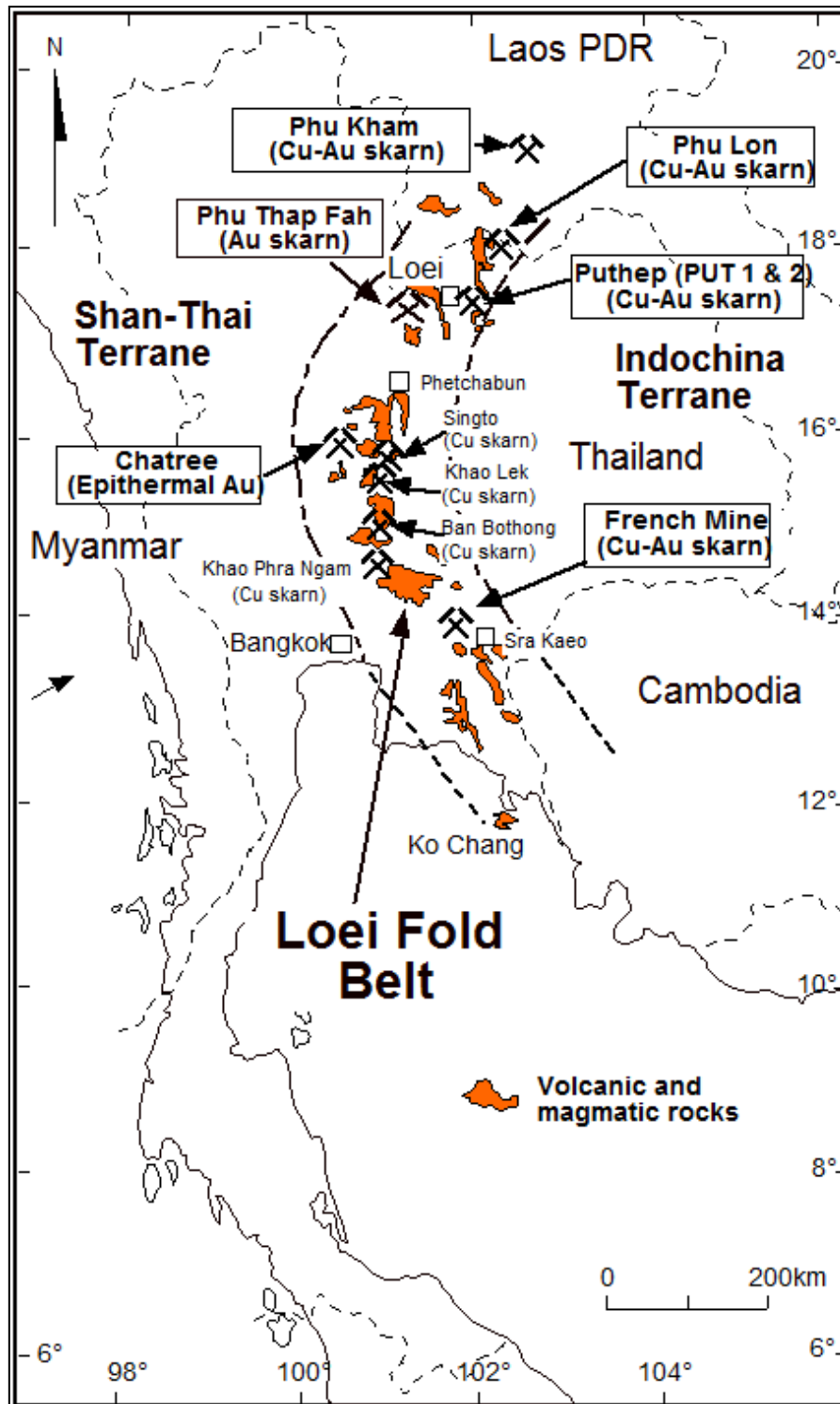
รูปที่ 2.2 ภาพแสดงแผนที่ธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่เขาเหล็กและเขาแม่แก้วแสดงการกระจายตัวของหินภูเขาไฟและหินอัคนีบาดาล (Mami; draft master thesis, 2017)

โดยแหล่งแร่กัททิงไฟตั้งอยู่ในจังหวัดเลย ตัวแหล่งแร่เกิดในหินเหี้ยวที่เป็นหินปูนและหินทรายแป้ง โคนมีผนังหินอัคนี คือ หินไดโอไรท์และ แกรโนไดโอไรท์ ช่วงอายุโทรแอสติกแทรกตัดเข้ามาในหินเหี้ยวที่เป็นหินปูนและหินทรายแป้ง ทำให้เกิดเป็นแหล่งแร่สการ์นที่ให้ ทองคำ โดยลักษณะเด่นของแหล่งแร่ สการ์นกัททิงไฟ คือ พบไคลโนไพรอกซีน (clinopyroxene) และ แอนดราไดต์คาร์เนต นอกจากนี้ในบริเวณ พื้นที่กัททิงไฟยังพบโรโทรเกรดสการ์นที่ให้แร่ เอปีโดท, คลอไรท์ คาร์บอนเนต และ ควอตซ์ ซึ่งทองคำที่พบใน แหล่งแร่ที่เกิดอยู่ในรูปอิเล็กตรัม (electrum) เกิดร่วมกับบิสมัท (gold-bismuth) และ เกิดร่วมกับบิสมัท-เทลลูไรด์ (gold-bismuth-telluride) (Khin Zaw, 2007)

ภูโล้นเป็นแหล่งแร่สการ์นที่ให้ ทองแดงและทองคำ ตั้งอยู่ทางตอนเหนือของแนวคดโค้งเลย (Loei Fold Belt) มีหินเหี้ยวเป็นหินภูเขาไฟ ช่วงอายุคิโวเนียนแทรกสลับกับหินปูนและหินอ่อน โดยหินเหี้ยวถูก แทรกคั่นด้วยหินไดโอไรท์ แหล่งแร่ภูโล้นพบทั้งเอนโดสการ์นและเอกโซสการ์น ในส่วนของโทรเกรด สการ์นพบแร่ แอนดราไดต์ และ ไดออพไซด์ เป็นหลัก ในขณะที่โรโทรเกรดสการ์นพบแร่ เอปีโดท คลอไรท์ ทรีโมไรท์ แอคทิโนไลต์ และแคลไซต์ ซึ่งเป็นแร่โรโทรเกรดสการ์นที่พบทั่วไปในแหล่งสการ์นหลาย ๆ แห่ง ทั่วโลก (Kamvong, 2009)

ภูคำ เป็นแหล่งแร่สการ์นที่ตั้งอยู่ทางตอนใต้ของลาว เป็นแหล่งแร่สการ์นที่ให้ ทองแดงและทองคำ ซึ่งตั้งอยู่ในช่วงรอยต่อของแนวคดโค้งเลยและแนวคดโค้งดงฮา (Truongson Fold Belts) โดยมีหินเหี้ยว คือ หินภูเขาไฟมีช่วงอายุพาลีโอโซอิกแทรกสลับกับหินปูนยุคเพอโม-คาร์บอนิฟอรัส และหินชีสต์ ด้วยหินเหี้ยว ที่มีหลายชนิดจึงทำให้เกิดแร่หลากหลายตามองค์ประกอบของหินเหี้ยวที่ต่างกัน แหล่งแร่ภูคำมีหินอัคนี แทรกซอนเป็นหินไดโอไรท์ โดยพบแร่อื่นๆที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดแร่ทองแดงและทองคำ คือ แร่ไฟไรต์ ซาลโคไฟไรท์ บอร์ไนต์ อาซิโนไฟไรต์ กาลีนา และ สฟาเลอไรท์ (Soysouvanh, 2016)

เขาพนมพา เป็นแหล่งสการ์นที่ให้แร่ทองคำ เกิดจากสายแร่ร้อน กระบวนการแปรสัมผัส กระบวนการเติมสายละลายซิลิกา ทำให้เกิดการสะสมตัวของแหล่งแร่ทองคำ เกิดการฝังประ หรือสายแร่ แทรกเข้าไปในหินซึ่งเป็นลักษณะเด่นที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนในพื้นที่แหล่งแร่เขาพนมพา ในส่วนบริเวณ รอบๆเหมืองมีการขุดทำทำให้เกิดการสะสมทองคำแบบลานแร่อีกด้วย (Salam,2007 ;วิเชียรเทียบ, 2558)



รูปที่ 2.3 แสดงแหล่งแร่หลักพบแบบแหล่งแร่สการ์น และแหล่งแร่แบบ epithermal ในแนวคดโค้งเลย (Loei-Petchabun Fold Belt)

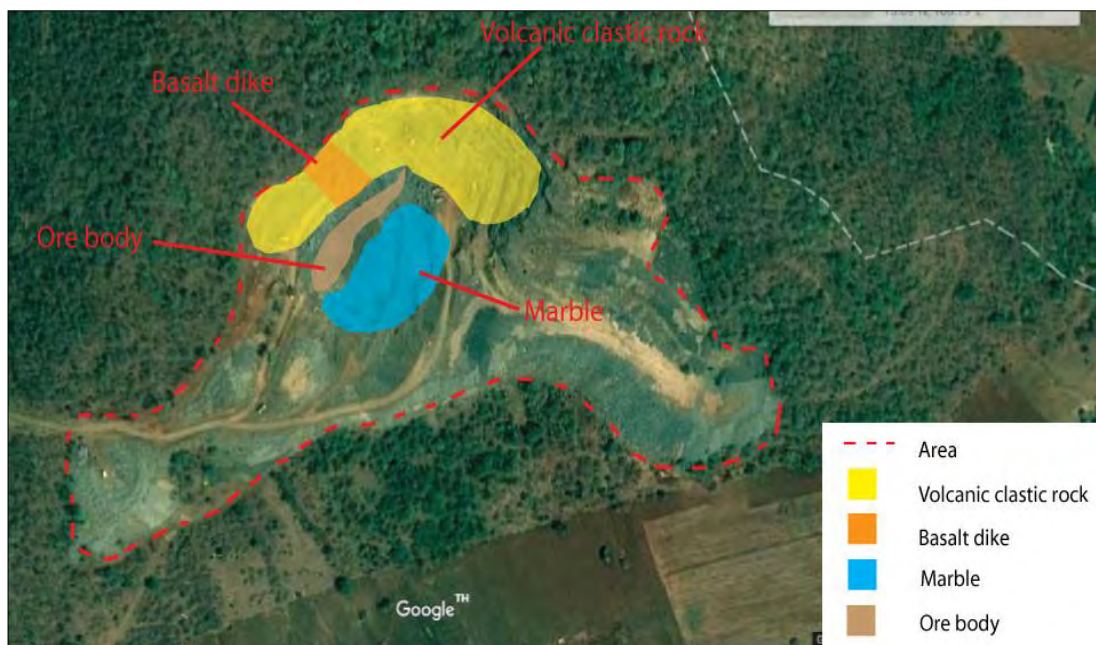
บทที่ 3 ธรณีวิทยาของแหล่งแร่

3.1 คำนำ

แหล่งแร่บริเวณพื้นที่เขาเหล็กเป็นแหล่งแร่สการ์นที่ให้แร่เหล็กซึ่งมีการทำเหมืองโดยบริษัท S.K. mineral แต่ได้หยุดกิจการในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวไปแล้ว ปัจจุบันบริเวณพื้นที่นี้อยู่ในความดูแลของบริษัท โชคพนา จำกัด มีการผลิตหินก่อสร้างจากเศษหินที่ได้จากการทำเหมืองเหล็ก ส่วนใหญ่เป็นหินภูเขาไฟ ในบทนี้จะบรรยายลักษณะธรณีวิทยาบริเวณบ่อเหมือง และพื้นที่รอบๆบ่อเหมือง ลักษณะการเกิดแหล่งแร่ ทั้ง หินโพล์ที่พบและลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา, การเก็บตัวอย่าง, แร่ภายใต้กล้อง และการแปรเปลี่ยนของหินท้องถิ่น โดยอ้างอิงตาม Khositanont (2008).

3.2 หินท้องถิ่น (Country rock)

หินท้องถิ่น (Country rock) มี 2 ชนิด คือ หินภูเขาไฟ (andesitic sandstone และ andesitic breccia) และ หินปูน limestone(marble)



รูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นขอบเขตของหินท้องถิ่นภายในบริเวณเหมืองเขาเหล็ก

3.2.1 หินปูน

หินโผล่ ตั้งอยู่ทางทิศใต้ และทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของหน้าเหมือง หินโผล่ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ จากการอ้างอิงอิงของแผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณีได้ให้หินปูนในบริเวณพื้นที่นี้เป็นหินปูนที่มีอายุในช่วงเพอร์เมียน โดยพบหินปูนเนื้อแน่นวางตัวอยู่ใต้หินภูเขาไฟ ซึ่งหินภูเขาไฟมีอายุ เพอโม-ไทรแอสสิก ในบริเวณที่ใกล้เคียงกันพบหินปูนที่มีลักษณะถูกแปรสภาพเป็นหินอ่อนและแคลก์-ซิลิเกต (calc-silicate) โผล่ทางตะวันตกเฉียงเหนือของเหมือง ซึ่งตรงบริเวณนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการแปรเปลี่ยนของหินท้องที่แบบสการ์น คือส่วนของ โซนหินอ่อน(Marble Zone) ซึ่งติดกับหินปูนอายุเพอร์เมียน เป็นผลมาจากรอยเลื่อนของที่วางตัวในแนว ตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงใต้

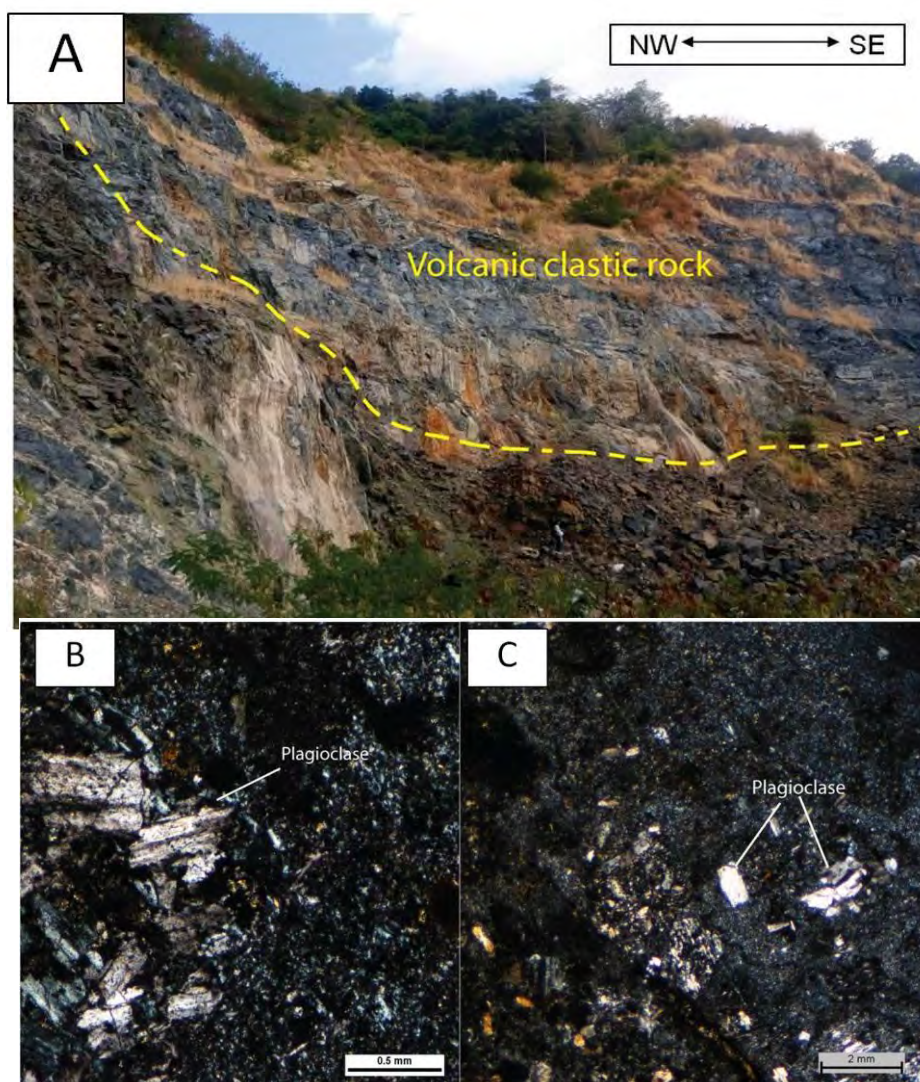


รูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นหิน โผล่ที่เป็นหินปูนและ บริเวณหิน โผล่ที่เป็นหินอ่อน

3.2.2 หินภูเขาไฟ

หินภูเขาไฟ ในบริเวณพื้นที่เขาเหล็กและบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงพบบริเวณด้านเหนือและด้านตะวันตกเฉียงใต้ของเหมืองมีอายุ เพอโม-ไทรแอสสิก (Jungyusuk and Khositantont, 1993) ซึ่งมีอายุและองค์ประกอบหินใกล้เคียงกับหินภูเขาไฟที่พบแพร่หลายในเมืองชาตรี หินภูเขาไฟที่ใกล้ที่สุดที่มีการหาอายุคือหินที่ทับคล้อ จังหวัดพิจิตร และชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ ตามข้อมูลของ ซาล่าและคณะ.

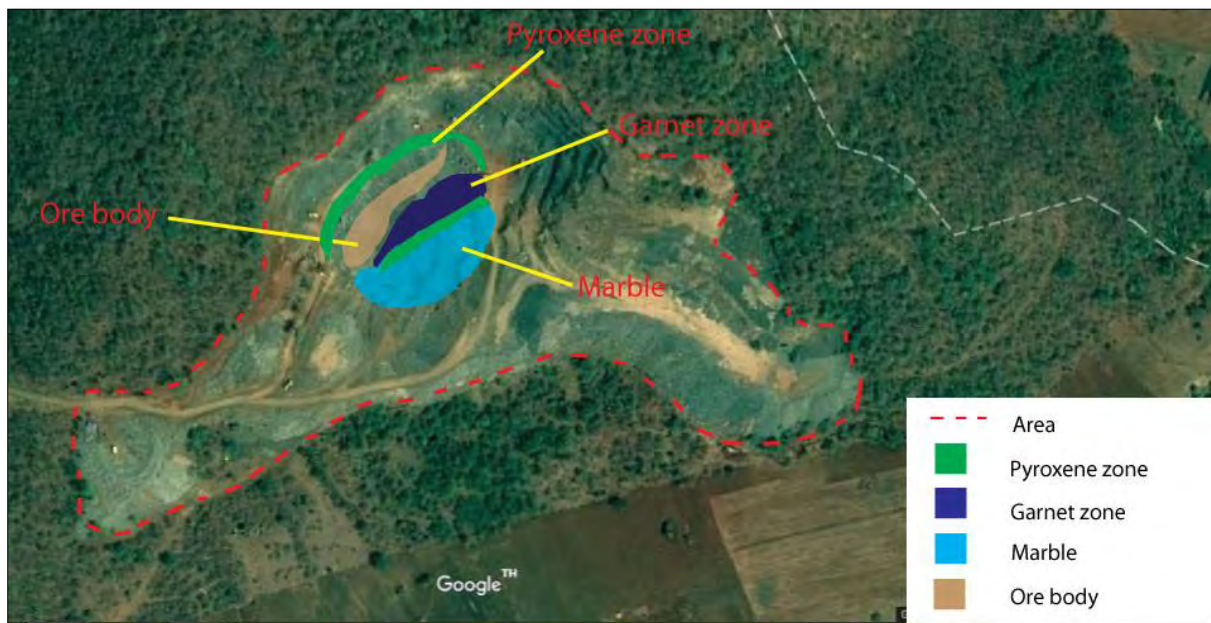
ในส่วนของหินท้องที่จากการสังเกตในภาคสนามพบว่าเป็นหินภูเขาไฟและสามารถจำแนกได้เป็น แอนดซิติกทัฟฟ์ (Andesitic tuff)



รูปที่ 3.3 แสดงขอบเขตของ หินท้องที่ที่เป็นหินภูเขาไฟ (A), แสดงลักษณะของแร่ภายในหินภูเขาไฟภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบ (B)(C)

3.3 สการ์นโซน (Prograde skarn)

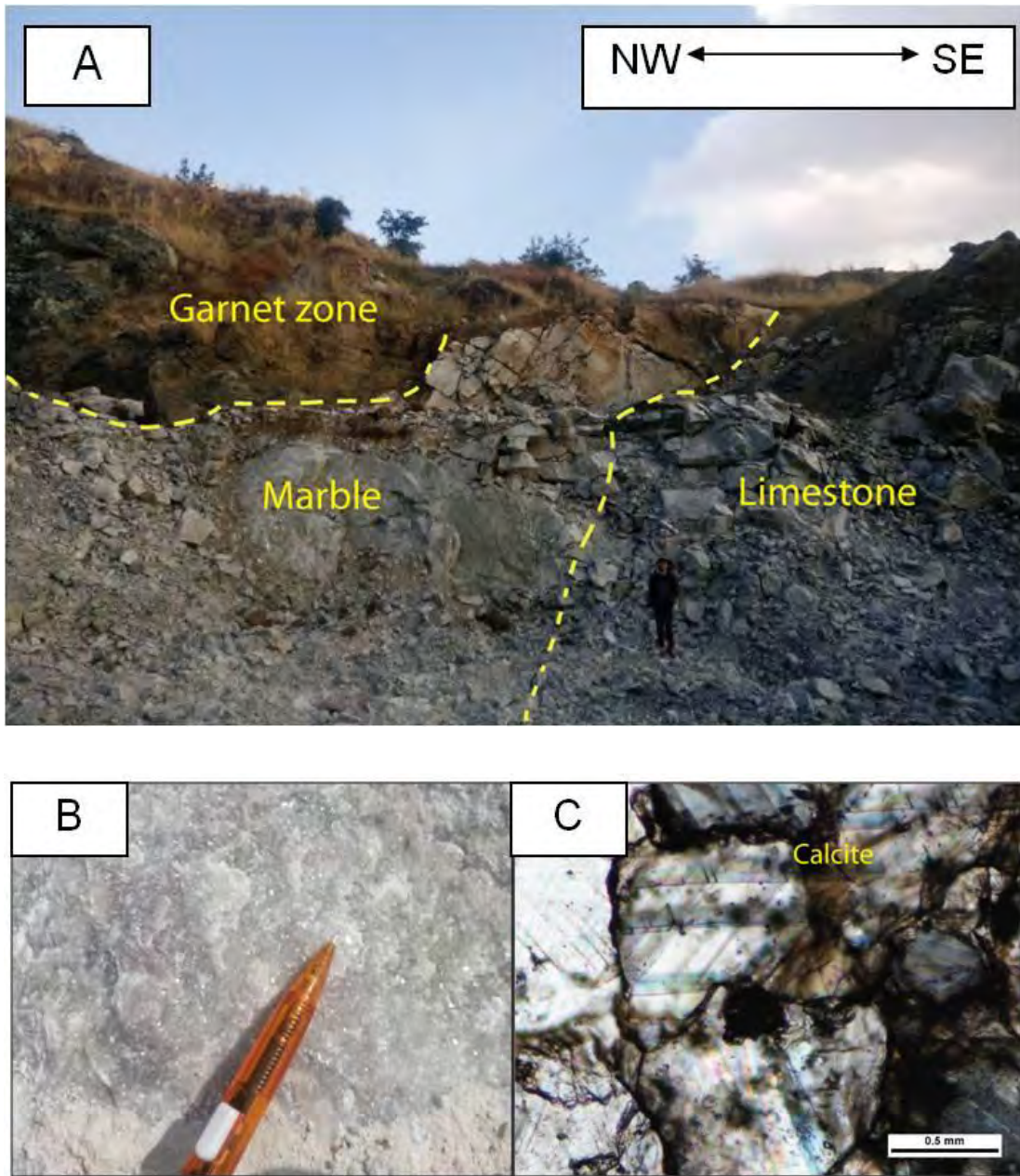
ในส่วนของสการ์นโซนเกิดการแปรเปลี่ยนในหินเข้าทั้ง 2 ชนิด คือ หินภูเขาไฟ และ หินปูน โดยสการ์นโซน (Prograde skarn) แบ่งออกเป็น 3 โซนด้วยกัน คือ โซนการ์เนต, โซนไพรอกซีน และ โซนหินอ่อน โดย โซนการ์เนตเกิดในหินเข้าที่เป็นหินปูนและเกิดใกล้กับสินแร่เหล็ก ถัดออกมา คือ โซนไพรอกซีน พบโซนไพรอกซีนเด่นในหินเข้าภูเขาไฟ และ โซนหินอ่อนพบในหินเข้าที่เป็นหินปูนและอยู่นอกสุดของโซนแร่โพรเฟรคสการ์น



รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นขอบเขตของโซนแร่สการ์นที่ประกอบไปด้วย โซนไพรอกซีน (Pyroxene zone), โซนการ์เนต (Garnet zone) และ โซนหินอ่อน (Marble zone)

3.3.1 หินอ่อน

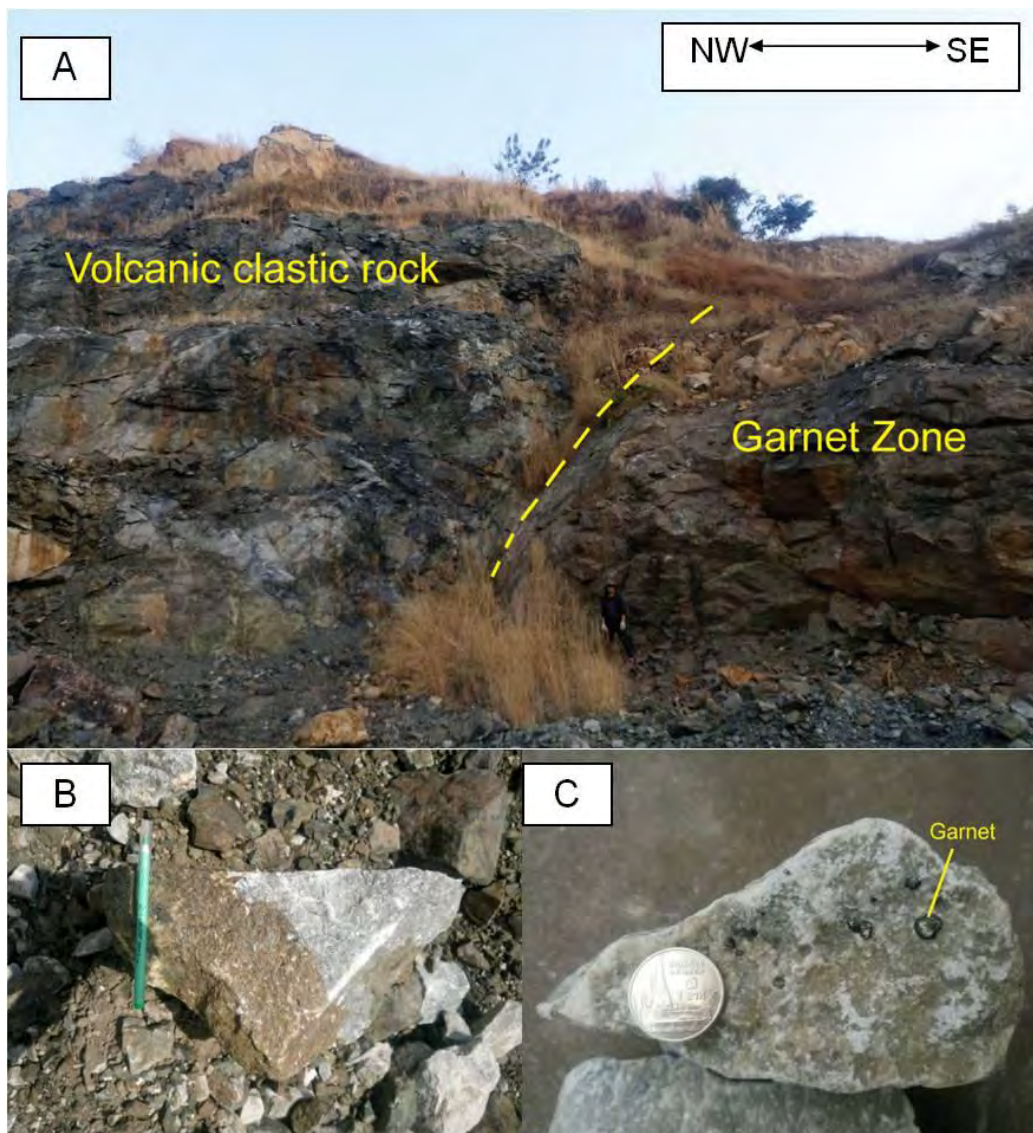
พบหินปูนที่มีลักษณะถูกแปรสภาพเป็นหินอ่อน (รูปที่ 3.5 A) และแคลก์-ซิลิเกต (calc-silicate) โผล่ทางตะวันตกเฉียงเหนือของเหมือง ซึ่งตรงบริเวณนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการแปรเปลี่ยนของหินท้องถิ่นที่แบบสการ์นคือส่วนของโซนหินอ่อน (Marble Zone) ซึ่งติดกับหินปูนอายุเพอร์เมียน



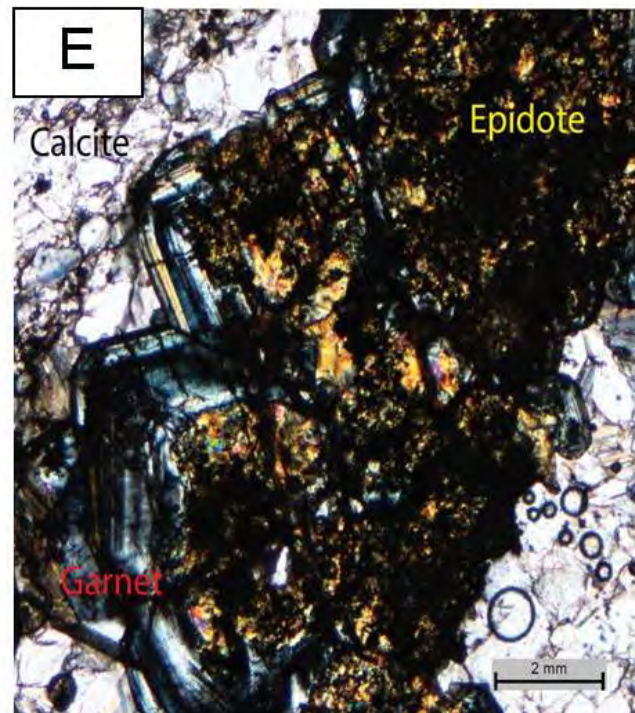
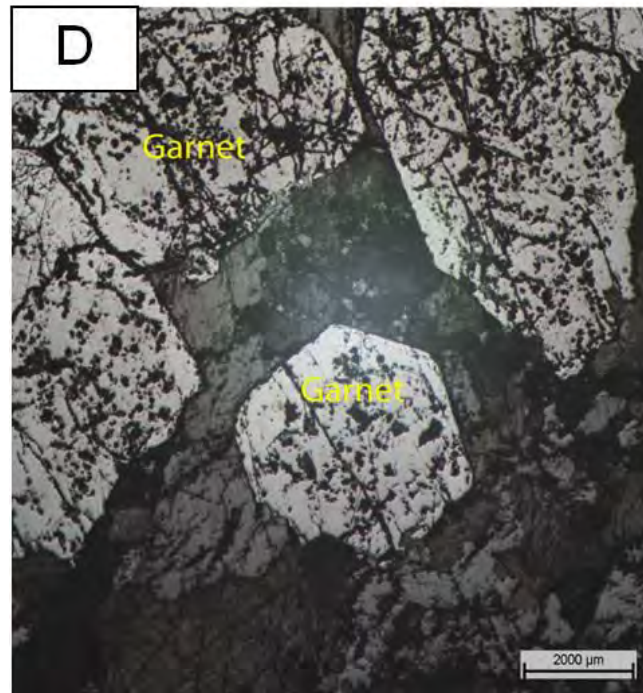
รูปที่ 3.5 หินโผล่ของหินอ่อน A. ภาพแสดงลักษณะการ โผล่ของหินอ่อน และแสดงให้เห็นส่วนบริเวณ โซน การ์เน็ต B. แสดงลักษณะ sugary texture ของหินอ่อน C. แสดงให้เห็นหินอ่อน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์จะ พบว่าเป็นแร่คาร์บอเนต มี cleavage เป็นรูป rhombohedral

3.3.2 โชนการ์เนต (Garnet Zone)

ทางบริเวณ ด้านทิศใต้ จะพบกับ ส่วนที่เป็นโชนการ์เนต สามารถเจอในหินอ่อน ซึ่งอยู่ติดกับโชนการ์เนต ขนาดเม็ดแร่ของการ์เนต มีขนาด 1 มิลลิเมตร จนถึง 2 เซนติเมตร การกระจายตัวของการ์เนตในหินอ่อน เป็นกระจายตัวแบบไม่สม่ำเสมอ โดยขนาดเม็ดการ์เนตที่มีขนาดใหญ่ จะสามารถเห็นรูปผลึกอย่างชัดเจน(euhedral) สามารถพบการ์เนตทั้งสี แดงน้ำตาล และสีเขียว



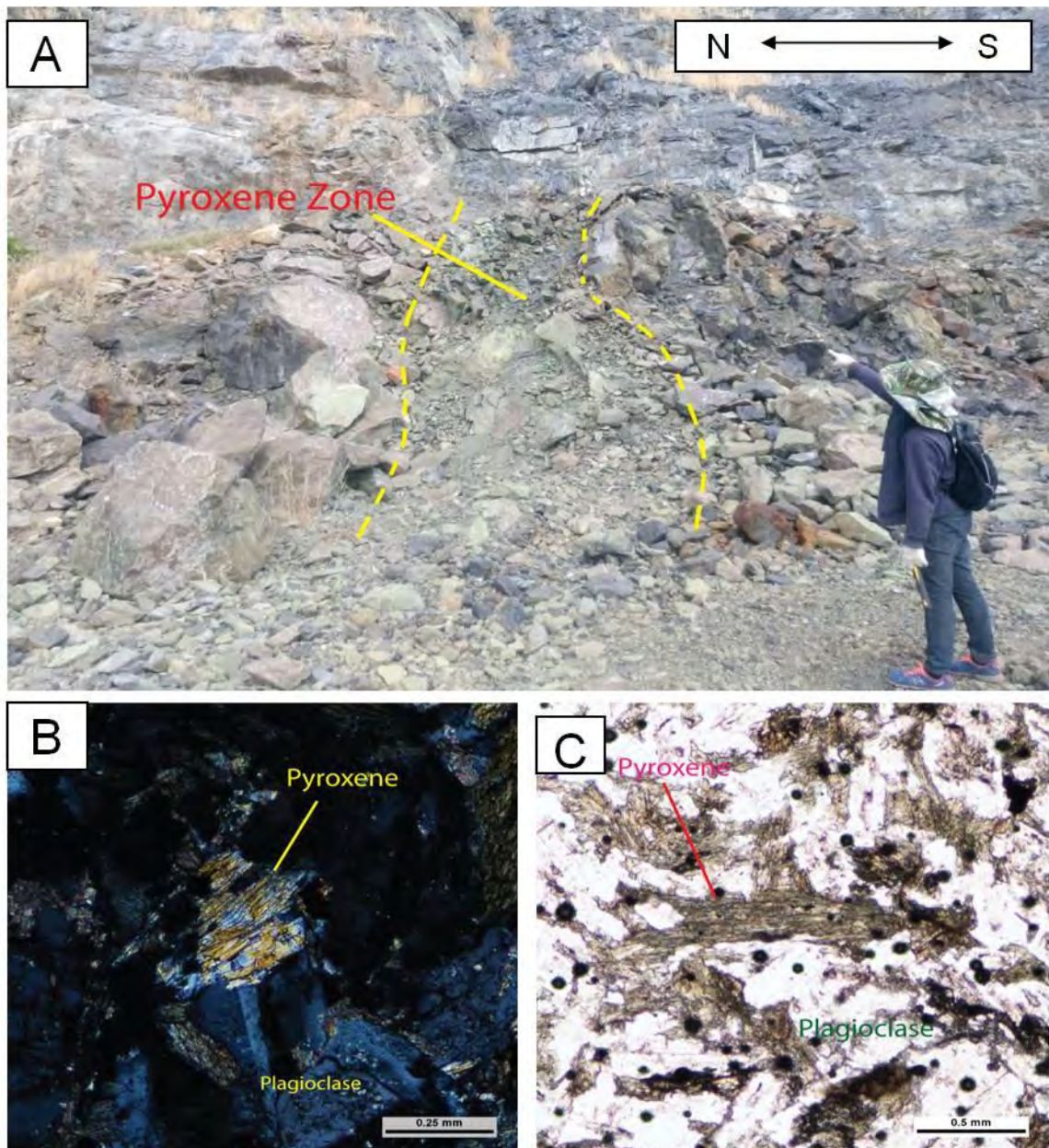
รูปที่ 3.6 โชนการ์เนต A. แสดงให้เห็นหินโผล่ของหินภูเขาไฟ และ บริเวณโชนการ์เนต B. และแสดงให้เห็นส่วนบริเวณตัวอย่างหินที่แสดงรอยต่อระหว่างโชนการ์เนต และ โชนหินอ่อน C. แสดงขนาดของเม็ดการ์เนต ที่พบในส่วนของโชนหินอ่อน



รูปที่ 3.6 (ต่อ) โชนการ์เนต **D**. แสดงให้เห็นหินโผล่ของหินภูเขาไฟ ภาพแสดงการ์เนตภายใต้กล้องจะเห็นว่ารูปผลึกเป็นรูปผลึกหกเหลี่ยมอย่างเห็นได้ชัดเจนซึ่งเป็นลักษณะเด่นของของการ์เนต **E**. แสดงลักษณะโชนของการ์เนตภายใต้กล้องจุลทรรศน์

3.3.3 โซนไพรอกซีน (Pyroxene Zone)

พบไพรอกซีน ทางด้านทิศใต้ ซึ่งในส่วนของโซนไพรอกซีน อยู่ถัดจากโซนการ์เนต มาทางด้านทิศตะวันออก โดยขนาดของโซนไพรอกซีน นี้มีขนาดไม่ใหญ่มากนักกว้างประมาณ 3 เมตร และเป็นโซนที่เด่นในหินเห่าภูเขาไฟ (volcaniclastics) การศึกษาไพรอกซีนจากตัวอย่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าไพรอกซีนส่วนใหญ่ที่พบ คือ คลินไพรอกซีน (clinopyroxene)

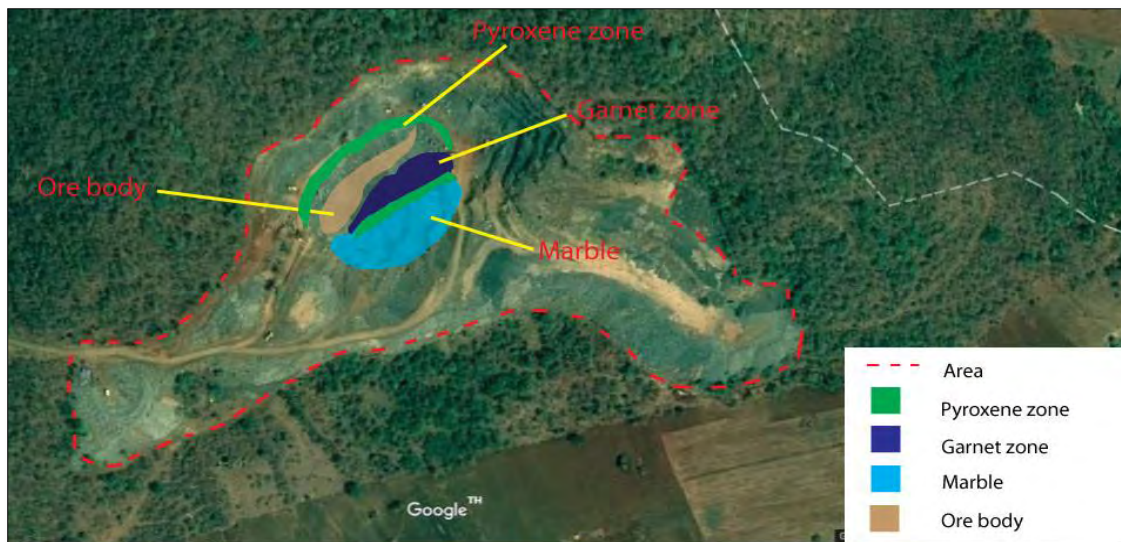


รูปที่ 3.7 แสดงขอบเขตของโซนไพรอกซีน ที่อยู่ในตัวหินท้องที่เป็นหินภูเขาไฟ (A), แร่โซนไพรอกซีน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน(B),(C)

บทที่ 4 ลักษณะเฉพาะของแหล่งแร่เหล็กและการแปรเปลี่ยนของแร่

4.1 คำนำ

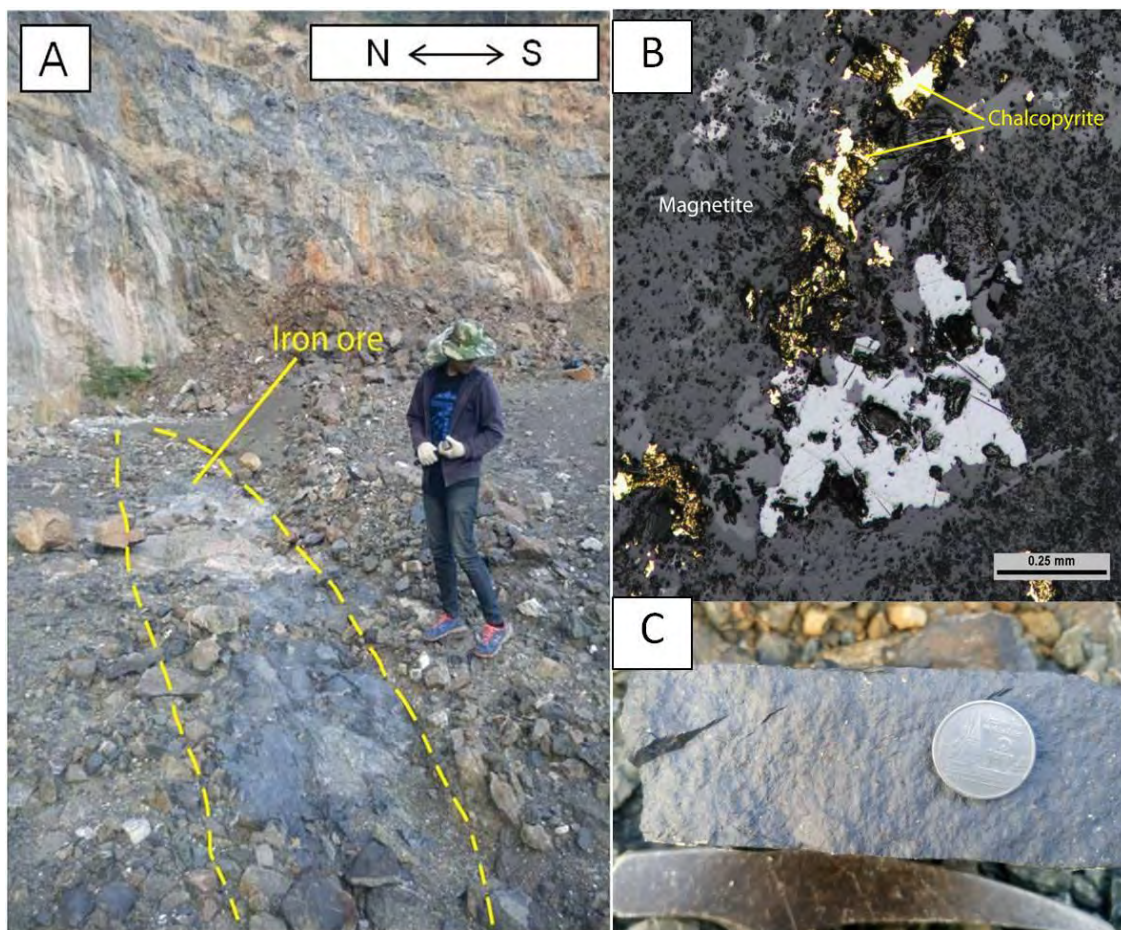
ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะของโซนแร่ ลำดับการเกิดแร่ และองค์ประกอบแร่ (mineral assemblage) ลักษณะเนื้อ (texture) ของสายแร่ และการแปรเปลี่ยนของหินท้องถิ่น โดยใช้วิธีการสำรวจและเก็บตัวอย่างจากภาคสนามมาวิเคราะห์ได้กล้องจุลทรรศน์ทั้งแบบใช้แสงสะท้อน และตรวจสอบแร่ องค์ประกอบด้วยเครื่องมือ electron probe micro-analyzer (EPMA) และตรวจสอบแร่ที่เกิดจากการแปรเปลี่ยนของหินท้องถิ่นโดยอาศัยวิธี x-ray Diffraction (XRD)



รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นแนวการวางตัวและขอบเขตของสินแร่เหล็กซึ่งตั้งอยู่ตรงส่วนกลางของเหมืองเขาเหล็ก

4.2 การเกิดแร่เหล็ก (Mineralization)

จากการศึกษาภาคสนามพบว่าแหล่งแร่เหล็ก ประกอบด้วยโซนแร่โซลเดียว คือโซนแร่เหล็ก มีความยาวประมาณ 60 เมตร กว้าง 2 ถึง 5 เมตร (รูปที่ 4.1) มีลักษณะตีบหายเข้าไปในผนังบ่อทั้งของด้านของสายแร่ ซึ่งเป็นไปได้ว่าสายแร่อาจมีความต่อเนื่องไปนอกพื้นที่บ่อเหมืองอีก แต่เนื่องจากไม่มีข้อมูลหลุมเจาะ จึงไม่สามารถที่จะคาดคะเนได้ โดยสายแร่เหล็กวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ เอียงเทค่อนข้างชันทางด้านทิศตะวันออกเฉียง โดยโซนแร่เหล็กแทรกอยู่ระหว่างหินท้องที่ที่เป็นภูเขาไฟและหินปูนซึ่งปัจจุบันเป็นหินอ่อน ลักษณะของตัวสายแร่ประกอบด้วย แร่เหล็กส่วนใหญ่เป็นแร่แมกนีไทต์ (Magnetite) มีลักษณะเนื้อแน่น (Massive) สีดำ (รูปที่ 4.2 C) อาจพบ แร่ ไพไรต์ – ซาลโคไพไรต์-สฟาเลอไรต์ เป็นกระเปาะหรือเป็นสายแร่ขนาดเล็ก (รูปที่ 4.2 B)



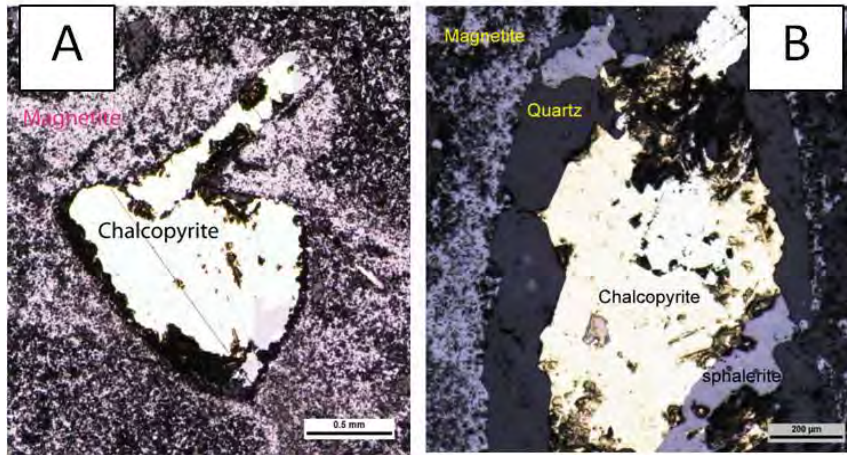
รูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นแมกนีไทต์ที่พื้น มีทิศการวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (A), กระเปาะแร่ซาลโคไพไรต์ในแร่แมกนีไทต์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์(B), ตัวอย่างของแร่แมกนีไทต์เนื้อแน่น (C)

4.3 ลำดับการเกิดแร่ (Paragenesis)

ศึกษาโดยอาศัยการตัดกันของสายแร่ ลักษณะเนื้อแร่ (texture) แร่องค์ประกอบ สามารถสรุป ลำดับการเกิดแร่ ในเขาเหล็ก ได้ 2 ลำดับ (stage) โดย stage แรก เป็นการเกิดของแร่แมกนีไทต์ (รูปที่ 4.3 A) ซึ่งน่าจะเกิดแทรกตัดขึ้นมาตามรอยเลื่อนในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ หลังจากการเกิดสการ์น (prograde skarn) หลังจากนั้นพบมีการเกิดสายแร่หรือกระเปาะ ของแร่ไพไรต์-ซาลโคไพไรต์-สฟาเลอไรต์ (รูปที่ 4.3 B) ที่มีขนาด 1-2 มิลลิเมตรหรือเล็กกว่า

Mineral	Main ore stage		Post mineralization stage
	Stage 1	Stage 2	
Magnetite	██████████		
Pyrite		██████████	
Chalcopyrite		██████████	
Sphalerite		-----	
Quartz		-----	-----
Calcite			-----
Epidote			██████████
Chlorite			██████████

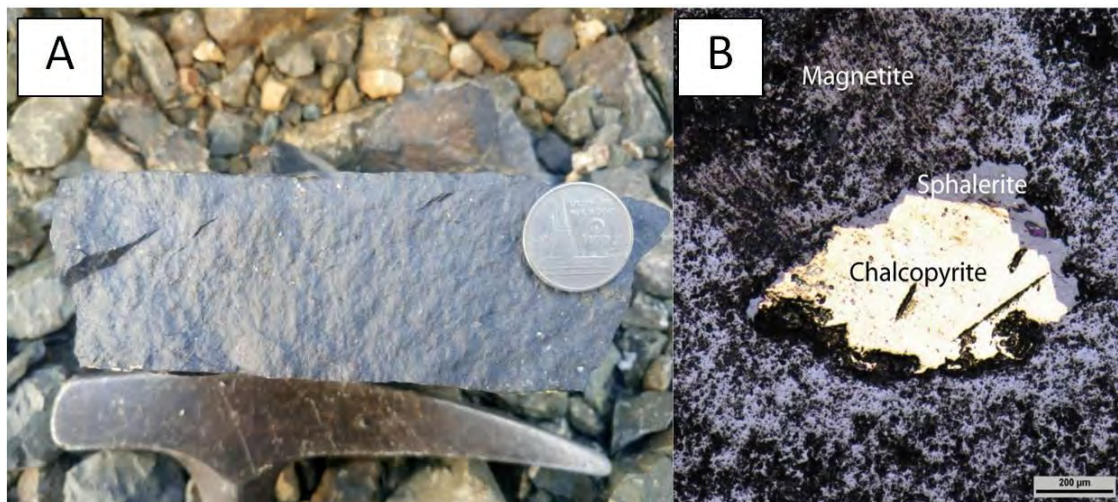
ตาราง 4.1 แสดงลำดับการเกิดของแร่ในสายแร่เหล็กและวีโทรเกรดสการ์น



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของแร่แมกนีไทต์ A. ที่มีสีขาวเทาอันเนื่องมาจากมีคุณสมบัติสะท้อนแสงได้ดี และแสดงลักษณะของซาลโคไพไรต์ สฟาเลอไรต์ และ ควอตซ์ ที่เกิดอยู่ในแมกนีไทต์ B

4.3.1 ลำดับที่ 1 แมกนีไทต์ (Stage 1 : Magnetite)

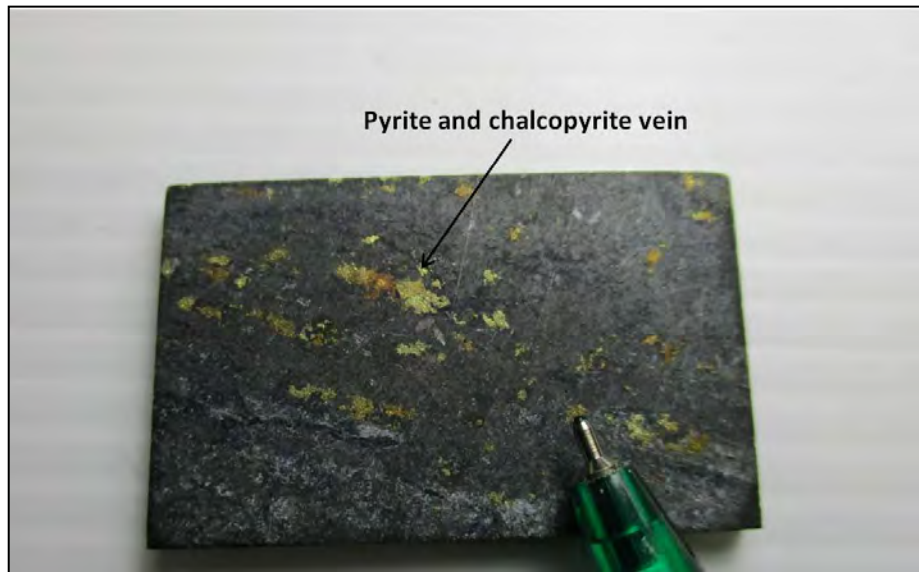
จากการศึกษาและเก็บตัวอย่างจากภาคสนามจะพบว่าแร่แมกนีไทต์มีลักษณะเนื้อแน่น สีดำสนิท บางตัวอย่างสามารถพบกระเปาะหรือสายแร่ ไพไรต์ ซาลโคไพไรต์ ที่มีขนาด 1 มิลลิเมตรหรือน้อยกว่าที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าในตัวอย่างจากภาคสนาม



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะแร่แมกนีไทต์ที่มีขนาดเนื้อแน่น A. แสดงลักษณะแมกนีไทต์ที่ซาลโคไพไรต์ B. เกิดแทรกในพื้นที่ว่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง

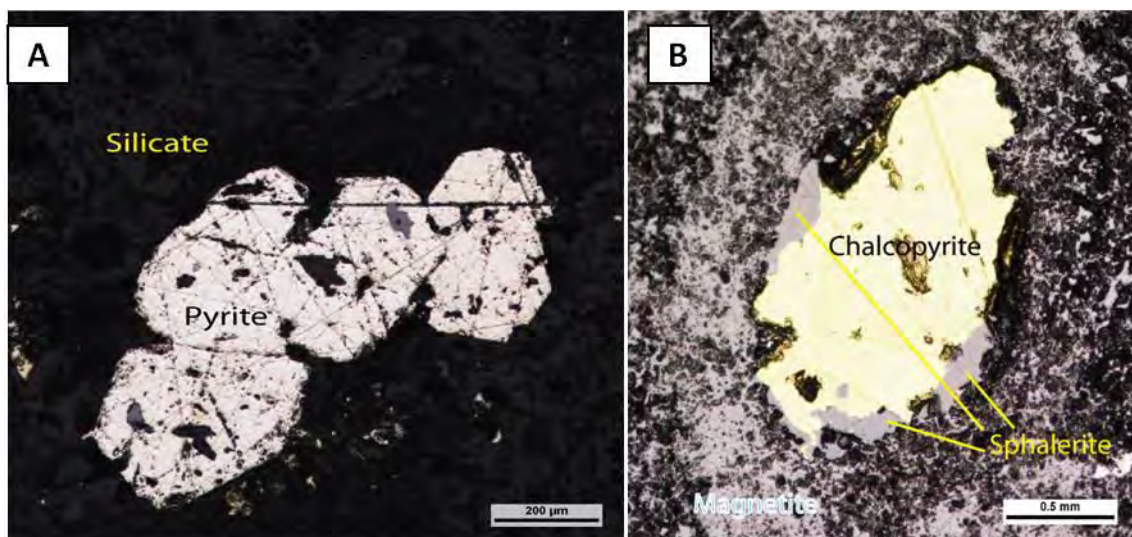
จากการศึกษาภายใต้กล้องจะพบแมกนีไทต์เป็นสีขาวเทา สะท้อนแสงได้ดี แต่น้อยกว่าแร่ไพไรต์ ผิวค่อนข้างขรุขระ เพราะแมกนีไทต์เป็นแร่ที่ค่อนข้างแข็ง ทำให้ยากต่อการขัด บางครั้งอาจพบซาลโคไพไรต์เข้าไปเกิดแทรกในช่องว่างภายในแมกนีไทต์

4.3.2 ลำดับที่ 2 ไพไรต์-ชัลโคไพไรต์-สฟาเลอไรต์ (Stage 2: Pyrite, Chalcopyrite, Sphalerite)



รูปที่ 4.5 แสดงสายแร่ไพไรต์-ชัลโคไพไรต์ ในตัวอย่างหินตัดเรียบ

พบสายแร่ขนาด 1-2 มิลลิเมตร จากการศึกษายาใต้กล้อง ใน stage นี้ประกอบด้วย แร่ไพไรต์, ชัลโคไพไรต์ และสฟาเลอไรต์ โดยแร่ไพไรต์ซึ่งมีสีเหลืองซีด และ แร่ชัลโคไพไรต์ที่มีสีเหลืองสว่างกว่าไพไรต์และ พบ สฟาเลอไรต์ซึ่งมีสีเทาอ่อนซึ่งมักเกิดร่วมกับชัลโคไพไรต์โดยทั้งสามแร่นี้พบเกิดในแมกนีไทต์เป็นลำดับที่สอง ซึ่งลักษณะลำดับการเกิดแร่ ชัลโคไพไรต์มักจะเกิดอยู่บริเวณรอบนอกคู่กับสฟาเลอไรต์ และอาจจะพบแร่ไพไรต์และชัลโคไพไรต์เกิดเป็นกะเปาะหรือเกิดตามช่องว่างในแมกนีไทต์



รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะของแร่ไพไรต์ที่มีสีขาวเทาอ่อนเนื่องจากมีคุณสมบัติสะท้อนแสงได้ดี (A), และแสดงลักษณะชัลโคไพไรต์ที่เกิดอยู่ในแมกนีไทต์และมีแร่สฟาเลอไรต์เกิดร่วมกับชัลโคไพไรต์ด้วย (B)

4.4 รีโทรเกรดสการ์น (retrograde skarn)

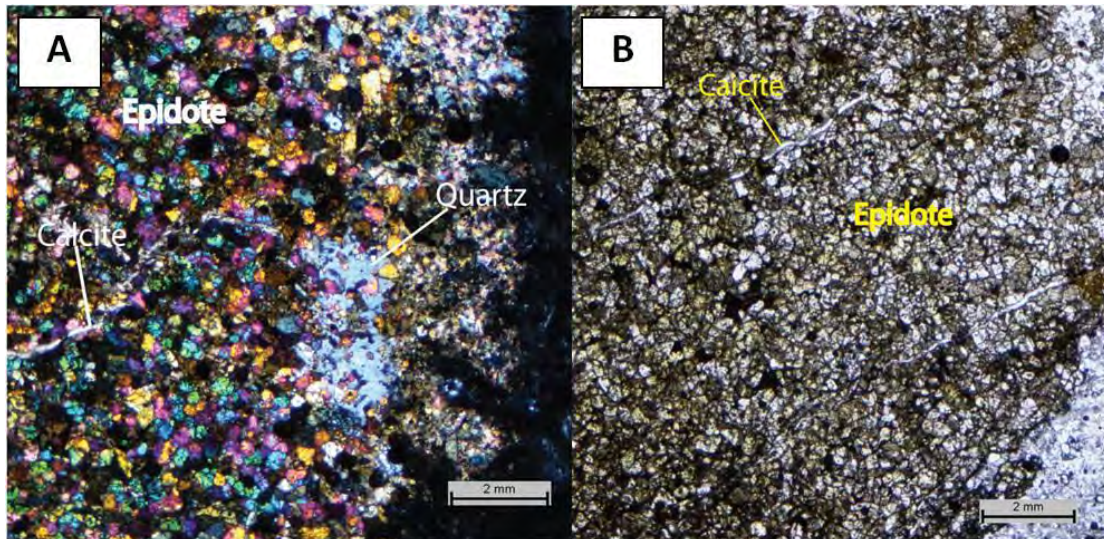
เกิดหลังจากสการ์นที่เกิดจากการแทรกดันของหินอัคนีบาดาล (prograde skarn) ซึ่งรีโทรเกรดสการ์นนี้เกิดจาก น้ำแร่ร้อนที่มาพร้อมกับการเกิดหินอัคนีบาดาลมาผสมกับน้ำฝนทำให้อุณหภูมิลดลง และเมื่อมี รอยแตกก็จะแทรกเข้าไปและเปลี่ยนแปลงแร่เดิมกลายเป็นหินท้องที่กลายเป็นแร่ใหม่



รูปที่ 4.7 แสดง retrograde skarn พบในหินภูเขาไฟมีลักษณะเป็นสายแร่คลอไรต์-เอปีโดท (Chlorite-epidote vein) และสายแร่แคลไซต์ (calcite vein)

4.4.1.เอปีโดท (Epidote)

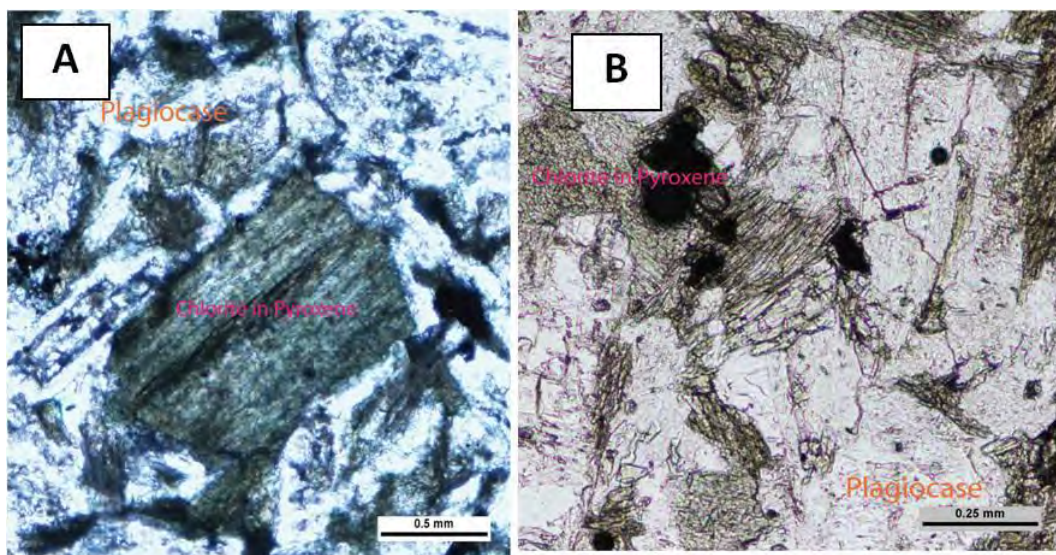
แร่เอปีโดท มีสีเขียวอ่อน มีความคมชัด (relief) (รูปที่ 4.8 B)ของขอบเม็ดแร่สูง มีค่าค่าไบรีฟริงเจนซ์ (birefringence) (รูปที่ 4.8 A) สูงทำให้ออกสีสังขตเจน นอกจากนี้ยังพบสายแร่แคลไซต์ (Calcite vein) ที่ตัด และ แร่ ควอตซ์



รูปที่ 4.8 แสดงแร่เอพิโดทภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่านโดยไมใช่ cross section (A), และใช่ cross section (B)

4.4.2 คลอไรต์ (Chlorite)

เป็นแร่ที่เกิดในอุณหภูมิต่ำ มีสีเขียวอ่อน เป็นแร่ทุติยภูมิที่มักเกิดแทนที่ในแร่ไปโอโทต์, ไพรอกซีน และ ฮอร์นเบลน เป็นต้น



รูปที่ 4.9 แสดงแร่คลอไรต์ A,B. ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่านโดยไมใช่ ซึ่งแร่คลอไรต์ เข้าไปแทนที่ในแร่ไพรอกซีน ซึ่งทำให้เราเห็นแร่ไพรอกซีน จากสีน้ำตาลเป็นสีเขียว

บทที่ 5 อภิปรายผลและสรุปผลการศึกษา

5.1 อภิปรายผลการศึกษา

จากข้อมูลที่กล่าวมาในบทต้น ๆ สามารถสรุปได้ว่าแหล่งแร่เหล็กเขาเหล็กเป็นแหล่งแร่แบบสการ์นซึ่งมีองค์ประกอบที่มีโซนการ์เนตในส่วนของเอกโซสการ์น (exoskarn) และมีโซนไพรอกซีนในส่วนของหินภูเขาไฟ มีโซนหินอ่อนแต่การศึกษาในครั้งนี้ไม่พบโวลัสโตไนท์ที่เห็นเป็นโซนชัดเจนในส่วนของเอนโดสการ์น (endoskarn) คาดว่าได้ถูกแทนที่ด้วยโซนแร่แมกนีไทด์ สาเหตุที่เชื่อว่าเอนโดสการ์นถูกแทนที่โดยแมกนีไทด์เพราะพบการ์เนตสการ์นถูกห่อหุ้มด้วยแร่แมกนีไทด์ในโซนแร่แมกนีไทด์ ประกอบกับความสัมพันธ์ของโซนการ์เนต (limestone protolith) ซึ่งอยู่ติดกับโซนแมกนีไทด์ทางด้านหินเพดาน (Hanging wall) และโซนไพรอกซีนพบเกิดติดกับแมกนีไทด์โซนทางด้านหินพื้น (foot wall) ประกอบกับไม่พบหินอัคนีแทรกซอนในบริเวณใกล้เคียงที่คาดว่าน่าจะเป็นแหล่งให้ความร้อน โดยหินอัคนีแทรกซอนขนาดใหญ่ที่มีองค์ประกอบเป็นไดออไรท์ อยู่ไกลออกไปไม่ต่ำกว่า 1 กิโลเมตรหากหินอัคนีแทรกซอนอันนี้จะเป็นตัวทำให้เกิดโพรเจคสการ์นในพื้นที่เขาเหล็กควรจะพบสการ์นครอบคลุมพื้นที่จากบริเวณเขาเหล็กจนถึงบริเวณหินอัคนีบาดาลในระยะ 1 กิโลเมตร แม้ว่าจะมีการพบหินแคลซ์ซิลิเกตในบริเวณตอนเหนือของเหมืองใกล้ทางเข้าโรงโม่ของบริษัทซึ่งคาดว่าจะเป็ผลมาจากหินอัคนีแทรกซอนที่อยู่ทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของเขเหล็ก

โดยสการ์นเขาเหล็กพบเกิดในหินเขี้ยวที่ในส่วนของหินปูนได้ดีกว่าในหินภูเขา ซึ่งแสดงจากโซนการ์เนตพบเฉพาะในส่วนที่เป็นหินปูน ในส่วนของหินภูเขาไฟพบเพียงโซนไพรอกซีนโดยเฉพาะโซนที่อยู่ในไกลจากตัวหินอัคนีบาดาล (ปัจจุบันคือโซนแร่แมกนีไทด์) นอกจากนั้น ไพรอกซีนสการ์นยังเกิดลักษณะเป็นสายแร่ขนาดเล็กและเป็นกระเปาะซึ่งแสดงให้เห็นว่าหินเขี้ยวภูเขาไฟเป็นหินต้นกำเนิดสการ์นที่ด้อยกว่าหินปูน ซึ่งสอดคล้องกับแหล่งแร่สการ์นที่ให้แร่โลหะชนิดต่างๆมักจะไม่ค่อยมีการรายงานหรือมีการศึกษา โดยเฉพาะที่เป็นแหล่งขนาดใหญ่อาจจะเป็นผลมาจากการสำรวจแหล่งแร่สการ์นและการทำเหมืองให้ความสนใจที่แหล่งแร่สการ์นที่เกิดในหินต้นกำเนิดที่เป็นหินปูนเนื่องจากให้แหล่งแร่ขนาดใหญ่ เช่น Grasberg ในประเทศอินโดนีเซีย (Sillitoe, 2007) และ Antamina ในประเทศเปรู (Meinert, 2005)

จากหลักฐานที่พบโซนคาร์เนตในตัวโซนแร่แมกนีไทต์เป็นหลักฐานว่าแร่แมกนีไทต์เกิดหลังจากการเกิดโพเทรคสการ์น แต่เกิดก่อนรีโทรเทรคสการ์นเมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิของการเกิดแร่ในรีโทรเทรค

หินอัคนีบาดาลที่ทำให้เกิดสการ์น โดยจากการเทียบเคียงข้อมูลของหินอัคนีบาดาล เราสันนิษฐานว่าเป็นหินไดออไรต์ เนื่องจากในบริเวณแหล่งแร่สการ์นที่อยู่ในแนวคดโค้งเลย (Loei-Phetchabun Fold Belt) เช่น ภูคำ, ภูลิ้น, ภูทับฟ้า มีหินอัคนีบาดาลที่เป็นแหล่งให้ความร้อนในการแปรสัมผัส คือหิน ไดออไรต์ และ แกรโนไดออไรต์ (Khin Zaw et al., 2007)

และจากการศึกษาตัวสินแร่เหล็ก แทรกดันขึ้นมาในตัวหินอัคนีบาดาล พบว่าเป็นแร่แมกนีไทต์ส่วนใหญ่ โดยมีลำดับการเกิดแร่เป็น 2 ลำดับ คือ ลำดับที่ 1 คือ แมกนีไทต์ และ ลำดับที่ 2 คือ ไพไรต์, ซาลโคไพไรต์ และ สฟาเลอไรต์ที่มีลักษณะเป็นสายแร่ตัดเข้ามาในตัวแร่แมกนีไทต์

5.2 สรุปผลการศึกษา

1. หินท้องที่ (country rock) มี 2 ชนิดคือ หินภูเขาไฟ (volcaniclastic rock) ประกอบด้วย andesitic sandstone และ andesitic breccia และ หินปูน (limestone) ส่วนใหญ่ถูกแปรเปลี่ยนไปเป็นหินอ่อน (marble) และ แคลก์ซิลิเกต (Calc-silicate)
2. แหล่งแร่เหล็กเป็นแบบแหล่งแร่สการ์นที่ให้เหล็กเป็นส่วนใหญ่ (iron skarn) และแร่เหล็กส่วนใหญ่เป็นแร่แมกนีไทต์ โดยสายแร่เหล็กวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ เอียงเทค่อนข้างชันทางด้านทิศตะวันออกเฉียง มีลักษณะเนื้อแน่น (Massive)
3. เป็นแหล่งแร่สการ์นทั้ง 2 แบบคือ endoskarn และ exoskarn แต่ endoskarn ซึ่งเกิดในหินไดออไรต์ ถูกแทนที่ด้วยแร่แมกนีไทต์
4. exoskarn แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ
 - 1 Prograde skarn แบ่งออกเป็นโซน 3 โซน คือ โซนคาร์เนต, โซนไพรอกซีน และ โซนหินอ่อน (ไม่พบ โซนโวลาสโทไนต์)
 - 2 Retrograde skarn พบในหินภูเขาไฟมีลักษณะเป็นสายแร่ คลอไรท์-เอปีโดท (chlorite-epidote vein) และสายแร่แคลไซต์ (calcite vein) ให้แร่ เอปีโดท และ คลอไรท์

5. ในการันต์โซนพบแร่คาร์เนตที่มีองค์ประกอบของแคลเซียมและอะลูมินาสูง แร่แคลไซต์ และแร่ควอตซ์ ซึ่งคาดว่าเข้าไปเกิดในตอนหลังเกิดโพเทรคสการ์น ส่วนของไพรอกซีนโซนพบแร่โคลโนไพรอกซีน เป็นส่วนใหญ่ และแร่แพลสิจีโอเคลสซึ่งเป็นแร่จากหินเดิม (volcaniclastics)

6. ลำดับการเกิดแร่ในสินแร่เหล็ก (ore body) ประกอบด้วย 2 ลำดับคือ

1. ลำดับที่ 1 คือ แมกนีไทต์

2. ลำดับที่ 2 คือ ไพไรต์ ซาลโคไพไรต์ และ สฟาเลอไรต์

7. การเกิดแร่แมกนีไทต์เกิดขึ้นก่อนการเกิดแร่โพเทรคสการ์น

8. หินไดโอไรท์ซึ่งเป็นหินอัคนีแทรกซอน ถูกแทนที่ด้วยแร่แมกนีไทต์ ซึ่งหินอัคนีแทรกซอนนี้มีขนาดเล็ก ทำให้เกิดการแปรเปลี่ยนแบบสัมผัสในบริเวณแคบๆ ต่างจากหินอัคนีแทรกซอนในบริเวณแหล่งแร่สการ์น ที่เกิดขึ้นทางด้านตอนเหนือของเขาเหล็ก มีขนาดของหินอัคนีแทรกซอน (แกรโนไดโอไรท์, ไดโอไรท์) ที่มีขนาดใหญ่กว่า

9. แหล่งแร่สการ์น ที่มีหินเห้ำ เป็นหินภูเขาไฟ จะมีผลต่อการแปรเปลี่ยนสัมผัส ทำให้เกิดสการ์น เป็นบริเวณแคบๆ และอาจส่งผลให้เกิดแหล่งแร่ที่มีขนาดเล็ก

เอกสารอ้างอิง

- จารุศิริ และคณะ, 2002, วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย : การประมวลและการวิเคราะห์แนว-
ใหม่. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ (Section T) ปี ที่ 1 ฉบับที่1(2545)
- Kamvong, Kin 2009, The origin and evolution of skarn-forming fluids from the Phu Lon deposit, northern
Loei Fold Belt, Thailand: Evidence from fluid inclusion and sulfur isotope studies. Journal of
Asian Earth Sciences, 2 May 2009, p.624–633.
- Meinert, 1992, Skarns and skarn deposits. Department of Geology, Washington State University
- Salam, 2013, A geological, geochemical and metallogenic study of the Chatree epithermal deposit,
Petchabun Province, central Thailand. Doctor of Philosophy, University of Tasmania
- Khin Zaw et al., 2014, Tectonics and metallogeny of mainland Southeast Asia – A review and
contribution. Gonwana Research (2013), p.26.
- Khositanont, 2008. Gold and Iron-gold mineralization in Sukhothai and Loei – Petchabun Fold Belts.
Doctor of Philosophy, Chiangmai University
- Khin Zaw et al., 2007, Geology and genesis of Phu Thap Fah gold skarn deposit, northeastern Thailand:
implications for reduced gold skarn formation and mineral exploration. GEOTHAI'07
International Conference on Geology of Thailand: Towards Sustainable Development and
Sufficiency Economy

Teera Kamvong, Khin Zaw, and Anthony Harris, 2006, Geology and geochemistry of the Phu Lon copper-gold skarn deposit at the northern Loei Fold Belt, Northeast Thailand. ASEG Extended Abstracts 2006: 18th Geophysical Conference: pp. 1-9.

Soysouvanh, 2016, Ore Mineralogy and Geochemistry of the Phu Kham Porphyry Copper-Gold Deposit, Hosted within N-E Fault Zone, Lao PDR. Procedia Chemistry Volume 19, 2016, p.961-968.

R. H. Sillitoe, Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region

Meinert, 2005, World Skarn Deposits. Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology 100th Anniversary Volume, p. 299-336.

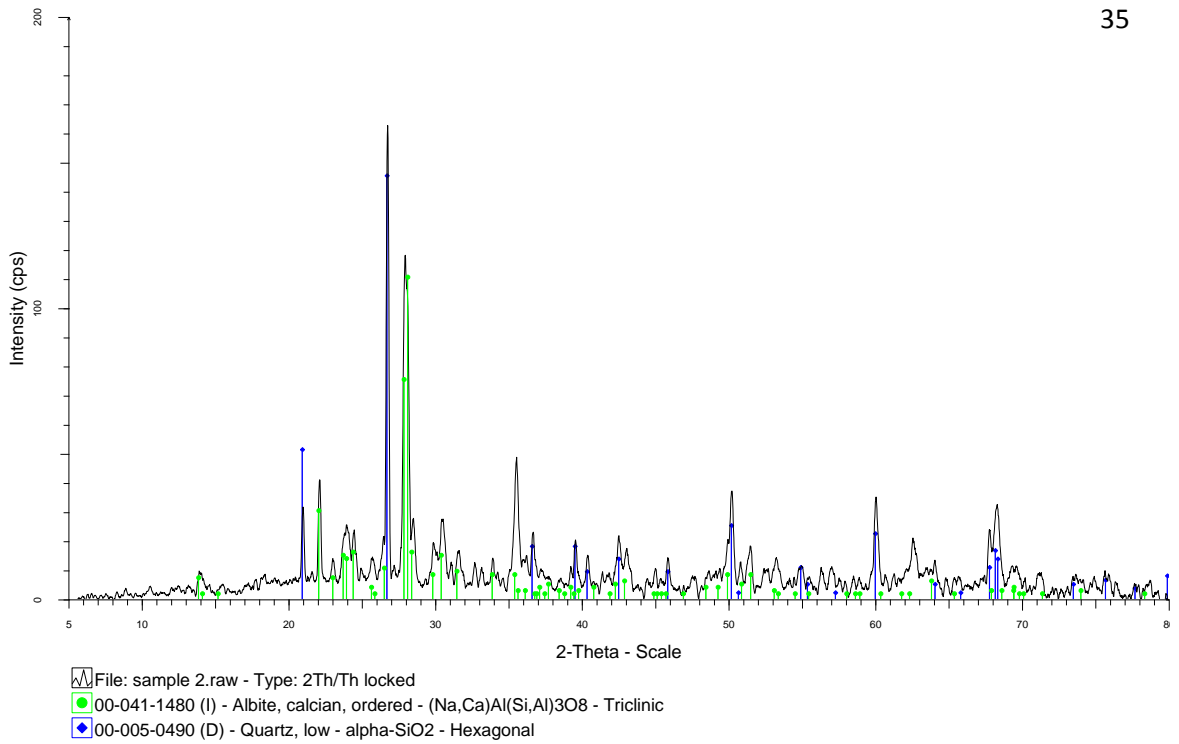
ภาคผนวก

ตารางผลการวิเคราะห์แผ่นหินขัดเงา

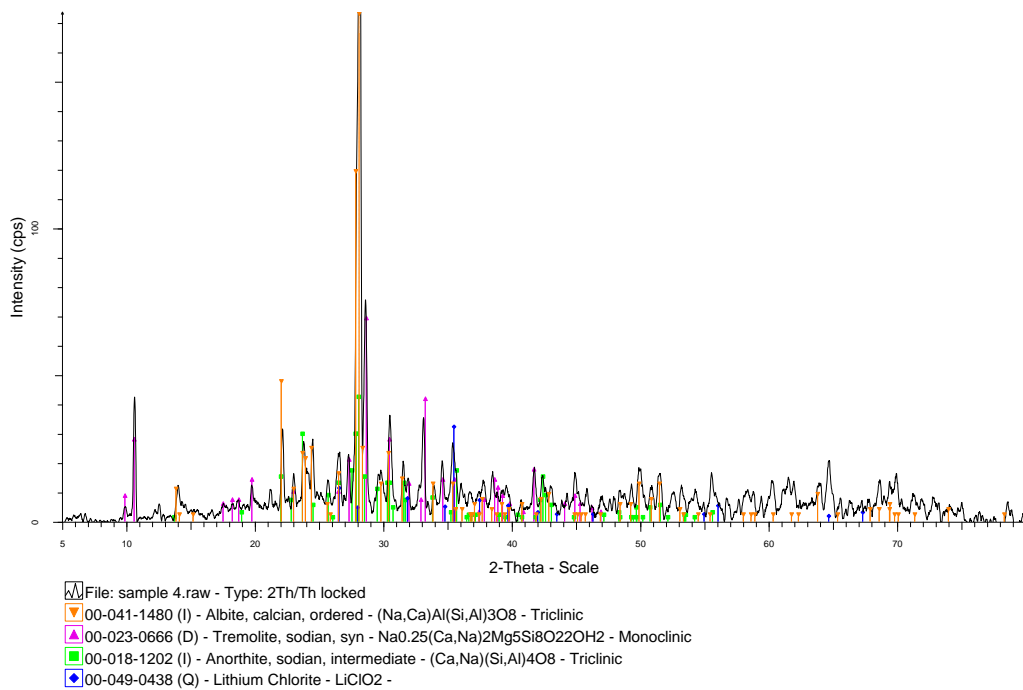
เป็นการวิเคราะห์เพื่อศึกษาแร่ภายในสินแร่หลักด้วยเครื่องมือ Electron probe micro-analyzer (EPMA) โดยแร่ที่พบได้แก่ แมกนีไทต์ ไพไรต์ ซัลโคไพไรต์ สฟาเลอไรต์

No.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MnO	FeO	MgO	S	Zn	Cu	Total	Comment
5	0	0	0	0	51.307	0	48.055	0	0.002	99.364	Pyrite
6	0	0	0	0	50.108	0	48.558	0	0	98.666	Pyrite
25	0.494	0.032	0	0.052	94.919	0	0	0	0	95.497	Magnetite
26	0.107	0.034	0	0.08	94.92	0.003	0	0	0	95.144	Magnetite
29	0	0	0	0	30.805	0	34.351	0.071	35.532	100.759	Chalcopyrite
30	0	0	0	0	30.905	0	34.029	0	35.789	100.723	Chalcopyrite
31	0	0	0	0	2.499	0	34.839	61.404	0.006	98.748	Sphalerite
32	0	0	0	0	2.74	0	34.021	62.74	0.003	99.504	Sphalerite
36	0	0	0	0	51.364	0	47.407	0	0.033	98.804	Chalcopyrite
37	0	0	0	0	51.329	0	47.555	0	0.006	98.89	Chalcopyrite
38	0	0	0	0	45.501	0	47.905	0	0.033	93.439	Chalcopyrite
42	0.934	0.262	0	0.137	94.277	0.019	0	0	0	95.629	Magnetite
43	1.169	0.397	0	0.203	92.82	0.175	0	0	0	94.764	Magnetite

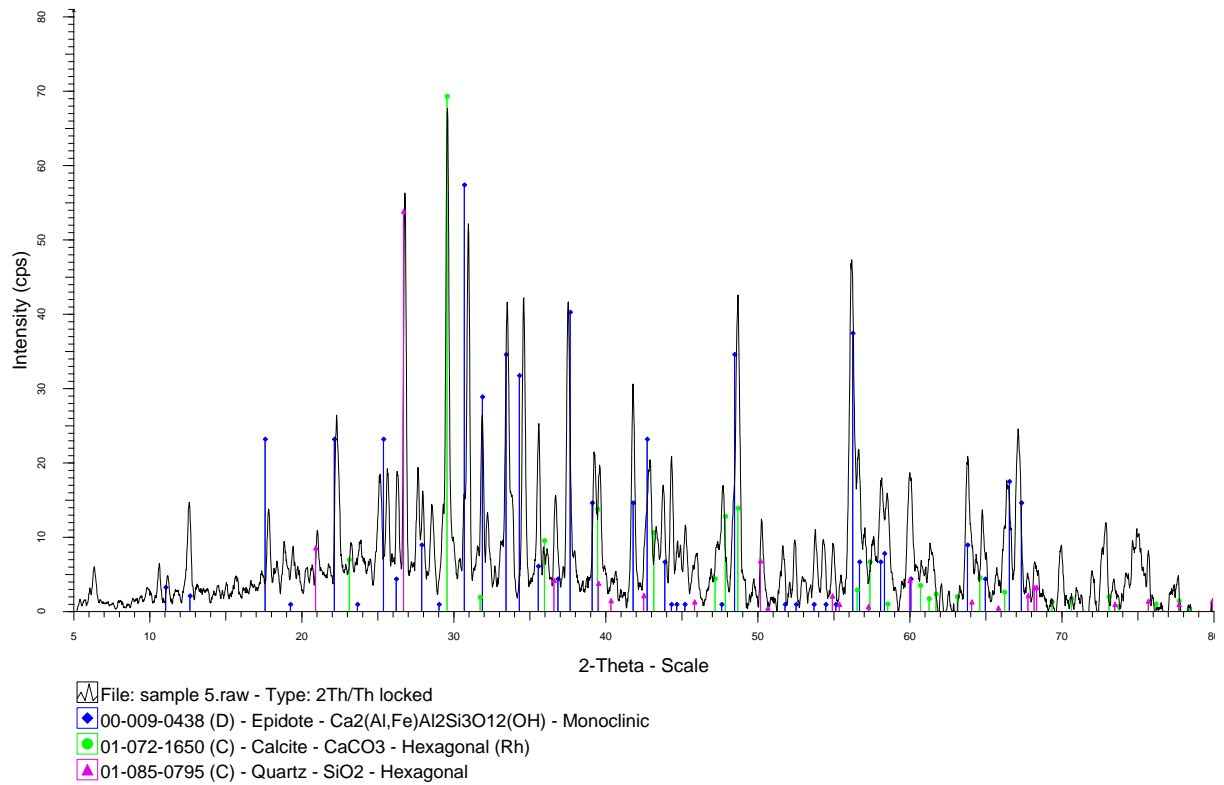
ตารางที่ 6.1 แสดงตัวอย่างการตรวจสอบแร่ด้วยเครื่องมือ Electron probe micro-analyzer



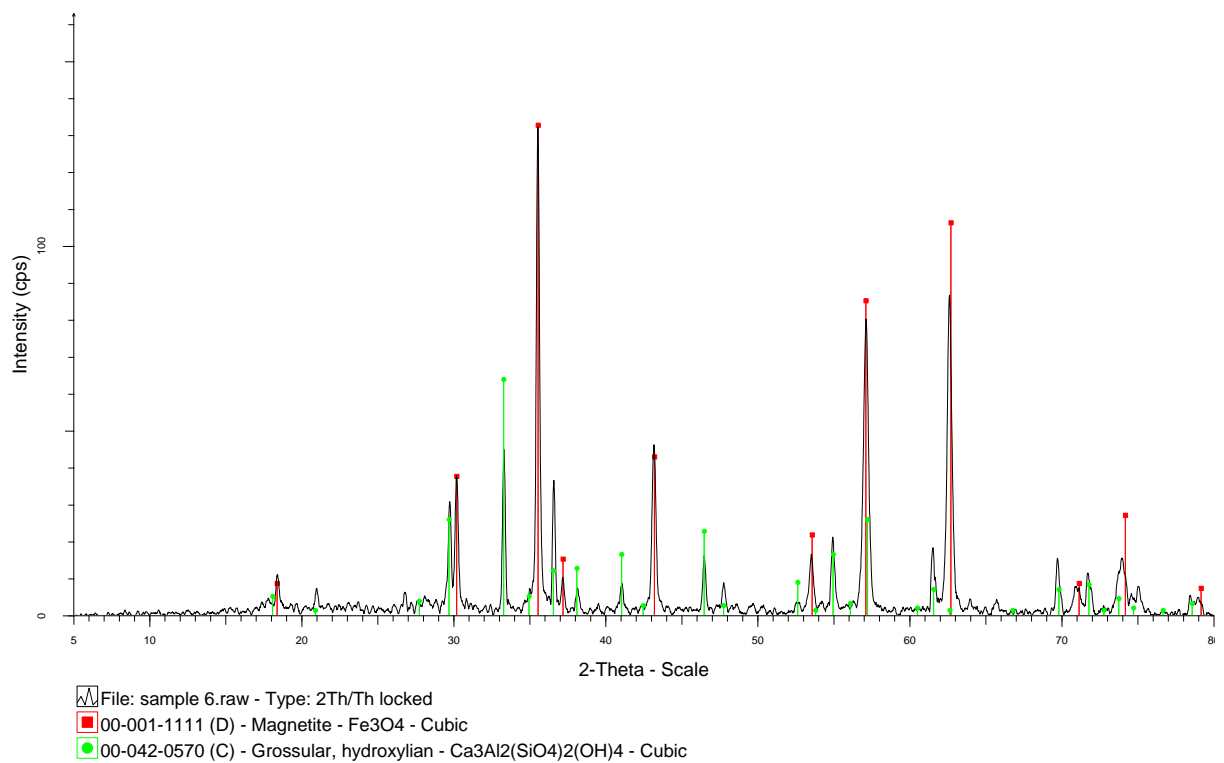
รูปที่ 6.1 แสดงการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี XRD พบแร่ควอตซ์มากที่สุด รองลงมาคือแร่แพลกจิโอ-เคลส (albite)



รูปที่ 6.2 แสดงการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี XRD พบแร่แพลกจิโอ-เคลส (albite) มากที่สุด รองลงมาพบแร่ทรีโมไลต์ อนอร์ไทต์ และ คลอไรต์ ตามลำดับ



รูปที่ 6.3 แสดงการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี XRD พบแร่แคลไซต์มากที่สุด รองลงมาพบแร่เอปีโดท และแร่ควอตซ์ ตามลำดับ



รูปที่ 6.3 แสดงการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี XRD พบแร่แมกนีไทต์มากที่สุด รองลงมาพบแร่การ์เนต ตามลำดับ