



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การเกิดแหล่งแร่และการแปรเปลี่ยนของหินที่ของแหล่งแร่ทองคำเขา
พนมพา อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร

ชื่อนิสิต นายจักรกฤษณ์ วิเชียรเทียบ

ภาควิชา ธรณีวิทยา

ปีการศึกษา 2558

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเกิดแหล่งแร่และการแปรเปลี่ยนของหินท้องถิ่นของแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพา

อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร

นาย จักรกฤษณ์ วิเชียรเทียบ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

**MINERALIZATION AND ALTERATION OF KHAO PHANOM PHA GOLD
DEPOSIT, AMPHOE WANG SAI PHUN, CHANGWAT PHICHIT**

Mr. JUCKRIT VICHEANTEAB

**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE BACHELOR OF SCIENCE, DEPARTMENT OF
GEOLOGY, CHULALONGKORN UNIVERSITY, 2015**

วันที่ส่ง

____/____/____

วันที่อนุมัติ

____/____/____

ลงชื่อ _____

(อาจารย์ ดร.อภิสิทธิ์ ซาล้า)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

การศึกษาการเกิดแหล่งแร่และการแปรเปลี่ยนของหินที่ของแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพา

อำเภอวังทรายพูน จังหวัด พิจิตร

จักรกฤษณ์ วิเชียรเทียบ

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

โทร : 0985102291 อีเมล : Ton3013@hotmail.com

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ที่เขาเจ็ดยอด อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร แหล่งแร่เขาพนมพาเป็นแหล่งแร่ทองคำที่มีการทำเหมือง โดยชาวบ้านตั้งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 และ เป็นช่วงเวลาสั้นๆ ที่องค์การบริหารส่วนจังหวัดพิจิตรได้เข้ามาดำเนินการทำเหมือง ปัจจุบันยังคงมีการทำเหมืองแร่ทองคำโดยชาวบ้านในท้องที่โดยใช้เครื่องเจาะและเครื่องจักรการเกษตร ลักษณะธรณีวิทยาของเขพนมประกอบด้วย หินภูเขาไฟ (Lava) หินแก้วภูเขาไฟ เช่น หินแอนดิซิติกลาฟิลลิทัฟ หินไรโอไลติกลาฟิลลิทัฟ หินไมโครไดออไรต์ และแอนดิซิติกไดค์ แร่ทองคำเขาพนมพาเกิดในลักษณะ สายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทองคำ แทรกตัดเข้ามาในหินภูเขาไฟและหินแก้วภูเขาไฟ สายแร่มีความกว้างประมาณ 1-2 เมตรวางตัวอยู่ในแนวเหนือใต้ มีแนวการเอียงเทประมาณ 70 องศา ซึ่งส่วนใหญ่กระจายทั่วไปอยู่บริเวณตอนกลางและฝั่งตะวันออกของเขพนมพา จากการลำดับอายุของการเกิดแหล่งแร่ พบว่ามีอย่างน้อย 3 ช่วง ในช่วงแรกเป็นช่วงก่อนการเกิดแร่ทองคำ เกิดกระบวนการแปรสัณฐาน ทำให้การแปรเปลี่ยนแบบแคลก์-ซิลิเกตและ อันเนื่องจากการแทรกดันของหินไมโครไดออไรต์ พบอยู่บริเวณตะวันตกเฉียงใต้ของเขพนมพา ในช่วงที่สองเป็นช่วงของการเกิดแร่ทองคำ เกิดกระบวนการแทนที่ (แปรเปลี่ยน) ของแร่ทำให้เกิดสการ์น และมีสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทองคำ โดยแร่ซัลไฟด์ที่พบในสายแร่นี้ประกอบแร่ไพไรต์ ไพโรไทต์เป็นส่วนใหญ่ และแร่คาลโคไพไรต์บ้างเล็กน้อย การแปรเปลี่ยนของหินภูเขาไฟและหินแก้วภูเขาไฟที่สัมพันธ์กับสายแร่นี้คือโพแทสสิก (ไปโอไทต์-ไพไรต์) พบอยู่บริเวณตะวันตกเฉียงใต้ และตอนกลางของเขพนมพา สายแร่ควอตซ์-อพิโดต-คลอไรต์ พบตัดสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทองคำ และหินภูเขาไฟตลอดจนหินไมโครไดออไรต์ทั่วไปโดยเฉพาะทางด้านใต้ของพื้นที่ แร่ซัลไฟด์ที่พบ ได้แก่ แร่ไพไรต์และคาลโคไพไรต์ การแปรเปลี่ยนที่พบเป็นแบบโพไพริติก (คลอไรต์-อพิโดต-แคลไซต์-ไพไรต์) ในหินภูเขาไฟและหินแก้วภูเขาไฟ ในช่วงที่สาม เป็นช่วงหลังเกิดแร่ทองคำ พบสายแร่ควอตซ์ ทั่วไปโดยเฉพาะทางตอนเหนือของพื้นที่ (กระจายตัวบริเวณเขาหนองแถม) ทำให้เกิดการแปรเปลี่ยนแบบซิลิซิฟิเคชันแต่ ไม่พบแร่ทองคำจากการศึกษาสิลาวรรณและแร่วิทยา สามารถสรุปได้ว่าแหล่งแร่เขาพนมพาเป็นแหล่งแร่ทองคำแบบสการ์น ซึ่งมีสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทองคำ เป็นสายแร่ที่ให้ทองซึ่งตัดเข้ามาในหินภูเขาไฟ และหินแก้วภูเขาไฟ และแร่ซัลไฟด์ที่พบ ได้แก่ แร่ไพโรไทต์มากที่สุด รองลงมาเป็นแร่ไพไรต์และแร่คาลโคไพไรต์พบน้อยที่สุด การแปรเปลี่ยนที่พบในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ การแปรเปลี่ยนแบบแคลก์-ซิลิเกต แบบโพแทสสิก แบบโพไพริติก และการแปรเปลี่ยนแบบซิลิซิฟิเคชัน

คำสำคัญ: เขาพนมพา ทองคำ หินภูเขาไฟ แร่ไพไรต์ โพแทสสิก

**MINERALIZATION AND ALTERATION OF KHAO PHANOM PHA GOLD DEPOSIT,
AMPHOE WANG SAI PHUN, CHANGWAT PHICHIT**

Juckrit Vicheanteab

Department of geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

Tel : 0985102291 Email : Ton3013@hotmail.com

Abstract

Study area is located at Tambon Khao Chet Luk, Amphoe Wang Sai Phun, Changwat Phichit. Phanom Pha Gold mining is managed by villager since the year 2544 and a short time The Ministry of Phichit had mining operations. Currently, there is still gold mining by local residents using drilling rigs and equipment. Geology in Khao Phanom Pha consist of volcanic rock, pyroclastic rock such as andesitic lapilli tuff, rhyolitic lapilli tuff, microdiorite and andesitic dyke. Gold in Khao Phanom Pha took place in quartz-chlorite-sulfide-gold vein that intrude into the volcanic rock and pyroclastic rock. Vein with a width of about 1-2 meters in a north-south orientation and dip angle about 70 degrees Which is mainly distributed in the central and eastern of the Khao Phanom Pha. The Paragenesis of the mineralization found that there are at least three sessions, the first session is Pre-mineralization that contact metamorphism occurs. It causes calc-silicate alteration and due to intrude of microdiorite found in the area southwest of Khao Phanom Pha. Second session is Major-gold mineralization that metasomatism occurs and makes skarn and has quartz-chlorite-sulfide-gold vein. Sulfide mineral are founded in this vein that consist of pyrite, pyrrhotite and chalcopyrite. Alteration of volcanic rock and pyroclastic rock that relate with this vein is potassic (biotite-pyrite) alteration founds in the area southwest of Khao Phanom Pha and central of Khao Phanom Pha. Quartz-chlorite-epidote vein cross cutting the quartz-chlorite-sulfide-gold vein, volcanic rock and microdiorite that found locally and almost found in the south of Khao Phanom Pha. Sulfide mineral that found in quartz-chlorite-epidote vein is pyrite and chalcopyrite and alteration is Propylitic (chlorite-epidote-calcite-sulfide) alteration in volcanic rock and pyroclastic rock. The third session is Post-mineralization that found quartz vein in the area north of Khao Phanom Pha and Khao Nongkham causes silicification but is not found gold. Petrography and mineralogy study can be conclude that Khao Phanom Pha gold mining is skarn deposit which quartz-chlorite-sulfide-gold vein is the main gold mineral that intrude into the volcanic rock and pyroclastic rock and sulfide mineral is almost pyrrhotite, subordinate pyrite and a bit of chalcopyrite. Alteration in the Khao Phanom Pha is calc-silicate, potassic alteration, propylitic alteration and silicification

Keywords: Khao Phanom Pha, Gold, Volcanic rock, Pyrrhotite, Potassic

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อ.ดร. อภิสิตธิ์ ซาล่า อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความรู้ ชี้แนะแนวทาง และคอยแนะนำ ทุก ๆ สิ่ง เพื่อสามารถเรียนรู้ประสบการณ์ในการทำงาน พร้อมให้คำปรึกษาในทุกขั้นตอนของการวิจัยโดยละเอียด ซึ่งทำให้การศึกษาในครั้งนี้ประสบความสำเร็จออกมาได้ด้วยดี และตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้ ขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยสนับสนุนการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และรวมไปถึงเพื่อนๆ ผู้ร่วมโครงการวิจัย นางสาวชนิภัส พันธุ์อำพล นางสาวสุภัชชา อินหม่อม และนางสาววทันยา พงษ์รัตน์ และเพื่อนๆ อีก 2 คน นายวรวิษณุ เนื้อไม้ และนางสาว สภัทษา คำรงมณี ที่ช่วยในส่วนของ การออกภาคสนามเก็บตัวอย่าง พร้อมกับถ่ายรูปแบบ ให้คำแนะนำเข้าป่าเขาโดยตลอดระหว่าง การออกภาคสนามและ ขอขอบคุณชาวบ้าน และ บุคคลในบริเวณเหมือง ที่ให้ความอนุเคราะห์ ในการเข้าถึงพื้นที่เขาพนมพา เพื่อ การศึกษาในครั้งนี้ และให้ข้อมูลเบื้องต้นของการเกิดแหล่งแร่ทองคำ รวมถึงอนุเคราะห์ตัวอย่างแร่ทองคำใน สายแร่ควอตซ์ในการศึกษาครั้งนี้

ในส่วนของ การวิจัย ขอขอบคุณ คุณจิระประภา เจ้าหน้าที่บริการวิทยาศาสตร์ที่ช่วยวิเคราะห์ ตัวอย่าง (Powder) โดยเครื่อง XRD คุณโสภิต เจ้าหน้าที่บริการวิทยาศาสตร์ ที่ช่วยวิเคราะห์แผ่นหินขัดเงา ด้วยเครื่อง EPMA คุณประจัน และคุณสุริยะเจ้าหน้าที่ประจำห้องตัดหิน ที่ช่วยแนะนำการจัดทำแผ่น หินบาง รวมถึงขอขอบคุณบุคลากรทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการประสานงาน

และสุดท้ายขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่และญาติพี่น้อง เพื่อน พี่ น้อง ธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ทุกคนที่เป็นกำลังใจ เป็นแรงผลักดัน และ คอยให้คำแนะนำติชมการศึกษาโครงการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณ อ.ดร. อภิสิตธิ์ ซาล่า อีกครั้ง ที่ช่วยเป็น อาจารย์ที่ปรึกษา และให้กำลังใจผมมาโดยตลอด ในทุกๆ เรื่องที่ผมกล่าวมาข้างต้นนี้

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 : บทนำ	
1.1 บทนำ	1
1.2 การเข้าถึงพื้นที่ศึกษา	3
1.3 ลักษณะภูมิประเทศ	4
1.4 ลักษณะภูมิอากาศ	5
1.5 เอกสารและงานวิจัยทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
1.6 วัตถุประสงค์	7
1.7 ขอบเขตงานวิจัย	7
1.8 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.9 ขั้นตอนการวิจัย	8
1.10 แผนดำเนินงาน	10
บทที่ 2 : ธรณีวิทยา	
2.1 ธรณีวิทยาบริเวณกว้าง (Regional geology)	11
2.2 การลำดับชั้นหิน (Stratigraphy)	12
2.3 ธรณีโครสร้าง (Structure geology)	15

หัวข้อ	หน้า
บทที่ 3 : ธรณีวิทยาแหล่งแร่	
3.1 คำนำ	16
3.2 การสำรวจและการเก็บตัวอย่าง	16
3.3 ธรณีวิทยาแหล่งแร่	18
3.4 ธรณีโครงสร้าง	28
บทที่ 4 : การเกิดแหล่งแร่และการแปรเปลี่ยนของหินท้องถิ่น	
4.1 การเกิดแหล่งแร่ (Mineralization)	30
4.2 แร่วิทยา (Mineralogy)	38
4.3 การแปรเปลี่ยน (Alteration)	44
บทที่ 5 : การอภิปรายและสรุปผลการทดลอง	56
บทที่ 6 : เอกสารอ้างอิง	64
บทที่ 7 : ภาคผนวก	65

สารบัญรูปรูปภาพ

รูป		หน้า
รูปที่ 1.1	แสดงแนวภูเขาไฟเชียงราย-เชียงใหม่ แนวภูเขาไฟเชียงของ-ลำปาง แนวตะเข็บน่าน-จันทบุรี และบริเวณพื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในแนวภูเขาไฟเลย -เพชรบูรณ์-นครนายก (Panjasawatwong et al., 1997, 2008)	2
รูปที่ 1.2	ภาพแผนที่ภูมิประเทศแสดงพื้นที่ศึกษา (พิรณัฐ วิเศษศรี, 2552)	3
รูปที่ 1.3	พื้นที่ทำเหมืองทองโดยชาวบ้าน	4
รูปที่ 1.4	ลักษณะพื้นที่แหล่งทองคำเขาพนมพา ซึ่งมีการทำเหมืองโดย อบจ.พิจิตร (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)	5
รูปที่ 1.5	ภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย	8
รูปที่ 2.1	รูปเสื่อกบนซ้ายแสดงการกระจายตัวของแนวภูเขาไฟ เลย-เพชรบูรณ์-นครนายก และแผนที่ธรณีวิทยาพื้นที่ทับคล้อ-ชนแดน-วังโป่งของเหมืองแร่ทองคำตรี (Salam et al., 2014)	11
รูปที่ 2.2	การลำดับชั้นหินของเหมืองแร่ทองคำชาติร ตอนกลางของประเทศไทย (Salam et al., 2014)	14
รูปที่ 2.3	รูปเสื่อกบนซ้ายแสดงการกระจายตัวของแนวภูเขาไฟ เลย-เพชรบูรณ์-นครนายก และแผนที่ธรณีวิทยาพื้นที่ทับคล้อ-ชนแดน-วังโป่งของเหมืองแร่ทองคำตรี	15
รูปที่ 3.1	พิภพของจุดเก็บตัวอย่าง	17
รูปที่ 3.2	เส้นทางการสำรวจและจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาซึ่งกระจายตัวอยู่ทั่ว บริเวณเขาพนมพา	17
รูปที่ 3.3	แผนที่ธรณีวิทยาและภาพตัดขวางพื้นที่เขาพนมพา	19
รูปที่ 3.4	พื้นที่หน้าเหมืองที่มีการระเบิดเพื่อขุดแร่	20
รูปที่ 3.5	พื้นที่หน้าเหมืองและร่องรอยของสายแร่ควอตซ์ที่ให้ทอง	21
รูปที่ 3.6	ลักษณะของหินแอนดิซติกลาพิลล์ที่ฟฟ	22
รูปที่ 3.7	ลักษณะของหินไรโอไลติกลาพิลล์ที่ฟฟ	23
รูปที่ 3.8	ลักษณะของหินไมโครไดออไรต์	24
รูปที่ 3.9	ลักษณะของพนักหินไมโครไดออไรต์	25
รูปที่ 3.10	ลักษณะของพนักหินแอนดิไซต์	26
รูปที่ 3.11	ตะกอนที่ยังไม่แข็งตัว	27
รูปที่ 3.12	แนวการวางตัวของสายแร่และแนวรอยแตกในพื้นที่ศึกษา	29
รูปที่ 4.1	ลักษณะเด่นของ stage 1 เป็นช่วงที่ยังไม่มีการตกสะสมตัวของแร่ทองคำ	31

รูป		หน้า
รูปที่ 4.2	ลักษณะเด่นของ stage 2 เป็นช่วงที่มีการตกสะสมตัวของแร่ทองคำ	32
รูปที่ 4.3	สายแร่ที่ให้ทองจากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรส์	33
รูปที่ 4.4	แร่ทองคำประกอบซัลไฟด์ที่พบในพื้นที่ศึกษา ซึ่งพบน้อยชนิด	34
รูปที่ 4.5	บริเวณและลักษณะของสายแร่ในช่วงที่ 3 ของพื้นที่ศึกษา	35
รูปที่ 4.6	ลักษณะของหิน โผล่และสายแร่ที่พบในช่วงที่ 4 ของพื้นที่ศึกษา	37
รูปที่ 4.7	ลักษณะของแร่ไพไรต์	39
รูปที่ 4.8	ลักษณะของแร่พิไรโทต์	40
รูปที่ 4.9	ลักษณะของแร่คาลโคไพไรต์	41
รูปที่ 4.10	ตัวอย่างลักษณะของกากแร่	43
รูปที่ 4.11	ลักษณะการแปรเปลี่ยนในช่วงที่ 1 ของการเกิดแหล่งแร่ ที่เกิดโซนของสการ์น ซึ่งได้แก่ โซนของการ์เนต โซนของไบโอไทต์-ไพร์อกซีน และ โซนของคลอไรต์-อีพิโดต	46
รูปที่ 4.12	การแปรเปลี่ยนในช่วงที่ 2 ซึ่งเกิดสายแร่ให้ทองคำ	47
รูปที่ 4.13	การแปรเปลี่ยนที่เกิดขึ้นในช่วงที่ 3 ของการเกิดแหล่งแร่	48
รูปที่ 4.14	การแปรเปลี่ยนในช่วงที่ 3 ตั้งแต่สายแร่ควอตซ์จนสุดการแปรเปลี่ยนของหินทองที่	50
รูปที่ 4.15	แบบจำลอง การแปรเปลี่ยนที่เกิดขึ้นในช่วงที่ 3 ของการเกิดแร่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็น โซนของคลอไรต์-อีพิโดต	51
รูปที่ 4.16	แผนภูมิ (XRD pattern) แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างหินแอนดซิติกลาพิลล์ที่ ที่มีการแปรเปลี่ยนแบบโพแทสติก {Biotite (pyroxene) zone}	52
รูปที่ 4.17	แผนภูมิ (XRD pattern) แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างหินแอนดซิติกลาพิลล์ที่ ที่มีการแปรเปลี่ยนแบบโพไพลิติก (Chlorite-epidote alteration)	53
รูปที่ 4.18	การแปรเปลี่ยนในช่วงที่ 4 ของการเกิดแหล่งแร่	54
รูปที่ 4.19	แผนที่การแปรเปลี่ยนบริเวณพื้นที่เขาพนมพา (ดัดแปลงจาก พีรณัฐ วิเศษศรี, 2552)	55
รูปที่ 5.1	ชั้นหินภูเขาไฟและหินไมโครไดออไรต์ (Volcanic layer with microdiorite)	58
รูปที่ 5.2	หินอัคนีแทรกซอนตัดแทรกเข้ามายังหินภูเขาไฟและหินไมโครไดออไรต์	58
รูปที่ 5.3	สายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง ขึ้นมาเกิดการตกผลึกของแร่ทองคำและซัลไฟด์	59
รูปที่ 5.4	สายแร่ร้อนทำปฏิกิริยากับน้ำฝนทำให้เกิดสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-อีพิโดต	59
รูปที่ 5.5	สายแร่ร้อนที่มีเฉพาะแร่ควอตซ์	60
รูปที่ 5.6	แหล่งแร่ทองคำเกิดการยกตัวและเกิดการกักร้อน	60
รูปที่ 6.1	แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างหินแอนดซิติกลาพิลล์ที่ 2 จากจุดศึกษาที่ 2	65
รูปที่ 6.2	แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างการแปรเปลี่ยนของหินแอนดซิติกลาพิลล์ที่ 2 จากจุดศึกษาที่ 2 พิกัด 0665686 1802884 (บท 3 ธรณีวิทยาแหล่งแร่, รูปที่ 3.3.4 (B) หน้า 7)	66
	จากจุดศึกษาที่ 2 พิกัด 0665686 1802884 (บท 4 การแปรเปลี่ยน, รูปที่ 4.3.3 (B) หน้า 19)	

รูป		หน้า
รูปที่ 6.3	แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างหินแอนดิซิติกลาฟิลีทไฟ จากจุดศึกษาที่ 1 พิกัด 0665686 1802884	67
รูปที่ 6.4	แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างการแปรเปลี่ยน ของหินแอนดิซิติกลาฟิลีทไฟ จากจุดศึกษาที่ 1 พิกัด 0665686 1802884	68
รูปที่ 6.5	แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างการแปรเปลี่ยน ของหินไมโครโครไรต์ จากจุดศึกษาที่ 1 พิกัด 0665686 1802884	69
รูปที่ 6.6	แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างหินแอนดิซิติกลาฟิลีทไฟ จากจุดศึกษาที่ 2 พิกัด 0665686 1802884	70
รูปที่ 6.7	แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างการแปรเปลี่ยน ของหินแอนดิซิติกลาฟิลีทไฟ จากจุดศึกษาที่ 1 พิกัด 0665686 1802884	71
รูปที่ 6.8	แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างหินไรโอไลติกลาฟิลีทไฟ จากจุดศึกษาที่ 2 พิกัด 0665686 1802884	72
รูปที่ 6.9	แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างของผนังหินแอนดิไซต์ จากจุดศึกษาที่ 1 พิกัด 0665686 1802884	73
รูปที่ 6.10	แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างสายแร่ควอตซ์ที่ผุมาก ซึ่งทำให้แร่ทองคำ จากจุดศึกษาที่ 6 พิกัด 0666007 1802732	74
รูปที่ 7.1	ภาพ Backscattered จากตัวอย่างแผ่นหินขัดเงาจากตาราง 7.1	75

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1.6	ตารางแสดง แผนดำเนินงาน (work plan)	10
ตารางที่ 4.1	ลำดับการเกิดของสายแร่ของการเกิดแหล่งแร่ในแต่ละ Stage	30
ตารางที่ 7.1	ปริมาณ Mass composition ของธาตุแต่ละตัวที่ได้จากการวิเคราะห์ ของแผ่นหินขัดเงา ด้วยเครื่อง EPMA	76

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1.6	ตารางแสดง แผนดำเนินงาน (work plan)	10
ตารางที่ 4.1	ลำดับการเกิดของสายแร่ของการเกิดแหล่งแร่ในแต่ละ Stage	30
ตารางที่ 7.1	ปริมาณ Mass composition ของธาตุแต่ละตัวที่ได้จากการวิเคราะห์ ของแผ่นหินขัดเงา ด้วยเครื่อง EPMA	76

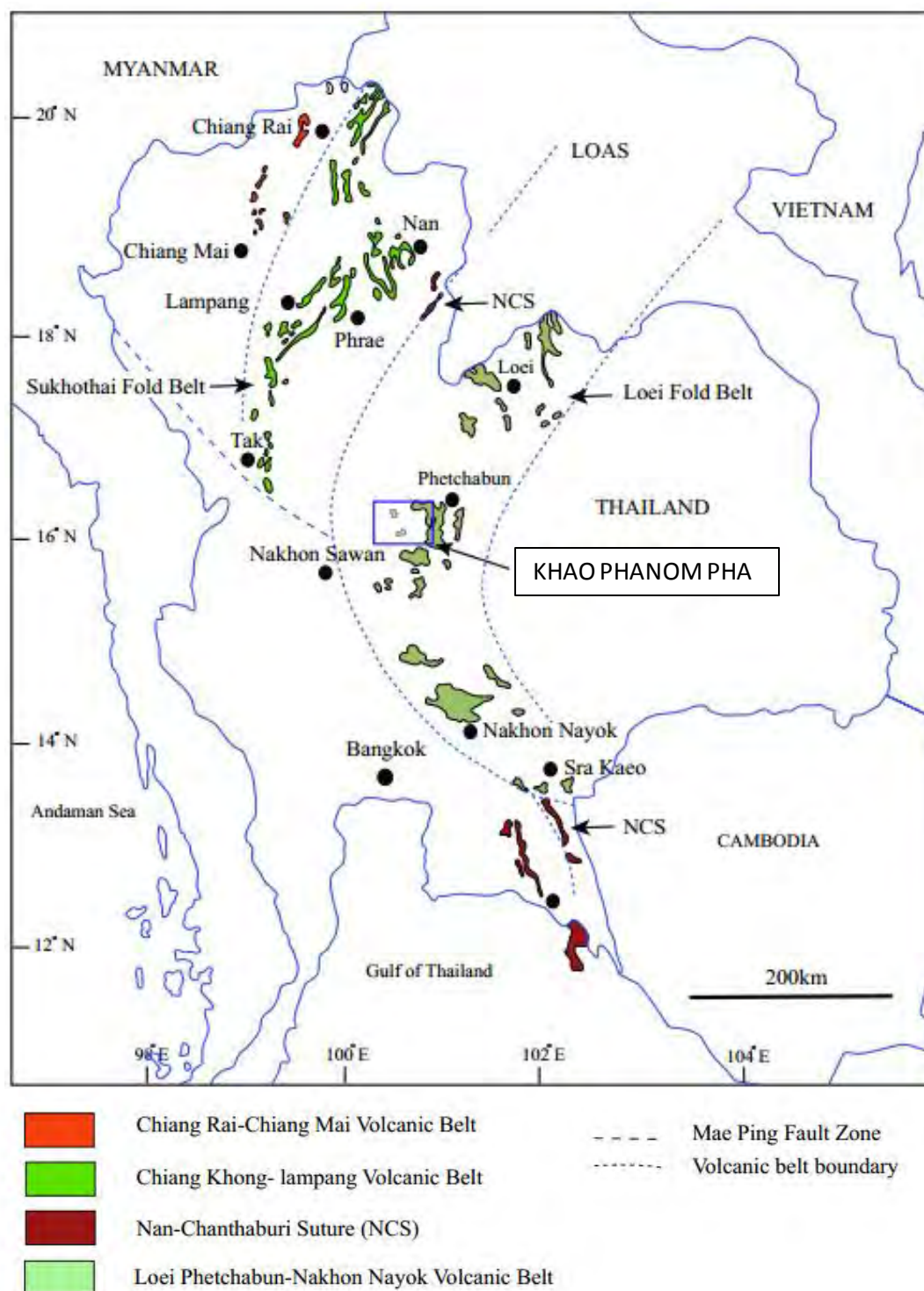
บทที่ 1 ความสำคัญของโครงการ

1.1 บทนำ

ทองคำเป็น โลหะมีค่าทางเศรษฐกิจ สามารถเกิดขึ้นในแหล่งแร่ได้หลายรูปแบบ เช่น เกิดแบบ อีพิเทอร์มอล (Epithermal) สการ์น (Skarn) และพอร์ไฟรี (Porphyry) เป็นต้น ในประเทศไทยแหล่งแร่ทองคำที่สำคัญ ที่มีการทำเหมือง คือ แหล่งแร่ทองคำชาติรี ซึ่งเป็นแหล่งแร่แบบอีพิเทอร์มอล จังหวัด พิจิตร และแหล่งแร่ทองคำภูทับฟ้า จังหวัดเลย นอกจากนี้ ยังมีพื้นที่ศักยภาพกระจายตัวอยู่ในชั้นหิน แนวเลย (Loei Fold Belt-LFB) ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งวางตัวอยู่ขอบตะวันตกของที่ราบสูงโคราช (Khorat Plateau) ตั้งแต่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พิจิตร เพชรบูรณ์ ถึง จังหวัดเลย อีกแนวหนึ่งที่มีการกระจายตัวของ แหล่งแร่ทองคำ คือ ในชั้นหินแนวสุโขทัย (Sukhothai Fold Belt-SFB) ซึ่งพาดผ่าน ตาก ลำปาง และ เชียงของ (เชียงราย)

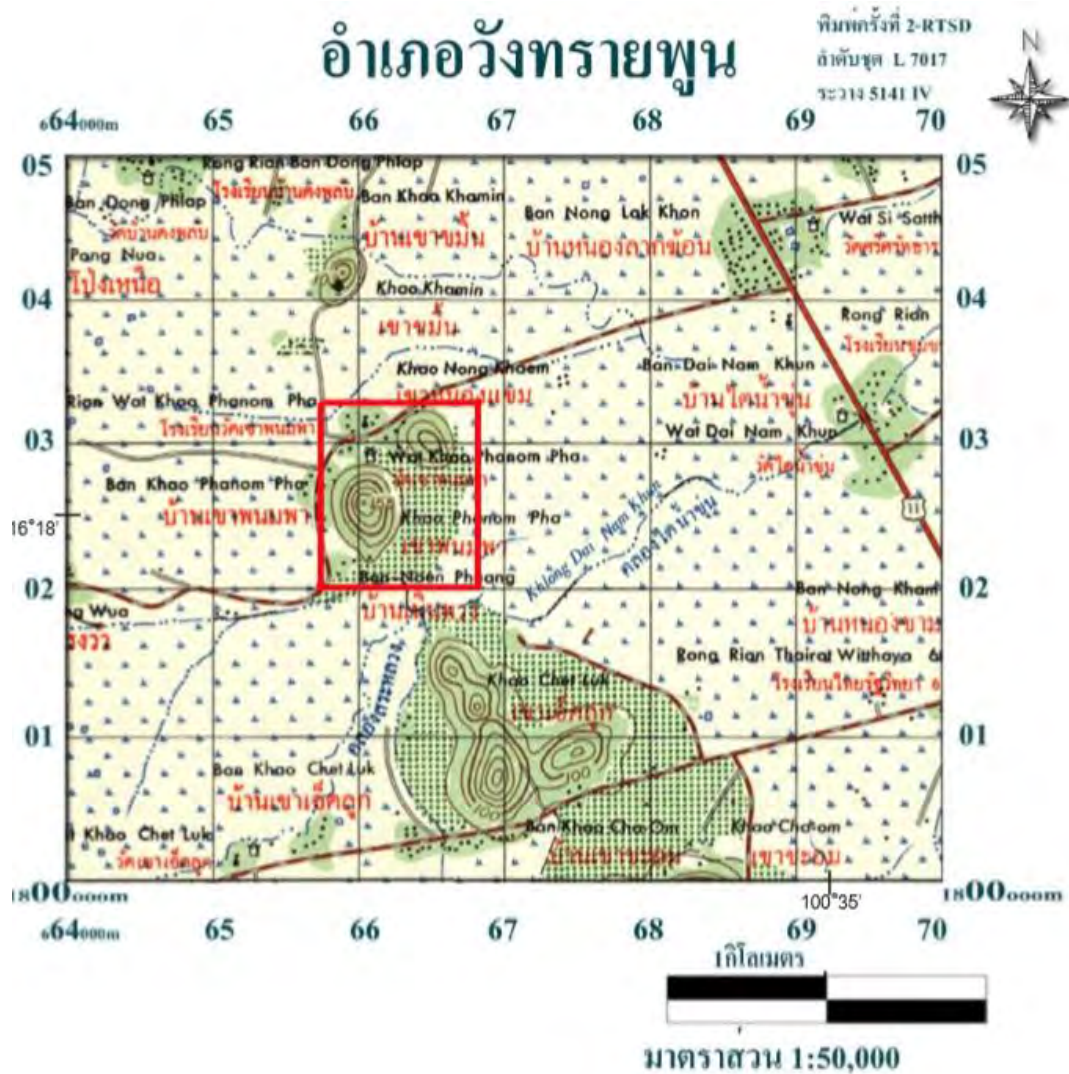
แหล่งแร่ทองคำเขาพนมพาตั้งอยู่ในตำบลหนองพระ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร ดังรูปที่ 1.1 และ 1.2 อยู่ทางตะวันตกของเหมืองแร่ทองคำชาติรีประมาณ 10 กิโลเมตร โดยที่ผ่านมาประมาณ 15 ปี แหล่งแร่ทองคำเขาพนมพามีการขุดทองโดยชาวบ้านตลอดจนปัจจุบันมีการทำเหมืองแร่ลึกลงในหิน แข็งไปประมาณ 15 เมตร (รูปที่ 1.3.1 A, B, C และ D) จากการศึกษาของกรมทรัพยากรธรณีวิทยา (2544) พบว่าเขาพนมพาเป็นแหล่งแร่ทองคำแบบปฐมภูมิ (Primary deposits) โดยเกิดจากกระบวนการ ทางธรณีวิทยา จากสายน้ำแร่ร้อน กระบวนการแปรสัมผัส กระบวนการเติมสารละลายซิลิกา ทำให้เกิด การสะสมตัวของแร่ทองคำในหินชนิดต่างๆ หรือทองคำที่เกิดอาจฝังประอยู่ในหินหรือสายแร่ที่แทรก ในหินและสามารถมองเห็นได้ชัดเจนบริเวณเขาพนมพา ส่วนบริเวณรอบๆเขาพนมพาเป็นการสะสมตัว แบบลานแร่ (Placer deposit) ซึ่งเกิดจากสายแร่ที่ตัดเข้ามาในหิน แล้วเกิดการผุพังเป็นลานแร่อยู่บริเวณ เขิงเขาพนมพาทางด้านตะวันออก หรือเกิดจากการผุพังของหิน ที่มีแร่ทองคำปฐมภูมิแล้วสะสมในที่เดิม หรือถูกน้ำชะล้างพาไปสะสมตัวในที่ใหม่เช่น เขิงเขา ในปี 2007 Salam et al. ได้ศึกษาอายุการเกิดของ แหล่งแร่ทองคำ เขาพนมพา พบว่ามีอายุประมาณ 250 ± 6 Ma ล้านปี จากแร่มีสโคไวท์โดยใช้วิธี $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ dating ซึ่งเกิดขึ้น ในช่วงเวลาเดียวกันกับแหล่งแร่ทองคำชาติรี ที่มีช่วงอายุ 250.9 ± 0.8 Ma โดยใช้วิธี $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ dating จากแร่อะดูลารี (Adularia) และ Khositantont (2008) ซึ่งได้ศึกษามลทิน ของของไหล (Fluid inclusions) และ ไอโซโทปของซัลเฟอร์ และสรุปให้แหล่งแร่ทองคำเขาพนมพา เป็นแหล่งที่มีการเกิดแบบมีโซเทอร์มอล (Mesothermal deposit) ส่วนของ พิรณัฐ วิเศษศรี (2552) ได้ ศึกษาลักษณะทางด้านธรณีวิทยา ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมา นั้น ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดแหล่ง

แร่และการแปรเปลี่ยนของหินท้องถิ่นที่บริเวณนี้อย่างเป็นทางการชั้นรายละเอียด การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการเกิดแหล่งแร่และการแปรเปลี่ยนของหินท้องถิ่นเพื่อเข้าใจ ลักษณะการเกิดแหล่งแร่



รูปที่ 1.1 แสดงแนวภูเขาไฟเชิงราช-เชียงใหม่ แนวภูเขาไฟเชิงของ-ลำปาง แนวตะเข็บน่าน-จันทบุรี และบริเวณพื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในแนวภูเขาไฟเลย-เพชรบูรณ์-นครนายก (Panjasawatwong et al., 1997, 2008)

1.2 การเข้าถึงพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 1.2 ภาพแผนที่ภูมิประเทศแสดงพื้นที่ศึกษา (พิรณัฐ วิเศษศรี, 2552)

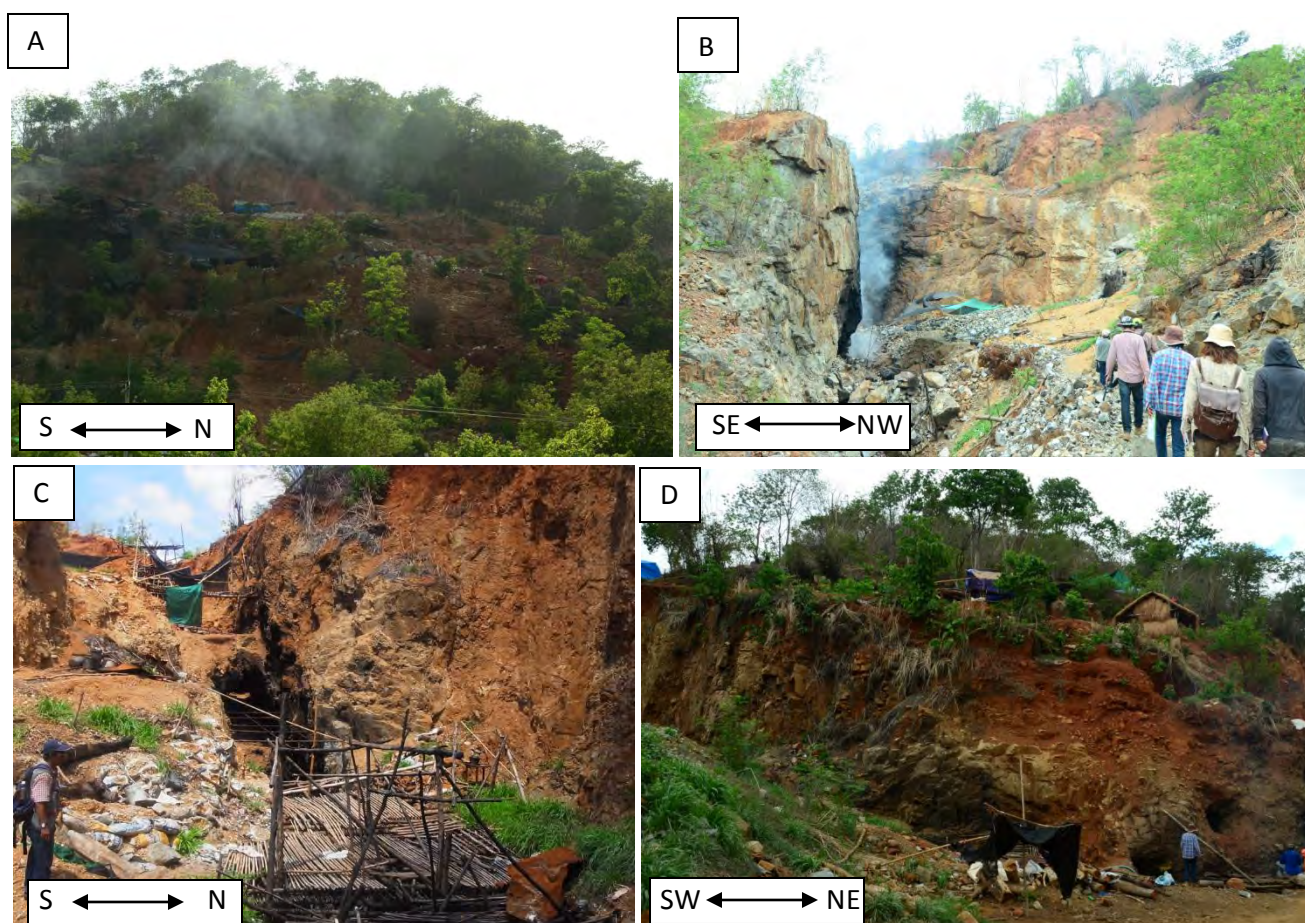
จากแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ระวาง 5141IV ลำดับชุด L7017 อำเภอวังทรายพูน พบว่าพื้นที่ศึกษาเขาพนมพา ตั้งอยู่ในอำเภอวังทรายพูนจังหวัดพิจิตร มีขนาดประมาณ 1.5 ตารางกิโลเมตร โดยเขาพนมพาเป็นเขาลูกโดดวางตัวอยู่ในแนวเหนือใต้อยู่ทางทิศใต้ของบ้านเขาขม้น และอยู่ทางทิศเหนือของเขาเจ็ดลูก และมีเขาหนองแยมอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือ

จากรูปที่ 1.2 แสดงพื้นที่สำรวจซึ่งสามารถเดินทางเข้าได้สะดวกตลอดทุกฤดูกาล จากกรุงเทพมหานคร โดยใช้ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 32 ผ่านจังหวัดพระนครศรีอยุธยา อ่างทอง สิงห์บุรี ไปจนถึงอำเภออินทร์บุรี จากนั้นแยกขวามือไปตามทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 11 ผ่านอำเภอดากฟ้าและอำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์ อำเภอดงเจริญ อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร ไปจนถึงโรงเรียนบ้านหนองลากค้อน อำเภอวังทรายพูน จังหวัด พิจิตร (ระวางกิโลเมตรที่60/800) แล้วแยกซ้ายมือไปตาม ถนน

คอนกรีต เป็นระยะทาง 3 กิโลเมตร ถึง โรงเรียนบ้านเขาพนมพา จากนั้นแยกไปทางซ้ายมืออีก ประมาณ 500 เมตร จะถึงเขาพนมพา

1.3 ลักษณะภูมิประเทศ

พื้นที่ศึกษาเป็นภูเขาที่ไม่สูงและ โคยรอบเป็นที่ราบ บริเวณเชิงเขามีความสูงจาก ระดับน้ำ ทะเล ประมาณ 50 เมตร ส่วนยอดเขาสูงประมาณ 155 เมตร แนวของภูเขาวางตัวในแนวทิศเหนือ -ใต้ บริเวณรอบเขาพนมพาค่อนข้างเป็นที่ราบทางด้าน ตะวันออกของเขาพนมพามีการระเบิด เปิดหน้าเหมือง หลายจุด และ บริเวณพื้นที่ราบเชิงเขา ด้าน ตะวันออก มีลักษณะเป็นหลุมเป็น บ่อซึ่งเกิดจากการขุดของชาวบ้านในพื้นที่ มี เขาหนองแวมสูงประมาณ 100 เมตร และเขาเจ็ดลูกอยู่ทางทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือและ ทางทิศใต้ตามลำดับ ส่วนสภาพป่าไม้เป็น ไม้เบญจพรรณ มีต้นไม้ขนาดเล็กปกคลุมอยู่ทั่วไป



รูปที่ 1.3 พื้นที่ทำเหมืองทองโดยชาวบ้าน (A)เขาพนมพาทางด้านทิศ ตะวันออกของเขาที่มีการขุดแร่ทอง (B), (C) และ (D) สภาพพื้นที่บริเวณบนเขาพนมพามีการขุดแร่ทอง โดยจะขุดลึกลงไปประมาณ 15 เมตรจาก พื้นดิน

1.4 ลักษณะภูมิอากาศ

พื้นที่ศึกษา มีภูมิอากาศแบบเขตร้อนอยู่ในเขตอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ฤดู คือ ฤดูฝนจะมีฝนตกชุก เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึง เดือนตุลาคม ฤดูหนาวอากาศจะไม่หนาวจนเกินไป เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนกุมภาพันธ์ ฤดูร้อนอากาศจะร้อนอบอ้าว เริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคม ถึง เดือนเมษายน สภาพอากาศในพื้นที่นี้เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูก ตลอดทั้งปีหากมีปริมาณน้ำฝนเพียงพอ

สภาพพื้นที่และการใช้ประโยชน์ ปัจจุบัน อบจ.พิจิตร ดำเนินการทำเหมืองแร่ทองคำ (รูปที่ 1.4) โดยนำหินหรือดินที่มีแร่มาบดแล้วขายให้แก่ชาวบ้าน เพื่อให้ชาวบ้านนำหินหรือดินมาบดละเอียดอีกครั้งแล้วนำไปแยกแร่ทองคำ ซึ่งปัญหาที่พบคือปริมาณแร่ทองคำที่มีในชั้นเปลือกดินพบน้อยมาก ต้องดำเนินการขุดสายแร่ในหินแข็งซึ่งต้องมีการดำเนินการ โดยการระเบิด ซึ่งต้องมีการขออนุญาตใช้วัตถุระเบิดที่ใช้ระยะเวลาและขั้นตอนการดำเนินการหลายขั้นตอนทำให้ อบจ.พิจิตร ไม่สามารถจัดสรรวัสดุให้กับประชาชนได้เพียงพอ ทำให้ประชาชนบุกรุกเข้าขุดทำแร่ในบริเวณที่ราบใกล้เคียงประตานบัตร



รูปที่ 1.4 ลักษณะพื้นที่แหล่งทองคำเขาพนมพา ซึ่งมีการทำเหมืองโดย อบจ.พิจิตร (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

1.5 เอกสารและงานวิจัย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการศึกษา หากมองในภาพกว้าง เขาพนมพาเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เรียกว่า แนวภูเขาไฟเลย์-เพชรบูรณ์-เกาะช้าง ซึ่งเป็นแนวมุดตัวของเปลือกโลกที่เกิดจากแผ่นเปลือกโลกส่วนมหาสมุทรมุดตัวลงไปใต้แผ่นเปลือกโลกอีกแผ่นหนึ่งทำให้เกิดกระบวนการหลอมละลายบางส่วนของแผ่นเปลือกโลกที่มุดตัวลงไปทำให้เกิดเป็นหินหนืด (ปัญหา จารุศิริ และ คณะ , 2546)

จากการศึกษาของ Salam et al. (2007) :

ศึกษาช่วงอายุการเกิดของแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพา ที่มีช่วงอายุ 252 ± 5 Ma โดยใช้วิธี $^{40}\text{K}/^{39}\text{Ar}$ dating จากแร่มีสโคไวท์ที่อยู่ในสายแร่ควอตซ์-มีสโคไวท์-คลอไรต์-ซัลไฟด์ (Salam et al., 2007) ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกันกับแหล่งแร่ทองคำชาติ ที่มีช่วงอายุ 250.9 ± 0.8 Ma โดยใช้วิธี $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating จากแร่อะคูลาเรีย ในสายแร่ควอตซ์-คาร์บอนेट-อะคูลาเรีย-ซัลไฟด์ ถึงแม้ว่าเขาพนมพาจะพบ ore fluids ในระดับที่มีความลึกและความเค็มมากกว่า (Khositanont, 2008)

จากการศึกษาของ Khositanont (2008) :

ศึกษามลทินของของไหล (Fluid inclusion) และไอโซโทปของซัลเฟอร์ (Sulphur isotope) ซึ่งการศึกษามลทินของของไหลเป็นการศึกษาชนิดของมลทินในสายแร่ควอตซ์-ทอง โดยอาศัยความรู้พื้นฐานด้านความสัมพันธ์ของเฟส (Phase relation) ณ อุณหภูมิห้อง ได้แบ่งมลทิน ออกเป็น Type I (L-V) aqueous inclusions, Type II (L-L-V) aqueous-carbonic inclusions, Type III (V) vapor-rich inclusions และ Type IV (L-V-S) aqueous-saline inclusions และพบว่าอุณหภูมิที่ทำให้มลทินในแต่ละเฟสมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันหรือเหลือแต่สถานะของไหล คือ อุณหภูมิ $350-400$ °C มีความดันเท่ากับ $120-460$ bars (Bowers and Helgeson, 1983) และจากการศึกษาไอโซโทปของซัลเฟอร์ โดยมีองค์ประกอบแร่ซัลไฟด์ เช่น แร่ไพไรต์ พิไรไต์และแร่คาลโคไพไรต์จากสายแร่ Fe-Cu-Au ในการศึกษาจะนิยมใช้ $\delta^{34}\text{S}$ isotope ที่มีลักษณะคล้ายกับธาตุซัลเฟอร์ที่เป็นองค์ประกอบในแร่ซัลไฟด์ซึ่งมาจากแมกมาและสายแร่ร้อน จากผลการศึกษาทั้งมลทินของของไหล (Fluid inclusion) และไอโซโทปของซัลเฟอร์ (Sulphur isotope) จึงสรุปว่าแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพาเป็นการเกิดแบบสายแร่ร้อนชนิดอุณหภูมิปานกลาง (Mesothermal)

จากการศึกษาของพีรณัฐ วิเศษศรี(2552) :

ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาของแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพา และสรุปว่าหิน ท้องที่เป็นหินถ้ำภูเขาไฟ (Tuff) ถูกแทรกคั่นด้วยหินไมโครไดออไรต์ (Micro-diorite) แล้วมีสายแร่ควอตซ์และ พนัง หินแอนดิไซต์ (Andesite dyke) ตัดเข้ามาในหินถ้ำภูเขาไฟและ หินไมโคร ไดออไรต์ และยังคงศึกษาลักษณะของแหล่งแร่ และสรุปได้ว่า แหล่งแร่ทองคำเขาพนมพาเป็นแหล่งแร่ทองคำร้อนอุณหภูมิต่ำ แบบสภาพกรดต่ำซึ่งมี หินเขี้ยวเป็นหิน

ภูเขาไฟ และหินตะกอนภูเขาไฟ ซึ่งมีการแปรสภาพเป็นหินแคลซีลิกเกตและ Skarnoid บางส่วน โดยมีลักษณะของการเข้ามาของน้ำแร่ร้อนหลายครั้งซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ และ เกิดสายแร่ ควอตซ์-คาร์บอนเนต (คลอไรต์-แอคทิโนโลท์-อีพิโดต) ในลักษณะการแทนที่ของแร่ สายแร่ และการเชื่อมหินกรวดเหลี่ยม ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับ แหล่งแร่ทองและเงินของเหมืองทองคำชาติรี แต่แตกต่างกันที่ลักษณะ ของหิน เหย้า

จากการศึกษาของ Jungyusuk and Khositant, 1992 :

เขาพนมพาดั้งอยู่ในบริเวณ Loi-Pethcabun-Ko chang volcanic belt ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการตก สะสมตัวของแร่ต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะ พวกทองคำ ทองแดง แมงกานีส เหล็ก แปะไรต์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็น แร่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ซึ่งมีการเกิดทองคำในหลายลักษณะ ในแต่ละพื้นที่ โดยมีทั้งการเกิดทอง แบบปฐมภูมิ (Primary deposit) และแบบทุติยภูมิ (Secondary deposit) การเกิดแร่ทองคำแบบปฐมภูมิ เป็นแหล่งแร่ทองคำที่เกิดจากกระบวนการทางธรณีวิทยา เช่น กระบวนการน้ำแร่ร้อน กระบวนการเติมสารละลายซิลิกา ซึ่งทำให้เกิดการสะสมตัวของแร่ทองคำในหิน ส่วนการเกิดแร่ทองคำแบบทุติยภูมิ หรือแหล่งลานแร่ เกิดจากการผุพังของหิน ที่มีแร่ทองคำแบบปฐมภูมิแล้วสะสมตัวในที่เดิมหรือถูกน้ำชะล้างพาไปสะสมตัวที่ใหม่ ในบริเวณต่างๆ เช่น เิงเขา ลำห้วย หรือ ในตะกอนกรวดทรายในลำน้ำ (Quaternary flood plain)

1.6 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะการเกิดแหล่งแร่และการแปรเปลี่ยนของหินท้องถิ่น และสามารถสร้างแบบจำลองการเกิดแหล่งแร่ของแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพา อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร

1.7 ขอบเขตงานวิจัย

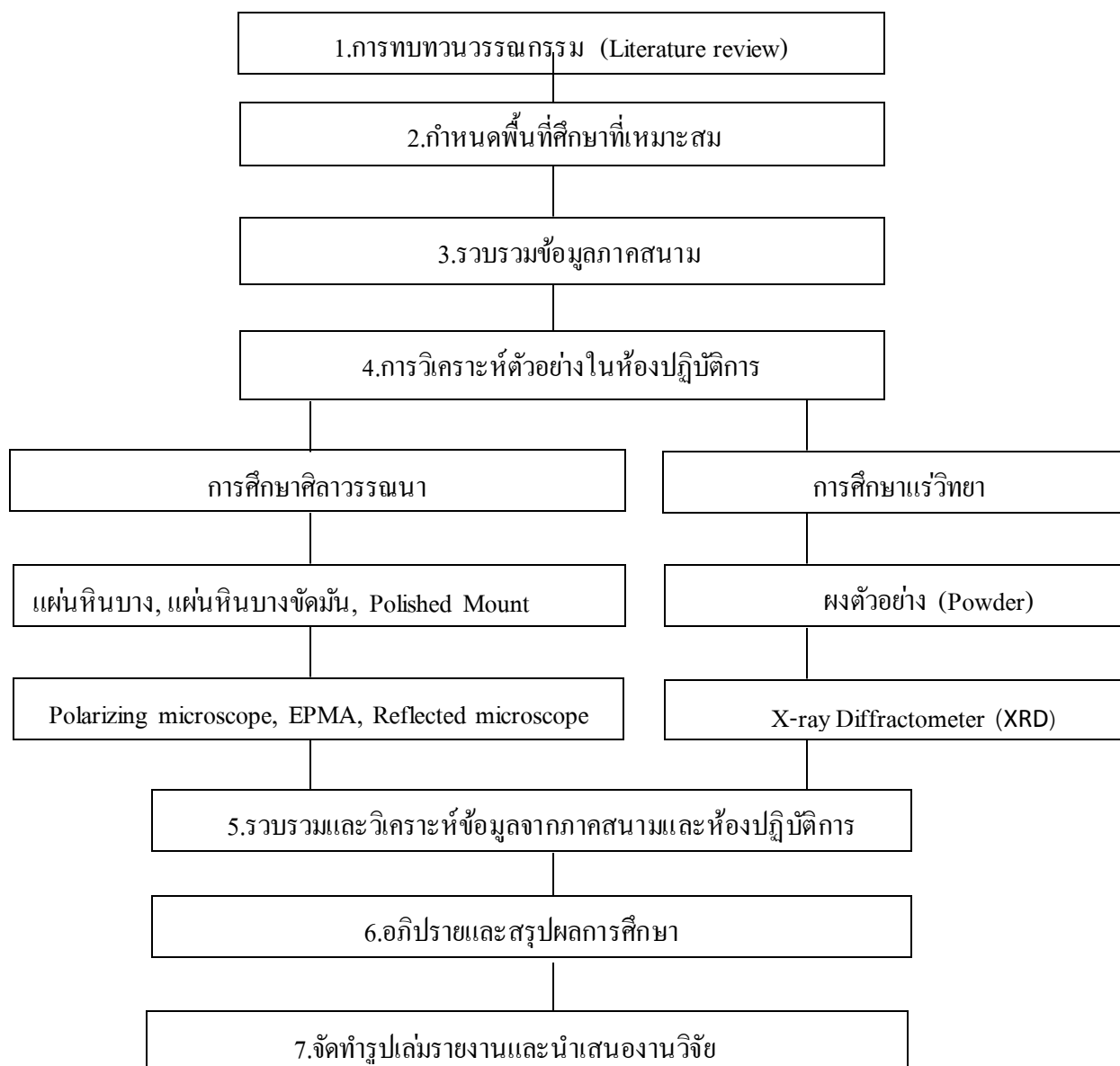
การวิจัยนี้เน้นศึกษาการเกิดแหล่งแร่และการแปรเปลี่ยนของหินท้องถิ่นที่สามารถสร้างแบบจำลองการเกิดของแหล่งแร่ได้โดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาดาวรรณา แร่วิทยาเพื่อบ่งบอกชนิดหิน แร่ ชนิดของสายแร่ และ ลำดับการเกิดของสายแร่ รวมไปถึง การแปรเปลี่ยนของหินท้องถิ่น ในบริเวณพื้นที่เขาพนมพา อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร

1.8 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงลักษณะเฉพาะการเกิดแหล่งแร่และ การแปรเปลี่ยนของหินท้องถิ่นของแหล่งทองคำเขาพนมพา และสามารถสร้างแบบจำลองการเกิดแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพา

1.9 ขั้นตอนการวิจัย

1.9.1 ขั้นตอนงานวิจัย



รูปที่ 1.5 ภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย

1.9.2 ระเบียบงานวิจัย

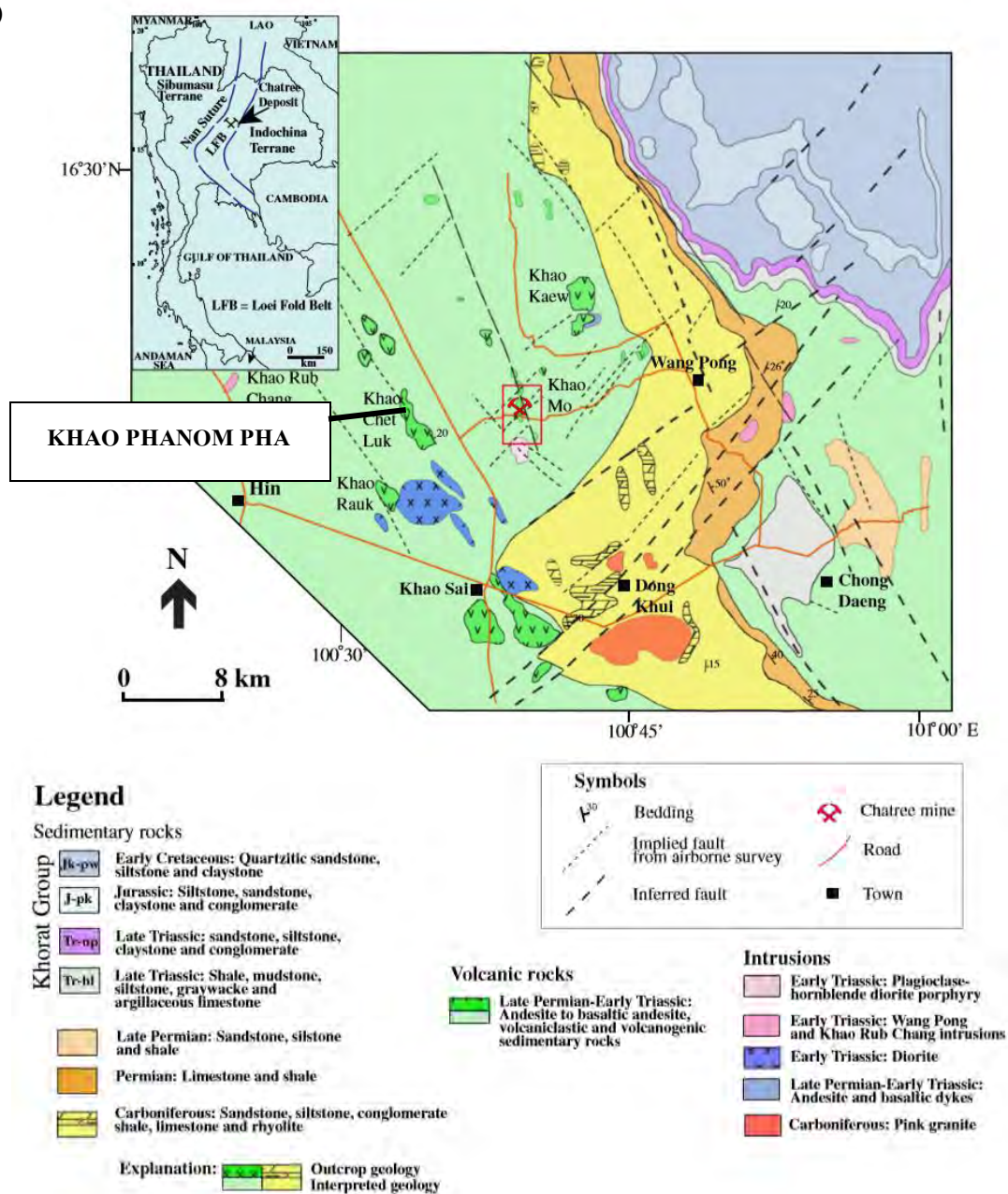
1. การทบทวนวรรณกรรม (Literature review)
 - 1.1 ศึกษาานิยามของการเกิดแหล่งแร่และการแปรเปลี่ยนของหินท้องถิ่น
 - 1.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการเกิดแหล่งแร่และการแปรเปลี่ยนของหินท้องถิ่นในประเทศไทย เช่นเหมืองแร่ทองคำชาติ และบริเวณใกล้เคียง เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัย
2. กำหนดพื้นที่ศึกษาที่เหมาะสม

- 2.1 เหมืองแร่ทองคำเขาพนมพา ตำบลหนองพระ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร
3. รวบรวมข้อมูลภาคสนาม
 4. เก็บข้อมูลภาคสนาม เช่น เก็บตัวอย่างหินทุกชนิดในพื้นที่ศึกษา หินท้องที่ หินเหยา หินผนัง หินลอย และการแปรเปลี่ยนของหินท้องที่ เพื่อนำไปศึกษาศิลาวรรณนาและแร่วิทยา
 5. สำรวจธรณีโครงสร้าง โดยวัดการวางตัวของสายแร่ ของหินผนัง และหินท้องที่
 6. การวิเคราะห์ตัวอย่างหินในห้องปฏิบัติการ
 - 6.1 ศีลาสิลาวรรณนา
 - จัดทำแผ่นหินขัดบาง (Thin section) เพื่อศึกษาเรื่ององค์ประกอบของหินท้องที่ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope)
 - จัดทำแผ่นหินบางขัดมัน (Polished thin section) เพื่อศึกษาแร่โลหะหรือแร่ทึบแสงของสายแร่ตลอดจนหินที่มีการแปรเปลี่ยนด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope) และกล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง (Reflected microscope)
 - จัดทำ Polished Mounts เพื่อศึกษาเรื่ององค์ประกอบที่เป็น โลหะ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง (Reflected microscope)
 - สำหรับแร่ที่ไม่สามารถจำแนกได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง จะนำไปศึกษาโดยเครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA)
 - 6.2 ศึกษาแร่วิทยา
 - การเตรียมการ โดยการ บดตัวอย่างหินให้เป็นผงละเอียดเพื่อศึกษาองค์ประกอบแร่ในหิน โดยเฉพาะหินท้องที่ที่มีการแปรเปลี่ยนด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ หรือ X-ray Diffract meter (XRD)
 7. รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาคสนามและห้องปฏิบัติการ
 - 7.1 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากลักษณะทางธรณีวิทยา การศึกษาโครงสร้าง ทางธรณีวิทยา ศีลาสิลาวรรณนา และการศึกษาแร่วิทยา
 - 7.2 ตีความหมายและประมวลผล เพื่อบอกถึงการเกิดแหล่งแร่และการแปรเปลี่ยนของหินท้องที่ในพื้นที่ศึกษา
 8. อภิปรายและสรุปผลการศึกษา
 - 8.1 สรุปความสัมพันธ์ของการเกิดแหล่งแร่ ชนิดของการเกิดแหล่งแร่กับการแปรเปลี่ยนของหินท้องที่ พร้อมทั้งสามารถสร้างแบบจำลองของการเกิดแหล่งแร่ได้
 9. จัดทำรูปเล่มรายงานและนำเสนองานวิจัย
 10. เตรียมเสนอผลงาน โดยการจัดเตรียมข้อมูลที่น่าไปเสนอให้พร้อมจัดทำสื่อที่จะนำเสนอให้เหมาะสม และเตรียมส่งผลงานวิจัย จัดทำเป็นรูปเล่มให้เหมาะสม และส่งตามกำหนดเวลา

บทที่ 2 ธรณีวิทยาทั่วไป

2.1 ธรณีวิทยาบริเวณกว้าง (Regional geology)

บริเวณพื้นที่ศึกษาแหล่งทองคำเขาพนมพา อยู่แนวภูเขาไฟเลย-เพชรบูรณ์-นครนายก ดังรูปที่ 2.1 อายุ เพอโม-ไทรแอสติก ซึ่งแผ่กว้างจากในบริเวณของประเทศลาว เชื่อมผ่านลงมาทางใต้ ผ่านจังหวัดเลย เพชรบูรณ์ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งสัมพันธ์กับการ มุดตัวของแผ่นฉาน ไทยลงไปใต้แผ่นอินโดจีน เป็นผลให้เกิดแนวตะเข็บ (Suture) ในช่วงยุคไซลูเรียน และยุคไทรแอสติก (Metcalf, 1996)



รูปที่ 2.1 รูปสี่กบนซ้ายแสดงการกระจายตัวของแนวหินภูเขาไฟเลย-เพชรบูรณ์-นครนายก และแผนที่ธรณีวิทยาพื้นที่ที่ทับ คล้อ-ชนแดน-วังโป่ง รวมทั้งเหมืองแร่ทองคำชาติ (Salam et al., 2014)

2.2 การลำดับชั้นหิน (Stratigraphy)

การลำดับชั้นหิน (Stratigraphy) บริเวณเขาพนมพาและพื้นที่โดยรอบ จากเก่าไปอ่อนซึ่งเรียบเรียงมาจาก Salam et al., (2014) ดังรูปที่ 2.2 ได้ดังนี้

หินตะกอนภูเขาไฟอายุคาร์บอนิเฟอรัสและหินปูนอายุเพอร์เมียนตอนล่าง (*Carboniferous volcanic sedimentary rocks and Later Permian limestone*) : ลำดับชั้นหินของยุคคาร์บอนิเฟอรัส ประกอบด้วยหินตะกอน) ได้แก่ กรวด หินทราย หินดินดาน หินชนวน หิน เชิร์ต และหินปูน และ หินอัคนี (Igneous rock) ได้แก่ หินไรโอไลต์ กรวดเหลี่ยมของไรโอไลต์ และหินแกรนิต อายุการสะสมตัวของหิน ตะกอนในยุคคาร์บอนิเฟอรัส มีอายุในช่วง 327 ± 7 ล้านปี โดยศึกษาจากแร่เซอร์คอน ด้วยวิธี U-Pb dating (Khin Zaw et al., 2007) ส่วนหินหินไรโอไลต์ กรวดเหลี่ยมของไรโอไลต์ ที่เกิดร่วมกับหินตะกอนมีช่วง อายุ 323 ± 5 ล้านปี และ 321 ± 5 ล้านปี (Khin Zaw et al., 2007) ลำดับชั้นหินของยุคเพอร์เมียนตอนล่าง ประกอบด้วยหินปูนหนา ซึ่งอยู่ในกลุ่มหินสระบุรีซึ่งวางตัวอยู่บนหินยุคคาร์บอนิเฟอรัส ในส่วนของหินปูน ในยุคเพอร์เมียนตอนล่างและหินอัคนี หินตะกอนในยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนบน มีความสัมพันธ์แบบไม่ ต่อเนื่องกับยุคเพอร์เมียนตอนกลางยุคไทรแอสสิกตอนต้น

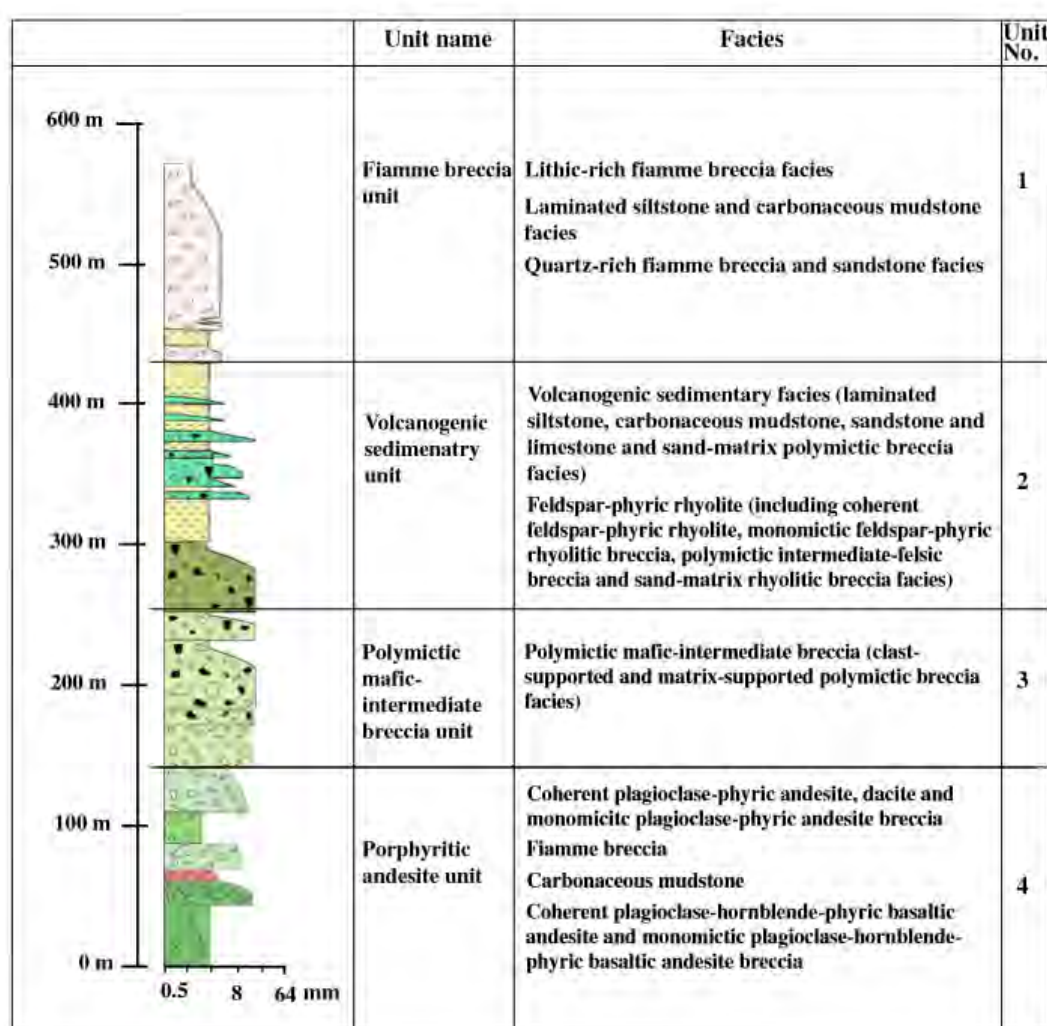
หินบะซอลติกแอนดิไซต์อายุเพอร์เมียนตอนปลาย (*Late Permian, Plagioclase-hornblende-phyric basaltic andesite*) : วางตัวอยู่บนยุคคาร์บอนิเฟอรัส ส่วนล่างสุดของยุคนี้เป็นหิน บะซอลติกแอนดิไซต์ (Basaltic andesite), แพลกจิโอเคลส-ฮอร์นเบลน-ไฟริก บะซอลติกแอนดิไซต์ (Plagioclase-hornblende-phyric basaltic andesite), โมนอมิกติกแอนดิไซต์เบรคเซีย (Monomictic andesitic breccia), โมนอมิกติกแอนดิไซติกเบรคเซียที่มีเมทริกซ์เป็นหินโคลน (Mudstone-matrix monomictic andesitic breccia), เฟมมีเบรคเซีย (Fiamme breccia) และหินโคลนเนื้อปูน (Carbonaceous mudstone) นอกจากนี้เป็นหินบะซอลต์ และ โมนอมิกติกบะซอลติกเบรคเซีย ซึ่งพบทั่วไปใน หินยุคนี้ ถัดขึ้นมาเป็น โพลีมิกติก เมฟิก-อินเตอร์มีเดียท เบรคเซียอายุปลายเพอร์เมียน ประกอบด้วย โพลีมิกติก เมฟิก-อินเตอร์มีเดียท เบรคเซีย ที่สลับกับชั้นบางๆของ แพลกจิโอเคลส-ฮอร์นเบลน-ไฟริก บะซอลติกแอนดิไซต์ ซึ่งชั้นนี้พบได้ทั่วไปบริเวณเหมืองทองชาติรีและทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของหมู่บ้านเขาทราย

หินตะกอนภูเขาไฟอายุเพอร์เมียนตอนปลายถึงอายุไทรแอสสิกตอนต้น (*Late Permian to Early Triassic volcanogenic sedimentary*) : ในชั้นนี้จะประกอบไปด้วยหินตะกอนภูเขาไฟและหินตะกอน ได้แก่ หินทรายแป้ง หินโคลนเนื้อปูน หินทราย หินเฟรมีเบรคเซียที่ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ โพลีมิกติกเบรคเซียที่มีเมทริกซ์เป็นหินทราย และหินไรโอไลต์ที่มีผลึกดอกเป็นแร่ เฟลด์สปาร์ โดยชั้นนี้มีความหนาประมาณ 30-150 เมตร หินทรายพบส่วนบนของชั้นหินซึ่งประกอบด้วยหินเฟรมีเป็นส่วนใหญ่อัดขึ้นมาเป็นหินเฟรมีเบรคเซียอายุเพอร์เมียนตอนบนถึงไทรแอสสิกตอนล่าง (*Upper Permian to Lower Triassic fiamme breccia*) โดยชั้นบนสุดของชั้นนี้ประกอบด้วย ชั้นส่วนของหินเฟรมีเบรคเซียที่วางตัวสลับกับหินทราย และชั้นหินบางๆของหินทรายแป้ง

หินไดออไรต์อายุไทรแอสสิกตอนกลางและพ่นหิน หลังการเกิดแหล่งแร่ (*Middle Triassic diorite and post mineralization dyke*) : ในยุคนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วย พ่นหินตัดแทรกขึ้นมาหลังเกิดแหล่งแร่ รวมไปถึงพบหินแปลกปลอมของบะซอลต์ (*Xenolithic basalt*), หินบะซอลติกแอนดิไซต์ และพ่นหินแอนดิไซต์ นอกจากนี้ยังพบ หินแปลกปลอมของหินไดออไรต์ในพ่นหินบะซอลต์ พบบริเวณตะวันตกเฉียงเหนือ และตะวันออกเฉียงใต้ของหมู่บ้านเขาทราย

ยุคไทรแอสสิกตอนต้นและกลุ่มหิโคราชยุคจูแรสสิก (*Upper Triassic and Jurassic Khorat Group*) : ในยุคจูแรสสิกชั้นล่างประกอบด้วยหินดินดาน หินทรายแป้ง หินเคลย์ หินทราย และหินปูนเนื้อดิน (*Argillaceous limestone*) ชั้นบนอัดขึ้นมาเป็น หินทราย หินทรายแป้ง หินเคลย์ และกรวด ส่วนในยุค จูแรสสิก ประกอบด้วย หินทรายแป้ง หินทราย หินเคลย์ และกรวด และถัดมาในยุคครีเตเชียสตอนต้นประกอบด้วย หินทรายที่มืองค์ประกอบเป็นแร่ควอตซ์ หินทรายแป้งและหินหินเคลย์

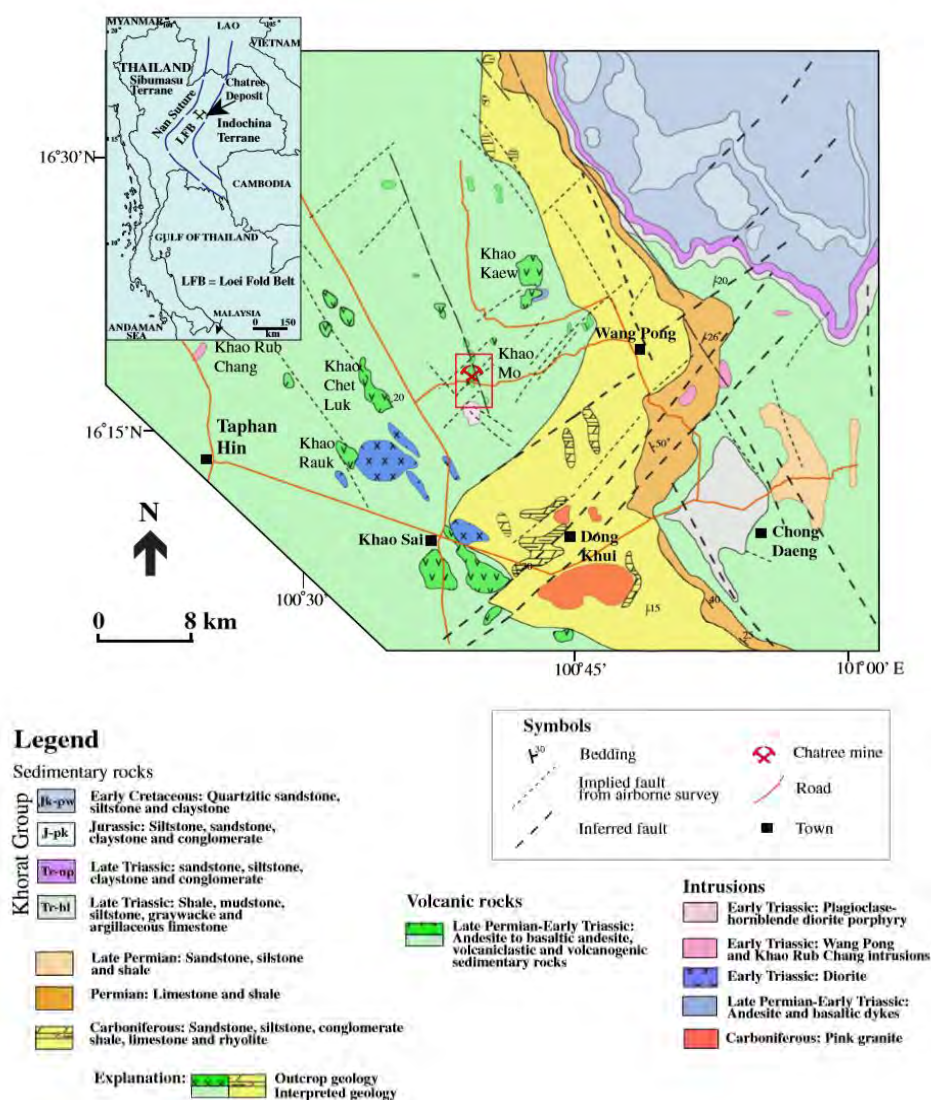
หินตะกอนที่ยังไม่แข็งตัว (*Unconsolidated sediment*) : ตะกอนยุคควอเทอร์นารี เป็นลักษณะพวก terrace deposit, talus deposit ตะกอนมีขนาดตั้งแต่ gravel sand silt size



รูปที่ 2.2 การลำดับชั้นหินของเหมืองแร่ทองคำชาติรี ตอนกลางของประเทศไทย (Salam et al., 2014)

2.3 ธรณีโครงสร้าง (Structure Geology)

ธรณี โครงสร้างบริเวณกว้างเขาพนมพานั้นอยู่ในแนวภูเขาไฟเลย์-เพชรบูรณ์-นครนายก ในยุค พาลีโอโซอิกมีโซอิก เนื่องจากเขาพนมพานอยู่ห่างจากแหล่งทองคำชาติรีไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือประมาณ 10 กิโลเมตร ซึ่งทำให้มีธรณีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน โดยธรณีโครงสร้างบริเวณแหล่งแร่ทองคำชาติรี พบสายแร่ในพื้นที่วางตัวอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และแนวเหนือ-ใต้ ส่วนแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-วันออกเฉียงใต้ซึ่งเกิดขึ้นมาหลังจากการที่มีการสะสมตัวของสายแร่ และทำให้บางบริเวณเกิดการเคลื่อนตัวไปจากเดิมเล็กน้อย หรือสายแร่เกิดในบริเวณที่มีการตัดกันของ โครงสร้าง ซึ่งมีมุมเอียงเทไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 รูปเล็กน้อยซ้ายแสดงการกระจายตัวของแนวหินภูเขาไฟเลย์-เพชรบูรณ์-นครนายก และแผนที่ธรณีวิทยาพื้นที่ทับคล้อ-ชนแดน-วังโป่ง รวมทั้งเหมืองแร่ทองคำชาติรี (Salam et al., 2014)

บทที่ 3 ธรณีวิทยาแหล่งแร่

3.1 คำนำ

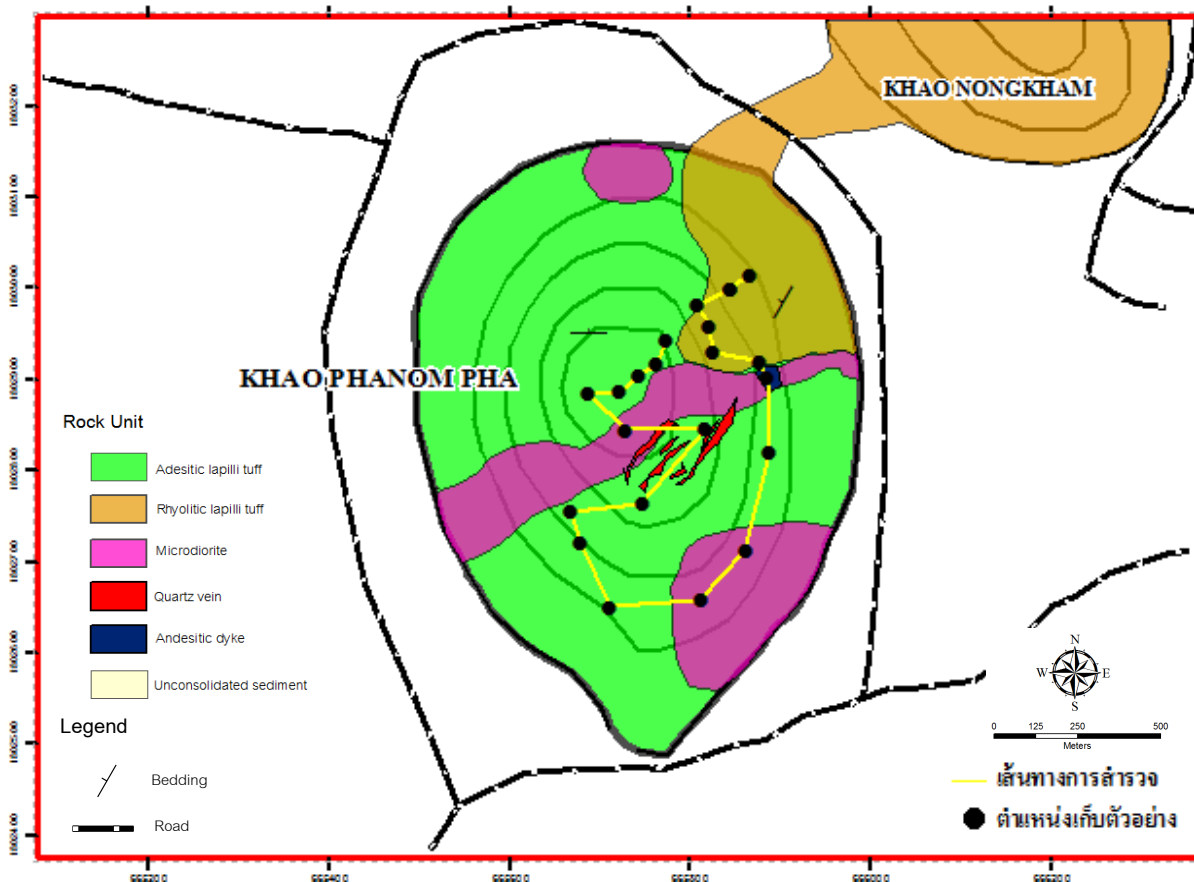
ลักษณะธรณีวิทยาของเขापนมพาได้มีการศึกษาโดยกรมทรัพยากรธรณีในปี พ.ศ. 2544 ซึ่งการสำรวจในครั้งนั้นเพื่อความเข้าใจเกี่ยวกับการเกิดของแร่ทองคำ เนื่องจากมีชาวบ้านทั้งในและนอกพื้นที่เข้าไปบุกรุกเพื่อขุดหาแร่ทองคำในพื้นที่ ต่อมาทางกรมทรัพยากรธรณีวิทยาจึงเข้าไปทำการศึกษาลักษณะธรณีวิทยาและประเมินศักยภาพของทองคำ และในปี ค.ศ. 2004 Crossing ได้ศึกษาธรณีวิทยาและได้สรุปว่าบริเวณนี้ประกอบด้วยหินแอนดีไซต์ หินเถ้าภูเขาไฟ หินไมโครไดออไรต์และผนังหินแอนดีไซต์ (Andesitic dyke) แทรกตัดขึ้นมาในหินแอนดีไซต์และหินเถ้าภูเขาไฟ จากการศึกษาของ Kositanont (2008) พบว่าเขापนมพาประกอบด้วยหินเห้ำ พวกหินบะซอลติกแอนดีไซต์วางตัวในแนวเหนือใต้ โดยมีความสัมพันธ์กับหินปูนที่มีลักษณะเป็นเลนส์แทรกสลับอยู่ในหินภูเขาไฟและหินตะกอนภูเขาไฟอยู่ด้านบน ลักษณะหินบะซอลติกแอนดีไซต์ ประกอบด้วย เนื้อดอกของแร่ไพร์ออกซิน และแพลลิจิโอเคลส เฟลด์สปาร์ และมีเนื้อพื้นเป็นแร่ฮอร์นเบลน ไบโอไทต์ ที่มีขนาดเล็กถึงปานกลาง พบหินตะกอนภูเขาไฟแสดงรอยเลื่อนสัมพันธ์กับหินปูนและมีการตกผลึกแร่ใหม่ กลายเป็นหินอ่อน และ แคลก์ ซิลิเกต (Calc silicate) ซึ่งพบแร่โอลาสโทไนต์ในแคลก์-ซิลิเกต และจากการศึกษาของ พิรณัฐ วิเศษศรี (2552) พบว่าบริเวณเขापนมพามีหินทั้งหมด 6 ชนิด โดยมี หิน แอนดิซิดิกลาพิลลิทัฟฟ์ (Andesitic lapilli tuff) วางตัวอยู่ด้านล่างสุดซึ่งมีการวางตัวในแนวตะวันออก-ตะวันตกและมีมุมเอียงเท ประมาณ 70 องศา มีความหนาอย่างน้อย 350 เมตร และถูกปิดทับด้วยหินไรโอริติกลาพิลลิทัฟฟ์ หินไมโครไดออไรต์ บริเวณตอนกลางของเขापนมพาในแนว ตะวันออก-ตะวันตกเป็นผนังหินไมโครไดออไรต์แทรกดันบริเวณด้านทิศเหนือ และด้านทิศใต้ของเขापนมพา ผนังหินทรานซิดิกแอนดีไซต์ ซึ่งตัดเข้าไปในผนังหินไมโครไดออไรต์

3.2 การสำรวจและการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาเป็นแบบ การสุ่มเก็บตัวอย่าง โดยมีลักษณะเส้นทางการเก็บตัวอย่างและข้อมูลทางธรณีวิทยาครอบคลุมพื้นที่ศึกษา โดยสุ่มเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาซึ่งมีการกระจายตัว ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 จะสังเกตได้ว่าบริเวณพื้นที่ด้านตะวันตกเฉียงเหนือของเขापนมพานั้น ไม่สามารถเข้าไปสำรวจได้เนื่องจาก เป็นพื้นที่คุ้มครองของกรมป่าไม้ จึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มาใช้ในการแปลผลข้อมูลภายหลัง โดยเส้นทางการเดินสำรวจจะแบ่งออกเป็น 2 วัน คือ วันที่ 26 มิถุนายน 2558 และ วันที่ 27 มิถุนายน 2558

Date	UTM	Lithology Description	Photographs	
26/2/2015	0665825mE 1802929mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่ หินโรโอไลติกาลิที่ฟี่		
	0665887mE 1802819mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่ หินโรโอไลติกาลิที่ฟี่		
	0665843mE 1802998mN	หินหล่นของหินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่		
	0665721mE 1803014mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่ หินโรโอไลติกาลิที่ฟี่และหินโรโอไลติกาลิที่ฟี่ลิมบรคเซอ		
	0665808mE 1802918mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่		
	0665865mE 1803014mN	หินโรโอไลติกาลิที่ฟี่และหินโรโอไลติกาลิที่ฟี่ลิมบรคเซอ		
	0665876mE 1802919mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่และหินไมโครโคอไรต์		
	0665887mE 1802819mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่และหินไมโครโคอไรต์		
	0665861mE 1802710mN	หินไมโครโคอไรต์		
	0665810mE 1802720mN	หินไมโครโคอไรต์		
	0665711mE 1802649mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่		
27/2/2015	0665666mE 1802754mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่		
	0665746mE 1802762mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่และตัวอย่างหินที่โม่ร่าอง		
	0665816mE 1802844mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่ หินไมโครโคอไรต์		
	0665727mE 1802843mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่ หินไมโครโคอไรต์		
	0665886mE 1802902mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่ที่มีสายแร่คัล หินไมโครโคอไรต์ หนั่งหินแอนดิไซต์		
	0665843mE 1802998mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่ หินไมโครโคอไรต์ หนั่งหินแอนดิไซต์		
	0665773mE 1802942mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่ หินไมโครโคอไรต์ หนั่งหินแอนดิไซต์		
	0665686mE 1802884mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่ หินไมโครโคอไรต์		
	0665761mE 1802915mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่ ที่มีสายแร่ให้ทองคำ		
	0666007mE 1802732mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่ ที่มีสายแร่ให้ทองคำ		
	0665842mE 1802909mN	หินที่ประกอบด้วยแร่ที่โรโทคและแร่โพโรซ		
	0665882mE 1802893mN	หินแอนดีซิดักลาสาลิที่ฟี่		

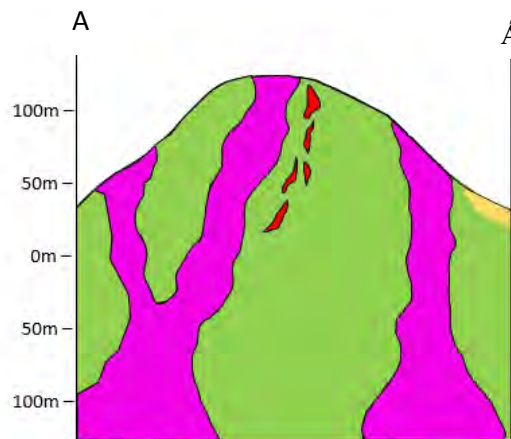
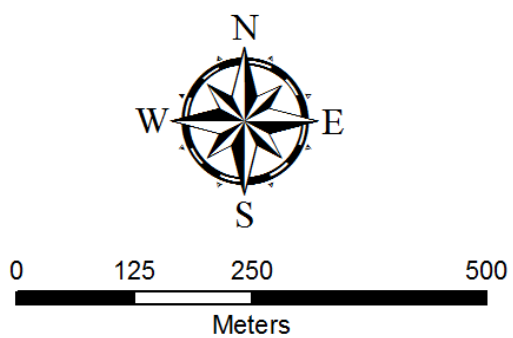
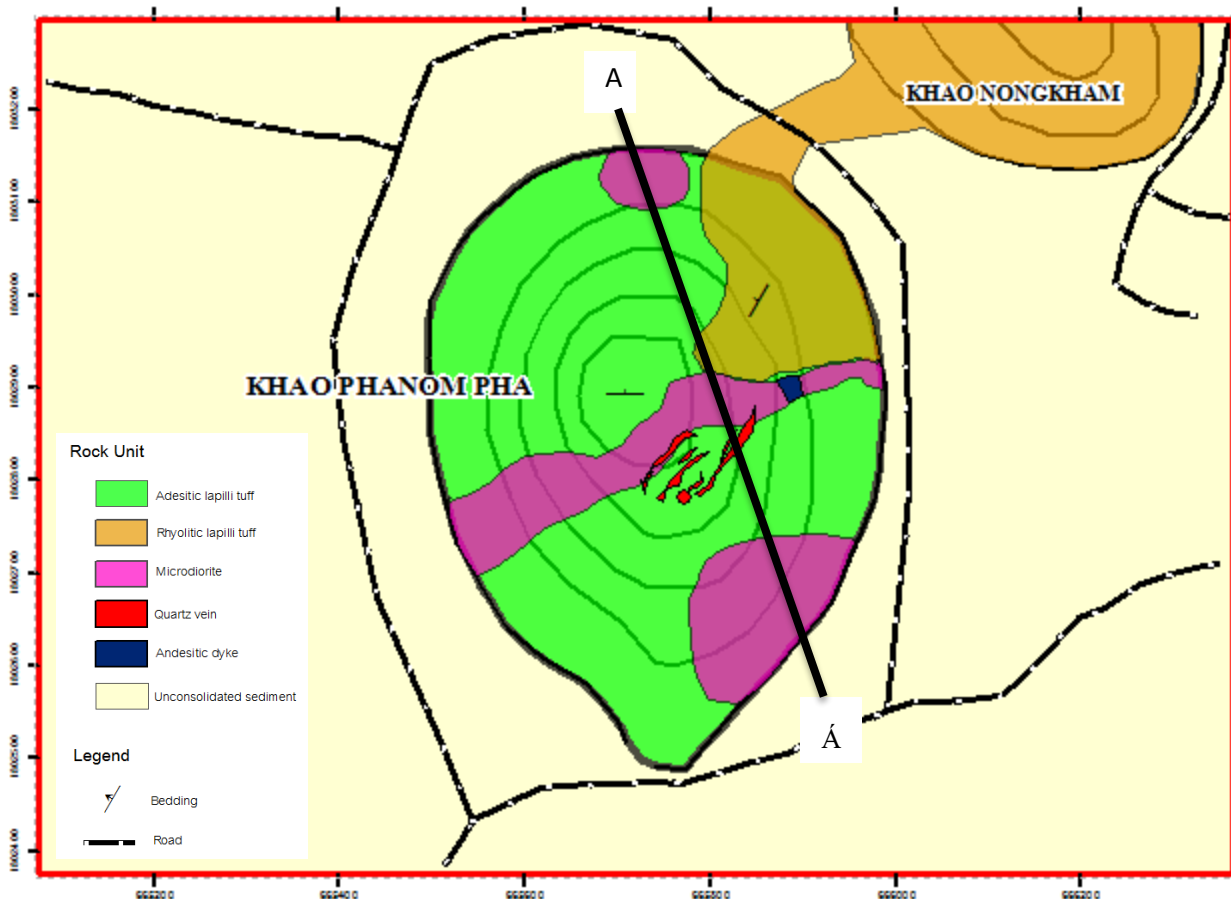
รูปที่ 3.1 พิกัดของจุดเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 3.2 เส้นทางสำรวจและจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาซึ่งกระจายตัวอยู่ทั่วบริเวณเขาพนมผา

3.3 ธรณีวิทยาแหล่งแร่

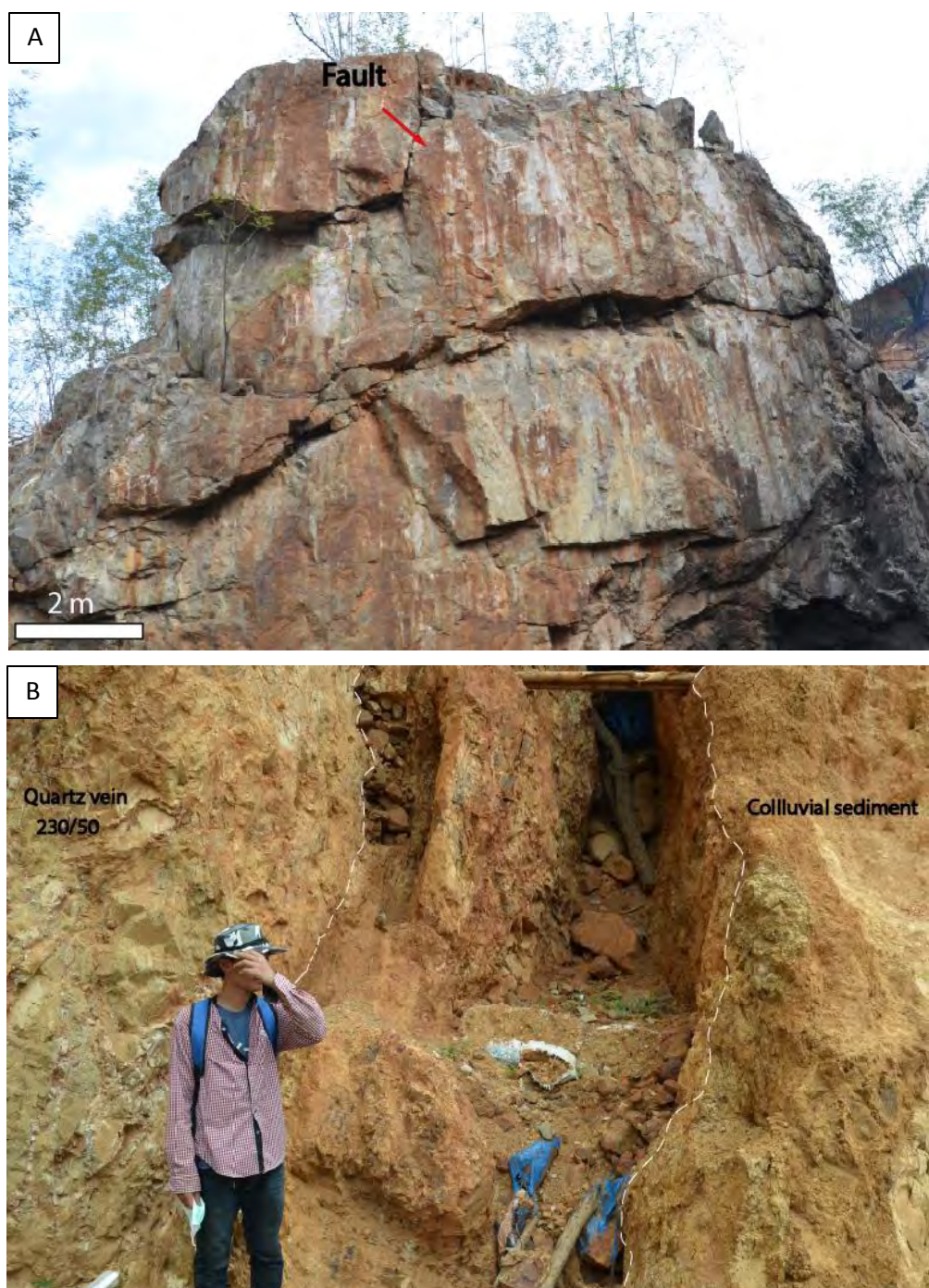
จากการศึกษาในครั้งนี้ ลักษณะการกระจายตัวของหิน ในพื้นที่ศึกษาพบว่า มีการกระจายตัวของหิน แอนดซิติกลาพิลลิต์ไฟท์ (รูปที่ 3.3 และ 3.6 A) บริเวณเขาพนมพาเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้น บริเวณทางด้านทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือของเขานินโรโอลิตติกลาพิลลิต์ไฟท์ (รูปที่ 3.3 และ 3.7 A) กระจายตัวอยู่บริเวณทางทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือของเขาคอมบูรณภูมิพื้นที่ทั้งหมดของ เขาหนองแวม และ หินไมโคร ไดออไรต์ (รูปที่ 3.3 และ 3.8 A) พบเป็นบริเวณแคบๆทางทิศเหนือของเขาคอมบูรณภูมิ ส่วนใหญ่พบบริเวณทิศ ตะวันออกเฉียงใต้ และบริเวณกลางเขาคอมบูรณภูมิ เป็นแนวยาววางตัวในแนว ตะวันออกตะวันตก ส่วนสายแร่ ควอตซ์ (รูปที่ 3.3) ที่ให้แร่ทองคำนั้นส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่บริเวณกลางเขาคอมบูรณภูมิ กว้างประมาณ 1 เมตร ยาวประมาณ 30 เมตร หรืออาจจะยาวกว่านั้นแต่วางตัวไม่ต่อเนื่องในแนว ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และพบไม่น้อยกว่า 3 แนว ปัจจุบัน ถูกเปิดเป็นหน้าเหมืองกระจายตามแนวของสายแร่ ลักษณะการ เอียงตัวของสายแร่ค่อนข้างชันประมาณ 70 องศาไปทางทิศ ตะวันออกเฉียงใต้ นอกจากนี้ยังพบผนังหิน แอนดิไซต์ (รูปที่ 3.3 และ 3.10 A) มีการกระจายตัวบริเวณกลางเขาคอมบูรณภูมิ มีการวางตัวในแนว ตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือมีขนาดกว้าง ประมาณ 1.5 เมตร ยาวประมาณ 10 เมตร พื้นที่ราบรอบๆ เขาคอมบูรณภูมิเป็นบริเวณที่มีการสะสมของตะกอนเชิงเขาที่ยังไม่แข็งตัว (รูปที่ 3.3 และ 3.11 A และ B) ของพวกหิน เกล็ด หินทรายแป้ง ครอบคลุมบริเวณรอบเขาคอมบูรณภูมิ และเขาหนองแวม โดยบริเวณที่ราบเชิงเขา ด้าน ตะวันออก ของเขาคอมบูรณภูมิเป็นบริเวณที่มีการสะสมตัวของทองคำอยู่



รูปที่ 3.3 แผนที่ธรณีวิทยาและภาพตัดขวางพื้นที่เขาพนมพา



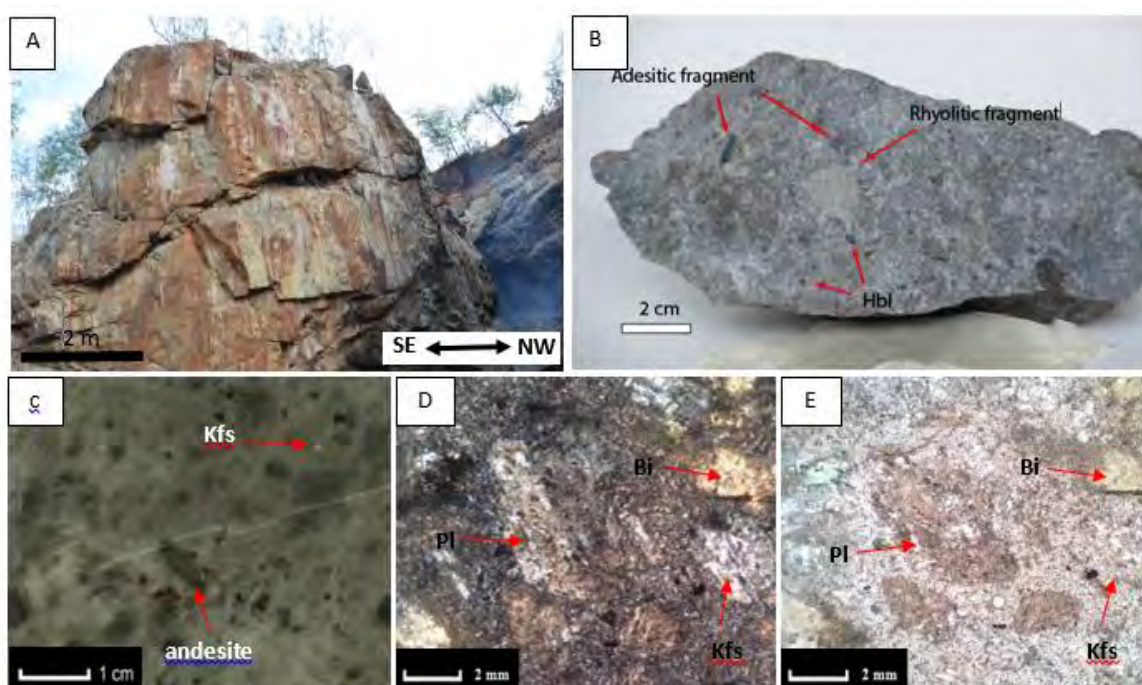
รูปที่ 3.4 พื้นที่หน้าเหมืองที่มีการระเบิดเพื่อขุดแร่ (A) หินโคล่บริเวณหน้าเหมืองของหินไมโครไดออไรต์และหินไรโอไลต์ ดิกลาฟิลลิทัฟฟ์ บริเวณจุดศึกษาที่ 2 รอยสัมผัสของชั้น หินไดออไรต์ ที่ถูกปิดทับด้วยหินไรโอไลต์ดิกลาฟิลลิทัฟฟ์ บริเวณจุดศึกษาที่ 21 พิกัด 0665825mE 1802929mN (B) หินแอนดิซิดิกลาฟิลลิทัฟฟ์ พนังแอนดิไซต์ และพนังหินไมโครไดออไรต์ แสดงการแทรกตัด ของไมโครไดออไรต์ เข้ามาในหินแอนดิซิดิกลาฟิลลิทัฟฟ์ ในแนว $275^{\circ}/70^{\circ}$ และพนังหินแอนดิไซต์ แทรกตัดเข้ามาในหิน ไมโครไดออไรต์ ในแนว $334^{\circ}/78^{\circ}$ อีกครั้ง (คนในรูปสูง 168 ซม.) บริเวณจุดศึกษาที่ 1 พิกัด 0665686mE 1802884mN (C) หินไมโครไดออไรต์และพนังแอนดิไซต์ แสดงการแทรกตัดของพนังแอนดิไซต์เข้ามาใน หินไมโครไดออไรต์ ในแนว $334^{\circ}/78^{\circ}$ (คนในรูปสูง 172 ซม.) บริเวณจุดศึกษาที่ 1 พิกัด 0665686mE 1802884mN



รูปที่ 3.5 พื้นที่หน้าเหมืองและร่องรอยของสายแร่ควอตซ์ที่ให้ทอง (A) หน้าผาหิน โดยมองไปทางทิศใต้ แสดงหิน โผล่เป็นหินแอนดิซติกลาพิลลิตีฟไฟ และสายแร่ควอตซ์ ซึ่งมีการระเบิดตามแนวสายแร่ควอตซ์ไปในแนว ตะวันตกเฉียงใต้และตะวันออกเฉียงเหนือ และบริเวณหน้าผายังพบแนว รอยเลื่อน (fault) คาดว่าเป็นรอยเลื่อนปกติ (normal fault) โดยมี fault plane $45^{\circ}/50^{\circ}$ และ fault line $50^{\circ}/4^{\circ}$ บริเวณจุดศึกษาที่ 1 พิกัด 0665686mE 1802884mN (B) หิน โผล่ธรรมชาติของหินแอนดิซติกลาพิลลิตีฟไฟ และสายแร่ควอตซ์ พบร่องรอยการขุดหาทองจากสายแร่ควอตซ์และ คาดว่าการที่ไม่ขุดต่อไปก็เพราะไม่พบสายแร่ควอตซ์ที่ให้แร่ทองคำ นอกจากนี้ยังพบสายแร่ควอตซ์ซึ่งแทรกตัดเข้ามาในผนังหินแอนดิไซด์ โดยมีการวางตัวในแนว $230^{\circ}/50^{\circ}$ NW ส่วนบริเวณขวสุดของรูป เป็นตะกอนเชิง เขาที่ยังไม่แข็งตัว (คนในรูปสูง 170 ซม.) จุดศึกษาที่ 3 พิกัด 0665761mE 1802915mN

หินแอนดิซิติกลาพิลลิตัทพ์

หินแอนดิซิติกลาพิลลิตัทพ์ ที่บริเวณหน้าเหมืองเป็นหิน โผล่ที่มีแนวสายแร่ควอตซ์ไปในแนว ตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ และบริเวณหน้าผาพบแนวรอยเลื่อนปกติ (รูปที่ 3.6 A) ตัวอย่างหินมี สีสดสีดำน้ำตาล สีสุสีเทาดำ ประกอบด้วยเศษหิน (Clast) ของแอนดิไซต์ขนาด 0.6 เซนติเมตร การ คัดขนาดปานกลาง มีรูปร่างผิวเหลี่ยมปานกลาง (รูปที่ 3.6 B และ C) ภายในเศษหินแอนดิไซต์ด้วยแร่ สอร์นเบลน แร่ไบโอไทต์ แร่แพลกจิโอเคลส เฟลด์สปาร์ และเศษหินไรโอไรต์ ขนาดเฉลี่ย 0.3 เซนติเมตร การคัดขนาดไม่ มีรูปร่าง ผิวเหลี่ยมถึงเหลี่ยม ภายในเศษหินไรโอไรต์ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ และแร่แพ ลกจิโอเคลส เฟลด์สปาร์ ผลึกแร่ที่เกิดร่วมกับเศษหิน เช่น แร่ควอตซ์ (รูปที่ 3.6 D และ E)

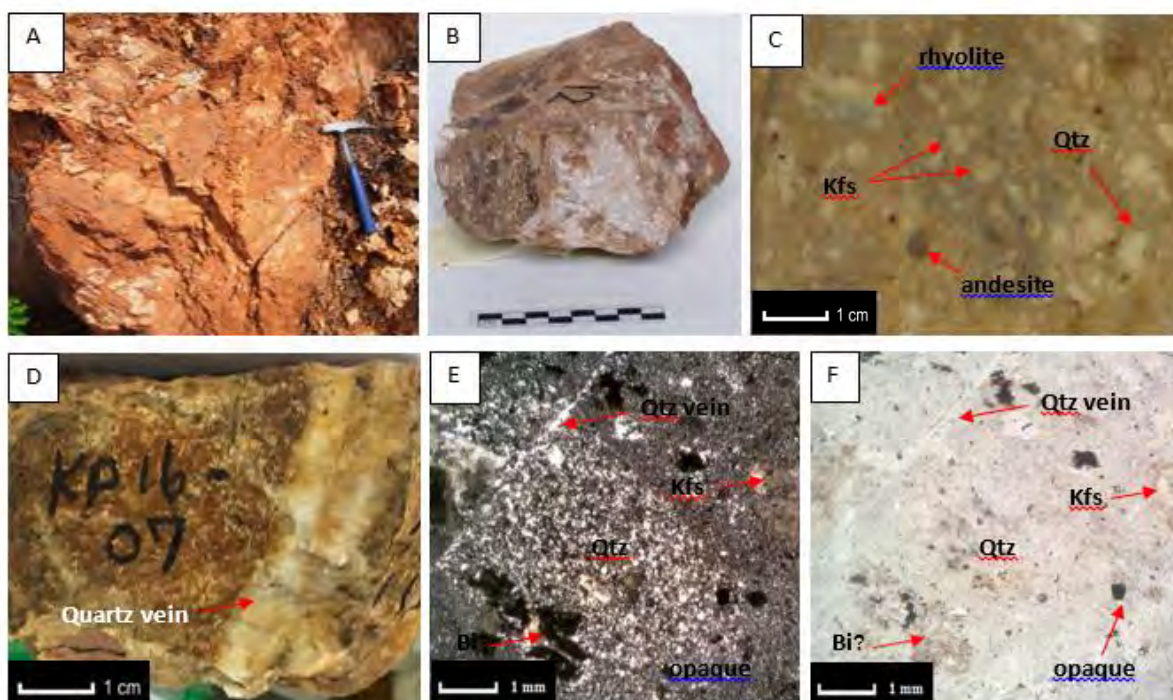


รูปที่ 3.6 ลักษณะของหินแอนดิซิติกลาพิลลิตัทพ์ (A) มองไปทางทิศใต้ แสดงหิน โผล่เป็นหินแอนดิซิติกลาพิ ลิตัทพ์ และสายแร่ควอตซ์ ซึ่งมีการระเบิดตามแนวสายแร่ควอตซ์ไปในแนวตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ และบริเวณหน้าผายังพบแนวรอยเลื่อนปกติ โดยมี fault plane $45^{\circ}/50^{\circ}$ และ fault line $50^{\circ}/4^{\circ}$ (B) หินแอนดิซิติ กลาพิลลิตัทพ์ และ (C) แผ่นหินบางของหินแอนดิซิติกลาพิลลิตัทพ์ ประกอบด้วยเศษหินของแอนดิไซต์ขนาด 0.6 เซนติเมตร การคัดขนาดปานกลาง มีรูปร่างผิวเหลี่ยมปานกลาง ภายในเศษหินแอนดิไซต์ประกอบด้วยแร่สอร์นเบล นแร่ไบโอไทต์ แร่แพลกจิโอเคลส เฟลด์สปาร์ และเศษหินไรโอไรต์ ขนาดเฉลี่ย 0.3 เซนติเมตร การคัดขนาดไม่ มีรูปร่างรูปร่างผิวเหลี่ยมปานกลาง ถึงเหลี่ยม ภายในเศษหินไรโอไรต์ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ และแร่แพลกจิโอ เคลส เฟลด์สปาร์ ผลึกแร่ที่เกิดร่วมกับเศษหิน เช่น แร่ควอตซ์ (D) ไสน์โคล (E) ไมไสน์โคล จากกล้องจุลทรรศน์ โป ลาริสต์ของหินแอนดิซิติกลาพิลลิตัทพ์ ประกอบด้วยเศษหินของไรโอไรต์ เศษหินแอนดิไซต์ และผลึกแร่โพแทส- เฟลสปาร์ แร่แพลกจิโอเคลส เฟลสปาร์ แร่สอร์นเบลน แร่ไบโอไทต์ และแร่ควอตซ์ ขนาด เฉลี่ย 0.1-0.3 มิลลิเมตร

Kfs = k-feldspar, Bi = biotite, Pl = plagioclase feldspar, Hbl = hornblende, Qtz = quartz

หินไรโอลิติกลาพิลลิต์ไฟ

หินไรโอลิติกลาพิลลิต์ไฟมีสีสดเป็นเทาชมพู สีผุเป็นสีส้มแดง ประกอบด้วยเศษหินไรโอลิต์ ขนาดเฉลี่ย 0.3 เซนติเมตร การคัดขนาดปานกลาง รูปร่างรูปร่างผิวเหลี่ยมปานกลาง (รูปที่ 7 A,B และC) ภายในเศษหินไรโอลิต์ประกอบด้วย แร่ควอตซ์ แร่โพแทส เฟลด์สปาร์ แร่แพลกจิโอเคลส เฟลด์สปาร์ ขนาดเฉลี่ย 0.3 เซนติเมตร (รูป 3.7 E และ F) โดยส่วนใหญ่หินไรโอลิติกลาพิลลิต์ไฟ มีการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินแบบซิลิซิฟิเคชัน (Silicification) และมีสายแร่ตัดผ่าน (รูปที่ 3.7 D)

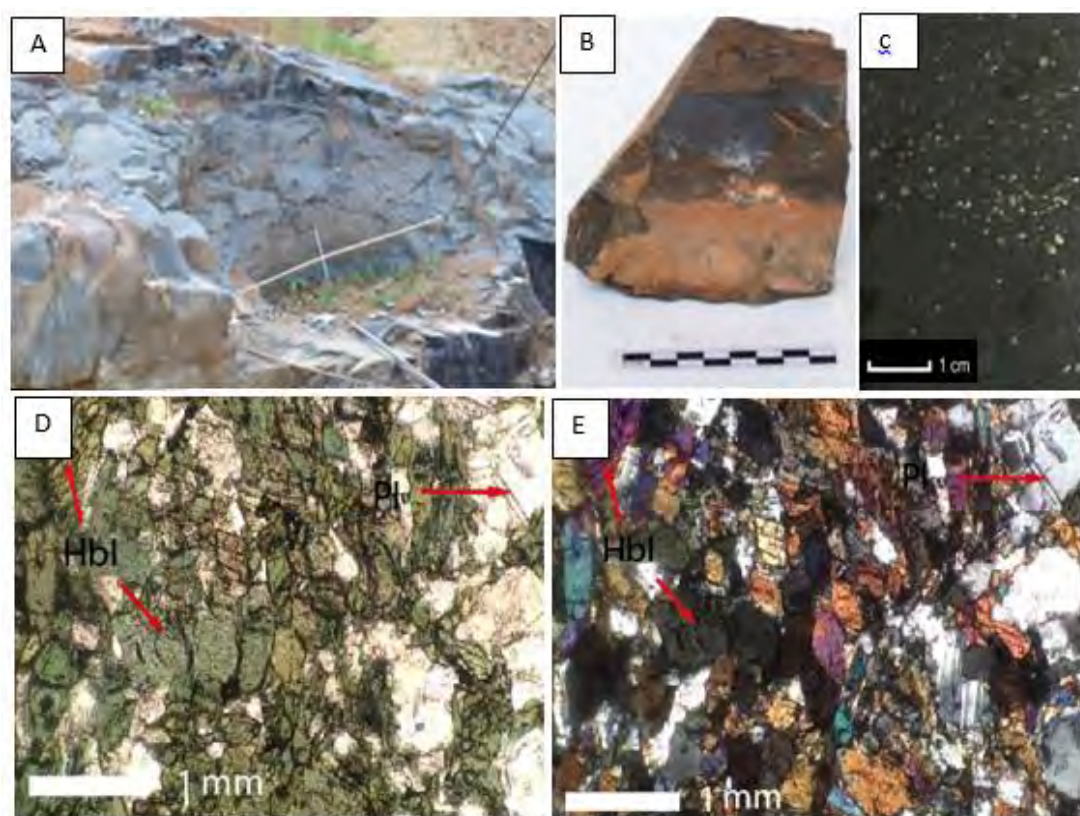


รูปที่ 3.7 ลักษณะของหินไรโอลิติกลาพิลลิต์ไฟ (A) หินโผล่ของหินไรโอลิติกลาพิลลิต์ไฟ อยู่บริเวณตรงกลางเขาค่อนไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเขา ซึ่งมีสายแร่ควอตซ์ตัดแทรกเข้ามา กว้างประมาณ 4 เซนติเมตร ทำให้หินบริเวณนี้มีความแข็งมากเนื่องจากเกิดกระบวนการแทนที่ด้วยซิลิกาของเนื้อหินที่ยังไม่ผุ บริเวณจุดศึกษาที่ 2 พิกัด 0665825mE 1802929mN (B) หินไรโอลิติกลาพิลลิต์ไฟ มีสีสดเป็นสีเทาชมพู สีผุเป็นสีส้มแดง ประกอบด้วยเศษหินไรโอลิต์ ขนาดเฉลี่ย 0.3 เซนติเมตร การคัดขนาดปานกลาง รูปร่างผิวเหลี่ยมปานกลางและผลึกแร่ควอตซ์และแพลกจิโอเคลส เฟลด์สปาร์ ขนาดเฉลี่ย 0.2 เซนติเมตร (C) แผ่นหินบางของหินไรโอลิติกลาพิลลิต์ไฟ ประกอบด้วยเศษหินไรโอลิต์ ขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร และผลึกแร่เก่าถูกแทนที่ด้วยแร่แพลกจิโอเคลส เฟลสปาร์ และแร่ควอตซ์ (D) หินไรโอลิติกลาพิลลิต์ไฟ ที่มีสายแร่ควอตซ์ขนาด 4 เซนติเมตร ตัดแทรกเข้ามาในเนื้อหินทำให้หินมีลักษณะแข็งมากกว่าปกติ (E) ใส่นิโคล (F) ไม่ใส่นิโคล จากกล้องจุลทรรศน์ของหินไรโอลิติกลาพิลลิต์ไฟ ประกอบด้วย เศษหินไรโอลิต์ ขนาด 1 มิลลิเมตร รูปร่างผลึกค่อนข้างชัดเจน การคัดขนาดปานกลาง ภายในเศษหินไรโอลิต์ประกอบด้วย แร่โพแทส-เฟลสปาร์ แร่แพลกจิโอเคลส เฟลสปาร์ ขนาดเฉลี่ย 0.1-0.3 มิลลิเมตร รูปร่างผลึกค่อนข้างชัดเจน

Kfs = k-feldspar, Bi = biotite, Pl = plagioclase feldspar, Hbl = hornblende, Qtz = quartz

หินไมโครไดออไรต์

หินไมโครไดออไรต์ในพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของเขapunมพาว ขนาดประมาณ $5 \times 5 \text{ m}^2$ (รูปที่ 3.8 A) มีสีสด เป็นสีดำ สีขุ่นเป็นสีเทาดำ มีเนื้อหินแบบพอไฟรี (Porphyritic texture) เนื้อผลึกดอกหรือผลึกหยาบ (Phenocryst) เป็นแร่ฮอร์นเบลน แร่ไบโอไทต์ แร่ไพร์อกซีน และแร่แพลกจิโอเคลส เฟลด์สปาร์ และแร่โอเปก (รูปที่ 3.8 B และ C) ส่วนผลึกละเอียด เป็นแร่ควอตซ์และแร่โพแทส เฟลด์สปาร์ มีผลึกขนาดเล็กมาก ประมาณ 0.05 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.8 D และ E)

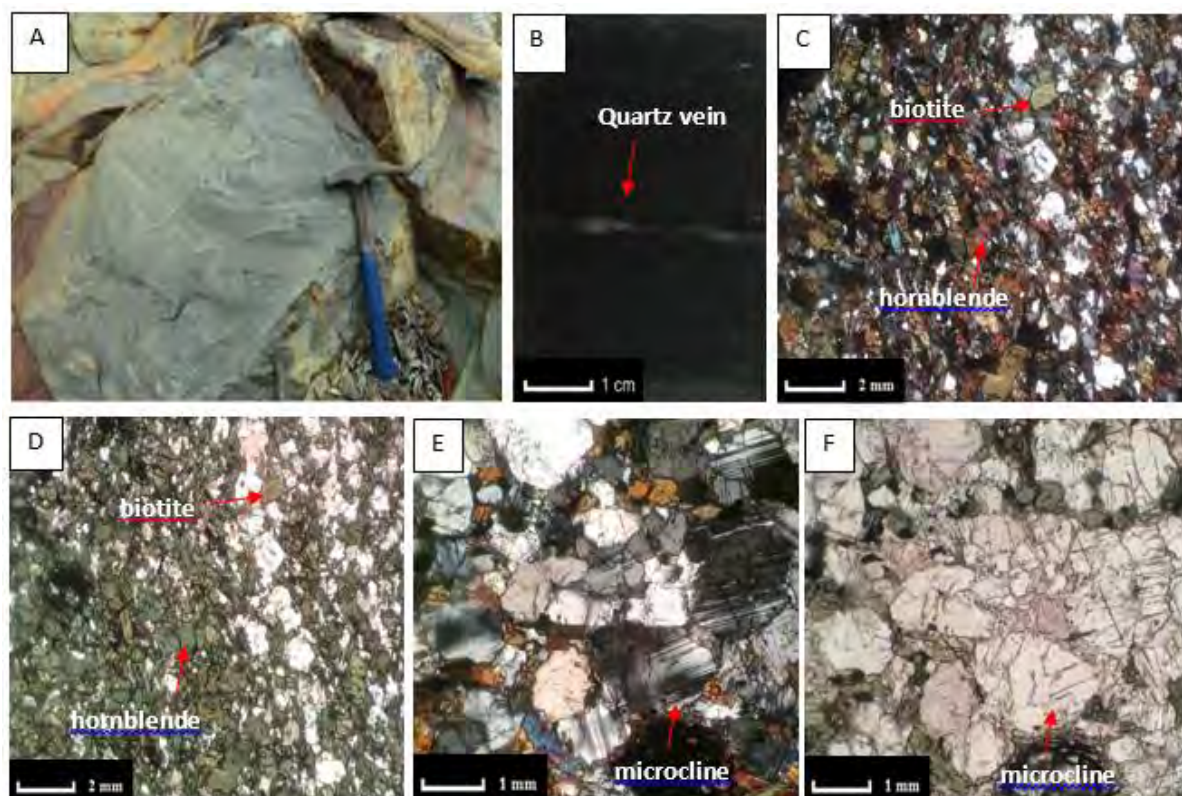


รูปที่ 3.8 ลักษณะของหินไมโครไดออไรต์ (A) หินโผล่ของหินไมโครไดออไรต์ ขนาดประมาณ $5 \times 5 \text{ m}^2$ บริเวณทิศใต้ของดินเขapunมพาว บริเวณจุดศึกษาที่ 8 พิกัด 0665887mE 1802819mN (B) แสดงตัวอย่างหินไมโครไดออไรต์ มีสีสดเป็นสีดำ สีขุ่นเป็นสีเทาดำ เนื้อผลึกดอกเป็นแร่ฮอร์นเบลน และแร่ทึบแสง และแร่สีเหลือง คาดว่า เป็นแร่ไพไรต์ เนื้อผลึกละเอียดเป็นแร่ควอตซ์ มีผลึกขนาดเล็กมาก (C) แสดงแผ่นหินบางของหินไมโครไดออไรต์ เนื้อหินแบบพอไฟรี พบผลึกแร่สีเหลืองชัดเจนขนาดเฉลี่ยประมาณ 2 เซนติเมตร กระจายทั่วหินเป็นจุดๆ คาดว่าเป็นแร่ไพไรต์ (F) ไม่นิโคไล (G) ไม่นิโคไล จากกล้องจุลทรรศน์ของหินไมโครไดออไรต์ เนื้อหินแบบพอไฟรี เนื้อผลึกดอกได้แก่ แร่สีดำ แร่ฮอร์นเบลน แร่ไบโอไทต์ แร่โพแทส-เฟลสปาร์ แร่แพลกจิโอเคลส เฟลสปาร์ ขนาดเฉลี่ย 0.1-0.3 มิลลิเมตร รูปร่างผลึกไม่ชัดเจน ส่วนผลึกละเอียดเป็น แร่ควอตซ์ โพแทส-เฟลสปาร์ และยังพบการแทนที่ของแร่ควอตซ์ในผลึกแร่แพลกจิโอเคลส เฟลสปาร์

Kfs = k-feldspar, Bi = biotite, Pl = plagioclase feldspar, Hbl = hornblende, Qtz = quartz

ผนังหิน ไมโครไดออไรต์

ผนังหินไมโครไดออไรต์ในพื้นที่พบบริเวณตะพานออกของเขาแทรกคักเข้ามาในหินแอนดิซิติกลาฟิลิทิฟ (รูปที่ 3.9 A และ B) มีสีสด เป็นสีดำ สีฟ้าเป็นสีเทาเข้ม เนื้อผลึกดอกเป็นแร่ฮอร์นเบลน ควอตซ์ โฟแทสเซียม-เฟลสปาร์ และแร่แพลกจิโอเคลส เฟลสปาร์ ประมาณ 95% ส่วนที่เหลือเป็นแร่ควอตซ์ หินชนิดนี้ไม่มีการเปลี่ยนสภาพหิน (รูปที่ 3.9 C,D,E และ F)

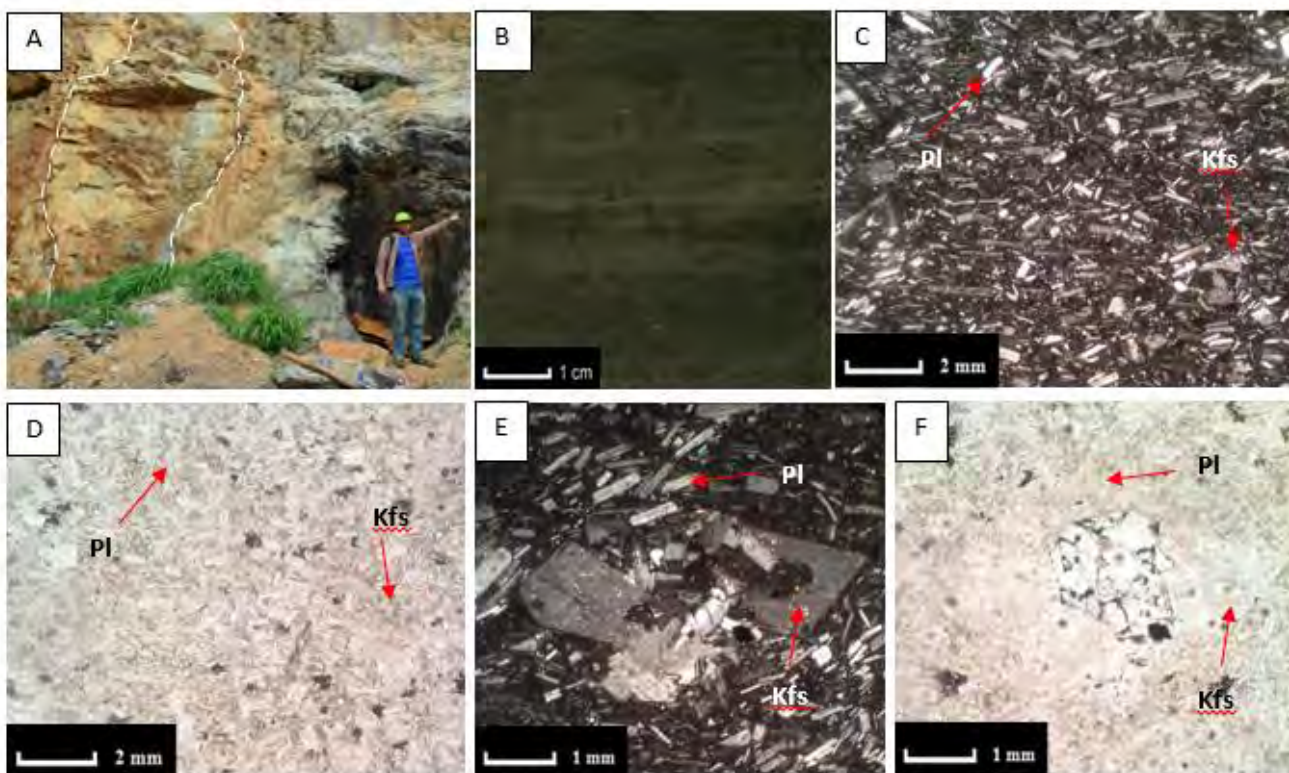


รูปที่ 3.9 ลักษณะของผนังหินไมโครไดออไรต์ (A) หินโผล่ของไมโครไดออไรต์ไคล์ ขนาดประมาณ $3 \times 5 \text{ m}^2$ บริเวณทิศใต้ของดินเขาพนมพา มีสีสดสีเทาเข้ม สีฟ้าสีน้ำตาลดำ บริเวณจุดศึกษาที่ 1 พิกัด $0665686\text{mE } 1802884\text{mN}$ (B) ตัวอย่างแผ่นหินบางของผนังหินไมโครไดออไรต์ เนื้อผลึกเป็น แร่แพลกจิโอเคลส เฟลสปาร์และแร่ซีลิเกต และแร่ที่บดแสง ผลึกหยาบส่วนใหญ่เป็นผลึกเท่ากัน (C) ใส่นิโคล (D) ไม่ใส่นิโคล จากกล้องจุลทรรศน์ของผนังหินไมโครไดออไรต์ เนื้อหินแบบพอไฟรี ประกอบด้วย แร่ฮอร์นเบลน แร่ไบโอไทต์ แร่แพลกจิโอเคลส เฟลสปาร์ และแสดงลักษณะการวางตัวของแร่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน (Flow texture) และ แร่สีดำ (F) ใส่นิโคล (G) ไม่ใส่นิโคล จากกล้องจุลทรรศน์ของผนังหินไมโครไดออไรต์ เนื้อหินแบบพอไฟรี ประกอบด้วย แร่สีดำ แร่ฮอร์นเบลน แร่แอลทิโนไลต์ แร่ไพร็อกซีน แร่ไบโอไทต์ แร่โฟแทสเซียม-เฟลสปาร์ แร่แพลกจิโอเคลส เฟลสปาร์ ชนิดแร่แอลไบต์ (Albite) และแร่ไมโครไคลซ์ (Microcline) ซึ่งแสดงแนวรอยแตกเรียบ (Cleavage) ที่ชัดเจน ขนาดเฉลี่ย $0.1-0.3$ มิลลิเมตร รูปร่างผลึกชัดเจนถึงค่อนข้างชัดเจน

Kfs = k-feldspar, Bi = biotite, Pl = plagioclase feldspar, Hbl = hornblende, Qtz = quartz

พนักหินแอนดิไซต์

พนักหินแอนดิไซต์ในพื้นที่พบบริเวณทางด้านทิศตะวันออก ขนาดประมาณ $3 \times 10 \text{ m}^2$ (รูปที่ 3.10 A) มีสีสดสีขาวเขียว สีฝุ่นเป็นสีขาว เนื้อหินแบบพอไฟรี เนื้อผลึกคอกเป็น แร่ควอตซ์ โฟแทสเซียม-เฟลสปาร์ และแร่แคลซิโอเคลส เฟลสปาร์ ที่มาเรียงตัวกันประมาณ ส่วนที่เหลือเป็นเนื้อผลึกหยาบซึ่งเป็นเนื้อแก้ว ทั้งหมด หินชนิดนี้ไม่มีการเปลี่ยนสภาพหินและไม่มีสายแร่ตัดผ่าน (รูปที่ 3.10 C,D,E และ F)

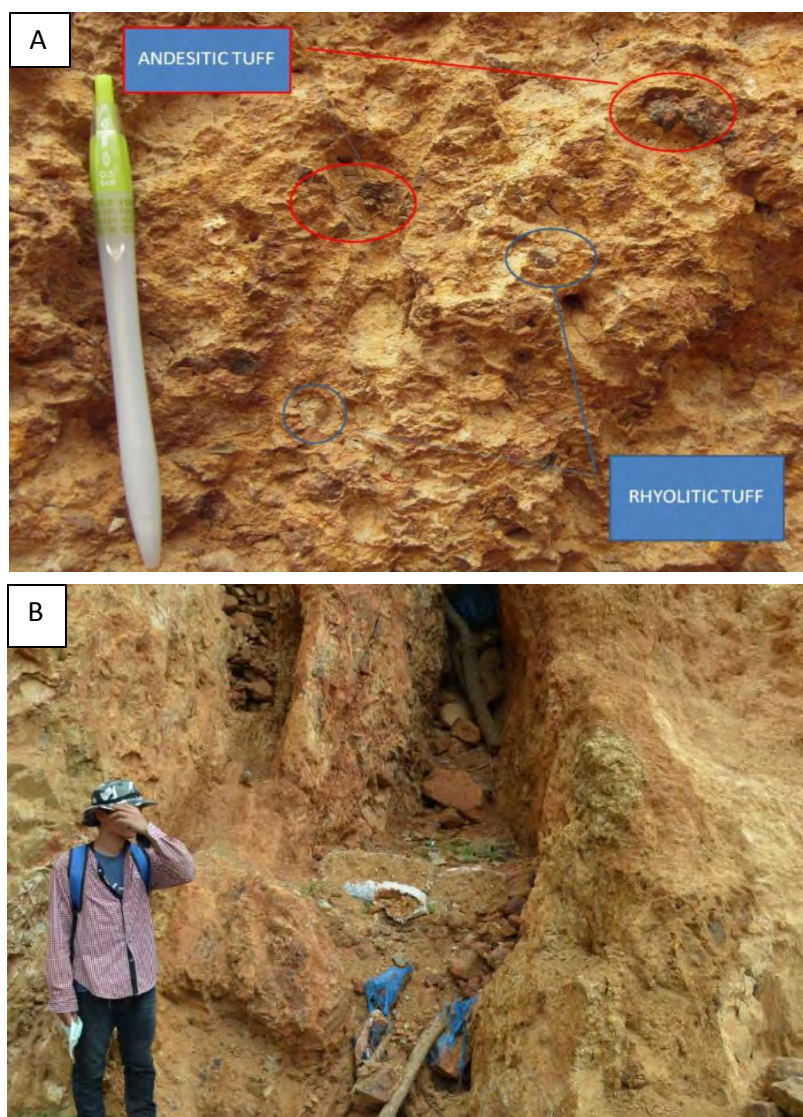


รูปที่ 3.10 ลักษณะของพนักหินแอนดิไซต์ (A) หินโผล่ของพนักหินแอนดิไซต์ ขนาดประมาณ $3 \times 10 \text{ m}^2$ บริเวณทิศใต้ของดินเขาพนมพา มีร่องรอยการขุดแร่ทางขวามือของพนักหิน บริเวณจุดศึกษาที่ 1 พิกัด 0665686mE 1802884mN (B) แผ่นหินบางของพนักหินแอนดิไซต์ มีสีสดเป็นสีดำ สีฝุ่นเป็นสีเทา เนื้อผลึกเป็นแร่แคลซิโอเคลส เฟลสปาร์ เป็นจุดสีขาวกระจายทั่วไป มีขนาดประมาณ 0.1 เซนติเมตร และแร่ที่บ่งแสง ผลึกส่วนใหญ่ผลึกเท่ากัน (C) ใสไม่ใส (D) ไม่ใสไม่ใส จากกล้องจุลทรรศน์ของพนักหินแอนดิไซต์ เนื้อหินแบบพอไฟรีติก เนื้อผลึกคอกเป็นผลึกแร่แคลซิโอเคลส เฟลสปาร์ ขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.2 มิลลิเมตร กระจายทั่วหินและแสดงลักษณะการวางตัวของแร่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน (Flow texture) และ แร่ที่บ่งแสง (F) ใสไม่ใส (G) ไม่ใสไม่ใส จากกล้องจุลทรรศน์ของพนักหินแอนดิไซต์ เนื้อหินแบบพอไฟรี เนื้อผลึกคอกได้แก่ แร่สีดำ แร่ฮอร์นเบลน แร่โฟแทส-เฟลสปาร์ แร่แคลซิโอเคลส เฟลสปาร์ ขนาดเฉลี่ย 0.1-0.3 มิลลิเมตร รูปร่างผลึกชัดเจน ส่วนเนื้อผลึกละเอียดประกอบด้วย แร่ควอตซ์ โฟแทส-เฟลสปาร์ และยังพบการแทนที่ของแร่ควอตซ์ในผลึกแร่แคลซิโอเคลส เฟลสปาร์ และภายในแร่แคลซิโอเคลส เฟลสปาร์ ที่มีขนาด 1 มิลลิเมตร มีการแทนที่ของมลทินสกปรกหรือแร่บางชนิด (Sieve texture) และยังเห็นแร่ผลึกเก่ามีรูปร่างผลึกค่อนข้างชัดเจน

Kfs = k-feldspar, Bi = biotite, Pl = plagioclase feldspar, Hbl = hornblende, Qtz = quartz

ตะกอนที่ยังไม่แข็งตัว

ลักษณะตะกอนเป็น ตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวอยู่ด้านล่างและ ถูกปิดทับด้วยศิลาแลง (Laterite) ด้านบน ไม่มีการคัดขนาดตะกอน ส่วนใหญ่เป็นตะกอนขนาด ทรายแป้ง-ดินเหนียว (Silt-clay size particles) และมีเศษหินขนาดประมาณ 0.5-3 เซนติเมตร รูปร่างแบบหินเหลี่ยมปานกลาง เป็นหินไรโอริติกลาพิลลิทฟ์ และ สีดำแดงเป็นหินแอนดซิติกลาพิลลิทฟ์ (รูปที่ 3.11 A และ B)



รูปที่ 3.11 ตะกอนที่ยังไม่แข็งตัว (A) ด้านข้างบ่อขุดของชาวบ้าน เป็น ตะกอนเชิงเขาที่ยังไม่แข็งตัว แสดงลักษณะของ ตะกอนที่เป็นเศษหินซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองชนิด เศษหินที่เป็นสีเข้มเป็น หินแอนดซิติกลาพิลลิทฟ์ เศษหินที่เป็นสีอ่อนเป็นหินไรโอไลติกลาพิลลิทฟ์ ในเนื้อผลึกละเอียด ประกอบด้วยแร่เคลย์ เป็นส่วนใหญ่ จุดศึกษาที่ 2 พิกัด 0665825mE 1802929mN (B) หิน โผล่ของหินแอน ดซิติกลาพิลลิทฟ์ พบร่องรอยการขุดหาทองจากสายแร่ควอตซ์ และมีตะกอนเชิงเขาที่ยังไม่แข็งตัวอยู่กับบริเวณที่เป็นสายแร่ควอตซ์ทางด้านขวามือ ซึ่งบางครั้งชาวบ้านก็นำตะกอนเชิงเขาไปร่อนเพื่อหาแร่ทองคำออกมา จุดศึกษาที่ 3 0665761mE 1802915mN

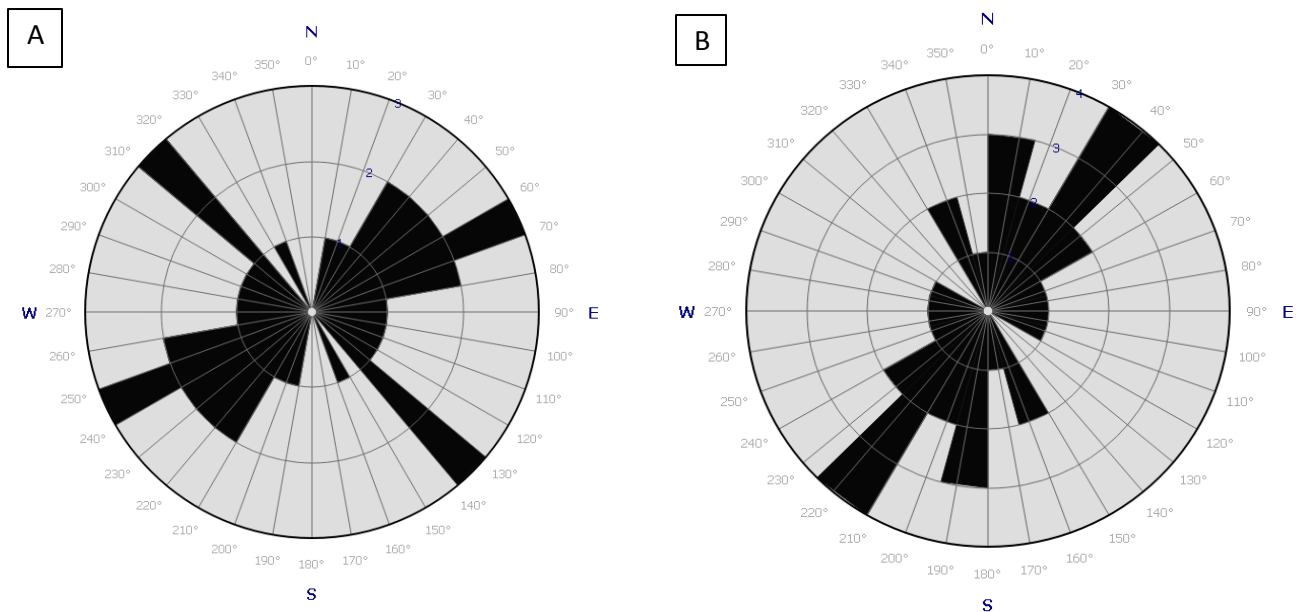
3.4 ธรณีโครงสร้าง (Structure geology)

ในพื้นที่ศึกษามีโครงสร้างแนวหลักของเขาอยู่ในแนวเหนือใต้ โดยมีหินแอนดิซิดิกลาฟิลีท็อฟเป็นหินที่แก่ที่สุดและถูกปิดทับด้วยหินไรโอลิติกลาฟิลีท็อฟ โดยมีรอยสัมผัสในแนว $260^{\circ}/60^{\circ}$ แต่ชั้น หินไรโอริติกลาฟิลีท็อฟมีการวางตัวในแนว $215^{\circ}/70^{\circ}$ ในส่วนของรอยแตก (Joint) เป็นระบบ มีแนวหลักคือ ตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ แนวรองคือแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (รูปที่ 3.12) ซึ่งเมื่อเทียบความสัมพันธ์กับการสะสมของทองคำ ที่เข้ามาตามรอยแตกพร้อมกับสายแร่ควอตซ์ นั้นพบว่าส่วนใหญ่วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงเหนือ มีความกว้างประมาณ 1 เมตร ยาวประมาณ 100 เมตร มุมเอียงเทประมาณ 70 องศา ซึ่งสามารถแบ่งได้คร่าวๆ เป็น 3 แนว (รูปที่ 3.12)

วัดค่าแนวรอยแตกและแนวการวางตัวของสายแร่ ได้ทั้งหมด 41 ค่า แบ่งเป็น

แนวรอยแตก 18 ค่า ดังนี้ $340^{\circ}/72^{\circ}$, $180^{\circ}/151^{\circ}$, $110^{\circ}/61^{\circ}$, $270^{\circ}/59^{\circ}$, $334^{\circ}/76^{\circ}$, $260^{\circ}/60^{\circ}$, $215^{\circ}/70^{\circ}$, $170^{\circ}/71^{\circ}$, $193^{\circ}/70^{\circ}$, $210^{\circ}/45^{\circ}$, $215^{\circ}/10^{\circ}$, $40^{\circ}/65^{\circ}$, $23^{\circ}/56^{\circ}$, $13^{\circ}/63^{\circ}$, $205^{\circ}/80^{\circ}$, $225^{\circ}/48^{\circ}$, $235^{\circ}/60^{\circ}$, $241^{\circ}/46^{\circ}$ และ $227^{\circ}/51^{\circ}$

แนวการวางตัวของสายแร่ 23 ค่า ดังนี้ $20^{\circ}/90^{\circ}$, $15^{\circ}/80^{\circ}$, $120^{\circ}/80^{\circ}$, $300^{\circ}/33^{\circ}$, $50^{\circ}/80^{\circ}$, $70^{\circ}/50^{\circ}$, $30^{\circ}/70^{\circ}$, $60^{\circ}/80^{\circ}$, $75^{\circ}/70^{\circ}$, $35^{\circ}/80^{\circ}$, $60^{\circ}/85^{\circ}$, $49^{\circ}/80^{\circ}$, $290^{\circ}/30^{\circ}$, $130^{\circ}/75^{\circ}$, $86^{\circ}/87^{\circ}$, $100^{\circ}/50^{\circ}$, $135^{\circ}/36^{\circ}$, $270^{\circ}/45^{\circ}$, $310^{\circ}/30^{\circ}$, $49^{\circ}/40^{\circ}$, $65^{\circ}/30^{\circ}$, $154^{\circ}/74^{\circ}$ และ $150^{\circ}/30^{\circ}$



รูปที่ 3.12 แนวการวางตัวของสายแร่และแนวรอยแตกในพื้นที่ศึกษา (A) rose diagram จากข้อมูลแนวการวางตัวของสายแร่ จำนวน 23 ข้อมูลจากทั้งบริเวณพื้นที่ศึกษา ในช่วงความห่างของแนวการวางตัว (interval) 10 องศา แสดงให้เห็นว่าสายแร่ส่วนใหญ่มีแนวการวางตัวในแนว NE-SW และ NW-SE (B) rose diagram จากข้อมูลแนวรอยแตก (Joint) จำนวน 18 ข้อมูลจากทั้งบริเวณพื้นที่ศึกษา ในช่วงความห่างของแนวการวางตัว (interval) 15 องศา แสดงให้เห็นว่าแนวรอยแตกส่วนใหญ่มีแนวการวางตัว ในแนว NE-SW, NNE-SSW และ NW-SE

บทที่ 4 การเกิดแหล่งแร่และการแปรเปลี่ยนของหินทองที่

4.1 การเกิดแหล่งแร่ (Mineralization)

การเกิดแหล่งแร่ เป็นกระบวนการตกสะสมของแร่อันทำให้เกิดแร่ที่มีค่าทางเศรษฐกิจ อย่างเช่น ทองคำเงิน ทองแดง ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในหลายรูปแบบ เช่น เกิดแบบอพิเทอร์มอล (Epithermal) สการ์น (Skarn) และพอร์ไฟรี (Porphyry) เป็นต้น จากการศึกษาของ Khositanont (2008) ศึกษา Sulphur isotope และ Fluid inclusion ได้สรุปว่าแหล่งทองคำเขาพนมพาเป็นการเกิดแหล่งแร่แบบสายแร่ น้ำร้อนอุณหภูมิต่ำ (Mesothermal) และ ในปี พ.ศ. 2552 พีรณัฐ วิเศษศรี ศึกษาธรณีวิทยารายละเอียด ได้สรุปว่าแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพาเป็นแหล่งแร่ทองคำสายแร่ น้ำร้อนอุณหภูมิต่ำ (Epithermal)

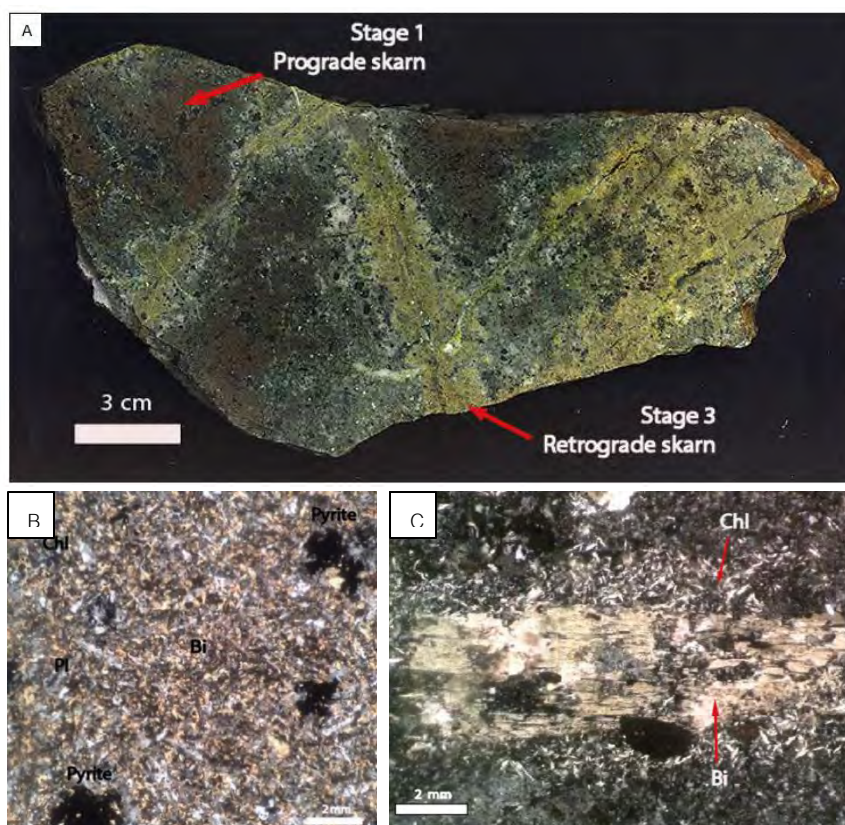
จะเห็นได้จากการศึกษาที่ผ่านมายังหาข้อสรุปที่แน่ชัดไม่ได้ ว่าลักษณะการเกิดของแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพามีลักษณะการเกิดแบบใด ใน การศึกษาครั้งนี้ซึ่งมุ่งเน้นเพื่อที่จะระบุลักษณะการเกิดของแหล่งแร่เขาพนมพาอย่างเป็นระบบ และพบว่าแหล่งแร่ทองคำเกิดในลักษณะของสายแร่ หรือสายแร่ร่างแห (Stockworks) ที่วางตัวในแนวเหนือใต้ มีมุมเอียงเทประมาณ 70 องศา และมีความกว้างประมาณ 1 เมตร แทรกตัดเข้ามาในหินภูเขาไฟและหินไมโครไดออไรต์ โดยสายแร่เกิดอยู่ใน 3 แนว (zone) หลักๆ และ คาดว่าสายแร่อย่างน้อย 4 ช่วงอายุ (Stage)ด้วยกัน โดยหลักการที่ใช้ในการพิจารณาลำดับการเกิดแหล่งแร่ในแต่ละช่วง ประกอบด้วย 1.การตัดกันของสายแร่ (Cross cutting relationship) 2.กลุ่มแร่ที่เกิดขึ้นร่วมกัน (Mineral assemblage) และ 3.ลักษณะเนื้อหิน (Texture)

	Prograde skarn	Major gold mineralization	Retrograde skarn	Quartz vein
Mineral	Stage 1	Stage 2	stage 3	Stage4
Quartz				
Wollastonite	—————			
Garnet	—————			
Pyroxene	—————			
Biotite	—————	—————		
Epidote	—————		—————	
Chlorite		—————	—————	
Calcite	—————		—————	
Plagioclase feldspar	—————			
Pyrite		—————		
Chalcopyrite			—————	
Pyrrhotite		—————		
Electrum		—————		

ตาราง 4.1 ลำดับการเกิดของสายแร่และแร่ในแต่ละช่วงอายุ (Stage)

4.1.1 Stage 1 (Prograde skarn)

Stage 1 เกิดสการ์น เนื่องจากหินอัคนีแทรกซอนที่ดันตัวขึ้นมาทำให้หินภูเขาไฟและหินไมโครไดออไรต์เกิดการแปรเปลี่ยน พบโซนของสการ์น ได้แก่โซนของการ์เนต โซนของไบโอไทต์-ไพร็อกซีน และโซนของคลอไรต์-อีพิโดด โดยส่วนใหญ่จะพบเป็น โซนของไบโอไทต์-ไพร็อกซีน (รูปที่ 4.1 A) ประกอบด้วยแร่ไบโอไทต์ ผลึกมีสีน้ำตาล รูปร่างผลึกค่อนข้างชัดเจน ขนาดเฉลี่ย 0.2 มิลลิเมตร เกิดรวมอยู่กับแร่คลอไรต์และแร่ซัลไฟด์ ซึ่งแร่ซัลไฟด์เป็นแร่ไพไรต์ที่ตกค้างอยู่ในหินอยู่ก่อนหน้านี้แล้วและถูกแปรเปลี่ยนทำให้ไม่สามารถเห็นผลึกแร่ได้อย่างเป็นรูปร่าง นอกจากนี้ยังพบการแทนที่ของแร่ผลึกใหม่ในแร่ไบโอไทต์ เช่น แร่คลอไรต์ แร่ซัลไฟด์ หรือแร่ควอตซ์ (รูปที่ 4.1. B และ C)

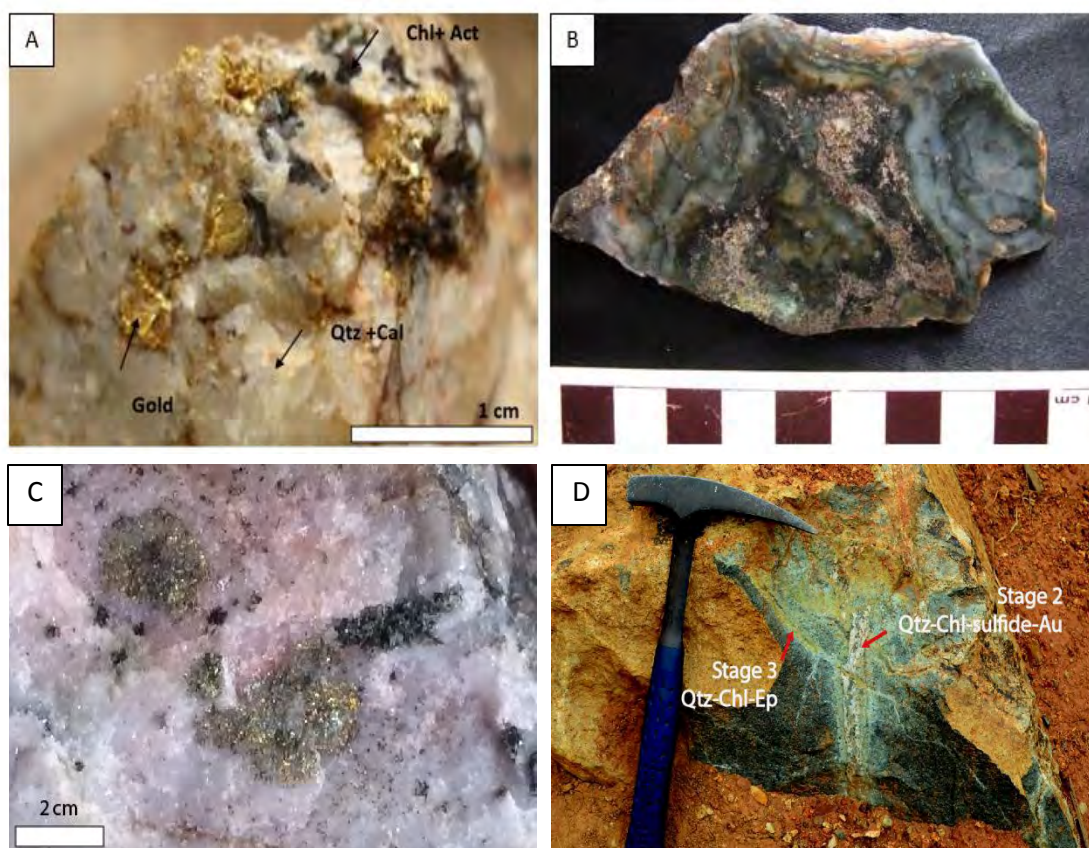


รูปที่ 4.1 ลักษณะเด่นของ stage 1 เป็นช่วงที่ยังไม่มีการตกสะสมตัวของแร่ทองคำ (A) Prograde skarn (สีน้ำตาล) ซึ่งประกอบด้วย โซนของสการ์น เกิดขึ้น โดยส่วนใหญ่จะพบเป็น โซนของไบโอไทต์-ไพร็อกซีน (บริเวณสีน้ำตาล) และแสดงในช่วงที่ 3 ซึ่งมีสายแร่ร้อนอุณหภูมิต่ำ เกิดเป็นสายแร่ ควอตซ์-คลอไรต์-อีพิโดด โดยเคลื่อนที่ตัดแทรกเข้ามาขึ้นมาในช่วงที่ 1 พิกัด 0666007mE 1802732mN (B) ใส่นิโคล จากกล้องจุลทรรศน์ของหินไมโครไดออไรต์ ซึ่งประกอบด้วย แร่ไบโอไทต์ แร่คลอไรต์ แร่แพลทิจิ โอเคลส เฟลสปาร์ และแร่ไพไรต์ ที่ถูกแปรเปลี่ยนอย่างรุนแรงโดยหินอัคนีแทรกซอน (C) ใส่นิโคล จากกล้องจุลทรรศน์ของหินแอนดิซิดิกลาพิลลิตีฟไฟ แสดงการถูกแทนที่ของแร่ไบโอไทต์ด้วยแร่คลอไรต์ บริเวณรอบๆ ขอบของผลึกไบโอไทต์

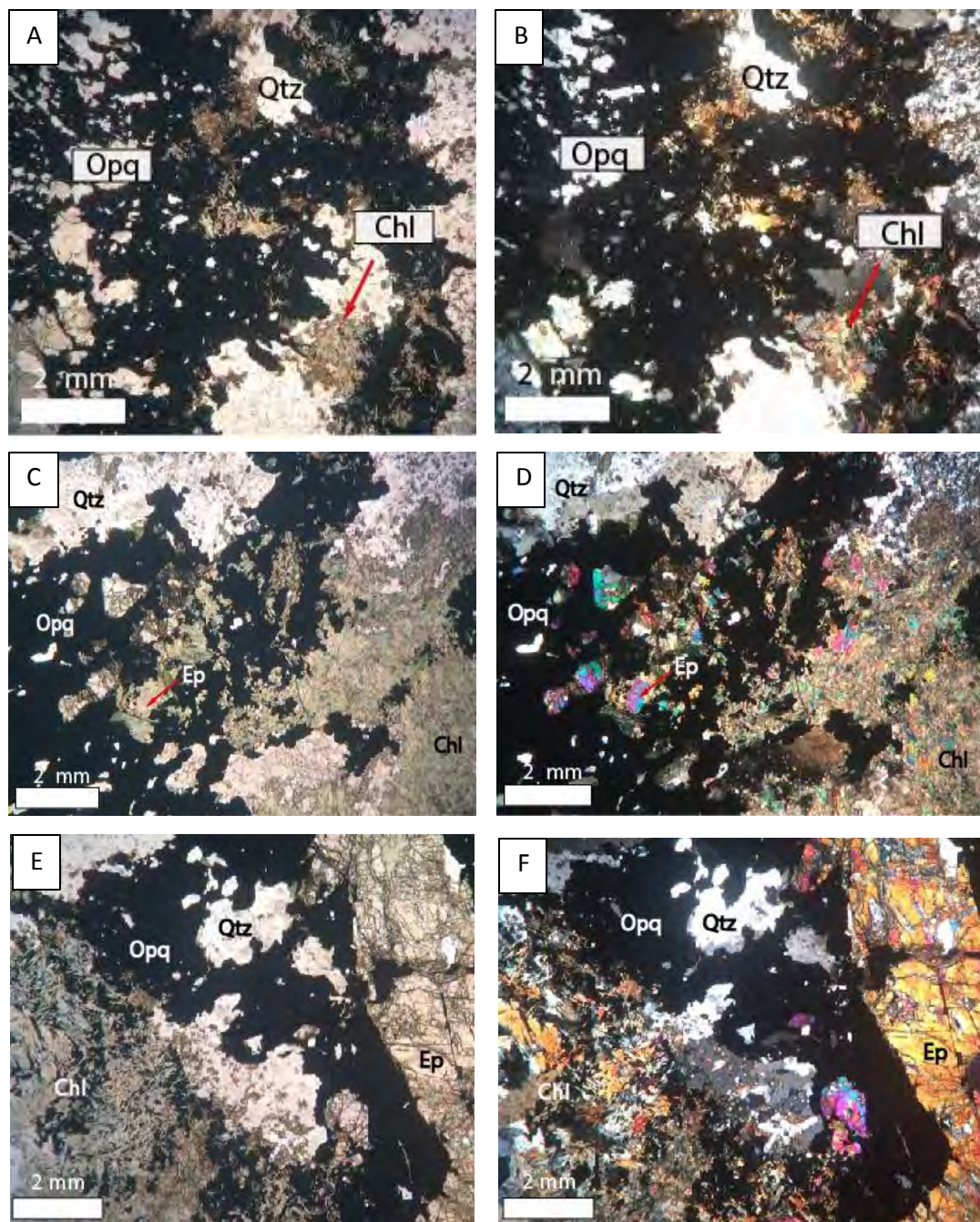
Qtz=Quartz, Opq=Opaque, Cal=Calcite, Grt=Garnet, Bi=Biotite, Pl=Plagioclase feldspar, Chl=Chlorite

4.1.2 Stage 2 (Major gold mineralization)

Stage 2 สายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง (รูปที่ 4.3 A,B,C,D,E และ F) เป็นสายแร่ที่มีอุณหภูมิสูง เคลื่อนที่ขึ้นมาตามรอยแตก และมีการตกผลึกของแร่ ในบริเวณพื้นที่แคบๆ ของหินแอนดิซิดิกลาพิลลิท์ไฟท์และหินไมโครไดโอไรต์ แร่ที่มีการตกผลึกได้แก่แร่ทองคำ แร่คลอไรต์ และแร่ซัลไฟด์ ได้แก่แร่พิโรไทต์ แร่ไพไรต์และ แร่คาลโคไพไรต์ (รูปที่ 4.2 B และ C) ลักษณะเด่นของแร่ทองคำที่พบ คือ สามารถมองเห็น ได้ด้วยตาเปล่า เป็นเกล็ดหรือเม็ดกลมเล็กๆ ขนาด 0.2-0.4 เซนติเมตร สีเหลืองมันวาว ซึ่งต่างจากเหมือนแร่ทองคำชาติที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (รูปที่ 4.2 A)



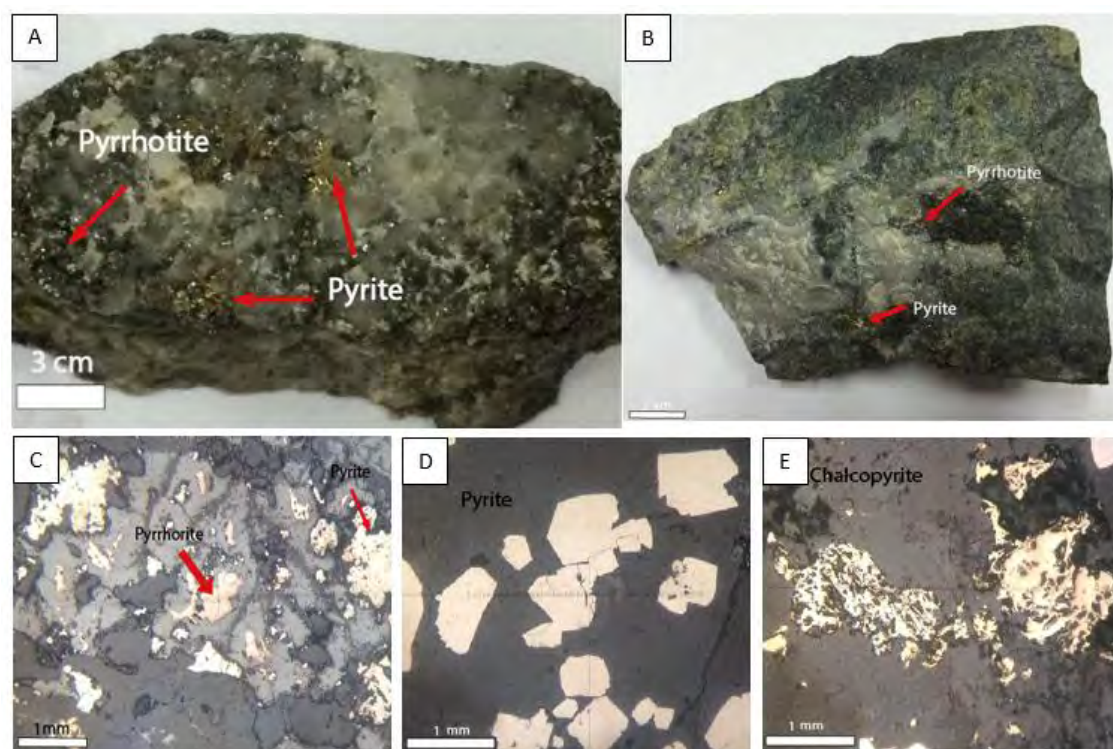
รูปที่ 4.2 ลักษณะเด่น ของ stage 2 เป็นช่วงที่มีการตกสะสมตัวของแร่ทองคำ (A) สายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง ลักษณะของแร่ทองคำ มีรูปร่างเป็นเกล็ด หรือเม็ดกลมเล็กๆ สีเหลืองทอง ขนาดประมาณ 0.5 เซนติเมตร (B) หินตัวอย่างที่ให้แร่ทองคำ มีแร่พิโรไทต์ สีน้ำตาลเหลืองอยู่กันเป็นหย่อมๆ รูปร่างผิวเหลี่ยมปานกลาง ขนาดเฉลี่ย 0.3 เซนติเมตร เกิดร่วมกับ สายแร่ควอตซ์ในตัวอย่างนี้จะมีสีขาวขุ่น และให้แร่ทองคำปริมาณมากเมื่อเทียบกับสายแร่ควอตซ์ที่มีสีขาว (C) สายแร่ควอตซ์ที่ให้แร่ทองคำ ซึ่งเกิดร่วมกับแร่พิโรไทต์ มีลักษณะเป็นจุดๆรวมกัน ขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร แร่พิโรไทต์มีสีเทาน้ำตาลเหลือง ส่วนแร่ทองคำมีสีเหลืองเข้ม (D) หินโผล่ของหินแอนดิซิดิกลาพิลลิท์ไฟท์ ที่แสดงการตัดกันของสายแร่ Stage 3 (ควอตซ์-คลอไรต์-อพิโดด) ตัดสายแร่ใน stage 2 (ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง) ซึ่งเป็นหลักฐานตัวหนึ่งในการลำดับการเกิดแร่ โดยใช้ความสัมพันธ์การตัดกันของสายแร่ พบที่จุดศึกษาที่ 2 พิกัด 0665711mE 1802649mN



รูปที่ 4.3 สายแร่ที่ให้ทองจากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรส์ (A),(D),(E) ไม่นีโคล (B),(D),(F) นีโคล สายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง ประกอบด้วย แร่ควอตซ์ รูปร่างผลึกไม่ชัดเจน ขนาดประมาณ 0.4 มิลลิเมตร แร่คลอไรต์ รูปร่างผลึกค่อนข้างชัดเจนเป็นแผ่นอยู่กันเป็นห่อๆและบางส่วนมีการแปรเปลี่ยนเล็กน้อย มีขนาดเล็กประมาณ 0.1 มิลลิเมตร มีสีเขียวแร่เอพิโดท รูปร่างผลึกค่อนข้างชัดเจน ขนาดเฉลี่ยประมาณ 1 มิลลิเมตร สีเขียว (PPL) แร่ซัลไฟด์ซึ่งคาดว่าเป็แร่ไพไรไรต์ เนื่องจากรูปร่างไม่ได้เป็นลูกบาศก์ (cubic) และส่วนใหญ่เกิดกับแร่ทองคำ มีสีดำ รูปร่างผลึกไม่ชัดเจนขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.3 มิลลิเมตร

Qtz=Quartz, Opa=Opaque, Cal=Calcite, Grt=Garnet, Bi=Biotite, Pl=Plagioclase feldspar , Chl=Chlorite

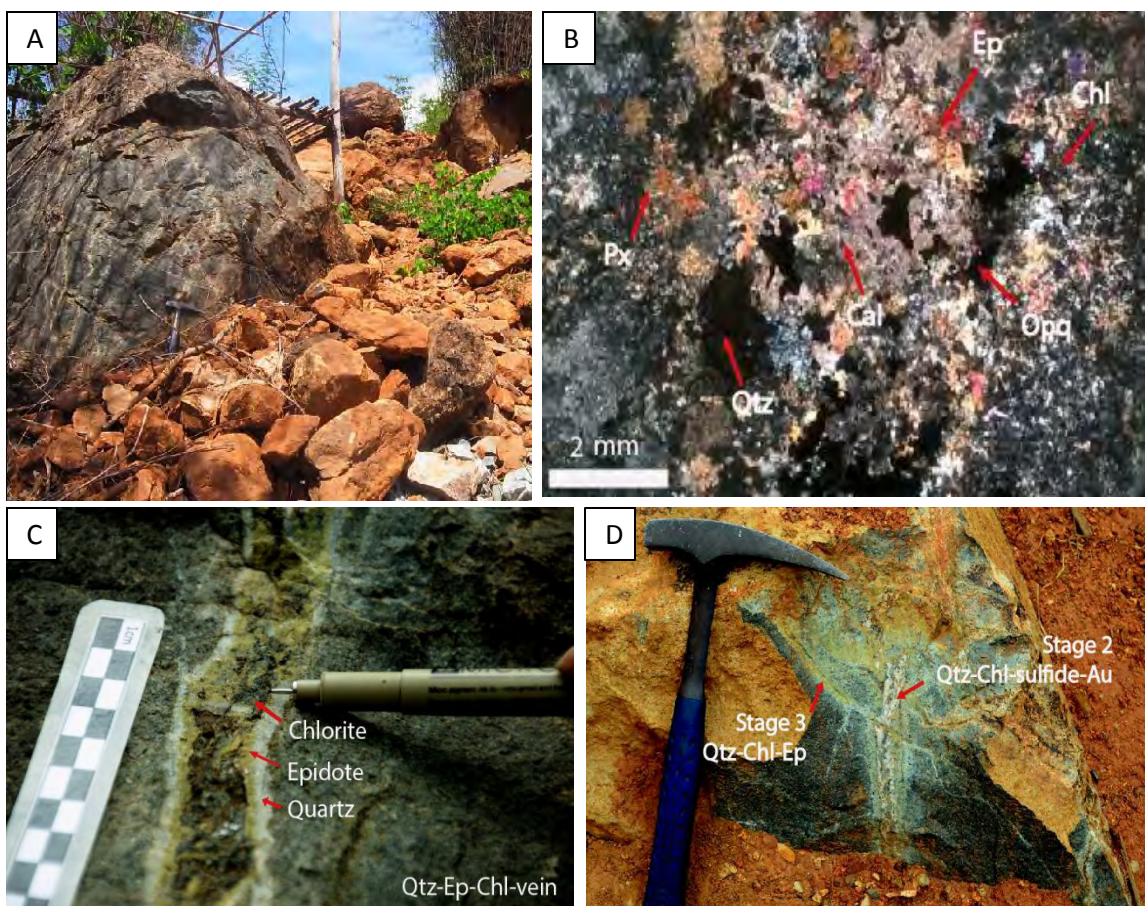
การเกิดแหล่งแร่ใน Stage 2 มีสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง เป็นสายแร่ที่ให้ทอง เคลื่อนที่ขึ้นมาในรอยแตกและเกิดการตกสะสมของแร่ทองคำและแร่ซัลไฟด์ โดยแร่ซัลไฟด์ที่พบ ได้แก่แร่พิไรไรต์พบปริมาณมากที่สุด (รูปที่ 4.4 A, B และ C) มีลักษณะรูปร่างผลึกค่อนข้างชัดเจน อยู่กันเป็นหย่อมๆ ขนาดประมาณ 0.2 เซนติเมตร รองลงมาเป็น แร่ไพไรต์ (รูปที่ 4.4 D) มีลักษณะรูปร่างผลึกชัดเจน ชัดเจน มีสีเหลือง ขนาดประมาณ 0.3 เซนติเมตร (รูปที่ 4.4 D) และแร่คาลโคไพไรต์พบในปริมาณน้อยที่สุด มีลักษณะรูปร่างผลึกชัดเจน ขนาดประมาณ 0.3 เซนติเมตร (รูปที่ 4.4 E) ซึ่งสามารถพบในหินตัวอย่างได้ทั่วไปตามบริเวณที่มีการทำเหมือง โดยชาวบ้าน แร่ซัลไฟด์ที่พบในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยแร่ซัลไฟด์น้อยชนิด และคาดว่าไม่มีผลอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและชาวบ้านที่อาศัยอยู่บริเวณรอบๆ แหล่งทองคำเขานมผา จากการศึกษาของ ชนิภส พันธ์อำพล (2559)

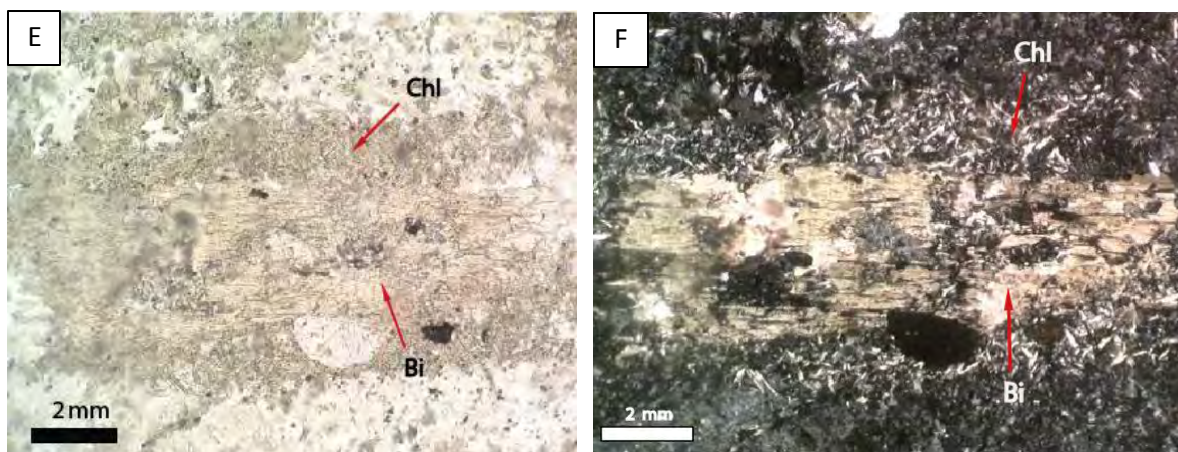


รูปที่ 4.4 เรืองค์ประกอบซัลไฟด์ที่พบในพื้นที่ศึกษา ซึ่งพบน้อยชนิด ได้แก่แร่พิไรไรต์ แร่ไพไรต์ และแร่คาลโคไพไรต์ (A) หินที่มีแร่ซัลไฟด์ ซึ่งประกอบด้วย แร่พิไรไรต์ สีเทาน้ำตาล กระจายทั่วไปในหินทั้งก้อนร่วมกับแร่ไพไรต์ สีเหลือง รูปร่างทรงลูกบาศก์ กระจายตัวเป็นหย่อมๆ (B) หินแอนดิซิดิกลาฟิลิทิฟที่ประกอบด้วยแร่พิไรไรต์และแร่ไพไรต์ในสายแร่ควอตซ์ (C) ภาพตัวอย่างของแร่พิไรไรต์ที่เกิดร่วมกับแร่ไพไรต์จากกล้องชนิดสะท้อนแสง ซึ่งแร่พิไรไรต์มีรูปร่างผลึกไม่ชัดเจน ขนาดประมาณ 0.4 มิลลิเมตร มีสีชมพูครีม หน้าผลึกเรียบ และแร่ไพไรต์ มีรูปร่างผลึกค่อนข้างชัดเจน ขนาดประมาณ 0.4 มิลลิเมตร อยู่เป็นผลึกเดี่ยวและหน้าผลึกไม่เรียบ (D) ภาพตัวอย่างของแร่ไพไรต์ในสายแร่จากกล้องชนิดสะท้อนแสง รูปร่างผลึกไม่ค่อยชัดเจน ขนาดประมาณ 0.2-0.4 มิลลิเมตร สีเหลืองอ่อน อยู่เป็นผลึกเดี่ยวและผลึกกลุ่ม หน้าผลึกเรียบ (E) ภาพตัวอย่างของแร่คาลโคไพไรต์ในสายแร่จากกล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง มีรูปร่างผลึกชัดเจน ขนาดประมาณ 0.5-1 มิลลิเมตร สีเหลืองเข้มคล้ายทอง หน้าผลึกไม่ชัดเจน

4.1.3 Stage 3 (Retrograde skarn)

สายแร่ร้อนไหลขึ้น มาผสมกับการกระบวนการทางน้ำฝน (Meteoric process) ซึ่งมักเกิดขึ้นในระดับตื้นทำให้สายแร่ร้อนมีอุณหภูมิต่ำลง เกิดสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-อพิโดด (รูปที่ 4.5 C และ B) ซึ่งไม่มีการตกผลึกของแร่ทองคำ แต่อาจจะพบแร่ซัลไฟด์บ้างเล็กน้อย และเกิดการแปรเปลี่ยนที่มีการแทนที่ของแร่ที่เกิดในอุณหภูมิที่สูงซึ่งเกิดในช่วง Prograde Skarn กลายเป็นแร่ที่เกิดในอุณหภูมิต่ำกว่าซึ่งเป็นช่วง retrograde skarn โดยส่วนใหญ่เป็นแร่ที่ไม่มีน้ำในโครงสร้าง กลายมาเป็นแร่ที่มีน้ำในโครงสร้างแทน เช่น พบการแทนที่ของแร่การ์เนต ในแร่ไบโอไทต์และจากนั้นมีแร่ควอตซ์และโอเปกมาแทนที่แร่การ์เนต อีกรอบ การแทนที่ของแร่คลอไรต์ในบริเวณขอบของแร่ไบโอไทต์ (รูปที่ 4.5 E และ F) การแทนที่ของแร่ส่วนใหญ่พบกระจายตัวบริเวณขอบของอยู่ตามสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-อพิโดด ที่มีอยู่เป็นจำนวนมากและตัดกันเป็นร่างแหในหินแอนดิซิดิกลาพิลลิตีฟและหินไมโครไดโอไรต์ (รูปที่ 4.5 A และ D) โดยมีบริเวณการแปรเปลี่ยนเข้าไปในหินเย้า กว้างประมาณ 1-20 เซนติเมตร ซึ่งแปรผันตามขนาดของสายแร่ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 0.5 - 100 เซนติเมตร



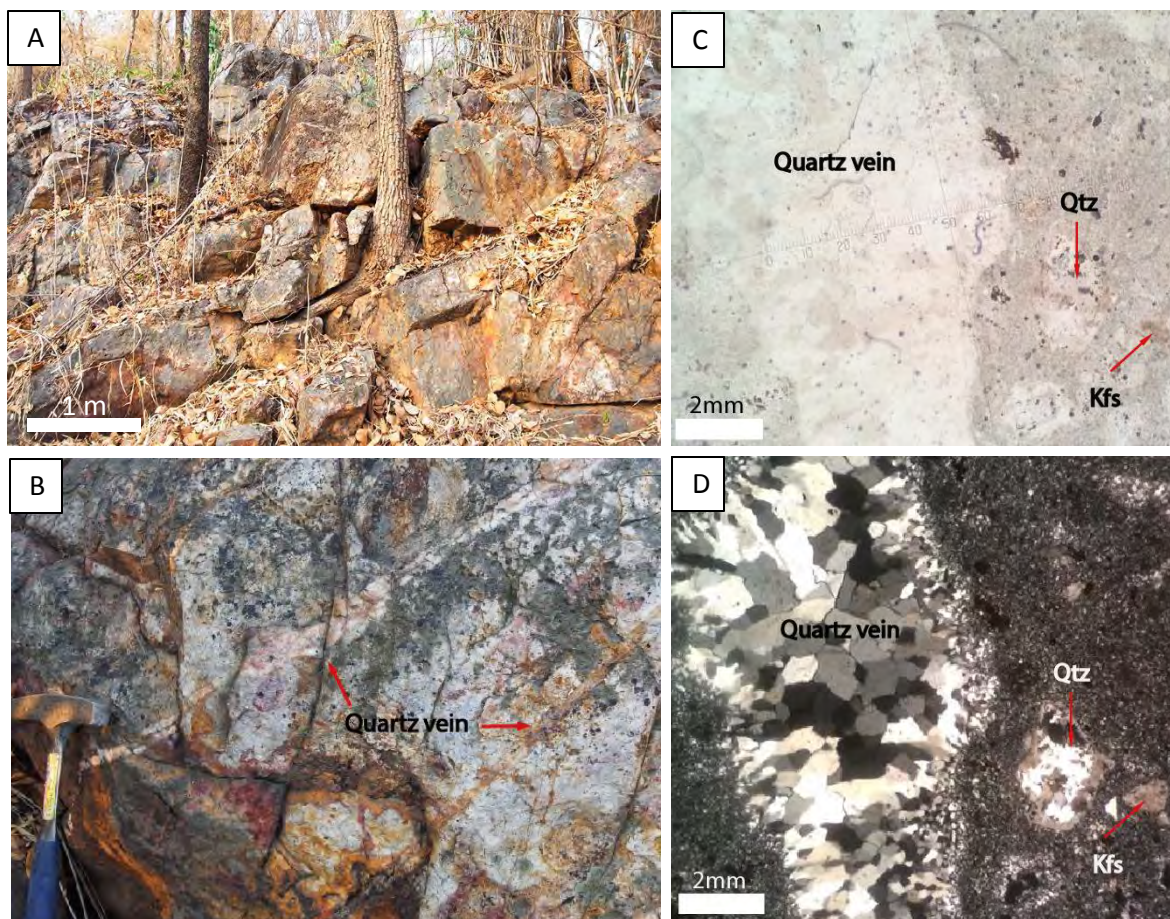


รูปที่ 4.5 บริเวณและลักษณะของสายแร่ในช่วงที่ 3 ของพื้นที่ศึกษา (A) บริเวณหิน โผล่ที่พบสายแร่ ควอตซ์-คลอไรต์-อพิโดด ที่กระจายทั่วหิน โผล่ พิกัด 0665711mE 1802649mN (B) ใส่นิ โคล จากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรส์ของสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-อพิโดด ในหินแอนดิซิติกลาฟิลิทิ์พี ประกอบด้วย แร่ควอตซ์ แร่คลอไรต์ แร่อพิโดด แร่ไพร็อกซีน แร่แคลไซต์ และแร่ทึบแสง ซึ่งแร่ทึบแสงคาดว่าเป็นแร่ซัลไฟด์ มีรูปร่าง anhedral ขนาด 0.2 มิลลิเมตร (C) สายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-อพิโดด (D) หิน โผล่ของหินแอนดิซิติกลาฟิลิทิ์พี ซึ่งแสดงการตัดของสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-อพิโดด (Stage 3) ตัดสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง (Stage 2) ที่พิกัด 0665825mE 1802929mN (E) ไม่ใส่นิ โคล (F) ใส่นิ โคล จากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรส์ พบแร่ไบโอไทต์ รูปร่าง subhedral ขนาด 2 มิลลิเมตร แสดงการแทนที่ของแร่คลอไรต์ในแร่ไบโอไทต์ ส่วนใหญ่จะพบตามขอบของแร่ไบโอไทต์และแสดงลักษณะ Corona Texture

Qtz=Quartz, Opq=Opaque, Cal=Calcite, Grt=Garnet, Bi=Biotite, Wo=Wollasonite, Chl=Chlorite

4.1.4 Stage 4 (Late stage quartz vein)

ช่วงที่มีการเข้ามาของสายแร่ร้อนที่ประกอบด้วยแร่ควอตซ์อย่างเดียว มีความกว้างประมาณ 2 เซนติเมตร และตัดแทรกขึ้นมายังหินไรโอไลติกลาพิลลิตีฟฟ์ ทำให้หินมีลักษณะแข็งมาก ซึ่งพบบริเวณทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเขapunนพพาและครอบคลุมถึงบริเวณเขาหนองแวม (รูปที่ 4.6 A,B,C และ D) ซึ่งในบริเวณนี้ไม่มีการพบสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง และสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-อพิโทด



รูปที่ 4.6 ลักษณะของหิน โผล่และสายแร่ที่พบในช่วงที่ 4 ของพื้นที่ศึกษา (A) หิน โผล่บริเวณทางตอนเหนือของเขapunนพพา พบหินไรโอไลติกลาพิลลิตีฟฟ์ ที่มีสายแร่ควอตซ์ตัดขึ้นมา (B) หินโผล่ที่มีสายแร่ควอตซ์กว้างประมาณ 3 เซนติเมตรตัดแทรกเข้ามา ทำให้หินมีลักษณะแข็งมากและกระจายตัวทั่วไปในบริเวณนี้ ซึ่งไม่ค่อยพบในหินแอนดิซิดิกลาพิลลิตีฟฟ์และหินไมโครไดออไรต์ (C) ไม่นิโคล (D) ไสนิโคล จากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ของหินไรโอไลติกลาพิลลิตีฟฟ์ ประกอบด้วย สายแร่ควอตซ์ กว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร โดยมีขนาดเฉลี่ยของแร่ควอตซ์ 0.2 มิลลิเมตร รูปร่างไม่เห็นผลึกชัดเจน ซึ่งด้านข้างจะพบแร่แคลไซต์ ควอตซ์ที่มีขนาด เล็กกว่าอัน เกิดจากการตกผลึกการตกผลึกใหม่ของแร่ควอตซ์ ส่วนบริเวณเนื้อหิน ประกอบด้วยผลึกแร่ควอตซ์ขนาดละเอียด และผลึกแร่เฟลทิกอิโอเคลส เฟลด์สปาร์ ขนาด 0.2 มิลลิเมตร รูปร่างผลึกค่อนข้างชัดเจน และบางผลึกถูกแทนที่โดยแร่ควอตซ์

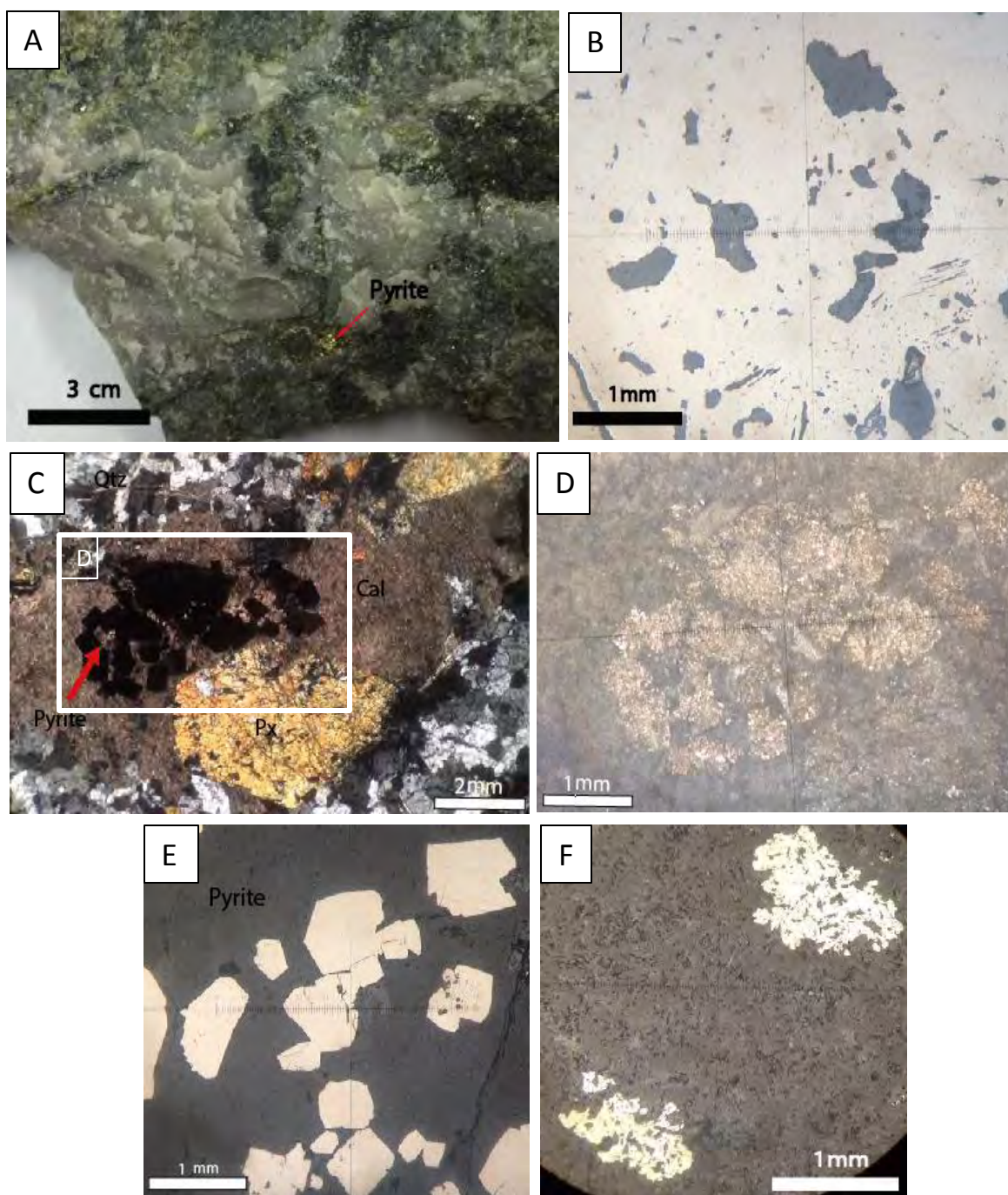
Qtz=Quartz, Opq=Opaque, Cal=Calcite, Grt=Garnet, Bi=Biotite , Kfs=K-feldspar

ในส่วนนี้จะศึกษาแร่วิทยาของแร่ โดยจะอธิบายจากลำดับการเกิดการเกิดแหล่งแร่แต่ละช่วง (stage) ซึ่งมีความแตกต่างกัน ทั้งลักษณะของเนื้อหิน (Texture) การแปรเปลี่ยน (Alteration) และองค์ประกอบของแร่ (Mineral assemblage) ในการศึกษาครั้งนี้จะแบ่งการศึกษาแร่ออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ 1. แร่ซัลไฟด์ (Sulfide mineral) ซึ่ง ได้แก่ แร่ไพไรต์ แร่พิโรไทต์ แร่คาลโคไพไรต์ 2. การแร่ (Gauge mineral) ได้แก่ แร่ควอตซ์ แร่คลอไรต์ แร่คาร์บอนเนต เป็นต้น โดยศึกษาจากแผ่นหินขัดบาง 28 ตัวอย่างและ Polished mount 15 ตัวอย่าง โดยดูจากกล้องจุลทรรศน์ ชนิดแสงโพลาไรซ์และชนิดสะท้อนแสงและได้รับการยืนยัน โดยการวิเคราะห์ Electron probe micro analyzer (EPMA) สำหรับแร่ที่ไม่สามารถพิสูจน์ได้

4.2.1 แร่ซัลไฟด์ (Sulfide mineralogy)

ไพไรต์ (Pyrite, FeS_2)

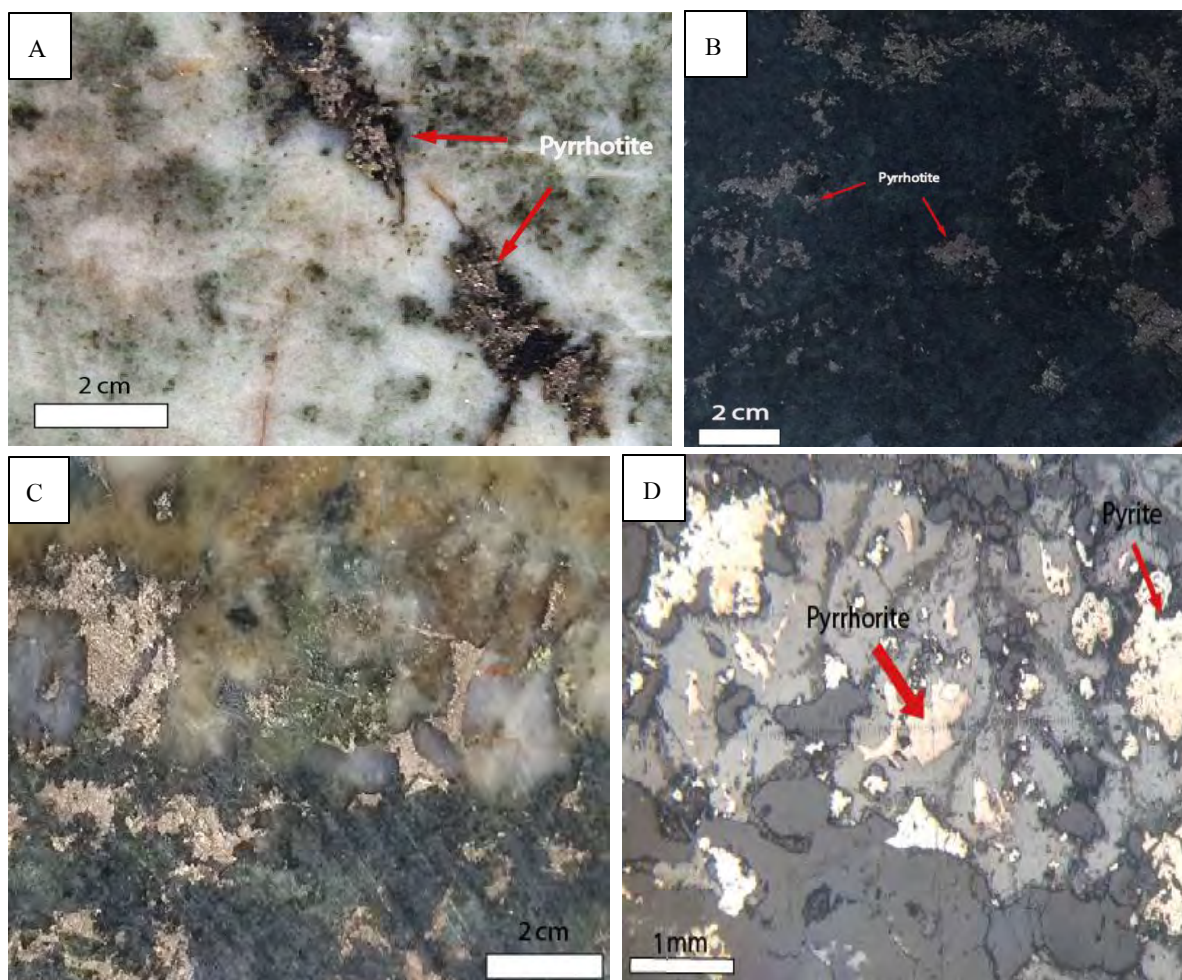
พบปริมาณปานกลางของแร่ซัลไฟด์ที่เกิดร่วมกับแร่ซัลไฟด์ชนิดอื่น เช่น แร่พิโรไทต์ แร่คาลโคไพไรต์ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงที่ 2 ของแหล่งแร่เขาพนมพายกในช่วงที่ 1 (Prograde skarn) และช่วงที่ 4 (Late stage quartz vein) แร่ไพไรต์ที่ตกผลึกฝังอยู่ในสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง (รูปที่ 4.7 A) มีรูปร่างผลึกค่อนข้างชัดเจนถึงชัดเจน ขนาด 0.2-1 มิลลิเมตร หน้าผลึกเรียบ สีเหลืองอาจจะอยู่เป็นผลึกเดี่ยวหรือกลุ่มก้อนก็ได้ (single crystal and aggregate) (รูปที่ 4.7 B,C,D,E และ F) นอกจากนี้มีแร่ไพไรต์ในสายแร่แล้ว ก็สามารถเจอไพไรต์ในผนังหิน (Wallrock alteration) ซึ่งอยู่ในโซนของคลอไรต์-อพิโดด ลักษณะของหน้าผลึกขรุขระ รูปร่างผลึกชัดเจน ขนาดเล็กประมาณ 0.2-0.4 มิลลิเมตร และ โคนแปรเปลี่ยนเล็กน้อย โดยลักษณะของแร่ไพไรต์ที่พบทั้งในสายแร่และหินผนัง มีลักษณะต่างกันอย่างชัดเจน คือ ความสะอาดและขนาดของผลึกไพไรต์ พบความสัมพันธ์ของแร่ไพไรต์และแร่คาลโคไพไรต์ คือ มีการแทนที่บางส่วนของแร่คาลโคไพไรต์ในแร่ไพไรต์



รูปที่ 4.7 ลักษณะของแร่ไพไรต์ (A) หินแอนดิซิดิกลาพิลลิต์ที่ที่มีสายแร่ควอตซ์และแร่ไพไรต์ มีลักษณะสีเหลือง เป็นลูกบาศก์ อยู่กันเป็นกลุ่มเล็กๆ ขนาดประมาณ 0.5 เซนติเมตร (B) ภาพแร่ไพไรต์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง มีรูปร่าง ผลึกชัดเจนขนาดประมาณ 1.5 มิลลิเมตร มีสีเหลืองอ่อนๆ หน้าผลึกเรียบ (C) ภาพสายแร่ควอตซ์-แคลไซต์-ไพร็อกซีน-อพิโดคซ-โอเปก ที่มีแร่ไพไรต์อยู่เป็นกลุ่ม รูปร่างผลึกชัดเจน ขนาด 0.2 มิลลิเมตร และสามารถขยายภาพได้ดังรูป (D) ส่วน (E) และ (F) ภาพแร่ไพไรต์ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง ผลึกจะมีสีเหลือง รูปร่าง ผลึกชัดเจนขนาดเฉลี่ย 0.2-0.4 มิลลิเมตร อาจอยู่เป็นกลุ่มหรือผลึกเดี่ยวๆ
 Qtz=Quartz, Opq=Opaque, Cal=Calcite, Grt=Garnet, Bi=Biotite, Wo=Wollasonite

ไพไรต์ (Pyrrhotite, $Fe_{1-x}S$)

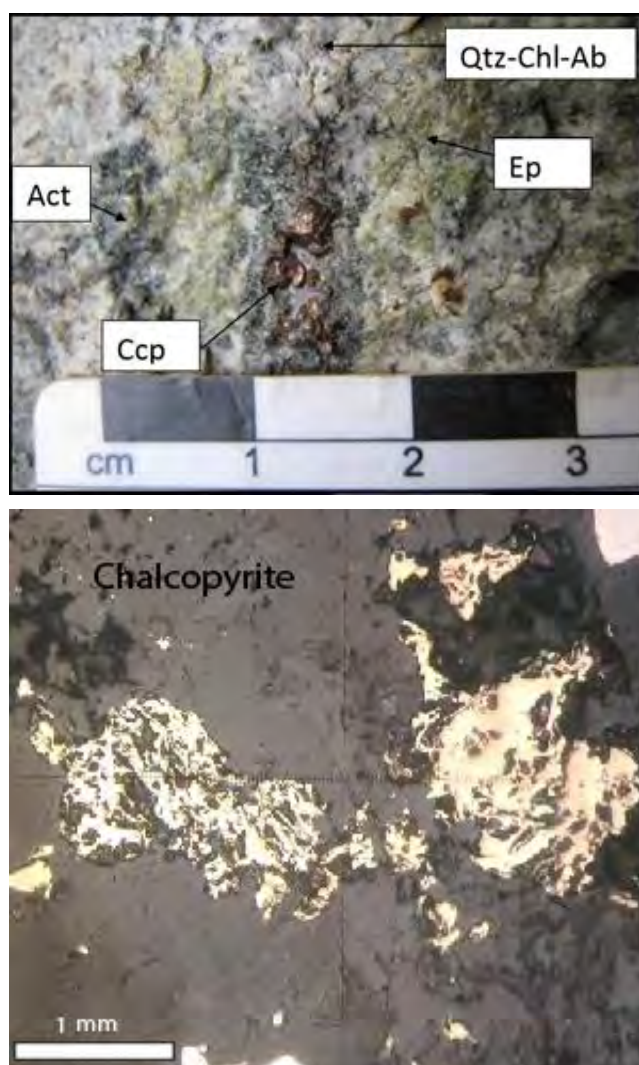
พบปริมาณมากที่สุดของแร่ซัลไฟด์ที่เกิดร่วมกับแร่ซัลไฟด์ชนิดอื่น เช่น แร่ไพไรต์ แร่คาลโคไพไรต์ และมักเกิดร่วมกับแร่ทองคำ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงที่ 2 (gold mineralization) (รูปที่ 4.8 B และ D) ของแหล่งแร่เขาพนมพายกเว้น ช่วงที่ 1 (Prograde skarn) และช่วงที่ 4 (Late stage quartz vein) แร่ไพไรต์ที่ตกผลึกฝังอยู่ในสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง (stage 2) (รูปที่ 4.8 C) มีรูปร่างผลึกไม่ชัดเจน ขนาด 0.2-0.5 มิลลิเมตร หน้าผลึกเรียบ สีชมพูครีม (รูปที่ 4.8 D) ส่วนใหญ่อยู่เป็นกลุ่มก้อน พบทั้งในสายแร่และผนังหิน



รูปที่ 4.8 ลักษณะของแร่ไพไรต์ (A) แผ่นหินบางที่พบแร่ไพไรต์ในสายแร่ควอตซ์ มีรูปร่างเหลี่ยม อยู่กันเป็นกระจุกๆ สีน้ำตาลเหลือง ขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร (B) หินแอนดซิกลาฟิลิฟฟ์ที่มีแร่ไพไรต์เกิดร่วมด้วย รูปร่างเหลี่ยมขนาดเฉลี่ยประมาณ 1 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลเหลือง กระจายตัวทั่วตัวอย่างหิน (C) แร่ไพไรต์จากกล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง มีรูปร่างผลึกไม่ชัดเจน ขนาดประมาณ 0.1 มิลลิเมตร สีชมพูครีม เกิดร่วมกับแร่ไพไรต์ (สีเหลืองอ่อน)

คาลโคไพไรท์ (Chalcopyrite, CuFeS_2)

พบปริมาณน้อยที่สุดของแร่ซัลไฟด์ที่เกิดร่วมกับแร่ซัลไฟด์ชนิดอื่น เช่น แร่ไพไรต์ แร่โพโรไทต์ และมักเกิดร่วมกับแร่ทองคำ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงที่ 2 (gold mineralization) (รูปที่ 4.9 A) ของแหล่งแร่เขาพนมพายกเว้น ช่วงที่ 2 (Prograde skarn) และ ช่วงที่ 4 (Late stage quartz vein) แร่คาลโคไพไรท์ที่ตกผลึกฝังอยู่ในสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง (stage 2) มีรูปร่างผลึกไม่ค่อยชัดเจน ขนาด 0.2-0.5 มิลลิเมตร หน้าผลึกขรุขระ สีเหลืองเข้มคล้ายทอง (รูปที่ 4.9 A)



รูปที่ 4.9 ลักษณะของแร่คาลโคไพไรท์ (A) สายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง ที่พบแร่คาลโคไพไรท์อยู่ในสายแร่ เห็นผลึกชัดเจน ขนาดประมาณ 0.3 เซนติเมตร อยู่กันเป็นกลุ่ม สีน้ำตาลเหลือง และคาดว่าน่าจะเกิดในช่วงสุดท้ายของการให้แร่ทอง และมักจะเกิดร่วมกับแร่โพโรไทต์มากกว่าแร่ไพไรต์ (B) แร่คาลโคไพไรท์จากกล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง รูปร่างผลึกไม่ชัดเจน ขนาดประมาณ 0.5-1 มิลลิเมตร สีเหลืองทองคล้ายแร่ทองมากที่สุด หน้าผลึกไม่ค่อยเรียบ ในรูปคาดว่า เกิดร่วมกับแร่คลอไรต์ (ใยสีดำ)

4.2.2 กากแร่ (Gangue mineralogy)

แร่ควอตซ์และคาลซีโคไนควอตซ์ (Quartz and Chalcedony quartz)

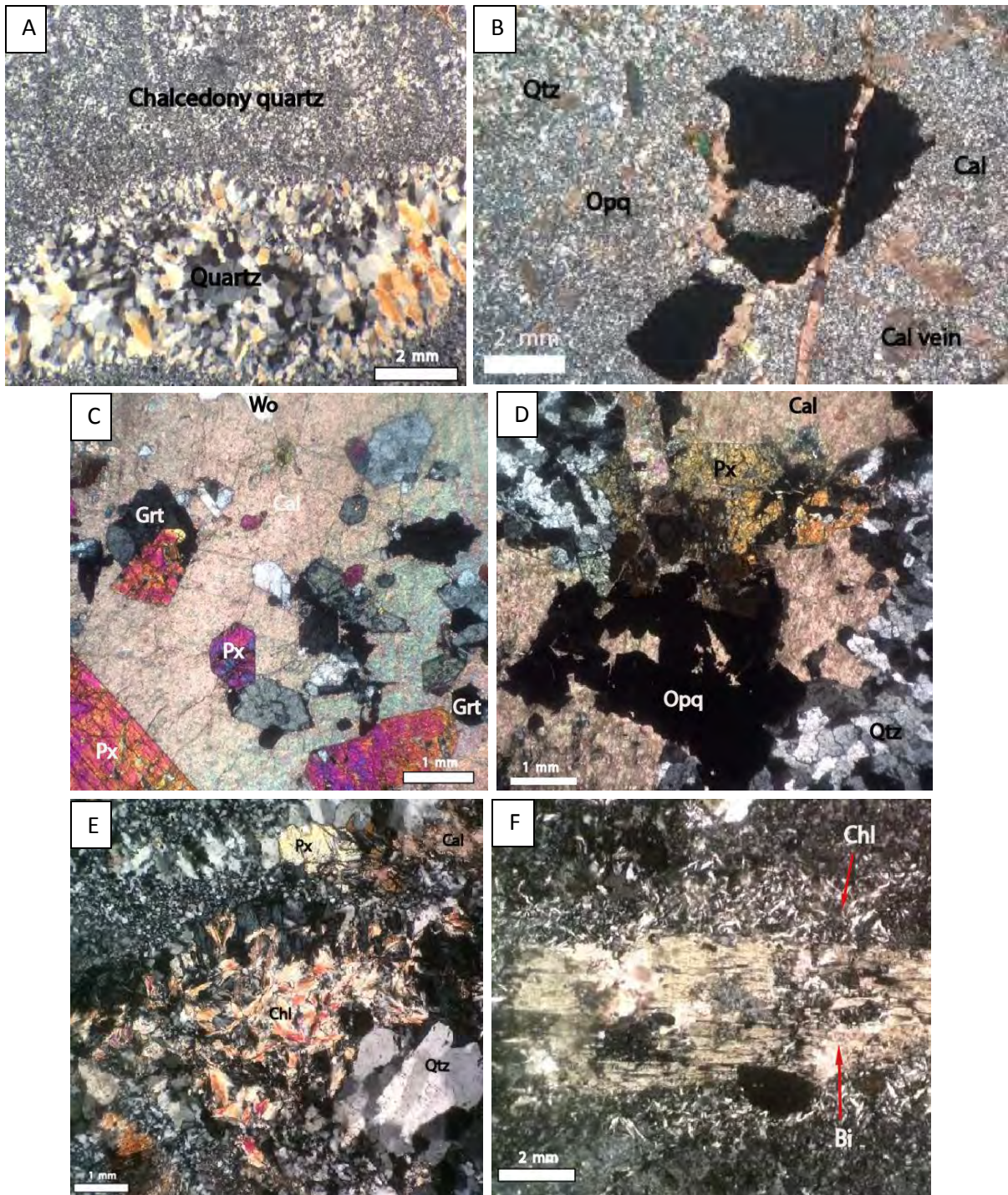
ควอตซ์สามารถพบได้ทุกช่วงของการเกิดแหล่งแร่ แร่ควอตซ์ในช่วงที่ 2 (Gold mineralization) มีทั้ง 1. microcrystalline quartz ซึ่งเกิดเป็นสายแร่ยาวตามขอบสายแร่ 2. interlocking quartz crystal ร่วมกับ แร่ซัลไฟด์ขนาดเล็กๆ 3. เกิดลักษณะ Comb structure quartz และ 4. เกิดร่วมกับคาร์บอเนต แร่ซัลไฟด์และแร่ทองคำที่เกิดอยู่ตรงกลางของสายแร่ ส่วนคาลซีโคไนควอตซ์ มักจะพบในช่วงที่ 4 (Late stage quartz vein) ภายใต้อุปกรณ์จุลทรรศน์ (PPL) ควอตซ์ ไม่มีสี รูปร่างผลึกไม่ชัดเจน (XPL) ควอตซ์ สีดำสลับเทา มี undulatory extinction (รูปที่ 4.10 A และ B)

แร่คาร์บอเนต (Carbonate minerals)

แร่คาร์บอเนต พบมากใน stage 1 (Prograde skarn) และท้ายๆของช่วงที่ 2 (Gold mineralization) แร่คาร์บอเนตในช่วงที่ 1 มีน้อยเกิดขึ้นเนื่องจากการทำปฏิกิริยาของหินอัคนีแทรกซอนที่ดันตัวขึ้นมาสัมผัสกับหินภูเขาไฟและหินปูน ทำให้แร่คาร์บอเนตบางส่วนไปทำปฏิกิริยาต่อกับซิลิกา ทำให้ได้แร่โอลาสโทไนต์ขึ้นมา ทำให้แร่คาร์บอเนตที่เป็นอิสระเหลือน้อย ส่วนแร่คาร์บอเนตในช่วงที่ 2 จะอยู่บริเวณตรงกลางของสายแร่ ซึ่งเกิดหลังจาก comb structure quartz ภายใต้อุปกรณ์จุลทรรศน์ (PPL) แร่คาร์บอเนตสีใส ความคมชัดของขอบแร่ปานกลาง (Moderate relief) รูปร่างผลึกค่อนข้างชัดเจน (XPL) แร่คาร์บอเนตมีสีเทาสลับดำแนวแตกเรียบ 2 แนวชัดเจน (รูปที่ 4.10 C และ D)

แร่คลอไรต์ (Chlorite)

แร่คลอไรต์ พบมากใน stage 2 (Gold mineralization) และพบบางส่วน ในช่วงที่ 3 (Retrograde skarn) แร่คลอไรต์ในช่วงที่ 2 ปกติจะเกิดร่วมกับแร่ควอตซ์และแร่ซัลไฟด์ หรือสายแร่ ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง ซึ่งจะพบเป็นแท่งอยู่เป็นชั้นๆ รวมกลุ่มกัน ส่วนในช่วงที่ 3 แร่คลอไรต์เกิดจากสายแร่ที่ร้อนที่มีกระบวนการทางน้ำฝนเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้เกิดแร่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งมักเกิดร่วมกับ แร่เอพิโดค และแร่คลอไรต์บางส่วนเกิดจากการแทนที่ของแร่เดิม เช่น การแทนที่ของแร่คลอไรต์ในแร่ไบโอไทต์หรือแร่คาร์เนต เป็นต้น ภายใต้อุปกรณ์จุลทรรศน์ (PPL) แร่คลอไรต์ สีเขียว รูปร่างเป็นแท่ง (XPL) แร่คลอไรต์ มีสีเทา สลับดำ รูปร่างเป็นแท่ง อยู่กันเป็นกลุ่มๆ (รูปที่ 4.10 E และ F)



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างลักษณะของกากแร่ (A) และ (B) ใส่นิโคล จากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรส์ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ มีทั้งแร่ควอตซ์และแคลซิโดนิกวอตซ์ ปกติจะพบในสายแร่เป็นหลักตั้งรูป (A) และยังเกิดร่วมกับหลายแร่ จากตัวอย่างแร่ควอตซ์เกิดร่วมกับแร่แคลไซต์ แร่ซัลไฟด์ รูปร่างไม่ชัดเจน ขนาด 0.1 มิลลิเมตร สีเทาดำ (C) และ (D) ใส่นิโคล จากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรส์ ส่วนใหญ่เป็นแร่แคลไซต์สีเทาแสดงแนวแตกเรียบชัดเจน 2 แนว และเกิดร่วมกับแร่ควอตซ์ แร่ไพร็อกซีน แร่การ์เนต ดังรูป (C) และเกิดในสายแร่ ร่วมกับแร่ซัลไฟด์ ไพร็อกซีนและควอตซ์ ปกติขนาดประมาณ 1.5 มิลลิเมตร ดังรูป (D) ส่วน (E) และ (F) ใส่นิโคล จากกล้องจุลทรรศน์ แสดงแร่คลอไรต์ที่ไปแทนที่แร่การ์เนต ในรูป (E) และแทนที่ในแร่ไบโอไทต์ดังรูป (F) ปกติมีลักษณะเป็นเส้นใย สีเขียว (PPL) สีน้ำเงินดำ (XPL) และเกิดในสายแร่ได้

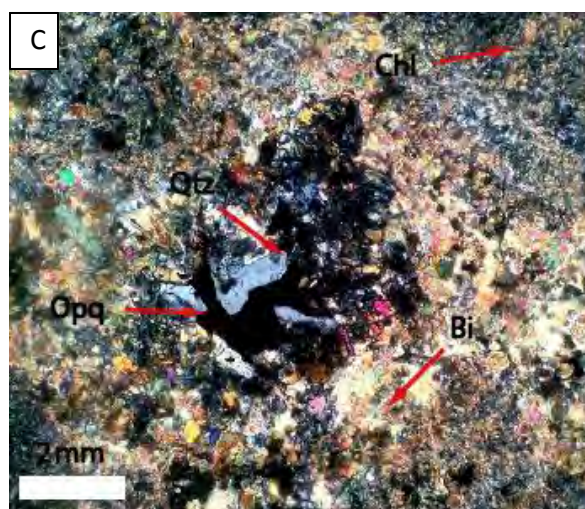
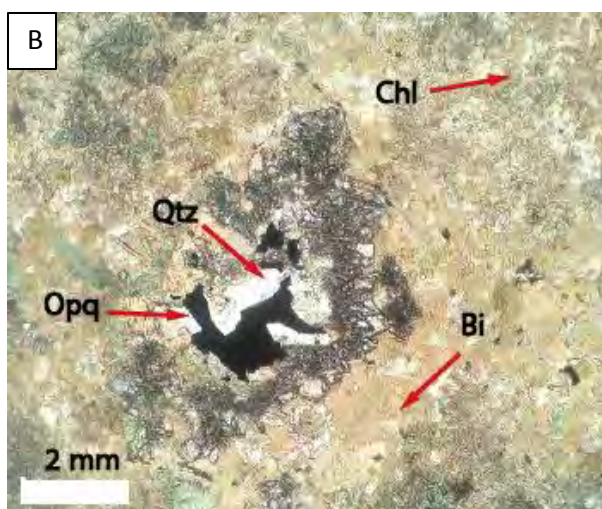
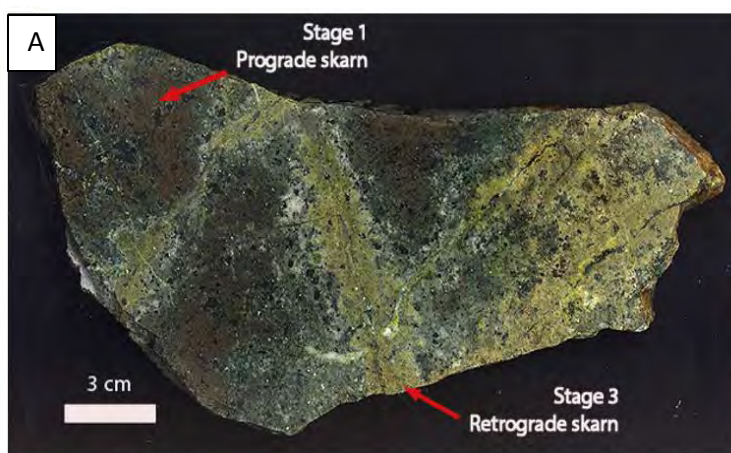
4.3 การแปรเปลี่ยน (Alteration)

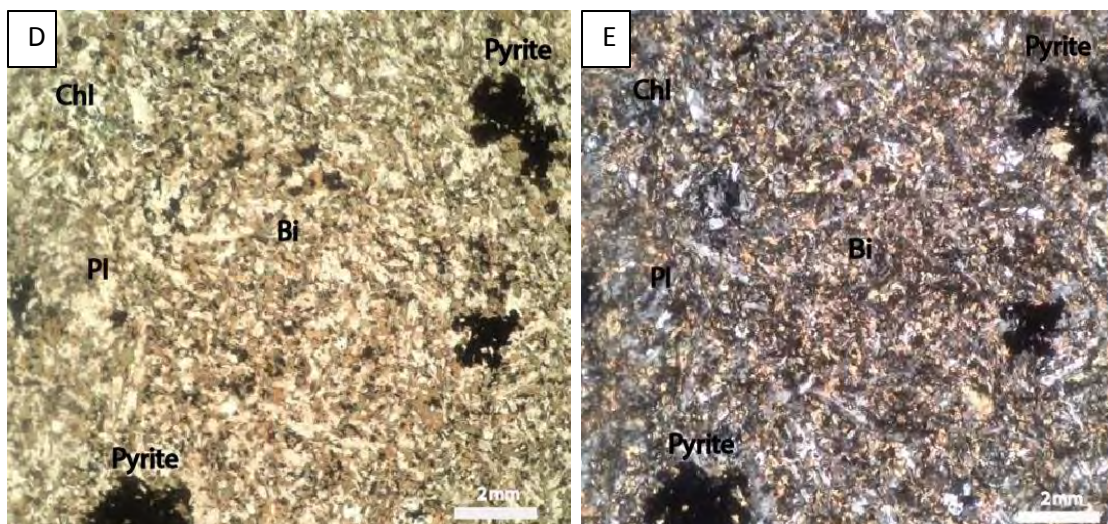
การแปรเปลี่ยนของหินท้องที่อันเนื่องมาจากเกิดการสัมผัสกันของหินอัคนีแทรกซอนกับหินเหี่ยวหรือเกิดจากสายแร่ร้อนที่เคลื่อนที่ขึ้นมาทำให้หินบริเวณดังกล่าวมีคุณสมบัติเปลี่ยนไป เช่น เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของแร่ หรือเกิดการแทนที่ของแร่ใหม่ในแร่เก่า เช่น การแปรเปลี่ยนแบบแคลก์-ซิลิเกต (Calc-silicate) การแปรเปลี่ยนแบบโพแทสติก (Potassic alteration) การแปรเปลี่ยนแบบซีริลิก (Sericitic alteration) การแปรเปลี่ยนแบบโพรไพริติก (Propylitic alteration) การแปรเปลี่ยนแบบอาร์จิลิก (Argillic alteration) และการแปรเปลี่ยนแบบซิลิซิก (Silicification) หรือการแทนที่ด้วยซิลิกา เป็นต้น จากการศึกษาของ Crossing (2004) ได้สรุปว่าแหล่งทองคำเขาพนมพามีการแปรเปลี่ยนแบบโพแทสติก (Bioite-pyrite) ของหิน ไมโครไดออไรต์ และการแปรเปลี่ยนแบบโพรไพริติก ในหินแอนดิไซต์ และเกิดการแปรเปลี่ยนแบบซิลิซิกในหินท้องที่ จากการศึกษาของ Kositanont (2008) ได้สรุปว่าแหล่งทองคำเขาพนมพามีแทนที่ของแร่พิโรไทต์ในแร่ไพไรต์ และมีการแปรเปลี่ยนของแร่คลอไรต์และมัสโคไวต์ (Chlorite and muscovite alteration) พบบริเวณขอบของสายแร่ซึ่งมีหินบะซอลติกแอนดิไซต์ เป็นหินเหี่ยว และจากการศึกษาของพีรณัฐ วิเศษศรี (2552) ได้สรุปว่าแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพามีการแปรเปลี่ยนแบบโพรไพริติก (Chlorite-epidote-actinolite alteration) ในหินแอนดิไซติกลาพิลิตีฟไฟ

จากการศึกษาครั้งนี้ในภาคสนามของพื้นที่เขาพนมพ พบว่าแหล่งแร่ทองคำมีการแปรเปลี่ยนในรูปหลายแบบและมีความซับซ้อนมาก เนื่องจากหินอัคนีแทรกซอนที่เคลื่อนที่ขึ้นมาทั้งหินไมโครไดออไรต์และหินอัคนีแทรกซอนที่ยังไม่ทราบ ซึ่งเคลื่อนที่ขึ้นมาคนละเหตุการณ์กัน แต่เราพบว่าในเนื้อหินของหินไมโครไดออไรต์มีการแปรเปลี่ยนไปแสดงว่าหินไมโครไดออไรต์มีการเคลื่อนที่ขึ้นมาทำมาก่อน ทำให้หินท้องที่มีการแปรเปลี่ยนเกิดขึ้นในระยะแรก ต่อมาหินอัคนีแทรกซอนอีกตัวเคลื่อนที่ขึ้นมาทำให้หินท้องที่และหินไมโครไดออไรต์เกิดการแปรเปลี่ยนเป็นครั้งที่สอง โดยการแปรเปลี่ยนแบบต่างๆที่เกิดขึ้นตาม Stage ของการเกิดแหล่งแร่ได้ดังนี้

Stage 1 (Prograde skarn)

มีการแทรกดันตัวของหินอัคนีแทรกซอน (Intrusion) ขึ้นมาและสัมผัสกับหินไมโครไดออไรต์และหินแอนดิซิดิกลาฟิลิทิฟฟ์ เกิดกระบวนการแปรสัมผัส ทำให้เกิดสการ์น (วอลลาสโทไนท์-กานเนต-ไพรอกซีน-อพิโคด-แอคทิโนไลต์) (รูปที่ 4.11 A) และบางส่วนไปสัมผัสกับกระเปาะหินปูน หรือ กระเปาะหินโดโลไมต์ ที่มีแร่แคลไซต์เป็นองค์ประกอบ เกิดกระบวนการแทนที่ (Metasomatism) ให้เป็นสการ์น การที่มีการแทรกดันขึ้นมาของหินอัคนีแทรกซอนทำให้หินไมโครไดออไรต์และหินแอนดิซิดิกลาฟิลิทิฟฟ์ เกิดการแปรเปลี่ยนแบบสการ์น ซึ่งสามารถแสดงได้แก่ โชนของการ์เนต โชนของไบโอไทต์-ไพรอกซีน และ โชนของคลอไรต์-อพิโคด (รูปที่ 4.11 A) โดยเฉพาะ โชนของไบโอไทต์-ไพรอกซีน พบอย่างเห็นได้ชัดในหินไมโครไดออไรต์ (รูปที่ 4.11 D และ E) และเกิดการแทนที่ของแร่เกิดขึ้น เช่น แร่ไบโอไทต์ถูกแทนที่ด้วยแร่โอเปค และควอตซ์ (รูปที่ 4.11 B และ C)



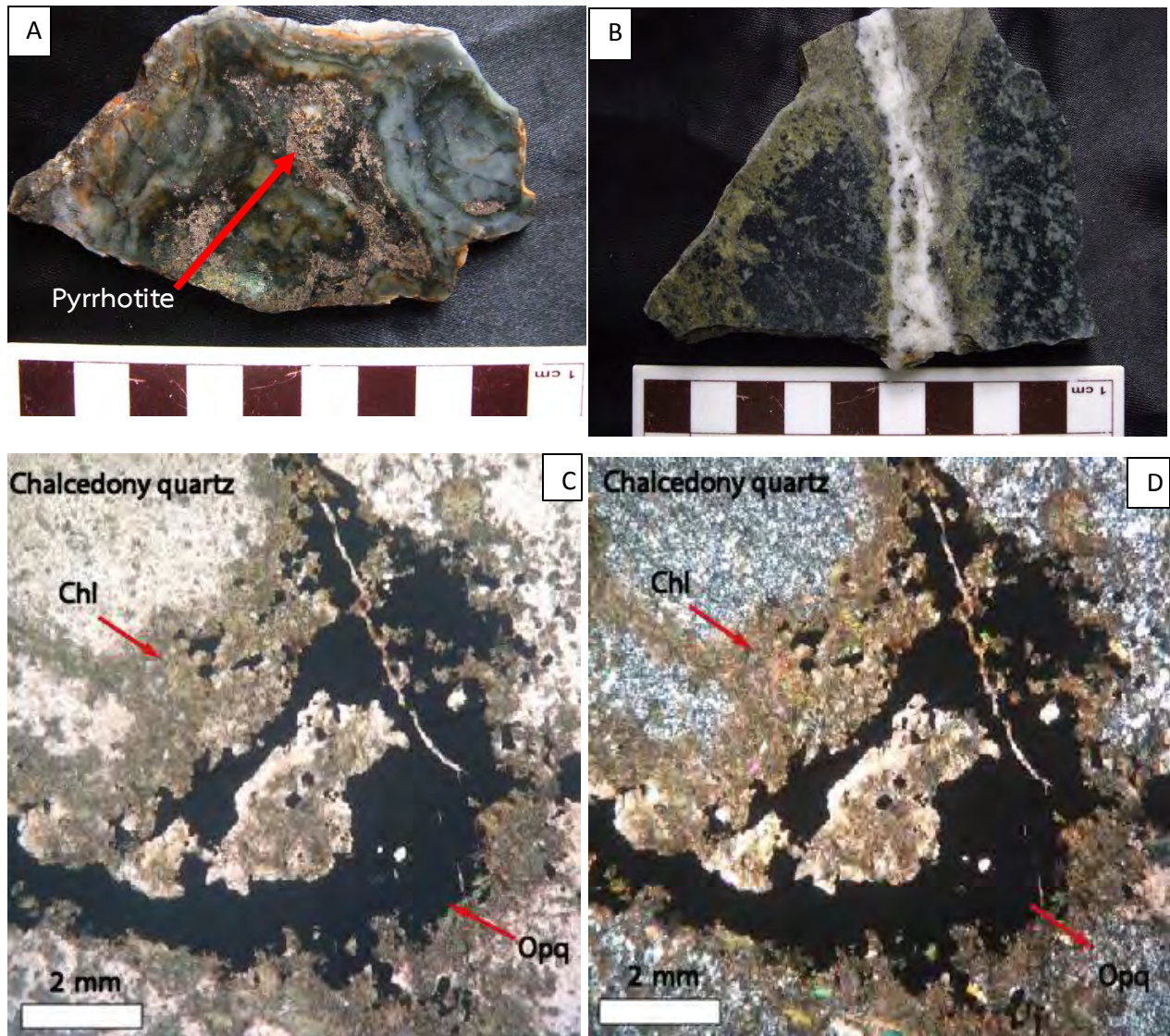


รูปที่ 4.11 ลักษณะการแปรเปลี่ยนในช่วงที่ 1 ของการเกิดแหล่งแร่ ที่เกิด โชนของสการ์น ได้แก่ โชนของการ์เนต โชนของไบโอไทต์-ไพร็อกซีน และ โชนของคลอไรต์-อพิโดด(A) ตัวอย่างหินที่แสดงการแปรเปลี่ยนในช่วงที่ 1 ซึ่งมีสีน้ำตาล คาดว่าเป็นการแปรเปลี่ยนของไบโอไทต์ (B) ไม่นิโคล (C) ไม่นิโคลจากกล้องจุลทรรศน์ โพลารไรส์ แสดงการแทนที่การของแร่ใหม่ เช่น แร่โอเปก แร่ควอตซ์ (D) ไม่นิโคล และ (E) ไม่นิโคลจากกล้องจุลทรรศน์ โพลารไรส์ ของหินไมโครไดออไรต์ที่มีการแปรเปลี่ยนของแร่ไบโอไทต์อย่างรุนแรง เกิดเป็น โชนของไบโอไทต์และมีแร่ซัลไฟด์บางส่วนถูกแปรเปลี่ยนไปด้วย

Qtz=Quartz, Bi-Biotite, Pl=Plagioclase feldspar, Chl=Chlorite

Stage 2 (Major gold mineralization)

สายแร่ร้อนไหลเข้ามายังบริเวณรอยแตกในพื้นที่แคบๆของหินแอนดิซิติกลาฟิลีไทป์และหินไมโครไดออไรต์ ทำให้มีการแลกเปลี่ยนองค์ประกอบของแร่ร้อนกับหินเย้า และที่สำคัญ มีแร่ทองคำเกิดขึ้นในสายแร่ ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง รวมกับแร่ประกอบซัลไฟด์ที่มีการตกผลึกพร้อมกัน เช่น แร่พิโรไทต์ แร่ไพไรต์และ แร่คาลโคไพไรต์ (รูปที่ 4.12 A, C และ D) ซึ่งมีการแปรเปลี่ยนแบบซิลิซิฟิเคชัน (Silicification) ซึ่งการสะสมแร่ในสายแร่จากขอบสายแร่เข้าไปหาสายแร่และแร่ควอตซ์ แสดง comb structure แล้วถูกปิดด้วยคาลซิโดไนควอตซ์จากการเข้ามาของน้ำแร่ร้อนในช่วงหลังรวมทั้งแร่ซัลไฟด์อยู่บริเวณกลางสายแร่ (รูปที่ 4.12 B)



รูปที่ 4.12 การแปรเปลี่ยนในช่วงที่ 2 ซึ่งเกิดสายแร่ให้ทองคำ (A) ตัวอย่างหินที่มีสายแร่ควอตซ์ที่ให้ทองคำเกิดร่วมกับแร่พิไรไรต์ การที่มีสายแร่ควอตซ์ขึ้นมานั้นทำให้เกิดการแปรเปลี่ยนแบบซิลิซิฟิเคชันของซิลิกา (B) สายแร่ที่ให้แร่ทองคำ เกิดการแปรเปลี่ยนแบบซิลิซิฟิเคชันทำให้แร่ทองคำและแร่ซัลไฟด์ เกิดการตกผลึกพร้อมกับสารละลายซิลิกา (C) ไม่นิโคไล (D) ไม่นิโคไล จากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรส์ แสดงสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทองคำ ซึ่งสามารถสังเกตว่าเมื่อมีสายแร่น้ำร้อนเข้ามาหลายครั้ง สามารถทำให้แร่ควอตซ์มีการแตกผลึกที่มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ เป็นแร่คาลซิไดน์ควอตซ์

Qtz=Quartz, Bi=Biotite, Pl=Plagioclase feldspar, Chl=Chlorite, Opq=Opaque

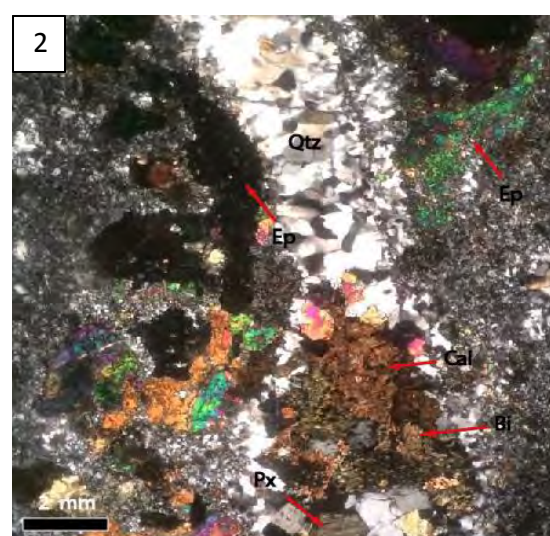
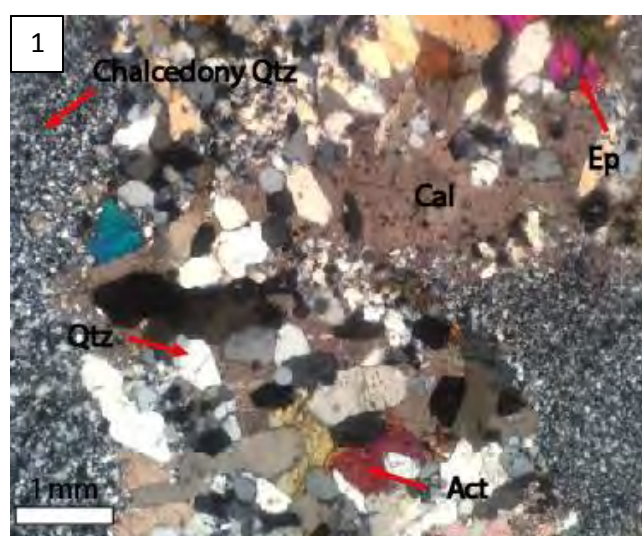
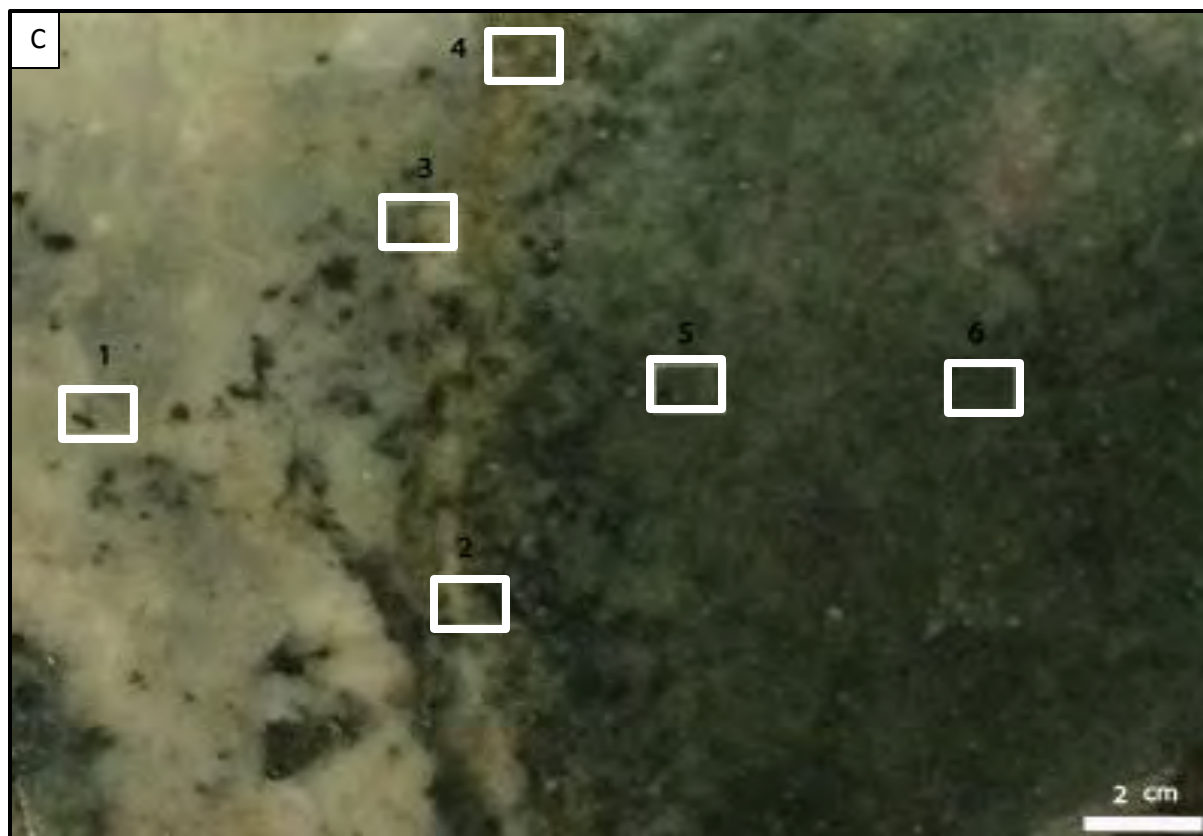
Stage 3 (Retrograde skarn)

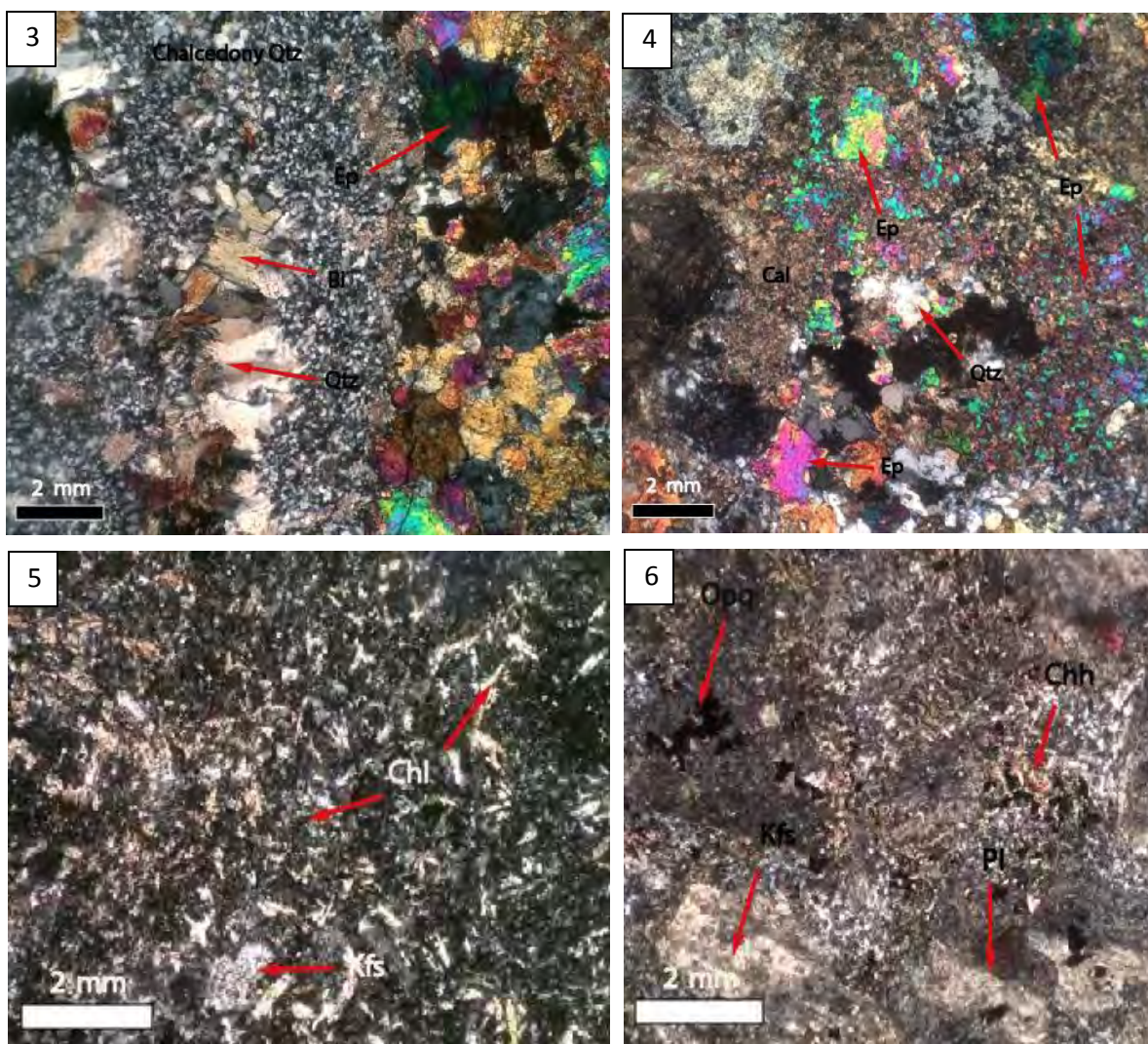
สายแร่ร้อนไหลขึ้นมาผสมกับการกระบวนการน้ำฝน (Meteoric process) ซึ่งมักเกิดขึ้นในระดับตื้นทำให้สายแร่ร้อนมีอุณหภูมิต่ำลง ทำให้เกิดสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-อพิโดด (รูปที่ 4.13 A) ซึ่งไม่มีการตกผลึกของแร่ทองแดงแร่ซัลไฟด์ อาจจะพบบ้างเล็กน้อย และเกิดการแปรเปลี่ยนของแร่คลอไรต์-อพิโดด (รูปที่ 4.13 B) และการแปรเปลี่ยนที่มีการแทนที่ของแร่ที่เกิดในอุณหภูมิที่สูงซึ่งเกิดในช่วง Prograde Skarn กลายเป็นแร่ที่เกิดในอุณหภูมิต่ำกว่าซึ่งเป็นช่วง Retrograde skarn โดยส่วนใหญ่เป็นแร่ที่ไม่มีน้ำในโครงสร้าง กลายมาเป็นแร่ที่มีน้ำในโครงสร้างแทน เช่น การแทนที่ของแร่คลอไรต์ในบริเวณขอบของแร่ไบโอไทต์ การแทนที่ของแร่ส่วนใหญ่พบกระจายตัวบริเวณขอบของอยู่ตามสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-อพิโดด ที่มีอยู่เป็นจำนวนมากและตัดกันเป็นร่างแหในหินแอนดิซิติกลาพิลลิต์ฟไฟท์และหินไมโครไดโอไรต์ โดยมีบริเวณการแปรเปลี่ยนเข้าไปในหินเย้า กว้างประมาณ 1-20 เซนติเมตร ซึ่งแปรผันตามขนาดของสายแร่ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 0.5 - 100 เซนติเมตร



รูปที่ 4.13 การแปรเปลี่ยนที่เกิดขึ้นในช่วงที่ 3 ของการเกิดแหล่งแร่ (A) การแปรเปลี่ยนคลอไรต์-อพิโดดอันเนื่องจากสายแร่ร้อนอุณหภูมิต่ำเคลื่อนที่ขึ้นมา ทำให้หินเย้ามีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบแร่ (B) การแปรเปลี่ยนคลอไรต์-อพิโดด อันเนื่องจากสายแร่ควอตซ์ ขึ้นมาทำให้หินเย้าเกิดการแปรเปลี่ยน

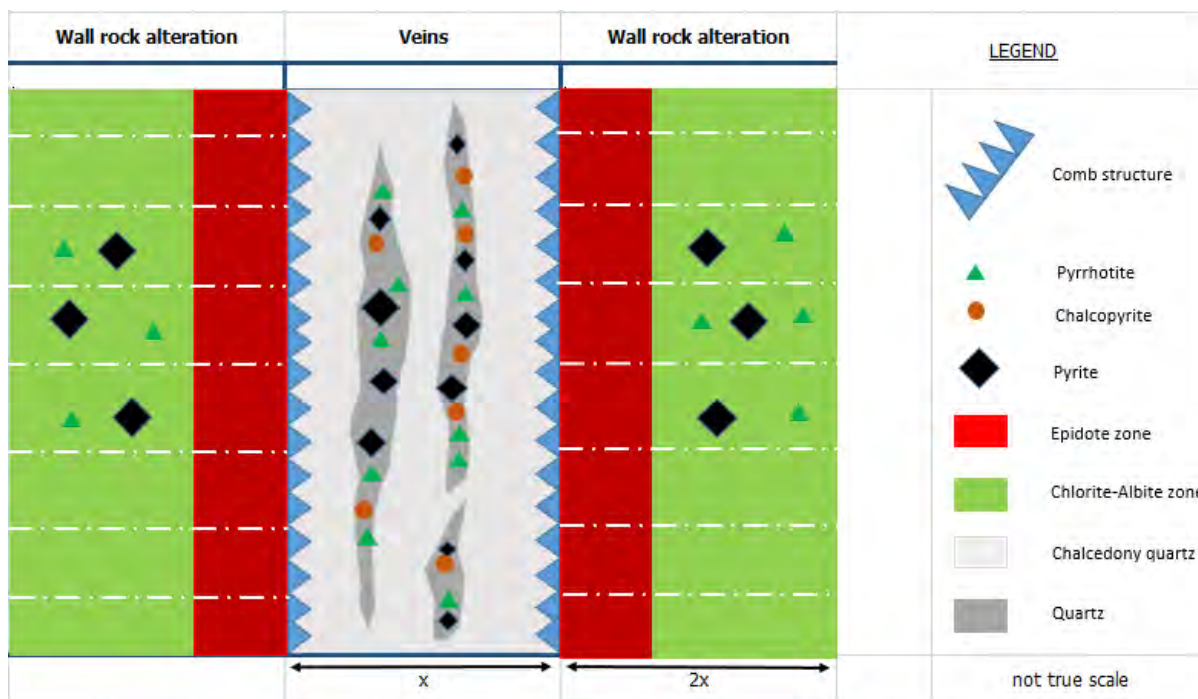
การแปรเปลี่ยนของหิน ท้องที่ใน stage 3 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการแปรเปลี่ยนคลอไรต์-อีพิโดดเนื่องจาก
 สายแร่อุณหภูมิต่ำ สามารถศึกษาจากตัวอย่างหินในรูปที่ 4.13 (B) และสามารถจำลองการแปรเปลี่ยนคลอ
 ไรต์-อีพิโดด ดังรูป 4.14 และ 4.15 ได้ดังนี้





รูปที่ 4.14 การแปรเปลี่ยนในช่วงที่ 3 ตั้งแต่สายแร่ควอตซ์จนสุดการแปรเปลี่ยนของหิน ท้องที่ ซึ่งจะอธิบายการแปรเปลี่ยนไปที่ละขั้นจากสายแร่ไปยังหินเห้ำ ดังนี้ (1) บริเวณตรงกลางสายแร่ควอตซ์ จากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรส์ พบสายแร่ควอตซ์-แคลไซต์-อีพิโดค-แอคทีโนไลต์ (2) ถัดมาจากตรงกลางของสายแร่ ตรงขอบๆ จากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรส์ พบสายแร่ควอตซ์-แคลไซต์-ไพรอกซีน-อีพิโดค คาดว่าเป็นสายแร่ที่เคลื่อนที่ขึ้นมาก่อนสายแร่ควอตซ์-แคลไซต์-อีพิโดค-แอคทีโนไลต์ (3) ควอตซ์ จากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรส์ พบโซนของอีพิโดคซึ่งอยู่ข้างสายแร่ควอตซ์อยู่รวมกันเป็นกลุ่มตามแนวยาวและต่อกันไปจนถึง (4) ซึ่งยังพบแร่อีพิโดคอยู่ และยังพบแร่แคลไซต์-ควอตซ์และแร่คลอไรต์เล็กน้อย (5) จากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรส์ พบแร่คลอไรต์จำนวนมาก แต่ไม่พบแร่อีพิโดคเลย แสดงว่าเริ่มมีการเปลี่ยนโซนของแร่จากโซนของอีพิโดคมาเป็นโซนของคลอไรต์และยังพบแร่แพลกจิโอเคลส เฟลด์สปาร์ (6) จากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรส์ จะพบว่าปริมาณแร่คลอไรต์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด และเห็นผลึกของแพลกจิโอเคลส เฟลด์สปาร์ และโพแทส เฟลด์สปาร์ มีขนาดประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งคาดว่า การที่เจอแร่ยังคงมีรูปร่างเป็นผลึกและยังมีเค้าโครงของแร่เดิม แสดงว่า อิทธิพลของสายแร่น้ำร้อนน่าจะมีขอบเขตมาถึงบริเวณตรงนี้

Qtz=Quartz, Bi=Biotite, Pl=Plagioclase feldspar, Chl=Chlorite, Kfs=K-feldspar, OPq=Opaque, Ep=Epidote, Cal=Calcite, Act=Actinolite, Px=Pyroxene



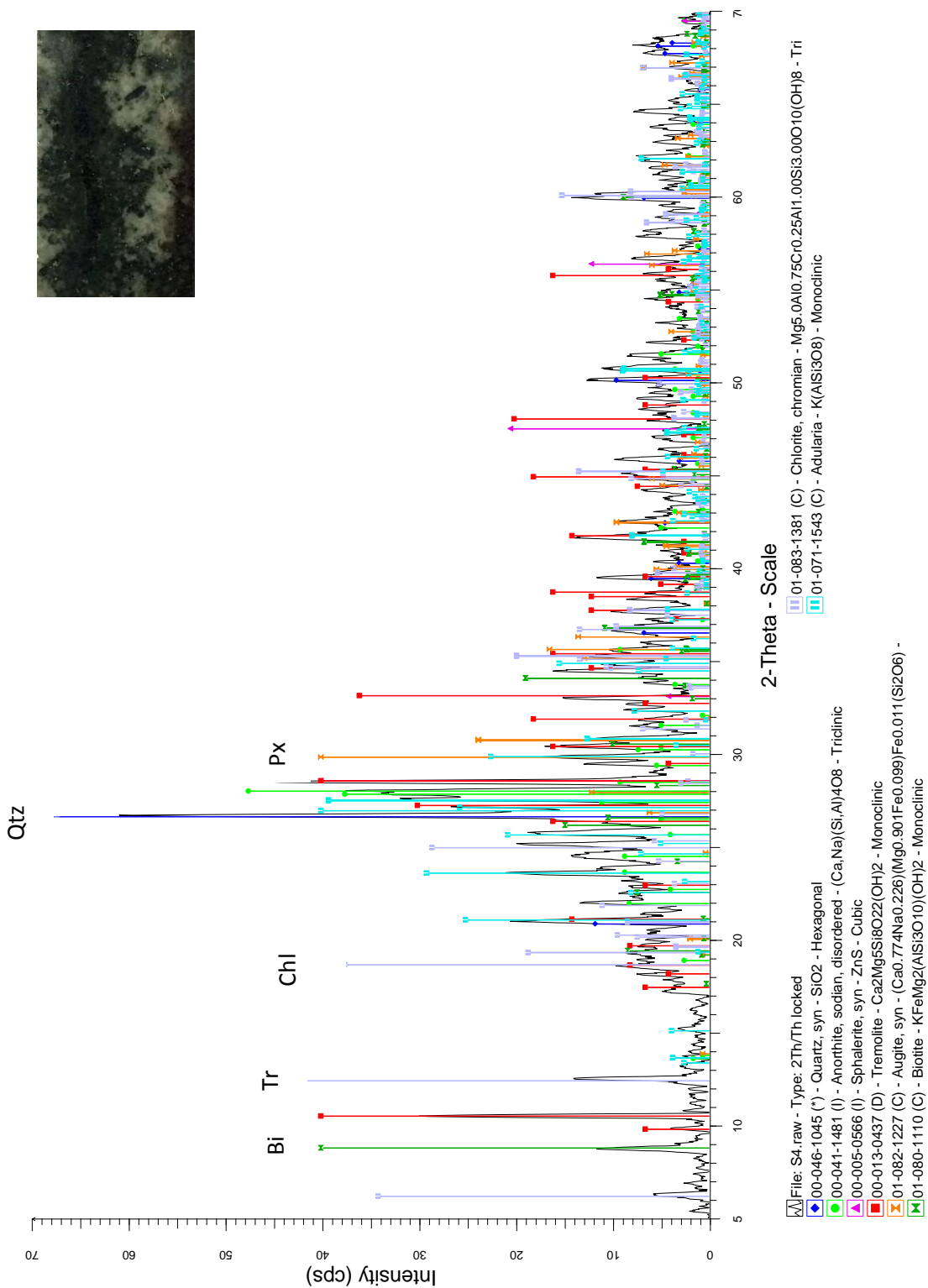
รูปที่ 4.15 แบบจำลอง การแปรเปลี่ยนที่เกิดขึ้นในช่วงที่ 3 ของการเกิดแร่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็น โซนของคลอไรต์-อพิโดด

การวิเคราะห์ด้วย XRD

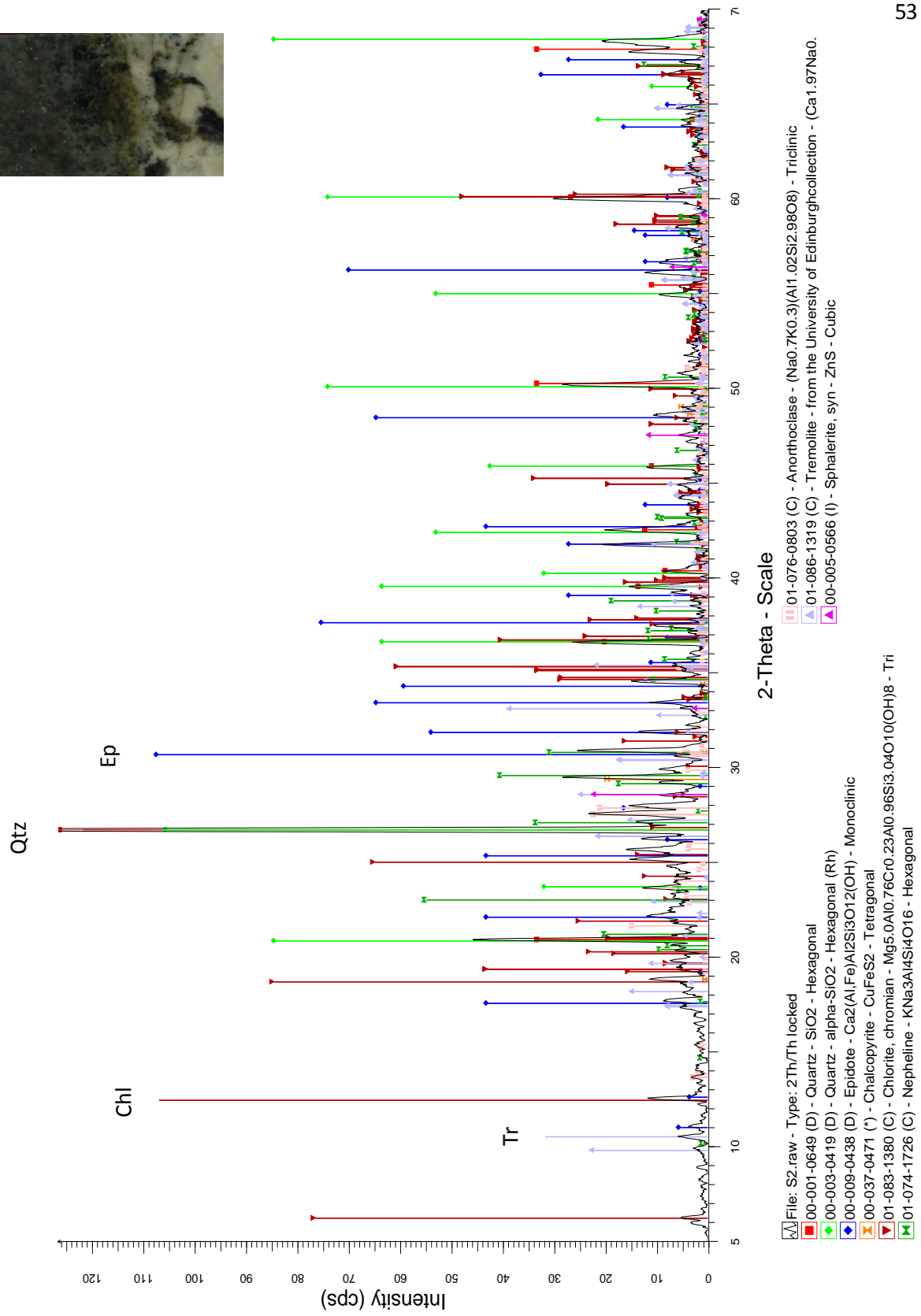
จากการศึกษาแผ่น หินขัดบาง (Thin section) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โพลาริไรต์ เพื่อคุณลักษณะการแปรเปลี่ยนของหินท้องที่ เราสามารถนำตัวอย่างไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าประกอบของแร่และสนับสนุนว่าสิ่งที่เราศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ถูกต้อง โดยนำตัวอย่าง (Powder) ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) ซึ่งมีตัวอย่างทั้งหมด 10 ตัวอย่าง แต่ที่จะแสดงในบทการแปรเปลี่ยน จะแสดงแค่ 2 ตัวอย่าง และเพื่อให้เห็นภาพและเข้าใจได้ชัดเจนยิ่งขึ้นสามารถดูข้อมูลในภาคผนวกได้

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD จะมีผลออกมาในรูปของ XRD pattern ซึ่งจะแสดงจุดยอด (Peak) ที่มีลักษณะเฉพาะของแต่ละตัว

ในการศึกษาครั้งนี้เน้นการวิเคราะห์ของการแปรเปลี่ยนเป็นหลัก ซึ่งได้แก่การแปรเปลี่ยนแบบโพแทสติก {biotite (pyroxene) alteration} และ การแปรเปลี่ยนแบบโพโรไฟลิติก (Chlorite-epidote alteration) (รูปที่ 4.16 และ 4.17) ดังแสดงใน XRD pattern ดังต่อไปนี้



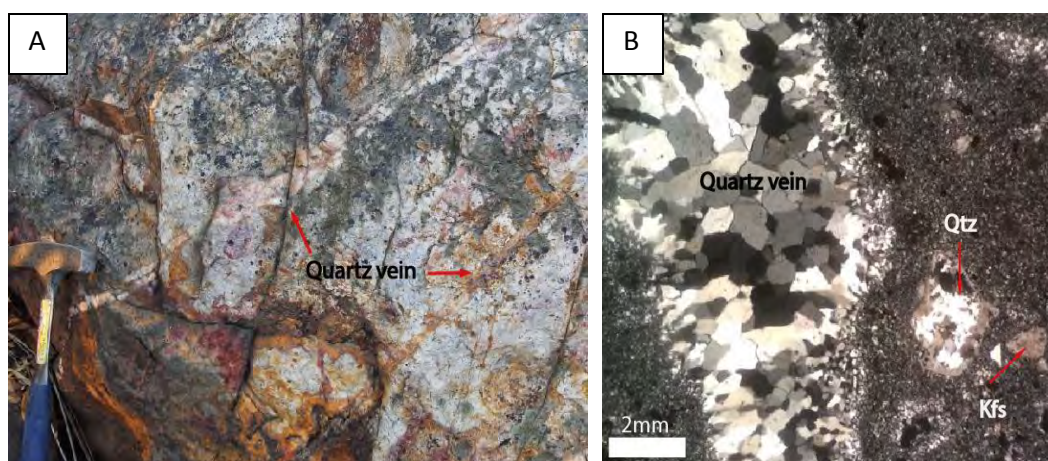
รูปที่ 4.16 แผนภูมิ (XRD pattern) ข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างหินแอนดซิติกลาพิลล์ที่ที่มีการแปรเปลี่ยนแบบโพแทสติก {Biotite (pyroxene) zone}



รูปที่ 4.17 แผนภูมิ (XRD pattern) ข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างหินแอนคิซติกลาพิลล์ที่ผ่านการแปรเปลี่ยนแบบโพไพลิติก (Chlorite-epidote alteration)

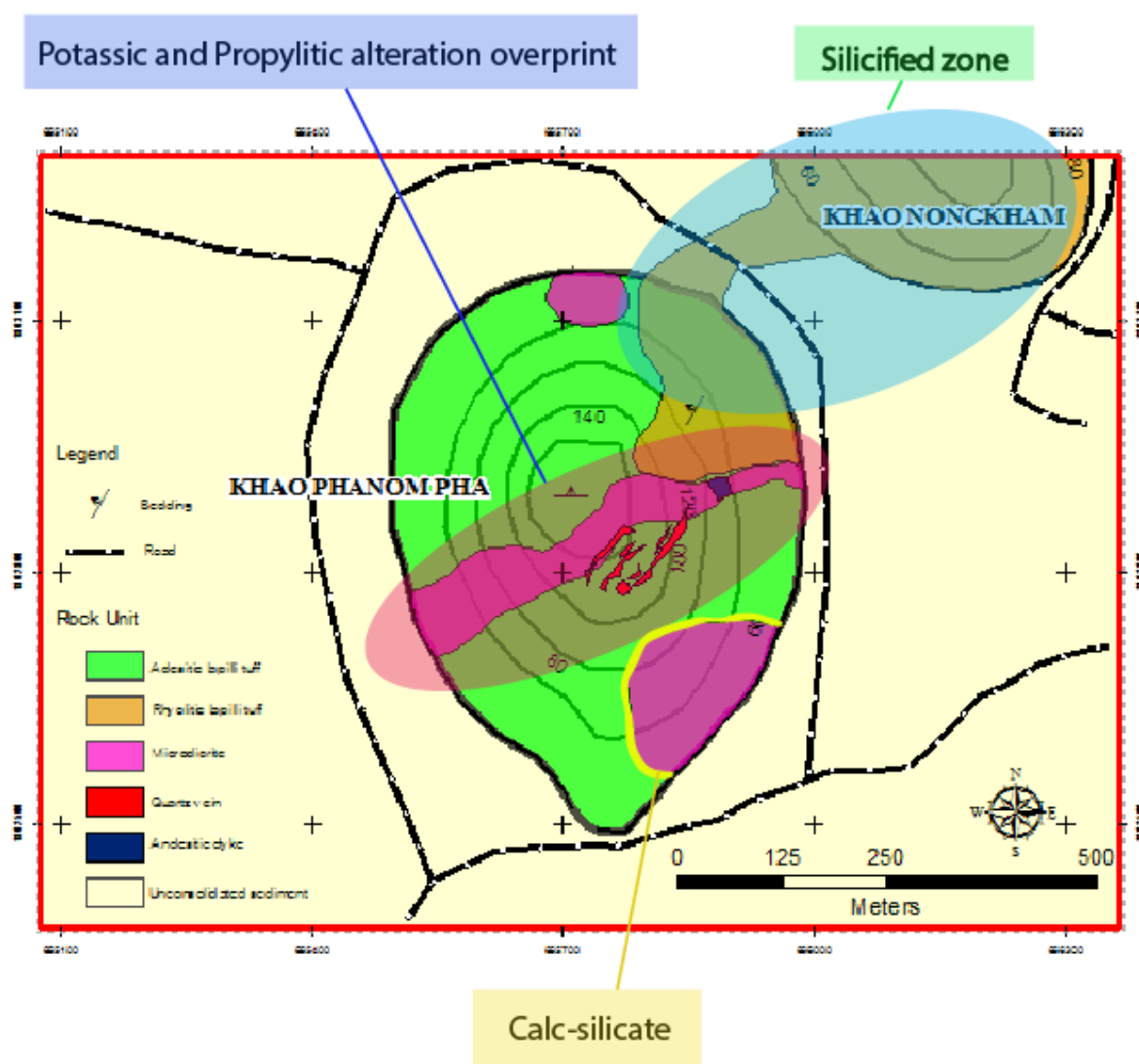
Stage 4 (Late stage quartz vein)

ช่วงที่มีการเข้ามาของสายแร่ร้อนที่ประกอบด้วยแร่ควอตซ์อย่างเดียว เกิดการแปรเปลี่ยนแบบซิลิซิฟิเคชัน (Silicification) มีความกว้างประมาณ 2 เซนติเมตร และตัดแทรกขึ้นมายังหินไรโอไลติกลาพิลลิตีฟฟ์ ทำให้หินมีลักษณะแข็งมาก ซึ่งพบบริเวณทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเขapun มพาและครอบคลุมถึงบริเวณเขาหนองแวม (รูปที่ 4.18 A และ B) ซึ่งในบริเวณนี้ไม่มีการพบสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง สายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-อพิโคค และไม่พบการเปลี่ยนสภาพแบบแคลก์ ซิลิเกต และ retrograde skarn



รูปที่ 4.18 การแปรเปลี่ยนในช่วงที่ 4 ของการเกิดแหล่งแร่ (A) หิน โผล่ของหินไรโอไลติกลาพิลลิตีฟฟ์ที่มีสายแร่ควอตซ์ขนาด 3 เซนติเมตรตัดแทรกเข้ามาทำให้หินมีลักษณะแข็งมาก (B) จากกล้องจุลทรรศน์ โพลารไรต์ แสดงสายแร่ควอตซ์ในหินไรโอไลติกลาพิลลิตีฟฟ์ที่ประกอบด้วยผลึกของ โปแทส เฟลด์สปาร์ และแร่ควอตซ์

จากการศึกษาข้อมูลข้างต้น ในบทที่ 3 ธรณีวิทยาและ บทที่ 4 การเกิดแหล่งแร่และการแปรเปลี่ยนของหิน ท้องที่ สามารถทำให้ออกแบบการแปรเปลี่ยนบริเวณพื้นที่เขาพนมพา ได้ดังรูปที่ 4.19 ซึ่งประกอบด้วย การแปรเปลี่ยนแบบโพแทสติก และการแปรเปลี่ยนแบบโพโรไฟรลิติก ซึ่งเกิดในลักษณะซ้อนทับกัน บริเวณกลางเขาพนมพา การแปรสภาพแบบแคลก์ ซิลิเกต บริเวณทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของ เขาพนมพา และการแปรเปลี่ยนแบบซิลิซิฟิเคชัน พบบริเวณทางตอนเหนือของเขาพนมพาและ ครอบคลุมพื้นที่เขาหนองแวม



รูปที่ 4.19 แผนที่การแปรเปลี่ยนบริเวณพื้นที่เขาพนมพา (ดัดแปลงจาก พิรณัฐ วิเศษศรี, 2552)

บทที่ 5 อภิปรายผลและสรุปผลการศึกษา

5.1 อภิปรายผลการศึกษา

การเกิดแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพา มีหินเขี้ยวเป็นหินภูเขาไฟ (Andesitic volcanic rock) ซึ่งตรงกับหน่วยหินที่ 3 (Polymictic mafic-intermediate breccia unit) ของการลำดับชั้นหินภูเขาไฟบริเวณแหล่งแร่ทองคำชาติ (Salam, 2014) นอกจากนั้นแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพายังเกิดในหินไมโครไดออไรต์ด้วย โดยหินไมโครไดออไรต์ทำให้เกิดการแปรสภาพ แบบสัมผัส (Contact metamorphism) เล็กน้อยในบริเวณแคบๆ ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของเขาพนมพา ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า หินไมโครไดออไรต์ไม่ค่อยมีผลต่อการแปรสภาพของหินท้องถิ่น (รูปที่ 5.1) แต่คาดว่าหินอัคนีแทรกซอนที่อยู่อ่อนกว่าที่ทำให้หินภูเขาไฟและหินไมโครไดออไรต์เกิดการแปรเปลี่ยน (Alteration) อย่างรุนแรง ทำให้เกิดสการ์น (Prograde skarn) ซึ่งมี Prograde skarn alteration ในเขาพนมพาโดยเฉพาะทางด้านใต้ของเขา โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วย โซนของไบโอไทต์ {biotite (pyroxene) zone} และถัดออกไปเป็น โซนโครไฟลิติก (Chlorite-epidote zone) (รูปที่ 5.2) แต่ไม่พบโซนของการ์เนต (Garnet zone) ที่น่าจะอยู่ติดกับหินกับอัคนีแทรกซอน (Intrusion) ทำให้ขอบเขตของหินอัคนีแทรกซอนที่คาดว่าเป็นตัวทำให้เกิดสการ์นไม่สามารถทราบตำแหน่งที่แน่นอนได้ ซึ่งปกติแล้วสการ์นจะเกิดในหินปูนที่มีการสัมผัสของหินอัคนีแทรกซอน แต่บริเวณแหล่งแร่เขาพนมพาเกิดกับหินภูเขาไฟที่มีองค์ประกอบเป็นหินแอนดิไซต์ที่มีหินปูนแทรกเป็น เลนส์ (Lenses) (Crossing, 2004; Khositantont, 2008) นอกจากนี้ยังพบโซนของวอลลาสโทไนต์ (Wollastonite zone) ใกล้โซนแร่ที่ใต้ทองคำโดยเฉพาะบริเวณบ่อ 1 (บ่อที่ อบต. เเคผลิตสินแร่ จุดสำรวจและเก็บตัวอย่างที่ 1) ด้วย และสการ์น ยังพบในหินไมโครไดออไรต์ และไดออไรต์ แหล่งที่มาของแคลเซียม (Calcium) ที่จะนำมาใช้ให้เกิดสการ์น น่าจะมาจากหินปูนที่แทรกสลับอยู่ในชั้นของหินตะกอนภูเขาไฟ (Volcaniclastics) และเศษตะกอนของถ้ำหินภูเขาไฟ (Volcanogenic-sedimentary rocks) ที่ทั่วไปในหินภูเขาไฟบริเวณเขาพนมพาและเขาเจ็ดลูก (จากคำกล่าวของ อภิสิตธิ์ ซาล่า) ของสายแร่ร้อนอุณหภูมิสูง ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากแมกมา (Magmatic fluid) กลายเป็นสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง เกิดลักษณะเป็นสายแร่ กว้างไม่เกิน 1 เมตร วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีอยู่ด้วยกัน 3 แนวหลักๆ มีการตกผลึกของแร่ทองพร้อมกับแร่ซัลไฟด์ อย่างเช่น แร่พิโรไทต์ แร่ไพไรต์และแร่คาลโคไพไรต์ แร่พิโรไทต์พบมากที่สุด (รูปที่ 5.3) และคาดว่าแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพามีการเกิดแหล่งแร่แบบสการ์น ในสภาวะแวดล้อมแบบ Reduced skarn สอดคล้องกับของ Khin Zaw (2014) ซึ่งระบุว่า เป็น Reduced skarn เช่นเดียวกับแหล่งแร่ทองคำทับฟ้า ที่เกิด

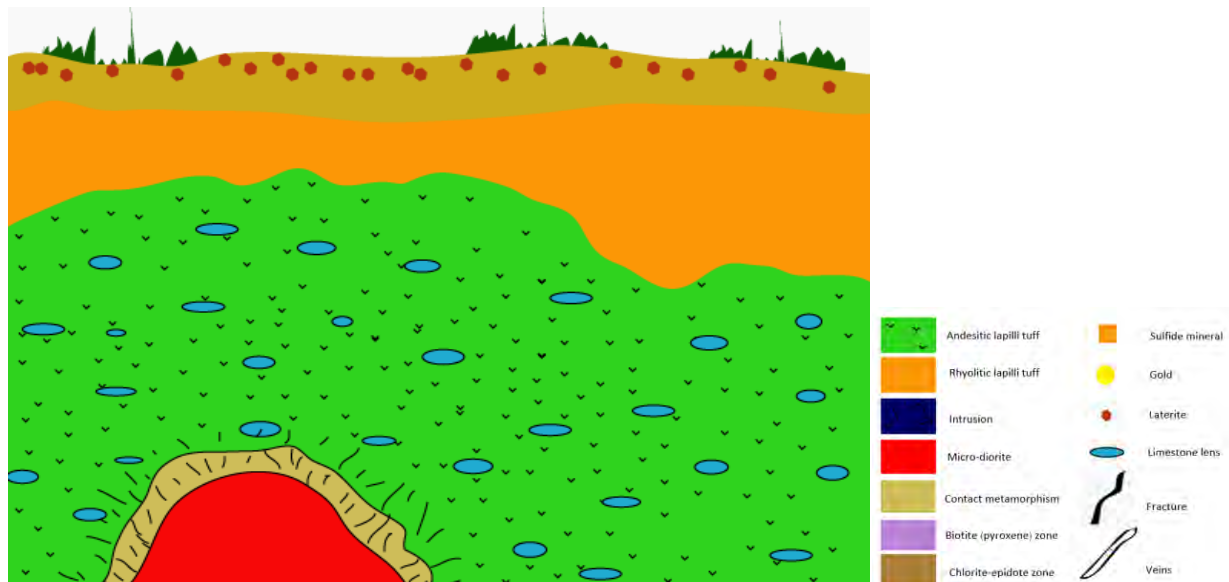
ขึ้นอยู่ระหว่างโซนของไฟร็อกซินและโซนของคลอไรต์-อีพิโดต ส่วนช่วงของการเกิดแหล่งแร่ทองคำคาด
ว่าเกิดก่อน Retrograde skarn เนื่องจากการศึกษาของ Kositanont (2008) ได้ศึกษามลทินของของไหล (Fluid
inclusions) และ ไอโซโทปของซัลเฟอร์ (Sulphur isotope) ซึ่งได้อุณหภูมิของการเกิดแหล่งแร่ที่ 350-400
องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่สูงเกินไปที่จะเกิดในช่วง Retrograde skarn และคาดว่าช่วงการเกิดแหล่งแร่
ยังคงมีอุณหภูมิสูงอยู่ประมาณ 350-400 องศาเซลเซียส ในส่วนของ Retrograde skarn นั้นเกิดขึ้นเนื่องจาก
สายแร่ร้อนทำปฏิกิริยากับน้ำฝนทำให้สายแร่มีอุณหภูมิต่ำมีการแปรเปลี่ยนของแร่ที่อุณหภูมิสูงกว่า (ไบ
โอไทต์) กลายเป็นแร่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (แร่คลอไรต์ และแร่อีพิโดต) ได้เป็นสายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-อีพิ
โดต ซึ่งไม่ให้แร่ทองคำ แต่ยังมีแร่ซัลไฟด์เกิดขึ้นเล็กน้อย (รูปที่ 5.4) และสายแร่ทั้งสองยังแสดงการซ้อนทับ
กัน (Overprint) ซึ่งกันและกันพบทั่วไปในบริเวณเขาพนมพา ต่อมาสายแร่ร้อนที่มีองค์ประกอบเฉพาะ
แร่ควอตซ์ขนาดประมาณ 4 เซนติเมตรแทรกเข้ามาบริเวณทิศเหนือของเขาพนมพาและครอบคลุมเขาหนอง
แวมที่ประกอบด้วยหินไรโอไลติกลาพิลลิทฟ์ ทำให้หินถูก (Silicified) และมีลักษณะแข็งและสีอ่อน
(รูปที่ 5.5) แต่อย่างไรก็ตามการ Silicified นี้ไม่สัมพันธ์กับการเกิดทองคำที่เขาพนมพาแต่สัมพันธ์กับน้ำแร่
อุณหภูมิต่ำที่ขึ้นมาจากหลังการเกิดทองคำและ Retrograde skarn การตัดสายแร่ควอตซ์ที่ให้ทองคำของผนังหิน
ไดออไรต์ซึ่งน่าจะมีอายุใกล้เคียงกับที่พบในเหมืองทองคำชาตรีและพบทั่วไปในบริเวณรอบๆ เหมืองซึ่งมี
อายุประมาณ 238 - 44 ล้านปี (Salam, 2013) น่าเชื่อได้ว่าแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพามีอายุประมาณ 250 ล้าน
ปีจากการหาอายุโดยวิธี Ar/Ar จากแร่ Muscovite (Salam, 2013) และ เก่ากว่า 238 ล้านปี

จากการอภิปรายข้อมูลข้างต้นและการศึกษาบทที่ 3 ธรณีวิทยาแหล่งแร่ และบทที่ 4 การเกิด
แหล่งและการแปรเปลี่ยน ทำให้สามารถจำลองลักษณะการเกิดแหล่งแร่ การแปรเปลี่ยนของหินทองที่ใน
แหล่งแร่ทองคำเขาพนมพา ได้ดังนี้

- | | |
|--|--------------|
| Stage 1 : Volcanic layer with microdiorite | (รูปที่ 5.1) |
| Stage 2 : Prograde skarn | (รูปที่ 5.2) |
| Stage 3 : Gold mineralization | (รูปที่ 5.3) |
| Stage 4 : Retrograde Skarn | (รูปที่ 5.4) |
| Stage 5 : Late stage Quartz vein | (รูปที่ 5.5) |
| Stage 6 : Uplift and Erosion | (รูปที่ 5.6) |

Stage 1 : Volcanic layer with microdiorite

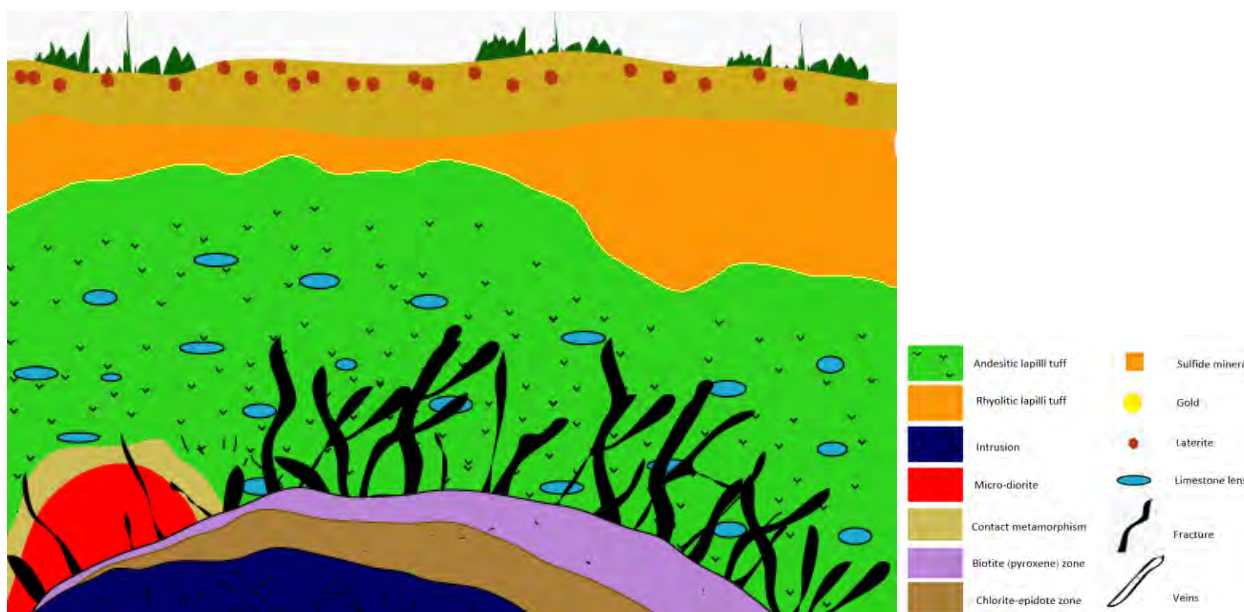
การเคลื่อนที่ขึ้นมาของหินไมโครไดออไรต์ในหินภูเขาไฟ ทำให้เกิดการแปรสภาพแบบสัมผัสบางส่วน และเกิดรอยแตกขึ้นในบางบริเวณ



รูปที่ 5.1 ชั้นหินภูเขาไฟและหินไมโครไดออไรต์ (Volcanic layer with microdiorite)

Stage 2 : Prograde skarn

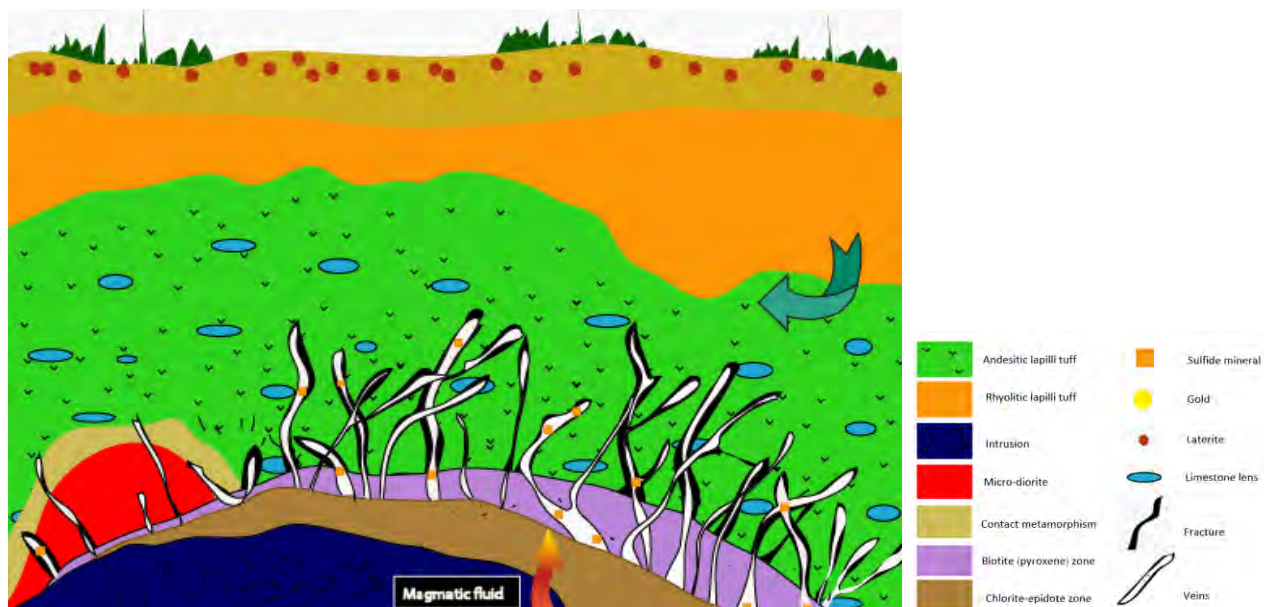
หินอัคนีแทรกซอนเคลื่อนที่ขึ้นมาทำให้หินไมโครไดออไรต์และหินภูเขาไฟทำให้เกิดสการ์น และเกิดการแปรเปลี่ยนของหินท้องถิ่น



รูปที่ 5.2 หินอัคนีแทรกซอนตัดแทรกเข้ามายังหินภูเขาไฟและหินไมโครไดออไรต์

Stage 3 : Gold mineralization

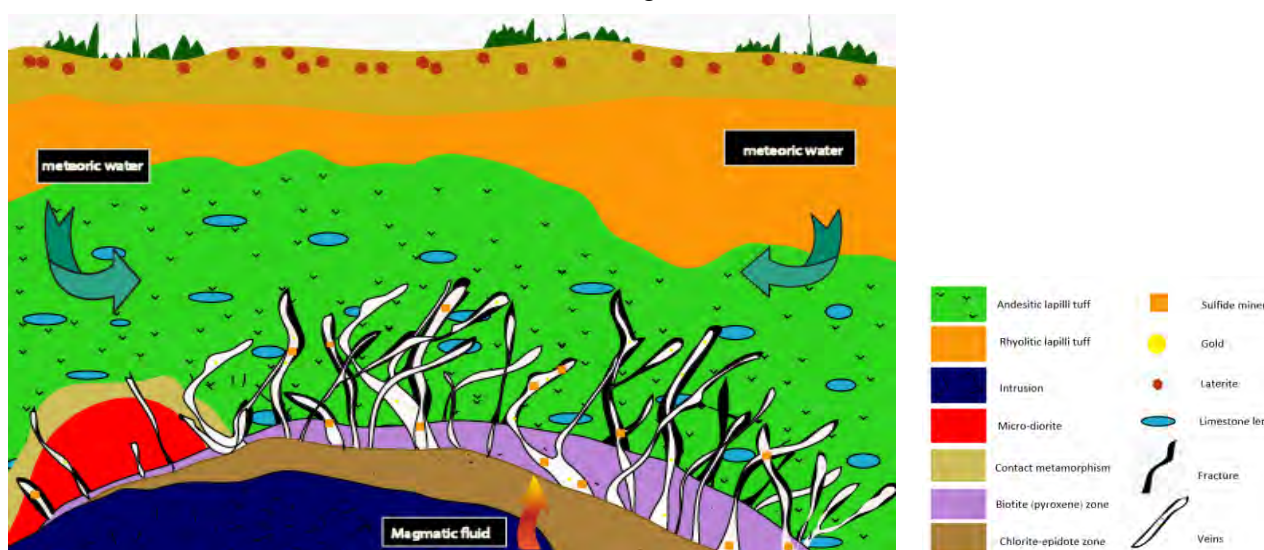
สายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-อพิโดด เคลื่อนที่ขึ้นมาและมีการตกผลึกของแร่ทองคำและแร่ซัลไฟด์ เช่น ไพไรต์ ไพไรต์ คาลโคไพไรต์



รูปที่ 5.3 สายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง ขึ้นมาเกิดการตกผลึกของแร่ทองคำและซัลไฟด์

Stage 4 : Retrograde Skarn

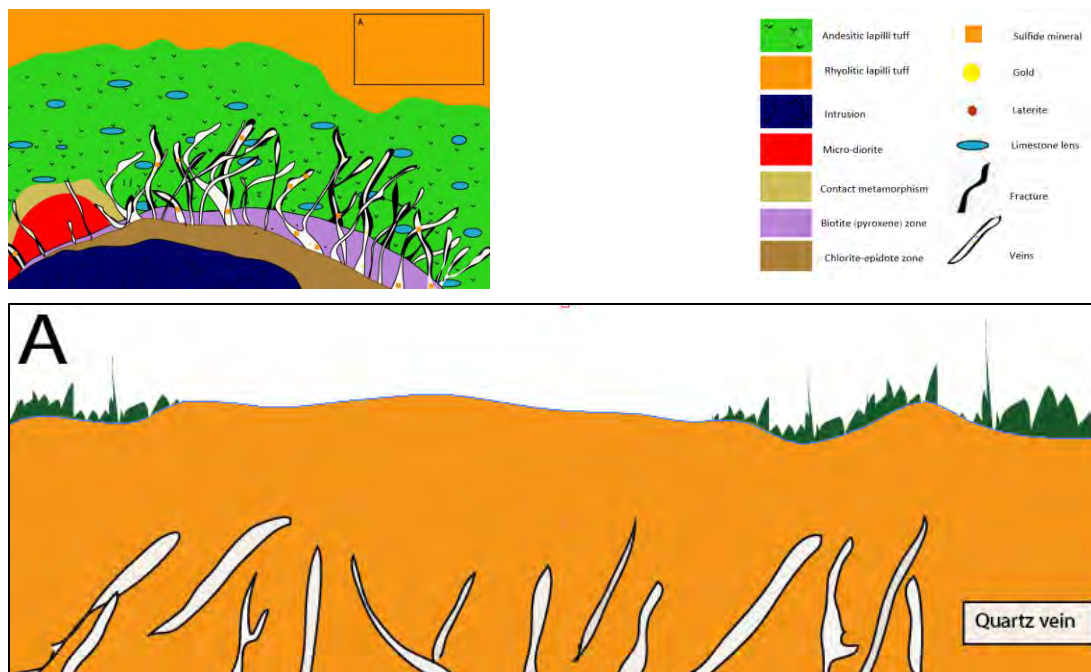
สายแร่ร้อนมีอุณหภูมิต่ำลงเนื่องจากกระบวนการทางน้ำฝน เกิดเป็นสายแร่ ควอตซ์-คลอไรต์-อพิโดด ไม่ให้แร่ทองคำ แต่ให้แร่ซัลไฟด์ แต่น้อยกว่าใน Stage 3



รูปที่ 5.4 สายแร่ร้อนทำปฏิกิริยากับน้ำฝนทำให้เกิดสายแร่ ควอตซ์-คลอไรต์-อพิโดด

Stage 5 : Late stage Quartz vein

สายแร่ควอตซ์ ขนาด 4 เซนติเมตร เคลื่อนที่ขึ้นมาในหินไรโอไลติกลาพิลล์ที่ฟฟิบริเวณทางเหนือของเขพนมพาและครอบคลุมพื้นที่เขาหนองแวม ทำให้หินมีลักษณะแข็งมาก



รูปที่ 5.5 สายแร่ร้อนที่มีเฉพาะแร่ควอตซ์

Stage 6 : Uplift and Erosion

เกิดการยกตัวและการกัดกร่อนของพื้นที่ ตามลำดับ ทำให้สามารถมองเห็นการสะสมตัวแร่ของแหล่งแร่ทองคำได้



รูปที่ 5.6 แหล่งแร่ทองคำเกิดการยกตัวและเกิดการกัดกร่อน

5.2 สรุปผลการศึกษา

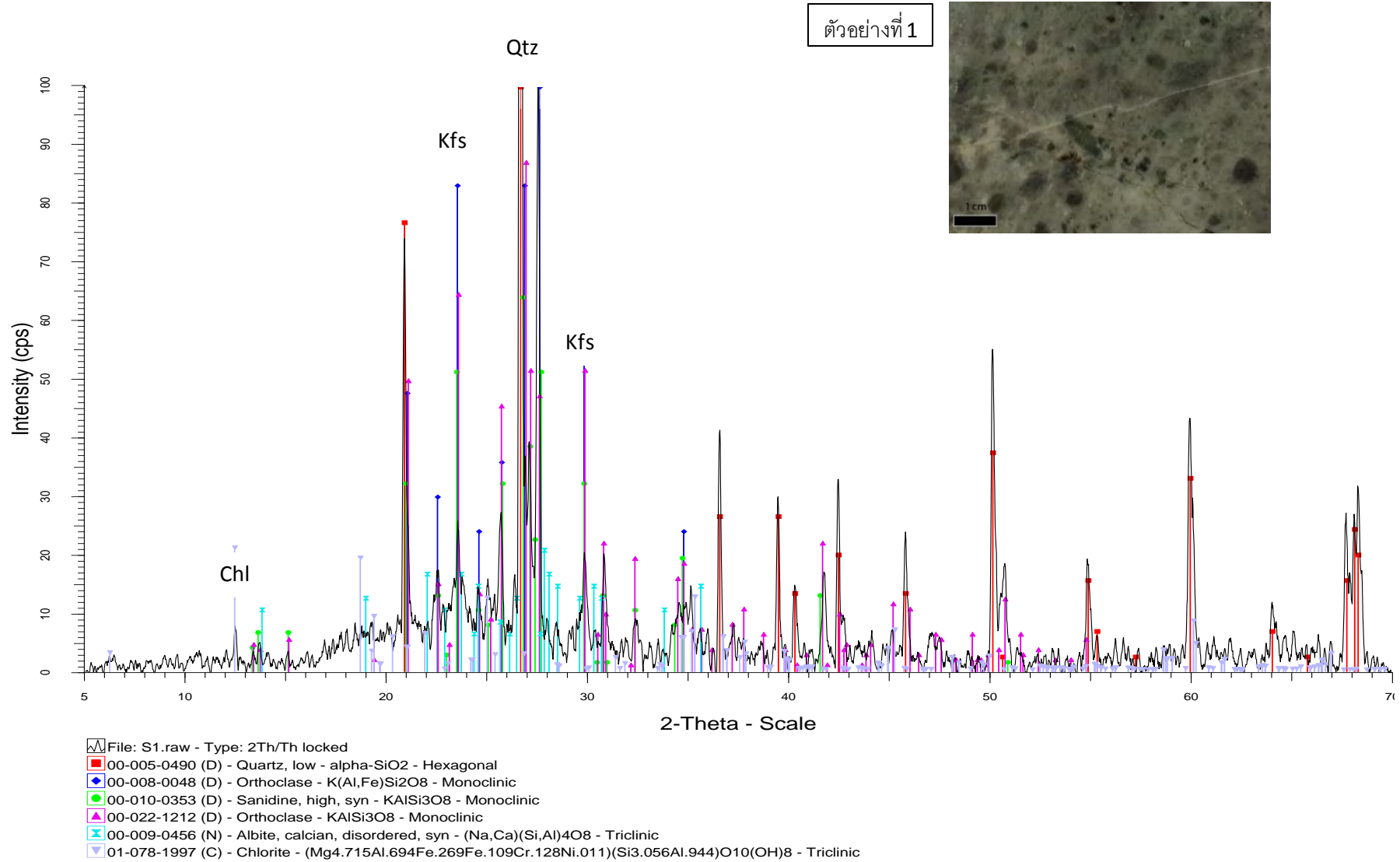
1. ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วยหิน 4 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ หินแอนดิซิดิกลาฟิลีทซ์ หินไรโอไลติกลาฟิลีทซ์ หินไมโครไดออไรต์ และพองหินแอนดิไซต์
2. การเกิดแหล่งแร่ทองคำในพื้นที่ศึกษา สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 stage ด้วยกัน ดังนี้
 - 2.1 Stage 1 (Prograde skarn)
 - 2.2 Stage 2 (Gold mineralization)
 - 2.3 Stage 3 (Retrograde Skarn)
 - 2.4 Stage 4 (Late stage quartz vein)
3. หินเขียวของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ หินภูเขาไฟและหินไมโครไดออไรต์ และพบหินปูนรูปเลนส์แทรกสลับอยู่กับหินแอนดิซิดิกลาฟิลีทซ์
4. แหล่งแร่ทองคำเขาพนมพาดเกิดในลักษณะของสายแร่ มีความกว้างไม่เกิน 1 เมตร วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มุมเอียงเทประมาณ 70 องศา ซึ่งเกิดเป็น zone อย่างน้อยมี 3 zone ด้วยกัน โดยสายแร่ที่ให้แร่ทองคำ คือ สายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง ที่เกิดขึ้นใน stage 2
5. การตกผลึกของแร่ทองคำ จากสายแร่สายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ขนาดประมาณ 0.2-0.4 เซนติเมตร ลักษณะเป็นเกล็ดหรือเม็ดกลมๆ สีเหลืองมันวาว และนอกจากนี้ยังพบแร่ซัลไฟด์ที่ตกผลึกร่วมกับแร่ทองคำ ซึ่งแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพาดประกอบด้วยแร่ซัลไฟด์น้อยชนิด ได้แก่ แร่พิไรไธต์ แร่ไพไรต์ และแร่คาลโคไพไรต์ ส่วนใหญ่เกิดใน Stage 2 และพบน้อยลงมากใน stage 3
6. การแปรเปลี่ยนของหินทองที่ในพื้นที่ศึกษาสามารถจำแนกตาม Stage ของการเกิดแหล่งแร่ ได้ดังนี้
 - 6.1 Stage 1 (Prograde skarn) : Garnet zone, Biotite(pyroxene) zone, chlorite-epidote zone
 - 6.2 Stage 2 (Gold mineralization) : Silicification
 - 6.3 Stage 3 (Retrograde skarn) : Chlorite-epidote zone
 - 6.4 Stage 4 (Late stage quartz vein) : Silicification
7. การแปรเปลี่ยนแบบโพแทสติก (biotite zone) มีลักษณะซ้อนทับ (Overprint) อยู่กับ การแปรเปลี่ยนแบบโพรไฟลิติก (Chlorite-epidote zone) กระจายทั่วไปในหินภูเขาไฟและหินไมโครไดออไรต์ในพื้นที่ศึกษา ยกเว้นบริเวณทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ มีการแปรเปลี่ยนแบบสัมผัส และบริเวณทางเหนือของเขานพม ครอบคลุมพื้นที่เขาหนองแขมมีการแปรเปลี่ยนแบบซิลิซิฟิเคชันของหินไรโอไลติกลาฟิลีทซ์ ซึ่งเกิดใน stage 4 ทำให้หินบริเวณนี้มีลักษณะแข็งมาก

8. แหล่งแร่ทองคำเขาพนมพาเป็นแหล่งแร่ทองคำแบบ reduced skarn (Khin Zaw, 2014) เนื่องจากแร่ซัลไฟด์ที่พบส่วนใหญ่เป็นแร่พิไรไรต์ ซึ่งทำให้เกิดสภาพแวดล้อมแบบ Reduced

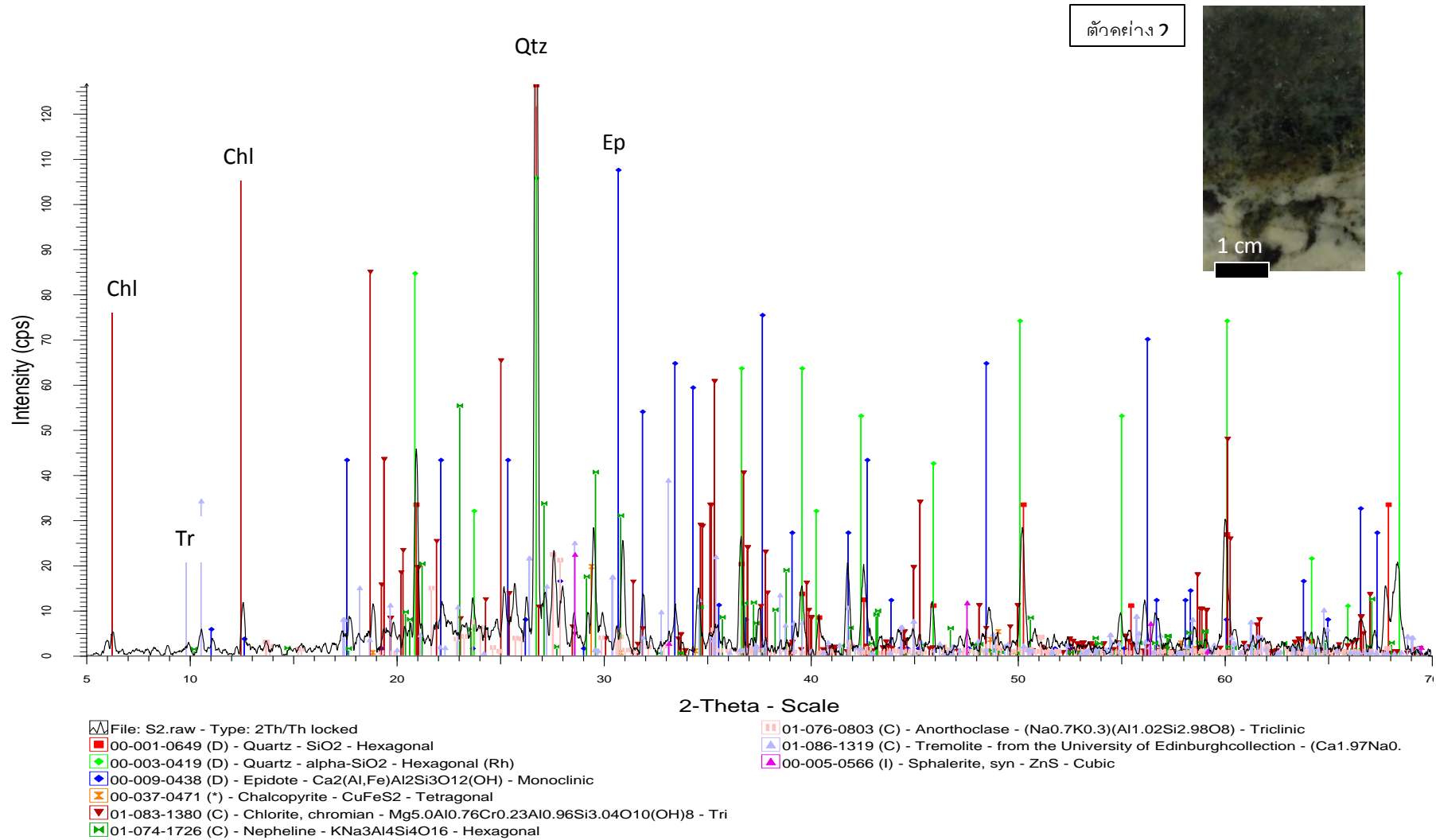
เอกสารอ้างอิง

- Khositanont, S. (2008). Gold and Iron-gold mineralization in the Sukhothai and Loei- Petchabun fold belts. Doctor of philosophy (Geology), Chiangmai University
- McPhie J., Doyle M. and Allen R., 1993, Volcanic Textures: a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks University of Tasmania. Centre for Ore deposit and Exploration Studies
- Panjasawatwong, Y., Chantaramee, S., Limtrakun, P., Pirarai, K., 1997, Geochemical and tectonic setting of eruption of central Loei volcanics in the Pak Chom area, Loei, northeast Thailand: Proceeding of International conference on Stratigraphy and tectonic evolution of Southeast Asian and the South Pacific, Bangkok, 19-24 August, p. 287-302.
- Salam, A., Zaw, K., Meffre, S., Mcphie, J., & lai, C. (2014). Geochemistry and Geochronology of Chatree epithermal gold-silver deposits: Implication for the tectonic setting of the Loei fold belt, central Thailand. Gondwana Research, 26(2014),198-217.
- Visadsri, P. (2009). Geology and Petrography of Khao Pha-Nom-Pha, Amphoe Wang Saiphun, Changwat Phichit, central Thailand. The bachelor of science. Chulalongkorn University.
- Zaw, K., Meffre, S., Lai, C., Burrett, C., Snatosh, M., Graham, I., Manaka, T., Salam, A., Kamvong, T., & Cromie, P. (2014). Tectonic and metallogeny of mainland Southeast Asia-A review and contribution. Gondwana Research, 26(2014).5-30

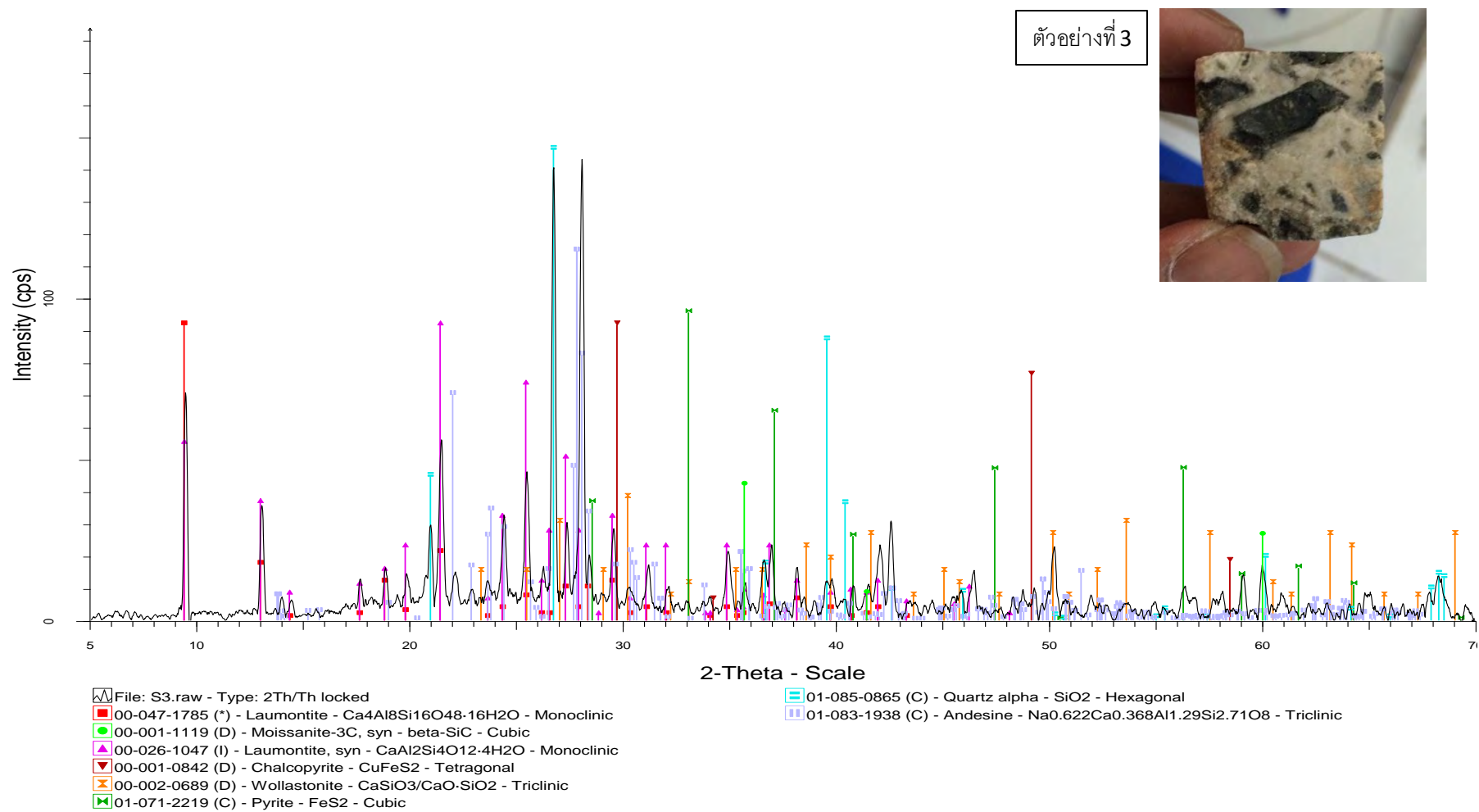
ภาคผนวก



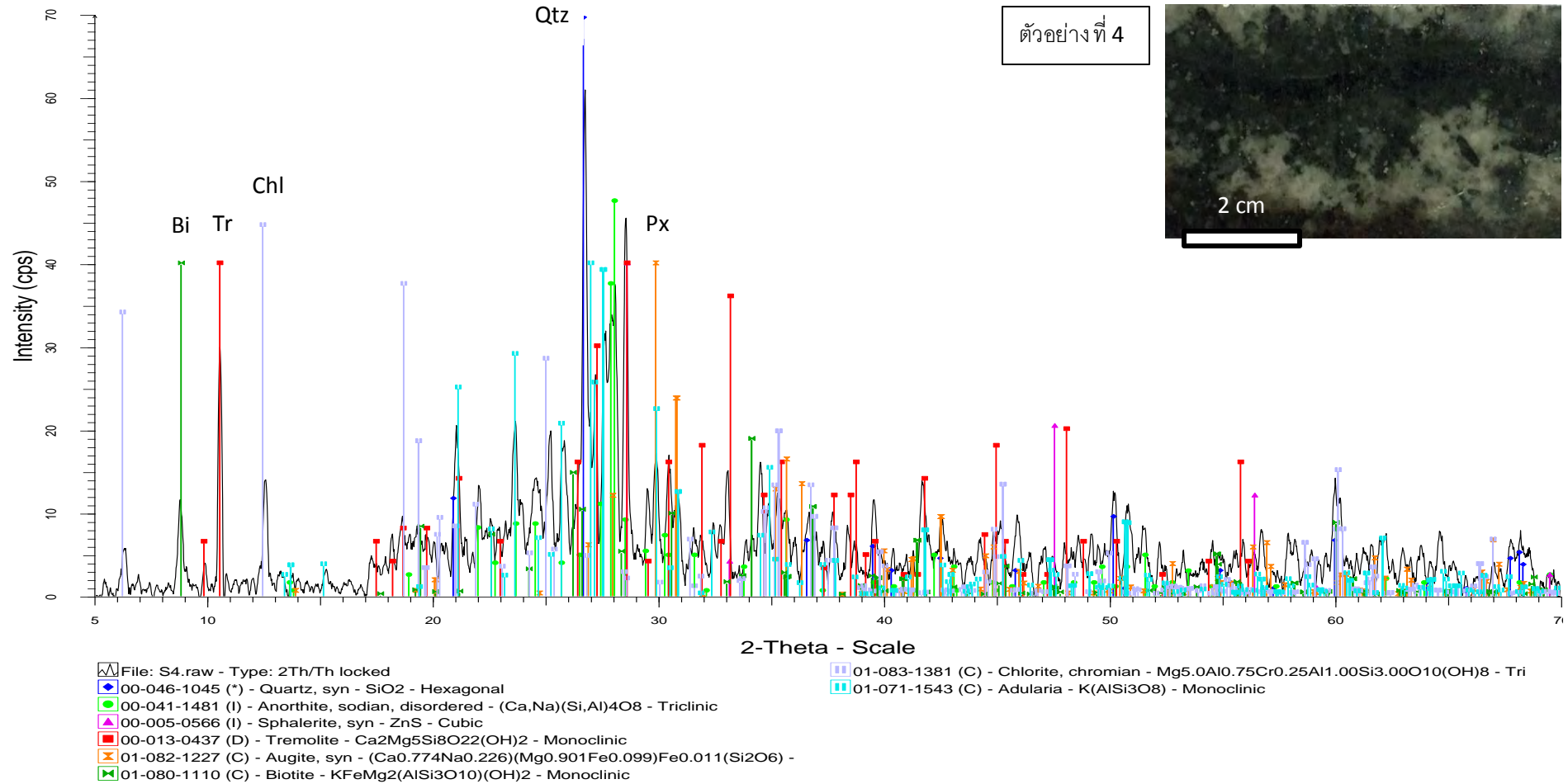
รูปที่ 6.1 แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างหินแอนดซิติกลาพิลลิต์พี จากจุดศึกษาที่ 2 พิกัด 0665686 1802884 (บท 3 ธรณีวิทยาแหล่งแร่, รูปที่ 3.3.4 (B) หน้า 7)



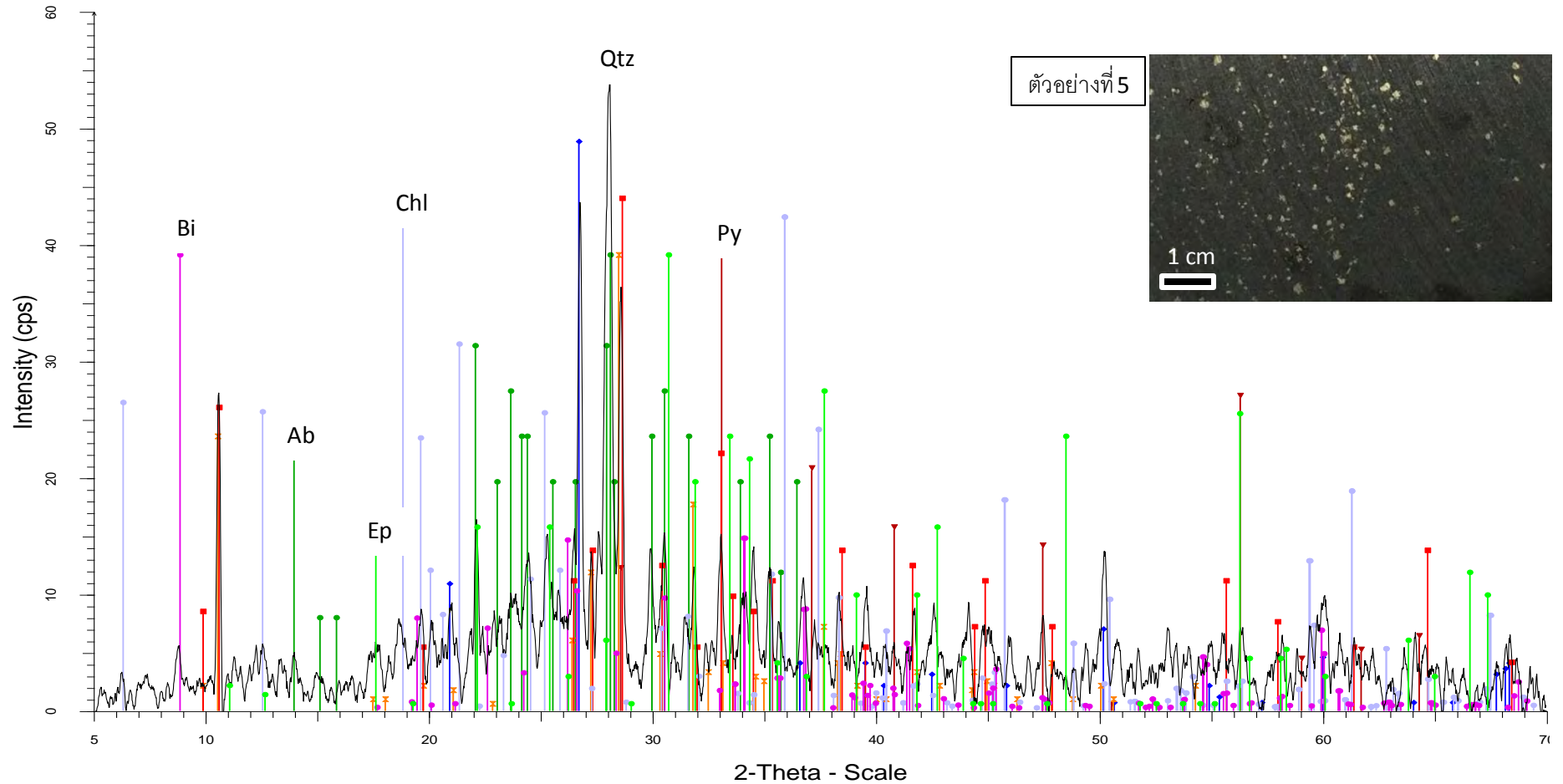
รูปที่ 6.2 แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างการแปรเปลี่ยนของหินแอนดซิติกลาพิลิตีฟไฟ จากจุดศึกษาที่ 2 พิกัด 0665686 1802884 (บท 4 การแปรเปลี่ยน, รูปที่ 4.3.3 (B) หน้า 19)



รูปที่ 6.3 แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างหินแอนดซิติกลาพิลล์ที่ฟฟ จากจุดศึกษาที่ 1 พิกัด 0665686 1802884



รูปที่ 6.4 แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างการแปรเปลี่ยนของหินแอนดิซิดิกลาพิลิตีฟไฟ จากจุดศึกษาที่ 1 พิกัด 0665686 1802884



File: S5.raw - Type: 2Th/Th locked

00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO₂ - Hexagonal

00-009-0457 (D) - Albite, calcian, ordered - (Na,Ca)(Si,Al)₄O₈ - Triclinic

00-042-1340 (*) - Pyrite - FeS₂ - Cubic

00-039-0373 (I) - Potassium pargasite - KCa₂(Mg₃FeAl)(Si₆Al₂)O₂₂(OH)₂ - Monoclinic

00-004-0594 (D) - Actinolite - Ca-Mg-Fe-SiO₂-OH -

01-072-1384 (C) - Chlorite dioctahedral - (Si_{3.3}Al_{1.7})Al₂O₁₀(Mg_{2.3}Al_{1.7})(OH)₈ - Monocli

01-080-1106 (C) - Biotite - KFeMg₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂ - Monoclinic

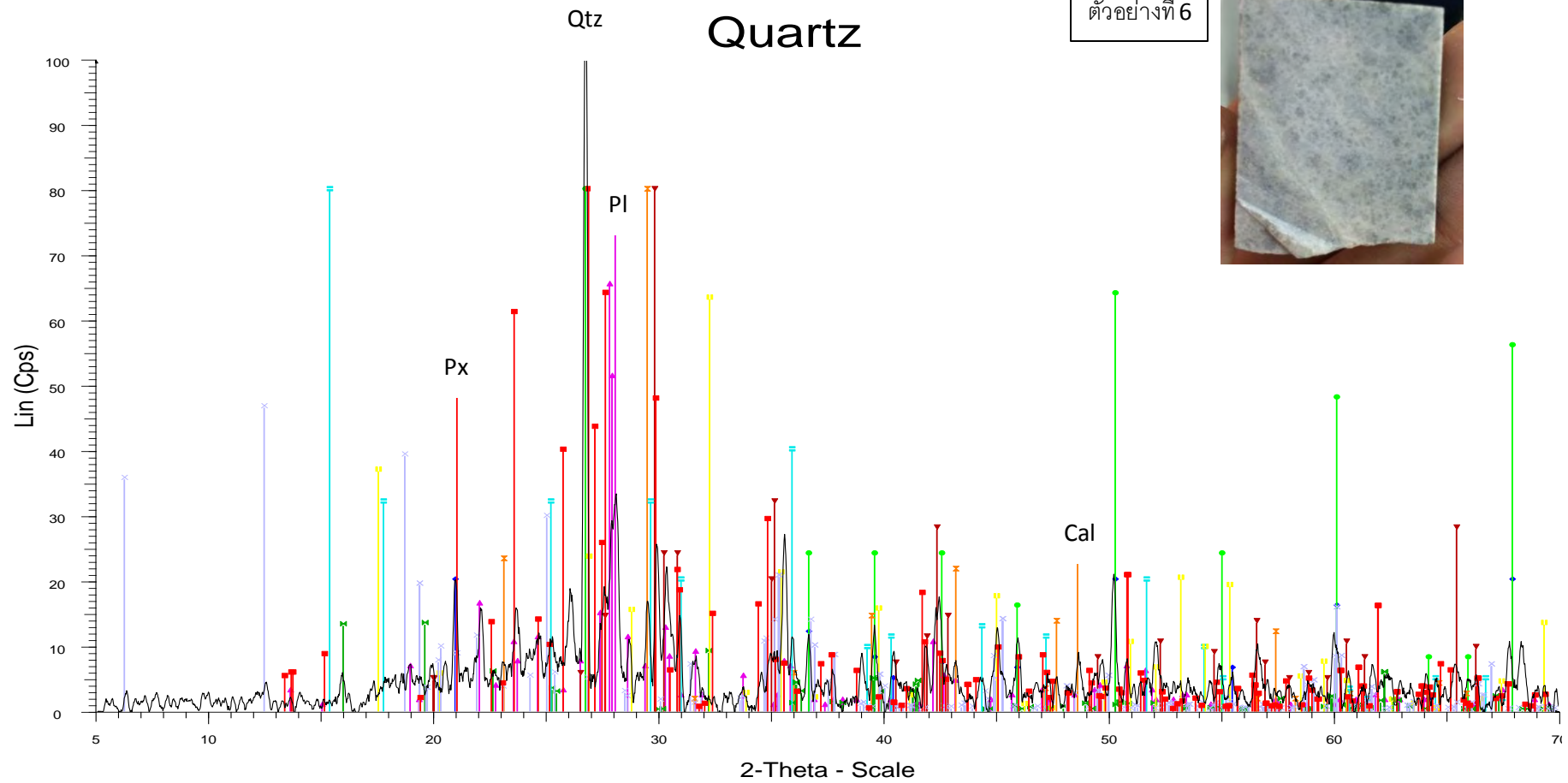
00-009-0438 (D) - Epidote - Ca₂(Al,Fe)Al₂Si₃O₁₂(OH) - Monoclinic

รูปที่ 6.5 แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างการแปรเปลี่ยนของหินไมโครไดอไรต์ จากจุดศึกษาที่ 1 พิกัด 0665686 1802884

ตัวอย่างที่ 6

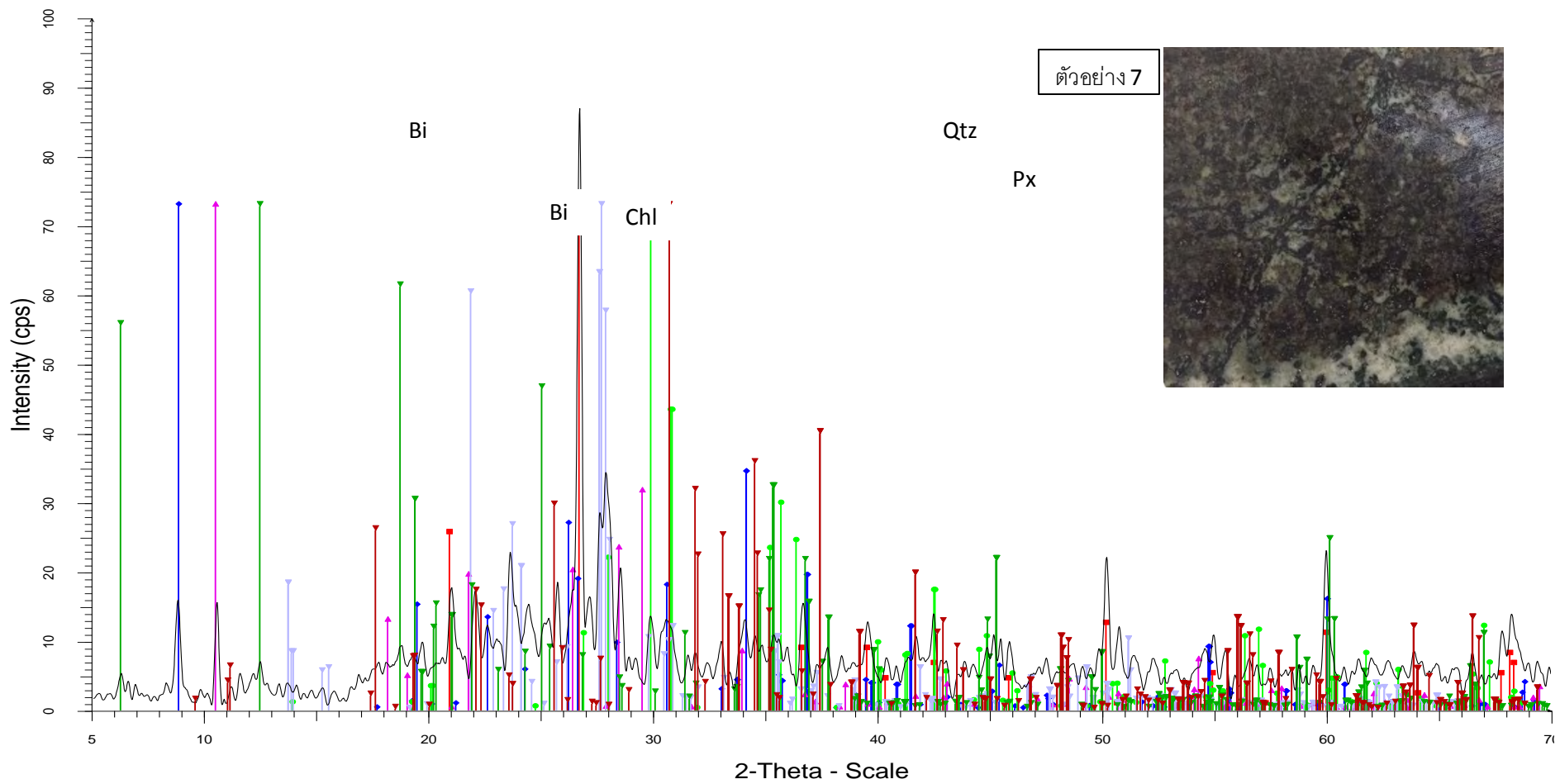


Quartz



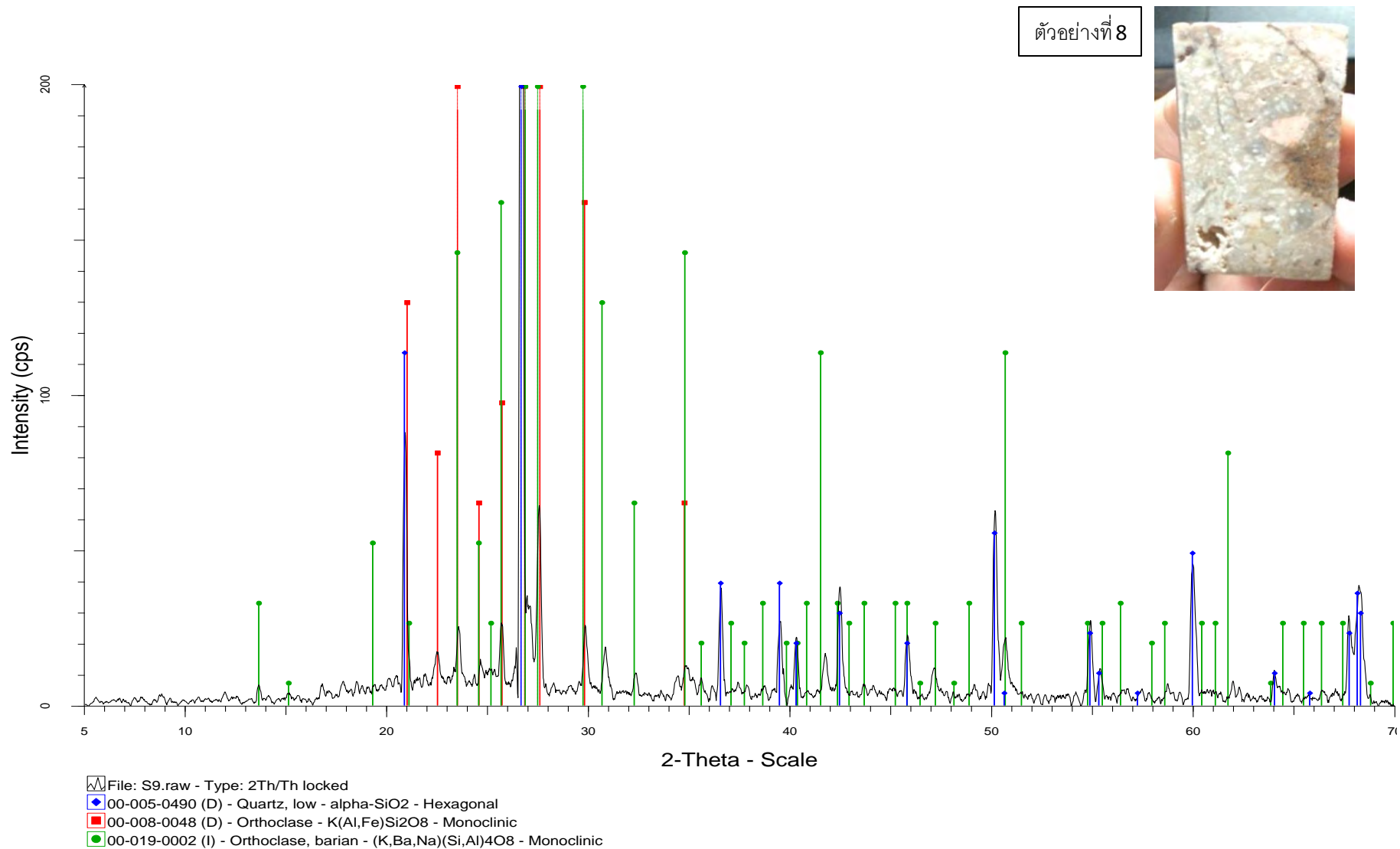
- File: S6.raw - Type: 2Th/Th locked
- Operations: Enh. Background 0.068,1.000 | Smooth 0.150 | Import
- 00-001-0649 (D) - Quartz - SiO₂ - Hexagonal
- 00-002-0471 (D) - Quartz - SiO₂ - Hexagonal
- 00-041-1486 (*) - Anorthite, ordered - CaAl₂Si₂O₈ - Triclinic
- 00-024-0202 (D) - Augite, aluminian - Ca(Mg,Al,Fe)Si₂O₆ - Monoclinic
- 00-024-0027 (D) - Calcite - CaCO₃ - Hexagonal (Rh)
- 01-083-1489 (C) - Andalusite - Al_{1.920}Mn_{0.023}Fe_{0.057}(O(SiO₄)) - Orthorhombic
- 00-007-0202 (*) - Potassium Tin Chloride - K₂SnCl₆ - Cubic
- 00-043-0659 (C) - Aluminum Gadolinium Scandium Oxide - Gd₃Sc₂Al₃O₁₂ - Cubic
- 01-083-1381 (C) - Chlorite, chromian - Mg_{5.0}Al_{0.75}Cr_{0.25}Al_{1.00}Si_{3.00}O₁₀(OH)₈ - Triclinic
- 01-086-0439 (C) - Orthoclase - from Benson Mines, near Star Lake, New York, USA - K(AlSi₃O₈) -

รูปที่ 6.6 แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างหินแอนดิวซิติกลาพิลล์ที่ฟิ จากจุดศึกษาที่ 2 พิกัด 0665686 1802884

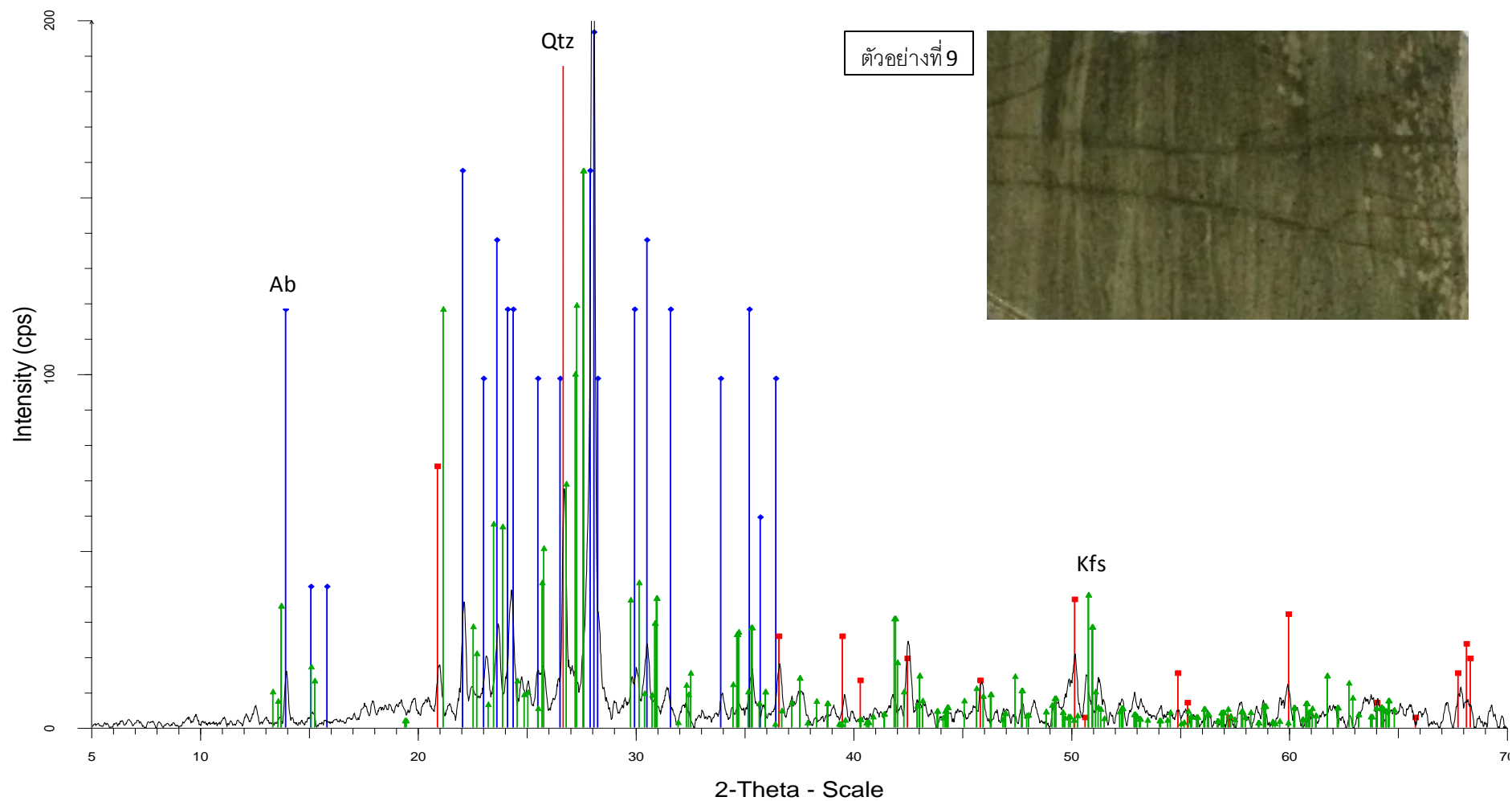


- File: S7.raw - Type: 2Th/Th locked
- 00-005-0490 (D) - Quartz, low - α -SiO₂ - Hexagonal
- 01-080-1110 (C) - Biotite - $KFeMg_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ - Monoclinic
- 01-082-1227 (C) - Augite, syn - $(Ca_{0.774}Na_{0.226})(Mg_{0.901}Fe_{0.099})Fe_{0.011}(Si_2O_6)$ -
- 01-084-1221 (C) - Cordierite - $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$ - Hexagonal
- 01-083-1610 (C) - Albite high - $Na(AlSi_3O_8)$ - Triclinic
- 01-083-1381 (C) - Chlorite, chromian - $Mg_5.0Al_{0.75}Cr_{0.25}Al_{1.00}Si_{3.00}O_{10}(OH)_8$ - Tri
- 01-072-2375 (C) - Epidote - $Ca_2Al_2FeSi_3O_{12}(OH)$ - Monoclinic

รูปที่ 6.7 แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างการแปรเปลี่ยนของหินแอนคิซิกคลาฟิลีไฟฟ้ จากจุดศึกษาที่ 1 พิกัด 0665686 1802884

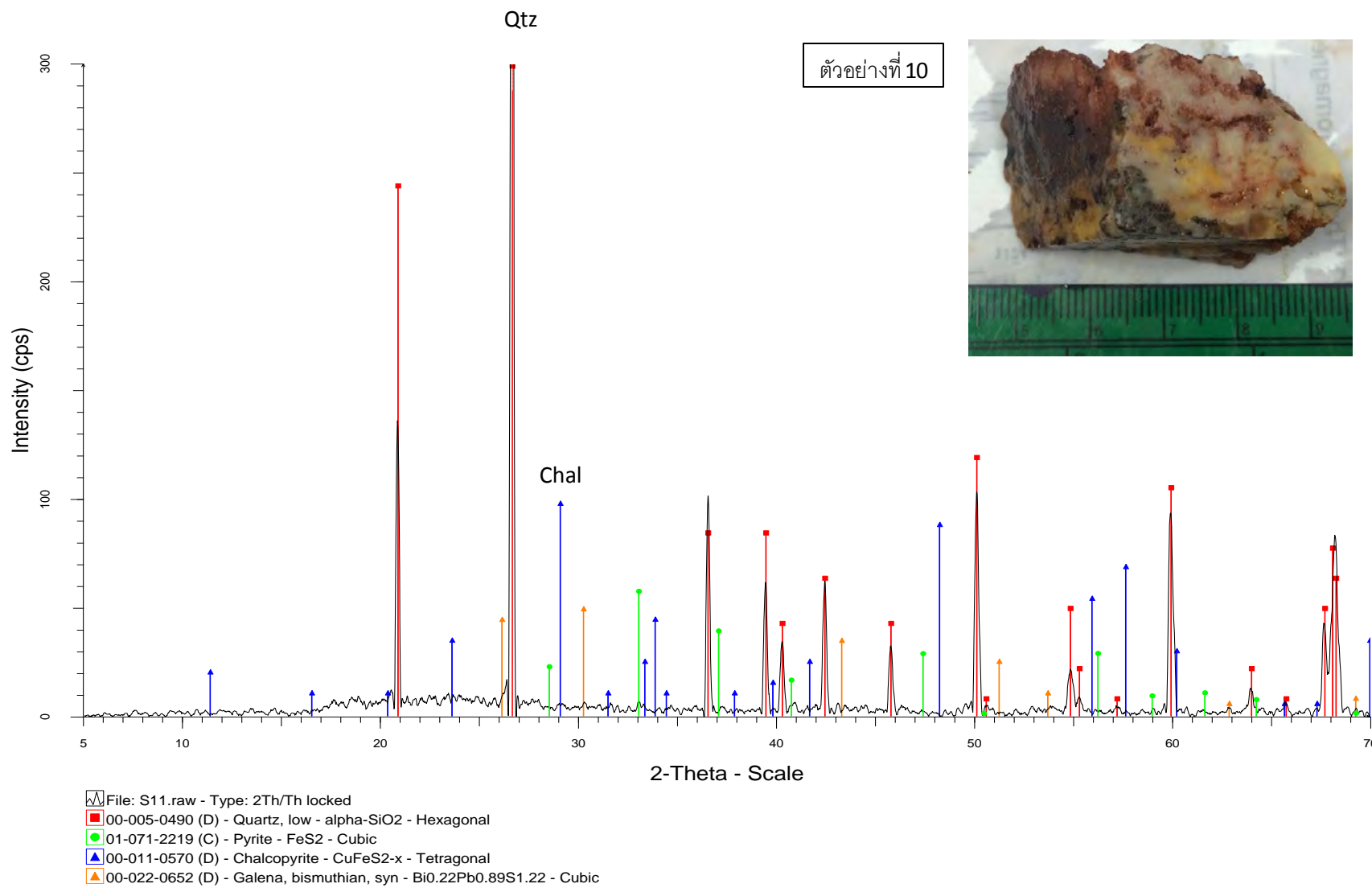


รูปที่ 6.8 แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างหินไรโอไลติกลาพิลส์ที่ฟฟ จากจุดศึกษาที่ 2 พิกัด 0665686 1802884



File: S10.raw - Type: 2Th/Th locked
 00-009-0457 (D) - Albite, calcian, ordered - $(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$ - Triclinic
 00-005-0490 (D) - Quartz, low - $\alpha\text{-SiO}_2$ - Hexagonal
 01-084-0710 (C) - Feldspar potassian - $\text{K}_5\text{Na}_5\text{AlSi}_3\text{O}_8$ - Triclinic

รูปที่ 6.9 แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างของผนังหินแอนดิไซต์ จากจุดศึกษาที่ 1 พิกัด 0665686 1802884



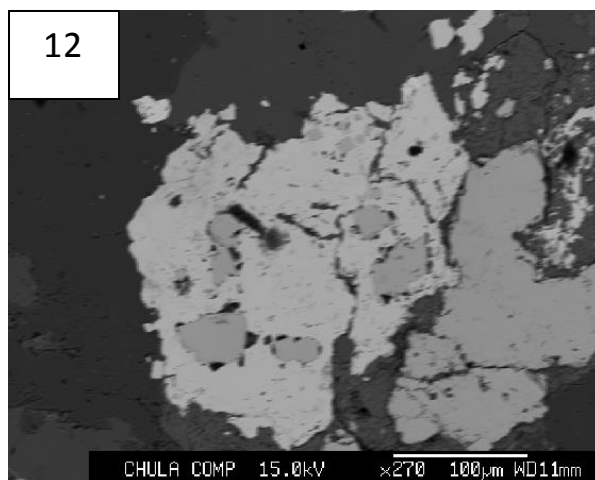
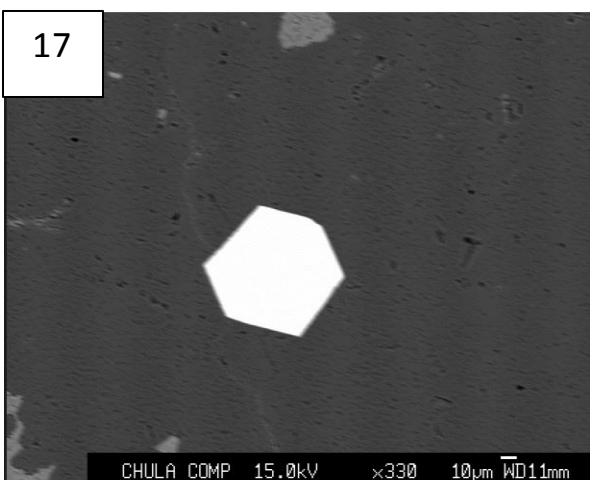
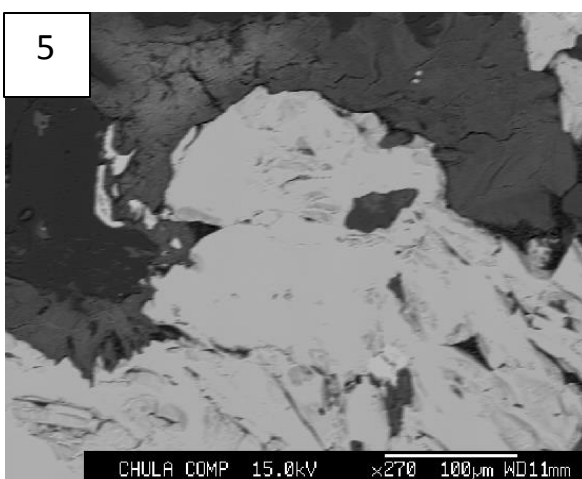
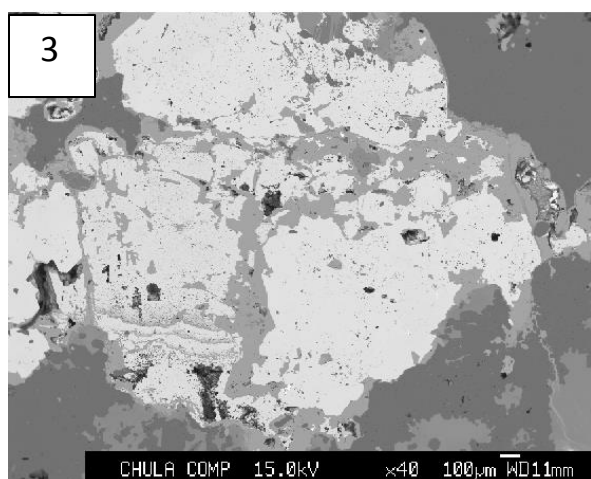
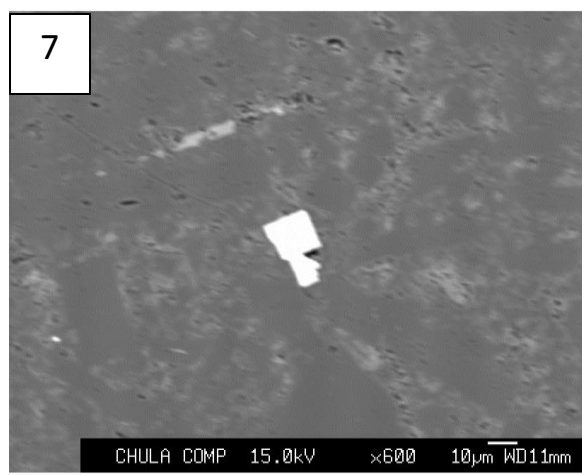
รูปที่ 6.10 แผนภูมิแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างสายแร่ควอตซ์ที่มากที่สุด ซึ่งทำให้แร่ทองคำ จากจุดศึกษาที่ 6 พิกัด 0666007 1802732

การวิเคราะห์แผ่นหินขัดเงา (Polished mounts)

วิเคราะห์แผ่นหินขัดเงาด้วยเครื่อง Electron Probe Micro-analyzer (EPMA) เพื่อหาชนิดของแร่ซัลไฟด์ที่เกิดร่วมกับแร่ทองคำ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแร่พิไรไรต์ แร่ไพไรต์ และกาลโคไพไรต์ ตามลำดับ เป็นแร่ซัลไฟด์น้อยชนิดที่พบในแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพา

Mass percent	Sample : Ton11416											
No.	Cd	As	Pb	Ag	Zn	S	Au	Fe	Hg	Cu	Total	Comment
1	0	0.004	0	0.036	0.039	49.733	0	42.73	0.05	0	92.592	Pyrite
2	0	0	0	0	0.013	52.4	0	43.446	0	0	95.859	Pyrite
3	0	0	0	0.116	0.005	32.092	0	34.528	0	32.533	99.274	Chalcopyrite
4	0	0	0	0.09	0	32.49	0.066	34.143	0.005	32.486	99.28	Chalcopyrite
5	0	0	0	0.051	0	32.775	0.066	34.054	0	32.609	99.555	Chalcopyrite
6	0	0	0	0	0.008	45.552	0	53.37	0.012	0.012	98.954	Pyrite
7	0	0.038	0	0	0	45.294	0	49.132	0	0.012	94.476	Pyrite
8	0	0	0	0	0.007	44.475	0.067	49.813	0	0	94.362	Pyrite
9	0	0	0	0.008	0.031	31.328	0	34.337	0	32.127	97.831	Chalcopyrite
10	0	0.063	0	0.09	0	32.58	0	35.016	0	32.388	100.137	Chalcopyrite
11	0	0	0	0.066	0.025	32.22	0	34.35	0	32.32	98.981	Chalcopyrite
12	0	0.046	0	0	0.018	30.017	0.127	63.178	0	0	93.386	Pyrrhotite
13	0	0.032	0.006	0.035	0	30.013	0.734	61.893	0	0	92.713	Pyrrhotite
14	0	0	0	0.116	0.005	32.092	0	34.528	0	32.533	99.274	Chalcopyrite
15	0	0	0	0.09	0	32.49	0.066	34.143	0.005	32.486	99.28	Chalcopyrite
16	0	0	0	0.051	0	32.775	0.066	34.054	0	32.609	99.555	Chalcopyrite
17	0	0	0	0.018	0.01	48.872	0	49.911	0	0.02	98.831	Pyrite
18	0	0	0	0	0.012	48.493	0	48.822	0	0.026	97.353	pyrite

ตารางที่ 7.1 ปริมาณ Mass composition ของธาตุแต่ละตัวที่ได้จากการวิเคราะห์ของแผ่นหินขัดเงา ด้วยเครื่อง EPMA



รูปที่ 7.1 แสดงภาพ Backscattered จากตัวอย่างแผ่นหินขัดเงาจากตาราง 7.1

