

การชะละลายโลหะหนักจากหินและตะกอนดินของเหมืองแร่ทองคำเขาพนมพา
อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร

นางสาวชนิภา พันธุ์อำพล

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558

LEACHING OF HEAVY METAL FROM ROCK AND SEDIMENTS FROM KHAO
PHANOM PHA GOLD MINE, AMPHOE WANG SAI PHUN,
CHANGWAT PHICHIT

CHNIPAJ PANAS-AMPOL

A REPORT IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF THE BACHELOR OF SCIENCE
DEPARTMENT OF GEOLOGY, FACULTY OF SCIENCE
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2015

วันที่ส่ง/...../.....

วันที่อนุมัติ/...../.....

(อาจารย์ ดร. อภิสิตธิ์ ซาลำ)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย

การชะละลายโลหะหนักจากหินและตะกอนดินของเหมืองแร่ทองคำเขาพนมพา

อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร

ชนิกช พันธ์อำพล

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อีเมล: chnipajmo2136@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาการชะละลายโลหะหนักจากหินและตะกอนดินของเหมืองแร่ทองคำเขาพนมพา จังหวัดพิจิตร ประกอบด้วยตัวอย่าง 5 ประเภท คือ สายแร่ควอตซ์ หินผนังสายแร่ หินท้องที่ ตะกอนดินบนเขาพนมพา และตะกอนดินบริเวณที่ราบด้านตะวันออก โดยในการศึกษาใช้การวิเคราะห์ของแร่ซัลไฟด์จากตัวอย่างหิน ได้แก่ สายแร่ควอตซ์ หินผนังสายแร่ และ หินท้องที่ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง (Reflected light microscope) สามารถจำแนกชนิดและปริมาณของแร่ซัลไฟด์ ได้แก่ ไพไรต์ (FeS_2) พิไรโรไทต์ (Fe_{1-x}S) และ คาลโคไพไรต์ (CuFeS_2) โดยมีปริมาณมากที่สุดในสายแร่ควอตซ์ รองลงมาคือ หินผนังสายแร่ และน้อยที่สุดในหินท้องที่ ซึ่งแร่ซัลไฟด์ที่พบได้นำไปวิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบด้วยเครื่อง Electron Probe Micro Analysis (EPMA) สามารถยืนยันชนิดของแร่ซัลไฟด์และพบว่ามีธาตุร่องรอยคือ ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) สารหนู (As) เงิน (Ag) แคดเมียม (Hg) ทอง (Au)ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) ส่วนการทดสอบการชะละลายด้วยวิธี Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) ที่พีเอช 4 (เพื่อจำลองสถานการณ์เลวร้ายที่สุด) โดยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอท (Hg) ในตัวอย่างหินทุกชนิดมีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม และมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ในส่วนของ ทองแดง (Cu) พบว่ามีเฉพาะหินผนังสายแร่มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ดังนั้นโลหะหนักที่ควรเฝ้าระวังมากที่สุด คือ ปรอท และสามารถจัดลำดับความสำคัญของการจัดเก็บดูแลได้ดังนี้ สายแร่ควอตซ์ หินผนังสายแร่ หินท้องที่ และตะกอนดิน ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณแร่ซัลไฟด์ที่พบในเหมืองแร่ทองคำเขาพนมพาถือว่าน้อย เมื่อเทียบกับแหล่งแร่อื่นๆ อีกทั้งปริมาณสายแร่ควอตซ์ หินผนังสายแร่ ถือว่ามีน้อยมากเมื่อเทียบกับหินท้องที่ โดยโครงการวิจัยนี้สามารถนำไปสู่การวางแผนจัดเก็บหินทิ้งและตะกอนดินจากการทำเหมืองเพื่อป้องกันผลกระทบจากโลหะหนักต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

คำสำคัญ: แร่ซัลไฟด์, ชะละลาย, โลหะหนัก

**LEACHING OF HEAVY METAL FROM ROCK AND SEDIMENTS FROM KHAO
PHANOM PHA GOLD MINE, AMPHOE WANG SAI PHUN, CHANGWAT PHICHIT**

Chnipaj Panas-ampol

Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

E-mail: chnipajmo2136@gmail.com

ABSTRACT

The study on the leaching of heavy metals from rock and sediments, consist of quartz veins, altered wall rocks, volcanic rocks, soil and lateritic soil. The mineralogical study of the sulfide minerals using microscope and Electron Probe Micro- Analyzer (EPMA) indicates that the sulfide minerals contain high quartz veins, medium altered wall rocks and low volcanic rocks. The sulfide minerals have pyrite, pyrrhotite and chalcopyrite, and heavy metals appear to be Cu Zn As Ag Cd Au Hg and Pb. According to Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) method at pH 4 to simulate the worst case scenario using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS), the results indicated that Hg were leached out exceeding the Industrial Effluent Standards and the Surface Water Quality Standards in all rock type. Cu can leach out exceeding the Surface Water Quality Standards in altered wall rocks. However sulfide minerals be found in Khao Phanom Pha Gold Mine are less than other gold mines. And the quantity of quartz veins and altered wall rocks in this gold mine is a little less than volcanic rocks. These result lead to management and monitoring plan for reducing the environmental problem causing in future.

Key words: sulfide minerals, leaching, heavy metals

กิตติกรรมประกาศ

รายงานโครงการวิจัยเรื่อง การชะละลายโลหะหนักจากหินและตะกอนดินของเหมืองแร่ทองคำ เขาพนมพา อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร เป็นส่วนหนึ่งของวิชาโครงการวิจัย (Senior project) ซึ่งเป็นรายวิชาที่นิสิตชั้นปีที่ 4 จะได้เรียนรู้เพิ่มเติมประสบการณ์การศึกษาระดับปริญญาตรี

ตลอดการดำเนินงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุน คำแนะนำ และความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จึงทำให้สามารถทำการวิจัยจนเสร็จสิ้นได้ โดยมี อาจารย์ ดร.อภิสิทธิ์ ซาลำ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา ตลอดจนช่วยเหลือตั้งแต่ก่อนเริ่มงานวิจัย ในภาคสนาม ในการศึกษาในห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์ข้อมูล จนถึงขั้นตอนการนำเสนอข้อมูลเป็นรายงานเล่มนี้ ขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ ตลอดจนให้คำแนะนำ และคำปรึกษา ขอขอบพระคุณชาวบ้านเหมืองแร่ทองคำ เขาพนมพาที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษา ขอขอบพระคุณพี่ชุติมา คล่องสำราญ ที่ได้คำแนะนำในส่วนการชะละลายโลหะหนักด้วยดีมาตลอดและขอขอบพระคุณพี่ๆบุคลากรทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือตลอดการศึกษาในห้องปฏิบัติการ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ รวมถึงน้องๆทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
หัวข้อภาษาไทย	ก
หัวข้อภาษาอังกฤษ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ข้อความเบื้องต้น	1
1.2 นิยามปัญหา	2
1.3 วัตถุประสงค์	2
1.4 สมมติฐาน	2
1.5 ขอบเขตการศึกษา	2
1.6 พื้นที่ศึกษา	3
1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.8 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 2 ธรณีวิทยา	7
2.1 ธรณีวิทยาทั่วไป	7
2.2 ธรณีวิทยาพื้นที่เขาพนมพา	12
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	13
3.1 การสำรวจภาคสนามและเก็บตัวอย่าง	14
3.2 วิธีการศึกษาสีลาพรรณนาของแร้ซัลไฟด์	19
3.3 วิธีการศึกษาการชะละลายโลหะหนัก	20
บทที่ 4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูล	23
4.1 การวิเคราะห์สีลาพรรณนาของแร้ซัลไฟด์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแร่ซัลไฟด์	27
4.3 การวิเคราะห์การชะละลายโลหะหนัก	37
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล	44
5.1 อภิปรายผลการศึกษา	44
5.2 สรุป	46
5.3 ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลการเก็บตัวอย่างและชนิดของการวิเคราะห์	16
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดจากการวิเคราะห์ข้อมูลจาก EPMA	28
ตารางที่ 4.2 Composition percent ของ KP-1	29
ตารางที่ 4.3 Mole fraction ของ KP-1	29
ตารางที่ 4.4 Composition percent ของ KP-3	30
ตารางที่ 4.5 Mole fraction ของ KP-3	30
ตารางที่ 4.6 Composition percent ของ KP-5	31
ตารางที่ 4.7 Mole fraction ของ KP-5	31
ตารางที่ 4.8 Composition percent ของ KP-6	32
ตารางที่ 4.9 Mole fraction ของ KP-6	32
ตารางที่ 4.10 Composition percent ของ KP-9	33
ตารางที่ 4.11 Mole fraction ของ KP-9	33
ตารางที่ 4.12 Composition percent ของ KP-11	34
ตารางที่ 4.13 Mole fraction ของ KP-11	34
ตารางที่ 4.14 Composition percent ของ KP-12	35
ตารางที่ 4.15 Mole fraction ของ KP-12	35
ตารางที่ 4.16 Composition percent ของ KP-14	36
ตารางที่ 4.17 Mole fraction ของ KP-14	36
ตารางที่ 4.18 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักที่ชะละลายจากหินและตะกอนดิน ด้วยวิธี SPLP ที่ pH 4	38

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนที่ภูมิประเทศ ระวัง 5141IV ลำดับชุด L7018 “อำเภอวังทรายพูน” มาตราส่วน 1:50000 (กรมแผนที่ทหาร, 2540)	3
รูปที่ 1.2 ภาพถ่ายจากดาวเทียม เขาพนมพา ตำบลหนองพระ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร (จาก Google Earth, เก็บภาพวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2557)	3
รูปที่ 1.3 สภาพการทำเหมืองในปัจจุบัน พ.ศ. 2558	4
รูปที่ 2.1 รูปแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดพิจิตร และคำอธิบายแผนที่ (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)	10-11
รูปที่ 2.2 การแปรเปลี่ยนสภาพของหินผนังเนื่องจากการตัดเข้ามาของสายแร่ควอตซ์	12
รูปที่ 3.1 แผนผังระเบียบวิธีวิจัย	14
รูปที่ 3.2 ตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่าง บริเวณเหมืองแร่ทองคำเขาพนมพา (ภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth, เก็บภาพวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2557)	15
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะตัวอย่างหิน KP-1 ถึง KP-14	17
รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะตะกอนดิน KP-15 ถึง KP-23	18
รูปที่ 3.5 แสดงการเก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณที่ราบด้านตะวันออก โดยใช้ Soil auger	18
รูปที่ 3.6 การเตรียมตัวอย่างแผ่นหินขัดมัน	19
รูปที่ 3.7 เครื่องขัดตัวอย่างชิ้นงาน 6 และ 3 ไมครอน จากซ้ายไปขวา	19
รูปที่ 3.8 เครื่องมือ Electron Probe Micro Analyzer (EPMA) ยี่ห้อ JEOL model JXA 8100	20
รูปที่ 3.9 รูปซ้าย เครื่องย่อยตัวอย่าง Jaw Crusher ยี่ห้อ Fritsch GmbH รูปขวา เครื่องบดตัวอย่าง Vibratory Disc Mill ยี่ห้อ Retsch	20
รูปที่ 3.10 ผงตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมตัวอย่าง	21
รูปที่ 3.11 เครื่องเขย่าทดสอบการชะละลาย	21
รูปที่ 3.12 เครื่อง ICP-MS ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 7500 series	22
รูปที่ 4.1 แผนภูมิเปรียบเทียบประเมนเปอร์เซ็นต์ของแร่ด้วยสายตา (Tarduno et al 2002, after Terry and Chilingar, 1955)	23
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างหินและภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง ของ KP-1	24

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างหินและภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง ของ KP-3	24
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างหินและภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง ของ KP-5	24
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างหินและภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง ของ KP-6	25
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างหินและภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง ของ KP-9	25
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างหินและภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง ของ KP-11	25
รูปที่ 4.8 ตัวอย่างหินและภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง ของ KP-12	26
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างหินและภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง ของ KP-14	26
รูปที่ 4.10 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก โครเมียม (Cr)	39
รูปที่ 4.11 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก แมงกานีส (Mn)	39
รูปที่ 4.12 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก นิกเกิล (Ni)	40
รูปที่ 4.13 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก ทองแดง (Cu)	40
รูปที่ 4.14 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก สังกะสี (Zn)	41
รูปที่ 4.15 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก สารหนู (As)	41
รูปที่ 4.16 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก แคดเมียม (Cd)	42
รูปที่ 4.17 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักปรอท (Hg)	42
รูปที่ 4.18 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก ตะกั่ว (Pb)	43

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

1.1 ข้อความเบื้องต้น

ในธรรมชาติทองคำมักเกิดร่วมกับแร่อื่น ๆ รวมทั้งที่เป็นแร่ซัลไฟด์ โดยแร่เหล่านี้มักมีองค์ประกอบของธาตุต่างๆที่เป็นโลหะหนัก เช่น ทองแดง เหล็ก เงิน สังกะสี พรอท สารหนู ตะกั่ว แมงกานีส และ แคดเมียม เป็นต้น เมื่อชั้นดินและหินถูกการรบกวน เช่น จากการทำเหมืองที่ขาดการจัดเก็บหินทิ้งและตะกอนดินอย่างถูกต้องและเป็นระบบ ทำให้แร่ซัลไฟด์ที่อยู่ในหินทิ้งและตะกอนดินมีโอกาสเกิดปฏิกิริยากับน้ำฝนที่มีสภาพเป็นกรดอ่อนๆ อันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้เป็นกรดคาร์บอนิก และเมื่อน้ำฝนที่ตกลงมารวมตัวกับการสลายตัวของแร่ซัลไฟด์ได้เป็นกรดซัลฟูริก ซึ่งมีศักยภาพทำให้มีค่าความเป็นกรดสูงขึ้นและชะเอาโลหะหนักต่างๆที่เป็นองค์ประกอบละลายออกมาซึ่งหากไม่มีการควบคุมดูแลให้เป็นไปอย่างถูกต้องจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียงได้

เหมืองแร่ทองคำเขาพนมพา ตั้งอยู่ในตำบลหนองพระ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร เป็นแหล่งทองคำที่มีลักษณะการเกิดแบบสการ์น โดยสายแร่ควอตซ์แทรกดันขึ้นมาภายในหินทิ้งที่ซึ่งเป็นหินภูเขาไฟ(Felsic andesitic volcanoclastics) (Khin Zaw et al., 2013) มีการเปิดทำเหมืองโดยชาวบ้านตั้งแต่ พ.ศ. 2542 (กรมทรัพยากรธรณี, 2544) อยู่ห่างจากเหมืองแร่ทองคำชาติรี ไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือประมาณ 10 กิโลเมตร โดยในระยะแรกชาวบ้านจะขุดหาทองเฉพาะชั้นดินระดับตื้น ต่อมาปริมาณทองคำที่พบในชั้นดินน้อยลง จึงมีการทำเหมืองในชั้นหินแข็ง ในระดับลึกลงไปใต้ดินโดยการเผา ระเบิดเจาะเข้าไปเป็นอุโมงค์ เพื่อแยกเอาทองคำออกมา ในปัจจุบันเหมืองแร่ทองคำเขาพนมพายังไม่มีการจัดเก็บหินทิ้งและตะกอนดินอย่างเป็นระบบ (รูปที่ 1.3)

ซึ่งจากการศึกษาของ Changul et al. (2010) โดยทำการทดสอบการชะละลายหินทิ้ง จากการทำเหมืองของเหมืองทองคำชาติรี จังหวัดพิจิตร ด้วยวิธี SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) โดยใช้สารสกัดที่มีพีเอชต่างกัน 3 ค่าคือพีเอชเท่ากับ 2, 4 และ 6.5 (น้ำปราศจากไอออน) ผลที่ได้คือที่พีเอชต่ำจะชะละลายโลหะออกมาได้มากกว่าที่พีเอชสูง เนื่องจากความสามารถในการละลายของโลหะหนัก (Solubility constant) มีค่าสูงขึ้น ทำให้โลหะหนักที่มีอยู่ในหินทิ้งชะละลายออกมาได้มากขึ้น เมื่อพีเอชมีค่าลดลง (Jang et al., 2002; Van der Sloot and Van Zomeren, 2012) และ รสสุคนธ์ วรณพุกษ์ (2553) ได้ทำการประเมินแนวโน้มในการทำให้น้ำในเหมืองที่ไหลผ่านหินทิ้งมีภาวะเป็นกรด โดยศึกษาบริเวณตอนเหนือของเหมืองทองคำชาติรี ใช้วิธี NAG Test (Net Acid Generation) พบว่ามีค่า NAG pH ต่ำ โดยค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.5 ถึง 5 ซึ่งมีโอกาสที่จะทำให้น้ำในเหมืองเป็นกรดได้ในอนาคต ร่วมกับการวิเคราะห์ผลทางเคมีของแร่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็น pyrite (FeS_2) โดยงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการชะละลายโลหะหนักจากหินและตะกอนดิน ร่วมกับการวิเคราะห์ผลทางเคมีของแร่ซัลไฟด์จาก

เหมืองแร่ทองคำเขาพนมพา เพื่อดูว่าข้อมูลที่ได้มีความสอดคล้องเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ เพื่อช่วยในการประเมินและบ่งชี้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการทำเหมือง แล้วนำผลจากการศึกษาไปช่วยในการจัดเก็บหินทิ้งและตะกอนดินจากการทำเหมืองเพื่อป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในอนาคตต่อไป

1.2 นิยามปัญหา

โลหะหนักที่ถูกชะละลายออกมาจากหินและตะกอนดินต่างชนิดกัน ภายใต้สภาวะความเป็นกรดค่าเดียวกัน จะส่งผลกระทบต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมและน้ำใต้ดินในพื้นที่บริเวณเหมือง พื้นที่โดยรอบแตกต่างกัน เนื่องจากโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบและปริมาณแร่ซัลไฟด์ไม่เท่ากัน

1.3 วัตถุประสงค์

- 1.3.1 วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายออกมาจากหินและตะกอนดินที่ต่างกัน
- 1.3.2 ระบุชนิดและองค์ประกอบทางเคมีของแร่ซัลไฟด์จากหิน

1.4 สมมติฐาน

หินและตะกอนดินต่างชนิดกันมีแร่ซัลไฟด์ที่ก่อให้เกิดน้ำเหมืองเป็นกรดและปริมาณโลหะหนักแตกต่างกัน ทำให้อัตราเสี่ยงที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไม่เท่ากัน

1.5 ขอบเขตการศึกษา

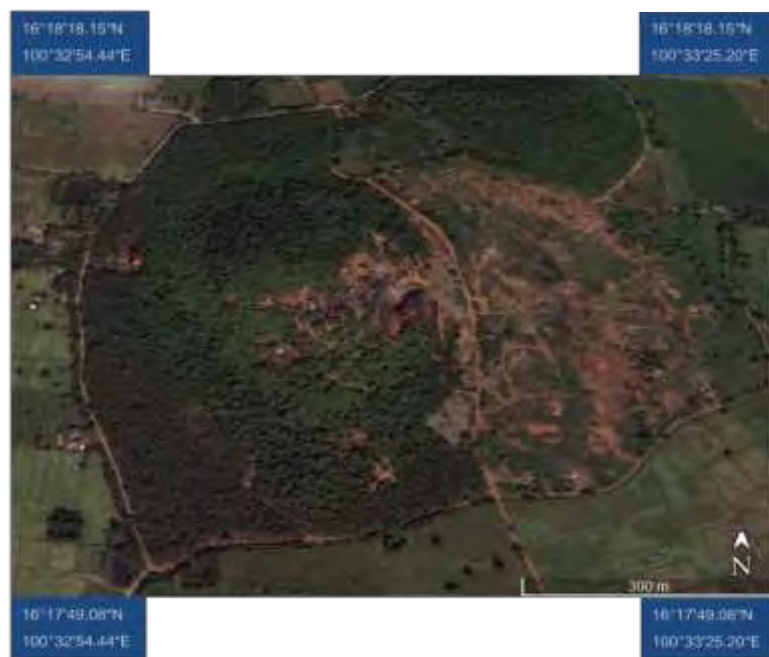
วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายออกมาจากหินและตะกอนดิน จากพื้นที่เขาพนมพา อำเภอลำปาง จังหวัดลำปาง จำนวน 23 ตัวอย่าง แบ่งเป็นตัวอย่างหิน 14 ตัวอย่าง ได้แก่ สายแร่ควอตซ์ที่ให้ทองคำ 6 ตัวอย่าง หินผุที่มีการแปรเปลี่ยน 6 ตัวอย่าง หินทองที่มีการแปรเปลี่ยนน้อยหรือไม่มี 2 ตัวอย่าง และตัวอย่างตะกอนดิน 9 ตัวอย่าง ได้แก่ ตะกอนดินบนเขาพนมพา 2 ตัวอย่าง และตะกอนดินบริเวณที่ราบด้านตะวันออก 7 ตัวอย่าง โดยวิธี Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP): SW-846 EPA Method 1312 (U.S. EPA, 1994) และวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 7500 series และนำผลไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม และมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ร่วมกับการวิเคราะห์ผลทางเคมีของแร่ซัลไฟด์จากหิน โดยเครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ กล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสงและ Electron Probe Micro-Analysis (EPMA) ยี่ห้อ JEOL model รุ่น JXA-8100

1.6 พื้นที่ศึกษา

บริเวณเขาพนมพาและที่ลาดเชิงเขาทางด้านตะวันออก ตั้งอยู่ในเขตตำบลหนองพระ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร ในแผนที่ภูมิประเทศ ระวัง 5141IV “อำเภอวังทรายพูน” มาตรฐาน 1:50000 พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในตำแหน่งลองจิจูด $100^{\circ}32'52.30''\text{E}$ ถึง $100^{\circ}33'23.52''\text{E}$ และละติจูด $16^{\circ}17'50.90''\text{N}$ ถึง $16^{\circ}18'20.98''\text{N}$ มีลักษณะเป็นเขาลูกโดด ดังรูปที่ 1.1 และ 1.2



รูปที่ 1.1 แผนที่ภูมิประเทศ ระวัง 5141IV ลำดับชุด L7018 “อำเภอวังทรายพูน” มาตรฐาน 1:50000 (กรมแผนที่ทหาร, 2540)



รูปที่ 1.2 ภาพถ่ายจากดาวเทียม เขาพนมพา ตำบลหนองพระ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร (จาก Google Earth, เก็บภาพวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2557)



รูปที่ 1.3 สภาพการทำเหมืองในปัจจุบัน พ.ศ. 2558

1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ทราบปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายออกมาจากหินและตะกอนดินที่ต่างกัน

1.7.2 ทราบชนิดและองค์ประกอบทางเคมีของแร่ซัลไฟด์จากหิน

1.8 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำเหมืองเป็นกรดเกิดขึ้นจากแร่ซัลไฟด์ในชั้นดินและหินเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยแร่ซัลไฟด์มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น pyrite (FeS_2), pyrrhotite (Fe_{1-x}S), enargite (Cu_3AsS_4), marcasite (FeS_2), arsenopyrite (FeAsS), tennantite ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$) และ orpiment (As_2S_3) เป็นต้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดน้ำเหมืองเป็นกรด เมื่อแร่ซัลไฟด์ซึ่งถูกฝังในพื้นดินที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ ถูกขุดขึ้นมากองบนพื้นผิวดินจากการประกอบกิจกรรมต่างๆ เช่น การทำเหมืองแร่ถ่านหิน แร่ทองแดง แร่ทองคำ แร่เงิน แร่สังกะสี แร่ตะกั่ว และแร่ยูเรเนียม การก่อสร้างทางหลวง กิจกรรมอื่น ๆ ที่ต้องมีการขุดดินปริมาณมากขึ้นมา ทำให้แร่ซัลไฟด์มีโอกาสสัมผัสกับบรรยากาศบนผิวดินซึ่งมีปริมาณออกซิเจนสูง ยิ่งไปกว่านั้นการกองแร่ดังกล่าวบนผิวดินยังทำให้ต้องเผชิญกับน้ำฝนและน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดิน ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้ผลิตผลเป็นกรดซัลฟูริก ทำให้น้ำที่ไหลผ่านบริเวณกองแร่ดังกล่าวมีค่าความเป็นกรดสูงและยังสามารถชะล้างเอาโลหะหนักต่างๆรวมถึงซัลเฟต ซึ่งเป็นองค์ประกอบในกองดินและหินละลายออกมาด้วย ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมได้ เช่น การปนเปื้อนในน้ำดื่ม การดำรงชีวิตของพืช

และสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำ และการสึกกร่อนของสิ่งก่อสร้างต่างๆ ได้แก่ สะพาน ภูเขา และอาคารบ้านเรือน เป็นต้น (Todd and Reddick, 1997)

โลหะบางชนิด เช่น สังกะสี (Zn) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) และเหล็ก (Fe) เป็นโลหะที่มีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตต้องการโลหะเหล่านี้ในความเข้มข้นระดับหนึ่ง แต่หากมีความเข้มข้นมากเกินไปจะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต แต่โลหะบางชนิด เช่น แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) หรือปรอท (Hg) นอกจากจะไม่มีควมจำเป็นในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตแล้วยังมีความเป็นพิษสูง (Clark, 1992) จากการที่โลหะหนักเป็นองค์ประกอบของหินเปลือกโลก ดังนั้นจึงพบโลหะหนักอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม รูปแบบของโลหะที่ถูกตรึงอยู่ในโครงผลึกแร่ (Lattice-held metals) จะแสดงความเป็นพิษได้น้อยมาก การกัดเซาะพังทลายให้เป็นอนุภาคขนาดเล็กที่มีโครงสร้างและพื้นที่ผิวมาก ทำให้เกิดการสะสมโลหะหนักในรูปแบบ non-lattice-held metals เพิ่มมากขึ้น ซึ่งโลหะหนักส่วนนี้จะถูกปลดปล่อยออกสู่ธรรมชาติได้ง่าย เนื่องจากความแข็งแรงของพันธะทางเคมีที่ยึดไว้มีน้อยกว่าพันธะที่ยึดเหนี่ยวโลหะไว้กับโครงผลึกแร่ ดังนั้นเมื่อสภาวะ physicochemical condition เปลี่ยนแปลงไป โลหะส่วนนี้จึงถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตสามารถรับเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย จึงอาจเรียกโลหะส่วนนี้ว่า bioavailable metals โลหะส่วนนี้หลายตัวมีความเป็นพิษสูงและถ่ายทอดต่อไปยังสิ่งมีชีวิตในลำดับขั้นที่สูงต่อไป (Salomon and Forstner, 1984)

การทดสอบการชะละลาย (Leaching Test) คือ การตรวจสอบโอกาสความเป็นไปได้ของหินทิ้ง ตะกอนดิน ที่สามารถปล่อยสารเจือปนออกสู่สิ่งแวดล้อม เช่น แหล่งน้ำผิวดิน หรือน้ำใต้ดิน จากการทดสอบสารเจือปนที่ถูกทำให้หลุดออกมาจากของเสียสู่น้ำชะ แล้วนำน้ำชะมาตรวจและเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ การทดสอบการชะละลายนี้มีอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับข้อกำหนดที่พิจารณาถึงวัตถุประสงค์และรายละเอียดในการทดสอบนั้น (Mean et al., 1995) ซึ่งการทดสอบการชะละลายของหินทิ้งดำเนินการทดลองภายใต้สภาวะจำลองในห้องปฏิบัติการเพื่อให้ได้ผลเร็ว เนื่องจากในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ ความคงทนของหินทิ้งมีมาก ทำให้เวลาที่ใช้ในการทดสอบมากตามไปด้วย ดังนั้น การทดสอบการชะละลายอาจใช้วิธีการทดสอบในสภาวะจำลองรูปแบบต่างๆ ได้หลายวิธีเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการชะละลายซึ่งวิธีการทดสอบส่วนใหญ่เป็นกระบวนการแบบ Batch (มัลลิกา ปัญญาคะโป, 2551)

การชะละลายโดยวิธี Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP): SW-846 EPA Method 1312 (U.S. EPA, 1994) เป็นวิธีการที่ออกแบบมาเพื่อประเมินความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารเจือปนที่อยู่ในหินทิ้ง ตะกอนดิน ที่เกิดขึ้นเนื่องจากฝนตกชะสารเหล่านั้นออกมา น้ำสกัดที่ใช้จำลองฝนกรด จะใช้กรดซัลฟิวริกผสมกับกรดไนตริกในอัตราส่วน 60 ต่อ 40 โดยน้ำหนัก ใสลงไปในน้ำ

ปราศจากไอออนแล้วปรับพีเอชตามสถานการณ์เลวร้ายที่สุดที่คาดว่าจะเกิดการชะละลายออกมาของ
 สิ่งเจือปน กระบวนการสกัดนี้ใช้สำหรับของแข็ง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยจะต้องลดขนาดลงให้มีขนาดไม่เกิน
 9.5 มิลลิเมตร (U.S. EPA, 1994) และใช้ของแข็งต่อสารสกัดในอัตราส่วน 1 ต่อ 20 และใช้เวลาหมุน
 เหยียง 18 ชั่วโมง ของเหลวกับของแข็งที่ผสมกันแล้วจะทำการกรองผ่านแผ่นกรองใยแก้วขนาด 0.7
 ไมโครเมตร แล้วนำของเหลวที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารปนเปื้อนต่อไป

Changul et al. (2010) ได้ทำการศึกษาลักษณะทางธรณีเคมีของหินทิ้งที่เกิดขึ้นจากการทำ
 เหมือง บริเวณพื้นที่เหมืองทองคำชาติ โดยทำการทดสอบการชะละลายและศักยภาพการสร้างกรดของ
 หินทิ้งเหล่านั้น การทดสอบการชะละลายโดยวิธี Synthetic Precipitation Leaching Procedure
 (SPLP) โดยใช้สารสกัดที่มีพีเอชต่างกัน 3 ค่าคือพีเอชเท่ากับ 2, 4 และ 6.5 (น้ำปราศจากไอออน) ผลที่ได้
 คือที่พีเอชต่ำจะชะละลายโลหะออกมาได้มากกว่าที่พีเอชสูง และยังได้ทำการย่อยตัวอย่างดินด้วยวิธีตาม
 US EPA 3052 มีความเข้มข้นของโลหะที่ถูกย่อยอยู่ในช่วง (มิลลิกรัมต่อกรัม) ดังนี้ คือ Cd, Co, Cr, Cu,
 Pb, Mn, Ni และ Zn โดยมีปริมาณเท่ากับ <0.05, 1.75-20, 12-18.09, 77-121, 21.9-92.31, 1,517-
 2,900, 4.58-11 และ 78.6-230.9 ตามลำดับ การหาศักยภาพการเกิดกรดได้พีเอชดิน (Paste pH) อยู่
 ในช่วง 7.64-8.96 การคำนวณค่าปริมาณกรด-เบส (Acid-Base Accounting, ABA) ได้ศักยภาพความเป็น
 กรดสูงสุด (Maximum Potential Acidity, MPA) อยู่ในช่วง 70.9-137 กิโลกรัมกรดซัลฟริกต่อตัน
 ของตัวอย่าง การคำนวณความสามารถในการสะเทินกรด (Acid Neutralization Capacity, ANC) มีค่า
 อยู่ในช่วง 98-172 กิโลกรัมกรดซัลฟริกต่อตันของตัวอย่าง การคำนวณศักยภาพการสร้างกรดสุทธิ (Net
 Acid Production Potential, NAPP) ได้ค่าอยู่ในช่วง -87 ถึง -9.91 กิโลกรัมกรดซัลฟริกต่อตันของ
 ตัวอย่าง ส่วนการคำนวณการผลิตกรดรวม (Net Acid Generation, NAG) ได้ค่าอยู่ในช่วง 7.2-9.4 ซึ่งผล
 ที่ได้จะเห็นว่าหินทิ้งที่นำมาทดสอบมีความเป็นกลาง

รสสุคนธ์ วรณพฤษ (2553) ได้ทำการประเมินศักยภาพในการทำให้น้ำเหมืองเป็นกรดของหิน
 ทิ้ง บริเวณตอนเหนือของเหมืองทองคำอัครา โดยได้ทำการทดลองด้วยวิธี NAG Test ร่วมกับการ
 วิเคราะห์ผลทางเคมี (Mineral chemistry) ของแร่ทึบ (Opaque mineral) พบว่าหินส่วนใหญ่มีแร่
 องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น pyrite (FeS_2) จากอัตราส่วนโดยโมล $Fe:S$ เป็น 1:2 อีกทั้งผลการวิเคราะห์
 โดยวิธี NAG Test มีค่า NAG pH ต่ำ โดยค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.5 ถึง 5 ทำให้มีโอกาสที่จะทำให้น้ำเหมือง
 เป็นกรดได้ในอนาคต

บทที่ 2

ธรณีวิทยา (Geology)

2.1 ธรณีวิทยาทั่วไป

ลักษณะภูมิประเทศทั่วไปของจังหวัดพิจิตรส่วนใหญ่เป็นที่ราบ เพราะมีแม่น้ำน่าน แม่น้ำยม และแม่น้ำพิจิตร ไหลผ่านตอนกลางของจังหวัดจากด้านทิศเหนือสู่ทิศใต้ของจังหวัด แม่น้ำเหล่านี้พาตะกอนมาสะสมตัวตามลำน้ำและที่ราบน้ำท่วมถึงเป็นบริเวณกว้างขวาง ส่วนทางด้านตะวันออกของจังหวัดเป็นที่ราบลอนคลื่นและมีภูเขาสูงเล็กๆกระจายอยู่บ้างเล็กน้อย (รูปที่ 2.1) พื้นที่จังหวัดรองรับด้วยหินแข็งอายุตั้งแต่ 286 ล้านปี (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) จนถึงตะกอนปัจจุบันเป็นหินตะกอนหินอัคนีและตะกอนร่วน

2.1.1 หินตะกอน

พื้นที่จังหวัดพิจิตรเกือบทั้งหมดรองรับด้วยตะกอนร่วนยุคควอเทอร์นารี ซึ่งสามารถจำแนกย่อยได้เป็น 8 หน่วยตะกอน ส่วนหินตะกอนที่พบในพื้นที่จังหวัดพิจิตรมีเพียงกลุ่มหินเดียว คือ หินยุคเพอร์เมียนหมวดหินย่อยของกลุ่มหินสระบุรีเพียงหน่วยเดียว คือ หมวดหินเขาขาด

หมวดหินเขาขาด

ประกอบด้วย หินปูน หินโดโลไมต์ แทรกสลับด้วยหินดินดาน หินทราย หินทรายปนทัฟฟ์ และหินภูเขาไฟ หินปูนมีสีดำถึงเทาดำ มีหินเชิร์ตแทรกเป็นกระเปาะ พบซากดึกดำบรรพ์จำพวกฟิวซิลินิด ปะการัง ไครนอยด์ หอยตะเกียง และ สาหร่าย พบกระจายตัวเป็นเขาโดดทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอวังทรายพูน

ตะกอนร่วนยุคควอเทอร์นารี

ตะกอนน้ำพา (Q_a) ประกอบด้วย กรวด และทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวเกิดจากน้ำพัดพา กรวด หิน ดิน ทราย ไปสะสมตัวอย่างไม่เป็นระบบ มีอิทธิพลของความลาดชันและน้ำผิวดินปะปนบ้างจึงได้ตะกอนหลากหลายชนิดปนกัน ลักษณะเป็นภูมิประเทศที่ราบริมแม่น้ำ พื้นที่ราบนี้มักเป็นแหล่งสะสมตัวของชั้นทรายแม่น้ำ บางแห่งสามารถหาแหล่งทรายก่อสร้างและดินเหนียวสำหรับเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา โดยทั่วไปสภาพดินเป็นดินร่วนที่มีแร่ธาตุที่จำเป็นต่อพืชอุดมสมบูรณ์เหมาะต่อการเพาะปลูกมากที่สุด แต่เนื่องจากเป็นที่ราบจึงมักประสบกับน้ำท่วมขังในช่วงฤดูฝนเป็นประจำ

ตะกอนเศษหินเชิงเขาและตะกอนผุพังอยู่กับที่ (Q_c) เศษหินประกอบด้วยหินควอตซ์ไซต์ หินทราย หินทรายแป้ง หินแกรนิต ทราย ทรายแป้ง ดินลูกรัง และศิลาแลง เกิดจากการผุพังของหินเดิม ตะกอนถูกพัดพาไม่ไกลจึงมักพบตามเชิงเขาหรือขอบแอ่ง หน่วยตะกอนนี้ใช้เป็นแหล่งดินถมสำหรับการ

ก่อสร้างได้ และเป็นหลักฐานสำหรับแสดงถึงการเกิดแผ่นดินถล่มในอดีตเนื่องจากการปรับตัวสู่สมดุลของธรรมชาติ ซึ่งหลายพื้นที่ยังคงมีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มได้อีกจึงไม่เหมาะสำหรับการตั้งที่อยู่อาศัย

ตะกอนร่องน้ำเก่า (Q_{afc}) ประกอบด้วย ทราย ทรายปนกรวด สีนํ้าตาลถึงนํ้าตาลแกมเหลือง เนื้อร่วน ขนาดตะกอนทรายปานกลาง การคัดขนาดดี

ตะกอนเนินรูปพัด (Q_{fa}) ประกอบด้วย ทรายและทรายปนกรวด สีนํ้าตาลแกมเหลือง เนื้อร่วน ขนาดตะกอนทรายปานกลาง การคัดขนาดดี

ตะกอนร่องน้ำ (Q_{fc}) ประกอบด้วย ทรายร่องน้ำ สันดอนทราย และคันดินธรรมชาติ

ตะกอนที่ลุ่มน้ำขัง (Q_{fw}) ประกอบด้วย ชั้นพีตและชั้นดินเหนียวปนพีต สีดำถึงสีเทาดำ เนื้อร่วน

ตะกอนคันดินธรรมชาติ (Q_n) ประกอบด้วย ทรายแป้งและทรายแป้งปนดินเหนียว เนื้อร่วน พบชั้นทรายปนกรวดและรากพืช

ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง (Q_{ff}) ประกอบด้วย ดินเหนียวและดินเหนียวปนทรายเนื้อละเอียด ชั้นหนา เนื้อเหนียวพบเม็ดเหล็กบ้างเล็กน้อย

2.1.2 หินอัคนี

หินอัคนีแบ่งตามลักษณะการเกิดได้ 2 ชนิด คือ 1) หินอัคนีแทรกซอน ซึ่งเป็นหินอัคนีที่เกิดอยู่ในระดับลึกโดยการตกผลึกจากหินหนืด มีลักษณะเนื้อหยาบหรือค่อนข้างหยาบ (เม็ดแร่มีขนาดตั้งแต่ 1 มิลลิเมตรขึ้นไป) ที่รู้จักกันดีก็คือหินแกรนิต ซึ่งมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับการกำเนิดแร่เศรษฐกิจหลายชนิด เช่น แร่ดีบุก วุลแฟรม ฟลูออไรต์ และแบไรต์ หินแกรนิตมีความแข็งแรงสามารถนำมาใช้เป็นหินประดับได้ และ 2) หินภูเขาไฟ เป็นหินที่เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟที่พุ่งขึ้นมาเย็นตัวบนผิวโลก หินชนิดนี้จะมีเนื้อละเอียดหรือเนียนเป็นเนื้อเดียวกันหมด มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับแร่ทองคำ ทองแดง และแร่โลหะหลายชนิด ดินที่พุดังมาจากหินภูเขาไฟจะอุดมสมบูรณ์ด้วยแร่ธาตุที่จำเป็นต่อพืชจึงเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเกษตรกรรมมาก

ประเทศไทยอยู่ในเขตป่าร้อนชื้นหินอัคนีจึงถูกกระบวนการผุพังได้ง่าย ทำให้เกิดชั้นดินหนาสะสมตัวอยู่บนยอดเขา เมื่อมีฝนตกเป็นจำนวนมากดินเหล่านี้จะไหลถล่มลงมา ดังนั้น พื้นที่ที่อยู่ใกล้ภูเขาหินอัคนีจึงมีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินถล่มมาก

หินภูเขาไฟแยกประเภทไม่ได้ ยุคเพอร์เมียน - ไทรแอสซิก (PT_{RV})

ประกอบด้วย หินโรโอไลต์ หินแอนดีไซต์ หินเดไซต์ หินทัฟฟ์ และหินแอนดีไซต์เนื้อบะซอลต์ หินยุคนี้อายุประมาณ 260-220 ล้านปี พบกระจายตัวเป็นเขาลูกโดดทางด้านตะวันออกของจังหวัด ได้แก่ เขาพนมพา เขาเจ็ดลูก เขาหม้อ เขาตะพานนาครา เขานกยูง เขารวก และเขาทราย ซึ่งเป็นเขาที่มีความสูงไม่เกิน 250 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีความสัมพันธ์กับการเกิดแร่ทองคำ เช่นที่เขานมพา อำเภอวัง

ทรายพูน และเขาหม้อ-เขาโป่ง บริเวณแนวติดต่อด้านระหว่างพิจิตรกับเพชรบูรณ์ หินแอนดีไซต์เนื้อบะซอลต์ที่พบนี้มีการเปิดทำเหมืองเพื่อผลิตเป็นหินก่อสร้างด้วย

หินอัคนีแทรกซอนชนิดหินแกรนิต ยุคไทโรแอสซิก (TR_{gr})

ประกอบด้วย หินแกรนิต และหินแกรโนไดโอไรต์ มีสีขาว สีเทาอ่อน และสีเทาแกมชมพู เนื้อสม่ำเสมอ ผลึกละเอียดถึงปานกลาง ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ และไบโอไทต์ หินยุคนี้อายุประมาณ 245-210 ล้านปี พบกระจายตัวพบเป็นเนินเล็กๆ ที่มีระดับความสูงประมาณ 50 เมตรจากระดับน้ำทะเล ทางตอนกลางของจังหวัดริมฝั่งแม่น้ำ

2.1.3 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

พื้นที่จังหวัดพิจิตรส่วนใหญ่เป็นที่ราบของตะกอนร่วนไม่ค่อยมีหินแข็งจึงไม่ค่อยพบโครงสร้างธรณีวิทยา มีเพียงรอยชั้นไม่ต่อเนื่องระหว่างตะกอนร่วนยุคควอเทอร์นารีกับหินภูเขาไฟยุคเพอร์เมียน-ไทรแอสซิก



รูปที่ 2.1 รูปแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดพิจิตร และคำอธิบายแผนที่ (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

คำอธิบาย EXPLANATION

ตะกอน หินชั้น และหินแปร SEDIMENTARY AND METAMORPHIC ROCKS	ชื่อหน่วยหิน FORMATION	ยุค PERIOD	อายุ (ล้านปี) AGE (my.)
<p>Q1 ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง : หินเหนียว และโคลนที่วางตัวเป็นชั้นๆ มีขอบ กึ่งกลมหรือ กึ่งเหลี่ยม ปริมาณหินปูนเล็กน้อย Flood plain deposits : clay and sandy clay, fine-grained, block bedded, very fine, small amount of iron concretions</p> <p>Q2 ตะกอนดินเหนียวเหนียว : หินเหนียวปนทรายเหนียวปนโคลนสีเทาปนดำ มีปริมาณหินปูนเล็กน้อย Mudstone deposits : silt and silty clay, brown to blackish, with trace of gypsum and iron concretions</p> <p>Q3 ตะกอนที่ชุ่มน้ำแข็ง : หินที่เหนียวเหนียวปนโคลน สีดำถึงเทาเข้มเล็กน้อย Black Swampy deposits : post and posty clay, black to grayish black, loose to friable</p> <p>Q4 ตะกอนร่องน้ำ : ประกอบด้วย ทรายละเอียด ทรายกลาง และหินดินทราย Channel deposits : consists of channel sand, sand bar, and channel levee</p> <p>Q5 ตะกอนที่พัดทับถม (ทรายและกรวดปนทราย สีน้ำตาลปนเหลือง) เนื้อหยาบ ขาดแคลนหินปูนปนทราย หินดินปนทราย Alluvial Fan deposits : sand and gravelly sand, brownish yellow, loose, sandstone-poor, well sorted</p> <p>Q6 ตะกอนที่หยาบ : กรวด ทรายกรวดปนโคลน และโคลนเหนียว Alluvial deposits : gravel, sand, silt and clay</p> <p>Q7 ตะกอนที่ขรุขระ : ทราย ทรายกรวดปนทราย สีน้ำตาลปนเหลืองปนน้ำตาลปนเทาปนน้ำตาลปนทราย Alluvial channel deposits : sand, gravelly sand, brown to yellowish brown, loose</p> <p>Q8 ตะกอนที่ทับถมกัน และตะกอนยุคที่ทับถมกัน : เศษหิน ประการส่วนใหญ่ประกอบด้วย หินทราย หินกรวดปนทราย หินดินปนทราย และทรายปนโคลน Colluvial and residual deposits : rock fragments of quartzite, sandstone, siltstone, granite, sand and silt, laterite, soil and laterite</p>		ควaternary QUATERNARY	0.01-1.6
<p>P1 หินปูน สีดำถึงเทาเข้ม หินสีน้ำตาลปนเทาเข้ม หินสีน้ำตาลปนเทาเข้มปนทราย หินทรายปนทราย หินทรายปนทรายปนโคลน หินทรายปนทรายปนโคลนปนทราย หินทรายปนทรายปนโคลนปนทรายปนโคลน Limestone, black to dark gray, chert nodules, dolomite and intercalated with shale, sandstone, siliceous sandstone and volcanic, with fossils of brachiopods, corals, crinoids, bryozoans and algae</p>	เขตหินปูนภาคกลาง Khaos Luak Pm.	เพอร์เมียน PERMIAN	245-286
หินอัคนี IGNEOUS ROCKS		ยุค PERIOD	
<p>T1 หินแกรนิต หินแกรนิตสีชมพู หินแกรนิตสีเทา หินแกรนิตสีเทาปนทราย หินแกรนิตสีเทาปนทรายปนโคลน หินแกรนิตสีเทาปนทรายปนโคลนปนทราย หินแกรนิตสีเทาปนทรายปนโคลนปนทรายปนโคลน Khaos Rup Ching Granite : granite and granodiorite, white, light gray to pinkish gray, granular texture, fine to medium-grained, consisting mainly of quartz, feldspar, and biotite</p> <p>T2 หินภูเขาไฟแบบที่แปรสภาพไม่เต็มที่ หินภูเขาไฟที่แปรสภาพไม่เต็มที่ หินภูเขาไฟที่แปรสภาพไม่เต็มที่ หินภูเขาไฟที่แปรสภาพไม่เต็มที่ หินภูเขาไฟที่แปรสภาพไม่เต็มที่ Undifferentiated volcanic rock : dyolite, andesite, diorite, rhyolite and basaltic trachyandesite</p>		ไทรแอสซิก TRIASSIC	210-245
		ไทรแอสซิก-เพอร์เมียน TRIASSIC-PERMIAN	210-286

สัญลักษณ์ SYMBOLS	
— — — — — รอยสัมผัส Contact	- - - - - ขอบเขตจังหวัดโดยประมาณ Approximate internal administrative boundary
30° แนวระดับและมุมของชั้นหิน Strike and dip of bed	x 617 จุดความสูงเป็นเมตร Spot elevation in meters
A A' Line of section	— 500 — เส้นชั้นความสูงเป็นเมตร Contour line in meters
* แหล่งอนุรักษ์ธรณีวิทยาประเภทธรณีสันฐานอื่นๆ Geomorphology conservative site	— 177 — ถนน Road
● แหล่งอนุรักษ์ธรณีวิทยาประเภทแหล่งแร่ Geological conservative site, mineral	~ ~ ~ ~ ~ แม่น้ำและลำธาร River and stream
	[Dam Icon] เขื่อนและอ่างเก็บน้ำ Dam and Reservoir
	⊙ จังหวัด Changwat (province)
	○ อำเภอ Amphoe (distric)
	○ หมู่บ้าน Villago

รูปที่ 2.1 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดพิจิตร และคำอธิบายแผนที่ (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) (ต่อ)

2.2 ธรณีวิทยาพื้นที่เขาพนมพา

เขาพนมพาเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เรียกว่า แนวคดโค้งภูเขาไฟเลย์-เพชรบูรณ์ (Loei-Phetchabun volcanic fold belt) ยุคเพอร์โม-ไทรแอสสิก ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการตกสะสมตัวของแร่ต่างๆมากมาย โดยเฉพาะแร่เศรษฐกิจ เขาพนมพามีลักษณะเป็นแหล่งแร่ทองคำแบบปฐมภูมิ พบแร่ทองคำฝังตัวตามรอยแตกหรือช่องว่างในสายแร่ควอตซ์ และแบบทุติยภูมิเกิดจากการผุพังของสายแร่ควอตซ์ที่มีแร่ทองคำแล้วแร่ทองคำมีการสะสมตัวใหม่ตามที่ลาดเชิงเขาในชั้นดิน เป็นลักษณะของตะกอนพลัดไหลเขา

จากการศึกษาของ Khin Zaw et al. (2013) พบว่า เหมืองแร่ทองคำเขาพนมพาเป็นแหล่งแร่สการ์น (Skarn) มีหินท้องที่เป็นหินภูเขาไฟ (Felsic andesitic volcanoclastics) การแปรสภาพในช่วง Prograde skarn เกิดแร่สำคัญ คือ วอลลาสโตไนท์ (Wollastonite) ไบโอไทท์ (Biotite) ส่วนการแปรสภาพในช่วง Retrograde skarn เกิดแร่สำคัญคือ ควอตซ์ (Quartz) เทรโมไลต์ (Tremolite) เซริไซต์ (Sericite) ซึ่งในการหาอายุด้วยวิธี K-Ar ของเซริไซต์ (Sericite) ได้อายุประมาณ 252 ± 5 ล้านปี มีสินแร่สำคัญ คือ ไพไรต์ (Pyrrhotite) ไพไรต์ (Pyrite) และคาลโคไพไรต์ (Chalcopyrite) ส่วนทองคำเกิดในรูป อิเล็กตรัม (Electrum) หรือ ทองผสมเงิน



รูปที่ 2.2 การแปรเปลี่ยนสภาพของหินผนังเนื่องจากการตัดเข้ามาของสายแร่ควอตซ์

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)

1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน และวิธีการศึกษาเบื้องต้น

- 1.1 ศึกษาธรณีวิทยาทั่วไปและธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา
- 1.2 ศึกษารายงานและงานวิจัยที่เคยมีผู้ศึกษามาแล้ว
- 1.3 ศึกษาการเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์ตัวอย่าง และการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่าง

2. รวบรวมข้อมูลภาคสนาม

เก็บตัวอย่างหินและตะกอนดินที่ต่างชนิดกัน เพื่อทดสอบการชะละลายโลหะหนักและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแร่ซัลไฟด์จากตัวอย่างหิน ได้แก่

- 1) สายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง (Quartz-chlorite-sulfide \pm gold veins)
- 2) หินผนัง (Altered wall rocks)
- 3) หินท้องที่ (Volcanic rocks)
- 4) ตะกอนดินบนเขาพนมพา (Soil)
- 5) ตะกอนดินบริเวณที่ราบด้านตะวันออก (Lateritic soil)

3. วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.1 นำตัวอย่างหินที่มีแร่ซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบมาเตรียมตัวอย่างขัดมัน (Polished mount) เพื่อศึกษาสิลาวรรณนา (Petrography) ของแร่ซัลไฟด์แล้วนำไปหาธาตุองค์ประกอบของแร่ซัลไฟด์ด้วยเครื่องมือ Electron Probe Micro Analysis (EPMA)

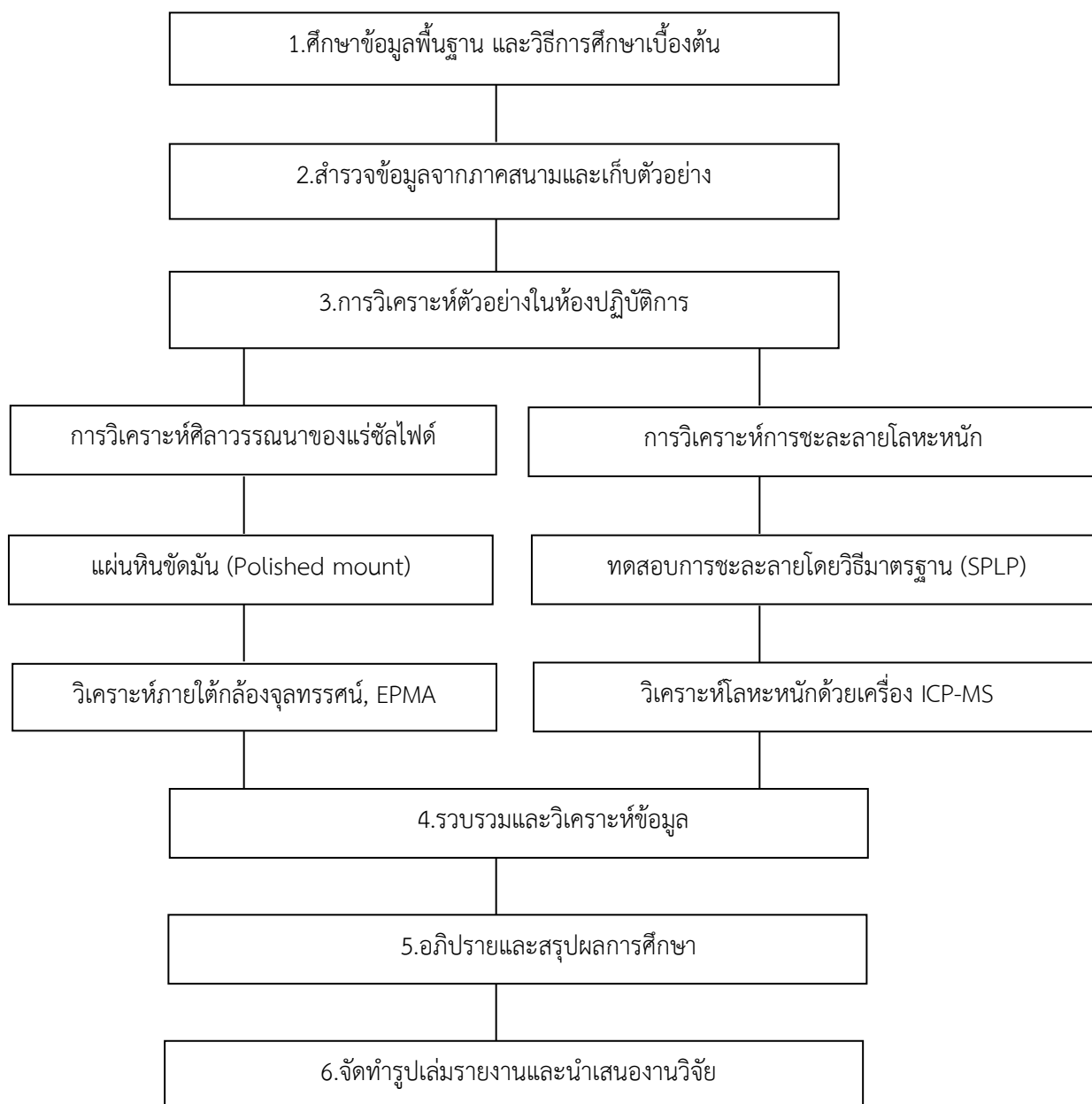
3.2 นำตัวอย่างหินและตะกอนดินไปวิเคราะห์หาโลหะหนัก ด้วยวิธีมาตรฐาน SPLP และตรวจหาโลหะหนักด้วยเครื่องมือ Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)

4. รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

- 4.1 วิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของแร่ซัลไฟด์เพื่อระบุชนิดและธาตุองค์ประกอบ (โลหะหนัก)
- 4.2 วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายออกมาจากตัวอย่างหินและตะกอนดินที่ต่างกัน

5. อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

6. จัดทำรูปเล่มรายงานและนำเสนองานวิจัย

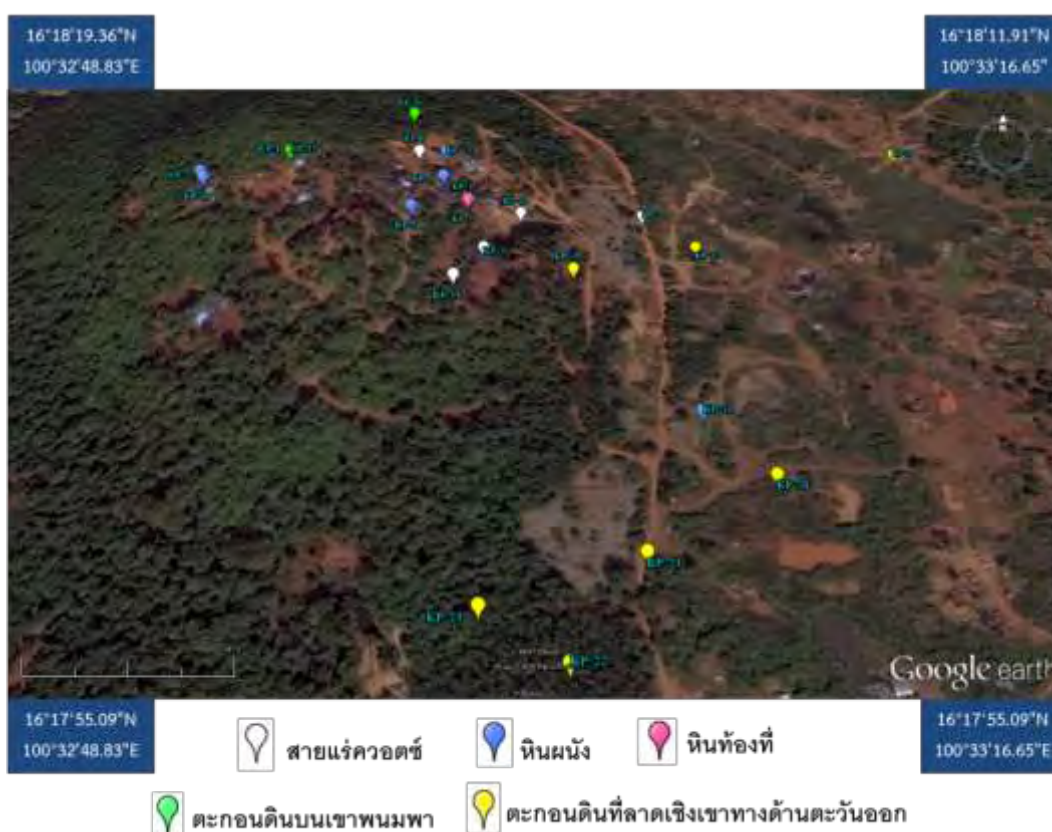


รูปที่ 3.1 แผนผังระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การสำรวจภาคสนามและเก็บตัวอย่าง

ทำการออกภาคสนาม เก็บตัวอย่างหินและตะกอนดินแบบการสุ่มตัวอย่าง ที่เหมืองแร่ทองคำเขาพนมพา อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร ตั้งแต่วันที่ 26 มิถุนายน 2558 ถึง วันที่ 29 มิถุนายน 2558 รวมตัวอย่างทั้งหมด 23 ตัวอย่าง (ตารางที่ 3.1) ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง (รูปที่ 3.2) ลักษณะของตัวอย่าง (รูปที่ 3.3 และ 3.4) มีรายละเอียด ดังนี้

- 1) สายแร่ควอตซ์ (Quartz-chlorite-sulfide \pm gold veins) จำนวน 6 ตัวอย่าง
สายแร่ควอตซ์มีสีสดเป็นสีขาวหรือขาวอมเขียว ประกอบด้วยแร่ควอตซ์มากกว่า 90% ที่เหลือส่วนใหญ่เป็นแร่คลอไรต์และแร่ซัลไฟด์ฝังปะอยู่ในสายแร่
- 2) หินผนัง (Altered wall rocks) จำนวน 6 ตัวอย่าง
หินผนังในที่นี้คือหินที่อยู่ติดกับสายแร่ควอตซ์ หินมีการแปรเปลี่ยนสภาพและมักมีแร่ซัลไฟด์ ในปริมาณสูงเมื่อเปรียบเทียบกับหินท้องที่
- 3) หินท้องที่ (Volcanic rocks) จำนวน 2 ตัวอย่าง
ในที่นี้คือหินที่ไม่มีหรือมีการแปรเปลี่ยนสภาพน้อยมาก
- 4) ตะกอนดินบนเขาพนมพา (Soil) จำนวน 2 ตัวอย่าง
- 5) ตะกอนดินบริเวณที่ราบด้านตะวันออก (Lateritic soil) จำนวน 7 ตัวอย่าง
เก็บตัวอย่างโดยใช้ Soil auger ลึกจากผิวดิน 30 เซนติเมตร (รูปที่ 3.5)



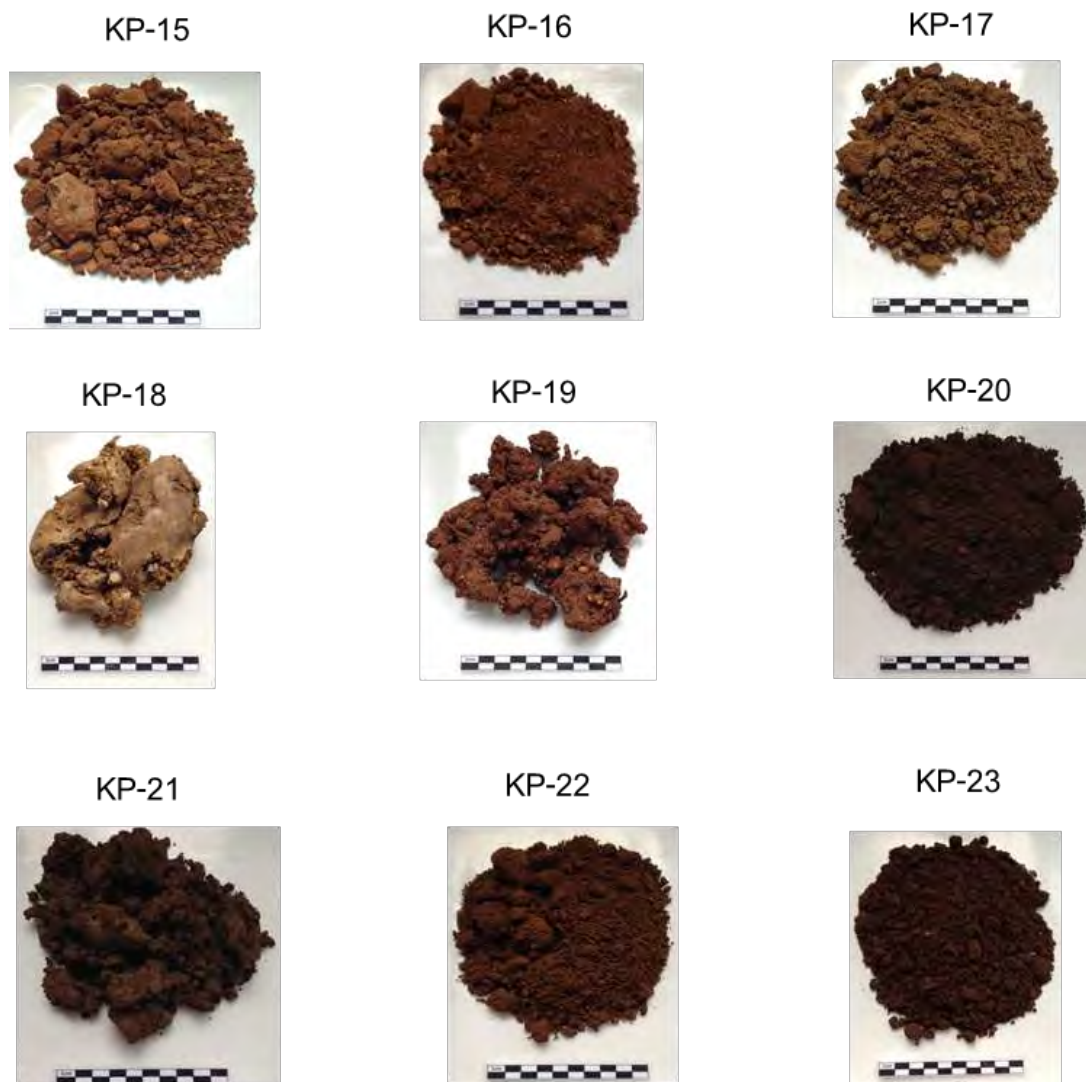
รูปที่ 3.2 ตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่าง บริเวณเหมืองแร่ทองคำเขาพนมพา
(ภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth, เก็บภาพวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2557)

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลการเก็บตัวอย่างและชนิดของการวิเคราะห์

ลำดับ	ตัวอย่าง	รายละเอียด	ละติจูด	ลองจิจูด	ICP-MS	EPMA
1	KP-1	สายแร่ควอตซ์	16°18'05.0"N	100°33'04.7"E	✓	✓
2	KP-2	หินผนัง	16°18'04.6"N	100°33'02.7"E	✓	
3	KP-3	สายแร่ควอตซ์	16°18'03.1"N	100°33'09.1"E	✓	✓
4	KP-4	หินท้องที่	16°18'04.6"N	100°33'08.7"E	✓	
5	KP-5	หินท้องที่	16°18'04.6"N	100°33'08.7"E	✓	✓
6	KP-6	สายแร่ควอตซ์	16°18'05.8"N	100°33'07.5"E	✓	✓
7	KP-7	สายแร่ควอตซ์	16°18'05.7"N	100°33'12.9"E	✓	
8	KP-8	หินผนัง	16°18'03.8"N	100°33'07.5"E	✓	
9	KP-9	หินผนัง	16°18'05.2"N	100°33'08.1"E	✓	✓
10	KP-10	หินผนัง	16°18'04.4"N	100°33'02.8"E	✓	
11	KP-11	หินผนัง	16°17'59.4"N	100°33'13.6"E	✓	✓
12	KP-12	สายแร่ควอตซ์	16°18'04.7"N	100°33'09.9"E	✓	✓
13	KP-13	หินผนัง	16°18'06.2"N	100°33'08.1"E	✓	
14	KP-14	สายแร่ควอตซ์	16°18'02.1"N	100°33'08.5"E	✓	✓
15	KP-15	ตะกอนดินบนเขา	16°18'05.0"N	100°33'04.7"E	✓	
16	KP-16	ตะกอนดินบนเขา	16°18'07.8"N	100°33'08.4"E	✓	
17	KP-17	ตะกอนดินที่ลาดเชิงเขา	16°18'04.6"N	100°33'14.1"E	✓	
18	KP-18	ตะกอนดินที่ลาดเชิงเขา	16°18'09.1"N	100°33'20.2"E	✓	
19	KP-19	ตะกอนดินที่ลาดเชิงเขา	16°18'11.2"N	100°33'11.1"E	✓	
20	KP-20	ตะกอนดินที่ลาดเชิงเขา	16°17'57.9"N	100°33'14.8"E	✓	
21	KP-21	ตะกอนดินที่ลาดเชิงเขา	16°17'56.2"N	100°33'12.2"E	✓	
22	KP-22	ตะกอนดินที่ลาดเชิงเขา	16°17'54.2"N	100°33'10.8"E	✓	
23	KP-23	ตะกอนดินที่ลาดเชิงเขา	16°17'55.1"N	100°33'09.3"E	✓	



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะตัวอย่างหิน KP-1 ถึง KP-14



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะตะกอนดิน KP-15 ถึง KP-23



รูปที่ 3.5 แสดงการเก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณที่ราบด้านตะวันออก โดยใช้ Soil auger

3.2 วิธีการศึกษาสัณฐานวิทยาของแร่ซัลไฟด์

นำตัวอย่างหินที่มีองค์ประกอบของแร่ซัลไฟด์มาศึกษาชนิดและองค์ประกอบทางเคมีของแร่จำนวน 8 ตัวอย่าง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสงและ Electron Probe Micro-Analysis (EPMA) ตามลำดับ

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างขัดมัน (Polished mount)

นำตัวอย่างหินไปตัด แล้วใส่ลงในถ้วยใส่ตัวอย่าง ต่อมาเท Epoxy (เรซิน) ลงไปให้ท่วมตัวอย่าง หลังจากนั้นนำไปวางใน Exsiccator เพื่อทำให้เป็นสุญญากาศ เมื่อฟองอากาศหมดนำออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง จน Epoxy แข็งตัว เสร็จนำชิ้นงานออกมาจากถ้วยใส่ตัวอย่าง (รูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 การเตรียมตัวอย่างแผ่นหินขัดมัน

ขั้นตอนต่อไปจะนำชิ้นงานมาขัดกับกระดาษ ด้วยผงขัดหินขนาด 600 ไมครอนและตามด้วยผงขัดหินขนาด 1000 ไมครอน เพื่อให้ชิ้นงานเรียบสม่ำเสมอทั้งหมด

ต่อมานำชิ้นงานมาขัดด้วย เครื่องขัดตัวอย่าง (Grinding-polishing) ที่ 6 ไมครอน และตามด้วยเครื่องขัด 3 และ 1 ไมครอน (รูปที่ 3.7) ตามลำดับ เพื่อให้ชิ้นงานเรียบมัน ก่อนนำไปวิเคราะห์



รูปที่ 3.7 เครื่องขัดตัวอย่างชิ้นงาน 6 และ 3 ไมครอน จากซ้ายไปขวา

3.2.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างแผ่นหินขัดมัน (Polished section)

ตัวอย่างขัดมัน (Polished mount) จะถูกนำมาส่องดูแร่ซัลไฟด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง (Reflected light microscope) เพื่อศึกษาลักษณะและจำแนกชนิดของแร่ซัลไฟด์ตลอดจนกะปริมาณของแร่ซัลไฟด์แต่ละชนิดในแต่ละตัวอย่าง แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Electron Probe Micro Analyzer (EPMA) ยี่ห้อ JEOL model JXA 8100 (รูปที่ 3.8) (ค่าประมาณของขีดจำกัดการตรวจวัด (Limits of detection) คือ 50 ppm) เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีของแร่ ว่ามีธาตุต่างๆอยู่ปริมาณเท่าไร



รูปที่ 3.8 เครื่องมือ Electron Probe Micro Analyzer (EPMA)
ยี่ห้อ JEOL model JXA 8100

3.3 วิธีการศึกษาการชะละลายโลหะหนัก

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างหินมาบดหยาบด้วยเครื่องย่อยจอร์ชเชอร์ (Jaw Crusher) (รูปที่ 3.9) จากนั้นนำตัวอย่างหินและตะกอนดินที่บดแล้วไปบดให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างทั้งหมดไปบดละเอียดด้วยเครื่องย่อยดิสก์มิลล์ (Dish Mill) (รูปที่ 3.9) ให้มีขนาดน้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร (U.S. EPA, 1994) (รูปที่ 3.10)



รูปที่ 3.9 รูปซ้าย เครื่องย่อยตัวอย่าง Jaw Crusher ยี่ห้อ Fritsch GmbH
รูปขวา เครื่องบดตัวอย่าง Vibratory Disc Mill ยี่ห้อ Retsch



รูปที่ 3.10 ผงตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมตัวอย่าง

3.3.2 การทดสอบการชะละลายด้วยวิธี Synthetic Precipitation Leaching Procedure

การเตรียมน้ำสกัด

จากสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นผสมกับกรดไนตริกเข้มข้นที่อัตราส่วน 60 ต่อ 40 โดยน้ำหนัก แล้วปรับพีเอชด้วยน้ำกลั่นให้ได้เท่ากับ 4 เพื่อจำลองสถานการณ์เลวร้ายที่สุดที่คาดว่าจะเกิดการชะละลายออกมาของโลหะหนัก (กรดซัลฟิวริกผสมกับกรดไนตริกเป็นสารชะละลายเพื่อจำลองเลียนแบบสภาพน้ำฝนเป็นกรด เนื่องจากในเหมืองแร่จะมีหินที่มีส่วนประกอบของแร่ซัลไฟด์ เมื่อสัมผัสกับน้ำฝนทำให้น้ำฝนมีค่าความเป็นกรดมากขึ้น)

การทดสอบการชะละลาย

นำตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมมา 1 กรัม เติมน้ำสกัดในอัตราส่วนตัวอย่างต่อน้ำสกัด เท่ากับ 1 ต่อ 20 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (รูปที่ 3.11) ที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 18 ชั่วโมง แล้วนำสารละลายที่ได้มากรองด้วยกรวยกรอง แล้วปรับพีเอชให้น้อยกว่า 2 ด้วยกรดไนตริก 1 นอร์มอล



รูปที่ 3.11 เครื่องเขย่าทดสอบการชะละลาย

3.3.3 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนัก

สารละลายที่ได้จากการชะละลายจะถูกตรวจวัด เพื่อหาปริมาณของโลหะหนักด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 7500 series (รูปที่ 3.12) จากหน่วยงาน ศูนย์อ้างอิงทางห้องปฏิบัติการและพิษวิทยา ธาตุที่ทำการตรวจ ได้แก่ โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb)

ค่าประมาณของขีดจำกัดการตรวจวัด (Limits of detection) Cr 0.005, Mn 0.005, Cu 0.005, Zn 0.005, As 0.01, Cd 0.005, Hg 0.001, Pb 0.001 หน่วย ไมโครกรัม/ลิตร

หลังจากนั้นนำผลความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจาก โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม กับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน



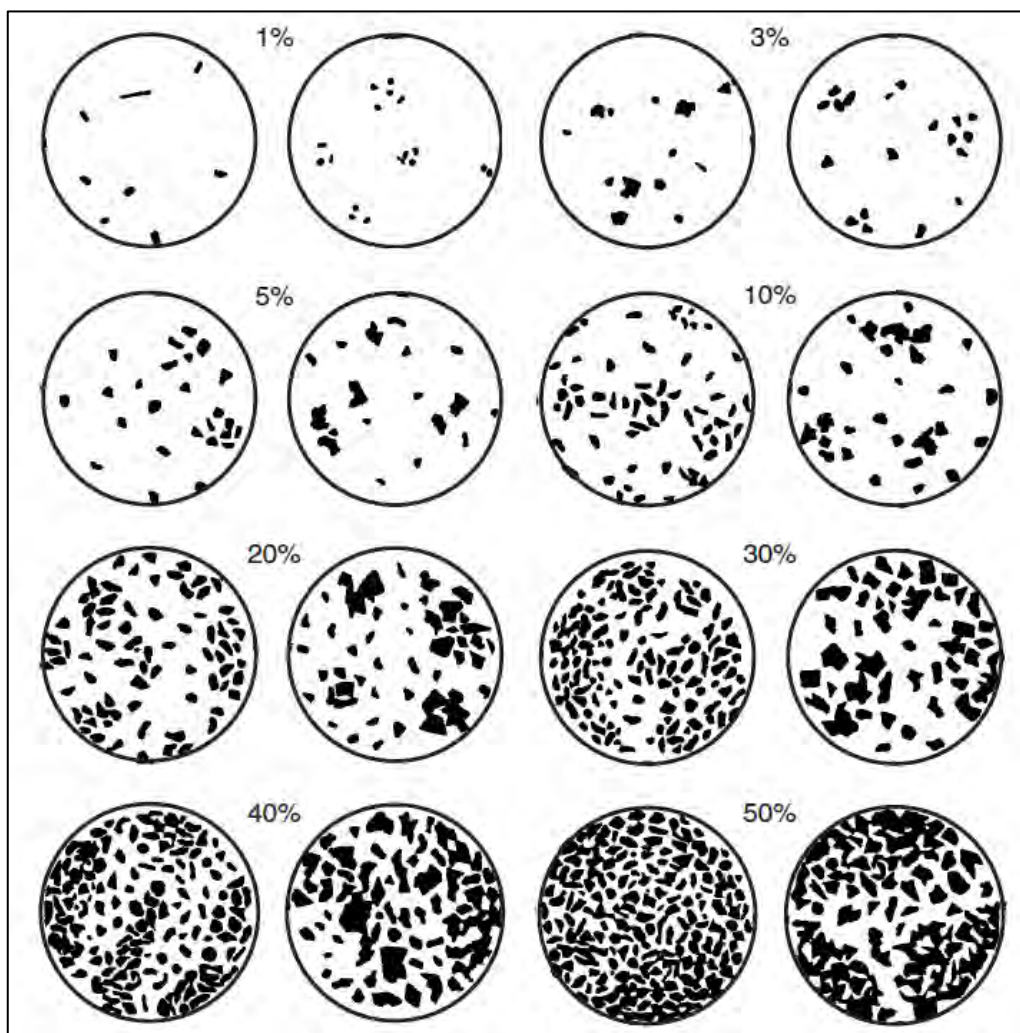
รูปที่ 3.12 เครื่อง ICP-MS ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 7500 series

บทที่ 4

ผลการศึกษาและการตีความข้อมูล (Result and Interpretation)

4.1 การวิเคราะห์ที่ลวการรณนาของแร่ซัลไฟด์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง

นำตัวอย่างหิน ได้แก่ สายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง (Quartz-chlorite-sulfide \pm gold veins) หินผนัง (Altered wall rocks) และหินท้องที่ (Volcanic rocks) มาคำนวณเปอร์เซ็นต์ของแร่ (รูปที่ 4.1) โดยใช้สายตา (Visual percentage estimation) เปรียบเทียบปริมาณและการกระจายตัวของแร่ที่ 1% 3% 5% 10% 20% 30% 40% และ 50% (Tarduno et al., 2002; after Terry and Chilingar, 1955) ร่วมกับการศึกษาชนิดของแร่ซัลไฟด์ที่พบอยู่ภายในหินด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง พบว่า



รูปที่ 4.1 แผนภูมิเปรียบเทียบประเมินเปอร์เซ็นต์ของแร่ด้วยสายตา

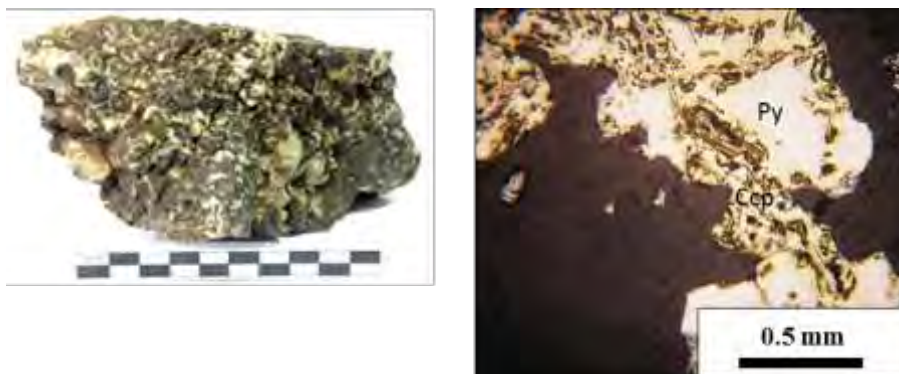
(Tarduno et al., 2002; after Terry and Chilingar, 1955)

KP-1 (สายแร่ควอตซ์) มีปริมาณแร่ซัลไฟด์ 5%



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างหินและภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง ของ KP-1 Mag=Magnetite Py=Pyrite ผลึกไพไรต์ (Pyrite) มีขนาดใหญ่ ไม่ปรากฏลักษณะของหน้าผลึก (Anhedral crystals) บางส่วนถูกออกซิไดซ์เกิดเป็นแมกมาไทต์ (Magmatite) (สีเข้มกว่า)

KP-3 (สายแร่ควอตซ์) มีปริมาณแร่ซัลไฟด์ 5%



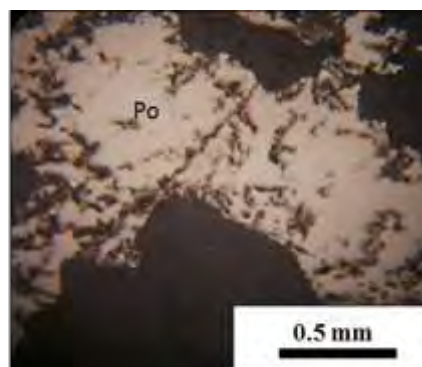
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างหินและภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง ของ KP-3 Ccp=Chalcopyrite Py=Pyrite ผลึกไพไรต์ (Pyrite) มีขนาดใหญ่ หน้าผลึกกึ่งสมบูรณ์ถึงไร้หน้า (Subhedral to anhedral crystals) มีผลึกคาลโคไพไรต์ (Chalcopyrite) เกิดเจริญอยู่ร่วมกันภายใน (Inclusion) โดยคาลโคไพไรต์จะมีการสะท้อนแสงสูงกว่าไพไรต์ (เหลืองเข้มกว่า)

KP-5 (หินทองที่) มีปริมาณแร่ซัลไฟด์ 1%



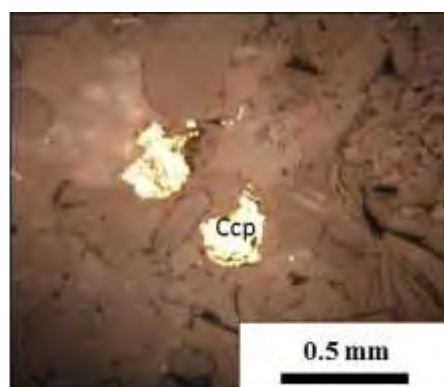
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างหินและภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง ของ KP-5 Py=Pyrite ผลึกไพไรต์ (Pyrite) ขนาดปานกลาง แสดงลักษณะหน้าผลึกชัดเจน (Euhedral crystals)

KP-6 (สายแร่ควอตซ์) มีปริมาณแร่ซัลไฟด์ 5%



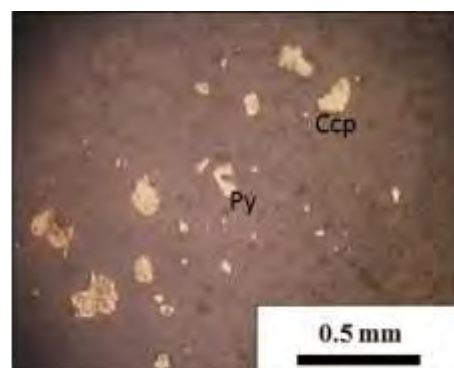
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างหินและภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง ของ KP-6 Po=Pyrrhotite ผลึกพิโรไทต์ (Pyrrhotite) มีขนาดใหญ่ หน้าผลึกถึงสมบูรณ์ถึงสมบูรณ์ (Subhedral to euhedral crystals) มองภายใต้กล้องจุลทรรศน์มีลักษณะสีน้ำตาลอมชมพู

KP-9 (หินผนัง) มีปริมาณแร่ซัลไฟด์ 3%



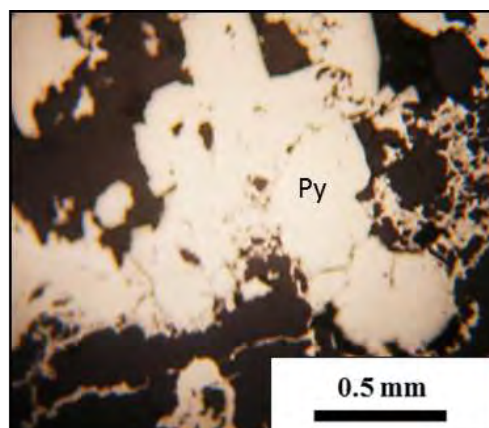
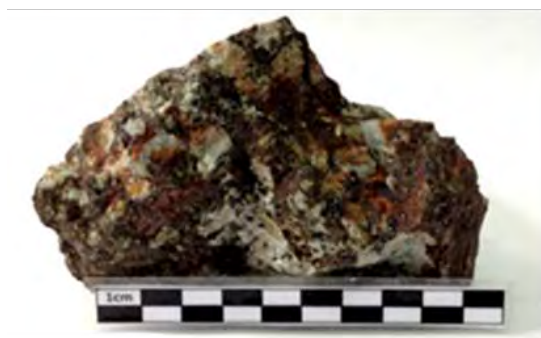
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างหินและภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง ของ KP-9 Ccp=Chalcopyrite ผลึกคาลโคไพไรต์ (Chalcopyrite) ขนาดปานกลาง แสดงลักษณะหน้าผลึกถึงสมบูรณ์ถึงไร้หน้า (Subhedral to anhedral crystals)

KP-11 (หินผนัง) มีปริมาณแร่ซัลไฟด์ 3%



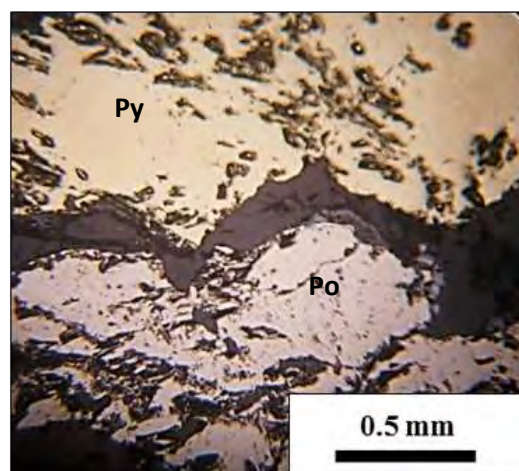
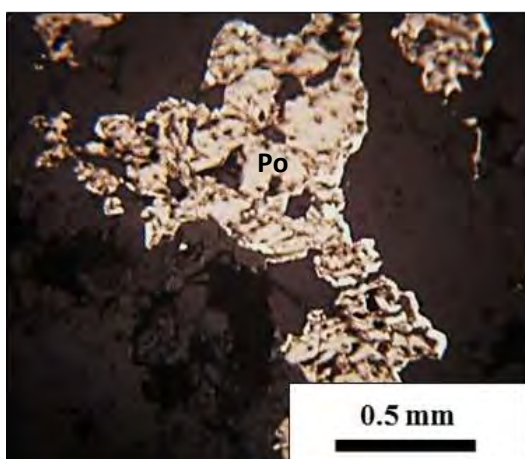
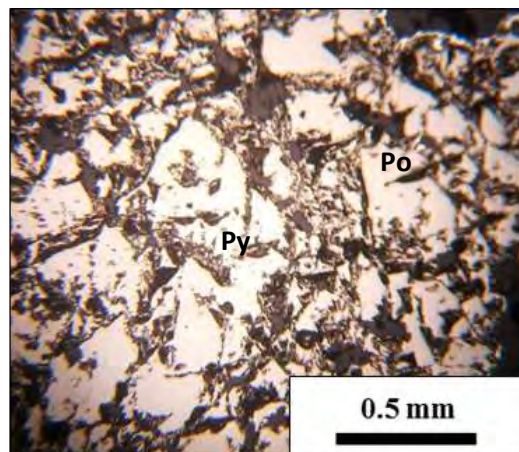
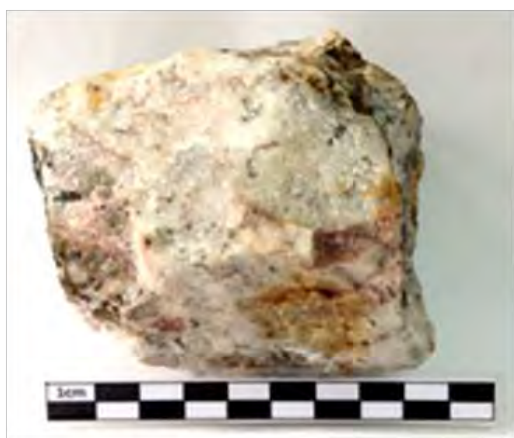
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างหินและภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง ของ KP-11 Ccp=Chalcopyrite Py=Pyrite ผลึกไพไรต์ (Pyrite) มีขนาดเล็ก ไร้หน้าผลึก (Anhedral crystals) เกิดเป็นกระจุกปะปนกับผลึกคาลโคไพไรต์ (Chalcopyrite) ซึ่งมีการสะท้อนแสงสูงกว่าเมื่อมองภายใต้กล้องจุลทรรศน์

KP-12 (สายแร่ควอตซ์) มีปริมาณแร่ซัลไฟด์ 5%



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างหินและภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง ของ KP-12 Py=Pyrite ผลึกไพไรต์ (Pyrite) มีขนาดใหญ่ หน้าผลึกถึงสมบูรณ์ถึงสมบูรณ์ (Subhedral to euhedral crystals)

KP-14 (สายแร่ควอตซ์) มีปริมาณแร่ซัลไฟด์ 5%



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างหินและภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง ของ KP-14 Po=Pyrrhotite Py=Pyrite ผลึกพิไรไทต์ (Pyrrhotite) มีขนาดใหญ่ หน้าผลึกถึงสมบูรณ์ถึงสมบูรณ์ (Subhedral to euhedral crystals) พบมีไพไรต์ (Pyrite) เจริญอยู่ร่วมกันตรงกลาง (Inclusion)

4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแร่ซัลไฟด์

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแร่ซัลไฟด์ด้วย EPMA หลังจากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะท้อนแสง แสดงในตารางที่ 4.2 – 4.17 องค์ประกอบทางเคมีจากผลการวิเคราะห์สามารถแปลและยืนยันได้ว่าแร่หลักที่พบ คือ ไพไรต์ (FeS_2) ไพโรไทต์ (Fe_{1-x}S) และ คาลโคไพไรต์ (CuFeS_2) ซึ่งมีธาตุ เหล็ก (Fe) ซัลเฟอร์ (S) ทองแดง (Cu) เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังพบธาตุร่องรอย (Trace element) คือ ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) สารหนู (As) เงิน (Ag) แคดเมียม (Hg) ทอง (Au) พรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) เป็นองค์ประกอบอีกด้วย (ตารางที่ 4.1) จากการศึกษาในขั้นต้นมีรายละเอียดดังนี้

KP-1 (สายแร่ควอตซ์) ไพไรต์ มีองค์ประกอบหลัก คือ เหล็กกับซัลเฟอร์ สัดส่วนโมลโดยประมาณ 1:2 ตามลำดับ พบธาตุร่องรอย ได้แก่ ทองแดง สังกะสี สารหนู เงิน แคดเมียม พรอท ตะกั่ว นอกจากนี้ยังพบว่าแร่ที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบหลักเพียงอย่างเดียวซึ่งน่าจะเป็นกลุ่มแร่เหล็กออกไซด์ พบธาตุร่องรอย ได้แก่ ทองแดง สังกะสี สารหนู เงิน ทอง พรอท ตะกั่ว

KP-3 (สายแร่ควอตซ์) คาลโคไพไรต์ มีองค์ประกอบหลัก คือ ทองแดง เหล็ก และซัลเฟอร์ สัดส่วนโมลโดยประมาณ 1:1:2 ตามลำดับ พบธาตุร่องรอย ได้แก่ สังกะสี สารหนู เงิน ทอง พรอท และมีแร่อีกชนิดหนึ่ง คือ ไพไรต์ มีองค์ประกอบหลัก คือ เหล็กกับซัลเฟอร์ สัดส่วนโมลโดยประมาณ 1:2 ตามลำดับ พบธาตุร่องรอย ได้แก่ ทองแดง สังกะสี สารหนู เงิน พรอท

KP-5 (หินทองที่) ไพไรต์ มีองค์ประกอบหลัก คือ เหล็กกับซัลเฟอร์ สัดส่วนโมลโดยประมาณ 1:2 ตามลำดับ พบธาตุร่องรอย ได้แก่ สังกะสี สารหนู เงิน ทอง พรอท

KP-6 (สายแร่ควอตซ์) ไพโรไทต์ มีองค์ประกอบหลัก คือ เหล็กกับซัลเฟอร์ สัดส่วนโมลโดยประมาณ 1:1 ตามลำดับ พบธาตุร่องรอย ได้แก่ สังกะสี สารหนู เงิน ทอง พรอท

KP-9 (หินผนัง) คาลโคไพไรต์ มีองค์ประกอบหลัก คือ ทองแดง เหล็ก และซัลเฟอร์ สัดส่วนโมลโดยประมาณ 1:1:2 ตามลำดับ พบธาตุร่องรอย ได้แก่ สังกะสี สารหนู เงิน ทอง พรอท

KP-11 (หินผนัง) คาลโคไพไรต์ มีองค์ประกอบหลัก คือ ทองแดง เหล็ก และซัลเฟอร์ สัดส่วนโมลโดยประมาณ 1:1:2 ตามลำดับ พบธาตุร่องรอย ได้แก่ สังกะสี สารหนู เงิน และมีแร่อีกชนิดหนึ่ง คือ ไพไรต์ มีองค์ประกอบหลัก คือ เหล็กกับซัลเฟอร์ สัดส่วนโมลโดยประมาณ 1:2 พบธาตุร่องรอย ได้แก่ ทองแดง สังกะสี สารหนู เงิน ทอง

KP-12 (สายแร่ควอตซ์) ไพไรต์ มีองค์ประกอบหลัก คือ เหล็กกับซัลเฟอร์ สัดส่วนโมลโดยประมาณ 1:2 ตามลำดับ พบธาตุร่องรอย ได้แก่ สังกะสี สารหนู เงิน แคดเมียม ทอง

KP-14 (สายแร่ควอตซ์) ไพไรต์ มีองค์ประกอบหลัก คือ เหล็กกับซัลเฟอร์ สัดส่วนโมล โดยประมาณ 1:2 ตามลำดับ พบธาตุรองรอย ได้แก่ สังกะสี สารหนู เงิน และมีแร่อีกชนิดหนึ่ง คือ พิโรไทต์ มีองค์ประกอบหลัก คือ เหล็กกับซัลเฟอร์ สัดส่วนโมลโดยประมาณ 1:1 พบธาตุรองรอย ได้แก่ สังกะสี สารหนู เงิน ทอง พรอท

โดยปริมาณธาตุรองรอยที่พบมากที่สุดไนแร่ซัลไฟด์เป็นไปดังนี้ ทองแดง 0.087 wt.% (870 ppm) สังกะสี 0.14 wt.% (1400 ppm) สารหนู 0.080 wt.% (800 ppm) เงิน 0.20 wt.% (2000 ppm) แคดเมียม 0.038 wt.% (380 ppm) ทอง 0.56 wt.% (5600 ppm) พรอท 0.10 wt.% (1000 ppm) และตะกั่ว 0.045 wt.% (450 ppm)

Sample	Minerals			Trace elements							
	Pyrite	Pyrrhotite	Chalcopyrite	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Au	Hg	Pb
KP-1	✓			✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
KP-3			✓		✓	✓	✓		✓	✓	
	✓			✓	✓	✓	✓			✓	
KP-5	✓				✓	✓	✓		✓	✓	
KP-6		✓			✓	✓	✓		✓	✓	
KP-9			✓		✓	✓	✓		✓	✓	
KP-11			✓		✓	✓	✓				
	✓			✓	✓	✓	✓		✓		
KP-12	✓				✓	✓	✓	✓	✓		
KP-14	✓				✓	✓	✓				
		✓			✓	✓	✓		✓	✓	

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดจากการวิเคราะห์ข้อมูลจาก EPMA

สายแร่ควอตซ์ ได้แก่ KP-1 KP-3 KP-6 KP-12 KP-14

หินผนัง ได้แก่ KP-9 KP-11

หินท้องที่ ได้แก่ KP-5

ผลการวิเคราะห์จาก EPMA ของ KP-1 (สายแร่ควอตซ์)

Composition percent (wt.%)										
S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Au	Hg	Pb	Total
52.163	45.165	0.087	0.070	b.d.	0.014	b.d.	b.d.	b.d.	0.023	97.522
52.152	44.087	0.052	b.d.	0.054	0.024	b.d.	b.d.	0.033	0.026	96.428
52.147	46.469	0.011	0.007	b.d.	0.036	0.031	b.d.	b.d.	b.d.	98.701
0.128	85.535	0.030	0.009	b.d.	0.017	b.d.	0.195	b.d.	b.d.	85.914
0.148	86.218	0.035	b.d.	0.025	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.008	86.434
0.116	85.895	0.034	b.d.	0.047	0.011	b.d.	b.d.	0.013	0.045	86.161

b.d. (below detection)

ตารางที่ 4.2 Composition percent ของ KP-1

Mole fraction											≈ Fe:S
S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Au	Hg	Pb	Total	
1.627	0.809	0.0014	0.0011	b.d.	0.00013	b.d.	b.d.	b.d.	0.00011	2.438	1:2
1.627	0.789	0.00082	b.d.	0.00072	0.00022	b.d.	b.d.	0.00017	0.00013	2.418	1:2
1.627	0.832	0.00017	0.00011	b.d.	0.00033	0.00028	b.d.	b.d.	b.d.	2.459	1:2
0.004	1.532	0.00047	0.00014	b.d.	0.00016	b.d.	0.001	b.d.	b.d.	1.537	●
0.0046	1.544	0.00055	b.d.	0.00033	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.000039	1.549	●
0.0036	1.538	0.00054	b.d.	0.00063	0.00010	b.d.	b.d.	0.000065	0.00022	1.543	●

b.d. (below detection)

ตารางที่ 4.3 Mole fraction ของ KP-1

- น่าจะเป็นแร่เหล็กในกลุ่มออกไซด์

ผลการวิเคราะห์จาก EPMA ของ KP-3 (สายแร่ควอตซ์)

Composition percent (wt.%)										
S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Au	Hg	Pb	Total
33.368	29.934	35.137	0.076	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.019	b.d.	98.534
33.399	30.119	34.918	0.024	0.027	0.048	b.d.	0.032	b.d.	b.d.	98.567
32.437	29.425	35.844	0.103	b.d.	0.075	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	97.884
29.838	28.025	33.805	b.d.	b.d.	0.201	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	91.873
33.759	30.117	34.531	0.129	b.d.	0.022	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	98.558
33.278	30.465	34.550	0.082	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	98.375
52.947	46.465	b.d.	0.025	0.047	0.025	b.d.	b.d.	0.031	b.d.	99.540
52.020	46.256	0.015	b.d.	0.020	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	98.311
52.802	46.432	0.018	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	99.252

b.d. (below detection)

ตารางที่ 4.4 Composition percent ของ KP-3

Mole fraction											≈ Cu:Fe:S
S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Au	Hg	Pb	Total	
1.041	0.536	0.553	0.0012	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.000095	b.d.	2.131	1:1:2
1.042	0.539	0.549	0.00037	0.00036	0.00044	b.d.	0.00016	b.d.	b.d.	2.132	1:1:2
1.012	0.527	0.564	0.0016	b.d.	0.00070	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.105	1:1:2
0.931	0.502	0.532	b.d.	b.d.	0.0018	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	1.967	1:1:2
1.053	0.539	0.543	0.002	b.d.	0.00020	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.138	1:1:2
1.038	0.545	0.544	0.0013	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.128	1:1:2
1.652	0.832	b.d.	0.00038	0.00063	0.00023	b.d.	b.d.	0.00016	b.d.	2.485	0:1:2
1.623	0.828	0.00024	b.d.	0.00027	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.451	0:1:2
1.647	0.831	0.00028	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.479	0:1:2

b.d. (below detection)

ตารางที่ 4.5 Mole fraction ของ KP-3

ผลการวิเคราะห์จาก EPMA ของ KP-5 (หินท้องถิ่น)

Composition percent (wt.%)										
S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Au	Hg	Pb	Total
53.326	46.157	b.d.	b.d.	0.024	0.010	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	99.517
52.381	44.018	b.d.	b.d.	0.064	0.036	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	96.499
52.047	47.046	b.d.	0.012	b.d.	0.056	b.d.	0.468	b.d.	b.d.	99.629
53.360	46.988	b.d.	0.037	0.034	0.066	b.d.	0.151	0.037	b.d.	100.673
51.124	48.345	b.d.	b.d.	0.056	0.022	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	99.547
51.415	48.245	b.d.	0.008	0.033	0.010	b.d.	0.262	b.d.	b.d.	99.973
51.635	48.222	b.d.	b.d.	b.d.	0.031	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	99.888
51.746	48.524	b.d.	b.d.	0.006	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	100.279
51.164	47.827	b.d.	0.009	0.04	0.049	b.d.	0.358	b.d.	b.d.	99.447

b.d. (below detection)

ตารางที่ 4.6 Composition percent ของ KP-5

Mole fraction											≈ Fe:S
S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Au	Hg	Pb	Total	
1.663	0.826	b.d.	b.d.	0.00032	0.000093	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.490	1:2
1.634	0.788	b.d.	b.d.	0.00085	0.00033	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.423	1:2
1.623	0.842	b.d.	0.00018	b.d.	0.00052	b.d.	0.0024	b.d.	b.d.	2.469	1:2
1.664	0.841	b.d.	0.00057	0.00045	0.00061	b.d.	0.00077	0.00018	b.d.	2.508	1:2
1.595	0.866	b.d.	b.d.	0.00075	0.00020	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.461	1:2
1.604	0.864	b.d.	0.00012	0.00044	0.000093	b.d.	0.0013	b.d.	b.d.	2.470	1:2
1.611	0.863	b.d.	b.d.	b.d.	0.00029	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.474	1:2
1.614	0.869	b.d.	b.d.	0.00008	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.483	1:2
1.596	0.856	b.d.	0.00014	0.000534	0.00045	b.d.	0.0018	b.d.	b.d.	2.455	1:2

b.d. (below detection)

ตารางที่ 4.7 Mole fraction ของ KP-5

ผลการวิเคราะห์จาก EPMA ของ KP-6 (สายแร่ควอตซ์)

Composition percent (wt.%)										
S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Au	Hg	Pb	Total
30.701	60.790	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	91.491
30.519	61.238	b.d.	b.d.	b.d.	0.058	b.d.	b.d.	0.006	b.d.	91.821
28.611	59.411	b.d.	b.d.	0.024	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	88.046
31.096	61.325	b.d.	b.d.	0.032	b.d.	b.d.	0.095	0.031	b.d.	92.579
30.446	61.178	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	91.624
30.785	61.295	b.d.	b.d.	0.020	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	92.100
30.671	60.818	b.d.	0.062	0.012	0.039	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	91.602
30.569	61.092	b.d.	0.054	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	91.715
30.311	61.146	b.d.	0.031	b.d.	0.006	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	91.494
30.647	61.205	b.d.	0.044	b.d.	0.010	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	91.906
30.476	60.845	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	91.321
30.627	61.111	b.d.	b.d.	b.d.	0.054	b.d.	b.d.	0.050	b.d.	91.842

b.d. (below detection)

ตารางที่ 4.8 Composition percent ของ KP-6

Mole fraction											\approx Fe:S
S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Au	Hg	Pb	Total	
0.958	1.088	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.046	1:1
0.952	1.096	b.d.	b.d.	b.d.	0.00054	b.d.	b.d.	0.00003	b.d.	2.049	1:1
0.892	1.064	b.d.	b.d.	0.00032	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	1.957	1:1
0.970	1.098	b.d.	b.d.	0.00043	b.d.	b.d.	0.00048	0.00015	b.d.	2.069	1:1
0.950	1.095	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.045	1:1
0.960	1.097	b.d.	b.d.	0.00027	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.058	1:1
0.957	1.089	b.d.	0.00095	0.00016	0.00036	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.047	1:1
0.953	1.094	b.d.	0.00083	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.048	1:1
0.945	1.095	b.d.	0.00047	b.d.	0.000056	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.041	1:1
0.956	1.096	b.d.	0.00067	b.d.	0.000093	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.053	1:1
0.951	1.089	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.040	1:1
0.955	1.094	b.d.	b.d.	b.d.	0.00050	b.d.	b.d.	0.00025	b.d.	2.050	1:1

b.d. (below detection)

ตารางที่ 4.9 Mole fraction ของ KP-6

ผลการวิเคราะห์จาก EPMA ของ KP-9 (หินผนัง)

Composition percent (wt.%)										
S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Au	Hg	Pb	Total
33.033	30.081	34.940	0.081	0.080	0.018	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	98.233
32.854	29.706	34.926	0.023	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.102	b.d.	97.611
33.092	29.924	34.796	0.021	b.d.	0.040	b.d.	b.d.	0.051	b.d.	97.924
33.024	29.682	34.780	0.036	0.017	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	97.539
32.567	29.831	34.694	0.084	b.d.	0.061	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	97.237
32.145	29.942	34.633	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.095	b.d.	b.d.	96.815

b.d. (below detection)

ตารางที่ 4.10 Composition percent ของ KP-9

Mole fraction											≈ Cu:Fe:S
S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Au	Hg	Pb	Total	
1.030	0.539	0.550	0.001	0.0011	0.00017	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.121	1:1:2
1.025	0.532	0.550	0.00035	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.00051	b.d.	2.107	1:1:2
1.032	0.536	0.548	0.00032	b.d.	0.00037	b.d.	b.d.	0.00025	b.d.	2.116	1:1:2
1.030	0.531	0.547	0.00055	0.00023	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.110	1:1:2
1.016	0.534	0.546	0.0013	b.d.	0.00057	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.098	1:1:2
1.003	0.536	0.545	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.00048	b.d.	b.d.	2.084	1:1:2

b.d. (below detection)

ตารางที่ 4.11 Mole fraction ของ KP-9

ผลการวิเคราะห์จาก EPMA ของ KP-11 (หินผนัง)

Composition percent (wt.%)										
S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Au	Hg	Pb	Total
34.159	30.624	33.064	b.d.	b.d.	0.022	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	97.869
33.116	30.692	33.178	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	96.992
33.244	30.246	33.904	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	97.395
34.065	30.883	33.722	0.073	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	98.743
33.512	30.044	33.127	0.065	0.009	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	96.757
33.618	29.835	34.447	0.032	b.d.	0.022	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	97.954
52.250	47.142	0.027	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	99.421
52.485	47.591	0.014	0.057	0.021	0.006	b.d.	0.560	b.d.	b.d.	100.734
52.142	48.267	0.005	0.079	0.041	0.071	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	100.605

b.d. (below detection)

ตารางที่ 4.12 Composition percent ของ KP-11

Mole fraction											≈ Cu:Fe:S
S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Au	Hg	Pb	Total	
1.065	0.548	0.520	b.d.	b.d.	0.00020	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.134	1:1:2
1.033	0.550	0.522	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.105	1:1:2
1.037	0.542	0.534	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.112	1:1:2
1.063	0.553	0.531	0.0011	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.147	1:1:2
1.045	0.538	0.521	0.00099	0.00012	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.106	1:1:2
1.049	0.534	0.542	0.00049	b.d.	0.00020	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.126	1:1:2
1.630	0.844	0.00043	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.474	0:1:2
1.637	0.852	0.00022	0.00087	0.00028	0.000056	b.d.	0.0028	b.d.	b.d.	2.493	0:1:2
1.626	0.864	0.000079	0.0012	0.00055	0.00066	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.493	0:1:2

b.d. (below detection)

ตารางที่ 4.13 Mole fraction ของ KP-11

ผลการวิเคราะห์จาก EPMA ของ KP-12 (สายแร่ควอตซ์)

Composition percent (wt.%)										
S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Au	Hg	Pb	Total
51.386	46.183	b.d.	b.d.	b.d.	0.015	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	97.584
52.652	47.569	b.d.	b.d.	b.d.	0.009	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	100.230
52.925	47.735	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	100.660
52.39	47.815	b.d.	0.060	0.008	0.054	b.d.	0.028	b.d.	b.d.	100.355
53.039	47.061	b.d.	0.011	0.051	b.d.	0.038	b.d.	b.d.	b.d.	100.200
53.089	46.191	b.d.	0.020	0.011	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	99.311
52.919	46.44	b.d.	0.064	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	99.423
52.869	46.168	b.d.	b.d.	b.d.	0.012	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	99.049
53.005	46.052	b.d.	0.050	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	99.107

b.d. (below detection)

ตารางที่ 4.14 Composition percent ของ KP-12

Mole fraction											≈ Fe:S
S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Au	Hg	Pb	Total	
1.603	0.827	b.d.	b.d.	b.d.	0.00014	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.429	1:2
1.642	0.852	b.d.	b.d.	b.d.	0.000083	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.494	1:2
1.651	0.855	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.506	1:2
1.634	0.856	b.d.	0.00092	0.00011	0.00050	b.d.	0.00014	b.d.	b.d.	2.492	1:2
1.654	0.843	b.d.	0.00017	0.00068	b.d.	0.00034	b.d.	b.d.	b.d.	2.498	1:2
1.656	0.827	b.d.	0.00031	0.00015	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.483	1:2
1.651	0.832	b.d.	0.00098	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.483	1:2
1.649	0.827	b.d.	b.d.	b.d.	0.00011	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.476	1:2
1.653	0.825	b.d.	0.00077	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.477	1:2

b.d. (below detection)

ตารางที่ 4.15 Mole fraction ของ KP-12

ผลการวิเคราะห์จาก EPMA ของ KP-14 (สายแร่ควอตซ์)

Composition percent (wt.%)										
S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Au	Hg	Pb	Total
52.777	46.877	b.d.	b.d.	b.d.	0.052	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	99.706
52.712	46.983	b.d.	0.026	0.025	0.024	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	99.770
50.356	46.680	b.d.	0.033	0.022	0.060	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	97.151
30.987	62.267	b.d.	b.d.	b.d.	0.052	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	93.307
31.077	61.960	b.d.	0.035	b.d.	0.011	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	93.083
31.050	62.397	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	93.447
31.502	61.972	b.d.	0.045	b.d.	b.d.	b.d.	0.027	b.d.	b.d.	93.546
31.487	62.290	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	93.781
31.543	61.840	b.d.	b.d.	0.006	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	93.389
31.319	61.891	b.d.	0.028	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.019	b.d.	93.257
31.420	61.784	b.d.	b.d.	b.d.	0.037	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	93.241
31.127	61.645	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	92.772
31.178	61.867	b.d.	0.140	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	93.185
31.582	62.026	b.d.	0.061	0.044	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	93.713
31.132	61.843	b.d.	b.d.	b.d.	0.032	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	93.007
31.052	61.370	b.d.	0.009	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	92.433
30.666	61.594	b.d.	0.056	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	92.316
31.302	61.762	b.d.	0.028	b.d.	0.034	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	93.126

b.d. (below detection)

ตารางที่ 4.16 Composition percent ของ KP-14

Mole fraction											≈ Fe:S
S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Au	Hg	Pb	Total	
1.646	0.839	b.d.	b.d.	b.d.	0.00048	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.486	1:2
1.644	0.841	b.d.	0.00040	0.00033	0.00022	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.486	1:2
1.571	0.836	b.d.	0.00051	0.00029	0.00056	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.408	1:2
0.967	1.115	b.d.	b.d.	b.d.	0.00048	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.082	1:1
0.969	1.109	b.d.	0.00054	b.d.	0.00010	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.079	1:1
0.969	1.117	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.086	1:1
0.983	1.110	b.d.	0.00069	b.d.	b.d.	b.d.	0.00014	b.d.	b.d.	2.093	1:1
0.982	1.115	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.097	1:1
0.984	1.107	b.d.	b.d.	0.00008	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.091	1:1
0.977	1.108	b.d.	0.00043	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.000095	b.d.	2.086	1:1
0.980	1.106	b.d.	b.d.	b.d.	0.00034	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.087	1:1
0.971	1.104	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.075	1:1
0.972	1.108	b.d.	0.0021	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.082	1:1
0.985	1.110	b.d.	0.00093	0.00059	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.097	1:1
0.971	1.107	b.d.	b.d.	b.d.	0.00030	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.079	1:1
0.969	1.099	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.068	1:1
0.957	1.103	b.d.	0.00086	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.060	1:1
0.976	1.106	b.d.	0.00043	b.d.	0.00032	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.083	1:1

b.d. (below detection)

ตารางที่ 4.17 Mole fraction ของ KP-14

4.3 การวิเคราะห์การชะละลายโลหะหนัก

ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย ตัวอย่างหิน สายแร่ควอตซ์และตะกอนดินจากการเก็บแบบสุ่มในพื้นที่เหมืองแร่ทองคำเขาพนมพา สามารถจำแนกออกมาได้ ดังนี้ 1) สายแร่ควอตซ์-คลอไรต์-ซัลไฟด์-ทอง (Quartz-chlorite-sulfide \pm gold veins) 2) หินผนัง (Altered wall rocks) 3) หินท้องที่ (Volcanic rocks) 4) ตะกอนดิน (Soil) บนเขาพนมพา และ 5) ตะกอนดิน (Lateritic soil) บริเวณที่ราบด้านตะวันออกของเขาพนมพา

ตัวอย่างทั้งหมดนำมาศึกษาการชะละลายด้วยวิธีการ SPLP ที่พีเอช 4 และตรวจวัดโลหะหนักที่สำคัญดังต่อไปนี้ โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) ผลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือ ICP-MS นำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน 2 ค่า คือ มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เนื่องจากกิจกรรมเหมืองถือเป็นการประกอบกิจการในลักษณะของโรงงานอุตสาหกรรม และมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) เนื่องจากในอนาคต เมื่อเหมืองปิดแล้วน้ำชะละลายที่ได้จากหินและตะกอนดินอาจจะไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ พบว่า

1. โครเมียม แมงกานีส นิกเกิล สังกะสี สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว มีการชะละลายออกมา แต่อยู่ในปริมาณค่อนข้างต่ำโดยส่วนที่ถูกชะออกมานี้ทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและและนิคมอุตสาหกรรม และมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ตารางที่ 4.18 รูปที่ 4.10 4.11 4.12 4.14 4.15 4.16 และ 4.18)

2. ทองแดง ที่ชะละลายออกมามีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม และมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ยกเว้น ตัวอย่างหินผนัง (0.017mg/l) ที่มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (0.1 mg/l) (ตารางที่ 4.18 รูปที่ 4.13)

3. ปรอท ถูกชะละลายออกมาจากตัวอย่างหินทุกชนิด ยกเว้นตัวอย่างตะกอนดิน (Soil and lateritic soil) โดยค่าที่วัดออกมาได้ต่ำกว่า Detection Limit ของเครื่อง (น้อยกว่า 0.001 μ g/l) โดยค่าที่วัดได้จากตัวอย่างหิน (สายแร่ควอตซ์ 0.018 mg/l, หินผนัง 0.006 mg/l, หินท้องที่ 0.005 mg/l) มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและและนิคมอุตสาหกรรม (0.005 mg/l) และมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (0.002 mg/l) (ตารางที่ 4.18 รูปที่ 4.17)

Sample		Concentration of heavy metals (mg/l)								
		Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
Quartz veins	average	0.0044	0.84	0.0094	0.022	0.072	0.0021	0.00033	0.018	0.0069
	SD	0.00035	1.5	0.0079	0.011	0.046	0.0033	0.00028	0.017	0.005
Altered wall rocks	average	0.0049	0.12	0.012	0.17	0.13	0.0037	0.0004	0.006	0.0052
	SD	0.00034	0.11	0.015	0.40	0.12	0.0036	0.00045	0.0067	0.0032
Volcanic rocks	average	0.0064	0.14	0.004	0.017	0.042	0.0012	0.000084	0.005	0.0076
	SD	0.00092	0.0071	0.00057	0.005	0.0042	0.00028	0.0000042	0.0035	0.00028
Soil	average	0.0049	0.96	0.0057	0.019	0.07	0.0022	0.00016	b.d.	0.0056
	SD	0.00057	0.57	0.0023	0.011	0.013	0.00021	0.0000071		0.0037
Lateritic soil	average	0.0078	0.46	0.012	0.035	0.1	0.00099	0.00019	b.d.	0.0061
	SD	0.0026	0.42	0.015	0.027	0.08	0.00075	0.00018		0.0051
Industrial Effluent		0.25	5	1	2	5	0.25	0.03	0.005	0.2
Standards										
Surface Water		0.05	1	0.1	0.1	1	0.01	0.005	0.002	0.05
Quality Standards										

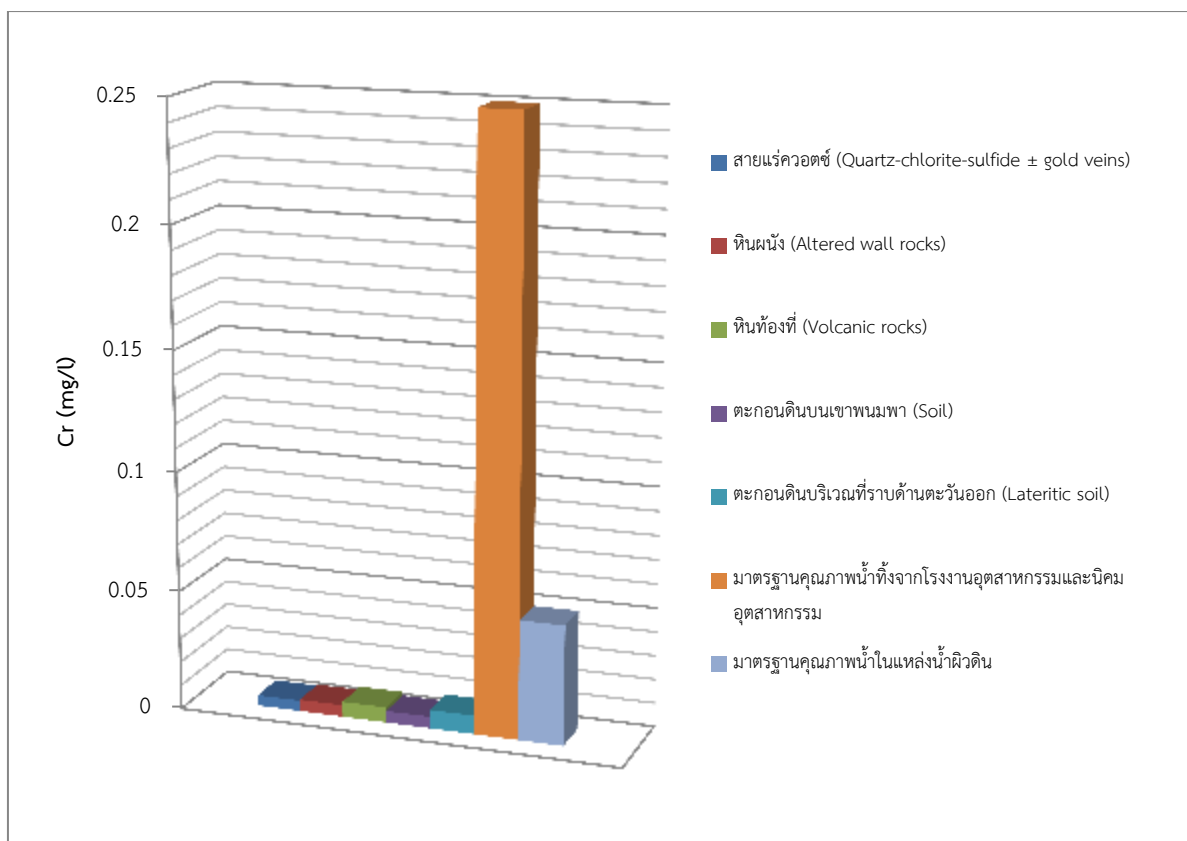
ตารางที่ 4.18 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักที่ชะละลายจากหินและตะกอนดินด้วยวิธี SPLP ที่ pH 4

b.d. (below detection) คือ ต่ำกว่าค่าประมาณของขีดจำกัดการตรวจวัด (Limits of detection)

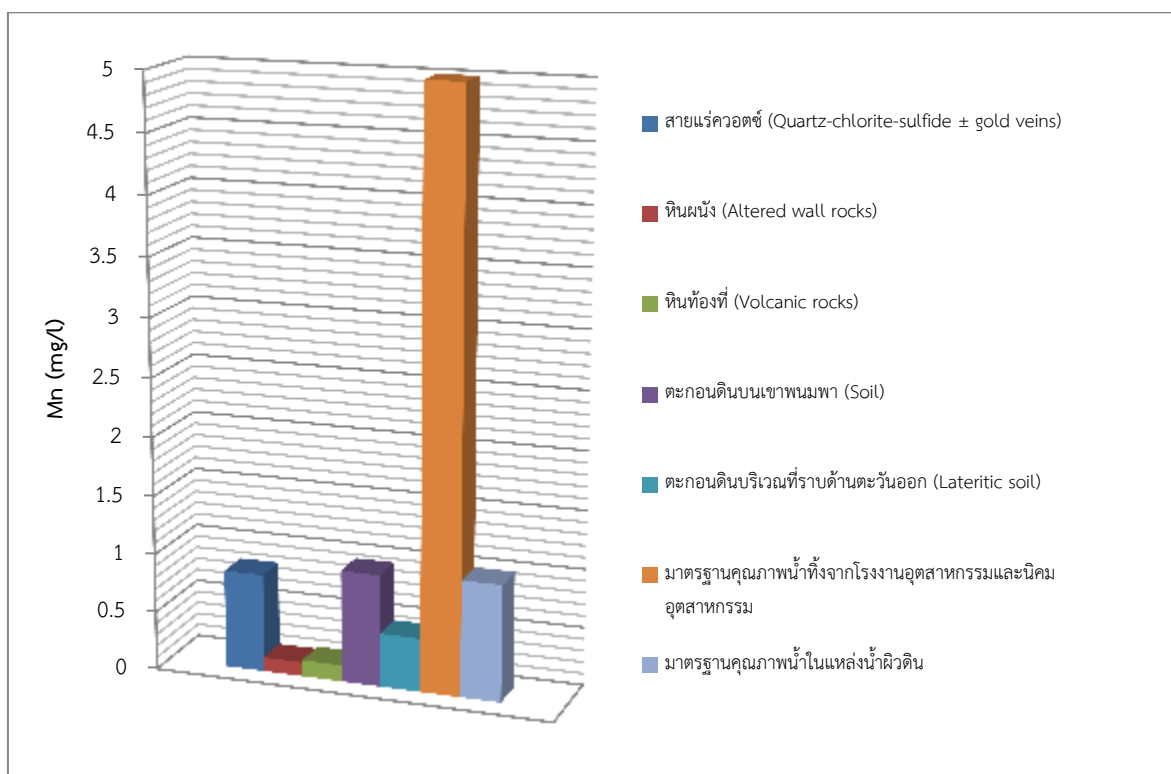
Cr 0.005, Mn 0.005, Cu 0.005, Zn 0.005, As 0.01, Cd 0.005, Hg 0.001, Pb 0.001 หน่วย $\mu\text{g/l}$

Remark; * Notification the Ministry of Science, Technology and Environment, No. 3, B.E.2539 (1996), issued under the Enhancement and Conservation of the National Environmental Quality Act B.E.2535 (1992), published in the Royal Government Gazette, Vol. 113 Part 13 D, dated February 13, B.E.2539 (1996).

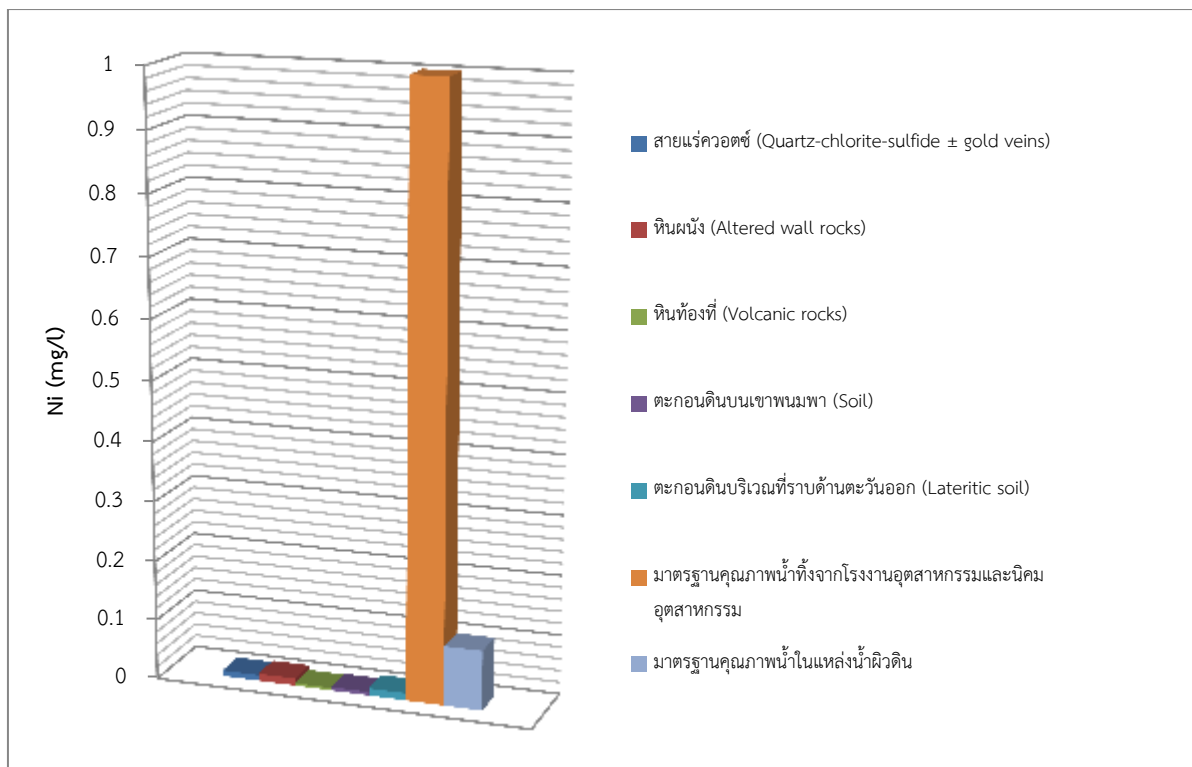
** Notification of the National Environmental Board, No. 8, B.E. 2537 (1994), issued under the Enhancement and Conservation of National Environmental Quality Act B.E.2535 (1992), published in the Royal Government Gazette, Vol. 111, Part 16, dated February 24, B.E.2537 (1994).



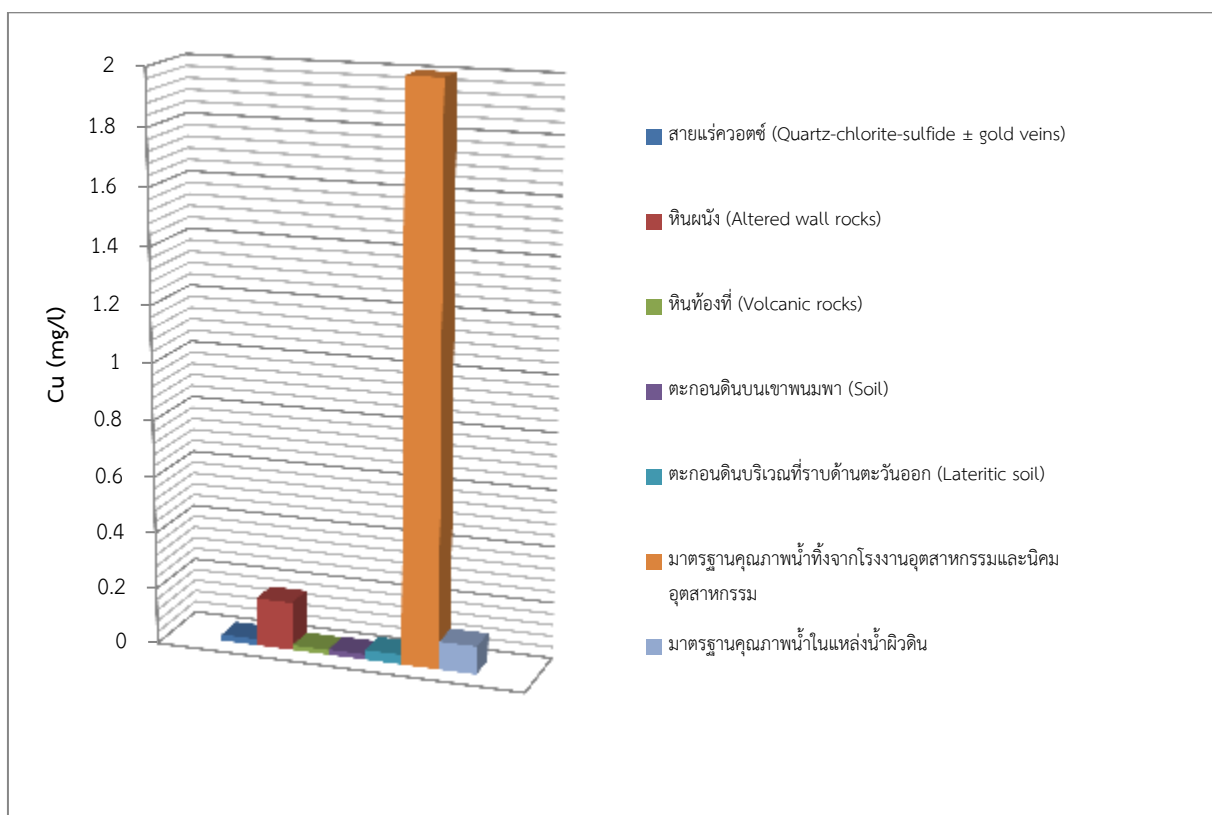
รูปที่ 4.10 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก โครเมียม (Cr)



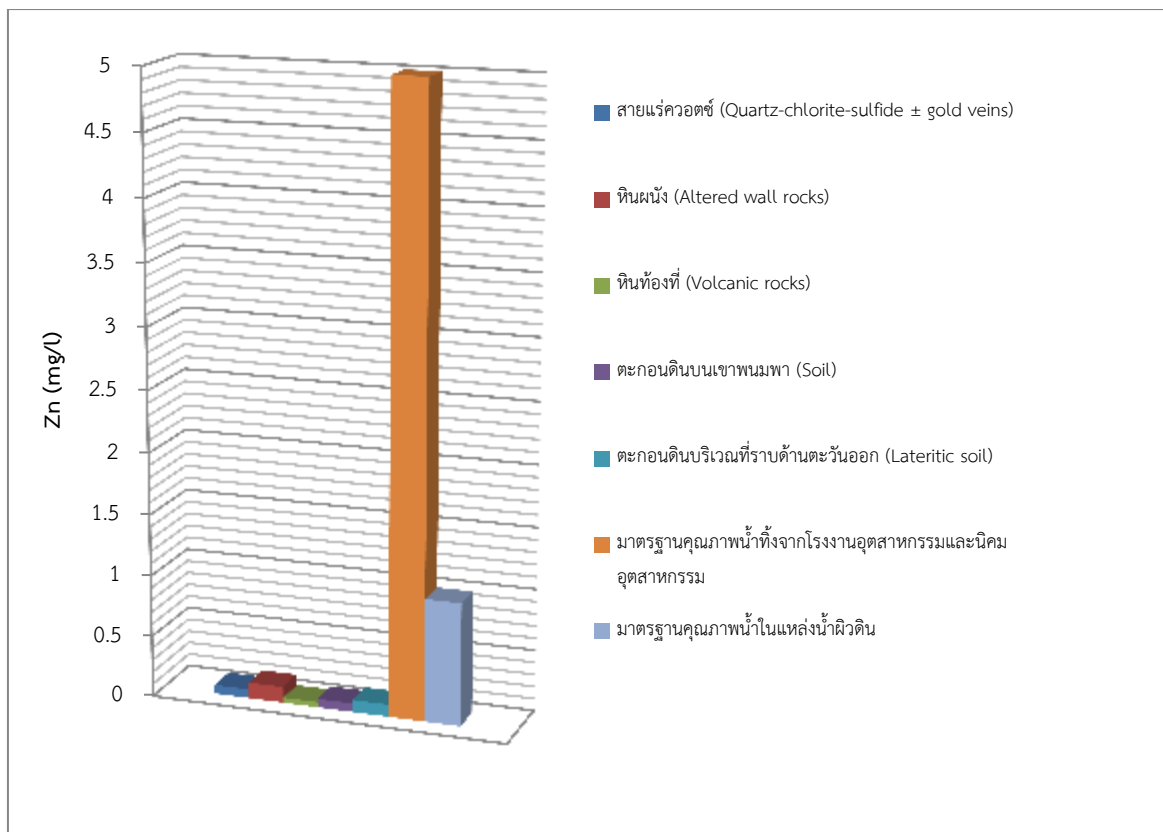
รูปที่ 4.11 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก แมงกานีส (Mn)



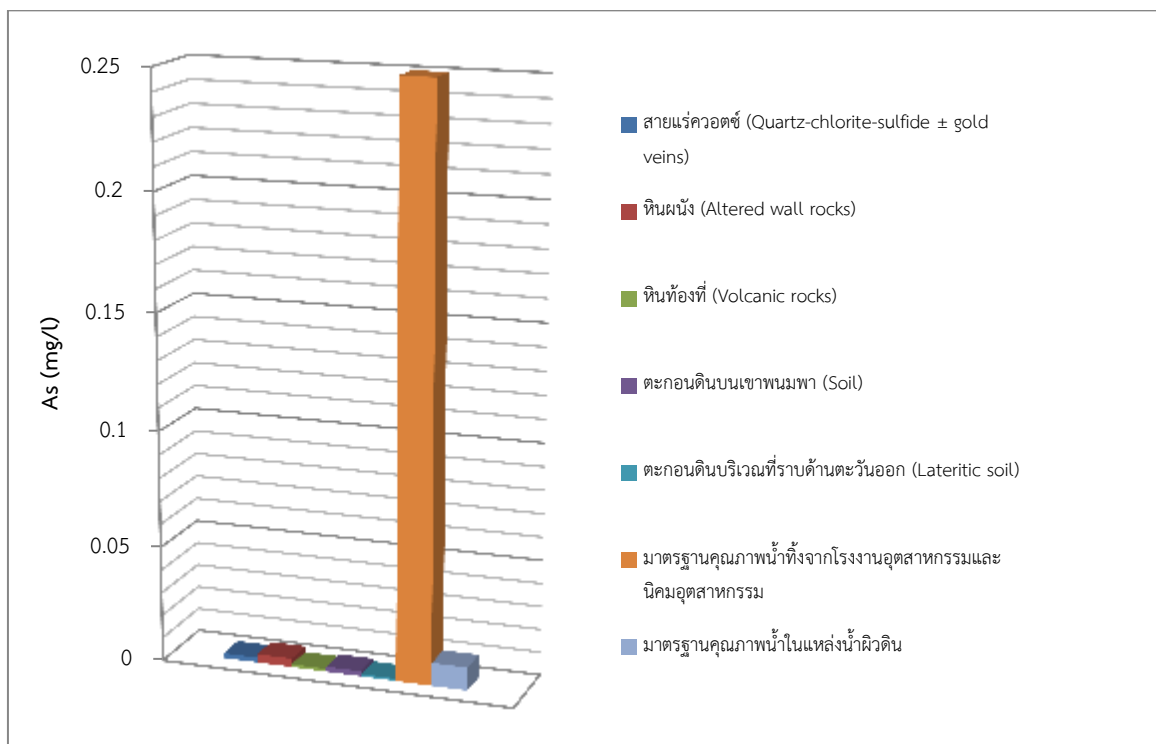
รูปที่ 4.12 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก นิกเกิล (Ni)



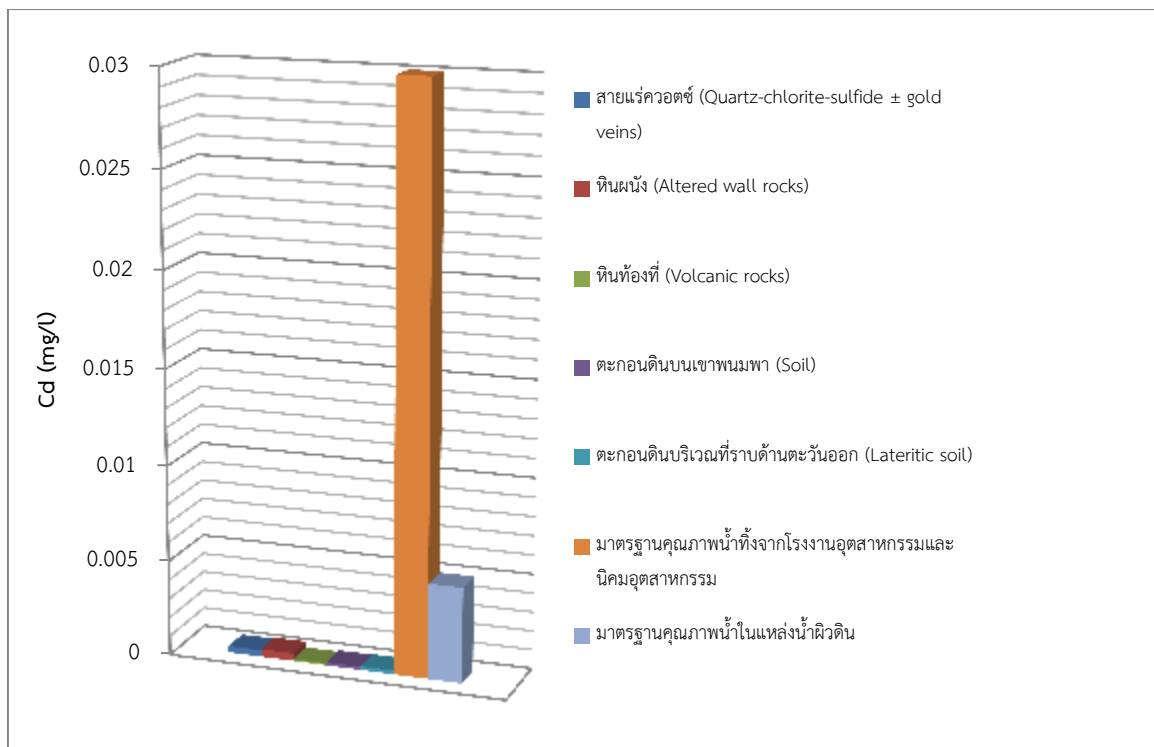
รูปที่ 4.13 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก ทองแดง (Cu)



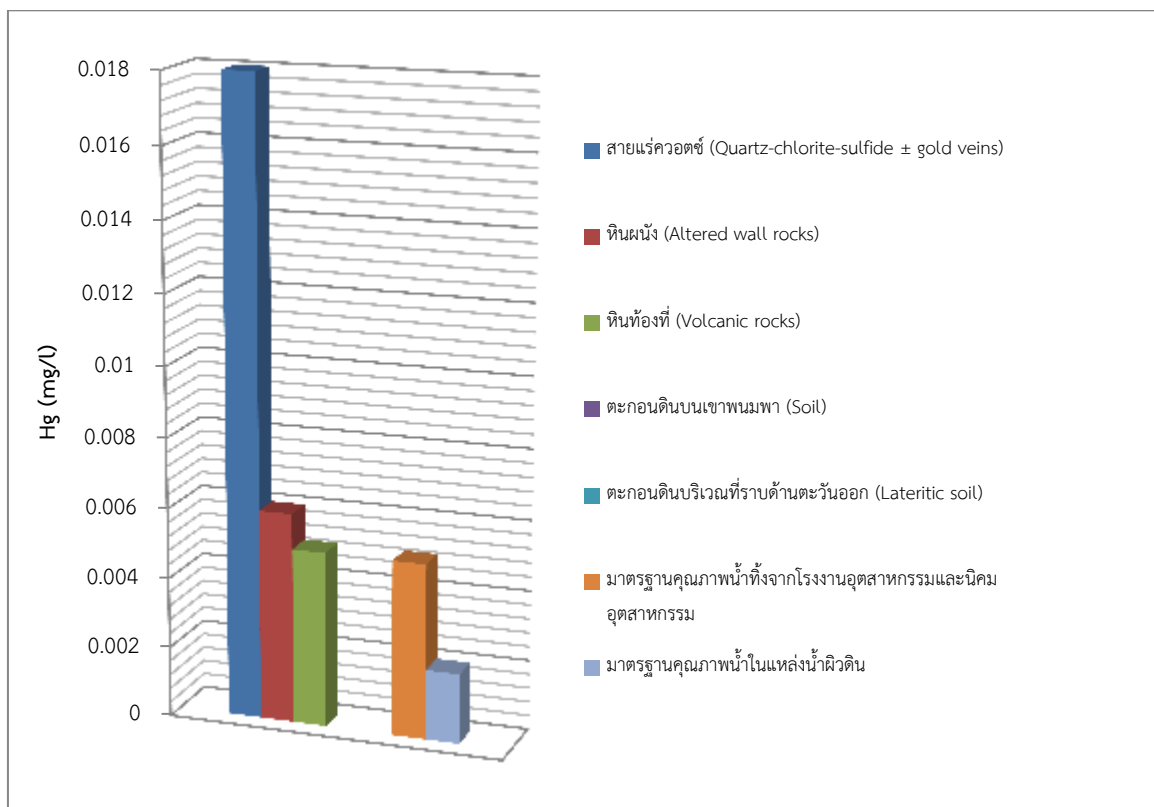
รูปที่ 4.14 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก สังกะสี (Zn)



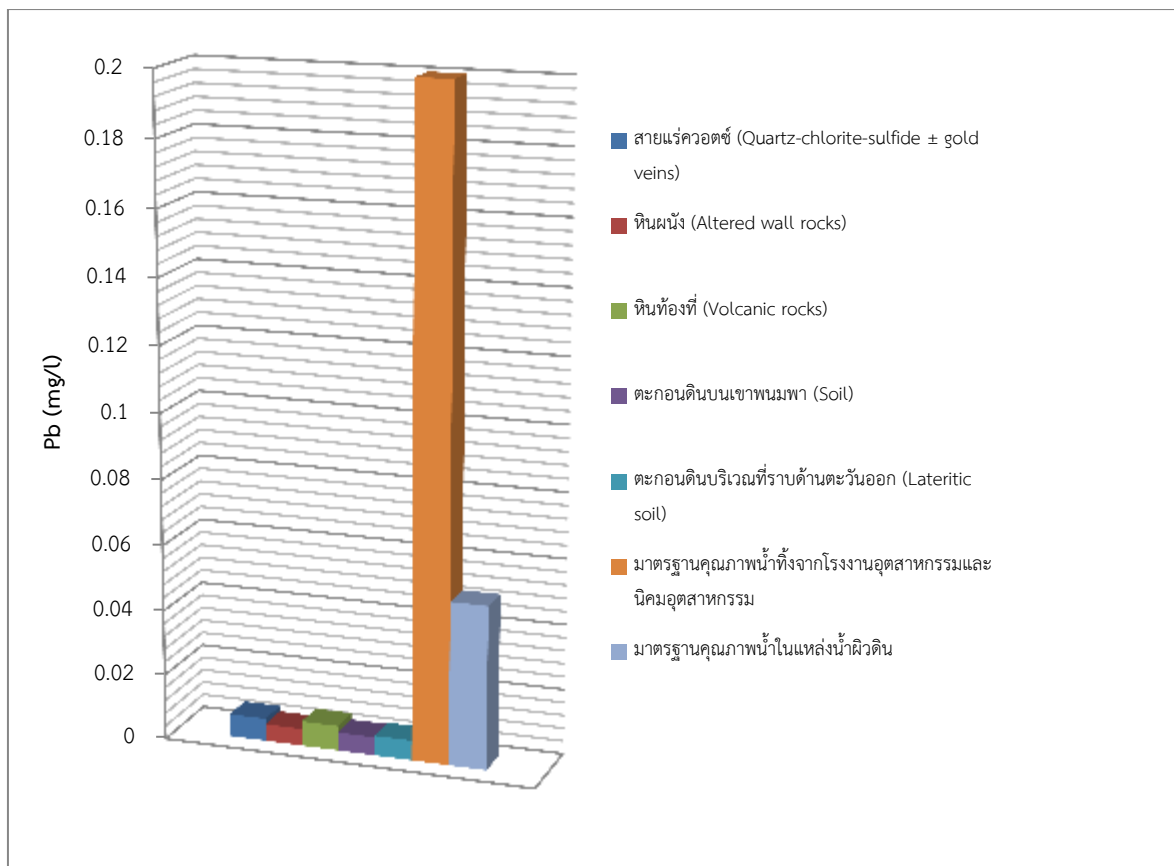
รูปที่ 4.15 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก สารหนู (As)



รูปที่ 4.16 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก แคดเมียม (Cd)



รูปที่ 4.17 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก ปรอท (Hg)



รูปที่ 4.18 แผนภูมิแท่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก ตะกั่ว (Pb)

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล (Discussion and Conclusion)

5.1 อภิปรายผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ที่สัณฐานวิทยาของแร่ซัลไฟด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง (Reflected light microscope) แล้วนำไปหาธาตุองค์ประกอบของแร่ซัลไฟด์ด้วยเครื่องมือ Electron Probe Micro Analysis (EPMA) รวมถึงผลการวิเคราะห์การชะละลายโลหะหนักด้วยวิธี Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) ที่พีเอช 4 โดยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) สามารถอภิปรายผลการศึกษาดังหัวข้อต่อไปนี้

5.1.1 ปริมาณและองค์ประกอบทางเคมีของแร่ซัลไฟด์จากตัวอย่างหิน

จากการคำนวณเปอร์เซ็นต์ของแร่โดยใช้สายตา (Tarduno et al., 2002, after Terry and Chilingar, 1955) พบว่าปริมาณแร่ซัลไฟด์ส่วนใหญ่พบมากในสายแร่ควอตซ์ รองลงมาคือ หินผนัง และ หินท้องที่ ตามลำดับ เนื่องจากแร่ซัลไฟด์เกิดอยู่ในสายแร่ควอตซ์ร่วมกับทอง ทำให้หินที่อยู่ใกล้สายแร่ควอตซ์ (หินผนัง) มีปริมาณแร่ซัลไฟด์มากกว่าหินที่อยู่ไกลห่างออกไป อีกทั้งสายแร่ควอตซ์ที่เขาพนมพามีทิศทางการวางตัวค่อนข้างชัน ทำให้น้ำแร่อ่อนที่มีแร่ซัลไฟด์ประกอบอยู่ไม่ได้เคลื่อนที่แพร่กระจายออกไปยังหินที่อยู่ข้างเคียง ไกลมากหนัก ซึ่งปริมาณแร่ซัลไฟด์ที่พบในเหมืองแร่ทองคำเขาพนมพามีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณแร่ซัลไฟด์ที่พบในแหล่งแร่ทองคำอื่นๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็น ไพไรต์ (FeS_2) สฟาเลอไรต์ (ZnS) คาลโคไพไรต์ (CuFeS_2) กาลีนา (PbS) (Salam, 2013)

โดยแร่ซัลไฟด์ที่พบในเหมืองแร่ทองคำเขาพนมพามี ไพไรต์ (FeS_2) พิไรโทต์ (Fe_{1-x}S) และ คาลโคไพไรต์ (CuFeS_2) มีธาตุร่องรอย (Trace element) ที่พบในเบื้องต้น คือ ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) สารหนู (As) เงิน (Ag) แคดเมียม (Hg) ทอง (Au)ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) แสดงให้เห็นว่าแร่ซัลไฟด์เหล่านี้นอกจากทำให้เกิดน้ำเหมืองเป็นกรด เนื่องจากการสลายตัว (Jennings et al., 2008) ยังมีองค์ประกอบของโลหะหนักต่างๆ ที่อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ เนื่องจากภายในโครงสร้างของแร่เหล่านี้มักมีธาตุร่องรอยเข้าไปแทนที่ในโครงสร้าง (Solid solution) (Vaughan and Craig, 1978) เป็นเพราะจำนวนประจุ ขนาดไอออนใกล้เคียงกันและที่อุณหภูมิสูงพันธะระหว่างไอออนจะมีการสั่นมากกว่าปกติ ทำให้โครงสร้างขยายตัว ไอออนขนาดใหญ่จึงสามารถเข้าไปแทนที่ได้ง่ายกว่าที่อุณหภูมิต่ำ แต่อย่างไรก็ตามธาตุเหล่านี้อาจอยู่ในรูปของมลทินของแร่ขนาดเล็กๆ ระดับไมโคร ถึง นาโน (Inclusions) ที่อยู่ในแร่ซัลไฟด์หลักที่พบก็เป็นได้ (Deditius et al., 2011) ซึ่งจากปริมาณธาตุร่องรอยที่พบมากที่สุดของแต่ละธาตุ จากการวิเคราะห์ด้วย EPMA คาดว่า ทอง 0.56 wt.% (5600 ppm) เงิน 0.20 wt.% (2000 ppm) สังกะสี 0.14 wt.% (1400 ppm) ปรอท 0.10 wt.% (1000 ppm) น่าจะเกิดอยู่ในรูปของ

inclusions เนื่องจากมีปริมาณมากพอที่จะอยู่ในรูปของแร่ขนาดเล็กระดับไมโคร นาโน และเกิดอยู่ในรูปของ solid solution ร่วมกับ ส่วนทองแดง 0.087 wt.% (870 ppm) สารหนู 0.080 wt.% (800 ppm) แคดเมียม 0.038 wt.% (380 ppm) และตะกั่ว 0.045 wt.% (450 ppm) ซึ่งพบว่าปริมาณน้อย น่าจะเกิดอยู่แต่ในรูปของ solid solution ซึ่งต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป โดยข้อมูลดังกล่าวนอกจากทำให้ทราบถึงวิวัฒนาการของน้ำแร่ร้อนจากธาตุที่เป็นองค์ประกอบภายในแร่ซัลไฟด์ที่พบแล้ว ยังทำให้ทราบถึงการเผชิญกับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย (Matlock et al., 2002; Reich et al., 2011)

5.1.2 การชะละลายโลหะหนัก

จากการวิเคราะห์ผลความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักด้วยวิธี SPLP ที่พีเอช 4 (เพื่อจำลองสถานการณ์เลวร้ายที่สุดที่คาดว่าจะเกิดการชะละลายออกมาของโลหะหนัก) จากตัวอย่างหินและตะกอนดินแต่ละชนิด พบว่าโลหะหนักที่มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม และมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินทั้งสองมาตรฐานทุกประเภทตัวอย่าง ได้แก่ โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) สังกะสี (Zn) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในส่วนของ ทองแดง (Cu) พบว่ามีแต่เฉพาะหินผ่นที่มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน และสุดท้ายคือปรอท (Hg) พบว่าในตัวอย่างหินทุกชนิดมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานทั้งสอง ซึ่งสายแร่ควอตซ์พบว่ามี การชะละลายปรอทออกมามากที่สุด รองลงมาคือ หินผ่น และสุดท้ายคือ หินทองที่ แต่ไม่พบปรอทในตัวอย่างตะกอนดิน ดังนั้นโลหะหนักที่ควรเฝ้าระวังมากที่สุดจากการทดสอบการชะละลายด้วยวิธี SPLP ที่พีเอช 4 คือ ปรอท และรองลงมาคือ ทองแดง โดยโลหะหนักที่ถูกชะละลายนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยาและแร่ต่างๆโดยเฉพาะแร่ซัลไฟด์ที่พบภายในพื้นที่เหมือง

ซึ่งถ้าสารชะละลายมีพีเอชต่ำกว่า 4 ก็จะทำให้ความสามารถในการชะละลายมากขึ้น เนื่องจากความสามารถในการชะละลายของโลหะหนักจะมากขึ้น เมื่อพีเอชลดลง (Jang et al., 2002; Van der Sloot and Van Zomeren, 2012) และเนื่องจากหินแต่ละก้อนมีปริมาณโลหะหนักไม่เท่ากัน แม้จะเป็นหินชนิดเดียวกัน เกิดในบริเวณเดียวกันจึงทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูงในแต่ละธาตุ (ตารางที่ 4.18)

โดยน้ำเหมืองเป็นกรดนั้นนอกจากน้ำและอากาศแล้ว สภาวะนี้จะถูกเร่งให้เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆ รวมถึงสามารถเกิดขึ้นได้อย่างยาวนานแม้ว่าจะมีการปิดเหมืองไปแล้วหลายสิบปีก็ตาม (Kimura et al., 2011) แต่อย่างไรก็ตาม โอกาสในการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด ยังสามารถคาดการณ์ และวางแผนในการช่วยลดผลกระทบได้ตั้งแต่ระยะสำรวจ ก่อนการทำเหมือง โดยทำการประเมินจากปริมาณของแร่ในกลุ่มซัลไฟด์ที่จะถูกขุดขึ้นมา และมีการปิดทับกองหินที่มีแร่ซัลไฟด์เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยากับน้ำและอากาศ (Kuyucak, 1999)

5.2 สรุป

การศึกษาศัลยารรณของแร่ซัลไฟด์มีแร่ที่พบ ได้แก่ ไพไรต์ (FeS_2) พิโรไทต์ (Fe_{1-x}S) และคาลโคไพไรต์ (CuFeS_2) มีธาตุร่องรอยที่พบ ได้แก่ ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) สารหนู (As) เงิน (Ag) แคดเมียม (Cd) ทอง (Au) พรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) โดยแร่ซัลไฟด์พบมากที่สุดในสายแร่ควอตซ์ รองลงมาหินผ่น้ำ และสุดท้ายหินท้องถิ่น ในส่วนของการทดสอบการชะละลายโลหะหนักจากตัวอย่างหิน และตะกอนดิน เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม และมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน พบว่าโลหะหนักที่ต่ำกว่ามาตรฐานทุกชนิดตัวอย่าง ได้แก่ โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) สังกะสี (Zn) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ยกเว้น ทองแดง (Cu) ในหินผ่น้ำมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน และ พรอท (Hg) ในตัวอย่างหินทุกชนิดมีค่าเกินค่ามาตรฐานทั้งสองมาตรฐาน ดังนั้นโลหะหนักที่ควรเฝ้าระวังมากที่สุด คือ พรอท และจากข้อมูลปริมาณแร่ซัลไฟด์ องค์ประกอบทางเคมีของแร่ซัลไฟด์โดยเฉพาะโลหะหนัก ร่วมกับ ผลการชะละลายพรอทในแต่ละตัวอย่างหินและตะกอนดิน สามารถจัดลำดับความสำคัญของการจัดเก็บ ดูแลได้ดังนี้ อันดับแรกสุด คือ สายแร่ควอตซ์ ตามด้วย หินผ่น้ำ หินท้องถิ่น และตะกอนดิน ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณแร่ซัลไฟด์ที่พบในเหมืองแร่ทองคำเขาพนมพาถือว่าน้อย เมื่อเทียบกับแหล่งแร่อื่นๆ อีกทั้งไม่พบแร่ที่มีโลหะหนักอันตรายในปริมาณมาก เช่น กาลีนา (PbS) และ อาซิโนไพไรต์ (AsFeS) เป็นต้น นอกจากนี้ปริมาณสายแร่ควอตซ์ หินผ่น้ำ ถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับหินท้องถิ่น โดยโครงการวิจัยนี้ นำไปสู่การวางแผนเฝ้าระวังโลหะหนักและป้องกันผลกระทบในอนาคตได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาศักยภาพในการสร้างกรดเพิ่มเติม เพื่อทำนายศักยภาพในการสร้างกรดของหิน และตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น

การทดสอบด้วยวิธี Acid/Base Accounting (ABA) ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

1. หาศักยภาพการสร้างกรดสูงสุด (Maximum Potential Acidity, MPA)
2. การหาความสามารถในการสะเทินกรด (Acid Neutralization Capacity, ANC)
3. การคำนวณศักยภาพการสร้างกรดสุทธิ (Net Acid Production Potential, NAPP) สามารถคำนวณได้จาก การนำ ค่า ANC ไปหักออกจากค่า MPA ($\text{NAPP} = \text{MPA} - \text{ANC}$)

การทดสอบด้วยวิธี Net Acid Generation (NAG) เป็นการวัดศักยภาพการเกิดกรดซัลฟูริกของซัลไฟด์โดยการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ลงในตัวอย่างแล้วนำไปต้มเพื่อเร่งปฏิกิริยาจนเกิดฟองทิ้งไว้ให้เย็นแล้ววัดค่าพีเอชสุดท้ายหลังทำปฏิกิริยาสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. มาตรฐานคุณภาพน้ำ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water.html [1 ตุลาคม 2558]
- กรมทรัพยากรธรณี, 2550. การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัด พิจิตร. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 57หน้า.
- คณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ . 2554. เปลี่ยนไป“เลย”ชะตากรรมของเมืองเลยภายหลังจากการเข้ามาของเหมืองทองคำ. บริษัท แพลนพรีนติ้งจำกัด, กรุงเทพฯ.
- นุชนาท นาคำ. 2550. การตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง ของเปลือกดินชั้นหิน (Acid-Base Accounting : ABA) เพื่อประเมินศักยภาพการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด. กลุ่มอุตสาหกรรมพื้นฐาน 4 สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, กรุงเทพฯ.
- พีรณัฐ วิเศษศรี, 2552. การศึกษาธรณีวิทยาแบบละเอียด และการศึกษาสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นที่เขาพนมพา อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร. โครงการงานวิทยาศาสตร์ (ธรณีวิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 213 หน้า.
- มัลลิกา ปัญญาคะโป. 2551. การจัดการของเสียอันตราย. กรุงเทพมหานคร: จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์.
- รสสุคนธ์ วรรณพฤกษ์, 2553. การประเมินศักยภาพในการทำให้เกิดน้ำเหมืองเป็นกรดของหินทิ้งบริเวณตอนเหนือของเหมืองทองอัครา ประเทศไทยพิจิตร. โครงการงานวิทยาศาสตร์ (ธรณีวิทยา) จุฬาลงกรณ์, 42 หน้า.
- Changul,C., Sutthirat, C., Padmanahban, G. , Tongcumpo,C., 2010. Chemical characteristics and acid drainage assessment of mine tailings from Akara Gold mine in Thailand. Environ Earth Sci 60:1583–1595.
- Deditius A., Utsunomiya S., Reich M., Kesler S. E., Ewing R. C.,Hough R. and Walshe J. (2011) Trace metal nanoparticles in pyrite. Ore Geol. Rev. 42, 32–46.
- Jennings, S.R., Neuman, D.R. and Blicher, P.S. 2008. Acid Mine Drainage and Effects on Fish Health and Ecology. A Review. Montana: Reclamation Reseach Group Publication.
- Jang Y, Townsend T, Ward M, Bitton G (2002) Leaching of arsenic, chromium, and copper in a contaminated soil at a wood preserving site. Bull Environ Contam Toxicol 69:808–816

- Khin Zaw, Meffre, S., Lai. C., Burrett, C., Santosh, M., Graham, I., Manaka, T., Salam, A., Kamvong, T. and Cromie, P. 2014. Tectonics and metallogeny of mainland Southeast Asia- A review and contribution. *Gondwana Research* 26, 5-30.
- Kimura, S., Bryan, C.G., Hallberg, K.B., and Johnson, D.B. Biodiversity and geochemistry of an extremely acidic, low-temperature subterranean environment sustained by chemolithotrophy. *Environmental Microbiology* 13,8 (2011): 2092-2104.
- Kuyucak, N. Acid mine drainage prevention and control options. Mine, water & environment, IMWA Congress, 599-606. Spain, 1999.
- Matlock M. M., Howerton B. S. and Atwood D. A. (2002) Chemical precipitation of heavy metals from acid mine drainage. *Water Res.* 36, 4757–4764.
- Mean, J.L. et al. 1995. The application of Solidification/Stabilization to Waste Material. America:Lewis Publishers.
- Reich M., Hough R. M., Deditius A., Utsunomiya S., Ciobanu C. L. and Cook N. J. (2011) Nanogeoscience in ore systems research: principles, methods, and applications. *Ore Geol. Rev.* 42, 1–5.
- Salomon, W. and Forstner, U. 1984. Metals in hydrocycle Berlin: Springer.
- Todd, J. and Reddick, K. 1997. Acid Mine Drainage. Groundwater Pollution Primer. CE4594. Soil and groundwater Pollution Civil Engineering Department, Virginia Tech.
- U.S.EPA (United States Environment Protection Agency). 1994. Method 1312 synthetic precipitation leaching procedure. [Online]. Available from: <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw856/pdfs1312.pdf>. September 20, 2015.
- Van der Sloot, H.A. and A. Van Zomeren. 2012. Characterisation leaching tests and associated geochemical speciation modeling to assess longterm release behavior from extraction wastes. *Mine Water and the Environment* 31: 92-103.
- Vaughan DJ, Craig JR (1978) Mineral chemistry of metal sulfides. Cambridge Earth Science Series, Cambridge University Press, Cambridge