



โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ ศิลาวรรณาและธรรมเนียมของหินบะซอลต์ บริเวณบ้านหาดงา
เมืองหลวงพระบาง ภาคเหนือของประเทศไทย

ชื่อนิสิต นาย นิติรัฐ อุตระสินธุ์
รหัสประจำตัวนิสิต 493 27153 23

ภาควิชา ธรณีวิทยา

ปีการศึกษา 2552

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**Petrography and Geochemistry of Basalt, Ban Hat Nga, Luang
Prabang, Northern Laos PDR**

Mr. Nitirath Utarasin

**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE BACHELOR OF
SCIENCE, DEPARTMENT OF GEOLOGY,
CHULALONGKORN UNIVERSITY, 2009**

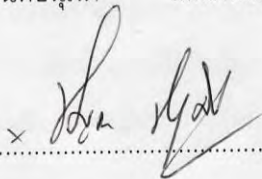
ศิลปวรรณคดีและธรรมเนียมของหินบะชอลด์บริเวณบ้านหาดงา เมืองหลวงพระบาง
ภาคเหนือของประเทศไทย

นาย นิติรัฐ อุตระสินธุ์

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พุทธศักราช 2552

วันที่ส่ง ..20/04./53.

วันที่อนุมัติ ..20/04./53.

x 

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปัญญา จารุศิริ)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ศิลาวรรณาและธรณีเคมีของหินบะซอลต์บริเวณบ้านหาดงา, เมืองหลวงพระบาง, ภาคเหนือของ ประเทศลาว

นิติรัฐ อุตริสินธุ์

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

โทร: 022185460 อีเมล : saufee_36c3@hotmail.com

บทคัดย่อ

หินบะซอลต์ซึ่งแผ่ปกคลุมพื้นที่ประมาณ 3 ตารางกิโลเมตรในบริเวณในแถบบ้านหาดงา ใกล้ตัวเมืองหลวงพระบาง และทางตอนเหนือของหลวงพระบางตรงบริเวณบ้านห้วยโลประมาณ 2 ตารางกิโลเมตร ได้ถูกเลือกให้เป็นพื้นที่ศึกษาเนื่องจาก โผล่ให้เห็นตามถนนหมายเลข 13 ตลอดเส้นทาง หินบะซอลต์เกิดอยู่ร่วมกับหินปูนยู คเฟอร์โมคาร์บอนิเฟอรัส จากการศึกษาภาคสนามพบว่าหินบะซอลต์แสดงโครงสร้างรูปหมอนเป็นแห่งๆและหินบะซอลต์ที่มีโครงสร้างหนา และพบกระจายตัวต่อเนื่องเป็นระยะทางกว่า 17 กิโลเมตร จนถึงบ้านห้วยโล ในการศึกษาได้เก็บตัวอย่างและหินบะซอลต์ที่สดเพื่อนำมาศึกษาศิลาวรรณาและธรณีเคมีจำนวน 16 ตัวอย่าง

ผลการศึกษาจากศิลาวรรณาสามารถจำแนกหินบะซอลต์ที่มีแร่เด่นคือแพลจีโอเคลส และคไลโนไฟร็อกซีนเป็นผลึกดอก และยังมีแร่โอลิวีนในบางตัวอย่าง เนื้อหินประกอบด้วยแร่ microlite และ micropyroxene โดยมี texture เป็นแบบ trachytic และ porphyritic texture

จากการวิเคราะห์เคมีของหินตัวอย่างได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี X-Ray Fluorescence (XRF) พบว่าส่วนใหญ่เป็นหินบะซอลต์ชนิด sub-alkaline/tholeiite มีองค์ประกอบออกไซด์ดังนี้ $\text{SiO}_2 = 41.98\text{-}48.91 \text{ wt\%}$, $\text{MgO} = 4.76\text{-}11.89 \text{ wt\%}$, $\text{CaO} = 3.68\text{-}14.38 \text{ wt\%}$, $\text{K}_2\text{O} = 0.12\text{-}1.94 \text{ wt\%}$, $\text{Na}_2\text{O} = 1.62\text{-}5.41 \text{ wt\%}$ และ $\text{Ti/V} = 20\text{-}50$ ซึ่งแยกประเภทได้เป็นชนิด basalt, basaltic andesite, andesite และ trachydacite

จากข้อมูลของธาตุออกไซด์หลักและธาตุพบน้อยบางตัวทำให้ทราบว่าหินบะซอลต์ในพื้นที่ศึกษาเมื่อพิจารณาจากสภาพการธรณีแปรสัณฐานพบว่าส่วนใหญ่น่าจะมีการเกิดแบบ Mid Oceanic Ridge Basalt (MORB) และแบบ Island Arc Tholeiite (IAT) เล็กน้อย ส่วนผลหาอายุด้วยวิธี Ar-Ar พบว่าหินบะซอลต์บริเวณดังกล่าวแสดงอายุโดยรวม (integrated age) ประมาณช่วงครีเตเชียสตอนต้น (110.11 ± 0.61 ล้านปี) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะธรณีวิทยาพบว่าอายุที่ได้เป็นอายุที่อ่อนกว่าหินในพื้นที่บริเวณใกล้เคียง ซึ่งอายุที่แท้ของหินบะซอลต์บริเวณดังกล่าวอยู่ในช่วงเพอร์มีโทรแอสซิก (ประมาณ 250 ล้านปี)

คำสำคัญ : บ้านหาดงา, บะซอลต์, โครงสร้างรูปหมอน

Petrography and Geochemistry of Basalt, Ban Hat Nga, Luang Prabang, Northern Laos PDR

Nitirat Utarasin

Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, 10330,
Thailand
Email : saufee_36c3@hotmail.com

Abstract

Ban Hat Nga area, the north of Luang Prabang in Laos PDR is encompassed Permo-Triassic volcanic rocks. The outcrop of volcanic rocks has shown characteristic of pillow structure and massive structure. Field and petrographic studies reveal that volcanic rocks can be phyric basalt. The dominant minerals are plagioclase and clinopyroxene in phenocrysts and olivine. Groundmass included microlite and micropyrroxene. Mostly, shows trachytic and porphyritic texture. In geochemistry, The most of basalt from Ban Hat Nga area is sub-alkaline/tholeiite, characterized by $\text{SiO}_2 = 41.98\text{-}48.91$ wt%, $\text{MgO} = 4.76\text{-}11.89$ wt% $\text{CaO} = 3.68\text{-}14.38$ wt%, $\text{K}_2\text{O} = 0.12\text{-}1.94$ wt%, $\text{Na}_2\text{O} = 1.62\text{-}5.41$ wt% and $\text{Ti/V} = 20\text{-}50$. They may be classified as basalt, basaltic andesite, andesite and trachydacite. In this data show that two main group as MORB and IAT. The Ar-Ar isotopic age indicated that volcanic rock approximately Early Cretaceous (110.11 ± 0.61 Ma). However, age are appreciably younger than others rock near the area, reflecting varying degrees of thermal resetting during the Mesozoic and Cenozoic. True age of basalt in Ban Hat Nga area is Permo-Triassic (approximate 250 Ma).

Key words : Ban Hat Nga, basalt, pillow structure

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ หากไม่ได้รับคำแนะนำ และความช่วยเหลือจากรองศาสตราจารย์ ดร. ปัญญา จารุศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และอาจารย์วิโรจน์ ดาวฤกษ์ ที่คอยชี้แนะและให้คำปรึกษาในการออกภาคสนาม รวมไปถึงคุณเกียรติขจร (พี่เตี๊ยะ), ท้าวภูเวียงชัย, ท้าวบุญมีและท้าวบุญทศ (ทั้ง 3 ท่านเป็นนักธรณีวิทยาประเทศไทย) ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการออกภาคสนาม และ กรมทรัพยากรแหล่งแร่ของ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวที่อำนวยความสะดวกในการทำโครงการนี้ขณะออกภาคสนาม

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่คอยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางธรณีวิทยา รวมทั้งประสบการณ์ต่างๆ และพี่ๆ บุคลากรภาควิชาธรณีวิทยาทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆธรณีวิทยา รุ่น 50 ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจตลอดการทำงานครั้งนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นายศุภชัย ชูสวัสดิ์, นายพีรณัฐ วิเศษศรี, นายธนเศรษฐ์ ชูชะเอม ที่ได้แนะนำและช่วยเหลืองานจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญตาราง.....	vi
สารบัญรูปภาพ.....	vii
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 การตรวจสอบเอกสาร.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	3
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.5 วิธีดำเนินการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ธรณีวิทยาแม่เมาะ	
2.1 ลักษณะทางธรณีวิทยาทั่วไปในประเทศลาว.....	8
บทที่ 3 ธรณีวิทยาในพื้นที่	
3.1 ธรณีวิทยาโทรสัมผัสน.....	17
3.2 ธรณีวิทยาภาคสนาม.....	17
3.2.1 การลำดับชั้นหิน.....	17
3.2.2 หินอัคนี.....	18
3.2.3 ธรณีวิทยาโครงสร้าง.....	18

บทที่ 4 ศิลาวรรณา

- 4.1 ลักษณะทางศิลาวรรณา.....26
- 4.2 การจำแนกชนิดหิน.....33

บทที่ 5 ธรณีเคมี

- 5.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุออกไซด์หลักและธาตุรอง.....34
- 5.2 การจำแนกหินและธรณีแปรสัณฐาน.....38

บทที่ 6 ธรณีกาลวิทยา

- 6.1 ตัวอย่างหินบะซอลต์.....41
- 6.2 การวิเคราะห์หาอายุหินบะซอลต์.....41
- 6.3 ผลการวิเคราะห์หาอายุหินบะซอลต์.....43

บทที่ 7 อภิปรายผลการวิจัย

- 7.1 อภิปรายผลการศึกษาศิลาวรรณา.....44
- 7.2 อภิปรายผลการศึกษาธรณีเคมี.....45
- 7.3 อภิปรายผลการหาอายุด้วยวิธี $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$50

บทที่ 8 สรุปผล.....56**เอกสารอ้างอิง****ภาคผนวก**

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	ขั้นตอนการทำงาน.....	7
ตารางที่ 3.1	ตัวอย่างหินบะซอลต์ในพื้นที่ศึกษาบ้านหาดงา.....	22
ตารางที่ 5.1	ปริมาณ major oxide และ trace element บางตัวจากตัวอย่างหินอัคนีภูเขาไฟชนิดสีเข้มบริเวณ บ้านหาดงา.....	35
ตารางที่ 6.1	สรุปผลการวิเคราะห์อายุหินบะซอลต์ ด้วยวิธี $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ไอโซโทป.....	43
ตารางที่ 7.1	สรุปผล $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ incremental heating experimental.....	54

สารบัญรูปภาพ

รูป 1.1 แสดงแผนที่ประเทศลาวและพื้นที่ศึกษาซึ่งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศลาว (อ้างอิงจาก http://homepages.csp.edu/hillmer/Hmong_OHP.html).....	5
รูป 1.2 แผนที่แสดงชั้นความสูงของพื้นที่ที่ศึกษาในเขตบ้านหาดงา จังหวัดหลวงพระบางประเทศลาว ซึ่งเป็น พื้นที่แนวยาวตามถนนทางหลวงหมายเลข 13 (ดัดแปลงจากแผนที่ภูมิประเทศลาว SERIES L509, SHEET NF 48-13, EDITION 1-AMS).....	6
รูปที่ 2.1 ก แผนที่ธรณีวิทยาทางตอนเหนือของประเทศลาว (ดัดแปลงจาก UNESCAP.,1998) ข แผนที่ ธรณีวิทยาทางตอนใต้ของประเทศลาว (ดัดแปลงจาก UNESCAP.,1998).....	13
รูปที่ 3.1 ภาพถ่ายดาวเทียม (google earth) ในพื้นที่ศึกษาแสดงลักษณะแนวการกระจายตัวของหินบะซอลต์ และแนวการวางตัวของภูเขาทิศทาง NE-SW และแสดงหินโผล่ชนิดหินอัคนีภูเขาไฟสีเข้ม(ดัดแปลง จาก google earth).....	19
รูปที่ 3.2 ก แผนที่ธรณีวิทยา ในพื้นที่บ้านหาดงาและจุดเก็บตัวอย่าง (sketch โดยนิติรัฐ อุดรสินธุ์) ข รูปพื้นที่ ภาพตัดขวางในแนว X-Y ในรูป ก.....	20
รูปที่ 3.3 ก หินโผล่ของหินบะซอลต์ที่พบบริเวณพื้นที่ศึกษาบ้านห้วยโล 20°5'N, 102°16'E ข ภาพขยายของหิน โผล่บะซอลต์ที่แสดงในรูป ก.....	23
รูปที่ 3.4 ก หินโผล่ของมวลหินอัคนีภูเขาไฟสีเข้มในพื้นที่ศึกษาริมถนนหมายเลข 13 หลักกิโลเมตร ที่ 415-416 จุดศึกษาบ้านหาดงา ข ตำแหน่งหินโผล่ของรูป ก ในแผนที่ภูมิประเทศพิกัดที่ 20°05'N 102°15'E.....	24
รูปที่ 3.5 ก) หินโผล่ของหินบะซอลต์ในพื้นที่ศึกษาบริเวณบ้านห้วยมาด ริมถนนหมายเลข13 ข) ตำแหน่งของ รูป ก ในแผนที่ภูมิประเทศ พิกัดที่ 20°03'N 102°15'E.....	25
รูปที่ 4.1 แผ่นหินขัดเรียบของหินบะซอลต์ ก) Aphyric basalt ที่มี calcite vein ตัดผ่านเนื้อหินในตัวอย่าง PO- 03 และ ข) Phyric basalt แสดงเนื้อหินแบบ amygaloidal (A) ในตัวอย่าง NO-08.....	26

- รูปที่ 4.2 แผ่นหินขัดเรียบของหินบะซอลต์ ก) Phyrlic basalt แสดงเนื้อหินแบบ Vesicular (V) และ Amygaloidal (A) ในตัวอย่าง NO-07 และ ข) Aphyric to sparsely plagioclase ± olivine phyrlic basalt ในตัวอย่าง NO-08.1.....27
- รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหินบะซอลต์แสดง phenocryst ของ olivine (Ol) และ plagioclase (Pl) ในเนื้อพื้นที่เป็น glasses texture (ในตัวอย่าง PO-03 จุดเก็บตัวอย่างดูในรูป 3.2).....28
- รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหินบะซอลต์แสดง phenocryst ของแร่ hornblende (Hbl) ซึ่งเป็นแร่ทุติยภูมิและ plagioclase (Pl) ในเนื้อพื้น groundmass แบบ glass texture (microlites) ในตัวอย่าง NO-08 (จุดเก็บตัวอย่างดูในรูป 3.2).....29
- รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหินบะซอลต์แสดง vesicular texture ถูกแทนที่โดยแร่ chlorite (Chl) ซึ่งเป็นแร่ทุติยภูมิ และแร่ plagioclase (pl) ในเนื้อ glass texture (microlites) ที่เป็น trachytic texture ในตัวอย่าง NO-07 (จุดเก็บตัวอย่างดูในรูป 3.2).....30
- รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหินบะซอลต์แสดง phenocryst ของ plagioclase (pl) ในเนื้อพื้นของ groundmass ที่ประกอบด้วย clinopyroxene และ glass texture (microlites) (sample no. NO-08.1).....31
- รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหินบะซอลต์แสดงเนื้อพื้นแบบ trachytic texture (microlites เรียงตัวไปในทิศทางเดียวกัน) ในตัวอย่าง NO-12 (จุดเก็บตัวอย่างดูในรูป 3.2).....32
- รูปที่ 5.1 การจำแนกหินอัคนีภูเขาไฟในพื้นที่บริเวณบ้านหาดงาโดยเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง SiO_2 กับ ธาตุอัลคาไลน์ ($Na_2O + K_2O$) ปรากฏว่าส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม Subalkaline/Tholeiite basalt (กราฟจาก Le Bas et al. 1986)..... 36
- รูปที่ 5.2 AFM variation triangular ของ subalkaline basalt ในบริเวณบ้านหาดงาซึ่งอยู่ใน field ของ Tholeiite (กราฟจาก Irvin และ Baragar, 1971).....36

รูปที่ 5.3 MnO ₂ -TiO ₂ -P ₂ O ₅ discrimination diagram ของหินบะซอลต์ในบริเวณบ้านหาดงาซึ่งอยู่ใน field ของ MORB และ IAT (กราฟจาก Mullen, 1983).....	37
รูปที่ 5.4 ก) Ti-Zr-Y discrimination diagram ของหินบะซอลต์บริเวณบ้านหาดงา ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ใน field ของ WPB (กราฟจาก Pearce และ Cann, 1973) และ ข) Ti-Zr-Sr discrimination diagram ของหินบะซอลต์บริเวณบ้านหาดงาซึ่งส่วนใหญ่อยู่ใน field ของ IAT (กราฟจาก Pearce และ Cann, 1973).....	37
รูปที่ 5.5 Ti-Zr diagram ของหินบะซอลต์บริเวณบ้านหาดงาส่วนใหญ่อยู่ใน field ของ MORB (กราฟจาก Pearce และ Cann, 1973).....	39
รูปที่ 5.6 Ti-V discrimination diagram ของหินบะซอลต์บริเวณบ้านหาดงาซึ่งส่วนใหญ่มีค่า Ti/V ระหว่าง 20-50 จัดอยู่ในกลุ่ม MORB (กราฟจาก Shervais, 1982).....	40
รูปที่ 6.1 แผนภูมิแสดงลักษณะ (บน) age spectra (กลาง) Ca/K และ (ล่าง) Cl/K เทียบกับ cumulative ³⁹ Ar released ของตัวอย่างหินบะซอลต์ LP-03 จากบริเวณทางใต้ของบ้านหาดงา เมืองหลวงพระบาง ประเทศลาว.....	42
รูปที่ 7.1 ก) Ti-Zr-Y discrimination diagram ของหินบะซอลต์จากพื้นที่ต่างๆ (กราฟจาก Pearce และ Cann, 1973) และ ข) Ti-Zr-Sr discrimination diagram ของหินบะซอลต์จากพื้นที่ต่างๆ (กราฟจาก Pearce และ Cann, 1973).....	46
รูปที่ 7.2 Ti-Zr diagram ของหินบะซอลต์ในพื้นที่ Δ บริเวณจังหวัดเลย (Intasopa, 1993), \circ บริเวณบ้านหาดงา และ $+$ บริเวณบ้านดอนเงิน (ศุภชัย ชูสวัสดิ์, 2010) (กราฟจาก Pearce และ Cann, 1973).....	47
รูปที่ 7.3 MnO ₂ -TiO ₂ -P ₂ O ₅ discrimination diagram ของหินบะซอลต์ Δ บริเวณจังหวัดเลย (Intasopa, 1993), \circ บริเวณบ้านหาดงาและ $+$ บริเวณบ้านดอนเงิน (ศุภชัย ชูสวัสดิ์, 2010) ซึ่งอยู่ใน field ของ MORB และ IAT (กราฟจาก Mullen, 1983).....	48
รูปที่ 7.4 MgO-Fe ₂ O ₃ -Al ₂ O ₃ discrimination diagram ของหินบะซอลต์ Δ บริเวณจังหวัดเลย (Intasopa, 1993), \circ บริเวณบ้านหาดงาและ $+$ บริเวณบ้านดอนเงิน (ศุภชัย ชูสวัสดิ์, 2010) ซึ่งอยู่ใน field ของ MORB และ IAT (กราฟจาก Pearce, 1977).....	49

- รูปที่ 7.5 ก) ตัวอย่างกราฟแสดงลักษณะของ Ar-Ar age spectrum ของ dike จากทางใต้ของเทือกเขา Urals (Earnst et al., 2008) ให้สังเกตการเปลี่ยนแปลงของอายุแกน Y จากสภาพ Plateau age ทางซ้าย เทียบกับอายุด้านขวาที่สูงขึ้นไปจนถึงประมาณ 1300-1400 Ma ข) คำอธิบายรูป ก ให้สังเกตใน วงเล็บที่ใช้วิธี U-Pb หาอายุได้ 1385.3 ± 1.4 Ma (Earnst et al., 2006) ซึ่งสัมพันธ์กับอายุที่ปรากฏทาง ด้านขวาของ Ar-Ar age spectrum.....52
- รูปที่ 7.6 กราฟแสดงลักษณะของ Ar-Ar age spectrum ของหินบะซอลต์ทางตะวันตกของ South China block (Yangze platform) ที่อาจได้รับการ overprint ทาง tectonic ในช่วงอายุประมาณ 45-60 Ma และเทียบกับ Spectrum ของ LP-03 ในรูป 7.3 (Ali et al., 2004).....53
- รูปที่ 7.7 กราฟแสดงลักษณะของ Ar-Ar age spectrum ของหินบะซอลต์ (LP-03) ในพื้นที่ศึกษาบ้านหาดงา ประเทศลาว.....53
- รูปที่ 7.8 แผนที่แสดงจุดที่มีการศึกษาหาอายุของหินด้วยวิธี K-Ar และ Ar-Ar บริเวณจังหวัดเลยและบางพื้นที่ ในประเทศลาว.....55

-
- 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย
 - 1.2 การตรวจสอบเอกสาร
 - 1.3 วัตถุประสงค์
 - 1.4 ขอบเขตการศึกษา
 - 1.5 วิธีดำเนินการศึกษา

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

บริเวณภาคเหนือของประเทศไทยเป็นบริเวณที่มีการสำรวจพบหินอัคนีภูเขาไฟสีเข้มจำพวกหินแอนดีไซต์ หินเดไซต์ และบะซอลต์กระจายอยู่ทั่วไป (UNESCAP, 1990) จากการศึกษาภาพถ่ายทางดาวเทียม หรือภาพถ่ายทางอากาศบริเวณหลวงพระบาง พบว่าโครงสร้างของหินภูเขาไฟมีการกระจายตัวและการวางตัว 2 แนวคือแนวเหนือ-ใต้ และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเชื่อว่าแนวเหนือ-ใต้น่าจะมีความต่อเนื่องจากตะเข็บธรณีเลย (Manaka et al., 2008) (Stoke et al., 1996) (Charusiri et al., 1995) ส่วนแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้เชื่อกันว่ามีความต่อเนื่องจากแนวตะเข็บธรณีน่าน (Manaka et al., 2008) (Sone and Metcalfe., 2007) และอาจจะต่อเนื่องไปถึงตะเข็บธรณีจีนหง ซึ่งอยู่ทางตอนใต้ของประเทศจีน (Sone and Metcalfe., 2007) แต่ก็ยังไม่มีหลักฐานแน่ชัดที่จะบ่งบอกว่าแนวหินภูเขาไฟดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับแนวตะเข็บธรณีทั้งสามอย่างไร ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจที่จะนำปัญหาดังกล่าวมาศึกษาโดยจะลักษณะของหินภูเขาไฟบริเวณที่สนใจด้วยวิธีสีลาอรรณา และวิเคราะห์ธรณีเคมี เพื่อนำมาเปรียบเทียบลักษณะธรณีแปรสัณฐานที่เกิดขึ้น และช่วงอายุที่เกิดเพื่อหาความสัมพันธ์ของหินภูเขาไฟสีเข้ม

ทางผู้วิจัยได้เลือกพื้นที่ศึกษาบริเวณเมืองหลวงพระบาง เพราะเมื่อได้พิจารณาจากภาพถ่ายดาวเทียมแล้วบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่แนวการวางตัวของหินสองแนวคือแนวเหนือ-ใต้ และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยได้ทำการศึกษาหินโผล่ชนิดหินอัคนีภูเขาไฟสีเข้มที่พบตามแนวถนนหมายเลข 13 ที่อยู่ห่างขึ้นไปจากตัวเมืองหลวงพระบาง ซึ่งอยู่ในพื้นที่บ้านหาดงาตลอดจนถึงพื้นที่บ้านห้วยวัง (รูปที่ 1.1 และ 1.2)

1.2 การตรวจสอบเอกสาร

Faure และ Schiano (2004) ได้ทำการศึกษา sparsely phyric basalt ที่ได้มาจาก Mid-Atlantic Ridge ($30^{\circ}41'N$) (latitude $30^{\circ}41' N$, longitude $41^{\circ}50' W$; water depth 3640 m) ซึ่งมีลักษณะ ผลึกของโอลิวีนแตกต่างกัน 4 แบบ และได้นำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติการเกิดของแต่ละแบบ พบว่าอุณหภูมิมีความหลากหลายเกิดขึ้นจึงสรุปได้ว่ามีความปั่นป่วนในหินหนืด (turbulent magma) เชื่อว่าน่าจะเกิดจากกระบวนการทาง plate tectonics

Khositanont et al. (2008) ศึกษาหินอัคนีภูเขาไฟและหินอัคนีบาดาลที่อยู่ในแนวชั้นหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ (Loei- Petchabun Fold Belt) ในจังหวัดเพชรบูรณ์และจังหวัดเลย พบว่าหินอัคนีภูเขาไฟที่พบในจังหวัดเพชรบูรณ์มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นหินบะซอลต์และหินแอนดีไซต์ ซึ่งแตกต่างจากพื้นที่ทางตอนเหนือของเลยที่มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นหินไรโอไลต์ เมื่อรวมกับผลการหาอายุจาก U-Pb Zircon สรุปได้ว่าทางตอนเหนือของแนวชั้นหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ในประเทศไทยแสดงลักษณะของพื้นมหาสมุทรในมหาสมุทรแปซิฟิกตอนปลายและหมู่เกาะรูปโค้งกลางมหาสมุทรในมหาสมุทรแปซิฟิกตอนต้น และการเปลี่ยนแปลงของหินอัคนีภูเขาไฟและหินอัคนีบาดาลบริเวณ back arc ในพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์น่าจะเกิดจากการชนและเชื่อมกันของจุลทวีปชานไทยและอินโดจีนที่เกิดในยุคไทรแอสซิกตอนปลาย

Panjasawatwong และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาหินอัคนีพุบริเวณปากชม จังหวัดเลย ซึ่งเป็นหินยุค Late Devonian-Early Carboniferous สามารถแยกต้นกำเนิดหินหนืดได้เป็น 3 กลุ่มคือ transitional tholeiite basalt, tholeiite microgabbro และ calc alkalic basalt/andesite การศึกษาทางธรณีเคมีของหินทั้ง 3 กลุ่มพบว่าเกิดจาก MORB และ OIB ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับแนวหินอัคนีภูเขาไฟเชียงราย-เชียงใหม่

Phajuy และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ธรณีเคมีของหินบะซอลต์ในบริเวณเชียงใหม่ พบว่าเป็น Mid-Oceanic Ridge Basalt (MORB) และ Oceanic Island Basalt (OIB) โดย MORB เป็น Tholeiitic basalt เกิดในรูป lava flow และ dike มีองค์ประกอบทางเคมีที่คล้ายกับ T-MORB บริเวณพื้นที่จุดร่วมระหว่าง Du Toit fracture zone และ Southwest Indian Ridge ส่วน OIB ปรากฏในรูป pillow breccia, lava flow หรือ dike ซึ่งมีลักษณะทางเคมีคล้ายกับตัวอย่างจาก Haleakala Volcano, Muai, Hawaiian Chain.

Phajuy et al. (2005) ศึกษาหินอัคนีในบริเวณปางมะเขำ อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแนวชั้นหินคดโค้งเชียงราย -เชียงใหม่ (Chiang Rai-Chiang Mai Volcanic Belt) พบว่าสามารถจำแนกหินอัคนีภูเขาไฟด้วยวิธีทางธรณีเคมีโดยแยกตามองค์ประกอบของกลุ่ม หินหนืดได้เป็นสองชนิดคือ subalkali basalt ซึ่งเกิดในบริเวณเทือกเขากลางสมุทร และ alkali basalt ที่เกิดจากหมู่เกาะรูปโค้งกลางสมุทร

Stokes และคณะ (1996) ได้ทำการสรุปจากการศึกษา ทางภาคสนามและห้องปฏิบัติการโดยการวิเคราะห์ตะกอนบริเวณ Pak-Lay fold belt ในบริเวณตอนใต้ของจังหวัด Sainabouli ซึ่งอยู่ทางภาคตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่าในช่วงอายุ Middle-Upper Jurassic จะมีความสัมพันธ์กับการเกิด ภูเขาไฟอย่างต่อเนื่องไปจนถึงช่วงอายุ Triassic-Late Jurassic โดยตะกอนทั้งหมดกับหินภูเขาไฟเกิดเป็น imbricate zone และ กลุ่มหินโคราชยุค cretaceous มีความไม่ต่อเนื่องบน imbricate wedge จึงสรุปได้ว่า Shan-Thai และ Indohina เกิดการเชื่อมกันในยุค Late Jurassic

Shamim และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษา mafic-ultramafic rocks ที่พบบริเวณ shear zone (Phulad lineament) ไปจนถึง Aravalli Mountain Range เป็นระยะทาง 300 กิโลเมตร ที่อยู่ทางตอนใต้ของ Delhi Fold Belt ในบริเวณภาคตะวันตกเฉียงเหนือของ Indian Shield โดยทำการศึกษาศิลาวรรณและธรณีเคมีได้ข้อสรุปว่า ลักษณะของ lithological มีความเกี่ยวเนื่องและสามารถอธิบายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของ tectonic evolution ในยุค Mesoproterozoics ของ NW Indian shield ได้

Wegiang และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาริเวณ Nan Suture Zone มีการวางตัวในแนวเหนือใต้ขนานกับแม่น้ำน่าน โดยมีแนวทางใต้ไปจนถึงจันทบุรี-สระแก้ว ส่วนทางเหนือเชื่อว่ามีแนวผ่านไปยังทางเหนือของหลวงพระบางในประเทศไทย ใน zone ดังกล่าวมี Pha Som Metamorphic Complex ได้แก่ Volcanic rock, schist, meta greywacke, serpentinite และ bedded chert ซึ่งเป็นหินในช่วงอายุ Carboniferous-Permian (Hess and Koch, 1975) พบว่าบะซอลต์ที่พบในบริเวณนี้เป็นชนิด Alkaline basalt ที่มีธาตุ Ti, P, K สูง ซึ่งคล้ายกับ Oceanic Island Basalt ใน เมืองซานเจียง มณฑล ยูนนาน ประเทศจีน จากลักษณะดังกล่าวบ่งบอกว่า Nan Suture Zone เป็นขอบทวีปที่เกิดในยุค Middle Permian

Yang et al. (2008) ศึกษาหินบะซอลต์และหินเชิร์ตในบริเวณ แนวตะเข็บน่าน (Nan suture zone) ทางตอนเหนือของประเทศไทยพบว่า หินบะซอลต์ที่พบเป็น alkali basalt ที่เกิดในบริเวณ หมู่เกาะรูปโค้งกลางสมุทร และแนวตะเข็บน่านในบริเวณจังหวัดน่านมีอายุอยู่ในยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงยุคเพอร์เมียน

1.3 วัตถุประสงค์

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

- ศึกษาลักษณะธรณีวิทยาและการกระจายตัวของหินบะซอลต์ในพื้นที่
- หาความสัมพันธ์ลักษณะการเกิดของหินของหินบะซอลต์กับธรณีแปรสัณฐาน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาทั่วไป โดยวิเคราะห์หาแนวการกระจายตัวของหินอัคนีภูเขาไฟบริเวณที่ศึกษาและบริเวณพื้นที่ข้างเคียงโดยภาพถ่ายดาวเทียม และเก็บตัวอย่างหินบะซอลต์บริเวณพื้นที่ ศึกษาเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลทาง ศีลาบรรณด้วยกล้องจุลทรรศน์ และธรณี เคมี ด้วยวิธี X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

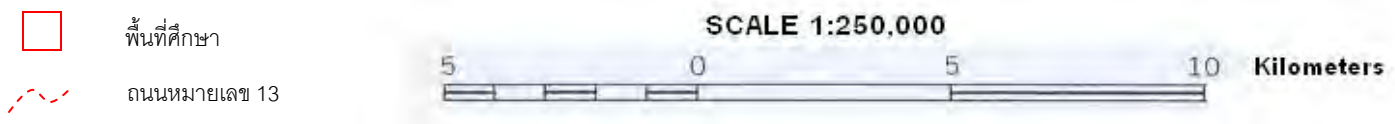
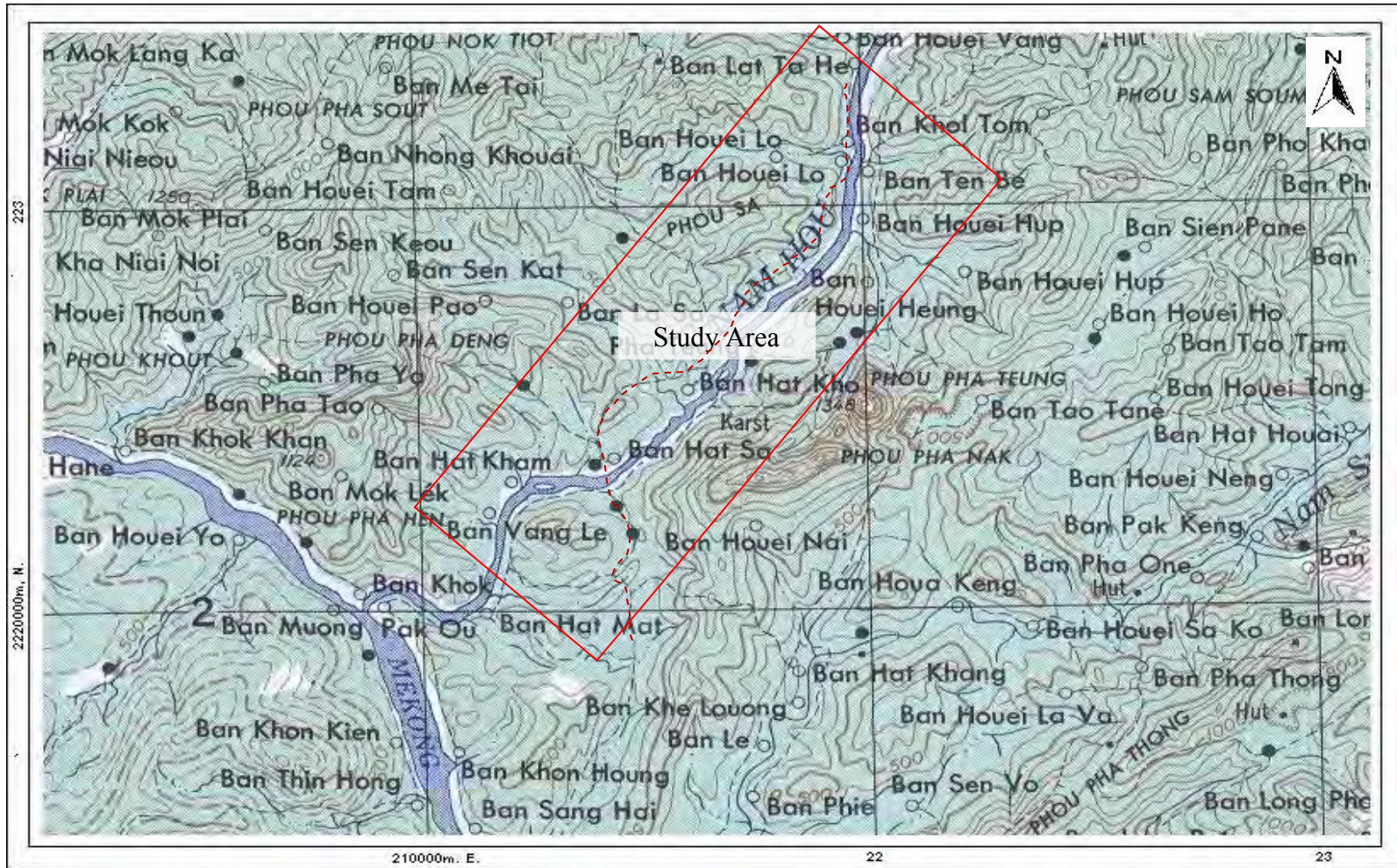
1.5 วิธีดำเนินการศึกษา

1. การรวบรวมข้อมูลและรายงานเดิมที่เคยมีผู้ศึกษาไว้ (Literature review) เนื่องจากข้อมูล บริเวณพื้นที่ในประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียง สามารถ นำมาใช้ให้ เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา ได้ โดยเฉพาะการ ศึกษาด้านธรณีวิทยา เช่น Ueno and Hisada (1999) และ Sone and Metcalfe (2007) ซึ่งได้ศึกษา ธรณีวิทยบริเวณ แนวตะเข้บธรณีน่าน เพื่อนำมาอธิบายธรณี แปรสัณฐาน ในประเทศไทย นอกจากนี้ Charusiru และคณะ(1995) และ Panjasawatwong และคณะ (2005)ยัง ได้ศึกษาธรณีวิทยาบริเวณแนว Loi-Petchabun foldbelt อีกด้วย จึงทำให้สามารถนำข้อมูลที่จะ ศึกษาในพื้นที่ประเทศไทยมาเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์กันได้
2. การเตรียมข้อมูลก่อนออกภาคสนาม ได้ทำการหาข้อมูลทางโทรสัมผัสเพื่อแปลความหมายและ วิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว ในที่นี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม หรือ google earth เพื่อหาดัชนี โครงสร้างการวางตัวของหินในพื้นที่ศึกษาและทำการ วางแผนการเก็บข้อมูลตัวอย่างหิน ในพื้นที่ ศึกษาให้เป็นระบบอีกด้วย
3. การออกภาคสนาม ได้ทำการออกภาคสนามหลังจากที่ได้แปลภาพถ่ายดาวเทียมเสร็จแล้ว โดยจะ ศึกษาธรณีวิทยาในพื้นที่ การลำดับชั้นหินและทำการเก็บหินตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์หาสมบัติ ทางกายภาพและสมบัติทางเคมี ในครั้งนี้จะมุ่งเน้นศึกษาเฉพาะหินภูเขาไฟสีเข้มหรือหินบะซอลต์
4. การวิเคราะห์ตัวอย่างหิน ขั้นตอนนี้จะแบ่งการวิเคราะห์หินออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกจะทำการ ศึกษา ลักษณะทางกายภาพโดยการศึกษา ศีลาบรรณ ของหินตัวอย่าง ส่วนที่สองคือนำไป วิเคราะห์ธรณีเคมีด้วยวิธี X-Ray Fluorescence
5. การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล โดยการนำผลข้อมูลทางศีลาบรรณและธรณีเคมีของตัวอย่างมา ประมวลผลและแปลความหมาย ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับงานเก่าที่เคยได้ศึกษาไว้ เพื่ออภิปรายผล
6. นำเสนอและจัดทำรายงาน



รูป 1.1 แสดงแผนที่
ประเทศลาวและพื้นที่
ศึกษาซึ่งอยู่ทางภาคเหนือ
ของประเทศลาว (อ้างอิง
จาก
http://homepages.csp.edu/hillmer/Hmong_OHP.html)

■ พื้นที่ศึกษา



รูป 1.2 แผนที่แสดงชั้นความสูงของพื้นที่ที่ศึกษาในเขตบ้านหาดงา จังหวัดหลวงพระบางประเทศลาว ซึ่งเป็นพื้นที่แนวยาวตามถนนทางหลวงหมายเลข 13 (เส้นประสีแดง) เลียบแม่น้ำอู๋ (ดัดแปลงจากแผนที่ภูมิประเทศลาว SERIES L509, SHEET NF 48-13, EDITION 1-AMS)

2.1 ลักษณะทางธรณีวิทยาทั่วไปในประเทศไทย

บทที่ 2 ธรณีวิทยาแม่ไพศาล

2.1 ลักษณะทางธรณีวิทยาทั่วไปในประเทศลาว

การลำดับชั้นหิน

ลักษณะทางธรณีวิทยาโดยทั่วไปในประเทศลาวมีลักษณะคล้ายกับประเทศเพื่อนบ้านเช่น พม่า ไทย และเวียดนาม โดยมีหน่วยงานที่ได้ทำการศึกษาและสำรวจลักษณะทางธรณีวิทยา คือ United Nations Economic and social commission for Asia and the Pacific และ Department of Geology of Mine in Laos PDR โดยเริ่มทำการสำรวจขึ้นในปี คศ . 1990 และได้ถูกเผยแพร่ขึ้นเมื่อปี คศ . 1998 จากการสำรวจพบว่าหินอายุเก่าแก่ตั้งแต่มหายุคพรีแคมเบรียนไปจนถึงอ่อนที่สุดคือควอเทอร์นารี (ดูรูปที่ 2.1ก และ 2.1ข)

พรีแคมเบรียน

พรีแคมเบรียน ได้ศึกษามาจากการลำดับชั้นหินและโดยวิธีการเทียบเคียงอายุทางธรณีภาค ส่วนใหญ่เป็นหินชนิด high-grade metamorphic มีลักษณะคล้ายกับหินในเวียดนาม มีการกระจายตัวอยู่ทั่วไปในบางพื้นที่ของประเทศ เช่น ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศ นักธรณีวิทยาบางคนเชื่อว่าหินอายุอยู่ในช่วง Proterozoic

มหายุคพาลีโอโซอิก

แคมเบรียน ส่วนใหญ่ที่พบเป็นหินตะกอนชนิด Clastic sediment, Non-clastic sediment และหินที่เริ่มมีการแปรสภาพ ได้แก่ หินปูน, หินดินดาน (greenschists), หินทราย (quartzite) และ หินกรวดมน โดยมีการกระจายตัวอยู่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของลาวในพื้นที่เขตนํ้ามาซึ่งอยู่ใกล้เขตแดนของประเทศเวียดนาม นอกจากนี้ยังมีหินที่พบในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงใต้ของลาว ซึ่งถูกจัดอยู่ในช่วง ยุคแคมโบร-ออโดวิเชียน ส่วนในบริเวณภาคกลางของลาวพบหินแปรที่มีอายุในช่วง Neoproterozoic-Lower Cambrian อยู่ทางด้านทิศเหนือของอำเภอท่าแขก จังหวัดบอลิคันไซ ถูกจัดให้อยู่ใน Sop Phan Formation

ออร์โดวิเชียน-ไซลูเรียน หินส่วนใหญ่เป็นหินตะกอนทะเลได้แก่ หินปูน, หินดินดาน และหินทราย มีการกระจายตัวอยู่ทางภาคเหนือและภาคตะวันออกของประเทศลาว เช่นในบริเวณภูเขาทางตอนเหนือของเมืองโป่งสวรรค์ในจังหวัดเชียงของ และตามแนวเขตแดนลาว -เวียดนามตั้งแต่ภาคตะวันออกเฉียง เป็นแนวยาวไปจนถึงภาคตะวันออกเฉียงใต้ของลาว

เดิวเนียน ส่วนใหญ่เป็นหินตะกอนทะเลเช่นเดียวกับยุคอโดวิเชียน -ไซลูเรียน พบกระจายตัวอยู่หลายพื้นที่ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย อย่างไรก็ตามหินที่มีอายุตั้งแต่ยุคอโดวิเชียนจนถึงเดิวเนียนมักจะพบในบริเวณด้านตะวันออกของแม่น้ำชีโขงหรือตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศ

คาร์บอนิเฟอรัส และเพอร์เมียน ส่วนใหญ่เป็นหินตะกอนทะเลโดยมีหินหลักๆ ได้แก่ หินดินดาน , หินทราย และหินปูน ต่อมามีการพัฒนาลักษณะโครงสร้างเป็นแบบ คาสต์ ขึ้นมีการกระจายตัวบริเวณภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย นอกจากนี้ยังมีการพบว่าหินบางส่วนมีการสะสมตัวจากตะกอนบก และมีถ่านหินอยู่ด้วยเช่นในพื้นที่จังหวัดเวียงจันทน์, สारวัน และโป่งสาลี

มหายุคมีโซโซอิก

ทรีตาสกอนทะเลมหายุคมีโซโซอิก การตกสะสมของหินตะกอนทะเลเริ่มมีตั้งแต่ปลายยุคเพอร์เมียน และถูกจำกัดอยู่ในช่วงไทรแอสซิกที่มีลักษณะการสะสมภายในแอ่งสะสมตะกอน ต่อมาในช่วงตอนกลางถึงตอนปลายของยุคไทรแอสซิกได้มีการตกสะสมของตะกอนทะเล เช่นหินปูน, หินทรายและหินทรายแป้ง เป็นต้น กระจายตัวอยู่ในบริเวณอำเภอสามเหนือ จังหวัดห้วยพาน คาดว่าน่าจะสะสมตัวต่อเนื่องจากหินภูเขาไฟชนิดไรโอไลติกและเดไซติก นอกจากนี้ยังพบว่าหินตะกอนทะเลในยุคนี้ยังมีการกระจายตัวอยู่ในพื้นที่ทางตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงใต้บริเวณหุบเขาแม่น้ำชีโขงไปจนถึงในเขตกัมพูชาอีกด้วยหินตะกอนทะเลในยุคนี้เป็นชั้นหินที่มีอายุอ่อนที่สุดที่พบภายในประเทศลาว

หินตะกอนพื้นทวีปมหายุคมีโซโซอิก ในช่วงปลายไทรแอสซิกได้มียกตัวขึ้นของแผ่นดินจนเกิดเป็นแนวภูเขาและมีผุพังและกัดกร่อนของหินอย่างรุนแรง ส่งผลให้หลายบริเวณถูกปกคลุมโดยตะกอน จนพัฒนากลายเป็นชั้นหินตะกอนพื้นทวีปชนิดหินทรายและหินกรวดมนขึ้นตั้งแต่ปลายไทรแอสซิกจนถึงครีเตเชียสตอนกลางจึงเริ่มมีการกัดกร่อนและผุพังของตะกอนทวีปลดลง และมีการกระจายตัวของหินตะกอนเนื้อโคลน หินทรายแป้ง และหินทรายเนื้อละเอียด ที่มีสีแดงละม้ายคล้ายกลุ่มหินโคราชในประเทศไทย

มหายุคซีโนโซอิก

ในประเทศลาวยังไม่มีหลักฐานของหินในยุคพาลีโอซีน การตกสะสมของตะกอนแม่น้ำมากมาทั้งในช่องระหว่างแนวเขาทางตอนเหนือของลาวเป็นหินตะกอนที่สะสมในช่วงนีโอซีน หินส่วนใหญ่เป็น หินทรายและหินดินดาน นอกจากนี้ยังมีหินดินมาร์ลและถ่านหินลิกไนต์อยู่ในบางพื้นที่ ในตอนปลายของยุคซีโนโซอิกนั้นมีการยกตัวและผุพังอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะในพื้นที่สูงทางตอนเหนือโดยเฉพาะบริเวณแม่น้ำโขงและแม่น้ำสาย

หลักๆหลายสายมักพบตะกอนทางน้ำมีขนาดตั้งแต่เม็ดทรายถึง เม็ดกรวดมน ส่วนรอบข้างริมแม่น้ำบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงได้ถูกปกคลุมด้วยหินตะกอนเนื้อละเอียดและมีขยายเป็นวงกว้างขึ้นแต่สะสมตัวเป็นชั้นบางและไม่ต่อเนื่องกัน ทางด้านตะกอนควอเทอร์นารีมีการกระจายตัวแตกแยกออกไปในแต่ละพื้นที่ของตอนเหนือของลาวในบริเวณที่ราบและแอ่ง

หินภูเขาไฟยุคเพอร์โม-ไทรแอสซิก

ในบริเวณภาคเหนือของประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวบริเวณปากเลย -หลวงพระบางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไปจนถึงเขตแดนลาว -พม่า พบว่ามีการกระจายตัวของหินภูเขาไฟเป็นบริเวณกว้างโดยเชื่อว่าส่วนใหญ่เป็นหินยุคเพอร์เมียนที่มีความเกี่ยวข้องกับการชนกันและมุดตัวของเปลือกทวีป หินที่พบส่วนใหญ่ได้แก่หินแอนดีไซต์, หินเดไซต์ และหินบะซอลต์

ในพื้นที่บริเวณอำเภอสามเหนือซึ่งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศเป็นหินในยุคไทรแอสซิก ประกอบด้วยหินภูเขาไฟชนิดไรโอไลติกและเดไซต์

นอกจากนี้ยังมีหินไรโอไลต์และหินทัฟท์กระจายตัวครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ในแนวหุบลำธารซึ่งไปจนถึงประเทศกัมพูชา เชื่อกันว่าเป็นมีอายุอยู่ในช่วงไทรแอสซิก

หินภูเขาไฟมหายุคซีโนโซอิก

บริเวณที่ราบสูงโบโลเวนส์ซึ่งอยู่ทางตะวันออกของเมืองปากเส และที่สูงอื่นๆทางตะวันออกและตะวันออกเฉียงใต้ของลาว เกิดจากการทะลักของลาวาชนิดบะซอลต์ซึ่งอยู่ชั้นบนของหินทรายในยุคมีโซโซอิก หินลาวาที่พบมีลักษณะที่คล้ายกันกับหินลาวาพบในเวียดนาม กัมพูชาและไทย คือเป็นหินที่มีอายุในช่วงไพลสโตซีน และยังมีความคล้ายคลึงกับหินบะซอลต์ที่พบใกล้บริเวณบ้านห้วยทราย แต่มีการกระจายตัวเป็นพื้นที่เล็กๆ

ธรณีวิทยาโครงสร้างและหินอัคนีแทรกซอน

ธรณีวิทยาโครงสร้างของประเทศลาวมีการศึกษาเป็นบริเวณกว้างๆเท่านั้น ในบริเวณพื้นที่ทางตะวันออกเฉียงเหนือพบการกระจายตัวของหินไนส์และหินแกรนิตที่เกี่ยวข้องกันในบริเวณแม่น้ำโขงซึ่งเป็นชายแดนธรรมชาติระหว่างประเทศลาวและประเทศพม่า นอกจากนี้ยังพบหินที่มีลักษณะคล้ายกันนี้กระจายตัวเข้าไปยังประเทศพม่าและประเทศไทยทางตะวันตกและตะวันออกเฉียงใต้ เชื่อกันว่าหินเหล่านี้เป็นหินฐานเนื้อผลึกตลอดบรมยุคฟาเนอโรโซอิกและเป็นขอบทวีปในบริเวณที่เป็นแอ่งสะสมตะกอนในมหาสมุทร ในยุคไซลูเรียนถึงไทรแอสซิก ตะกอนที่สะสมตัวในแอ่งเกิดการคดโค้งและแอ่งมีการปิดตัวในยุคไทรแอสซิก เกิด

แนวชั้นหินคดโค้งในประเทศลาวจากทางตะวันตกไปจนถึงทางเหนือและทางตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนี้ยังพบในพื้นที่ทางตะวันตกตั้งแต่ละติจูดที่ 103 องศา แนวชั้นหินคดโค้งเหล่านี้มีการกระจายตัวไปทางทางตอนล่างเข้าสู่ประเทศไทยทางตอนเหนือ ตอนกลาง และทางตะวันออกเฉียงเหนือ กระจายตัวขึ้นไปทางตอนเหนือเข้าสู่จังหวัดยูนนานในประเทศจีน ลักษณะการคดโค้งอย่างรุนแรงที่พบในหินจำพวกหินทรายที่มีอายุแก่กว่ายุคไทรแอสซิก ทำให้เชื่อว่าการเกิดการคดโค้งครั้งรุนแรงครั้งสุดท้ายน่าจะอยู่ในสมัยไทรแอสซิกตอนปลาย

หินในแนวชั้นหินคดโค้งที่มีอายุเก่าแก่ที่สุดที่สามารถหาอายุได้มีอายุอยู่ในยุคเดโวเนียน พบชั้นหินยุคคาร์บอนิเฟอรัสและเพอร์เมียนกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างตลอดแนวชั้นหินคดโค้ง แต่หินตะกอนจากทะเลยุคไทรแอสซิกกลับพบเป็นเพียงบริเวณเล็กๆ พบหินแปรชั้นต่ำ ได้แก่ หินฟิลไลต์ หินกรีนชีสต์ และหินควอตซ์ไซต์ ซึ่งเชื่อว่าเกิดมาจากหินยุคเดโวเนียน-คาร์บอนิเฟอรัสเนื่องจากไม่พบหลักฐานการแปรสภาพแม่ไพศาลของหินยุคเพอร์โม-ไทรแอสซิก

ในพื้นที่ปากเลพบการแทรกซอนของหินแกรนิตไดโอรไรต์ในยุควัยไทรแอสซิกตอนต้นเป็นบริเวณเล็กๆ อย่างไรก็ตามยังมีหินแกรนิตและหินแกรนิตไดโอรไรต์บางบริเวณที่ยังไม่สามารถหาอายุได้ พบหินแกบโบรไกล์กับจังหวัดไชยะบุรี พบหินอัคนีภูเขาไฟที่มีองค์ประกอบเป็นแอนดีไซต์และเดไซต์กระจายเป็นบริเวณกว้าง แต่มีการศึกษาการกระจายตัว ความสัมพันธ์ต่อหินข้างเคียง และซิลิการรณมาเพียงเล็กน้อย ทราบแต่เพียงว่าหินเหล่านี้มีอายุในยุควัยเพอร์เมียน

ในบริเวณทางตอนเหนือและตอนกลางของประเทศลาวพบการกระจายตัวของชั้นหินคดโค้งยุคออร์โดวิเชียนถึงคาร์บอนิเฟอรัส หินแกรนิตยุคไทรแอสซิก หินฐานไนส์ และกระจายไปทางตะวันออกเฉียงใต้จนถึงชายแดนประเทศเวียดนาม โดยมีการวางตัวของโครงสร้างในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ -ตะวันออกเฉียงใต้เป็นแนวเดียวกันไปจนถึงตอนกลางของประเทศเวียดนาม เชื่อกันว่าเป็นผลที่เกิดจากการคดโค้งในช่วงยุค คาร์บอนิเฟอรัสตอนต้นมากกว่าจะเกิดจากการยกตัวหรือทรุดตัว

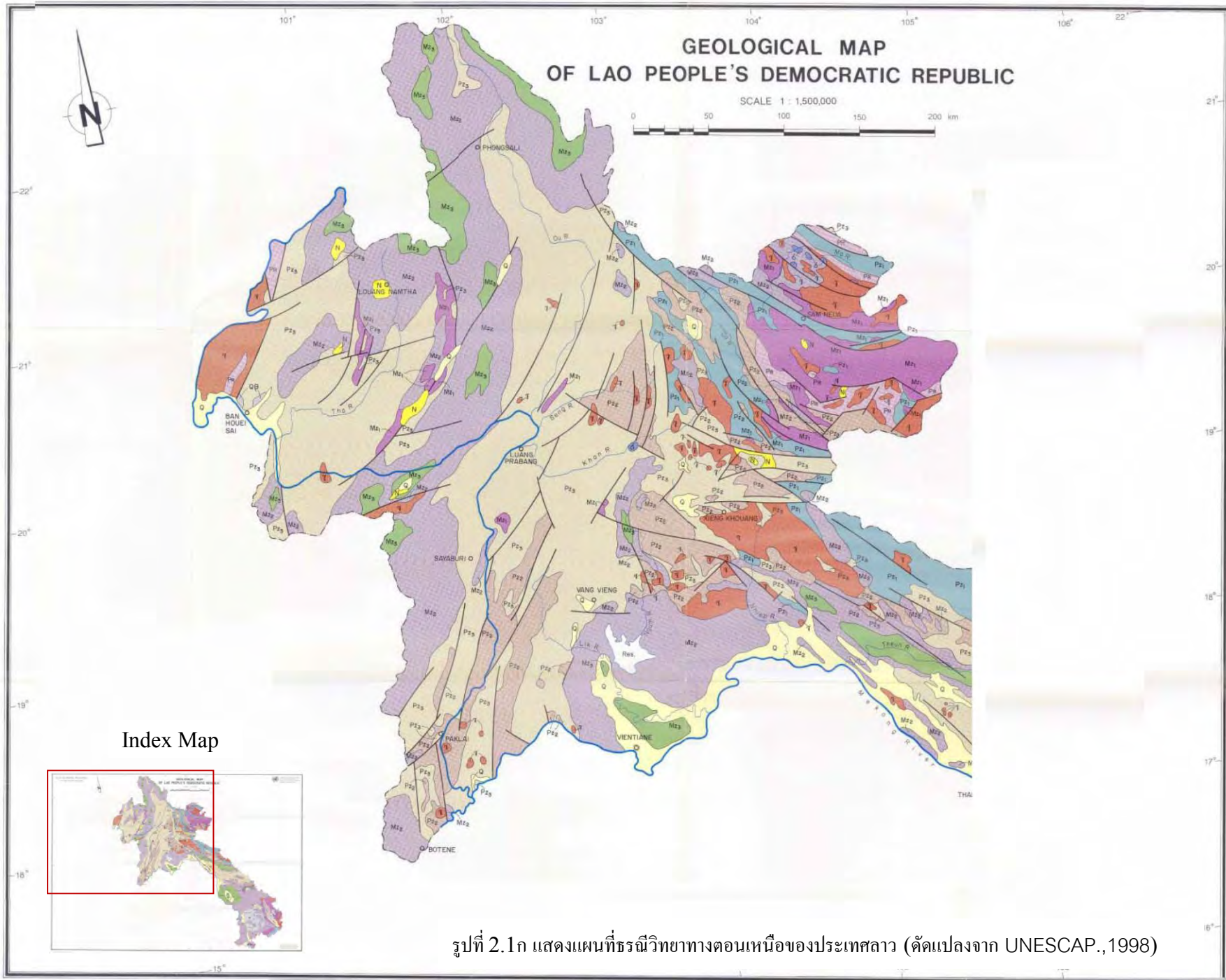
การกระจายตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือของแนวชั้นหินคดโค้งน่าจะเกิดจากกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐานและกระบวนการแมกมาบางอย่างเป็นบริเวณกว้างในช่วงมหายุคมีโซโซอิกซึ่งยังไม่สามารถหาคำตอบได้ เนื่องจากพบหินยุคเดโวเนียนที่มีการคดโค้งเพียงเล็กน้อยทางตะวันออกของประเทศลาว แต่เชื่อกันว่าหินแกรนิตและหินแกรนิตไดโอรไรต์มีการแทรกซอนในช่วงไทรแอสซิกเช่นเดียวกับบางส่วนในประเทศเวียดนาม หินแกรนิตในบริเวณพื้นที่ใกล้กับสามเนือและตะวันออกของท่าแขกเชื่อว่ามีอายุอยู่ในยุคครีเตเชียสตอนปลายไปจนถึงพาลีโอจีน นอกจากนี้ยังพบแนวรอยเลื่อนที่อ้อมมีแนวตะวันออกเฉียงเหนือ -ตะวันตกเฉียงใต้กระจายตัวไปจนถึงประเทศเวียดนาม

การเกิดแอ่งสะสมตะกอนมหายุคมีโซโซอิกในบริเวณสามเนื้อซึ่งอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของ ประเทศลาวมาจากรอยเลื่อนจำนวนมากในยุคไทรแอสซิก เชื่อว่าเป็นแอ่งสะสมตะกอนที่เกิดบนแผ่นทวีปและ อยู่เหนือชั้นหินคดโค้งที่เกิดในมหายุคพาลีโอโซอิก โดยเกิดมาจากการยกตัวของแผ่นทวีป ทำให้เกิดการ กระจายตัวของหินอัคนีภูเขาไฟจำพวกไรโอไลต์ ไรโอเดไซต์ และบะซอลต์

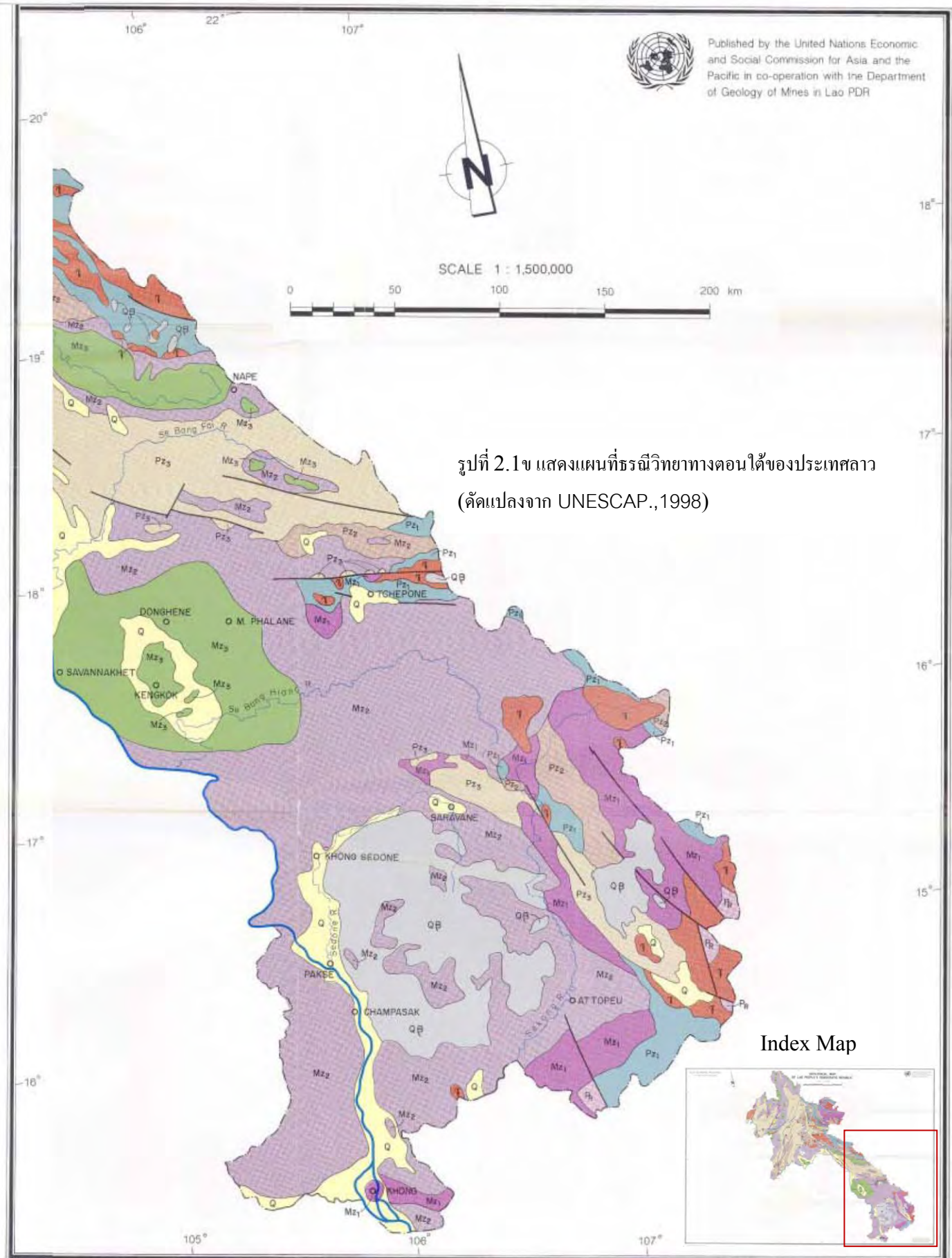
ทางตะวันออกเฉียงเหนือของสามเนื้อ บางส่วนของ แนวชั้นหินคดโค้งมหายุคพาลีโอโซอิกตอนต้น พบความไม่ต่อเนื่องระหว่างหินเบสิกกับหินอัลตราเบสิกเกิดขนานไปกับแกนของแนวชั้นหินคดโค้งเป็นแนว รอยต่อระหว่างแผ่นทวีป

สำหรับพื้นที่ทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศลาวพบการกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างของหินที่มีการ เปลี่ยนสภาพเพียงเล็กน้อย หินเหล่านี้ประกอบไปด้วยหินที่มาจากการสะสมตัวของตะกอนทวีปในมหายุคมี โซโซอิก แนวชั้นหินคดโค้งมหายุคพาลีโอโซอิก และวางตัวบนหินฐานบางอย่างซึ่งน่าจะมีอายุยุคพรีแคม เบรียนตอนต้น

ในบางพื้นที่ทางตอนใต้ของประเทศลาวพบหลักฐานการเกิดการคดโค้งอย่างรุนแรงของหินยุคคาร์บอนิ เฟอรัสทางตะวันออกเฉียงของจังหวัดสาระวัน พบชั้นหินคดโค้งยุคคาร์บอนิเฟอรัสที่มีถ่านหินและหินปูนยุคเพอร์ เมียน



รูปที่ 2.1ก แสดงแผนที่ธรณีวิทยาทางตอนเหนือของประเทศลาว (ดัดแปลงจาก UNESCAP.,1998)



รูปที่ 2.1ข แสดงแผนที่ธรณีวิทยาทางตอนใต้ของประเทศลาว (คัดแปลงจาก UNESCAP.,1998)

Legend



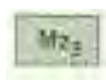
ควออร์เทอนารี ประกอบด้วยตะกอนทางน้ำ ส่วนใหญ่พบบริเวณลุ่มน้ำโขง



ยุคควออร์เทอนารี ประกอบด้วยหินบะซอลต์ชนิดอัลคาไลน์เช่น basanite, limburgite ฯลฯ



ยุคนีโอจีน ประกอบด้วยตะกอนบกเป็นส่วนใหญ่มพบมากบริเวณเชิงเขา บางแห่งพบลิกไนต์



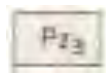
มหายุคมีโซโซอิกตอนปลาย(ยุคครีเตเชียสตอนกลาง-ตอนปลาย)ประกอบด้วยหินทรายนอกจากนี้ยังพบหินเกลือและยิปซัม



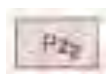
มหายุคมีโซโซอิกตอนกลาง (ยุคไทรแอสซิกตอนปลาย-ยุคครีเตเชียสตอนต้น) ประกอบด้วยหินทรายและถ่านหินชั้นบางอยู่ด้วย นอกจากนี้ยังพบหินปูนยุคไทรแอสซิกในบางพื้นที่ของประเทศ



มหายุคมีโซโซอิกตอนต้น(ยุคไทรแอสซิกตอนต้น-ตอนกลาง)ประกอบด้วยหินทราย หินปูนและหินภูเขาไฟในบริเวณภาคเหนือของประเทศ



มหายุคพาลีโอโซอิกตอนปลาย(ยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น-เพอร์เมียน)หินในยุคนี้คล้ายกับยุคไทรแอสซิกตอนต้น ประกอบด้วยหินทราย(ตะกอนบก) หินปูนในบางพื้นที่ และนอกจากนี้ยังมีหินภูเขาไฟแผ่กระจายอยู่ทั่วไปซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินยุคเพอร์เมียน



มหายุคพาลีโอโซอิกตอนกลาง(ประกอบด้วยยุคเดโวเนียน-ยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้นและยุคไซลูเรียนเพียงบางส่วน) ส่วนใหญ่เป็นหินปูนและหินปูนที่ถูกแปรสภาพไปบางส่วนเป็นหินอ่อน



มหายุคพาลีโอโซอิกตอนต้น(แคมเบรียน-ไซลูเรียน)และยุคพรอเทอโรโซอิกบางส่วน



หินไนส์และหินซิสต์ ยุคพรอเทอโรโซอิก



แกรนิต, แกรโนไดโอไรต์ และ ควอร์ตไซต์ไดโอไรต์ ยุคคาร์บอนิเฟอรัส เพอร์เมียน ไทรแอสซิก(ส่วนใหญ่)
และพาลีโอจีน



หินอัลตราเบสิก เช่น เพอริโดไทต์ลเซอร์เพนทีน(ยังไม่ทราบอายุแน่ชัด)พบร่วมกับหินแกรนิต

Geological Boundaries



Aproximate position

Faults



Approximate position

สภาพธรณีวิทยาในพื้นที่

- 3.1 ธรณีวิทยาโทรสัมผัส
- 3.2 ธรณีวิทยาภาคสนาม
 - 3.2.1 การลำดับชั้นหิน
 - 3.2.2 หินอัคนี
 - 3.2.3 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

บทที่ 3 สภาพธรณีวิทยา

3.1 ธรณีวิทยาโทรสัมผัส

จากการศึกษา remote sensing ก่อนที่จะออกภาคสนามพบว่า ลักษณะธรณีวิทยาในพื้นที่มีลักษณะการวางตัวของหินอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้ (ดูรูป 3.1) จากการศึกษาคือของ UNESCAP 1998 และ Department of Geology of Mine in Laos PDR ได้ระบุหินบริเวณนี้ว่ามีอายุอยู่ในช่วงมหายุคพาลีโอโซอิกตอนปลายซึ่งส่วนใหญ่เป็นยุคคาร์บอนิเฟอรัสและเพอร์เมียน (ดูรูป 2.1ก) โดยในพื้นที่นี้ประกอบด้วย Non-clastic sediment เช่น หินปูนที่มีลักษณะโครงสร้างสูงชัน (Tower structure) ส่วน clastic sediment ประกอบด้วยหินทรายซึ่งจะพบบ้างในบริเวณตอนใต้ของพื้นที่ศึกษาหรือในตัวเมืองหลวงพระบาง นอกจากนี้ยังพบหินอัคนีชนิดสีเข้มและสีเข้มปานกลาง เช่น หินบะซอลต์ หินแอนดีไซต์และหินเดไซต์ เป็นต้น

3.2 ธรณีวิทยาภาคสนาม

การสำรวจธรณีวิทยาในพื้นที่โดยละเอียดนั้นมีความเป็นไปได้ยากมาก เนื่องจากมีปัญหาในด้านการเข้าถึงพื้นที่ ระยะเวลาและงบประมาณ เพราะพื้นที่ศึกษามีลักษณะเป็นเขาสูงชัน ป่ารก้าง ทำให้ไม่สามารถใช้ระยะเวลาและงบประมาณที่มีอยู่จำกัดมาศึกษาธรณีวิทยาโดยละเอียดได้ ดังนั้นผู้ศึกษาจึงแก้ปัญหาโดยการสังเกตและเก็บข้อมูลหินไฟ ลที่พบริมถนน หรือ road-cut outcrop เท่านั้น โดยเก็บทำการเก็บข้อมูล ตัวอย่างหินรายละเอียดหินโผล่ตลอดเส้นทางหมายเลข 13 ตั้งแต่เขตพื้นที่บ้านหาดงาไปจนถึงบ้านห้วยโลเป็นระยะทางกว่า 16 กิโลเมตร

3.2.1 การลำดับชั้นหิน

ในการลำดับชั้นหินในพื้นที่ศึกษานี้ส่วนหนึ่ง ได้จากการศึกษาภาคสนามและอีกส่วนหนึ่งได้จากการศึกษางานเก่า โดยมีลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่จำแนกตามกลุ่มหิน ชนิดของหินและอายุของหิน ดังนี้

หินยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน

ในพื้นที่ศึกษา พบหินชนิด clastic sediment ร่วมกับ carbonate rock ซึ่งมีอายุอยู่ในยุค คาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน (Kiernan 2008, UNESCAP 1998) มีการกระจายตัวอยู่ทั่วไปในบริเวณพื้นที่ศึกษา จากข้อมูลรายงานเก่าและการออกภาคสนาม พบว่าลักษณะทางธรณีวิทยาของ clastic sediment มีการวางตัวอยู่ในแนว NE-SW โดยมีมุมเฉียงเทไปทางตะวันตกเฉียงเหนือซึ่งพบว่ามี carbonate rock วางตัวอยู่บนยอดเขา ทั้งนี้จากการออกภาคสนามไม่พบรอยต่อระหว่างหินทั้งสองชนิด (การเข้าถึงพื้นที่ทำได้ยาก) และจากหลักฐาน

ดังกล่าว ทำให้คาดการณ์ว่า clastic sediment วางตัวอยู่ใต้ carbonate rock หินที่พบในบริเวณนี้ได้แก่ sandstone, shaly sandstone หรือ argileaceous sandstone

ส่วนลักษณะของ carbonate rock (เช่นหินปูน หินอ่อนและ calc-silicates) ในพื้นที่ที่มีการกระจายตัวของหินอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยสังเกตจากลักษณะการวางตัวของแนวเขา และมีลักษณะเป็น Karst topography (ธรณีวิทยาโพรม์ผืด , ดูรูปที่ 3.1) แต่จากหลักฐานในภาคสนาม ไม่พบหลักฐานของมุมเอียงเทหรือลักษณะชั้น (bedding) ของหินปูน เนื่องจากหินปูนที่พบในพื้นที่ศึกษามีลักษณะเป็น massive จึงไม่สามารถบอกความสัมพันธ์ของหินปูนในแต่ละ outcrop ที่พบได้ แต่อาจใช้หลักฐาน ของซากบรรพชีวินที่พบมาใช้ในการลำดับชั้นหินและบอกอายุได้

หินยุคเพอร์โมไทรแอสซิค

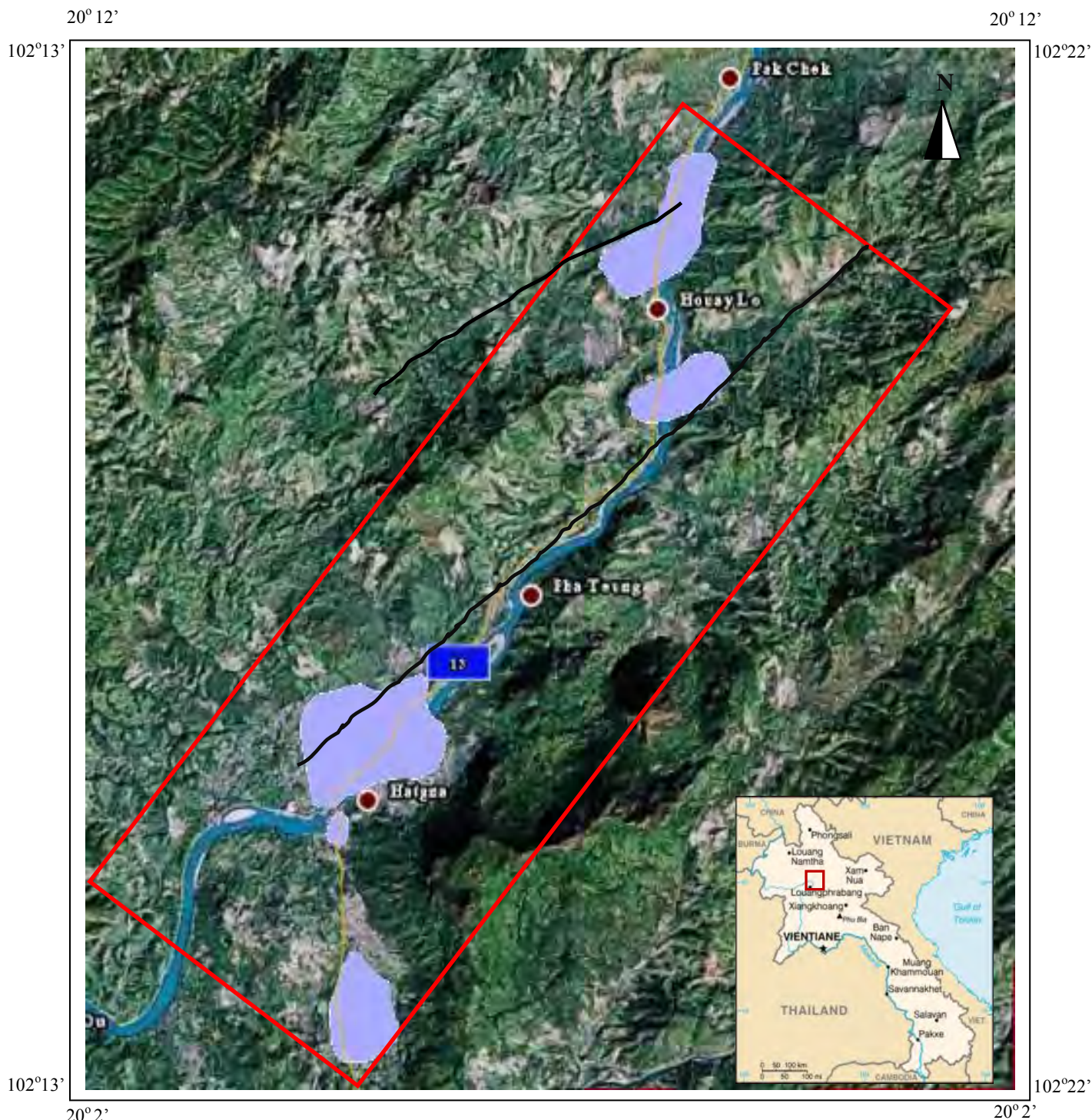
หินที่พบในยุคนี้ประกอบด้วย หินอัคนีภูเขาไฟชนิดสีเข้มหรือหินบะซอลต์ อายุของหินชนิดนี้ได้มาจากผลการหาอายุด้วยวิธี Ar-Ar โดย Charusiri และคณะ(2009) (ดูรายละเอียดในบทที่ 6)

3.2.2 หินอัคนี

หินอัคนีที่พบในพื้นที่ศึกษา มีการพบแผ่คลุมพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา หรือบริเวณบ้านปากอู่และบ้านหาดงา อีกบางส่วนพบทางตอนเหนือของพื้นที่หรือบริเวณบ้านห้วยไโด (ดูรูป 3.1 และ 3.2) ประกอบด้วยหินอัคนีภูเขาไฟชนิดสีเข้ม เช่นหินบะซอลต์ หินบะซอลติกแอนดีไซต์ และหินแอนดีไซต์ เป็นต้น

3.2.3 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

จากหลักฐานทางโพรม์ผืดพบว่ามีการวางตัวของหินอยู่ในแนว NE-SW และแสดงลักษณะโครงสร้าง ความสูงชันของหินปูนในพื้นที่หรือที่เรียกว่า Karst topogeaphy เด่นชัดในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นลักษณะเด่นของหินปูน จากการออกภาคสนามไม่พบ contact ระหว่างหินปูนและหินอัคนีภูเขาไฟชนิดสีเข้ม



- พื้นที่ศึกษา
- ขอบเขตหินบะซอลต์
- ถนนหมายเลข 13
- Linearment

รูปที่ 3.1 ภาพถ่ายดาวเทียม (google earth) ในพื้นที่ศึกษาแสดงลักษณะแนวการกระจายตัวของหินบะซอลต์และแนวการวางตัวของภูเขาทิศทาง NE-SW และแสดงหินโคล่ชนิดหินอัคนีภูเขาไฟสีเข้ม (ตัดแปลงจาก google earth)

102°15'0"E

102°20'0"E

Geologic map of Ban Hatgna



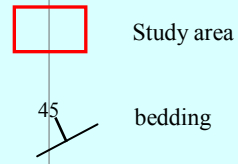
20°10'0"N

20°10'0"N



20°5'0"N

20°5'0"N

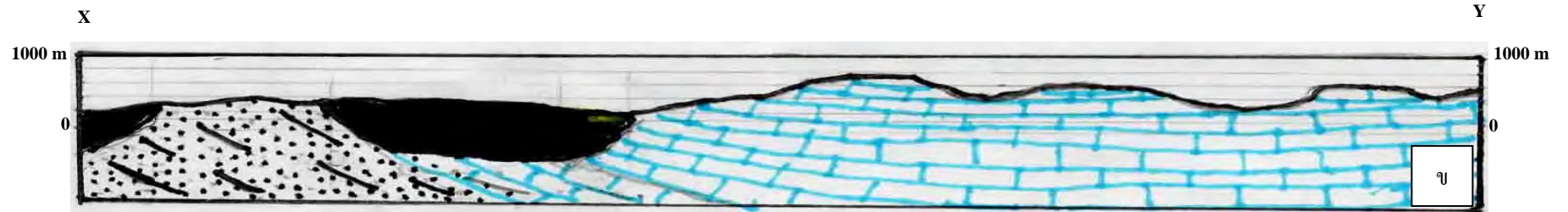


102°15'0"E

102°20'0"E

500 Contour line (contour interval 500 m)

Cross section



Sample collection

Explanation

Q

Alluvial

C-P

Non-clastic sediment (mainly limestone, calc-silicate limestone) and marble

C-P

Clastic sediment (mainly sandstone, shaly sandstone) and quartzite

Igneous and Metamorphic Rocks

P

Volcanic rock (mainly basalt, andesitic basalt, basaltic breccia)

- LP-03.1
- NO 04
- NO 05
- NO 07
- NO 08
- NO 09
- NO 11
- NO 12
- NO-01
- NO-02
- NO-03
- NO-08.1
- NO-10
- PO-01.1
- PO-03
- PO-06
- PO-08

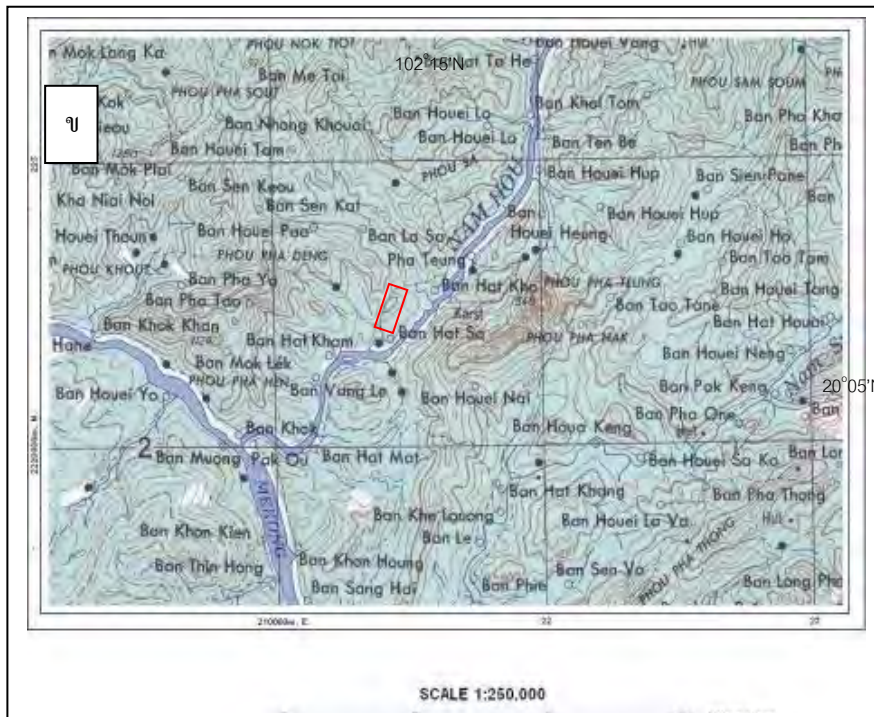
รูปที่ 3.2 ก)แผนที่ธรณีวิทยา ในพื้นที่บ้านหาดงาและจุดเก็บตัวอย่าง(sketch โดยนิติรัฐ อุดรสินธุ์ ข)รูปพื้นที่ภาพตัดขวางในแนว X-Y ในรูป (ก)

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างหินบะซอลต์ในพื้นที่ศึกษาบ้านหาดงา

Sample	Latitude	Longitude	Rock type
PO-01.3	20° 10' 54"	102° 19' 07.6"	Basalt
PO-03	20° 10' 49"	102° 19' 0"	Basalt
PO-08	20° 05' 36.8"	102° 16' 10.4"	Basalt
NO-01	20° 05' 16"	102° 15' 44"	Basalt
NO-02	20° 05' 16.1"	102° 15' 48.2"	Basalt
NO-03	20° 05' 16.12"	102° 15' 30"	Basalt
NO-04	20° 05' 19.8"	102° 15' 47.52"	Basalt
NO-05	20° 05' 19.1"	102° 15' 48.2"	Basalt
NO-07	20° 05' 18.4"	102° 15' 47"	Basalt
NO-08	20° 05' 20.7"	102° 15' 44.5"	Basalt
NO-08.1	20° 05' 20.7"	102° 15' 44.5"	Basalt
NO-09	20° 05' 13.1"	102° 15' 48.8"	Basalt
NO-10	20° 05' 13.1"	102° 15' 48.8"	Basalt
NO-11	20 05 07.3	102 15 53.4	Basalt
NO-12	20 03 24.2	102 15 51.7	Basalt
LP-03.1	20° 03' 20"	102° 16' 04"	Basaltic andesite



รูปที่ 3.3 ก) หินโคลนของหินบะซอลต์ที่พบบริเวณพื้นที่ศึกษาน้ำน้ห้วยไค $20^{\circ}5'N, 102^{\circ}16'E$
 ข) ภาพขยายของหินโคลนบะซอลต์ที่แสดงในรูป ก



รูปที่ 3.4 ก) หินโคลนของมวลหินอัคนีภูเขาไฟสีเขียวที่ศึกษา
บริเวณหมายเลข 13 หลักกิโลเมตรที่ 415-416 จุดศึกษาบ้าน
หาดงา ข) ตำแหน่งหินโคลนของรูป ก ในแผนที่ภูมิประเทศ พิกัดที่
20°05'N 102°15'E

4.1 ลักษณะทางศิลาวรรณา

4.2 การจำแนกชนิดหิน

บทที่ 4 ศิลาวรรณนา

4.1 ลักษณะทางศิลาวรรณนา

หินตัวอย่าง (hand specimen) ในพื้นที่ส่วนใหญ่มีลักษณะเหมือนกันคือมีสีดำและสีเทาดำเนื้อพื้นละเอียด (aphanitic texture) และมีรูพรุน (vesicular texture) นอกจากนี้ยังพบผลึกเนื้อแก้วที่มองเห็นด้วยตาเปล่าในบางตัวอย่างและพบแร่ทุติยภูมิเช่น calcite ที่เข้าไปแทนที่ในรูพรุนหรือ calcite vein ตัดผ่านเนื้อหิน (ดูรูปที่ 4.1 และ 4.2)

หินตัวอย่างที่ได้มาจากการเก็บในภาคสนามจะนำมาเตรียมตัวอย่างเป็นแผ่นหินบาง และทำการศึกษาศิลาวรรณนาด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์เพื่อดูแร่องค์ประกอบ และโครงสร้างของหินบะซอลต์ที่ได้คัดเลือกตัวอย่างมาศึกษาเป็นจำนวน 16 ตัวอย่าง

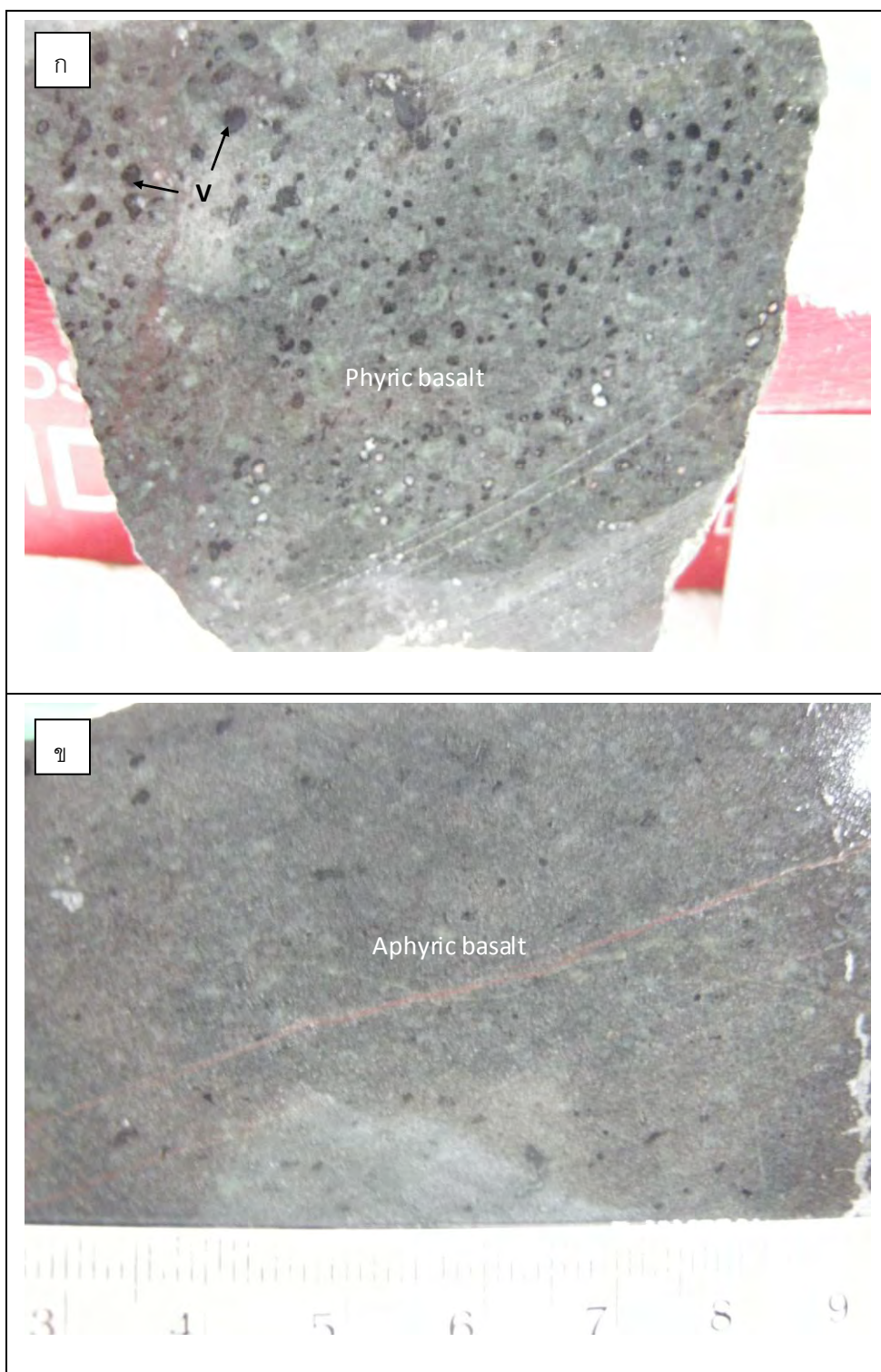
จากการศึกษาตัวอย่างใน thin section พบว่าหินตัวอย่างส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยอัตราส่วนระหว่าง phenocryst และ groundmass ประมาณ 30 : 70 แร่ปฐมภูมิที่พบได้แก่ plagioclase, olivine และ clinopyroxene ส่วนแร่ทุติยภูมิที่พบได้แก่ calcite, serpentine และ chlorite

ลักษณะของผลึกดอก (Phenocryst) มีลักษณะแบบ subhedral-anhedral มีแร่ที่เด่นชัดคือ Plagioclase ที่มีรูปร่างแบบแท่ง (lath shape) และมี An-content อยู่ระหว่าง 65-80 ซึ่งจัดอยู่ในชนิด labradorite และ bytownite แร่ Olivine (รูปที่ 4.3) แร่ pyroxene ที่พบส่วนใหญ่เป็น Clinopyroxene พบ orthopyroxene บ้างเล็กน้อย amphibole (รูปที่ 4.4) และ chlorite (รูปที่ 4.5) ลักษณะเนื้อพื้น (texture) ที่พบได้แก่ porphyritic texture, vesicular texture และ glomeroporphyritic texture

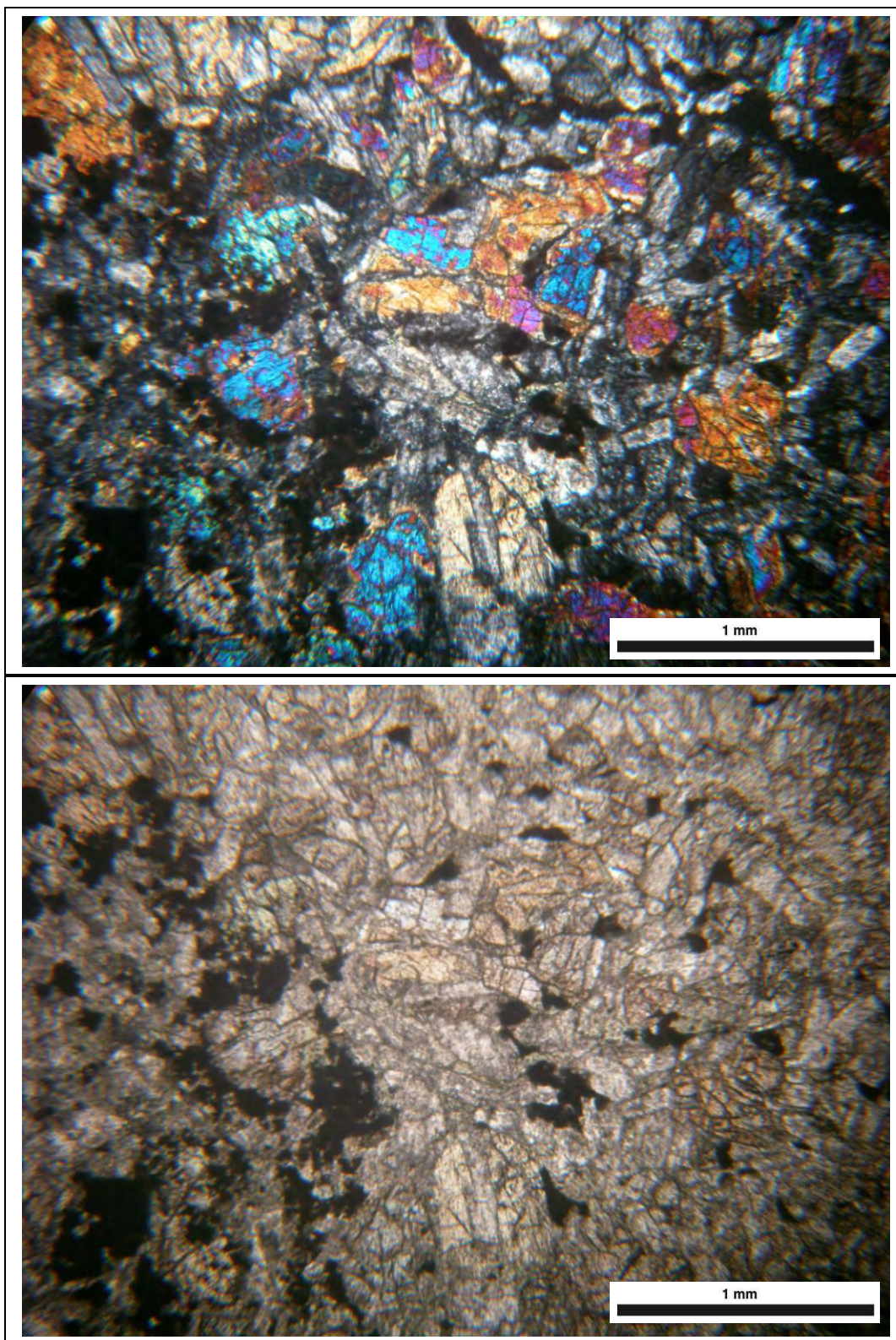
ทางด้านของผลึกละเอียด (Groundmass) ที่พบประกอบไปด้วยแร่ plagioclase, volcanic glass และ pyroxene (รูปที่ 4.6) บางตัวอย่างเช่น PO-01.1 และ PO-03 พบลักษณะเนื้อพื้นแบบ trachytic texture (รูปที่ 4.7)



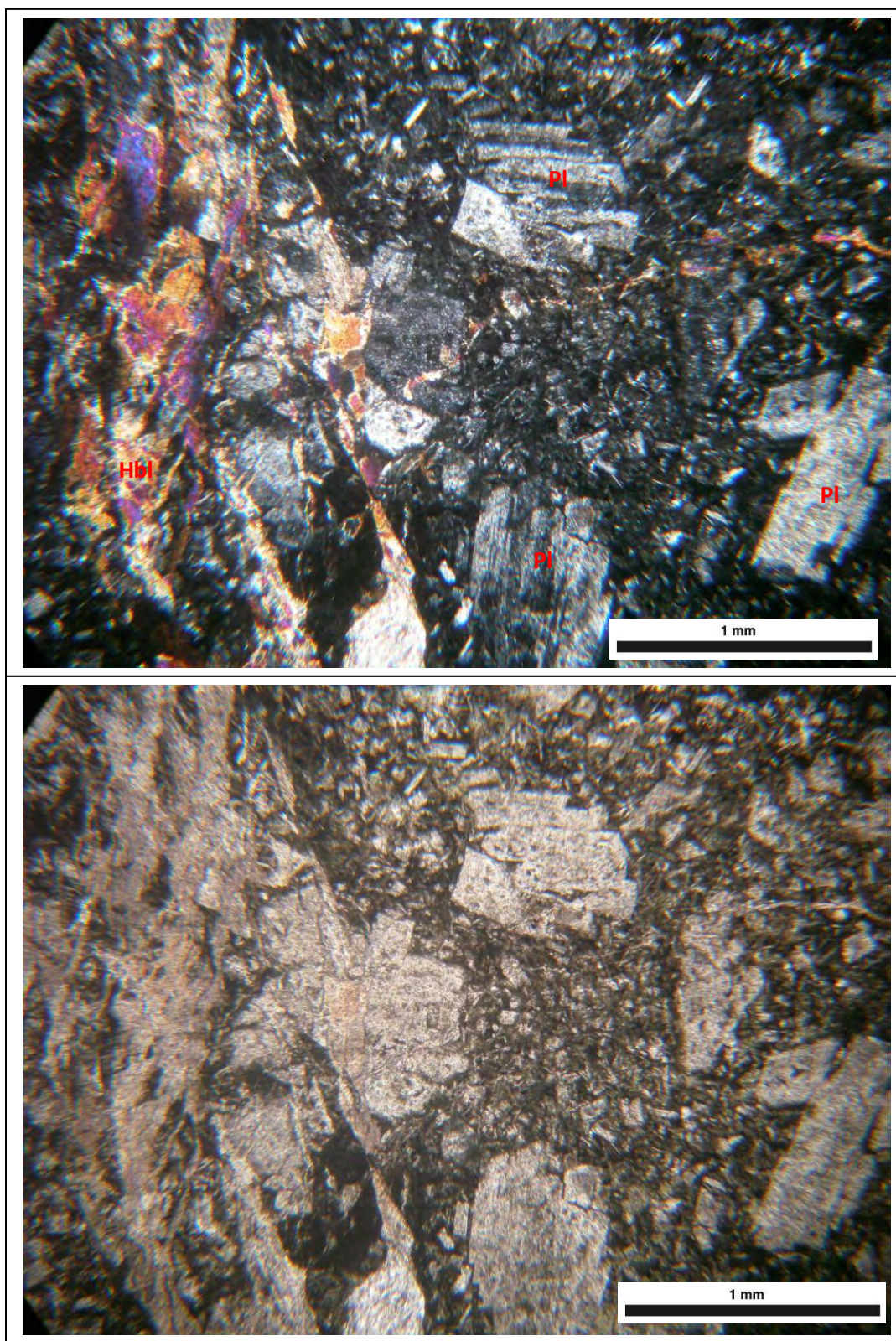
รูปที่ 4.1 แผ่นหินขัดเรียบของหินบะซอลต์ ก) Aphyric basalt ที่มี calcite vein ตัดผ่านเนื้อหิน
 ในตัวอย่าง PO-03 และ ข) Phyrlic basalt แสดงเนื้อหินแบบ amygdaloidal (A) ในตัวอย่าง
 NO-08



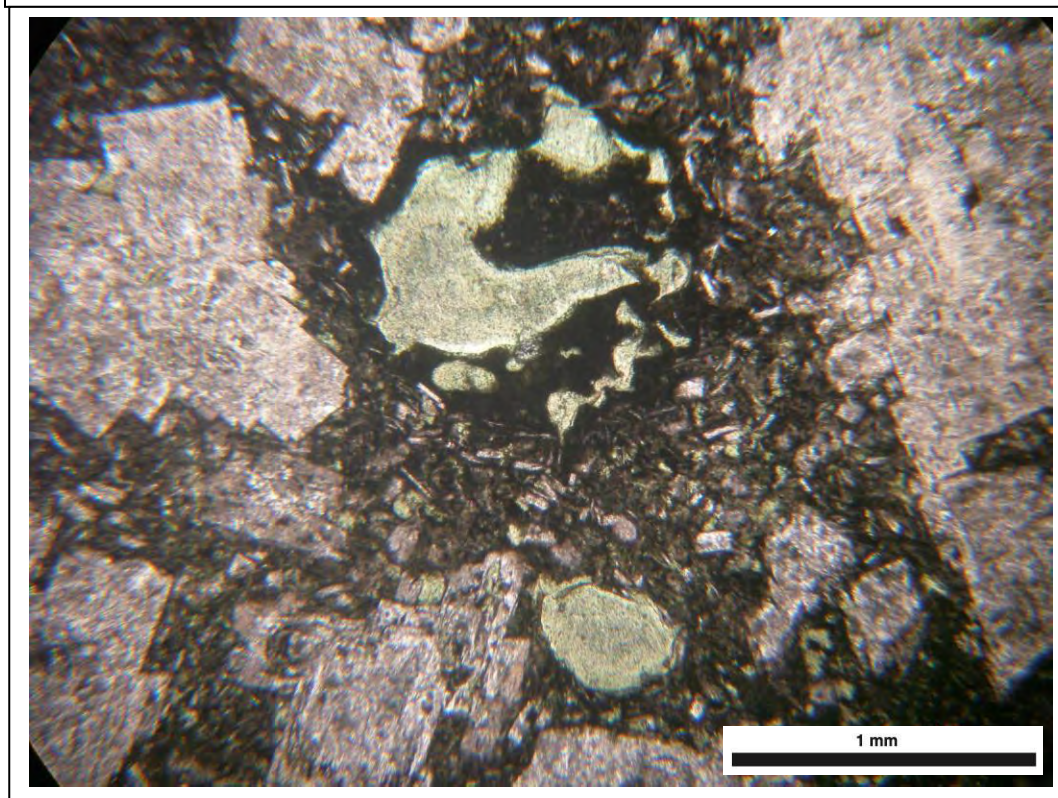
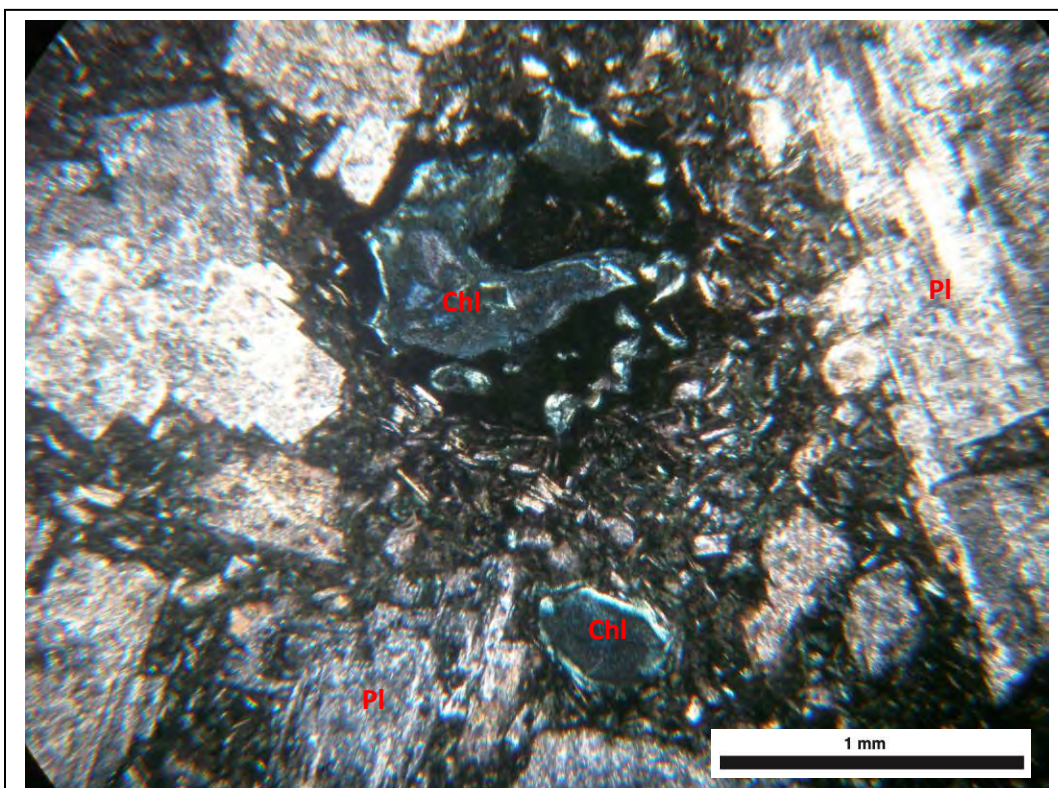
รูปที่ 4.2 แผ่นหินขัดเรียบของหินบะซอลต์ ก) Phyric basalt แสดงเนื้อหินแบบ Vesicular (V) และ Amygaloidal (A) ในตัวอย่าง NO-07 และ ข) Aphyric to sparsely plagioclase ± olivine phyric basalt ในตัวอย่าง NO-08.1



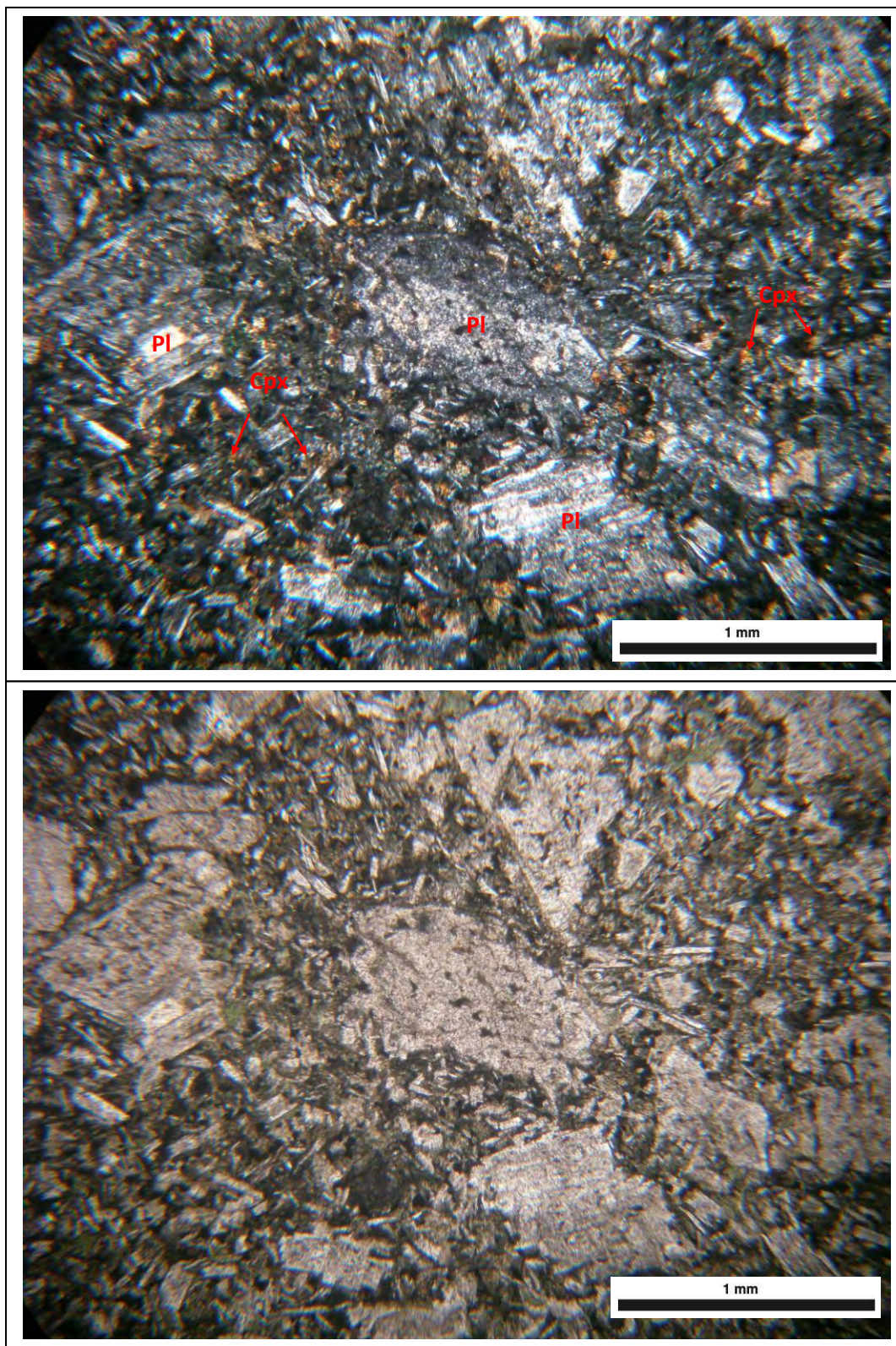
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหินบะซอลต์ แสดง phenocryst ของ olivine (OI) และ plagioclase (PI) ในเนื้อพื้นที่เป็น glasses texture (ในตัวอย่าง PO-03 จุดเก็บตัวอย่างดูในรูป 3.2)



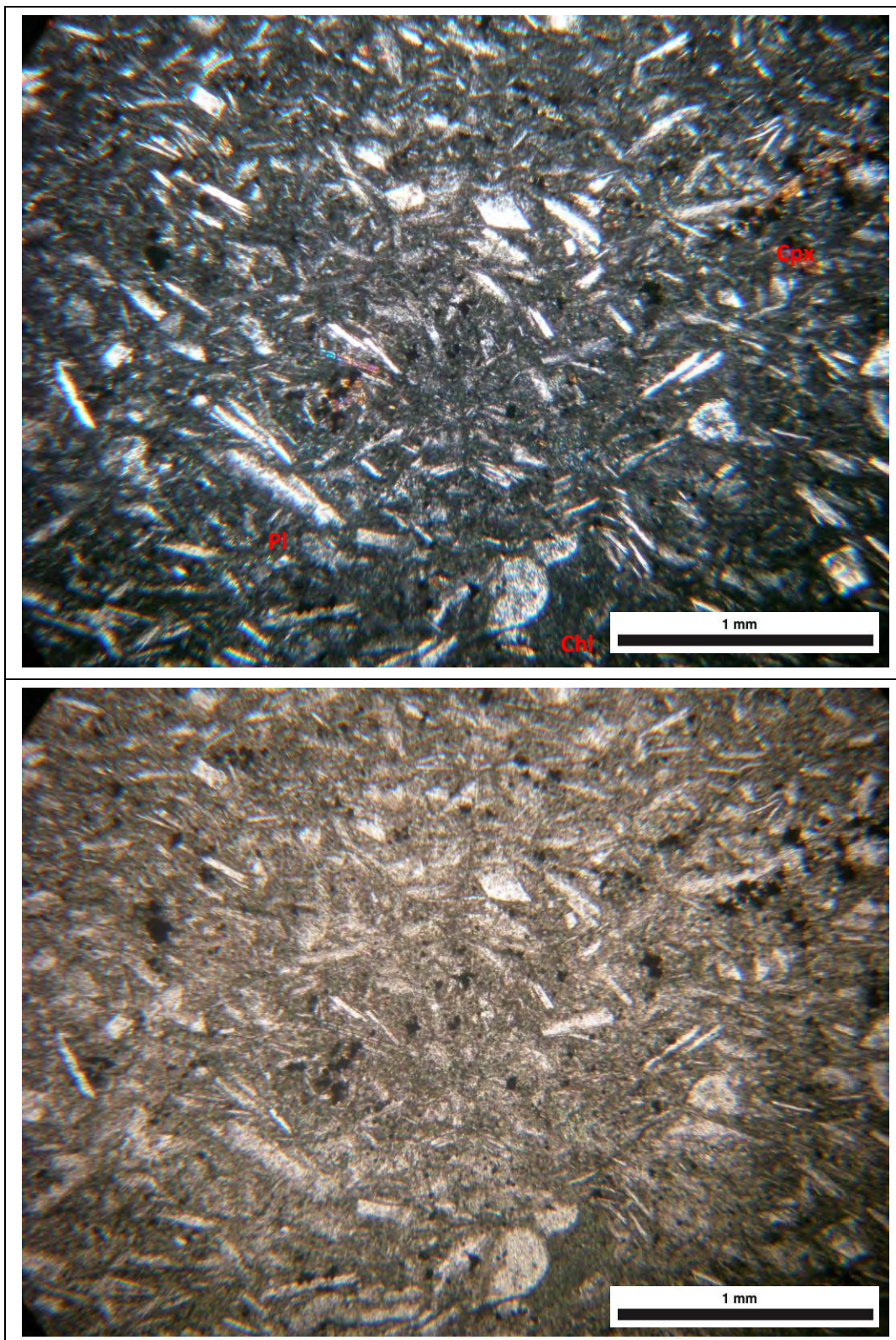
รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ของหินบะซอลต์ แสดง phenocryst ของแร่ hornblende(Hbl) ซึ่งเป็นแร่ทุติยภูมิและ plagioclase (Pl) ในเนื้อพื้น groundmass แบบ glass texture (microlites) ในตัวอย่าง NO-08 (จุดเก็บตัวอย่างดูในรูป 3.2)



รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหินบะซอลต์แสดง vesicular texture ถูกแทนที่
โดยแร่ chlorite (Chl) ซึ่งเป็นแร่ทุติยภูมิ และแร่ plagioclase (pl) ในเนื้อ glass texture (microlites) ที่
เป็น trachytic texture ในตัวอย่าง NO-07 (จุดเก็บตัวอย่างดูในรูป 3.2)



รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ของหินบะซอลต์ แสดง phenocryst ของ plagioclase(pl) ในเนื้อพื้นของ groundmass ที่ประกอบด้วย clinopyroxene และ glass texture(microlites)(sample no. NO-08.1)



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหินบะซอลต์แสดงเนื้อพื้นแบบ trachytic texture (mictolites เรียงตัวไปในทิศทางเดียวกัน ในตัวอย่าง NO-12 (จุดเก็บตัวอย่างดูในรูป 3.2)

4.2 การจำแนกชนิดหิน

จากการสังเกตตัวอย่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงพบว่าหินตัวอย่างมี แร่องค์ประกอบหลัก ได้แก่ แร่ plagioclase ที่มี An-content อยู่ในช่วง 65-75 ซึ่งพบในทุกตัวอย่าง นอกจากนี้ยังพบ แร่ olivine และ clinopyroxene (ในบางตัวอย่าง) แสดงว่าหินที่ทำการศึกษาคือหิน ชนิดเมฟิก ซึ่งสรุปได้ว่าหินในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็น phyrlic basalt และ olivine phyrlic basalt

ในบางตัวอย่างที่แสดงลักษณะการวางตัวของ microlites ซึ่งเกิดจากการไหลของลาวาซึ่งจะพบใน groundmass เรียกว่า trachytic texture (เช่นในตัวอย่าง NO-11, NO-12 และ PO-01.1) ลักษณะดังกล่าวบ่งบอกให้เห็นว่าหินที่ศึกษาเป็นหินอัคนีภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์ที่เกิดขึ้นในน้ำ (aqueous basalt)

-
- 5.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุออกไซด์หลักและธาตุรอง
 - 5.2 การจำแนกหินและกรณีแปรสัณฐาน

บทที่ 5

ธรณีเคมี

เพื่อให้การศึกษาทางศิลาวรรณามีความสอดคล้องกับหลักฐานทางธรณีวิทยาจากภาคสนาม จึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลทางธรณีเคมีเข้าช่วย โดยใช้ X-Ray Fluorescence spectrometer (XRF) ที่คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ(ในรูปของออกไซด์) และ trace element บางตัว หากต้องการหา trace element อื่นๆและ REE อาจจะใช้วิธีอื่นในการวิเคราะห์ ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยใช้ผลการวิเคราะห์จาก XRF อย่างเดียวเท่านั้น โดยผล major oxide ที่ใช้พิจารณา จะมี 10 ชนิด ได้แก่ SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O และ P_2O_5

5.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุออกไซด์หลักและธาตุรอง

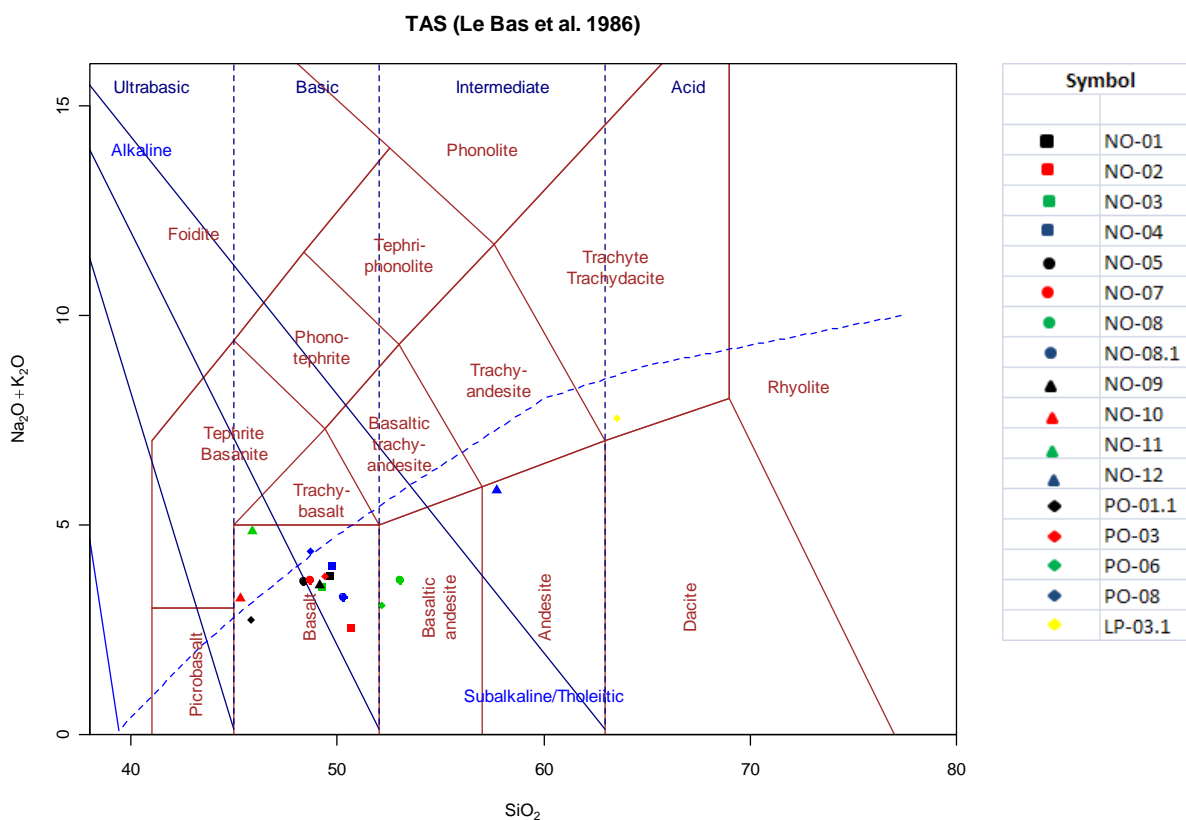
จากการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ(ในรูปของออกไซด์) ของตัวอย่างจำนวน 17 ตัวอย่าง ปรากฏว่าได้ปริมาณ SiO_2 มีค่าแตกต่างกันไปตั้งแต่ 41.98 ถึง 49.35 %wt ยกเว้น บางตัวอย่างที่มี SiO_2 สูงถึง 56.14 และ 61.85 %wt (NO-12 และ LP03.1 ตามลำดับ) ปริมาณ TiO_2 มีปริมาณใกล้เคียงกันตั้งแต่ 0.99 ถึง 1.55 %wt และ บางตัวอย่างมีปริมาณ 2.51%wt (PO-01.1), ปริมาณ Al_2O_3 มีค่าอยู่ในช่วง 14 ถึง 17 %wt, ปริมาณ Fe_2O_3 ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 9.32 ถึง 15.12 %wt บางตัวอย่างมีปริมาณ Fe_2O_3 น้อยเช่น 5.22 %wt (LP-03.1), ปริมาณ MnO มีค่าใกล้เคียงกันตั้งแต่ 0.11 ถึง 0.24 %wt, ปริมาณ MgO มีค่าอยู่ในช่วง 3.24 ถึง 11.89 %wt, ปริมาณ CaO มีค่าที่หลากหลายตั้งแต่ช่วง 2 ถึง 15 %wt, ปริมาณ Na_2O มีค่าไม่แตกต่างกันในช่วง 2 ถึง 5 %wt, ปริมาณ K_2O มีค่าในช่วง 0.12 ถึง 1.94 %wt และปริมาณ P_2O_5 มีค่าในช่วง 0.1 ถึง 0.2 %wt (รายละเอียดดูในตารางที่ 5.1)

ส่วนค่า Trace element บางตัวของตัวอย่างเช่น Ti, V, Cr, Ni, Cu, Zn, Sr, Y และ Zr สามารถหาค่าได้ด้วยเครื่อง XRF มีหน่วยเป็น ppm ซึ่งจะแสดงค่าดังตารางที่ 5.1 เช่นกัน

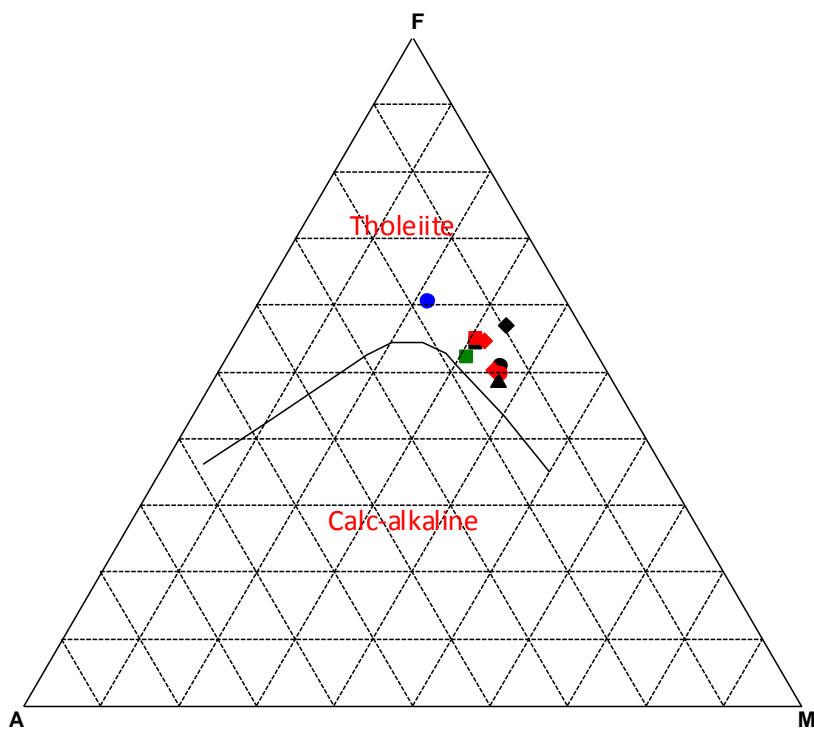
5.1 ปริมาณ major oxide และ trace element บางตัวจากตัวอย่างหินอัคนีภูเขาไฟชนิดสีเข้มบริเวณบ้านหาดงา

Sample	NO-01	NO-02	NO-03	NO-04	NO-05	NO-07	NO-08	NO-08.1	NO-09	NO-10	NO-11	NO-12	PO-01.1	PO-03	PO-06	PO-08	LP-03.1*
SiO ₂	44.95	48.08	46.08	45.39	44.87	46.14	49.35	48.56	45.16	41.98	44.15	56.14	42.64	46.14	48.91	47.97	61.85
TiO ₂	1.32	1.1	1.53	1.15	1.36	1.36	1.18	1.17	1.26	1.55	1.47	1.15	2.51	1.22	1.02	1.17	0.99
Al ₂ O ₃	14.57	14.15	14.98	14.98	14.75	15.68	14.26	17.06	14.31	14.01	13.5	15.64	12.32	13.86	15.33	15.32	15.4
Fe ₂ O ₃	12.65	9.32	13.49	11.24	13.04	12.55	10.23	10.88	11.07	14.92	14.36	9.85	15.12	12.14	12	13.3	5.22
MnO	0.17	0.11	0.17	0.12	0.18	0.17	0.15	0.13	0.14	0.22	0.22	0.18	0.24	0.21	0.21	0.24	0.21
MgO	7.17	5.16	7.84	6.56	9.23	9.3	6.61	3.91	8.28	11.89	10.58	4.76	8.9	8.49	6.56	9.4	3.24
CaO	6.19	14.38	6.08	8.03	5.81	5.97	7.66	11.59	8.26	4.97	7.23	3.68	8.54	7.67	6.67	6.63	2.77
Na ₂ O	3.17	2.3	2.1	1.84	2.81	3.05	3.1	2.39	2.62	1.62	2.72	4.03	2.4	3.15	2.4	3.81	5.41
K ₂ O	0.25	0.12	1.2	1.83	0.57	0.43	0.33	0.77	0.66	1.39	1.94	1.63	0.13	0.36	0.5	0.5	1.94
P ₂ O ₅	0.14	0.15	0.12	0.13	0.12	0.15	0.13	0.15	0.14	0.1	0.12	0.18	0.24	0.13	0.17	0.12	0.29
LOI	4.603	4.906	5.283	5.41	5.147	4.867	4.313	4.481	5.655	5.704	5.559	6.34	3.452	3.203	3.059	4.638	2.27
Total	95.183	99.776	98.873	96.68	97.887	99.667	97.313	101.091	97.555	98.354	101.849	103.58	96.492	96.573	96.829	103.098	99.59
Ti	7982.27	6599.39	9296.21	6925.76	8199.55	8223.63	7076.36	7053.48	7562.12	9369.39	8909.39	6875.45	15375.45	7358.03	6116.21	7017.42	n/a
V	278.21	213.61	321.98	248.16	299.21	284.92	245.44	249.68	264.65	331.15	323.29	194.29	480.1	255.86	232.25	264.5	n/a
Cr	84.06	59.06	109.06	60.27	82.12	61.88	80.1	81.8	61.64	90.51	125.35	38.73	235.51	176.48	86.8	97.93	n/a
Ni	16.09	12.21	26.81	nd	3.97	20.85	44.7	nd	25.55	22.37	14.83	nd	78.8	62.56	nd	nd	n/a
Cu	73.32	66.5	65.97	70.44	69.82	72.43	66.63	71.04	69.84	65.18	61.4	64.74	65.72	61.83	59.32	nd	n/a
Zn	38.82	30.5	28.5	40.16	54.5	56.02	46.07	32.45	47.61	47.2	33.3	85.23	41.52	52.57	13.95	51.41	n/a
Sr	347.42	94.45	462.94	605.28	813.93	914	524.04	448.49	697.48	431.43	362.46	448.95	159.4	217.07	353.73	294.41	n/a
Y	nd	nd	nd	12.09	nd	nd	nd	8.73	nd	10.3	9.15	nd	nd	nd	nd	nd	n/a
Zr	72.74	35.33	92.67	94.95	138.88	143.5	91.98	82.98	110.44	83.7	47.79	153.98	91.72	57.96	60.66	58.03	n/a

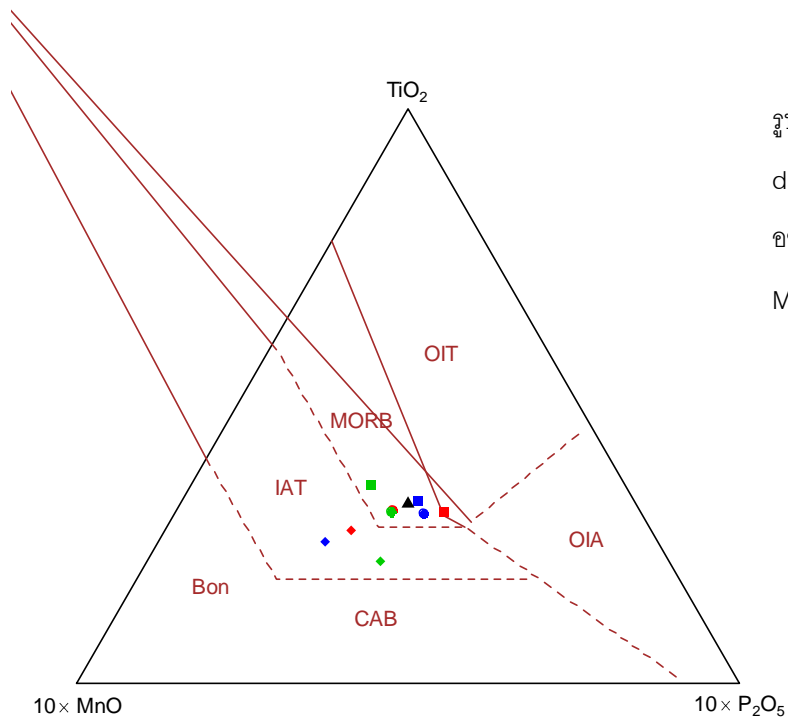
Major oxide in %wt; trace element in ppm., *data from Charusiri et al (2003), nd = not determined, n/a = no data



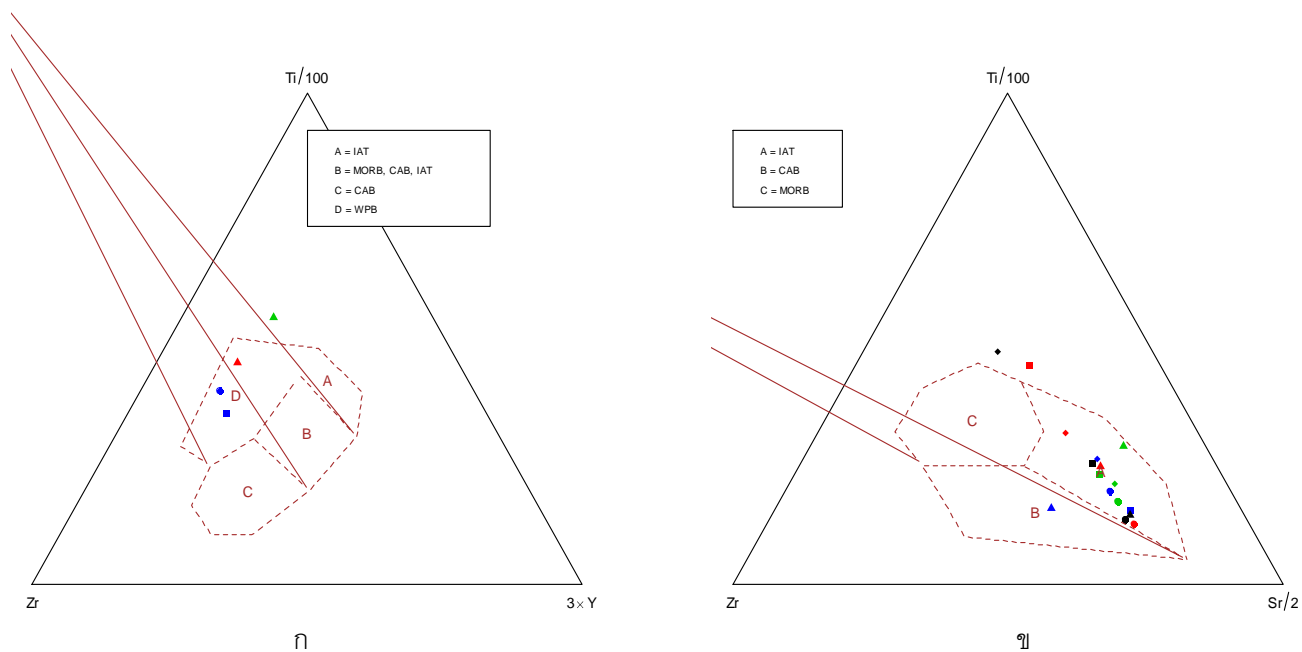
รูปที่ 5.1 การจำแนกหินอัคนีภูเขาไฟในพื้นที่บริเวณบ้านหาดงโดยเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง SiO_2 กับค่าตุลาคาไลน (Na_2O+K_2O) ปรากฏว่าส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม Subalkaline/Tholeiitic basalt (กราฟจาก Le Bas et al. 1986)



รูปที่ 5.2 AFM variation triangular ของ subalkaline basalt ในบริเวณบ้านหาดงซึ่งอยู่ใน field ของ Tholeiitic (กราฟจาก Irvin และ Baragar, 1971)



รูปที่ 5.3 MnO_2 - TiO_2 - P_2O_5 discrimination diagram ของหินบะซอลต์ในบริเวณบ้านหาดงาซึ่งอยู่ใน field ของ MORB และ IAT (กราฟจาก Mullen, 1983)



รูปที่ 5.4 ก) Ti-Zr-Y discrimination diagram ของหินบะซอลต์บริเวณบ้านหาดงา ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ใน field ของ WPB (กราฟจาก Pearce และ Cann, 1973) และ ข) Ti-Zr-Sr discrimination diagram ของหินบะซอลต์บริเวณบ้านหาดงาซึ่งส่วนใหญ่อยู่ใน field ของ IAT (กราฟจาก Pearce และ Cann, 1973)

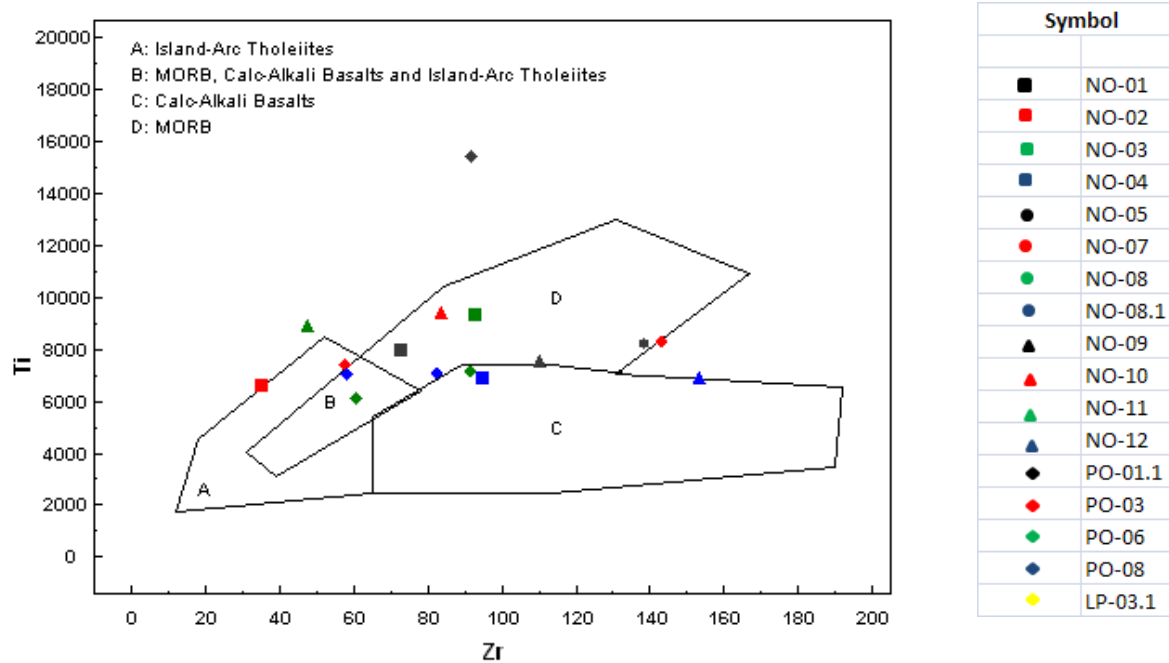
5.2 การจำแนกหินและธรณีแปรสัณฐาน

การจำแนกหินโดยการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ธาตุ Alkaline กับ SiO_2 โดยใช้ตาราง TAS diagram ของ Le Bas et al (1986) พบว่าสามารถจำแนกหิน ได้ดังนี้ subalkaline basalt, alkaline basalt, basaltic andesite, andesite และ trachydacite (ดูรูปที่ 5.1) หลังจากนั้นได้เลือกหินชนิด subalkaline basalt มา plot ลงใน AFM diagram (กราฟจาก Irvin และ Baragar, 1971) พบว่าทั้งหมดเป็น tholeiite (ดูรูปที่ 5.2)

จากการนำค่า major oxide ของหินตัวอย่าง บางตัว (ได้แก่ TiO_2 , MnO และ P_2O_5) มาหาความสัมพันธ์ของ Geotectonic โดยการ plot ลงใน diagram ของ Mullen, 1983 ปรากฏว่าหินบะซอลต์ในพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะธรณีแปรสัณฐานแบบ Mid Oceanic Ridge Basalt (MORB) และ Iceland Arc Tholeiite (IAT) ซึ่งแสดงว่าหินในบริเวณนี้เกิดขึ้นในทะเล เมื่อเปรียบเทียบกับ diagram ของ Pearce&Cann, 1973 โดยใช้ค่า trace element ของตัวอย่าง (ได้แก่ Ti, Zr และ Y) มาพล็อตลงในไดอะแกรม พบว่าเป็นธรณีแปรสัณฐานแบบ Within-plate basalt (WPB) ซึ่งสัมพันธ์กับ Oceanic plate เนื่องจากเมื่อเทียบกับอีกไดอะแกรมของ Pearce&Cann, 1973 เช่นกัน (แต่ใช้ธาตุ Ti, Sr และ Zr) พบว่าหินตัวอย่างอยู่ในกลุ่มของ IAT ซึ่งจะสัมพันธ์กับไดอะแกรมของ Mullen, 1983 ในตอนแรก(ดูรูปที่ 5.4)

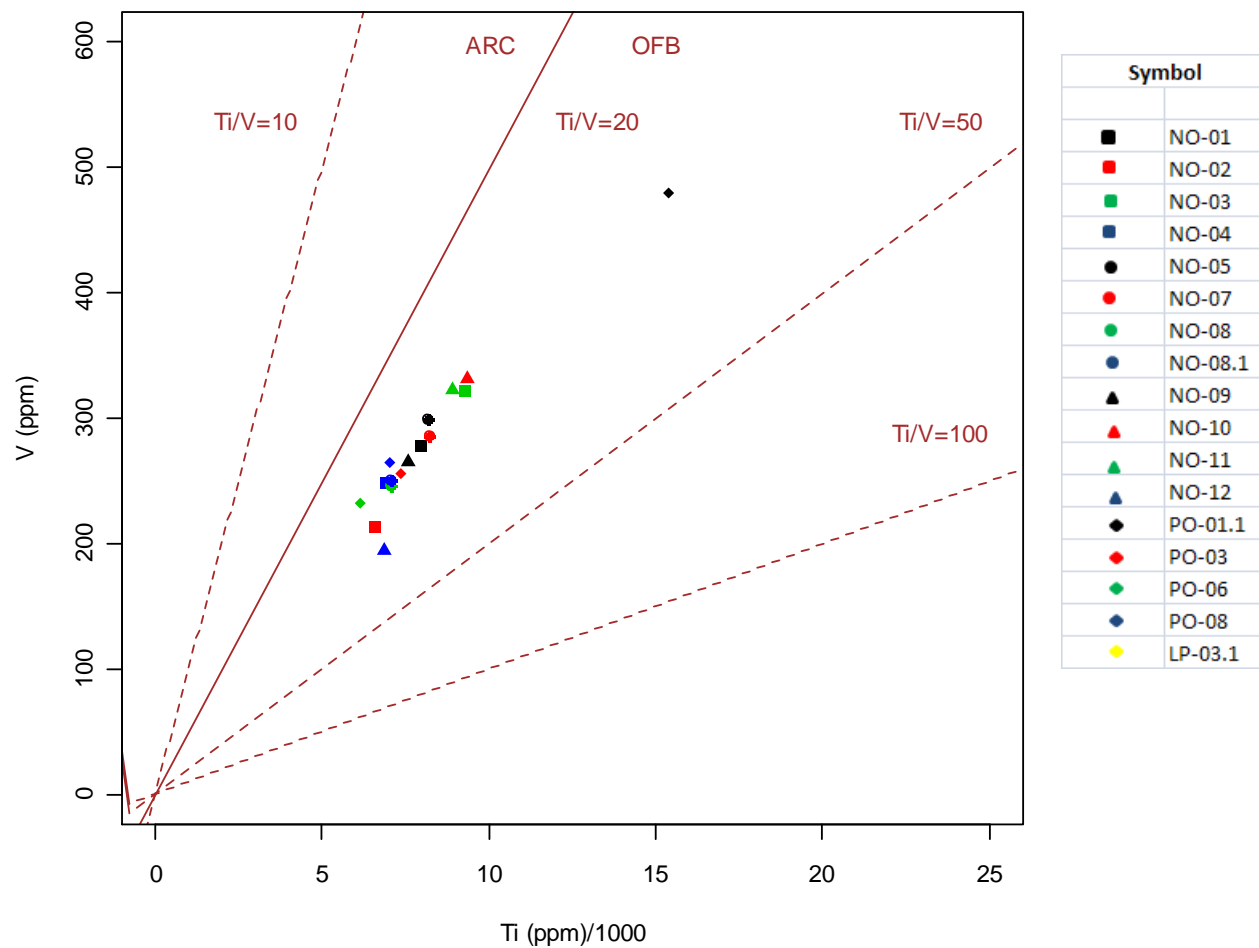
เมื่อนำค่า trace element ระหว่าง Ti-Zr มา plot ลงใน tectonic diagram ของ Pearce&Cann, 1973 พบว่าหินบะซอลต์ในพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กับ MORB (ดูรูปที่ 5.5) ทั้งนี้เมื่อใช้ไดอะแกรมของ Shervais, 1982 มาศึกษาประกอบกันพบว่าเป็นหินบะซอลต์ที่มีอัตราส่วนของ Ti/V ระหว่าง 20-50 ซึ่งสัมพันธ์กับ MORB อีกเช่นกัน(ดูรูปที่ 5.6)

ดังนั้นสรุปแล้วว่าหินบะซอลต์บริเวณบ้านหาดงามีลักษณะการเกิดแบบ aqueous environment ที่มีธรณีแปรสัณฐานแบบ MORB



รูปที่ 5.5 Ti-Zr diagram ของหินบะซอลต์บริเวณบ้านหาดงาส่วนใหญ่อยู่ใน field ของ MORB

(กราฟจากPearce และ Cann, 1973)



รูปที่ 5.6 Ti-V discrimination diagram ของหินบะซอลต์บริเวณบ้านหาดงาซึ่งส่วนใหญ่มีค่า Ti/V ระหว่าง 20-50 จัดอยู่ในกลุ่ม MORB (กราฟจาก Shervais, 1982)

- 6.1 ตัวอย่างหินบะซอลต์
- 6.2 การวิเคราะห์หาอายุหินบะซอลต์
- 6.3 ผลการวิเคราะห์หาอายุหินบะซอลต์

บทที่ 6

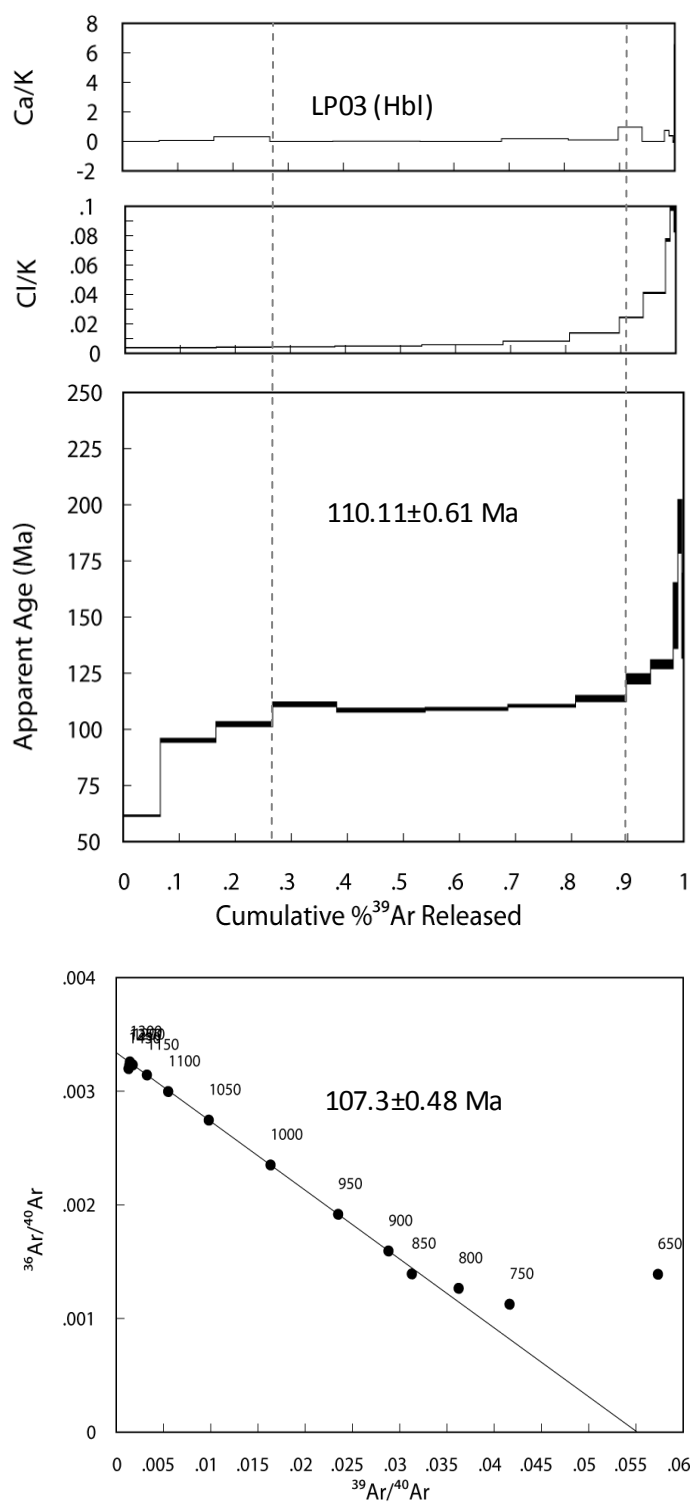
ธรณีกาลวิทยา

6.1 ตัวอย่างหินบะซอลต์

จากการออกภาคสนามได้คัดเลือกหินตัวอย่างในพื้นที่ศึกษามา 1 ตัวอย่างเพื่อทำการศึกษาหาอายุของหินด้วยวิธี $Ar^{40}-Ar^{39}$ dating โดยเลือกเก็บตัวอย่างหินบริเวณ ถนนหมายเลข 13 ตรงพิกัดที่ 20 องศา 03 ลิปดา 20 พิลิปดาเหนือและ 102 องศา 16 ลิปดา 04 พิลิปดาตะวันออก ซึ่งอยู่ห่างมาทางตอนใต้จากจุดศึกษาบริเวณบ้านหาดงาราวๆ 4 กิโลเมตร

6.2 การวิเคราะห์หาอายุหินบะซอลต์

สำหรับตัวอย่าง LP03 ได้ใช้แร่ฮอร์นเบลน (Hornblende) ในการวิเคราะห์หาอายุและดำเนินการวิเคราะห์ที่ประเทศไต้หวัน (วิเคราะห์และเตรียมตัวอย่างโดยนายรัชชัย เชื้อเหล่าวานิช) โดยตัวอย่างหินได้รับการอบกระตุ้นด้วยรังสีนิวตรอน (Neutron-activated irradiation) ที่มหาวิทยาลัยซิงหัว (Tsing Hua University) เป็นเวลา 30 ชั่วโมงแล้วปล่อยให้เย็นตัวเป็นเวลา 2 เดือนก่อนตัวอย่างจะถูกส่งไปวิเคราะห์หาอายุ ณ ห้องปฏิบัติการธรณีกาลแก๊สอาร์กอน (Ar/Ar Geochronology Laboratory) ภาควิชาธรณีศาสตร์ (Department of Geosciences) มหาวิทยาลัยแห่งชาติไต้หวัน (National Taiwan University)



รูปที่ 6.1 แผนภูมิแสดงลักษณะ (บน) age spectra (กลาง) Ca/K และ (ล่าง) Cl/K เทียบกับ cumulative ³⁹Ar released ของตัวอย่างหินบะซอลต์ LP-03 จากบริเวณทางใต้ของบ้านหาดงา เมืองหลวงพระบาง ประเทศลาว

ตารางที่ 6.1 สรุปผลการวิเคราะห์อายุหินบะซอลต์ ด้วยวิธี $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ไอโซโทป

ตัวอย่าง	พิกัดทางภูมิศาสตร์		ชนิดหิน	แร่	Isochron age(Ma)	Plateau age(Ma)
	ละติจูด(N)	ลองจิจูด(E)				
LP03	20° 03' 20"	102° 16' 04"	basalt	Hbl	107.3±0.48	110.11±0.61

6.3 ผลการวิเคราะห์หาอายุหินบะซอลต์

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างที่นำมาหาอายุ ด้วยวิธี $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ไอโซโทป ของหินบะซอลต์ พบว่าตัวอย่างแสดงชั้นของค่าอายุปรากฏ (apparent age) ที่ไม่ต่อเนื่องในแนวระดับ บ่งบอกว่าค่าอายุสัมบูรณ์ที่ได้มีระดับความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ไม่ค่อยดี โดยนำมาแสดงผลในรูปของแผนภูมิต่าง ๆ ได้แก่ age spectrum diagrams, Ca/K plots และ Cl/K plots (รูปที่ 6.1) และได้สรุปผลค่าอายุต่างๆที่วัดได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.1 ผลคำนวณค่าอายุสัมบูรณ์ของตัวอย่างหินบะซอลต์บริเวณถนนหมายเลข 13 ทางตอนใต้ของบ้านหาดงา ในจังหวัดหลวงพระบาง มีค่า คือ 110.11 ± 0.61 ล้านปี ซึ่งอยู่ในช่วง Early Cretaceous

- 7.1 อภิปรายผลการศึกษาศิลาวรรณา
- 7.2 อภิปรายผลการศึกษากรณีเคมี
- 7.3 อภิปรายผลการหาอายุด้วยวิธี ^{40}Ar - ^{39}Ar

บทที่ 7

อภิปรายผลการวิจัย

7.1 อภิปรายผลการศึกษาศิลาวรรณา

จากการศึกษาศิลาวรรณาของหินบะซอลต์บริเวณบ้านหาดงาพบว่ามีลักษณะสำคัญแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ phyric basalt และ olivine phyric basalt

Phyric basalt มี phenocryst ของ plagioclase ที่มี An_{65-85} เป็นแร่องค์ ประกอบหลัก และมีเนื้อพื้น (groundmass) เป็นเนื้อแก้ว (volcanic glass) ประกอบด้วยแร่ microlite, micropyrroxene และ opaque minerals โดยมีลักษณะของ texture ที่แสดงการเรียงตัว ของ microlite (trachytic texture) และ amygaloidal texture ซึ่งมีแร่ทุติยภูมิ (เช่น Chlorite, calcite และเหล็กออกไซด์ เป็นต้น) เข้าไปแทนที่ในช่องว่างดังกล่าว เป็นตัวบ่งบอกว่าหินบะซอลต์บริเวณดังกล่าวถูกกระบวนการ alteration

Olivine phyric basalt มี phenocryst ของแร่ olivine และ plagioclase เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีเนื้อพื้นเป็นเนื้อแก้วประกอบด้ วยแร่ plagioclase โดยมี texture แบบ sub-ophitic texture และ ปรากฏลักษณะแบบ trachytic texture บ้างเล็กน้อย นอกจากนี้ยังแร่ทุติยภูมิเช่น chlorite และ calcite เข้าไปแทนที่ใน vesicular texture ซึ่งบ่งบอกว่าหินบะซอลต์บริเวณดังกล่าวถูก alteration เช่นเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบกับหินบะซอลต์ที่พบบริเวณบ้านดอนเงิน (ศุภชัย ชูสวัสดิ์ , 2010) พบว่า ศิลาวรรณาของหินบะซอลต์ที่พบในพื้นที่เป็นหินolivine phyric basalt ที่มีลักษณะเป็นผลึกเนื้อดอกที่ขนาดเนื้อดอกตั้งแต่ 1-5 มิลลิเมตร ประกอบไปด้วยแร่ plagioclaseจำพวก bytownite ที่มีลักษณะ subhedral ถึง anhedral พบ pyroxene โดยส่วนใหญ่เป็น clinopyro- xene มากกว่า othopyroxene นอกจากนี้ยังพบ olivine, volcanic glass และแร่ทุติยภูมิได้แก่ chlorite และมีลักษณะคล้ายกับหินบะซอลต์ที่พบในพื้นที่บ้านหาดงาซึ่งอยู่ทางใต้ของพื้นที่ศึกษาบ้านดอนเงินประมาณ 20-30 กิโลเมตร

จากการศึกษาหินบะซอลต์ที่พบบริเวณ Loei-Petchabun Fold Belt พบว่า หินบะซอลต์ในบริเวณดังกล่าวแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ชนิด tholeiite และ ชนิด spillite (ดูใน Intasopa, 1993) โดยชนิด Tholeiite มี phenocrysts ของแร่ augite และ plagioclase เป็นส่วนใหญ่และโดย มี texture แบบ ophitic texture และ

ใน phenocrysts ของแร่ olivine เดิมถูกแทนที่ด้วยแร่ chlorite ส่วนหินชนิด Spillite ประกอบด้วยแร่ plagioclase เป็นส่วนใหญ่ เนื้อพื้นเป็น trachytic texture ซึ่งแสดงการ flow ของแร่ microlite นอกจากนี้ยังมี เนื้อพื้นแบบ amygaloidal texture โดย ถูกแทนที่ด้วยแร่ chlorite และ แร่ quartz, carbonate และ zoesite บ้างเล็กน้อย

จากการศึกษาสิลาวิทยา ของหินบะซอลต์ ของ Panjasawatwong และ Yaowanoyothin (1993) พบว่ามี phenocrysts เป็นแร่ olivine, calcic clinopyroxene, plagioclase, magnetite และ ilmenite นอกจากนี้ยังมี microphenocrysts ของแร่ plagioclase, clinopyroxene และ olivine แทรกอยู่ใน fine-grained matrix โดยหินบะซอลต์บริเวณนี้เทียบได้กับ alkalic basalt

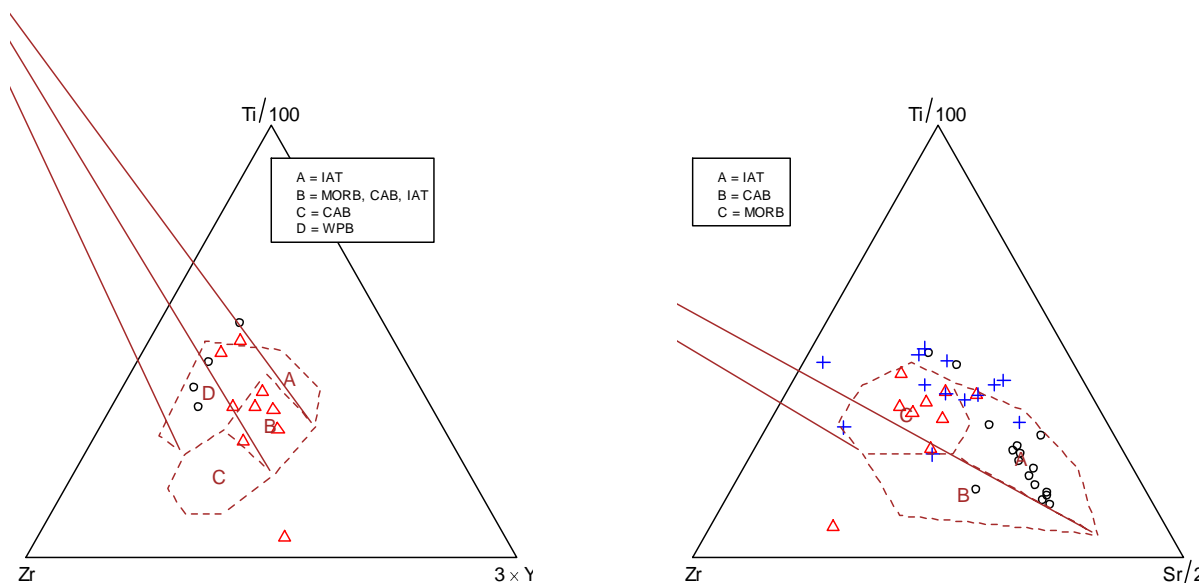
จากลักษณะดังกล่าวทำให้คิดว่าหินบะซอลต์ในพื้นที่ศึกษาบ้านหาดงาจะมี ความคล้ายคลึงกับ หินบะซอลต์ที่พบบริเวณเมืองเลย โดยเฉพาะในแง่ของแร่องค์ประกอบหลักของ phenocrysts, texture รวมไปถึง ถึงลักษณะของหินบะซอลต์ที่โดน alteration

7.2 อภิปรายผลการศึกษารณีเคมี

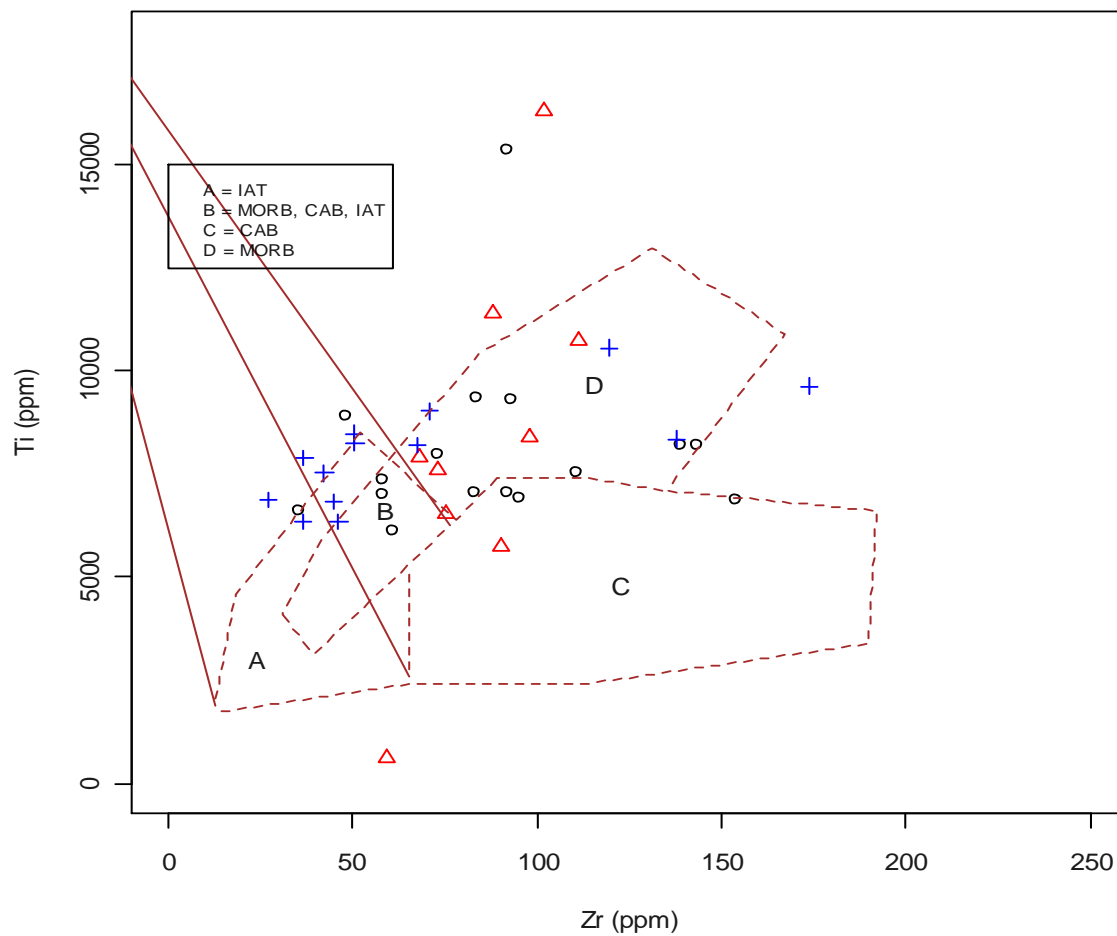
ผลการศึกษา major oxide และ trace element ด้วยวิธี XRF ปรากฏว่าหินบะซอลต์บริเวณบ้านหาดงามีปริมาณ $\text{SiO}_2 = 41.98-48.91 \text{ wt\%}$, $\text{MgO} = 4.76-11.89 \text{ wt\%}$, $\text{CaO} = 3.68-14.38 \text{ wt\%}$, $\text{K}_2\text{O} = 0.12-1.94 \text{ wt\%}$, $\text{Na}_2\text{O} = 1.62-5.41 \text{ wt\%}$, และ $\text{Ti/V} = 20-50$

จากการเทียบเคียงกับงานเก่าที่ได้ศึกษา หินบะซอลต์ใน 2 บริเวณ ได้แก่ Nan Suture Zone (NSZ) และ Loi-Petchabun Fold Belt ปรากฏว่าหินบะซอลต์บริเวณ NSZ มีปริมาณ SiO_2 ที่สูง ($\text{SiO}_2 = 51.2-58.0 \text{ wt\%}$) และ MgO ต่ำ ($\text{MgO} = 3.4-6.3 \text{ wt\%}$) นอกจากนี้ค่า $\text{Ti/V} > 50$ (ดูใน Panjasawatwong และ Yaowanoyothin, 2003) ส่วน หินบะซอลต์บริเวณ Loi-Petchabun Fold Belt มีปริมาณ $\text{SiO}_2 = 46.05-51.04 \text{ wt\%}$, $\text{MgO} = 6.58-9.35 \text{ wt\%}$ และ Ti/V ระหว่าง 20-50 เมื่อนำไปพล็อตใน tectonic diagram ของ Pearce and Cann (1973) ปรากฏว่าตัวอย่างหินบะซอลต์ส่วนใหญ่อยู่ใน field ของ VAB หากใช้ Ti/V discrimination ของ Shervais (1982) พบว่าหินอยู่ในกลุ่มของ MORB และ BAB (ดูใน Intasopa, 1993)

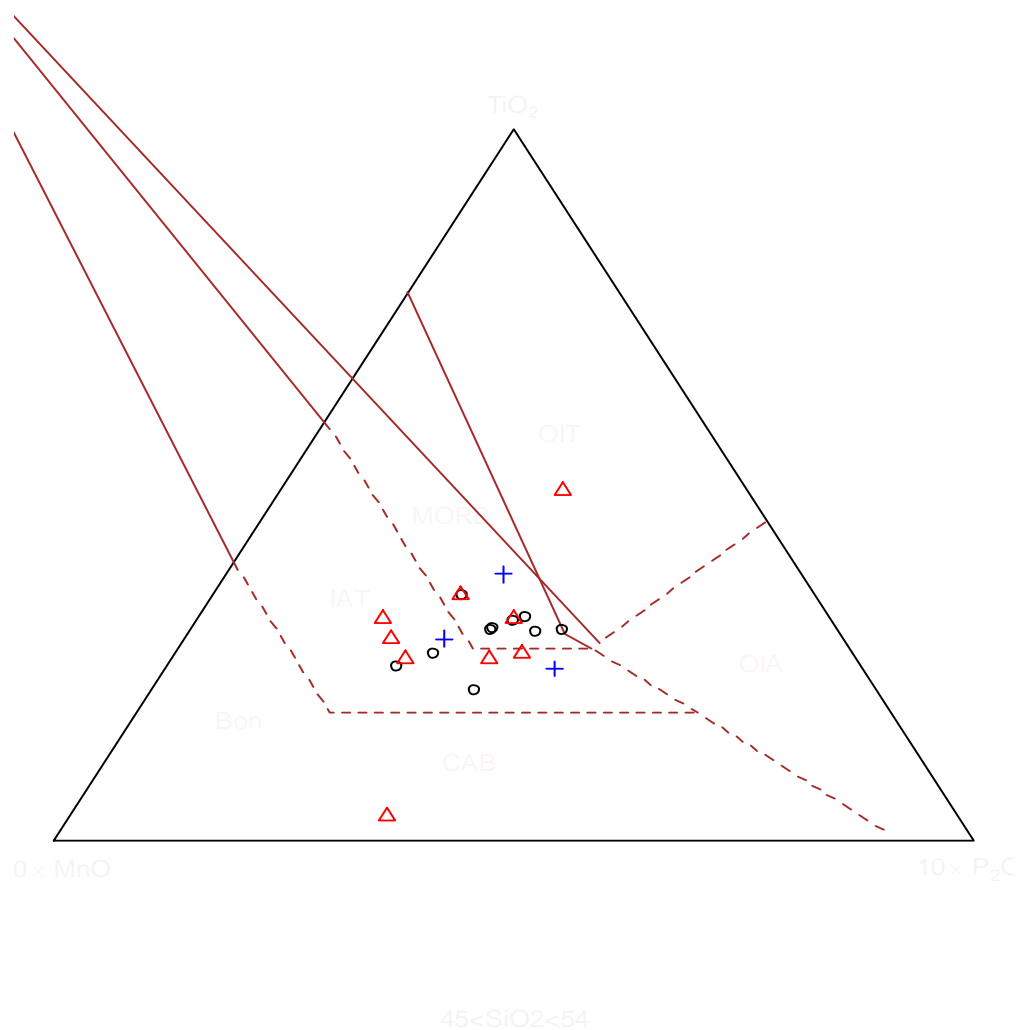
จะเห็นได้จากการเปรียบเทียบ ปริมาณ major oxide และ trace element ของ หินบะซอลต์ ที่พบ บริเวณบ้านหาดงาในประเทศลาวมีความสอดคล้องกันกับแนวหินคดโค้งภูเขาไฟจังหวัดเลย มากกว่าบริเวณ แนวตะเข้บธรณีไม่นาน



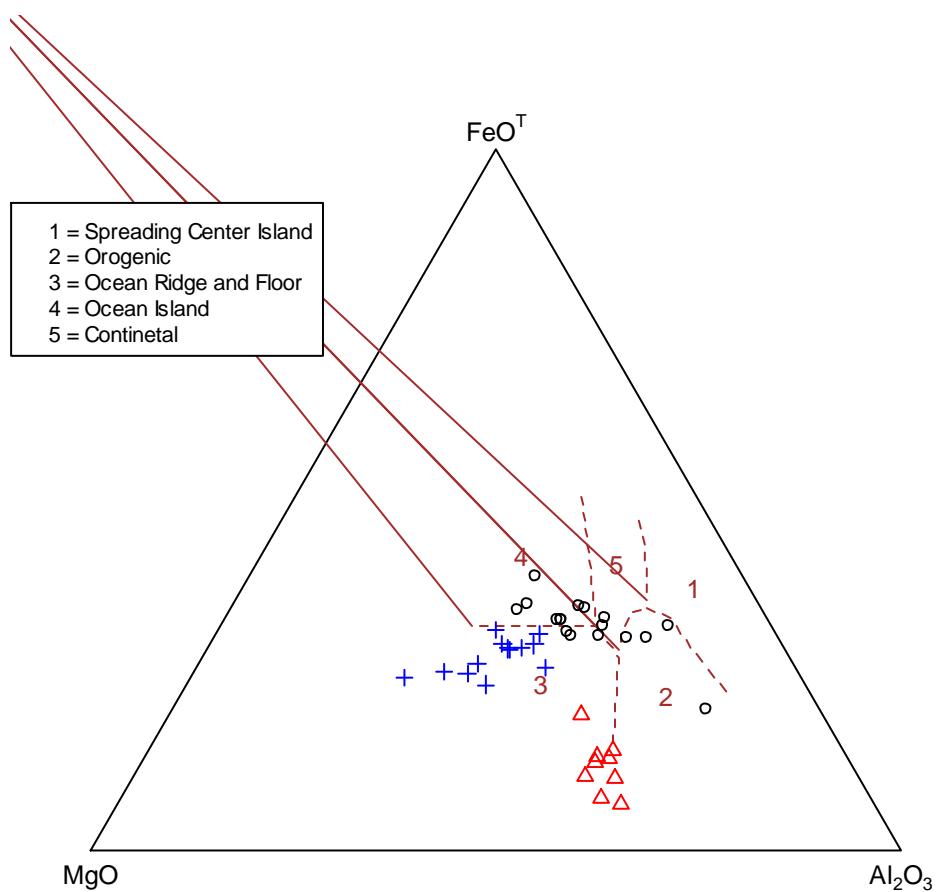
รูปที่ 7.1 ก) Ti-Zr-Y discrimination diagram ของหินบะซอลต์จากพื้นที่ต่างๆ (กราฟจากPearce และ Cann, 1973) และ ข) Ti-Zr-Sr discrimination diagram ของหินบะซอลต์จากพื้นที่ต่างๆ (กราฟจาก Pearce และ Cann, 1973) Δ หินบะซอลต์บริเวณจังหวัดเลย (Intasopa, 1993), \circ หินบะซอลต์บริเวณ บ้านหาดงา และ $+$ หินบะซอลต์บริเวณบ้านดอนเงิน (ศุภชัย ชูสวัสดิ์, 2010)



รูปที่ 7.2 Ti-Zr diagram ของหินบะซอลต์ในพื้นที่ Δ บริเวณจังหวัดเลย (Intasopa, 1993), \circ บริเวณบ้านหาดงา และ $+$ บริเวณบ้านคอนเงิน (สุภชัย ชูสวัสดิ์, 2010) (กราฟจาก Pearce และ Cann, 1973)



รูปที่ 7.3 MnO₂-TiO₂-P₂O₅ discrimination diagram ของหินบะซอลต์ \triangle บริเวณจังหวัดเลย (Intasopa, 1993), \circ บริเวณบ้านหาดงาและ $+$ บริเวณบ้านดอนเงิน (ศุภชัย ชูสวัสดิ์, 2010) ซึ่งอยู่ใน field ของ MORB และ IAT (กราฟจาก Mullen, 1983)



รูปที่ 7.4 MgO-Fe₂O₃-Al₂O₃ discrimination diagram ของหินบะซอลต์ Δ บริเวณจังหวัดเลย (Intasopa, 1993), O บริเวณบ้านหาดงาและ + บริเวณบ้านดอนเงิน (ศุภชัย ชูสวัสดิ์ , 2010) ซึ่งอยู่ใน field ของ MORB และ IAT (กราฟจาก Pearce, 1977)

7.3 อภิปรายผลการหาอายุด้วยวิธี $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$

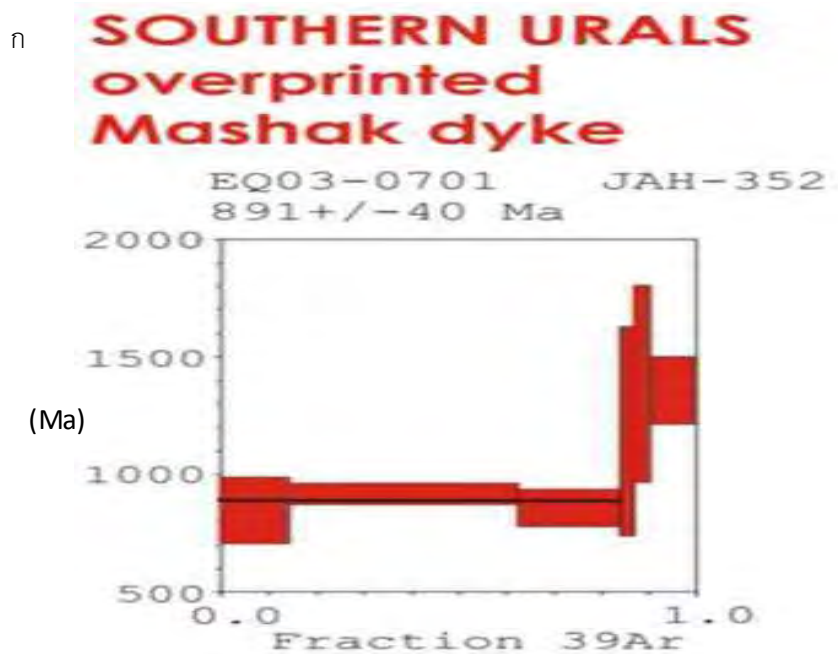
เนื่องจากข้อสรุปที่ได้จากศิลาบรรณและธรณีเคมีพบว่าหินบะซอลต์บริเวณบ้านหาดงาน่าจะมีแนวที่ต่อเนื่องจากแนวหินคดโค้งภูเขาไฟจังหวัดเลย ดังนั้นการหาอายุในบริเวณที่ใกล้เคียงกับแนวหินคดโค้ง ภูเขาไฟจังหวัดเลยอาจนำมาเทียบเคียง อายุของหินบะซอลต์ที่พบในบริเวณบ้านหาดงาได้ไม่มากนักน้อย จากรายงานเก่าที่เกี่ยวข้องกับการหาอายุหินที่เคยตีพิมพ์มาแล้วมีดังนี้ Lessere et al. (1972) ได้เสนอการหาอายุหิน granodiorite และ Monzonite จาก Sanakham ในประเทศลาวด้วยวิธี K-Ar ได้อายุ 260 ± 10 Ma และ 270 ± 10 Ma ตามลำดับ ในการหาอายุหินด้วยวิธี K-Ar เช่นเดียวกัน Jacobson et al. (1969) ได้ศึกษาหาอายุหินบริเวณภูควายเงินซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของจังหวัดเลยได้อายุ 235 Ma และ Stoke et al. (1996) ได้เสนออายุหินบะซอลต์และอัลคาไลน์บะซอลต์ในบริเวณ Pak Lay ได้อายุ 167.2 ± 5.2 Ma และ 152.4 ± 6.3 Ma ตามลำดับ นอกจากนี้ Intasopa (1993) ได้ศึกษาอายุหิน basaltic andesite และ andesite ด้วยวิธี Ar-Ar ได้ อายุ 238 ± 4 และ 237 ± 12 Ma ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่าการหาอายุหินอัคนีภูเขาไฟในบริเวณแนวหินคดโค้งภูเขาไฟจังหวัดเลยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง Permo-Triassic (ดูรูปที่ 7.8)

จากรายงานการหาอายุซึ่งยังไม่ได้ถูกตีพิมพ์โดย Charusiri และคณะ (2004) โดยใช้ตัวอย่างหินบะซอลต์ในบริเวณบ้านหาดงา ประเทศลาว (ตัวอย่าง LP-03, ดูรายละเอียดในบทที่ 6) มาหาอายุด้วยวิธี Ar-Ar พบว่าได้อายุ 110.11 ± 0.61 Ma ซึ่งไม่สอดคล้องกับอายุหินในบริเวณแนวหินคดโค้งภูเขาไฟจังหวัดเลย จึงเชื่อว่าอายุที่ได้ไม่ใช่อายุที่แท้จริง ทั้งนี้เนื่องจาก Ar-Ar spectra age (ดูในรูปที่ 6.1) มีลักษณะที่ถูกรบกวนจากกระบวนการทาง tectonics event ซึ่งเรียกว่า overprinting

เมื่อดูในงานของ Earnst et al. (2008) ซึ่งได้ทำการหาอายุหินบริเวณ Southern Urals ได้อายุ 891 ± 40 Ma (ดูในรูปที่ 7.1) โดยเทียบกับการหาอายุหินบริเวณเดียวกันด้วยวิธี U-Pb พบว่าได้อายุที่แตกต่างกันคือ 1385 ± 1.4 และ 1366 ± 12 Ma (Earnst et al. 2006 และ Panchkov et al. 2007) จึงสรุปว่าอายุที่ได้จากวิธี Ar-Ar ถูกรบกวนโดยกระบวนการ tectonics event ทำให้ Ar-Ar plateau age ไม่แสดงอายุที่แท้จริง ในกรณีเดียวกัน J. R. Ali et al. (2004) ได้ศึกษาอายุหินบะซอลต์ที่ได้จากบริเวณตะวันตกของ Yangze platform ด้วยวิธี Ar-Ar พบว่า Ar-Ar age spectra แสดงอายุอยู่ในช่วงมหายุคซีโนโซอิก (plateau age มีลักษณะคล้ายกับตัวอย่าง LP-03, ดูรูป 7.5 และ 7.6) เมื่อเทียบกับอายุหิน ในบริเวณใกล้เคียง พบว่ามีอายุในช่วง 256.2-246.1

(Lo et al. 2002) จึงสรุปว่าอายุของหินบะซอลต์บริเวณถูกผลกระทบจาก tectonothermal event ทำให้การหาอายุของหินบะซอลต์ด้วยวิธี Ar-Ar ไม่ได้อายุที่แท้จริง

จากข้อมูลเบื้องต้นมีความเป็นไปได้ว่าหินบะซอลต์บริเวณบ้านหาดงาอาจถูกกระบวนการ overprinting event ในช่วง Late Cretaceous - Early Paleocene ซึ่งเกิดจากการชนกันของแผ่นทวีปอินเดีย และแผ่นทวีปยูเรเชีย ทำให้อายุที่ได้จาก Ar-Ar age spectra มีอายุน้อยกว่าที่ควรจะเป็นและอายุที่แท้จริงสามารถสังเกตได้จากด้านปลายของ Ar-Ar age spectra ซึ่งมีอายุ ประมาณ 240 ± 21.1 Ma (ดูในรูป 7.7 และ ตารางที่ 7.1)

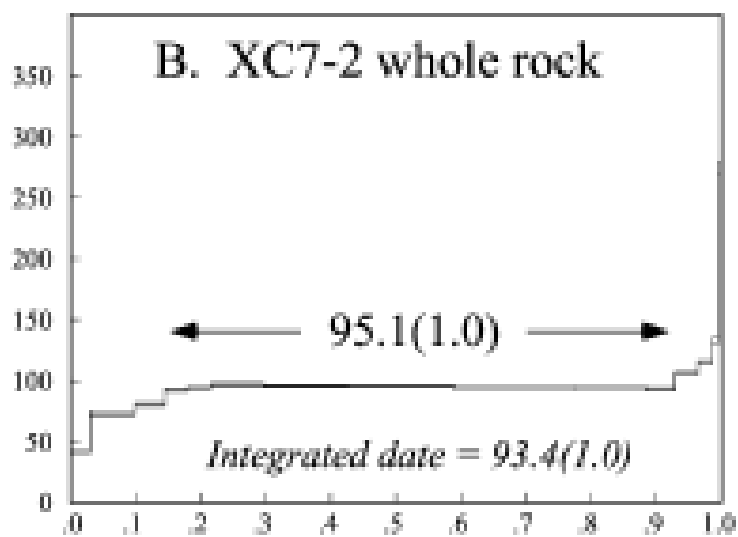


ข

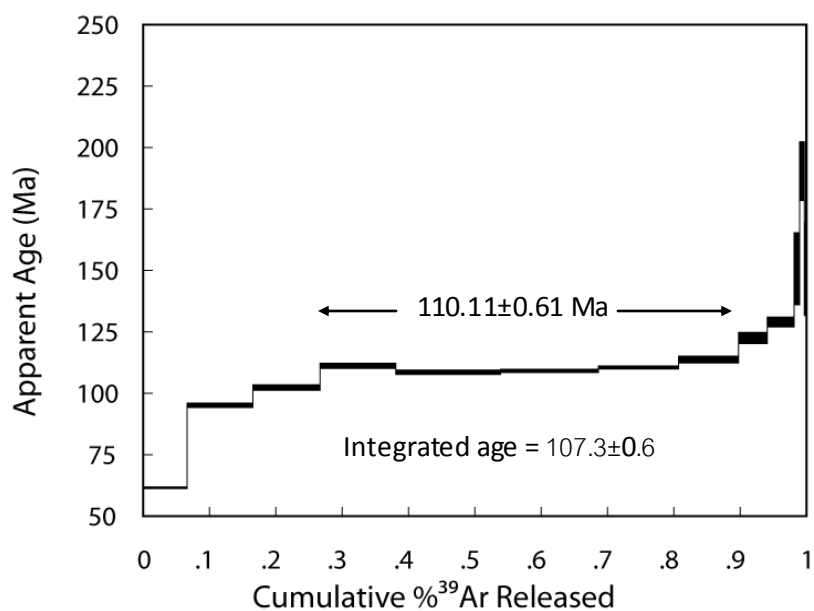
BASHKIRIAN ANTICLINORIUM, S. URALS overprinted dyke (NE-trend) of Mashak Igneous Event
(U-Pb baddeleyite age is 1385.3 \pm 1.4 Ma: Ernst et al., 2006)

<u>Sample Number</u>	<u>Lab Number</u>	<u>Location</u>	<u>Mineral</u>	<u>Integrated Date</u> (Ma)	<u>Plateau Date</u> (Ma)
EQ03-0701	JAH-352	54.9190°N, 058.7873°E	Amphibole	969 +/- 43	891 +/- 40

รูปที่ 7.5 ก) ตัวอย่างกราฟแสดงลักษณะของAr-Ar age spectrum ของ dike จากทางใต้ของเทือกเขา Urals (Ernst et al., 2008) ให้สังเกตการเปลี่ยนแปลงของอายุแกนY จากสภาพ Plateau age ทางซ้ายเทียบกับอายุด้านขวาที่สูงขึ้นไปจนถึงประมาณ1300-1400 Ma ข) คำอธิบายรูปก ให้สังเกตในวงเล็บที่ใช้วิธีU-Pb หาอายุได้ 1385.3 \pm 1.4 Ma (Ernst et al., 2006) ซึ่งสัมพันธ์กับอายุที่ปรากฏทางด้านขวาของAr-Ar age spectrum



รูปที่ 7.6 กราฟแสดงลักษณะของAr-Ar age spectrum ของหินบะซอลต์ทางตะวันตกของSouth China block (Yangze platform) ที่อาจได้รับการ overprint ทาง tectonic ในช่วงอายุประมาณ 45-60 Ma และเทียบกับ Spectrum ของ LP-03 ในรูป 7.3 (Ali et al., 2004)

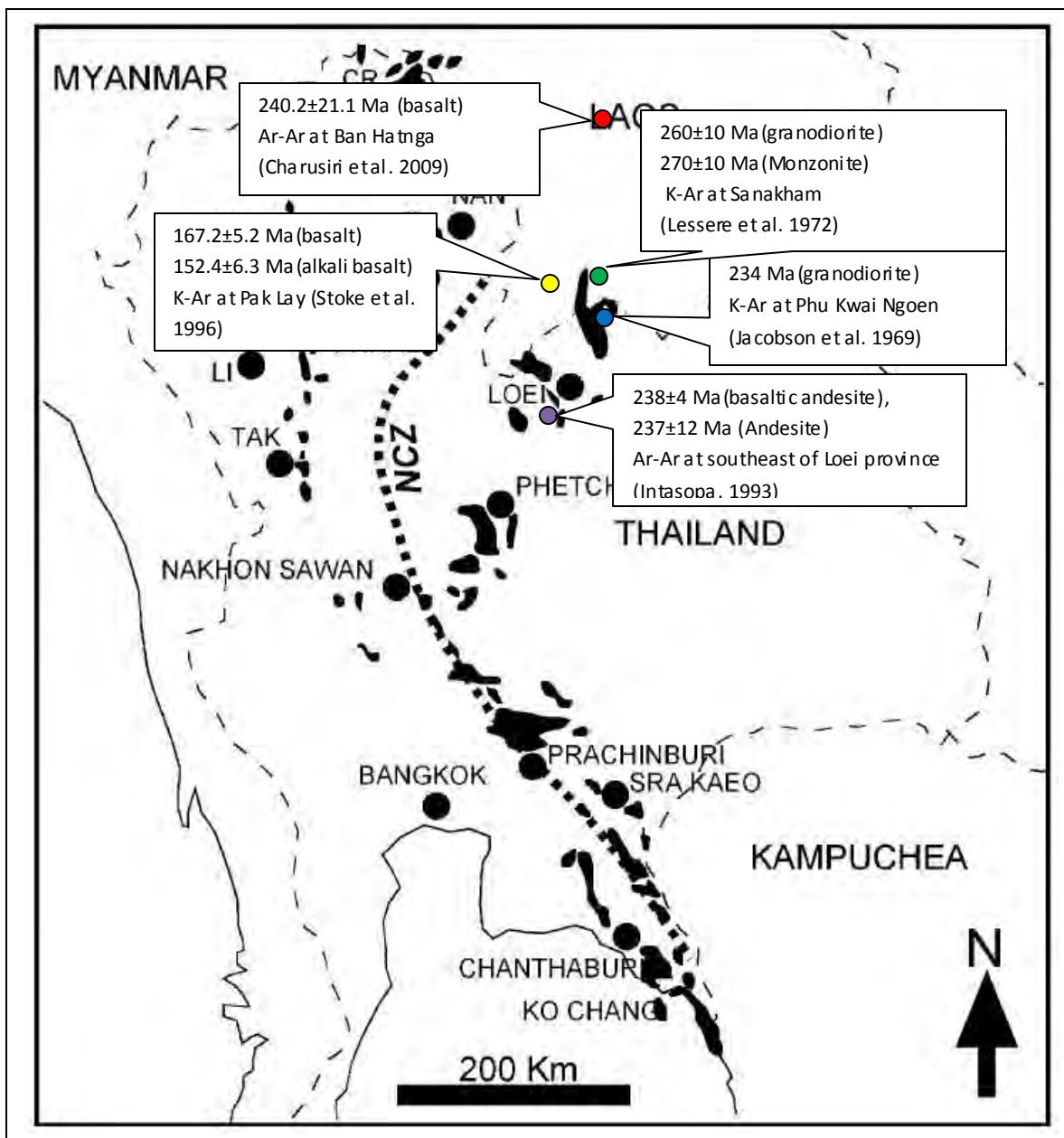


รูปที่ 7.7 กราฟแสดงลักษณะของAr-Ar age spectrum ของหินบะซอลต์ (LP-03) ในพื้นที่ศึกษาน้ำบาดงาประเทศลาว

T(°C)	cum. ³⁹ Ark	Atmos.(%)	³⁶ Ar/ ³⁹ Ar	³⁷ Ar/ ³⁹ Ar	³⁸ Ar/ ³⁹ Ar	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar	Date (Ma)
650	0.066	41.066	2.42E-02	4.05E-06	1.78E-02	1.75E+01	7.21E+02	61.6±0.4
750	0.165	33.277	2.71E-02	2.30E-02	1.77E-02	2.41E+01	8.89E+02	95.2±0.9
800	0.267	37.419	3.50E-02	9.92E-02	1.89E-02	2.76E+01	7.90E+02	102.4±1.1
850	0.381	41.159	4.45E-02	2.35E-06	2.05E-02	3.20E+01	7.19E+02	111.2±1
900	0.539	47.128	5.54E-02	5.45E-03	2.23E-02	3.48E+01	6.28E+02	108.6±0.9
950	0.686	56.663	8.17E-02	1.82E-06	2.68E-02	4.26E+01	5.22E+02	109.2±0.7
1000	0.807	69.489	1.44E-01	5.50E-02	3.80E-02	6.13E+01	4.25E+02	110.5±0.6
1050	0.897	81.15	2.81E-01	2.99E-02	6.30E-02	1.02E+02	3.64E+02	113.8±1.4
1100	0.941	88.587	5.46E-01	2.93E-01	1.11E-01	1.82E+02	3.34E+02	122.5±2.3
1150	0.981	92.893	9.71E-01	6.67E-06	1.87E-01	3.09E+02	3.18E+02	129.1±2
1200	0.989	95.535	1.87E+00	2.25E-01	3.51E-01	5.77E+02	3.09E+02	150.7±14.7
1250	0.997	95.446	2.34E+00	1.18E-01	4.50E-01	7.24E+02	3.10E+02	190.5±11.9
1300	0.998	96.298	2.27E+00	1.45E-04	4.15E-01	6.96E+02	3.07E+02	150.6±18.9
1450	1	94.538	2.47E+00	1.93E+00	4.53E-01	7.71E+02	3.13E+02	240.2±21.1

ตารางที่ 7.1 สรุปผล ⁴⁰Ar/³⁹Ar incremental heating experimental ของตัวอย่าง LP-03

J-value=0.003379650±0.000015307; Integrated date=107.3±0.6 Ma; Plateau age=110.11±0.61 Ma(850-1050°C)



รูปที่ 7.8 แผนที่แสดงจุดที่มีการศึกษาหาอายุของหินด้วยวิธี K-Ar และ Ar-Ar บริเวณจังหวัดเลยและบางพื้นที่ในประเทศลาว

สรุปผล

บทที่ 8

สรุปผล

หินบะซอลต์ที่พบบริเวณบ้านหาดงาใกล้หลวงพระบางส่วนใหญ่ มีการกระจายตัวตัวอยู่ในแนวเกือบเหนือ-ใต้ มีอายุอยู่ในช่วง Permo-Triassic (240 ± 21.1 Ma) จากลักษณะที่พบในภาคสนามพบว่าหินบะซอลต์มีลักษณะเด่นคือเป็นโครงสร้างรูปหมอน ซึ่งแสดงถึงการปะทุและเย็นตัวในทะเล ตัวอย่างหินในศิลาบรรณานพว่าหินบะซอลต์ดังกล่าว เป็นหินชนิด phyric basalt ซึ่งประกอบด้วยแร่หลักคือ clinopyroxene และ plagioclase ในเนื้อพื้นประกอบด้วย microlite และ microphenocrysts ของแร่ pyroxene, olivine และ opaque minerals จากผลวิเคราะห์ธรณีเคมีพบว่าหินบะซอลต์ส่วนใหญ่เป็น ชนิด subalkaline/tholeiite ซึ่งมีธาตุเด่นๆคือ $\text{SiO}_2 = 42.64 - 48.91$ %wt, $\text{TiO}_2 = 0.99 - 2.51$ %wt, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 5.22 - 15.12$ %wt, $\text{MgO} = 3.91 - 11.89$ %wt และมีธาตุอัลคาไลน์ที่ค่อนข้างต่ำซึ่งสอดคล้องกับ tholeiitic basalt ทั่วไป

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

ศุภชัย ชูสวัสดิ์ 2552 ศิลาวรรณและธรณีเคมีของหินบะซอลต์ บริเวณบ้านดอนเงิน หลวงพระบาง ประเทศลาว โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 20 เมษายน 2552 หน้า 1-78

Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. 1990. *Atlas of Mineral Resources of the ESCAP Region 7: Lao People's Democratic Republic*, United Nations, p.19.

Ernst, R.E., Pease, V., Puchkov, V.N., Kozlov, V.I., Sergeeva, N.D., Hamilton, M. (2006) Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the southeastern margin of the East European craton, southern Urals, Russia. *Geological Sbornik no. 5*, Institute of Geology, Ufa, Russia, pp. 119-161.

Ernst, R.E., Wingate, M.T.D., Buchan, K.L., Li, Z.X. (2008). Global record of 1600-700 Ma Large Igneous Provinces (LIPs): implications for the reconstruction of the proposed Nuna (Columbia) and Rodinia supercontinents. *Precambrian Research* v. 160, p. 159-178.

Faure, F., Schiano, P. 2004. Crystal morphologies in pillow basalts: implications for mid-ocean ridge processes. *Earth and Planetary Science Letters*, 220, 331-344.

Intasopa, S., 1993. Petrology and geochronology of the volcanic rocks of the Central Thailand volcanic belt, unpublished Ph.D. Thesis, University of New Brunswick, Canada, 242 p.

Jacobson, H.S., Pierson, C. T., Danvsawad, T., Japatakasetr, Inthuputhi, B., Siritanamongkol, C., Prapassorukul, S., and Pholhan, N., 1969. Mineral Investigation in Northeast Thailand: *U.S. Geological Survey Professional Paper 618*, 96 p.

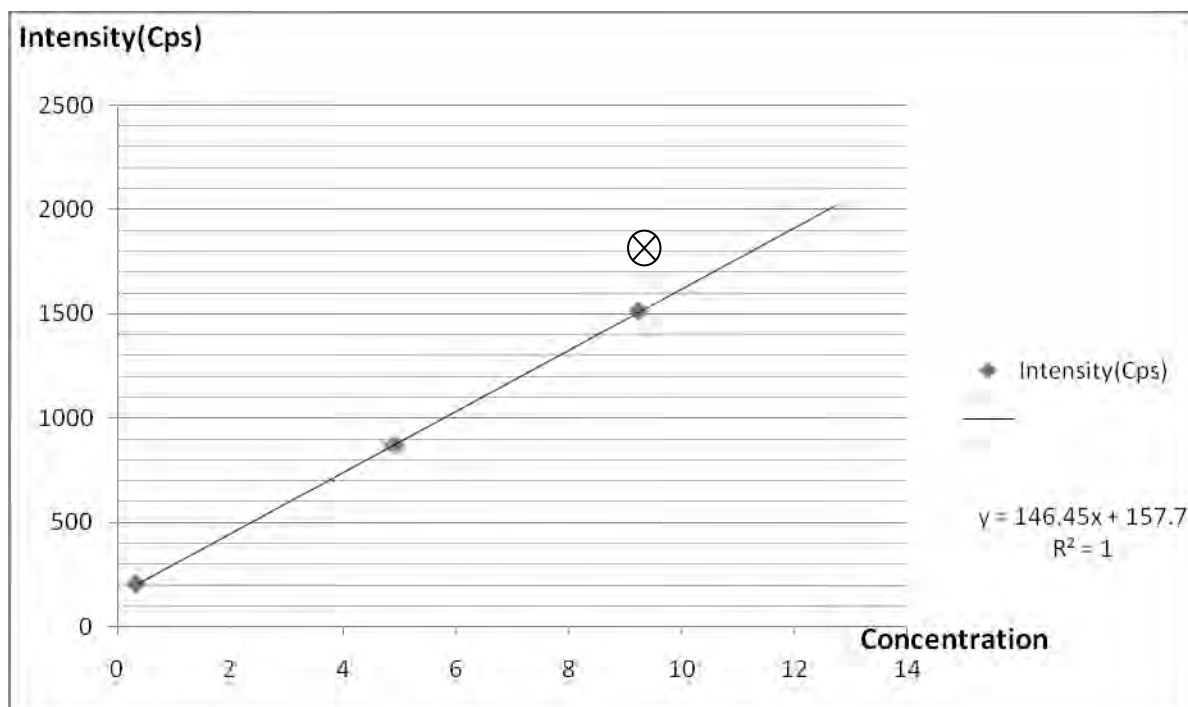
Lessere, M., Saurin, E., and Dumas, I., 1972. Age permien obtenue par la method sur deux amphiboles extraites des granodiorites de la region de Sarakham (Laos): Societe geologique de la France, Compte RenduSommaire des Seances, Fascicule 2, p. 65-67.

- Masatoshi, S., Metcalfe, I., 2008. Parallel Tethyan sutures in mainland Southeast Asia: New insights for Palaeo Tethys closure and implications for the Indosinian orogeny. *C. R. Geoscience*, 340, 166–179.
- Manaka, T., Zaw, K., Meffre, S., 2008. Geological and Tectonic setting of Cu-Au deposit in northern Lao PDR. *Proceeding of the International Symposia on Geosciences Resources and Environments of Asian Terrains (GREAT 3008)*, Bangkok, 254-257.
- Panjasawatwong, Y., Zaw, K., Chantaramee, S., Limtrakun, P., Pirarai, K., 2006. Geochemistry and tectonic setting of the Central Loei volcanic Rock, Pak Chom area, Loei, northeastern Thailand. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26, 77–90.
- Panjasawatwong, Y., Yaowanoyothin, W., 2003. Petrochemical study of post-Triassic basalts from the Nan suture, northern Thailand. *Journal Southeast Asian Earth Sciences*, 8, nos. 1-4, p. 147-158.
- Phajuy, B., Panjasawatwong, Y. and Osataporn, P., 2005. Preliminary geochemical study of volcanic rocks in the Pang Mayao area, Phrao, Chiang Mai, northern Thailand: tectonic setting of formation. *Journal of Asian earth sciences*, 24, 765-776.
- Puchkov, V.N., Krasnobaev, A.A., Kozlova., V.I., Matukov, D.I., Nehorosheva, A.G., Lepehina, E.N., Sergeev, S.A. (2007). Preliminary data on the age of the Neo- Mesozoic-Proterozoic boundary in the southern Urals in light of new U-Pb dating. *Geological Sbornik no. 6*, Ufa, Ufimian Institute of Geology, Ufa, Russia.
- Shamim Khan, M., Geology, Geochemistry and Tectonic Significance of Mafic-ultramafic Rocks of Mesoproterozoic Phulad Ophiolite Suite of South Delhi Fold Belt, NW Indian Shield. *Gondwana Research*, 8, 553-566.
- Stokes, R.B., Lovatt Smith, P., Soumphonphakdy, F.K., 1996. Timing of the Shan-Thai-Indochina collision: new evidence from the Pak Lay Foldbelt of the Lao PDR. *Tectonic Evolution of Southeast Asia, Geological Society Special Publication*, 106, 225-232.
- Trung, N.M., Tsujimori, T., Itaya, T., 2006. Honvang serpentinite body of the Song Ma fault zone, Northern Vietnam: A remnant of oceanic lithosphere within the Indochina–South China suture. *Gondwana Research*, 9, 225– 230.

Yang, W., Feng, Q. and Shen, S.,2008. Permian radiolarians, chert and basalt from the Nan suture zone, northern Thailand. *Preceeding of the International Symposia on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes (GREAT 2008)*, Bangkok, 172-173.

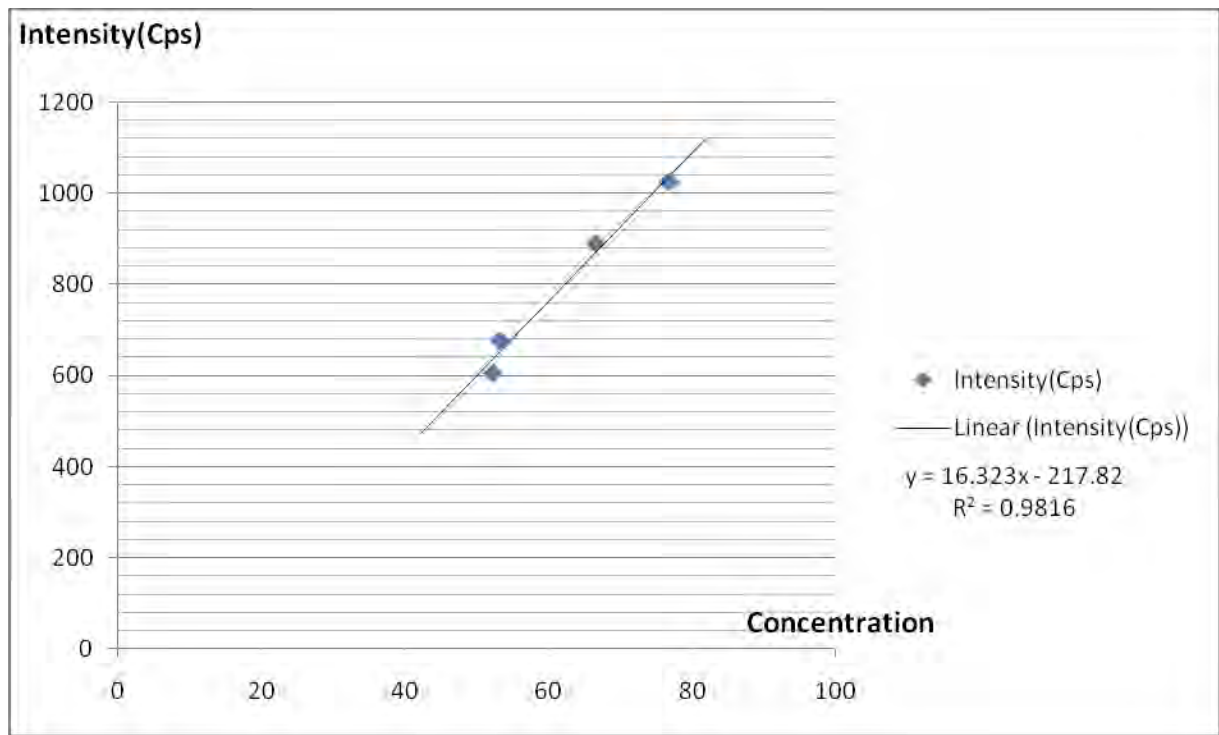
ภาคผนวก





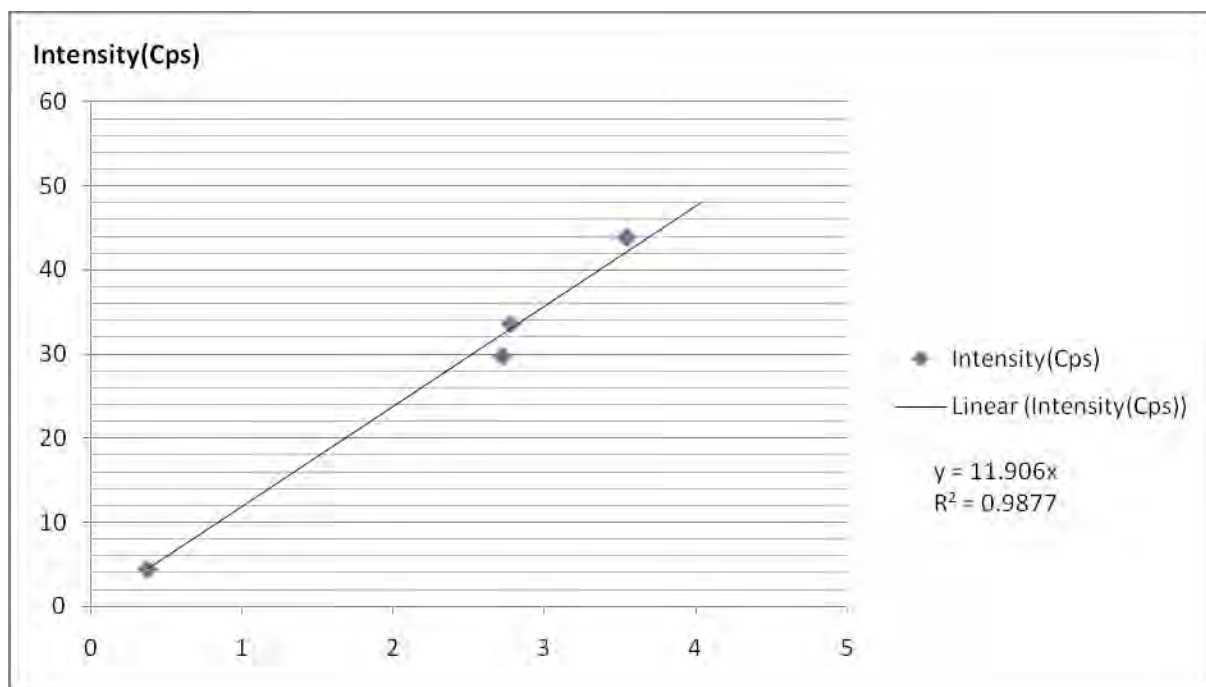
Sample no.	intens.	conc.(%)
NO-01	2009.815	12.65
NO-02	1522.34	9.32
NO-03	2132.871	13.49
NO-04	1803.151	11.24
NO-05	2066.897	13.04
NO-07	1995.833	12.55
NO-08	1655.818	10.23
NO-08.1	1751.778	10.88
NO-09	1778.568	11.07
NO-10	2342.414	14.92
NO-11	2260.342	14.36
NO-12	1600.745	9.85
PO-01.1	2372.454	15.12
PO-03	1935.757	12.14
PO-06	1915.151	12
PO-08	2106.091	13.3

Fe ₂ O ₃	Standard	Conc.(%)	Intensity(Cps)
	JB-1b	9.22	1512.978
	JG-2	0.33	208.001
	GSP-2	4.9	871.259
	SDO-1*	9.34	1807.919



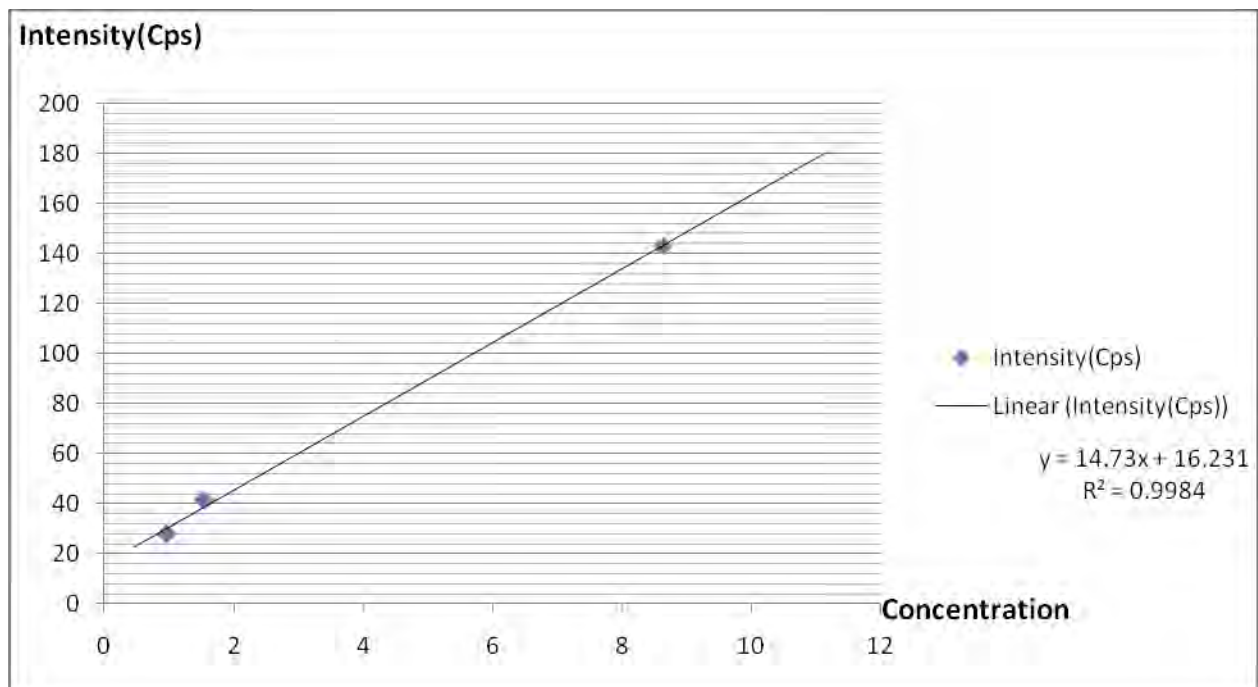
Sample no.	intensity	conc.(%)
NO-01	489.006	44.95
NO-02	542.931	48.08
NO-03	508.464	46.08
NO-4	496.423	45.39
NO-05	487.505	44.87
NO-07	509.445	46.14
NO-08	564.799	49.35
NO-08.1	551.173	48.56
NO-09	492.616	45.16
NO-10	437.619	41.98
NO-11	475.036	44.15
NO-12	681.987	56.14
PO-01.1	449.069	42.64
PO-03	509.337	46.14
PO-06	557.304	48.91
PO-08	541.126	47.97

SiO2	Standard	Conc. (%)	Intensity(Cps)
	JB-1b	52.23	604.232
	JG-2	76.83	1023.975
	GSP-2	66.6	888.777
	SDO-1	53.24	675.068

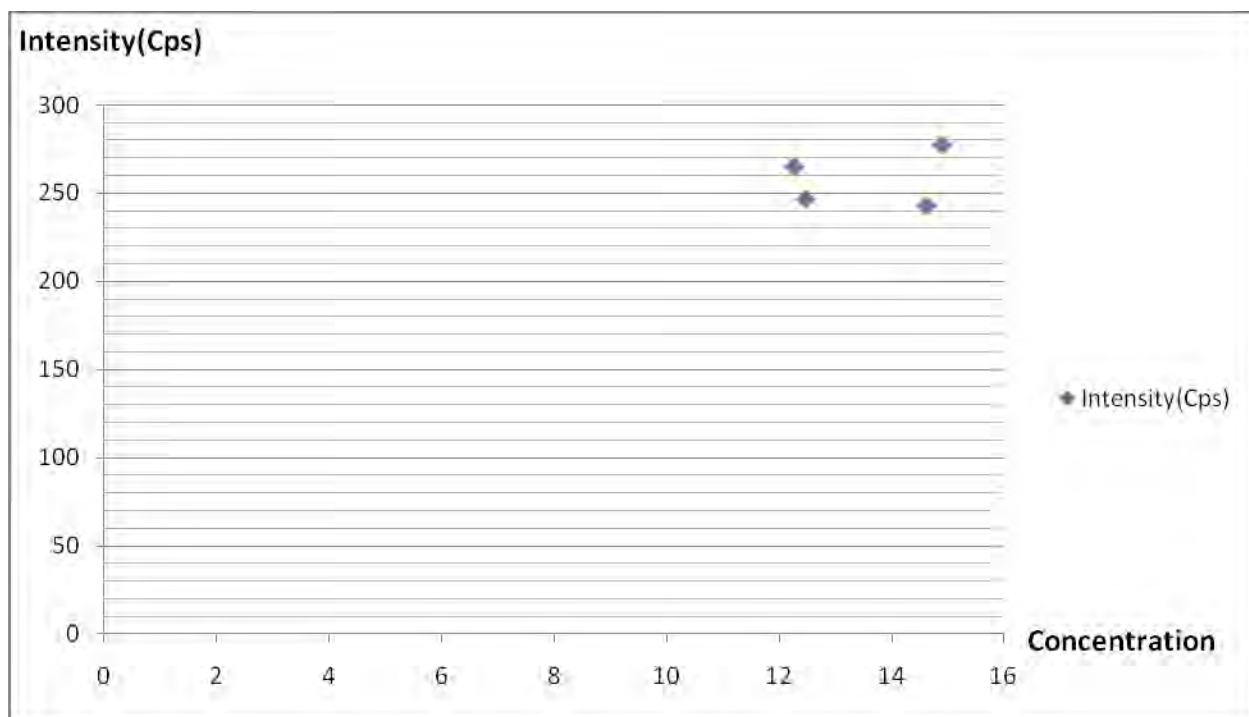


Sample no.	intensity	conc.(%)
NO-01	37.709	3.17
NO-02	27.415	2.3
NO-03	25.065	2.1
NO-04	21.907	1.84
NO-05	33.41	2.81
NO-07	36.312	3.05
NO-08	36.913	3.1
NO-08.1	28.49	2.39
NO-09	31.19	2.62
NO-10	19.24	1.62
NO-11	32.447	2.72
NO-12	48.038	4.03
PO-01.1	28.537	2.4
PO-03	37.499	3.15
PO-06	28.578	2.4
PO-08	45.416	3.81

Na ₂ O	Rock Standard	Conc. (%)	Intensity(Cps)
	JB-1b	2.69	29.706
	JG-2	3.54	43.88
	GSP-2	2.78	33.536
	SDO-1	0.38	4.362



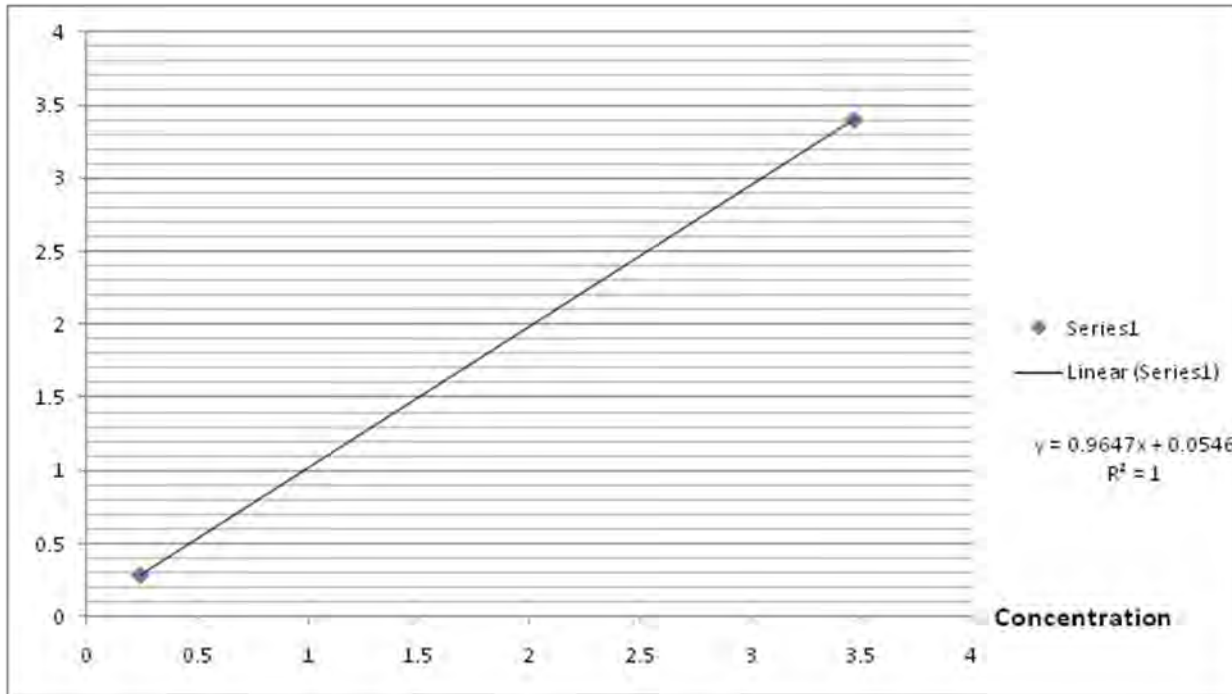
MgO	Rock Standard	Conc.(%)	Intensity(Cps)
	JB-1b	8.32	143.154
	GSP-2	0.96	27.966
	SDO-1	1.54	41.517
	JG-2*	0.037	-



Sample no.	intensity	conc.(%)
NO-01	240.821	14.57
NO-02	233.926	14.15
NO-03	247.521	14.98
NO-04	247.547	14.98
NO-05	243.91	14.75
NO-07	259.209	15.68
NO-08	235.626	14.26
NO-08.1	281.975	17.06
NO-09	236.52	14.31
NO-10	231.556	14.01
NO-11	223.22	13.5
NO-12	258.401	15.64
PO-01.1	203.766	12.32
PO-03	229.117	13.86
PO-06	253.401	15.33
PO-08	253.298	15.32

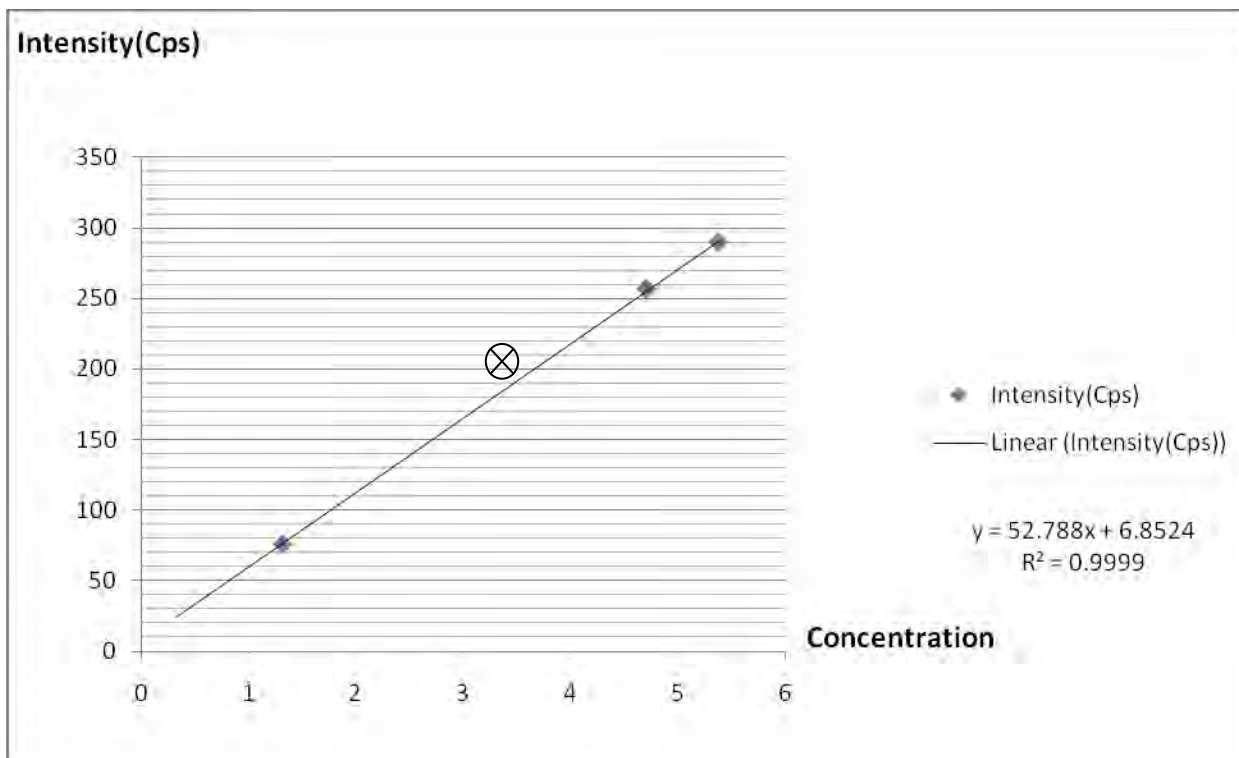
Al ₂ O ₃	Rock Standard	Conc. (%)	Intensity(Cps)
	JB-1b	14.69	242.781
	JG-2*	12.47	246.441
	GSP-2*	14.9	276.899
	SDO-1*	12.27	264.878

Intensity(Cps)



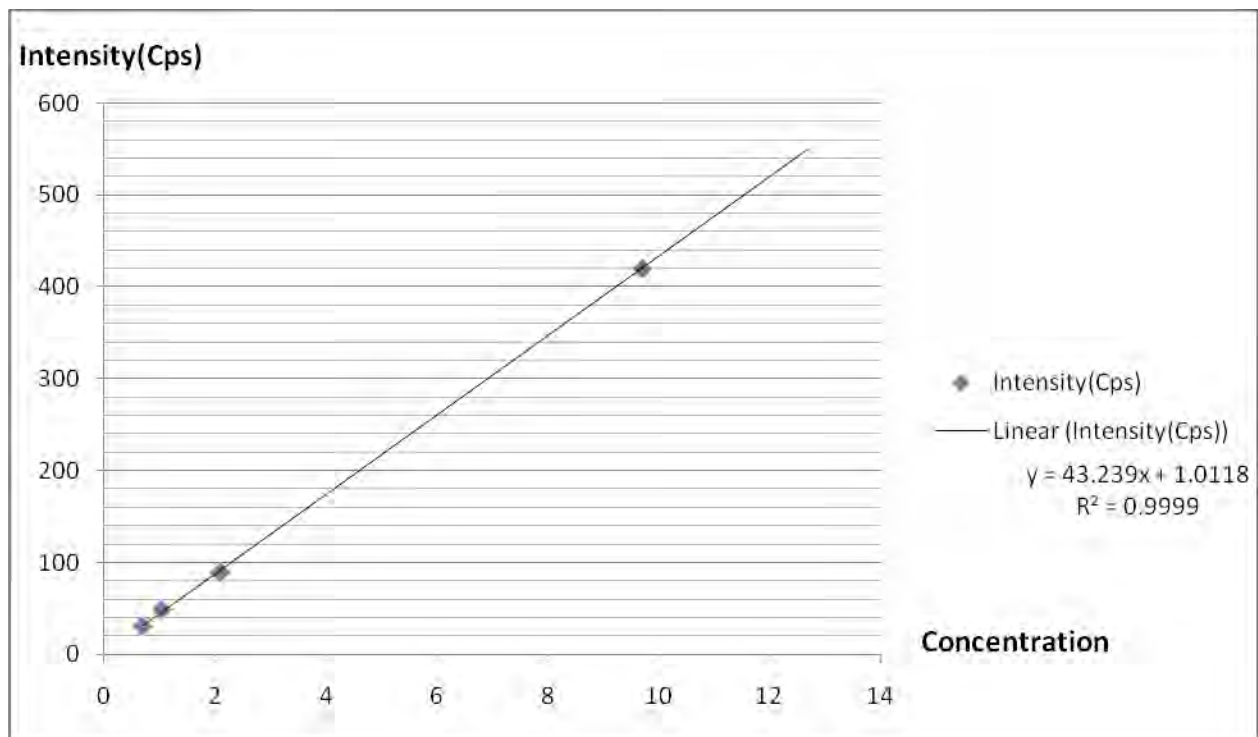
Sample no.	intensity	conc.(%)
NO-01	2.009	0.14
NO-02	2.118	0.15
NO-03	1.716	0.12
NO-4	1.823	0.13
NO-05	1.687	0.12
NO-07	2.051	0.15
NO-08	1.882	0.13
NO-08.1	2.049	0.15
NO-09	1.971	0.14
NO-10	1.395	0.1
NO-11	1.644	0.12
NO-12	2.484	0.18
PO-01.1	3.41	0.24
PO-03	1.859	0.13
PO-06	2.372	0.17
PO-08	1.674	0.12

P2O5	Rock Standard	Conc. (%)	Intensity(Cps)
	JB-1b	0.244	3.471
	GSP-2	0.29	3.403
	JG-2*	0.002	-
	SDO-1*	0.11	-



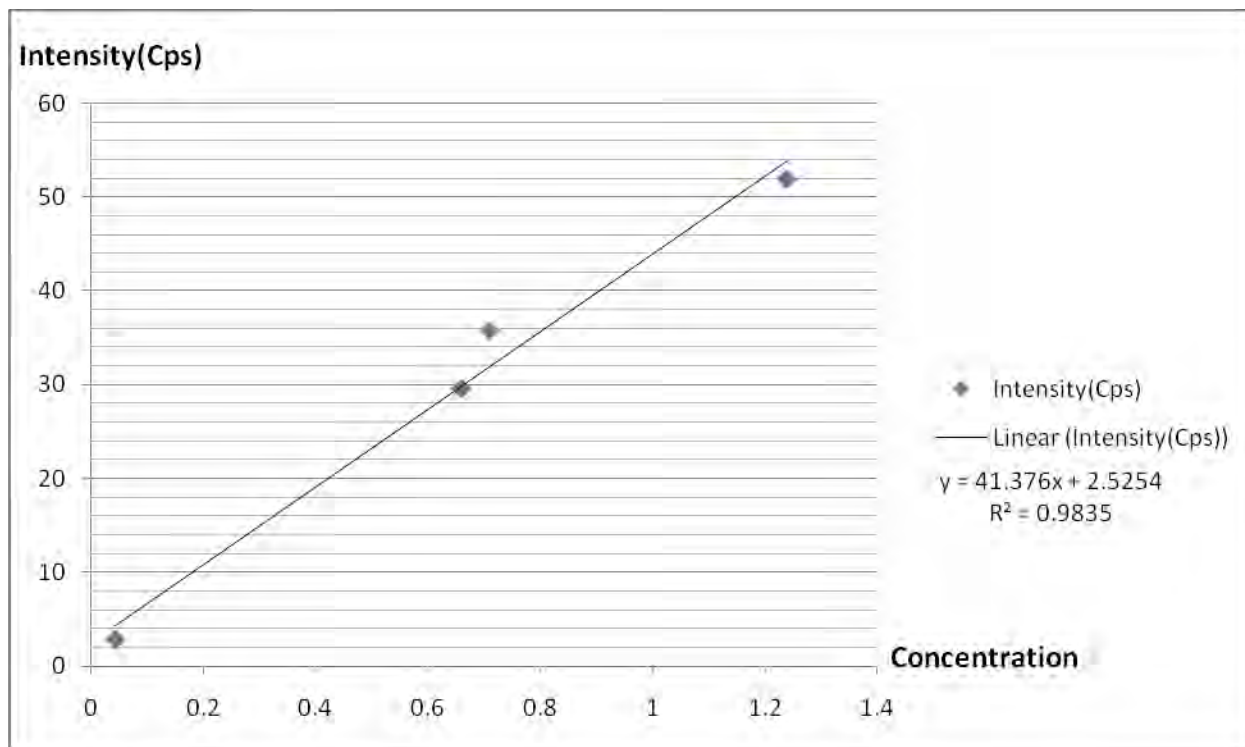
Sample no.	intensity	conc.(%)
NO-01	20.269	0.25
NO-02	6.484	0.12
NO-03	70.454	1.2
NO-4	103.478	1.83
NO-05	37.074	0.57
NO-07	29.577	0.43
NO-08	24.469	0.33
NO-08.1	47.286	0.77
NO-09	41.871	0.66
NO-10	80.477	1.39
NO-11	16.575	1.94
NO-12	92.999	1.63
PO-01.1	13.802	0.13
PO-03	25.781	0.36
PO-06	33.011	0.5
PO-08	33.223	0.5

K ₂ O	Rock Standard	Conc. (%)	Intensity(Cps)
	JB-1b	1.32	76.341
	JG-2	4.71	256.64
	GSP-2	5.38	289.883
	SDO-1*	3.35	203.4



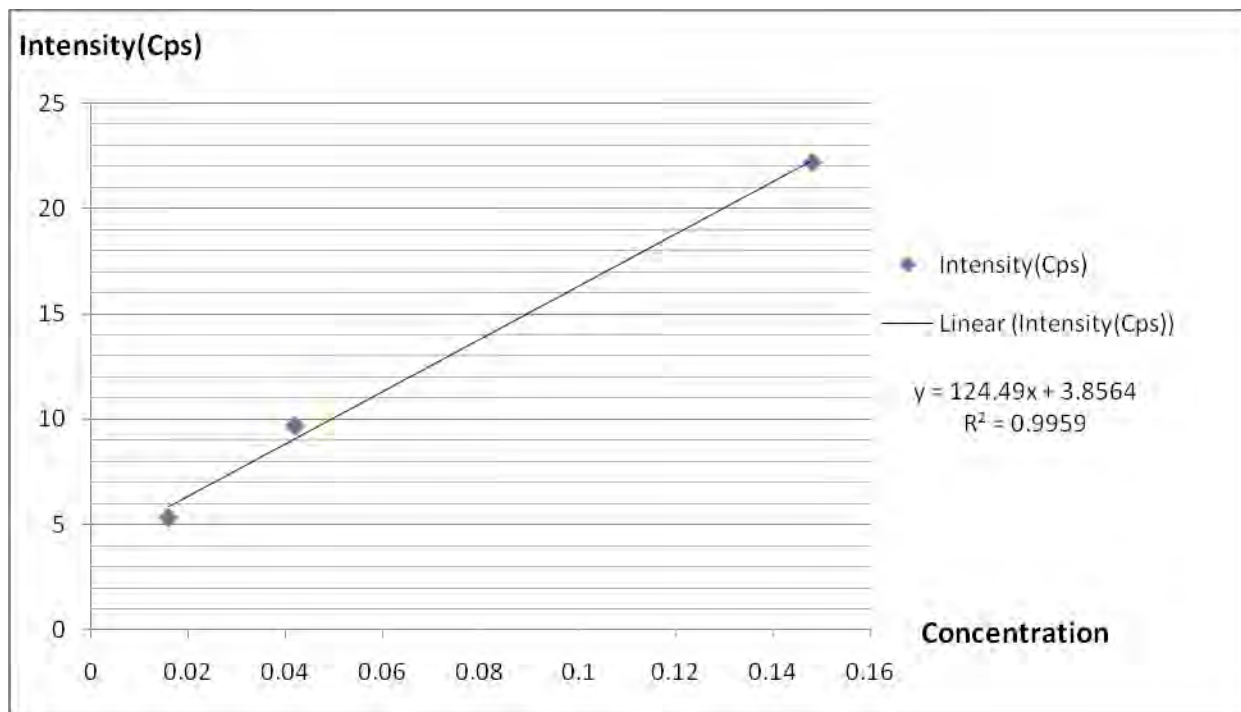
Sample no.	intensity	conc.(%)
NO-01	268.565	6.19
NO-02	622.599	14.38
NO-03	264.016	6.08
NO-4	348.373	8.03
NO-05	252.368	5.81
NO-07	259.08	5.97
NO-08	332.353	7.66
NO-08.1	502.279	11.59
NO-09	358.264	8.26
NO-10	216.125	4.97
NO-11	313.65	7.23
NO-12	159.973	3.68
PO-01.1	370.536	8.54
PO-03	332.551	7.67
PO-06	289.524	6.67
PO-08	287.496	6.63

CaO	Rock Standard	Conc. (%)	Intensity(Cps)
	JB-1b	9.69	420.271
	JG-2	0.7	30.899
	GSP-2	2.1	89.473
	SDO-1	1.05	48.866



Sample no.	intensity	conc.(%)
NO-01	55.805	1.32
NO-02	46.678	1.1
NO-03	64.477	1.53
NO-04	48.832	1.15
NO-05	57.239	1.36
NO-07	57.398	1.36
NO-08	49.826	1.18
NO-08.1	49.675	1.17
NO-09	53.032	1.26
NO-10	64.965	1.55
NO-11	61.924	1.47
NO-12	48.5	1.15
PO-01.1	104.6	2.51
PO-03	51.687	1.22
PO-06	43.489	1.02
PO-08	49.437	1.17

TiO2	Rock Standard	Conc. (%)	Intensity(Cps)
	JB-1b	1.24	51.866
	JG-2	0.044	2.803
	GSP-2	0.66	29.552
	SDO-1	0.71	35.692



Sample no.	intensity	conc.(%)
NO-01	24.448	0.17
NO-02	17.699	0.11
NO-03	24.526	0.17
NO-04	19.25	0.12
NO-05	25.976	0.18
NO-07	24.935	0.17
NO-08	21.999	0.15
NO-08.1	19.632	0.13
NO-09	20.919	0.14
NO-10	31.374	0.22
NO-11	30.757	0.22
NO-12	26.28	0.18
PO-01.1	34.29	0.24
PO-03	29.569	0.21
PO-06	30	0.21
PO-08	33.757	0.24

MnO	Rock Standard	Conc. (%)	Intensity(Cps)
	JB-1b	0.148	22.161
	JG-2	0.016	5.357
	SDO-1	0.042	9.697
	GSP-2*	-	5.357