

ศิลาวิทยาและธรณีเคมีของหินภูเขาไฟชาตรี ตำบลค้อแดงวังโป่ง จังหวัด พิจิตรและเพชรบูรณ์

นางสาววทันยา พยุงรัตน์

ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา ๒๕๕๘

วทันยา พยุกรณ์ ศิลาวิทยาและธรณีเคมีของหินภูเขาไฟชาตรี ทับกษัตริ์แดนวังโป่ง จังหวัด พิจิตร และเพชรบูรณ์ (Petrology and Geochemistry of Chatree volcanic complex, Thap khlo-Chon Daen-Wang Pong area, Changwat Phichit and Phetchabun)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักอ.ดร. อภิลิทธิ์ ซาล่า

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับศิลาวิทยาและธรณีเคมีโดยครอบคลุมอำเภอทับกษัตริ์ จังหวัดพิจิตร อำเภอชนแดน และอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์ หินภูเขาไฟในพื้นที่ศึกษาอยู่ในแนวหินภูเขาไฟเลยเพชรบูรณ์ครนายกโดยสามารถแบ่งหินในพื้นที่ศึกษาออกเป็น 5 ชนิด ได้แก่ หินแอนดีไซต์เนื้อดอก หินฮอร์นเบลนแอนดีไซต์ หินบะซอลต์ หินแอนดีไซต์โตคเนื้อดอก และหินบะซอลต์โตค จากหินทั้งหมด กลุ่มได้ทำการเลือกวิเคราะห์ 4 กลุ่ม ได้แก่ หินฮอร์นเบลนแอนดีไซต์ หินบะซอลต์ หินแอนดีไซต์โตค เนื้อดอกและหินบะซอลต์โตค โดยเลือกตัวอย่างที่ผุและการแปรเปลี่ยนน้อยที่สุด นำไปวิเคราะห์ธรณีเคมีโดยใช้วิธี XRF จากผลวิเคราะห์พบว่าหินทั้ง 3 กลุ่มมีค่า SiO_2 ดังต่อไปนี้ หินบะซอลต์รวมทั้งหินบะซอลต์ที่เป็นโตคพบว่ามีค่า SiO_2 อยู่ในช่วง 37-43 wt % ซึ่งมีค่าน้อยที่สุด หินบะซอลติกแอนดีไซต์มีค่า SiO_2 อยู่ในช่วง 46-50 wt % หินแอนดีไซต์โตคเนื้อดอก แลแอนดีไซต์เนื้อดอกมีค่า SiO_2 อยู่ในช่วง 54-56 wt % จากการพล็อตไดอะแกรม marker โดยใช้ค่าระหว่าง SiO_2 และค่าธาตุหลัก (Oxides) พบว่ากลุ่มหินแอนดีไซต์โตคเนื้อดอกและหินบะซอลต์โตค มีค่า CaO สูงกว่า และมีค่า MgO ต่ำกว่า หินบะซอลติกแอนดีไซต์และหินบะซอลต์ อย่างชัดเจน หินบะซอลต์โตค มีค่า Al_2O_3 ประมาณ 12.5 wt % ซึ่งต่ำกว่าหินอีกสามกลุ่มที่เหลือน้อยมาก ส่วนธาตุร่องรอย เช่น Cr และ Sr โดยผลวิเคราะห์พบว่าหินแอนดีไซต์โตคเนื้อดอกและหินบะซอลต์โตคจะมีค่าสูงกว่า หินบะซอลติกแอนดีไซต์และหินบะซอลต์ หินกลุ่มโตคมีค่า Cr ต่ำกว่า 70 ppm ในขณะที่ หินบะซอลติกแอนดีไซต์และหินบะซอลต์มีค่ามากกว่า 100 ppm และหินบะซอลติกแอนดีไซต์มีค่า สูงกว่า หินบะซอลต์และหินกลุ่มโตค ซึ่งค่าทั้งหมดสัมพันธ์กับค่าที่บอกกลุ่มหินแคลอัลคาไลน์และโทรลิอิต

ภาควิชา.....ธรณีวิทยา..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....ธรณีวิทยา..... ลายมือชื่อ อที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2558.....

Watanya Phayoongrat : Petrology and Geochemistry of Chatree Volcanic Complex,
Thap Khlo-Chon Daen-Wang Pong Area, Phichit and Phetchabun Province
My advisor : Abhisit Salam, Ph.D.

The project study area covers Amphoe Thap Khlo, Chon Daen, Wang Pong in Changwat Phichit and Phetchabun. This study is situated in Loei Phetchabun-Nakhon Nayok volcanic belt. Based on field data, texture and mineralogy can be subdivided into 5 groups namely; 1) porphyritic andesite 2) basaltic andesite 3) basalt 4) porphyritic andesite dyke and 5) porphyritic basalt dyke. Four out of five groups were selected for geochemistry analyses. They are basaltic andesite, basalt, porphyritic andesite dyke and porphyritic basalt dyke. All those samples are least altered. Based on SiO₂ content the analyses can be subdivided into 3 groups, e.g., basalt and porphyritic basalt dyke (SiO₂ 37-43 wt %), basaltic andesite (SiO₂ 46-50 wt %) and porphyritic andesite and porphyritic andesite dyke (SiO₂ 54-56 wt %). Harker-type variation diagram plots of major oxides against SiO₂ shows porphyritic andesite and basalt dyke have high K₂O but low in MgO content. Porphyritic basalt dyke has average Al₂O₃ content 12.5 wt % which is lower than another rock type. Trace elements such as Zr, Cr and Sr. Dykes (porphyritic andesite and porphyritic basalt dyke) have Zr higher content higher than host volcanic rock (basaltic andesite and basalt). Both dykes have Cr value lower 70 ppm which is obviously lower than host volcanics (basaltic andesite and basalt) that has Cr higher 100 ppm. Basaltic andesite (host volcanics) has Sr higher than dykes. It is obvious that dykes has calc-alkaline affinity whereas, host volcanics has tholeiite affinity.

Department :.....Geology..... student's signature.....

Field of study.....Geology.....Advisor's signature

Academic year.....2558.....

สารบัญ

เรื่อง	
หัวข้อภาษาไทย	ก
หัวข้อภาษาอังกฤษ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญรูป	ณ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 ความสำคัญของโครงการ	1
- บทนำ (Introduction)	1
- วัตถุประสงค์ (Objective)	3
- ขอบเขตการศึกษา (scope of work)	3
- พื้นที่ศึกษา (Location)	3
- ระเบียบวิธีวิจัย	5
บทที่ 2 ธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย	9
- พัฒนาการธรณีแปรสัณฐานประเทศไทย	9
- หินภูเขาไฟก่อนยุคจูแรสสิกในประเทศไทย	14
บทที่ 3 ศิลาวิทยา	18
- บทนำ	18
- ลำดับชั้นหิน (stratigraphy)	18
- ศิลาวิทยา (Petrology)	21
บทที่ 4 ธรณีเคมี	32
- บทนำ	32
- การแบ่งชนิดของหิน	34
- การวิเคราะห์เคมี	35
บทที่ 5 อภิปรายผลและสรุปผล	41
- อภิปราย	41
- การแบ่งหิน	41

- การเทียบสัมพันธ์	42
- ความแตกต่างของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่มีอยู่ก่อนแล้ว	47
- สรุปผล	48
เอกสารอ้างอิง	49

สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
รูป 1.1 แนวการวางตัวของหินภูเขาไฟในประเทศไทย	2
รูป 1.2 แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่ศึกษา	4
รูป 1.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	5
รูป 2.1 แผนที่ธรณีแปรสัณฐานประเทศไทยแสดงลักษณะบริเวณของธรณีแปรสัณฐานและชนิดของหินที่สัมพันธ์กับการชนกันของแผ่นเปลือกโลก	10
รูป 2.2 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงธรณีแปรสัณฐานในประเทศไทยตั้งแต่ช่วงพรีแคมเบรียน(Precambrian) ถึงตอนปลายเทอร์เชียรี(Tertiary)	12
รูป 3.1 รูปแบบลำดับชั้นหิน พื้นที่เหมืองทองคำชาติรี	19
รูป 3.2 แผนที่ธรณีวิทยาขนาดอำเภอแสดงพื้นที่เก็บตัวอย่างจุดศึกษา	20
รูป 3.3 หินแอนดีไซต์เนื้อดอก(porphyrific andesite) เนื้อสดีเทาอมเขียว และมีแร่เฟลด์สปาร์(feldspar) เนื้อดอกสีขาว	23
รูป 3.4 หินแอนดีไซต์เนื้อดอกจากหินชุดชาติรี	23
รูป 3.5 หินผลึกดอกฮอร์นเบลนแอนดีไซต์ ลักษณะของเนื้อสดีเขียวเข้ม และแสดงลักษณะของการกระจายตัวของแร่ดำอยู่ทั่วเนื้อหิน	24
รูป 3.6 หินบะซอลติกแอนดีไซต์	25
รูป 3.7 หินบะซอลต์(Basalt) ที่มีเนื้อสดีเขียวเข้ม และมีแร่เฟลด์สปาร์กระจายอยู่ทั่วเนื้อหิน	26
รูป 3.8 หินบะซอลต์	27
รูป 3.9 (ทางซ้าย) หินตัวอย่าง มีเนื้อหินเป็นสีเขียวย่อน และลักษณะของเนื้อดอกเป็นแร่เฟลด์สปาร์ (ทางขวา) หินตัวอย่างที่มีลักษณะของช่องว่าง และถูกแทนที่ด้วยแร่กลุ่มคาร์บอนेट	28
รูป 3.10 หินผนังแอนดีไซต์เนื้อดอก	29
รูป 3.11 (ทางซ้ายและทางขวา) หินผนังบะซอลต์เนื้อดอกมีลักษณะสีสดีเข้มออกเข้ม และมีเนื้อดอกกระจายอยู่ตามตัวหิน	30
รูป 3.12 หินบะซอลต์ไคต์เนื้อดอก	31
รูป 4.1 ไดอะแกรมNa-K แสดงพื้นที่หินอัคนีสเปกตรัม จากการแปรเปลี่ยนของหิน	33
รูป 4.2 Total alkalis silica (TAS) diagram จำแนกชนิดของหินตัวอย่างจำนวน ตัวอย่าง	34
รูป 4.3 กราฟHaker ซึ่งพล็อตความแตกต่างระหว่างธาตุหลัก(Major oxide) และ SiO ₂	39
รูป 4.4 ไดอะแกรมระหว่างธาตุร่องรอย(trace elements) และ SiO ₂	40
รูป 5.1 ไดอะแกรมแสดงการจำแนกtholeiite และ Calc-alkaline	41
รูป 5.2 ไดอะแกรมระหว่างธาตุร่องรอย(trace elements) Zr และ SiO ₂	42

รูป 5.3 ลำดับชั้นหินของชาล่ำและคณ๒014 และตัวอย่างหินอยู่ในหน่วยหินที่ (กรอบสีเหลือง)	43
รูป 5.4 แผนที่แสดงการกระจายตัวของหินในจุดเก็บตัวอย่างทั้งจุด	45
รูป 5.5 รูปแบบการเกิดธรณีแปรสัณฐานในประเทศไทยซึ่งเกิดจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกฉานไทยและอินโดจีน	46

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลวิเคราะห์XRF ธาตุหลัก (Major element) และ ธาตุร่องรอยT(race element)	38

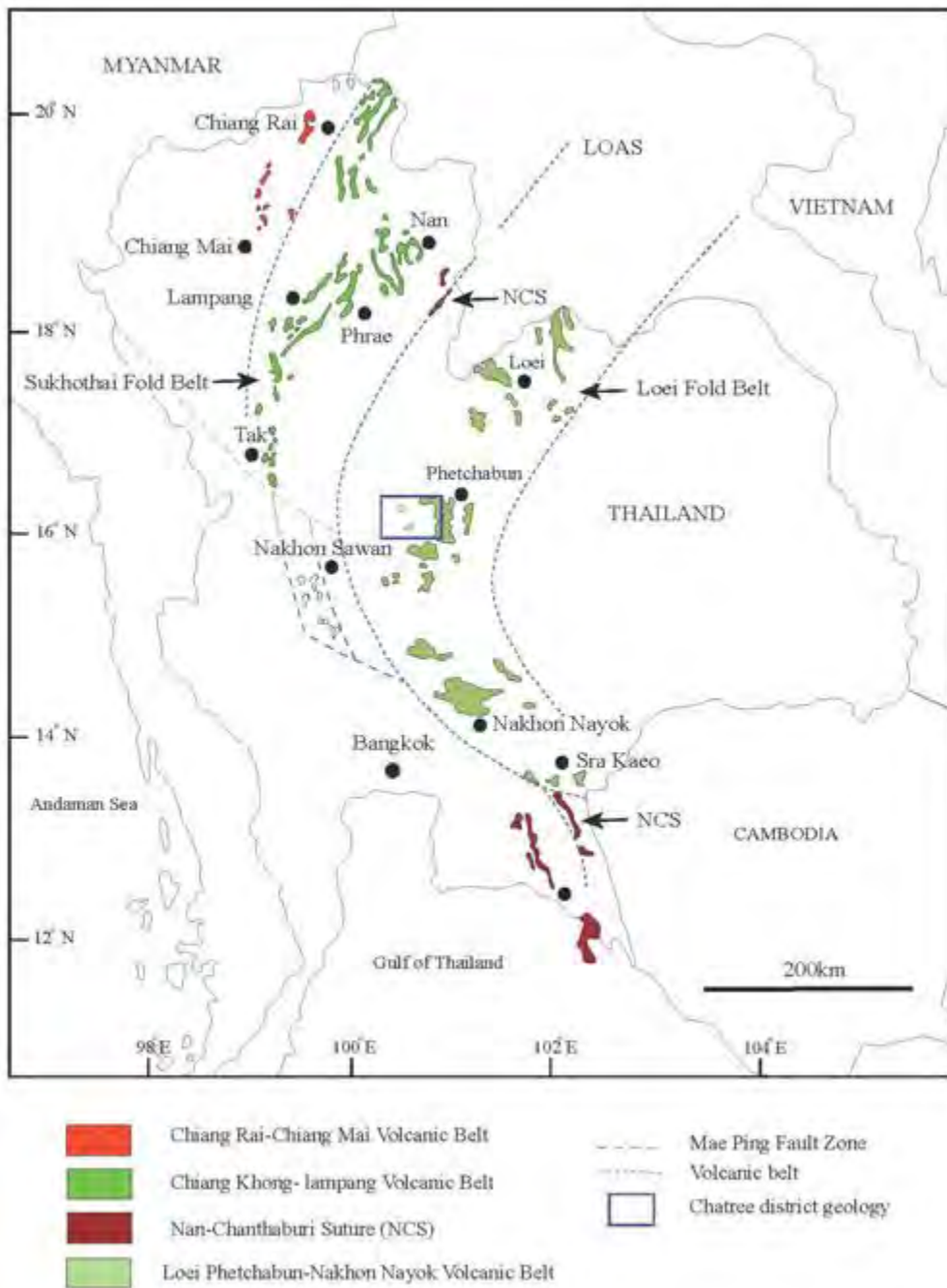
บทที่ 1 ความสำคัญของโครงการ

บทนำ (Introduction)

หินภูเขาไฟที่พบในประเทศไทยนั้นพบว่ายู่ในช่วงยุคทีโวเนียน ถึง ควอเทอร์นารี (Ungyusuk and Khositant, 1992) ซึ่งแนวหินภูเขาไฟในประเทศไทยนั้นมีด้วยกันทั้งหมดแนว ได้แก่ แนว เชียงรายเชียงใหม่ แนวเลยเพชรบูรณ์นครนายก แนวเชียงของลำปาง, แนวน่านจันทบุรี โดยแนวภูเขาไฟที่สำคัญและเป็นแนวหลักประกอบด้วยกันสองแนว คือ แนวเชียงใหม่แนวเลยเพชรบูรณ์นครนายก ซึ่งทั้งสองแนวนี้อยู่ในช่วงยุคเพอร์มียน (Ktasopa, 1993)

หินภูเขาไฟบริเวณจังหวัดเพชรบูรณ์นั้น เป็นส่วนหนึ่งของหินภูเขาไฟแนวเลย-เพชรบูรณ์นครนายก (Ktasopa and Dunn, 1993; Salam et al., 2014) (รูป 1.1) ซึ่งแนวเลยเพชรบูรณ์นครนายก วางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ ตอนกลางของประเทศไทย โดยลักษณะของธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยจากการศึกษาของ Bunopas (1992) พบว่าประเทศไทยประกอบด้วยแผ่นเปลือกโลกย่อยด้วยกันสองแผ่น ได้แก่ แผ่นเปลือกโลกอินโดจีนซึ่งอยู่ทางตะวันตกและแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนนำอยู่ทางตะวันออก ซึ่งทั้งสองแผ่นเปลือกโลกนี้พบว่ามีแนวรอยเลื่อนสุโขทัย (Sukhothai Fold Belt-SFB) วางตัวอยู่ทางตะวันตก และแนวรอยเลื่อนเลย (Loie Fold Belt-LFB) วางตัวในทางตะวันออก ซึ่งแผ่นเปลือกโลกฉานไทยและแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนนำชนกันในช่วงตอนปลายยุคไทรแอสสิก (Chakraborty, 1989) โดยหินภูเขาไฟแนวเลยเพชรบูรณ์นครนายก พบว่าประกอบด้วยหินกลุ่มแคลอัลคาไลน์ (C-alkaline) ซึ่งบอกลักษณะของการเกิดธรณีแปรสัณฐานจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก และพบการกระจายตัวของหินโทรลิโอท์ (Koleiite) (Salam, 2014) และหินกลุ่มแคลอัลคาไลน์ (C-alkaline) มีการศึกษาหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องในพื้นที่หินภูเขาไฟแนวเลย-เพชรบูรณ์นครนายกอย่างงานของ Barr., 2000 Vivatpinyo., 2010 Boonsoong., 2011 และ Salam et al., 2014 ได้ศึกษาสาขาวิชา (Petrology) และธรณีเคมี (Geochemistry) เพื่ออธิบายธรณีแปรสัณฐาน ตามแนวเลยเพชรบูรณ์นครนายก และงานวิจัยของ Ranjasawatwong et al., 2004 ศึกษาธรณีเคมีในแนวเลยเพชรบูรณ์นครนายก นี้เช่นกันแต่ไม่ได้ศึกษาการจำแนกชนิดหิน

ในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาของธรณีเคมีเพื่อใช้ในการบอกองค์ประกอบของหิน หลอมเหลวเพื่อบอกลักษณะของธรณีแปรสัณฐาน และศึกษาสาขาวิชาเพื่อใช้ในการจำแนกชนิดของหินที่พบโดยใช้เครื่องมือ XRF และ ICP-MS โดยการศึกษาและวิเคราะห์ผลจากธาตุองค์ประกอบ และกล้องจุลทรรศน์เพื่อใช้ในการจำแนกหิน และบอกลักษณะของธรณีแปรสัณฐานให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น



รูป 1.1 แนวการวางตัวของหินภูเขาไฟในประเทศไทย

วัตถุประสงค์(Objective)

1. เพื่อจำแนกประเภทของหินภูเขาไฟบริเวณพื้นที่ศึกษา
2. เพื่อปรับปรุงแบบจำลองการเกิดธรณีแปรสัณฐานบริเวณประเทศไทยที่มีอยู่ก่อนแล้ว

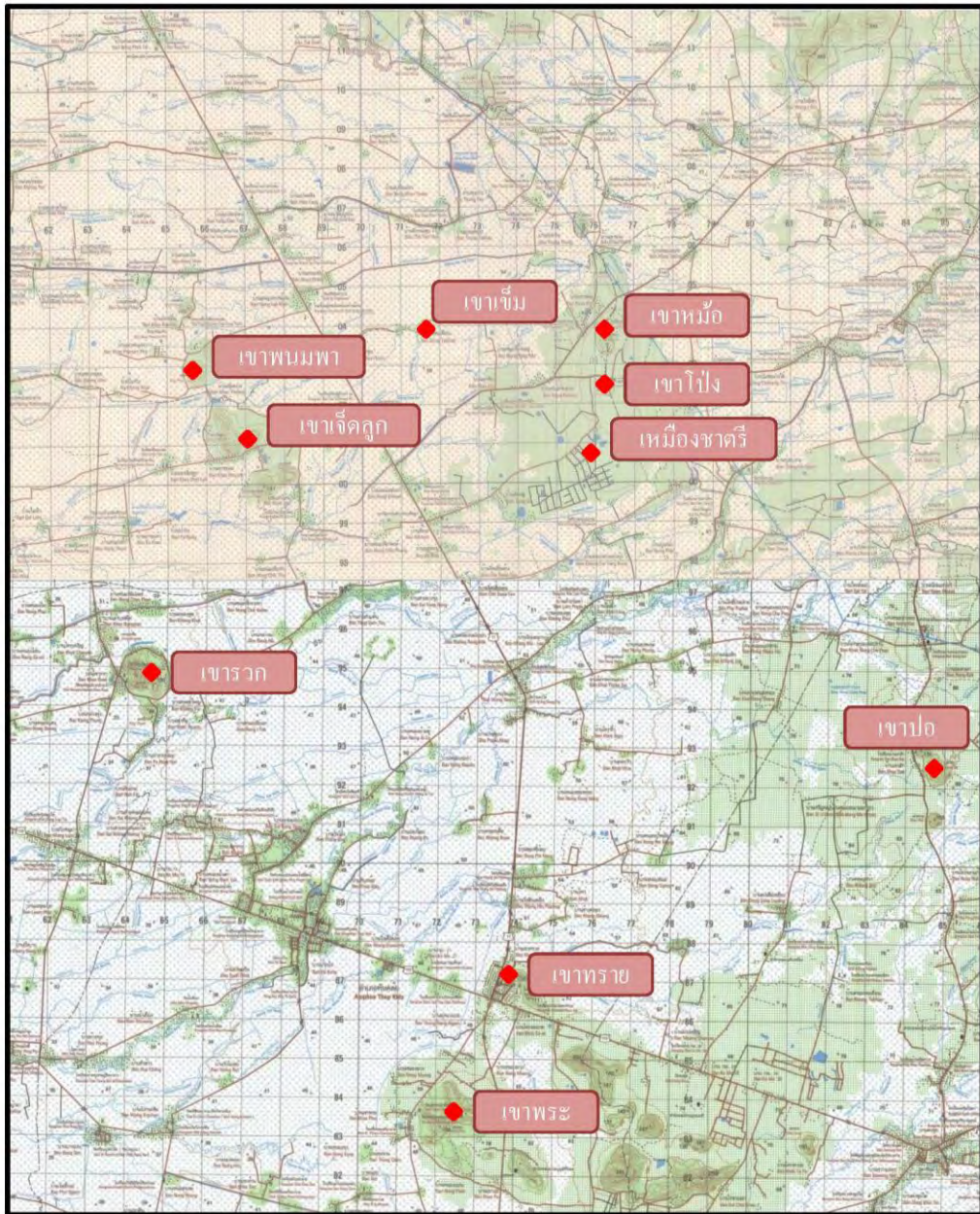
ขอบเขตการศึกษา (Scope of work)

การศึกษาครั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างที่เป็นหินภูเขาไฟเนื้อที่ศึกษาศิลาวิทยา ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และนำไปวิเคราะห์ธรณีเคมีด้วย ICP-MS

1. ข้อมูลภาคสนาม ได้แก่ การเก็บตัวอย่างตามพื้นที่หินภูเขาไฟอ้างอิงจากแผนที่กรมทรัพยากรธรณี เก็บตัวอย่างที่เป็นหินภูเขาไฟเนื้อติด (herent) และหินภูเขาไฟแบบฝังปะที่เป็นชนิดเดียว (Monomitic breccia)
2. ศึกษาศิลาวิทยาจากหินภูเขาไฟที่เก็บตัวอย่าง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างของชนิดหิน และตรวจสอบตัวอย่างของหินภูเขาไฟว่าผุพังหรือไม่
3. ศึกษาธรณีเคมีของหินภูเขาไฟที่เก็บตัวอย่างมา โดยต้องเป็นหินภูเขาไฟที่มีการตรวจสอบว่าเป็นหินสดภายใต้กล้องจุลทรรศน์แล้ว และนำไปวิเคราะห์ผลได้ค่าปริมาณของธาตุในตัวอย่างแต่ละชนิดออกมา นำไปทำการพล็อตข้อมูลและไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีการแปลความของลักษณะของธรณีแปรสัณฐานเพื่อบอกธรณีแปรสัณฐานของบริเวณที่เราทำการศึกษา

พื้นที่ศึกษา (Location)

พื้นที่ศึกษาอยู่ในบริเวณเมืองแร่ทองคำชาติ อำเภอบ้านค้อ จังหวัดพิจิตร และบริเวณอำเภอชนแดน อำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์ รวมทั้งบริเวณเมืองแร่ทองคำชาติ โดยมีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 10 จุด (แสดงตำแหน่งในแผนที่รูป 1.2) โดยพื้นที่ศึกษาอยู่บนแผนที่ประเทศไทยมาตราส่วน 50,000 5141 III (บ้านค้อ) และ 5141 IV (วังทรายพูน) ลำดับชุด 7018 พิมพ์ครั้งที่ 1-RTSD โดยกรมแผนที่ทหาร



รูป 1.2 แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่ศึกษา
 (แผนที่ภูมิประเทศ มาตราสัณ 50,000 ลำดับชุด L7018 พิมพ์ครั้งที่ 1-RTSD โดยกรมแผนที่ทหาร)

ระเบียบวิธีวิจัย(Methodology)

- ขั้นตอนการดำเนินงานจะแสดงเป็นแผนภูมิรูป U

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รวบรวมและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องทางด้านธรณีวิทยาของพื้นที่จังหวัดพิจิตรและเพชรบูรณ์ เช่น ลักษณะภูมิประเทศ แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ ศึกษางานวิจัยที่มีการศึกษาไว้และมีความเกี่ยวข้องกับงานที่กำลังศึกษา ทั้งวิธีการสำรวจ การออกภาคสนาม การศึกษาในห้องปฏิบัติการ วิธีการวิเคราะห์ธรณีเคมี การประมวลผลข้อมูล และการตีความหมาย เพื่อเป็นแนวทางการดำเนินงานวิจัย

2. การศึกษาภาคสนามและการเก็บตัวอย่าง

2.1 การศึกษาภาคสนาม

ศึกษาการกระจายตัวของหินอัคนีจากแผนที่ธรณีวิทยา และวางแผนการสำรวจภาคสนาม โดยกำหนดจุดศึกษา ซึ่งเลือกพื้นที่ที่มีการกระจายตัวของหินอัคนีอยู่

2.2 การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างให้มีการกระจายตัวของตัวอย่าง โดยเลือกเก็บตัวอย่างที่ อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร และอำเภอวังโป่ง อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยมีจุดศึกษาทั้งหมด 10 จุด ศึกษา และแต่ละจุดศึกษาเก็บตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 30 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างต้องเป็น หินภูเขาไฟเนื้อสด และเนื้อเดียวหรือหินกรวดมนเนื้อเดียว (omitic-breccia) และนำตัวอย่าง 30 ตัวอย่างเข้าห้องปฏิบัติการ

3. การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

3.1 การศึกษาศิลาวิทยา

นำตัวอย่างทั้งหมด 30 ตัวอย่างที่ได้จากเก็บตัวอย่างภาคสนามมาทำการตัดให้เป็นแผ่นหินบางทั้งหมด โดยมีความหนาของแผ่นไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ศึกษาดูลักษณะเนื้อหิน โครงสร้างของหิน เพื่อบอกชนิดของหิน และดูการแปรเปลี่ยนของหิน การเกิดการแทนที่ของหิน และการผุพังของหิน เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนการวิเคราะห์ธรณีเคมี

3.2 การวิเคราะห์ธรณีเคมี

นำตัวอย่างที่ได้จากการศึกษาศิลาวิทยาตัวอย่างทั้งหมด 30 ตัวอย่าง พบว่าไม่มีการผุพังหรือการแปรเปลี่ยนของหินนำมาวิเคราะห์ธรณีเคมีของหินที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยนำเข้าเครื่องบดหยาบ และนำเข้าเครื่องบดละเอียด ให้ตัวอย่างมีลักษณะเป็นผงแป้ง (ขนาด 0.5 ไมครอน) และนำตัวอย่างที่ได้จากการบดละเอียด 8 กรัมผสมกับแว็กซ์(Wax) 1 กรัมและทำการอัดตัวอย่าง นำไปวิเคราะห์ในเครื่อง X-ray

Fluorescence (XRF, model Philips PW 2404) เราจะวิเคราะห์ธาตุหลักด้วยกัมมันตภาพรังสี ($\text{SiO}_2, \text{TiO}_2, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{MgO}, \text{CaO}, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}$ และ Al_2O_3) และจุลธาตุ 10 ธาตุ (Ba, Zn, Sr, Rb, Zr, Co, Cr, Ni, Y และ V) และนำตัวอย่างที่ได้จากการบดนำไปกำจัดมลทินด้วยการเผา (loss on ignition (LOI)) และนำเข้าเตาไฟฟ้าเพื่อนำไปศึกษาจุลธาตุและธาตุหายากในเครื่อง Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS, model Agilent technology 7500 series) และตัวอย่างที่นำไปบดละเอียดแล้วจะนำไปละลายกับกรด $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ ทำการแยกส่วนตัวอย่างและทำการเจือจางตัวอย่าง และผสมสารละลายมาตรฐาน ก่อนนำไปวิเคราะห์ในเครื่อง ICP-MS ทุกตัวอย่าง และทุกครั้ง

3.2.1 นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เครื่อง XRF และ ICP-MS มาทำการ

พล็อตกราฟข้อมูลของแต่ละตัวเครื่องและนำไปเปรียบเทียบกราฟที่ได้มีความใกล้เคียงกับกราฟที่มีการศึกษาไว้แล้ว เพื่อแปลความหมายของข้อมูลที่ได้ เพื่อนำไปตีความข้อมูลต่อไป

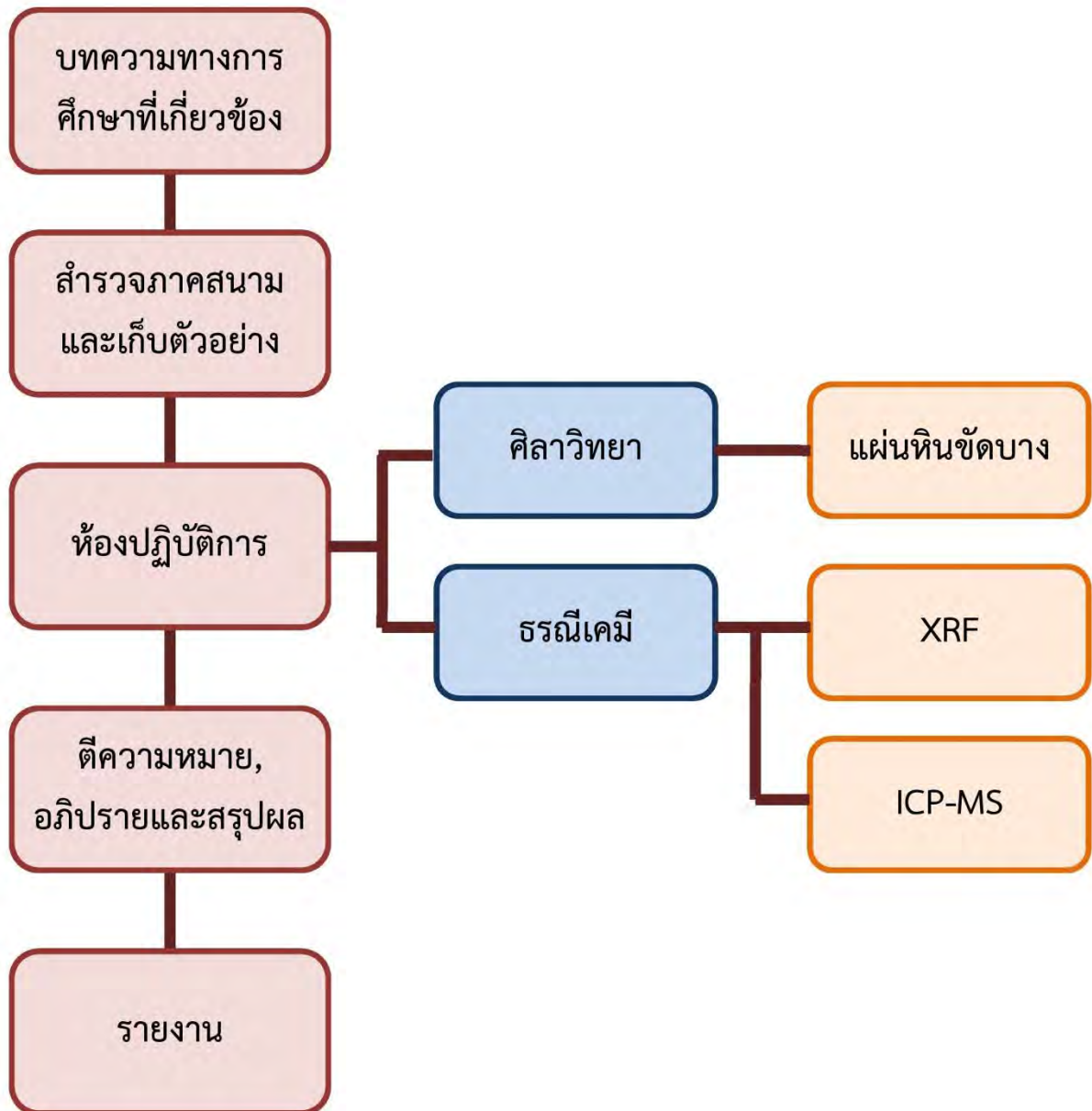
4. การตีความ การอภิปราย และสรุปผล

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมาทำการวิเคราะห์ผล บอกชนิดของหิน บอกลักษณะของธรณีแปรสัณฐานพื้นที่ศึกษา และทำการสรุปผล

5. เขียนรายงานวิจัย

นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมด นำเสนอข้อมูล และทำรูปเล่มรายงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูป 1.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (literature Review)

Barr et al., 2000 ได้ศึกษาธรณีเคมี และหาอายุของหินในแนวหินภูเขาไฟเลย โดยใช้พื้นที่ศึกษาที่แนวหินภูเขาไฟตอยตัน ซึ่งเป็นแนวย่อยของแนวเขตธรณีแปรสัณฐานครนนายก โดยจุดศึกษาอยู่บริเวณทางเหนือของเหมืองชาตรี และได้อธิบายไว้ว่าพบหินที่เป็นไรโอไลต์และเดไซต์ กระจายตัวอยู่ และกล่าวว่าแนวนี้สัมพันธ์กับเกิดเช่นเดียวกับแนวหินภูเขาไฟลิ่งชอง (Lincang – Jinghong volcanic belt) ในประเทศจีน

Vivatpinyo et al., 2010 ได้ศึกษาศิลาวิทยาและธรณีเคมี ในพื้นที่เหมืองชาตรี และได้อธิบายว่าหินในบริเวณนี้แบ่งได้เป็นหน่วยหิน คือ หินแอนดีไซต์เนื้อดอก หินแอนดีไซต์ทัฟฟ์ หินไรโอไลต์ทัฟฟ์ และหินแอนดีไซต์โค้เนื้อดอก และบอกการรูปแบบธรณีแปรสัณฐานสัมพันธ์กับการเกิดแบบมุดตัว (Subduction)

Boonsoong et al., 2011 ได้ศึกษาศิลาวิทยา และธรณีเคมี พื้นที่ศึกษาอำเภอชนแดน วังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่าพื้นที่ศึกษานี้ประกอบไปด้วยหินทั้งกลุ่มที่เป็นเมฟิกจนถึงเฟลสิก และหินในบริเวณนี้สัมพันธ์กับการเกิดแบบเกาะภูเขาไฟรูปโค้ง (Andean arc)

Salam et al., 2014 ได้ศึกษาศิลาวิทยา การหาอายุ ลำดับชั้นหินและธรณีเคมี บริเวณเหมืองชาตรีและตอนเหนือของเหมืองชาตรี อธิบายว่าสามารถแบ่งหน่วยหินออกได้เป็น ๒ หน่วย หินหลักตามลำดับชั้นหิน และบอกอายุของหินโดยพบว่าหินโทรลีโอต์มีอายุมากกว่าหินกลุ่มแคลอัลคาไลน์ และได้อธิบายที่มาของหินโทรลีโอต์ว่ามาจากชั้น upper mantle และเป็นชนิดหินในหน่วยที่ ๒ ในลำดับชั้นหินและมีจะเริ่มมีความเป็นแคลอัลคาไลน์มากขึ้นเมื่ออยู่ในลำดับชั้นหินแรกๆ

บทที่ 2 ธรณีแปรสัณฐาน

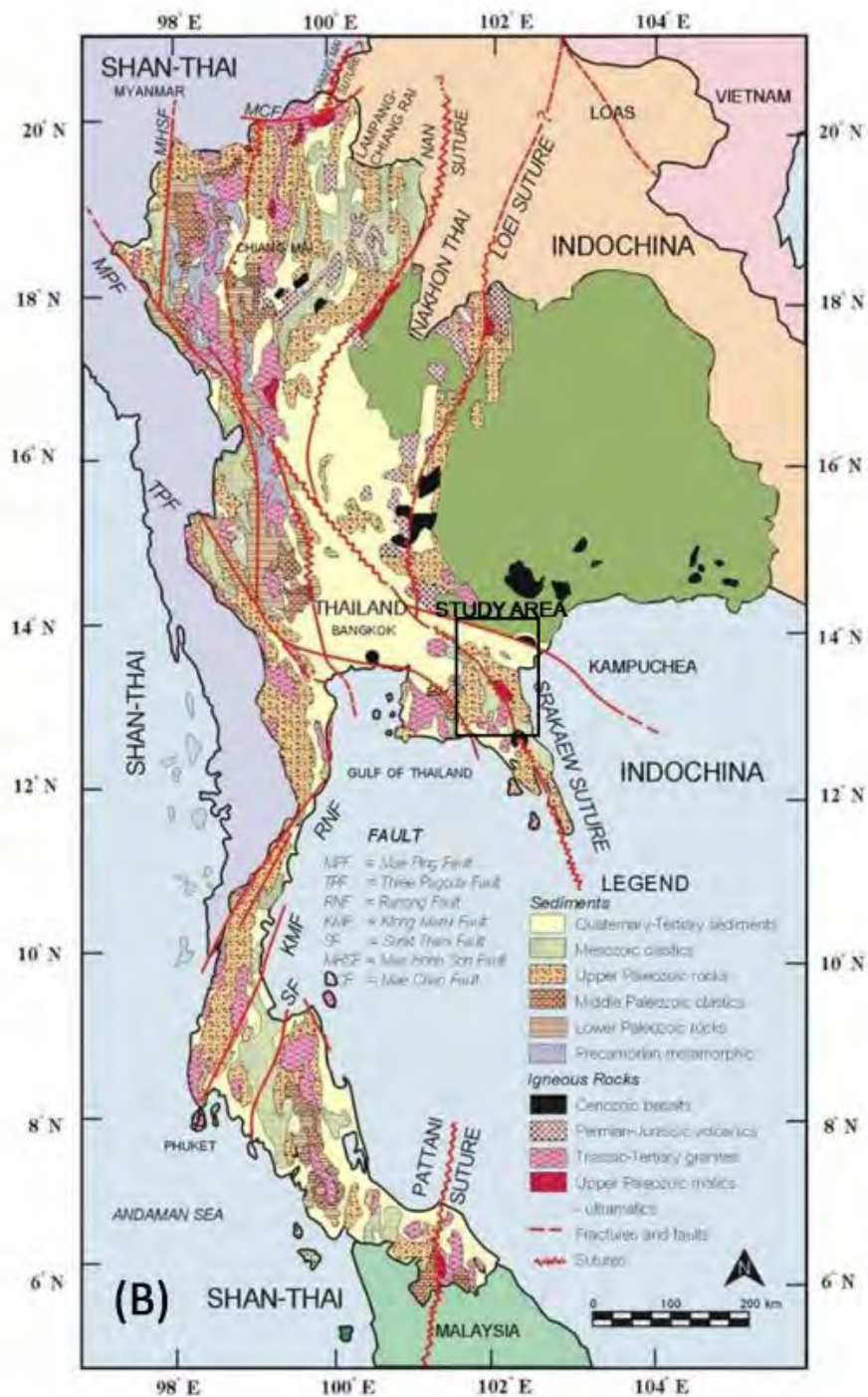
2.1 พัฒนาการธรณีแปรสัณฐานประเทศไทย

(Tectonic Evolution of Thailand)

ลักษณะของธรณีแปรสัณฐานประเทศไทยโดย Bunopas และ Vella (1983 และ 1992) ก่อนการได้รูปแบบการเกิดธรณีแปรสัณฐานของ Charusiri et al. (2002) Bunopas และ Vella (1983 และ 1992) กล่าวว่า ประเทศไทยประกอบด้วยชั้นแผ่นเปลือกโลกฉานไทยและอินโดจีน ซึ่งระหว่างชั้นแผ่นเปลือกโลกทั้งสองมีตะเข็บน่านคั่นกลาง ชั้นแผ่นเปลือกโลกฉานไทยประกอบด้วย พื้นที่ทางตะวันตกของประเทศไทย พื้นที่ทางตะวันออกของพม่า และบางส่วนของพื้นที่ทางเหนือของลาว ชั้นแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนประกอบด้วย พื้นที่ทางตะวันออกของประเทศไทย บางส่วนของลาว แคมโบเดียและเวียดนาม ในประเทศไทยแผ่นชั้นเปลือกโลกฉานไทยพบการวางตัวของชั้นฐานเป็นหินแปรเกรดสูงมีอายุในช่วงพรีแคมเบรียน (Precambrian) เหนือชั้นหินแปรพบชั้นตะกอนและชั้นหินแปรตามลำดับ ซึ่งเชื่อว่ามีอายุอยู่ในช่วงพาลีโอซิก (Paleozoic) มีโซโซอิก (Mesozoic) และซีโนโซอิก (Cenozoic) แผ่นชั้นเปลือกโลกอินโดจีนประกอบด้วย ชั้นคาบเนตมีอายุช่วงเปอร์เมียน (Permian) ชั้นหินเมตตะกอนทะเลน้ำลึก และถูกปกคลุมด้วยชั้นตะกอนของกลุ่มหินโคราชที่มีอายุช่วงมีโซโซอิก (Mesozoic) ตามลำดับ แต่เราไม่พบรายงานว่าพบหินช่วงยุคพรีแคมเบรียน (Precambrian)

ในแนวชั้นหินนี้ พบเบซินของตะกอนอายุช่วงกลางพาลีโอโซอิกถึงไทรแอสสิก (Triassic) ระหว่างทั้งสองแนวชั้นเปลือกโลกซึ่งวางตัวขนานกับแนวหินภูเขาไฟ ที่เรียกว่าแนวสุโขทัยอยู่บนแผ่นชั้นเปลือกโลกฉานไทย และแนวเลยอยู่บนชั้นหินอินโดจีน

Charusiri et al. (2002) ได้เสนอว่าแผ่นธรณีแปรสัณฐานประกอบด้วยสองแผ่นเล็กระหว่างแผ่นชั้นเปลือกโลกฉานไทยและแผ่นชั้นหินอินโดจีน ซึ่งได้แก่ แผ่นนครไทยซึ่งอยู่ทางตะวันออกและแผ่นลำปาง-เชียงรายอยู่ทางทิศตะวันตก (รูป 2.1) แผ่นธรณีแปรสัณฐานทั้งสองแผ่นพบว่าเคยเป็นแผ่นทะเลโบราณมาก่อนและชั้นแนวเปลือกโลกประกอบด้วยหินภูเขาไฟ ดังนั้น แนวสุโขทัยเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นลำปาง-เชียงราย และแนวเลยสัมพันธ์กับนครไทย Charusiri et al. (2002) กล่าวว่าในประเทศไทยประกอบด้วยแผ่นธรณีแปรสัณฐานด้วย 3 ส่วน โดยใช้ข้อมูลในการแบ่ง ได้แก่ ลำดับชั้นธรณีแปรสัณฐาน และ ข้อมูลอายุของธรณีวิทยา ประกอบด้วย ธรณีแปรสัณฐานช่วงอายุอาซาอีโอโซอิก (Archaeotectonic) ธรณีแปรสัณฐานช่วงพาลีโอโซอิก (Paleotectonic) ธรณีแปรสัณฐานช่วงยุคมีโซโซอิก (Mesotectonic) และธรณีแปรสัณฐานช่วงยุคนีโอโซอิก (Neotectonic)

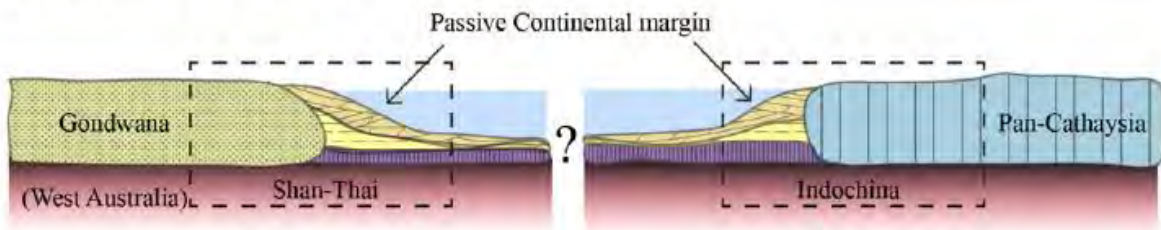


รูป 2.1 แผนที่ธรณีแปรสัณฐานประเทศไทยแสดงลักษณะบริเวณของธรณีแปรสัณฐานและชนิดของหินที่สัมพันธ์กับการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (Karusiri et al., 2002)

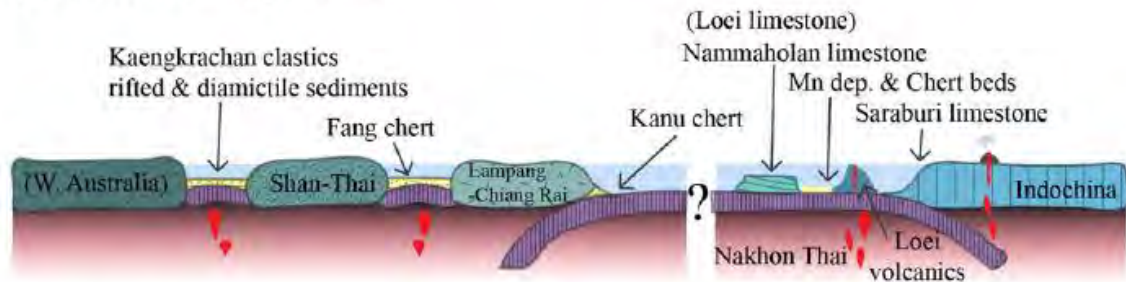
ในช่วงระหว่างแผ่นธรณีแปรสัณฐานอาซาอีโอโซติก(aeotectonic) ฉานไทยปรากฏขึ้นเป็นส่วนหนึ่งทางตะวันตกเฉียงเหนือของแผ่นทวีปออสเตรเลีย อินโดจีนนำคาคว่าอยู่ทางตอนใต้ของจีน ทางตอนเหนือของจีนและแนวคูโรสึกากิตากามิ (Kurosegawa-Kitakami) วางตัวอยู่ใกล้ทางตอนเหนือถึงตะวันออกเฉียงเหนือของออสเตรเลีย (Opas and Villa, 1983; Bunopas, 1992; Metcalfe, 1995; 1997) ช่วงน้ำทะเลขึ้น Paleotethys) บนชั้นแผ่นเปลือกโลกฉานไทยและชั้นแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนน่าจะขยายในจากช่วงแคมเบรียน(Cambrian) ถึง เพอร์เมียน (Permain) ระหว่างช่วงธรณีสัณฐานพาลีโอโซอิก ซึ่งได้เคลื่อนที่จากทางตอนเหนือไปเส้นศูนย์สูตรโบราณ แผ่นมหาสมุทรมุดตัวลงในช่วงยุคกลางพาลีโอโซอิกซึ่งทำให้เกิดแผ่นธรณีแปรสัณฐานขนาดยักษ์ แผ่นทรกอยู่ระหว่างฉานไทยและอินโดจีน คือพื้นมหาสมุทรพาลีโอที่อัน นครไท (Paleotethyan Nakho Thai) ทางตะวันออกและแนวโค้งหินภูเขาไฟลำปางเชียงราย ทางตะวันตก ระหว่างช่วงตอนปลายพาลีโอโซอิก (Paleozoic) ถึงตอนต้นมีโซโซอิก(Early Mesozoic) ชั้นแผ่นหินเปลือกโลกทั้งหมดเคลื่อนที่ข้ามเส้นศูนย์สูตรและเกิดการชนกันซึ่งถือเป็นการสิ้นสุดของทะเลโบราณยุคพาลีโอโซอิก (Paleotethys) และไม่มีการเคลื่อนที่ต่อไปทางเหนือ เริ่มต้นทะเลโบราณยุคมีโซโซอิก (Mesotethys) ทางตะวันตกสุดของประเทศไทยและพบแกรนิตชนิดไอ(-Type) และชนิดเอส (S-Type) โพล์ครอบคลุมตามท้องที่ต่างๆ เกิดการชนกันซึ่งมีรอยเลื่อนหลักๆอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือและแนวตะวันตกเฉียงเหนือแบบเลื่อนขั้ว(strike-slip fault) แผ่นทวีปยกตัวขึ้นทำให้เกิดการสะสมของแนวการวางตัวของตะกอนแดงช่วงตอนปลายมีโซโซอิก (Late Mesozoic) ในส่วนของแผ่นอินโดจีน แผ่นนครไทย และแผ่นลำปางเชียงราย ทางตะวันตกของฉานไทยเกิดน้ำท่วมจากทะเลโบราณ (Mesotethys) จนถึงช่วงตอนปลายสุดของมีโซโซอิก (Late Mesozoic) ต่อมาเกิดการชนกันของแผ่นเบอมา (Berma Block) และฉานไทยซึ่งอาจทำให้เกิดแกรนิตชนิดไอ (-type) และชนิดเอส (S-type) การสิ้นสุดของทะเลโบราณ (Mesotethys) เป็นตัวบอกการสิ้นสุดของแผ่นธรณีแปรสัณฐานมีโซโซอิก (Mesotectonic stage) การกระทำระหว่างแผ่นอินเดีย (Indian plate) และแผ่นยูเรเชีย (Eurasian) ซึ่งเป็นช่วงเขาใกล้ทะเลโบราณช่วงนีโอโซอิก (Neotethys) และเป็นสิ่งจุดที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของธรณีแปรสัณฐานต่อมาในประเทศไทยและเป็นสิ่งที่กระตุ้นการเคลื่อนลักษณะของรอยเลื่อนให้ตรงกันข้ามกับที่เคยเกิดขึ้นก่อนหน้านี้ มีการยกตัวของแผ่นเปลือกโลกขึ้นทำให้เกิดการขยายตัวของบริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของเอเชียและเป็นก่อให้เกิดการขยายลักษณะพื้นที่ที่เป็นแอ่ง (basin) จากการถูกดึงทางตอนเหนือของประเทศไทยและเป็นการเปิด Gulf ของประเทศไทยในขณะเดียวกับทางตอนใต้ของจีนและทะเลอันดามัน นอกจากนี้แผ่นธรณีแปรสัณฐานช่วงนีโอโซอิก (Neotectonic stage) มีลักษณะสำคัญคือมีการกำเนิดของแมกมาหินบะซอลต์ (mantle-derived basaltic volcanism) อย่างไรก็ตามแผ่นธรณีสัณฐานช่วงนีโอโซอิก (Neotectonic) ยังคงมีปรากฏอยู่ โดยสิ่งที่เป็นตัวบ่งบอกอย่างจากการเกิดบ่อน้ำพุร้อน การไหลเวียนของความร้อนใต้พื้นโลก และการเกิดแผ่นดินไหวในปัจจุบัน

การปิดทะเลโบราณช่วงพาลีโอโซอิก (Paleotethys) การวางตัวระหว่างแผ่นฉานไทยและแผ่น
ลำปาง-เชียงใหม่ (Lampang-Chaing Rai blocks) ระหว่างแผ่นนครไทยและอินโดจีน่าซึ่งเกิดจากการ
มุดตัวของแผ่นเปลือกโลกและสัมพันธ์กับหินภูเขาไฟตามตะเข็บเชียงใหม่และตะเข็บเลย (รูป
2.2) ดังนั้น การรวมกันของแผ่นฉานไทย อินโดจีน่า และแผ่นเปลือกทั้งหมดในช่วงตอนปลายไทรแอสสิก
(Late Triassic) จากข้อมูลการหาอายุโดยใช้ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Charusiri, 1989) นอกจากนี้รอยตะเข็บนำน
อุตรดิตถ์เชื่อมกันระหว่างช่วงตอนปลายไทรแอสสิก (Late Triassic) (Panjasawatwong, 1991)
อย่างไรก็ตามหินปูนอายุไทรแอสสิกปรากฏทางตะวันออกของจังหวัดอุทัยธานีเรื่อยมาจนถึงตอนกลาง
เจ้าพระยาโดยพบซากดึกดำบรรพ์พวกฟอรามินิเฟอรา (foraminifers) ซึ่งเป็นตัวบอกรายว่าอยู่ในช่วงลาตินเนียน
(Ladinian) ซึ่งเทียบได้กับตอนปลายไทรแอสสิก (ช่วงคาร์เนียน) (Ueno et al., 2010) สรุปได้
ว่าปิดอย่างสมบูรณ์ช่วงตอนปลายไทรแอสสิก (Late Triassic)

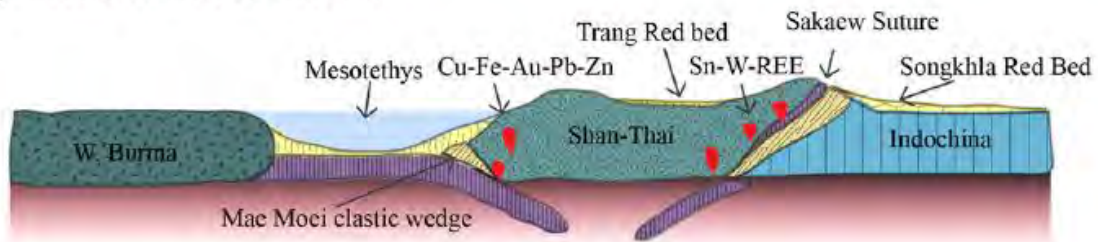
a) Precambrian to early Cambrian



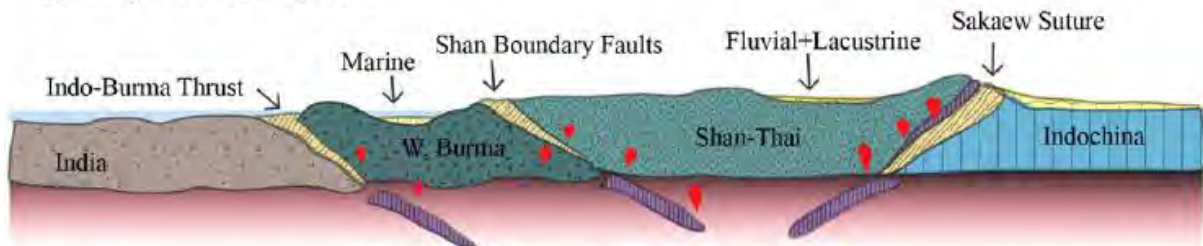
b) Cambrian to early Triassic



c) middle Triassic to Miocene



d) early Tertiary to present



รูป 2.2 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงธรณีแปรสัณฐานในประเทศไทยตั้งแต่ช่วงพรีแคมเบรียน (Precambrian) ถึง ตอนปลายเทอร์เชียรี (Tertiary) (after Charusiri et al., 2002) :

- (a) พรีแคมเบรียนถึงตอนต้นแคมเบรียน
- (b) แคมเบรียนถึงตอนต้นไทรแอสสิก
- (c) ตอนกลางไทรแอสสิกถึงไมโอซีน
- (d) ตอนต้นเทอร์เชียรีถึงปัจจุบัน

2.2. หินภูเขาไฟก่อนยุคจูแรสสิกในประเทศไทย (Pre-Jurassic Volcanic Rocks in Thailand)

หินภูเขาไฟก่อนยุคจูแรสสิกในประเทศไทยพบการกระจายตัวด้วยกันหลักๆ อยู่ ได้แก่ แนว เชียงรายเชียงใหม่ แนวเชียงขอมตก แนวเลขเพชรบูรณ์เกาะช้าง (e.g., Jungyusuk and Khositantont, 1992; Intasopa, 1993; Charusiri et al., 2002; Phajuy et al., 2005) แนวหินภูเขาไฟบางส่วนประกอบด้วยการตกสะสมตัวของทองคำที่อุณหภูมิต่ำ (intermal) และสการ์น (skarn) (e.g., Jungyusuk and Khositantont, 1992; Potisat, 1996) และ Charusiri (1989) ได้แบ่งเลขเพชรบูรณ์คาง (Loei-Phetchabun-Ko Chang volcanic belt) ส่วนล่างเป็นสองส่วน ตะเข็บน่าน (NCZ) ส่วนแนวบนเลขเพชรบูรณ์ครนาก (รูป ๒.2)

แนวเชียงรายเชียงใหม่ วางตัวในทิศ NNE-SSW จากตะวันตกจังหวัดเชียงรายเรื่อยมาทาง ตะวันออกจังหวัดเชียงใหม่ถึงอำเภอลี และยาวมาจนถึงจังหวัดลำพูน ซึ่งแนวภูเขาไฟนี้ประกอบด้วย หินบะซอลต์ (basalt) หินบะซอลต์เนื้อดอก (porphyritic basalt) เนื้อดอกที่เป็นหินบะซอลต์ (basalt porphyries) cumulate (wehrlite และ clinopyroxenite) และหินแกรบโบ (abbros) (Macdonald and Barr, 1978) นอกจากนี้ Phajuy et al. (2005) ได้จำแนกองค์ประกอบของแนว หินภูเขาไฟว่าซึ่งประกอบด้วย ลาวาที่เป็นกลุ่มเมฟิก ไฮยาโลคลาสต์ (clastites) หินกรวดมนที่มี ลักษณะเหมือนหมอน (pillow breccias) และหินภูเขาไฟแทรกตัดที่เป็นกลุ่มหินเมฟิก (mafic dikes) จากการวิเคราะห์ธรณีเคมีมีแนวหินภูเขาไฟนี้พบหินโทลีโอไลต์ (leitic) และพบหินอัลคาไลน์บะซอลต์ (alkaline basalt) ซึ่งอาจเปลี่ยนมาจากหินโทลีโอไลต์ (oleiitic) หรือไม่ก็ได้ (e.g., Macdonald and Barr, 1978; barr et al., 1990; Panjasawatwong et al., 1999; phajuy et al., 2005) มีการปะทุ ของแนวหินภูเขาไฟในช่วงกลางเปอร์เมียน ถึง เพอร์ม แอสสิก (Middle Permaian to Permo-triassic) (Chuaviroj et al., 1980; Pansawatwong, 1999; Phajuy, 2005) ซึ่งอาจจะเป็นต้นกำเนิด ของแนวภูเขาไฟโค้ง (volcanic arc) (Bunopas และ vella, 1978) หินภูเขาไฟกลุ่มเมฟิกของแนว เชียงใหม่เชียงรายเกิดจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก (Macdonald and Barr, 1978; Barr et al., 1990) แต่หินภูเขาไฟที่พบที่จังหวัดเชียงใหม่และลำพูนอาจเกิดมาจากภายในแผ่นเปลือกโลก (Barr, 1990) อย่างไรก็ตาม Panjasawatwong et al. (1995) และ panjasawatwong (1990) ได้กล่าวไว้ว่าหินภูเขา ไฟที่เราพบในบริเวณแนวหินภูเขาไฟนี้เกิดจากการปะทุภายในแผ่นมหาสมุทรในเกาะมหาสมุทร (islands) และภูเขาไฟใต้ทะเล หรืออาจเกิดกการature back-arc basin หรือ major ocean basin หรือเกิดจากทั้งสองอย่างนี้ก็ได้ ซึ่งต่อมามีข้อมูลมาสนับสนุนความคิดนี้จากแบบการเกิด (Macalfe (2002)

แนวภูเขาไฟเชียงขอตาก วางตัวอยู่ทางตะวันออกของแนวภูเขาไฟเชียงรียงใหม่ซึ่งระยะของแนวภูเขาไฟนี้ตั้งแต่อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงรายเรื่อยมาจนถึงทางตะวันตกของจังหวัดแพร่ และทางตะวันตกของจังหวัดลำปางถึงจังหวัดตาก แนวเชียงของนี้มีองค์ประกอบที่หลากหลายตั้งแต่หินอินทรีย์มีเตียถึงองค์ประกอบที่เป็นกรด (intermediate to acid composition) ได้แก่ หินไรท์โอลิต (rhyolite) เดไซต์ (dacite) หินแอนดีไซต์ (andesite) และหินไพโรคลาสติก (pyroclastics rocks) ซึ่งได้หาความสัมพันธ์ของ

ลำดับชั้นหินในแนวเชียงของเชียงรายได้สองช่วงด้วยกันคือ เปอโมทรแอสสิก (Permo-Triassic) และตอนต้นไทนแอสสิกถึงตอนปลายจูแรสสิก (Upper Triassic to lower Jurassic age) (Jungyusuk and Khositant, 1992) แนวหินภูเขาไฟนี้อาจเกิดจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกและเป็นส่วนโค้งของภูเขาไฟ (volcanic arc) ที่เกิดจากการมุดตัวของ Sunopas และ Villa, 1983; Barr et al., 1990) Panjasawataong et al. (2003) เสนอว่าแนวเชียงขอตาก มีอายุช่วงเปอโมทรแอสสิก (Permo-Triassic) และเกิดจากสภาพแวดล้อมของแนวโค้งหินภูเขาไฟบนแผ่นทวีป และจากการวิเคราะห์เคมีพบว่าแนวเชียงขอตากสัมพันธ์กับหินที่มีองค์ประกอบของแม่เหล็กชนิด ได้แก่ หินโทรลิอิต (Tholeiitic series) (Panjasawatwong et al. 2003) และหินแคลอัลคาไลน (calc-alkalic series) (Barr et al. 2000) และได้มีรายงานว่าพบหินทั้งสองชนิดถูกพบทางตะวันออกบางส่วนของแนวหินภูเขาไฟลินชางจิงฮง (Linchang-Jinhong volcanic belt) ในทางตะวันตกเฉียงใต้เฉียงใต้ของจีนและได้ขยายมาทางตอนเหนือแนวเชียงขอตาก (Yang et al., 1994; Yang, 1998)

แนวเลขเพชรบูรณ์ครนายก วางตัวทางตะวันออกเฉียงเหนือถึงตะวันตกเฉียงใต้จกจังหวัดเลยเรื่อยมาจังหวัดเพชรบูรณ์ และตามแนวตะวันตกเฉียงเหนือถึงตะวันออกเฉียงใต้จากนครสวรรค์ถึงสระบุรีปราจีนบุรี และสระแก้ว ซึ่งหินภูเขาไฟแนวเพชรบูรณ์ครนายก พบหินที่มีองค์ประกอบมาจากลาวาและหินตะกอนภูเขาไฟ ซึ่งเป็นหินกลุ่มเฟลสิกถึงเมฟิกในพื้นที่จังหวัดเลยสามารถแบ่งแนวออกมาได้ ได้แก่ แนวย่อยทางตะวันออก แนวย่อยตอนกลาง และแนวย่อยตะวันตก ทางแนวย่อยตะวันออกมีการวางตัวของหินภูเขาไฟในแนวเหนือ-ใต้มายาวมาจนถึงทางตะวันตกของที่ราบสูงโคราช ซึ่งหินภูเขาไฟบริเวณนี้ที่พบหลักๆเป็นหินไรโอลิต (rhyolite) จากการเทียบสัมพันธ์ของลำดับชั้นหิน หินภูเขาไฟทางตะวันออกวางตัวบนหินปูนมหาสมุทรที่มีอายุช่วงตอนกลางเปอร์เมียน (Middle Permian) อยู่ล่างหมวดหินภูกระดึงอายุตอนต้นจูแรสสิก (early Jurassic) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหินภูเขาไฟนี้เกิดในช่วงเปอโมทรแอสสิก (Permo-Triassic) (Jungyusuk and Khositant, 1992) แต่ว่าหินไรโอลิตที่ปรากฏบนแนวย่อยทำการหาอายุ Rb-Sr ไอโซครอน (Rb-Sr isochron) พบว่ามีอายุ 374 ± 33 Ma (Devonian-Carboniferous) และหินภูเขาไฟนี้อาจเกิดในสภาพแวดล้อมแบบแนวโค้งภูเขาไฟ (volcanic arc) (Intasopa, 1993; Intasopa and Dunn, 1994) หินภูเขาไฟตอนกลางเลยวางตัวแนวเหนือ-ใต้อีก

พื้นที่ปากชม (Jungyusuk and Khositantont, 1992) หินภูเขาไฟที่พบ ได้แก่ ลาวาบะซอลต์รูปหมอน (pillow basaltic lava) ไฮยาโลคลาสติก (Kyaloclastic) และหินรูปหมอนที่มีหินกรวดเหลี่ยม (low breccia) (Pajasawatwong et al., 2006) พบส่วนหินปูนที่มีซากดึกดำบรรพ์ที่บ่งบอกอายุช่วงดีโวเนียน (Devonian) ถูกพบในหินทัฟฟ์ (Kyaloclasite) ซึ่งทำให้ทราบว่าบริเวณนี้อาจเกิดในสภาพแวดล้อมที่เป็นทะเลมาก่อนในช่วงตอนกลางดีโวเนียน (Middle Devonian) และตอนปลายดีโวเนียน (Late Devonian) ถึงคาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous) (Chairangsee et al., 1990) จากการตีความพบว่า หินภูเขาไฟในแนวย่อยนี้เกิดในสภาพแวดล้อมสันเขาตอนกลางมหาสมุทร (oceanic ridge) และหมู่เกาะโค้งมหาสมุทร (oceanic island-arc) (Pajasawatwong et al., 2006) จากการ

หาอายุโดย Rb-Sr ไอโซคอน พบว่ามีอายุ 61 ± 11 Ma (Upper Devonian to Lower Carboniferous) (Intasopa and Dunn, 1994) แนว

หินภูเขาไฟย่อยทางตะวันตกของเลยวางตัวกับหินตะกอนช่วงเปอร์เมียน (Permian) และไทรแอสสิก-จูแรสสิก (Triassic-Jurassic) โดยในที่พบหลักๆ หินแอนดีไซต์ละเอียดเนื้อดอก (fine-grained andesite porphyry) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งจากหินไรโอไลต์ หินไรโอไลต์ทัฟฟ์ (Rhyolitic tuff) และเดไซต์ (Dacite) (Jungyusuk and Khositantont, 1992) อาจจะเกิดในช่วงเปอโม-ไทรแอสสิก (Permian-Triassic) ในหินภูเขาไฟส่วนโค้งแคลอัลคาไลน์ช่วงเปอร์เมียน-ไทรแอสสิก (Permian-Triassic calc-alkaline volcanic arc) (อ้างอิง Charusiri et al., 1995) ส่วนหินภูเขาไฟทางใต้ของเลยเชื่อมหินภูเขาไฟของเพชรบูรณ์ ซึ่งวางตัวอยู่ตั้งแต่อำเภอศรีเทพในจังหวัดเพชรบูรณ์ไปทางอำเภอไพศาลีจังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งแนวย่อยนี้ประกอบด้วยหินภูเขาไฟหลักๆ ได้แก่ แอนดีไซต์ (Andesite) และหินบะซอลต์ติกแอนดีไซต์ (Basaltic andesite) (Jungyusuk and Khositantont, 1992) หินภูเขาไฟนี้ตัดแทรกเข้ามาและไหลอยู่บนหินปูนอายุช่วงตอนกลางเปอร์เมียน (Middle Permian) และมีหินตะกอนอายุไทรแอสสิก (Triassic) วางตัวอยู่บนหินภูเขาไฟนี้ (Jungyusuk et al., 1989) และหินแอนดีไซต์แทรกตัดเข้ามาในหินตะกอนอายุตอนต้นไทรแอสสิก (Upper Triassic) (Jungyusuk, 1985) ดังนั้น หินภูเขาไฟนี้อาจเกิดในช่วงตอนปลายเปอร์เมียน (Late Permian) ถึงตอนต้นไทรแอสสิก (Upper Triassic) และมีอายุ 235 ± 4 Ma จากการใช้ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Jungyusuk and Khositantont, 1992) ดังนั้น หินภูเขาไฟเพชรบูรณ์สัมพันธ์กับหินภูเขาไฟส่วนโค้งที่เกิดจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก (Intasopa, 1993; Kampong et al., 2006) ในส่วนของพื้นที่ศึกษาทางตะวันตกสัมพันธ์กับการมุดตัวและหมู่เกาะส่วนโค้ง จังหวัดสระบุรี พบหินหินไรโอไลต์เนื้อดอก (Porphyritic rhyolite) หินเดไซต์เนื้อดอก (Porphyritic dacite) ไรโอไลติกทัฟฟ์ (Rhyolitic tuff) หินแอนดีไซต์เนื้อดอก (Porphyritic andesite) หินเทซีแอนดีไซต์

(Trachyandesite) และหินแอนดีไซต์ทัฟฟ์ (vitpiyo, 2006) หินภูเขาไฟนี้ตัดผ่านหินปูนอายุช่วงกลางเพอเมียน (Middle Permian) และวางใต้หมวดหินภูกระดึง ดังนั้น หินภูเขาไฟนี้อาจเกิดในช่วงกลางเพอเมียน หรือหลังเพอเมียน และก่อนจูแรสสิก (Hinthong et al., 1985) จากการอายุของหินไรโอไลต์ในสระบุรีโดย $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ มีอายุ 52 ± 2 Ma (Intasopa et al., 1990) แต่ได้ผลที่ไม่เหมือนกันจากการเทียบสัมพันธ์ลำดับชั้นหินและการหาอายุจากคลื่นรังสี (isotopic age) ทำให้ลักษณะธรณีแปรสัณฐานที่ซับซ้อน (ngyusuk and Khositanont, 1992) จากข้อมูลเคมีของหินภูเขาไฟนี้พบว่าเป็นกลุ่มหินแคลอัลคาไลต์ (alc-alkaline) ที่สัมพันธ์กับส่วนโค้งภูเขาไฟที่เกิดจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก (ivatpiyo et al., 2010)

บทที่ 3 ศิลาวិทยา

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะอธิบายถึงชนิดของหินที่พบ และการจำแนกหิน โดยอาศัยการศึกษาด้วยตาเปล่า (Macroscopic) จากหินตัวอย่าง (Hand specimen) อธิบายลักษณะของแร่ที่พบลักษณะของเนื้อหิน (Macrotexture) และศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (Microscopic) จากแผ่นหินขัดบาง (Thin-section) เพื่อจำแนกแร่ บอกลักษณะของเนื้อหินที่สามารถศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (Texture)

การเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่าง 10 จุดศึกษาตามที่แสดงในแผนที่ข้างต้น ในการเก็บตัวอย่างได้คำนึงถึงลำดับการวางตัวของชั้นหิน (Stratigraphic unit; Salam, 2013) (รูป 3.1) ตลอดจนการจำแนกหินที่เป็นไดค์ และซิล (sill) เพื่อการจัดกลุ่มที่ถูกต้อง

การจำแนกหิน

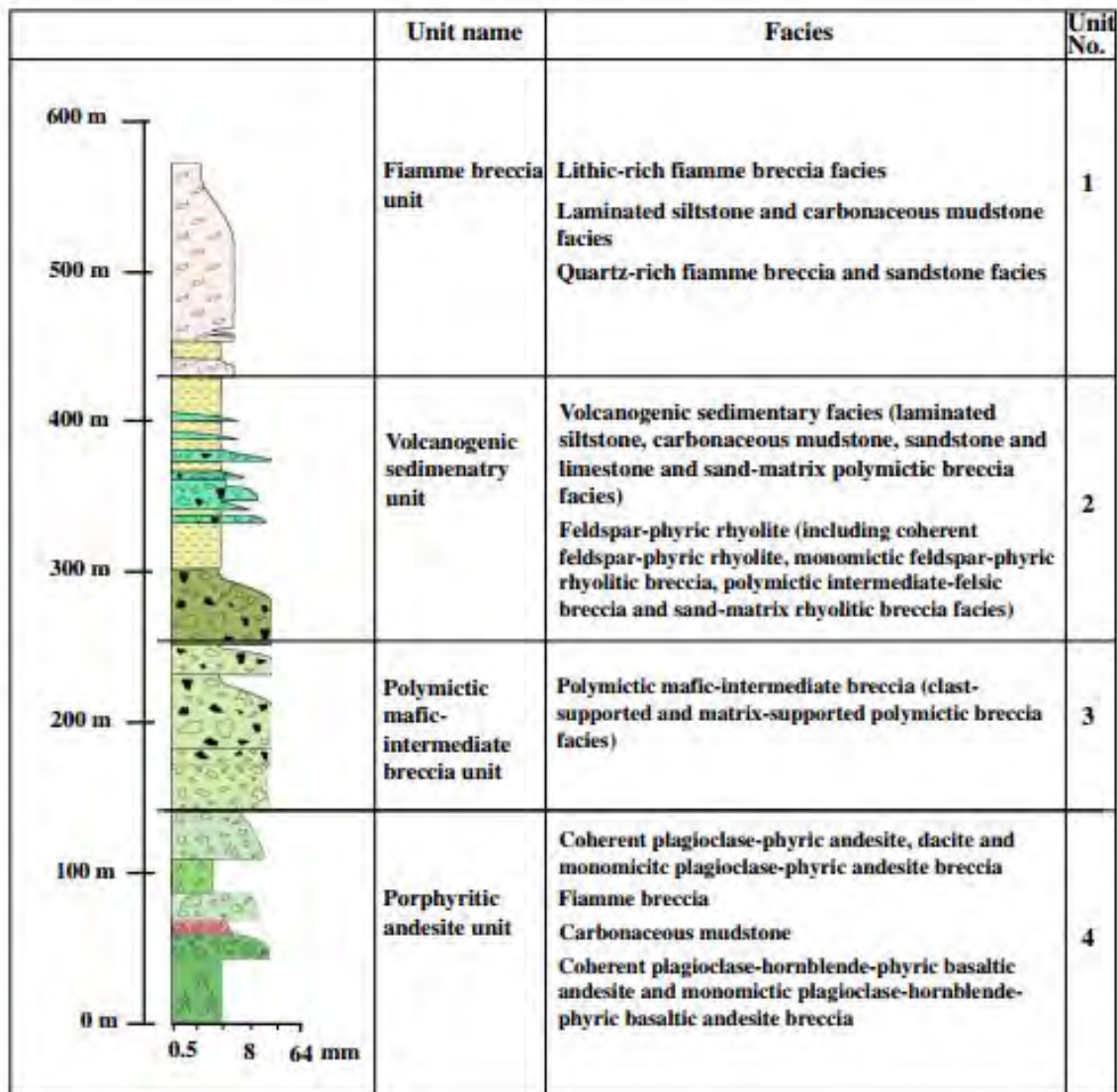
แยกหินไดค์กับซิลออกจากหินกลุ่มที่ไม่ใช่ไดค์หรือซิล และแยกย่อยตามองค์ประกอบของแต่ละกลุ่ม โดยอาศัย Hand specimen และทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงผ่าน

ลำดับชั้นหิน

จาก Salam et al. (2014) อธิบายลำดับชั้นหินของหินภูเขาไฟในเหมืองชาต๊ะประกอบด้วย ชั้นบนสุดคือหินกรวดเหลี่ยมเนื้อฟิยาม (Fiamme) ที่มีองค์ประกอบเป็นไรโอไลต์ ทัตลงมาเป็นชุดหินหินตะกอนภูเขาไฟ (Volcanogenic sedimentary rocks) ที่ประกอบด้วยหินกรวดเหลี่ยมหลากชนิด (Polymictic andesitic breccia) โดยหินตะกอนภูเขาไฟนี้ได้แก่ หินทราย และทรายแป้งเนื้อคาร์บอนชั้นบาง ๆ และหินปูนชั้นบาง ๆ

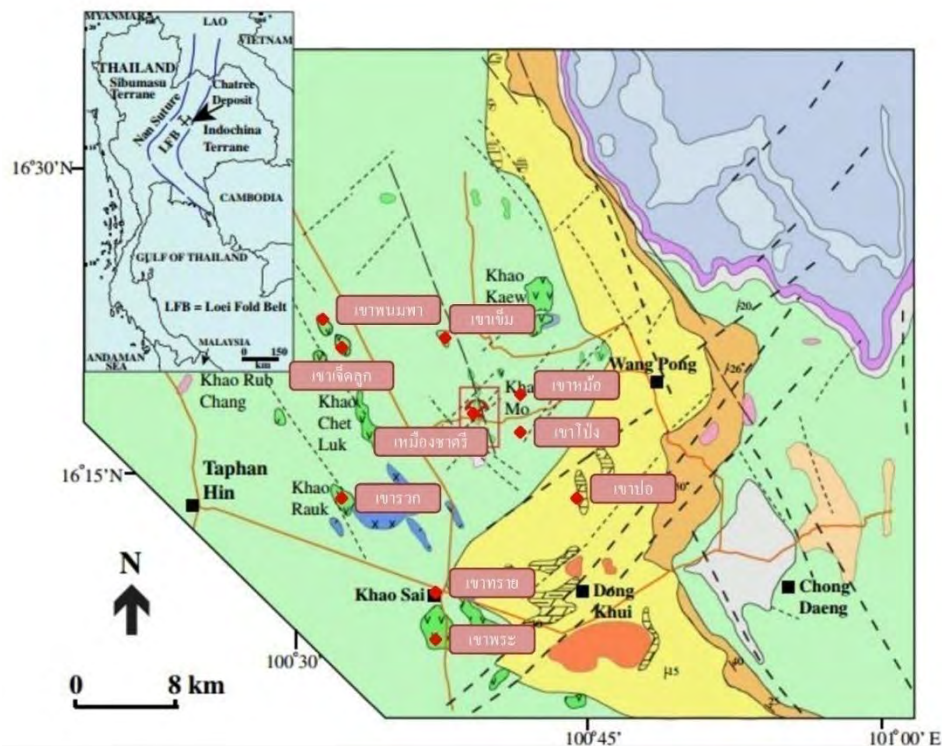
หินเรียงแนว (coherent) เกิดขึ้นพร้อมกับหินเศษกรวดเหลี่ยมต่างเนื้อหิน (polymictic andesitic breccias) โดยในกลุ่มนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ซึ่งกลุ่ม 1 ประกอบด้วยหินชุดลักษณะเรียงแนว ได้แก่ ชั้นการวางตัวของหินตะกอน และกลุ่มคือกลุ่มที่ตัดผ่านชั้นการวางตัว โดยการแบ่งกลุ่มหินต้องขึ้นกับความสัมพันธ์ โดยคำนึงถึงหินกรวดเหลี่ยมแอนดีไซต์ (andesitic lithic breccias) ชุดลักษณะของ

หินเรียงแนวสอดคล้องกับองค์ประกอบของหินแอนดีไซต์เป็นหลัก แต่หินเรียงแนวที่ตัดผ่านมีองค์ประกอบของแอนดีไซต์และบะซอลต์มากกว่า โดยพบว่าหินกรวดเหลี่ยมพัมมิชฟริกเฟลด์สปาร์-phyric pumice breccia) วางอยู่บนและถูกตัดโดยสายแร่และเกิดการแพร่ของน้ำร้อนใน (hydrothermal mineralisation) (รูป 3.1)



รูป 3.1 รูปแบบลำดับชั้นหิน พื้นที่เหมืองทองคำชาติรี (๒๕๓๓)

ทำการออกภาคสนามและเก็บตัวอย่าง ๓๐ จุดศึกษา ได้แก่ เขาพนมพา เขาเข้ม เขาเจ็ดลูก เขาหม้อ เขาโป่ง เขมืองชาตรี เขารวก เขาปอ เขาทราย (รูป ๒) โดยเก็บตัวอย่างจุดละ ตัวอย่าง ทั้งหมด 30 ตัวอย่าง หินในส่วนที่ศึกษานั้นอยู่ในหน่วยหินแอนดีไซต์เนื้อดอก (phyritic andesite unit) เป็นหลัก และสามารถจำแนกชนิดหินย่อยได้ ๕ ชนิดหิน จากทั้งหมด ๓0 ตัวอย่าง ซึ่งประกอบไปด้วยกลุ่มหินหลักๆ ได้แก่ หินผนังเนื้อดอก หินเนื้อดอกภูเขาไฟ หินเนื้อแน่นภูเขาไฟ (coherent facies) ซึ่งเราจะอธิบายในหัวข้อต่อไป



Legend

Sedimentary rocks

- Khorat Group**
- Early Cretaceous: Quartzitic sandstone, siltstone and claystone
 - Jurassic: Siltstone, sandstone, claystone and conglomerate
 - Late Triassic: sandstone, siltstone, claystone and conglomerate
 - Late Triassic: Shale, mudstone, siltstone, graywacke and argillaceous limestone
 - Late Permian: Sandstone, siltstone and shale
 - Permian: Limestone and shale
 - Carboniferous: Sandstone, siltstone, conglomerate shale, limestone and rhyolite

Explanation: Outcrop geology
 Interpreted geology

Symbols

- Bedding
- Implied fault from airborne survey
- Inferred fault
- Chatree mine
- Road
- Town

Intrusions

- Early Triassic: Plagioclase-hornblende diorite porphyry
- Early Triassic: Wang Pong and Khao Rub Chang intrusions
- Early Triassic: Diorite
- Late Permian-Early Triassic: Andesite and basaltic dykes
- Carboniferous: Pink granite

รูป 3.2 แผนที่ธรณีวิทยาขนาดอำเภอแสดงพื้นที่เก็บตัวอย่างจุดศึกษา

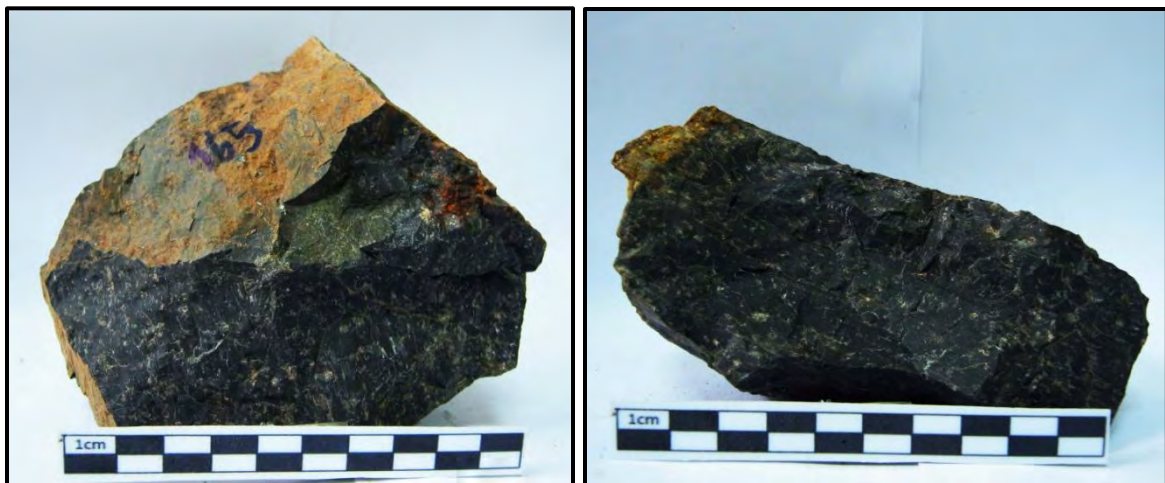
การแทนที่ของแร่(alteration) เกิดจากหินอัคนีหนืดร้อนแทรกดันขึ้นมาในหินท้องที่ทำให้ ส่วนประกอบแร่และโครงสร้างของหินท้องที่บริเวณสัมผัสมีการเปลี่ยนแปลงไป และการแปรเปลี่ยน (Alteration) ของแร่ในหินภูเขาไฟ โดยเฉพาะหินมีอายุมากทำให้องค์ประกอบของหินเปลี่ยนแปลงไปไม่ เป็นองค์ประกอบของหินนั้นๆ หรือของแมกมาเดิมอีก

3.2 ศิลาวิทยา (Petrology)

จากหินตัวอย่าง (Hand specimen) และแผ่นหินขัดบางพบว่าหินภูเขาไฟในพื้นที่ศึกษาสามารถ จำแนกชนิดของหินออกได้เป็น ๒ กลุ่มหิน ได้แก่ หินพ่นังแอนดีไซต์เนื้อดอก หินบะซอลต์ หินแอนดีไซต์ หินบะซอลต์ หินผลึกดอกแร่ฮอร์นเบลนแอนดีไซต์ หินแอนดีไซต์เนื้อดอก และหินแอนดีไซต์ทัฟฟ์ ซึ่งเป็น หินภูเขาไฟในพวกอินเตอร์มีเดียถึงเมฟิก มีลักษณะเนื้อพื้นละเอียด (phanitic Texture) และมีสีตั้งแต่สี เขียวอ่อนถึงสีเขียวเข้มอมเทา

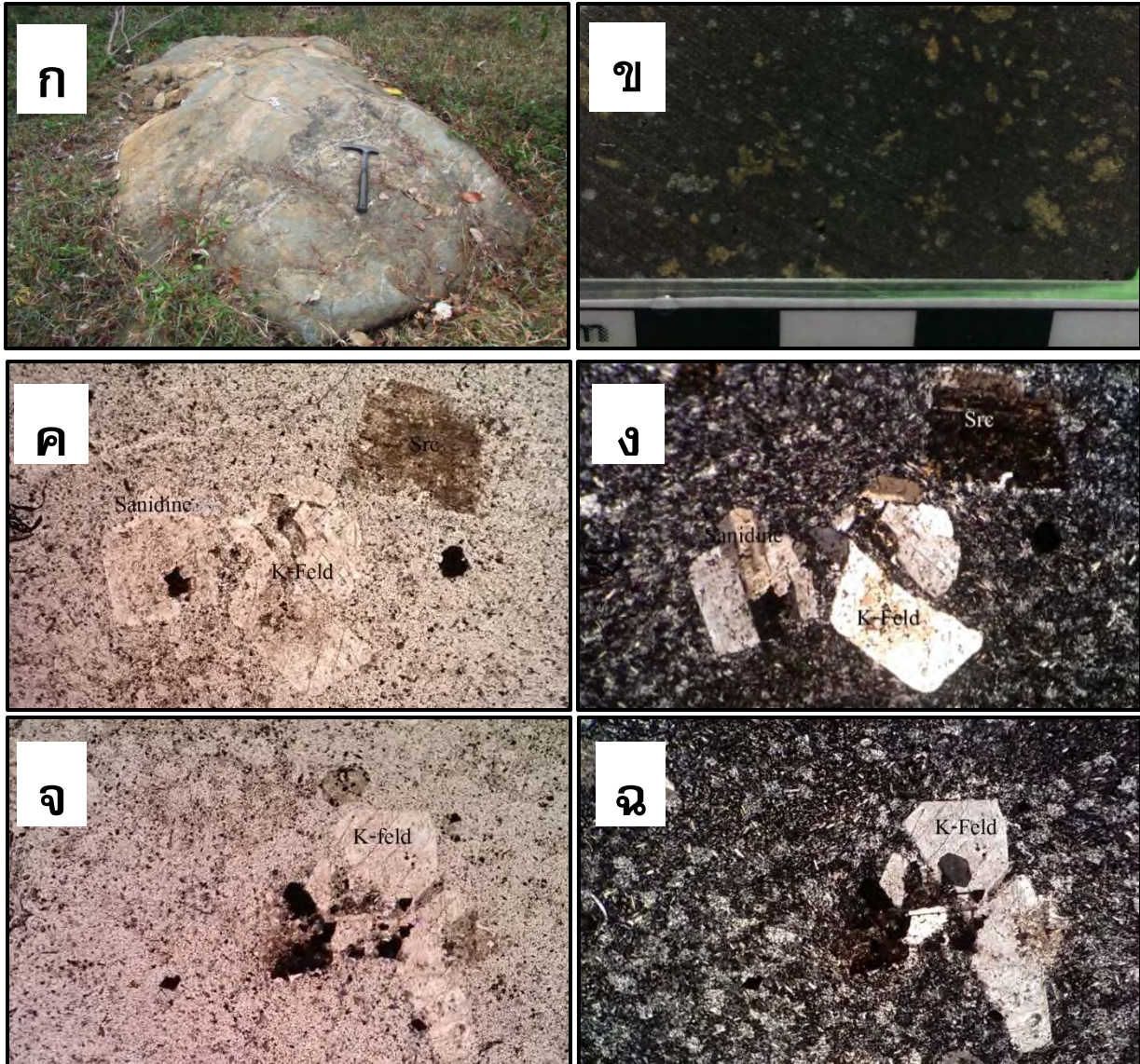
3.2.1. หินแอนดีไซต์เนื้อดอก (หินภูเขาไฟชุดชาติโข) (phyritic andesite)

จากหินตัวอย่าง (hand specimen) พบลักษณะของสีสดสีเทาอมเขียว สีฝุ่น้ำตาลสนิม มี ลักษณะของเนื้อดอก (porphyritic texture) ของแร่เฟลด์สปาร์ (feldspar) สีขาว ขนาดเม็ดตั้งแต่ 1 - 2 มิลลิเมตร ประมาณ 30 % ของเนื้อหินทั้งหมด (รูป 3.3 และ 3.4 ข)



รูป 3.3 หินแอนดีไซต์เนื้อดอก (porphyritic andesite) เนื้อสดสีเทาอมเขียว และมีแร่เฟลด์สปาร์ (feldspar) เนื้อ ดอกสีขาว

จากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าประกอบด้วยผลึก ๒๐-30 % เป็นแร่แพลจิโอเคลส (Plagioclase Feldspar) ที่มีลักษณะของแร่แอลไบต์ (bite) แร่ซาดีนีน (sadinine) และแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) ที่มีขนาดประมาณ 0.3 - 2 มิลลิเมตร และมีรูปร่างผลึกของแร่ตั้งแต่ผลึกกึ่งสมบูรณ์ (Subhedral crystal) ถึงผลึกสมบูรณ์ (Euhedral crystal) และพบลักษณะของเนื้อดอกซ้อน (Glomerulous Texture) ของโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) และเนื้อพื้น (Groundmass) ซึ่งมีเนื้อพื้นละเอียด (Fine grained groundmass) (< 0.5 มิลลิเมตร) (รูป 3.9) และประกอบด้วยแร่ผลึกจุล (microlite) ซึ่งเป็นแร่แพลจิโอเคลส (plagioclase) แร่ควอตซ์ (Quartz) และพบแร่กลุ่มทึบแสง (opaque mineral) ซึ่งเป็นแร่กลุ่มโลหะ เป็นแร่ไพไรต์ (pyrite) ขนาด 0.5 มิลลิเมตร ประมาณ 1 % และพบลักษณะของการแทนที่ (alteration) ของแร่เซอร์ไซต์ (sericite) แทนที่ในแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์



รูป 3.4 หินแอนดิไซต์เนื้อดอกจากหินชุดชาติรี

ก . จุดเก็บตัวอย่าง (outcrop)

ข . หินตัวอย่าง (hand specimen) แสดงลักษณะของเนื้อละเอียด (aphanitic texture) และแร่ ดอกสีดำ

ค. ลักษณะของเนื้อดอก (porphyritic texture) ประกอบด้วยแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) และแร่แพลจิโอเคลส (plagioclase) และมีเนื้อพื้น (groundmass) เป็นแร่เฟลด์สปาร์ (feldspar) (PPL)

ง. ลักษณะของเนื้อดอก (porphyritic texture) ประกอบด้วยแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) และแร่แพลจิโอเคลส (plagioclase) และมีเนื้อพื้น (groundmass) เป็นแร่เฟลด์สปาร์ (feldspar) (XPL)

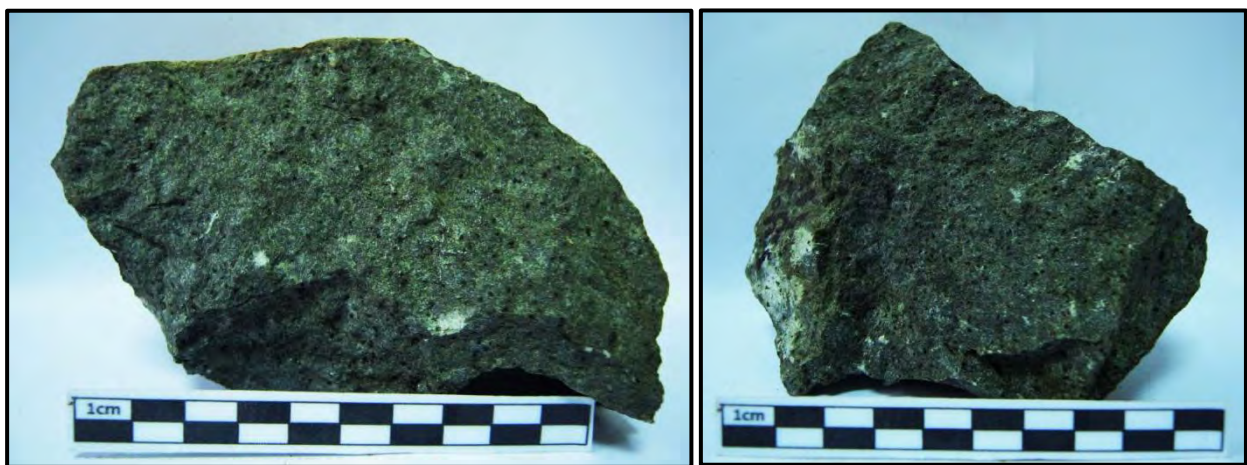
จ. ลักษณะของเนื้อดอกซ้อน (glomeroporphyritic) ของแร่โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) และมีแร่เซอร์ไซต์ เข้าไปแทนที่ในแร่โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) (PPL)

ฉ. ลักษณะของเนื้อดอกซ้อน (glomeroporphyritic) ของแร่โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) และมีแร่เซอร์ไซต์ เข้าไปแทนที่ในแร่โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) (XPL)

คำย่อ: K-feld = Potassium feldspar, Plg = Plagioclase feldspar,

3.2.2 หินบะซอลแอนดีไซต์ (basaltic andesite)

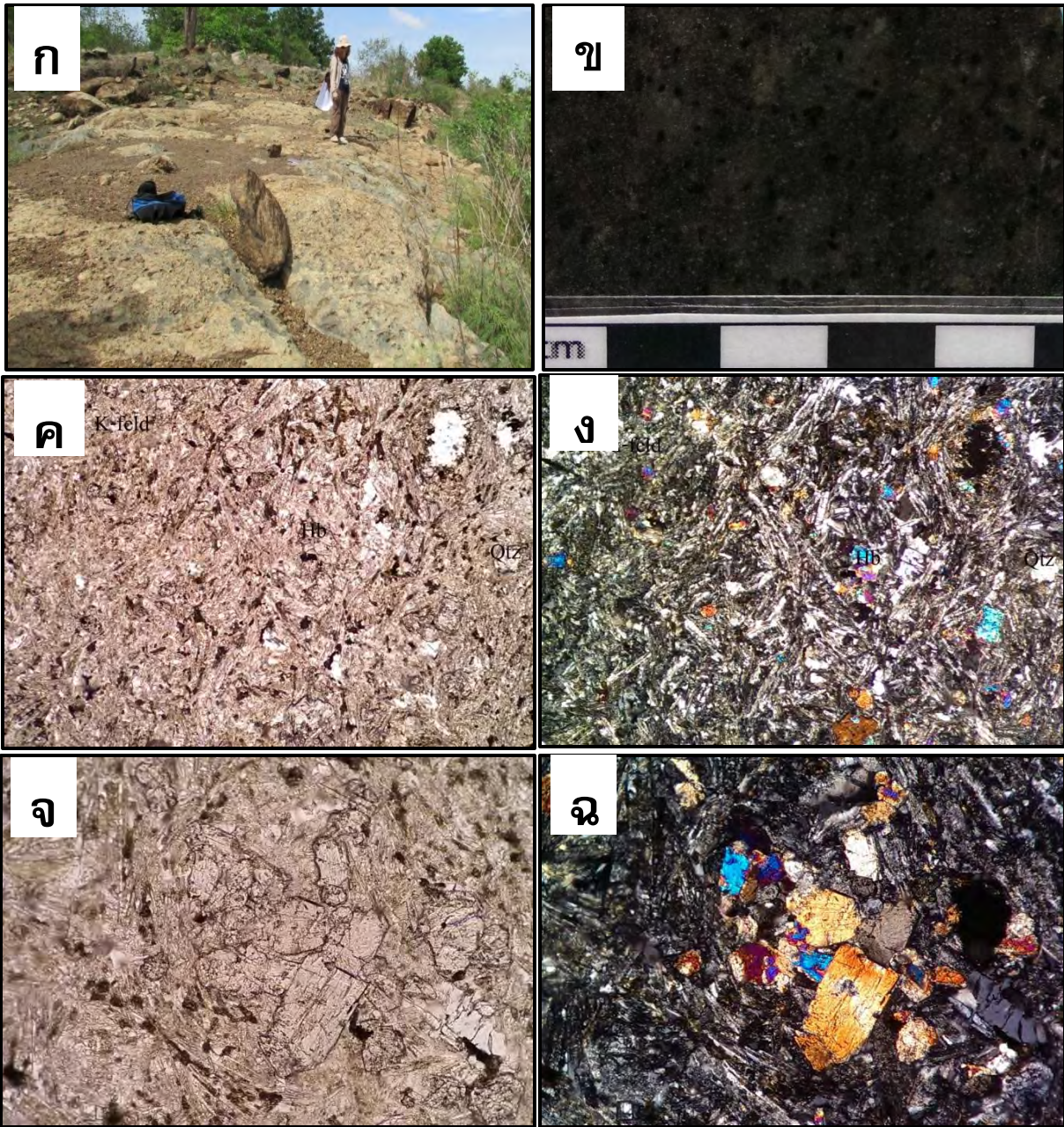
จากหินตัวอย่าง (hand specimen) พบลักษณะของสีสดสีเขียวเข้ม สีฝุ่นน้ำตาลอมเหลือง ลักษณะเนื้อของหินละเอียด (phanitic texture) และพบแร่สีดำ คาดว่าเป็นแร่ฮอร์นเบลน (hornblende) กระจายอยู่ทั่วเนื้อหิน ประมาณ 0 % ขนาดเม็ดแร่ประมาณ 0.5 – 1 มิลลิเมตร (รูป 3.5 และ 3.6 ข)



รูป 3.5 หินผลึกดอกฮอร์นเบลนแอนดีไซต์ ลักษณะของเนื้อสดสีเขียวเข้ม และแสดงลักษณะของการกระจายตัวของแร่ดำ อยู่ทั่วเนื้อหิน

จากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบลักษณะของเนื้อมวลผลึก (crystalline) ผลึกกึ่งสมบุรณ์ (subhedral) มีลักษณะของเนื้อผลึกไหล (achytic texture) (รูป 3.7 ข และ ค) ซึ่งแสดงทิศทางการไหลของแร่รูปเข็มโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) เกิดจากการเรียงตัวขนานทิศทางการไหลของหินหนืด และลักษณะของเนื้อดอกข้อ (meroporphyritic) (รูป 3.7 จ และ ฉ) ของแร่ฮอร์นเบลน (hornblende) ซึ่งจากลักษณะของเนื้อหินดังกล่าวซึ่งบ่งบอกถึงการตกผลึกลำดับต้นๆ ในหินหนืดก่อนถูกพาขึ้นมาปะทุบนผิวโลก

องค์ประกอบของหินนี้ ประกอบด้วย แร่ฮอร์นเบลน 0 % มีขนาดเม็ดผลึก 0.1 - 1 มิลลิเมตร แร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ 5 % แร่ควอตซ์ (quartz) 10 % และแร่แพลจิโอเคลส (plagioclase feldspar)



รูป 3.6 หินบะซอลติกแอนดีไซต์

ก. จุดเก็บตัวอย่าง(outcrop)

ข. หินตัวอย่าง (hand specimen) แสดงลักษณะของเนื้อละเอียด (granitic texture) และแร่ดอกสีดำ

ค. ลักษณะของเนื้อมวลผลึก ประกอบด้วยแร่เฟลด์สปาร์ (feldspar) แร่ควอตซ์ (quartz) และแร่ฮอร์นเบลน (hornblende) (PPL)

ง. ลักษณะของเนื้อมวลผลึก ประกอบด้วยแร่เฟลด์สปาร์ (feldspar) แร่ควอตซ์ (quartz) และแร่ฮอร์นเบลน (hornblende) (PPL) (XPL)

จ. ลักษณะของเนื้อดอกซ้อน (merophyritic) ของแร่ฮอร์นเบลน (hornblende) (PPL)

ฉ. ลักษณะของเนื้อดอกซ้อน (merophyritic) ของแร่ฮอร์นเบลน (hornblende) (XPL)

3.2.3 หินบะซอลต์ (Basalt) หินภูเขาไฟชาตรี

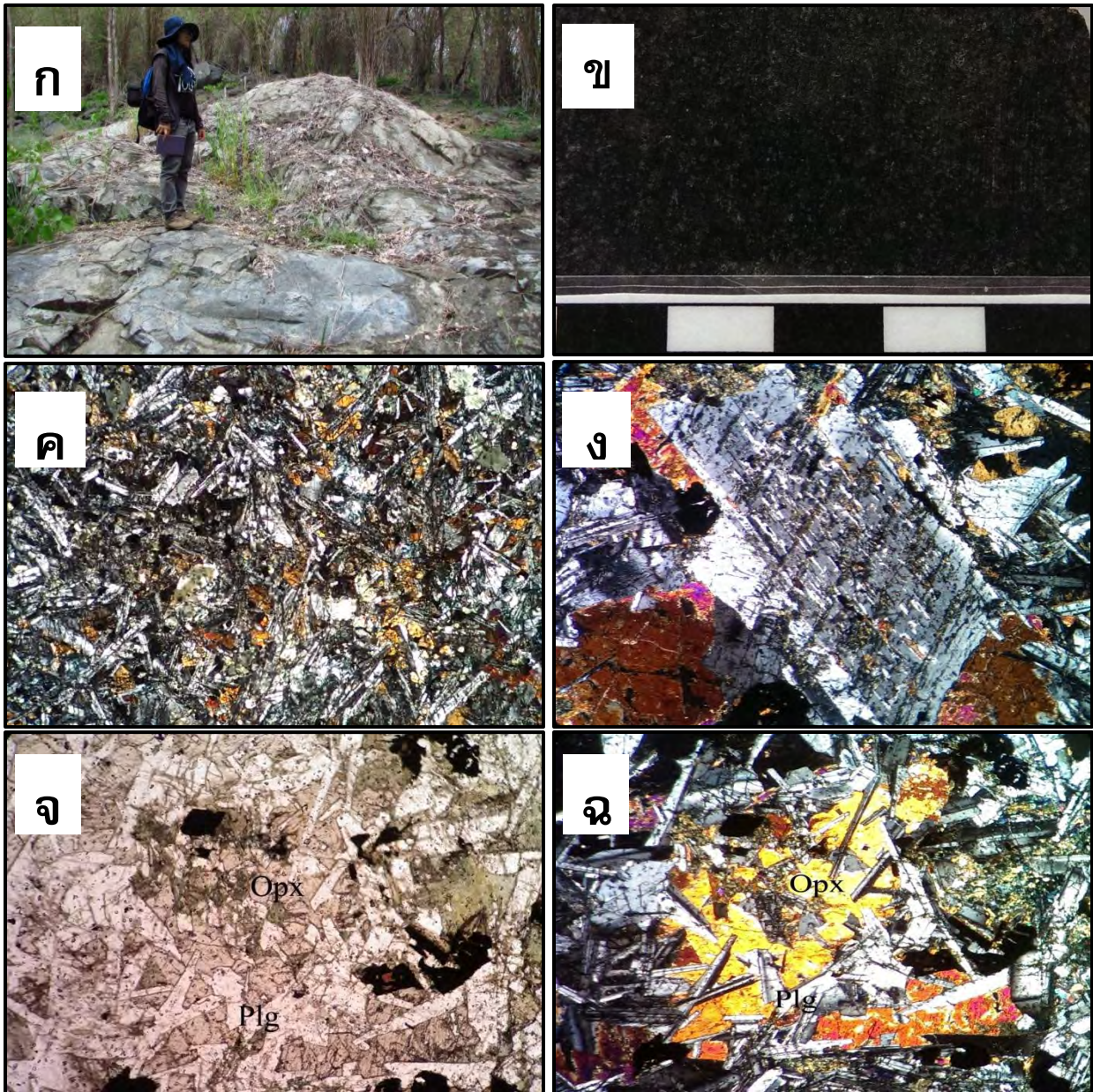
จากหินตัวอย่าง (Hand specimen) พบลักษณะของเนื้อหินมีสีสดสีเขียวเข้ม และมีสีฝูสีน้ำตาลอมเหลือง และมีลักษณะของเนื้อที่ละเอียด ประกอบด้วยแร่เฟลด์สปาร์ (spar) สีขาวขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่ว (รูป 3.7 และ 3.8 ข) และมีความสามารถในการดูดแม่เหล็ก



รูป 3.7 หินบะซอลต์ (Basalt) ที่มีเนื้อสดสีเขียวเข้ม และมีแร่เฟลด์สปาร์กระจายอยู่ทั่วเนื้อหิน

จากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าหินมีลักษณะเนื้อมวลผลึกในหินบะซอลต์ และมีรูปผลึกกึ่งสมบูรณ์ (subhedral) ของแร่แพลจิโอเคลส มีลักษณะของเนื้อหุ้มผลึก (ophitic texture) (รูป 3.8 ก และ ง) แสดงผลึกแพลจิโอเคลส จำนวนมากถูกหุ้มด้วยแร่ไพรอกซีน (pyroxene) และมีลักษณะของเนื้อรอยสั (perthitic texture) (รูป 3.8 จ และ ฉ) แสดงลักษณะของเนื้อหินที่เกิดในกลุ่มของแร่อัลคาไลน์เฟลด์สปาร์ (alkaline feldspar) จากการละลายของผลึกอัลไบต์ออกจากผลึกแร่โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ (รูป 3.8)

องค์ประกอบของหินนี้ ประกอบด้วย แร่แพลจิโอเคลส 55 – 60 % แร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ 10 – 15 % แร่ไคลโนไพรอกซีน (clinopyroxene) 30 % และพบแร่กลุ่มทึบแสง (opaque mineral) ซึ่งเป็นแร่กลุ่มโลหะ คาดว่าเป็นแร่ไพไรต์ (pyrite) ขนาด 1 - 2 มิลลิเมตร ประมาณ 2 %



รูป 3.8 หินบะซอลต์

ก. จุดเก็บตัวอย่าง (outcrop)

ข. หินตัวอย่าง (hand specimen) มีสีสดสีเทา แสดงลักษณะของเนื้อละเอียด (aphanitic texture)

ค. ลักษณะของเนื้อมวลผลึก (holocrystalline)

ง. เนื้อรอยแฉะ (Perthitic texture) แสดงลักษณะของเนื้อหินที่เกิดในกลุ่มแร่อัลคาไลนเฟลด์สปาร์ (Kalkaline feldspar) (XPL)

จ. ลักษณะของเนื้อหุ้มผลึก (ophitic texture) แสดงผลึกแพลจิโอเคลสจำนวนมากถูกหุ้มด้วยแร่ไพรอกซีนที่มีขนาดใหญ่กว่าที่มีขนาดเล็กกว่าโดยในรูปยังพบแร่แพลจิโอเคลส รูปแท่งผลึก (PPL)

ฉ. ลักษณะของเนื้อหุ้มผลึก (ophitic texture) แสดงผลึกแพลจิโอเคลสจำนวนมากถูกหุ้มด้วยแร่ไพรอกซีนที่มีขนาดใหญ่กว่าที่มีขนาดเล็กกว่าโดยในรูปยังพบแร่แพลจิโอเคลส รูปแท่งผลึก (XPL)

1. หินผนังแอนดีไซต์เนื้อดอก (Drphyritic andesite dyke)

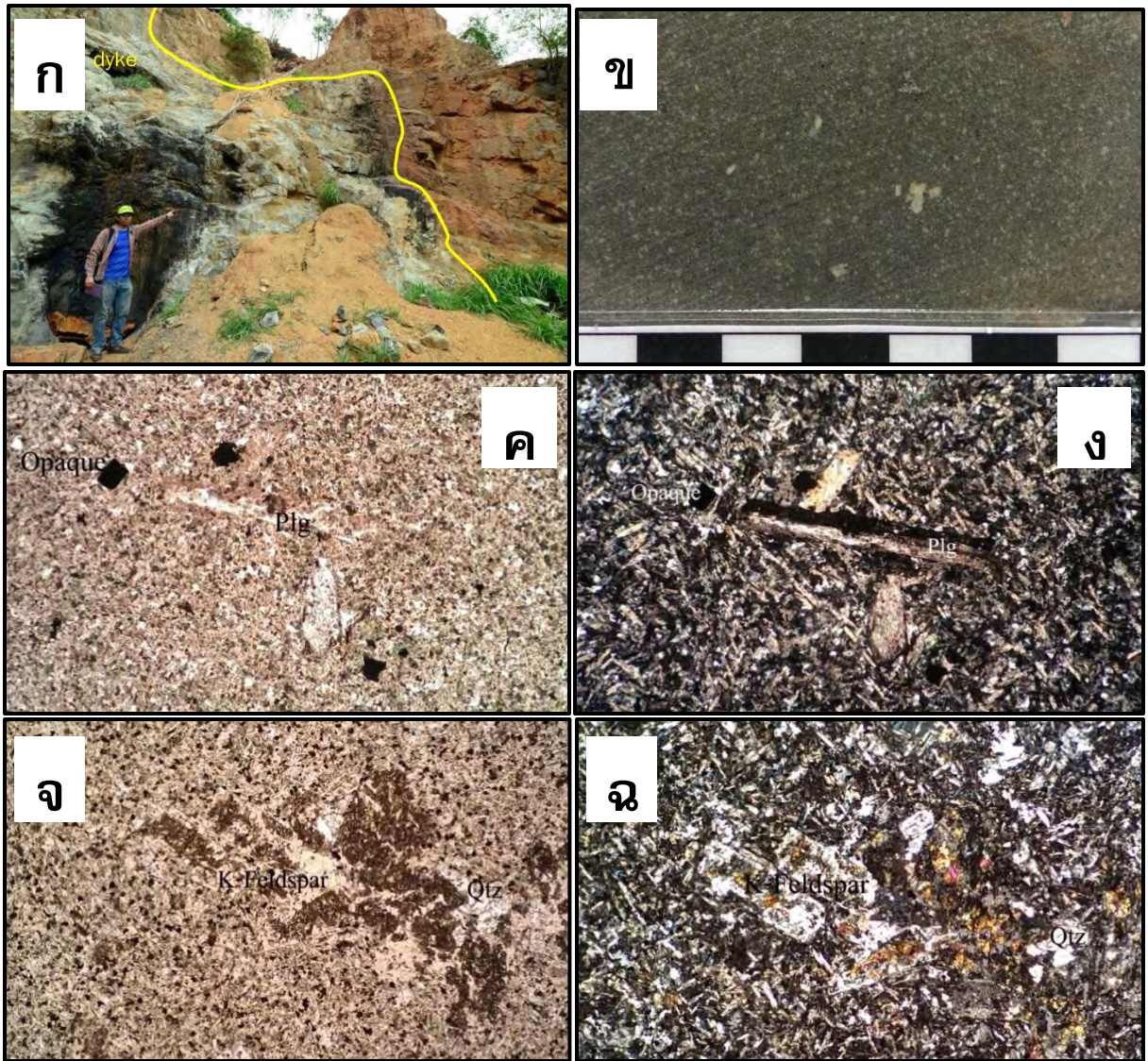
จากหินตัวอย่าง (Hand specimen) มีเนื้อหินสีสดคือสีเขียวอ่อน สีผุคือสีน้ำตาลอ่อน ลักษณะมีผลึกดอก (Porphyry) เป็นแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar) ขนาดประมาณ 5 - 10 มิลลิเมตร (รูป 3.2) และพบลักษณะของช่องว่าง (Amygdaloidal) ที่มีการแทนที่ของแร่อื่น (Alteration) ซึ่งเป็นแร่ในกลุ่มคาร์บอเนต (Carbonate) มีขนาดประมาณ 3 - 4 มิลลิเมตร (รูป 3.9 และ 3.10 ข)



รูป 3.9 (ทางซ้าย) หินตัวอย่าง (Hand specimen) มีเนื้อหินเป็นสีเขียวอ่อน และลักษณะของเนื้อดอกเป็นแร่เฟลด์สปาร์

(ทางขวา) หินตัวอย่าง (Hand specimen) ที่มีลักษณะของช่องว่าง (Amygdaloidal) และถูกแทนที่ด้วยแร่กลุ่มคาร์บอเนต (Carbonate)

จากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าประกอบด้วยผลึก 10-30 % เป็นแร่แคลซิโอเคลส แร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ และแร่ฮอร์นเบลนด์ (Hornblende) ที่มีขนาดประมาณ 0.5 - 2 มิลลิเมตร และมีรูปผลึกของแร่ตั้งแต่ผลึกกึ่งสมบูรณ (Subhedral crystal) ถึงผลึกสมบูรณ (Euhedral crystal) และพบลักษณะของเนื้อดอกซ้อน (Omerurous Texture) ของแร่แคลซิโอเคลส (รูป 3.10 จ และ ฉ) และเนื้อพื้น (Groundmass) ซึ่งมีเนื้อพื้นละเอียด (Fine grained groundmass) (< 0.5 มิลลิเมตร) (รูป 3.10 ค ง จ และ ฉ) และประกอบด้วยแร่ผลึกขุ่น (Crolite) ซึ่งเป็นแร่แคลซิโอเคลส ขนาดละเอียดแร่ควอตซ์ (Quartz) และพบแร่กลุ่มทึบแสง (opaque mineral) (รูป 3.10 ค) ซึ่งเป็นแร่กลุ่มโลหะ คาดว่าเป็นแร่ไพไรต์ (Pyrite) ขนาด 0.5 มิลลิเมตร ประมาณ 1 % และพบลักษณะของการแทนที่ (Alteration) ของแร่กลุ่มคาร์บอเนต (Carbonate) ซึ่งเป็นแร่แคลไซต์แทนที่ในแร่ฮอร์นเบลนด์ (Hornblende) และแร่ควอตซ์แทนที่ในแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar)



รูป 3.10 หินพนักแอนดีไซต์เนื้อดอก

- ก. ภาพหินตัวอย่างที่แสดงลักษณะของผลึกดอก (phyritic texture) เป็นแร่เฟลด์สปาร์ (feldspar)
- ข. ภาพการแทนที่ของแร่แคลไซต์ (cite) ในแร่ฮอร์นเบลนด์ (hornblend)
- ค. ภาพ PPL แสดงลักษณะของเนื้อดอก (phyritic Texture) ของแร่พลาจิโอเคลส (Plagioclase)
- ง. ภาพ XPL แสดงลักษณะของเนื้อดอก (phyritic Texture) ของแร่พลาจิโอเคลส (Plagioclase)
- จ. ภาพ PPL แสดงลักษณะเนื้อดอกซ้อน (glomerous Texture) ของแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) และถูกแทนที่โดยแร่เซอร์ไซต์ (cite) บางส่วนในแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar)
- ฉ. ภาพ XPL แสดงลักษณะของเนื้อดอกซ้อน (glomerous Texture) ของแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) และถูกแทนที่โดยแร่เซอร์ไซต์ (cite) บางส่วนในแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar)

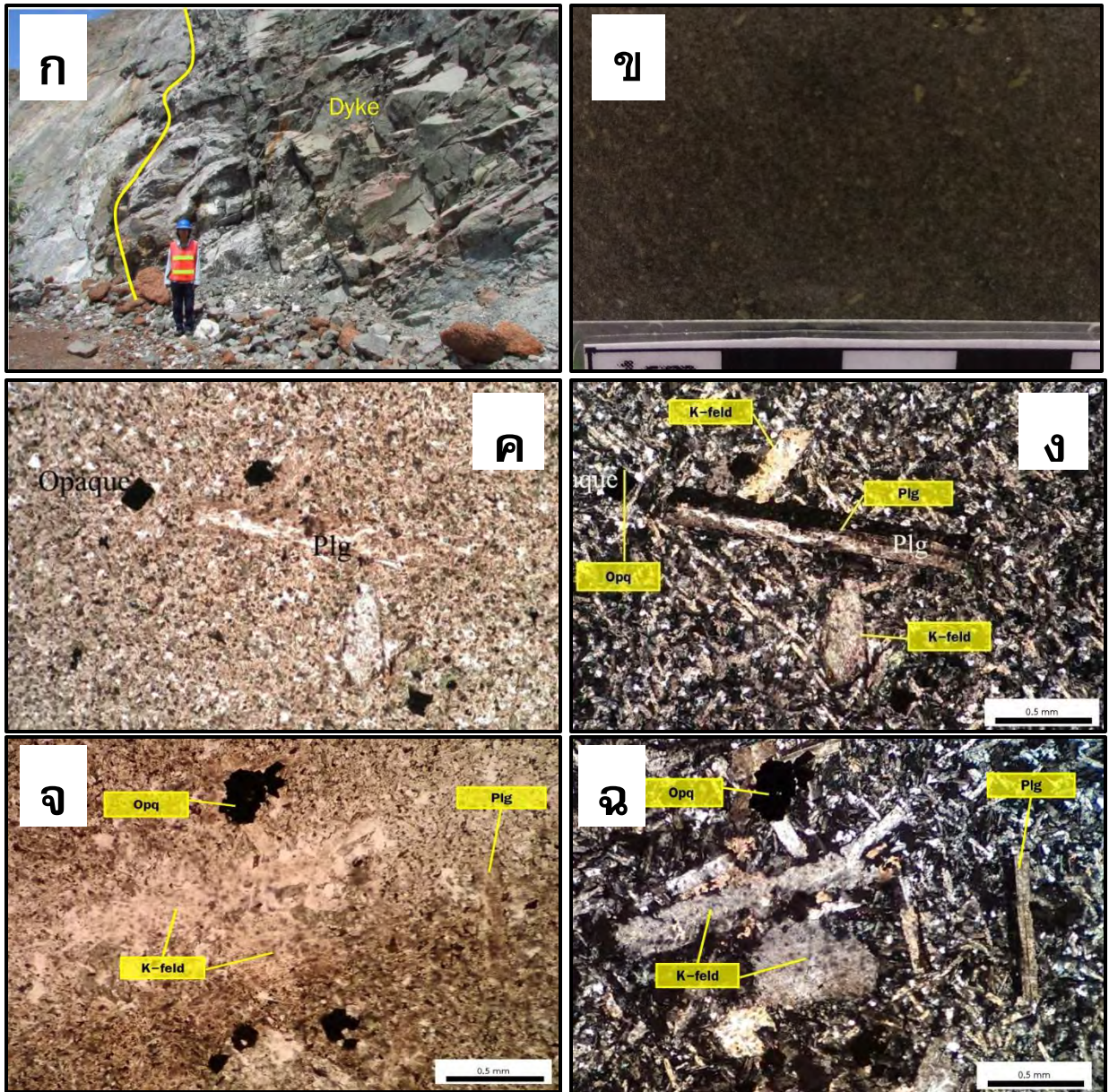
5. หินผนังบะซอลต์เนื้อดอก (Porphyritic basalt dyke)

จากหินตัวอย่าง (Hand specimen) มีเนื้อหินสีสดคือสีเขียวเข้ม สีผิวคือสีน้ำตาลอ่อน ลักษณะมีผลึกดอก (Porphyry) เป็นแร่เฟลด์สปาร์ ขนาดประมาณ - 10 มิลลิเมตร (รูป 3.11) มีลักษณะเหมือนหินบะซอลต์เพียงมีลักษณะของเนื้อดอกเท่านั้น มีการแทนที่ของแร่ (Alteration) ซึ่งเป็นแร่ในกลุ่มคาร์บอเนต (Carbonate) มีขนาดประมาณ 3 - 4 มิลลิเมตร (รูป 3.11 และ 3.12 ข)



รูป 3.11 (ทางซ้ายและทางขวา) หินผนังบะซอลต์เนื้อดอกมีลักษณะสีสดสีเขียวเข้ม และมีเนื้อดอกกระจายอยู่ตามตัวหิน

จากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ มีลักษณะเหมือนหินบะซอลต์ แต่มีลักษณะของเนื้อดอกกระจายตัวอยู่ โดยมีผลึกดอก 20 - 30 % เป็นแร่แพลจิโอเคลส ที่มีลักษณะเป็น flat (รูป 3.12 ง และ ฉ) และแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ที่มีขนาดประมาณ 0.5 - 2 มิลลิเมตร และมีรูปผลึกของแร่ตั้งแต่ผลึกกึ่งสมบูรณ์ (subhedral crystal) ถึงผลึกสมบูรณ์ (Euhedral crystal) และเนื้อพื้น ประกอบด้วยแร่ผลึกซุย ซึ่งเป็นแร่แพลจิโอเคลส ขนาดละเอียดควอตซ์ (Quartz) และพบแร่กลุ่มทึบแสง (opaque mineral) ซึ่งเป็นแร่กลุ่มโลหะ คาดว่าเป็นแร่ไพไรต์ ขนาด 0.5 มิลลิเมตร ประมาณ 3 % และพบลักษณะของการแทนที่ (Alteration) ของแร่กลุ่มคาร์บอเนต (Carbonate) ซึ่งเป็นแร่แคลไซต์แทนที่ในแร่ฮอร์นเบลน (Hornblende) และแร่ควอตซ์แทนที่ในแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (รูป 3.12 ก)



รูป 3.12 หินบะซอลต์ไดค์เนื้อดอก

ก. จุดเก็บตัวอย่าง (outcrop)

ข. ภาพหินตัวอย่างที่แสดงลักษณะของผลึกดอก (hyalitic texture) เป็นแร่เฟลด์สปาร์ (feldspar)

ค และ ง ภาพ PPL แสดงลักษณะของเนื้อดอกแร่แพลซิโอเคลส (plagioclase) และแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) และมีเนื้อพื้น (groundmass) เป็นแร่แพลซิโอเคลส (PPL)

ง และ ฉ ภาพ XPL แสดงลักษณะของเนื้อดอกของแร่แพลซิโอเคลสและแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) และมีเนื้อพื้น แร่แพลซิโอเคลส (XPL)

คำย่อ K-feld = Potassium feldspar, Plg = Plagioclase feldspar,

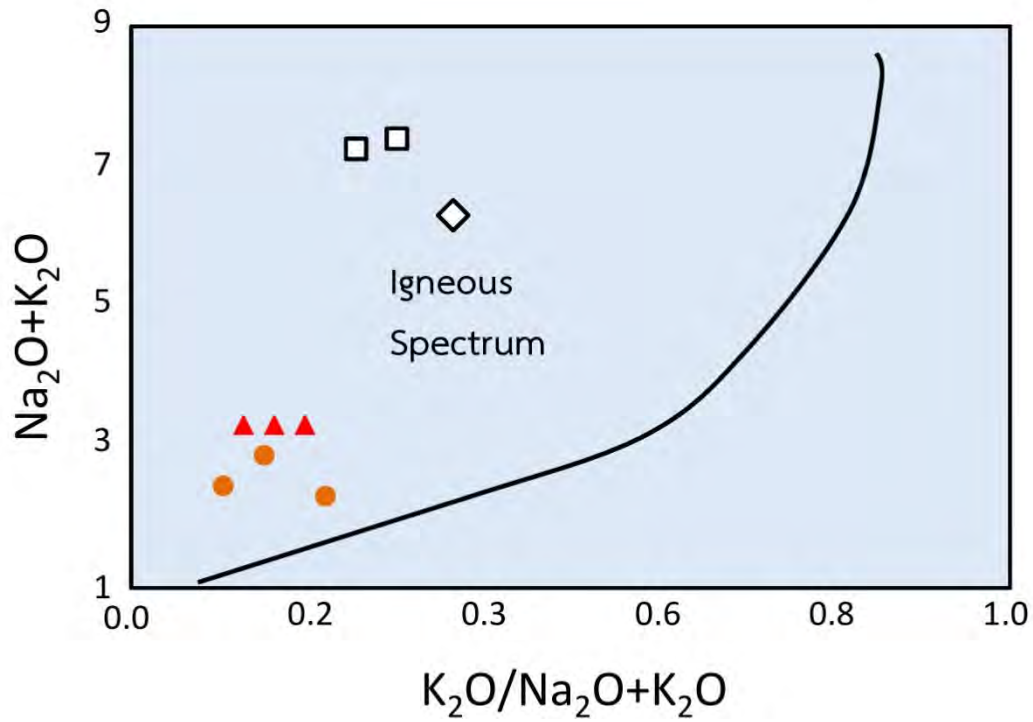
บทที่ 4 ธรณีเคมี

บทนำ

หินภูเขาไฟ (volcanic rocks) และหินตะกอนภูเขาไฟ (pyroclastic rocks) ในเหมืองชาติ หัก คล้อ ชนแดง วังโป่ง จังหวัดพิจิตรและเพชรบูรณ์ สามารถแบ่งออกได้แก่ หินพองแอนติไซต์ เนื้อดอก หินบะซอลต์ หินแอนติไซต์ หินบะซอลต์ หินบะซอลติกแอนติไซต์ หินแอนติไซต์เนื้อดอก และหินไรโอไลต์

หินมีการแทนที่ของแร่เกิดขึ้น (alteration) และการผุพังของหินเกิดขึ้น (weathering) ซึ่งส่งผลต่อการวิเคราะห์ธรณีเคมีของหิน โดยต้องทำการเลือกตัวอย่างที่มีการเกิดการแทนที่ของแร่ (alteration) และการผุพัง (weathering) น้อยที่สุด เพื่อนำไปวิเคราะห์ธรณีเคมีและได้ผลที่มีความถูกต้องมากที่สุด ซึ่งจากการเลือกตัวอย่างทั้งหมด 10 ตัวอย่าง เราสามารถนำมาวิเคราะห์ธรณีเคมีได้ตัวอย่าง เนื่องจากหินมีการแทนที่ของแร่ในปริมาณมาก พบการแทนที่ของแร่ในกลุ่มคาร์โบเนต (carbonate) ในแร่ไพรอกซีน (pyroxene) การแทนที่ของคลอไรต์ (chlorite) ในแร่ฮอร์นเบลนด์ (hornblende) และเกิดการผุพัง (weathering) พบแร่ควอตซ์ (quartz) และเซอร์ซิไซต์ (sericite) ในแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ และแร่แพลจิโอเคลส และพบสายแร่ควอตซ์ (quartz vein) ในหินบางก้อน ซึ่งหากนำไปวิเคราะห์ธรณีเคมีเพื่อหาธาตุองค์ประกอบจะได้ธาตุองค์ประกอบที่ไม่ถูกต้อง และแร่ที่เกิดการแทนที่ (alteration) และการผุพัง (weathering) จะทำให้ได้ธาตุบางกลุ่มที่มากกว่าปกติที่ควรจะเป็น

เนื่องจากหินภูเขาไฟในประเทศไทยมีอายุเก่า จึงมีการผุพังและเกิดการแปรเปลี่ยนของหินขึ้น เราจึงทำการตรวจสอบตัวอย่างที่เรานำมาเพื่อดูว่าหินของเราเหมาะที่จะนำมาวิเคราะห์ตัวอย่างหรือไม่ โดยในการวิเคราะห์ธรณีเคมีเราจะเลือกวิเคราะห์ธาตุที่มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุด โดยธาตุที่มีการเปลี่ยนแปลงภายใต้การเกิดการแทนที่ของแร่โดยกระบวนการน้ำร้อน (hydrothermal alteration) และการผุพัง (weathering) สามารถนำไปประเมินผลในไดอะแกรม Na-K แสดงพื้นที่หินอัคนีสเปกตรัมจากการแปรเปลี่ยนของหินรูป 4.1 โดยตัวอย่างหินที่อยู่เหนือเส้นสีดำหรืออยู่ในพื้นที่ 'igneous spectrum' นั้นมีการแปรเปลี่ยนของหินหรือการผุพังของหินที่น้อย และถือว่าตัวอย่างสด

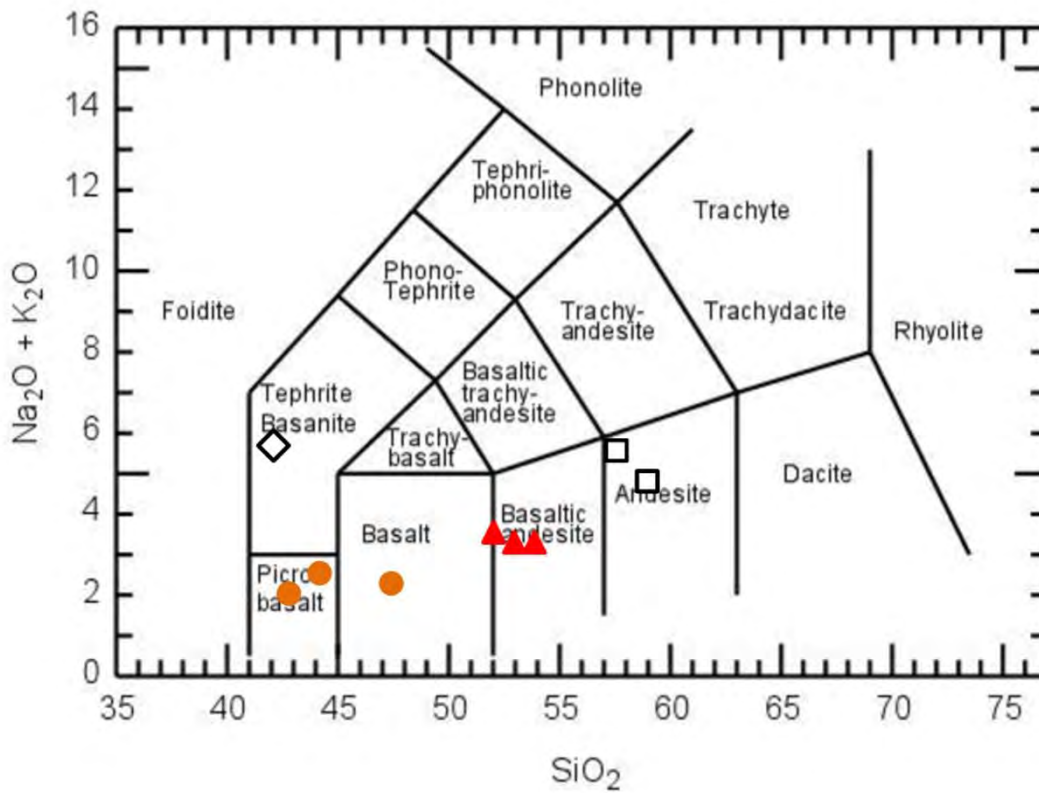


รูป 4.1 ไดอะแกรม Na-K แสดงพื้นที่หินอัคนีสเปกตรัม จากการแปรเปลี่ยนของ *and* (Cumming, 2008)

ซึ่งจากกราฟจะพบว่าตัวอย่างทั้งหมดอยู่ใน 'Igneous Spectrum' ซึ่งหมายความว่าตัวอย่างมีการเกิดการแทนที่หรือมีการผุพังน้อย ข้อมูลที่ได้จากผลวิเคราะห์สามารถยอมรับได้และสามารถนำมาตีความได้

4.2 การจำแนกธรณีเคมี (Geochemistry classification)

จาก Total alkali-silica diagram (TAS) เพื่อจำแนกชนิดของหินโดยทำการเทียบกับการจำแนกศิลาวิทยา ซึ่งสามารถจำแนกหินได้ กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มหินบะซอลติกแอนดีไซต์ กลุ่มหินบะซอลต์ กลุ่มหินแอนดีไซต์ไค้เนื้อดอก กลุ่มหินบะซอลต์ไค้เนื้อดอก โดยกลุ่มหินที่เป็นไค้เนื้อดอกนั้นเราต้องทราบมาแล้วจากจุดเก็บตัวอย่างโดยดูความสัมพันธ์ของหินในภาคสนาม ดังรูป 4.2 ซึ่งพบว่ามีความสอดคล้องกับการจำแนกหินในศิลาวิทยา ดังรูป 4.1



รูป 4.2 Total alkalis silica (TAS) diagram (Lebas et al., 1986) จำแนกชนิดของหินตัวอย่างจำนวน ๑๗ ตัวอย่าง

▲ G2-basaltic andesite ● G3-basalt □ G4-porphyritic andesite dyke ◊ G3-porphyritic basalt dyke

4.3 การวิเคราะห์ธรณีเคมี (Geochemical Analysis)

จากการเลือกตัวอย่าง 9 ตัวอย่าง ได้แก่ กลุ่ม 1 หินพ่นังแอนดีไซต์เนื้อดอก (porphyritic andesite dyke) 2 ตัวอย่าง (13, 25) กลุ่ม 2 หินบะซอลต์ (basalt) 4 ตัวอย่าง (4, 12, 20, 23) และกลุ่ม 3 หินบะซอลติกแอนดีไซต์ (basaltic andesite) 3 ตัวอย่าง (5, 10, 11) นำมาวิเคราะห์ธรณีเคมีโดยเครื่อง X-ray Fluorescence (XRF, model Philips PW 2404) ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำตัวอย่าง 9 ตัวอย่างไปบดละเอียดเป็นเนื้อแป้ง และนำไปกำจัดมลทินด้วยการ loss on ignition (LOI) โดยทำการเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (°C) และให้ความร้อนที่ 1,000 องศาเซลเซียส (°C) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และจากนั้นนำไปวิเคราะห์ธาตุหลักด้วยก๊าซ ธาตุ (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O และ K₂O) ผลวิเคราะห์แสดงในตาราง 4.1 และจุลธาตุ 10 ธาตุ (Zn, Sr, Zr และ Cr) ผลวิเคราะห์แสดงในตาราง 4.2 เพื่อนำไปวิเคราะห์ธรณีแปรสัณฐาน (tectonic setting) และธาตุที่พบได้ยาก rare earth elements : REE) อย่างไรก็ตามสำหรับธาตุหายากไม่สามารถดำเนินการได้ในการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากการวิเคราะห์ธาตุหายากต้องส่งไปดำเนินการในต่างประเทศและตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ต้องผ่านการวิเคราะห์ ก่อน ประจวบกับการวิเคราะห์ XRF ที่ภาควิชามีปัญหาจึงต้องส่งไปวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือกลาง (ศูนย์เครื่องมือและเทคโนโลยี) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำให้การวิเคราะห์ล่าช้ากว่าที่กำหนด ทำให้มีเวลาไม่พอในการวิเคราะห์ XRF ดังที่ได้กล่าวไว้

4.3.1 ธาตุหลัก (Major element)

หินบะซอลติกแอนดีไซต์ (basaltic andesite)

ตัวอย่าง G3-05, G3-10 และ G3-11 ประกอบด้วย ธาตุออกไซด์ SiO₂ มีค่าปริมาณอยู่ระหว่างหินแอนดีไซต์และหินบะซอลต์ในช่วงตั้งแต่ 46-50 wt %, Al₂O₃ (13.5 wt %) และ FeO (9 wt %) ปริมาณ MgO ค่าปริมาณ 5 wt % มีค่าใกล้เคียงหินบะซอลต์และ CaO มีค่าประมาณ 7 wt %, MgO ค่าประมาณ 6 wt % และมีปริมาณ K₂O และ Na₂O น้อยกว่าหินแอนดีไซต์ SiO₂ ค่าประมาณ 0.5 wt % และ Na₂O ประมาณ 3 wt % และมี TiO₂ (0.7 wt %)

หินบะซอลต์ (basalt)

ตัวอย่าง G2-04, G2-12 และ G2-20 ประกอบด้วย ธาตุออกไซด์ SiO₂ อยู่ในช่วงตั้งแต่ 37-44 wt %, Al₂O₃ (13 wt %) และ FeO (11 wt %) ปริมาณ MgO และ CaO สูงกว่าหินแอนดีไซต์ โดยเฉพาะ CaO มีปริมาณต่างกันค่อนข้างมาก มีประมาณ 1 wt %, MgO ค่าประมาณ 6 wt % และมี

ปริมาณ K_2O และ Na_2O น้อยกว่าหินแอนดีไซต์ SiO_2 ค่าประมาณ 0.4 wt % และ Na_2O ประมาณ 2.5 wt % และมี TiO_2 (1.5 wt %)

หินแอนดีไซต์ไดค์เนื้อดอก (Porphyritic andesite dyke)

ตัวอย่าง G1-13 และ G1-25 หินพองแอนดีไซต์ ประกอบด้วย ธาตุออกไซด์ SiO_2 มีค่าตั้งแต่ 54-56 wt %, Al_2O_3 มีประมาณ 13 wt % และ FeO มีค่าประมาณ 8.5 wt % ตัวอย่างมีค่าออกไซด์ต่ำ ได้แก่ K_2O มีค่าประมาณ 1.5 wt % และ TiO_2 มีค่าประมาณ 0.9 wt % โดย MgO มีค่าประมาณ 3 wt % CaO และ Na_2O มีค่าประมาณ 4 wt %

หินบะซอลต์ไดค์เนื้อดอก (Porphyritic basalt dyke)

ตัวอย่าง G4-23 ประกอบด้วย ธาตุออกไซด์ SiO_2 มีค่า 37.46 wt %, Al_2O_3 มีค่า 12.69 wt % และ Fe_2O_3 8.21 wt % ปริมาณ MgO ค่าประมาณ 1.77 wt และ CaO มีค่าประมาณ 4.07 wt % และ K_2O ค่าประมาณ 2.31 wt % และ Na_2O ประมาณ 3.93 wt % และมี TiO_2 1.11 wt %)

จากไดอะแกรม Harker พล็อตระหว่างธาตุหลัก (major oxide) กับธาตุซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) (รูป 4.3) จากกราฟพบว่า CaO MgO Al_2O_3 TiO_2 และ Fe_2O_3 มีแนวโน้มลดลงเมื่อ SiO_2 เพิ่มขึ้น ในขณะที่ Na_2O เพิ่มขึ้นในขณะที่ SiO_2 เพิ่มขึ้น และ K_2O ไม่แสดงความแตกต่างของแนวโน้มของธาตุอย่างชัดเจนในกลุ่มหินที่ไม่ใช่ไดค์ และพบว่ากราฟ Na_2O CaO และ MgO แสดงความแตกต่างของหินที่ไม่ใช่ไดค์กับกลุ่มหินที่เป็นไดค์อย่างชัดเจน โดย Na_2O หินกลุ่มที่เป็นไดค์มีค่าที่สูงกว่ากลุ่มหินที่ไม่ใช่ไดค์ ในขณะที่ CaO MgO หินกลุ่มที่เป็นไดค์มีค่าต่ำกว่ากลุ่มหินที่ไม่ใช่ไดค์ซึ่งเราสามารถเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน

4.3.2 ธาตุร่องรอย (Trace elements) ได้จากการวิเคราะห์ XRF

หินบะซอลติกแอนดีไซต์ (basaltic andesite)

ตัวอย่าง G3-05, G3-10 และ G3-11 ประกอบด้วยCr ค่าอยู่ระหว่าง191 - 224 ppm
ค่า Zn 106 – 143 ppm ค่า Zr 56.3 – 58.2 ppm และมีค่าSr 772 – 897 ppm

หินบะซอลต์ (basalt)

ตัวอย่าง G2-04, G2-12 และ G2-20 ประกอบด้วย ประกอบด้วยCr ค่าอยู่ระหว่าง
140 - 269 ppm ค่า Zn 93.3 – 147 ppm ค่า Zr 107 – 190 ppm และมีค่าSr 381 - 447ppm

หินแอนดีไซต์ไดค์เนื้อดอก(Porphyrific andesite dyke)

ตัวอย่าง G1-13 และ G1-25 หินพั้งแอนดีไซต์ ประกอบด้วย ประกอบด้วยค่าอยู่
ระหว่าง57.5 – 69.6 ppm ค่า Zn 133 – 157 ppm ค่า Zr 2250 – 270 ppm และมีค่าSr 518 -
580 ppm

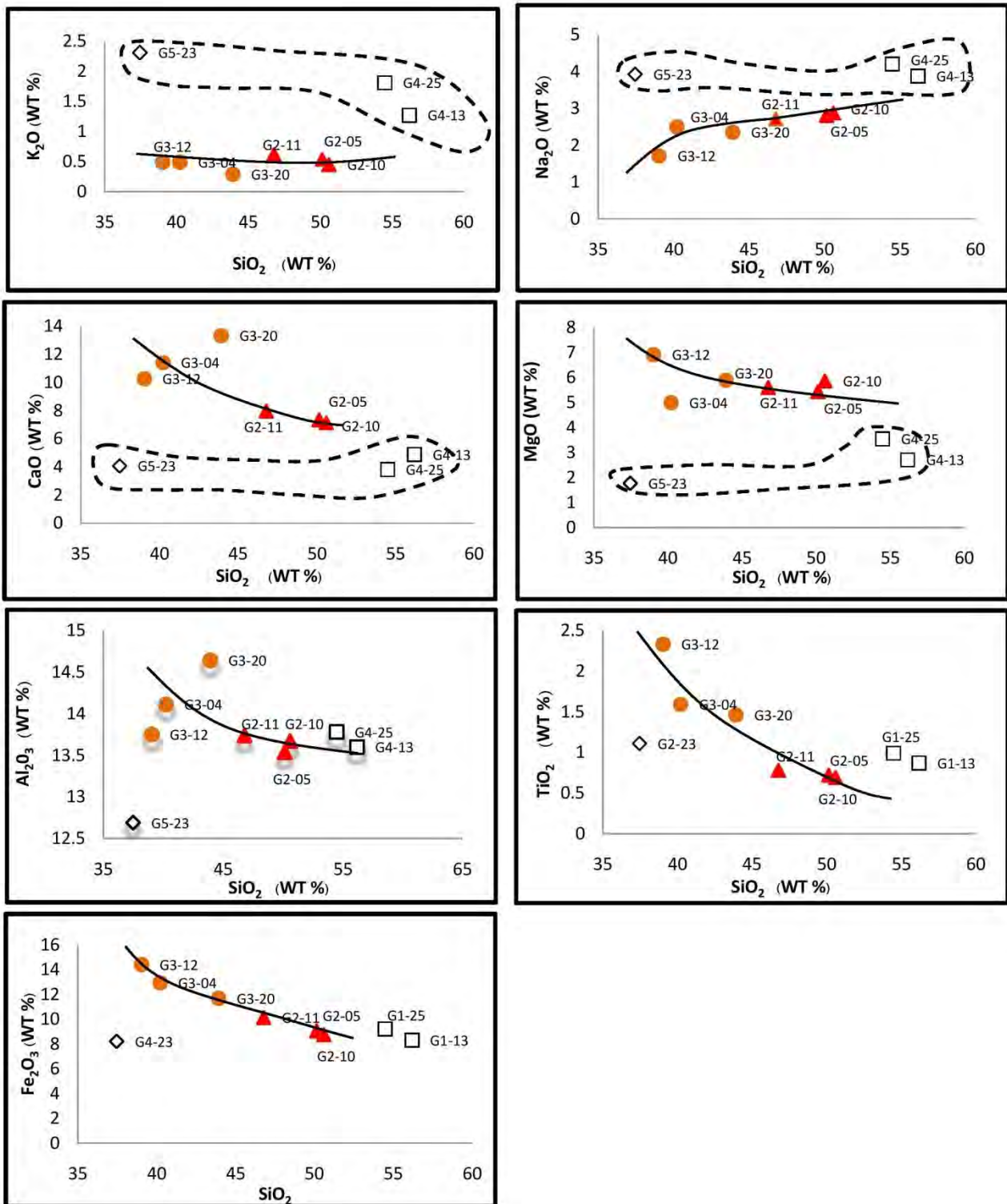
หินบะซอลต์ไดค์เนื้อดอก(Porphyrific basalt dyke)

ตัวอย่าง G4-23 ประกอบด้วย ประกอบด้วยCr ค่าอยู่ระหว่าง65.7 ppm ค่า Zn 143
ppm ค่า Zr 344 ppm และมีค่าSr 251 ppm

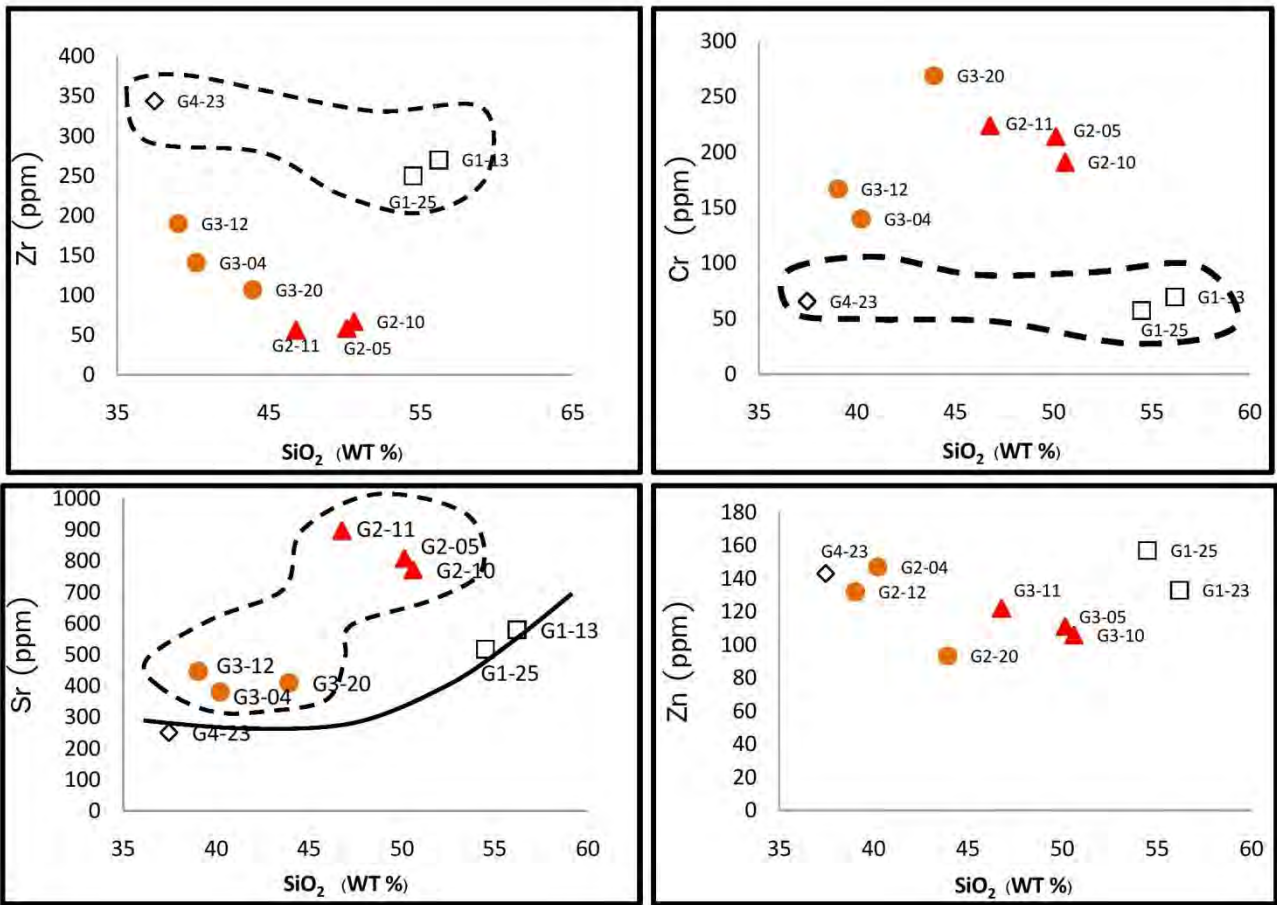
จากไดอะแกรมที่พล็อตระหว่างธาตุร่องรอย(Trace elements) และ SiO₂ รูป 4.4 พบว่ากราฟ
Cr และ Zr แสดงความแตกต่างได้อย่างชัดเจนระหว่างหินที่เป็นไดค์และหินที่ไม่ใช่ไดค์ โดยกราฟ
พบว่าหินที่เป็นไดค์จะมีปริมาณต่ำกว่าหินที่ไม่ใช่ไดค์ ในขณะที่กราฟพบว่าหินที่เป็นไดค์มีปริมาณสูง
กว่าหินที่ไม่ใช่ไดค์ และกราฟ Sr พบว่าหินทั้งสองกลุ่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยหินที่เป็นไดค์มีปริมาณที่น้อย
กว่า

ตารางที่ 4.1 ผลวิเคราะห์ XRF ธาตุหลัก (Major element) และ ธาตุร่องรอย (Trace element)

Sample	SiO ₂ (wt %)	TiO ₂ (wt %)	Al ₂ O ₃ (wt %)	Fe ₂ O ₃ (wt %)	MgO (wt %)	CaO (wt %)	Na ₂ O (wt %)	K ₂ O (wt %)	LOI (wt %)	Total (wt %)	Cr (ppm)	Zn (ppm)	Zr (ppm)	Sr (ppm)
G1-13	56.19	0.87	13.6	8.31	2.7	4.88	3.88	1.27	2.93	98.68	69.6	133	270	580
G1-25	54.49	0.99	13.78	9.21	3.54	3.81	4.21	1.81	3	98.85	57.5	157	250	518
G2-04	40.22	1.59	14.11	12.94	4.99	11.41	2.5	0.49	3.2	99.45	140	147	141	381
G2-12	39.04	2.33	13.75	14.4	6.91	10.26	1.71	0.49	3.55	97.44	167	132	190	447
G2-20	43.92	1.46	14.64	11.68	5.89	13.32	2.35	0.29	4.31	99.24	269	93.3	107	410
G3-05	50.14	0.72	13.54	9.06	5.43	7.34	2.81	0.54	2.7	98.29	214	111	58.2	809
G3-10	50.6	0.69	13.67	8.75	5.86	7.13	2.88	0.45	5.34	98.37	191	106	66.8	772
G3-11	46.78	0.78	13.74	10.13	5.6	7.97	2.72	0.62	3.49	96.84	224	122	56.3	897
G4-23	37.46	1.11	12.69	8.21	1.77	4.07	3.93	2.31	2.89	98.45	65.7	143	344	251



รูป 4.3 กราฟHaker ซึ่งพล็อตความแตกต่างระหว่างธาตุหลัก (major oxide) และ SiO₂



รูป 4.4 ไดอะแกรมระหว่างธาตุรอง (trace elements) และ SiO₂

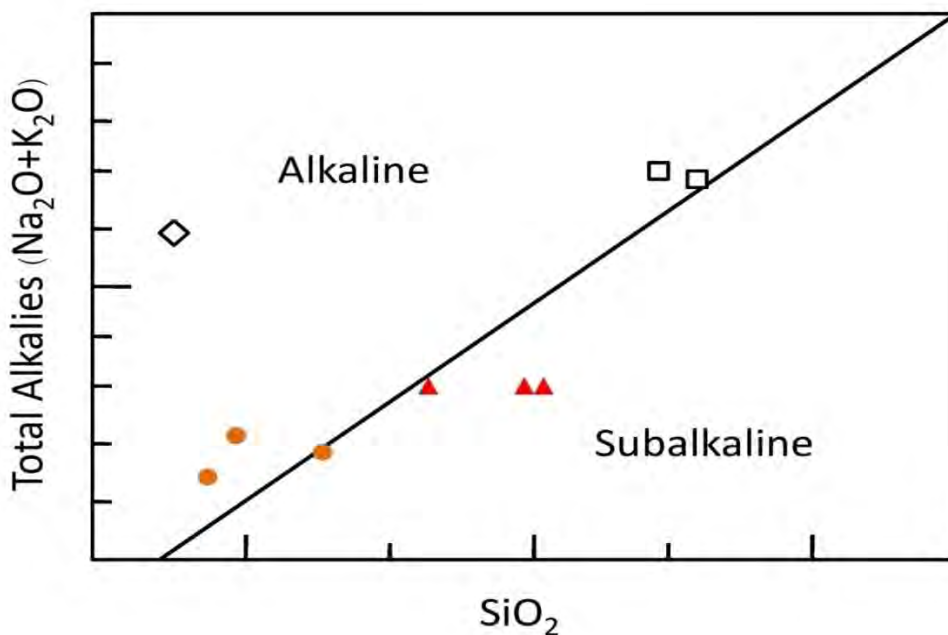
บทที่ 5 อภิปรายผลและสรุปผล

อภิปรายผล(Discussion)

5.1 การจำแนกชนิดของแมกมา (Petrogenesis)

เราได้ทำการจำแนกชนิดหินในบทที่ 3 และ 4 (รูป 4.2) ในบทนี้เราต้องการทราบชนิดของแมกมาของหินตัวอย่างที่เรานำมาศึกษา โดยเราได้จำแนกชนิดของแมกมาในไดอะแกรม (รูป 5.1) เพื่อดูว่าตัวอย่างของเราเป็นแมกมาชนิดใด พบว่าหินส่วนที่เป็นไดค์อยู่ในส่วนที่เป็นแคลอัลคาไลน์ (alkaline) ในขณะที่หินส่วนใหญ่ในกลุ่มที่ไม่ใช่ไดค์อยู่ในส่วนที่เป็นโทลิวไรต์ (tholeiite)

เราอาจพบว่าบางตัวอย่างในกลุ่มหินที่ไม่ใช่ไดค์อยู่ในส่วนที่เป็นแคลอัลคาไลน์ (Calc-alkaline) เนื่องจากหินภูเขาไฟ (Volcanic rock) ในประเทศไทยมีอายุมากและมีการแปรเปลี่ยนของหินที่เกิดจากน้ำร้อน (Hydrothermal alteration) ทำให้หินมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบไปบ้าง และกระบวนการแปรเปลี่ยน (Alteration) มีความสัมพันธ์กับธาตุในกลุ่ม Na และ K ซึ่งเป็นธาตุที่เรานำมาใช้ในการพล็อตไดอะแกรม ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อกราฟวิเคราะห์ทำให้ผลวิเคราะห์ที่ได้มีความเคลื่อนไปจากผลที่ควรจะได้จริง

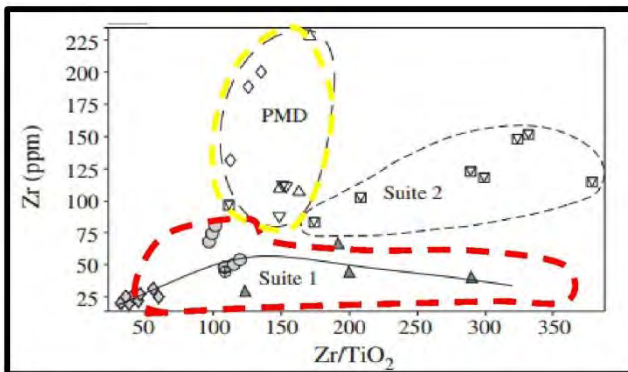


รูป 5.1 ไดอะแกรมแสดงการจำแนก Tholeiite และ Calc-alkaline (after Irvine and Barager, 1971)

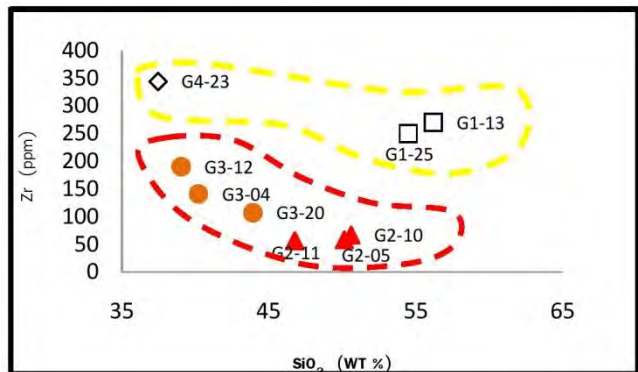
- ▲ G2-basaltic andesite ● G3-basalt □ G4-porphyritic andesite dyke ◇ G3-porphyritic basalt dyke

5.2 จากการเทียบกับงานวิจัยชาลัมและคณะ 2014

จากการเทียบความสัมพันธ์กับงานวิจัยของชาลัมและคณะ 2014 โดยดูจากแนวโน้มความสัมพันธ์ไดอะแกรมระหว่างธาตุร่องรอย (trace elements) และ SiO₂ เป็นไปในแนวโน้มนเดียวกันกับของชาลัมและคณะ 2014 จากรูป 5.2 ทำให้ทราบว่าหินที่ไม่ใช่ไดค้เป็นโทรลิอิต์ อย่างไรก็ตามของผล SiO₂ ชาลัมและคณะ 2014 กล่าวว่ากลุ่มหินแคลอัลคาไลน์ (Calc - alkaline) จะมีปริมาณ Zr สูง ในขณะที่กลุ่มที่มีปริมาณของ Zr ต่ำเป็นโทรลิอิต์ (Troleiite) ดังนั้น จากไดอะแกรม Na-K ที่มีหินที่ไม่ใช่ไดค้บางกลุ่มอยู่ในแอคอัลไลน์จากข้อสรุปที่ได้กล่าวไว้ในส่วนก่อนหน้านี้ ดังนั้น เราสามารถกำหนดให้เป็นโทรลิอิต์ทั้งหมดได้จากการเทียบสัมพันธ์ในครั้งนี้



Salam et al., 2014



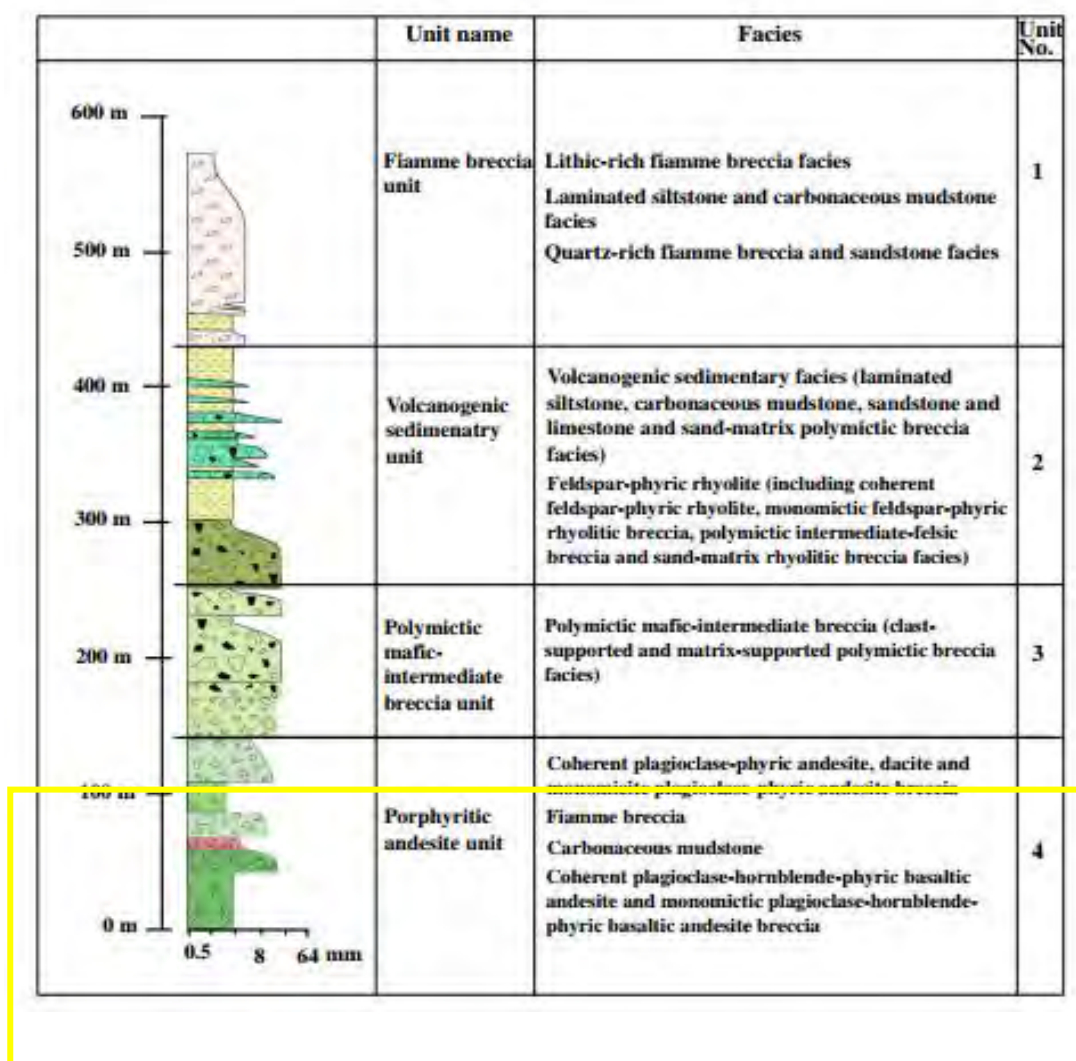
Watanya Ph.

รูป 5.2 ไดอะแกรมระหว่างธาตุร่องรอย (trace elements) Zr และ SiO₂

(ด้านซ้าย) ไดอะแกรมของ ชาลัมและคณะ 2014

(ด้านขวา) ไดอะแกรมของงานวิจัยนี้

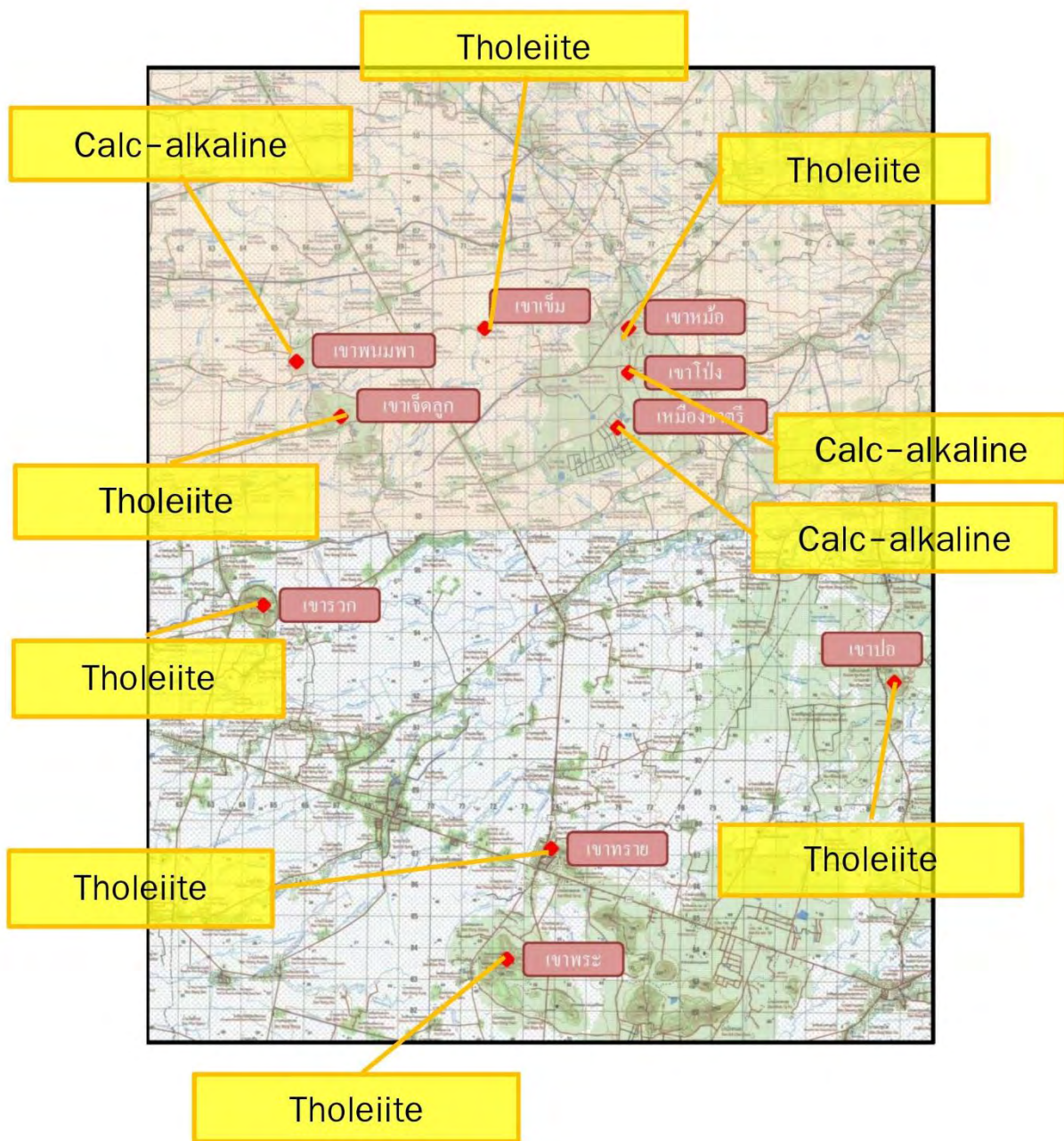
พบว่าหินของเราอยู่ในหน่วยหินที่ 4 คือหน่วยหินแอนดีไซต์เนื้อดอกในลำดับชั้นหินของชาลัมและคณะ 2014 (รูป 5.3) อย่างหินแอนดีไซต์เนื้อดอกสัมพันธ์กับหินเนื้อแน่นแพลจิโอแอนดีไซต์ (Coherent plagioclase - phyric andesite) หินบะซอลติกแอนดีไซต์ (basaltic andesite) สัมพันธ์กับหินแพลจิโอแอนดีไซต์ฮอร์นเบลนบะซอลติกแอนดีไซต์ (plagioclase-hornblende phyric basaltic andesite) หินบะซอลต์สัมพันธ์กับหินเนื้อแน่นแพลจิโอแอนดีไซต์ฮอร์นเบลนบะซอลติกแอนดีไซต์ (Coherent plagioclase-hornblende phyric basaltic) (รายละเอียดได้กล่าวไว้ในบทที่) โดยชาลัมและคณะ 2014 ได้กล่าวไว้ว่า หินในหน่วยนี้จัดเป็นกลุ่มโทรลีโอไลท์ (leelite) ในขณะที่โคคตัดแทรกเข้ามาในลำดับชั้นหินนี้ที่ 4 หน่วยหิน จัดเป็นกลุ่มแคลอัลคาไลน์ (lc - alkaline)



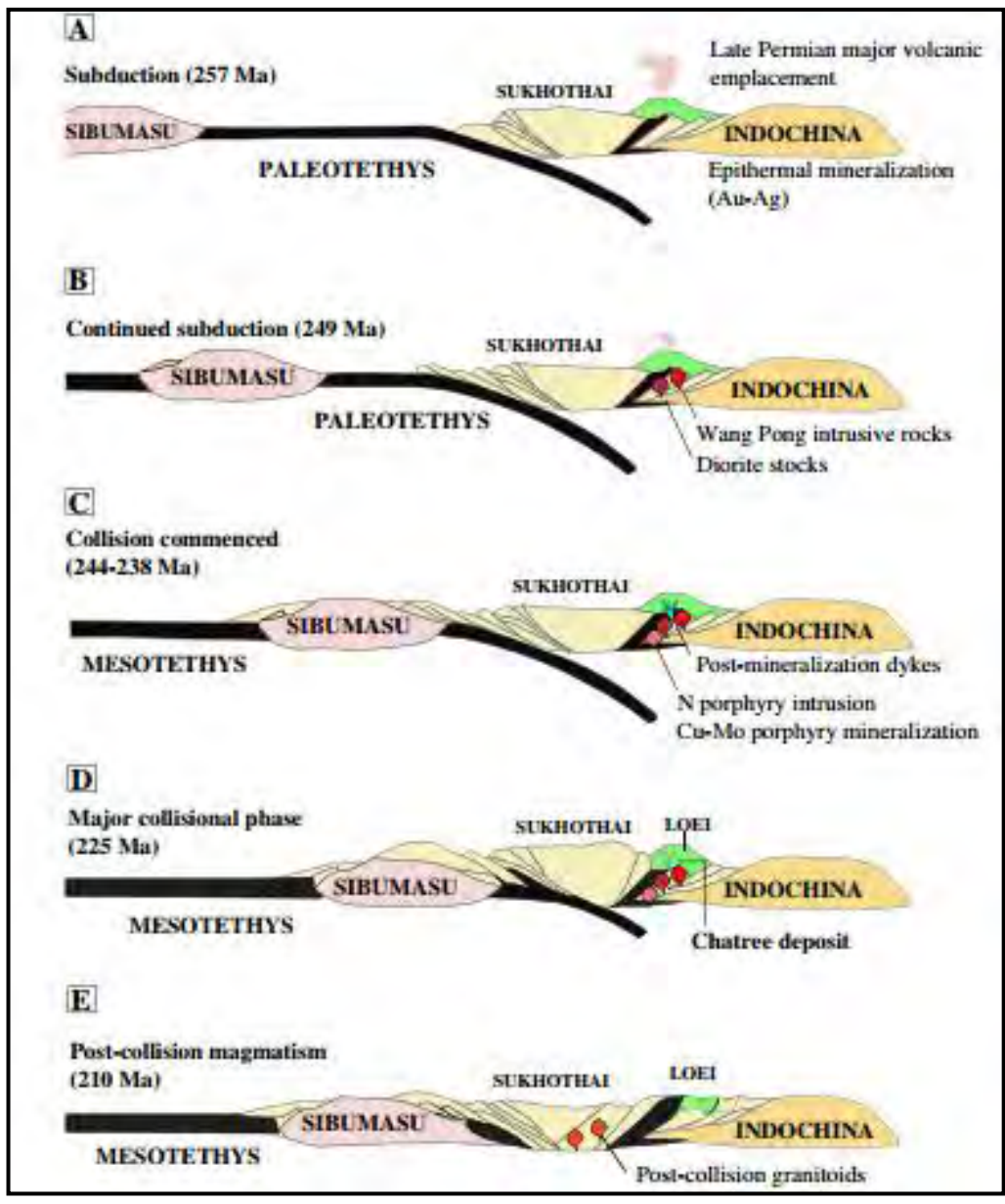
รูป 5.3 ลำดับชั้นหินของชาลัมและคณะ 2014 และตัวอย่างหินอยู่ในหน่วยหินที่ 4 (กรอบสี่เหลี่ยม)

จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้นี้สามารถสรุปการกระจายตัวของหินได้ตามรูปที่ 5.4 พบว่าโทรไลอิต (hollandite) มีการกระจายตัวอยู่ทางตอนใต้ของเหมืองชาตรี และแคลอัลคาไลน์ (calc-alkaline) กระจายตัวอยู่ทางตอนเหนือของเหมืองชาตรีเป็นส่วนใหญ่ จากการเทียบสัมพันธ์กับชาลัมและคณะ 2014 หินในพื้นที่ศึกษาหรือ 10 จุดศึกษา (รูป 5.4) เป็นหินที่อยู่ในลำดับชั้นหิน (รูป 5.3) ซึ่งเป็นหินชุดเดียวกัน นั่นแสดงว่าหินในพื้นที่ทางตอนใต้ของชาตรีอาจมีการยกตัวขึ้น ซึ่งตามรายงานของชาลัมและคณะ 2014 รายงานว่าหินที่มีความเป็นเมฟิกเป็นกลุ่มหินที่เป็นโทรไลอิต ในขณะที่หินที่มีความเป็นแคลอัลคาไลน์ (Calc - alkaline) จะเริ่มไปทางเฟลสิกมากขึ้น โดยโทรไลอิตจะมีอายุมากกว่าแคลอัลคาไลน์ซึ่งสัมพันธ์กับไดค์ที่แทรกตัดขึ้นมาที่หลังและเป็นแคลอัลคาไลน์ ซึ่งมีอายุน้อยกว่า และสัมพันธ์กับตัวอย่างของพื้นที่ศึกษาเนื่องจากการเก็บตัวอย่างทางตอนใต้เราพบกลุ่มหินที่อยู่ในกลุ่มเมฟิกถึงอินเตอร์มีเดียและไม่พบหินที่เป็นเฟลสิก ในขณะที่ทางตอนเหนือเราพบหินที่เป็นเฟลสิกมากกว่า (ชาลัมและคณะ 2014)

จากการศึกษางานวิจัยนี้ พบว่ามีความสอดคล้องกับงานของชาลัมและคณะ 2014 จึงสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบของการเกิดธรณีแปรสัณฐานสัมพันธ์กับงานของชาลัมและคณะ 2014 ตามรูป 5.5 อธิบายได้ว่าแผ่นฉานไทย (Sibumasu) มุดตัวลงไปใ้แผ่นอินโดจีนำ เกิดการหลอมละลายบางส่วนจากชั้น upper mantle ซึ่งทำให้เกิดโทรไลอิต (hollandite) ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับหินพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้ ตามภาพ A และเกิดการมุดตัวอย่างต่อเนื่องของเปลือกโลกทั้งสองแผ่นและเกิดหินที่เป็นกลุ่มอัคนีบาดาล (Plutonic) ขึ้นตามภาพ B ต่อมาการมุดตัวหยุดลงและเกิดการชนกันของแผ่นเปลือกโลกทั้งสองแผ่นซึ่งเป็นช่วงการปิดของทะเลโบราณพาสิโอทีติก (eotethy) และทำให้เกิดลักษณะของแนวเทือกเขาที่ปรากฏในปัจจุบัน โดยในช่วงนี้มีหินกลุ่มแคลอัลคาไลน์ (calc-alkaline) เกิดขึ้น ซึ่งเทียบได้กับตัวอย่างหินไดค์ของจากพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้ ตามภาพ C และเกิดการชนกันต่อมาตามภาพ D ซึ่งในช่วงนี้เกิดแหล่งแร่เกิดขึ้น เกิดหินแกรนิตอยด์ (anitoid) ขึ้นหลังจากหยุดชนตามภาพ E โดยรูปแบบการเกิดนี้เกิดในช่วงยุคตั้งแต่ตอนปลายเพอเมียน ถึง ตอนต้นไทรแอสสิก



รูป 5.4 แผนที่แสดงการกระจายตัวของหินในจุดเก็บตัวอย่าง 10 จุด (แผนที่กรมทหารมาตราส่วน 250,000)



รูป 5.5 รูปแบบการเกิดธรณีแปรสัณฐานในประเทศไทยซึ่งเกิดจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกฉานไทยและอินโดจีนมา โดยตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาที่เป็นโทรลิตไธบ์(eiite) เกิดในช่วง 257 ล้านปีก่อน รูป A ในขณะที่แคลอัครคาไลน์หินที่เป็น ไตค์ในพื้นที่ศึกษาเกิดในช่วง 244 - 238 ล้านปีก่อน ในรูป C

5.3 ความแตกต่างของงานวิจัยนี้และงานวิจัยที่มีอยู่ก่อนแล้ว

Barr et al. (2000) ศึกษาธรณีเคมีของหินภูเขาไฟบริเวณแนวหินภูเขาไฟลำปางที่อำเภอเมืองลำปางและอำเภอเด่นชัย ได้ระบุว่าหินที่ศึกษามีองค์ประกอบเป็นแคลอัลคาไล (Calc-alkaline) หรือโทรลีโอต์ (Tholeiite) แต่ไม่แยกในเชิงอายุและความสัมพันธ์ระหว่างหินทั้งสองกลุ่ม

Wattapinyo (2010) และ Boonsoong (2011) ได้ศึกษาธรณีเคมีของหินภูเขาไฟพื้นที่บ่อคิ (Q Pit) ของเหมืองทองคำชาตรีและบริเวณอำเภอชนแดนจังหวัดเพชรบูรณ์ตามลำดับ ได้กล่าวว่ามีหินที่มีองค์ประกอบเป็นโทรลีโอต์ และแคลอัลคาไลน์ แต่ไม่ได้อธิบายว่ามีการกระจายตัวอย่างไร

Sattar et al. (2014) ซึ่งศึกษาหินภูเขาไฟในบริเวณกว้างครอบคลุมพื้นที่ตำบลเด่นวังโป่ง โดยเน้นภายในเหมืองทองคำชาตรีเป็นหลักในการนี้ได้จัดทำการลำดับชั้นหิน ศึกษาชุดลักษณะหินตลอดจนหาอายุของหินภูเขาไฟสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างโทรลีโอต์กับแคลอัลคาไลน์ คือหินโทรลีโอต์มีอายุแก่กว่าประมาณ 258 ล้านปี ส่วนแคลอัลคาไลน์มีอายุประมาณ 238 ถึง 250 ล้านปี อย่างไรก็ตาม Salam et al. (2014) ได้ศึกษาเน้นหนักในบริเวณเหมืองชาตรีหรือประมาณ 15 กิโลเมตรของพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้ ผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถบอกได้ว่าหินที่มีองค์ประกอบเป็นโทรลีโอต์มีการกระจายตัวทางด้านใต้คือบริเวณ เขาเจ็ดลูก เขารวก เขาทราย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ทางด้านใต้เช่นบริเวณเขาทรายมีการยกตัวขึ้นในขณะเดียวกันทางตอนเหนือหรือบริเวณเหมืองทองคำชาตรีพบหินโทรลีโอต์อยู่ที่ระดับลึกจากผิวดินและมักพบหินที่มีความเป็นโทรลีโอต์ลดลงที่ระดับบนๆ

Stratigraphy

สรุปผลการศึกษา (Conclusion)

1. การจำแนกหิน

ศิลาวิทยา	ผลวิเคราะห์XRF
1. Porphyritic andesite	6. Basaltic andesite
2. Basaltic andesite	7. Basalt
3. Basalt	8. Porphyritic andesite dyke
4. Porphyritic andesite dyke	9. Porphyritic basalt dyke
5. Porphyritic basalt dyke	

2.

Volcanic squence	Dyke/Sill
1.ปริมาณธาตุหลักสูง Cao, MgO	1. K ₂ O, Na ₂ O
2.ปริมาณธาตุร่องรอยสูง Cr	2. Zr
3.Tholeiite	3. Calc-alkaline
4.จะปรากฏอยู่ทางตอนใต้ชาตรี	4. จะปรากฏอยู่ทางตอนเหนือของชาตรีเป็นส่วนใหญ่
5.อยู่ชั้นล่างสุดของลำดับชั้นหินชาตรี	5.ตัดเข้ามาในลำดับชั้นหินชาตรีทุกหน่วยหิน

3. จากการเทียบข้อมูลบริเวณเหมืองชาตรี (lam et al., 2004) หินที่ไม่ใช่ไดค์ในพื้นที่ศึกษา มีความสัมพันธ์กับการเกิดแบบ subduction

4. การศึกษาครั้งนี้ช่วยยืนยันรูปแบบการเกิดของ lam (2014) ว่า Calc-alkaline เกิดสะสมตัวในช่วงอายุ 244-238 ล้านปี และ Tholeiite เกิดขึ้นในช่วงอายุ 258-250 ล้านปี

เอกสารอ้างอิง

- Boonsoong, A., Panjasawatwong, Y., Metparsopsan, K., 2011. Petrochemistry and tectonic setting of mafic volcanic rocks in the Chon Daen-Wang Pong area, Phetchabun, Thailand. *Island Arc* 20, 107–124.
- Intasopa, S, 1993. Petrology and geochronology of the volcanic rocks of central Thailand volcanic belt, Unpublished PhD thesis, University of New Brunswick, Canada, 242.
- Jungyusuk, N., Khositanaont, S. (1992) *Volcanic rocks and associated mineralization in Thailand*, Department of mineral resources: Geologic resources of Thailand.
- Khositanont, S., 2008. Gold and iron–gold mineralization in the Sukhothai and Loei–Phetchabun Fold Belts. Unpublished PhD thesis, Chiang Mai University, Thailand, 170.
- Panjasawatwong, Y.; Phajuy, B.; Hada, S. (2003) : Tectonic setting of the Permo-Triassic Chiang Khong volcanic rocks, northern Thailand based on petrochemical characteristics. *Gondwana Res.* 6, 743–755
- Salam, A (2014) 'Geochemistry and geochronology of the Chatree epithermal gold–silver deposit: Implications for the tectonic setting of the Loei Fold Belt, central Thailand', *Gondwana Research*, (26), pp. 198–217.
- Sandram Barr, Charn Tantisukrit, Winai Yaowanoyothin and Alan S. Macdonald (1988) : Petrology and tectonic implications of Upper Paleozoic volcanic rocks of the Chiang Mai belt, northern Thailand, *Journal of southeast asian earth science*, (34), pp. 37 - 47
- Vivatpinyo, J., Charusiri, P. and Sutthirat, C (2011) 'Volcanic Rocks from Q-Prospect, Chatree Gold Deposit, Phichit Province, North Central Thailand: Indicators of Ancient Subduction', *Springer*, (39), pp. 325–338.