

กรณีเคมีหินตะกอนมหาภูมิโซโซอีกที่เกิดบนบก บริเวณที่ราบสูงโคราช

นางสาว นัตตา วิริยะศักดิ์ไพศาล

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

GEOCHEMISTRY OF CONTINENTAL MESOZOIC SEDIMENTARY ROCKS
IN KHORAT PLATEAU

NADDA WIRIYASAKPAISAN

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Bachelor of Science
Department of Geology Faculty of Science Chulalongkorn University
Academic Year 2012

หัวข้อโครงการ ธรณีเคมีหินตะกอนมหาสมุทรที่มีไฮโซอิกที่เกิดบนบก บริเวณที่ราบสูงโคราช

นิสิตผู้เสนอโครงการ นางสาวนัตตา วิริยะศักดิ์ไพศาล

เลขประจำตัวนิสิต 523 27172 23

ภาควิชา ธรณีวิทยา

ปีการศึกษา 2555

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา จารุศิริ

บทคัดย่อ

หินตะกอนมหาสมุทรที่มีไฮโซอิกบริเวณที่ราบสูงโคราช มีชื่อว่า กลุ่มหินโคราช ซึ่งกระจายตัวอยู่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยได้ถูกนำมาศึกษาธรณีเคมี ขั้นแรกศึกษาสีลาบรรณนาของตัวอย่างทั้งหมด 47 ตัวอย่างจาก 7 หมวดหินเพื่อหาตัวอย่างที่มีความสมบูรณ์และเหมาะที่จะนำมาวิเคราะห์ทางธรณีเคมีเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณออกไซด์ของธาตุหลัก ออกไซด์ของธาตุรอง ธาตุร่องรอย และธาตุหายากบางชนิดเพื่อหาสภาพภูมิอากาศโบราณ ต้นกำเนิด และธรณีแปรสัณฐาน ซึ่งจากตัวอย่างทั้งหมดนี้ได้ทำการคัดเลือกเหลือเพียง 20 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นหินทรายเนื้อละเอียด

จากการศึกษาสีลาบรรณนาเบื้องต้นทำให้ทราบว่าต้นกำเนิดของตะกอนมาจาก recycle orogeny เมื่อทำการศึกษาธรณีเคมีแล้วนำข้อมูลไปพลอตลงในไดอะแกรมพบว่าหินตัวอย่างมีต้นกำเนิดมาจากหินเมฟิก หินเฟลสิก และหินตะกอน ตกสะสมภายใต้สภาพภูมิอากาศแบบกึ่งแห้งแล้วไปจนถึงร้อนชื้น นอกจากนี้การใช้ข้อมูลทางธรณีเคมียังทำให้ทราบว่าหินตัวอย่างตกสะสมภายในสภาพธรณีแปรสัณฐานแบบ passive continental margin เป็นส่วนใหญ่ จากผลการศึกษาจึงสรุปได้ว่าธรณีแปรสัณฐานบริเวณที่ราบสูงโคราชมีการเปลี่ยนแปลงจาก active continental margin มาเป็นแบบ passive continental margin ซึ่งเหล่านี้นำผลต่อต้นกำเนิดของตะกอนที่เปลี่ยนแปลงจากหินเมฟิก หินเฟลสิก มาเป็นหินตะกอน ระหว่างช่วงอายุไทรแอสสิกจนถึงครีเตเชียส

TITLE	GEOCHEMISTRY OF CONTINENTAL MESOZOIC SEDIMENTARY ROCKS IN KHORAT PLATEAU
RESEARCHER	NADDA WIRIYASAKPAISAN STUDENT ID 523 27172 23
DEPARTMENT	GEOLOGY
ACADEMIC YEAR	2012
ADVISOR	ASSOC.PROF.DR. PUNYA CHARUSIRI

ABSTRACT

The non-marine Mesozoic sedimentary rocks of the Khorat Group, northeastern Thailand, were investigated for geochemical analysis. Forty-three sedimentary rock samples from 7 formations of the Khorat Group were studied petrographically for identifying the less altered and weathered samples. Twenty representative fine-grained clastic rocks were selected for geochemical analysis. Major oxide, trace element and rare earth element (REE) were analyzed for their abundance to infer their provenances, and their tectonic settings. Preliminary petrographic study using modal analysis displays the recycle orogeny for their provenance, except a few sample plots in the field of magmatic arc. Discrimination diagrams based on elements and some ratio of elements reveal contrasting provenances including intermediate igneous rock, felsic igneous rock, and quartzose sedimentary rock. Tectonic discrimination diagrams based on major oxide, trace element, and REE concentrations of the selected fine-grained clastic rocks show diverse tectonic setting including active continental margin, and passive continental margin or intra-plate basin. The current result indicates that the tectonic setting of the Khorat Group varies considerably active continental margin to passive continental margin, and this leads to the provenance changing from intermediate and felsic igneous provenance to quartzose sedimentary provenance during Triassic to Cretaceous times.

Keywords - Khorat Group, Mesozoic, Geochemistry, Provenance, Tectonic setting

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา จารุศิริ ที่กรุณาสละเวลา และให้ความรู้ ตลอดจนคำแนะนำในการทํางานวิจัยในทุกขั้นตอน

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่คอยประสิทธิ์ประสาทวิชาและได้ให้ความรู้ ตลอดจนการสนับสนุนและคำปรึกษา

ขอบคุณคุณสุภาภย์ อิมสมุท จากกรมทรัพยากรธรณีที่ให้คำแนะนำในการเก็บตัวอย่าง
ขอขอบพระคุณพี่บุคลากรทุกท่านที่ช่วยเหลือและแนะนำในการทํางานวิจัย

ขอบคุณ คุณวชิโรรัตน์ โฆษิตชัยศรี ที่ช่วยเหลือสำหรับตัวอย่างหินหมวดหินห้วยหินลาด

ขอบคุณ คุณอลงกต ผัณกาที่คอยช่วยเหลือและแนะนำชี้ทางมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนสายปัญญาทุกคน นางสาวศศิमुख ชิคชัย นายอิสระชัย สฟโชค และ
นายปวิวัติ จินประดิษฐ์ ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจซึ่งกันและกันมาโดยตลอด

ขอบคุณเพื่อน GEO 53 ทุกคนที่ให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือดูแลกันตลอดเวลา

ขอขอบคุณน้อง GEO 54 และ GEO 55 ที่ช่วยให้การทํางานดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ ที่ลำบากช่วยเหลือในการออกภาคสนามเพื่อเก็บ
ตัวอย่างหิน และครอบครัวผู้ให้กำลังใจและให้โอกาสการศึกษาอันมีค่ายิ่ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
ABSTRACT	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิด เหตุผล และทฤษฎีสำคัญ	2
1.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
1.3 วัตถุประสงค์	7
1.4 ขอบเขตการศึกษา	7
1.5 พื้นที่ศึกษา	7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
บทที่ 2 ระเบียบวิธีวิจัย	8
2.1 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย	9
2.2 การสำรวจภาคสนามและการเก็บตัวอย่างหิน	13
2.3 การเตรียมตัวอย่าง	25
- การเตรียมแผ่นหิน	25
- การเตรียมตัวอย่างแผ่นหินบาง	25
- การเตรียมผงหินตัวอย่าง	25

บทที่ 3 ผลการศึกษา	27
3.1 ศิลาวรรณนา	28
3.2 ธรรมเนียม	39
บทที่ 4 อภิปรายผลการศึกษา	53
4.1 สภาพภูมิอากาศโบราณ	54
4.2 ต้นกำเนิด	55
4.3 กระแสน้ำโบราณ	57
4.4 ธรรมเนียมประเพณีฐาน	59
4.3 แบบจำลองธรรมเนียมประเพณีฐาน	63
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	65
เอกสารอ้างอิง	68

บทที่ 1 บทนำ

- 1.1 แนวคิด เหตุผล และทฤษฎีสำคัญ
- 1.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.3 วัตถุประสงค์
- 1.4 ขอบเขตการศึกษา
- 1.5 พื้นที่ศึกษา
- 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิด เหตุผล และทฤษฎีสำคัญ

หินที่เกิดบนภาคพื้นทวีปส่วนใหญ่เกิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งได้มีการศึกษารายละเอียดมากพอสมควรมีการกล่าวถึงหินตะกอนที่เกิดบนภาคพื้นทวีปในมหายุคมีโซโซอิกบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2464 สมัยเมื่อเริ่มมีการแสวงหาถ่านหินและปิโตรเลียม ในประเทศไทยเพื่อใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิงในกิจการรถไฟหลวง ชั้นหินสีแดงมหายุคมีโซโซอิกที่ตกสะสมตัวบนบกมีการกระจายตัวทั่วประเทศ โดยเฉพาะบริเวณที่ราบสูงโคราชจึงเป็นที่มาของชื่อกลุ่มหินนี้ หินที่เด่นในกลุ่มหินนี้คือหินตะกอนเนื้อผสมสีแดง ได้แก่ หินทราย หินทรายแป้ง หินดินดาน และหินกรวดมน กลุ่มหินโคราชวางตัวอย่างไม่ต่อเนื่องอยู่บนหินที่แก่กว่า โดยทั่วไปจะวางตัวอยู่บนหินมหายุคพาลีโอโซอิก แต่บางครั้งก็วางตัวอยู่บนหินอัคนีอายุเพอร์โมไทรแอสซิก (Permo-Triassic) หรือหินตะกอนอายุต้นไทรแอสซิกตอนกลาง (Lower-Middle Triassic)

ธรณีวิทยาบริเวณที่ราบสูงโคราชจากแผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:2,500,000 (DMR, 1987) (รูปที่ 1) ประกอบด้วยหินฐานที่เป็นหินตะกอน หินอัคนี และหินแปรของหินมหายุคพาลีโอโซอิกพบกระจายตัวอยู่บริเวณเทือกเขาแดงพญาเย็น และเทือกเขาเพชรบูรณ์ทางขอบที่ราบสูงด้านตะวันตก หินมหายุคพาลีโอโซอิกนี้วางตัวรองรับอยู่ใต้หินตะกอนมหายุคมีโซโซอิกซึ่งแผ่กระจายตัวปกคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดของที่ราบสูงโคราช ประกอบด้วยหินตะกอนที่สะสมตัวบนบกที่มีชื่อว่า กลุ่มหินโคราช (Khorat Group) สะสมตัวตั้งแต่ยุคไทรแอสซิก จูแรสซิก ถึงยุคครีเทเชียส ปัจจุบันแบ่งออกเป็น 9 หมวดหิน (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) จากหมวดหินที่อายุเก่าแก่อันมีดังนี้

หมวดหินห้วยหินลาด (Huai Hin Lat Formation) ประกอบด้วยหินกรวดมนเนื้อปูน หินกรวดมน หินทรายสีเทาดำ ความหนาของหมวดหินแปรเปลี่ยนระหว่าง 100-400 เมตร หมวดหินนี้เป็นหมวดหินฐานของกลุ่มหินโคราช

หมวดหินน้ำพอง (Nam Phong Formation) ประกอบด้วยหินทราย หินดินดาน และหินกรวดมน ความหนาของหมวดหินแปรเปลี่ยนระหว่าง 100-1,500 เมตร

หมวดหินภูกระดึง (Phu Kradung Formation) ประกอบด้วยหินดินดาน และหินทรายแป้ง สีน้ำตาลแดง แทรกสลับด้วยหินทราย เนื้อปานกลาง สีเขียว ความหนาของหมวดหินแปรเปลี่ยนระหว่าง 800-1,200 เมตร

หมวดหินพระวิหาร(*Phra Wihan Formation*) ประกอบด้วยหินทราย สีขาว เนื้อปานกลางถึงหยาบ แทรกสลับด้วยหินดินดาน ความหนาของหมวดหินแปรเปลี่ยนระหว่าง 100-250 เมตร

หมวดหินเสาขัว(*Sao Khua Formation*) ประกอบด้วยหินดินดาน และหินทรายแปง สีน้ำตาลแดง แทรกสลับด้วยหินทราย เนื้อละเอียด สีน้ำตาลแดง ความหนาของหมวดหินแปรเปลี่ยนระหว่าง 200-760 เมตร

หมวดหินภูพาน(*Phu Phan Formation*) ประกอบด้วยหินทราย และหินกรวดมน แสดงชั้นเฉียงระดับ ความหนาของหมวดหินแปรเปลี่ยนระหว่าง 80-140 เมตร

หมวดหินโคกกรวด(*Khok Kruat Formation*) ประกอบด้วยหินทรายแป้ง หินดินดาน สีแดง แทรกสลับด้วยหินทราย สีน้ำตาลแดง ความหนาของหมวดหินแปรเปลี่ยนระหว่าง 430-700 เมตร

หมวดหินมหาสารคาม(*Maha Sarakham Formation*) ประกอบด้วยหินดินดาน และชั้นเกลือหินมีเยื่อปะปน ความหนาของหมวดหินแปรเปลี่ยนระหว่าง 610-1,000 เมตร

หมวดหินภูทอง(*Phu Tok Formation*) ประกอบด้วยหินทรายเนื้อละเอียด หินทรายแป้ง และหินดินดาน สีน้ำตาลแดงสด ความหนาแปรเปลี่ยนระหว่าง 200-730 เมตร

โดยมีแนวสัมผัสระหว่างหมวดหินต่าง ๆ มีลักษณะดังนี้ แนวสัมผัสระหว่างหมวดหินห้วยหินลาดกับหินมหายุคพาลีโอโซอิกเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง แต่มีแนวสัมผัสแบบต่อเนื่องกับหมวดหินน้ำพอง ทั้ง 2 หมวดหินมีอายุอยู่ในยุคไทรแอสซิก หมวดหินภูกระดึงวางตัวอยู่บนหมวดหินน้ำพอง โดยมีแนวสัมผัสแบบไม่ต่อเนื่อง มีอายุอยู่ในยุคจูแรสซิก ตั้งแต่หมวดหินภูกระดึงชั้นหินมีการสะสมตัวต่อเนื่องกันไปจากหมวดหินภูกระดึง หมวดหินพระวิหาร หมวดหินเสาขัว หมวดหินภูพานจนถึงหมวดหินโคกกรวด ในสภาพแวดล้อมที่สะสมตัวด้วยกระบวนการของทางน้ำ (Fluvial Environment) (อัศนี มีสุข และคณะ, 2540) แนวสัมผัสระหว่างหมวดหินโคกกรวดกับหมวดหินมหาสารคามที่วางตัวอยู่ด้านบนเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง(Unconformity) หมวดหินมหาสารคามสะสมตัวในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำทะเลท่วมล้นเข้ามาหรืออาจซึมเข้ามาท่วมขังบริเวณแอ่งสะสมตัวบนพื้นที่ที่มีสภาพภูมิอากาศแห้งแล้งมาก (Yumuang, 1983 และ Utha-aroon, 1995) ทำให้พบชั้นเกลือหินสะสมตัวอยู่ถึงสามชั้น หมวดหินพระวิหารถึงหมวดหินมหาสารคามมีอายุอยู่ในยุคครีเทเชียสตอนต้นถึงตอนปลายตามลำดับ (Racey et al, 1996) หมวดหินภูทองวางตัวอย่างต่อเนื่องอยู่บนหมวดหินมหาสารคาม สะสมตัวด้วยกระบวนการของทางน้ำและกระแสน้ำ (เลิศสิน รักษาสกุลวงศ์, 2545) ในสภาพภูมิอากาศกึ่งแห้งแล้ง (Meesook, 2000) แต่ในช่วงบนสุดของหมวดหิน

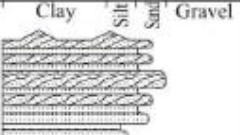
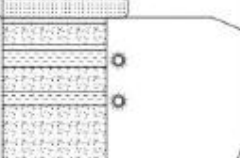
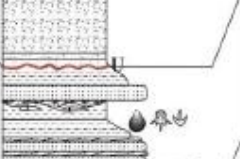
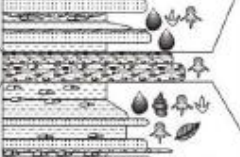
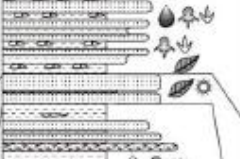
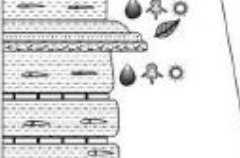
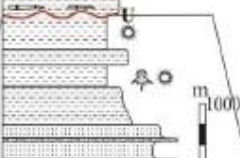
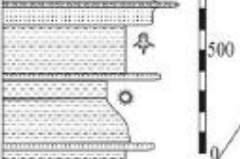
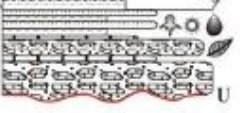
จะสะสมตัวด้วยกระบวนการของกระแสลม มีอายุอยู่ในยุคครีเทเชียสตอนปลายถึงเทอร์เชียรีตอนต้น (Racey et al; 1996)

กลุ่มหินโคราชได้มีการศึกษาอย่างละเอียดทางด้านทางด้านกายภาพของหิน (Lithology) การลำดับชั้นหิน (Stratigraphy) และการศึกษาซากบรรพชีวิน(Paleontology) มาเป็นเวลานานมาก แต่ในทางกลับกันการศึกษาทางด้านธรณีเคมีนั้นมีน้อยมาก

จากการศึกษาของ Pettijohn และคณะในปี 1972 และ Herren ในปี 1988 สามารถจำแนกหินตะกอนโดยใช้ข้อมูลทางเคมีจากปริมาณออกไซด์ของธาตุหลัก ธาตุรองได้

นอกจากนี้จากการศึกษาของ Roser และ Korsh ในปี 1986 ยังสามารถบอกหินต้นกำเนิดของตะกอนและกระบวนการการสะสมตัวของตะกอน (the provenance and sedimentary process) โดยใช้ข้อมูลทางเคมีจากปริมาณออกไซด์ของธาตุหลัก ธาตุรองได้ด้วยเช่นกัน

ดังนั้นในการศึกษารุ่นนี้จะศึกษาธรณีเคมีของหินตะกอนที่เกิดบนภาคพื้นทวีปในมหาสมุทรแปซิฟิกที่กระจายตัวในจังหวัดชัยภูมิและจังหวัดเลยบริเวณที่ราบสูงโคราช โดยศึกษาและวิเคราะห์หาปริมาณออกไซด์ของธาตุหลัก ธาตุรอง และธาตุรองรอยบางธาตุ ซึ่งเป็นปริมาณเหล่านี้จะเป็นตัวบ่งบอกลักษณะเฉพาะทางเคมีของแต่ละหมวดหินได้ และสามารถบอกหินต้นกำเนิดของตะกอนและกระบวนการการสะสมตัวของตะกอน

Age	Formation	Lithology	Description
L. Cretaceous	Phu Thok		Sandstone, brick red, medium-grained, well rounded and sorted, and siltstone, large cross bedding, desiccation cracks, and coarsening-upward sequences.
	Maha Sarakham		Claystone interbedded with salt, gypsum, anhydrite, and potash, with spore/pollen.
	Khok Kruat		Sandstone, siltstone, claystone, and conglomerate, reddish brown, medium- to coarse-grained, with dinosaur bones and footprints and bivalves.
	Phu Phan		Sandstone, conglomeratic sandstone, sandstone, and conglomerate, whitish grey, medium- to coarse-grained, moderately rounded and sorted, with dinosaur footprints and palynomorphs.
	Sao Khua		Sandstone, siltstone, claystone, and conglomerate, reddish brown, medium- to coarse-grained, paleosols and silcretes, with dinosaur bones and footprints, reptiles, bivalves, gastropods, and plant remains.
M. Jurassic-E. Cretaceous	Phra Wihan		Sandstone, conglomeratic sandstone, and conglomerate, whitish grey, fine- to medium-grained, quartzitic, well rounded and sorted, with dinosaur footprints, spore/pollen and plant remains.
M-L. Jurassic	Phu Kradung		Sandstone, siltstone, claystone, and conglomerate, reddish brown, medium- to coarse-grained, with dinosaur bones, bivalves, spore/pollen and plant remains.
L. Triassic	Nam Phong		Sandstone, siltstone, claystone, reddish, brown, fine- to medium-grained, with dinosaur bones and spore/pollen.
	Huai Hin Lat		Claystone, siltstone, sandstone, and limestone conglomerate, grey to dark grey brown, fine- to medium-grained, desiccation cracks, with ostracods, conchostracan, spore/pollen, and plant remains.

รูปที่ 1.1 แท่งลำดับชั้นหินของกลุ่มหินโคราช (Meesook, 2001)

1.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษาและรวบรวมตำรา รายงาน เอกสารและงานวิจัยเก่าพร้อมทั้งอภิปรายข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของหินตะกอนเนื้อเม็ด

จากหนังสือ using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation ของ Hugh Rollinson ได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำข้อมูลทางเคมีมาใช้ประโยชน์ทางกระบวนการธรณีวิทยา และการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ซึ่งในส่วนของที่เกี่ยวข้องกับหินตะกอนนั้น เช่น การใช้ข้อมูลจากองค์ประกอบธาตุหลักเพื่อจำแนกชนิดหินทราย โดย Pettijohn และคณะ (1972) และ Herron (1988) การใช้ข้อมูลจากธาตุองค์ประกอบหลักเพื่อบอกแหล่งที่มาของตะกอน โดย Bhatia (1983) ซึ่งนำข้อมูลที่ได้มาเข้าสมการแล้วพลอตข้อมูลลงในไดอะแกรม นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลจากองค์ประกอบของธาตุหลักมาพลอตลงในไดอะแกรมเพื่อจำแนกธรณีแปรสัณฐานของตะกอน โดย Roser and Korsh (1986) การใช้ข้อมูลจากองค์ประกอบธาตุรองเพื่อหาแหล่งที่มาของตะกอน การผุพัง การสะสมตัว และการคัดขนาดของตะกอน การทำ NASC normalization for sediments (NASC North American Shale Composite – an average shale composition) ซึ่งใช้กับหินตะกอนเนื้อละเอียดโดยนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับ chondritic meteorites เป็นต้น

นอกจากนี้ได้ศึกษางานวิจัยของ ในหัวข้องาน Geochemistry of sandstones from the Neoproterozoic Shijia Formation, Northern Anhui Province, China: Implications for provenance, weathering and tectonic setting ซึ่งส่วนหนึ่งมีการทำซิลาร์รนาเพื่อแบ่งชนิดของหินทรายโดยใช้ QFL diagram (provenance field after Dickinson, 1985) นอกนั้นจะเป็นผลทางธรณีเคมีนำมาวิเคราะห์จำแนกชนิดหินทราย หาแหล่งที่มาของตะกอน การผุพัง สภาพภูมิอากาศโบราณ และการแปรสัณฐาน การวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลออกไซด์ของธาตุหลักและธาตุรองเพื่อหาธรณีแปรสัณฐาน (Roser และ Korsch, 1988) ซึ่งได้แก่ Passive continental margin, Active continental margin, Oceanic island arc ในทำนองเดียวกัน Bhatia ในปี 1983 ได้ทำการศึกษาในลักษณะเดียวกันเพื่อสร้างไดอะแกรมจำแนกธรณีแปรสัณฐาน ได้แก่ Oceanic island, Continental island arc, Active continental margin และ Passive continental margin

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาธรณีเคมีของหินตะกอนที่เกิดบนภาคพื้นทวีปในมหายุคมีโซโซอิก และแหล่งที่มาของตะกอน โดยใช้ข้อมูลออกไซด์ของธาตุหลัก ธาตุรอง และธาตุหายากบางชนิด

1.4 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้เน้นด้านธรณีเคมีของหินตะกอน โดยเก็บตัวอย่างหินจากหินโผล่ (road cut outcrop) หมวดหินห้วยหินลาด น้ำพอง ภูกระดึง พระวิหาร เสาขั้ว ภูพาน และโคกกรวด ในบริเวณพื้นที่ศึกษาจังหวัดชัยภูมิเป็นหลักและจากจังหวัดเพชรบูรณ์ ขอนแก่น และสกลนคร มาวิเคราะห์ออกไซด์ของธาตุหลัก ธาตุรอง และธาตุหายากบางตัว

การศึกษาศิลาวรรณนาจะวิเคราะห์และจำแนกประเภทหินเพียงเบื้องต้นเท่านั้น ดังนั้นการศึกษาศิลาวรรณนาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์จะเน้นการศึกษาไปที่แร่องค์ประกอบหินทรายเพื่อจำแนกหิน ได้แก่ แร่ควอตซ์(Quartz) เฟลด์สปาร์(Feldspar) และเศษหินแร่อื่น(Rock fragment)

1.5 พื้นที่ศึกษา

บริเวณขอบตะวันตกที่ราบสูงโคราช ได้แก่ จังหวัดชัยภูมิ จังหวัดเพชรบูรณ์ และบริเวณที่ราบสูงโคราชตอนบน ได้แก่ จังหวัดขอนแก่น จังหวัดสกลนคร

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บอกลักษณะเฉพาะทางธรณีเคมีและที่มาของตะกอนของแต่ละหมวดหินได้ นอกจากนั้นยังใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงให้กับงานวิจัยต่อไปได้ด้วย

บทที่ 2 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

2.1 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

2.2 การสำรวจภาคสนามและการเก็บตัวอย่างหิน

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

บทที่ 2

ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

2.1 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลเบื้องต้น

1.1 รวบรวมข้อมูลและเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มหินโคราช รวมไปถึงงานวิจัยทางด้านธรณีเคมีในหินตะกอน

1.2 รวบรวมแผนที่ภูมิประเทศ แผนที่แสดงเส้นทางการเดินทาง และแผนที่ธรณีวิทยา เพื่อวางแผนการเก็บตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างจาก road cut outcrop ตามถนนที่รถสามารถเข้าถึง

2. สำรวจภาคสนามเพื่อเก็บตัวอย่างและทำการคัดตัวอย่างหินที่สะอาดหรือสด

2.1 ออกภาคสนามเพื่อเก็บตัวอย่างและทำการคัดเลือกตัวอย่างหินที่จะนำมาวิเคราะห์ โดยเลือกตัวอย่างหินที่เป็นตัวแทนของแต่ละหมวดหิน (representative sample) และมีลักษณะเป็น fine grained sedimentary rock เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี

3. เตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาสีลาบรรณนาและธรณีเคมี

3.1 เตรียมแผ่นหินขัดบางเพื่อใช้ในการศึกษาสีลาบรรณนา

3.2 เตรียมผงหินตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษาธรณีเคมี

4. ศึกษาสีลาบรรณนาจากแผ่นหินบางในห้องปฏิบัติการ

4.1 ศึกษาสีลาบรรณนาของหินทรายจากแผ่นหินบางด้วยกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์เพื่อจำแนกชนิดของหินทราย พร้อมถ่ายภาพประกอบ

5. ศึกษาธรณีเคมีจากผงหินในห้องปฏิบัติการ

5.1 ศึกษาธรณีเคมีของผงหินทรายเพื่อหาปริมาณองค์ประกอบออกไซด์ของธาตุหลักและธาตุรอง ได้แก่ SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O และ P_2O_5 ด้วยเครื่องมือ XRF (X-Ray Fluorescence spectrometer)

5.2 ศึกษาธรณีเคมีของผงหินทรายเพื่อหาปริมาณองค์ประกอบออกไซด์ของธาตุรองรอยและธาตุหายากบางธาตุ ด้วยเครื่อง ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometer)

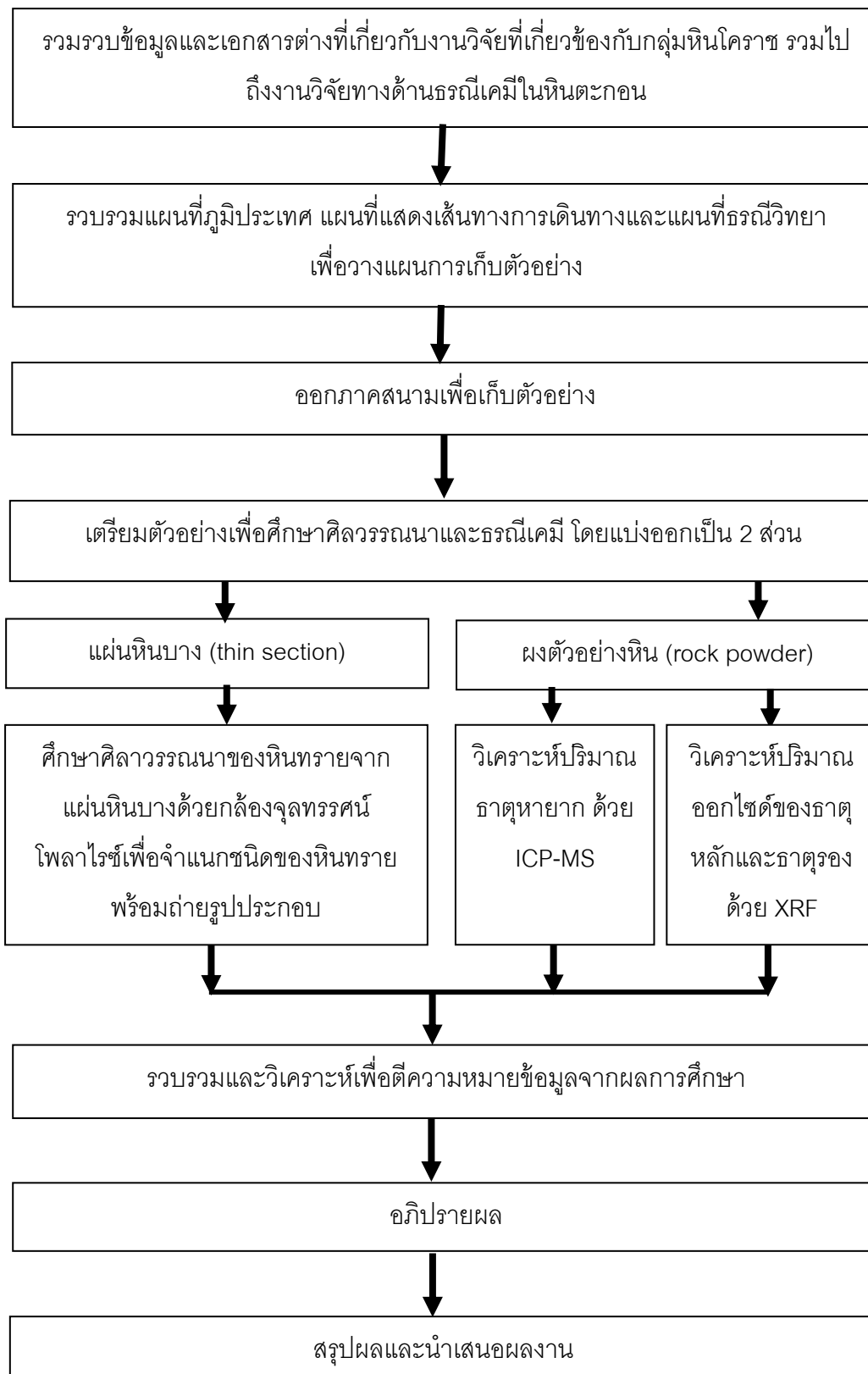
6. รวบรวมและวิเคราะห์เพื่อตีความหมายข้อมูลจากผลการศึกษา

6.2 รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสีลาบรรณนาและธรณีเคมี

6.2 ดีความและประมวลผลที่ได้จากการศึกษา

7. อภิปรายผลการศึกษา
8. สรุปผลการศึกษา
9. นำเสนอและจัดทำรูปเล่มรายงาน

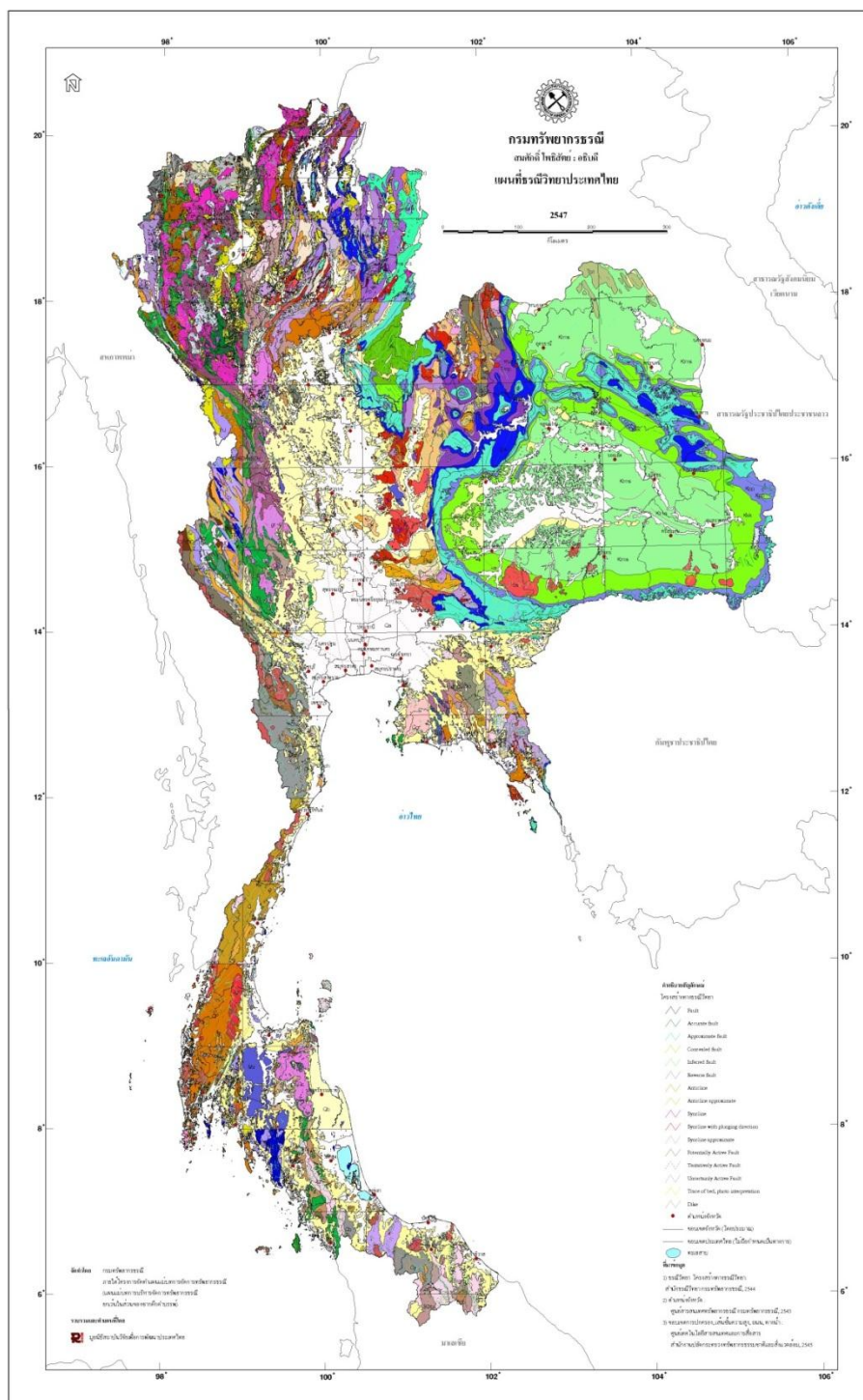
ขั้นตอนและวิธีการวิจัย



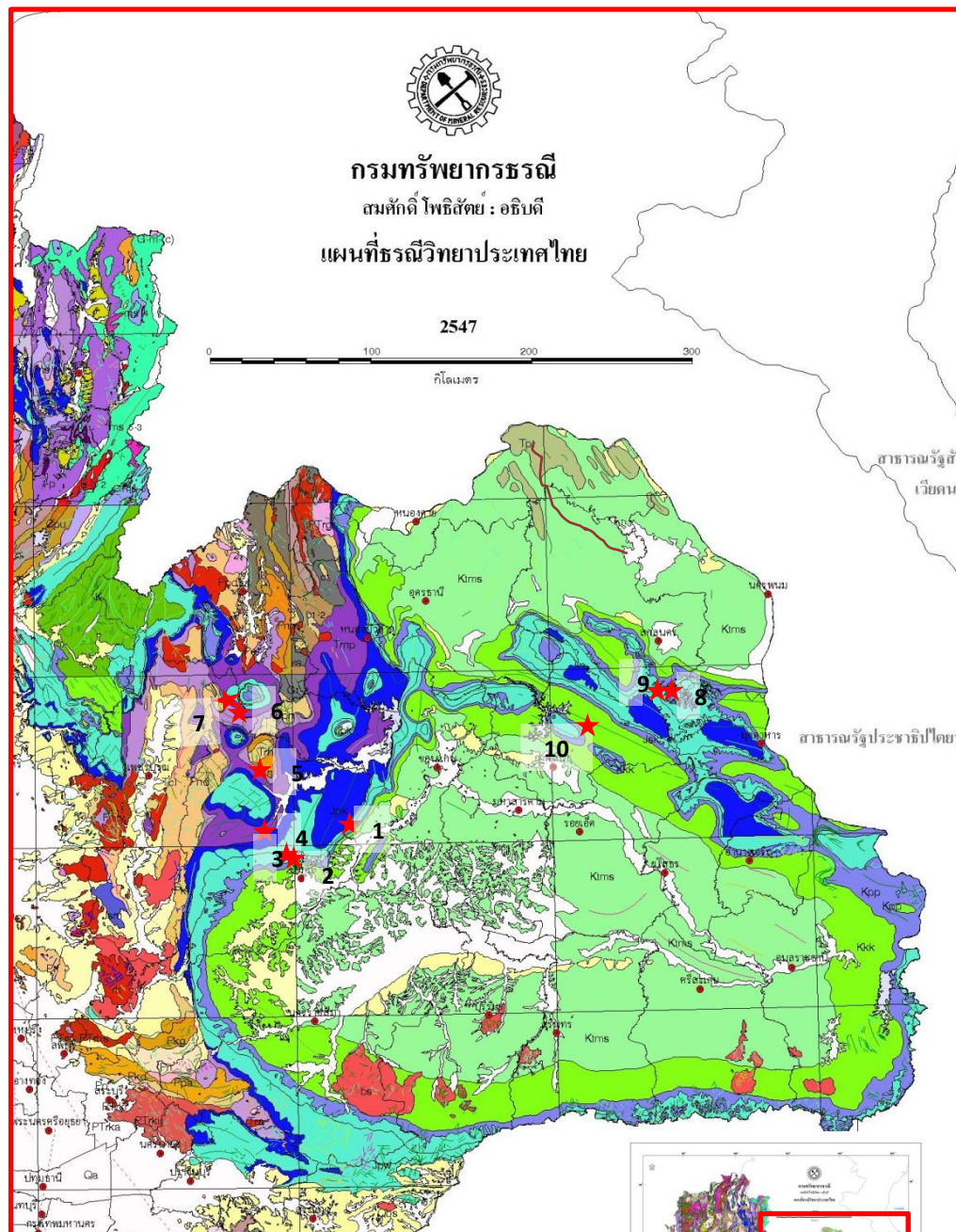
2.2 การสำรวจภาคสนามและการเก็บตัวอย่างดิน

ตารางที่ 2.2 ตำแหน่งและพิกัดการเก็บตัวอย่าง

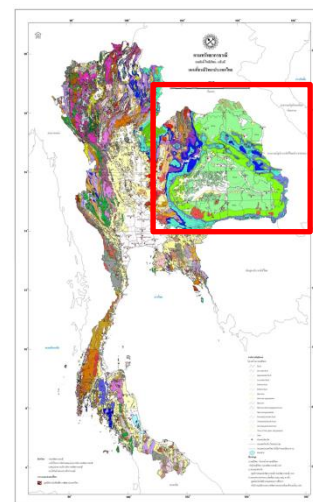
จุด ศึกษา	ตำแหน่ง	พิกัด	หมวดหิน
1	ถนนทางหลวงหมายเลข 229 (ขอนแก่น-ชัยภูมิ)ลาน หินข้างโรงเรียนชัยสมบูรณ์พิทยาลัย ต.ชัยสมบูรณ์ อ. โคกโพธิ์ไชย จ.ขอนแก่น	16°04'57.1"N 102°20'10.1"E.	พระวิหาร
2	ทางเกวียนแยกจากถนนทางหลวงหมายเลข 2159 ข้างโรงเรียนห้วยต้อนพิทยาคม บ้านห้วยต้อน อ.เมือง จ.ชัยภูมิ	15°53.068'N 101°56.120'E	ภูพาน
3	ถนนทางหลวงหมายเลข 2159 ห่างจากโรงเรียน พิทยาคมมาทางตะวันตกประมาณ 5 กิโลเมตร	15°53.812'N 101°55.068'E	ภูพาน
4	ผาหินก่อนถึงวัดชัยภูมิพิทักษ์ ถนนทางหลวง หมายเลข 2159 (อ.เมือง-อ.หนองบัวแดง)จังหวัด ชัยภูมิ	16°0'17"N 101°53'36"E	ภูกระดึง
5	Spill way เขื่อนห้วยกุ่ม ตำบลทุ่งพระ อำเภอคอนสาร จังหวัดชัยภูมิ	16°24.619'N 101°47.664'E	น้ำพอง
6	เขื่อนจุฬาภรณ์ ตำบลทุ่งพระ อำเภอคอนสาร จังหวัด ชัยภูมิ	16°32'7"N 101°38'58"E	น้ำพอง
7	Road cut กม.81+350 (2219) หล่มเก่า-น้ำหนาว บ. ศิลา ต.ศิลา อ.หล่มเก่า จ.เพชรบูรณ์	17°00'14.1"N 101°21'48.4"E	ห้วยหินลาด
8	วัดถ้ำผาแด่น บ้านดงน้อย ต.ดงมะไฟ อ.เมือง จ. สกลนคร	17° 2'19.86"N 104° 5'35.57"E	ภูพาน
9	ทางขึ้นวัดถ้ำผาแด่น บ้านดงน้อย ต.ดงมะไฟ อ.เมือง จ.สกลนคร	17° 2'19.86"N 104° 5'35.57"E	เสาขรัว
10	เขื่อนน้ำพุง อ.ภูพาน จ.สกลนคร	16°58'14.29"N 103°59'0.80"E	โคกกรวด



รูปที่ 2.1 แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตราส่วน 1:250,000 (กรมทรัพยากรธรณี, 2547)



รูปที่ 2.2 แผนที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและ
ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง(ดาวและหมายเลขสี
แดง) (ดัดแปลงจากแผนที่ธรณีวิทยาประเทศ
ไทย มาตราส่วน 1:250,000 (กรมทรัพยากร
ธรณี, 2547)



ตัวอย่างหินที่นำมาวิเคราะห์ทางธรณีเคมีมีดังต่อไปนี้

1. หินทรายหมวดหินพระวิหาร (ตัวอย่างหมายเลข S1) พิกัด $16^{\circ}04'57.1''\text{N}$ $102^{\circ}20'10.1''\text{E}$ เมื่อนำพิกัดมาเปรียบตำแหน่งในแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดขอนแก่น (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) สามารถบอกได้ว่าหินโผล่บริเวณนี้อยู่ในหมวดหินพระวิหาร



รูปที่ 2.3 หินโผล่ริมถนนในจุดศึกษาที่ 1 หมวดหินพระวิหาร มีลักษณะเป็นลานหินกว้างติดขอบถนนทางหลวงหมายเลข 229 (ขอนแก่น-ชัยภูมิ) ลานหินข้างโรงเรียนชัยสมบุญพิทยาลัย ต.ชัยสมบุญ อ.โคกโพธิ์ไชย จ.ขอนแก่น เป็นหินทรายชั้นหนา บางบริเวณแสดง cross bedding มีมุมเอียงเทน้อยมาก (subhorizontal bedding)



รูปที่ 2.4 หินทรายหมวดหินพระวิหาร หมายเลข S1 เป็นหินทรายสีขาว มีการคัดขนาดปานกลางถึงดี รูปร่างค่อนข้างกลมมน ประกอบด้วยแร่ควอตซ์เป็นหลัก ซึ่งตัวอย่างหินทรายหมวดหินพระวิหารนี้สอดคล้องกับการศึกษาเพื่อลำดับชั้นหินโดย มีสุข ในปี 2011

2. หินทรายหมวดหินภูพาน (ตัวอย่างหมายเลข S2) พิกัด $15^{\circ}53.068'N$ $101^{\circ}56.120'E$. เมื่อนำพิกัดมาเปรียบตำแหน่งในแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดชัยภูมิ (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) สามารถบอกได้ว่าหินโผล่บริเวณนี้อยู่ในหมวดหินภูพาน



รูปที่ 2.5 หินโผล่ริมถนนในจุดศึกษาที่ 2 หมวดหินภูพาน ข้างทางเกวียนแยกจากถนนทางหลวงหมายเลข 2159 ข้างโรงเรียนห้วยต้อนพิทยาคม บ้านห้วยต้อน อ.เมือง จ.ชัยภูมิ มีลักษณะเป็นลานหินกว้างติดขอบถนนอยู่ในบริเวณโรงเรียน มีมุมเอียงเทน้อยมาก (subhorizontal bedding) และไม่พบลักษณะโครงสร้างอื่นที่ชัดเจน



รูปที่ 2.6 หินทรายหมวดหินภูพาน หมายเลข S2 เป็นหินทรายสีขาว มีการัดขนาดตะกอนปานกลางถึงดี ตะกอนรูปร่างค่อนข้างกลมมน ประกอบด้วยแร่ควอตซ์เป็นหลัก

3. หินทรายหมวดหินภูพาน (ตัวอย่างหมายเลข S3) พิกัด 15°53.812'N 101°55.068'E เมื่อนำพิกัดมาเปรียบตำแหน่งในแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดชัยภูมิ (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) สามารถบอกได้ว่าหินโผล่บริเวณนี้อยู่ในหมวดหินภูพาน



รูปที่ 2.7 หินโผล่ริมถนน ในจุดศึกษาที่ 3 หมวดหินภูพาน บริเวณถนนทางหลวงหมายเลข 2159 ห่างจากโรงเรียนพิทยาคมมาทางตะวันตกประมาณ 5 กิโลเมตรมีลักษณะเป็นลานหินกว้างติดขอบถนน เป็นหินทรายชั้นหนา บางบริเวณแสดง cross bedding มีมุมเอียงเทน้อยมาก (subhorizontal bedding)



รูปที่ 2.8 หินทรายหมวดหินภูพาน หมายเลข S3 เป็นหินทรายสีขาวเหลือง มีการคั้ขนาด ตะกอนปานกลางถึงดี ตะกอนรูปร่างค่อนข้างกลมมน ประกอบด้วยแร่ควอตซ์เป็นหลัก พบแร่เฟลด์สปาร์บ้าง

4. หินทรายหมวดหินภูกระดัง (ตัวอย่างหมายเลข S4) พิกัด $16^{\circ}0'17''\text{N}$ $101^{\circ}53'36''\text{E}$ จากรายงานวิชาการ การศึกษาฐานธรณีวิทยาขอบตะวันตกของที่ราบสูงโคราช บริเวณจังหวัด เพชรบูรณ์ ชัยภูมิ และขอนแก่น (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) สามารถบอกได้ว่าหินโผล่บริเวณนี้อยู่ ในหมวดหินภูกระดัง



รูปที่ 2.9 หินโผล่ริมถนนในจุดศึกษาที่ 4 บริเวณผาหินก่อนถึงวัดชัยภูมิพิทักษ์ ถนนทางหลวงหมายเลข 2159 (อ.เมือง-อ.หนองบัวแดง) จังหวัดชัยภูมิ เป็นหน้าผาที่เกิดจากการตัดถนน มีขนาดใหญ่ชัดเจน เป็นหน้าผาสีม่วงแดง ยาวประมาณ 200 เมตร สูง 5 เมตร มีมุมเอียงเทประมาณ 10° องศา (subhorizontal bedding)



รูปที่ 2.10 หินทรายหมวดหินภูกระดัง หมายเลข S4 หินทรายแป้งสีม่วงน้ำตาล การัดขนาด ตะกอนปานกลางถึงดี ตะกอนรูปร่างค่อนข้างกลม ประกอบด้วยแร่ควอตซ์เป็นหลัก พบแร่ เฟลด์สปาร์บ้าง บางบริเวณพบแร่ไม่ก้ำได้ชัดเจน

5. หินทรายหมวดหินน้ำพอง (ตัวอย่างหมายเลข S5) พิกัด 16°24.619'N 101°47.664'E จากรายงานวิชาการ การศึกษาฐานธรณีวิทยาขอบตะวันตกของที่ราบสูงโคราช บริเวณจังหวัด เพชรบูรณ์ ชัยภูมิ และขอนแก่น (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) สามารถบอกได้ว่าหินโผล่บริเวณนี้อยู่ในหมวดหินน้ำพอง



รูปที่ 2.11 หินโผล่ริมถนนในจุดศึกษาที่ 5 เป็นหน้าผาสีน้ำตาลอมม่วงที่เกิดจากการตัดถนน มีขนาดใหญ่ อยู่บริเวณทางน้ำล้น (spillway) เขื่อนห้วยกุ่ม ตำบลทุ่งพระ อำเภอคอนสาร จังหวัด ชัยภูมิ ยาวประมาณ 100 เมตร สูง 4 เมตร มีมุมเอียงเทประมาณ 15 องศา หินทรายบางชั้น เม็ดตะกอนเรียงขนาดเล็กขึ้นด้านบนชัดเจน (normal gradding)



รูปที่ 2.12 หินทรายหมวดหินน้ำพอง หมายเลข S5 หินทรายเนื้อละเอียดสีน้ำตาลอมม่วง แสดง lamination และ cross lamination ของ mud (สีน้ำตาลเข้ม) เนื้อแน่นมาก ตัวเชื่อมประสาน เป็น calcareous cement

6. หินทรายหมวดหินน้ำพอง (ตัวอย่างหมายเลข S6) พิกัด $16^{\circ}32'7''\text{N}$ $101^{\circ}38'58''\text{E}$ จากรายงานวิชาการ การศึกษาฐานธรณีวิทยาขอบตะวันตกของที่ราบสูงโคราช บริเวณจังหวัดเพชรบูรณ์ ชัยภูมิ และขอนแก่น (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) สามารถบอกได้ว่าหินโผล่บริเวณนี้อยู่ในหมวดหินน้ำพอง



รูปที่ 2.13 จุดศึกษาที่ 6 หมวดหินน้ำพองอยู่บริเวณทางน้ำล้น (spillway) เขื่อนจุฬาภรณ์ ตำบลทุ่งพระ อำเภอคอนสาร จังหวัดชัยภูมิ



รูปที่ 2.14 หินทรายหมวดหินน้ำพอง หมายเลข S6 หินทรายสีม่วงอมน้ำตาลแสดง lamination ของ mud (สีน้ำตาลเข้ม) ลักษณะคล้ายกับหินตัวอย่าง S5 แต่มีเม็ดตะกอนใหญ่กว่า และเนื้อไม่แน่นมาก มีตัวเชื่อมประสานเป็นออกไซด์ของเหล็ก

7. หินทรายหมวดหินห้วยหินลาด (ตัวอย่างหมายเลข S7) พิกัด $17^{\circ}00'14.1''\text{N}$ $101^{\circ}21'48.4''\text{E}$ จากรายงานการศึกษาฐานธรณีวิทยาขอบตะวันตกของที่ราบสูงโคราช บริเวณ จังหวัดเพชรบูรณ์ ชัยภูมิ และขอนแก่น (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) สามารถบอกได้ว่าหินโผล่ บริเวณนี้อยู่ในหมวดหินห้วยหินลาด



รูปที่ 2.15 หินโผล่ริมถนนในจุดศึกษาที่ 7 หมวดหินห้วยหินลาด บริเวณ กม.81+350 (2219) หล่มเก่า-น้ำหนาว บ.ศิลา ต.ศิลา อ.หล่มเก่า จ.เพชรบูรณ์ เป็นหินโผล่มีขนาดใหญ่สีเขียวเทา ยาวประมาณ 200 เมตร สูง 6 เมตร เป็นหินโคลนสีเทาเข้มอมเขียว บางบริเวณเป็นหินดินดาน แสดง fissility ชัดเจน

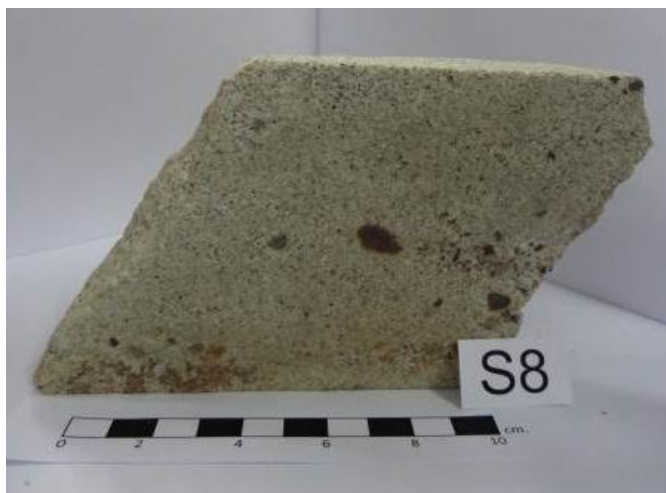


รูปที่ 2.16 หินทรายหมวดหินน้ำพอง หมายเลข S7 เป็นหินโคลนสีเทาเข้มอมเขียว เนื้อแน่น ประกอบด้วยเม็ดแร่ควอตซ์และแร่ดินเป็นส่วนใหญ่

8. หินทรายหมวดหินภูพาน (ตัวอย่างหมายเลข S8) พิกัด 17° 2'19.86"N 104°5'35.57"E จากรายงานวิชาการ ลำดับชั้นหินของกลุ่มหินโคราชบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) สามารถบอกได้ว่าหินโผล่บริเวณนี้อยู่ในหมวดหินภูพาน



รูปที่ 2.17 หินโผล่จุดศึกษาที่ 7 หมวดหินภูพาน บริเวณวัดถ้ำผาแต่น บ้านดงน้อย ต.ดงมะไฟ อ.เมือง จ.สกลนคร เป็นหินโผล่ขนาดใหญ่ หินทรายเนื้อหยาบถึงปานกลาง บางบริเวณมีการแทรกสลับกับหินรวดมน พบ stacked planar crossbed sets ชัดเจน



รูปที่ 2.18 หินทรายหมวดหินน้ำพอง หมายเลข S8 หินทรายสีขาวยเนื้อหยาบถึงปานกลาง มีกรวดมนแทรกสลับบ้าง เม็ดแร่ส่วนใหญ่เป็นควอตซ์และเฟลด์สปาร์

9. หินทรายหมวดหินเสาขัว (ตัวอย่างหมายเลข S9) พิกัด $17^{\circ} 2' 19.86'' \text{N}$ $104^{\circ} 5' 35.57'' \text{E}$ จากรายงานวิชาการ ลำดับชั้นหินของกลุ่มหินโคราชบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) สามารถบอกได้ว่าหินโผล่บริเวณนี้อยู่ในหมวดหินเสาขัว



รูปที่ 2.19 หินทรายหมวดหินเสาขัว หมายเลข S9 ซึ่งหินโผล่อยู่บริเวณส่วนล่างของจุดศึกษาที่ 8 ตามทางขึ้นวัดถ้ำผาแต่น บ้านดงน้อย ต.ดงมะไฟ อ.เมือง จ.สกลนคร เป็นหินทรายเนื้อละเอียดสีแดงน้ำตาล

10. หินทรายหมวดหินโคกกรวด (ตัวอย่างหมายเลข S10) พิกัด $16^{\circ} 58' 14.29'' \text{N}$ $103^{\circ} 59' 0.80'' \text{E}$ จากรายงานวิชาการ ลำดับชั้นหินของกลุ่มหินโคราชบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) สามารถบอกได้ว่าหินโผล่บริเวณนี้อยู่ในหมวดหินโคกกรวด



รูปที่ 2.20 หินทรายหมวดหินโคกกรวด หมายเลข S10 ซึ่งหินโผล่อยู่บริเวณทางน้ำล้น (spillway) เขื่อนน้ำพุง อ.ภูพาน จ.สกลนคร เป็นหินทรายเนื้อละเอียดสีน้ำตาลอ่อนอมแดง แสดง lamination และ cross-lamination ชัดเจน ซึ่งเป็นตะกอนที่ขนาดละเอียดกว่า (บริเวณสีเข้ม)

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

หลังจากการเก็บตัวอย่างหินมาทั้งหมด 20 ตัวอย่าง จาก 10 จุดศึกษา แล้วนำมาเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาสัณฐานวิทยาและธรณีเคมีในลำดับต่อไป โดยแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. แผ่นหิน (rock slab)

- แผ่นหิน นำไปศึกษาสัณฐานวิทยาเบื้องต้นด้วยตา เพื่อจำแนกประเภทหินและดูคุณสมบัติของตัวอย่าง

2. แผ่นหินบาง (thin section)

- แผ่นหินบาง นำไปศึกษาสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์เพื่อดูแร่องค์ประกอบหิน

3. ผงหิน (rock powder)

- ผงหิน นำไปศึกษาธรณีเคมีเพื่อหาปริมาณองค์ประกอบออกไซด์ของธาตุหลักและธาตุรองด้วยเครื่อง XRF (X-Ray Fluorescence spectrometer)
- ผงหิน นำไปศึกษาธรณีเคมีของผงหินทรายเพื่อหาปริมาณธาตุรองรอยและธาตุหายากบางธาตุ ด้วยเครื่อง ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometer)

2.3.2 การเตรียมตัวอย่างแผ่นหิน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. คัดเลือกตัวอย่างที่มีความสมบูรณ์
2. ตัดก้อนหินตัวอย่าง ให้เห็นหน้าสดของตัวอย่าง
3. ฝนหน้าหินตัวอย่างที่ตัดแล้วให้เรียบ

2.3.2 การเตรียมตัวอย่างแผ่นหินบาง มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตัดก้อนตัวอย่าง (hand specimen) ให้มีความหนาน้อยกว่า 3 เซนติเมตร
2. ติดหินตัวอย่างลงบนกระจกด้วยกาว balsum บน hot plate
3. ฝนหินตัวอย่างด้วยเครื่องขัดหินบางอย่างหยาบ
4. ฝนหินตัวอย่างให้บางด้วยกระจกและผงขัดหินที่มีความละเอียด 600 และ 1000

ตามลำดับ

จนกระทั่งมีความบางประมาณ 0.03 มิลลิเมตร

5. ปิดด้วยกระจกกันไส

หลังจากนั้นนำตัวอย่างแผ่นหินบางที่เตรียมเสร็จเรียบร้อยแล้วมีทั้งหมด 10 ตัวอย่างไปศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์

2.3.2 การเตรียมตัวอย่างผงหิน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เลือกตัวอย่างหินที่สด

2. สกัดส่วนพื้นผิวออกเพื่อเลือกเฉพาะส่วนกลางของหินตัวอย่าง

3. นำตัวอย่างหินที่ย่อยแล้วไปอบให้แห้ง

3. นำตัวอย่างหินที่อบแล้วไปบดให้เป็นผงด้วยเครื่อง disc mill จนเป็นผงละเอียด

หลังจากนั้นนำตัวอย่างผงหินที่เตรียมไว้ 20 ตัวอย่างจาก 10 จุดศึกษา ไปศึกษาธรณีเคมี เพื่อหาปริมาณองค์ประกอบออกไซด์ของธาตุหลักและธาตุรอง ด้วยเครื่อง XRF และหาปริมาณธาตุร่องรอยและธาตุหายากบางธาตุ ด้วยเครื่อง ICP-MS

บทที่ 3 ผลการศึกษา

3.1 ศิลาวรรณา

3.2 ธรณีเคมี

บทที่ 3

ผลการศึกษา

3.1 ศิลาวรรณา

ตัวอย่างหินทรายที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในภาคสนามนำไปเตรียมตัวอย่างเป็นแผ่นหินบางและศึกษาศิลาวรรณาด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ เพื่อวิเคราะห์แร่องค์ประกอบของหินทรายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์

การศึกษาแบบ mesoscopic description จะศึกษาจากแผ่นหน้าเรียบ (rock slab) เพื่อคัดเลือกตัวอย่างหินที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปศึกษาธรณีเคมี และการศึกษาแบบ microscopic description จะศึกษาจากแผ่นหินบาง (thin section) จากตัวอย่างทั้งหมด 10 ตัวอย่างดังนี้

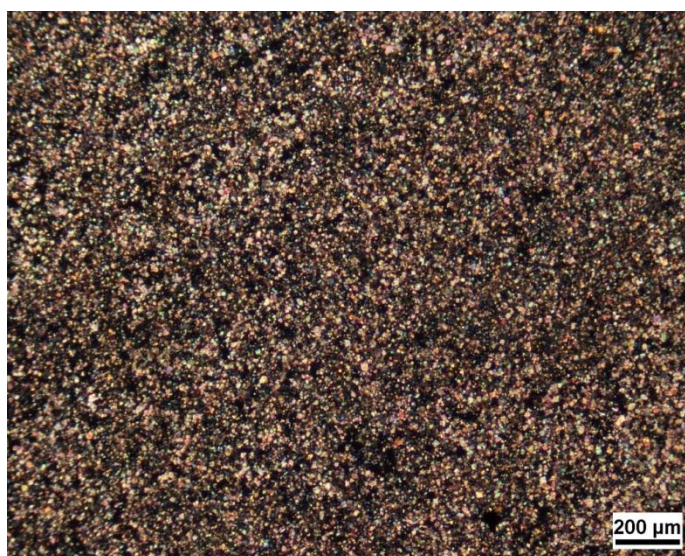
1. หมวดหินห้วยหินลาด (ตัวอย่างหมายเลข S7) จาก Road cut กม.81+350 (2219) หล่มเก่า-น้ำหนาว บ.ศิลา ต.ศิลา อ.หล่มเก่า จ.เพชรบูรณ์
2. หมวดหินน้ำพอง (ตัวอย่างหมายเลข S5 และ S6) จาก Spill way เขื่อนห้วยกุ่ม ตำบลทุ่งพระ อำเภอคอนสาร จังหวัดชัยภูมิ (S5) และ Spill way เขื่อนจุฬาภรณ์ ตำบลทุ่งพระ อำเภอคอนสาร จังหวัดชัยภูมิ (S6)
3. หมวดหินภูกระดึง (ตัวอย่างหมายเลข S4) จากวัดชัยภูมิพิทักษ์ ถนนทางหลวงหมายเลข 2159 (อ.เมือง-อ.หนองบัวแดง) จังหวัดชัยภูมิ
4. หมวดหินพระวิหาร (ตัวอย่างหมายเลข S1) จากโรงเรียนชัยสมบูรณพิทยาลัย ต.ชัยสมบูรณ อ.โคกโพธิ์ไชย จ.ขอนแก่น
5. หมวดหินเสาขัว (ตัวอย่างหมายเลข S9) จากทางขึ้นวัดถ้ำผาแด่น บ้านดงน้อย ต.ดงมะไฟ อ.เมือง จ.สกลนคร
6. หมวดหินภูพาน (ตัวอย่างหมายเลข S2, S3 และ S8) จากโรงเรียนห้วยดื่อนไพฑาคม บ้านห้วยดื่อน อ.เมือง จ.ชัยภูมิ (S2), ถนนทางหลวงหมายเลข 2159 ห่างจากโรงเรียนไพฑาคมมาทางตะวันตกประมาณ 5 กิโลเมตร (S3) และวัดถ้ำผาแด่น บ้านดงน้อย ต.ดงมะไฟ อ.เมือง จ.สกลนคร (S8)
7. หมวดหินโคกกรวด (ตัวอย่างหมายเลข S10) จาก Spill way เขื่อนน้ำพุง อ.ภูพาน จ.สกลนคร

จากที่กล่าวในข้างต้นแล้วว่า การศึกษาซิลาวรรณนาวิเคราะห์และจำแนกประเภทหินเพียงเบื้องต้นเท่านั้น ดังนั้น การศึกษาซิลาวรรณนาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์จะเน้นการศึกษาไปที่แร่องค์ประกอบหินทรายเพื่อจำแนกหิน ได้แก่ แร่ควอตซ์(Quartz) เฟลด์สปาร์(Feldspar) และเศษหิน/แร่อื่น(Rock fragment)

ซิลาวรรณนาเบื้องต้นของตัวอย่างหินทราย

1. หมวดหินห้วยหินลาด

ตัวอย่างหมายเลข S7



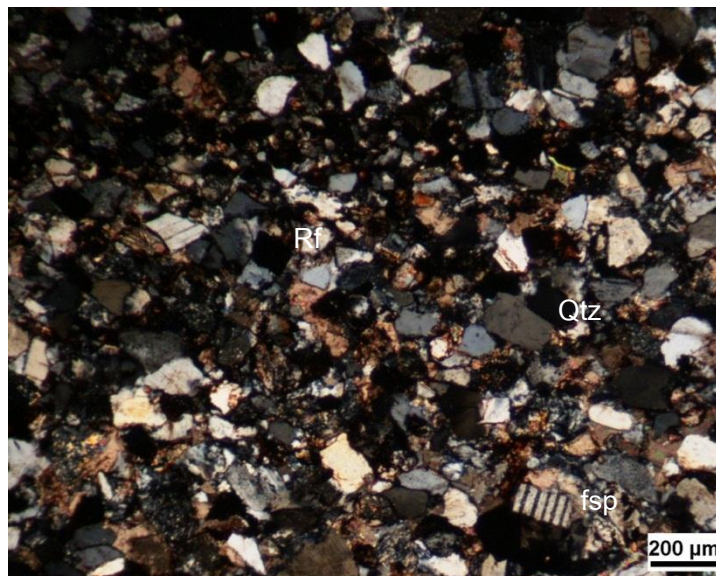
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างหินหินขัดบางหมวดหินห้วยหินลาด (S7) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ เป็นหินโคลน หินตะกอนละเอียดประกอบไปด้วยแร่ดินและแร่แผ่นขนาดเล็ก มีสารเชื่อมประสานเป็น calcareous cement



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างหินทรายหมวดหินห้วยหินลาด บ.ศิลา ต.ศิลา อ.หล่มเก่า จ.เพชรบูรณ์ หินโคลนสีเทาเข้มอมเขียว เนื้อแน่น ประกอบด้วยเม็ดแร่ควอตซ์และแร่ดินเป็นส่วนใหญ่

2. หมวดหินน้ำพอง

ตัวอย่างหมายเลข S5

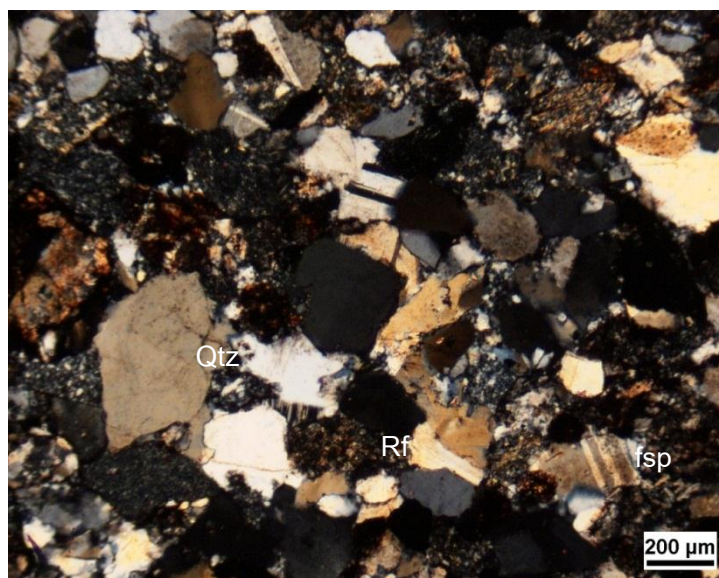


รูปที่ 3.3 ตัวอย่างหินขัดบางหมวดหินน้ำพอง (S6) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ มีขนาดเม็ดตะกอน very fine sand รูปร่าง subangular – subround การคัดขนาดปานกลาง มีสารเชื่อมประสานเป็น calcareous cement แสดง lamination ของตะกอนละเอียดกว่าชัดเจน จากการนับจำนวนเม็ดแร่พบว่าหินประกอบไปด้วยแร่ควอตซ์ 46.7% แร่เฟลด์สปาร์ 32.6 % แร่อื่น 20.7 % จำแนกหินเป็น Lithicarkose (Mcbride, 1963)



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างหินทรายหมวดหินน้ำพอง หมายเลข S5 เขื่อนห้วยกุ่ม ตำบลทุ่งพระ อำเภอคอนสาร จังหวัดชัยภูมิ หินทรายเนื้อละเอียดสีน้ำตาลอมม่วง แสดง lamination และ cross lamination ของ mud (สีน้ำตาลเข้ม) เนื้อแน่นมาก ตัวเชื่อมประสานเป็น calcareous cement

ตัวอย่าง S6



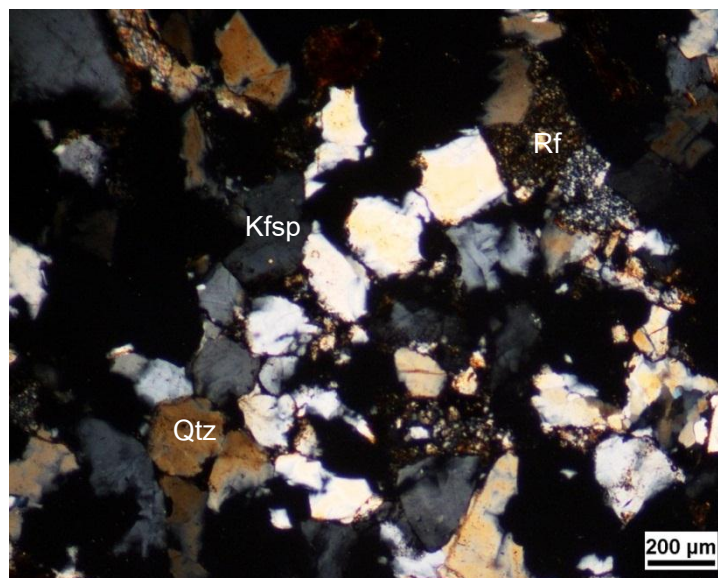
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างหินขัดบางหมวดหินน้ำพอง (S6) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ มีขนาดเม็ดตะกอน medium - fine sand รูปร่าง subangular – subround การัดขนาดค่อนข้างไม่ดี มีสารเชื่อมประสานเป็น ferrogeneous cement จากการนับจำนวนเม็ดแร่พบว่า หินประกอบไปด้วยแร่ควอตซ์ 36.3% แร่เฟลด์สปาร์ 46.1.6 % แร่อื่น 13.1 % จำแนกหินเป็น Lithicarkose (Mcbride, 1963)



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างหินทรายหมวดหินน้ำพอง หมายเลข S6 เชื้อนจุฬารักษ์ ตำบลทุ่งพระ อำเภอกอนสาร จังหวัดชัยภูมิ หินทรายสีม่วงอมน้ำตาลแสดง lamination และ cross lamination ของ mud (สีน้ำตาลเข้ม) ลักษณะคล้ายกับหินตัวอย่าง S5 แต่มีเม็ดตะกอนใหญ่กว่า และเนื้อไม่แน่นมาก อีกทั้งยังมีตัวเชื่อมประสานเป็น ferrogeneous cement

3. หมวดหินภูกระดิ่ง

ตัวอย่างหมายเลข S4



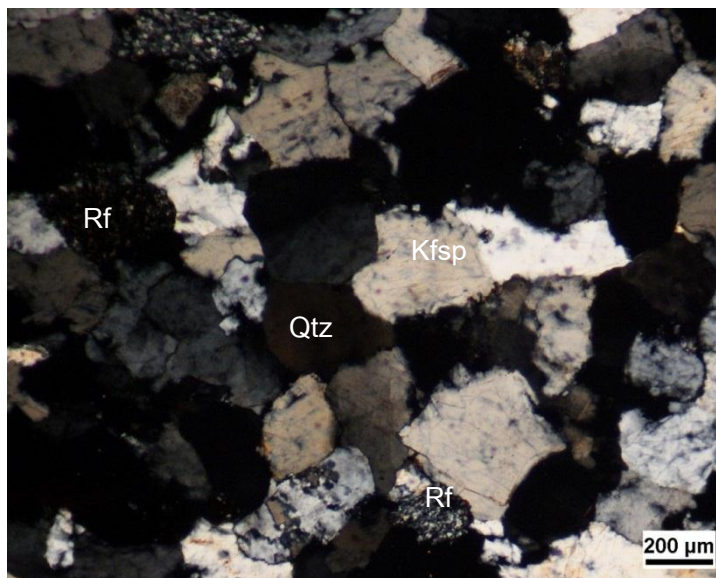
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างหินขัดบางหมวดหินภูกระดิ่ง (S4) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ มีขนาดเม็ดตะกอน very fine sand รูปร่าง subangular – subround การัดขนาดค่อนข้างไม่ดี มีสารเชื่อมประสานเป็น ferrogeneous cement จากการนับจำนวนเม็ดแร่พบว่าหินประกอบไปด้วยแร่ควอตซ์ 64.6% แร่เฟลด์สปาร์ 24.1 % แร่อื่น 11.3 % จำแนกหินเป็น Lithic subarkose (Mcbride, 1963)



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างหินทรายหมวดหินภูกระดิ่ง หมายเลข S4 วัดชัยภูมิพิทักษ์ ถนนทางหลวงหมายเลข 2159 (อ.เมือง-อ.หนองบัวแดง) จังหวัดชัยภูมิ หินทรายสีม่วงน้ำตาล การัดขนาดตะกอนปานกลางถึงดี ตะกอนรูปร่างค่อนข้างกลม ประกอบด้วยแร่ควอตซ์เป็นหลัก พบแร่เฟลด์สปาร์บ้าง

4. หมวดหินพระวิหาร

ตัวอย่างหมายเลข S1



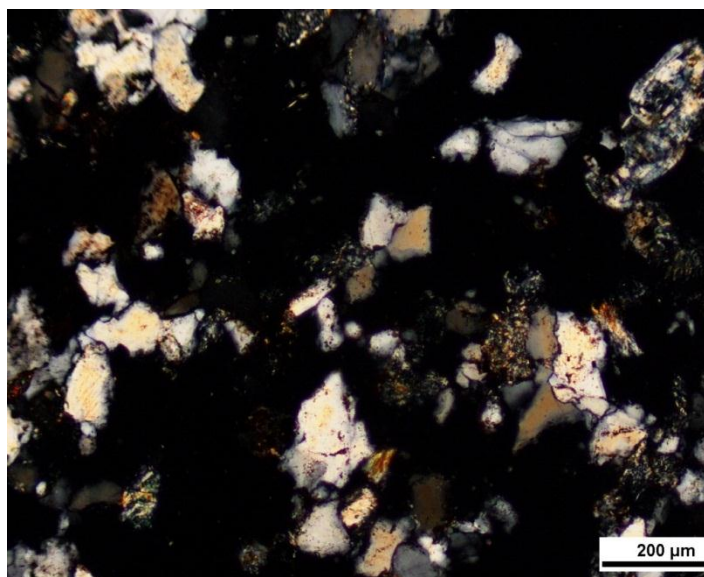
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างหินขัดบางหมวดหินพระวิหาร (S1) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ มีขนาดเม็ดตะกอน medium - fine sand รูปร่าง subangular – subround การัดขนาดปานกลาง มีสารเชื่อมประสานเป็น ferrogeneous cement จากการนับจำนวนเม็ดแร่พบว่าหินประกอบไปด้วยแร่ควอตซ์ 78.9% แร่เฟลด์สปาร์ 13.1 % แร่อื่น 8.0 % จำแนกหินเป็น Subarkose (Mcbride, 1963)



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างหินทรายหมวดหินพระวิหาร หมายเลข S1 โรงเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น อ.โคกโพธิ์ไชย จ.ขอนแก่น หินทรายสีขาว มีการัดขนาดปานกลางถึงดี รูปร่างค่อนข้างกลมมน ประกอบด้วยแร่ควอตซ์เป็นหลัก

5. หมวดหินเสาขรัว

ตัวอย่างหินหมายเลข S9



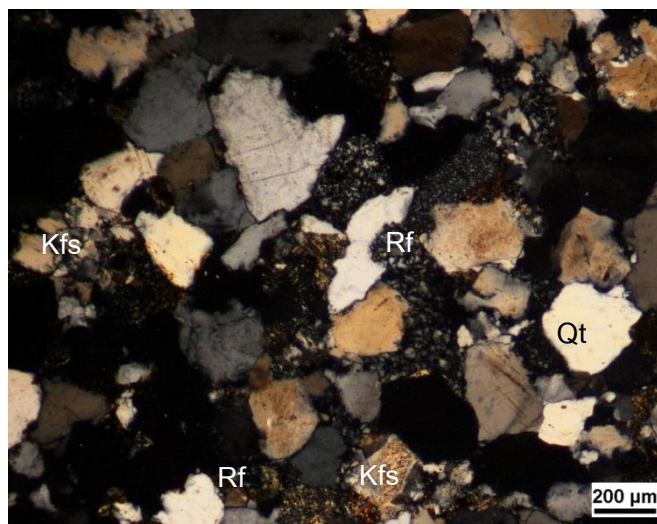
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างหินขัดบางหมวดหินเสาขรัว (S9) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ มีขนาดเม็ดตะกอน fine – very fine sand รูปร่าง subangular – subround การคัดขนาดค่อนข้างไม่ดี มีสารเชื่อมประสานเป็น ferrogeneous cement จากการนับจำนวนเม็ดแร่พบว่า หินประกอบไปด้วยแร่ควอตซ์ 75.6% แร่เฟลด์สปาร์ 15.8 % แร่อื่น 8.6 % จำแนกหินเป็น Subarkose (Mcbride, 1963)



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างหินทรายหมวดหินพระวิหาร หมายเลข S9 ทางขึ้นวัดถ้ำผาแด่น บ้านดงน้อย ต.ดงมะไฟ อ.เมือง จ.สกลนคร เป็นหินทรายเนื้อละเอียดสีแดงน้ำตาล

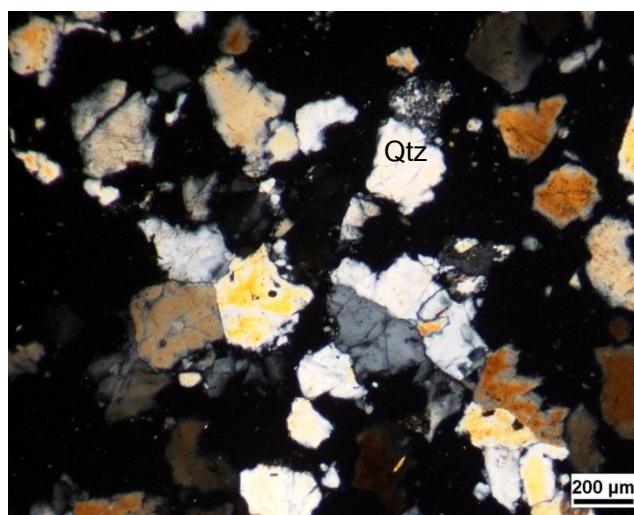
6. หมวดหินภูพาน

ตัวอย่างหินหมายเลข S2



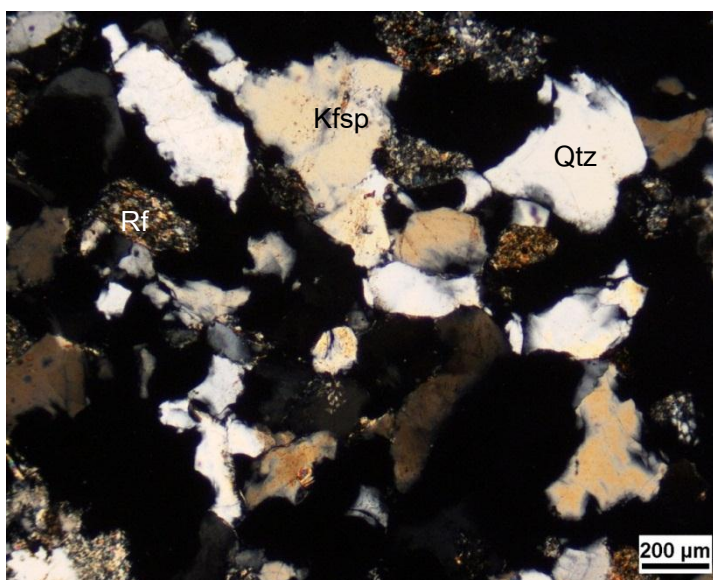
รูปที่ 3.13 ตัวอย่างหินขัดบางหมวดหินภูพาน (S2) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ มีขนาดเม็ดตะกอน medium-fine sand รูปร่าง subangular – subround การคัดขนาดค่อนข้างปานกลาง มีสารเชื่อมประสานเป็น ferrogeneous cement จากการนับจำนวนเม็ดแร่พบว่าหินประกอบไปด้วยแร่ควอซต์ 75.6% แร่เฟลด์สปาร์ 9.1 % แร่อื่น 15.3 % จำแนกหินเป็น Sublithare

ตัวอย่างหมายเลข S3



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างหินขัดบางหมวดหินภูพาน (S3) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ มีขนาดเม็ดตะกอน medium-fine sand รูปร่าง subangular – subround การคัดขนาดค่อนข้างไม่ดี มีสารเชื่อมประสานเป็น ferrogeneous cement จากการนับจำนวนเม็ดแร่พบว่าหินประกอบไปด้วยแร่ควอซต์ 77.9% แร่เฟลด์สปาร์ 12.5 % แร่อื่น 9.6 % จำแนกหินเป็น Subarkose (Mcbride, 1963)

ตัวอย่างหมายเลข S8



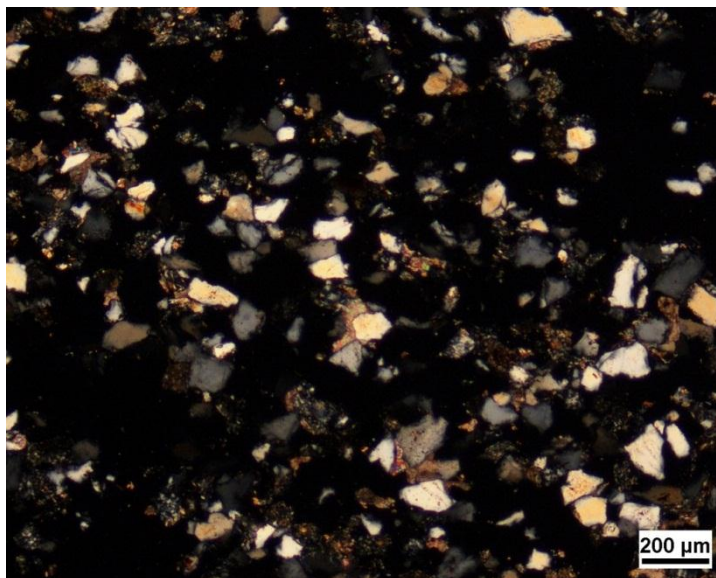
รูปที่ 3.15 ตัวอย่างหินขัดบางหมวดหินภูพาน (S8) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ มีขนาดเม็ดตะกอน medium-fine sand รูปร่าง subangular การคัดขนาดค่อนข้างไม่ดี มีสารเชื่อมประสานเป็น ferrogeneous cement จากการนับจำนวนเม็ดแร่พบว่าหินประกอบไปด้วย แร่ควอตซ์ 76.4% แร่เฟลด์สปาร์ 9.0% แร่อื่น 14.6 % จำแนกหินเป็น Sublitharenite



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างหินทรายหมวดหินภูพาน หมายเลข S8 วัดถ้ำผาแด่น บ้านดงน้อย ต.ดงมะไฟ อ.เมือง จ.สกลนคร หินทรายสีขาวเนื้อหยาบถึงปานกลาง มีกรวดมนแทรกสลับบ้าง เม็ดแร่ส่วนใหญ่เป็นควอตซ์และเฟลด์สปาร์

7. หมวดหินโคกกรวด

ตัวอย่างหมายเลข S10



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างหินขัดบางหมวดหินโคกกรวด (S8) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ มีขนาดเม็ดตะกอน fine sand รูปร่าง subangular - subround การคัดขนาดค่อนข้างดี มีสารเชื่อมประสานเป็น ferrogeneous cement จากการนับจำนวนเม็ดแร่พบว่าหินประกอบไปด้วย แร่ควอตซ์ 65.4% แร่เฟลด์สปาร์ 21.9 % แร่อื่น 12.7 % จำแนกหินเป็น Lithic subarkose

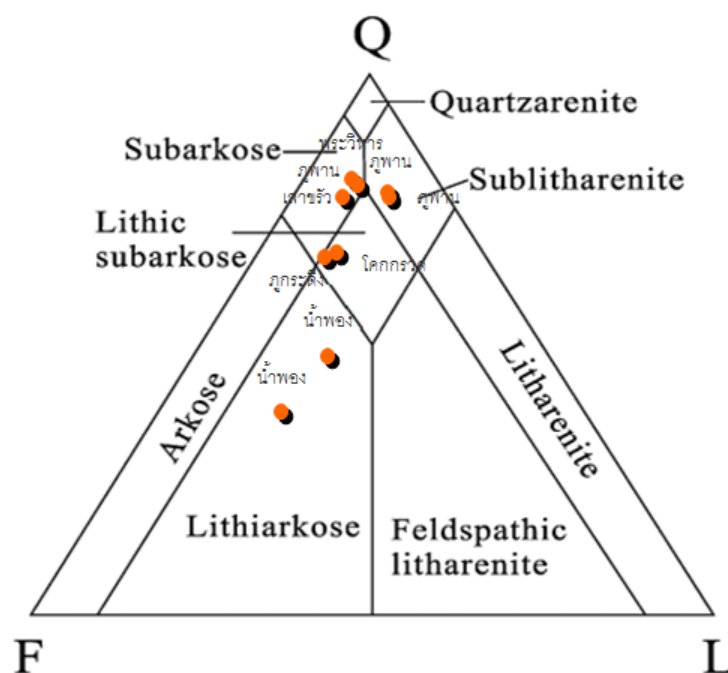


รูปที่ 3.18 ตัวอย่างหินทรายหมวดหินโคกกรวด หมายเลข S10 เชื่อน้ำพุ อ.ภูพาน จ. สกลนคร เป็นหินทรายเนื้อละเอียดสีน้ำตาลอ่อนอมแดง แสดง lamination และ cross-lamination ชัดเจน ซึ่งเป็นตะกอนที่ขนาดละเอียดกว่า (บริเวณสีเข้ม)

ตารางที่ 3.1 สรุปปริมาณแร่องค์ประกอบหินทรายโดยการศึกษาสีลาพรรณนาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์เพื่อนำไปจำแนกประเภทหิน โดยใช้ QFR diagram sandstone classification (McBride,1963)

ตัวอย่าง	หมวดหิน	แร่ควอตซ์ (%)	แร่เฟลด์สปาร์ (%)	แร่/เศษหินอื่น (%)	ชื่อหิน (McBride,1963)
S1	พระวิหาร	78.9	13.1	8	Subarkose
S2	ภูพาน	75.6	9.1	15.3	Sublitharenite
S3	ภูพาน	77.9	12.5	9.6	Subarkose
S4	ภูกระดึง	64.6	24.1	11.3	Lithic subarkose
S5	น้ำพอง	46.7	32.6	20.7	Lithicarkose
S6	น้ำพอง	36.3	44.6	19.1	Lithicarkose
S7	ห้วยหินลาด*	-	-	-	-
S8	ภูพาน	76.4	9	14.6	Sublitharenite
S9	เสาชรั้ว	75.6	15.8	8.6	Subarkose
S10	โคกกรวด	65.4	21.9	12.7	Lithic subarkose

*หินตัวอย่างจากหมวดหินห้วยหินลาดเป็นหินโคลนจึงไม่สามารถนับเม็ดแร่ภายใต้กล้องได้



รูปที่ 3.19 QFR diagram sandstone classification (McBride,1963)

3.2 ธรณีเคมี

การศึกษาธรณีเคมีของผงหินทรายเพื่อหาปริมาณองค์ประกอบออกไซด์ของธาตุหลักและธาตุรอง ได้แก่ SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O และ P_2O_5 ด้วยเครื่องมือ XRF (X-Ray Fluorescence spectrometer) จากผงหินตัวอย่างทั้งหมด 20 ตัวอย่าง 7 หมวดหิน ใน 10 จุดศึกษา ดังนี้

1. หมวดหินห้วยหินลาด จำนวน 2 ตัวอย่าง จาก Road cut กม.81+350 (2219) หล่มเก่า-น้ำหนาว บ.ศิลา ต.ศิลา อ.หล่มเก่า จ.เพชรบูรณ์ (S7-1 และ S7-2)
2. หมวดหินน้ำพอง จำนวน 4 ตัวอย่าง จาก Spill way เขื่อนห้วยกุ่ม ตำบลทุ่งพระ อำเภอกอนสาร จังหวัดชัยภูมิ 2 ตัวอย่าง (S5-1 และ S5-2) และ Spill way เขื่อนจุฬาภรณ์ ตำบลทุ่งพระ อำเภอกอนสาร จังหวัดชัยภูมิ 2 ตัวอย่าง (S6-1 และ S6-2)
3. หมวดหินภูกระดึง จำนวน 2 ตัวอย่าง จากวัดชัยภูมิพิทักษ์ ถนนทางหลวงหมายเลข 2159 (อ.เมือง-อ.หนองบัวแดง) จังหวัดชัยภูมิ (S4-1 และ S4-2)
4. หมวดหินพระวิหาร จำนวน 2 ตัวอย่าง จากโรงเรียนชัยสมบูรณ์พิทยาลัย ต.ชัยสมบูรณ์ อ.โคกโพธิ์ไชย จ.ขอนแก่น (S1-1 และ S1-2)
5. หมวดหินเสาขัว จำนวน 2 จำนวน จากทางขึ้นวัดถ้ำผาแด่น บ้านดงน้อย ต.ดงมะไฟ อ.เมือง จ.สกลนคร (S9-1 และ S9-2)
6. หมวดหินภูพาน จำนวน 6 ตัวอย่าง จากโรงเรียนห้วยต้อนพิทยาคม บ้านห้วยต้อน อ.เมือง จ.ชัยภูมิ จำนวน 2 ตัวอย่าง (S2-1 และ S2-2) ถนนทางหลวงหมายเลข 2159 ห่างจากโรงเรียนพิทยาคมมาทางตะวันตกประมาณ 5 กิโลเมตร 2 ตัวอย่าง (S3-1 และ S3-2) และวัดถ้ำผาแด่น บ้านดงน้อย ต.ดงมะไฟ อ.เมือง จ.สกลนคร จำนวน 2 ตัวอย่าง (S8-1 และ S8-2)
7. หมวดหินโคกกรวด จำนวน 2 ตัวอย่าง จาก Spill way เขื่อนน้ำพุง อ.ภูพาน จ.สกลนคร (S10-1 และ S10-2)

นอกจากนี้ยังนำตัวอย่าง 10 ตัวอย่าง จาก 10 จุดศึกษาที่กล่าวมาข้างต้น ไปศึกษาธรณีเคมีเพื่อหาปริมาณองค์ประกอบออกไซด์ของธาตุรองรอยและธาตุหายากบางธาตุ ด้วยเครื่อง ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometer) ซึ่งทั้งหมดได้ผลดังนี้

ตารางที่ 3.2 ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรอง

Formations	ห้วยหินลาด		น้ำพอง				ภูกระดึง		พระวิหาร		เสาชะริ้ว		ภูพาน						โคกกววด	
Locations	S7-1	S7-2	S5-1	S5-2	S6-1	S6-2	S4-1	S4-2	S1-1	S1-2	S9-1	S9-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S8-1	S8-2	S10-1	S10-2
<i>Major and Minor oxide (Wt%)</i>																				
SiO ₂	57.27	56.68	66.14	66.47	76.88	76.92	81.14	79.47	93.73	95.23	74.03	75.63	92.18	91.13	94.13	93.9	87.44	87.81	66.08	65.42
TiO ₂	0.67	0.67	0.48	0.50	0.44	0.46	0.30	0.38	0.15	0.13	0.43	0.42	0.19	0.19	0.11	0.14	0.17	0.16	0.65	0.64
Al ₂ O ₃	13.70	14.96	9.19	9.34	10.87	11.12	12.08	12.71	4.23	3.23	9.30	9.00	5.59	6.24	5.00	5.33	8.03	8.12	12.62	13.73
Fe ₂ O ₃	6.01	6.01	2.67	2.67	2.87	2.83	2.04	2.55	0.88	0.78	1.88	1.90	0.45	0.41	0.24	0.31	0.67	0.53	3.34	3.30
MnO	0.09	0.09	0.08	0.08	0.02	0.02	0.02	0.03	0.08	0.08	0.12	0.13	0.06	0.07	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04
MgO	2.51	2.80	1.20	1.27	1.04	1.15	1.14	1.72	0.13	0.13	1.73	1.77	0.27	0.32	0.09	0.12	0.95	0.99	2.74	2.94
CaO	6.05	6.59	9.01	9.24	0.80	0.89	0.16	0.27	0.01	0.03	5.42	5.18	0.04	0.05	0.03	0.03	0.08	0.10	5.38	5.79
Na ₂ O	3.69	3.82	3.85	4.22	5.40	5.72	0.23	0.21	0.13	0.09	0.51	0.48	0.41	0.38	0.13	0.07	0.22	0.17	0.57	0.54
K ₂ O	1.87	1.73	0.40	0.19	0.33	0.17	0.90	0.79	0.40	0.17	1.36	1.11	0.34	0.21	0.20	0.06	0.91	0.70	2.25	2.06
P ₂ O ₅	0.14	0.14	0.08	0.07	0.08	0.08	0.02	0.03	0.07	0.06	0.08	0.07	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.11	0.11
LOI	6.24	5.52	5.96	5.76	1.12	1.01	1.65	1.98	0.46	0.37	5.02	4.98	1.34	1.22	0.94	0.97	1.55	1.43	5.15	5.23

* Total Fe as Fe₂O₃

* LOI = Loss on Ignition

ตารางที่ 3.3 สรุปผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรอง

Formations	ห้วยหินลาด			น้ำพอง			ภูกระดึง			พระวิหาร			เสาชะริว			ภูพาน			โคกกรวด		
Locations	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
<i>Major and Minor oxide (Wt%)</i>																					
SiO ₂	57.27	56.68	56.98	76.92	66.14	71.60	81.14	79.47	80.31	95.23	93.73	94.48	75.63	74.03	74.83	94.13	87.44	91.10	66.08	65.42	65.75
TiO ₂	0.67	0.67	0.67	0.50	0.44	0.47	0.38	0.30	0.34	0.15	0.13	0.14	0.43	0.42	0.43	0.19	0.11	0.16	0.65	0.64	0.65
Al ₂ O ₃	14.96	13.70	14.33	11.12	9.19	10.13	12.71	12.08	12.40	4.23	3.23	3.73	9.30	9.00	9.15	8.12	5.00	6.39	13.73	12.62	13.18
Fe ₂ O ₃	6.01	6.01	6.01	2.87	2.67	2.76	2.55	2.04	2.30	0.88	0.78	0.83	1.90	1.88	1.89	0.67	0.24	0.44	3.34	3.30	3.32
MnO	0.09	0.09	0.09	0.08	0.02	0.05	0.03	0.02	0.03	0.08	0.08	0.08	0.13	0.12	0.13	0.07	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04
MgO	2.80	2.51	2.66	1.27	1.04	1.17	1.72	1.14	1.43	0.13	0.13	0.13	1.77	1.73	1.75	0.99	0.09	0.46	2.94	2.74	2.84
CaO	6.59	6.05	6.32	9.24	0.80	4.99	0.27	0.16	0.22	0.03	0.01	0.02	5.42	5.18	5.30	0.10	0.03	0.06	5.79	5.38	5.59
Na ₂ O	3.69	3.82	3.76	5.72	3.85	4.80	0.23	0.21	0.22	0.13	0.09	0.11	0.51	0.48	0.50	0.41	0.07	0.23	0.57	0.54	0.56
K ₂ O	1.87	1.73	1.80	0.4	0.17	0.27	0.90	0.79	0.85	0.40	0.17	0.29	1.36	1.11	1.24	0.91	0.06	0.40	2.25	2.06	2.16
P ₂ O ₅	0.14	0.14	0.14	0.08	0.07	0.08	0.03	0.02	0.03	0.07	0.06	0.07	0.08	0.07	0.08	0.04	0.02	0.03	0.11	0.11	0.11

* Total Fe as Fe₂O₃

ตารางที่ 3.4 ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุรองรอยและธาตุหายาก

Formations	ห้วยหินลาด	น้ำพอง		ภูกระดึง	พระวิหาร	เสาชะริว	ภูพาน			โคกกรวด
Locations	S7	S5	S6	S4	S1	S9	S2	S3	S8	S10
<i>Element (Wt%)</i>										
Al	8.39	4.60	4.99	3.29	1.02	3.21	1.94	1.48	2.21	4.39
Ca	4.30	5.40	0.50	<0.10	<0.10	2.80	<0.10	<0.10	<0.10	2.60
Fe	4.34	2.14	1.97	1.20	0.52	1.24	0.30	0.17	0.40	2.17
K	1.70	0.30	0.20	0.50	0.20	1.00	0.20	0.10	0.60	1.50
Mg	1.57	0.46	0.35	0.32	0.04	0.54	0.09	0.02	0.25	0.90
Ti	0.40	0.32	0.27	0.15	0.07	0.25	0.10	0.06	0.08	0.36
P	0.08	0.03	0.03	<0.01	0.02	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	0.05
<i>Trace element and REE (ppm)</i>										
Ba	219.00	53.90	69.60	48.10	275.00	183.00	74.50	108.00	69.20	261.00
Be	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
Cr	40.00	40.00	20.00	<10.00	<10.00	20.00	<10.00	<10.00	<10.00	30.00
Cu	42.00	25.00	14.00	5.00	<5.00	10.00	<5.00	10.00	6.00	6.00
Li	70.00	20.00	10.00	20.00	<10.00	20.00	<10.00	<10.00	10.00	30.00
Mn	790.00	690.00	130.00	110.00	<10	930.00	440.00	170.00	220.00	280.00

ตารางที่ 3.4 ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุรองรอยและธาตุหายาก (ต่อ)

Formations	ห้วยหินลาด	น้ำพอง		ภูกระดึง	พระวิหาร	เสาชรั้ว	ภูพาน			โคกกรวด
Locations	S7	S5	S6	S4	S1	S9	S2	S3	S8	S10
<i>Trace element and REE (ppm)</i>										
Ni	27.00	14.00	11.00	10.00	<5.00	14.00	8.00	<5.00	7.00	20.00
Sc	13.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
Sr	452.00	172.00	141.00	7.80	8.80	32.20	8.60	11.50	4.10	47.20
V	132.00	100.00	72.00	17.00	12.00	39.00	16.00	9.00	12.00	51.00
Zn	84.00	26.00	111.00	34.00	<5	30.00	14.00	<5	11.00	42.00
Ag	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
As	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
Bi	0.30	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Cd	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Ce	44.80	22.10	16.20	73.00	41.90	53.80	35.50	65.50	27.40	51.30
Cs	7.30	0.90	1.00	3.80	0.50	2.80	0.90	0.60	1.80	2.80
Dy	4.30	2.25	1.82	3.43	2.15	4.50	6.04	2.29	1.76	2.70
Er	2.40	1.29	1.01	1.90	0.85	2.43	2.77	1.08	1.08	1.52
Eu	1.07	0.72	0.60	0.80	0.94	1.08	1.91	0.95	0.41	0.80
Ga	18.00	9.00	9.00	8.00	2.00	8.00	4.00	3.00	5.00	12.00

ตารางที่ 3.4 ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุรองรอยและธาตุหายาก (ต่อ)

Formations	ห้วยหินลาด	น้ำพอง		ภูกระดึง	พระวิหาร	เสาชรี	ภูพาน			โคกกรวด
Locations	S7	S5	S6	S4	S1	S9	S2	S3	S8	S10
<i>Trace element and REE (ppm)</i>										
Gd	4.49	2.45	2.11	4.28	3.46	4.99	8.10	3.25	1.85	3.15
Ge	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Hf	4.00	4.00	3.00	12.00	2.00	11.00	2.00	2.00	3.00	8.00
Ho	0.85	0.44	0.35	0.62	0.35	0.89	1.09	0.40	0.36	0.51
In	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
La	22.10	12.10	8.60	37.10	18.50	27.20	31.40	28.40	14.30	27.20
Lu	0.39	0.23	0.18	0.32	0.10	0.40	0.34	0.16	0.18	0.28
Mo	3.00	<2.00	<2.00	3.00	2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	5.00
Nb	8.00	4.00	3.00	7.00	3.00	8.00	4.00	2.00	4.00	10.00
Nd	21.00	11.30	8.40	28.40	21.00	27.10	36.50	24.90	10.50	20.60
Pb	29.00	12.00	9.00	9.00	25.00	11.00	12.00	7.00	15.00	10.00
Pr	5.69	3.17	2.34	8.10	5.76	7.74	9.67	7.36	3.34	6.16
Rb	82.20	12.50	9.30	32.80	10.40	48.50	17.20	7.00	32.00	66.60
Sb	0.20	0.50	0.50	0.60	0.20	0.40	0.20	0.20	0.30	0.50
Sm	4.70	2.60	2.00	5.40	4.20	5.60	8.60	4.70	2.00	4.10

ตารางที่ 3.4 ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุรองรอยและธาตุหายาก (ต่อ)

Formations	ห้วยหินลาด	น้ำพอง		ภูกระดึง	พระวิหาร	เสาชรั้ว	ภูพาน			โคกกรวด
Locations	S7	S5	S6	S4	S1	S9	S2	S3	S8	S10
<i>Trace element and REE (ppm)</i>										
Sn	3.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00
Ta	0.60	0.90	1.20	1.50	2.30	1.20	4.10	2.70	2.10	1.10
Tb	0.70	0.40	0.31	0.62	0.46	0.79	1.15	0.45	0.28	0.50
Th	9.30	3.20	2.90	15.80	2.70	10.50	4.10	3.40	5.70	8.20
Tl	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50
Tm	0.38	0.22	0.17	0.28	0.12	0.40	0.39	0.15	0.18	0.27
U	1.74	1.02	0.77	2.67	0.70	1.95	0.91	0.77	0.98	2.07
W	46.00	396.00	649.00	604.00	1170.00	406.00	2380.00	1540.00	1190.00	312.00
Y	24.30	13.40	11.00	16.10	7.60	24.80	34.30	11.60	11.20	14.90
Yb	2.50	1.50	1.10	1.90	0.60	2.70	2.30	1.00	1.10	1.80
Zr	124.00	154.00	92.60	438.00	65.30	362.00	64.40	67.10	98.50	282.00

นอกจากนี้ได้ศึกษาธรณีเคมีของตัวอย่างหินหมวดหินห้วยหินลาดเพิ่มเติมจากตัวอย่างที่ได้จากการออกภาคสนามโดยวิเคราะห์หาปริมาณออกไซด์ของธาตุหลักและธาตุรอง ได้แก่ SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O และ P_2O_5 ด้วยเครื่องมือ XRF (X-Ray Fluorescence spectrometer) ทั้งหมด 8 ตัวอย่าง จาก 4 ตำแหน่ง ดังนี้

1. ตัวอย่างจากบ้านดงสระคร่าน อ.ภูผาม่าน จ.ขอนแก่น จำนวน 2 ตัวอย่าง
(hhl1-1 และ hhl1-2)
2. น้ำตกเหวตาตหมอก อ.น้ำหนาว จ.เพชรบูรณ์ จำนวน 2 ตัวอย่าง
(hhl2-1 และ hhl2-2)
3. ตัวอย่างจาก วัดวังทองสามัคคีธรรม อ.ภูผาม่าน จ.ขอนแก่น จำนวน 2 ตัวอย่าง
(hhl3-1 และ hhl3-2)
4. ตัวอย่างจาก อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา จำนวน 2 ตัวอย่าง
(hhl1-1 และ hhl1-2)

ตารางที่ 3.5 ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรอง

Formations	ห้วยหินลาด							
Samples	hhl1-1	hhl1-2	hhl2-1	hhl2-2	hhl3-1	hhl3-2	hhl4-1	hhl4-2
<i>Major and Minor oxide (Wt%)</i>								
SiO_2	62.36	62.15	40.38	40.31	42.70	42.28	41.44	41.49
TiO_2	0.79	0.81	0.35	0.35	0.32	0.32	0.29	0.29
Al_2O_3	21.03	21.12	9.67	9.71	9.33	9.36	8.55	8.39
Fe_2O_3	5.52	5.48	3.66	3.64	2.78	2.89	2.75	2.77
MnO	0.01	0.01	0.08	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05
MgO	1.57	1.59	7.09	7.10	6.44	6.44	8.43	8.30
CaO	1.87	1.87	16.85	16.88	17.92	17.83	18.52	18.21
Na_2O	0.83	0.85	3.48	3.52	3.61	3.58	3.47	3.39
K_2O	3.33	3.34	2.12	2.10	2.58	2.59	1.31	1.29
P_2O_5	0.11	0.10	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06
LOI	2.25	2.31	15.97	15.78	14.04	14.02	13.10	13.06

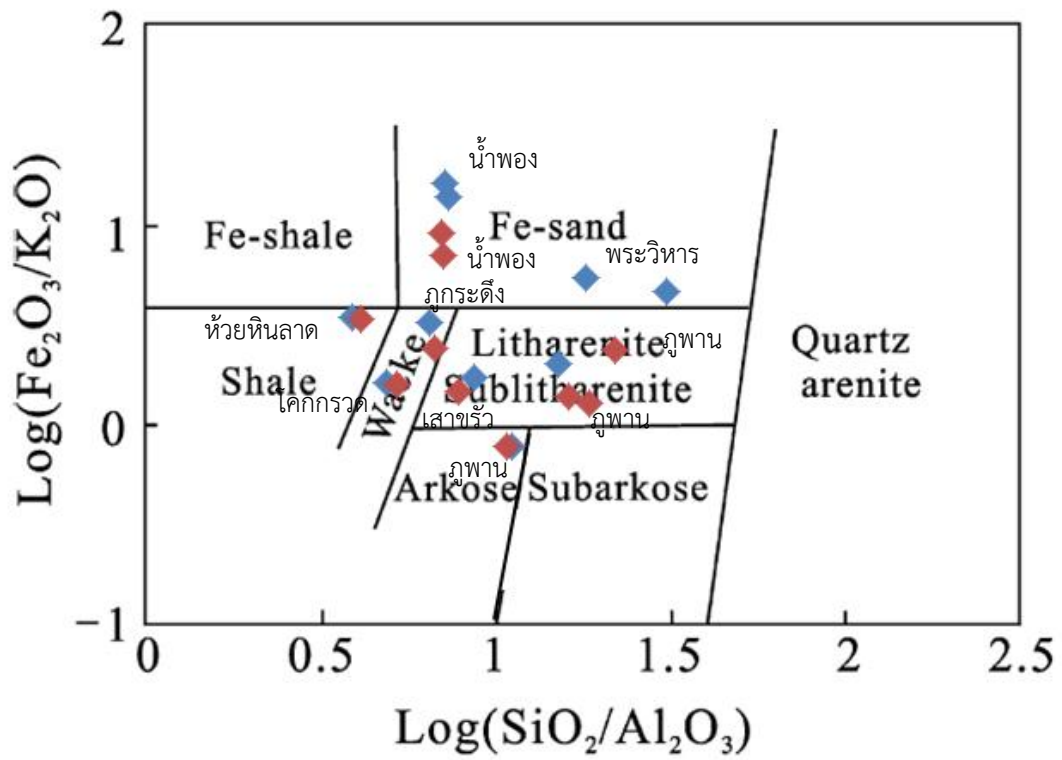
* Total Fe as Fe_2O_3

* LOI = Loss on Ignition

จากการศึกษาธรณีเคมีของหินได้นำผลการวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์ของธาตุหลักและออกไซด์ของธาตุรองมาจำแนกชนิดของหินโดยใช้ Chemical classification of sandstones (Herron, 1988) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 3.6 Chemical classification of sandstones (Herron, 1988) โดยใช้ปริมาณออกไซด์ของธาตุหลักและออกไซด์ของธาตุรอง

หมวดหิน	ตัวอย่าง	ชนิดหิน (Herron, 1988)
โคกกรวด	S10-1	Wacke
	S10-2	Wacke
ภูพาน	S8-1	Arkose
	S8-2	Arkose
	S3-1	Fe-sand
	S3-2	Sublitharenite
	S2-1	Litharenite
	S2-2	Sublitharenite
เสาชรี	S9-1	Sublitharenite
	S9-2	Sublitharenite
พระวิหาร	S1-1	Fe-sand
	S2-1	Litharenite
ภูกระดึง	S4-1	Wacke
	S4-2	Wacke
น้ำพอง	S6-1	Fe-sand
	S6-2	Fe-sand
	S5-1	Fe-sand
	S5-2	Fe-sand
ห้วยหินลาด	S7-1	Shale
	S7-2	Shale



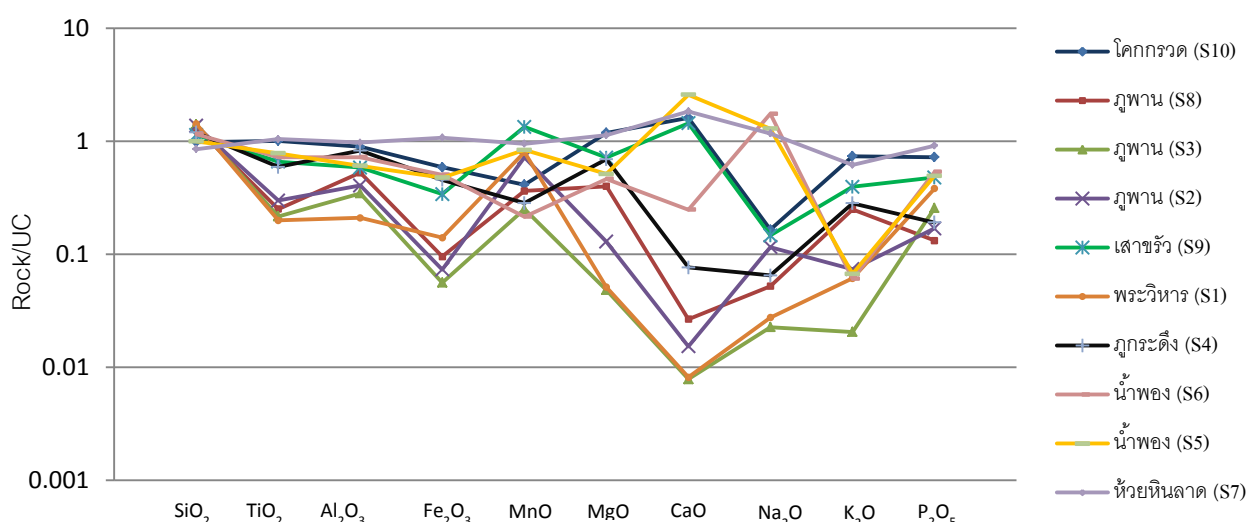
รูปที่ 3.20 Chemical classification of sandstones (Herron, 1988)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์ของธาตุหลักและธาตุรองนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์ของธาตุหลักและธาตุรองเปลือกโลกภาคพื้นทวีปช่วงบน (upper continental crust) ของ Rudnick และ Gao ในปี 2003 (ตารางที่ 3.7) ได้ผลดังรูปที่ 3.21

ตารางที่ 3.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์ของธาตุหลักและธาตุรองของเปลือกโลกภาคพื้นทวีปช่วงบน (upper continental crust) ของ Rudnick และ Gao ในปี 2003

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
UCC* (wt%)	66.60	0.64	15.40	5.60	0.10	2.48	3.59	3.27	2.80	0.15

*UCC = Upper continental crust



รูปที่ 3.21 ผลการเปรียบเทียบปริมาณออกไซด์ของธาตุหลักและธาตุรองของหินตัวอย่างและเปลือกโลกภาคพื้นทวีปช่วงบน (upper continental crust) (Rudnick และ Gao, 2003)

จากกราฟพบว่าปริมาณ SiO₂ มีค่าใกล้เคียงกับ UCC ส่วน TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O และ P₂O₅ มีแนวโน้มจะมีค่าต่ำกว่า UCC แต่จะเห็นว่าในบางตัวอย่างนั้นมีค่า CaO สูงกว่าค่า UCC ซึ่งจากผลการศึกษาศิลาวรรณนาพบว่าตัวอย่างหินเหล่านั้นมีตัวเชื่อมประสานเป็นแร่แคลไซต์ (calcareous cement) จึงส่งผลให้ปริมาณ CaO ในตัวอย่างสูงสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ทางเคมี นอกจากนี้จะพบว่า Na₂O ในบางตัวอย่างมีค่าสูงกว่า UCC ซึ่งจากผลการศึกษาศิลาวรรณนาพบว่าตัวอย่างหินเหล่านั้นมีแร่แอลไบต์ (albite) เป็นแร่องค์ประกอบ

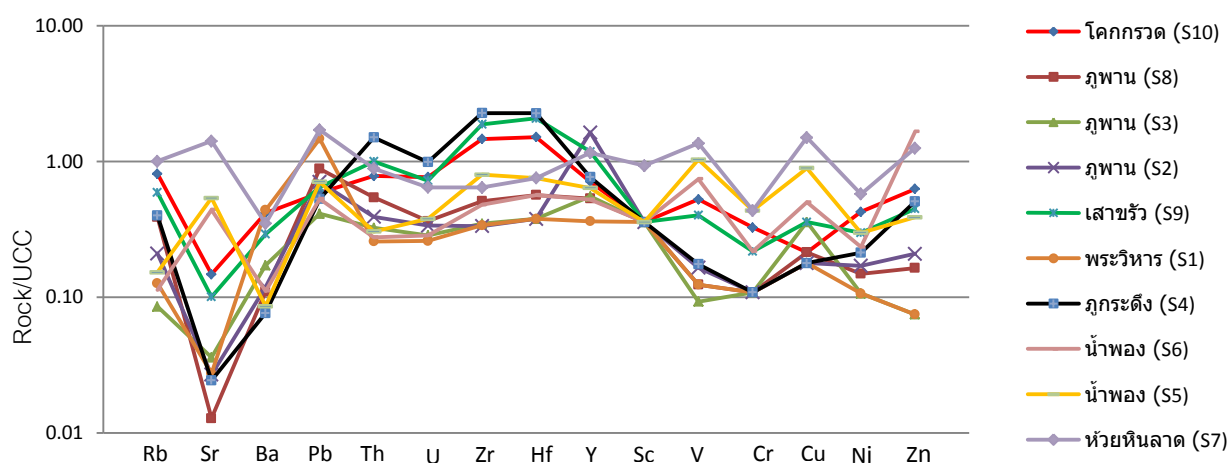
ซึ่งแร่แอลไบต์นั้นเป็น Na-plagioclase จึงส่งผลให้ปริมาณ Na_2O ในตัวอย่างสูง สอดคล้องกับผลวิเคราะห์ทางเคมี

นอกจากนี้เมื่อนำค่าจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยและธาตุหายาก (trace element and rare earth element) ในหินตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยและธาตุหายากในเปลือกโลกภาคพื้นทวีปช่วงบน (upper continental crust) ของของ Rubdick และ Gao ในปี 2003 (ตารางที่ 3.8) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 3.8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอย(trace element)ของเปลือกโลกภาคพื้นทวีปช่วงบน (upper continental crust) ของ Rudnick และ Gao ในปี 2003

	Rb	Sr	Ba	Pb	Th	U	Zr	Hf	Y	Sc	V	Cr	Cu	Ni	Zn
UCC*(ppm)	82	320	628	17	10.5	2.7	193	5.3	21	14	97	92	28	47	67

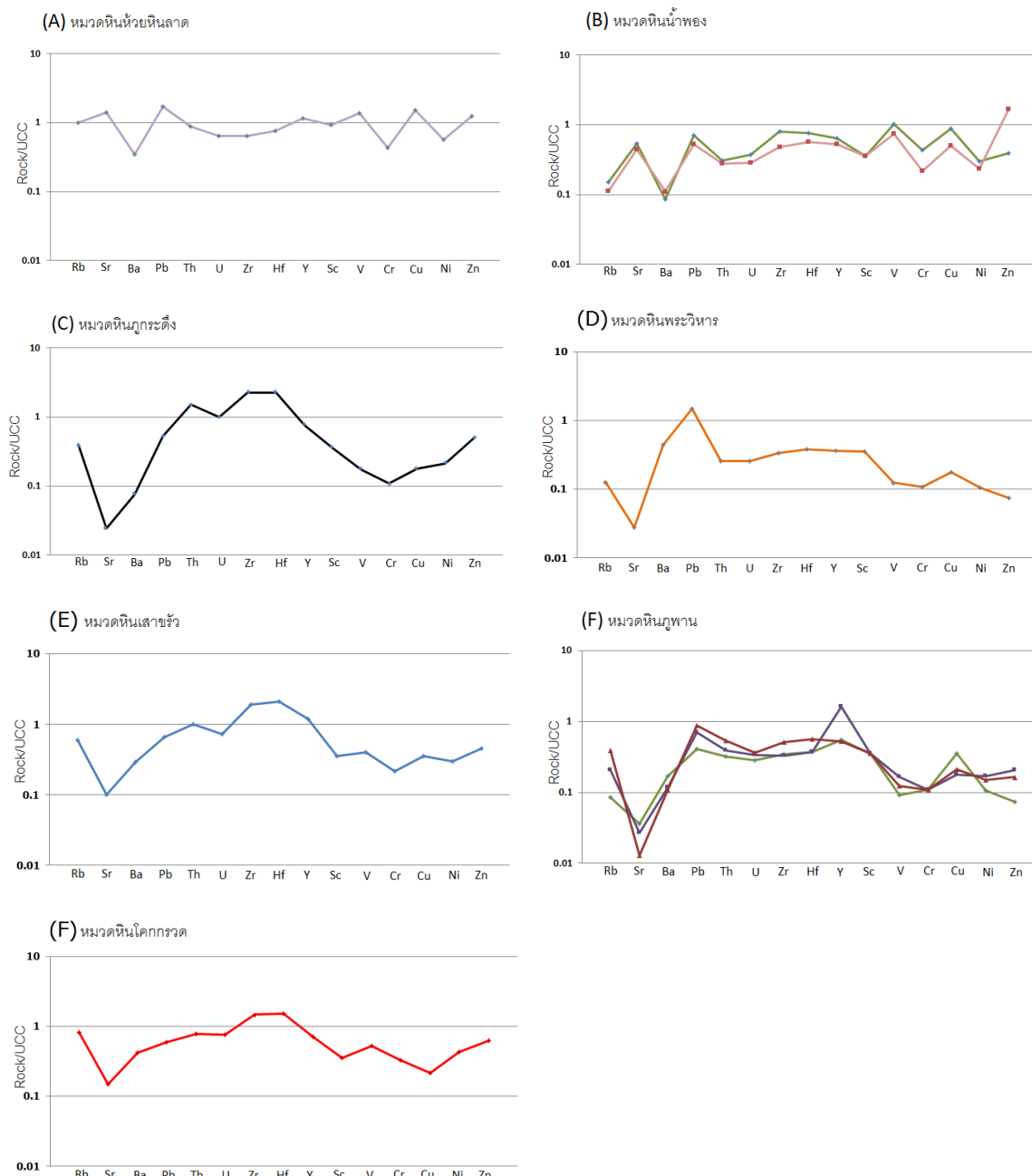
*UCC = Upper continental crust



รูปที่ 3.22 ผลการเปรียบเทียบปริมาณปริมาณธาตุร่องรอย(trace element)ระหว่างหินตัวอย่างจากสิบลูกศรศึกษาและเปลือกโลกภาคพื้นทวีปช่วงบน (upper continental crust) โดย Rudnick และ Gao (2003)

ธาตุร่องรอยนั้นจากกราฟพบว่าปริมาณธาตุ Sc, V, Cr, Cu, Ni และ Zn มีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับ UCC ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกว่าตัวอย่างหินนั้นมีแร่องค์ประกอบของธาตุเมฟิก (mafic minerals) น้อยมากซึ่งธาตุเหล่านี้จะพบปริมาณน้อยเมื่อหินนั้นมีองค์ประกอบของ SiO_2 สูง

นอกจากนี้การลดลงของธาตุ Sr เมื่อเทียบกับ UCC นั้นยังเป็นผลมาจากการที่ตัวอย่างหินมี CaO เป็นองค์ประกอบมากด้วยเช่นกัน



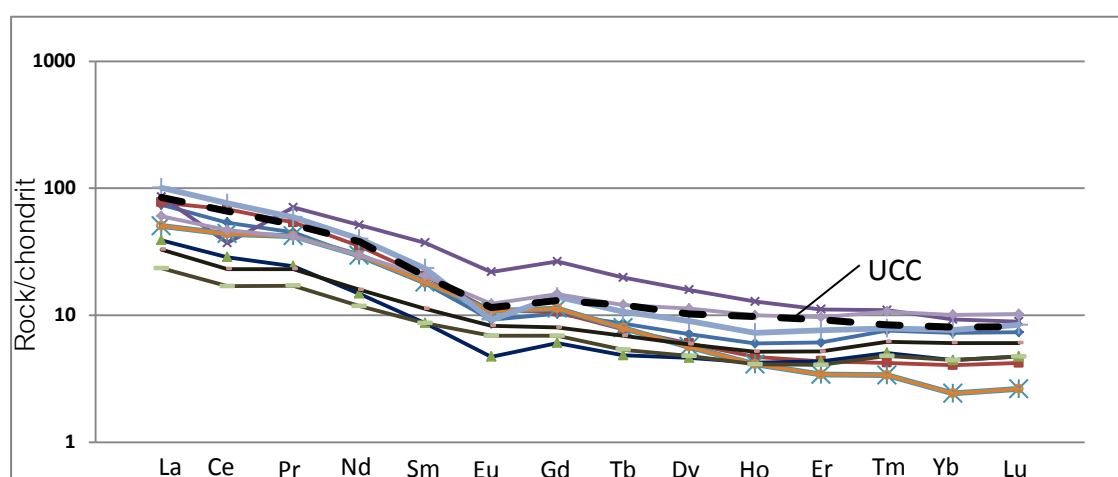
รูปที่ 3.33 ผลการเปรียบเทียบปริมาณธาตุร่องรอยและธาตุหายากระหว่างหินตัวอย่างและเปลือกโลกภาคพื้นทวีปช่วงบน (upper continental crust) โดย Rudnick และ Gao (2003) ได้แก่ (A)หมวดหินห้วยหินลาด (B)หมวดหินน้ำพอง (C)หมวดหินภูกระดึง (D)หมวดหินพระวิหาร (E)หมวดหินเสาขัว (F)หมวดหินภูพาน (G)หมวดหินโคกกรวด

จากกราฟจะพบว่า มีเพียงตัวอย่างหินจากหมวดหินห้วยหินลาดเท่านั้นที่มีปริมาณ Sr สูงกว่า UCC และในตัวอย่างหินจากหมวดหินภูกระดึง เสาขรุ้ง และโคกกรวด มีปริมาณ Zr และ Hf สูง ซึ่งหมวดหินเหล่านี้อาจมีแร่เซอร์คอน (zircon) เป็นเศษแร่องค์ประกอบ (rock fragment) อยู่มาก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสิลาวรรณนาที่จำแนกประเภทหินให้เป็น Lithic subarkose แต่อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างหินส่วนใหญ่มีปริมาณธาตุ Sc, V, Cr, Cu, Ni และ Zn มีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับ UCC ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกว่าตัวอย่างหินนั้นมีแร่องค์ประกอบของธาตุเมฟิก (mafic minerals) น้อยมากซึ่งธาตุเหล่านี้จะพบปริมาณน้อยเมื่อหินนั้นมีองค์ประกอบของ SiO_2 สูง

เมื่อนำข้อมูลปริมาณธาตุหายากในหินตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุหายากใน Chondrite โดยใช้ข้อมูล Chondrite normalize REE ของ Taylor and McLennan ในปี 1985

ตารางที่ 3.9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุหายากในหินตัวอย่างเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุหายาก (rare earth element) จาก chondrite โดย Taylor and McLennan ในปี 1985 (Chondrite value used in normalizing REE (concentrations in ppm))

La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
0.367	0.957	0.137	0.711	0.231	0.087	0.306	0.058	0.381	0.085	0.249	0.0356	0.248	0.038



รูปที่ 3.34 ผลการเปรียบเทียบปริมาณธาตุหายาก Chondrite normalized REE patterns. Data for UCC and Chondrite are from Rudnick and Gao (2003) and Taylor and McLennan (1985)

บทที่ 4 อภิปรายผล

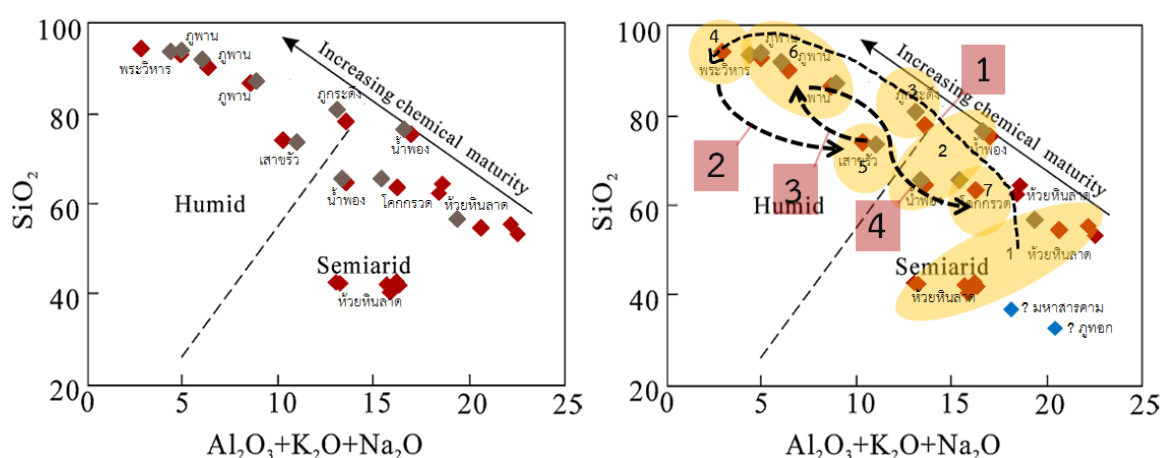
- 4.1 สภาพภูมิอากาศโบราณ
- 4.2 หินต้นกำเนิด
- 4.3 ธรณีแปรสัณฐาน
- 4.4 แบบจำลองธรณีแปรสัณฐาน

บทที่ 4

อภิปรายผล

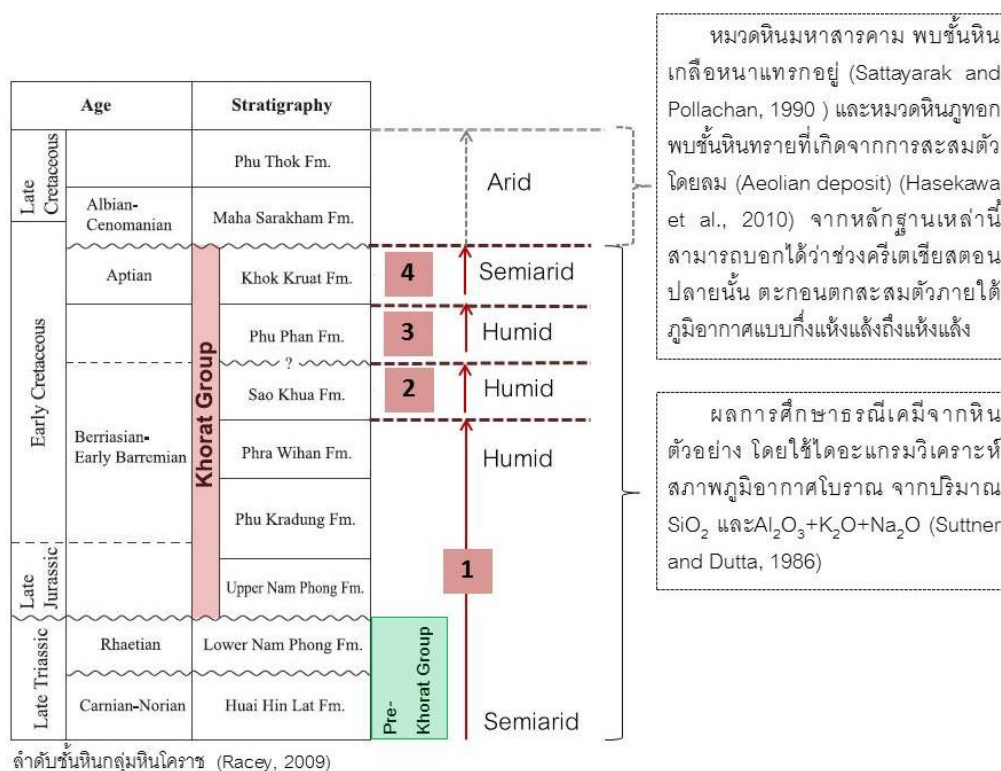
4.1 สภาพภูมิอากาศโบราณ (Paleoclimate)

จากการวิจัยของกรมทรัพยากรธรณี (2550) ได้กล่าวถึงสภาพแวดล้อมโบราณในแต่ละหมวดหิน ซึ่งแต่ละหมวดหินนั้นมีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโบราณในแต่ละช่วงอายุ ดังนั้นจากข้อมูลทางเคมีในงานวิจัยนี้จึงนำมาใช้วิเคราะห์สภาพภูมิอากาศโบราณ โดยใช้ข้อมูลออกไซด์ของธาตุหลักและธาตุรอง



รูปที่ 4.1 ไดอะแกรมวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศโบราณ โดยใช้ข้อมูลปริมาณ SiO_2 และ $(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ ของ Suttner และ Dutta (1986) (ซ้าย) ข้อมูลจากผลการศึกษารณีเคมี (ขวา) ข้อมูลจากผลการศึกษารณีเคมีซ้อนทับด้วยหมายเลขลำดับชั้นหิน

จากไดอะแกรมข้างต้นพบว่าสอดคล้องกันกับข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณี โดยในแต่ละช่วงเวลานั้นมีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโบราณสลับไปมาระหว่างสภาพภูมิอากาศแบบกึ่งแห้งแล้งและร้อนชื้น โดยในหินยุคไทรแอสสิก (หมวดหินห้วยหินลาดและน้ำพอง) ตกสะสมภายใต้สภาพภูมิอากาศแบบกึ่งแห้งแล้ง ในยุคจูแรสสิก (หมวดหินภูกระดึง) ตกสะสมตัวภายใต้สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงจากกึ่งแห้งแล้งไปเป็นร้อนชื้น ในขณะที่ในยุคครีเตเชียส (หมวดหินพระวิหาร เสาชะริว ภูพานและโคกกรวด) มีการตกสะสมตัวภายใต้สภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นก่อนที่จะเปลี่ยนแปลงเป็นแบบกึ่งแห้งแล้งในหมวดหินโคกกรวด

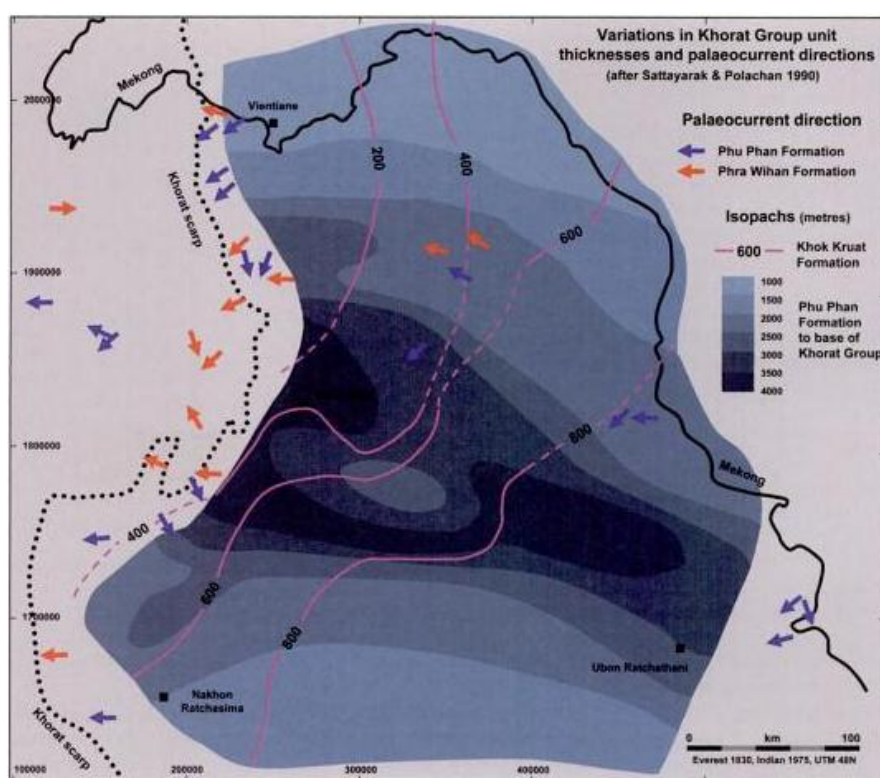


รูปที่ 4.2 แผนภาพการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโบราณกลุ่มหินโคราชจากผลการศึกษารณีเคมี โดยใช้ลำดับชั้นหินกลุ่มหินโคราชของ Racey (2009)

นอกจากนี้จากการศึกษาลำดับชั้นหินของ Meesuk และคณะ (2001) พบชั้นหินเกลือหนาในหมวดหินมหาสารคาม และพบชั้นหินทรายที่เกิดจากการสะสมตัวโดยลม (Aeolian deposit) ในหมวดหินภูทอก จากหลักฐานเหล่านี้สามารถบอกได้ว่าในช่วงครีเตเชียสตอนปลายนั้น ตะกอนตกสะสมตัวภายใต้ภูมิอากาศแบบกึ่งแห้งแล้งถึงแห้งแล้ง

เมื่อพิจารณาจากไดอะแกรมที่ได้พบว่าตัวอย่างที่นำมาศึกษานั้น ในอายุที่แก่กว่า (หมวด หินห้วยหินลาดและน้ำพอง มีอายุไทรแอสสิกตอนปลายจนถึงจูแรสสิก (Meesook และ Saengsrichan, 2554)) มีต้นกำเนิดมาจากหินจำพวก Intermediate igneous rocks, Felsic igneous rocks และ Quartzose sedimentary rocks และหมวดหินภูกระดึง พระวิหาร เสาขรัว ภูพาน และโคกกรวด (อายุจูแรสสิกถึงครีเตเชียส (Meesook และ Saengsrichan, 2554)) มีต้นกำเนิดมาจาก Quartzose sedimentary rocks

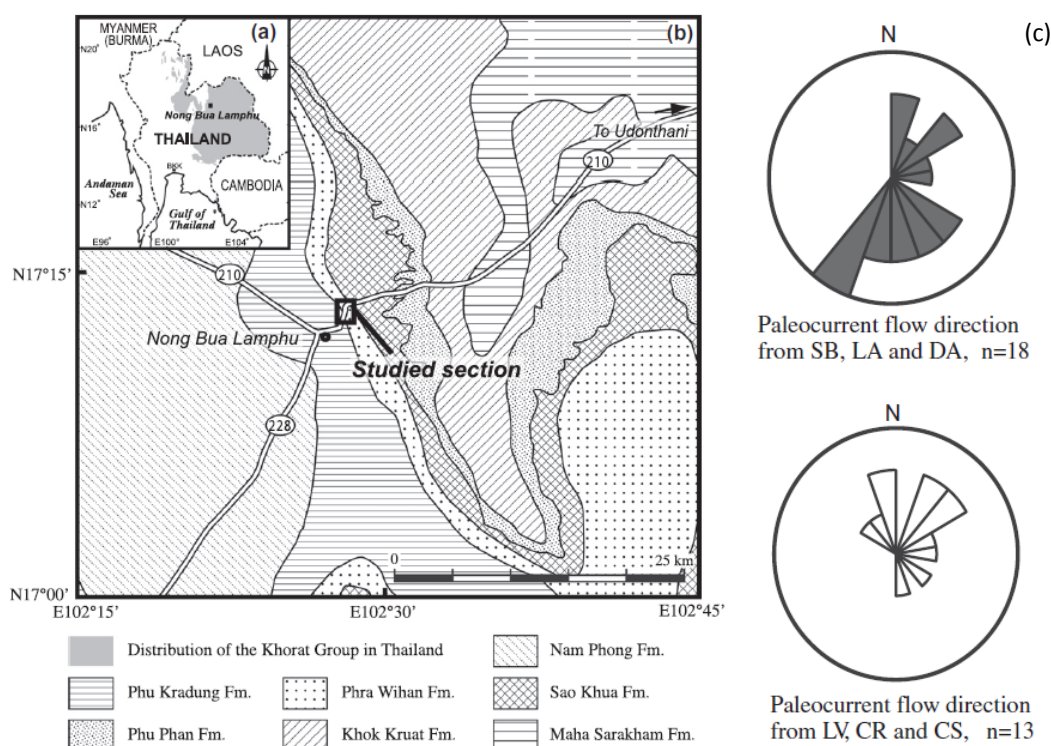
4.2.1 กระแสน้ำโบราณ (Paleocurrent)



รูปที่ 4.5 แผนที่ความหนาของชั้นหิน (isopach map) จากส่วนล่างสุดของกลุ่มหินโคราชถึงส่วนบนสุดของหมวดหินภูพาน (ภาพจากหนังสือ The Geology of Thailand โดย Ridd และคณะ (2011)) จากแผนที่แสดงความหนาที่เพิ่มขึ้นสู่กลางแอ่ง และทิศทางของกระแสน้ำโบราณส่วนใหญ่มาจากทิศตะวันออกและทิศเหนือเข้าสู่กลางแอ่งตะกอน โดยพาตะกอนมาจากทางเหนือ ได้และตะวันออก (Sattayarak และ Polachan (1990))

จากงานวิจัยของ Yu และคณะ (2012) ในหัวข้อ Identification of an anastomosing river system in the Early Cretaceous Khorat Basin, northeastern Thailand, using stratigraphy and paleosols ซึ่งส่วนหนึ่งของงานวิจัยได้ศึกษากระแสน้ำโบราณโดยใช้ (1)

vertical or lateral changes in fluvial style, (2) tributary or distributary patterns, (3) local and regional paleoflow patterns, (4) vertical changes in flow direction through a stratigraphic section as indicators of interacting fluvial systems, and (5) vertical changes in the orientation of a system (Miall, 1996).

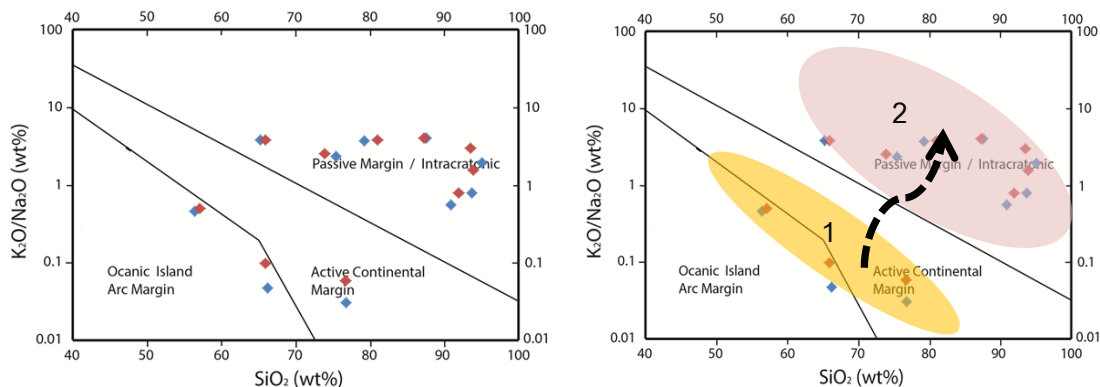


รูปที่ 4.6 (a)และ(b) พื้นที่ศึกษา หินโคลนบริเวณถนนทางหลวงหมายเลข 210 จังหวัดหนองบัวลำภู ประเทศไทย โดย (b) แสดงการกระจายตัวของกลุ่มหินโคราชในพื้นที่ศึกษา (Chonglakmani และคณะ (1979) และกรมทรัพยากรธรณี (1999).)

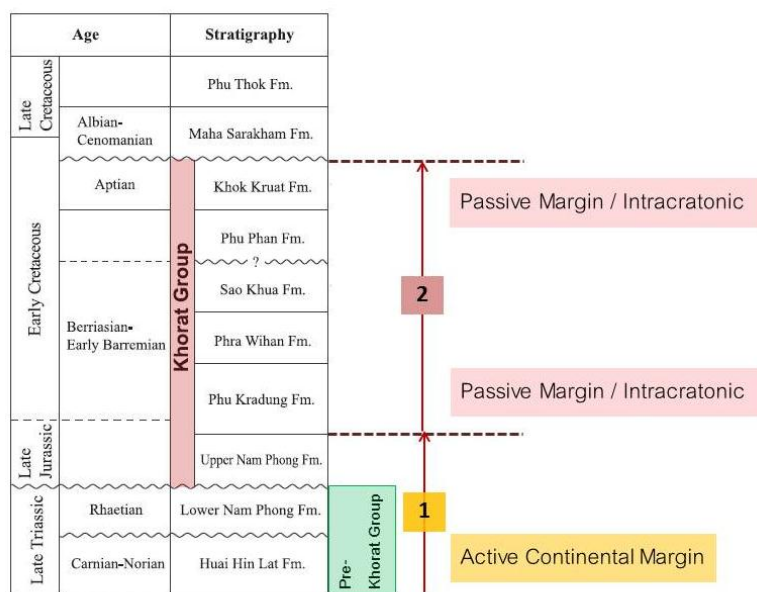
(c) Rose Diagrams แสดงทิศทางของกระแสโบราณ ภาพบนเป็นข้อมูลจาก channel-fill (SB = sandy bedforms, LA = lateral accretion, DA = downstream accretion) พบว่ากระแสโบราณมีทิศทางหลักไปทางตะวันตกเฉียงใต้ (a predominantly southwestward flow) ในขณะที่ภาพล่างเป็นข้อมูลจากบริเวณ overbank (LV = levee, CR = crevasse channel, CS = crevasse splay) พบว่ากระแสโบราณมีทิศทางไปทางเหนือถึงตะวันออกเฉียงเหนือ (a north-to-northeastward flow)

4.3 ธรณีแปรสัณฐาน (Tectonic Setting)

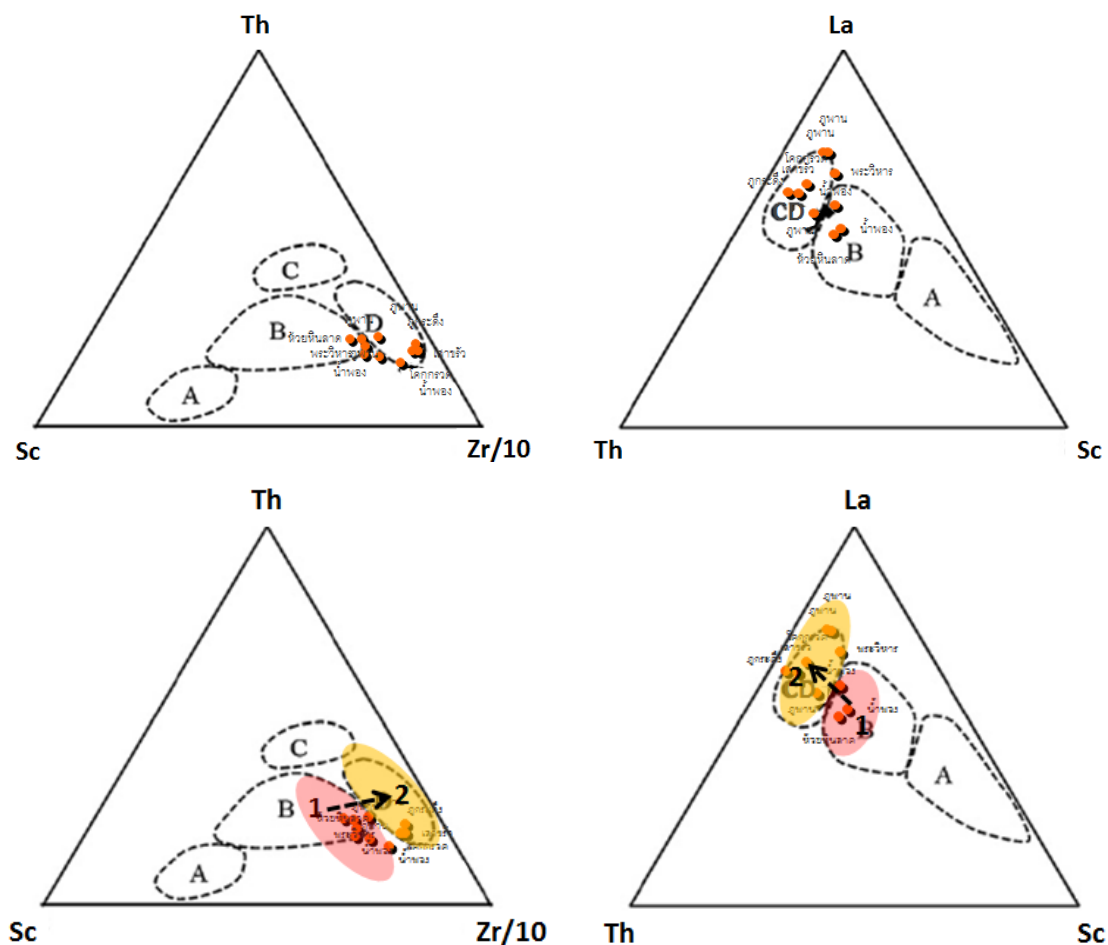
หลากหลายงานวิจัยพบว่าองค์ประกอบทางเคมีในหินตะกอนเนื้อเม็ด (clastic rocks) นั้น ส่วนหนึ่งเป็นผลและถูกควบคุมจากจากธรณีแปรสัณฐานของหินต้นกำเนิดตะกอน ดังนั้นหิน ตะกอนเนื้อเม็ดที่ตกสะสมในแอ่งตะกอนที่ถูกควบคุมด้วยธรณีแปรสัณฐานที่แตกต่างกันจะแสดง ลักษณะเฉพาะทางธรณีเคมีที่แตกต่างกัน (Bhatia, 1985; Roser และ Korsh, 1988) การแปร สัณฐานหลัก แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ขอบทวีปสัณฐาน (passive continental margin, PM) ขอบ ทวีปมีพลัง (active continental margin, ACM) และ แนวเกาะโค้งมหาสมุทร (oceanic island arc, ARC) ถูกจำแนกโดยใช้ข้อมูลปริมาณออกไซด์ธาตุหลักและธาตุรอง ในไดอะแกรมของ Roser และ Korsh (1988)



รูปที่ 4.7 ไดอะแกรมจำแนกการแปรสัณฐานโดยใช้ข้อมูลปริมาณออกไซด์ธาตุหลักและธาตุรองของหินตัวอย่าง โดย Roser และ Korsh (1988) โดยภาพล่างแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของธรณีแปรสัณฐาน



รูปที่ 4.8 แผนภาพแสดง การเปลี่ยนแปลงธรณีแปร สัณฐานตามช่วงเวลาจาก ไทรแอสสิกตอนปลาย ถึงครีเตเชียสตอนต้น

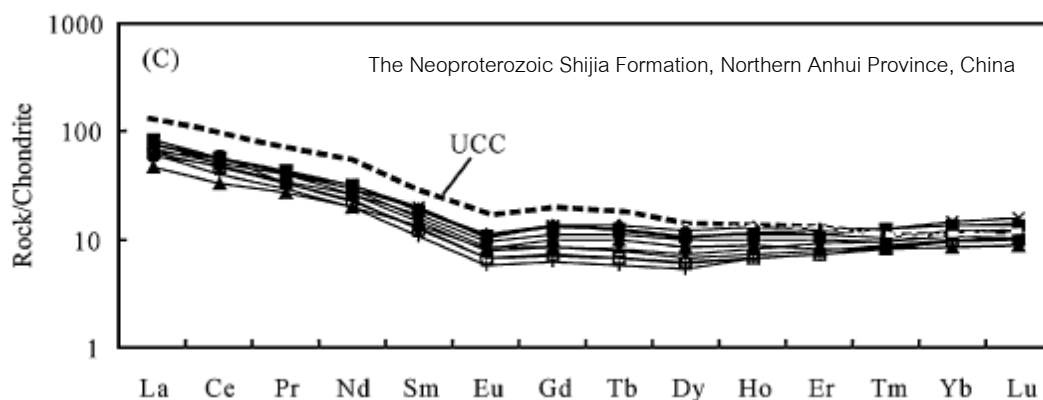


รูปที่ 4.6 ไดอะแกรมจำแนกการแปรสัณฐานโดยใช้ข้อมูลปริมาณธาตุหายากของหินตัวอย่าง โดย Bhatia และ Crook (1986) ; A-Oceanic island arc; B-Continental island arc; C-Active continental margin; D-passive continental margin

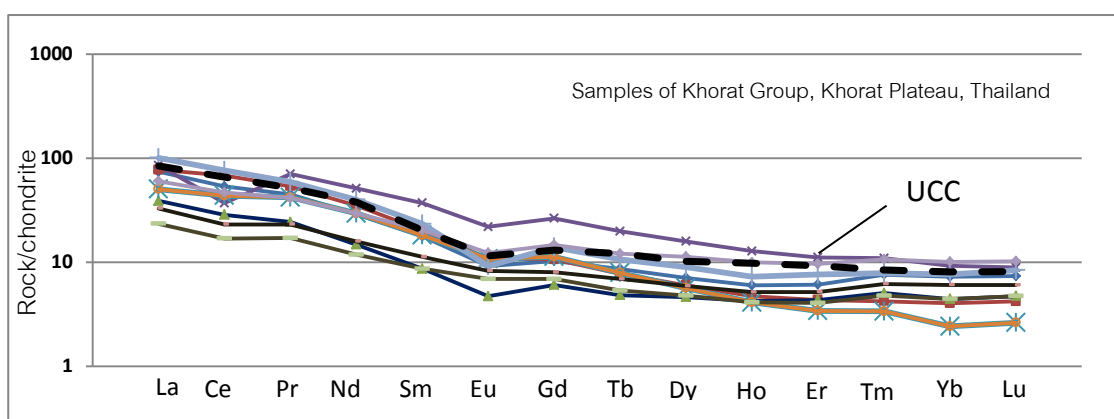
จากข้อมูลหินตัวอย่างทั้งปริมาณออกไซด์ของธาตุหลักและธาตุรอง ข้อมูลปริมาณธาตุหายากเมื่อนำมาพลอตลงในไดอะแกรมจำแนกการแปรสัณฐานโดยใช้ข้อมูลปริมาณออกไซด์ธาตุหลักและธาตุรองของหินตัวอย่าง โดย Roser และ Korsch (1988) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงการแปรสัณฐานจาก active continental margin ในช่วงไทรแอสสิกจนถึงครีเตเชียส (Triassic-Cretaceous) แต่ส่วนใหญ่เน้นมีการตกสะสมตัวใน passive continental margin หรือ intracratonic basin นอกจากนี้เมื่อนำข้อมูลมาพลอตในไดอะแกรมจำแนกการแปรสัณฐานโดยใช้ข้อมูลปริมาณธาตุหายากของหินตัวอย่างโดย Bhatia และ Crook (1986) พบว่าตัวอย่างมีการตกสะสมตัวใน passive continental margin หรือ intracratonic basin ซึ่งการใช้ข้อมูลธาตุหายาก

นั้นมีความน่าเชื่อถือมากกว่าเพราะเป็นธาตุที่ไม่ถูกเคลื่อนย้าย (immobile element) เมื่อเกิดการผุพัง (weathering) ดังนั้นจึงสรุปว่าหินตัวอย่างส่วนใหญ่ passive continental margin หรือ intracratonic basin

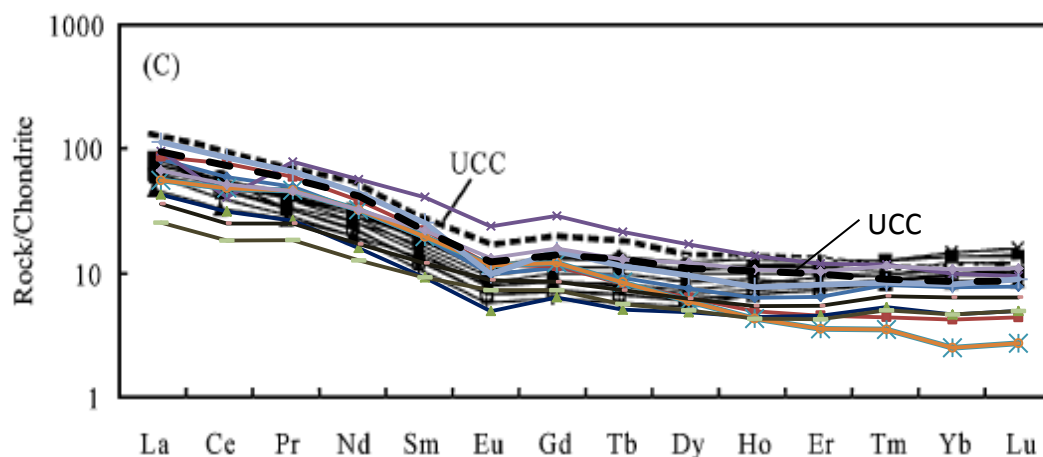
จากการศึกษา โดย Sun และคณะ ในปี 2011 ในงานวิจัย Geochemistry of sandstones from the Neoproterozoic Shijia Formation, Northern Anhui Province, China: Implications for provenance, weathering and tectonic setting ได้ข้อสรุปว่าต้นกำเนิดของหินทรายในพื้นที่ศึกษาเป็น Quartzose sedimentary rocks และตกสะสมตัวในธรณีแปรสัณฐานแบบ passive continental margin ซึ่งเมื่อพิจารณาจากการเปรียบเทียบปริมาณธาตุหายากใน chondrite และในหินตัวอย่างของในพื้นที่ศึกษาได้ดังนี้



รูปที่ 4.9 Chondrite normalized REE patterns จาก Shijia sandstone บริเวณทางตอนเหนือของประเทศไทย โดยเปรียบเทียบกับข้อมูล UCC จาก Rudnick และ Gao (2003) และ Chondrite normalized จาก Taylor และ McLennan (1985)



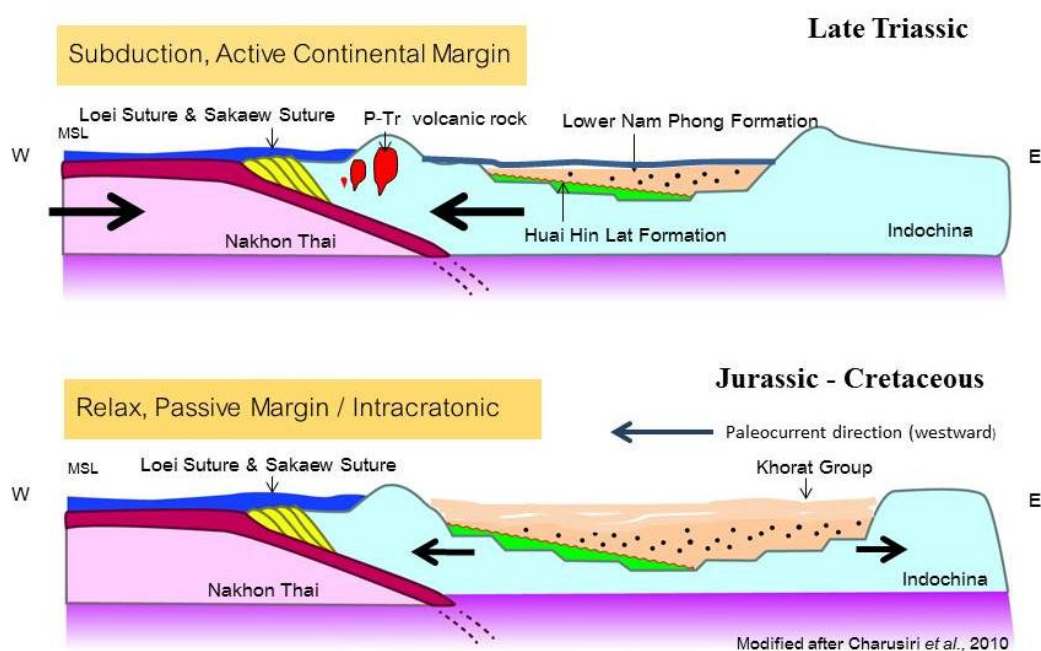
รูปที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบปริมาณธาตุหายาก Chondrite normalized REE patterns ในพื้นที่ศึกษา (Data for UCC and Chondrite are from Rudnick and Gao (2003) and Taylor and McLennan (1985))



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบข้อมูล REE Patterns จาก Shijia sandstone และหินตัวอย่างในพื้นที่ศึกษางานวิจัย พบว่ามีความสอดคล้องกัน ซึ่งคาดว่าหินทรายทั้งสองพื้นที่นี้มีต้นกำเนิดมาจาก Quartzose sedimentary rocks และตกสะสมตัวในธรณีแปรสัณฐานแบบ passive continental margin หรือ intracratonic basin เช่นเดียวกัน

เมื่อนำ REE Patterns จาก Shijia sandstone (รูปที่ 4.5) มาเปรียบเทียบกับ REE Patterns จากงานวิจัยนี้ (กลุ่มหินโคราช) พบว่ามีความสอดคล้องใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวอย่างหินที่นำมาศึกษามีต้นกำเนิดและธรณีแปรสัณฐานที่คล้ายเคียงกันกับในงานวิจัย Geochemistry of sandstones from the Neoproterozoic Shijia Formation, Northern Anhui Province, China: Implications for provenance, weathering and tectonic setting ที่ได้กล่าวมาข้างต้น ถึงแม้ว่าตัวอย่างหินจากทั้งสองงานวิจัยตกสะสมในช่วงอายุที่แตกต่างกันมาก แต่ปริมาณธาตุหายากที่อยู่ภายในหินนั้นไม่ได้ถูกทำให้สูญหายไป การใช้ข้อมูลธาตุหายากจึงค่อนข้างถูกต้อง จึงสรุปได้ว่าการศึกษาหินต้นกำเนิดและธรณีแปรสัณฐานโดยใช้ข้อมูลธาตุหายากมีความน่าเชื่อถือระดับหนึ่ง

4.4 แบบจำลองธรณีแปรสัณฐาน (Tectonic setting model)



รูปที่ 4.12 แบบจำลองธรณีแปรสัณฐานบริเวณที่ราบสูงโคราชในช่วงไทรแอสสิกตอนปลายจนถึงจูแรสสิก-ครีเตเชียส โดยดัดแปลงจาก Charusiri และคณะ (2010) และทิศทางของกระแสน้ำโบราณของหมวดหินพระวิหารและภูพาน โดย Sattayarak และ Polachan (1990)

จากการศึกษาทั้งหมดพบว่าในช่วงไทรแอสสิกตอนปลาย หมวดหินห้วยหินลาดและน้ำพอง มีต้นกำเนิดมาจากหินจำพวก Intermediate igneous rocks, Felsic igneous rocks และ Quartzose sedimentary rocks และตกสะสมตัวใน active continental margin จนถึง passive continental margin หรือ intracratonic basin จึงสันนิษฐานว่า แอ่งสะสมตะกอนหมวดหินห้วยหินลาดเป็นผลมาจากการเปิดแอ่งตะกอน เนื่องมาจากการชนกันของจุลทวีปนครไทและอินโดจีน ส่งผลให้มีตะกอน Intermediate igneous rocks, Felsic igneous rocks และ Quartzose sedimentary rocks ตกลงไปสะสมตัวในแอ่งตะกอนดังกล่าว เมื่อเวลาผ่านไปจุลทวีปทั้งสองเสถียรมากขึ้นเกิดการสะสมตัวของหมวดหินน้ำพอง ซึ่งเป็นตะกอนจาก Felsic igneous rocks และ Quartzose sedimentary rocks

หมวดหินภูกระดึง พระวิหาร เสาขัว ภูพาน และโคกกรวด (อายุจูแรลลิกถึงครีเตเชียส (Meesook และ Saengsrichan, 2554)) มีต้นกำเนิดมาจาก Quartzose sedimentary rocks และสะสมตัวใน passive continental margin หรือ intracratonic basin โดยระบบทางน้ำ

จากการศึกษาของ Sattayarak และ Polachan (1990) เพื่อหาทิศทางของกระแสน้ำในหมวดหินพระวิหารและหมวดหินภูพานโดยพิจารณาจากการวางตัวของชั้นหินเฉียงระดับ พบว่าทิศทางหลักของกระแสน้ำโบราณหมวดหินพระวิหารและภูพาน ประมาณทิศตะวันตก โดยตะกอนเข้ามาสะสมตัวในแอ่งจากบริเวณทิศเหนือ ทิศใต้ และตะวันออก ซึ่งสามารถสันนิษฐานได้ว่าแหล่งที่มาของตะกอนนั้นมาจากทางทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันออก และมีอายุแก่กว่าจูแรลลิก – ครีเตเชียส

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา

บทที่ 5

สรุปผล

จากการการศึกษาธรณีเคมีของหินตะกอนบกมหายุคมีโซโซอิกบริเวณที่ราบสูงโคราช ใน 10 จุดศึกษา เพื่อใช้ข้อมูลทางเคมีบ่งบอกสภาพภูมิอากาศโบราณ ต้นกำเนิดตะกอน และธรณีแปรสัณฐาน ได้ผลดังนี้ ในแต่ละช่วงเวลานั้นมีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโบราณสลับไปมาระหว่างสภาพภูมิอากาศแบบกึ่งแห้งแล้งและร้อนชื้น ในหินยุคไทรแอสสิก (หมวดหินห้วยหินลาด และน้ำพอง) ตกสะสมภายใต้สภาพภูมิอากาศแบบกึ่งแห้งแล้ง ในยุคจูแรสสิก (หมวดหินภูกระดึง) ตกสะสมตัวภายใต้สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงจากกึ่งแห้งแล้งไปเป็นร้อนชื้น ในขณะที่ในยุคครีเตเชียส (หมวดหินพระวิหาร เสาขร้าว ภูพานและโคกกรวด) มีการตกสะสมตัวภายใต้สภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นก่อนที่จะเปลี่ยนแปลงเป็นแบบกึ่งแห้งแล้งในหมวดหินโคกกรวด

ต้นกำเนิดนั้นในหินอายุที่แก่กว่า (หมวดหินห้วยหินลาด มีอายุ Late Triassic) มีต้นกำเนิดมาจากหินจำพวก Intermediate igneous rocks และในหินที่อายุน้อยกว่าขึ้นมาแนวโน้มมีต้นกำเนิดมาจาก Felsic igneous rocks และหมวดหินภูกระดึง พระวิหาร เสาขร้าว ภูพาน และโคกกรวด (อายุ Jurassic – Cretaceous) มีต้นกำเนิดมาจาก Quartzose sedimentary rocks ซึ่งความแตกต่างเหล่านี้เป็นผลมาจากธรณีแปรสัณฐานซึ่งหินตะกอนเนื้อเมืงที่ตกสะสมในแอ่งตะกอนที่ถูกควบคุมด้วยธรณีแปรสัณฐานที่แตกต่างกันจะแสดงลักษณะเฉพาะทางธรณีเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งจากข้อมูลหินตัวอย่างพบว่าการเปลี่ยนแปลงการแปรสัณฐานจาก active continental margin ไปเป็น passive continental margin/intracratonic ในช่วงไทรแอสสิกจนถึงครีเตเชียส (Triassic-Cretaceous)

เอกสารอ้างอิง

- Sun, L., Gui, H. and Chen, S. 2011,: Geochemistry of sandstones from the Neoproterozoic Shijia Formation, northern Anhui Province, China: Implications for provenance, weathering and tectonic setting. *Chemie der Erde*, 1-8.
- Ridd, M.F., Barber, A.J., Crow M.J. 2011: The Geology of Thailand. The Geological Society London, 137-184.
- Kongsumrit, W., 1999: Lithostratigraphy of The Mesozoic Red Bed at Dan Sai Area, Changwat Loei. Unpublished Senior Project, Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University. Bangkok, Thailand.
- Rollinson, H.R., 1993: Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data
- Bhatia, M.R., 1985. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: provenance and tectonic control. *Sedimentary Geology* 45, 97–113.
- Bhatia, M.R., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Journal of Geology* 91, 611–627.
- Dickinson, W.R., 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: Zuffa, G.G. (Ed.), *Provenance of Arenites*, Advanced Study Institute Series 148. NATO, pp. 333–361.
- Herron, M.M., 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology* 58, 820–829.

Bhatia, M.R., Crook, K.A.W., 1986. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basin. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 92, 181–193.

McLennan, S.M., Taylor, S.R., 1991. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends. *Journal of Geology* 99 (1), 1–21.

McLennan, S.M., 1993. Weathering and global denudation. *The Journal of Geology* 101, 295–303.