



# โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ศิลาวรรณนาของหินทรายบางส่วนจากหมวดหินน้ำพอง  
ตามทางหลวงหมายเลข 12 อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์:  
การประเมินความพรุน สำหรับศักยภาพการเป็น  
ชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียม

โดย

นายณัฐนิตี สุธีรพงศ์พันธ์

เลขประจำตัวนิตี 5832709823

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี  
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

ศิวาวรรณนาของหินทรายบางส่วนจากหมวดหินน้ำพอง ตามทางหลวงหมายเลข 12  
อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์: การประเมินความพรุน สำหรับศักยภาพการเป็น  
ชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียม

นายณัฐนธิ สุธีรพงศ์พันธ์

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2561

PETROGRAPHY OF SOME SANDSTONES FROM NAM PHONG FORMATION  
ALONG THE HIGHWAY NO.12, LOM SAK DISTRICT, PETCHABUN PROVINCE:  
ASSESSMENT OF POROSITY FOR PETROLEUM RESERVIOR POTENTIALITY

MR. NUTNITI SUTEERAPONGPAN

A Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Bachelor of Science Program in Geology  
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University  
Academic Year 2018

หัวข้อโครงการ

ศิลาวรรณษาของหินทรายบางส่วนจากหมวดหินน้ำพอง ตาม  
ทางหลวงหมายเลข 12 อำเภอห่มสีก จังหวัดเพชรบูรณ์:  
การประเมินความพรุน สำหรับศักยภาพการเป็นชั้นหินกักเก็บ  
ปิโตรเลียม

โดย

นายณัฐนิธิ สุธีรพงศ์พันธ์

สาขาวิชา

ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย จูทะโกสิทธิ์กานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยพงษ์ เชนรัมย์

วันที่ส่ง..... 13 พฤษภาคม 2562

วันที่อนุมัติ..... 13 พฤษภาคม 2562



.....  
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย จูทะโกสิทธิ์กานนท์)

.....  
ปิยพงษ์ เชนรัมย์

.....  
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยพงษ์ เชนรัมย์)

Project Title PETROGRAPHY OF SOME SANDSTONES FROM NAM PHONG  
FORMATION ALONG THE HIGHWAY NO.12, LOM SAK DISTRICT,  
PETCHABUN PROVINCE: ASSESSMENT OF POROSITY FOR  
PETROLEUM RESERVIOR POTENTIALITY

By Mr.Nutniti Suteerapongpan

Field of Study Geology

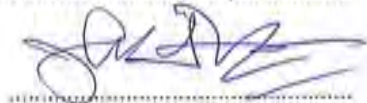
Project Advisor Assistant Professor Dr.Vichai Chutakositkanon

Project Co-advisor Assistant Professor Dr.Piyaphong Chenrai

---

Submitted date... 13 May 2019 .....

Approval date... 13 May 2019 .....



Project Advisor

(Assistant Professor Dr. Vichai Chutakositkanon)



Project Co-advisor

(Assistant Professor Dr. Piyaphong Chenrai)

ณัฐนิธิ สุธีรพงศ์พันธ์ : ศิลาวรรณนาของหินทรายบางส่วนจากหมวดหินน้ำพอง ตามทางหลวงหมายเลข 12 อำเภอห่มสีก จังหวัดเพชรบูรณ์: การประเมินความพรุน สำหรับศักยภาพการเป็นชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียม (PETROGRAPHY OF SOME SANDSTONES FROM NAM PHONG FORMATION ALONG THE HIGHWAY NO.12, LOM SAK DISTRICT, PETCHABUN PROVINCE: ASSESSMENT OF POROSITY FOR PETROLEUM RESERVIOR POTENTIALITY) อ.ที่ปรึกษาโครงการหลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย จุฑะโกสิทธิ์กานนท์ อ.ที่ปรึกษาโครงการร่วม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยพงษ์ เชนรัมย์, 63 หน้า

ที่ราบสูงโคราชตั้งอยู่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 200,000 ตารางกิโลเมตร เริ่มมีการสำรวจปิโตรเลียมในปี พ.ศ. 2505 จนถึงปัจจุบัน ชั้นหินที่มีศักยภาพในการเป็นชั้นหินต้นกำเนิดปิโตรเลียมในพื้นที่คือ ชั้นหินดินดานของหมวดหินห้วยหินลาด และชั้นหินดินดานของกลุ่มหินสระบุรี โครงการนี้จะทำการศึกษาหินทรายบางส่วนจากหมวดหินน้ำพองซึ่งเป็นหมวดหินที่ปิดทับอยู่บนหมวดหินห้วยหินลาด จุดประสงค์ของโครงการนี้คือ วิเคราะห์ศิลาวรรณนาและประเมินความพรุนสำหรับศักยภาพการเป็นชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียมของหินทรายบางส่วนจากหมวดหินน้ำพอง ตามทางหลวงหมายเลข 12 อำเภอห่มสีก จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยเก็บตัวอย่างหิน 7 ตัวอย่างจากบริเวณจุดศึกษา 3 จุดศึกษา แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางศิลาวรรณนาและวิธีการวิเคราะห์ภาพอเล็กตรอนกระเจิงกลับด้วยโปรแกรม ImageJ

จากการศึกษาทางศิลาวรรณนาพบว่าหินทรายหมวดหินน้ำพองเกือบทั้งหมดที่นำมาศึกษาเป็นหินทรายชนิด Lithic arkose ตามการจำแนกของ Folk (1980) มีขนาดของเม็ดตะกอนตั้งแต่ทรายละเอียดมากจนถึงทรายละเอียดปานกลาง มีการคัดขนาดดี มีภาวะทรงกลมต่ำ ประกอบด้วยควอตซ์ร้อยละ 49 ถึง 69 เฟลด์สปาร์ร้อยละ 12 ถึง 22 เศษหินร้อยละ 10 ถึง 15 และแร่ทึบแสงและแร่อื่นๆร้อยละ 5 ถึง 18 หินต้นกำเนิดของตะกอนมีสภาพธรณีแปรสัณฐานอยู่ในช่วงระหว่าง continental block provenance กับ recycled orogeny provenance จากผลการวิเคราะห์ภาพอเล็กตรอนกระเจิงกลับพบว่าค่าความพรุนเฉลี่ยของตัวอย่างหินทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 2.01 เปอร์เซ็นต์ รูพรุนส่วนใหญ่ที่พบในหินมีขนาดของรูพรุนเล็กกว่า 3 ไมครอนเมตร ผลจากการนำค่าความพรุนเฉลี่ยของตัวอย่างหินแต่ละตัวอย่าง ไปเทียบกับตารางแสดงค่าความพรุนกับชนิดหินกักเก็บปิโตรเลียมของ Koesoemadinata (1980) พบว่าตัวอย่างหินที่นำมาศึกษาทั้งหมดจัดอยู่ในหินกักเก็บปิโตรเลียมประเภท Negligible

ภาควิชา ธรณีวิทยา  
สาขาวิชา ธรณีวิทยา  
ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิติติ ..... นพ.วิชัย จุฑะโกสิทธิ์กานนท์  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก.....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม..... ปิยพงษ์ เชนรัมย์

# # 5832709823 : MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS : KHORAT PLATEAU / PETROGRAPHY / NAM PHONG FORMATION / POROSITY / PETROLEUM

NUTNITI SUTEERAPONGPAN: PETROGRAPHY OF SOME SANDSTONES FROM NAM PHONG FORMATION ALONG THE HIGHWAY NO.12, LOM SAK DISTRICT, PETCHABUN PROVINCE: ASSESSMENT OF POROSITY FOR PETROLEUM RESERVIOR POTENTIALITY. ADVISOR: ASSISTANT PROFESSOR DR.VICHAJ CHUTAKOSITKANON, Ph.D. CO-ADVISOR: ASSISTANT PROFESSOR DR.PIYAPHONG CHENRAI, Ph.D., 63 pp.

Khorat Plateau is located in the northeastern of Thailand. It covers an area of approximately 200,000 square kilometers. Petroleum exploration has begun since 1962. The potential source rock in this area are shale of Hual Hin Lat Formation and shale of Saraburi group. Some sandstones from Nam Phong Formation which is the formation overlies the Hua Hin Lat Formation are chosen to study in this project. The purpose of this project is to analyze the petrography and to assess of porosity for petroleum potentiality of some sandstones from Nam Phong Formation along the Highway No.12 Lom Sak District, Petchabun Province. Seven samples were collected from 3 locations and analyzed by using petrographic method and backscattered electron image analysis method with imageJ program.

The result from petrographic study indicates that almost of the rock samples are Lithic arkose (Folk, 1980). Grain size is in the range of very fine sand to medium sand. Sorting is well. Grain shapes are sub-angular. The rocks consist of quartz 49-69 percent, feldspar 12-22 percent, lithic fragments 10-15 percent and opaque minerals and others 5-18 percent. The provenance is interpreted that it is in the range between continental block provenance and recycled orogeny provenance. From the result of the backscattered electron image analysis shows that average porosity of all rock samples is 2.01 percent. Most pores are less than 3 micrometer. And the result from the average porosity of each rock sample compared with the table of porosity and classification of reservoir rock (Koesoemadinata, 1980) indicates that all the rock samples are Negligible reservoir rock.

Department : Geology  
Field of Study : Geology  
Academic Year : 2018

Student's Signature.....  
Advisor's Signature.....  
Co-advisor's Signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิชัย จุฑะโกสิทธิกานนท์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ให้ความรู้ และข้อคิดเห็นต่างๆ รวมถึงการดูแลเอาใจใส่ และสละเวลามาให้คำปรึกษานิสิตคนนี้ จนทำให้โครงการนี้ ผ่านลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยะพงษ์ เชนรัมย์ ที่คอยให้ความรู้ ให้คำแนะนำ และดูแล นิสิตคนนี้เสมอมา

ขอขอบพระคุณบุคลากรและเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ที่คอยให้ความช่วยเหลือต่างๆ และคอยให้กำลังใจตลอดการทำโครงการในครั้งนี้

ขอขอบคุณ นายอนุพงษ์ วีรพันธ์ และ นายปฏิพงษ์ ไชยแสนวัง ที่ได้ไปช่วยเก็บข้อมูลภาคสนาม และคอยให้คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง และทำดีที่สุดนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ สำหรับกำลังใจที่มีให้กัน และทุกๆ ความช่วยเหลือที่หยิบยื่นมาให้กัน



## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	2
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 พื้นที่ศึกษา	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ธรณีวิทยาภูมิภาคและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ธรณีวิทยาภูมิภาค	6
2.1.1 ลักษณะทั่วไป	6
2.1.2 การเกิดและการสะสมตัวของแอ่งตะกอนโคราช	8
2.1.3 การลำดับชั้นหินและธรณีวิทยาโครงสร้าง	8
2.1.3.1 การลำดับชั้นหิน	8
2.1.3.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	10
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
2.2.1 หมวดหินน้ำพอง	12
2.2.2 ระบบปิโตรเลียม (petroleum system) บริเวณที่ราบสูงโคราช	14
2.2.2.1 หินต้นกำเนิด (source rocks)	14

	หน้า
2.2.2.2 หินกักเก็บ (reservoir rocks)	15
2.2.2.3 หินปิดกั้น (seal rocks)	16
2.2.2.4 โครงสร้างกักเก็บ (trap)	17
2.2.3 ความพรุนในหินทราย	17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	19
บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล	23
4.1 การสำรวจภาคสนามและการเก็บตัวอย่าง	24
4.1.1 ลักษณะของหินโผล่ที่ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาศึกษา	26
4.2 การศึกษาทางศิลาวรรณนา	37
4.2.2 การจำแนกชนิดของหินทราย	44
4.2.3 การแปลความหมายหินต้นกำเนิดของหินตะกอน	45
4.3 การศึกษาความพรุนของหิน	49
4.4 การประเมินความพรุนสำหรับศักยภาพการเป็นชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียม	57
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลงานวิจัย	58
5.1 อภิปรายผลจากงานวิจัย	59
5.2 สรุปผลงานวิจัย	60
เอกสารอ้างอิง	61

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบูรณ์แสดงตำแหน่งและขอบเขตพื้นที่ศึกษา บริเวณริมทางหลวงหมายเลข 12 อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ (กรมทรัพยากรธรณี, 2552)	4
รูปที่ 2.1 แผนที่ย่อส่วนจากแผนที่ธรณีวิทยาบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย มาตราส่วน 1:2,500,000 (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) แสดง หมวดหินต่างๆที่กระจายตัวอยู่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย	6
รูปที่ 2.2 แสดงสัญลักษณ์และคำอธิบายแผนที่ธรณีวิทยาบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย มาตราส่วน 1:2,500,000 (กรมทรัพยากรธรณี, 2554)	7
รูปที่ 2.3 แสดงการแปรสภาพของชั้นหินในกลุ่มหินโคราช อ้างอิงจากดาวเทียม Landsat 5 (Chuaviroj, 1997)	12
รูปที่ 2.4 แสดงสัดส่วนเม็ดตะกอน ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ และเศษหิน ของหินทราย หมวดหินห้วยหินลาด หินทรายหมวดหินน้ำพอง หินทรายหมวดหินโคกกรวด และหินทรายกลุ่มหินโคราช (Racey <i>et al.</i> , 1996)	13
รูปที่ 2.5 แสดงสัดส่วนทางเคมี $Fe_2O_3+MgO$ $K_2O$ และ $Na_2O$ ของหินทราย หมวดหินห้วยหินลาด หินทรายหมวดหินน้ำพอง หินทรายหมวดหินโคกกรวด และหินทรายกลุ่มหินโคราช (Racey <i>et al.</i> , 1996)	13
รูปที่ 2.6 แสดงค่าความพรุนของ Coarse grained quartzarenite และ Fine grained subarkose หมวดหิน Sherwood บริเวณ Deformation band และบริเวณหินเหี่ยว	18
รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	22
รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงตำแหน่งจุดศึกษา อ้างอิงจากแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบูรณ์ (กรมทรัพยากรธรณี, 2552)	24
รูปที่ 4.2 แสดงลำดับชั้นหินของจุดศึกษาที่ 1	27
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะหินโผล่ของหน่วยหิน A บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 1	28
รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะการวางชั้นบางเฉียงระดับ (cross lamination) ที่พบในหน่วยหิน A บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 1	28

## หน้า

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะหินโผล่ของหน่วยหิน B บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 1	29
รูปที่ 4.6 แสดงหินโผล่บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 1	29
รูปที่ 4.7 แสดงหินโผล่ของหน่วยหิน B บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 2	30
รูปที่ 4.8 แสดงรอยริ้วคลื่น (ripple mark) ที่พบบริเวณหินโผล่ของหน่วยหิน B บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 2	30
รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะหินโผล่ของหน่วยหิน D บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 2	31
รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะของหินโผล่ บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 2	31
รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะหินโผล่ของหน่วยหิน B บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 3	32
รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะรอยกัดเซาะ (scour mark) ที่พบในชั้นหินโผล่ของหน่วยหิน D บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 3	32
รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะของหินโผล่ บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 3	33
รูปที่ 4.14 แสดงลำดับชั้นหินบริเวณจุดศึกษาที่ 2	34
รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะหินโผล่ของจุดศึกษาที่ 2 บริเวณริมทางหลวงหมายเลข 12	35
รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะของสายแร่แคลไซต์ขนาดเล็กที่พบในชั้นหินทราย บริเวณจุดศึกษาที่ 2	35
รูปที่ 4.17 แสดงลำดับชั้นหินบริเวณจุดศึกษาที่ 3	36
รูปที่ 4.18 แสดงลักษณะหินโผล่ของจุดศึกษาที่ 3 บริเวณริมทางหลวงหมายเลข 12	37
รูปที่ 4.19 แสดงลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ กำลังขยาย 5 เท่า (A: PPL, B: XPL) ของตัวอย่าง O1-1	39
รูปที่ 4.20 แสดงลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ กำลังขยาย 5 เท่า (A: PPL, B: XPL) ของตัวอย่าง O1-2	40
รูปที่ 4.21 แสดงลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ กำลังขยาย 5 เท่า (A: PPL, B: XPL) ของตัวอย่าง O1-3	40
รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ กำลังขยาย 5 เท่า (A: PPL, B: XPL) ของตัวอย่าง O2-1	41

รูปที่ 4.23 แสดงลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ กำลังขยาย 5 เท่า (A: PPL, B: XPL) ของตัวอย่าง O2-2	42
รูปที่ 4.24 แสดงลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ กำลังขยาย 5 เท่า (A: PPL, B: XPL) ของตัวอย่าง O3-1	42
รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ กำลังขยาย 5 เท่า (A: PPL, B: XPL) ของตัวอย่าง O3-2	43
รูปที่ 4.26 แสดงการพล็อตข้อมูลสัณฐานวิทยาใน Q-L-F diagram ที่ใช้ในการจำแนกชนิดหินทราย (Folk, 1980)	44
รูปที่ 4.27 แสดงการพล็อตข้อมูลสัณฐานวิทยาใน Qm-Lt-F tectonic discrimination diagram ที่ใช้ในการแปลความหมายหินต้นกำเนิดของตะกอนในหินทราย (Dickinson, 1985)	47
รูปที่ 4.28 แสดงการพล็อตข้อมูลสัณฐานวิทยาใน Qt-L-F tectonic discrimination diagram ที่ใช้ในการแปลความหมายหินต้นกำเนิดของตะกอนในหินทราย (Dickinson, 1985)	47
รูปที่ 4.29 แสดงการพล็อตข้อมูลสัณฐานวิทยาใน Qm-Lt-F tectonic discrimination diagram ที่ใช้ในการแปลความหมายหินต้นกำเนิดของตะกอนในหินทราย (Weltje, 2006)	48
รูปที่ 4.30 แสดงการพล็อตข้อมูลสัณฐานวิทยาใน Qt-L-F tectonic discrimination diagram ที่ใช้ในการแปลความหมายหินต้นกำเนิดของตะกอนในหินทราย (Weltje, 2006)	48
รูปที่ 4.31 แสดงภาพอิเล็กทรอนิกส์กระเจิงกลับ ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า ของตัวอย่าง O1-1	50
รูปที่ 4.32 แสดงภาพอิเล็กทรอนิกส์กระเจิงกลับที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Threshold ของตัวอย่าง O1-1 โดยใช้โปรแกรม ImageJ	50
รูปที่ 4.33 แสดงการกระจายตัวของขนาดรูพรุน ของตัวอย่างหิน O1-1	50
รูปที่ 4.34 แสดงภาพอิเล็กทรอนิกส์กระเจิงกลับ ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า ของตัวอย่าง O1-2	51

รูปที่ 4.35 แสดงภาพอิเล็กทรอนิกส์กรองกระเจิงกลับที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Threshold ของตัวอย่าง O1-2 โดยใช้โปรแกรม ImageJ	51
รูปที่ 4.36 แสดงการกระจายตัวของขนาดรูพรุน ของตัวอย่างหิน O1-2	51
รูปที่ 4.37 แสดงภาพอิเล็กทรอนิกส์กรองกระเจิงกลับ ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า ของตัวอย่าง O1-3	52
รูปที่ 4.38 แสดงภาพอิเล็กทรอนิกส์กรองกระเจิงกลับที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Threshold ของตัวอย่าง O1-3 โดยใช้โปรแกรม ImageJ	52
รูปที่ 4.39 แสดงการกระจายตัวของขนาดรูพรุน ของตัวอย่างหิน O1-3	52
รูปที่ 4.40 แสดงภาพอิเล็กทรอนิกส์กรองกระเจิงกลับ ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า ของตัวอย่าง O2-1	53
รูปที่ 4.41 แสดงภาพอิเล็กทรอนิกส์กรองกระเจิงกลับที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Threshold ของตัวอย่าง O2-1 โดยใช้โปรแกรม ImageJ	53
รูปที่ 4.42 แสดงการกระจายตัวของขนาดรูพรุน ของตัวอย่างหิน O2-1	53
รูปที่ 4.43 แสดงภาพอิเล็กทรอนิกส์กรองกระเจิงกลับ ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า ของตัวอย่าง O2-2	54
รูปที่ 4.44 แสดงภาพอิเล็กทรอนิกส์กรองกระเจิงกลับที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Threshold ของตัวอย่าง O2-2 โดยใช้โปรแกรม ImageJ	54
รูปที่ 4.45 แสดงการกระจายตัวของขนาดรูพรุน ของตัวอย่างหิน O2-2	54
รูปที่ 4.46 แสดงภาพอิเล็กทรอนิกส์กรองกระเจิงกลับ ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า ของตัวอย่าง O3-1	55
รูปที่ 4.47 แสดงภาพอิเล็กทรอนิกส์กรองกระเจิงกลับที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Threshold ของตัวอย่าง O3-1 โดยใช้โปรแกรม ImageJ	55
รูปที่ 4.48 แสดงการกระจายตัวของขนาดรูพรุน ของตัวอย่างหิน O3-1	55
รูปที่ 4.49 แสดงภาพอิเล็กทรอนิกส์กรองกระเจิงกลับ ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า ของตัวอย่าง O3-2	56

รูปที่ 4.50 แสดงภาพอิเล็กทรอนิกส์กรองกระเจิงกลับที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Threshold ของตัวอย่าง O3-2 โดยใช้โปรแกรม ImageJ	56
รูปที่ 4.51 แสดงการกระจายตัวของขนาดรูพรุน ของตัวอย่างหิน O3-2	56

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงผลลัพธ์จากการศึกษาหาค่าความพรุนกลุ่มหินโคราช โดยวิธี modal classification โดยการนับจุดแร้วจำนวน 200 จุด (Canham <i>et al.</i> , 1996)	16
ตารางที่ 2.2 แสดงประเภทของความพรุนที่พบในหินทราย การกระจายตัว และผลต่อชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียม (Shanmugam, 1983)	18
ตารางที่ 4.1 แสดงพิกัดของตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างหิน	25
ตารางที่ 4.2 แสดงแร่องค์ประกอบของตัวอย่างหินทรายจำนวน 7 ตัวอย่าง โดยการนับจุดแร้วจำนวน 300 จุด ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบ ใช้แสงโพลาไรซ์	38
ตารางที่ 4.3 แสดงสัดส่วนของ Q-F-L ที่ได้จากวิธีการนับจุดแร้ว 300 จุด ที่จะนำไปพล็อตใน Q-L-F diagram (Folk, 1980)	44
ตารางที่ 4.4 แสดงสัดส่วน Qm-F-Lt ที่ได้จากวิธีการนับจุดแร้วจำนวน 300 จุด ที่จะนำไปพล็อตใน Qm-Lt-F tectonic discrimination diagram (Dickinson, 1985) และ Qm-Lt-F tectonic discrimination diagram (Weltje, 2006)	45
ตารางที่ 4.5 แสดงสัดส่วน Qt-F-L ที่ได้จากวิธีการนับจุดแร้วจำนวน 300 จุด ที่จะนำไปพล็อตใน Qt-L-F tectonic discrimination diagram (Dickinson, 1985)	46
ตารางที่ 4.6 แสดงสัดส่วน Qt-F-L ที่ได้จากวิธีการนับจุดแร้วจำนวน 300 จุด ที่จะนำไปพล็อตใน Qt-L-F tectonic discrimination diagram (Weltje, 2006)	46
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความพรุนของตัวอย่างหินทรายจำนวน 7 ตัวอย่าง ที่คำนวณด้วยฟังก์ชัน Threshold ในโปรแกรม ImageJ	49
ตารางที่ 4.8 แสดงการจำแนกประเภทชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียมโดยเทียบกับค่าความพรุนของหิน (Koesoemadinata, 1980)	57
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความพรุนเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่างหินที่ได้จากการวิเคราะห์ ภาพอิเล็กทรอนิกส์กระเจิงกลับเทียบกับการจำแนกประเภทชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียมของ (Koesoemadinata, 1980)	57



## บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

1.2 วัตถุประสงค์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.4 พื้นที่ศึกษา

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

## บทที่ 1 งานวิจัยและข้อมูล

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

พลังงานที่ใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่ ผลิตมาจากเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมันดิบ แก๊สธรรมชาติ เป็นต้น โดยที่ความต้องการในการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นทุกปี ในปัจจุบันประเทศไทยมีการนำเข้าเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์จากต่างประเทศ เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ (ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน, 2561) การพัฒนาแหล่งปิโตรเลียมเดิม และค้นหาแหล่งเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์แหล่งใหม่ภายในประเทศไทย จึงเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยลดปริมาณเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศและเพิ่มเสถียรภาพให้กับประเทศมากยิ่งขึ้น

ที่ราบสูงโคราชตั้งอยู่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 200,000 ตารางกิโลเมตร การสำรวจปิโตรเลียมในเริ่มมีตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2505 เรื่อยมาจนปัจจุบัน โดยสามารถทำการผลิตปิโตรเลียมเชิงพาณิชย์ได้ 2 แหล่งคือ แหล่งน้ำพองและแหล่งภู่อ่อม มีการผลิตแก๊สธรรมชาติจากชั้นหินปูนอายุเพอร์เมียนตอนบนของกลุ่มหินสระบุรี (Saraburi Group)

ชั้นหินดินดานหมวดหินห้วยหินลาด (Huai Hin Lat Formation) และชั้นหินดินดานในกลุ่มหินสระบุรี มีศักยภาพในการเป็นชั้นหินต้นกำเนิดปิโตรเลียม (Chantong, 2007) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้หมวดหินที่ปิดทับอยู่นั้นก็คือ หมวดหินน้ำพอง (Nam Phong Formation) มีความน่าสนใจที่จะนำมาศึกษา ทั้งทางด้านคุณสมบัติของตะกอนและศักยภาพในการเป็นชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียม หากมีการเคลื่อนย้ายของปิโตรเลียมขึ้นมาจากชั้นหินต้นกำเนิดดังกล่าวมายังชั้นหินทรายของหมวดหินน้ำพอง คุณสมบัติทางตะกอนของหินทราย หมวดหินน้ำพองนี้จะมีศักยภาพในการกักเก็บปิโตรเลียมเพียงพอหรือไม่

การศึกษาทางศิลาวรรณนาจะทำให้เราทราบถึงชนิดหิน องค์ประกอบของแร่ภายในหิน คุณสมบัติของตะกอน และโครงสร้างทางวิทยาตะกอน อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลที่ได้ มาศึกษาหินต้นกำเนิดของตะกอน และถ้าหากมีการวิเคราะห์ภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Backscattered Electron Image: BEI) ร่วมด้วย ก็จะทำให้ได้ข้อมูลคุณสมบัติของหินตะกอนมากยิ่งขึ้น ไม่ว่าจะเป็นขนาดของรูพรุน หรือค่าความพรุนในหิน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอันดับต้นๆที่ใช้ในการประเมินศักยภาพในการเป็นชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียมเชิงพาณิชย์

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) วิเคราะห์สีลาบรรณนาของหินทรายบางส่วนจากหมวดหินน้ำพอง ตามทางหลวงหมายเลข 12 ในอำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์
- 2) ประเมินความพรุนของหินทรายบางส่วนจากหมวดหินน้ำพอง ตามทางหลวงหมายเลข 12 ในอำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ สำหรับศักยภาพในการเป็นชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียม

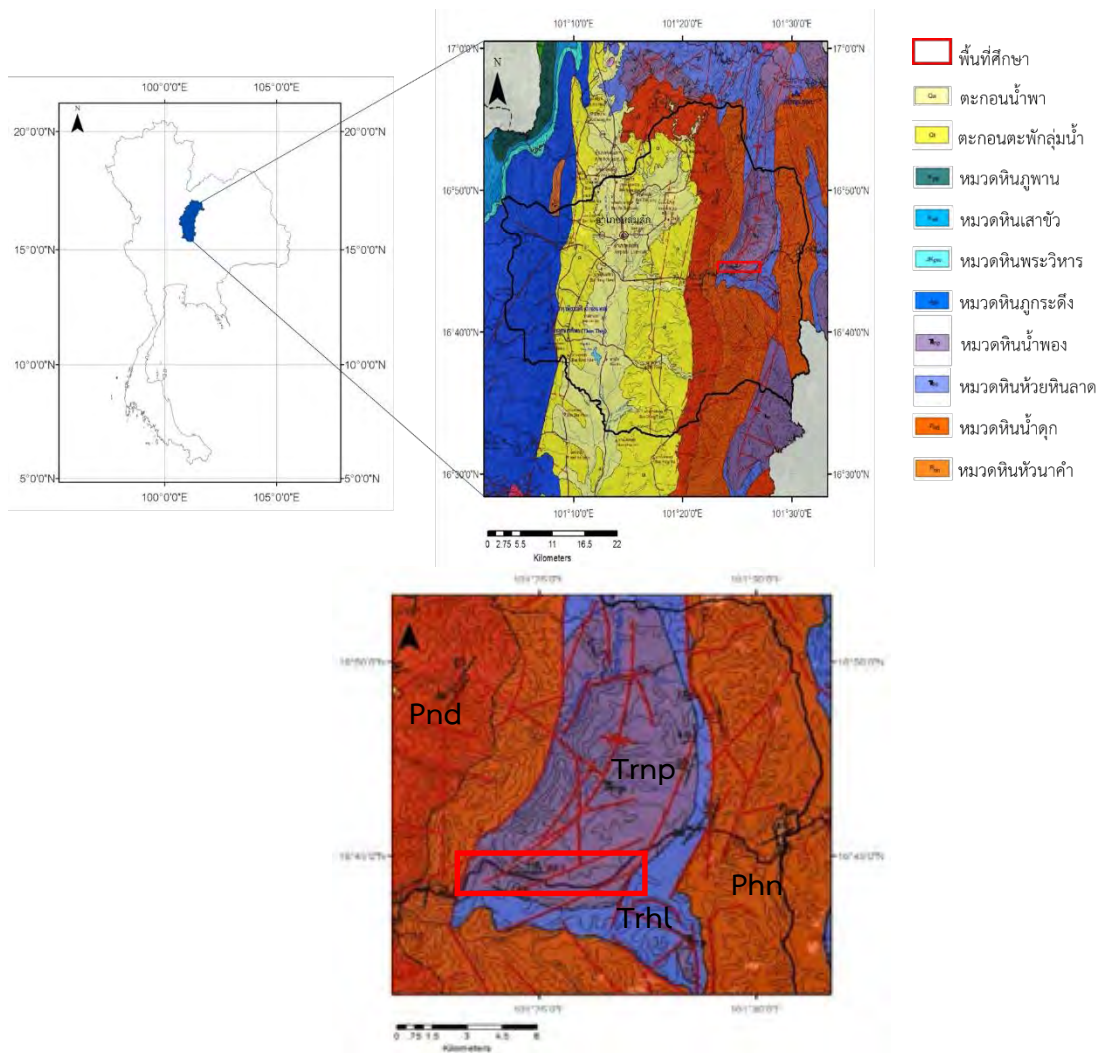
## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

วิเคราะห์สีลาบรรณนาโดยการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ (Polarized Microscope) โดยจะใช้วิธี modal classification โดยการนับจุดแร่ เช่น แร่ควอตซ์ (quartz) แร่เฟลด์สปาร์ (feldspar) และเศษหิน/แร่อื่นๆ (rock fragments) จำนวน 300 จุดต่อ 1 ตัวอย่างหิน และจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาพล็อตลงในไดอะแกรม Q-L-F diagram (Folk, 1980) เพื่อจำแนกชนิดหินทราย และพล็อตลงในไดอะแกรม Qm-Lt-F tectonic discrimination diagram และ Qt-L-F tectonic discrimination diagram ของ Dickinson (1985) และ Weltje (2006) เพื่อหาสภาพธรณีฐานของหินต้นกำเนิดตะกอน

วิเคราะห์ความพรุนจากภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ ขนาดกำลังขยาย 50 เท่าของหินทราย ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ด้วยโปรแกรม ImageJ ในการหาขนาดของรูพรุนรวมถึงหาค่าความพรุนของเนื้อหินทรายเชิงพื้นที่ จากนั้นจะนำค่าความพรุนเฉลี่ยของตัวอย่างหินที่ได้ไปเทียบกับ ตารางความพรุนกับประเภทของหินกักเก็บปิโตรเลียมของ Koesoemadinata (1980)

## 1.4 พื้นที่ศึกษา

ในงานวิจัยชิ้นนี้จะทำการศึกษาศีลาบรรณนาและประเมินความพรุนสำหรับศักยภาพในการเป็นชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียมของหินทรายในหมวดหินน้ำพองตามทางหลวงหมายเลข 12 ในอำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยอ้างอิงขอบเขตพื้นที่การกระจายตัวของหมวดหินน้ำพอง จากแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบูรณ์ (กรมทรัพยากรธรณี ประเทศไทย, 2552) ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบูรณ์แสดงตำแหน่งและขอบเขตพื้นที่ศึกษา บริเวณริมทางหลวงหมายเลข 12 อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ (กรมทรัพยากรธรณี, 2552)

### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยาของหินทรายบางส่วนจากหมวดหินน้ำพอง บริเวณทางหลวงหมายเลข 12 ในอำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์
- 2) ทราบศักยภาพการเป็นชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียมจากการประเมินค่าความพรุนของเนื้อหินทราย ของหินทรายบางส่วนจากหมวดหินน้ำพอง บริเวณทางหลวงหมายเลข 12 ในอำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์

## บทที่ 2 ธรณีวิทยาภูมิภาคและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ธรณีวิทยาภูมิภาค

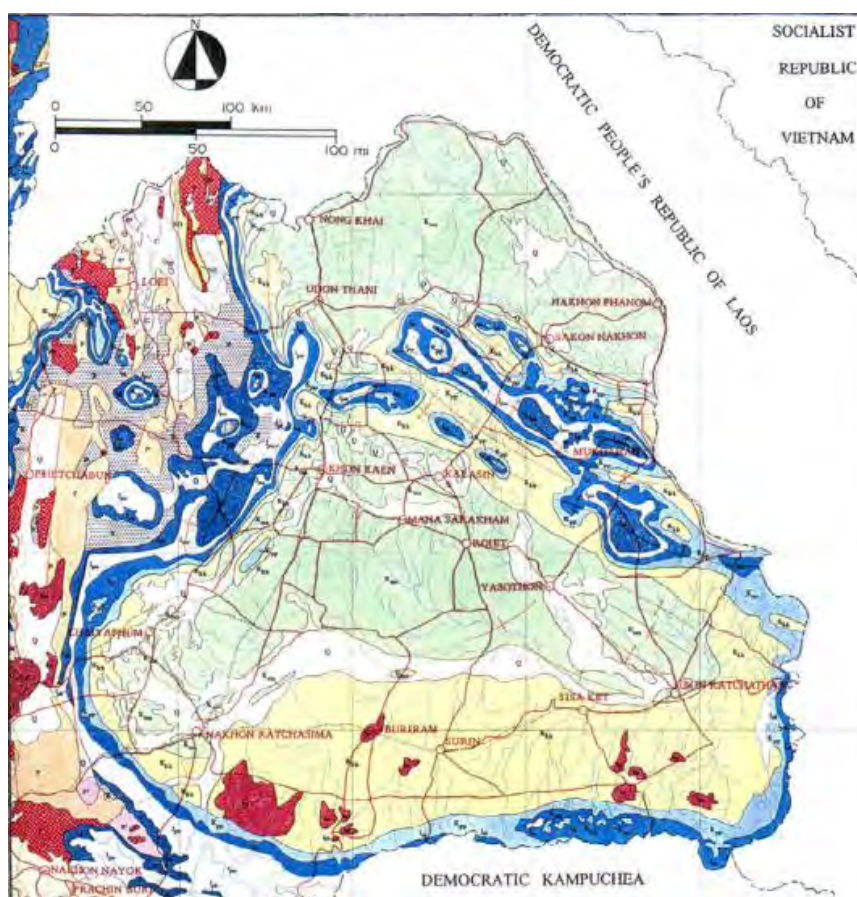
### 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## บทที่ 2 ธรณีวิทยาภูมิภาคและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ธรณีวิทยาภูมิภาค

#### 2.1.1 ลักษณะทั่วไป

บริเวณที่ราบสูงโคราช ประกอบด้วยหินตะกอนของกลุ่มหินโคราช (Khorat Group) ซึ่งเป็นชั้นหินตะกอนเนื้อประสมภาคพื้นทวีป อายุมหายุคมิโซโซอิก ส่วนใหญ่ประกอบด้วย หินทรายแป้ง หินทราย หินโคลน และหินกรวดมน ความหนาของกลุ่มหินทั้งสิ้นอาจถึง 4,000 เมตร มีอายุตั้งแต่ยุคไทรแอสซิกตอนปลายถึงยุคครีเตเชียส-เทอร์เชียรี วางตัวแบบรอยชั้นไม่ต่อเนื่องอยู่บนพื้นผิวที่เกิดจากการผุกร่อนของหินมหายุคพาลีโอโซอิกตอนบน โดยที่ชั้นหินเอียงลาดเล็กน้อยสู่ใจกลางแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร และบริเวณทิศใต้ของที่ราบสูงโคราช มีหินบะซอลต์ยุคควอเทอร์นารีไหลปกคลุมกลุ่มหินโคราชบางบริเวณ กระจายตัวปกคลุมบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) ดังรูปที่ 2.1 และ รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แผนที่ย่อส่วนจากแผนที่ธรณีวิทยาบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย มาตราส่วน 1:2,500,000 (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) แสดงหมวดหินต่างๆที่กระจายตัวอยู่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย



รูปที่ 2.2 แสดงสัญลักษณ์และคำอธิบายแผนที่ธรณีวิทยาบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มาตรฐาน 1:2,500,000 (กรมทรัพยากรธรณี, 2554)

## 2.1.2 การเกิดและการสะสมตัวของแอ่งตะกอนโคราช

จากงานวิจัยของ วิโรจน์ ดาวฤกษ์ และคณะ (2541) สรุปว่ากลุ่มหินโคราชมีการสะสมตัวอย่างกว้างขวางในบริเวณแอ่งสะสมตะกอนที่ราบสูง ต่อเนื่องไปจนถึงบางส่วนของประเทศลาวและกัมพูชา แอ่งสะสมตะกอนดังกล่าวเกิดหลังการชนกันของหินฐานธรณีฐานไทยและหินฐานธรณีอินโดจีนในยุคไทรแอสซิกตอนต้น (Bunopas, 1981) โดยหลังการชนกันได้มีการกักตัวของแนวเทือกเขาที่เกิดขึ้นและพัดพาตะกอนดังกล่าวโดยอาศัยตัวกลาง เช่น น้ำและลม มาสะสมตัวบริเวณแอ่ง ซึ่งมีการยุบตัวอย่างสม่ำเสมอตั้งแต่ช่วงยุคไทรแอสซิกตอนปลายจนถึงครีเทเชียสตอนปลาย ทำให้เกิดการสะสมตัวของตะกอนภาคพื้นทวีปชั้นหนา และในบางช่วงพบว่ามีการรุกรานของน้ำทะเลเข้ามายังพื้นทวีป

## 2.1.3 การลำดับชั้นหินและธรณีวิทยาโครงสร้าง

### 2.1.3.1 การลำดับชั้นหิน

ปัจจุบันกรมทรัพยากรธรณีได้แบ่งกลุ่มหินโคราชออกเป็น 9 หมวดหิน โดยสามารถเรียงอายุจากแก่ไปอ่อนคือหมวดหินห้วยหินลาด หมวดหินน้ำพอง หมวดหินภูกระดึง (Phu Kadung Formation) หมวดหินพระวิหาร (Phra Wihan Formation) หมวดหินเสาขัว (Sao Khua Formation) หมวดหินภูพาน (Phu Phan Formation) หมวดหินโคกกรวด (Khok Kruat Formation) หมวดหินมหาสารคาม (Maha Sarakham Formation) และ หมวดหิน ภูทอก (Phu Thok Formation) โดยรายละเอียดโดยย่อ (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) ดังต่อไปนี้

1. หมวดหินห้วยหินลาด เป็นหมวดหินล่างสุดของชั้นหินที่ตกตะกอนบนภาคพื้นทวีป ตั้งชื่อโดย Iwai *et al.* (1966) เป็นหมวดหินล่างสุดของกลุ่มหินโคราช โผล่กระจายกว้างขวางตามขอบที่ราบสูงโคราช ลักษณะทางกายภาพของหินในหมวดหินห้วยหินลาดบริเวณตำแหน่งชั้นหินแบบฉบับ (type section) แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนล่างประกอบด้วยหินกรวดมนชั้นฐาน โดยมีหินปูนสลับอยู่ด้านบนเล็กน้อย ส่วนบนประกอบด้วยหินทรายและหินโคลนสีเทาสลับกัน มีหินปูนปนโคลนสีเทาดำแทรก มีความหนาแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วง 100-400 เมตร

2. หมวดหินน้ำพอง เป็นหมวดหินล่างสุดของกลุ่มหินโคราชที่เริ่มมีสีแดง ตั้งโดย Ward and Bunnag (1964) จากข้อมูลภาคสนามพบว่าหมวดหินนี้วางตัวต่อเนื่องบนหมวดหินห้วยหินลาด (Chonglakmani and Sattayarak, 1978) โผล่กระจายกว้างขวางตามพื้นที่ขอบตะวันตกของที่ราบสูงโคราช ซึ่งอยู่ใกล้กับขอบเขตของหมวดหินห้วยหินลาด บางบริเวณพบวางตัวอยู่บนหินปูนยุคเพอร์เมียน หมวดหินนี้ประกอบด้วยกลุ่มหินทรายแป้ง หินทรายและหินโคลนสีน้ำตาลแกมแดงในตอนล่าง หินทรายและหินกรวดมน



สีน้ำตาลแกมแดงในตอนกลาง และหินโคลน หินทรายแป้ง และหินดินดานในตอนบน มีความหนาเฉลี่ยของหมวดหินอยู่ที่ 100-1,050 เมตร

3. หมวดหินภูกระดึง ตั้งโดย Ward and Bunnag (1964) และจากข้อมูล คลื่นไหวสะเทือน (seismic wave) หมวดหินภูกระดึงวางตัวไม่ต่อเนื่อง (unconformable contact) กับหมวดหินน้ำพอง (Sattayarak *et al.*, 1991) พบทั่วไปตามขอบทางตะวันตกของที่ราบสูงโคราชและยังพบเป็นพื้นที่แคบๆแถบเทือกเขาภูพาน สามารถแบ่งลำดับชั้นของหมวดหินนี้ออกเป็น 3 ส่วน โดยที่ขอบเขตล่างสุดของหน่วยหินภูกระดึงให้เป็นจุดล่างสุดของหินทรายแป้ง ซึ่งมีแคลไซต์เป็นวัตถุประสาน (cement) ส่วนขอบเขตบนสุดนั้นให้เป็นจุดบนสุดของหินสีเทาแกมแดง ที่วางตัวอยู่กลางของหินทรายสีขาว ไม่แสดงชั้นซึ่งเป็นชั้นล่างสุดของหมวดหินพระวิหาร ความหนาของหมวดหินภูกระดึงบริเวณที่ตั้งแบบฉบับ มีความหนา 1,001 เมตร และแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วง 800-1,200 เมตร ในพื้นที่อื่นๆ

4. หมวดหินพระวิหาร ตั้งโดย Ward and Bunnag (1964) พบแผ่กระจายกว้างขวางทั่วทั้งที่ราบสูงโคราชในพื้นที่บริเวณเดียวกันกับการแผ่กระจายของหมวดหินภูกระดึง โดยมีโคลนเป็นหินลานกว้างหรือขอบสันของเทือกเขาที่ปิดล้อมเขตที่ราบสูงโคราชทั้งหมด วางตัวต่อเนื่องกับทั้งหมวดหินภูกระดึงด้านล่างและหมวดหินเสาขัวทางด้านบน หมวดหินพระวิหารประกอบด้วยหินทราย สีขาวปนเหลืองเม็ดละเอียดถึงหยาบ มีการคัดขนาดและความกลมมนดี ประกอบด้วยเม็ดควอตซ์เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมีหินทรายแป้ง หินโคลนชั้นบาง และหินกรวดมนแทรกสลับในบางช่วง โดยทั่วไปหมวดหินพระวิหารมีความหนา 100-250 เมตร

5. หมวดหินเสาขัว ตั้งชื่อโดย Ward and Bunnag (1964) พบแผ่กระจายกว้างขวางเช่นเดียวกับหมวดหินภูกระดึงและหมวดหินพระวิหารบนที่ราบสูงโคราช วางตัวต่อเนื่องกับหมวดหินพระวิหารที่วางตัวอยู่ล่าง ประกอบด้วยหินโคลนปนทรายแป้งสีน้ำตาลแกม สลับกับหินทรายแป้ง หินทรายเม็ดละเอียดถึงเม็ดปานกลาง และหินกรวดมนกับชั้นของ แคลครีต (calcrete) และ ซิลครีต (silcretes) โดยทั่วไปหมวดหินเสาขัวมีความหนาระหว่าง 200-760 เมตร ความหนาของหมวดหินเสาขัวที่โผล่ให้เห็นในบางพื้นที่เช่นบริเวณเทือกเขาภูพานมีความหนาเฉลี่ย 120 เมตร โดยแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วงความหนาระหว่าง 50-200 เมตร

6. หมวดหินภูพาน (Phu Phan Formation) ตั้งชื่อโดย Ward and Bunnag (1964) แผ่กระจายทั่วไปในที่ราบสูงโคราชโดยเฉพาะบริเวณขอบด้านนอกของหมวดหินเสาขัว วางตัวต่อเนื่องกับหมวดหินเสาขัวที่วางตัวอยู่ล่าง ประกอบด้วยหินทรายสีเทาปนขาว มีขนาดเม็ดปานกลางถึงเม็ดหยาบจนถึงเม็ดกรวดมน เป็นชั้นหนาและมีชั้นเฉียงระดับขนาดใหญ่ทั้ง planar cross bedding และ trough cross-bedding โดยมีส่วนประกอบเป็นพวกควอตซ์สีขาว หินภูเขาไฟ หินเชิร์ตสีเทา เทอดำ น้ำตาลแดง ดำ เทาขาวและเขียว โดยทั่วไปความหนาของหมวดหินภูพานมีความหนาระหว่าง 80-140 เมตร ความหนาของชั้นหินทรายของหมวดหินแตกต่างกันไปและเป็นความหนาที่เหลือจากการผุพังและถูกพัดพาไปแล้ว

7. หมวดหินโคกกรวด ตั้งชื่อโดย Ward and Bunnag (1964) หมวดหินโคกกรวดแผ่กระจายให้เห็นในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตามขอบทั้งสองด้านของแอ่งพื้นที่ราบของแอ่งรูปประทุน ของส่วนเหนือของเทือกเขาภูพาน ซึ่งเป็นแนวที่หมวดหินเสาขัวและหมวดหินภูพานโผล่ให้เห็น วางตัวเป็นชั้นต่อเนื่องกับหมวดหินภูพานที่วางตัวอยู่ล่าง ประกอบด้วยหินทราย หินทรายแป้ง หินโคลน และหินกรวดมน สีนํ้าตาลแดง สีแดงปนม่วง นอกจากนี้ยังพบชั้นของก้อนแคลคริต อยู่ในชั้นบนสุดของหินโคลน โดยทั่วไปมีความหนาของหมวดหินโคกกรวดแปรเปลี่ยนตั้งแต่ 430-700 เมตร

8. หมวดหินมหาสารคาม ตั้งชื่อโดย Gardner *et al.* (1967) พบแผ่กระจายเป็นบริเวณกว้างมากที่สุดคือตามที่ราบทั่วไปภายในแอ่งโคราช วางตัวไม่ต่อเนื่องกับหมวดหินโคกกรวดที่อยู่ด้านล่าง ประกอบด้วยหินโคลน หินทรายแป้ง และเกลือหิน อยู่สลับกัน จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากหลุมเจาะสำรวจโปแตช และหลุมเจาะสำรวจปิโตรเลียม นักธรณีวิทยาหลายคนได้เสนอให้แยกหมวดหินมหาสารคามออกจากกลุ่มหินโคราช จากข้อมูลหลุมเจาะพบว่าหมวดหินมหาสารคามมีความหนาทั้งหมด 610 เมตร และอาจมีบางที่ที่มีความหนาถึง 1000 เมตร

9. หมวดหินภูทอก ตั้งชื่อโดย จงพันธ์ จงลักษณะณี และคณะ (2522) แผ่กระจายตัวทั่วไปในบริเวณภูทอกน้อย ภูทอกใหญ่ ภูสิงห์ ภูวัว ภูลังกา และบริเวณที่ราบลอนคลื่นทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ไม่พบความสัมพันธ์ของหมวดหินภูทอกกับหมวดหินมหาสารคามโผล่ให้เห็นในพื้นที่ราบ แต่จากหลักฐานแห่งหินจากหลุมเจาะนํ้าบาดาลที่บ้านท่าพระ จังหวัดขอนแก่น พบว่าชั้นหินหมวดหินภูทอกวางตัวอยู่บนชั้นเกลือของหมวดหินมหาสารคาม โดยทั่วไปหมวดหินภูทอกประกอบด้วยหินทรายสองชนิดคือหินทรายสีนํ้าตาลแดงเนื้อหยาบปานกลางถึงละเอียดชั้นหนาวางชั้นเฉียงระดับขนาดใหญ่แทรกสลับกับหินทรายสีแดงแกมนํ้าตาลถึงแดงแกมม่วงเนื้อละเอียดมากถึงทรายแป้งมีเนื้อปูนผสมที่มีโครงสร้างแบบลอนคลื่น ความหนาของหมวดหินภูทอกที่โผล่ให้เห็นในพื้นที่ภูทอกและภูวัวโดยเฉลี่ยประมาณ 205 เมตร

### 2.1.3.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

จากงานวิจัยของ วิโรจน์ ดาวฤกษ์ และคณะ (2541) สรุปว่า ธรณีโครงสร้างบริเวณแอ่งที่ราบสูงโคราชเกิดจากเหตุการณ์ทางธรณีวิทยา 4 ช่วง

ช่วงที่ 1 ทำให้เกิดโครงสร้างขนาดยาวและแคบในแนวเหนือ-ใต้

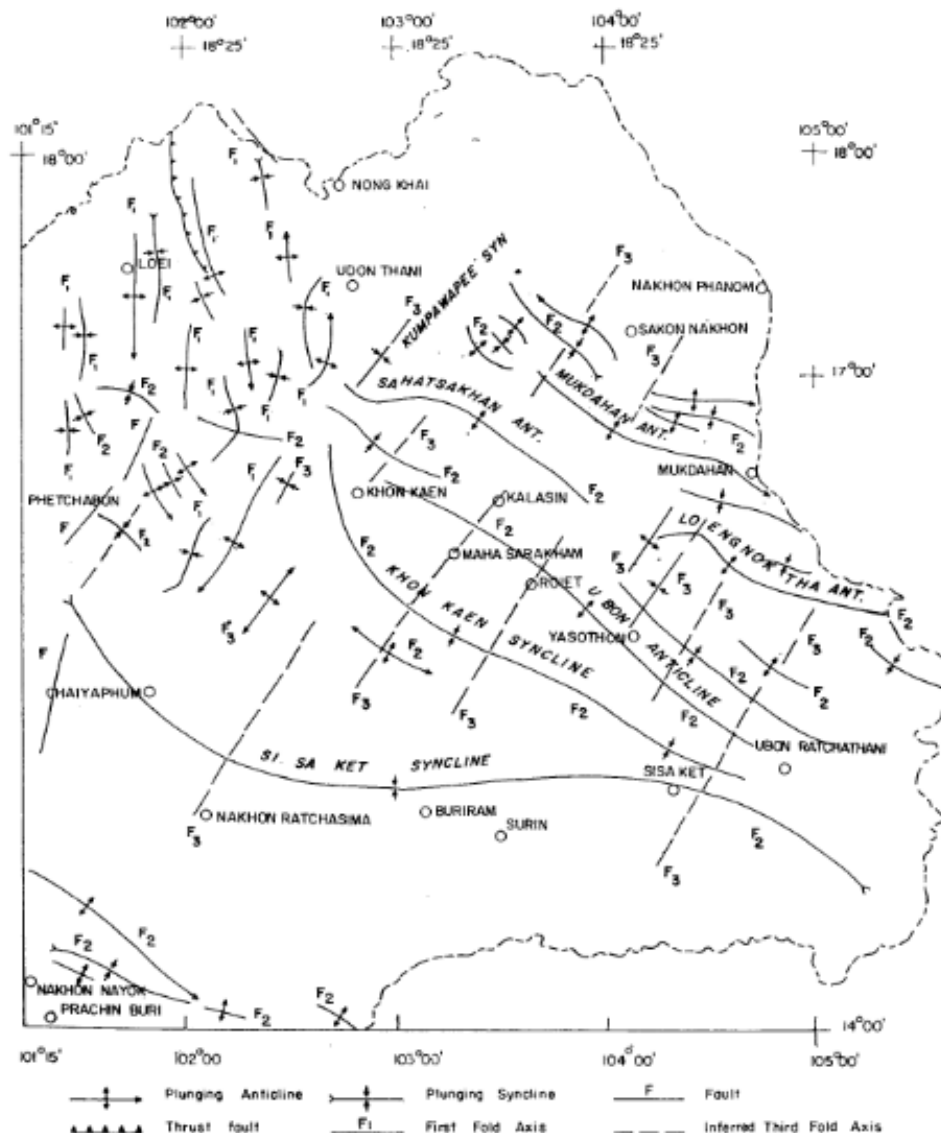
ช่วงที่ 2 เกิดการบีบอัดของแรงในแนวเหนือ-ใต้และตะวันออก-ตะวันตก

ช่วงที่ 3 เป็นผลทำให้เกิดรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ (thrust fault) ของหมวดหินพาลีโอโซอิก ทางด้านตะวันตก เลื่อนตัวมาวางทับกลุ่มหินโคราช

ช่วงที่ 4 ทำให้เกิดรอยเลื่อนปัจจุบันทางตะวันตกของที่ราบสูงโคราชแถบจังหวัดเพชรบูรณ์

การคดโค้งในที่ราบสูงโคราชทั้งหมดเกิดจากเปลี่ยนแปลงรูปร่างชั้นหิน จำนวน 3 ครั้ง (Chuaviroj, 1997) (รูปที่ 2.3) การคดโค้งครั้งแรก (F1) เกิดในช่วงยุคครีเตเชียสตอนปลาย ชั้นหินคดโค้งจะมีแกนของการคดโค้งอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ มักพบตามตอนเหนือของขอบทางตะวันตกของที่ราบสูงโคราช การคดโค้งครั้งที่สอง (F2) เกิดในช่วงยุคเทอร์เชียรีตอนต้น ชั้นหินที่มีการคดโค้งจะมีแกนของการคดโค้งอยู่ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มักพบตามเทือกเขาภูพาน ภายในแอ่งตะกอนย่อยโคราช-อุบล และซ้อนทับแนวคดโค้งแรกบริเวณขอบทางตะวันตกของที่ราบสูงโคราช การคดโค้งครั้งที่สาม (F3) เกิดในช่วงยุคเทอร์เชียรีตอนกลางถึงตอนปลาย ชั้นหินที่มีการคดโค้งจะมีแกนของการคดโค้งอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ การคดโค้งนี้พบเด่นชัดมากบริเวณกลางแอ่งตะกอนโคราชและมักพบซ้อนทับบนแนวคดโค้งที่ 2 การคดโค้งทั้งหมดที่กล่าวมาทำให้กลุ่มหินโคราชส่วนใหญ่มีการเอียงเทมุมต่ำไม่เกิน 20 องศา ตามบริเวณขอบแอ่งและเทือกเขาภูพาน และไม่เกิน 5 องศาบริเวณกลางแอ่งโคราช

รอยเลื่อนที่พบส่วนใหญ่มักพบตามขอบที่ราบสูงโคราชและตามเทือกเขาภูพาน จัดว่าเป็นรอยเลื่อนปกติและรอยเลื่อนแนวระดับ ที่อยู่ในแนวเดียวหรือตั้งฉากกับแนวคดโค้งเช่นตามขอบโคราชมักพบรอยเลื่อนในแนวเหนือ-ใต้และตะวันออกเฉียง-ตะวันตก ในขณะที่บริเวณเทือกเขาภูพานจะอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้และตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ รอยเลื่อนจะมีอิทธิพลทำให้ชั้นหินโคราชในบริเวณใกล้เคียงมีการเอียงเทสูงกว่าปกติ ส่วนใหญ่ร่องรอยของรอยเลื่อนจะพบตามหน้าผาของชุดหินที่แข็งแกร่ง เช่น หินภูพานและหินพระวิหาร ส่วนบริเวณที่ราบกลางแอ่งมักพบรอยเลื่อนในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นแนวเดียวกับแนวของชั้นเกลือใต้ผิวดิน



รูปที่ 2.3 แสดงการแปรสภาพของชั้นหินในกลุ่มหินโคราช อ้างอิงจากดาวเทียม Landsat 5 (Chuaviroj, 1997)

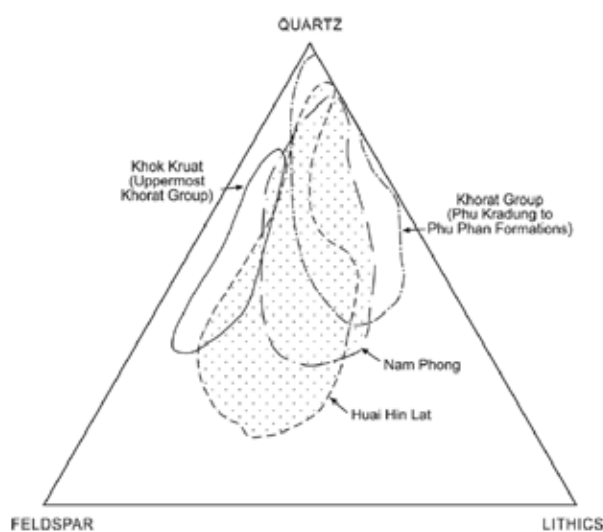
## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 หมาดหินน้ำพอง

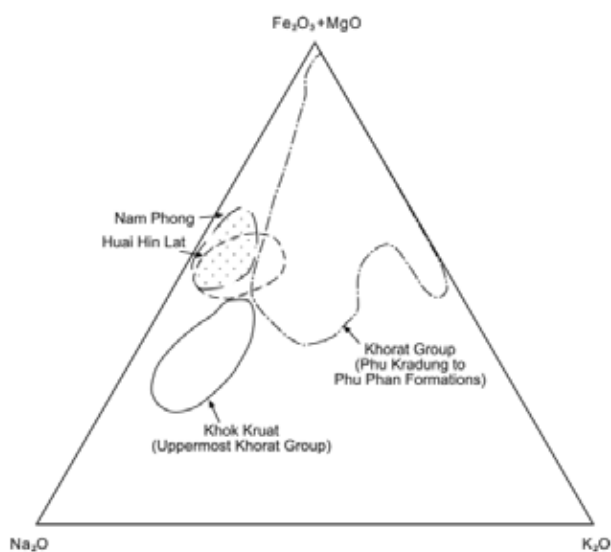
Racey *et al.* (1996) จำแนกประเภทของหินทรายหมาดหินน้ำพองเป็น หิน lithic arenites หิน lithic wackes หิน sub-lithic arenites หิน sub-lithic wackes และ หิน sub-feldspathic arenites มีขนาดของเม็ดตะกอน (grain size) อยู่ในช่วงขนาด ทรายแป้ง (silty sand) ถึงทรายหยาบ (coarse sand) โดยขนาดตะกอนเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง ทรายละเอียด (fine sand) มีการคัดขนาดแย้ (poorly sorting) ถึงการคัดขนาดระดับดี (well sorting) โดยปกติจะพบการคัดขนาดปานกลาง (moderately sorting) ลักษณะของเม็ด

ตะกอน มีความหลากหลายตั้งแต่เหลี่ยม (angular) จนถึงเกือบเหลี่ยม (sub-angular) มีสารเชื่อมประสานเป็นแคลไซต์ โดยพบว่าครึ่งหนึ่งของหินทรายที่นำมาศึกษาประกอบด้วยฮิมาไทต์ มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จากการพบ *Corollina* sp. ร่วมกับ *Ovalipolis ovalis* อายุของหมวดหินน้ำพองควรมีอายุนอเรียลตอนปลาย (Late Norian) ถึงเรเธียน (Rhaetian)

เม็ดตะกอน Monocrystalline quartz และ Polycrystalline quartz จะพบได้ทั่วไป โดยมีสัดส่วนของเม็ดตะกอน ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ และเศษหิน ดังรูปที่ 2.4 และสัดส่วนทางเคมีของ  $Fe_2O_3+MgO$   $K_2O$  และ  $Na_2O$  ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 แสดงสัดส่วนเม็ดตะกอน ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ และเศษหิน ของหินทรายหมวดหินห้วยหินลาด หินทรายหมวดหินน้ำพอง หินทรายหมวดหินโคกกรวด และหินทรายกลุ่มหินโคราช (Racey et al., 1996)



รูปที่ 2.5 แสดงสัดส่วนทางเคมี  $Fe_2O_3+MgO$   $K_2O$  และ  $Na_2O$  ของหินทรายหมวดหินห้วยหินลาด หินทรายหมวดหินน้ำพอง หินทรายหมวดหินโคกกรวด และหินทรายกลุ่มหินโคราช (Racey et al., 1996)

Booth and Sattayarak (2011) รายงานว่าหมวดหินน้ำพองตอนล่าง (Lower Nam Phong Formation) ถูกใช้เรียกหมวดหินชั้นล่างสุดที่เกยทับอยู่บน Indosinian II unconformity ซึ่งแต่เดิมเรียกว่าหมวดหินห้วยหินลาด (Mouret, 1994) ประกอบด้วยหินเคลย์ หินทรายแป้ง และหินทราย สลับชั้นกันในสัดส่วนเท่าๆ กัน โดยที่ชั้นหินทรายมีความหนาอยู่ในช่วง 1-3 เมตร ซึ่งถูกตีความว่ามีการสะสมตัวในสภาพแวดล้อมในบริเวณแหล่งตะกอนน้ำพารูปพัด (alluvial fan) และที่ราบลุ่มริมแม่น้ำ (flood plain) หมวดหินน้ำพองตอนล่างนั้นจะเจอในบริเวณส่วนกลางของที่ราบสูงโคราช และเจอบางบริเวณในตอนเหนือ และตอนใต้ของที่ราบสูงโคราช พบร่องรอยของหินโคล่บริเวณด้านตะวันตกของอำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น หมวดหินน้ำพองตอนล่างสามารถแยกออกจากหมวดหินห้วยหินลาดจากลักษณะทางกายภาพของหินดินดานและหินทรายแป้งที่มีสีน้ำตาลแกมแดง ซึ่งถ้าหากเป็นหินดินดานและหินทรายแป้ง ของหมวดหินห้วยหินลาดจะมีสีน้ำตาลเทาหรือสีเทา สำหรับหมวดหินน้ำพองตอนบน (Upper Nam Phong Formation) ใช้เรียกหมวดหินที่วางตัวเกยทับอยู่บน Indosinian III Unconformity มีความหนาสูงสุดประมาณ 1,000 เมตร ในบริเวณกลางแอ่ง พบว่าในบริเวณตอนกลางและด้านตะวันตกของแอ่งโคราช ส่วนล่างของหมวดหินนั้นพบลักษณะของหินทรายละเอียดถึงหินทรายหยาบชั้นหนา ร่วมกับหินกรวดมนที่มักเป็นฐานเศษหินที่พบประกอบไปด้วยหินเชิร์ต แร่ควอตซ์ และอีกหลากหลายหินไม่ว่าจะเป็นหินอัคนีผุ ชุดหินทรายที่พบมีลักษณะเป็นหินทรายเนื้อเหล็ก (ferruginous sandstone) ถูกตีความว่ามีการสะสมตัวของตะกอนบริเวณธารประสานสาย (braided stream) หรือบริเวณแม่น้ำแบบโค้งตัว (meandering river) ในทางกลับกันในบริเวณด้านตะวันออกเฉียงเหนือและด้านตะวันออกของแอ่ง ส่วนล่างของหมวดหินประกอบด้วยหินเคลย์และหินทรายแป้ง มีหินทรายละเอียดชั้นบางแทรกสลับเป็นบางช่วง และถูกตีความว่ามีการสะสมตัวบริเวณที่ราบตะกอนน้ำพา (alluvial plain) หรือที่ราบลุ่มริมแม่น้ำ ส่วนบนของหมวดหินนี้ มีลักษณะเหมือนกันทั่วทั้งแอ่งโคราชคือประกอบด้วย หินเคลย์ และหินทรายแป้งสีน้ำตาลแดงแทรกสลับด้วยหินทรายชั้นบางสีเทาแดงถึงสีเทาในบางช่วง และถูกตีความว่ามีการสะสมตัวบริเวณที่ราบตะกอนน้ำพาหรือที่ราบลุ่มริมฝั่งแม่น้ำ

## 2.2.2 ระบบปิโตรเลียม บริเวณที่ราบสูงโคราช

### 2.2.2.1 หินต้นกำเนิด (source rocks)

Sattayarak (2005) ศึกษาตัวอย่างหินที่ได้จากหลุมเจาะและหินโคล่ที่พบภายในบริเวณที่ราบสูงโคราช พบว่าสามารถแบ่งหินต้นกำเนิดได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มหินสระบุรี หมวดหินห้วยหินลาด และกลุ่มหินโคราช

กลุ่มหินสระบุรี มีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียน ส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินดินดานที่มีการสะสมตัวบริเวณทะเลน้ำตื้น และหินปูนวางซ้อนอยู่บนชั้นหินที่มีอายุแก่กว่าในลักษณะที่ชั้นหินที่วางชั้นไม่ต่อเนื่อง (unconformable strata) สามารถแบ่งกลุ่มย่อยได้เป็น 3 ส่วน คือ

1. ส่วนล่างของกลุ่มหินสระบุรี หินตะกอนเนื้อผสม หรือ ส่วนบนของหมวดหินวังสะพุง (Wang Saphung Formation) ประกอบไปด้วยหินดินดานแทรกสลับกับหินปูน และในบางช่วงพบชั้นลิกไนต์ (lignite)
2. ส่วนกลางของกลุ่มหินสระบุรี ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยหินปูน และหินโดโลไมต์
3. ส่วนบนของกลุ่มหินสระบุรี หินตะกอนเนื้อผสม หรือหมวดหินหัวนาคำ (Hua Na Kham Formation) ประกอบไปด้วยหินดินดานแทรกสลับกับหินทราย และในบางช่วงพบหินปูนแทรกสลับ

พบว่าจากตัวอย่างหินที่นำมาศึกษา มีค่าอินทรีย์คาร์บอนรวม (Total Organic Carbon: TOC) อยู่ในช่วง 0.29-1.59 wt.% พบปิโตรเลียมสถานะ แก๊สแห้ง (dry gas) นอกจากนั้นข้อมูลธรณีเคมีจากการศึกษาของ Thongboonruang (2008) ที่ได้นำตัวอย่างหินจากหลุมเจาะ Phu Lop-1 Phu Wiang-1 Dao Ruang-1 และ Kham Palai-1 มาศึกษาพบว่าหินบริเวณส่วนบนของกลุ่มหินสระบุรีมีปริมาณของสารอินทรีย์ระดับน้อยถึงระดับมากประกอบไปด้วยเคอโรเจน (kerogen) ประเภทที่ III หรือ IV และมี maturity stage อยู่ในระดับ late mature ถึง post mature

*หมวดหินห้วยหินลาด* วางซ้อนอยู่บนหมวดหินยุคเพอร์เมียนหรือหินที่มีอายุแก่กว่าในลักษณะชั้นหินไม่ต่อเนื่อง หมวดหินห้วยหินลาดประกอบไปด้วย หินดินดาน หินทราย หินปูน หินกรวดมน และหินอัคนีผุ ซึ่งมีการสะสมตัวในสภาพแวดล้อมแบบทะเลสาบ (lacustrine environment) หมวดหินห้วยหินลาดสามารถที่จะแยกออกเป็น 2 ชุดลักษณะ (facies) ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของตะกอน แบ่งได้เป็นชุดลักษณะตะกอนสีเทาเข้มและชุดลักษณะตะกอนสีน้ำตาลแกมแดง โดยที่ค่าอินทรีย์คาร์บอนรวม อยู่ในช่วง 0.2-5.76 wt% และมี vitrinite reflectance เท่ากับ 0.9-4.57 %Ro

*กลุ่มหินโคราช* ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยหินตะกอนสีน้ำตาลแดง ซึ่งสะสมตัวบริเวณธารน้ำและทะเลสาบภายใต้สภาพอากาศที่แห้งแล้ง โดยทั่วไปพบว่าชั้นหินมีค่าปริมาณอินทรีย์สารต่ำ พบเคอโรเจนประเภทที่ II และมี maturity stage อยู่ในระดับ mature

### 2.2.2.2 หินกักเก็บ (reservoir rocks)

Canham *et al.* (1996) ศึกษาหินทรายในกลุ่มหินโคราชจำนวน 6 หมวดหิน ได้แก่ หมวดหินน้ำพอง หมวดหินภูกระดึง หมวดหินพระวิหาร หมวดหินเสาขัว หมวดหินภูพาน และหมวดหินโคกกรวด พบว่าค่าความพรุนของชั้นหินลดลงตามอายุที่เพิ่มมากขึ้น (ตารางที่ 2.1) อันเป็นผลจากการอัดแน่น (compaction) และการเกิดผลึกใหม่ (recrystallization)

ตารางที่ 2.1 แสดงผลลัพธ์จากการศึกษาหาค่าความพรุนกลุ่มหินโคราช โดยวิธีการนับจุดจำนวน 200 จุดแล้ว ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ (Canham *et al.*, 1996)

Formation	Nam Phong	Phu Kradung	Phra Wihan	Sao Khua	Phu Phan	Khok Kruat
<b>Number of samples</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>12</b>
<b>Porosity</b>	<b>4.9%</b>	<b>6.4%</b>	<b>5.9%</b>	<b>11.5%</b>	<b>10.8%</b>	<b>11.0%</b>
primary	1.5%	2.2%	2.8%	1.5%	6.8%	7.3%
secondary	3.2%	3.0%	2.5%	8.0%	3.3%	2.5%
microporosity	0.2%	1.1%	0.6%	2.0%	0.8%	1.3%
<b>Silica</b>	<b>1.4%</b>	<b>6.0%</b>	<b>6.7%</b>	<b>1.5%</b>	<b>9.3%</b>	<b>1.3%</b>
<b>Calcite (ferroan and non-ferroan)</b>	<b>3.4%</b>	<b>3.5%</b>	<b>1.3%</b>	<b>26.5%</b>	<b>Absent</b>	<b>Absent</b>
<b>Kaolinite</b>	<b>0.3%</b>	<b>2.1%</b>	<b>4.1%</b>	<b>2.0%</b>	<b>1.8%</b>	<b>Absent</b>
<b>Detrital clay</b>	<b>9.6%</b>	<b>8.2%</b>	<b>4.8%</b>	<b>3.5%</b>	<b>1.9%</b>	<b>0.8%</b>

ATOP Technology Co Ltd (2006) สรุปว่าหินกักเก็บที่มีความสำคัญที่สุดบริเวณที่ราบสูงโคราช คือ หินปูนยุคเพอร์เมียน ซึ่งประกอบไปด้วย หินโดโลไมต์ และหินปูนจากฟีดหินปะการัง มีสภาพให้ซึมได้ (permeability) และความพรุนสูง อีกทั้งยังพบว่าหินตะกอนเนื้อประสมในหมวดหินหัวนาคำ หมวดหินห้วยหินลาด หมวดหินน้ำพอง หมวดหินภูกระดึง และหมวดหินพระวิหาร มีศักยภาพในการเป็นหินกักเก็บ

Chantong (2007) สรุปว่าหินปูนยุคเพอร์เมียนบริเวณที่ราบสูงโคราช มีการตกสะสมตัวของตะกอนบริเวณลาน (platform) ประกอบด้วยหินปูนชนิด หินแพ็กสโตน (packstone) และหินเกรนสโตน (grainstone) พบซากดึกดำบรรพ์ในองค์ประกอบของหินในปริมาณมาก มีส่วนน้อยพบเป็นหินปูนชนิดหินโคลน (mudstone) และหินแวกส์โตน (wackstone) ความพรุนมีค่าต่ำ มีค่าอยู่ในช่วง 0-18 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยความพรุนเนื้อพื้น (matrix porosity) ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสภาพให้ซึมได้นั้นขึ้นอยู่กับรอยแตกจุลภาค (microfracture) จากการข้อมูลหลุมเจาะบริเวณที่ราบสูงโคราชพบว่าหมวดหินผานกเค้า (Pha Nok Khao Formation) เป็นหมวดหินเดียวที่พิสูจน์แล้วว่ามีความเหมาะสมที่จะเป็นชั้นหินกักเก็บเชิงพาณิชย์ได้

### 2.2.2.3 หินปิดกั้น (seal rocks)

Sattayarak (2005) กล่าวว่าหินปิดกั้นบริเวณที่ราบสูงโคราช ประกอบไปด้วย หินตะกอนเนื้อประสมยุคเพอร์เมียนที่ปิดทับอยู่บนชั้นหินปูนที่เป็นชั้นหินกักเก็บ หินดินดานและหินเคลย์ชั้นหนาที่พบในกลุ่มหินยุคไทรแอสซิก หมวดหินน้ำพอง และหมวดหินภูกระดึง



#### 2.2.2.4 โครงสร้างกักเก็บ (trap)

ATOP Technology Co Ltd (2006) ลักษณะกักเก็บแบบโครงสร้าง (structural trap) และลักษณะกักเก็บแบบลำดับชั้นหิน (stratigraphic trap) บริเวณที่ราบสูงโคราชสามารถสรุปออกมาได้เป็น 4 กลุ่ม

1. รอยชั้นไม่ต่อเนื่องเชิงมุมระหว่างกลุ่มหินสระบุรีกับหมวดหินห้วยหินลาด
2. การสะสมตัวของหินปูนยุคเพอร์เมียนในบริเวณความลาดชันส่วนนอก
3. โครงสร้างกึ่งกราเบนของหินยุคเพอร์เมียนและหินยุคไทรแอสซิกใต้กลุ่มหินโคราช
4. ชั้นหินโค้งรูปประทุนในช่วงยุคไทรแอสซิกและหินในกลุ่มหินโคราชซึ่งเกิดขึ้นมาในช่วงยุคเทอร์เชียรีตอนต้น

#### 2.2.3 ความพรุนในหินทราย

Choquette and Pray (1970) กล่าวว่าช่วงเวลาที่เกิดรูพรุนเป็นปัจจัยที่สำคัญในการที่จะแยกระหว่างความพรุนปฐมภูมิ (primary porosity) และความพรุนทุติยภูมิ (secondary porosity) ออกจากกัน โดยความพรุนปฐมภูมิเกิดขึ้นในช่วงสุดท้ายของการสะสมตัวของตะกอนหรือเกิดหลังจากการสะสมตัวของตะกอนอย่างทันทีทันใด ในขณะที่ความพรุนทุติยภูมินั้นจะเกิดในช่วงหลังจากการสะสมตัวของตะกอน หากเป็นรูพรุนที่เกิดขึ้นระหว่างเม็ดตะกอนจะถูกจัดอยู่ในประเภท intergranular และหากเป็นรูพรุนที่เกิดในเม็ดตะกอนจะถูกจัดอยู่ในประเภท intragranular

Shanmugam (1983) แบ่งประเภทของความพรุนทุติยภูมิออกเป็น 4 ประเภท (ตารางที่ 2.2) ดังนี้  
*grain fracture* คือรอยแตกซึ่งเกิดขึ้นภายในเม็ดตะกอนแต่ละเม็ดตะกอน ไม่ต่อเนื่องกับเม็ดตะกอนเม็ดอื่น มักเกิดจากความเค้นที่เกิดจากการกดทับที่มากเกินไป ร่วมกับกระบวนการการก่อตัว ใหม่ (diagenesis process) เช่นการละลาย (dissolution) และการอัดแน่น

*intergranular pore* คือรูพรุนซึ่งเกิดขึ้นระหว่างเม็ดตะกอน ภายในหิน

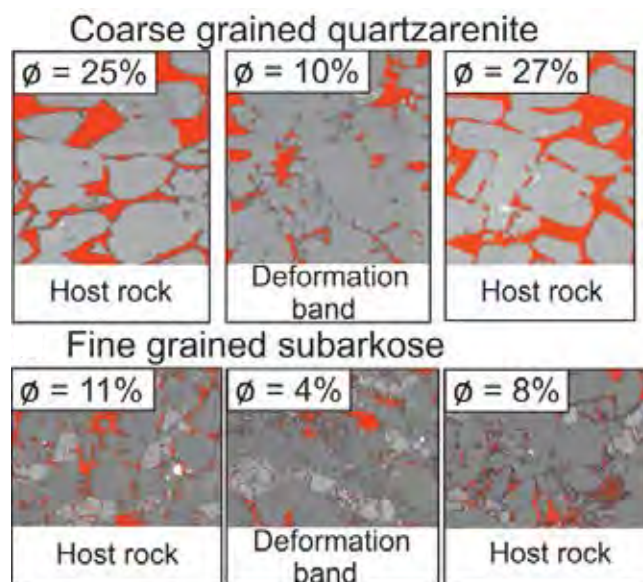
*intragranular pore* คือรูพรุนซึ่งเกิดขึ้นภายในเม็ดตะกอน ภายในหิน

*rock fracture* คือรอยแตกซึ่งเกิดจากความเค้นที่เกี่ยวข้องกับการแปรสัณฐาน (tectonic)

ตารางที่ 2.2 แสดงประเภทของความพรุนที่พบในหินทราย การกระจายตัว และผลต่อชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียม (Shanmugam, 1983)

PORE TYPES	DISTRIBUTION	POSITIVE EFFECTS ON RESERVOIR QUALITY
Primary intergranular	Common and isolated	Small to large
Primary intragranular	Very rare and isolated	Very small
Secondary intergranular	Very common and isolated to continuous	Moderate to large
Secondary intragranular	Rare to common and isolated	Small to moderate
Grain fracture	Rare to common and isolated	Very small
Rock fracture (open)	Rare to common and pervasive	Moderate to large

Griffiths *et al.* (2016) ทำการคำนวณค่าความพรุนของ deformation band ในหินทรายหมวดหิน Sherwood อายุไทรแอสซิก ด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพอิเล็กทรอนิกส์กระเจิงกลับ ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า โดยใช้โปรแกรม ImageJ ในการแยกพิกเซล (pixel) ที่แสดงถึงรูพรุนออกจากองค์ประกอบอื่นๆ จากการวิเคราะห์ค่าความพรุนของหิน พบว่าบริเวณ Deformation band มีค่าความพรุนน้อยกว่าหินเฝ้า (host rock) แสดงดังรูป 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงค่าความพรุนของ Coarse grained quartzarenite และ Fine grained subarkose หมวดหิน Sherwood บริเวณ Deformation band และบริเวณหินเฝ้า (Griffiths *et al.*, 2016)

## บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

### บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและรวบรวมเอกสารพื้นฐานในพื้นที่ศึกษา

#### 2. ออกภาคสนาม เก็บตัวอย่าง

- เลือกจุดศึกษาที่อยู่ในขอบเขตของหมวดหินน้ำพอง อ้างอิงจากแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบูรณ์ (กรมทรัพยากรธรณี, 2552) โดยทำการเลือกจุดศึกษา บริเวณตามทางหลวงหมายเลข 12 ในอำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ บริเวณที่ติดกับกลุ่มหินสระบุรีและหมวดหินห้วยหินลาดและอยู่ใกล้กับแหล่งก๊าซธรรมชาติน้ำพอง
- การเก็บตัวอย่างหินจะทำการเลือกเก็บตัวอย่างเฉพาะหินทรายที่มีความสด ไม่เก็บบริเวณที่มีรอยแตก (fracture) หรืออยู่ใกล้กับรอยเลื่อน ตัวอย่างหินที่เก็บแต่ละก้อนจะเป็นตัวแทนของชั้นหินทรายแต่ละชั้น ที่พบในบริเวณจุดศึกษา

#### 3. เตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาทางศิลาวรรณนาและความพรุนของหิน

- เตรียมแผ่นหินขัดบางสำหรับศึกษาทางศิลาวรรณนาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ โดยจัดทำ 1 แผ่นหินขัดบาง ต่อ 1 ตัวอย่างหิน รวมทั้งหมด 7 แผ่นหินขัดมัน
- เตรียมตัวอย่างขัดมันสำหรับศึกษาความพรุนของหิน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยจัดทำ 1 ตัวอย่างขัดมัน ต่อ 1 ตัวอย่างหิน รวมทั้งหมด 7 ตัวอย่างขัดมัน

#### 4. ศึกษาศิลาวรรณนาและศึกษาความพรุนของหิน

##### ศึกษาศิลาวรรณนาของหิน

- ศึกษาองค์ประกอบของแร่ภายในหิน คุณสมบัติของตะกอน และโครงสร้างวิทยาตะกอน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์
- ทำการศึกษาด้วยวิธี modal classification โดยจะตีตารางให้มีระยะห่างของเส้นตารางยาวกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่ที่สุดลงในภาพที่ถ่ายทอดสัดผ่าน โปรแกรม NIS-Elements BR จากนั้นทำการตั้งสเกล 0.0625 มิลลิเมตรไว้เพื่อแยกระหว่างเม็ดตะกอน และเนื้อพื้นทำการนับจุดแร่บริเวณที่เส้นตารางตัดกันจำนวน 300 จุด โดยจะทำการนับเริ่มจากฝั่งใดฝั่งหนึ่งเป็นแถวไป จนสุดแถวแล้วจึงทำการนับแถวถัดไป

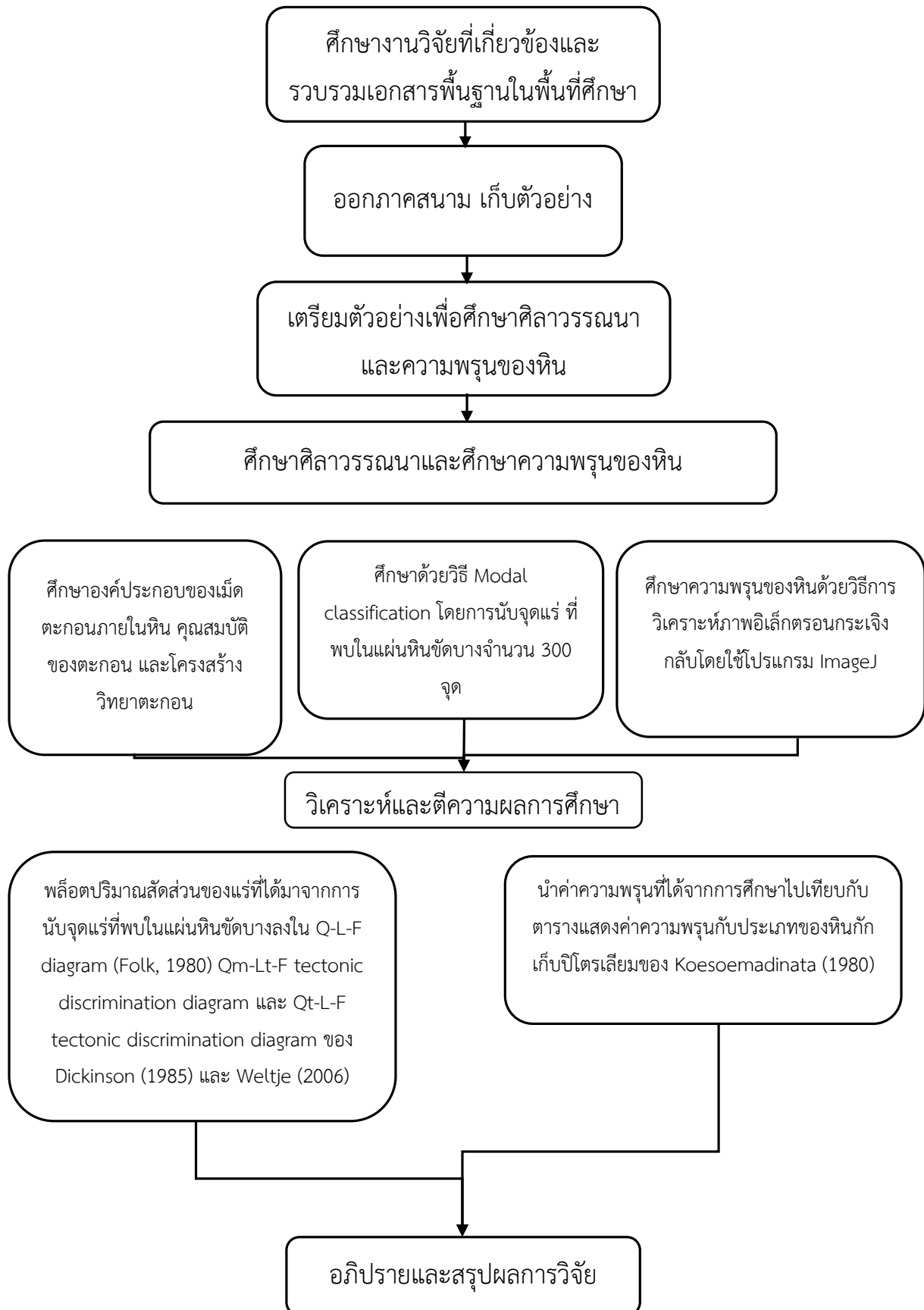
### ศึกษาความพรุนของหิน

- ศึกษาความพรุนของเนื้อหินทรายเชิงพื้นที่ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพอิเล็กทรอนิกส์กระเจิงกลับ ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า ที่ได้มาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยจะทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ โดยใช้ฟังก์ชัน Threshold ในการเลือกพิกเซล (pixel) ที่เป็นตัวแทนของรูพรุน โดยจะเลือกช่วงพิกเซลที่ครอบคลุมพิกเซลที่แสดงถึงรูพรุนทั้งหมด โดยจะวิเคราะห์ 3 ภาพ ต่อ 1 ตัวอย่างหิน
- การวิเคราะห์หาขนาดของรูพรุนจะใช้ฟังก์ชัน Analyze particle ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ค่า Feret diameter เป็นตัวแทนขนาดของรูพรุน หลังจากนั้นจะนำข้อมูลทั้งหมดของขนาดของรูพรุนที่ได้รับจากโปรแกรม มาวิเคราะห์การกระจายตัวขนาดของรูพรุนด้วยโปรแกรม Excel

### 5. วิเคราะห์ และตีความผลการศึกษา

- พล็อตปริมาณสัดส่วนของเม็ดตะกอน ที่ได้จากการนับจุดแร่อำนาจ 300 จุดที่พบในแผ่นหินขัดบางลงใน Q-L-F diagram (Folk, 1980) Qm-Lt-F tectonic discrimination diagram และ Qt-L-F tectonic discrimination diagram ของ Dickinson (1985) และ Weltje (2006)
- นำค่าความพรุนเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่างหิน เทียบกับตารางแสดงค่าความพรุนกับประเภทของหินกักเก็บปิโตรเลียมของ Koesoemadinata (1980)

### 6. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

## บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล

- 4.1 การสำรวจภาคสนามและการเก็บตัวอย่าง
- 4.2 การศึกษาทางศิลปวัฒนธรรม
- 4.3 การศึกษาความพรุนของหิน
- 4.4 การประเมินความพรุนสำหรับศักยภาพการเป็น  
ชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียม

## บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล

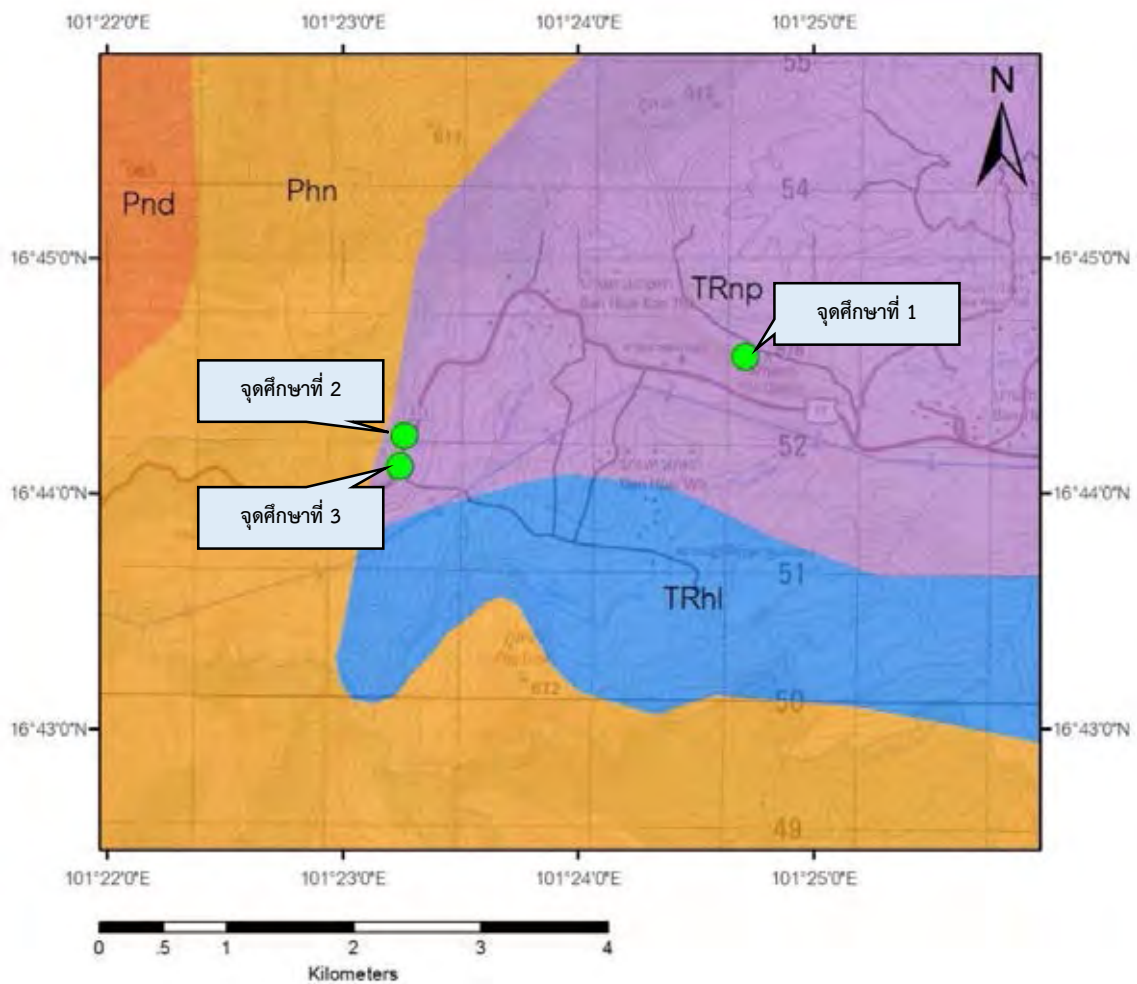
### 4.1 การสำรวจภาคสนามและการเก็บตัวอย่าง

เลือกเก็บตัวอย่างหิน เฉพาะหินทรายที่มีความสด ไม่เก็บบริเวณที่มีรอยแตกหรืออยู่ใกล้กับรอยเลื่อน โดยตัวอย่างหินที่เก็บแต่ละก้อนจะเป็นตัวแทนของชั้นหินทรายแต่ละชั้นที่พบบริเวณจุดศึกษา เพื่อนำมาตัดแผ่นหินบางสำหรับศึกษาทางสัณฐานวิทยา และนำมาทำตัวอย่างซีเมนต์เพื่อศึกษาความพรุน โดยมีพิกัดของจุดเก็บตัวอย่างดังตารางที่ 4.1 และแสดงตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างดังรูปที่ 4.1

จุดศึกษาที่ 1 – เก็บตัวอย่าง O1-1 O1-2 และ O1-3

จุดศึกษาที่ 2 – เก็บตัวอย่าง O2-1 และ O2-2

จุดศึกษาที่ 3 – เก็บตัวอย่าง O3-1 และ O3-2



รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงตำแหน่งจุดศึกษา อ้างอิงจากแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบูรณ์ (กรมทรัพยากรธรณี, 2552)



ตารางที่ 4.1 แสดงพิกัดของตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างหิน

ตัวอย่าง	ตำแหน่ง	ชนิดหิน	ละติจูด	ลองจิจูด
O1-1	ผาหินหลังศาล เจ้าพ่อผาแดง	Reddish brown, very fine- fine grained sandstone	16 ° 44 ' 34 " N	101 ° 24 ' 43 " E
O1-2	ผาหินหลังศาล เจ้าพ่อผาแดง	Reddish brown, fine- grained sandstone	16 ° 44 ' 34 " N	101 ° 24 ' 43 " E
O1-3	ผาหินหลังศาล เจ้าพ่อผาแดง	Reddish brown, medium- grained sandstone	16 ° 44 ' 34 " N	101 ° 24 ' 43 " E
O2-1	หินโผล่ริมทาง หลวงหมายเลข 12	Reddish brown, medium- grained sandstone	16 ° 44 ' 16 " N	101 ° 23 ' 16 " E
O2-2	หินโผล่ริมทาง หลวงหมายเลข 12	Reddish brown, fine- grained sandstone	16 ° 44 ' 16 " N	101 ° 23 ' 16 " E
O3-1	หินโผล่ริมทาง หลวงหมายเลข 12	Reddish brown, fine- grained sandstone	16 ° 44 ' 07 " N	101 ° 23 ' 15 " E
O3-2	หินโผล่ริมทาง หลวงหมายเลข 12	Reddish brown, fine- grained sandstone	16 ° 44 ' 07 " N	101 ° 23 ' 15 " E

#### 4.1.1 ลักษณะของหินโผล่ที่ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาศึกษา

1) จุดศึกษาที่ 1 ภาหินบริเวณหลังศาลเจ้าพ่อผาแดง พิกัด  $16^{\circ} 44' 25''$  N,  $101^{\circ} 24' 25''$  E ตัวอย่างหินที่เก็บ คือ ตัวอย่าง O1-1 ตัวอย่าง O1-2 และตัวอย่าง O1-3 หินโผล่มีลักษณะเป็น natural-out crop พบชั้นหินทรายสลับกับชั้นหินกรวดมน มีลำดับชั้นหินดังรูปที่ 4.2 มีการวางตัว (strike/dip angle) เท่ากับ  $274^{\circ} / 10^{\circ}$  N เนื่องจากจุดศึกษามีพื้นที่ขนาดใหญ่ จึงทำการแยกเก็บข้อมูลเป็น 3 จุดศึกษาย่อย จากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออกตามลำดับ ได้แก่ จุดศึกษาย่อยที่ 1 (รูปที่ 4.6) จุดศึกษาย่อยที่ 2 (รูปที่ 4.10) และจุดศึกษาย่อยที่ 3 (รูปที่ 4.13) และได้ทำการแบ่งหน่วยหินบริเวณนี้ตามลักษณะของหินที่พบเป็น 5 หน่วยหิน ได้แก่

หน่วยหิน A Reddish brown, very fine-fine grained sandstone (รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4)

หน่วยหิน B Reddish brown, fine-grained sandstone

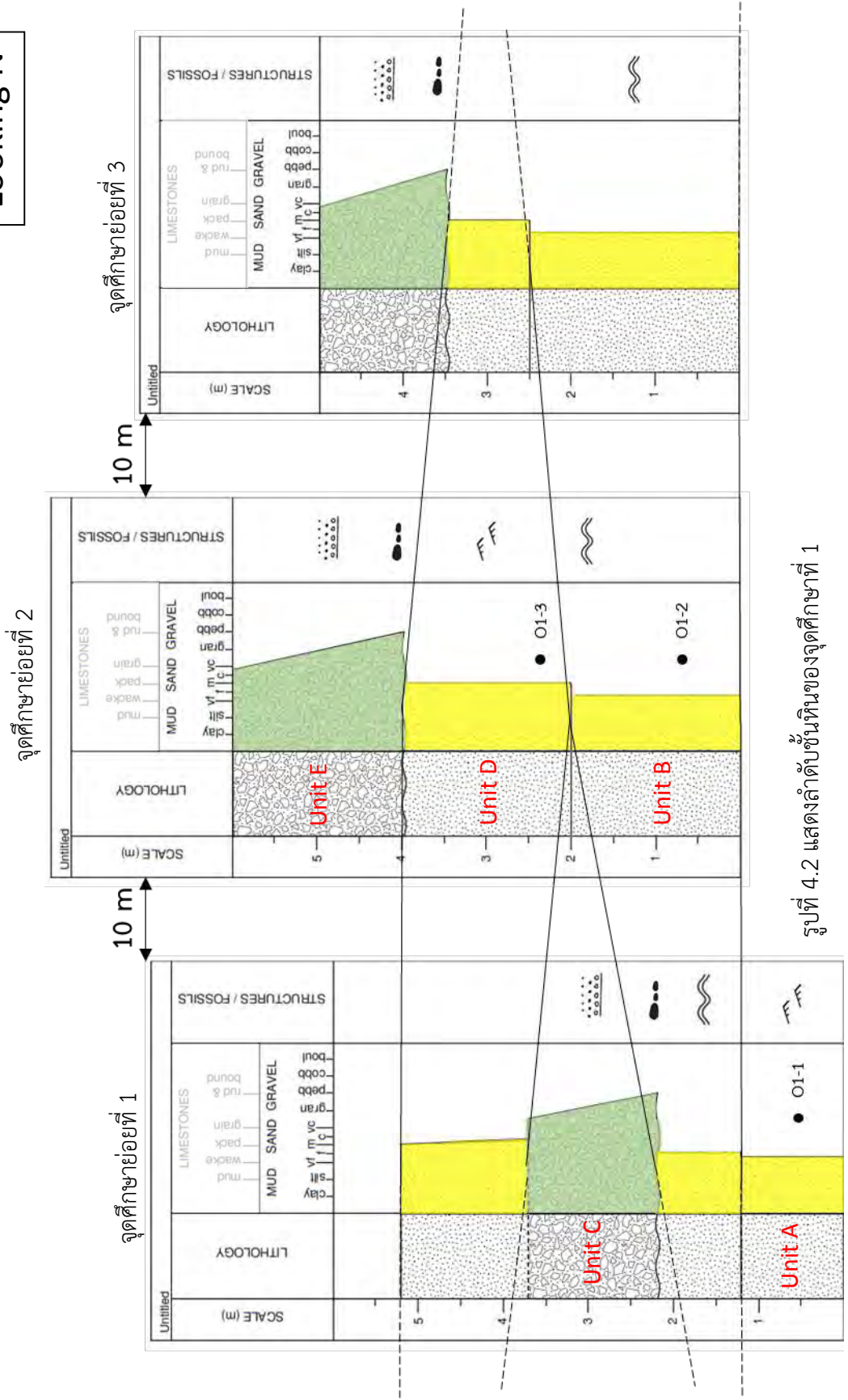
(รูปที่ 4.5 รูปที่ 4.7 รูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.11)

หน่วยหิน C Reddish brown conglomerate

หน่วยหิน D Reddish brown, medium-grained sandstone (รูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.12)

หน่วยหิน E Reddish brown conglomerate

Looking N

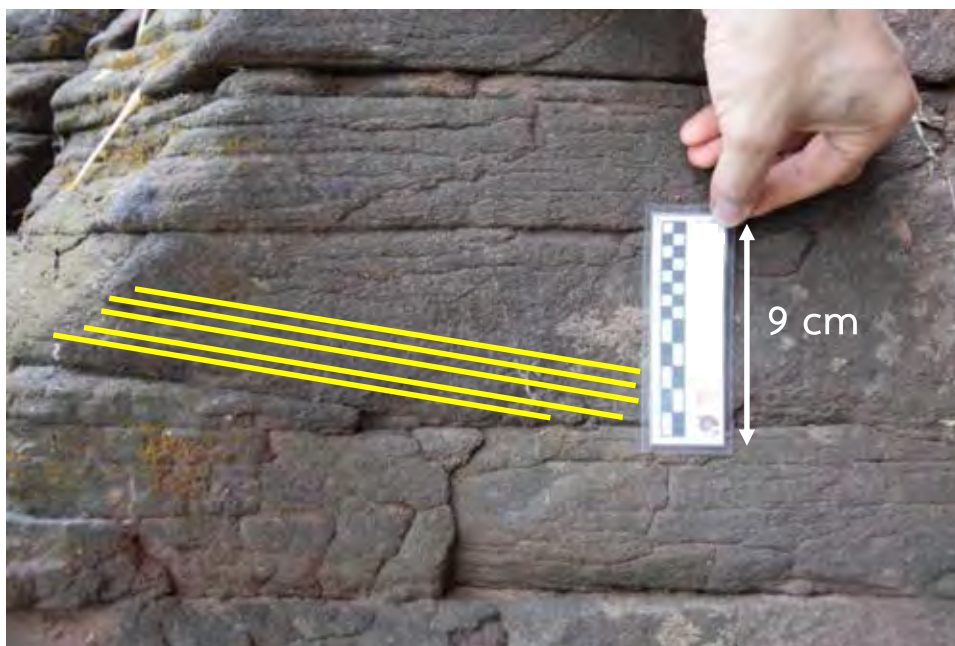


รูปที่ 4.2 แสดงลำดับชั้นหินของจุดศึกษาที่ 1

## จุดศึกษาย่อยที่ 1



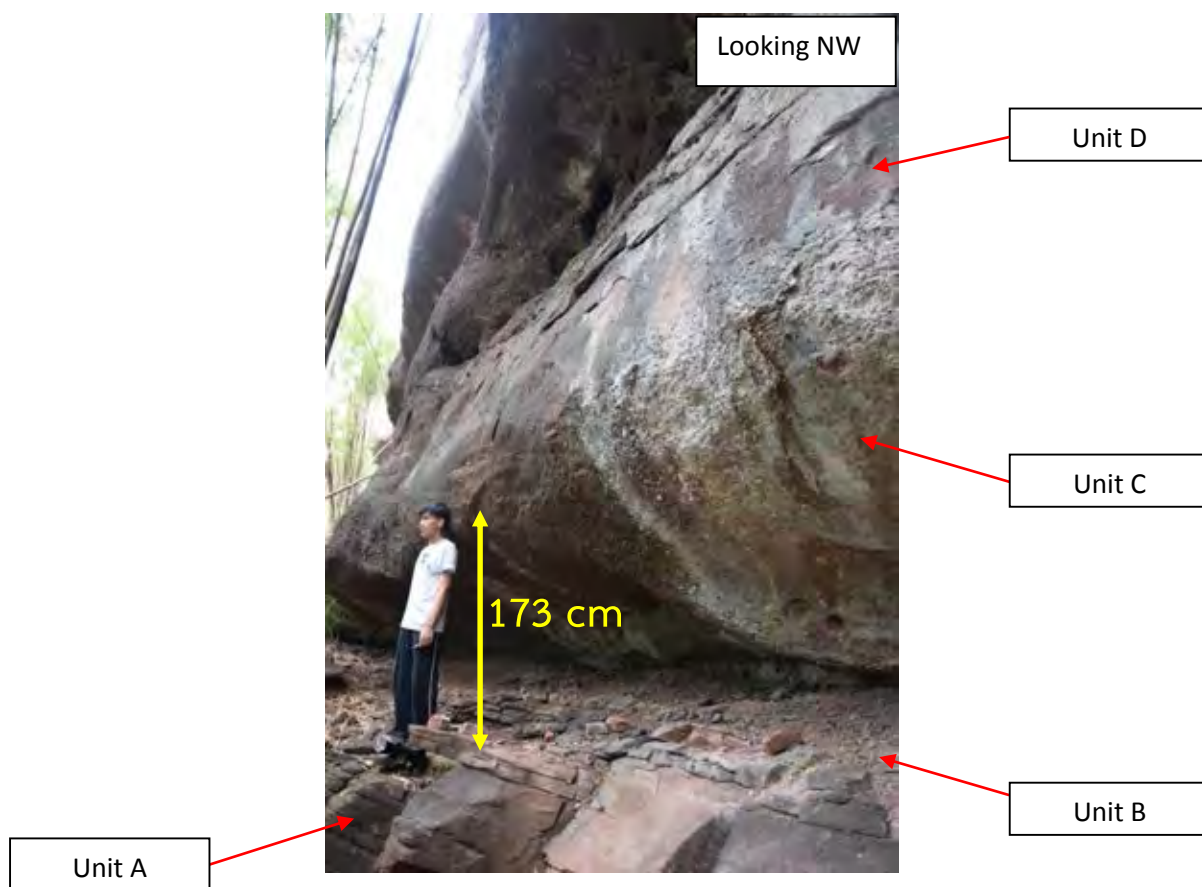
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะหินโคลงของหน่วยหิน A บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 1



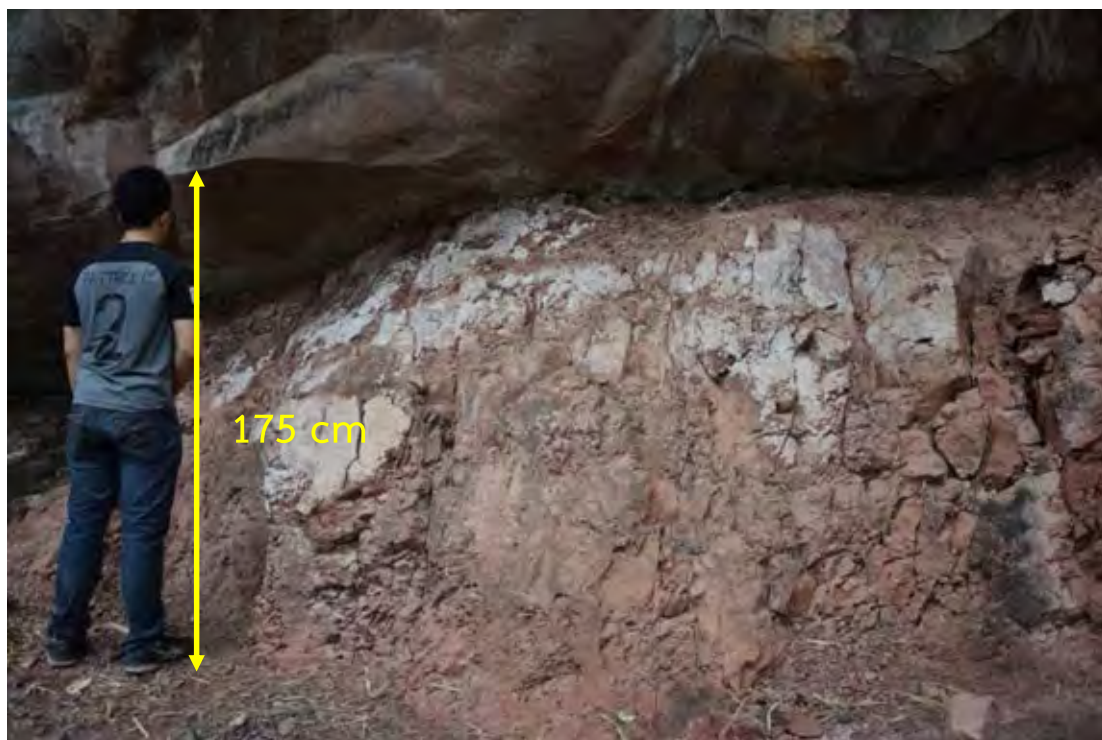
รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะการวางชั้นบางเฉียงระดับ (cross lamination) ที่พบในหน่วยหิน A บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 1



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะหินโผล่ของหน่วยหิน B บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 1



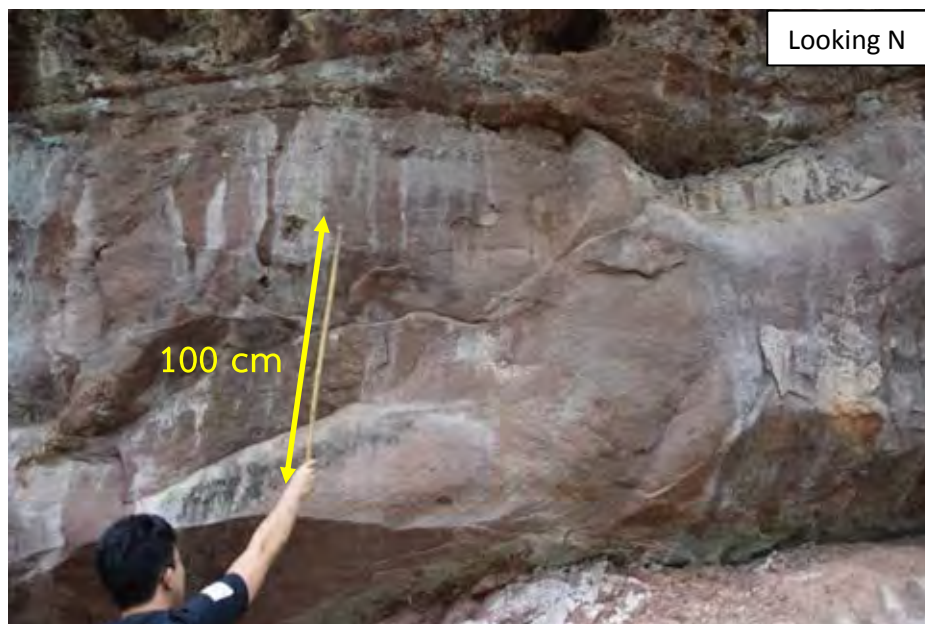
รูปที่ 4.6 แสดงหินโผล่บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 1

จุดศึกษาย่อยที่ 2

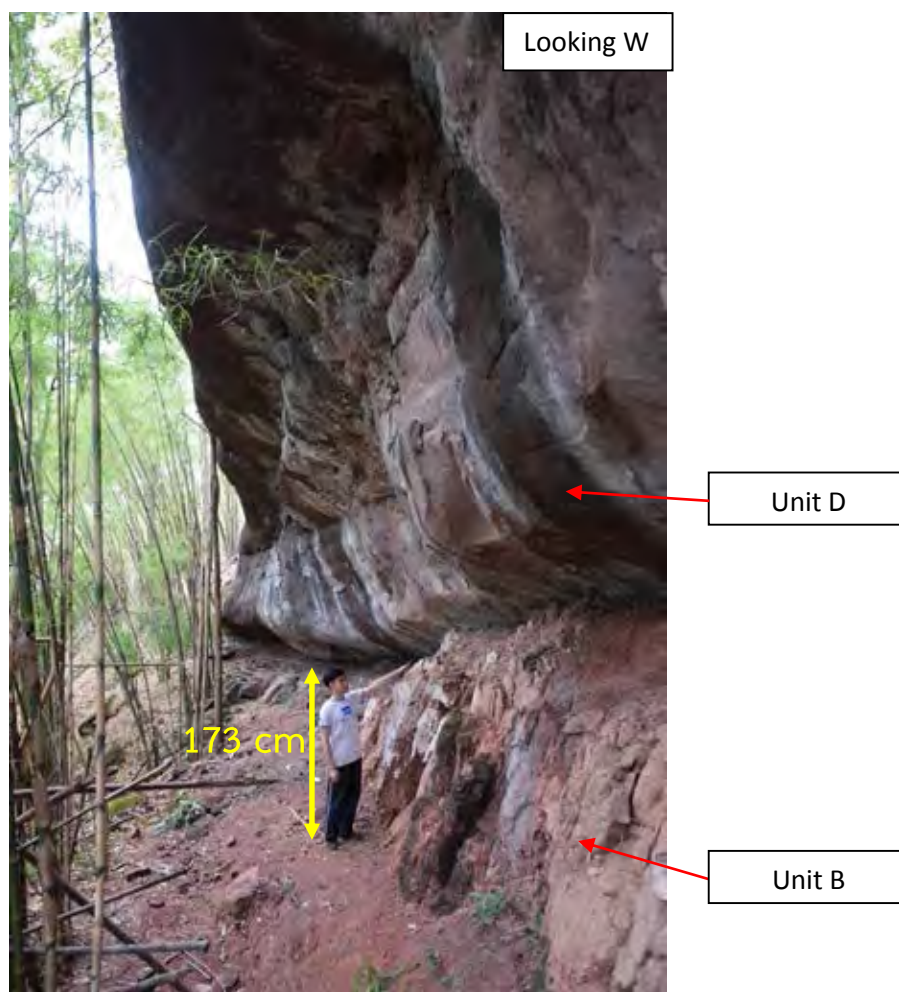
รูปที่ 4.7 แสดงหินโผล่ของหน่วยหิน B บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 2



รูปที่ 4.8 แสดงรอยริ้วคลื่น (ripple mark) ที่พบบริเวณหินโผล่ของหน่วยหิน B บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 2

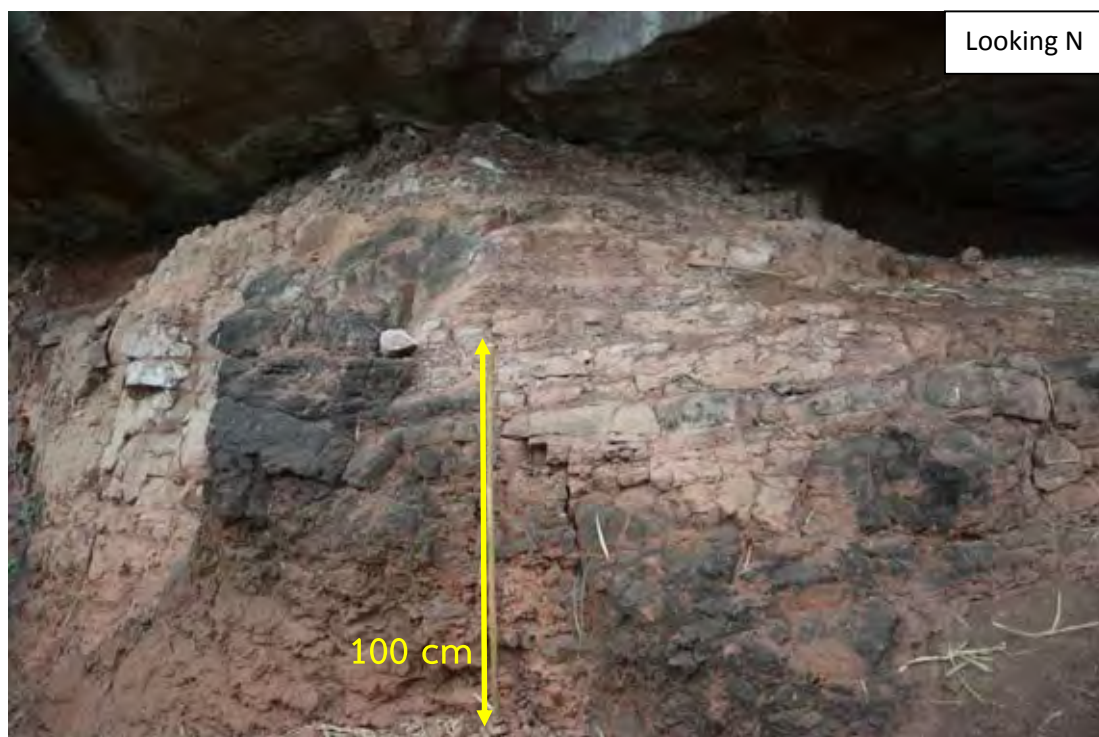


รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะหินไผ่ของหน่วยหิน D บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 2

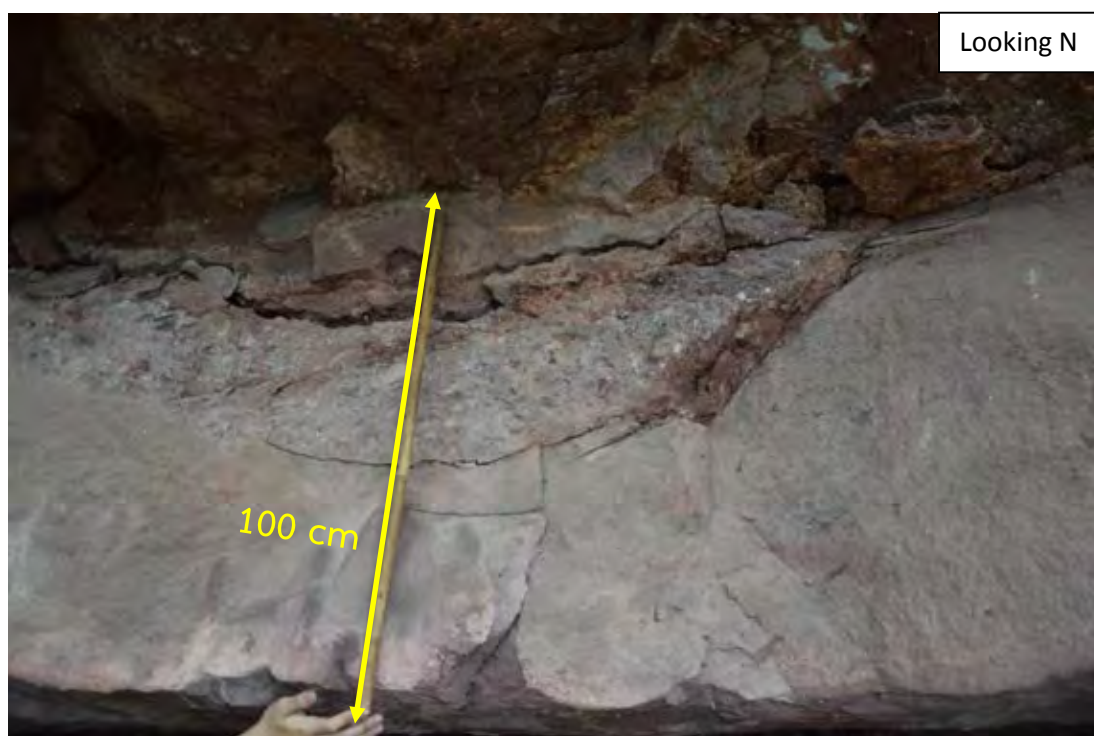


รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะของหินไผ่ บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 2

## จุดศึกษาย่อยที่ 3

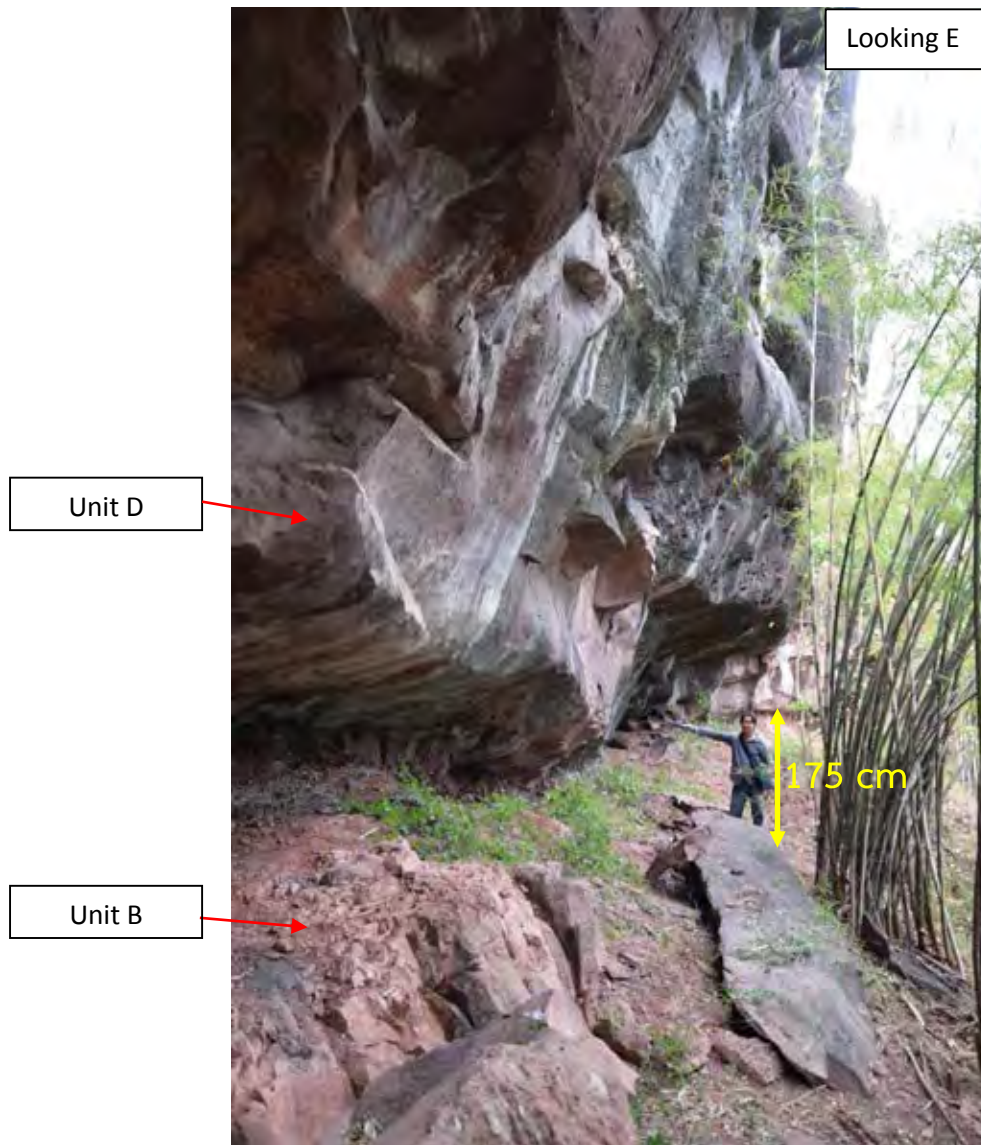


รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะหินโคลนของหน่วยหิน B บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 3



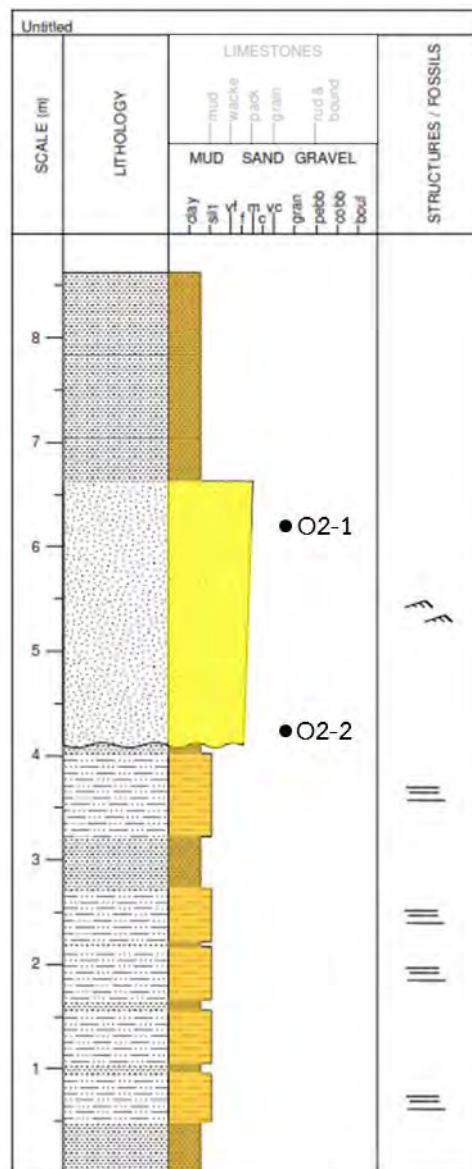
รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะรอยกัดเซาะ (scour mark) ที่พบในชั้นหินโคลนของหน่วยหิน D บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 3





รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะของหินโผล่ บริเวณจุดศึกษาย่อยที่ 3

2) จุดศึกษาที่ 2 หินโผล่ริมทางหลวงหมายเลข 12 พิกัด ละติจูด  $16^{\circ} 44' 16''$  N ลองจิจูด  $101^{\circ} 23' 16''$  E ตัวอย่างหินที่เก็บ คือ ตัวอย่าง O2-1 และ O2-2 หินโผล่มีลักษณะเป็น road-cut outcrop (รูปที่ 4.15) พบชั้นหินทรายแป้ง ชั้นหินดินดาน และชั้นหินทราย มีลำดับชั้นหินดังรูปที่ 4.14 มีสายแร่แคลไซต์ขนาดเล็ก (calcite veinlet) (รูปที่ 4.16) กระจายตัวในบางบริเวณ วัดแนวการวางตัว (strike/dip angle) ได้  $185^{\circ}/62^{\circ}$  W



รูปที่ 4.14 แสดงลำดับชั้นหินบริเวณจุดศึกษาที่ 2

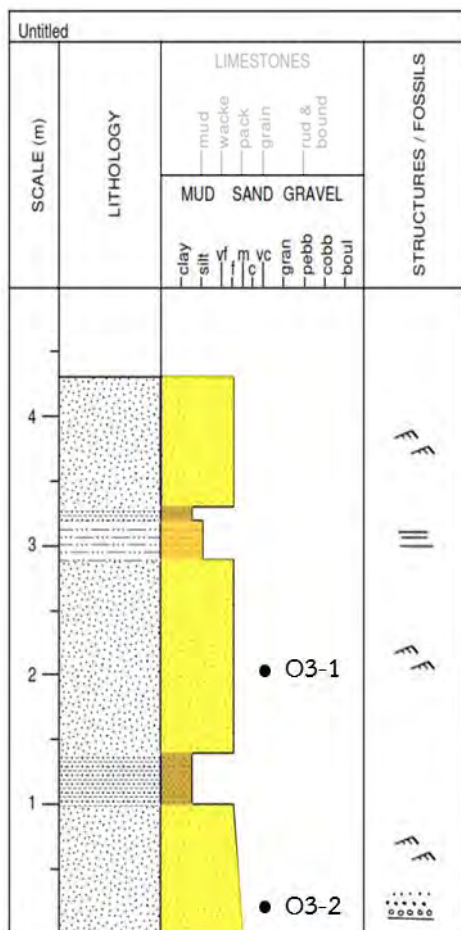


รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะหินโผล่ของจุดศึกษาที่ 2 บริเวณริมทางหลวงหมายเลข 12



รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะของสายแร่แคลไซต์ขนาดเล็กที่พบในชั้นหินทราย บริเวณจุดศึกษาที่ 2

3) จุดศึกษาที่ 3 หินโผล่ริมทางหลวงหมายเลข 12 พิกัด ละติจูด  $16^{\circ}44'07''$  N ลองจิจูด  $101^{\circ}23'15''$  E ตัวอย่างหินที่เก็บคือ O3-1 และ O3-2 หินโผล่มีลักษณะเป็น road-cut outcrop (รูปที่ 4.18) พบชั้นหินทรายแป้ง ชั้นหินดินดาน และชั้นหินทราย มีลำดับชั้นหินดังรูปที่ 4.17 วัดแนวการกรวางตัว (strike/dip angle) ได้  $180^{\circ}/70^{\circ}$  W



รูปที่ 4.17 แสดงลำดับชั้นหินบริเวณจุดศึกษาที่ 3



รูปที่ 4.18 แสดงลักษณะหินโผล่ของจุดศึกษาที่ 3 บริเวณริมทางหลวงหมายเลข 12

#### 4.2 การศึกษาทางศิลปวรรณนา

นำตัวอย่างหินทรายที่เก็บจาก 3 จุดศึกษา จำนวน 7 ตัวอย่าง ไปจัดทำแผ่นหินขัดบาง สำหรับศึกษาทางศิลปวรรณนาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ภายในหิน คุณสมบัติของตะกอน และโครงสร้างวิทยาตะกอน ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณด้วยวิธีการ modal classification โดยการนับจุดแร่จำนวน 300 จุด (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 แสดงแร่องค์ประกอบของตัวอย่างหินทรายจำนวน 7 ตัวอย่าง โดยการนับจุดแร่จำนวน 300 จุด ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์

Sample number	Quartz		Feldspar			Lithic fragments						Cc	Matrix	0	Unknow	Counts
	Qm	Qp	K	P	Lv	Ls	Lm	Ch	Ci							
01-1	136	0	43	2	0	8	0	24	18	41	12	12	4	300		
01-2	91	13	29	10	6	13	0	13	16	58	13	32	6	300		
01-3	118	10	29	2	0	12	0	19	31	36	24	17	2	300		
02-1	140	6	35	0	0	17	0	12	23	43	12	9	3	300		
02-2	159	2	39	0	0	14	0	9	23	27	16	9	2	300		
03-1	157	20	26	4	0	15	0	20	2	17	24	13	2	300		
03-2	117	13	43	5	0	10	0	13	6	34	43	16	0	300		

Qm – Monocrystalline quartz (>0.0625 mm)

Qp – Polycrystalline quartz (>0.0625 mm)

K – K-feldspar (>0.0625 mm)

P – Plagioclase (>0.0625 mm)

Lv – Volcanic/metavolcanic lithic fragments (>0.0625 mm)

Ls -Sedimentary/metasedimentary lithic fragments (>0.0625 mm)

Lm – Carbonate fragments (>0.0625 mm)

Ch – Chert (>0.0625 mm)

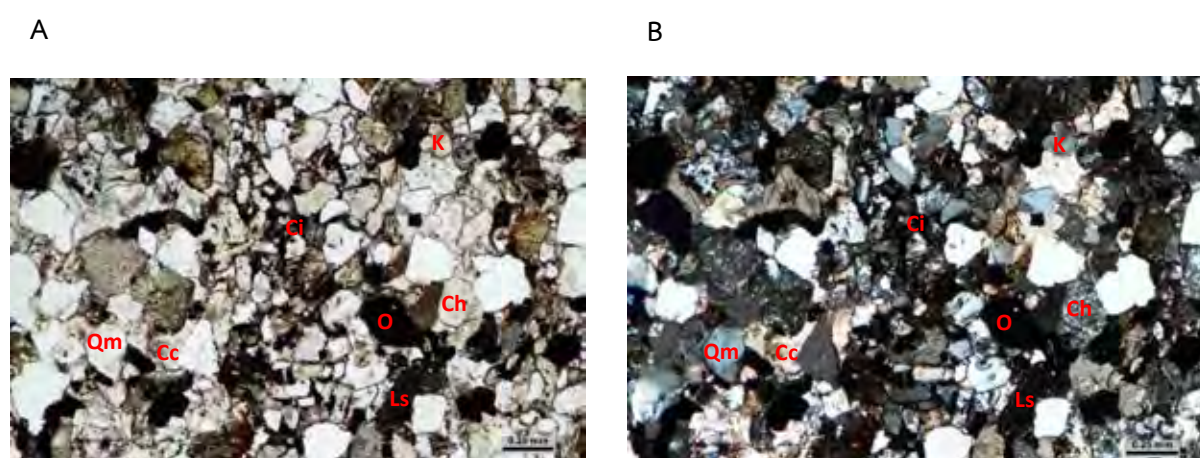
O – Opaque minerals (>0.0625 mm)

Ci – Ion oxide cement

Cc – Carbonate cement

### ตัวอย่าง O1-1

เป็นหิน Lithic arkose (Folk, 1980) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดตะกอนโดยเฉลี่ยประมาณ 0.1 – 0.25 มิลลิเมตร จัดอยู่ในช่วงทรายละเอียดมาก (very fine sand) ถึงทรายละเอียด (fine sand) มีการคัดขนาดดี รูปร่างเกือบเหลี่ยม เม็ดตะกอนส่วนใหญ่มีภาวะทรงกลมต่ำ (low-sphericity) มีสัดส่วนเม็ดตะกอนที่ได้จากการนับจุดแร่อำนาจ 300 จุด โดยมีควอตซ์ร้อยละ 59 เฟลด์สปาร์ร้อยละ 20 เศษหินร้อยละ 14 แร่ทึบแสงและแร่อื่นๆร้อยละ 7 เศษหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษหินเชิร์ต มีเนื้อพื้น (matrix) เป็นตะกอนขนาดทรายแป้งพบได้ค่อนข้างน้อย มีสารเชื่อมประสานคือเหล็กออกไซด์ (iron oxide) และแคลไซต์ โดยมีลักษณะเนื้อหินดังรูปที่ 4.19

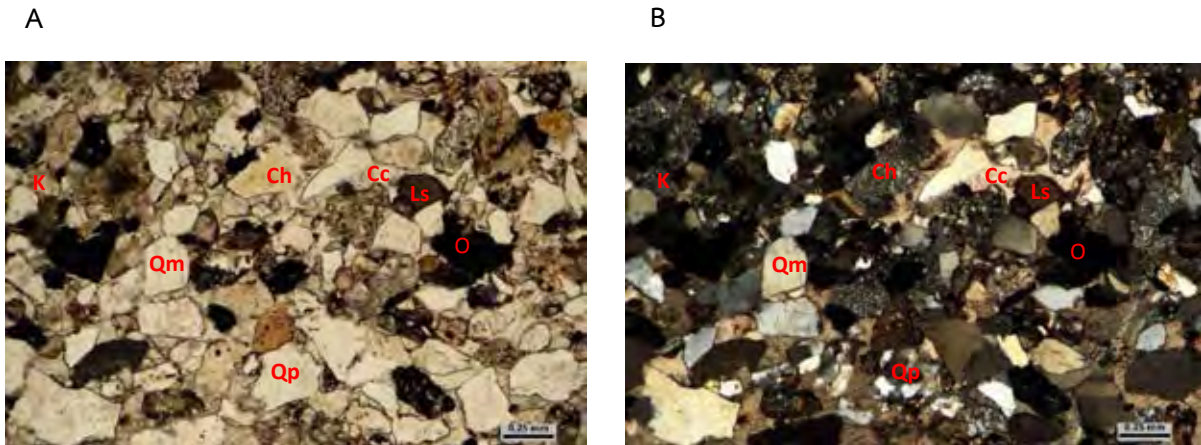


รูปที่ 4.19 แสดงลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ กำลังขยาย 5 เท่า

(A: PPL, B: XPL) ของตัวอย่าง O1-1

### ตัวอย่าง O1-2

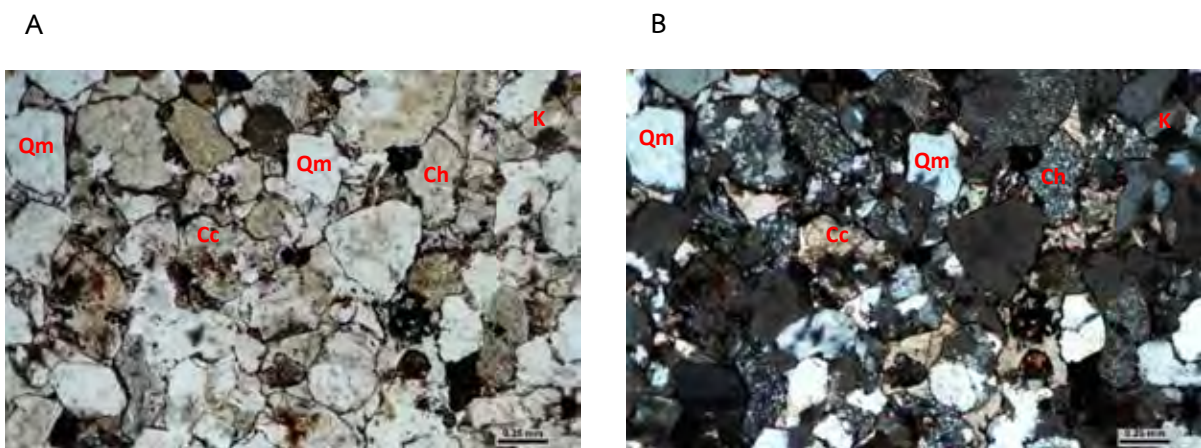
เป็นหิน Lithic arkose (Folk, 1980) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดตะกอนโดยเฉลี่ยประมาณ 0.125 - 0.25 มิลลิเมตร จัดอยู่ในช่วงทรายละเอียด มีการคัดขนาดดี รูปร่างเกือบเหลี่ยม เม็ดตะกอนส่วนใหญ่มีภาวะทรงกลมต่ำ มีสัดส่วนเม็ดตะกอนที่ได้จากการนับจุดแร่อำนาจ 300 จุด โดยมีควอตซ์ร้อยละ 49 เฟลด์สปาร์ร้อยละ 18 และเศษหินร้อยละ 15 แร่ทึบแสงและแร่อื่นๆร้อยละ 18 เศษหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษหินเชิร์ต และเศษหินตะกอนเนื้อละเอียด พบเศษหินตะกอนภูเขาไฟในองค์ประกอบ มีเนื้อพื้นเป็นตะกอนขนาดทรายแป้ง มีสารเชื่อมประสานคือเหล็กออกไซด์ และแคลไซต์ โดยมีลักษณะของเนื้อหินดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ กำลังขยาย 5 เท่า (A: PPL, B: XPL) ของตัวอย่าง O1-2

### ตัวอย่าง O1-3

เป็นหิน Lithic arkose (Folk, 1980) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดตะกอนโดยเฉลี่ย ประมาณ 0.25 – 0.4 มิลลิเมตร จัดอยู่ในช่วงทรายละเอียดปานกลาง (medium sand) มีการคัดขนาดดี รูปร่างเกือบเหลี่ยม เม็ดตะกอนส่วนใหญ่มีภาวะทรงกลมต่ำ มีสัดส่วนเม็ดตะกอนที่ได้จากการนับจุดแร่อัจฉริยะ 300 จุด โดยมีควอตซ์ร้อยละ 61 เฟลด์สปาร์ร้อยละ 15 และเศษหินร้อยละ 15 แร่ที่บแสงและแร่อื่นๆร้อยละ 9 เศษหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษหินเชิร์ต และเศษหินตะกอนเนื้อละเอียด มีเนื้อพื้นเป็นตะกอนขนาดทรายแป้ง มีสารเชื่อมประสานคือเหล็กออกไซด์ และแคลไซต์ โดยมีลักษณะของเนื้อหินดังรูปที่ 4.21

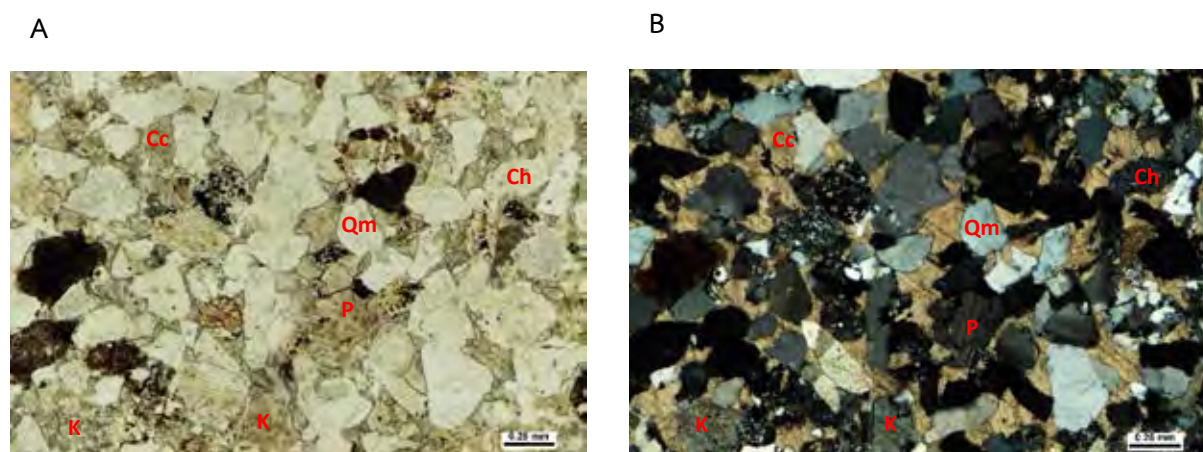


รูปที่ 4.21 แสดงลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ กำลังขยาย 5 เท่า (A: PPL, B: XPL) ของตัวอย่าง O1-3



### ตัวอย่าง O2-1

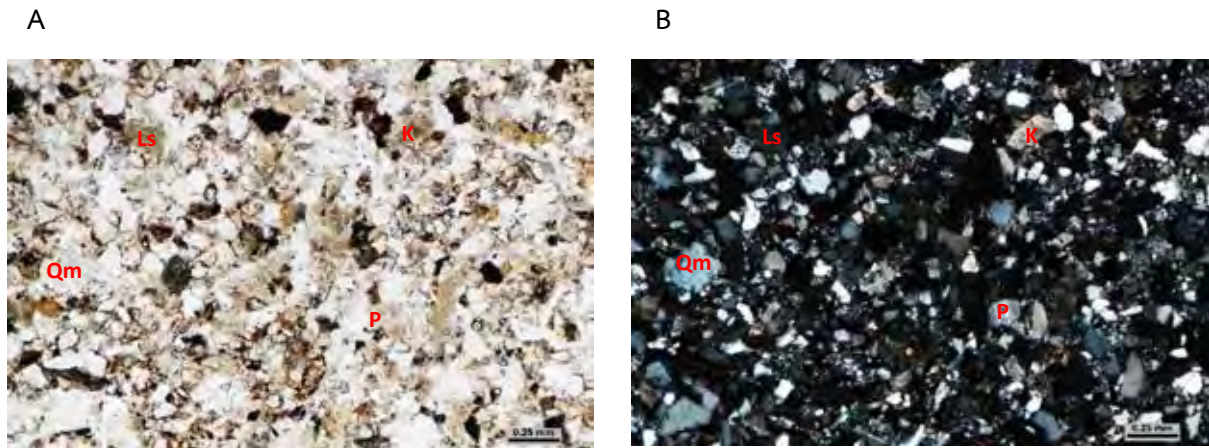
เป็นหิน Lithic arkose (Folk, 1980) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดตะกอนโดยเฉลี่ย ประมาณ 0.25 – 0.3 มิลลิเมตร จัดอยู่ในช่วงทรายละเอียดปานกลาง มีการคัดขนาดดี รูปร่างเกือบเหลี่ยม เม็ดตะกอนส่วนใหญ่มีภาวะทรงกลมต่ำ มีสัดส่วนเม็ดตะกอนที่ได้จากการนับจุดแร่จำนวน 300 จุด โดยมีควอตซ์ร้อยละ 66 เฟลด์สปาร์ร้อยละ 16 และเศษหินร้อยละ 13 แร่ที่บแสงและแร่อื่นๆร้อยละ 5 เศษหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษหินตะกอนเนื้อละเอียด มีเนื้อพื้นเป็นตะกอนขนาดทรายแป้ง มีสารเชื่อมประสานคือเหล็กออกไซด์ และแร่แคลไซต์ โดยมีลักษณะเนื้อหินดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ กำลังขยาย 5 เท่า (A: PPL, B: XPL) ของตัวอย่าง O2-1

### ตัวอย่างที่ O2-2

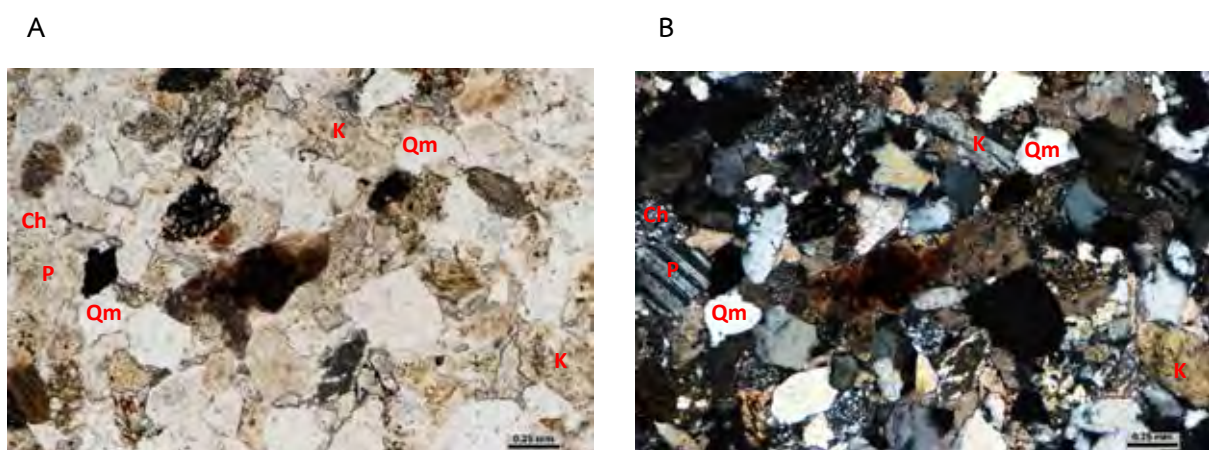
เป็นหิน Lithic arkose (Folk, 1980) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดตะกอนโดยเฉลี่ย ประมาณ 0.1-0.125 มิลลิเมตร จัดอยู่ในช่วงทรายละเอียดมาก มีการคัดขนาดดี รูปร่างเกือบเหลี่ยม เม็ดตะกอนส่วนใหญ่มีภาวะทรงกลมต่ำ มีสัดส่วนเม็ดตะกอนที่ได้จากการนับจุดแร่จำนวน 300 จุด โดยมีควอตซ์ร้อยละ 69 เฟลด์สปาร์ร้อยละ 17 และเศษหินร้อยละ 10 แร่ที่บแสงและแร่อื่นๆร้อยละ 5 เศษหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษหินตะกอนเนื้อละเอียด มีเนื้อพื้นเป็นตะกอนขนาดทรายแป้งและเคลย์เป็นเนื้อพื้น มีสารเชื่อมประสานคือเหล็กออกไซด์ และแร่แคลไซต์ โดยมีลักษณะเนื้อหินดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 แสดงลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ กำลังขยาย 5 เท่า (A: PPL, B: XPL) ของตัวอย่าง O2-2

#### ตัวอย่างที่ O3-1

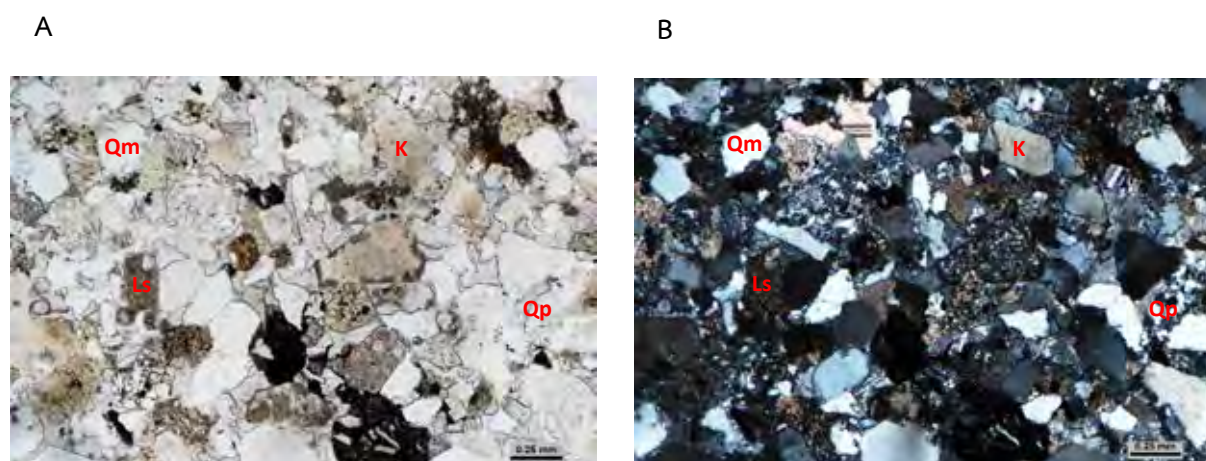
เป็นหิน Feldspathic litharenite (Folk, 1980) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดตะกอนโดยเฉลี่ยประมาณ 0.25 - 0.30 มิลลิเมตร จัดอยู่ในช่วงทรายละเอียดปานกลาง มีการคัดขนาดดี รูปร่างเกือบเหลี่ยม เม็ดตะกอนส่วนใหญ่มีภาวะทรงกลมต่ำ มีสัดส่วนเม็ดตะกอนที่ได้จากการนับจุดแร่จำนวน 300 จุด โดยมีควอตซ์ร้อยละ 69 เฟลด์สปาร์ร้อยละ 12 และเศษหินร้อยละ 14 แร่ทึบแสงและแร่อื่นๆร้อยละ 6 เศษหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษหินเชิร์ต มีเนื้อพื้นเป็นตะกอนขนาดทรายแป้ง มีสารเชื่อมประสานคือแคลไซต์เป็นส่วนใหญ่ โดยมีลักษณะเนื้อหินดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 แสดงลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ กำลังขยาย 5 เท่า (A: PPL, B: XPL) ของตัวอย่าง O3-1

### ตัวอย่างที่ O3-2

เป็นหิน Lithic arkose (Folk, 1980) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดตะกอนโดยเฉลี่ย ประมาณ 0.25 - 0.30 มิลลิเมตร จัดอยู่ในช่วงทรายละเอียดปานกลาง มีการคัดขนาดปานกลาง รูปร่างเกือบเหลี่ยม เม็ดตะกอนส่วนใหญ่มีภาวะทรงกลมต่ำ มีสัดส่วนเม็ดตะกอนที่ได้จากการนับจุดแร่จำนวน 300 จุด โดยมีควอตซ์ ร้อยละ 60 เฟลด์สปาร์ร้อยละ 22 และเศษหินร้อยละ 11 แร่ที่บแสงและแร่อื่นๆร้อยละ 7 เศษหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษหินเชิร์ต มีเนื้อพื้นเป็นตะกอนขนาดทรายแป้ง มีสารเชื่อมประสานคือเหล็กออกไซด์ และแคลไซต์ มีลักษณะเนื้อหินดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ กำลังขยาย 5 เท่า (A: PPL, B: XPL) ของตัวอย่าง O3-2

#### 4.2.1 การจำแนกชนิดของหินทราย

นำข้อมูลที่ได้จากวิธีการนับจุดแรไปคิดสัดส่วน ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ และเศษหิน (ตารางที่ 4.3) จากนั้นนำปริมาณร้อยละประกอบ พล็อตลง Q-L-F diagram (Folk, 1980) พบว่าตัวอย่างหินทรายเกือบทั้งหมดเป็นหินทรายชนิด Lithic arkose ดังรูปที่ 4.26

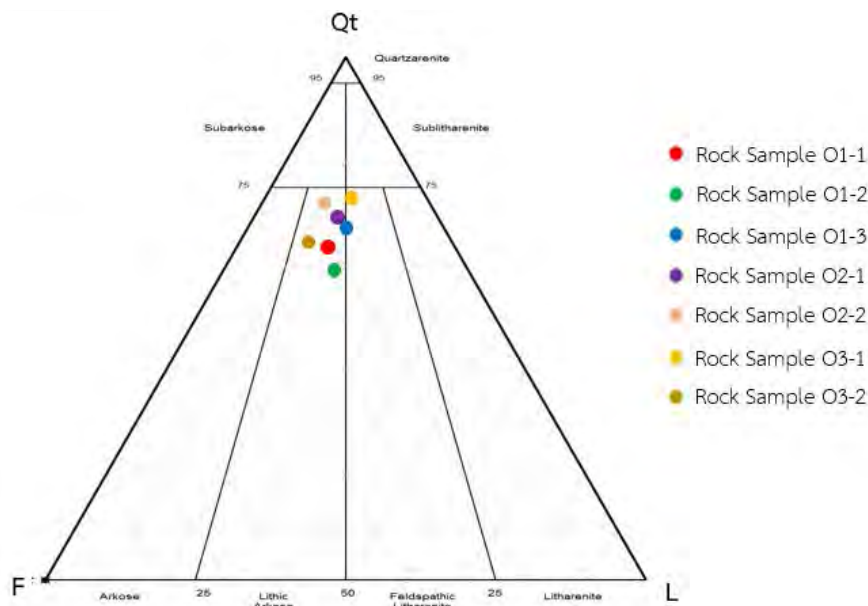
ตารางที่ 4.3 แสดงสัดส่วนของ Q-F-L ที่ได้จากวิธีการนับจุดแร 300 จุด ที่จะนำไปพล็อตใน Q-L-F diagram (Folk, 1980)

Sample	Q-F-L		
	Q (%)	F (%)	L (%)
O1-1	63.8	21.1	15.0
O1-2	59.4	22.3	18.3
O1-3	67.4	16.3	16.3
O2-1	69.5	16.7	13.8
O2-2	72.2	17.5	10.3
O3-1	73.1	12.4	14.5
O3-2	64.7	23.9	11.4

$$Q = Q_m + Q_p$$

$$F = K + P$$

$$L = L_v + L_s + C_h$$



รูปที่ 4.26 แสดงการพล็อตข้อมูลผลการวิเคราะห์ใน Q-L-F diagram ที่ใช้ในการจำแนกชนิดหินทราย (Folk, 1980)

#### 4.2.2 การแปลความหมายหินต้นกำเนิดของหินตะกอน

จากการนำข้อมูลสัดส่วนของเม็ดตะกอนที่ได้จากวิธีการนับจุดแร่จำนวน 300 จุด บนแผ่นหินขัดบาง ไปคิดสัดส่วน Qm-Lt-F (ตารางที่ 4.4) และ Qt-L-F (ตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6) เพื่อนำไปเทียบกับ Qm-Lt-F tectonic discrimination diagram (รูปที่ 4.27) และ Qt-L-F tectonic discrimination diagram (รูปที่ 4.28) ของ Dickinson (1985) และ Qm-Lt-F tectonic discrimination diagram (รูปที่ 4.29) และ Qt-L-F tectonic discrimination diagram ของ Weltje (2006) (รูปที่ 4.30)

ตารางที่ 4.4 แสดงสัดส่วน Qm-F-Lt ที่ได้จากวิธีการนับจุดแร่จำนวน 300 จุด ที่จะนำไปพล็อตใน Qm-Lt-F tectonic discrimination diagram (Dickinson, 1985) และ Qm-Lt-F tectonic discrimination diagram (Weltje, 2006)

Sample	Qm-F-Lt		
	Qm (%)	F (%)	Lt (%)
O1-1	63.8	21.1	15.0
O1-2	52.0	22.3	25.7
O1-3	62.1	16.3	21.6
O2-1	66.7	16.7	16.7
O2-2	71.3	17.5	11.2
O3-1	64.9	12.4	22.7
O3-2	58.2	23.9	17.9

$$F = K + P$$

$$L = Lv + Ls + Ch + Qp$$

ตารางที่ 4.5 แสดงสัดส่วน Qt-F-L ที่ได้จากวิธีการนับจุดแร่จำนวน 300 จุด ที่จะนำไปพล็อตใน Qt-L-F tectonic discrimination diagram (Dickinson, 1985)

Sample	Qt-F-L		
	Qt (%)	F (%)	L (%)
O1-1	75.1	21.1	3.8
O1-2	66.9	22.3	10.9
O1-3	77.4	16.3	6.3
O2-1	75.2	16.7	8.1
O2-2	76.2	17.5	6.3
O3-1	81.4	12.4	6.2
O3-2	71.1	23.9	5.0

$$Qt = Qm + Qp + Ch$$

$$F = K + P$$

$$L = Lv + Ls$$

ตารางที่ 4.6 แสดงสัดส่วน Qt-F-L ที่ได้จากวิธีการนับจุดแร่จำนวน 300 จุด ที่จะนำไปพล็อตใน Qt-L-F tectonic discrimination diagram (Weltje, 2006)

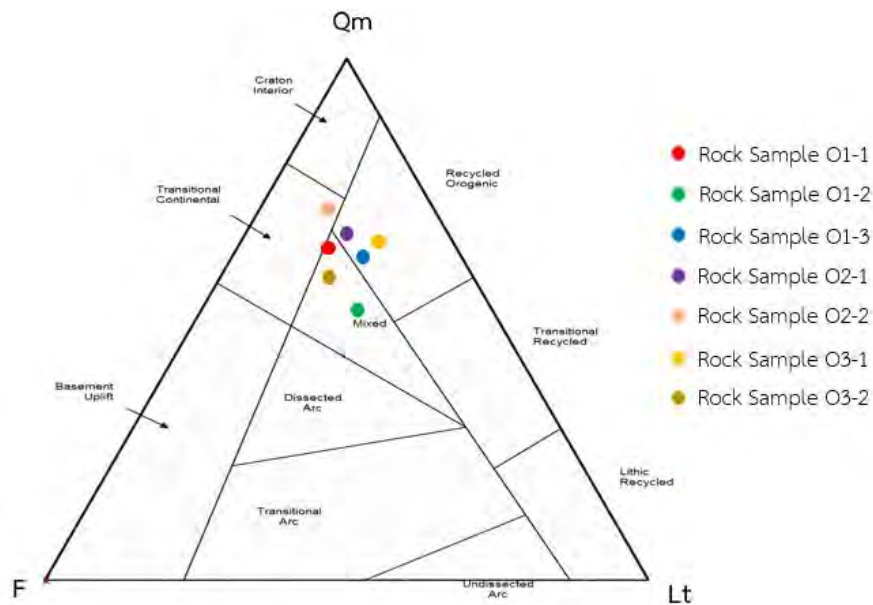
Sample	Qt-F-L		
	Qt (%)	F (%)	L (%)
O1-1	63.8	21.1	15.0
O1-2	59.4	22.3	18.3
O1-3	67.4	16.3	16.3
O2-1	69.5	16.7	13.8
O2-2	72.2	17.5	10.3
O3-1	73.1	12.4	14.5
O3-2	64.7	23.9	11.4

$$Qt = Qm + Qp$$

$$F = K + P$$

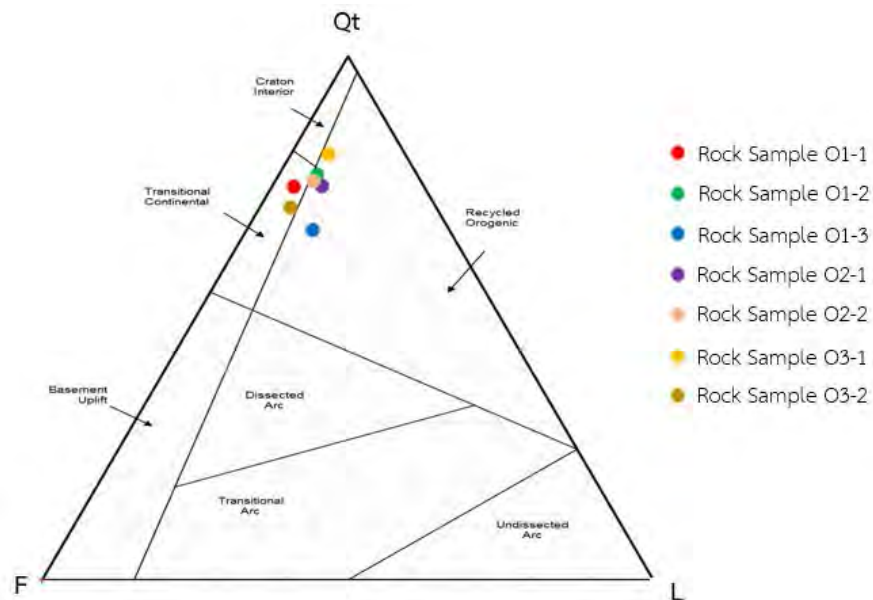
$$L = Lv + Ls + Ch$$

Qm-F-L diagram (Dickinson, 1985)



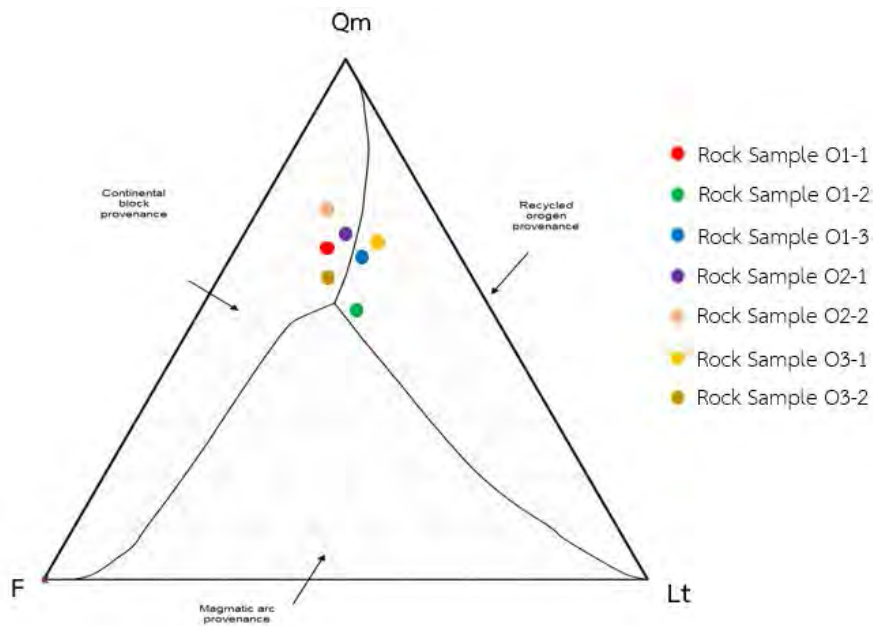
รูปที่ 4.27 แสดงการพล็อตข้อมูลศิลาบรรณาลงใน Qm-Lt-F tectonic discrimination diagram ที่ใช้ในการแปลความหมายหินต้นกำเนิดของตะกอนในหินทราย (Dickinson, 1985)

Qt-F-L diagram (Dickinson, 1985)



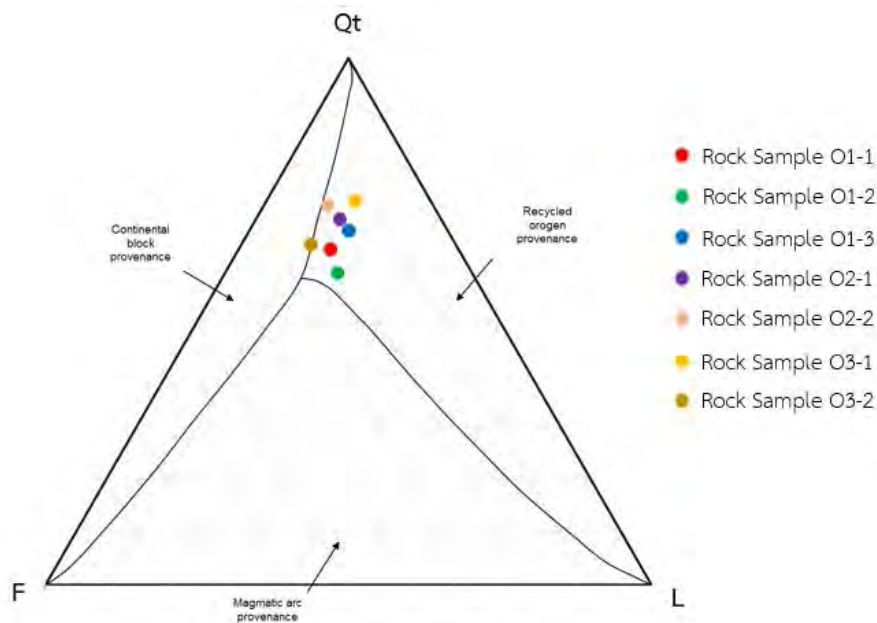
รูปที่ 4.28 แสดงการพล็อตข้อมูลศิลาบรรณาลงใน Qt-L-F tectonic discrimination diagram ที่ใช้ในการแปลความหมายหินต้นกำเนิดของตะกอน ในหินทราย (Dickinson, 1985)

Qm-F-Lt diagram (Weltje, 2006)



รูปที่ 4.29 แสดงการพล็อตข้อมูลศิลาวรรณนาลงใน Qm-Lt-F tectonic discrimination diagram ที่ใช้ในการแปลความหมายหินต้นกำเนิดของตะกอนในหินทราย (Weltje, 2006)

Qt-F-L diagram (Weltje, 2006)



รูปที่ 4.30 แสดงการพล็อตข้อมูลศิลาวรรณนาลงใน Qt-L-F tectonic discrimination diagram ที่ใช้ในการแปลความหมายหินต้นกำเนิดของตะกอน ในหินทราย (Weltje, 2006)



### 4.3 การศึกษาความพรุนของหิน

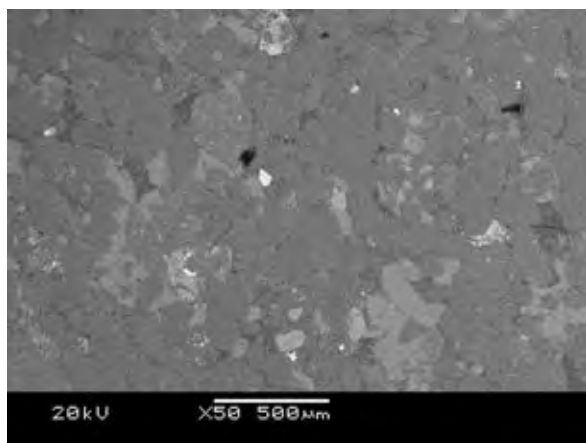
นำตัวอย่างหินทรายที่เก็บจาก 3 จุดศึกษา จำนวน 7 ตัวอย่าง ไปจัดทำตัวอย่างขัดมัน 1 ตัวอย่างขัดมันต่อ 1 ตัวอย่างหิน สำหรับจัดทำภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากนั้นนำภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับที่ได้ไปวิเคราะห์ ด้วยโปรแกรม ImageJ ผ่านฟังก์ชัน Threshold ในการหาค่าความพรุน และฟังก์ชัน Analyze Particle ในการศึกษาขนาดของรูพรุน ได้ค่าความพรุนดังตารางที่ 4.7 และแสดงภาพตัวอย่างของ ภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ ภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Threshold ด้วยโปรแกรม ImageJ และกราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดของรูพรุนของแต่ละตัวอย่างหิน(รูปที่ 4.31 - รูปที่ 4.51)

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความพรุนของตัวอย่างหินทรายจำนวน 7 ตัวอย่าง ที่คำนวณด้วย ฟังก์ชัน Threshold ในโปรแกรม ImageJ

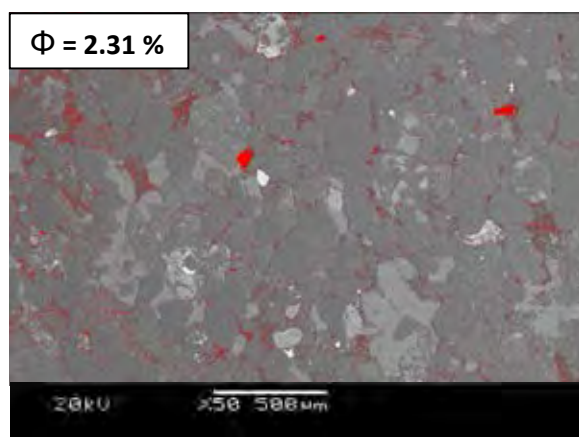
Sample	BEI NO.1 Porosity (%)	BEI NO.2 Porosity (%)	BEI NO.3 Porosity (%)	Average Porosity (%)
O1-1	2.11	2.47	2.35	2.31
O1-2	1.47	0.98	0.98	1.14
O1-3	1.61	1.08	0.91	1.20
O2-1	2.28	1.54	0.51	1.44
O2-2	3.31	4.17	3.97	3.81
O3-1	3.39	2.04	2.60	2.67
O3-2	2.46	0.99	1.17	1.54

BEI – Backscattered Electron Image

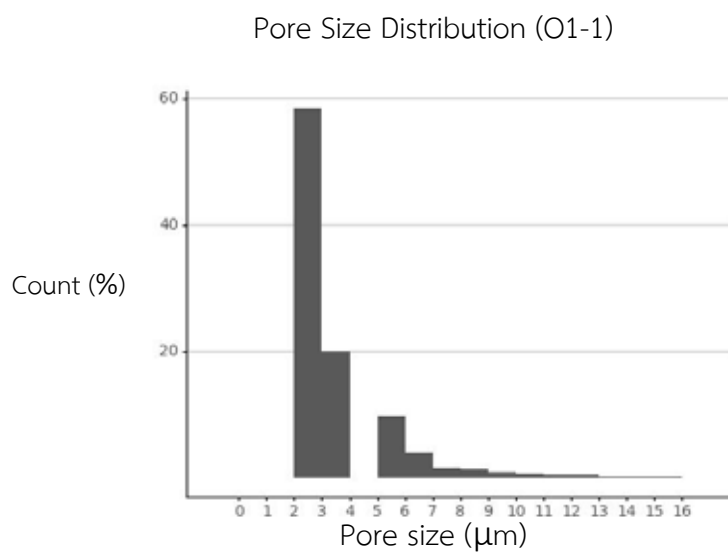
## ตัวอย่าง O1-1



รูปที่ 4.31 แสดงภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า ของตัวอย่าง O1-1

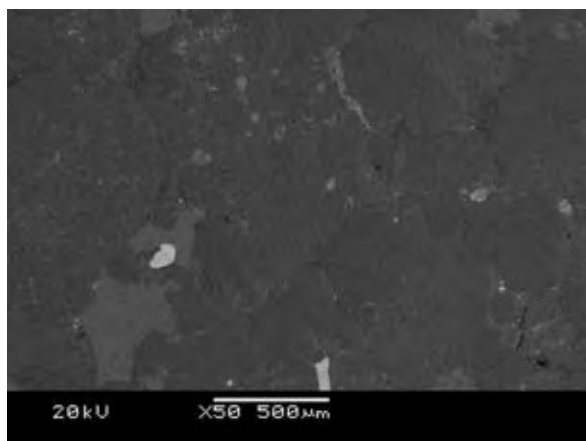


รูปที่ 4.32 แสดงภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Threshold ของตัวอย่าง O1-1 โดยใช้โปรแกรม ImageJ

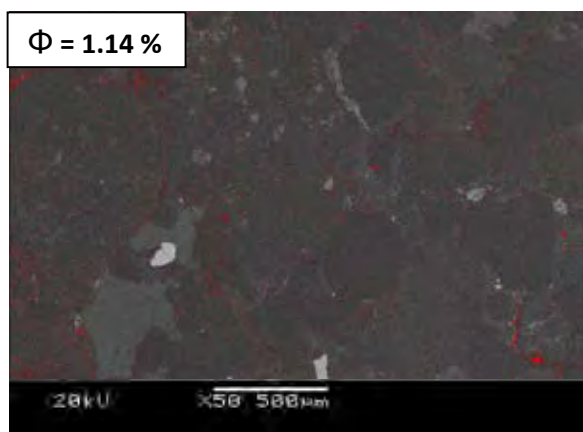


รูปที่ 4.33 แสดงการกระจายตัวของขนาดรูพรุน ของตัวอย่างหิน O1-1

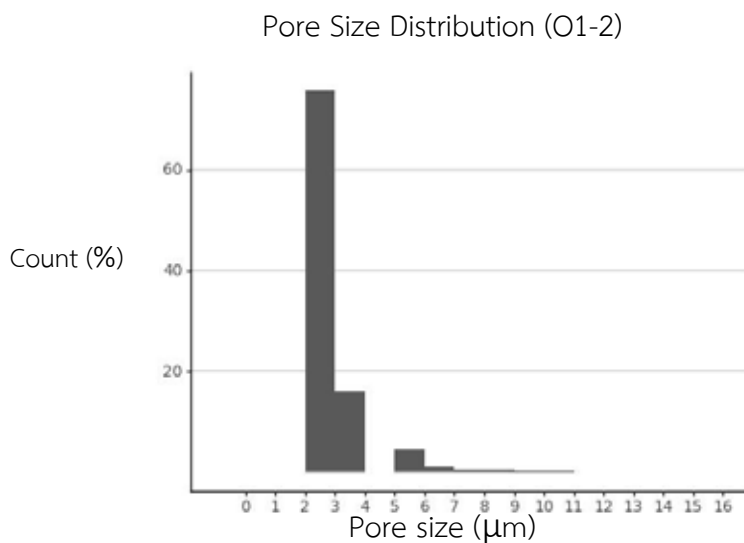
ตัวอย่าง O1-2



รูปที่ 4.34 แสดงภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า ของตัวอย่าง O1-2

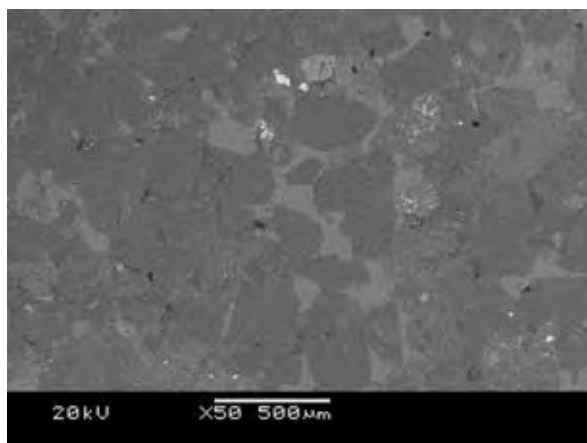


รูปที่ 4.35 แสดงภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Threshold ของตัวอย่าง O1-2 โดยใช้โปรแกรม ImageJ

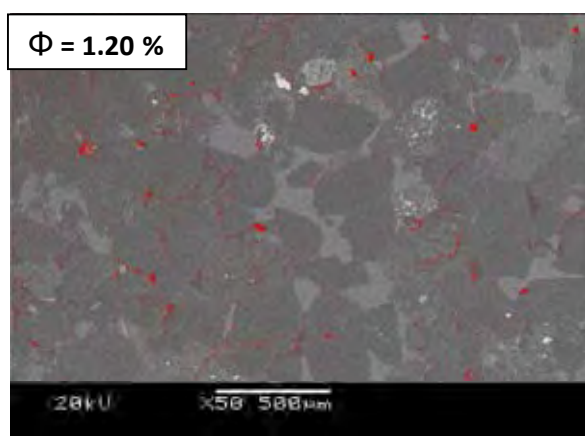


รูปที่ 4.36 แสดงการกระจายตัวของขนาดรูพรุน ของตัวอย่างหิน O1-2

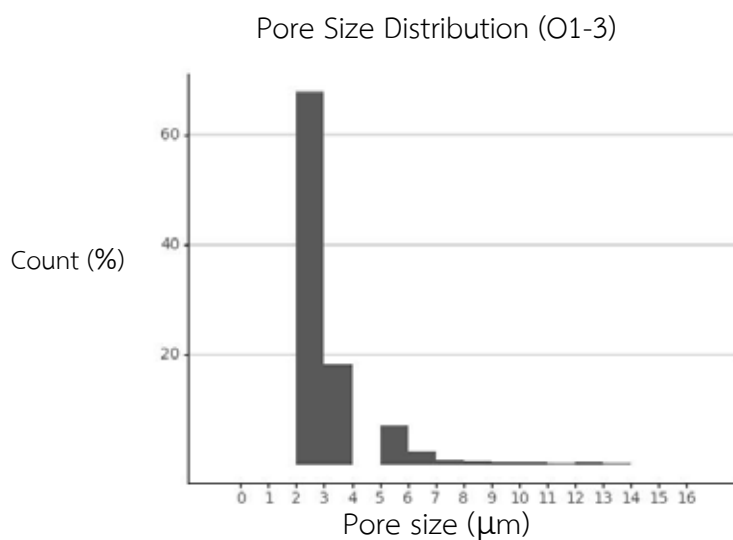
## ตัวอย่าง O1-3



รูปที่ 4.37 แสดงภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า ของตัวอย่าง O1-3

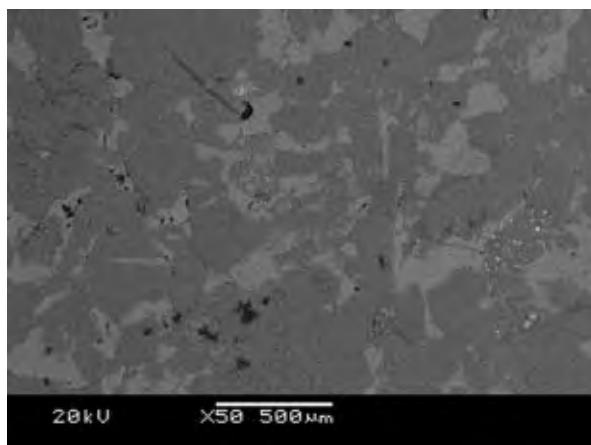


รูปที่ 4.38 แสดงภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Threshold ของตัวอย่าง O1-3 โดยใช้โปรแกรม ImageJ

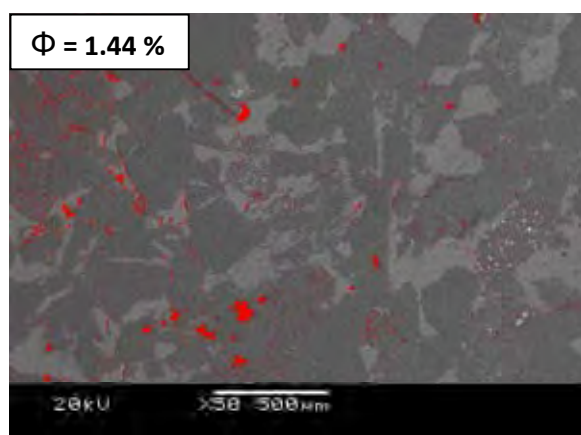


รูปที่ 4.39 แสดงการกระจายตัวของขนาดรูพรุน ของตัวอย่างหิน O1-3

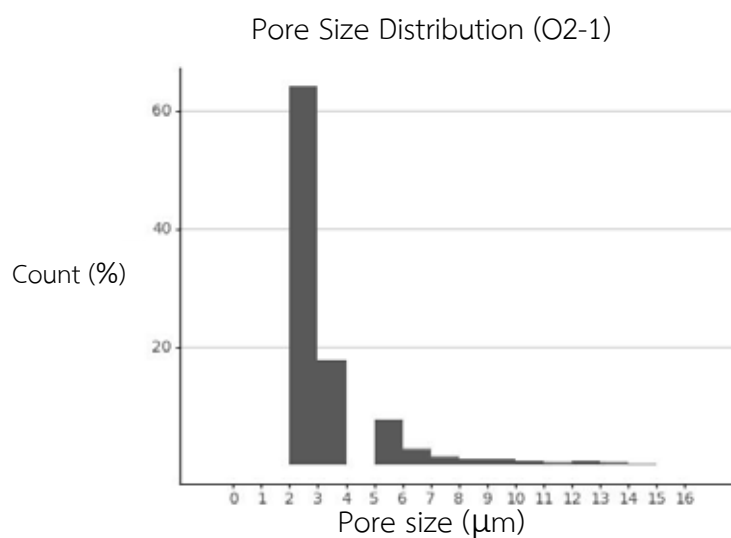
## ตัวอย่าง O2-1



รูปที่ 4.40 แสดงภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า ของตัวอย่าง O2-1

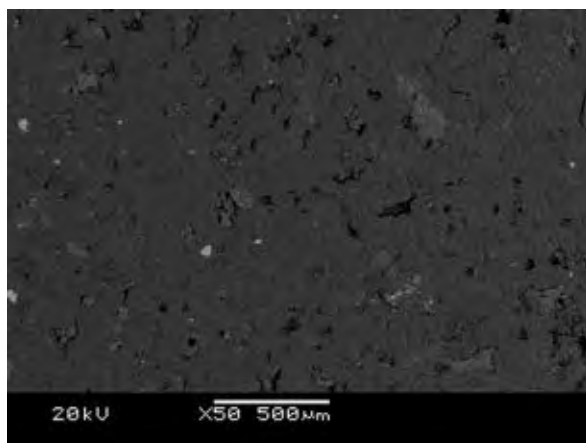


รูปที่ 4.41 แสดงภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Threshold ของตัวอย่าง O2-1 โดยใช้โปรแกรม ImageJ

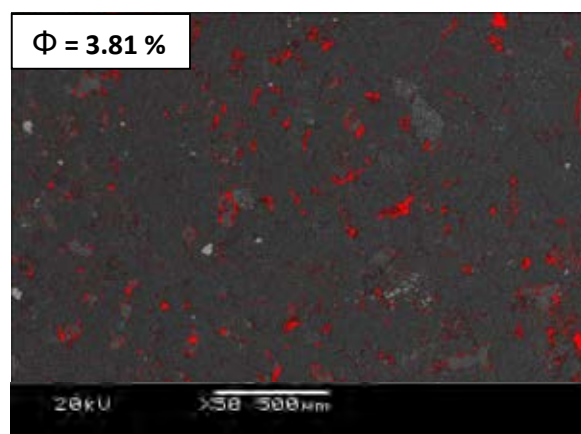


รูปที่ 4.42 แสดงการกระจายตัวของขนาดรูพรุน ของตัวอย่างหิน O2-1

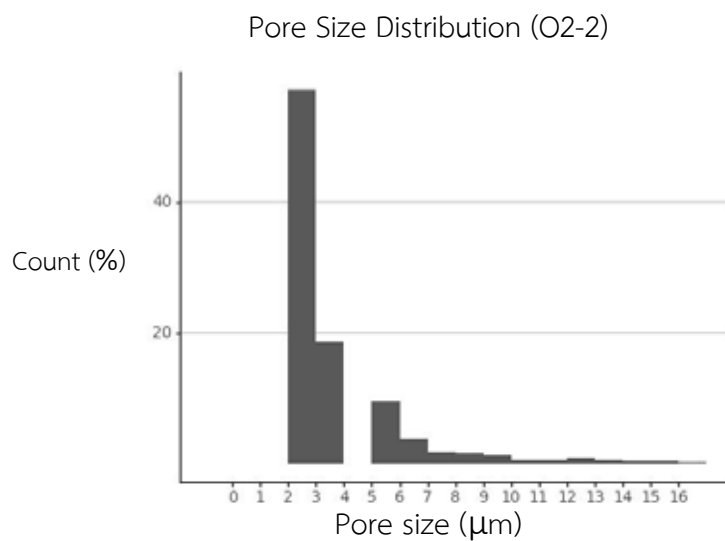
## ตัวอย่าง O2-2



รูปที่ 4.43 แสดงภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า ของตัวอย่าง O2-2

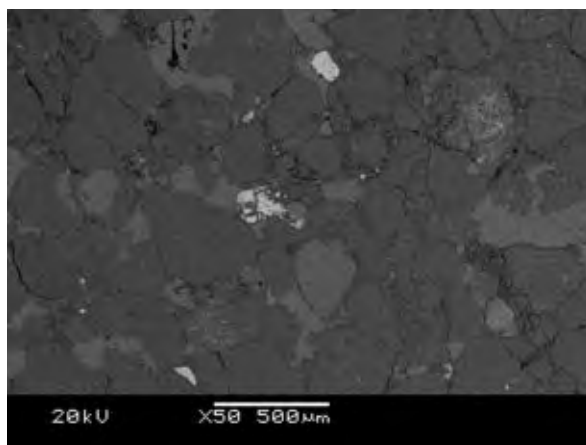


รูปที่ 4.44 แสดงภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Threshold ของตัวอย่าง O2-2 โดยใช้โปรแกรม ImageJ

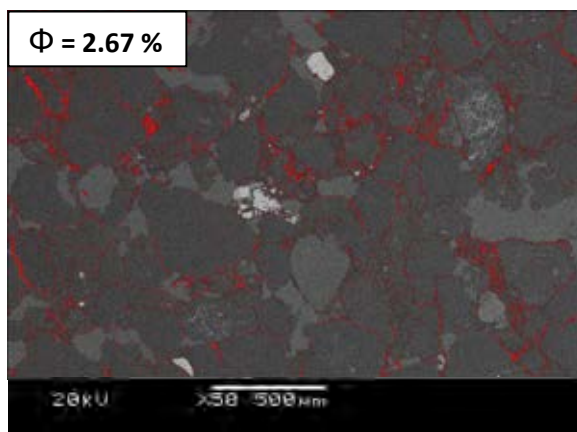


รูปที่ 4.45 แสดงการกระจายตัวของขนาดรูพรุน ของตัวอย่างหิน O2-2

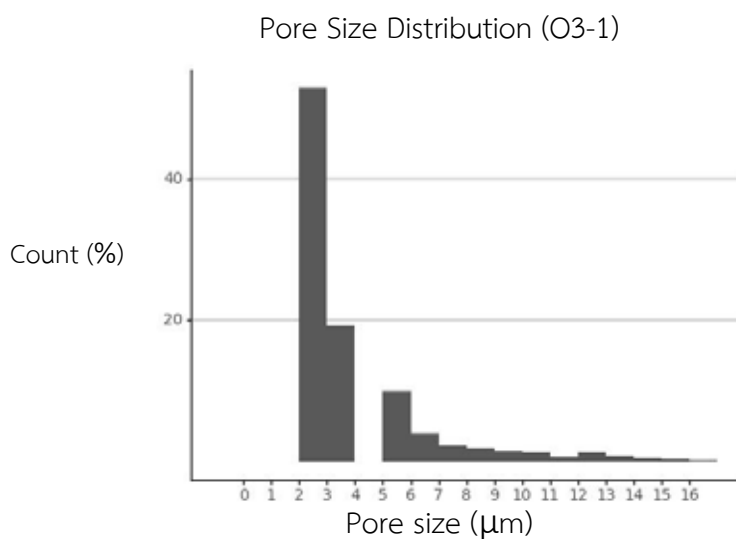
## ตัวอย่าง O3-1



รูปที่ 4.46 แสดงภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า ของตัวอย่าง O3-1

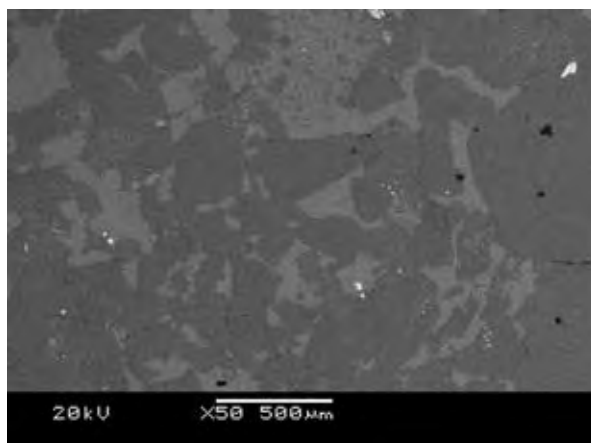


รูปที่ 4.47 แสดงภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Threshold ของตัวอย่าง O3-1 โดยใช้โปรแกรม ImageJ

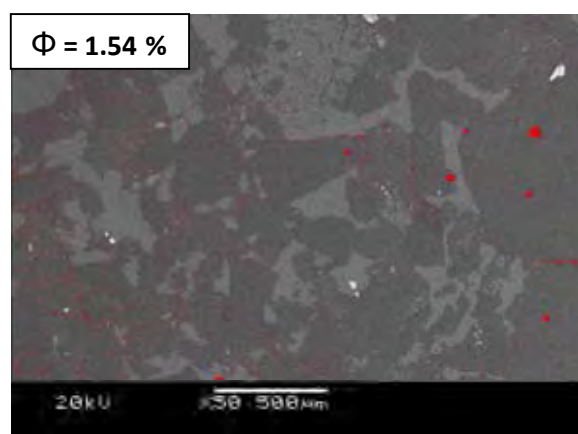


รูปที่ 4.48 แสดงการกระจายตัวของขนาดรูพรุน ของตัวอย่างหิน O3-1

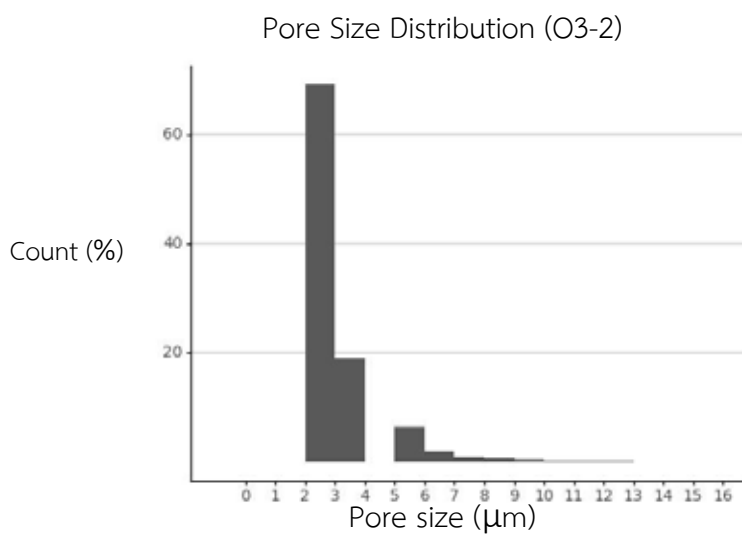
## ตัวอย่าง O3-2



รูปที่ 4.49 แสดงภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า ของตัวอย่าง O3-2



รูปที่ 4.50 แสดงภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Threshold ของตัวอย่าง O3-2 โดยใช้โปรแกรม ImageJ



รูปที่ 4.51 แสดงการกระจายตัวของขนาดรูพรุน ของตัวอย่างหิน O3-2



#### 4.4 การประเมินความพรุนสำหรับศักยภาพการเป็นชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียม

เมื่อนำค่าความพรุนเฉลี่ยของตัวอย่างหิน จำนวน 7 ตัวอย่างที่ได้จากการศึกษา เทียบกับตารางจำแนกประเภทหินกักเก็บปิโตรเลียม (Koesoemadinata, 1980) (ตารางที่ 4.8) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง ค่าความพรุน 0 – 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม Negligible reservoir rock (ตารางที่ 4.9) มีค่าความพรุนเฉลี่ยของตัวอย่างหินทั้งหมดเท่ากับ 2.01 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ตัวอย่าง O1-2 มีค่าความพรุนเฉลี่ยต่ำที่สุด มีค่าประมาณ 1.14 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างหิน O2-2 มีค่าความพรุนเฉลี่ยสูงที่สุด มีค่าประมาณ 3.81 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 4.8 แสดงการจำแนกประเภทชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียม โดยเทียบกับค่าความพรุนของหิน (Koesoemadinata, 1980)

Porosity (%)	Classification
0-5	Negligible
5-10	Poor
10-15	Fair
15-20	Good
>25	Very Good

ตาราง 4.9 แสดงค่าความพรุนเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่างหินที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพอิเล็กทรอนิกส์กลับ เทียบกับการจำแนกประเภทชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียมของ (Koesoemadinata, 1980)

Sample	Average Porosity (%)	Classification (Koesoemadinata, 1980)
O1-1	2.31	Negligible
O1-2	1.14	Negligible
O1-3	1.20	Negligible
O2-1	1.44	Negligible
O2-2	3.81	Negligible
O3-1	2.67	Negligible
O3-2	1.54	Negligible

## บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลงานวิจัย

5.1 อภิปรายผลจากงานวิจัย

5.2 สรุปผลงานวิจัย

## บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลงานวิจัย

### 5.1 อภิปรายผลงานวิจัย

จากการศึกษาพบว่าหินต้นกำเนิดของตัวอย่างหินทรายจากหมวดหินน้ำพองที่นำมาศึกษา มีสภาพธรณีแปรสัณฐานอยู่ระหว่าง continental block provenance กับ recycled orogeny provenance ซึ่งได้มาจากการนำข้อมูลที่ได้จากการนับจุดแร่พล็อตลงใน Qm-Lt-F tectonic discrimination diagram และ Qt-L-F tectonic discrimination diagram ของ Dickinson (1985) และ Weltje (2006) ซึ่งสภาพธรณีแปรสัณฐานลักษณะดังกล่าวนี้ ผู้ศึกษาคาดว่าน่าจะมีเกี่ยวเนื่องกับการชนกันของหินฐานธรณีฐานไทยและหินฐานธรณีอินโดจีนในช่วงยุคไทรแอสสิกตอนต้น โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Bunopas (1981)

เนื่องจากตัวอย่างหินที่นำมาศึกษา มีปริมาณรูพรุนน้อยและมีขนาดของรูพรุนที่เล็ก เมื่อทำการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ พบว่ารูพรุนนั้นสังเกตได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกวิธีการศึกษาด้วยการวิเคราะห์ภาพอิเล็กทรอนิกส์ทรานสแมสซิฟ ซึ่งเป็นวิธีการศึกษาที่เหมาะสมสำหรับศึกษาหินที่มีปริมาณรูพรุนน้อยและรูพรุนมีขนาดเล็ก โดยนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ เพื่อคำนวณหาค่าความพรุนของเนื้อหินเฉลี่ย เมื่อพิจารณาจากผลที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพอิเล็กทรอนิกส์ทรานสแมสซิฟ พบว่ามีค่าความพรุนเฉลี่ยเนื้อหินของตัวอย่างหินทั้งหมดเท่ากับ 2.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกันกับงานวิจัยเก่าของ Canham *et al.* (1996) ที่ทำการหาค่าความพรุนของหินทรายหมวดหินน้ำพองจากวิธีการนับจุดแร่ จำนวน 200 จุด ซึ่งได้ค่าความพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 4.9 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ผู้ศึกษาคิดว่าควรมีการพิจารณาถึงความพรุนประเภทอื่นร่วมด้วย ตัวอย่างเช่น ความพรุนที่เกิดจากรอยแตกหรือรอยเลื่อน เพื่อให้ได้ค่าความพรุนสุทธิของชั้นหินที่นำมาศึกษาทั้งหมด

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดของรูพรุนด้วยวิธีวิเคราะห์ภาพอิเล็กทรอนิกส์ทรานสแมสซิฟของตัวอย่างหินจำนวน 7 ตัวอย่าง พบว่ารูพรุนส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 3 ไมครอนเมตร และพบว่าหากต้องการที่จะศึกษาการกระจายตัวของขนาดของรูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า 3 ไมครอนเมตร จำเป็นต้องใช้รูปที่มีขนาดกำลังขยายของภาพมากกว่า 50 เท่า โดยค่าต่ำสุดของขนาดของรูพรุนที่สามารถวิเคราะห์ได้ จะสัมพันธ์กับขนาดกำลังขยายของภาพที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ หากใช้ภาพที่มีขนาดกำลังขยายมากจะเป็นผลทำให้ขนาดของรูพรุนที่เล็กที่สุดที่สามารถวิเคราะห์ได้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น

## 5.2 สรุปผลงานวิจัย

จากการศึกษาสีลาบรรณนาของหินทราย หมวดหินน้ำพอง จำนวน 7 ตัวอย่าง บริเวณริมทางหลวง หมายเลข 12 อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่าหินทรายหมวดหินน้ำพองเกือบทั้งหมดที่นำมาศึกษาเป็น หินทรายชนิด Lithic arkose (Folk, 1980) มีขนาดของเม็ดตะกอนตั้งแต่ทรายละเอียดมากจนถึงทราย ละเอียดปานกลาง มีการคัดขนาดดี มีภาวะทรงกลมต่ำ มีองค์ประกอบของเม็ดตะกอนควอตซ์ร้อยละ 48-69 เฟลด์สปาร์ร้อยละ 12-22 เศษหินร้อยละ 10-15 และแร่ทึบแสงและแร่อื่นๆร้อยละ 5-18 โดยประมาณ เศษ หินส่วนใหญ่ที่พบคือ เศษหินของหินเชิร์ต และเศษหินของหินตะกอนเนื้อละเอียดจำพวก หินโคลน

จากการวิเคราะห์ภาพอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ พบว่ามีค่าความพรุนเฉลี่ยของหินทรายทั้งหมดเท่ากับ 2.01 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำไปวิเคราะห์ร่วมกับผลการศึกษาสีลาบรรณนาที่ศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ พบว่า สาเหตุที่ค่าความพรุนของหินมีค่าต่ำน่าจะเป็นผลเนื่องจากสารเชื่อมประสานที่เข้าไปแทนที่รูพรุนภายในหิน ร่วมกับกระบวนการกดทับ (compaction) มีผลทำให้ค่าความพรุนเนื้อหินของหินมีค่าต่ำ

จากการนำค่าความพรุนเนื้อหินเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่างหินที่ได้จากการศึกษาในงานวิจัยนี้ เทียบกับ ตารางจำแนกประเภทชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียม (Koesoemadinata, 1980) พบว่าตัวอย่างหินทรายทั้งหมดจัด อยู่ในกลุ่ม Negligible reservoir rock จึงสรุปได้ว่าตัวอย่างหินที่นำมาศึกษานั้นไม่มีศักยภาพในการเป็นชั้นหิน กักเก็บปิโตรเลียม เมื่อประเมินจากคุณสมบัติด้านความพรุนของเนื้อหิน โดยไม่คำนึงความพรุนที่เกิดขึ้นจาก รอยแตก

## เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี ธรณีวิทยาประเทศไทย (พิมพ์ครั้งที่ ๒ ฉบับปรับปรุง) โดยกรมทรัพยากรธรณี  
กรุงเทพฯ : กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2550 628 หน้า; 30 ซม.

กรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2552 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบูรณ์มาตราส่วน 1: 250,000

กรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2554 แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย  
มาตราส่วน 1: 2,500,000

จงพันธ์ จงลักษณะณี, นเรศ สัตยารักษ์ และสัญญา สราภิรมย์, 2522. แผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน  
1: 250,000 ระวังจังหวัดนครพนม และปากซัน (NE48-10.6): กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี

วิโรจน์ ดาวฤกษ์, ปัญญา จารุศิริ, สุภาภักย์ อิมสมุท และมนตรี ชูวงศ์, 2545. การลำดับชั้นหินของ  
ชุดหินเสาขัวที่มีซากดึกดำบรรพ์ไดโนเสาร์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย. กรุงเทพฯ : ภาควิชา  
ธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545. 146 หน้า

ATOP Technology Co Ltd, 2006. Petroleum Assessment in Northeastern Thailand.  
(Report)

Booth, J. & Sattayarak, N. 2011. Subsurface Carboniferous – Cretaceous geology of  
Northeast Thailand. In: RIDD; M. F., Barber, A.J. & Crow, M.J. (eds) The Geology of Thailand,  
Geological Society, London, pp. 185-222.

Bunopas, S. 1981. Paleogeographic history of Western Thailand and adjacent parts of  
Southeast Asia: A plate tectonic interpretation. Geological Survey Paper Special Issue 5,  
Department of Mineral Resources of Thailand, Bangkok.

Canham, A. C., Racey, A., Love, M.A. & Polachan, S. 1996. Stratigraphy and reservoir  
potential of the Mesozoic Khorat Group Northeastern Thailand: Part 2, Diagenesis and reservoir  
quality. Journal of Petroleum Geology, Vol.19, pp. 321-338.

Chantong, W., 2007. Carbonate reservoir in the Khorat Plateau. In the 1<sup>st</sup> Department  
of Natural Fuel Conference: pp. 61-63.

Chonglakmani, C., and Sattayarak, N. 1978. Stratigraphy of the Huai Hin Lat Formation (Upper Triassic) in NE Thailand, in P. Nutalaya, ed., Proceedings of the Third Regional Conference on Geology and Mineralogy Resources of Southeast Asia, Bangkok, Thailand: 1978. pp. 739-762.

Choquette, P. W. and Pray, L. C. 1970. Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. AAPG Bull., 54, pp. 207-250.

Chuaviroj, S. 1997. Deformation in Khorat plateau. In; Proc. Int. Conf. on Stratigraphy and Tectonic Evolution of SE Asia and the South Pacific (eds. Dheeradilok, P. *et al.*), 19-24 August 1997, Bangkok, Thailand, pp. 321-325.

Dickinson, W.R., 1985. Interpreting Provenance Relations from Detrital Modes of Sandstones. In: Zuffa, G.C., Ed., Provenance of Arenites, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, the Netherlands, pp. 333-362.

Folk, R.L., 1980. Petrology of Sedimentary Rocks: Austin, Texas, Hemphill Publishing Company, 182 p.

Gardner, L.S., Howarth, H.F. and Na Chiang Mai, P. 1967. Salt resources of Thailand. Thai Dept. Mineral Dept. Mineral Resources. Rept. Invest.11, 110 p.

Griffiths J., Faulkner D.R., Edwards A.P. and Worden R.H. 2016. Deformation band development as a function of intrinsic host-rock properties in Triassic Sherwood Sandstone. Geological Society, London, Special Publications. 2018; 435(1): pp. 161–76.

Iwai, J., Asama, K., Veeraburus, M. and Hongnusunthi, A. 1966. Stratigraphy of the so-called Khorat Series and a note on the fossil plant-bearing Paleozoic strata in Thailand. Geol. And Paleont. Southeast Asia, Vol.2, pp. 179-196.

Racey, A., Love, M. A., Canham, A. C., Goodall, J. G. S. and Polachan, S. 1996. Stratigraphy and reservoir potential of Mesozoic Khorat Group, North Eastern Thailand Part 1, Stratigraphy and sedimentary evolution. Journal of Petroleum Geology, Vol.18, pp. 5-39.

Sattayarak, N., Srigulwong and Pattarametha, M. 1991. Subsurface stratigraphy of the non-marine Mesozoic Khorat Group, NE Thailand. In Polachan, P. *et al.* (eds.), Proceeding of the Seventh Regional Congress on Geology, Mineral and Energy Resources of Southeast Asia, Nov. 5-8, Bangkok. Thailand.

Sattayarak, N. 2005. Petroleum Potential of Northeast, Thailand. In: International Conference on Geology, Geotechnology and Mineral Resource of Indochina (GEOINDO 2005). Khon Kaen, Thailand: pp. 21-30.

Shanmugam, G. 1983. Secondary porosity in sandstones (abs.) AAPG Bull., 67, 54 p.

Thongboonruang, C. 2008. Petroleum Source Rock Potential of NE Thailand. The 2<sup>nd</sup> Petroleum Forum : Blooming Era of Northeastern Thailand, 15-16 September 2008: pp. 33-50.

Ward, D.E. and Bunnag, D. 1964. Stratigraphy of the Mesozoic Khorat Group in Northeastern Thailand. Report of Investigation no.6, Department of Mineral Resources, Thailand.

Weltje, G.J. 2006. Ternary sandstone composition and provenance: an evaluation of the "Dickinson model": Geological Society of London, Special Publications, v.264, pp. 79-99.

