ลักษณะเฉพาะของมิลานจ์หินดินดานในหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี บริเวณบ้านหนองบอน จังหวัดจันทบุรี

นาย ไกร วิเศษณัฐ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

CHARACTERISTICS OF SHALE MÉLANGE IN THE SA KAEO – CHANTHABURI ACCRETIONARY COMPLEX AT BAN NONG BON AREA, CHANGWAT CHANTHABURI

MR. Krai Visetnat

A report submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of the Bachelor of Science in Geology

Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Academic Year 2014

วันที่ส่ง

...../...../.....

วันที่อนุมัติ

...../...../.....

ลงชื่อ .....

(Professor Dr. Ken-ichiro Hisada)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานร่วม

(อาจารย์ ดร. วิชัย จูฑะโกสิทธิ์กานนท์)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

หัวข้องานวิจัย : ลักษณะเฉพาะของมิลานจ์หินดินดานในหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี บริเวณบ้านหนองบอน จังหวัดจันทบุรี

ผู้ทำการวิจัย : นาย ไกร วิเศษณัฐ รหัสประจำตัวนิสิต 543 27020 23

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.วิชัย จูฑะโกสิทธิ์กานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : Prof. Dr.Ken-ichiro Hisada

ภาควิชา : ธรณีวิทยา

ปีการศึกษา : 2557

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะเฉพาะของมิลานจ์หินดินดานในหน่วยหินบ้านหนองบอน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี มีพื้นที่ศึกษาอยู่ที่หลักกิโลเมตรที่ 21+200 ริมเส้นทางหลวงหมายเลข 3193 บริเวณบ้านหนองบอน อำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี โดยมีจุดประสงค์เพื่อพิสูจน์ความคลุมเครือในลักษณะของหินโผล่มิลานจ์หินดินดานตามที่ Chutakositkanon (2004) และ Chutakositkanon and Hisada (2008) ได้นำเสนอไว้ รวมถึงการวิเคราะห์หินตั้งต้น และสภาพแวดล้อมการเกิดของหินตั้งต้นก่อนเกิดเป็นมิลานจ์หินดินดาน วิวัฒนาการการเกิดมิลานจ์หินดินดาน และธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่ศึกษา

จากผลการศึกษาซึ่งประกอบด้วยการศึกษาลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ การศึกษาศิลาวรรณนาและธรณีเคมีของบล็อกหิน และการศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยา พบว่าหินโผล่ในพื้นที่ศึกษามีลักษณะของบล็อกหินหลายชนิด ได้แก่ บล็อกหินทราย บล็อกหินปูน บล็อกหินเชิร์ต และบล็อกหินบะซอลต์ในหินพื้นดินดาน ซึ่งแสดงริ้วขนาน และโครงสร้างแรงเฉือน สอดคล้องกับลักษณะของมิลานจ์หินดินดานแบบฉบับ โดยมีสภาพแวดล้อมของหินตั้งต้นของบล็อกหินแต่ละชนิดแตกต่างกัน ได้แก่ บล็อกหินทรายอยู่ในสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานแบบขอบทวีปมีพลัง บล็อกหินปูนอยู่ในสภาพแวดล้อมมหาสมุทรบริเวณน้ำตื้น บล็อกหินเชิร์ตอยู่ในสภาพแวดล้อมแบบพื้นก้นมหาสมุทร และบล็อกหินบะซอลต์สันนิษฐานว่าเป็นหินบะซอลต์รูปหมอนเกิดบริเวณพื้นก้นมหาสมุทร โดยสันนิษฐานว่าหินตั้งต้นที่ได้กล่าวมานี้มีอายุในช่วงยุคเพอร์เมียน จากนั้นเกิดการพอกติดจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรลงใต้แผ่นเปลือกโลกทวีปอินโดจีน เกิดเป็นมิลานจ์หินดินดานของหน่วยหินบ้านหนองบอนในช่วงยุคเพอร์โมไทรแอสซิกถึงไทรแอสซิกตอนต้น ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ทิศทางแรงกระทำหลักเฉพาะของพื้นที่ศึกษา บ่งชี้ว่ามีทิศทางในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งในส่วนนี้ยังไม่สามารถสรุปทิศทางแรงกระทำหลักจากกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐานของทั้งหน่วยหินบ้านหนองบอนได้อันเนื่องมาจากข้อจำกัดของงานวิจัยนี้

คำสำคัญ: มิลานจ์หินดินดาน หน่วยหินบ้านหนองบอน หน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี

Title: CHARACTERISTICS OF SHALE MÉLANGE IN THE SA KAEO – CHANTHABURI ACCRETIONARY COMPLEX AT BAN NONG BON AREA, CHANGWAT CHANTHABURI

Researcher: Mr. Krai Visetnat ID 543 27020 23

Advisor: Dr.Vichai Chutakositkanon

Co-advisor: Professor Dr.Ken-ichiro Hisada

Department: Geology

Academic year: 2014

Abstract

The aim of this senior project is to study the characteristics of shale mélange in Ban Nong Bon Unit which is a part of Sa Kaeo-Chanthaburi Accretionary Complex. The study area located at km. 21+200 on the Highway 3193, Pong Nam Ron district, Chanthaburi province. The main objectives are to clarify the characteristics of shale mélange reported by Chutakositkanon (2004) and Chutakositkanon and Hisada (2008) and to analyze lithology and provenance environment of parent rocks before deformation of shale mélange, and finally evolution of shale mélange and tectonic events of the study area.

Regarding these studies of physical characteristics of outcrop study, petrography, geochemistry and geological structure, the rocks in the area has various lithological blocks such as sandstone block, limestone block, chert block, basalt block in shale matrix displaying strong foliation and shear structure. These features are quite corresponding to typical shale mélange's characteristics. There are distinguished environments of each block. Sandstone blocks were in the active continental margin. Limestone blocks were deposited in the shallow-marine environment. Chert blocks were formed in the deep-oceanic floor environment. And basalt blocks were possibly the pillow basalt in oceanic floor environment. The age of these parent rocks is probably Permian Period. And then these parent rock were accreted due to the subduction of oceanic plate underneath continental Indochina plate and become the shale mélange of Ban Nong Bon unit during Permo-Triassic to Early Triassic. The result of stress analysis in the study area indicates the main compression in the Northwest-Southeast (NW-SE) direction. However, the direction of major stress of the entire Ban Nong Bon unit can not be analyzed due to this area limitation

Keywords: shale mélange, Ban Nong Bon unit, Sa Kaeo-Chanthaburi Accretionary Complex

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ได้แก่ อาจารย์ ดร.วิชัย จูฑะโกสิทธิ์กานนท์ และ Prof. Dr.Ken-ichiro Hisada ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ รวมถึงการดูแลตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐาสิณีย์ เจริญฐิติรัตน์ ที่ให้คำแนะนำ และมอบโอกาสในการเข้าร่วมโครงการศึกษาแลกเปลี่ยน TAG Program ณ University of Tsukuba ประเทศญี่ปุ่น รวมถึง รองศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา จารุศิริ และอาจารย์ ดร.อภิสิทธิ์ ซาลำ ในการให้คำปรึกษา และอำนวยความสะดวกในหลายๆด้าน

ขอขอบพระคุณอาจารย์และบุคลากรในภาควิชาธรณีวิทยาทุกท่าน สำหรับความช่วยเหลือในด้านต่างๆ รวมถึงภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนในทุกด้าน เช่น ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ แหล่งความรู้ที่ใช้ในการค้นคว้า รวมถึงงบประมาณที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้

นอกจากนี้ ขอขอบคุณ นายวัชรพล ศรียางนอก, นายเคน อิเกดะ และนายนวภัทร กลมเกลียว ในการเป็นผู้ช่วยเก็บข้อมูลภาคสนาม ขอบคุณนิสิตภาควิชาธรณีวิทยา รุ่น 55, 56 และ 57 ที่ให้การสนับสนุน และช่วยเหลือทั่วไป รวมถึงกำลังใจในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญภาพ	ฌ
สารบัญตาราง	ด
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 พื้นที่ศึกษา	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	4
1.7 แผนผังการดำเนินงาน	6
1.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 2 ธรณีวิทยาบริเวณตะเข็บธรณีสระแก้ว-จันทบุรี	9

บทที่ 3 มิลานจ์หินดินดานของหน่วยหินบ้านหนองบอน

3.1 ภาพร่างหินโผล่ 15

3.2 ข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินโผล่ 27

3.3 ศิลาวรรณนาของบล็อกหิน 33

3.4 ธรณีเคมีของบล็อกหินทราย 49

บทที่ 4 อภิปรายผลการวิจัย

4.1 ความเป็นมิลานจ์หินดินดาน 50

4.2 การเกิดลักษณะ boudinage ของบล็อกหินในหินโผล่มิลานจ์หินดินดาน 51

4.3 หินตั้งต้น และสภาพแวดล้อมการเกิด 52

4.4 วิวัฒนาการการเกิดมิลานจ์หินดินดาน 56

4.5 ธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่ศึกษา 59

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 61

บทที่ 6 ข้อเสนอแนะ 62

เอกสารอ้างอิง 72

ภาพผนวก 1 77

ภาคผนวก 2 80

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1.1	ตำแหน่งพื้นที่ศึกษา โดยภาพ a.) และ b.) ภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth และ c.) ภาพถ่ายแสดงพื้นที่ศึกษา ณ ริมเส้นทางหลวงหมายเลข3193 บริเวณบ้านหนองบอน อำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี ภาคตะวันออก ประเทศไทย	3
ภาพที่ 2.1	แผนที่แสดงหน่วยทางธรณีวิทยาของประเทศไทยและปริมณฑล (Metcalf, 2013)	12
ภาพที่ 2.2	แผนที่ธรณีวิทยาระวาง ND 48-9 และ ND 48-13 (กรมทรัพยากรธรณี, 2519 และ 2552)	13
ภาพที่ 2.3	แผนที่ธรณีวิทยาพื้นที่บริเวณตะวันออกของจังหวัดจันทบุรี (กรมทรัพยากรธรณี, 2554)	13
ภาพที่ 2.4	แผนที่ธรณีวิทยาทางด้านตะวันออกของจังหวัดจันทบุรีและสระแก้ว หน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี (Chutakositkanon and Hisada, 2008)	14
ภาพที่ 2.5	แผนที่ธรณีวิทยาทางด้านตะวันออกของจังหวัดจันทบุรีและสระแก้ว (Sone et al., 2012)	14
ภาพที่ 3.1	ภาพถ่ายพื้นที่ศึกษาละเอียดของงานวิจัย a.) ตำแหน่งพื้นที่ศึกษาละเอียดครอบคลุม 5x20 ตารางเมตร b.) การกำหนดพิกัดภายในโดยการตีตาราง 1x2 ตารางเมตร c.) การเก็บข้อมูลระดับความละเอียด 1x1 ตารางเมตร	16
ภาพที่ 3.2	แผนที่การกระจายตัวของหินโผล่ในพื้นที่ศึกษาละเอียด a.) แผนที่ภาพถ่ายพื้นที่ศึกษาละเอียด b.) แผนที่ภาพร่างพื้นที่ศึกษาละเอียด	17
ภาพที่ 3.3	ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ พบการกระจายตัวของบล็อกหินทราย ลักษณะ boudinage ในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนานและรอยเลื่อนหลายแนว a.) ภาพถ่ายหินโผล่ b.) ภาพร่างหินโผล่	18

ภาพที่ 3.4	ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ พบการกระจายตัวของบล็อกหินทรายและบล็อกหินปูน ลักษณะ boudinage ในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนานและรอยเลื่อนหลายแนว a.) ภาพถ่ายหินโผล่ b.) ภาพร่างหินโผล่	19
ภาพที่ 3.5	ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ พบการกระจายตัวของบล็อกหินทราย ลักษณะ boudinage ในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนานและรอยเลื่อนหลายแนว a.) ภาพถ่ายหินโผล่ b.) ภาพร่างหินโผล่	20
ภาพที่ 3.6	ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ พบการกระจายตัวของบล็อกหินทรายและบล็อกหินเชิร์ต ลักษณะ boudinage ในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนานและรอยเลื่อนหลายแนว a.) ภาพถ่ายหินโผล่ b.) ภาพร่างหินโผล่	21
ภาพที่ 3.7	ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ พบการกระจายตัวของบล็อกหินทรายและบล็อกหินเชิร์ต ลักษณะ boudinage ในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนานและรอยเลื่อนหลายแนว a.) ภาพถ่ายหินโผล่ b.) ภาพร่างหินโผล่	22
ภาพที่ 3.8	ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ พบการกระจายตัวของบล็อกหินทราย ลักษณะ boudinage ในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนานและรอยเลื่อนหลายแนว a.) ภาพถ่ายหินโผล่ b.) ภาพร่างหินโผล่	23
ภาพที่ 3.9	ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ พบการกระจายตัวของบล็อกหินทราย ลักษณะ boudinage ในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนานและรอยเลื่อนหลายแนว a.) ภาพถ่ายหินโผล่ b.) ภาพร่างหินโผล่	24
ภาพที่ 3.10	ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างหิน พบการกระจายตัวของบล็อกหินทรายและบล็อกหินเชิร์ต ลักษณะ boudinage ในหินพื้นดินดาน โดยมีสายแร่แคลไซต์ตัดตั้งฉากกับแกนยาวของบล็อกหิน a.) ภาพถ่ายหินโผล่ b.) ภาพร่างหินโผล่	25
ภาพที่ 3.11	บล็อกหินบะซอลต์ในหินพื้นดินดานที่พบในบริเวณพื้นที่ศึกษา	26

ภาพที่ 3.12 ภาพถ่ายลักษณะปรากฏของระนาบรอยเลื่อนและเส้นรอยเลื่อนที่พบในหินโผล่ในพื้นที่ศึกษาละเอียด a.) ระนาบรอยเลื่อนที่ถูกแทรกด้วยสายแร่ควอตซ์ขนานไปกับรอยเลื่อน b.) เส้นรอยเลื่อนที่พบบนพื้นผิวสายแร่ควอตซ์ 27

ภาพที่ 3.13 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าระนาบรอยเลื่อน (เส้นโค้ง, n) และเส้นรอยเลื่อน (จุดบนเส้นโค้ง, m) ลงบน Stereonet แสดงการกระจายของระนาบรอยเลื่อนหลากหลายแนว โดยมีทิศทางหลักคือ แนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) และลักษณะการกระจายตัวของเส้นรอยเลื่อน บ่งชี้ถึงการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนในแนวระนาบทั้งแบบซ้ายเข้าและขวาเข้า (left and right lateral strike-slip fault) 28

ภาพที่ 3.14 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าระนาบรอยเลื่อน (n) ลงบน Rose diagrams แสดงการกระจายของระนาบรอยเลื่อนหลากหลายแนว โดยมี 2 ทิศทางหลักคือ แนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) และอีก 2 ทิศทางย่อย ได้แก่ แนวตะวันตกเฉียงเหนือค่อนตะวันตก-ตะวันออกเฉียงใต้ค่อนตะวันออก (WNW-ESE) และแนวตะวันตกเฉียงใต้ค่อนตะวันตก-ตะวันออกเฉียงเหนือค่อนตะวันออก (WSW-ENE) 28

ภาพที่ 3.15 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าริ้วขนานของหินพื้นดินดาน (n) ลงบน Rose diagrams แสดงการกระจายของริ้วขนานของหินพื้นดินดาน โดยมีทิศทางหลักคือ แนวเหนือ-ใต้ (N-S) และมีการเบี่ยงเบนค่าข้อมูลไปในทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือค่อนเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ค่อนใต้ (NNE-SSW) 29

ภาพที่ 3.16 ภาพถ่ายแสดงการเก็บข้อมูลการวางตัวของบล็อกหิน a.) บล็อกหินทรายในหินพื้นดินดาน b.) แกนยาวของบล็อกหินทรายเมื่อดึงจากหินโผล่ 30

ภาพที่ 3.17 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าการวางตัวของบล็อกหิน (n) ลงบน Rose diagrams แสดงการกระจายของทิศทางการวางตัวของบล็อกหิน โดยมีทิศทางหลักคือ แนวเหนือ-ใต้ (N-S) 30

ภาพที่ 3.18 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าสายแร่ในบล็อกหิน (n) ลงบน Rose diagrams แสดงการกระจายของสายแร่ในบล็อกหิน โดยมีทิศทางหลักคือ แนวตะวันตก-ตะวันออก (W-E) 31

ภาพที่ 3.19 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยา ได้แก่ ระนาบรอยเลื่อน ริ้วขนานของหินพื้นดินดาน และการวางตัวของบล็อกหิน ซึ่งบ่งชี้ความสัมพันธ์แบบแรงเฉือน Riedel 32

ภาพที่ 3.20 ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างบล็อกหินทราย NB.1-4-1 โดย ภาพ a.) PPL และภาพ b.) XPL 34

ภาพที่ 3.21 ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างบล็อกหินทราย NB.1-5-1 โดย ภาพ a.) PPL และภาพ b.) XPL 35

ภาพที่ 3.22 ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างบล็อกหินทราย NB.1-8-1 โดย ภาพ a.) PPL และภาพ b.) XPL 36

ภาพที่ 3.23 ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างบล็อกหินทราย NB.1-9-1 โดย ภาพ a.) PPL และภาพ b.) XPL 37

ภาพที่ 3.24 ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างบล็อกหินทราย NB.18-3-3 โดย ภาพ a.) PPL และภาพ b.) XPL 38

ภาพที่ 3.25 ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างบล็อกหินทราย NB.18-4-2 โดย ภาพ a.) PPL และภาพ b.) XPL 39

ภาพที่ 3.26 ผลการวิเคราะห์ประเภทของบล็อกหินทรายโดยการพล็อตปริมาณแร่องค์ประกอบหลักลงใน QRF diagram (Folk, 1974) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินทรายประเภท sublitharenite 41

ภาพที่ 3.27 ผลการวิเคราะห์ประเภทของบล็อกหินทรายโดยการพล็อตปริมาณแร่องค์ประกอบหลักลงใน QRF diagram (Dunham, 1975) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินทรายประเภท lithic wacke 41

ภาพที่ 3.28 ตารางการจำแนกหินปูน โดย a.) Carbonate classification ของ Folk (1959) ปรับปรุงโดย G.G.St.C. Kendall (2005) และ b.) Carbonate classification ของ Dunham (1962) ปรับปรุงโดย R.G. Loucks et al. (2003) 42

ภาพที่ 3.29 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง แสดงลักษณะเนื้อหินของตัวอย่างบล็อกหินปูน NB.1-1 43

ภาพที่ 3.30 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง แบบ PPL แสดงซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิด ประเภท Schwagerinid? ซึ่งพบในตัวอย่างบล็อกหินปูน NB.1-1 บ่งชี้ช่วงอายุยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงเพอร์เมียน 43

ภาพที่ 3.31 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง แสดงลักษณะเนื้อหินของตัวอย่างบล็อกหินปูน NB.1-3 โดยภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL 44

ภาพที่ 3.32 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง แสดงลักษณะเนื้อหินของตัวอย่างบล็อกหินปูน NB.18-2 45

ภาพที่ 3.33 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่งของตัวอย่างบล็อกหินปูน NB.18-2 โดย a.) แบบ PPL แสดงซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิด ประเภท Schwagerinid? b.) แบบ XPL แสดงเศษหินบะซอลต์ในเนื้อพื้นแคลไซต์ 45

ภาพที่ 3.34 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง แสดงลักษณะเนื้อหินของตัวอย่างบล็อกหินเชิร์ต NB.1-6 โดยภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL 46

ภาพที่ 3.35 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง แสดงลักษณะเนื้อหินของตัวอย่างบล็อกหินเชิร์ต NB.1-7 โดยภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL 47

ภาพที่ 3.36 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง แสดงลักษณะเนื้อหินของตัวอย่างบล็อกหินเชิร์ต NB.18-2 โดยภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL 48

ภาพที่ 4.1 แผนภาพแสดงกระบวนการถูกทำลายของชั้นหินเดิม เกิดเป็นลักษณะ boudinage ของบล็อกหินในมิลานจ์ โดยมี 2 ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ขนาดของแรงเฉือนที่กระทำต่อชั้นหินเดิม และสภาพการกลายเป็นหินของตะกอน ส่งผลให้ลักษณะ boudinage ของบล็อกหินมีการเกิดได้หลายกรณี (Festa et al., 2012) 51

ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้นของบล็อกหินทรายโดยการพล็อตปริมาณแร่องค์ประกอบหลักลงใน Qm-F-Lt and Qt-F-L diagrams with tectonic fields (Dickinson, 1983) โดย a.) Qm-F-Lt diagram มีสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานแบบ Quartzose recycled ถึง mixed provenance และ b.) Qt-F-L diagram มีสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานแบบ recycled orogeny provenance 53

ภาพที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้นโดยการพล็อตค่าออกไซด์ของธาตุหลักลงในไดอะแกรม K_2O/Na_2O vs. SiO_2 (Roser and Korsch, 1986) บ่งชี้ว่าหินตั้งต้นของบล็อกหินทรายมีสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานแบบ active continental margin ถึง oceanic island arc 54

ภาพที่ 4.4 แบบจำลองการเกิดหน่วยหินซับซ้อนพอกพูน อันเกิดจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรลงใต้แผ่นเปลือกโลกทวีป ส่งผลให้กลุ่มหินพื้นแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทร (oceanic plate sequence) ซึ่งประกอบด้วยหินบะซอลต์ หินเชิร์ต หินดินดาน หินทราย และอาจพบหินปูนร่วมด้วย เกิดการพอกติดตรงบริเวณการมุดตัว (อ้างอิงจาก http://plate-tectonic.narod.ru/japan11photoalbum.html) 56

ภาพที่ 4.5 ตารางแสดงวิวัฒนาการการเกิดของมิลานจ์หินดินดานของหน่วยหินบ้านหนองบอน โดยหินตั้งต้น ได้แก่ หินทราย หินดินดาน หินปูน หินเชิร์ต และหินบะซอลต์ มีอายุช่วงยุคเพอร์เมียน จากนั้นจึงเกิดเป็นมิลานจ์หินดินดานในช่วงยุคเพอร์โมไทรแอสซิกถึงไทรแอสซิกตอนต้น 57

ภาพที่ 4.6	แบบจำลองทางธรณีแปรสัณฐานในช่วงยุคเพอร์เมียน แสดงสภาพแวดล้อมการตกสะสมของหินตั้งต้น ก่อนเกิดเป็นมิลานจ์หินดินดานของหน่วยหินบ้านหนองบอน	58
ภาพที่ 4.7	แบบจำลองทางธรณีแปรสัณฐานในช่วงยุคเพอร์โมไทรแอสซิกถึงไทรแอสซิกตอนต้น แสดงการเกิดมิลานจ์หินดินดานของหน่วยหินบ้านหนองบอน อันเกิดจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรลงใต้แผ่นเปลือกโลกทวีปอินโดจีน ทำให้หินตั้งต้นทั้งหมดเกิดการพอกติดและเกิดเป็นมิลานจ์หินดินดาน	58
ภาพที่ 4.8	ภาพแสดงการเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างแรงเฉือน Riedel และทิศทางแรงกระทำหลัก (ลูกศรสีดำ) ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) โดย a.) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยา ได้แก่ ระนาบรอยเลื่อน ริ้วขนานของหินพื้นดินดาน และการวางตัวของบล็อกหิน ของหินโผล่มิลานจ์หินดินดานในพื้นที่ศึกษา b.) ลักษณะโครงสร้างแรงเฉือน Riedel แบบซ้ายเข้า (left-lateral Riedel shear) นำเสนอโดย Woodcock and Schuber (1994)	60
ภาพที่ 4.9	ภาพแสดงทิศทางแรงกระทำหลัก (ลูกศรสีดำ) ของหินโผล่มิลานจ์หินดินดานในพื้นที่ศึกษา โดยแสดงในแผนที่ธรณีวิทยาของหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี (Chutakositkanon and Hisada, 2008)	60
ภาพที่ 6.1	ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างบล็อกหินทรายในมิลานจ์หินดินดาน NB.1-4 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL	64
ภาพที่ 6.2	ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างหินทรายสีเทาเขียว ณ คลองโป่งน้ำร้อน NB.33-1 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL	65
ภาพที่ 6.3	ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างหินทรายสีเทาเขียว ณ บริเวณอื่นๆในหน่วยหินบ้านหนองบอน NB.33-1 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL	66

ภาพที่ 6.4	ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างหินทราย หมวดหินโป่งน้ำร้อน ณ คลองโป่งโรงเซ็น PNR.1 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL	67
ภาพที่ 6.5	ผลการวิเคราะห์ประเภทของหินทรายแต่ละชนิดโดยการพล็อตปริมาณแร่องค์ประกอบหลักใน QRF diagram (Folk, 1974)	69
ภาพที่ 6.6	ผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้นของหินทรายแต่ละชนิดโดยการพล็อตปริมาณแร่องค์ประกอบหลักใน Qm-F-Lt diagram with tectonic fields (Dickinson, 1983)	69
ภาพที่ 6.7	แผนที่ธรณีวิทยาแสดงบริเวณบางส่วนของหน่วยหินซับซ้อนพอกพูน สระแก้ว-จันทบุรี ตามข้อสันนิษฐานของผู้เขียน	71

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	ลักษณะเนื้อหินของบล็อกหินทราย	40
ตารางที่ 2	ปริมาณแร่องค์ประกอบหลักของบล็อกหินทราย	40
ตารางที่ 3	ข้อมูลค่าออกไซด์ของธาตุหลัก และค่า Lost of Ignition (LOI) ของบล็อกหิน	49
ตารางที่ 4	ผลการวิเคราะห์แร่องค์ประกอบหลักของหินทราย	68

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

มิลานจ์ (mélange) คือ หน่วยหินที่มีขนาดสามารถแสดงได้ในแผนที่ธรณีวิทยา ประกอบด้วยบล็อกหินหลายชนิดคละกันในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนาน และลักษณะการโดนแรงเฉือน ไม่แสดงการวางตัวของชั้นหิน เกิดขึ้นในบริเวณที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐาน โดยเฉพาะบริเวณที่มีการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก ซึ่งจะปรากฏอยู่ในหน่วยหินซับซ้อนพอกพูน (accretionary complex) (Hamilton, 1969; Ernust, 1970, Hsü, 1971) ทั้งนี้ ลักษณะของมิลานจ์หินดินดานยังเป็นที่ถกเถียงและสามารถเกิดจากกระบวนการอื่นได้เช่นกัน (Raymond, 1984; Festa et al., 2010, 2012)

Chutakositkanon and Hisada (2008) ได้ทำการศึกษาพื้นที่บริเวณตะวันออกของจังหวัดจันทบุรี และจังหวัดสระแก้ว โดยสรุปให้พื้นที่นี้เป็นหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี (Sa Kaeo-Chanthaburi Accretionary Complex) โดยประกอบด้วย 4 หน่วยหิน เรียงจากทางตะวันออกไปตะวันตก ได้แก่ หน่วยหินเขาปริก หน่วยหินเขาแหลม หน่วยหินบ้านหนองบอน และหน่วยหินสอยดาว มีอายุยุคเพอร์เมียนตอนปลาย ถึงยุคไทรแอสซิกตอนต้น โดยมีหมวดหินโป่งน้ำร้อน อายุไทรแอสซิกตอนกลาง วางตัวปิดทับบน 4 หน่วยหินดังกล่าว ในพื้นที่หน่วยหินบ้านหนองบอน พบหินโผล่มิลานจ์หินดินดานกระจายตัวอยู่ทั่วพื้นที่ ซึ่งแสดงลักษณะบล็อกหินทรายเป็นส่วนใหญ่ ประกอบกับบล็อกหินปูน หินเชิร์ต และหินบะซอลต์ ในหินพื้นดินดาน แสดงการเปลี่ยนลักษณะโดยแรงเฉือนอย่างชัดเจน ลักษณะดังกล่าวเป็นหลักฐานสนับสนุนให้หน่วยหินบ้านหนองบอน แยกออกจากหมวดหินโป่งน้ำร้อน ซึ่งเคยมีการศึกษาไว้ในอดีต (Chaodumrong, 1992, 2002; Salyaphongse et al., 1997; Hada et al., 1997, 1999) ทั้งนี้ การศึกษาหน่วยหินบ้านหนองบอนดังกล่าว ยังมีความคลุมเครือในหลายแง่ เช่น อายุของหน่วยหิน รวมถึงลักษณะของมิลานจ์หินดินดานที่พบในหน่วยหินนี้ยังมีการศึกษาที่ไม่เพียงพอ จึงมีคณะวิจัยบางคณะ (Sone et al., 2012) ยังจัดให้พื้นที่บริเวณนี้เป็นส่วนหนึ่งของหมวดหินโป่งน้ำร้อนดังเดิม

จากประเด็นความคลุมเครือดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการศึกษาลักษณะของหินโผล่ในหน่วยหินบ้านหนองบอน หน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี เพื่อพิสูจน์ความเป็นมิลานจ์

หินดินดานตามที่ Chutakositkanon and Hisada (2008) ได้นำเสนอไว้ รวมถึงศึกษาสภาพแวดล้อมการเกิดของหินตั้งต้น วิวัฒนาการการเกิดมิลานจ์หินดินดาน และธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่ศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะของมิลานจ์หินดินดาน ในหน่วยหินบ้านหนองบอน หน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี ได้แก่

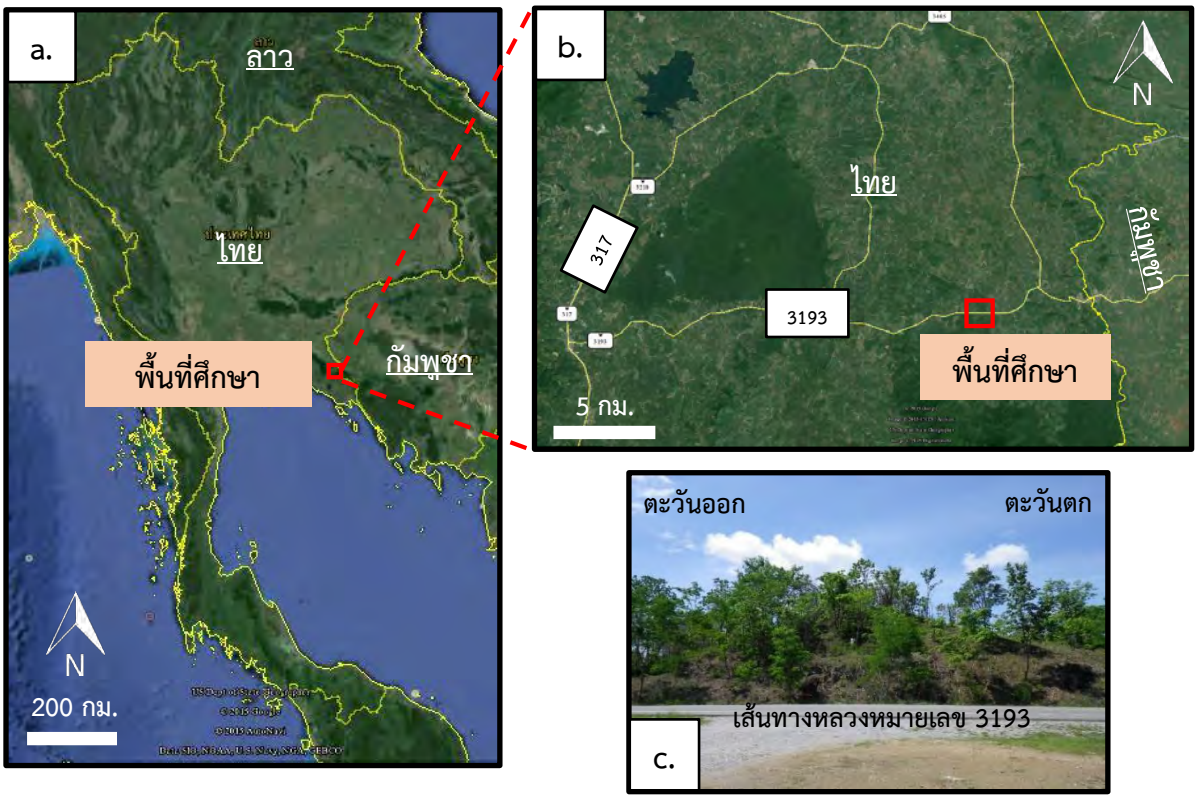
- ลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ เพื่อพิสูจน์ความเป็นมิลานจ์หินดินดาน
- ศิลาวรรณนาและธรณีเคมีของบล็อกหินที่พบ เพื่อวิเคราะห์สภาพแวดล้อมการเกิดของหินตั้งต้น ตลอดจนวิวัฒนาการการเกิดของมิลานจ์หินดินดาน
- โครงสร้างทางธรณีวิทยาระดับหินโผล่ เพื่อวิเคราะห์ธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่

1.3 พื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหินโผล่ ณ พิกัด UTM : 48P 0222387 1429683 กิโลเมตรที่ 21+200 ริมเส้นทางหลวงหมายเลข 3193 บริเวณบ้านหนองบอน ตำบลคลองใหญ่ อำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี ภาคตะวันออก ประเทศไทย (**ภาพที่ 1.1**)

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

- ศึกษาลักษณะทางกายภาพ เช่น การกระจายตัวของบล็อกหิน ลักษณะรูปร่างของบล็อกหิน เป็นต้น และโครงสร้างทางธรณีวิทยาระดับหินโผล่ ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาละเอียด 5x20 ตารางเมตร
- ศึกษาศิลาวรรณนา และธรณีเคมีของบล็อกหิน ได้แก่ บล็อกหินทราย บล็อกหินปูน และบล็อกหินเชิร์ต โดยทำการเก็บตัวอย่างจากพื้นที่ศึกษาทั้งหมด



ภาพที่ 1.1 ตำแหน่งพื้นที่ศึกษา โดยภาพ a.) และ b.) ภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth และ c.) ภาพถ่ายแสดงพื้นที่ศึกษา ณ ริมเส้นทางหลวงหมายเลข 3193 บริเวณบ้านหนองบอน อำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี ภาคตะวันออก ประเทศไทย

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- สามารถพิสูจน์ความเป็นมิลานจ์หินดินดานของหินโผล่ในพื้นที่ศึกษาได้
- ทราบถึงหินตั้งต้น และสภาพแวดล้อมการเกิดก่อนเกิดเป็นมิลานจ์หินดินดาน
- ทราบถึงวิวัฒนาการการเกิดมิลานจ์หินดินดาน
- สามารถบ่งบอก และเทียบสัมพันธ์ถึงธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่ศึกษาได้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.6.1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและรวบรวมเอกสารพื้นฐาน

1.6.1.1. งานวิจัยทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

1.6.1.2. งานวิจัยที่มีการศึกษามิลานจ์หินดินดานในพื้นที่ต่างๆโดยมีการวิเคราะห์ถึงลักษณะบ่งชี้ และโครงสร้างทางธรณีวิทยาเป็นหลัก

1.6.1.3. งานวิจัยที่มีการศึกษาศิลาวรรณนาและธรณีเคมีของหิน ได้แก่ หินทราย หินปูน และหินเชิร์ต

1.6.2. ทำการออกภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลภาคสนามและตัวอย่างหิน

1.6.2.1. กำหนดกรอบพื้นที่ศึกษาละเอียด 5x20 ตารางเมตร และกำหนดพิกัดโดยการสร้างตารางภายในขนาด 2x1 ตารางเมตร และทำการเก็บข้อมูลระดับความละเอียด 1x1 ตารางเมตร

1.6.2.2. ทำการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ โดยการทำภาพวาดพร้อมภาพถ่ายของหินโผล่ และแผนที่การปรากฏของหินโผล่ ในพื้นที่ศึกษาละเอียด 5x20 ตารางเมตร

1.6.2.3. ทำการเก็บข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินโผล่ ในพื้นที่ศึกษาละเอียด 5x20 ตารางเมตร

1.6.2.4. เก็บตัวอย่างบล็อกหิน จากพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ได้แก่ บล็อกหินทราย บล็อกหินปูน และบล็อกหินเชิร์ต

1.6.3. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของหินโผล่

1.6.3.1. จัดทำภาพร่าง และแผนที่การปรากฏของหินโผล่โดยใช้ภาพวาดและภาพถ่ายของหินโผล่เป็นต้นแบบ ด้วยโปรแกรม Illustrator ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาละเอียด 5x20 ตารางเมตร

1.6.3.2. วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพเพื่อหาลักษณะบ่งชี้ความเป็นมิลานจ์หินดินดานของหินโผล่

1.6.4. ศึกษาข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยาระดับหินโผล่

1.6.4.1. วิเคราะห์ข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยา ได้แก่ รอยเลื่อน เส้นรอยเลื่อน การวางตัวของบล็อกหิน สายแร่ในบล็อกหิน และริ้วขนานของหินพื้นดินดาน

1.6.4.2. วิเคราะห์ และเทียบสัมพันธ์กับข้อมูลการศึกษาธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่

1.6.5. เตรียมตัวอย่างหินสำหรับการศึกษา

1.6.5.1. เตรียมตัวอย่างแผ่นหินขัดบางเพื่อศึกษาศิลาวรรณนา

- บล็อกหินทราย : จัดทำแผ่นหินขัดบางจำนวน 2 แผ่น ต่อ 1 ตัวอย่างหิน
- บล็อกหินปูน : จัดทำแผ่นหินขัดบางจำนวน 1 แผ่น ต่อ 1 ตัวอย่างหิน
- บล็อกหินเชิร์ต : จัดทำแผ่นหินขัดบางจำนวน 1 แผ่น ต่อ 1 ตัวอย่างหิน

1.6.5.2. เตรียมตัวอย่างผงหินเพื่อศึกษาธรณีเคมี

1.6.5.2.1. เตรียมตัวอย่างผงหินของบล็อกหินทราย โดยคัดเลือกส่วนของตัวอย่างหินที่มีความสดมากที่สุด ให้มีขนาดไม่เกิน 4x3x3 ลูกบาศก์เมตร

1.6.5.2.2. ใช้เครื่อง Jaw Crusher ลดขนาดตัวอย่างหินให้มีขนาดประมาณ 2x2x2 ลูกบาศก์เมตร

1.6.5.2.3. ทำการคัดแยกส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับเนื้อหินเดิมออก เช่น สายแร่ เนื้อหินผุ เป็นต้น

1.6.5.2.4. ใช้เครื่อง Desktop pulverizer milling machine บดตัวอย่างหินเป็นตัวอย่างผงหินโดยมีขนาดของผงหินเล็กกว่า 50 ไมครอน

1.6.5.2.5. นำตัวอย่างผงหินที่ได้อบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

1.6.6. ศึกษาศิลาวรรณนาของบล็อกหินที่พบในหินโผล่

1.6.6.1. บล็อกหินทราย

1.6.6.1.1. วิเคราะห์แร่องค์ประกอบหลักของหิน โดยการนับจุดแร่ (point counting) ที่พบในแผ่นหินขัดบาง 500 จุด

1.6.6.1.2. นำผลการวิเคราะห์แร่องค์ประกอบหลักมาพล็อตลงในไดอะแกรม

- Sandstone classification: Q-R-F diagram (Folk, 1974) และ Q-R-F diagram (Pettijohn, 1975)
- Provenance analysis: Qt-F-L and Qm-F-Lt with tectonic fields diagrams (Dickinson et al., 1983)

1.6.6.2. บล็อกหินปูนและหินเชิร์ต : วิเคราะห์ลักษณะเนื้อหิน และซากดึกดำบรรพ์

1.6.7. ศึกษาธรณีเคมีของบล็อกหินทราย

1.6.7.1. วิเคราะห์ข้อมูลออกไซด์ของธาตุหลักโดยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer (XRF)

1.6.7.2. วิเคราะห์ค่า Lost of Ignition (LOI) โดยการนำตัวอย่างผงหินเผาด้วยความร้อนอุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และคำนวณหาค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนไปของตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

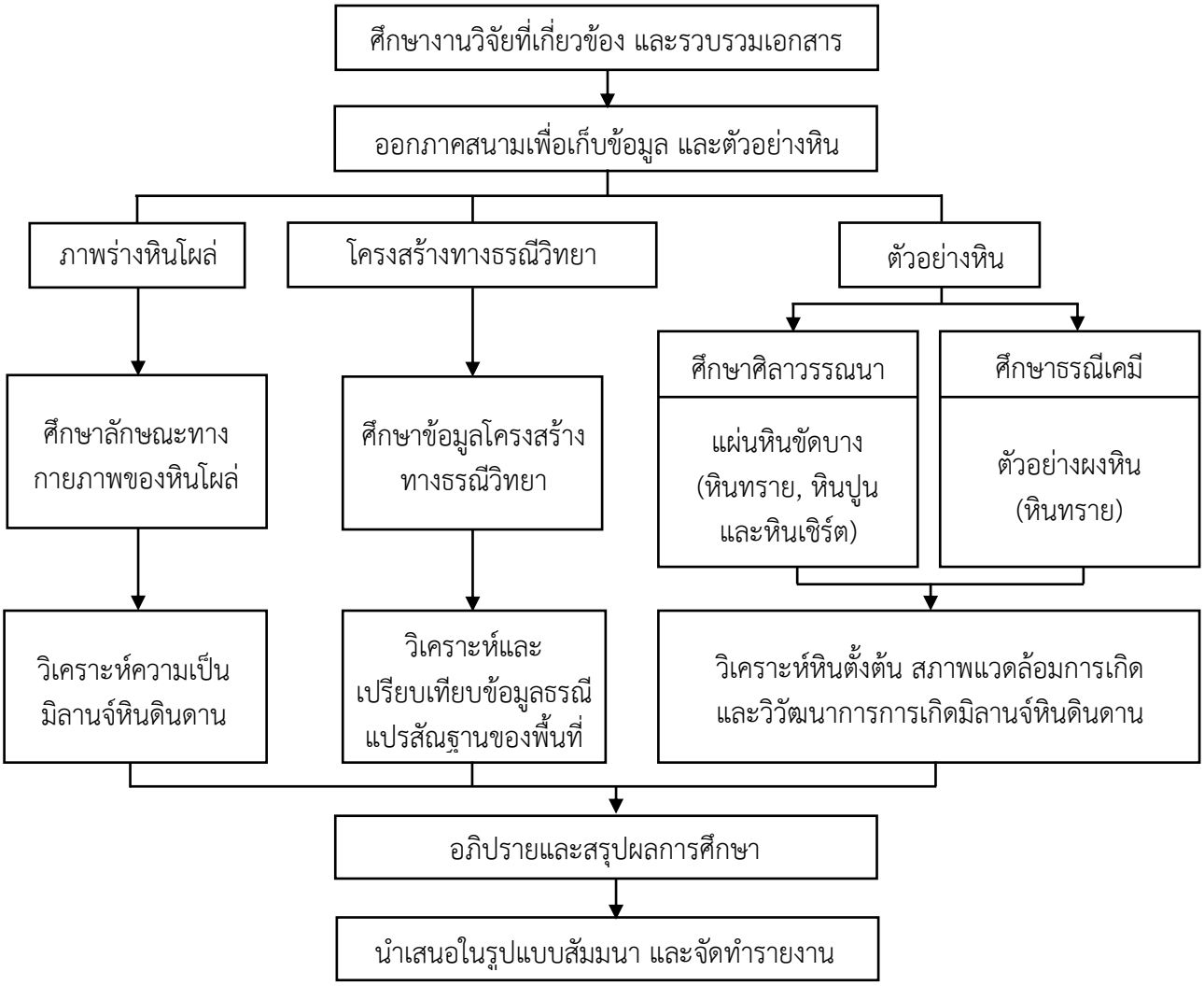
1.6.7.3. นำข้อมูลออกไซด์ของธาตุหลัก และค่า LOI มาคำนวณเพื่อปรับค่า

1.6.7.4. นำข้อมูลออกไซด์ของธาตุหลักที่ผ่านการคำนวณร่วมกับค่า LOI แล้ว มาพล็อตลงในไดอะแกรม K_2O/Na_2O vs. SiO_2 ของ Roser and Korsch (1986)

1.6.8. อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

1.6.9. นำเสนอในรูปแบบสัมมนา และจัดทำรูปเล่มรายงาน

1.7 แผนผังการดำเนินงาน



1.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มิลานจ์ (mélange) คือ หน่วยหินที่มีขนาดสามารถแสดงได้ในแผนที่ธรณีวิทยาได้ ประกอบด้วยบล็อกหินหลายชนิดคละกันในหินพื้นดินดาน เกิดขึ้นในบริเวณที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐาน โดยเฉพาะบริเวณที่มีการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก ซึ่งจะปรากฏอยู่ในหน่วยหินซับซ้อนพอกพูน (accretionary complex) (Hamilton, 1969; Ernst, 1970, Hsü, 1971) ลักษณะปรากฏต่างๆที่พบในมิลานจ์หินดินดาน เช่น บล็อกหินหลายชนิดไม่แสดงการวางตัวของชั้นหินเดิม เช่น ตะกอนพื้นก้นมหาสมุทร (pelagic sediments) ตะกอนที่ตกสะสมในร่องทะเลลึก (trench sediments) หินฐานพื้นมหาสมุทร (oceanic basement rock) ในหินพื้นดินดาน (Taira et al., 1988) และโครงสร้างแรงเฉือน (Matsuda and Isozaki, 1991) ถือเป็นหลักฐานอย่างดีในการพิสูจน์ความเป็นมิลานจ์ และวิเคราะห์แนวแรงกระทำโบราณได้ แต่ทั้งนี้ ลักษณะของมิลานจ์หินดินดานยังเป็นที่ถกเถียง และสามารถเกิดจากกระบวนการอื่นๆได้เช่นกัน (Raymond, 1984; Festa et al., 2010, 2012)

Festa et al. (2012) ได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และกระบวนการเกิดของมิลานจ์ โดยนำเสนอว่า มิลานจ์สามารถเกิดได้ 3 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการทางธรณีแปรสัณฐาน (tectonic mélange) กระบวนการสะสมตัวของตะกอน (sedimentary mélange) และกระบวนการแทรกดัน (diapiric mélange) ซึ่งในงานวิจัยนี้ ผู้เขียนขอเจาะจงเฉพาะมิลานจ์จากกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐานเท่านั้น นั่นคือ ชั้นหินเดิมถูกทำลายด้วยแรงกระทำจากกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐาน จะพบบล็อกหินหลายชนิดคละกันในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนาน ประกอบกับลักษณะการเปลี่ยนลักษณะ (deformation) โดยเฉพาะโครงสร้างแรงเฉือน นอกจากนี้ได้นำเสนอลักษณะเฉพาะที่สามารถพบได้ในมิลานจ์ นั่นคือ ลักษณะ boudinage ของบล็อกหิน อันเกิดได้หลายกรณี เช่น แรงดึงที่ขนานกับชั้นหิน (layer parallel extensional force) การแตกหัก ณ บริเวณหัว-ท้ายของบล็อกหิน (brecciation on nacks and tails of blocks) แรงเฉือน Riedel (Riedel shear) เป็นต้น ซึ่งมีตัวแปรควบคุม คือ ขนาดของแรงเฉือนที่มากระทำ และสภาพการกลายเป็นหินของตะกอน (lithification)

Dickinson et al. (1983) ได้ทำการศึกษาหาปริมาณแร่องค์ประกอบหลักในหินทราย ได้แก่ แร่ควอตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ และเศษหิน ด้วยวิธีการนับจุดแร่ (point counting) และหาความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐาน (tectonic fields) ของหินตั้งต้น ได้แก่ craton interior, transitional continental, basement uplift, recycled orogeny, dissected arc, transitional arc และ undissected arc

Roser and Korsch (1986) นำข้อมูลออกไซด์ของธาตุหลักมาหาความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้น พล็อตในไดอะแกรม K_2O/Na_2O vs. SiO_2 ซึ่งสามารถจำแนกสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานเป็น 3 ประเภท ได้แก่ passive margin, active continental margin และ oceanic island arc

บทที่ 2 ธรณีวิทยาบริเวณตะเข็บธรณีสระแก้ว-จันทบุรี

Metcalf (2013) สรุปว่า ประเทศไทยมีลักษณะทางธรณีวิทยาอันเกิดจากการชนตัวของแผ่นจุลทวีปสองแผ่น ได้แก่ แผ่นจุลทวีปไซบูมาสุ (Sibumasu Terrane) และแผ่นจุลทวีปอินโดจีน (Indochina Terrane) โดยปรากฏแนวภูเขาไฟสุโขทัย (Sukhothai Volcanic Arc) ระหว่างแผ่นจุลทวีปทั้งสอง ซึ่งชนกันในช่วงยุคเพอร์โมไทรแอสซิก (Permo-Triassic) เกิดแนวตะเข็บธรณีต่างๆขึ้น โดยตะเข็บธรณีอันเกิดจากการชนกันระหว่างแนวภูเขาไฟสุโขทัยทางด้านตะวันตก และแผ่นจุลทวีปอินโดจีนทางด้านตะวันออก ซึ่งปรากฏอยู่ในบริเวณภาคตะวันออกของประเทศไทยเรียกว่า ตะเข็บธรณีสระแก้ว (Sa Kaeo Suture) โดยพื้นที่ศึกษาของงานวิจัยนี้อยู่ในบริเวณตะเข็บธรณีสระแก้วเช่นกัน (**ภาพที่ 2.1**)

กรมทรัพยากรธรณี (2519 และ 2552) ได้จัดทำแผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:250,000 ระวาง ND 48-9 พระตะบอง และ ND 48-3 จังหวัดจันทบุรี โดยในบริเวณทางทางด้านตะวันออกของจังหวัดจันทบุรีและจังหวัดสระแก้ว ประกอบด้วยหน่วยหินตะกอนเป็นสำคัญ ได้แก่ หินปูนกลุ่มหินราชบุรี ยุคเพอร์เมียน (Permian) และหินตะกอนชนิดแตกหลุด (clastic sedimentary rock) หมวดหินโป่งน้ำร้อน ยุคไทรแอสซิก (Triassic) กระจายตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีหินแกรนิตบริเวณเขาสอยดาว ยุคไทรแอสซิก แทรกตัดหน่วยหินทั้งสอง ทั้งนี้ พื้นที่ศึกษาของงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของหมวดหินโป่งน้ำร้อน (**ภาพที่ 2.2**)

กรมทรัพยากรธรณี (2554) ได้จัดทำแผนที่ธรณีวิทยาของจัดหวัดจันทบุรี โดยในบริเวณทางด้านตะวันออกของจังหวัดจันทบุรี ประกอบด้วยหน่วยหินตะกอนเป็นสำคัญ ได้แก่ หมวดหินเขาฉกรรจ์และหมวดหินสระแก้ว ยุคเพอร์เมียน หมวดหินเนินโพธิ์และหมวดหินโป่งน้ำร้อน ยุคไทรแอสซิก กระจายตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีหินแกรนิตบริเวณเขาสอยดาว ยุคไทรแอสซิกตอนบน แทรกตัดหน่วยหินตะกอนดังกล่าว ซึ่งพื้นที่ศึกษาของงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของหมวดหินเนินโพธิ์ (**ภาพที่ 2.3**)

หมวดหินโป่งน้ำร้อน ประกอบด้วยหินทรายชนิดเกรย์แวก ชั้นหนาถึงไม่แสดงชั้น สีเทา เนื้อแน่นแข็ง พบรอยแตกหลายทิศทาง มีหินดินดานสลับอยู่บ้าง บางบริเวณพบหินกรวดมนเป็นหย่อมๆ ไม่ต่อเนื่องกัน (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) องค์ประกอบแร่หลักของหินทรายคือ แร่เฟลด์สปาร์และเศษหิน

ถูกแปลความหมายให้เป็นช่วงต้นของชุดหินตะกอนกระแสความขุ่น (Proximal Bouma sequence) (Bunopas, 1982; Chaodumrong et al., 2002, Chutakositkanon and Hisada, 2008) ทั้งนี้ ยังไม่มีการศึกษาอายุของหมวดหินโป่งน้ำร้อนโดยตรง แต่จากการเทียบเคียงอายุของหินแกรนิตบริเวณเขาสอยดาว อายุไทรแอสซิกตอนปลายถึงจูแรสซิกตอนต้น (Latest Triassic – Earliest Jurassic) (Charusiri et al., 1992) บ่งชี้ว่าหมวดหินโป่งน้ำร้อนมีอายุก่อนยุคจูแรสซิก (Pre-Jurassic) และจากการเทียบเคียงการเปลี่ยนแปลงลำดับชั้นหินในแนวด้านข้าง (lateral facies change) กับหมวดหินเนินโพธิ์ ยุคไทรแอสซิกตอนกลางถึงตอนปลาย (Middle-Late Triassic) บ่งชี้ว่าหมวดหินโป่งน้ำร้อนมีอายุยุคไทรแอสซิกตอนกลางถึงตอนปลายเช่นกัน (Chaodumrong et al., 2002)

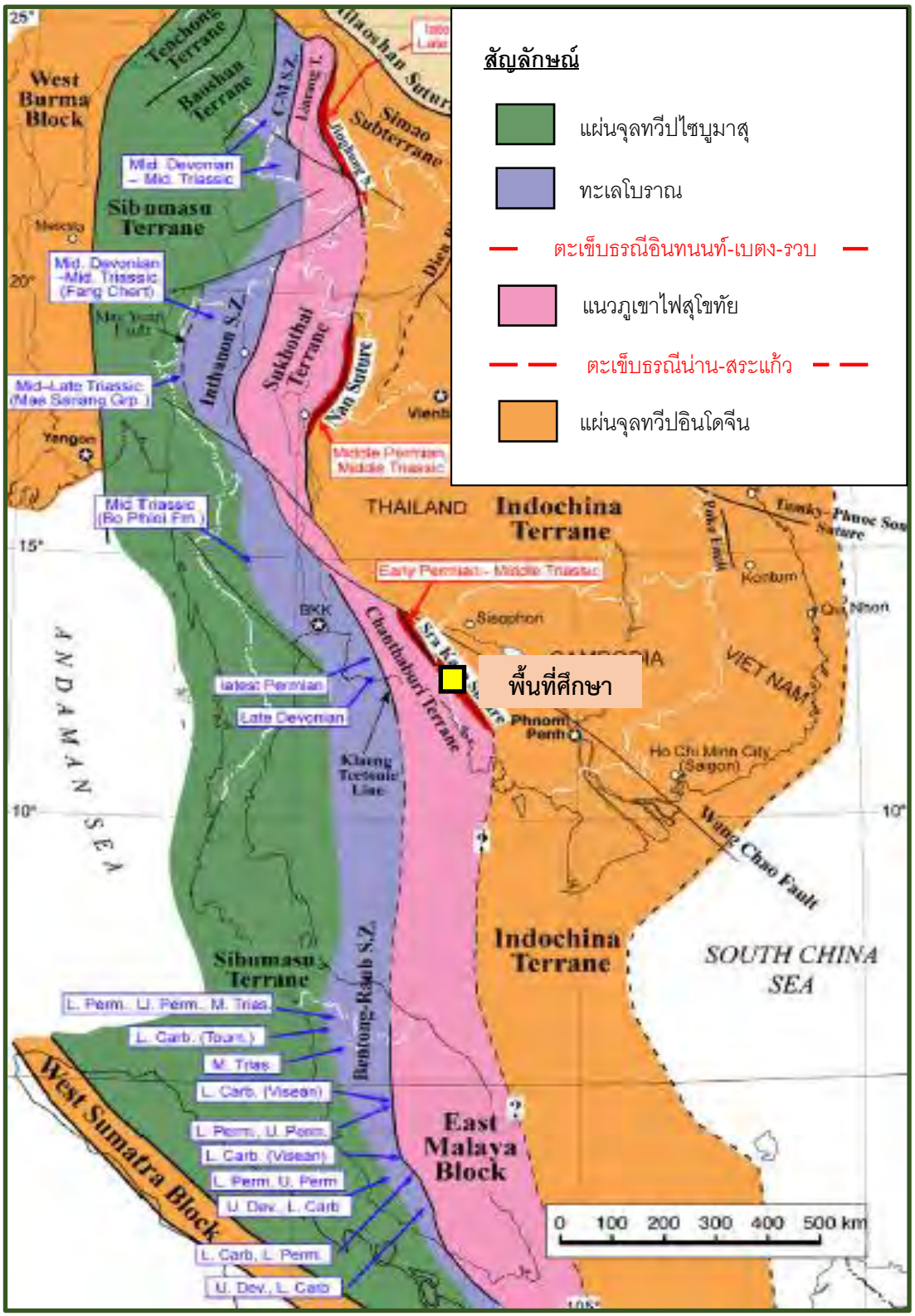
หมวดหินเนินโพธิ์ ประกอบด้วยหินเชิร์ต สีเทาถึงเทาอ่อน เป็นชั้นบาง แสดงชั้นอย่างดี พบซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรีย มีหินทรายแป้งเนื้อทัฟฟ์ หินโคลน และหินดินดานเนื้อปนถ่านสลับบ้าง (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) ถูกแปลความให้เป็นช่วงปลายของชุดหินตะกอนกระแสความขุ่น (Distal Bouma sequence) เทียบเคียงได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงลำดับชั้นหินในแนวด้านข้างกับหมวดหินโป่งน้ำร้อน ซึ่งเป็นช่วงต้นของชุดหินตะกอนกระแสความขุ่น (Chaodumrong et al., 2002) พบซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรีย *Triassocampe* sp., *Syringocapsa* sp. และ *Archaeospongoprunum* sp. อายุยุคไทรแอสซิกตอนกลางถึงตอนปลาย (Hada et al., 1997 และ Sashida et al., 1997) โดยหินเชิร์ตที่พบนี้เกิดในบริเวณพื้นมหาสมุทรน้ำลึก (pelagic deep-ocean deposit) (Saesaengseerung et al., 2009)

Chutakositkanon (2004) และ Chutakositkanon and Hisada (2008) ได้ทำการศึกษาพื้นที่บริเวณตะวันออกของจังหวัดจันทบุรีและจังหวัดสระแก้ว โดยสรุปให้พื้นที่นี้เป็นหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี (Sa Kaeo-Chanthaburi Accretionary Complex) ประกอบด้วย 4 หน่วยหิน เรียงจากทางตะวันออกไปตะวันตก ได้แก่ หน่วยหินเขาปริก (Khao Prik Unit) หน่วยหินเขาแหลม (Khao Hleam Unit) หน่วยหินบ้านหนองบอน (Ban Nong Bon Unit) และหน่วยหินสอยดาว (Soi Dao Unit) มีอายุยุคเพอร์เมียนตอนปลายถึงยุคไทรแอสซิกตอนต้น โดยมีหมวดหินโป่งน้ำร้อน อายุยุคไทรแอสซิกตอนกลาง วางตัวปิดทับบน 4 หน่วยหินดังกล่าว ในพื้นที่หน่วยหินบ้านหนองบอน พบหินโผล่มิลานจ์หินดินดานกระจายตัวอยู่ทั่วพื้นที่ ซึ่งแสดงลักษณะบล็อกหินทรายเป็นส่วนใหญ่ ประกอบกับบล็อกหินปูน หินเชิร์ต และหินบะซอลต์ ในหินพื้นดินดาน แสดงการเปลี่ยนลักษณะโดยแรงเฉือน

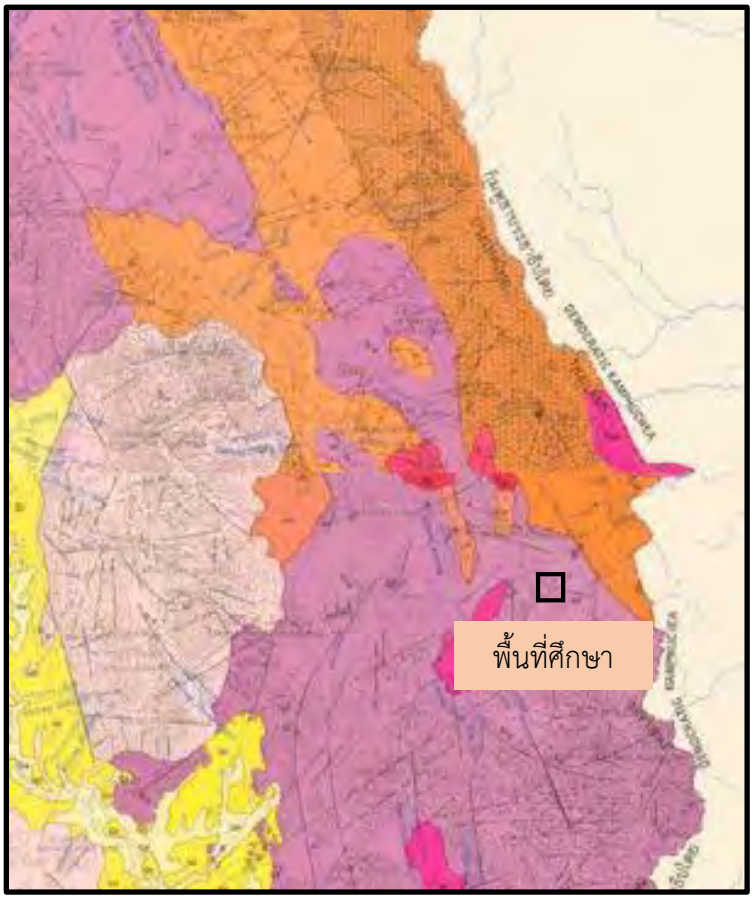
อย่างชัดเจน ลักษณะดังกล่าวเป็นหลักฐานสนับสนุนให้หน่วยหินบ้านหนองบอน แยกออกจากหมวดหินโป่งน้ำร้อน ซึ่งเคยมีการศึกษาไว้ในอดีต (Chaodumrong, 1992, 2002; Salyaphongse et al., 1997; Hada et al., 1997, 1999) ทั้งนี้ หินโผล่แบบฉบับของหน่วยหินบ้านหนองบอน อยู่ที่กิโลเมตรที่ 21+200 ริมเส้นทางหลวงหมายเลข 3193 บริเวณบ้านหนองบอน อำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษาของงานวิจัยนี้ (**ภาพที่** 2.4)

Hara et al. (2006) ได้ทำการศึกษา Paleo-geothermal structure ด้วยวิธี Illite crystallinity (IC) analysis ของหน่วยหินเขาแหลมและหน่วยหินบ้านหนองบอน ซึ่งนำเสนอโดย Chutakositkanon et al. (2004) โดยผล IC ของหน่วยหินบ้านหนองบอน มีค่าน้อยกว่าหน่วยหินเขาแหลม บ่งชี้ว่าหน่วยหินบ้านหนองบอนวางตัวอยู่ใต้หน่วยหินเขาแหลมด้วยรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ (reverse thrust fault) กล่าวคือ หน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี เกิดจากการพอกตัวของกลุ่มหินพื้นแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทร (oceanic plate sequence) โดยการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรมุดตัวไปทางทิศตะวันออกลงใต้ขอบทางด้านตะวันตกของแผ่นจุลทวีปอินโดจีน

Sone et al. (2012) ได้ทำการศึกษาธรณีวิทยาทางตอนใต้ของภาคตะวันออก ประเทศไทย โดยได้กล่าวถึงหมวดหินโป่งน้ำร้อน ว่าเป็นหินตะกอนซิลิซิคลาสติก (Siliciclastic sedimentary rock) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งพบได้ทั่วไปในบริเวณตะวันออกของจังหวัดจันทบุรี และแนวตะเข็บธรณีสระแก้ว อันเป็นบริเวณขอบของแผ่นจุลทวีปอินโดจีน โดยมีรายละเอียดของเนื้อหินและอายุตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ทั้งนี้ ชั้นหินแบบฉบับของหมวดหินโป่งน้ำร้อน ซึ่งแสดงหินกรวดมนเนื้อภูเขาไฟ ชั้นหนา แทรกสลับกับหินทรายเนื้อภูเขาไฟ และหินโคลน อยู่ที่คลองโป่งน้ำร้อน บริเวณบ้านหนองบอน อ.โป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี นอกจากนี้ ยังได้กล่าวถึงการแยกตัวของหน่วยหินบ้านหนองบอนออกจากหมวดหินโป่งน้ำร้อน ซึ่งนำเสนอโดย Chutakositkanon and Hisada (2008) ว่า การศึกษาด้านอายุของหน่วยหินบ้านหนองบอนยังไม่มีความแน่ชัด และลักษณะของมิลานจ์หินดินดานที่พบในหน่วยหินนี้ ยังมีความเข้าใจที่ไม่เพียงพอ จึงยังจัดให้พื้นที่บางส่วนของหน่วยหินบ้านหนองบอน ซึ่งรวมถึงพื้นที่ศึกษาของงานวิจัยนี้ ยังคงเป็นส่วนหนึ่งของหมวดหินโป่งน้ำร้อนดังเดิม (**ภาพที่** 2.5)



ภาพที่ 2.1 แผนที่แสดงหน่วยทางธรณีวิทยาของประเทศไทยและปริมณฑล (Metcalf, 2013)



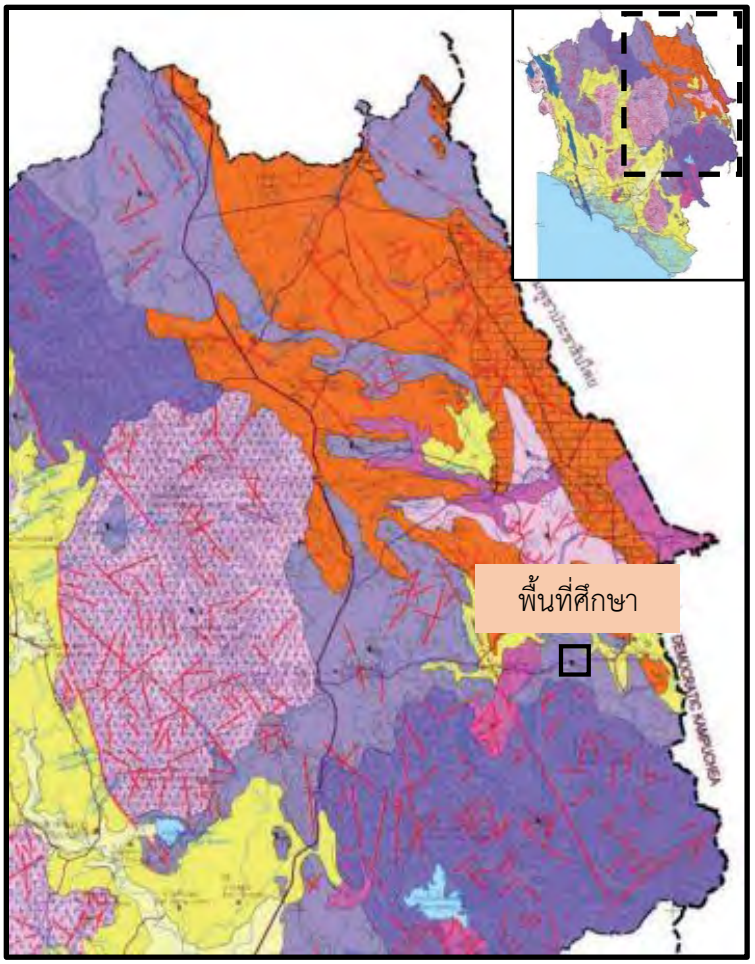
หินตะกอนและหินแปร

- ตะกอนน้ำพา
- ตะกอนตะพักลุ่มน้ำ
- หมวดหินโป่งน้ำร้อน
- หินปูน กลุ่มหินราชบุรี
- หินเชิร์ต Permian-Carboniferous

หินอัคนี

- หินโอลิวินบะซอลต์
- หินฮอร์นเบลนด์ไบโอไทต์
- หินแอนดีไซต์ หินทัฟฟ์

ภาพที่ 2.2 แผนที่ธรณีวิทยา ระวาง ND 48-9 และ ND 48-13 (กรมทรัพยากรธรณี, 2519 และ 2552)



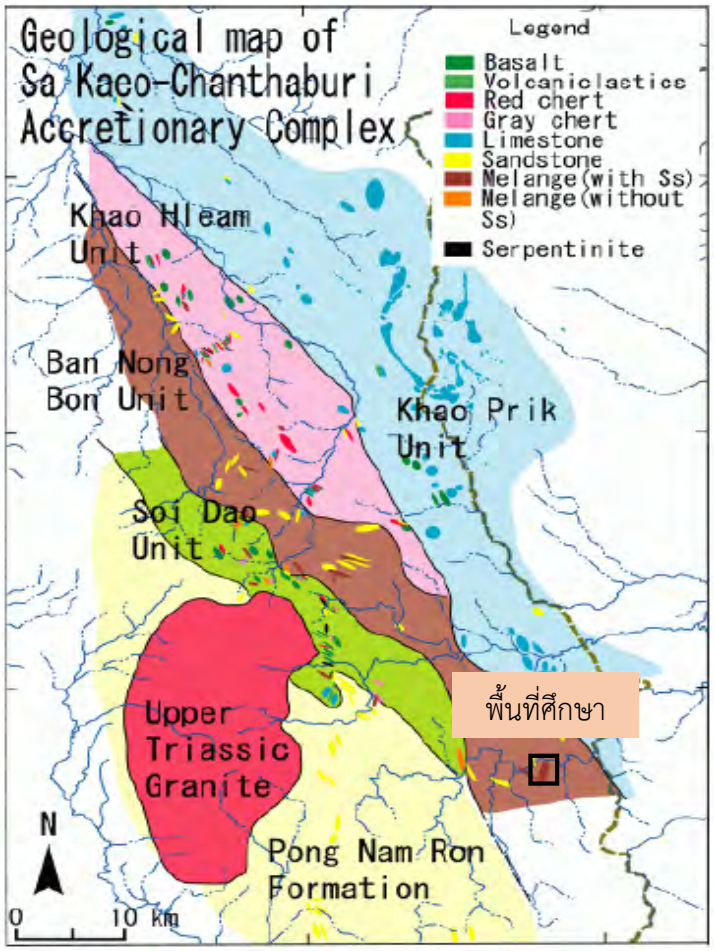
ตะกอนและหินตะกอน

- ตะกอนที่ราบลุ่มน้ำ
- ตะกอนเศษหินเชิงเขาและตะพัก
- หมวดหินโป่งน้ำร้อน
- หมวดหินเนินโพธิ์
- หินตะกอนที่ถูกแปรสภาพ
- หมวดหินเขาฉกรรจ์
- หมวดหินสระแก้ว

หินอัคนี

- หินบะซอลต์จันทบุรี
- หินไรโอไลต์
- หินฮอร์นเบลนด์-ไบโอไทต์แกรนิต

ภาพที่ 2.3 แผนที่ธรณีวิทยาพื้นที่บริเวณตะวันออกของจังหวัดจันทบุรี (กรมทรัพยากรธรณี, 2554)



หินตะกอน

หมวดหินโป่งน้ำร้อน

หน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี

หน่วยหินสอยดาว

หน่วยหินบ้านหนองบอน

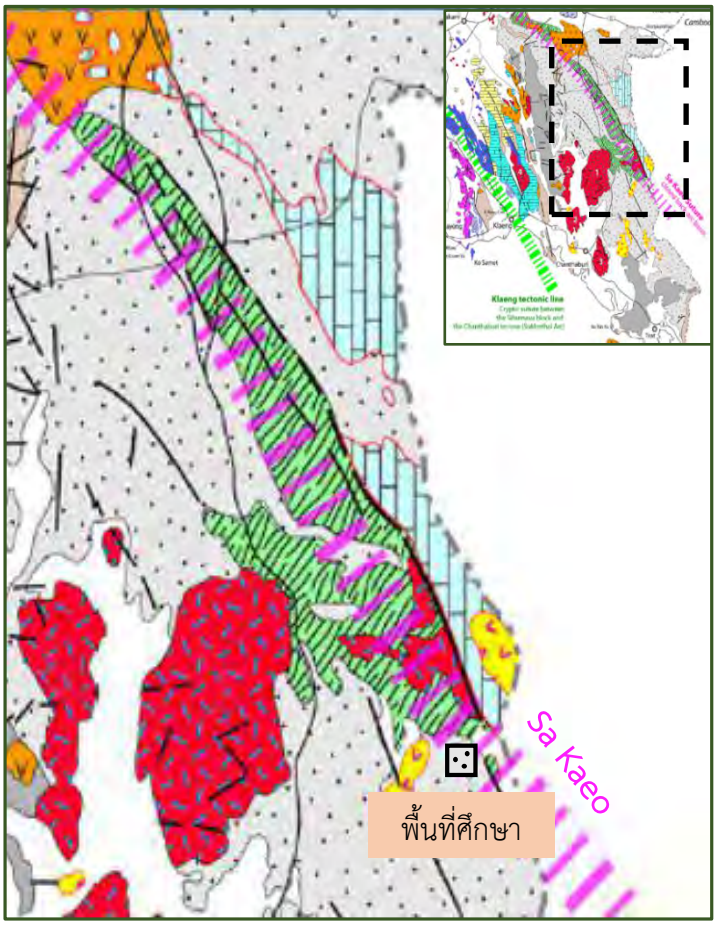
หน่วยหินเขาแหลม

หน่วยหินเขาปริก

หินอัคนี

หินแกรนิตบริเวณเขาสอยดาว

ภาพที่ 2.4 แผนที่ธรณีวิทยาทางด้านตะวันออกของจังหวัดจันทบุรีและสระแก้ว หน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี (Chutakositkanon and Hisada, 2008)



หินตะกอน

หมวดหินโป่งน้ำร้อน

หินปูน Early-Mid. Permian

หินอัคนี

หินบะซอลต์ Cenozoic

หินภูเขาไฟ Permian-Triassic

หินแกรนิต (ชนิด I)
Late Triassic-Early

อื่นๆ

มิลานจ์ตะเข็บธรณีสระแก้ว

ภาพที่ 2.5 แผนที่ธรณีวิทยาทางด้านตะวันออกของจังหวัดจันทบุรีและสระแก้ว (Sone et al.,2012)

บทที่ 3 มิลานจ์หินดินดานของหน่วยหินบ้านหนองบอน

3.1 ภาพร่างหินโผล่

ในการศึกษาลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ในพื้นที่ศึกษาละเอียดครอบคลุม 5x20 ตารางเมตร บนพื้นผิวหน้าตัดหินโผล่ที่มีพื้นความชันประมาณ 41 องศา ซึ่งเกิดจากการตัดทางหลวงหมายเลข 3193 ในบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 21+200 ที่ตั้งอยู่ในบริเวณบ้านหนองบอน อำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี ผู้เขียนทำการกำหนดพิกัดภายในกรอบพื้นที่ 5x20 ตารางเมตรโดยการสร้างตารางภายในขนาด 2x1 ตารางเมตร และทำการเก็บข้อมูลระดับความละเอียด 1x1 ตารางเมตร (**ภาพที่ 3.1**) และจัดทำภาพร่างหินโผล่ภายหลังจากการปรับพื้นที่ผิวแล้ว พบว่าพื้นที่โดยส่วนใหญ่ถูกปกคลุมด้วยต้นไม้ วัชพืชและตะกอนดิน และมีการปรากฏของหินโผล่ให้ศึกษาอยู่บ้างเป็นหย่อมๆ (**ภาพที่ 3.2**) สภาพโดยรวมของหินโผล่นั้นค่อนข้างผุปานกลางถึงมาก หินโผล่แสดงลักษณะที่ประกอบไปด้วยบล็อกหินรูปทรงคล้ายลูกรักบี้ หรือ boudinage ขนาดแตกต่างกันจำนวนมาก ในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนานมีทิศทางขนานไปกับแกนยาวของบล็อกหิน ปรากฏสายแร่แคลไซต์ (calcite vein) แทรกตัดในบล็อกหินหลายทิศทาง แต่โดยหลักคือตั้งฉากกับแกนยาวของบล็อกหิน พบรอยเลื่อนและสายแร่ควอตซ์ตามรอยเลื่อน (fault with quartz vein) หลายแนวปรากฏอยู่ทั่วไป เส้นรอยเลื่อน (slickenline) สามารถพบได้ทั่วไปบนพื้นผิวสายแร่ควอตซ์ตามรอยเลื่อน และบล็อกหินในพื้นที่ศึกษาละเอียดประกอบด้วย

- บล็อกหินทราย : เป็นบล็อกหินส่วนใหญ่ที่พบในพื้นที่ศึกษาละเอียด มีสภาพค่อนข้างผุปานกลางถึงมาก เนื้อหินสีน้ำตาล-เหลือง เม็ดตะกอนมีขนาดทรายละเอียด (fine sand size) แสดงการคัดขนาดปานกลาง มีความยาวของบล็อก (แสดง ณ พื้นผิวหินโผล่) ตั้งแต่ 1 เซนติเมตร ถึง 70 เซนติเมตร โดยประมาณ
- บล็อกหินปูน : พบรองลงมาจากบล็อกหินทราย เนื้อหินมีสีเทาอ่อนถึงเทาเข้ม บางบล็อกแสดงลักษณะ sugary texture บ่งบอกถึงการโดนแปรสภาพเป็นหินอ่อน ในภาคสนามไม่พบร่องรอยซากดึกดำบรรพ์ใดๆปรากฏอยู่ในตัวอย่างหิน บล็อกหินปูนโดยส่วนใหญ่จะแสดงขนาดเล็ก มีความยาวบล็อกหิน (แสดง ณ พื้นผิวหินโผล่) ตั้งแต่ 2 เซนติเมตร ถึง 5 เซนติเมตร และบางส่วนมีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 20 เซนติเมตร ถึง 40 เซนติเมตร โดยประมาณ

- บล็อกหินเชิร์ต : เนื้อหินมีสีเทาขาวและเทาดำ บางบล็อกแสดงลักษณะ granular texture บ่งบอกถึงการโดนแปรสภาพ ในภาคสนามไม่พบร่องรอยของซากดึกดำบรรพ์ใดๆปรากฏอยู่ในตัวอย่างหิน บล็อกหินเชิร์ตโดยส่วนใหญ่จะพบได้ในขนาดที่เล็กมาก มีความยาวบล็อกหิน (แสดง ณ พื้นผิวหินโผล่) ตั้งแต่ 0.5 เซนติเมตร ถึง 7 เซนติเมตร แต่สามารถพบบล็อกที่มีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 30 เซนติเมตรขึ้นไปจนถึงหลายเมตรได้ในตอนบนเหนือพื้นที่ศึกษาละเอียดขึ้นไป

โดยภาพถ่าย และภาพร่างหินโผล่ในพื้นที่ศึกษาละเอียดจะนำเสนอใน **ภาพที่** 3.3 ถึง **ภาพที่** 3.7 ทั้งนี้ ผู้เขียนยังได้พบหินโผล่นอกพื้นที่ศึกษาละเอียด ซึ่งแสดงลักษณะ boudinage ชัดเจน เหมาะแก่การนำเสนอไว้เป็นหลักฐานในการศึกษา โดยจะนำเสนอใน **ภาพที่** 3.8 และ **ภาพที่** 3.9 พร้อมกับตัวอย่างหินซึ่งแสดงลักษณะบล็อกหินในหินพื้นดินดานชัดเจน ซึ่งจะนำเสนอใน **ภาพที่** 3.10

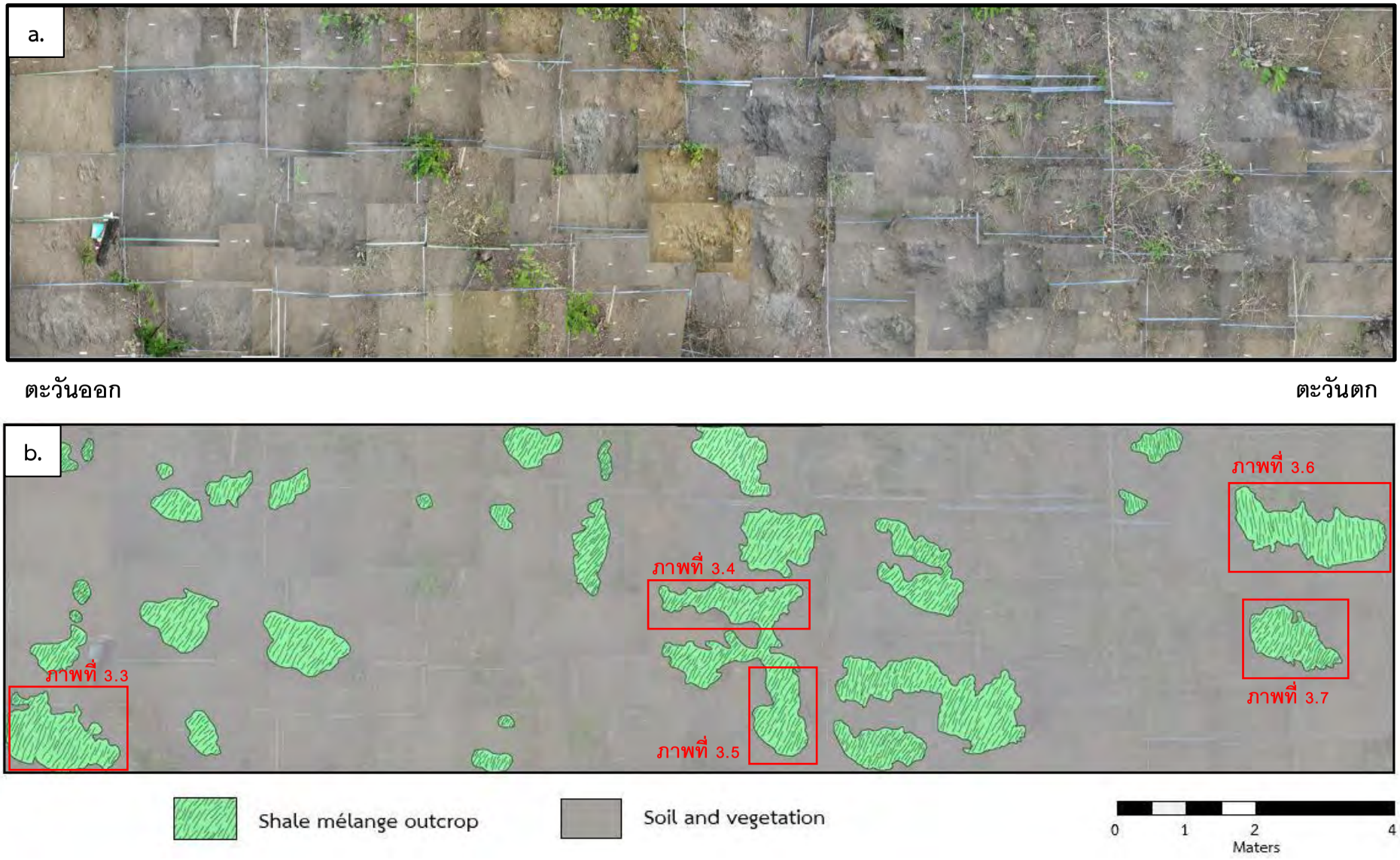
นอกจากนี้ ในบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้งหมดยังพบบล็อกหินบะซอลต์ปรากฏเป็นหย่อมๆ โดยมีสภาพที่ผุมาก และถูกแทรกตัดด้วยสายแร่หลายแนว (**ภาพที่** 3.11) ผู้เขียนจึงไม่สามารถนำกลับมาศึกษาเชิงลึกในห้องปฏิบัติการได้เหมือนกับบล็อกหินชนิดอื่นๆดังที่กล่าวมาข้างต้น

ภาพที่ 3.1 ภาพถ่ายพื้นที่ศึกษาละเอียดของงานวิจัย

a.) ตำแหน่งพื้นที่ศึกษาละเอียดครอบคลุม 5x20 ตารางเมตร

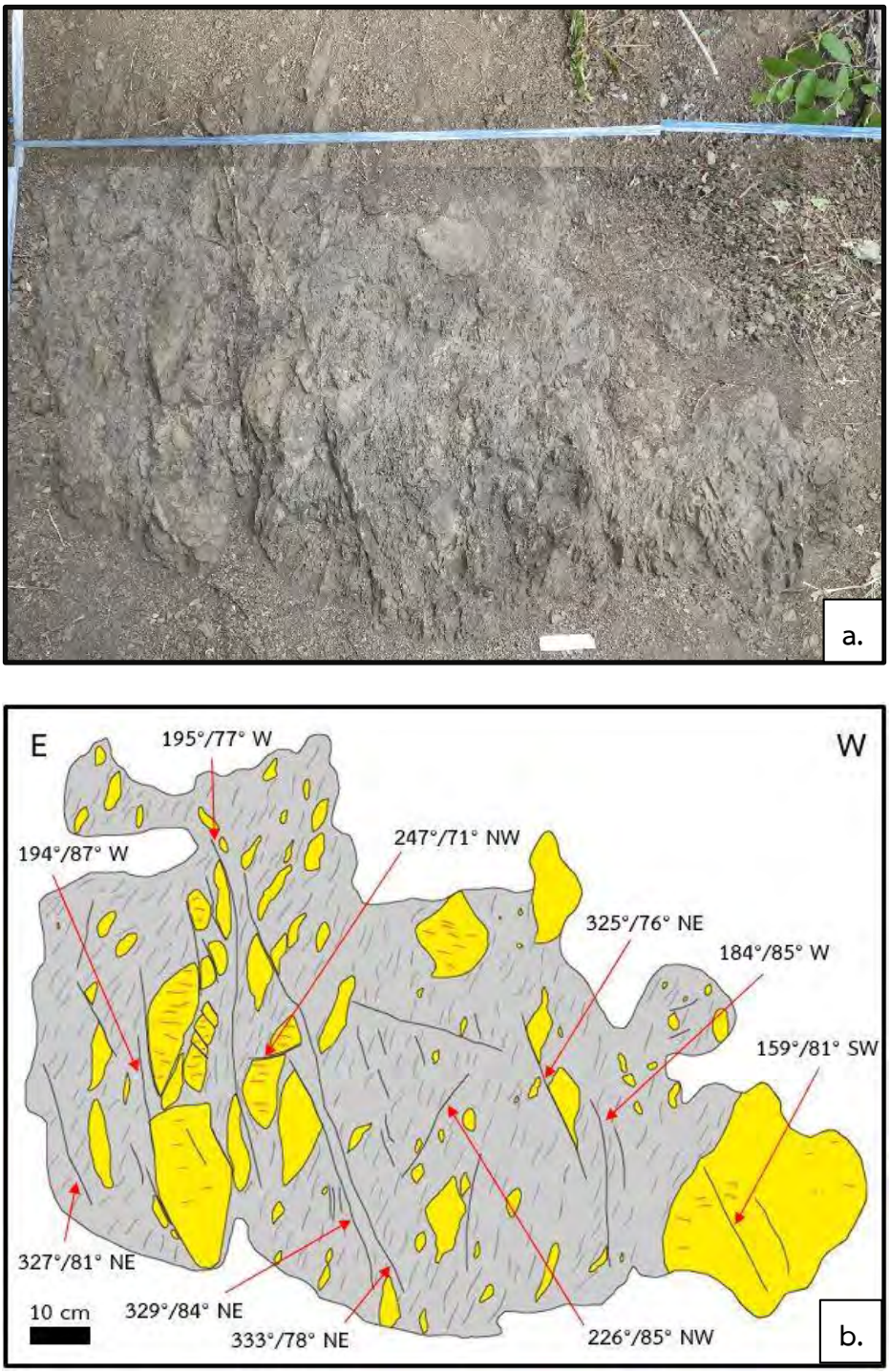
b.) การกำหนดพิกัดภายในโดยการตีตาราง 1x2 ตารางเมตร

c.) การเก็บข้อมูลระดับความละเอียด 1x1 ตารางเมตร



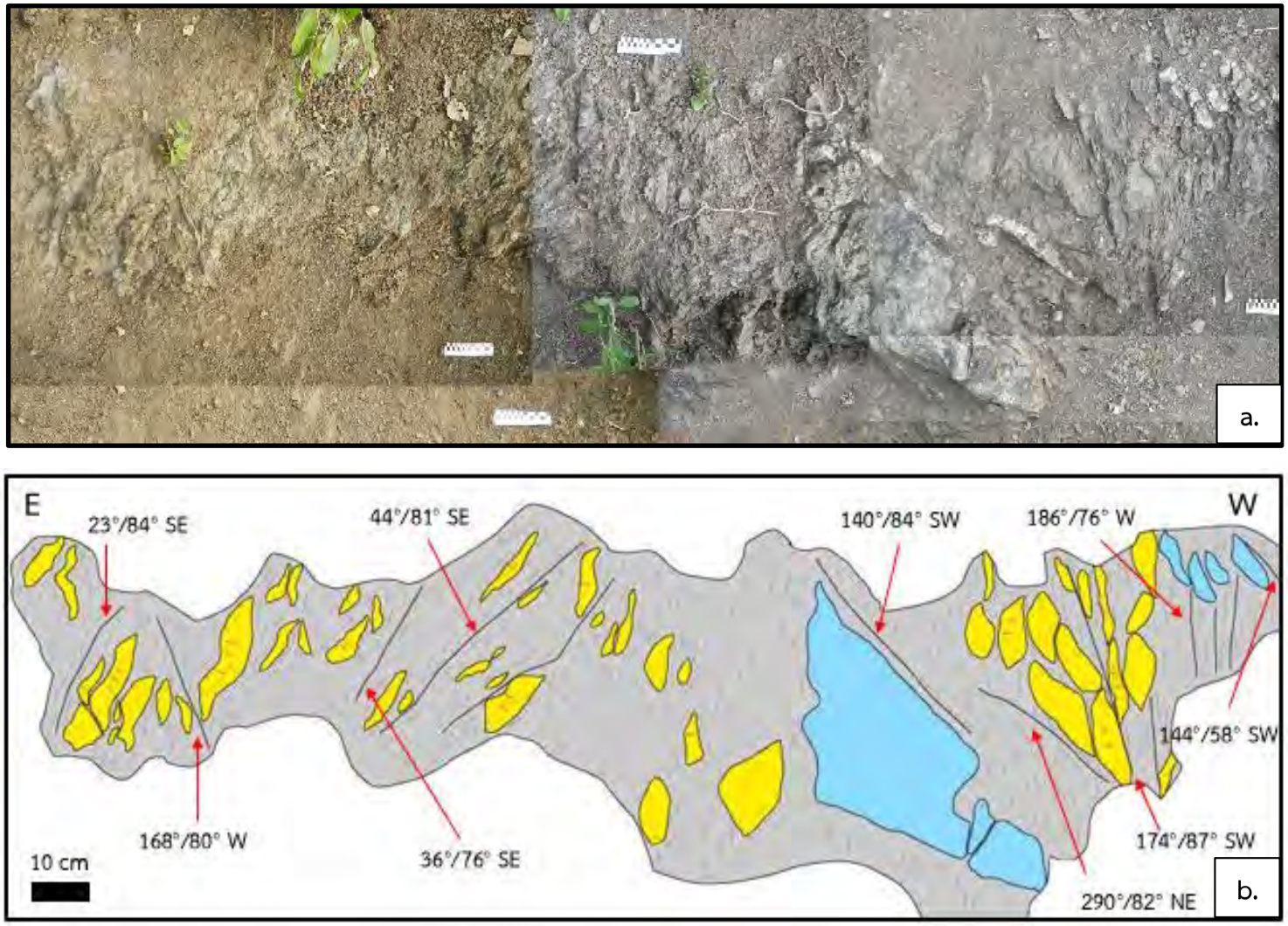
ภาพที่ 3.2 แผนที่การกระจายตัวของหินโผล่ในพื้นที่ศึกษาละเอียด

a.) แผนที่ภาพถ่ายพื้นที่ศึกษาละเอียด b.) แผนที่ภาพร่างพื้นที่ศึกษาละเอียด

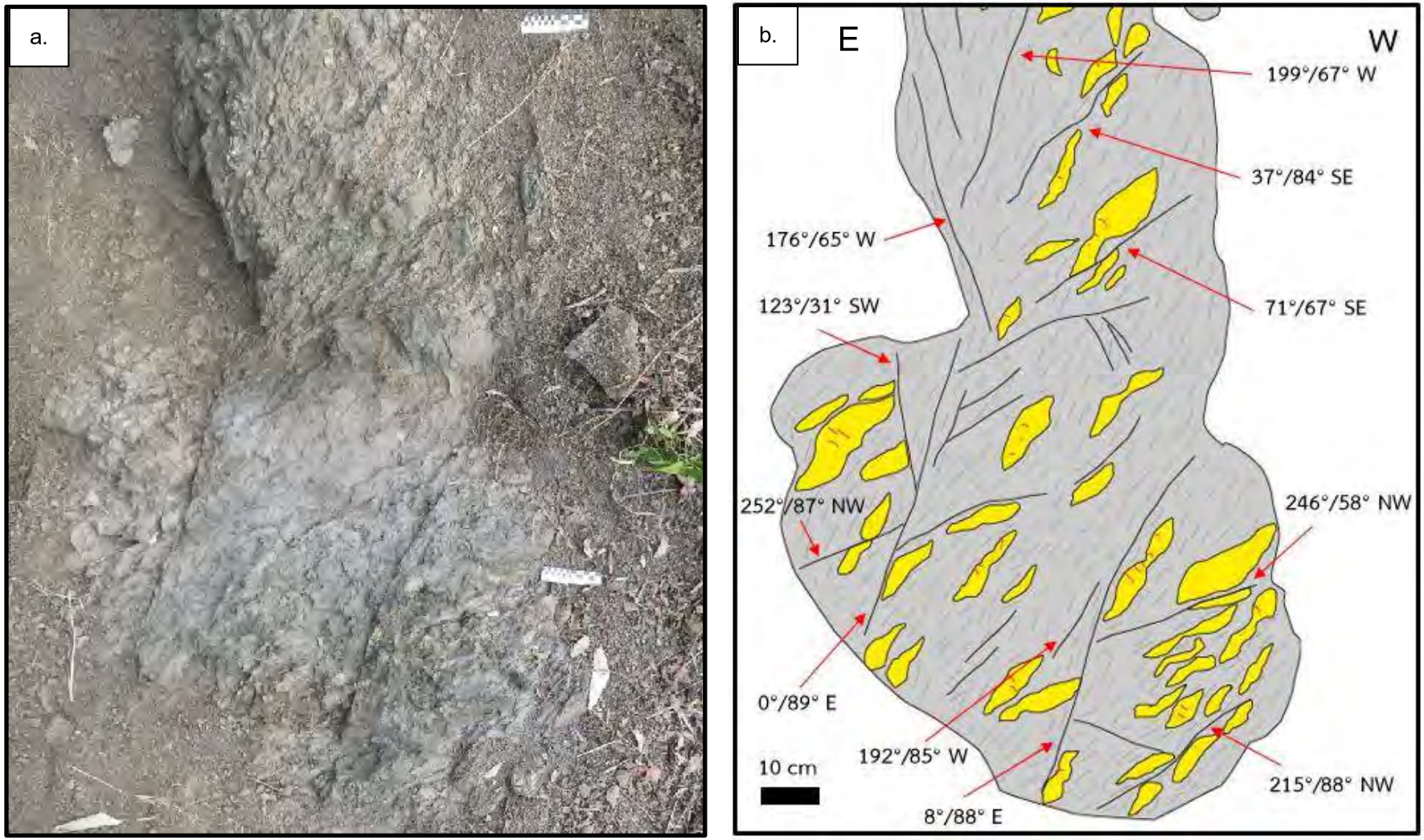


ภาพที่ 3.3 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ พบการกระจายตัวของบล็อกหินทราย ลักษณะ boudinage ในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนานและรอยเลื่อนหลายแนว

a.) ภาพถ่ายหินโผล่ b.) ภาพร่างหินโผล่

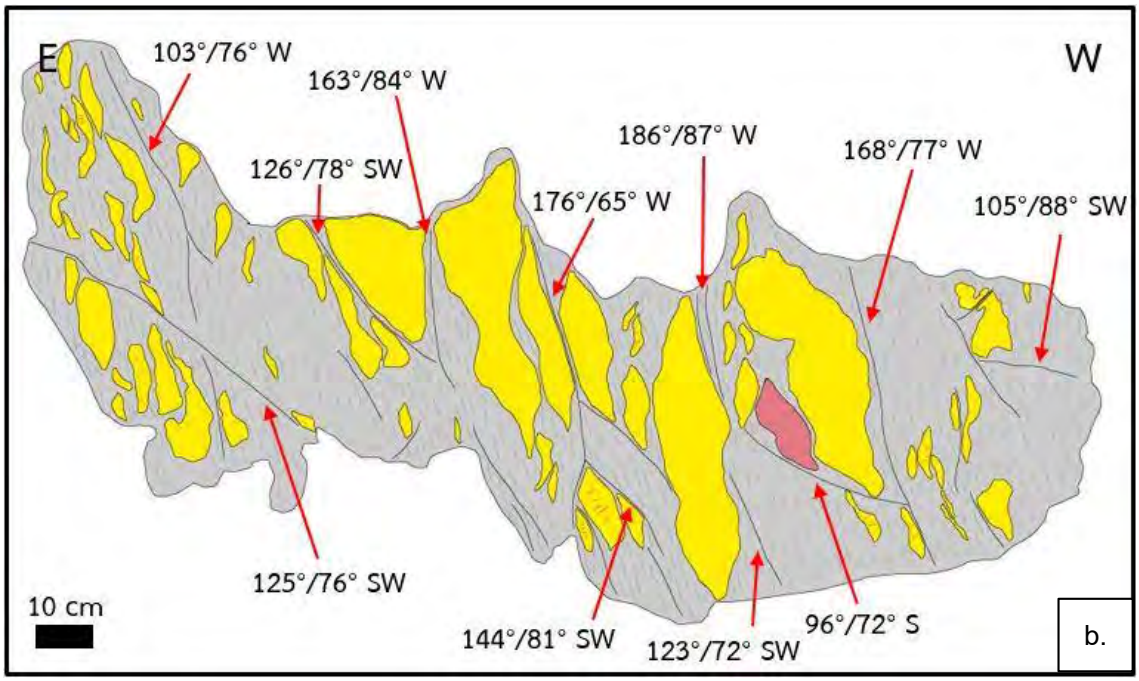


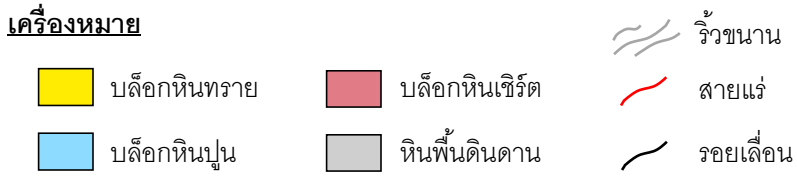
ภาพที่ 3.4 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ พบการกระจายตัวของบล็อกหินทรายและบล็อกหินปูน ลักษณะ boudinage ในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนานและรอยเลื่อนหลายแนว a.) ภาพถ่ายหินโผล่ b.) ภาพร่างหินโผล่



ภาพที่ 3.5 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของหินโผล่พบการกระจายตัวของบล็อกหินทราย ลักษณะ boudinage ในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนานและรอยเลื่อนหลายแนว

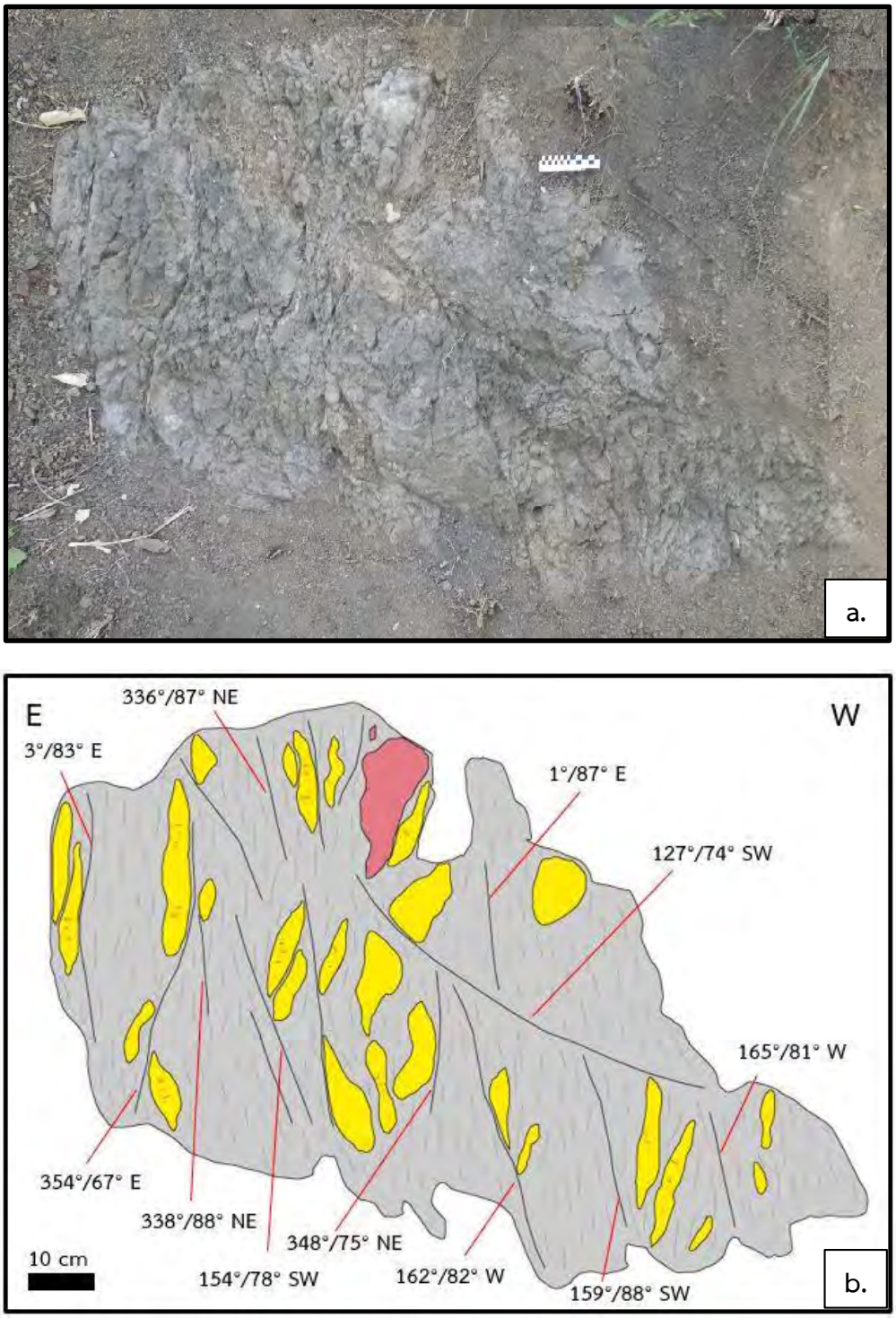
a.) ภาพถ่ายหินโผล่ b.) ภาพร่างหินโผล่





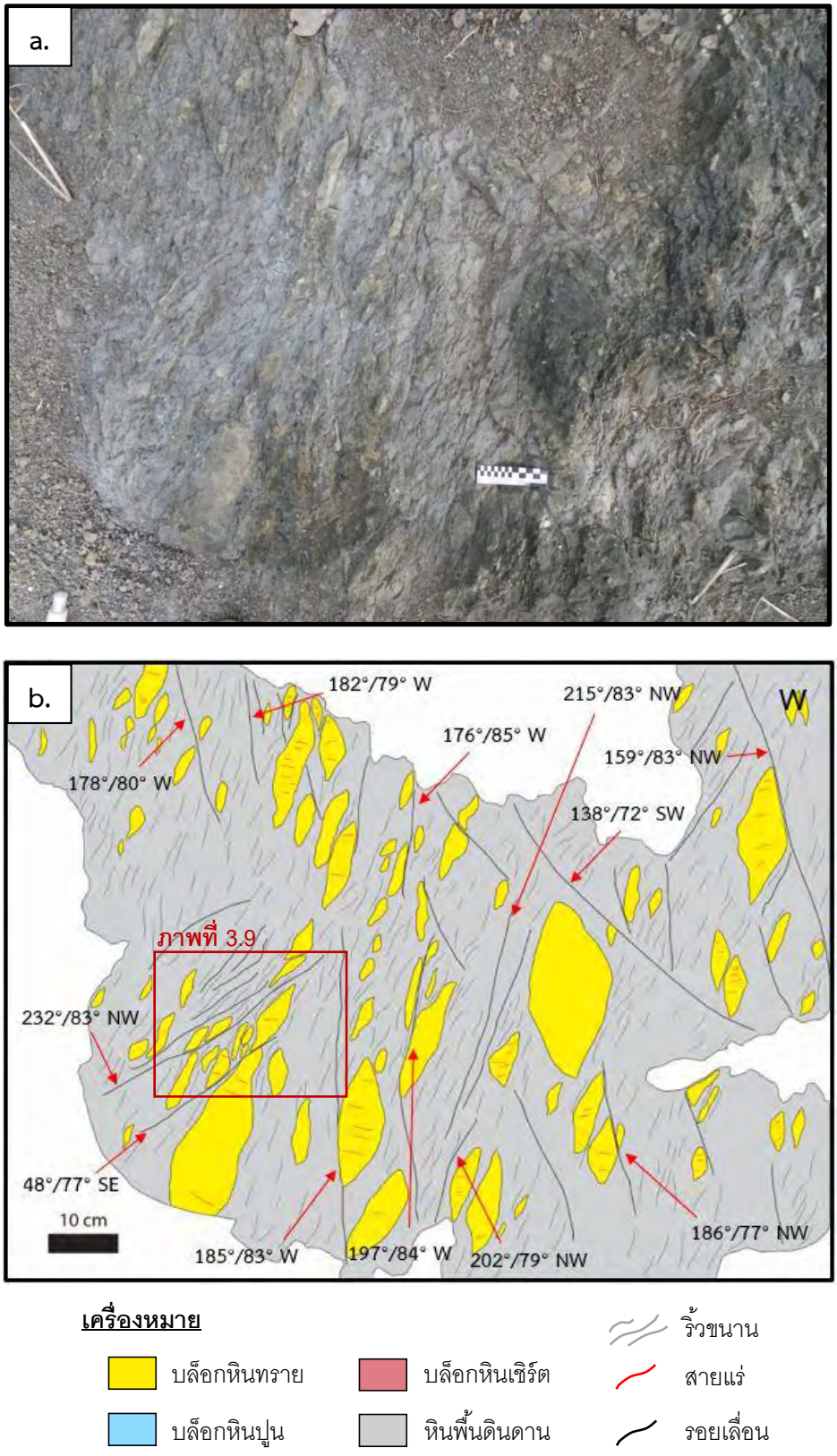
ภาพที่ 3.6 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ พบการกระจายตัวของบล็อกหินทรายและบล็อกหินเชิร์ต ลักษณะ boudinage ในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนานและรอยเลื่อนหลายแนว

a.) ภาพถ่ายหินโผล่ b.) ภาพร่างหินโผล่



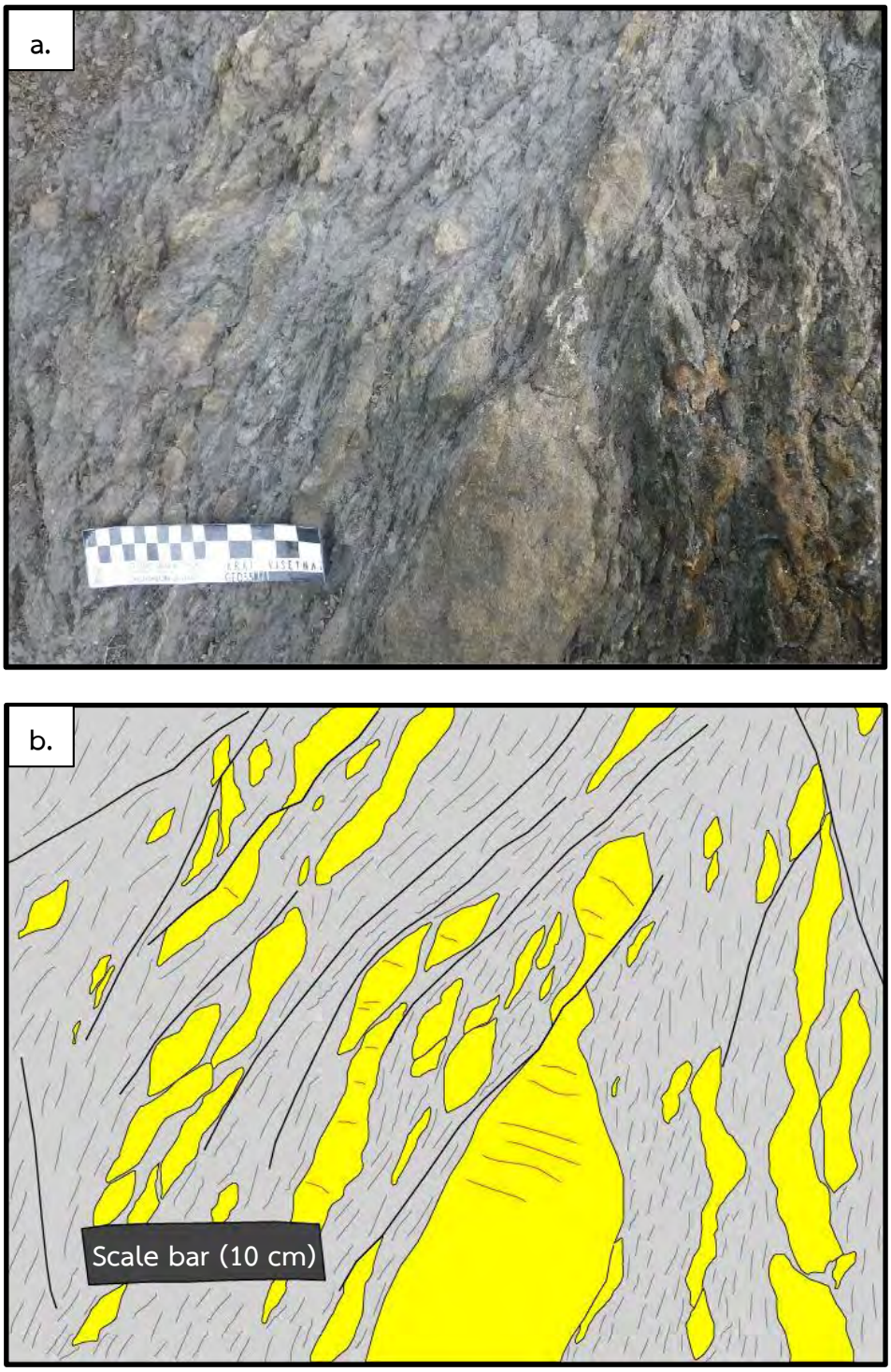
ภาพที่ 3.7 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ พบการกระจายตัวของบล็อกหินทรายและบล็อกหินเชิร์ต ลักษณะ boudinage ในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนานและรอยเลื่อนหลายแนว

a.) ภาพถ่ายหินโผล่ b.) ภาพร่างหินโผล่



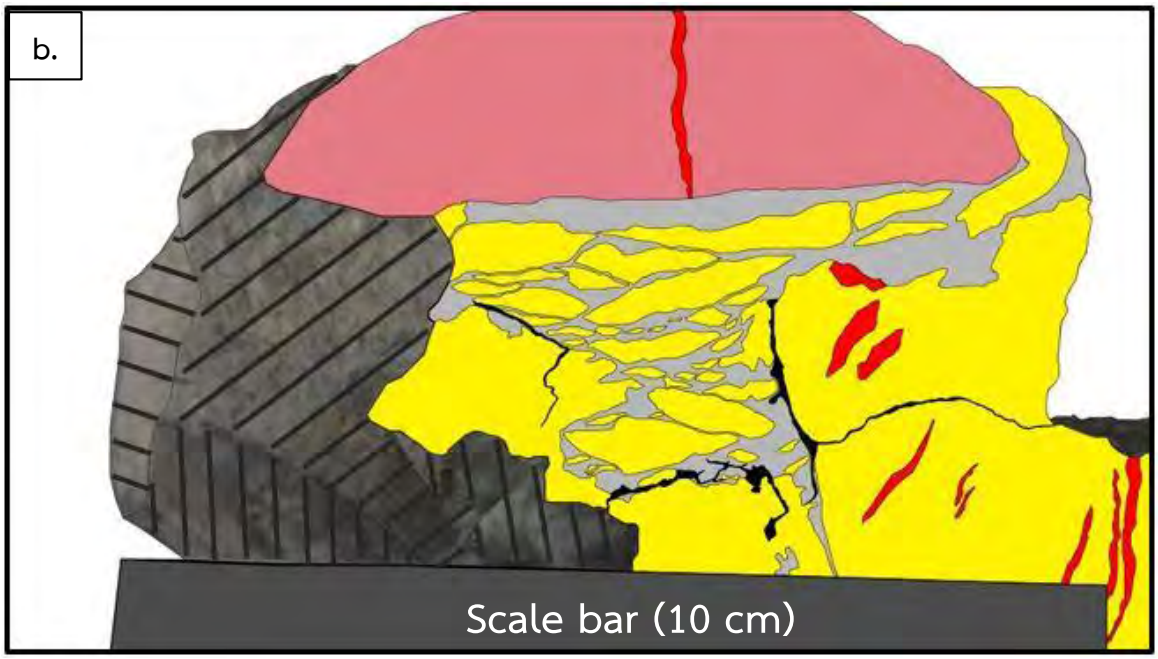
ภาพที่ 3.8 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ พบการกระจายตัวของบล็อกหินทราย ลักษณะ boudinage ในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนานและรอยเลื่อนหลายแนว

a.) ภาพถ่ายหินโผล่ b.) ภาพร่างหินโผล่



ภาพที่ 3.9 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ พบการกระจายตัวของบล็อกหินทราย ลักษณะ boudinage ในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนานและรอยเลื่อนหลายแนว

a.) ภาพถ่ายหินโผล่ b.) ภาพร่างหินโผล่

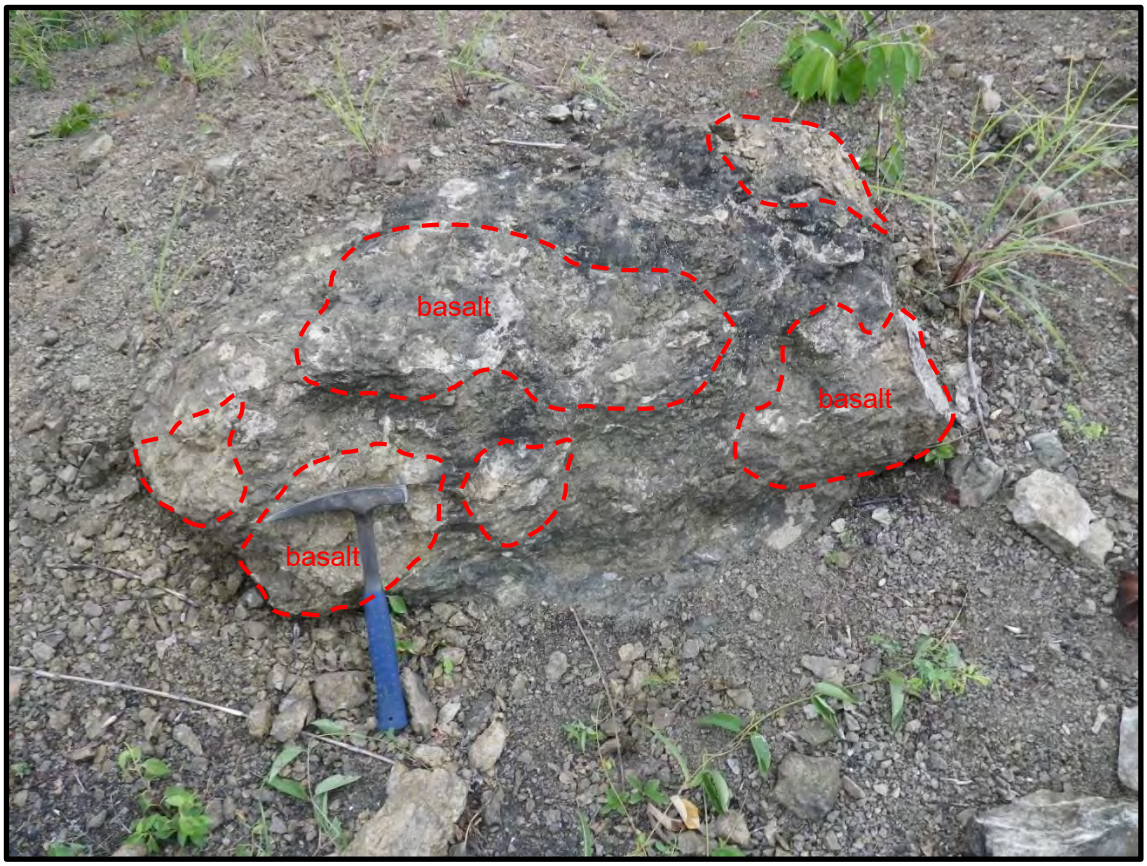


เครื่องหมาย

- บล็อกหินทราย
- บล็อกหินปูน
- บล็อกหินเชิร์ต
- หินพื้นดินดาน
- สายแร่

ภาพที่ 3.10 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างหิน พบการกระจายตัวของบล็อกหินทรายและหินเชิร์ต ลักษณะ boudinage ในหินพื้นดนดาน โดยมีสายแร่แคลไซต์ตัดตั้งฉากกับแกนยาวของบล็อกหิน

a.) ภาพถ่ายตัวอย่างหิน b.) ภาพร่างตัวอย่างหิน



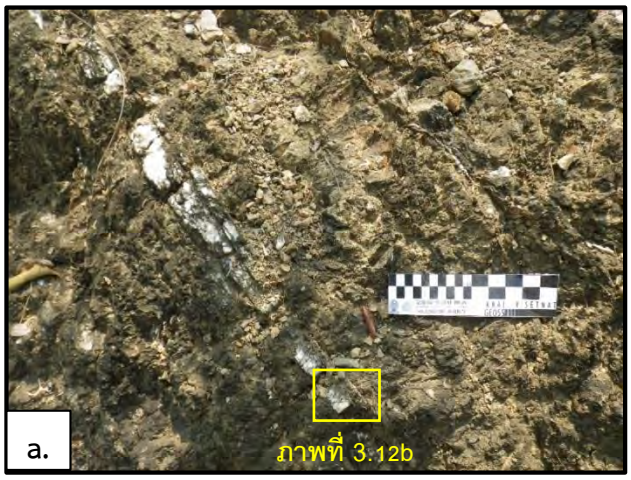
ภาพที่ 3.11 บล็อกหินบะซอลต์ในหินพื้นดินดาน ที่พบในบริเวณพื้นที่ศึกษา

3.2 ข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินโผล่

จากการศึกษาข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยาระดับหินโผล่ของหินโผล่ที่ปรากฏในกรอบพื้นที่ศึกษาละเอียดครอบคลุม 5x20 ตารางเมตร ผู้เขียนได้ทำการวัดค่าข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยา ได้แก่ ระนาบรอยเลื่อน เส้นรอยเลื่อน ริ้วขนานของหินพื้นดินดาน การวางตัวของบล็อกหิน และสายแร่ในบล็อกหิน มาใช้ในการพิสูจน์ความเป็นมิลานจ์หินดินดาน และวิเคราะห์แนวแรงกระทำโบราณอันเกิดจากกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐาน

3.2.1. ระนาบรอยเลื่อน และเส้นรอยเลื่อน

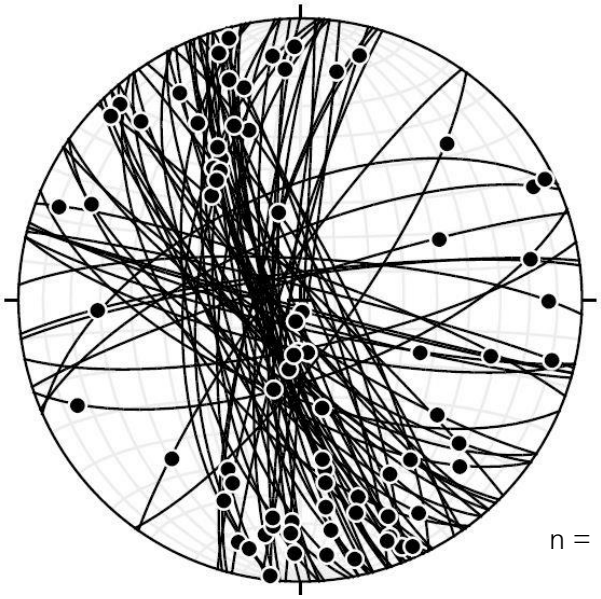
จากลักษณะปรากฏของระนาบรอยเลื่อน และเส้นรอยเลื่อนที่พบในหินโผล่ภายในกรอบพื้นที่ศึกษาละเอียด พบระนาบรอยเลื่อนปรากฏหลากหลายแนว มีมุมเอียงเทมากเกือบแนวดิ่ง ระนาบรอยเลื่อนเกือบทั้งหมดถูกสายแร่ควอตซ์แทรกขนานกับรอยเลื่อน พบเส้นรอยเลื่อนปรากฏอยู่บนพื้นผิวสายแร่ควอตซ์ซึ่งแทรกขนานกับรอยเลื่อน (**ภาพที่ 2.12**) จากการวิเคราะห์โดยการกำหนดตำแหน่งลงบน Stereonet และ Rose diagrams พบว่า ระนาบรอยเลื่อนมี 2 ทิศทางที่เด่นชัด ได้แก่ แนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) และแนวเหนือ-ใต้ (N-S) นอกจากนี้ยังพบอีก 2 ทิศทางซึ่งปรากฏอยู่ทั่วไป แต่ไม่เด่นชัดในหินโผล่ ได้แก่ แนวตะวันตกเฉียงเหนือค่อนตะวันตก-ตะวันออกเฉียงใต้ค่อนตะวันออก (WNW-ESE) และแนวตะวันตกเฉียงใต้ค่อนตะวันตก-ตะวันออกเฉียงเหนือค่อนตะวันออก (WSW-ENE) แสดงลักษณะการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนในแนวระนาบ ทั้งแบบซ้ายเข้าและขวาเข้า (left and right lateral strike-slip fault) (**ภาพที่ 3.13** และ **ภาพที่ 3.14**)



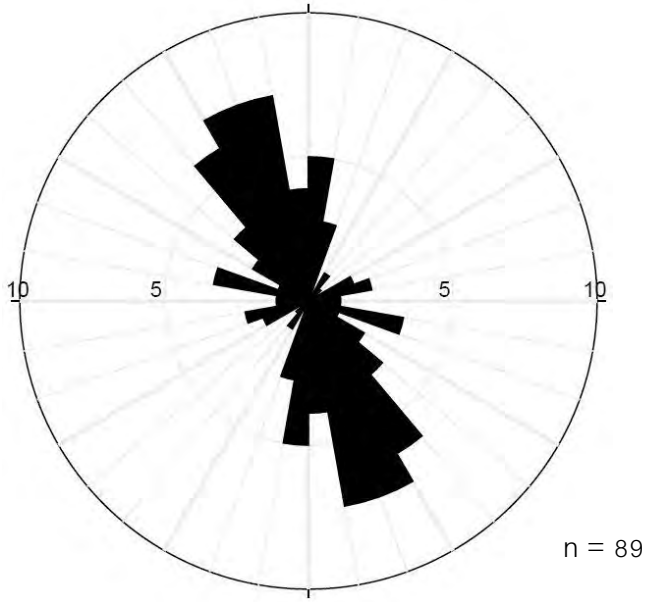
ภาพที่ 3.12 ภาพถ่ายลักษณะปรากฏของระนาบรอยเลื่อน และเส้นรอยเลื่อนที่พบในหินโผล่ในพื้นที่ศึกษาละเอียด

a.) ระนาบรอยเลื่อนที่ถูกแทรกด้วยสายแร่ควอตซ์ขนานไปกับรอยเลื่อน

b.) เส้นรอยเลื่อนที่พบบนพื้นผิวสายแร่ควอตซ์



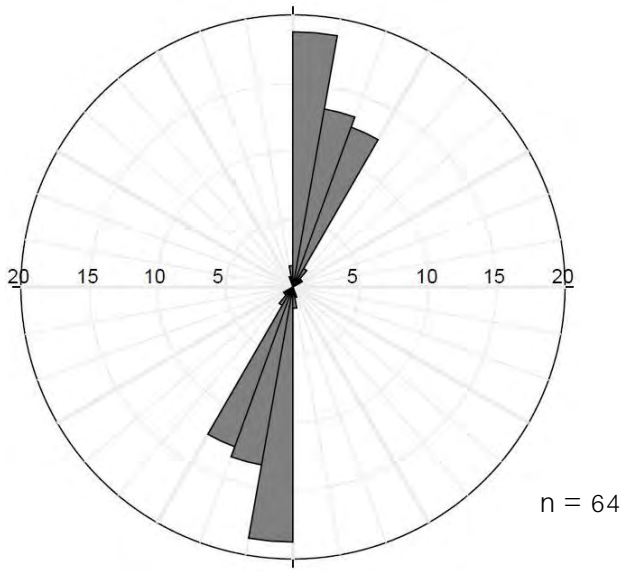
ภาพที่ 3.13 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าระนาบรอยเลื่อน (เส้นโค้ง, n) และเส้นรอยเลื่อน (จุดบนเส้นโค้ง, m) ลงบน Stereonet แสดงการกระจายของระนาบรอยเลื่อนหลากหลายแนว โดยมีทิศทางหลักคือ แนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) และลักษณะการกระจายตัวของเส้นรอยเลื่อนบ่งชี้ถึงการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนในแนวระนาบ ทั้งแบบซ้ายเข้าและขวาเข้า (left and right lateral strike-slip fault)



ภาพที่ 3.14 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าระนาบรอยเลื่อน (n) ลงบน Rose diagrams แสดงการกระจายของระนาบรอยเลื่อนหลากหลายแนว โดยมี 2 ทิศทางหลัก คือ แนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) และแนวเหนือ-ใต้ (N-S) และอีก 2 ทิศทางย่อย ได้แก่ แนวตะวันตกเฉียงเหนือค่อนตะวันตก-ตะวันออกเฉียงใต้ค่อนตะวันออก (WNW-ESE) และแนวตะวันตกเฉียงใต้ค่อนตะวันตก-ตะวันออกเฉียงเหนือค่อนตะวันออก (WSW-ENE)

3.2.2. ริ้วขนานของหินพื้นดินดาน

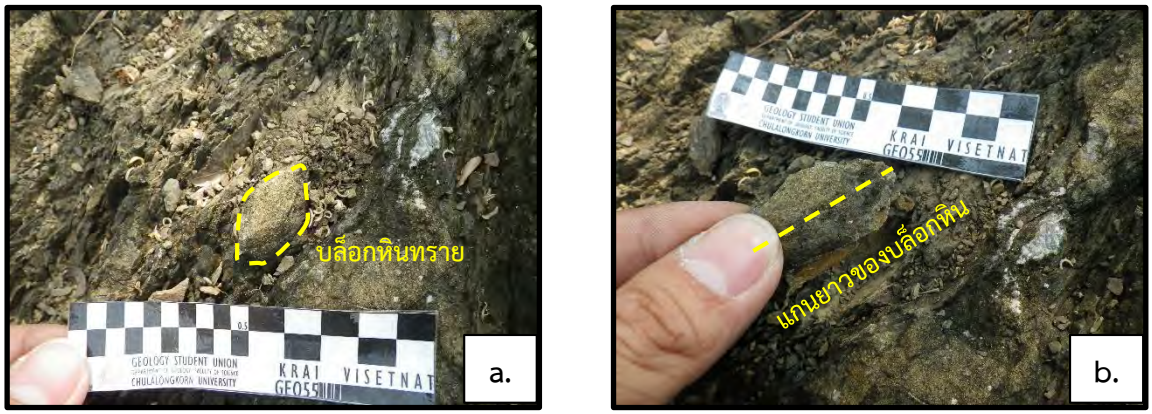
เนื่องจากหินโผล่ในกรอบพื้นที่ศึกษาละเอียดมีสภาพค่อนข้างผุเป็นอย่างมาก ทำให้ลักษณะปรากฏของริ้วขนานของหินพื้นดินดานไม่ชัดเจนเท่าที่ควร ประกอบกับคุณสมบัติความอ่อนนิ่มของหินดินดานทำให้ริ้วขนานมีการเปลี่ยนทิศทางได้หลากหลายในหินโผล่เดียวกัน ทั้งนี้ ผู้เขียนได้ใช้วิธีการแบ่งพื้นที่ของหินโผล่ออกเป็น 2 ถึง 3 ส่วน ตามแล้วแต่ขนาดของหินโผล่ จากนั้นประเมินทิศทางหลักของริ้วขนานของหินพื้นดินดานในพื้นที่นั้นๆ และทำการวัดค่าข้อมูล โดยค่าข้อมูลที่ได้นั้นนำมากำหนดตำแหน่งลงบน Rose diagrams ซึ่งพบว่า ทิศทางหลักของริ้วขนานของหินพื้นดินดาน คือ แนวเหนือ-ใต้ (N-S) (**ภาพที่** 3.15)



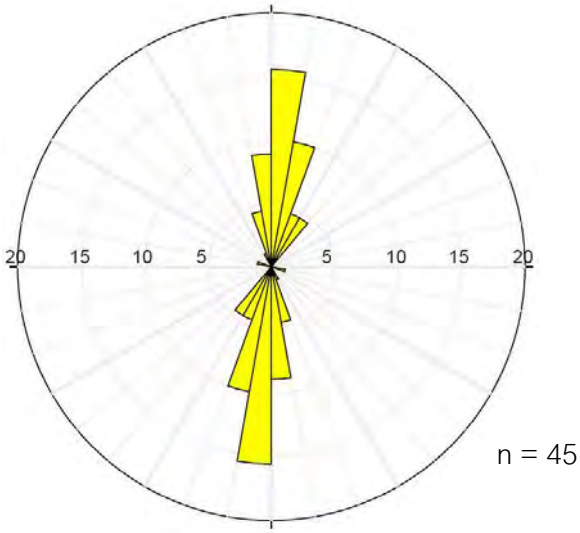
ภาพที่ 3.15 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าริ้วขนานของหินพื้นดินดาน (n) ลงบน Rose diagrams แสดงการกระจายของริ้วขนานของหินพื้นดินดาน โดยมีทิศทางหลัก คือ แนวเหนือ-ใต้ (N-S) และมีการเบี่ยงเบนค่าข้อมูลไปในทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือค่อนเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ค่อนใต้ (NNE-SSW)

3.2.3. การวางตัวของบล็อกหิน

จากลักษณะปรากฏของหินโผล่ในกรอบพื้นที่ศึกษาละเอียด คือ ประกอบด้วยบล็อกหินหลายชนิดในหินพื้นดินดาน โดยบล็อกหินมีลักษณะรูปร่างคล้ายลูกรักบี้ หรือ boudinage สำหรับการวัดค่าข้อมูลการวางตัวของบล็อกหิน จะไม่คำนึงถึงชนิดของบล็อกหิน และจะต้องวัดทิศทางการวางตัวตามแกนยาวของบล็อกหิน โดยการดึงบล็อกหินออกมาจากหินโผล่เพื่อหาแกนยาว (ไม่ใช่ด้านยาวที่ปรากฏบน พื้นผิวของหินโผล่) จากนั้นจึงนำบล็อกหินใส่กลับในหินโผล่ดังเดิม และวัดค่าแกนยาวของบล็อกหิน (**ภาพที่** 3.16) จากการกำหนดตำแหน่งค่าการวางตัวของบล็อกหินบน Rose diagrams พบว่า บล็อกหินมีการวางตัวในทิศทางเหนือ-ใต้ (N-S) เป็นหลัก (**ภาพที่** 3.17)



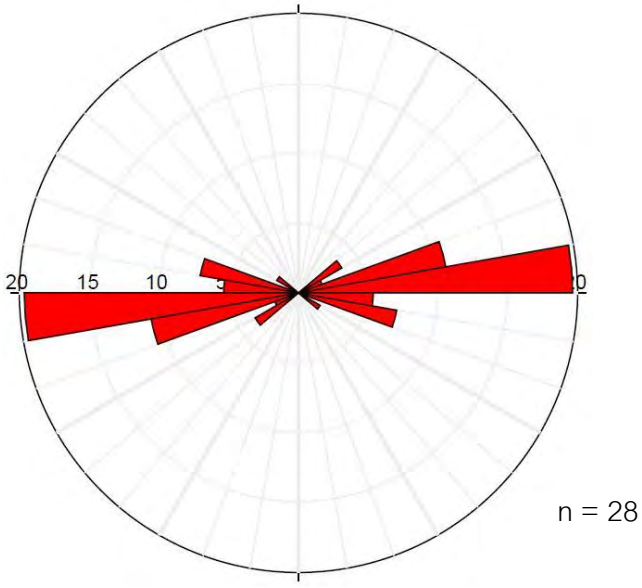
ภาพที่ 3.16 ภาพถ่ายแสดงการเก็บข้อมูลการวางตัวของบล็อกหิน
a.) บล็อกหินทรายในหินพื้นดินดาน b.) แกนยาวของบล็อกหินทรายเมื่อดึงจากหินโผล่



ภาพที่ 3.17 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าการวางตัวของบล็อกหิน (n) ลงบน Rose diagrams แสดงการกระจายของทิศทางการวางตัวของบล็อกหิน โดยมีทิศทางหลัก คือ แนวเหนือ-ใต้ (N-S)

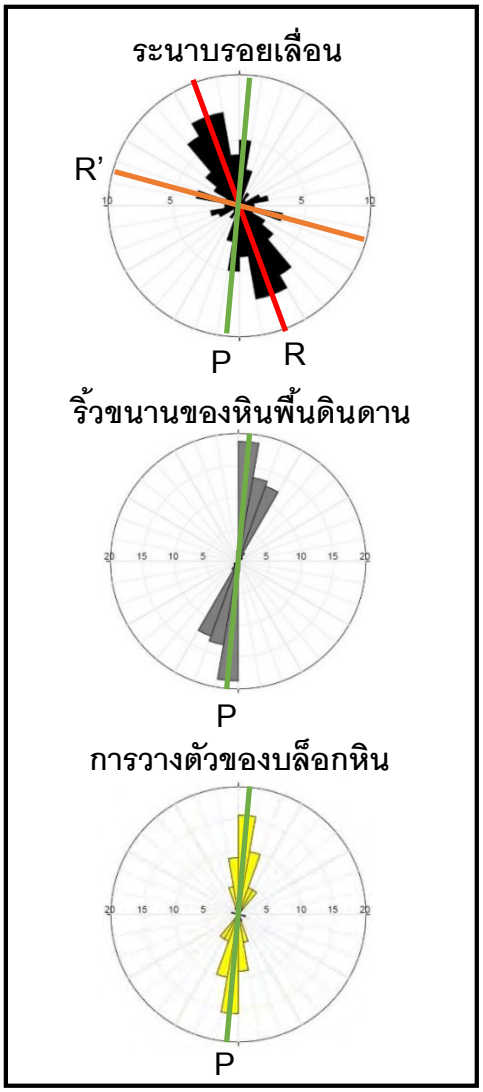
3.2.4 สายแร่ในบล็อกหิน

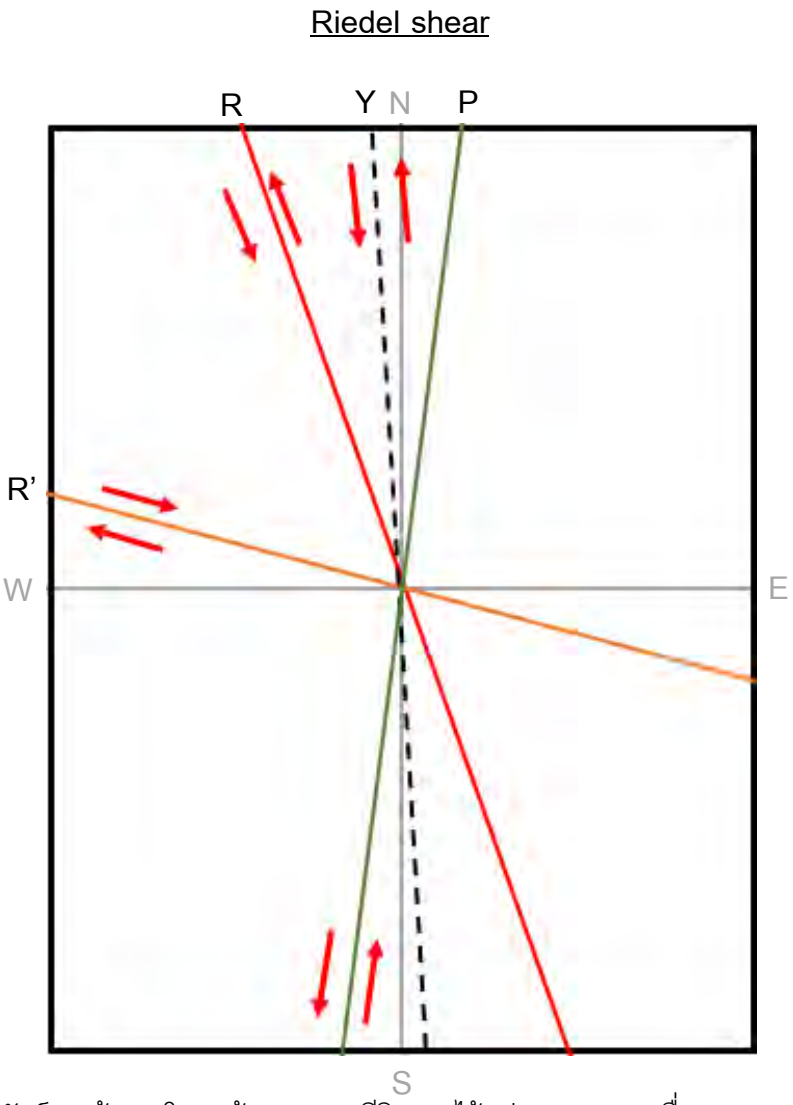
จากการเก็บข้อมูลภาคสนามในกรอบพื้นที่ศึกษาละเอียด จะสามารถพบสายแร่แคลไซต์ในบล็อกหินทรายและหินปูนเป็นส่วนใหญ่ ปรากฏได้หลายทิศทางในบล็อกหินเดียวกัน ทั้งนี้ ผู้เขียนได้พิจารณาวัดจากทิศทางหลักที่พบในแต่ละบล็อกหิน ซึ่งโดยส่วนใหญ่มีทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนยาวของบล็อกหิน และเมื่อนำมากำหนดค่าลงบน Rose diagrams พบว่า ทิศทางหลักของสายแร่ในบล็อกหิน คือ แนวตะวันตก-ตะวันออก (W-E) (**ภาพที่** 3.18)



ภาพที่ 3.18 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าสายแร่ในบล็อกหิน (n) ลงบน Rose diagrams แสดงการกระจายของสายแร่ในบล็อกหิน โดยมีทิศทางหลัก คือ แนวตะวันตก-ตะวันออก (W-E)

ทั้งนี้ จากลักษณะปรากฏดังกล่าวข้างต้น ผู้เขียนได้วิเคราะห์ว่าระนาบรอยเลื่อนและเส้นรอยเลื่อนที่พบบนพื้นผิวสายแร่ควอตซ์มีความสัมพันธ์กันในลักษณะที่โดนกระทำซ้ำ (rework) กล่าวคือ ระนาบรอยเลื่อนจะเกิดขึ้นเป็นอันดับแรก จากนั้นจึงถูกสายแร่แทรกตามช่องว่างอันเกิดจากรอยเลื่อนและแข็งตัว และท้ายที่สุดคือรอยเลื่อนที่ถูกแทรกด้วยสายแร่ควอตซ์มีการเลื่อนตัวอีกครั้งจากการถูกแรงกระทำครั้งอื่นๆกระทำซ้ำ เป็นผลให้เกิดเส้นแนวรอยเลื่อนบนพื้นผิวสายแร่ควอตซ์ ดังนั้น เพื่อที่จะวิเคราะห์โครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สัมพันธ์กับการเกิดของหินโผล่ กล่าวคือโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เกิดขึ้นในเหตุการณ์แรก ทางผู้เขียนจะใช้ข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยา ได้แก่ ระนาบรอยเลื่อน ริ้วขนานของหินพื้นดินดาน และการวางตัวของบล็อกหิน มาวิเคราะห์ร่วมกัน พบว่า ข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยาดังกล่าวข้างต้นมีความสัมพันธ์ในลักษณะแรงเฉือน Riedel (**ภาพที่** 3.19)





ภาพที่ 3.19 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยา ได้แก่ ระนาบรอยเลื่อน ริ้วขนานของหินพื้นดินดาน และการวางตัวของบล็อกหิน ซึ่งบ่งชี้ความสัมพันธ์แบบแรงเฉือน Riedel

3.3 ศิลาวรรณนาของบล็อกหิน

สำหรับการศึกษาทางศิลาวรรณนาของบล็อกหินที่พบในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด อันประกอบด้วย บล็อกหินทราย บล็อกหินปูน และบล็อกหินเชิร์ต ผู้เขียนได้นำตัวอย่างบล็อกหินมาทำแผ่นหินขัดบาง และศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง เพื่อศึกษาแร่องค์ประกอบและลักษณะเนื้อหิน รวมถึงซากดึกดำบรรพ์ที่อาจพบได้ ซึ่งจะสามารถนำไปวิเคราะห์สภาพแวดล้อมการเกิด และวิวัฒนาการการเกิดของมิลานจ์หินดินดานได้

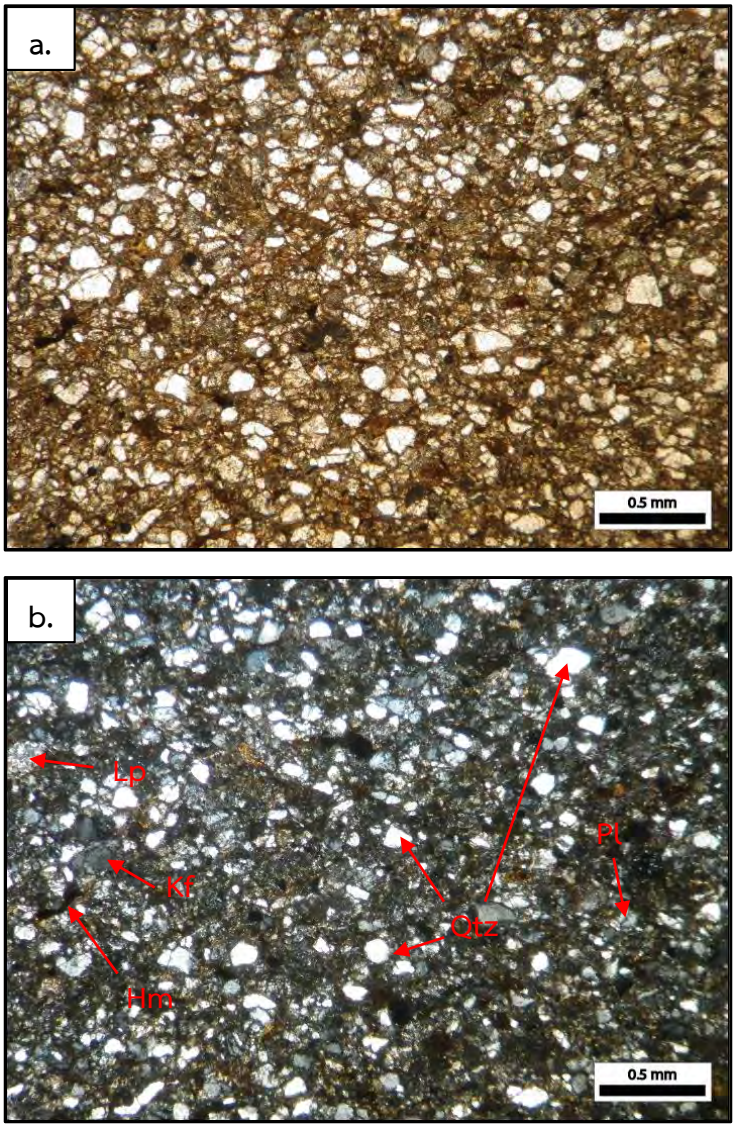
3.3.1. บล็อกหินทราย

ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น บล็อกหินทรายถือเป็นบล็อกหินที่มีปริมาณมากที่สุดที่พบในพื้นที่ศึกษา โดยผู้เขียนได้ทำการเก็บตัวอย่างหินแบบสุ่มจากพื้นที่ศึกษาจำนวน 4 ตัวอย่าง (NB.1) และอีก 2 ตัวอย่างจากหินโผล่ที่แสดงลักษณะบล็อกหินในหินพื้นดินดาน ซึ่งอยู่ในหน่วยหินบ้านหนองบอนเช่นกัน (NB.18) โดยแต่ละตัวอย่างหิน จะนำมาทำเป็นแผ่นหินขัดบางตัวอย่างละ 2 แผ่น รวมทั้งสิ้น 12 แผ่น จากนั้นจึงนำมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่งเพื่อวิเคราะห์ลักษณะเนื้อหินและปริมาณแร่องค์ประกอบหลัก ดังแสดงใน **ตารางที่ 1** และ **ตารางที่ 2** ตามลำดับ จากนั้นจึงนำผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่องค์ประกอบหลักมาพล็อตลงในไดอะแกรมจำแนกชนิดของหินทราย (sandstone classification) ได้แก่

- QRF diagram ของ Folk (1974) เป็นการวิเคราะห์ปริมาณแร่องค์ประกอบหลักโดยไม่คำนึงถึงหินพื้น (matrix) พบว่าเป็นหินทรายประเภท Sublitharenite เป็นส่วนใหญ่ (**ภาพที่ 3.26**)
- QRF diagram ของ Pettijohn (1975) เป็นการวิเคราะห์ปริมาณแร่องค์ประกอบหลักโดยคำนึงถึงหินพื้น พบว่าเป็นหินทรายประเภท Lithic wacke เป็นส่วนใหญ่ (**ภาพที่ 3.27**)

ตัวอย่าง NB.1-4

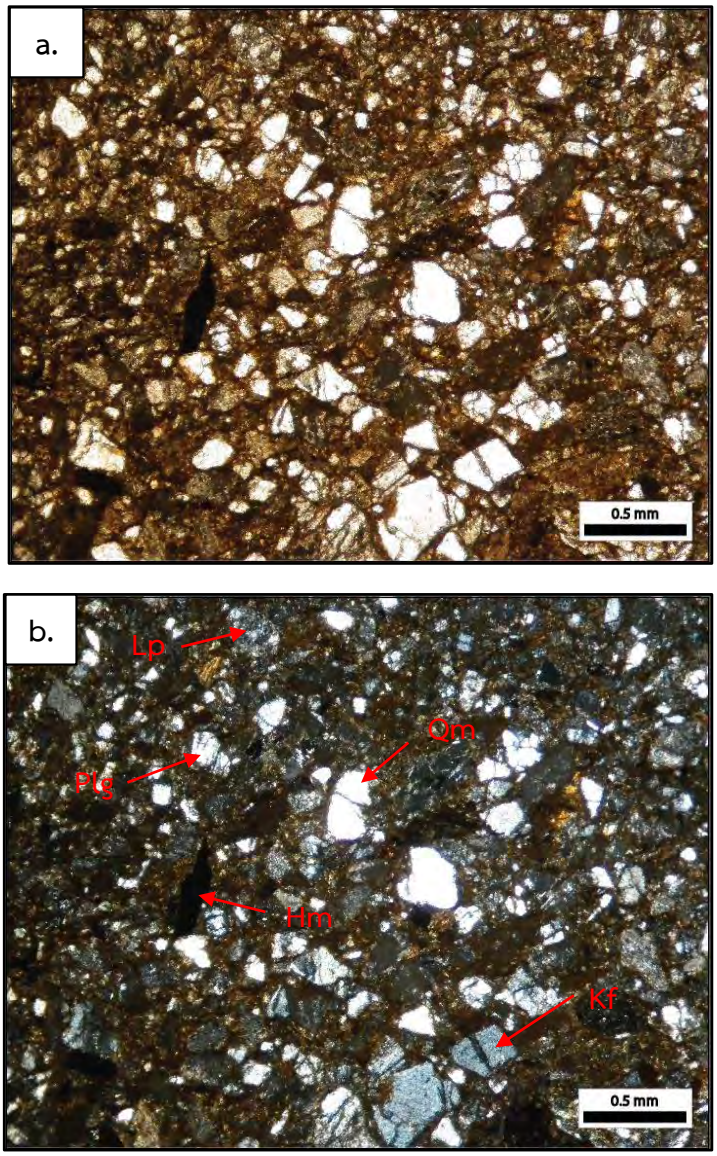
เป็นหินทรายประเภท sublitharenite (folk, 1974) หรือ lithic wacke (pettijohn, 1975) เม็ดตะกอนมีขนาดทรายละเอียด (fine sand size) การคัดขนาดปานกลาง (moderately sorted) ความมนระดับ sub-rounded มีองค์ประกอบของแร่ควอตซ์ร้อยละ 55-62 แร่เฟลด์สปาร์ร้อยละ 18-20 และเศษหินร้อยละ 20-25 โดยประมาณ เศษหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษหินอัคนีบาดาล และเศษหินควอตไซต์-เชิร์ต เนื้อหิน (matrix) ประกอบด้วยตะกอนขนาดเคลย์ (clay size particle) คิดเป็นร้อยละ 11-13 ของเนื้อหินทั้งหมด (**ภาพที่** 3.20)



ภาพที่ 3.20 ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างบล็อกหินทราย NB.1-4-1 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL (Qm: Quartz monocrystalline, Qp: Quartz polycrystalline, Kf: K-feldspar, Plg: Plagioclase, Lp: Plutonic fragment, Lv: Volcanic fragment, Hm: Heavy mineral)

ตัวอย่าง NB.1-5

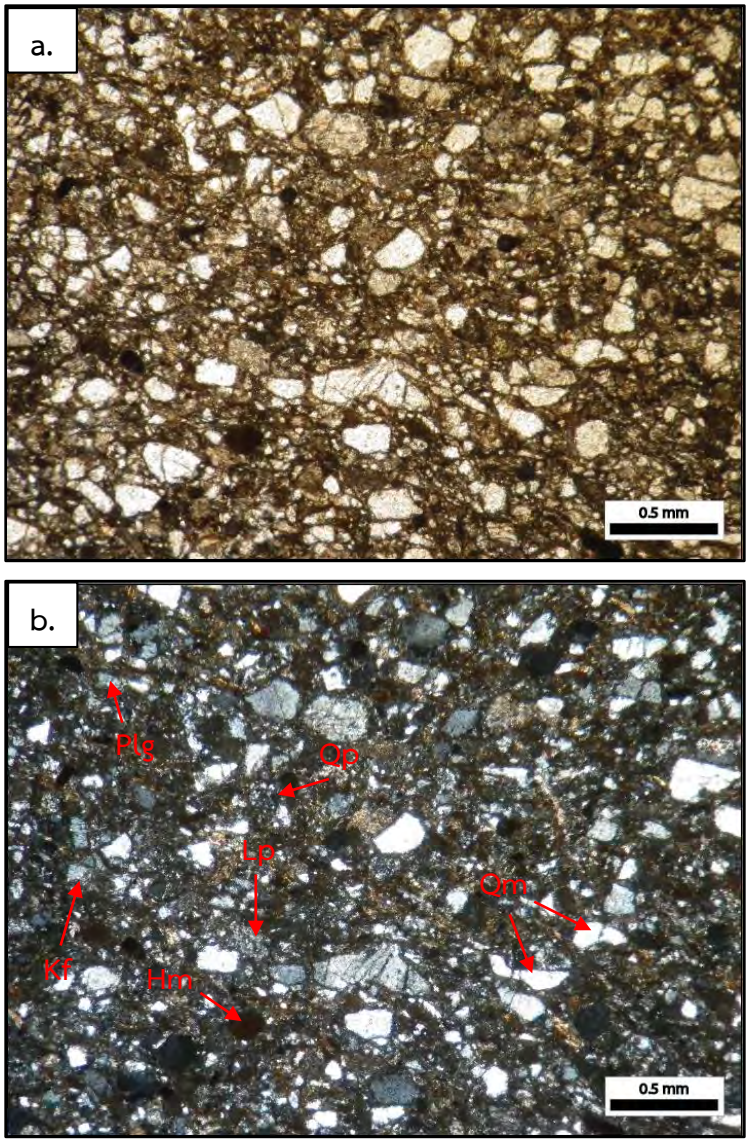
เป็นหินทรายประเภท sublitharenite (folk, 1974) หรือ lithic wacke (pettijohn, 1975) เม็ดตะกอนมีขนาดทรายละเอียด การคัดขนาดปานกลาง ความมนระดับ sub-rounded มีองค์ประกอบของแร่ควอตซ์ร้อยละ 59-63 แร่เฟลด์สปาร์ร้อยละ 16-20 และเศษหินร้อยละ 26-27 โดยประมาณ เศษหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษหินอัคนีบาดาล และเศษหินควอตไซต์-เชิร์ต เนื้อหินประกอบด้วยตะกอนขนาดเคลย์ คิดเป็นร้อยละ 13-14 ของเนื้อหินทั้งหมด (**ภาพที่** 3.21)



ภาพที่ 3.21 ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างบล็อกหินทราย NB.1-5-1 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL (Qm: Quartz monocrystalline, Qp: Quartz polycrystalline, Kf: K-feldspar, Plg: Plagioclase, Lp: Plutonic fragment, Lv: Volcanic fragment, Hm: Heavy mineral)

ตัวอย่าง NB.1-8

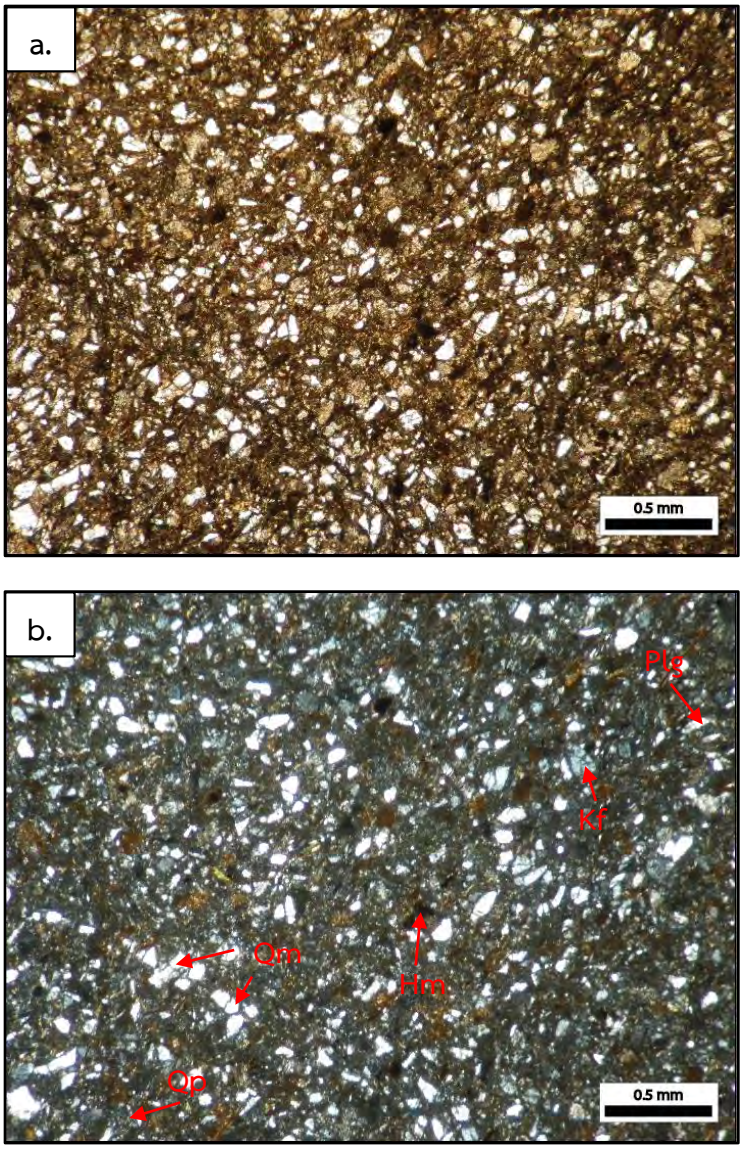
เป็นหินทรายประเภท sublitharenite (folk, 1974) หรือ lithic wacke - lithic arenite (pettijohn, 1975) เม็ดตะกอนมีขนาดทรายละเอียด การคัดขนาดปานกลาง ความมนระดับ sub-angular มีองค์ประกอบของแร่ควอตซ์ร้อยละ 61-63 แร่เฟลด์สปาร์ร้อยละ 12-13 และเศษหินร้อยละ 25-27 โดยประมาณ เศษหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษหินอัคนีบาดาล และเศษหินควอตไซต์-เชิร์ต เนื้อหินประกอบด้วยตะกอนขนาดเคลย์ คิดเป็นร้อยละ 9-11 ของเนื้อหินทั้งหมด (**ภาพที่** 3.22)



ภาพที่ 3.22 ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างบล็อกหินทราย NB.1-8-1 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL (Qm: Quartz monocrystalline, Qp: Quartz polycrystalline, Kf: K-feldspar, Plg: Plagioclase, Lp: Plutonic fragment, Lv: Volcanic fragment, Hm: Heavy mineral)

ตัวอย่าง NB.1-9

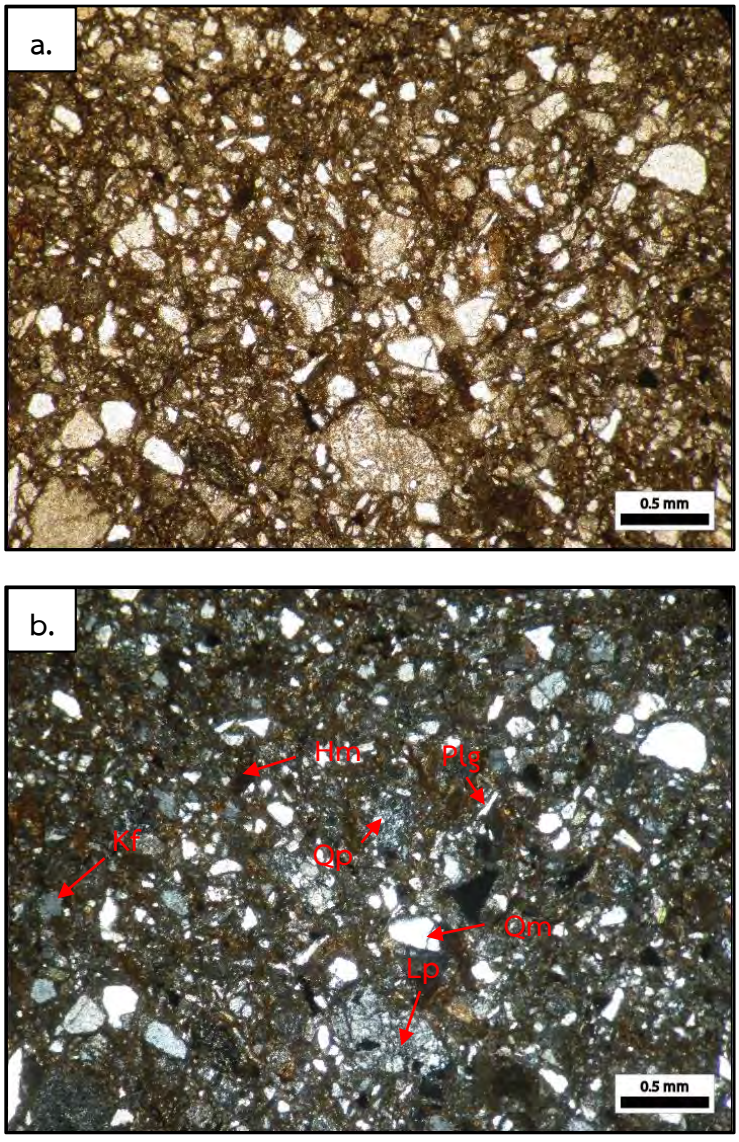
เป็นหินทรายประเภท sublitharenite (folk, 1974) หรือ lithic wacke - lithic arenite (pettijohn, 1975) เม็ดตะกอนมีขนาดทรายละเอียด การคัดขนาดปานกลาง ความมนระดับ sub-rounded มีองค์ประกอบของแร่ควอตซ์ร้อยละ 51-53 แร่เฟลด์สปาร์ร้อยละ13-15 และเศษหินร้อยละ 33-34 โดยประมาณ เศษหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษหินอัคนีบาดาล และเศษหินควอตไซต์-เชิร์ต เนื้อหินประกอบด้วยตะกอนขนาดเคลย์ คิดเป็นร้อยละ 10-13 ของเนื้อหินทั้งหมด (**ภาพที่** 3.23)



ภาพที่ 3.23 ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างบล็อกหินทราย NB.1-9-1 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL (Qm: Quartz monocrystalline, Qp: Quartz polycrystalline, Kf: K-feldspar, Plg: Plagioclase, Lp: Plutonic fragment, Lv: Volcanic fragment, Hm: Heavy mineral)

ตัวอย่าง NB.18-3

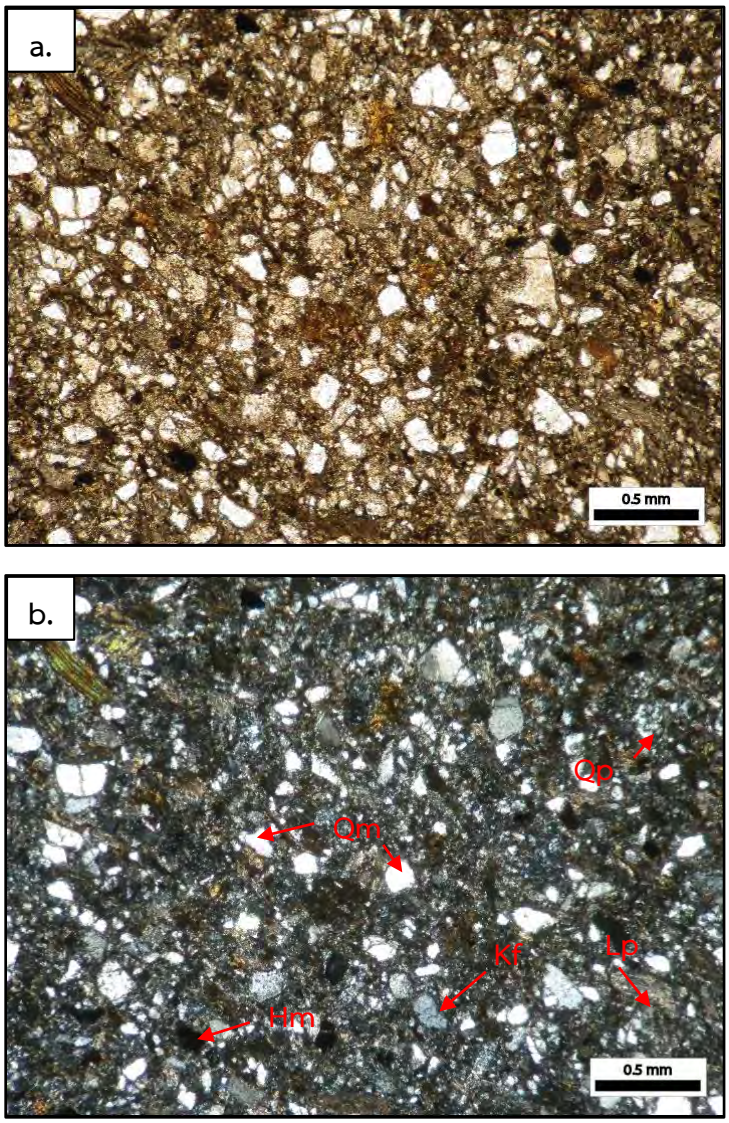
เป็นหินทรายประเภท sublitharenite – feldspathic litharenite (folk, 1974) หรือ lithic wacke (pettijohn, 1975) เม็ดตะกอนมีขนาดทรายละเอียด การคัดขนาดปานกลาง ความมนระดับ sub-angular มีองค์ประกอบของแร่ควอตซ์ร้อยละ 44-47 แร่เฟลด์สปาร์ร้อยละ 18-19 และเศษหินร้อยละ 34-39 โดยประมาณ เศษหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษหินอัคนีบาดาล และเศษหินควอตไซต์-เชิร์ต เนื้อหินประกอบด้วยตะกอนขนาดเคลย์ คิดเป็นร้อยละ 20-21 ของเนื้อหินทั้งหมด (**ภาพที่ 3.24**)



ภาพที่ 3.24 ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างบล็อกหินทราย NB.18-3-3 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL (Qm: Quartz monocrystalline, Qp: Quartz polycrystalline, Kf: K-feldspar, Plg: Plagioclase, Lp: Plutonic fragment, Lv: Volcanic fragment, Hm: Heavy mineral)

ตัวอย่าง NB.18-4

เป็นหินทรายประเภท sublitharenite (folk, 1974) หรือ lithic wacke (pettijohn, 1975) เม็ดตะกอนมีขนาดทรายละเอียด การคัดขนาดปานกลาง ความมนระดับ sub-rounded มีองค์ประกอบของแร่ควอตซ์ร้อยละ 51-55 แร่เฟลด์สปาร์ร้อยละ 15-17 และเศษหินร้อยละ 30-32 โดยประมาณ เศษหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษหินอัคนีบาดาล และเศษหินควอตไซต์-เชิร์ต เนื้อหินประกอบด้วยตะกอนขนาดเคลย์ คิดเป็นร้อยละ 15-17 ของเนื้อหินทั้งหมด (**ภาพที่** 3.25)



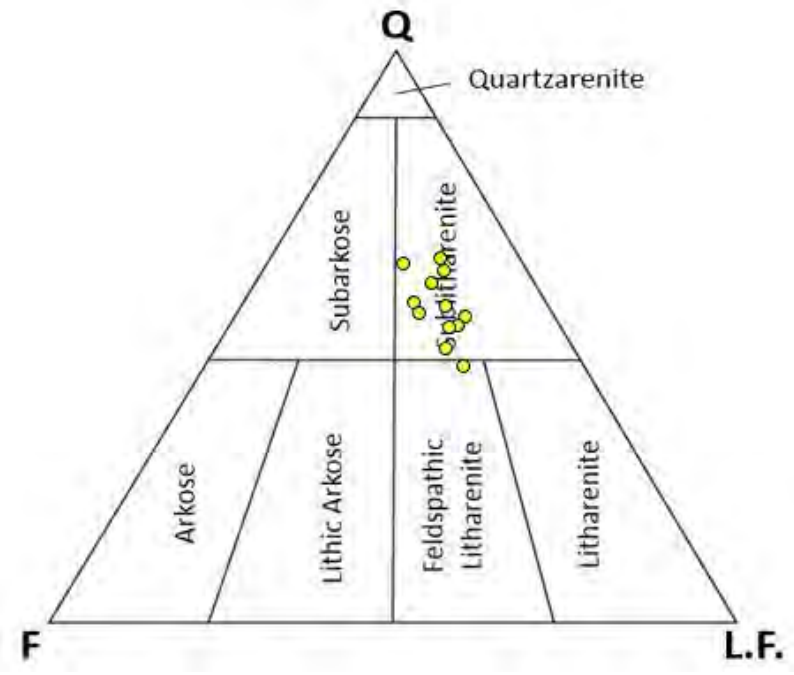
ภาพที่ 3.25 ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างบล็อกหินทราย NB.18-4-2 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL (Qm: Quartz monocrystalline, Qp: Quartz polycrystalline, Kf: K-feldspar, Plg: Plagioclase, Lp: Plutonic fragment, Lv: Volcanic fragment, Hm: Heavy mineral)

ตารางที่ 1 ลักษณะเนื้อหินของบล็อกหินทราย

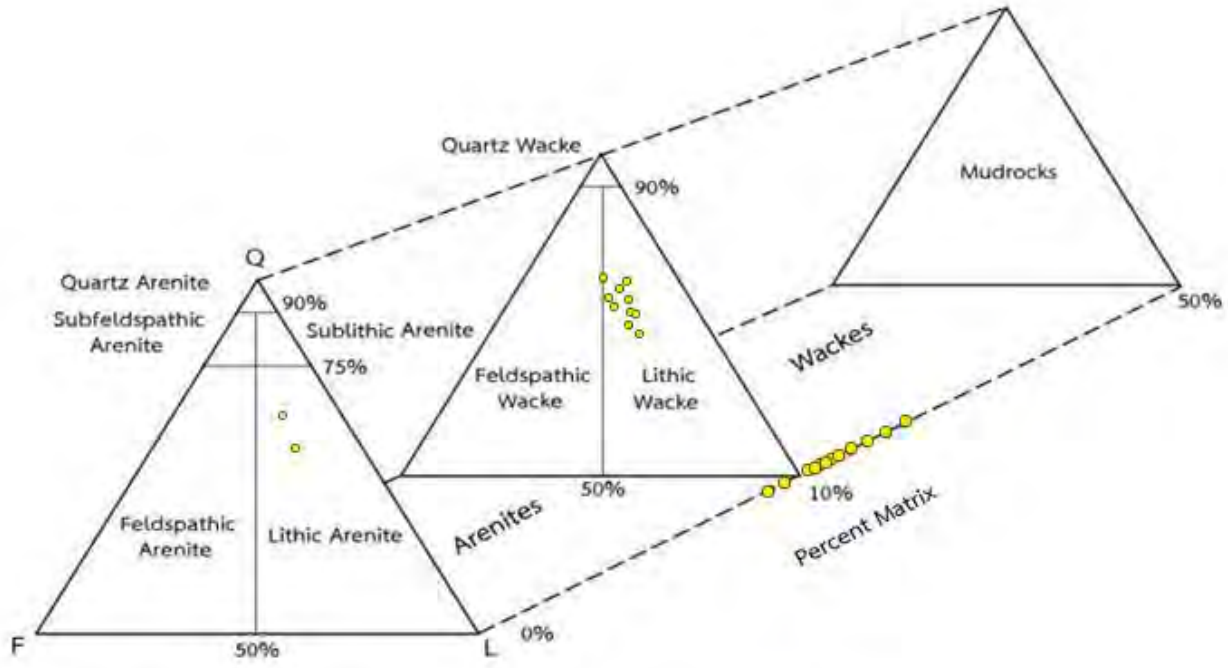
Samples	Grain size	Roundness	Sorting
NB.1-4	fine sand	sub-rounded	moderately sorted
NB.1-5	fine sand	sub-rounded	moderately sorted
NB.1-8	fine sand	sub-angular	moderately sorted
NB.1-9	fine sand	sub-rounded	moderately sorted
NB.18-3	fine sand	sub-angular	moderately sorted
NB.18-4	fine sand	sub-rounded	moderately sorted

ตารางที่ 2 ปริมาณแร่องค์ประกอบหลักของบล็อกหินทราย

Sample	Quartz		Feldspar		Lithic fragment				Matrix	HM	Counts	Qm-F-Lt (%)			Qt-F-L (%)			Sandstone type	
	Qm	Qp	Kf	Pl	Lv	Lp	Ls	Lm				Qm	F	Lt	Qt	F	L	Folk (1974)	Pettijohn (1975)
NB 1-4 [1]	236	45	62	22	10	51	0	0	64	10	500	55.4	19.7	24.9	66.0	19.7	14.3	Sublitharenite	Lithic Wacke
NB 1-4 [2]	272	37	51	28	6	45	0	0	54	7	500	62.0	18.0	20.0	70.4	18.0	11.6	Sublitharenite	Lithic Wacke
NB 1-5 [1]	247	48	43	23	3	56	1	0	66	13	500	58.7	15.7	25.7	70.1	15.7	14.3	Sublitharenite	Lithic Wacke
NB 1-5 [2]	220	54	52	30	6	48	2	0	70	18	500	53.4	19.9	26.7	66.5	19.9	13.6	Sublitharenite	Lithic Wacke
NB 1-8 [1]	265	73	38	17	4	38	1	0	57	7	500	60.8	12.6	26.6	77.5	12.6	9.9	Sublitharenite	Lithic Wacke
NB 1-8 [2]	284	64	33	21	2	46	0	0	46	4	500	63.1	12.0	24.9	77.3	12.0	10.7	Sublitharenite	Lithic Arenite
NB 1-9 [1]	227	62	25	33	15	63	4	0	48	23	500	52.9	13.5	33.6	67.4	13.5	19.1	Sublitharenite	Lithic Arenite
NB 1-9 [2]	216	56	28	37	9	68	7	0	64	15	500	51.3	15.4	33.3	64.6	15.4	20.0	Sublitharenite	Lithic Wacke
NB 18-3 [3]	182	47	31	43	4	78	0	0	107	8	500	47.3	19.2	33.5	59.5	19.2	21.3	Sublitharenite	Lithic Wacke
NB 18-3 [4]	175	81	48	24	4	65	0	0	98	5	500	44.1	18.1	37.8	64.5	18.1	17.4	Feldspathic Litharenite	Lithic Wacke
NB 18-4 [2]	228	65	40	24	7	52	0	0	75	9	500	54.8	15.4	29.8	70.4	15.4	14.2	Sublitharenite	Lithic Wacke
NB 18-4 [3]	206	59	41	27	2	69	0	0	83	13	500	51.0	16.8	32.2	65.6	16.8	17.6	Sublitharenite	Lithic Wacke



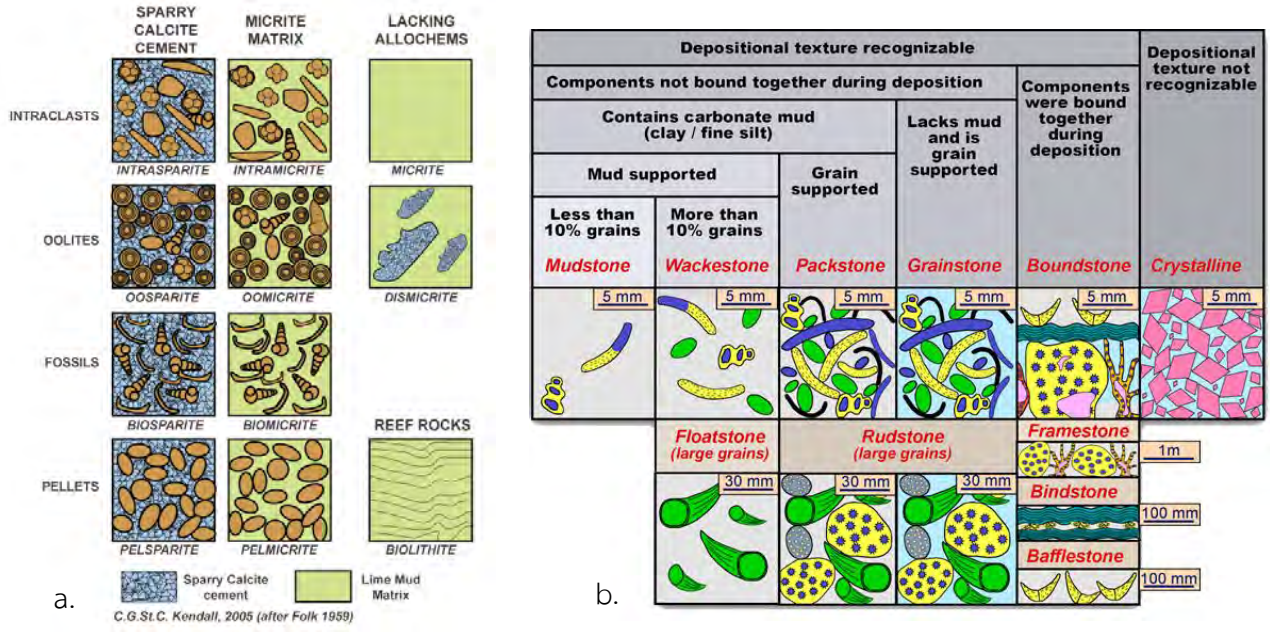
ภาพที่ 3.26 ผลการวิเคราะห์ประเภทของบล็อกหินทรายโดยการพล็อตปริมาณแร่องค์ประกอบหลักลงใน QRF diagram (Folk, 1974) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินทรายประเภท sublitharenite



ภาพที่ 3.27 ผลการวิเคราะห์ประเภทของบล็อกหินทรายโดยการพล็อตปริมาณแร่องค์ประกอบหลักลงใน QRF diagram (Dunham, 1975) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินทรายประเภท lithic wacke

3.3.2 บล็อกหินปูน

ผู้เขียนได้ทำการเก็บตัวอย่างแบบสุ่มจากพื้นที่ศึกษาจำนวน 2 ตัวอย่าง (NB.1) และอีก 1 ตัวอย่างจากหินโผล่ที่แสดงลักษณะบล็อกหินในหินพื้นดินดาน ซึ่งอยู่ในหน่วยหินบ้านหนองบอน เช่นกัน (NB.18) โดยแต่ละตัวอย่างหินจะนำมาทำเป็นแผ่นหินขัดบางตัวอย่างละ 1 แผ่น รวมทั้งสิ้น 3 แผ่น จากนั้นจึงนำมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงและแบบโพลาไรซิ่ง เพื่อจำแนกประเภทของหินปูนโดยใช้ carbonate classification ของ Folk (1959) และ Dunham (1962) ดังแสดงใน **ภาพที่** 3.28 โดยการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อหิน รวมถึงซากดึกดำบรรพ์ที่พบ



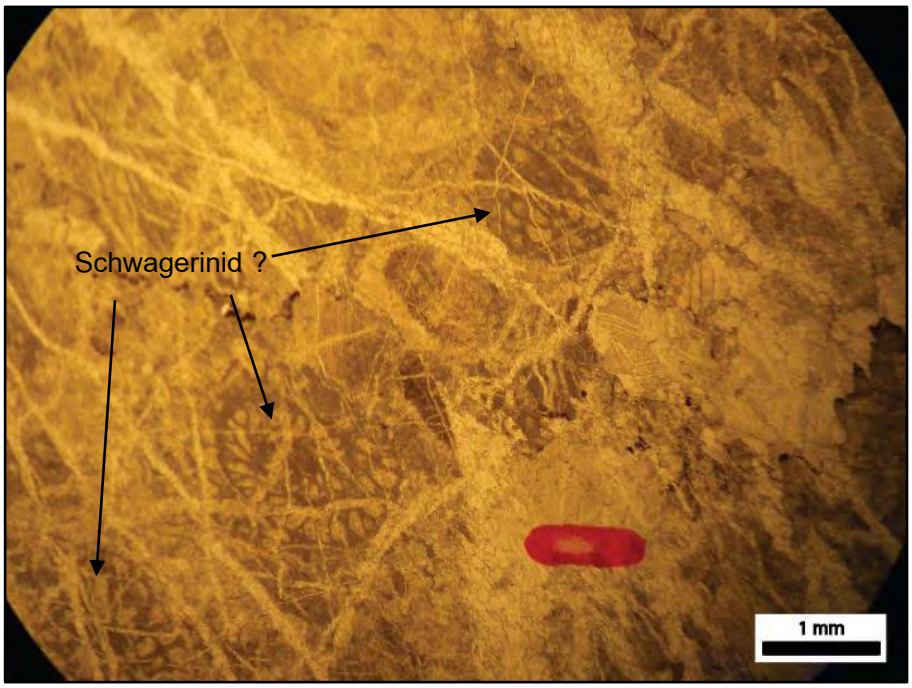
ภาพที่ 3.28 ตารางการจำแนกหินปูน โดย

a.) Carbonate classification ของ Folk (1959) ปรับปรุงโดย C.G.St.C. Kendall (2005)

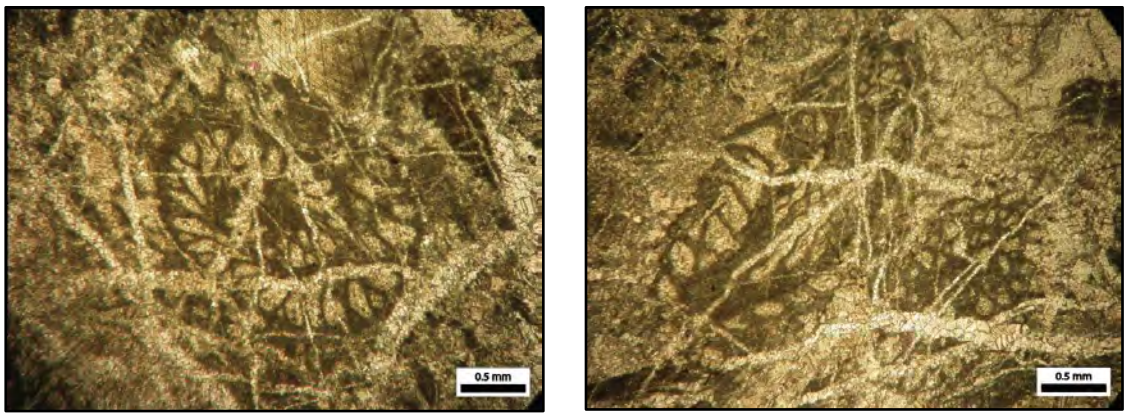
b.) Carbonate classification ของ Dunham (1962) ปรับปรุงโดย R.G. Loucks et al. (2003)

ตัวอย่าง NB.1-1

เป็นหินปูนประเภท biosparite (Folk, 1959) หรือ grainstone (Dunham, 1962) เนื้อหินเป็นแร่แคลไซต์ พบซากดึกดำบรรพ์ของฟิวซูลินิด ประเภท Schwagerinid? บ่งชี้อายุในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงเพอร์เมียน เนื้อหินแสดง granular texture ปานกลาง บ่งบอกการโดนแปรสภาพ พบรอยแตกจำนวนมากและหลายทิศทาง พบเศษหินบะซอลต์ขนาด 1-3 มิลลิเมตร ในเนื้อหินประปราย (**ภาพที่** 3.29 และ **ภาพที่** 3.30)



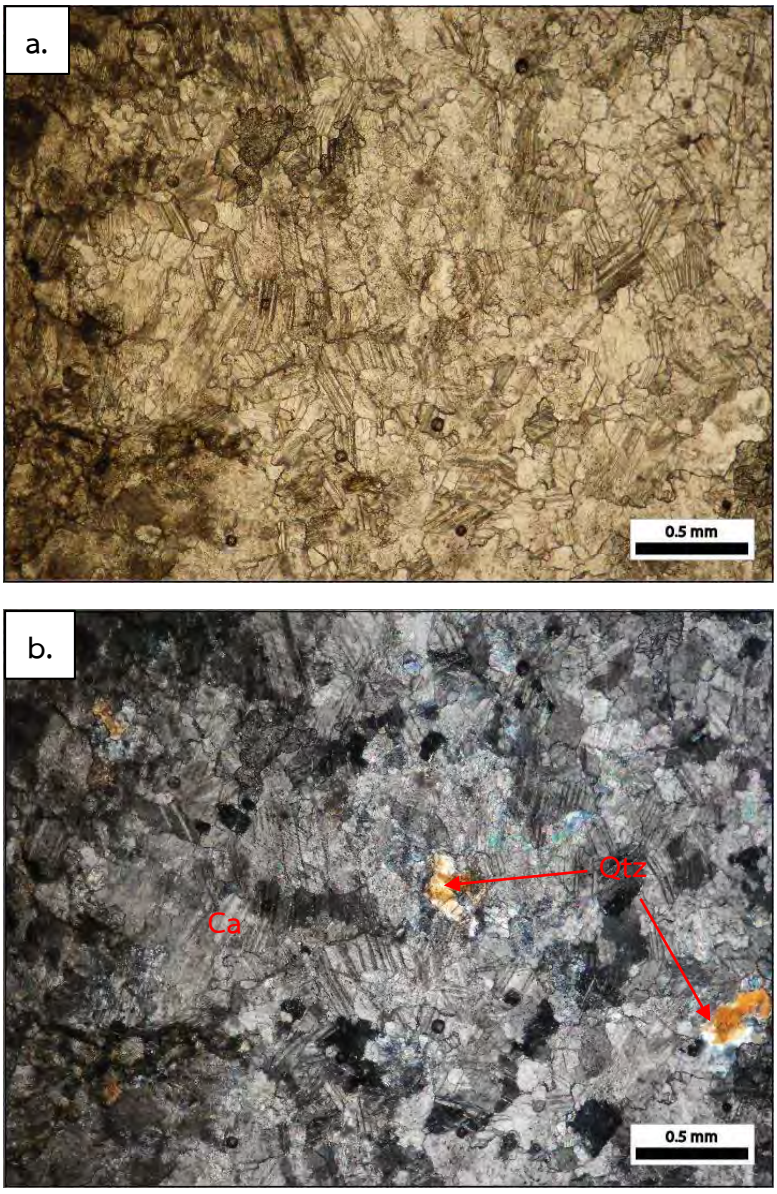
ภาพที่ 3.29 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง แสดงลักษณะเนื้อหินของตัวอย่างบล็อกหินปูน NB.1-1



ภาพที่ 3.30 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง แบบ PPL แสดงซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิด ประเภท Schwagerinid? ซึ่งพบในตัวอย่างบล็อกหินปูน NB.1-1 บ่งชี้ช่วงอายุยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงเพอร์เมียน

ตัวอย่าง NB.1-3

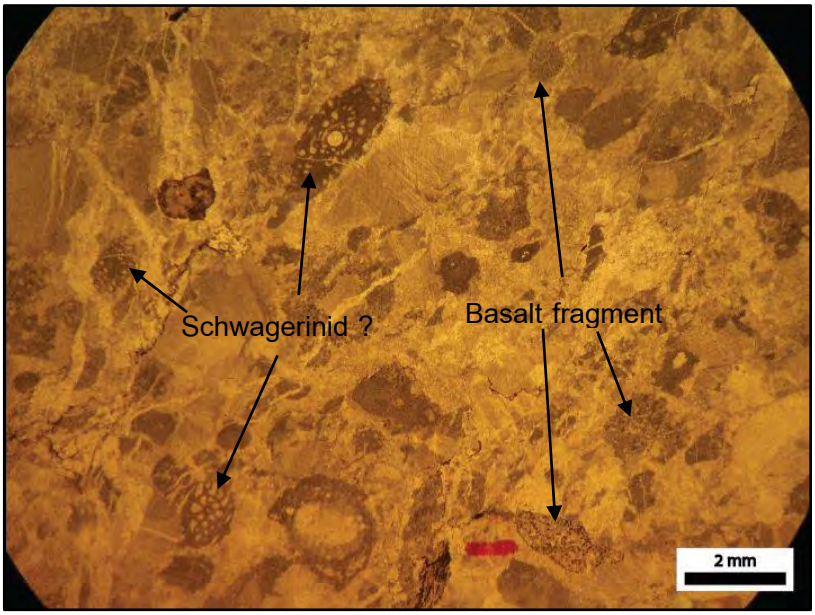
ไม่สามารถจำแนกประเภทหินปูนได้ เนื่องจากเนื้อหินแสดงลักษณะ granular texture ชัดเจน บ่งชี้ถึงการโดนแปรสภาพกลายเป็นหินอ่อน เนื้อพื้นเป็นแร่แคลไซต์ร่วมกับแร่ควอตซ์ประปราย ไม่พบซากดึกดำบรรพ์ใดๆในเนื้อหิน (**ภาพที่** 3.31)



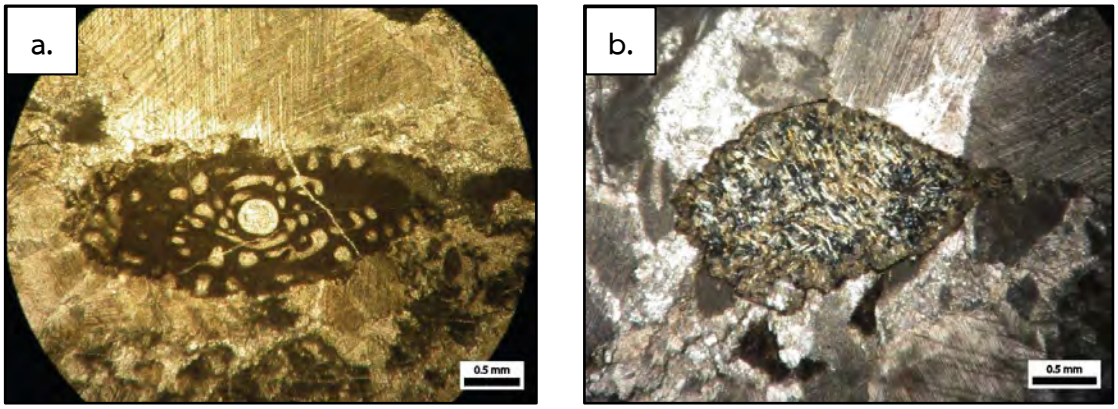
ภาพที่ 3.31 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง แสดงลักษณะเนื้อหินของตัวอย่างบล็อกหินปูน NB.1-3 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL (Qtz : Quartz และ Ca : Calcite)

ตัวอย่าง NB.18-2

เป็นหินปูนประเภท biosparite (Folk, 1959) หรือ grainstone (Dunham, 1962) เนื้อหินเป็นแร่แคลไซต์ พบซากดึกดำบรรพ์ของฟิวซูลินิด ประเภท Schwagerinid? บ่งชี้อายุในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงเพอร์เมียน พบเศษหินบะซอลต์ขนาด 2-3 มิลลิเมตร ในเนื้อหินประปราย (**ภาพที่** 3.32 และ **ภาพที่** 3.33)



ภาพที่ 3.32 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง แสดงลักษณะเนื้อหินของตัวอย่างบล็อกหินปูน NB.18-2



ภาพที่ 3.33 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างบล็อกหินปูน NB.18-2

a.) แบบ PPL แสดงซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิด ประเภท Schwagerinid ?

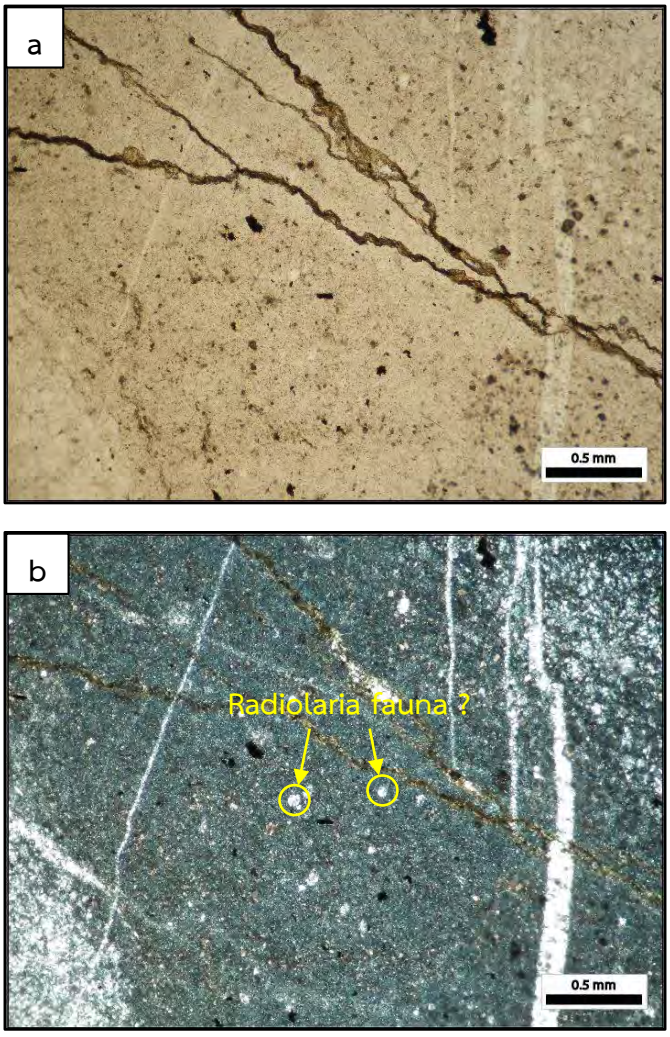
b.) แบบ XPL แสดงเศษหินบะซอลต์ในเนื้อพื้นแคลไซต์

3.3.3 บล็อกหินเชิร์ต

ผู้เขียนได้ทำการเก็บตัวอย่างแบบสุ่มจากพื้นที่ศึกษาจำนวน 2 ตัวอย่าง (NB.1) และอีก 1 ตัวอย่างจากหินโผล่ที่แสดงลักษณะบล็อกหินในหินพื้นดินดาน ซึ่งอยู่ในหน่วยหินบ้านหนองบอน เช่นกัน (NB.18) โดยแต่ละตัวอย่างหินจะนำมาทำเป็นแผ่นหินขัดบางตัวอย่างละ 1 แผ่น รวมทั้งสิ้น 3 แผ่น จากนั้นจึงนำมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง เพื่อวิเคราะห์ลักษณะเนื้อหิน

<u>ตัวอย่าง NB.1-6</u>

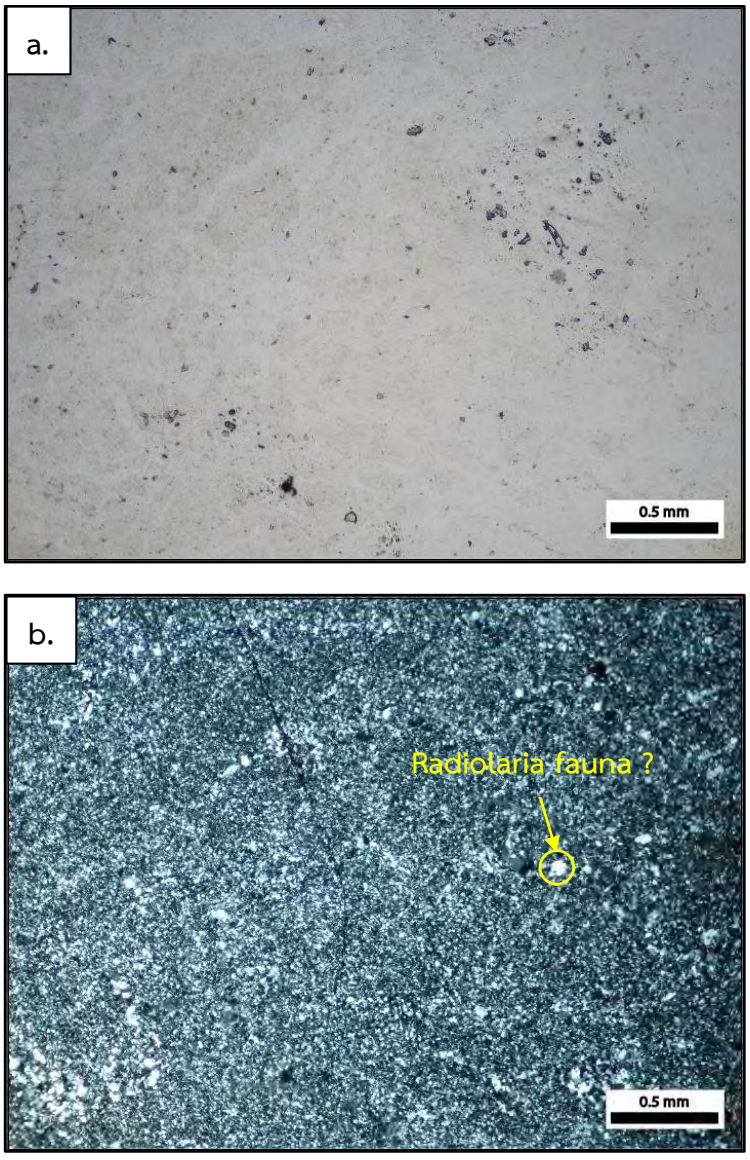
หินเชิร์ตแสดงเนื้อพื้นตะกอนขนาดเคลย์ (clay size particle) บางส่วนของเนื้อหินแสดง granular texture บ่งบอกถึงการโดนแปรสภาพ พบรอยแตกและสายแร่ควอตซ์หลายแนว พบเม็ดรูปร่างกลมมน คาดว่าเป็นซากดึกดำบรรพ์ของเรดิโอลาเรียในเนื้อพื้นเคลย์ (**ภาพที่** 3.34)



ภาพที่ 3.34 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง แสดงลักษณะเนื้อหินของตัวอย่างบล็อกหินเชิร์ต NB.1-6 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL

ตัวอย่าง NB.1-7

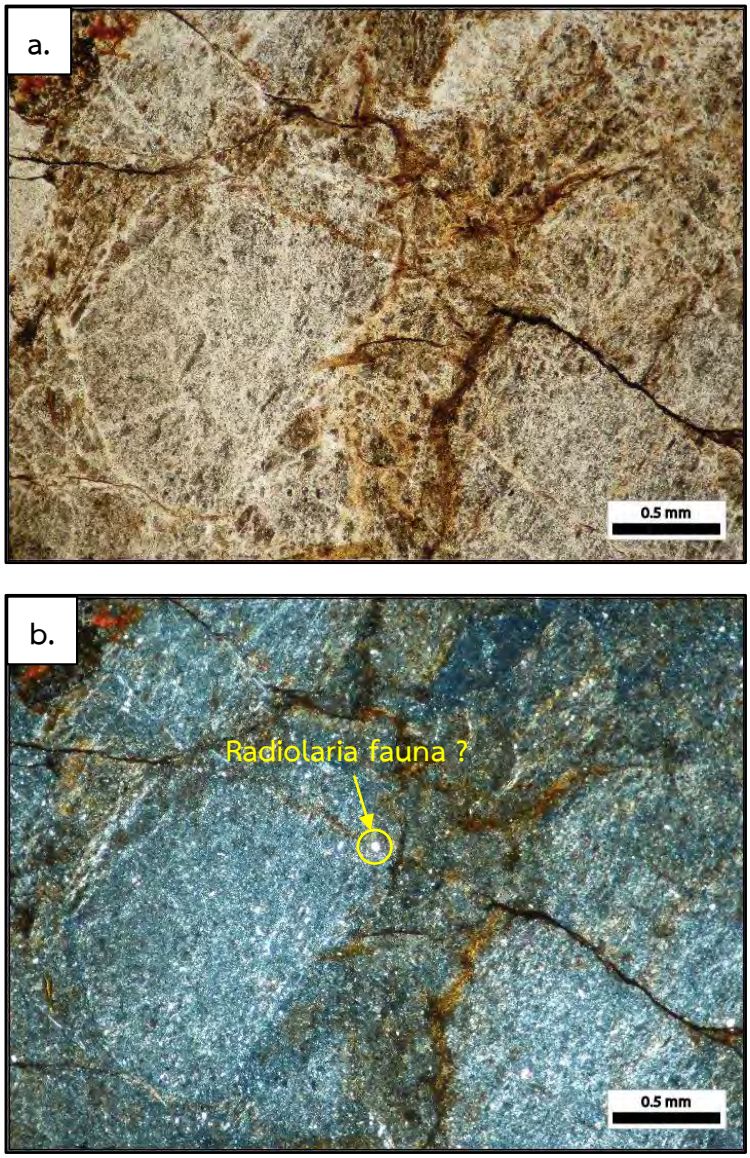
เนื้อหินแสดงลักษณะ granular texture บ่งบอกถึงการโดนแปรสภาพ พบรอยแตกแหลายแนว พบเม็ดรูปร่างกลมมน คาดว่าเป็นซากดึกดำบรรพ์ของเรดิโอลาเรียในเนื้อหิน (**ภาพที่** 3.35)



ภาพที่ 3.35 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง แสดงลักษณะเนื้อหินของตัวอย่างบล็อกหินเชิร์ต NB.1-7 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL

ตัวอย่าง NB.18-1

หินเชิร์ตแสดงเนื้อพื้นตะกอนขนาดเคลย์ (clay size particle) พบรอยแตกแหลายแนว พบเม็ดรูปร่างกลมมน คาดว่าเป็นซากดึกดำบรรพ์ของเรดิโอลาเรียในเนื้อพื้นเคลย์ (**ภาพที่** 3.36)



ภาพที่ 3.36 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง แสดงลักษณะเนื้อหินของตัวอย่างบล็อกหินเชิร์ต NB.18-2 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL

3.4 ธรณีเคมีของบล็อกหินทราย

สำหรับการศึกษาทางศิลาวรรณนาของบล็อกหินทราย ผู้เขียนได้ทำการเก็บตัวอย่างหินแบบสุ่มจากพื้นที่ศึกษาจำนวน 4 ตัวอย่าง (NB.1) และอีก 2 ตัวอย่างจากหินโผล่ที่แสดงลักษณะบล็อกหินในหินพื้นดินดาน ซึ่งอยู่ในหน่วยหินบ้านหนองบอนเช่นกัน (NB.18) มาจัดทำเป็นตัวอย่างผงหินสำหรับการวิเคราะห์หาค่าออกไซด์ของธาตุหลักโดยใช้เครื่อง X-ray fluorescence spectrometer (XRF) และคำนวณเพื่อปรับค่าร่วมกับค่า Lost of Ignition (LOI) ของแต่ละตัวอย่างบล็อกหินทรายโดยมีค่าร้อยละ 4.8-6.1 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของหินซิลิเกตทั่วไป (normal silicate rock) นั่นคือมีค่าร้อยละ 1-10 โดยผลค่าออกไซด์ของธาตุหลักที่ผ่านการปรับค่าแล้วของบล็อกหินทราย มีค่า SiO_2 ร้อยละ 57-61 ค่า TiO_2 ร้อยละ 0.75-0.93 ค่า Al_2O_3 ร้อยละ 16.0-18.3 ค่า Fe_2O_3 ร้อยละ 6.8-9.1 ค่า MnO ร้อยละ 0.06-1.15 ค่า MgO ร้อยละ 2.9-3.0 ค่า CaO ร้อยละ 0.9-4.1 ค่า N_2O ร้อยละ 1.0-2.5 ค่า K_2O ร้อยละ 1.9 – 2.3 ค่า P_2O_5 ร้อยละ 0.15-0.18 ดังแสดงใน **ตารางที่ 3**

ตารางที่ 3 ข้อมูลค่าออกไซด์ของธาตุหลัก และค่า Lost of Ignition (LOI) ของบล็อกหิน

Sample	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	N2O	K2O	P2O5	Total	% LOI
NB.1-4	60.277	0.854	16.117	7.372	0.116	2.739	3.098	2.541	1.883	0.177	95.173	4.827
NB.1-5	57.033	0.932	18.273	9.123	0.146	2.989	1.233	2.168	1.926	0.150	93.972	6.028
NB.1-8	61.661	0.869	14.667	7.571	0.077	2.212	4.102	1.078	1.932	0.159	94.328	5.672
NB.1-9	61.441	0.754	16.036	6.833	0.072	2.290	2.704	2.414	2.169	0.185	94.898	5.102
NB.18-3	59.820	0.915	17.716	8.221	0.086	2.819	0.938	1.974	2.197	0.146	94.832	5.168
NB.18-4	59.236	0.865	16.196	6.834	0.059	2.930	4.101	1.239	2.264	0.174	93.899	6.101
Average	59.911	0.865	16.501	7.659	0.093	2.663	2.696	1.902	2.062	0.165	94.517	5.483

บทที่ 4 อภิปรายผลการวิจัย

4.1 ความเป็นมิลานจ์หินดินดาน

จากการศึกษาลักษณะกายภาพของหินโผล่ที่ปรากฏทั้งในพื้นที่ศึกษาละเอียด และพื้นที่ศึกษาทั้งหมด จะสามารถสรุปลักษณะสำคัญของหินโผล่ได้ดังนี้

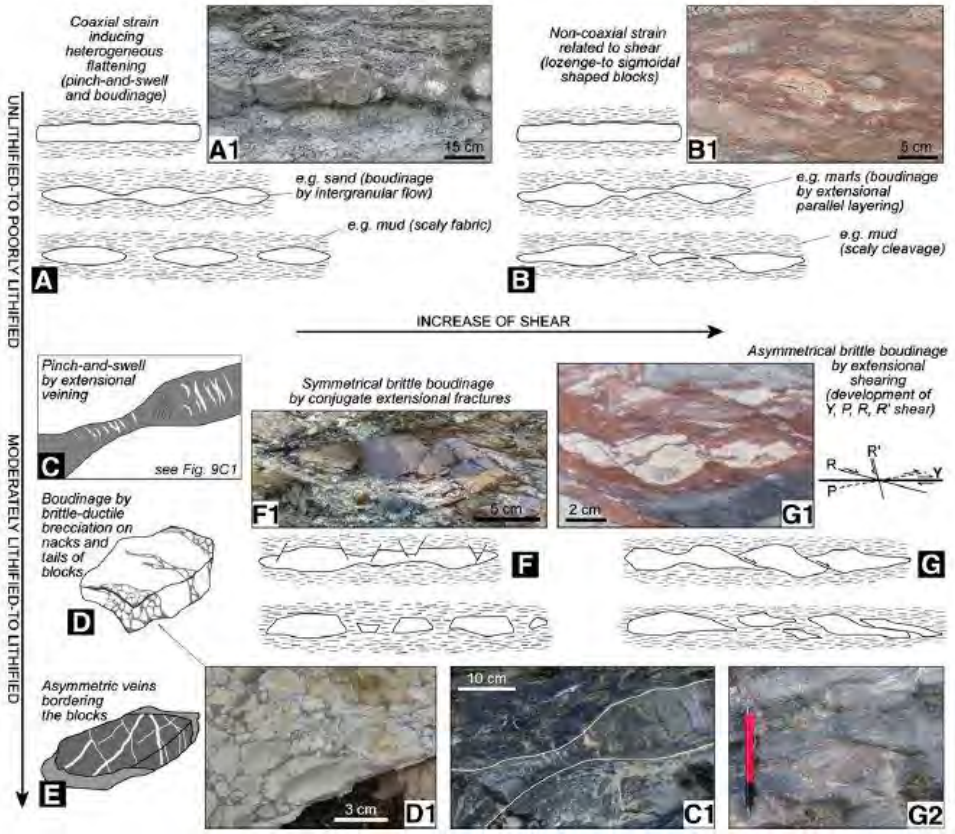
- หินโผล่ประกอบด้วยบล็อกหินหลายชนิด ได้แก่ บล็อกหินทราย บล็อกหินปูน บล็อกหินเชิร์ต และบล็อกหินบะซอลต์ ในหินพื้นดินดาน โดยบล็อกหินทรายมีปริมาณมากที่สุด
- บล็อกหินแสดงลักษณะ boudinage โดยมีแกนยาวของบล็อกหินวางตัวในทิศทางที่ใกล้เคียงกัน และมีสายแร่แคลไซต์วางตัวตั้งฉากกับแกนยาวของบล็อกหินเป็นส่วนใหญ่
- หินพื้นดินดานแสดงริ้วขนาน ซึ่งมีทิศทางที่ขนานกับแกนยาวของบล็อกหิน พร้อมกับรอยเลื่อนหลายทิศทาง แสดงลักษณะการเปลี่ยนลักษณะโดยแรงเฉือน Riedel
- ไม่ปรากฏลักษณะการวางตัวแบบชั้นหินตะกอนในหินโผล่

ซึ่งลักษณะปรากฏของหินโผล่ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นนี้ มีความสอดคล้องกับลักษณะของมิลานจ์หินดินดานแบบฉบับ กล่าวคือ ประกอบด้วยบล็อกหินหลายชนิดในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนาน และการเปลี่ยนลักษณะโดยเฉพาะโครงสร้างแรงเฉือน นอกจากนี้ จากการนำเสนอของ Chutakositkanon (2004) Chutakositkanon and Hisada (2008) และการสำรวจภาคสนามของผู้เขียน (**ภาคผนวก 1**) แสดงการกระจายตัวของหินโผล่มิลานจ์หินดินดาน บ่งชี้ว่า หินโผล่มิลานจ์หินดินดานมีการกระจายตัวอยู่ในหน่วยหินบ้านหนองบอนซึ่งสามารถแสดงได้ในแผนที่ธรณีวิทยา

จึงจะกล่าวได้ว่าหินโผล่ในพื้นที่ศึกษานี้คือ มิลานจ์หินดินดาน ซึ่งสอดคล้องกับการนำเสนอของ Chutakositkanon and Hisda (2008) และสามารถพิสูจน์ความคลุมเครือในลักษณะของมิลานจ์หินดินดานของหน่วยหินบ้านหนองบอน ตามที่ Sone et al. (2012) ได้อภิปรายไว้ให้หมดไปได้

4.2 การเกิดลักษณะ boudinage ของบล็อกหินในหินโผล่มิลานจ์หินดินดาน

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะกายภาพและโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินโผล่มิลานจ์หินดินดานในพื้นที่ศึกษา พบว่าบล็อกหินซึ่งประกอบด้วยหินทราย หินปูน และหินเชิร์ต มีลักษณะ boudinage โดยมีแกนยาวของบล็อกหินวางตัวในทิศทางเดียวกันกับริ้วขนานของหินพื้นดินดาน และปรากฏโครงสร้างแรงเฉือน Riedel ทั้งนี้ สายแร่แคลไซต์ที่พบในบล็อกหินโดยส่วนใหญ่มีทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนยาวของบล็อกหิน ซึ่งไม่สอดคล้องกับทิศทางการเปิดออกของรอยแตก (tension crack) ของลักษณะแรงเฉือน Riedel ทั้งนี้ ผู้เขียนสันนิษฐานว่า สายแร่แคลไซต์ที่เกิดขึ้นในบล็อกหินนี้อาจเกิดจากแรงดึงซึ่งเกิดขนานกับชั้นหินเดิม (parallel layer extensional force) ดังแสดงใน **ภาพที่** 4.1C เกิดเป็นรอยแตกที่ตั้งฉากกับชั้นหินเดิมอันเป็นช่องว่างให้สารละลายแคลไซต์เข้ามาแทนที่ได้ในภายหลัง จากนั้นจึงถูกแรงเฉือน Riedel เกิดเป็นบล็อกหินที่มีลักษณะ boudinage ขาดออกจากกันไปในที่สุด ดังแสดงใน **ภาพที่** 4.1G ซึ่งอ้างอิงจากการนำเสนอของ Festa et al. (2012)



ภาพที่ 4.1 แผนภาพแสดงกระบวนการถูกทำลายของชั้นหินเดิม เกิดเป็นลักษณะ boudinage ของบล็อกหินในมิลานจ์ โดยมี 2 ตัวแปรเป็นตัวควบคุม ได้แก่ ขนาดของแรงเฉือนที่กระทำต่อชั้นหินเดิม และสภาพการกลายเป็นหินของตะกอน ส่งผลให้ลักษณะ boudinage ของบล็อกหินมีการเกิดได้หลายกรณี (Festa et al., 2012)

4.3 หินตั้งต้น และสภาพแวดล้อมการเกิด

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อหิน และแร่องค์ประกอบหลักของบล็อกหินที่พบในหินโผล่มิลานจ์หินดินดานในพื้นที่ศึกษาตามที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3 ได้แก่ บล็อกหินทราย บล็อกหินปูน และบล็อกหินเชิร์ต นำไปสู่การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมการเกิดของหินตั้งต้นดังกล่าว ก่อนที่จะเกิดเป็นมิลานจ์หินดินดาน

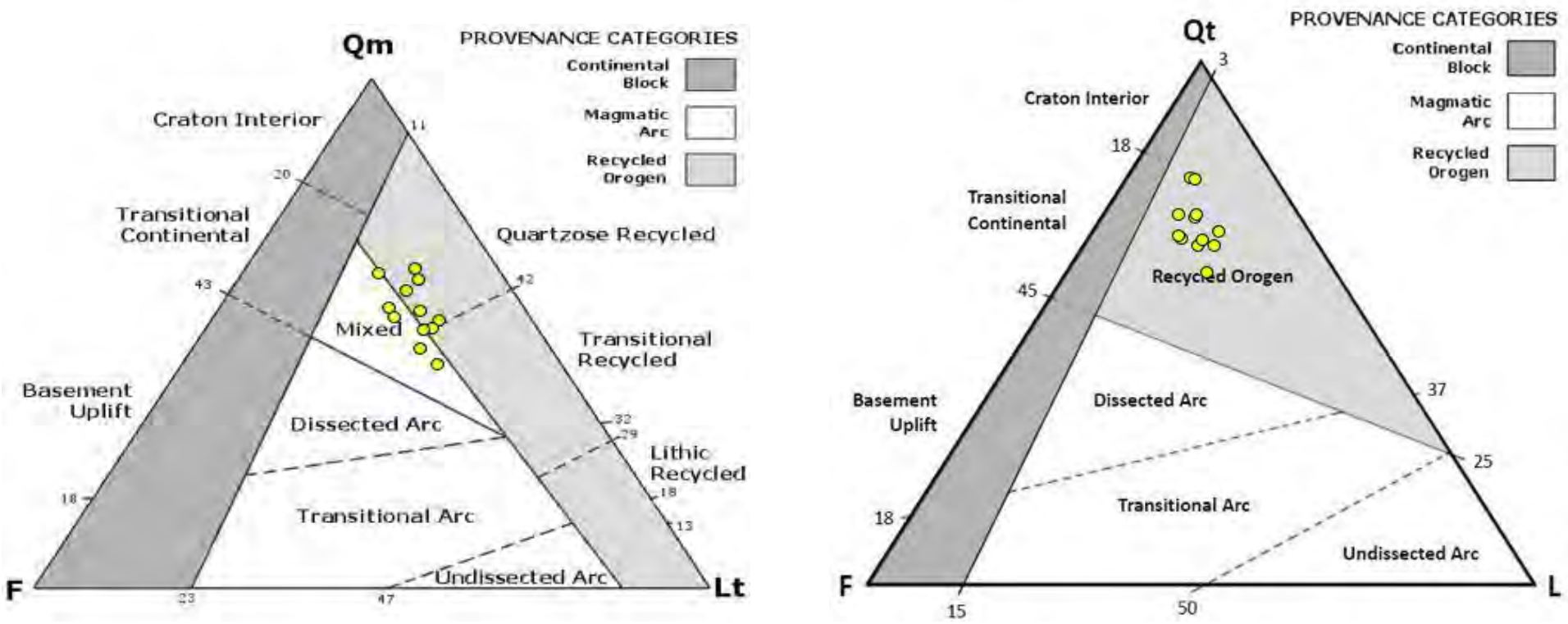
4.3.1. บล็อกหินทราย

ในการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมการเกิดของบล็อกหินทราย ผู้เขียนได้ใช้ผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่องค์ประกอบหลักดังแสดงใน **ตารางที่ 2** มาพล็อตลงใน Qm-F-Lt and Qt-F-L with tectonics fields diagrams ซึ่งนำเสนอโดย Dickinson (1983) เพื่อวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้น โดย

- Qm-F-Lt diagram พบว่าหินตั้งต้นของบล็อกหินทรายอยู่ในสภาพแวดล้อมทางธรณีสัณฐานแบบ Quartzose recycled ถึง mixed provenance (**ภาพที่ 4.2a**)
- Qt-F-L diagram พบว่าหินตั้งต้นบล็อกหินทรายอยู่ในสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานแบบ Recycled orogeny provenance (**ภาพที่ 4.2b**)

ประกอบกับผลการวิเคราะห์ออกไซด์ของแร่หลักดังแสดงใน **ตารางที่ 3** ซึ่งนำมาพล็อตในไดอะแกรม K_2O/Na_2O vs. SiO_2 ของ Roser and Korsch (1986) เพื่อวิเคราะห์หาสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้น ผลการวิเคราะห์บ่งชี้ว่า หินตั้งต้นของบล็อกหินทรายอยู่ในสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานแบบ active continental margin ถึง oceanic island arc (**ภาพที่ 4.3**)

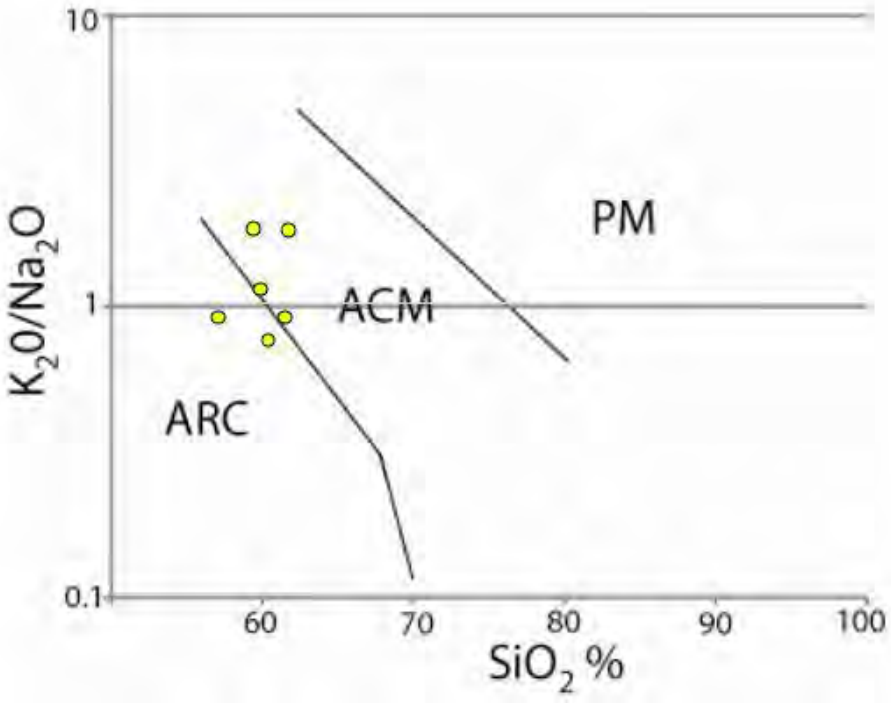
ทั้งนี้ ผู้เขียนมิได้นำค่าออกไซด์ของธาตุหลักอื่นๆมาใช้ในการวิเคราะห์หาสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้นโดยไดอะแกรมอื่นๆ เช่น ไดอะแกรม Fe_2O_3+MgO vs. Al_2O_3/SiO_2 (Bhatia, 1983) หรือไดอะแกรม Al_2O_3/SiO_2 vs. (FeO+MgO)/(SiO_2+ K_2O+Na_2O) (Kiminami et al., 1982) เพราะ ธาตุ Fe และ Mg ต่างก็เป็นธาตุโลหะที่ได้รับอิทธิพลจากแร่ทุติยภูมิได้ง่าย ซึ่งอาจส่งผลให้ออกไซด์ของธาตุหลักโดยเฉพาะธาตุโลหะแต่ดั้งเดิมของหินที่ต้องการศึกษามีความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้น ผู้เขียนจึงไม่นำไดอะแกรมดังกล่าวข้างต้น ซึ่งมีการคำนวณค่าออกไซด์ของธาตุโลหะมาใช้ในการวิเคราะห์หาสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้นร่วมด้วย



ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้นของบล็อกหินทรายโดยการพล็อตปริมาณแร่องค์ประกอบหลักลงใน Qm-F-Lt and Qt-F-L diagrams with tectonic fields (Dickinson, 1983)

a.) Qm-F-Lt diagram มีสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานแบบ quartzose recycled ถึง mixed provenance

b.) Qt-F-L diagram มีสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานแบบ recycled orogen provenance



ภาพที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้นโดยการพล็อตค่าออกไซด์ของธาตุหลักลงในไดอะแกรม K_2O/Na_2O vs. SiO_2 (Roser and Korsch, 1986) บ่งชี้ว่าหินต้งต้นของบล็อกหินทรายมีสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานแบบ active continental margin ถึง oceanic island arc (ARC: oceanic island arc, ACM: active continental margin, PM: passive continental margin)

จากผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้นของบล็อกหินทราย สามารถสรุปได้ว่า หินตั้งต้นของบล็อกหินทรายเกิดขึ้นในบริเวณขอบทวีปมีพลัง (active continental margin) ซึ่งเป็นบริเวณขอบแผ่นเปลือกโลกทวีปที่ได้รับแรงกระทำจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกอีกแผ่นหนึ่ง โดยหินตั้งต้นนี้เกิดการผุพังกลายเป็นชั้นตะกอน และถูกพัดพา จนกระทั่งมาตกสะสมเป็นหินทรายแทรกสลับกับหินดินดานที่พบเป็นหินพื้นของหินโผล่มิลานจ์หินดินดานในบริเวณร่องลึก (trench) ผู้เขียนสันนิษฐานว่าการตกสะสมร่วมกันของหินทรายกับหินดินดาน เกิดขึ้นก่อนที่จะถูกทำลายด้วยแรงเฉือนจากการมุดตัวกลายเป็นบล็อกหินทรายในมิลานจ์หินดินดาน ในหน่วยหินซับซ้อนพอกพูน

4.3.2. บล็อกหินปูน

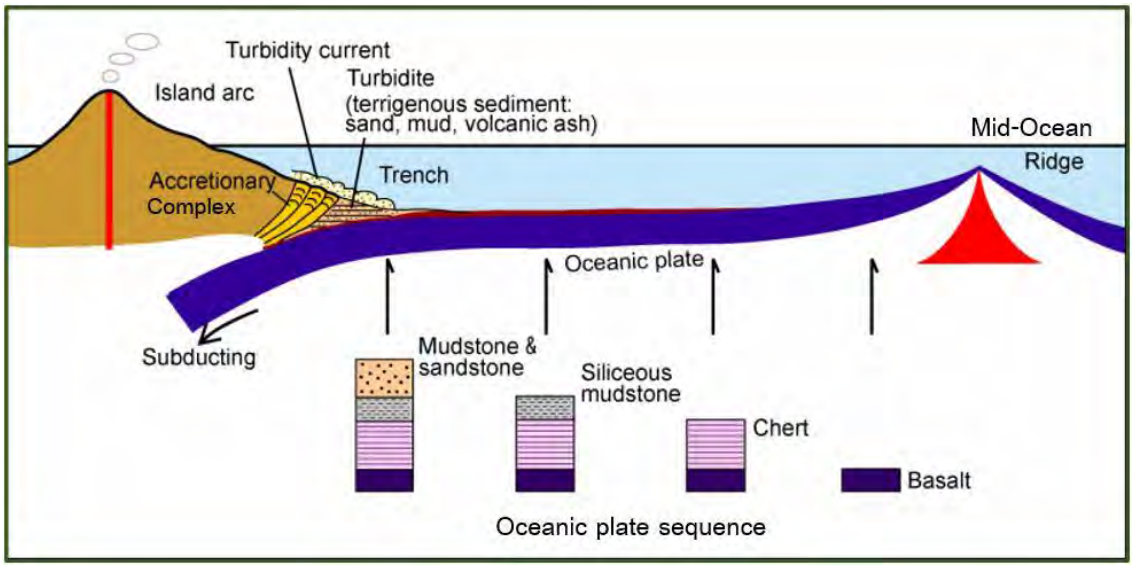
จากการวิเคราะห์ลักษณะชนิดหินและเนื้อหินของบล็อกหินปูน พบว่าหินปูนเป็นประเภท biosparite (Folk, 1959) หรือ grainstone (Dunham, 1962) ที่ถูกแปรสภาพ โดยมีเนื้อพื้นเป็นแร่แคลไซต์ ประกอบกับซากดึกดำบรรพ์ ฟิวซูลินิดประเภท Schwagerinid? และเศษหินบะซอลต์ หลักฐานที่พบบ่งชี้ว่า หินปูนตั้งต้นนั้นมีสภาพแวดล้อมมหาสมุทรบริเวณน้ำตื้นซึ่งได้รับอิทธิพลจากตะกอนภูเขาไฟร่วมด้วย ทั้งนี้ ผู้เขียนยังไม่สามารถยืนยันบริเวณการเกิดของหินปูนตั้งต้นได้ว่าเป็น carbonate platform ในบริเวณลาดทวีป หรือเป็น carbonate cap ในบริเวณภูเขาไฟใต้ทะเล เนื่องจากหลักฐานทางภาคสนามและข้อมูลศิลาวรรณนาของบล็อกหินไม่เพียงพอ

4.3.3. บล็อกหินเชิร์ต

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อหินเพื่อบ่งชี้สภาพแวดล้อมการตกสะสมตัวของหินเชิร์ตตั้งต้น ซึ่งมีเนื้อหินแสดงลักษณะหินพื้นของตะกอนเคลย์ ประกอบกับซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียรูปทรงกลมมน บ่งชี้ว่าหินเชิร์ตตั้งต้นนี้มีสภาพแวดล้อมการตกสะสมบริเวณพื้นก้นสมุทร

นอกจากนี้ ในพื้นที่ศึกษายังพบบล็อกหินบะซอลต์ที่แสดงการผุพังอย่างรุนแรง กระจายตัวอยู่บ้าง ซึ่งผู้เขียนไม่สามารถนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ แต่จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของบล็อกหินที่พบทั้งหมด จะสามารถสันนิษฐานได้ว่าบล็อกหินบะซอลต์น่าจะมีหินตั้งต้นเป็นหินบะซอลต์รูปหมอน (pillow basalt) ซึ่งเกิดบริเวณพื้นก้นมหาสมุทร

โดยหินตั้งต้นตามที่ได้กล่าวมาทั้งหมดมีความสัมพันธ์คือ เป็นกลุ่มหินพื้นเปลือกโลกมหาสมุทร (oceanic plate sequence) และถูกทำลายโดยแรงเฉือนจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรลงใต้แผ่นเปลือกโลกทวีป เกิดเป็นมิลานจ์หินดินดานในหน่วยหินซับซ้อนพอกพูน ซึ่งสอดคล้องกับแบบจำลองการเกิดหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนดังแสดงใน **ภาพที่ 4.4**



ภาพที่ 4.4 แบบจำลองการเกิดหน่วยหินซับซ้อนพอกพูน อันเกิดจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรลงใต้แผ่นเปลือกโลกทวีป ส่งผลให้กลุ่มหินพื้นแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทร (oceanic plate sequence) ซึ่งประกอบด้วย หินบะซอลต์ หินเชิร์ต หินดินดาน หินทราย และอาจพบหินปูนร่วมด้วย เกิดการพอกติดตรงบริเวณการมุดตัว (อ้างอิงจาก http://plate-tectonic.narod.ru/japan11photoalbum.html)

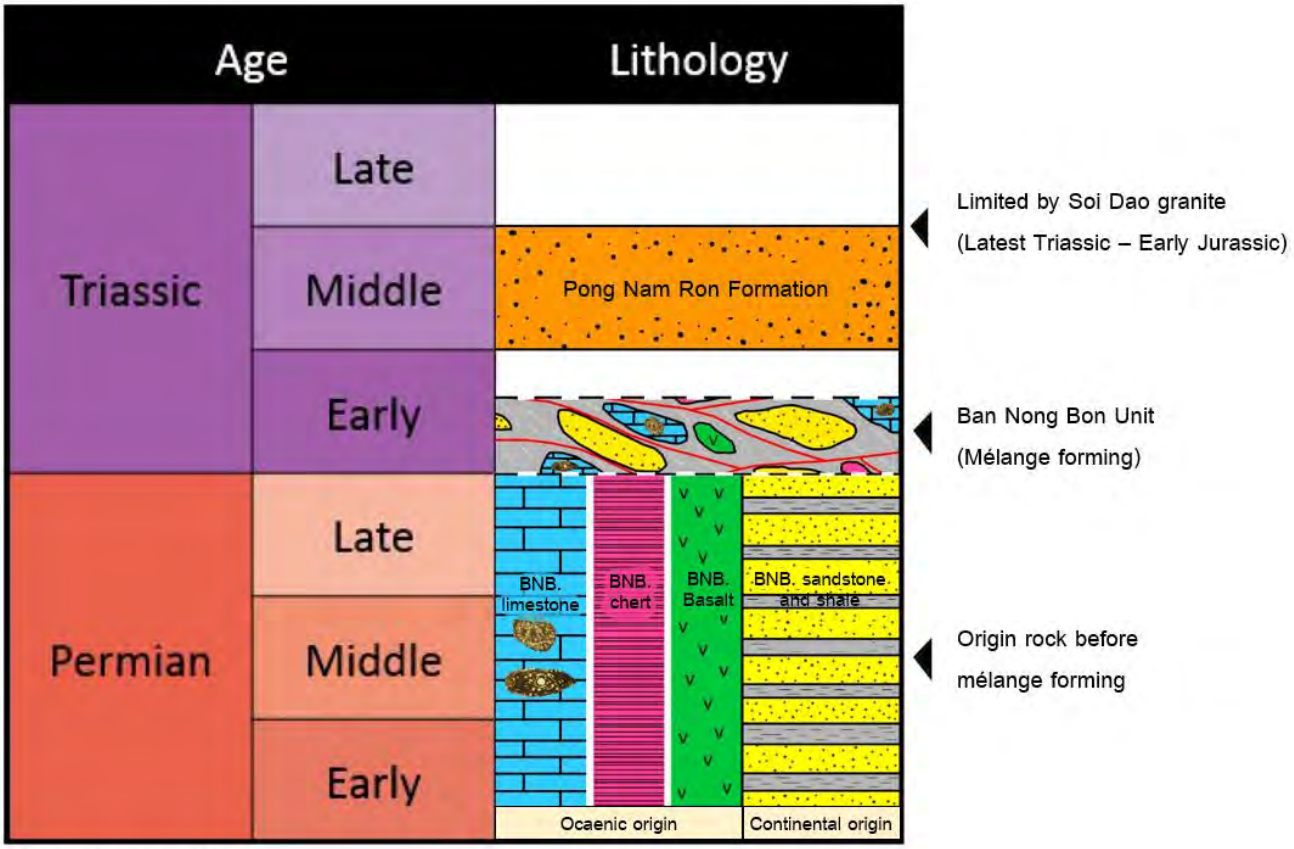
4.4 วิวัฒนาการการเกิดของมิลานจ์หินดินดาน

จากผลการศึกษาศิลาวรรณนาของบล็อกหินปูน ซึ่งพบซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิด ประเภท Schwagerinid? บ่งชี้อายุในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงเพอร์เมียน และของบล็อกหินเชิร์ตที่พบซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียรูปทรงกลมมน ซึ่งเป็นลักษณะเด่นแบบหนึ่งของซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียยุคเพอร์เมียน ดังนั้น ผู้เขียนจึงสันนิษฐานว่าหินตั้งต้นทั้งหมด ได้แก่ หินทราย หินดินดาน หินปูน หินเชิร์ต และหินบะซอลต์ ก่อนเกิดเป็นมิลานจ์หินดินดาน น่าจะมีอายุใกล้เคียงกัน คืออายุยุคเพอร์เมียน

Chutakositkanon (2004) Chutakositkanon and Hisada (2008) และ Ueno and Charoentitirat (2011) ได้นำเสนอว่า หินตะกอนหมวดหินโป่งน้ำร้อน และหมวดหินเนินโพธิ์ ซึ่งสามารถเทียบเคียงได้ในการศึกษาของ Chaodumrong et al. (2002) ด้วยการเปลี่ยนแปลงลำดับชั้นหินในแนวด้านข้าง เป็นชุดตะกอนกระแสความขุ่น ที่มีอายุยุคไทรแอสซิกตอนกลางถึงตอนปลาย วางตัวปิดทับเหนือหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี

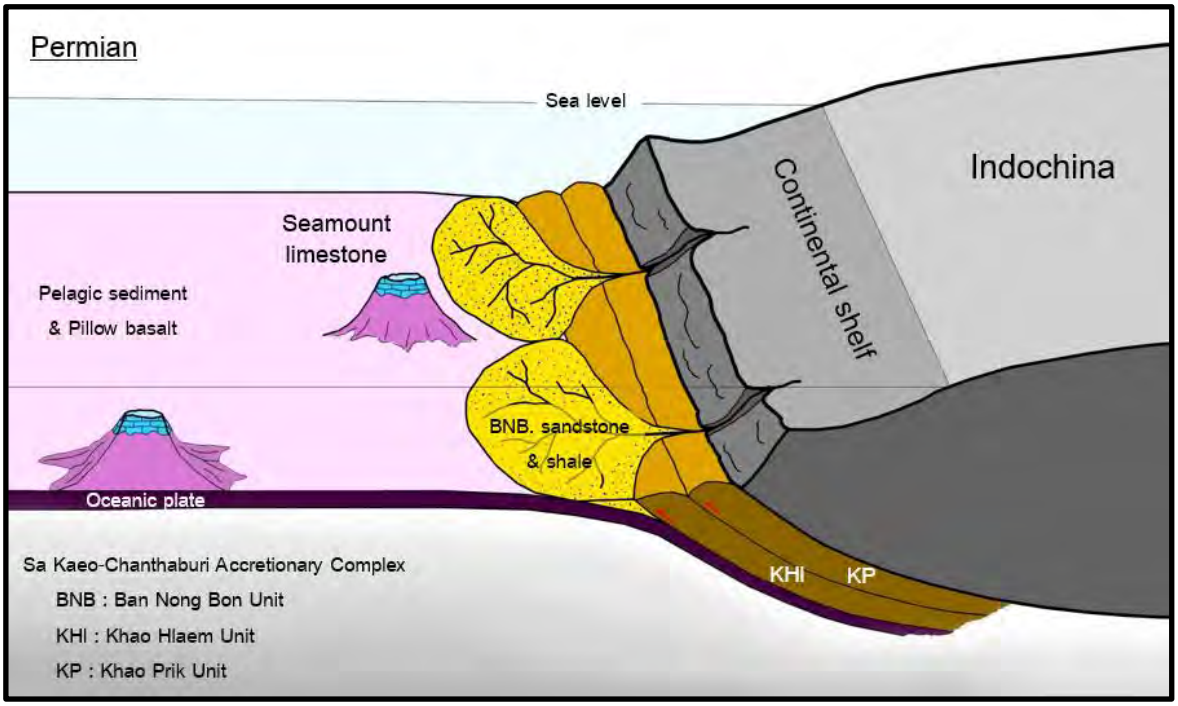
ดังนั้น จากการทราบอายุของหินตั้งต้น และหินตะกอนที่วางตัวปิดทับเหนือหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี จะสามารถสรุปช่วงเวลาการเกิดของมิลานจ์หินดินดานได้ นั่นคือช่วงยุคเพอร์โมไทรแอสซิกถึงไทรแอสซิกตอนต้น ดังแสดงใน **ภาพที่** 4.5

นอกจากนี้ จากการอภิปรายผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมการตกสะสมของหินตั้งต้น และวิวัฒนาการการเกิดมิลานจ์หินดินดานของหน่วยหินบ้านหนองบอน นำไปสู่การสร้างแบบจำลองทางธรณีแปรสัณฐาน โดยจะแสดงใน **ภาพที่** 4.6 และ **ภาพที่** 4.7

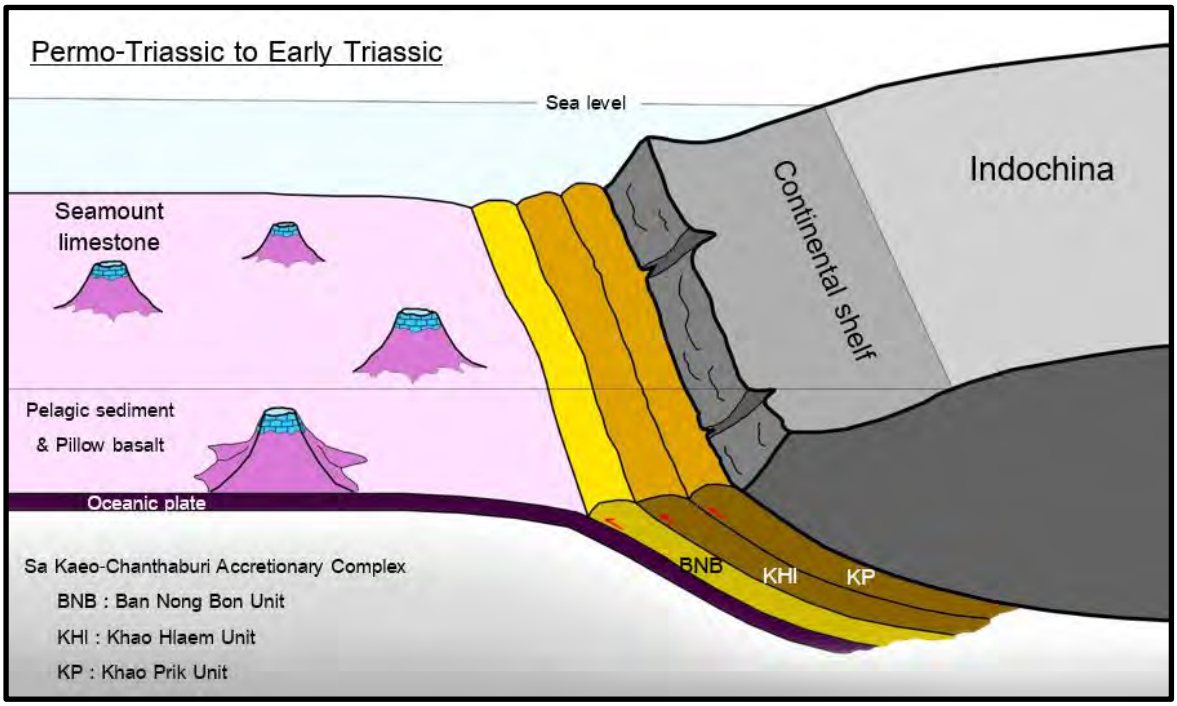


BNB. : Ban Nong Bon

ภาพที่ 4.5 ตารางแสดงวิวัฒนาการการเกิดของมิลานจ์หินดินดานของหน่วยหินบ้านหนองบอน โดยหินตั้งต้น ได้แก่ หินทราย หินดินดาน หินปูน หินเชิร์ต และหินบะซอลต์ มีอายุช่วงยุคเพอร์เมียน จากนั้นจึงเกิดเป็นมิลานจ์หินดินดานในช่วงยุคเพอร์โมไทรแอสซิกถึงไทรแอสซิกตอนต้น



ภาพที่ 4.6 แบบจำลองทางธรณีแปรสัณฐานในช่วงยุคเพอร์เมียน แสดงสภาพแวดล้อมการตกสะสมของหินตั้งต้น ก่อนเกิดเป็นมิลานจ์หินดินดานของหน่วยหินบ้านหนองบอน



ภาพที่ 4.7 แบบจำลองทางธรณีแปรสัณฐานในช่วงยุคเพอร์โมไทรแอสซิกถึงไทรแอสซิกตอนต้น แสดงการเกิดมิลานจ์หินดินดานของหน่วยหินบ้านหนองบอน อันเกิดจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรลงใต้แผ่นเปลือกโลกทวีปอินโดจีน ทำให้หินตั้งต้นทั้งหมดเกิดการพอกติดและเกิดเป็นมิลานจ์หินดินดาน

4.5 ธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่ศึกษา

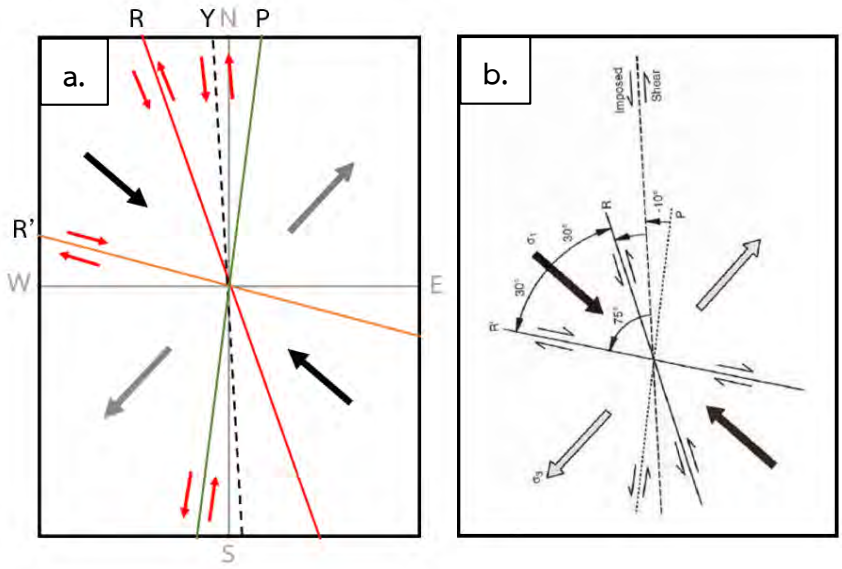
จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินโผล่มิลานจ์หินดินดานในพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีความสัมพันธ์ในลักษณะโครงสร้างแรงเฉือนแบบ Riedel บ่งชี้ว่าหินโผล่นี้ได้รับแรงเฉือน Riedel แบบซ้ายเข้า (left-lateral Riedel shear) (Woodcock and Schubert, 1994) โดยมีทิศทางของแรงกระทำหลักในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) (**ภาพที่ 4.8** และ **ภาพที่ 4.9**)

เนื่องจาก มิลานจ์หินดินดานอันเกิดจากการพอกติดของหินตั้งต้น โดยกระบวนการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรลงใต้แผ่นเปลือกโลกทวีป จะต้องมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างที่แสดงการเลื่อนตัวในแนวดิ่ง (dip-slip sense) เป็นหลัก และสามารถพบโครงสร้างที่แสดงการเลื่อนตัวในแนวระนาบ (strike-slip sense) ร่วมด้วย แต่จากข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินโผล่มิลานจ์หินดินดานปรากฏโครงสร้างการเลื่อนตัวในแนวระนาบเป็นส่วนใหญ่ นั่นคือ โครงสร้างแรงเฉือน Riedel แบบซ้ายเข้า โดยผู้เขียนได้วิเคราะห์ร่วมกับผลการศึกษา Paleo-geothermal structure ของ Hara et al. (2006) ซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยหินบ้านหนองบอนกับหน่วยหินเขาแหลมของหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี บ่งชี้ว่าหน่วยหินเขาแหลมวางตัวปิดทับบนหน่วยหินบ้านหนองบอนด้วยรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ ซึ่งเป็นการเลื่อนตัวในแนวดิ่ง ดังนั้น ผู้เขียนจึงสันนิษฐานว่าการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรอาจมีการทำมุม (diagonal subduction) ไปทางทิศตะวันออกลงใต้แผ่นเปลือกโลกทวีปอินโดจีน

ทั้งนี้ การศึกษาข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินโผล่มิลานจ์หินดินดานในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเพียงแค่จุดศึกษาเดียว ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อการสรุปทิศทางแรงกระทำหลักของหน่วยหินบ้านหนองบอนทั้งหมดได้ รวมถึงลักษณะโดยละเอียดของการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรลงใต้แผ่นเปลือกโลกทวีปอินโดจีนตามที่ที่ผู้เขียนได้ตั้งข้อสันนิษฐานไว้ ซึ่งการศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินโผล่มิลานจ์หินดินดานในหน่วยหินบ้านหนองบอนทั้งหมด จะสามารถพิสูจน์ข้อปัญหาดังกล่าวได้

อีกประการหนึ่งคือ จากการพบเส้นรอยเลื่อนบนพื้นผิวสายแร่ควอตซ์ในหินโผล่มิลานจ์หินดินดาน ซึ่งแสดงลักษณะการเลื่อนตัวในแนวระนาบ โดยผู้เขียนได้พิจารณาว่าเส้นรอยเลื่อนนี้เกิดจากเหตุการณ์อื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับการเกิดมิลานจ์หินดินดาน สันนิษฐานว่าเป็นผลจากรอยเลื่อนแม่ปิง

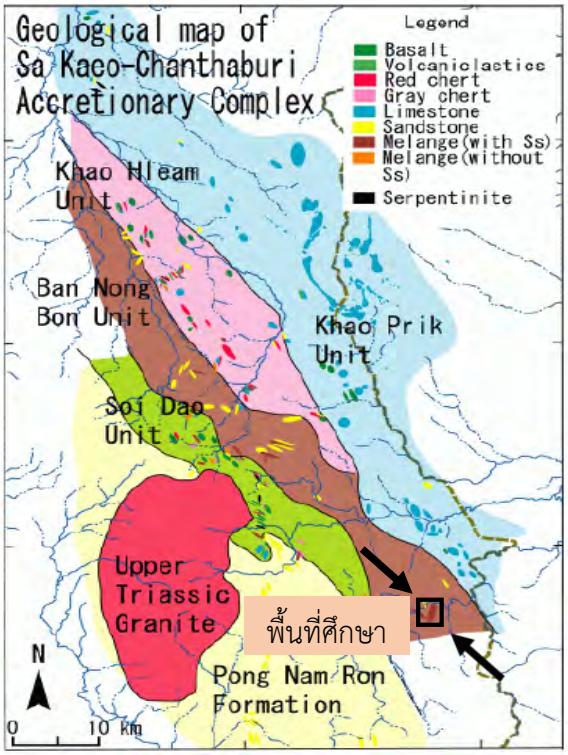
ซึ่งมีทิศทางการวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ในช่วงเหตุการณ์ตั้งแต่ Indosinian orogeny ถึง Himalayan orogeny



ภาพที่ 4.8 ภาพแสดงการเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างแรงเฉือน Riedel และทิศทางแรงกระทำหลัก (ลูกศรสีดำ) ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) โดย

a.) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยา ได้แก่ ระนาบรอยเลื่อน ริ้วขนานของหินพื้นดินดาน และการวางตัวของบล็อกหิน ของหินโผล่มิลานจ์หินดินดานในพื้นที่ศึกษา

b.) ลักษณะโครงสร้างแรงเฉือน Riedel แบบซ้ายเข้า (left-lateral Riedel shear) นำเสนอโดย Woodcock and Schubert (1994)



ภาพที่ 4.9 ภาพแสดงทิศทางแรงกระทำหลัก (ลูกศรสีดำ) ของหินโผล่มิลานจ์หินดินดานในพื้นที่ศึกษา โดยแสดงในแผนที่ธรณีวิทยาของหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี (Chutakositkanon and Hisada, 2008)

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ ได้แก่ การศึกษาลักษณะทางกายภาพของหินโผล่มิลานจ์หินดินดาน การศึกษาศิลาวรรณนาและธรณีเคมีของบล็อกหิน และการศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินโผล่ในพื้นที่ศึกษา จะสามารถสรุปได้ดังนี้

- หินโผล่ในพื้นที่ศึกษาเป็นมิลานจ์หินดินดาน ซึ่งมีลักษณะบล็อกหินหลายชนิด ได้แก่ บล็อกหินทราย (ลักษณะ boudinage) บล็อกหินปูน บล็อกหินเชิร์ต และบล็อกหินบะซอลต์ ในหินพื้นดินดานซึ่งแสดงริ้วขนาน และโครงสร้างแรงเฉือน Riedel แบบซ้ายเข้า
- สภาพแวดล้อมของหินตั้งต้นของบล็อกหินแต่ละชนิด ได้แก่ บล็อกหินทรายอยู่ในสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานแบบขอบทวีปมีพลัง บล็อกหินปูนอยู่ในสภาพแวดล้อมมหาสมุทรบริเวณน้ำตื้น บล็อกหินเชิร์ตอยู่ในสภาพแวดล้อมแบบพื้นก้นมหาสมุทร และบล็อกหินบะซอลต์สันนิษฐานว่าเป็นหินบะซอลต์รูปหมอนเกิดบริเวณพื้นก้นมหาสมุทร โดยมีความสัมพันธ์คือเป็นกลุ่มหินพื้นเปลือกโลกมหาสมุทร (oceanic plate sequence)
- หินตั้งต้นดังกล่าวสันนิษฐานว่ามีอายุในช่วงยุคเพอร์เมียน และเกิดการพอกติดจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรที่ทำมุม (diagonal subduction) ไปทางทิศตะวันออกลงใต้แผ่นเปลือกโลกทวีปอินโดจีน เกิดเป็นมิลานจ์หินดินดานของหน่วยหินบ้านหนองบอนในช่วงยุคเพอร์โมไทรแอสซิกถึงไทรแอสซิกตอนต้น
- ทิศทางแรงกระทำหลักของพื้นที่ศึกษา มีทิศทางในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) แต่ยังไม่สามารถสรุปทิศทางแรงกระทำหลักของทั้งหน่วยหินบ้านหนองบอนได้

บทที่ 6 ข้อเสนอแนะ

ตามที่ Chutakositkanon and Hisada (2008) ได้จัดทำแผนที่ธรณีวิทยาของหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี โดยได้แยกหน่วยหินบ้านหนองบอนออกจากหมวดหินโป่งน้ำร้อนซึ่งได้เคยศึกษาไว้ในอดีต (Chaodumrong, 1992, 2002; Salyaphongse et al., 1997; Hada et al., 1997, 1999) ทั้งนี้ Sone et al. (2012) ได้อภิปรายถึงประเด็นการแยกหน่วยหินบ้านหนองบอนว่าลักษณะของมิลานจ์หินดินดาน ซึ่งนำเสนอโดย Chutakositkanon and Hisada (2008) โดยมีหินโผล่แบบฉบับที่กิโลเมตรที่ 21+200 ริมเส้นทางหลวงหมายเลข 3193 บริเวณบ้านหนองบอน อำเภอโป่งน้ำร้อน ยังมีความเข้าใจที่ไม่เพียงพอ อีกประการหนึ่งคือการปรากฏหินโผล่ของ 'หินตะกอนหมวดหินโป่งน้ำร้อน' (Sone et al., 2012) ในคลองโป่งน้ำร้อน บริเวณบ้านหนองบอน ซึ่งเป็นบริเวณที่ใกล้กัน จึงยังจัดให้พื้นที่บริเวณบ้านหนองบอน และบางบริเวณของหน่วยหินบ้านหนองบอนยังคงเป็นส่วนหนึ่งของหมวดหินโป่งน้ำร้อนดังเดิม

จากประเด็นความคลุมเครือดังกล่าวนี้ ผู้เขียนจึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะเนื้อหินและแร่องค์ประกอบหลักของหินทรายโดยการทำแผ่นหินขัดบางจำนวน 1 แผ่นต่อ 1 ตัวอย่างหิน เพื่อนำไปวิเคราะห์ประเภทของหินทรายโดยใช้ QRF diagram ของ Folk (1974) และสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้นโดยใช้ Qm-F-Lt diagram with tectonic fields (Dickinson, 1983) โดยหินทรายในการศึกษานี้ประกอบด้วย

- บล็อกหินทรายในหินโผล่มิลานจ์หินดินดานของหน่วยหินบ้านหนองบอน
- หินทรายสีเทาเขียว ซึ่งไม่พบลักษณะเป็นบล็อกหินในหินโผล่มิลานจ์หินดินดานของหน่วยหินบ้านหนองบอน โดยจำแนกเป็น 2 บริเวณคือ บริเวณคลองโป่งน้ำร้อน และบริเวณอื่นๆ ในหน่วยหินบ้านหนองบอน
- หินทรายหมวดหินโป่งน้ำร้อน ศึกษาโดยผู้เขียน ณ บริเวณคลองโป่งโรงเซ็น และอ้างอิงจากการศึกษาของ อรนันท์ งามนิธิพร (2556)

ผลการวิเคราะห์

- บล็อกหินทรายในหินโผล่มิลานจ์หินดินดาน (6 ตัวอย่าง)

  เป็นหินทรายประเภท sublitharenite (Folk, 1974) เม็ดตะกอนมีขนาดทรายละเอียด (fine sand size) การคัดขนาดปานกลาง (moderately sorted) ความมนระดับ sub-angular ถึง sub-rounded มีองค์ประกอบของแร่ควอตซ์ร้อยละ 53-61 แร่เฟลด์สปาร์ร้อยละ 13-20 และเศษหินร้อยละ 25-38 โดยประมาณ เศษหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษหินอัคนีบาดาล และเศษหินควอตไซต์-เชิร์ต มีสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้นแบบ quartzose recycled (Dickinson,1983) (**ภาพที่ 6.1**)

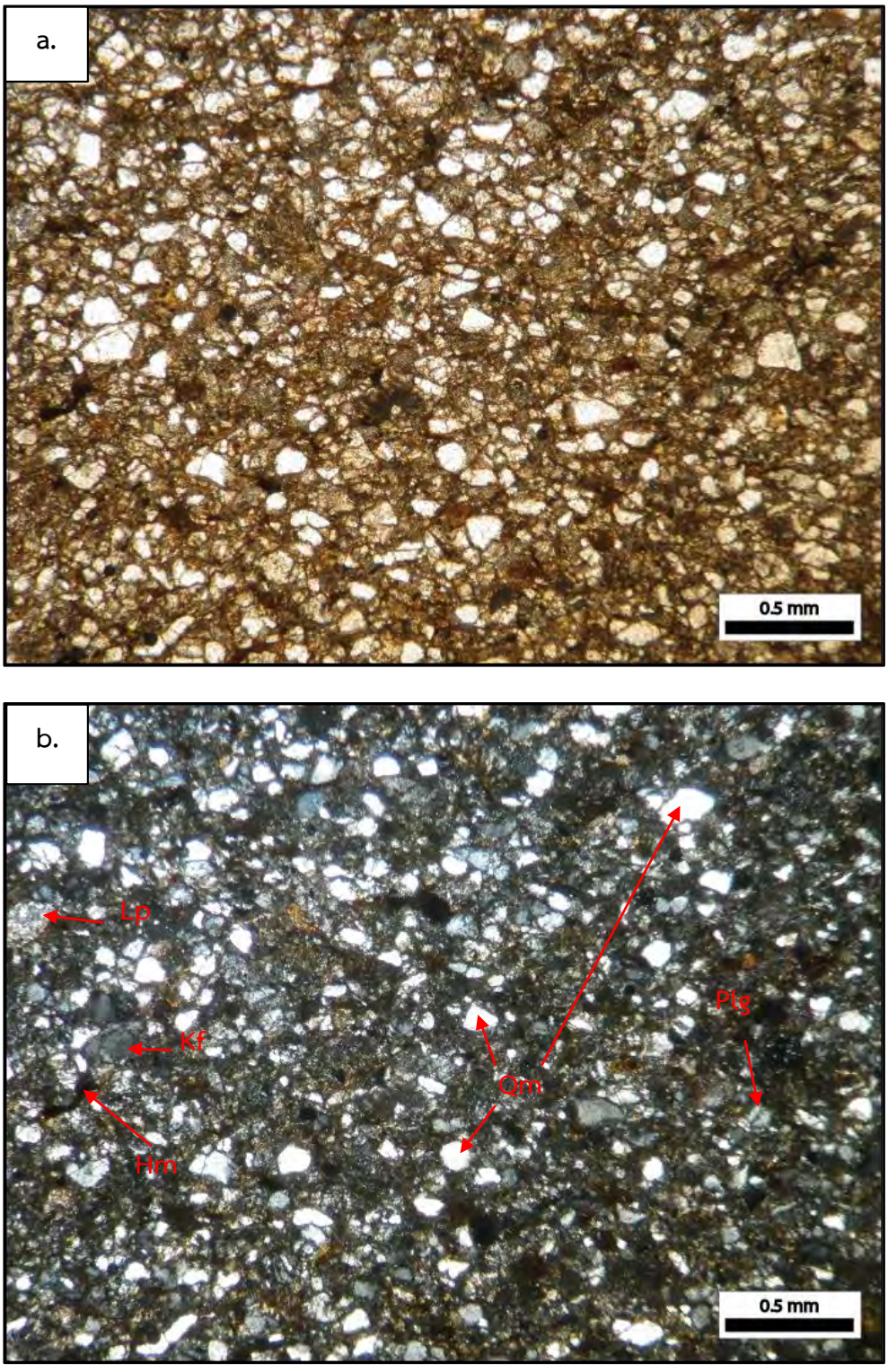
- หินทรายสีเทาเขียว (6 ตัวอย่าง)

  เป็นหินทรายประเภท feldspathic litharenite (Folk, 1974) เม็ดตะกอนมีขนาดทรายปานกลางถึงทรายหยาบมาก (medium to very coarse sand size) การคัดขนาดแย่ถึงปานกลาง (poorly to moderately sorted) ความมนระดับ angular ถึง sub-angular มีองค์ประกอบของแร่ควอตซ์ร้อยละ 27-34 แร่เฟลด์สปาร์ร้อยละ 24-32 และเศษหินร้อยละ 34-45 โดยประมาณ เศษหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษหินอัคนีพุ มีสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้นแบบ dissected arc (Dickinson,1983) (ตัวอย่างหินทรายสีเทาเขียว NB.33 คลองโป่งน้ำร้อน **ภาพที่ 6.2** และบริเวณอื่นๆในหน่วยหินบ้านหนองบอน **ภาพที่ 6.3**)

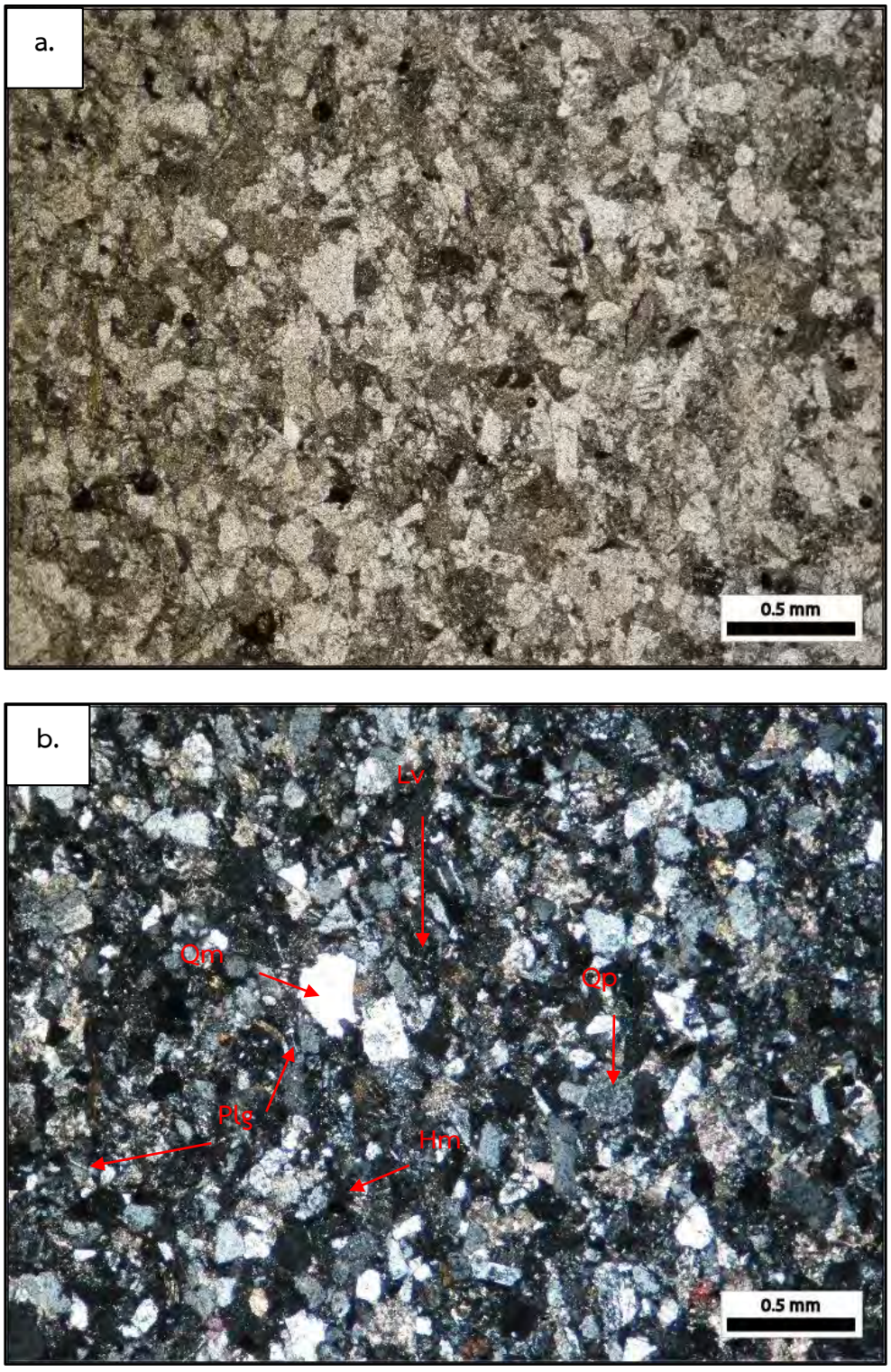
- หินทรายหมวดหินโป่งน้ำร้อน (2 ตัวอย่าง โดยผู้เขียน)

  เป็นหินทรายประเภท feldspathic litharenite (Folk, 1974) เม็ดตะกอนขนาดทรายปานกลาง (medium sand size) การคัดขนาดแย่ (poorly sorted) ความมนระดับ angular มีแร่ควอตซ์ร้อยละ 30-35 แร่เฟลด์สปาร์ร้อยละ 25-30 และเศษหินร้อยละ 35-40 โดยประมาณ เศษหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินอัคนีพุ มีสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้นแบบ dissected arc (Dickinson,1983) (**ภาพที่ 6.4**)

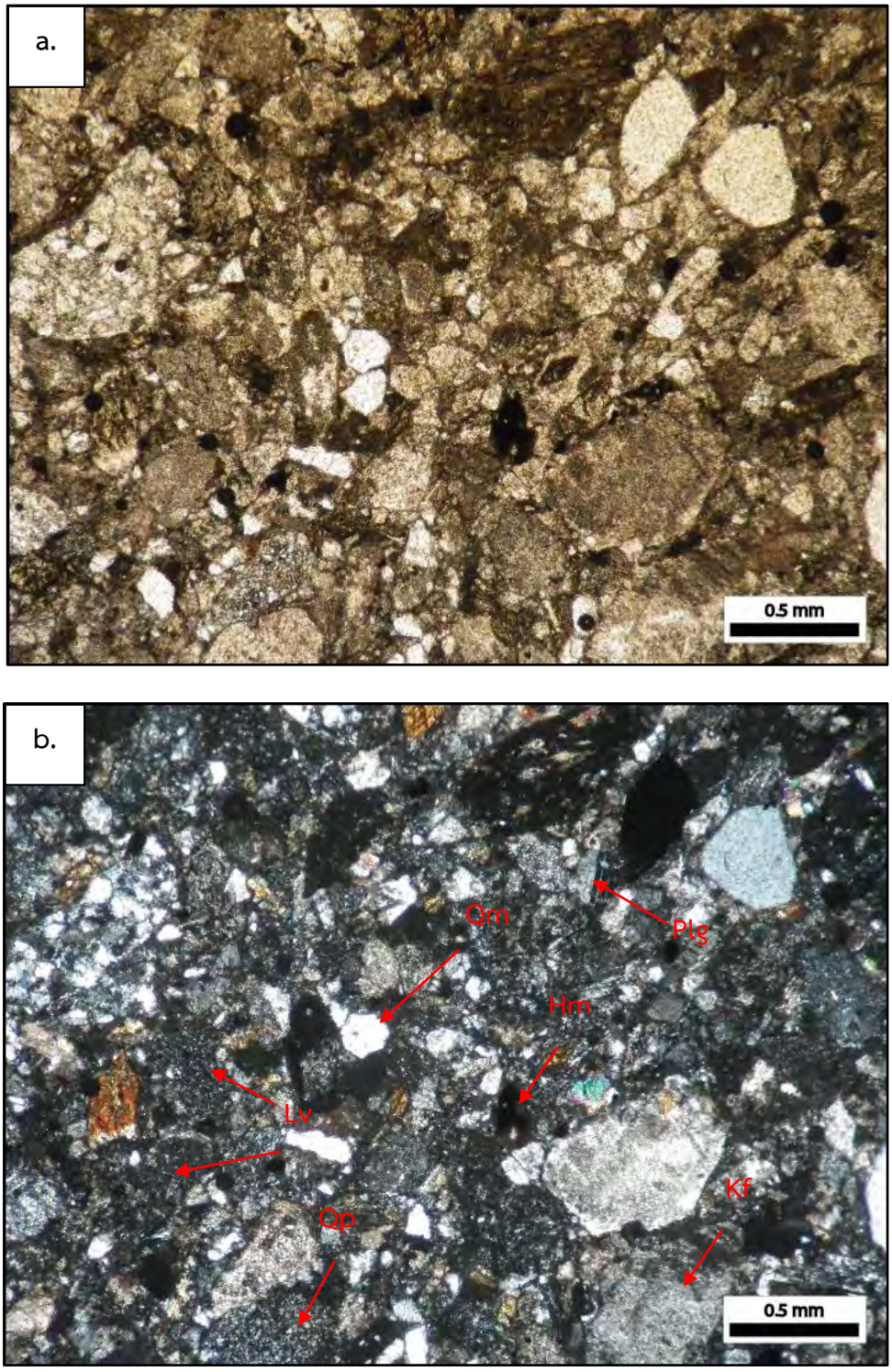
โดยผลการวิเคราะห์แร่องค์ประกอบหลักของตัวอย่างหินทั้งหมดจะแสดงใน **ตารางที่ 4** ผลการวิเคราะห์ประเภทของหินทรายโดย QRF diagram ของ Folk (1974) และผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้นโดย Qm-F-Lt diagram with tectonic fields (Dickinson, 1983) จะแสดงใน **ภาพที่ 6.5** และ **ภาพที่ 6.6** ตามลำดับ



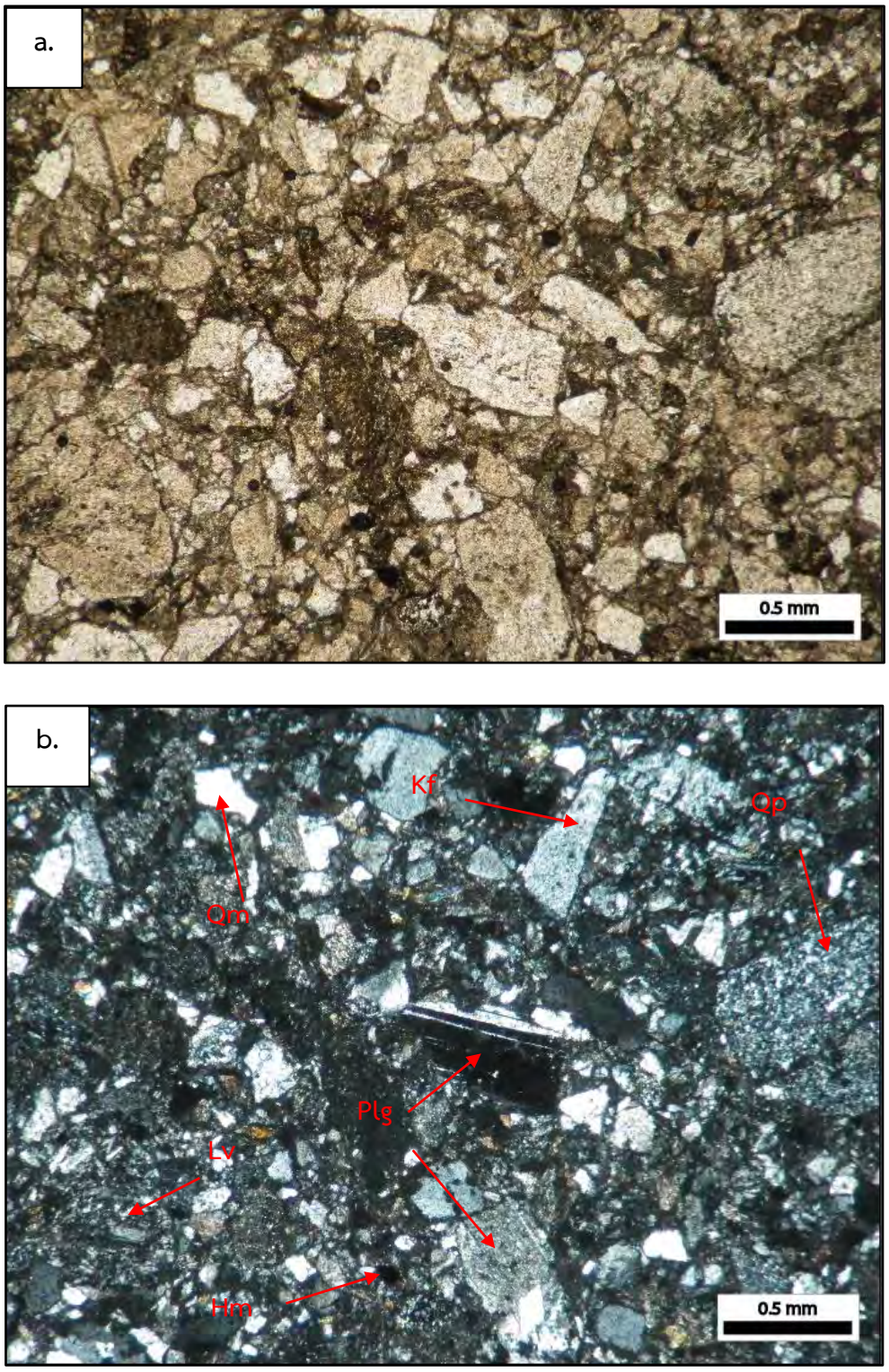
ภาพที่ 6.1 ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างบล็อกหินทรายในมิลานจ์หินดินดาน NB.1-4 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL (Qm: Quartz monocrystalline, Qp: Quartz polycrystalline, Kf: K-feldspar, Plg: Plagioclase, Lp: Plutonic fragment, Lv: Volcanic fragment, Hm: Heavy mineral)



ภาพที่ 6.2 ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างหินทรายสีเทาเขียว ณ คลองโป่งน้ำร้อน NB.33-1 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL (Qm: Quartz monocrystalline, Qp: Quartz polycrystalline, Kf: K-feldspar, Plg: Plagioclase, Lp: Plutonic fragment, Lv: Volcanic fragment, Hm: Heavy mineral)



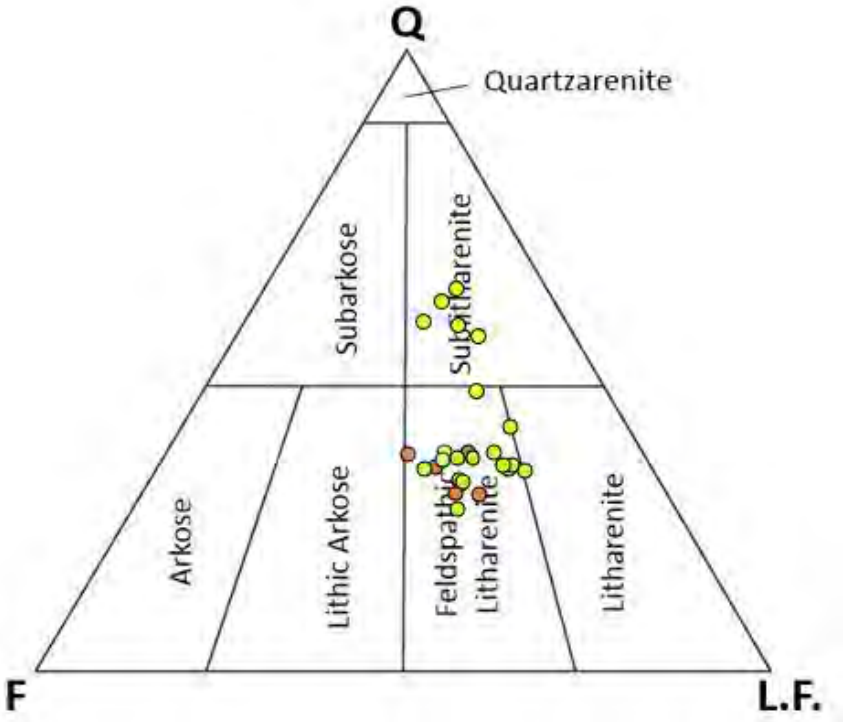
ภาพที่ 6.3 ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างหินทรายสีเทาเขียว ณ บริเวณอื่นๆในหน่วยหินบ้านหนองบอน NB.9 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL (Qm: Quartz monocrystalline, Qp: Quartz polycrystalline, Kf: K-feldspar, Plg: Plagioclase, Lp: Plutonic fragment, Lv: Volcanic fragment, Hm: Heavy mineral)



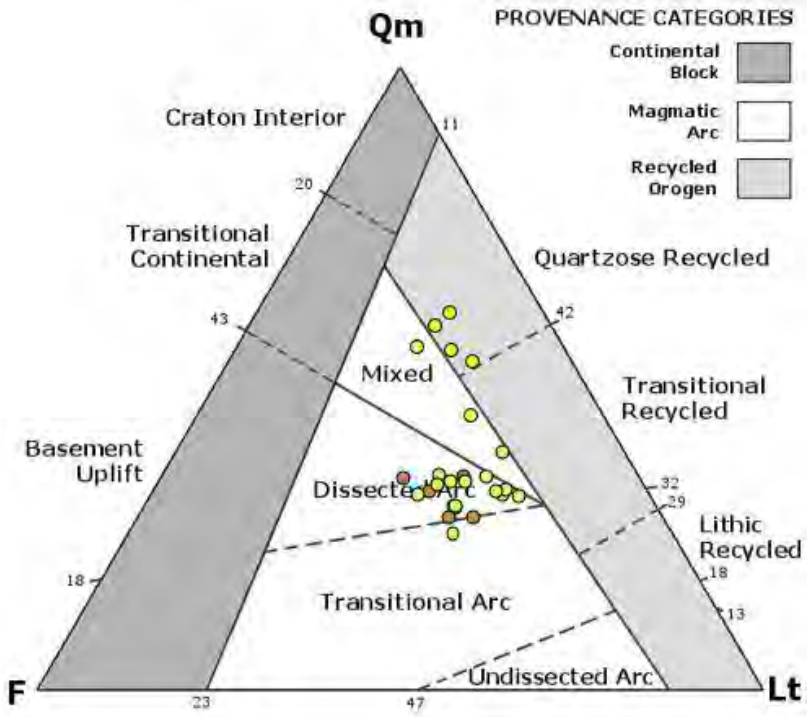
ภาพที่ 6.4 ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง ของตัวอย่างหินทรายหมวดหินโป่งน้ำร้อน ณ คลองโป่งโรงเซ็น PNR.1 โดย ภาพ a.) PPL และ ภาพ b.) XPL (Qm: Quartz monocrystalline, Qp: Quartz polycrystalline, Kf: K-feldspar, Plg: Plagioclase, Lp: Plutonic fragment, Lv: Volcanic fragment, Hm: Heavy mineral)

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์แร่องค์ประกอบหลักของหินทราย

Sample	Quartz		Feldspar		Lithic fragment				Matrix	HM	Counts	Qm-F-Lt (%)			Sandstone type (Folk, 1974)
	Qm	Qp	Kf	Pl	Lv	Lp	Ls	Lm				Qm	F	Lt	
Sandstone block in mélange outcrop in Ban Nong Bon unit															
NB 1-4	236	45	62	22	10	51	0	0	64	10	500	55.40	19.72	24.88	Sublitharenite
NB 1-5	247	48	43	23	3	56	1	0	66	13	500	58.67	15.68	25.65	Sublitharenite
NB 1-8	265	73	38	17	4	38	1	0	57	7	500	60.78	12.61	26.61	Sublitharenite
NB 1-9	227	62	25	33	15	63	4	0	48	23	500	52.91	13.52	33.57	Sublitharenite
NB 18-3	175	81	48	24	4	65	0	0	98	5	500	44.08	18.14	37.78	Feldspathic litharenite
NB 18-4	228	65	40	24	7	52	0	0	75	9	500	54.81	15.38	29.81	Sublitharenite
Greenish to grayish sandstone in Ban Nong Bon unit															
NB 6	121	47	23	72	93	19	6	0	57	48	500	34.18	24.05	41.77	Feldspathic litharenite
NB 9	114	35	19	89	123	24	11	0	41	34	500	27.82	25.41	45.41	Feldspathic litharenite
NB 26	130	31	27	95	107	14	5	0	49	42	500	31.78	29.83	38.39	Feldspathic litharenite
NB 33.1	120	36	32	82	98	31	13	0	51	37	500	29.13	27.67	43.20	Feldspathic litharenite
NB 33.2	107	31	21	93	106	22	9	0	47	64	500	27.51	29.31	43.19	Feldspathic litharenite
NB 33.3	139	24	29	104	99	11	4	0	39	51	500	33.90	32.44	33.66	Feldspathic litharenite
Sandstone Pong Nam Ron Formation															
PNR 1	132	38	31	102	95	17	6	0	35	44	500	31.35	31.59	37.05	Feldspathic litharenite
PNR 2	148	51	25	92	87	20	7	0	41	29	500	34.42	27.21	38.37	Feldspathic litharenite



ภาพที่ 6.5 ผลการวิเคราะห์ประเภทของหินทรายแต่ละชนิดโดยการพล็อตปริมาณแร่องค์ประกอบหลักใน QRF diagram (Folk, 1974)



ภาพที่ 6.6 ผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้นของหินทรายแต่ละชนิดโดยการพล็อตปริมาณแร่องค์ประกอบหลักใน Qm-F-Lt diagram with tectonic fields (Dickinson, 1983)

- บล็อกหินทรายในหินโผล่มิลานจ์หินดินดาน
- หินทรายสีเทาเขียว หน่วยหินบ้านหนองบอน
- หินทรายหมวดหินโป่งน้ำร้อน (โดยผู้เขียน และอ้างอิงจาก อรนนท์ งามนิธิพร (2556))

อภิปรายผล

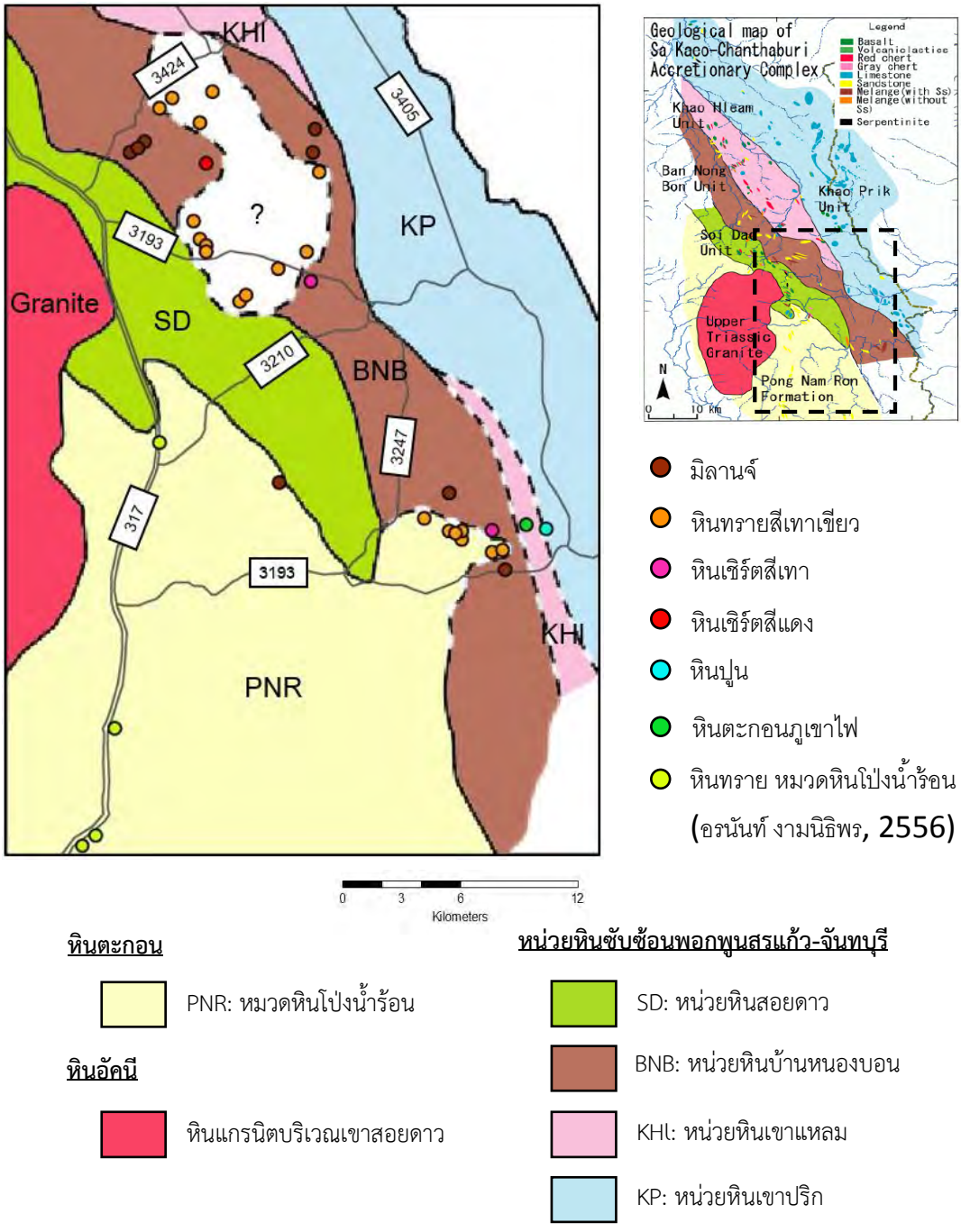
จากผลการศึกษาลักษณะและปริมาณแร่องค์ประกอบหลักของหินทราย เพื่อวิเคราะห์ประเภทของหินทรายและสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานของหินตั้งต้น พบว่า

- หินทรายทั้ง 2 ชนิดที่พบในหน่วยหินบ้านหนองบอน ได้แก่ บล็อกหินทรายในหินโผล่มิลานจ์หินดินดานและหินทรายสีเทาเขียว มีลักษณะเนื้อหินและแร่องค์ประกอบหลักแตกต่างกัน
    - บล็อกหินทรายในหินโผล่มิลานจ์หินดินดานเป็นหินทรายประเภท sublitharenite ซึ่งมีปริมาณแร่ควอตซ์เป็นหลัก และมีหินตั้งต้นอยู่ในสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานแบบ quartzose recycled
    - หินทรายสีเทาเขียวเป็นประเภท feldspathic litharenite ซึ่งมีปริมาณเศษหินเป็นหลักและมีหินตั้งต้นอยู่ในสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานแบบ dissected arc
- หินทรายสีเทาเขียวในหน่วยหินบ้านหนองบอน มีลักษณะเนื้อหินและปริมาณแร่องค์ประกอบหลักของหินทรายคล้ายคลึงกับหินทรายหมวดหินโป่งน้ำร้อนที่ทางผู้เขียนได้ศึกษา และอ้างอิงจากการศึกษาของ อรนันท์ งามนิธิพร (2556)
- ทั้งนี้ การเปรียบเทียบลักษณะเนื้อหินและปริมาณแร่องค์ประกอบหลักของหินทรายแต่ละชนิดเป็นการเปรียบเทียบด้วยหินทรายที่มีขนาดตะกอนแตกต่างกันในช่วงขนาดทรายละเอียดถึงหยาบ (fine sand to coarse sand) ซึ่งขนาดของเม็ดตะกอนรวมถึงสภาพความผุกร่อนของตัวอย่างหิน อาจส่งผลต่อปริมาณแร่องค์ประกอบหลักของหินทรายแต่ละประเภทนี้ได้

ข้อสันนิษฐาน

จากข้ออภิปรายผลการศึกษาตามที่ผู้เขียนได้กล่าวไว้ข้างต้น ผู้เขียนสันนิษฐานว่าหินทรายสีเทาเขียว ณ บริเวณคลองโป่งน้ำร้อน เป็นหินทรายหมวดหินโป่งน้ำร้อนตามที่ Sone et al. (2012) ได้นำเสนอไว้ ซึ่งแตกต่างจากบล็อกหินทรายในมิลานจ์หินดินดาน รวมถึงลักษณะของมิลานจ์หินดินดานของพื้นที่ศึกษาในหน่วยหินบ้านหนองบอนที่ได้รับการพิสูจน์โดยผู้เขียนแล้ว ดังนั้น ผู้เขียนเห็นด้วยกับการแยกตัวของหน่วยหินบ้านหนองบอนออกจากหมวดหินโป่งน้ำร้อนตามที่ Chutakositkanon and Hisada (2008) ได้นำเสนอไว้ เพียงแต่พื้นที่บริเวณคลองโป่งน้ำร้อนยังคงจัดเป็นส่วนหนึ่งของหมวดหินโป่งน้ำร้อน คาดว่ามีความสัมพันธ์แบบวางตัวปิดทับอยู่เหนือหน่วยหินบ้านหนองบอน

นอกจากนี้ หินทรายสีเทาเขียวซึ่งไม่แสดงลักษณะเป็นบล็อกหินในมิลานจ์หินดินดานที่ปรากฏอยู่ในหน่วยหินบ้านหนองบอน ณ บริเวณอื่นๆ สันนิษฐานว่าเป็นหินทรายที่วางตัวปิดทับอยู่เหนือหน่วยหินบ้านหนองบอนเช่นกัน แต่ไม่สามารถสรุปได้ว่าเป็นหินทรายของหมวดหินโป่งน้ำร้อนหรือไม่ โดยแผนที่ธรณีวิทยาบางส่วนของหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรีซึ่งผู้เขียนได้ทำการศึกษาและตั้งข้อสันนิษฐานไว้จะแสดงใน **ภาพที่** 6.7



ภาพที่ 6.7 แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณแสดงบางส่วนของหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี ตามข้อสันนิษฐานของผู้เขียน

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี, 2519. แผนที่ธรณีวิทยาระวางจังหวัดจันทบุรี (ND 48-13), กรุงเทพมหานคร: กองธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี.

กรมทรัพยากรธรณี, 2522. แผนที่ธรณีวิทยาระวางพระตะบอง (ND 48-9), กรุงเทพมหานคร: กองธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี.

กรมทรัพยากรธรณี, 2554. การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดจันทบุรี, กรุงเทพมหานคร: กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 111 หน้า.

อรนันท์ งามนิธิพร, 2556. ศิลาวรรณนาและธรณีเคมีของหินตะกอนเนื้อประสมในหมวดหินโป่งน้ำร้อน. โครงงานวิทยาศาสตร์บัณฑิต, ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Bunopas, S., 1982. Paleogeographic History of Wastern Thailand and Adjacent Parts of Southeast Asia: A Plate Tectonics Interpretation, Geological Survey Paper No. 5. Geological Survey Division, Department of Mineral Resources, Thailand, 810 p.

Chaodumrong, P., 1992. Report of investigation-contunuation of the geologic rock units among the 1:250,000 scale geological maps of the Eastern Thailand. Report of Investigation no.187, Geological Survey Division, Department of Mineral Resources, Ministry of Industry, Bangkok, Thailand.

Chaodumrong, P., Salyapongse, S., Sarapirome, S. and Palang, P., 2002. Geology of SW Khorat Plateau and eastern Thailand. In: Post-Symposium Excursion Guidebook of Symposium on Geology of Thailand. Department of Mineral Resources, Ministry of Industry, Bangkok, Thailand.

Charusiri, P., Pongsapith, W., Daorerk, V. and Charusiri, P., 1992. Anatomy of Chantaburi granitoids: geochronology, petrochemistry, tectonics, and associated mineralization. In: Piancharoen, C. (Ed.). Proceeding of the National Conference of Geologic Resources of Thailand: Potential for Future Development. Department of Mineral Resources, Ministry of Industry, Bangkok, Thailand (1992), pp.383-392.

Chutakositkanon, V., 2004. Detrital chromian spinels from the Sa Kaeo-Chanthaburi accretionary complex, eastern Thailand: tectonic evolution of the Western margin of Indochina, Unpublished PhD. Dissertation, the University of Tsukuba, Japan.

Chutakositkanon, V., Charoentitirat, T., Charusiri, P. and Hisada, K., 2004. Sa Kaeo-Chanthaburi accretionary complex, eastern Thailand: tectonic evolution of the western margin of Indochina. Field excursion guidebook, International symposium on the geologic evolution of east and southeast Asia-Microcontinental accretion and formation of marginal sea, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 1-50.

Chutakositkanon, V. and Hisada, K., 2008. Tectono-stratigraphy of the Sa Kaeo-Chanthaburi Accretionary Complex, Eastern Thailand: Reconstruction of Tectonic Evolution of Oceanic Plate-Indochina Collision. Proceedings of the International Symposia on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes (GREAT 2008) (2008).

Dickinson, W.R., Beard, L., Brakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.E.X.A., Lindberg, F. and Ryberg, P.T., 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. Bulletin of the Geological Society of American 94: 222-235.

Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W.E. Classification of carbonate rocks. American Association of Petroleum Geologists Memoir 1: 108-121.

Ernst, W.G., 1970. Tectonic contact between the Franciscan mélange and Great Valley sequence-crustal expression of a late Mesozoic Benioff zone. Journal of Gephysical Research 75: 886-901.

Festa, A., Pini, G.A., Dilek, Y. and Codegone, G., 2010. Mélange and mélange-forming processes: a historical overview and new concepts. International Geology Review Vol.52 (2010): 1040-1105.

Festa, A., Dilek, Y., Pini, G.A., Codegone, G., and Ogata, K., 2012. Mechanisms and processes of stratal disruption and mixing in the development of mélange and broken formations: Redefining and classifying mélange. Tectonophysics 568-569 (2012): 7-24.

Folk, R.L., 1959. Practical petrographic classification of limestones. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 43: 1-38.

Folk, R.L., 1974. Petrology of Sedimentary rocks. Texas: Hemphill.

Hada, S., Bunopas, S., Ishii, K., and Yoshikura, S., 1997. Rift-drift history and the amalgamation of Shan-Thai and Indochina/East Malaya blocks. In P. Dheeradilok and others (eds.). Proceedings of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of Southeast Asia and the South Pacific. Department of Mineral Resources, Ministry of Industry, Bangkok, Thailand (1997), p.273-286.

Hada, S., Bunopas, S., Ishii, K., and Yoshikura, S., 1997. Rift-drift history and the amalgamation of Shan-Thai and Indochina/East Malaya blocks. In I. Metcalf (ed.), Gondwana Dispersion and Asian Accretion (2013): 67-87.

Hamilton, W., 1969. Mesozoic California and the underflow of Pacific mantle. Geological Society of America Bulletin 80: 2409-2430.

Hara, H., Chutakositkanon, V., Hisada, K., and Charusiri, P., 2006. Paleo-geothermal structure of the Permo-Triassic accretionary complex in the Sa Kaeo-Chanthaburi area, eastern Thailand: Preliminary result of illite crystallinity analysis. Journal of the Geological Society of Thailand, 2005-2006: 49-56.

Hsü, K.J., 1971. Franciscan mélange as a model for eugeosynclinal sedimentation and underthrusting tectonics. Journal of Geophysical Research 76: 1162-1170.

Kimura, G., Yamaguchi, A., Hojo, M., Kitamura, Y., Kameda, J., Ujiie, K., Hamada, Y., Hamahashi, M. and Hina, S., 2012. Tectonic mélange as fault rock of subduction plate boundary. Tectonophysics 568-569 (2012): 25-38.

Kitamura, Y. and Kimura, G., 2012. Dynamic role of tectonic mélange during interseismic process of plate boundary mega earthquakes. Tectonophysics 568-569 (2012): 39-52.

Le Bas, M.L. and Streckeisen, A.L., 1986. The IUGS systematics of igneous rocks. Journal of the Geological Society, London Vol.148 (1991): 825-833.

Matsuda, T. and Isozaki, Y., 1981. Well-documented travel history of Mesozoic pelagic chert in Japan-from remote ocean to subduction zone. Tectonics 10 (1981): 475-499.

Metcalf, I., 2013. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys. Journal of Asian Earth Sciences 66 (2013): 1-33.

Michael, F.R., 2012. The role of strike-slip fault in the displacement of the Palaeotethys suture zone in Southeast Thailand. Journal of Asian Earth Sciences 51 (2012): 63-84.

Pettijohn, F.J., 1975. Sedimentary rocks, third edition. New York: Harper & Row.

Raymond, L.A., 1984. Classification of mélange. In: Raymond, L.A. (Ed.), Mélanges: Their Nature, Oringin and Significance, Geological Society of America Special Paper, 198, pp.7-20.

Roser, B.P. and Korsch, R.J., 1986. Determination of tectonic setting os sandstone-mudstone suites using SiO_2 content and K_2O/Na_2O ratio. The Journal of Geology 94: 635-650.

Saesaengseerung, D., Agematsu, S., Sashida, K., and Sardsud, A., 2009. Discovery of Lower Permian radiolarian and conodont faunas from the bedded chert of the Chanthaburi area along the Sra Kaeo suture zone, eastern Thailand. Paleontological Research 13: 119-138.

Salyapongse, S., Fontaine, H., Putthapiban, P., and Lamiuan, A., 1997. Geology of the Eastern Thailand (Route no.1). Guidebook for Excursion of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of Southeast Asia and the South Pacific. 22-24 August 1997, Bangkok, Thailand: Department of Mineral Resources, Ministry of Industry.

Sashida, K., Adachi, S., Igo, H., Nakornsri, N., and Ampornmaha, A., 1997. Middle to upper Permian and middle Triassic radiolarians from eastern Thailand. Science Reports of the University of Tsukuba Institute of Geoscience Section B: Geological Science 18: 1-17.

Sone, M., Metcalf, I. and Chaodumrong, P., 2012. The Chanthaburi terrane of southeastern Thailand: Stratigraphic confirmation as a disrupted segment of the Sukhothai Arc. Journal of Asian Earth Sciences 61 (2012): 16-32.

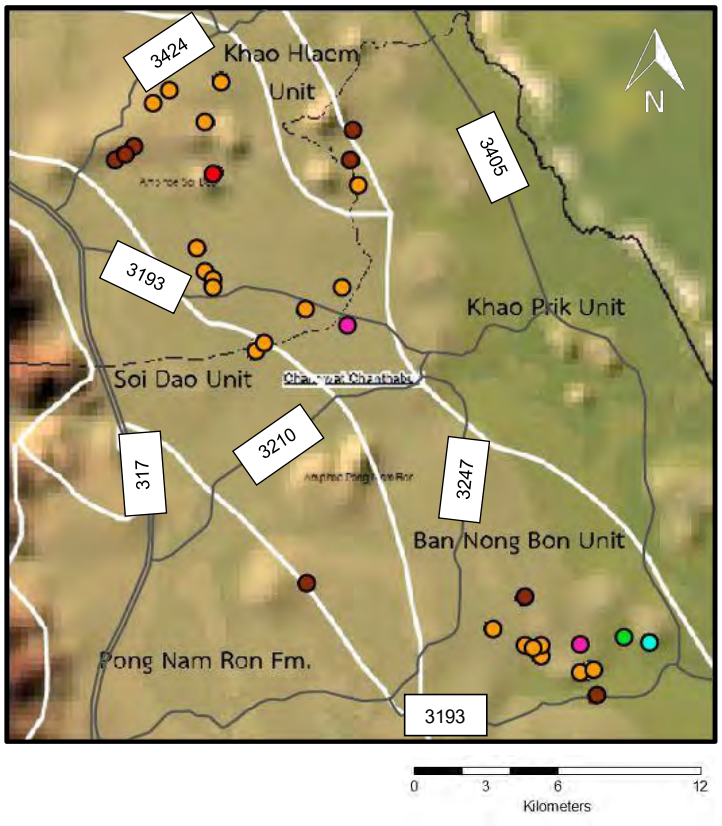
Taira, A., Katto, M., Olamura, M., and Kodama, K., 1988. The Shimanto Belt in Shikoku, Japan evolution of Cretaceous to Miocene accretionary prism. Modern Geology 12: 5-46

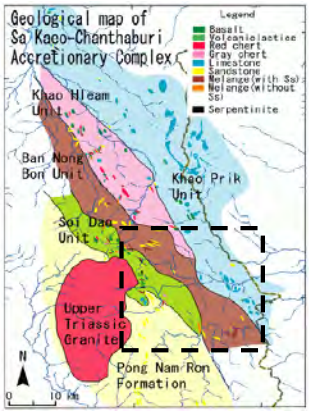
Ueno, K., and Charoentitirat, T., 2011. Carboniferous and Permian, Chapter 6. In: Ridd, M.F., Barber, A.J., and Crow, M.J. The Geology of Thailand. Geological Society, London: 71-136.

ภาคผนวก 1

พิกัด UTM และตำแหน่งหินโผล่ในหน่วยหินบ้านหนองบอนจากการออกภาคสนาม

(อ้างอิงขอบเขตของหน่วยหินโดย Chutakositkanon and Hisada, 2008)





- มิลานจ์
- หินทรายสีเทาเขียว
- หินเชิร์ตสีเทา
- หินเชิร์ตสีแดง
- หินปูน
- หินตะกอนภูเขาไฟ
- หินทราย หมวดหินโป่งน้ำร้อน (นอกกรอบแผนที่)

จุดศึกษา	สถานที่	พิกัด UTM			ชนิดหิน
1	กิโลเมตรที่ 21+200, เส้นทางหลวง 3193	48P	0222387	1429683	มิลานจ์
2	โรงงานชัยเจริญผล ทางหลวง 3193	48P	0213061	1444474	เชิร์ตสีเทา
3	บ้านสำโรง ทางหลวง 3193	48P	0211386	1445081	หินทรายสีเทาเขียว
4	บ้านสำโรงล่าง ทางหลวง 3193	48P	0209603	1443873	หินทรายสีเทาเขียว
5	บ้านสำโรงล่าง ทางหลวง 3193	48P	0209363	1443555	หินทรายสีเทาเขียว
6	เส้นทางเชื่อมทางหลวง 3193-บ้านวังยาว	48P	0207820	1446169	หินทรายสีเทาเขียว

จุดศึกษา	สถานที่	พิกัด UTM			ชนิดหิน
7	เส้นทางเชื่อมทางหลวง 3193-บ้านวังยาว	48P	0207750	1446421	หินทรายสีเทาเขียว
8	เส้นทางเชื่อมทางหลวง 3193-บ้านวังยาว	48P	0207650	1446682	หินทรายสีเทาเขียว
9	คลองบ้านวังยาว	48P	0207339	1447609	หินทรายสีเทาเขียว
10	บริเวณบ้านวังยาว	48P	0297756	1448967	หินทรายสีเทาเขียว
11	เชิงเขากันช่องสะเว็ด ที่พักสงฆ์ บ.คลองน้อย	48P	0208071	1450583	เชิร์ตสีแดง
12	เส้นทางระหว่างเขากั้นตุง	48P	0207804	1452588	หินทรายสีเทาเขียว
13	บ้านสะตอน ทางหลวงหมายเลข 3424	48P	0208352	1454297	หินทรายสีเทาเขียว
14	บ้านป่าข้าวโพด ทางหลวงหมายเลข 3424	48P	0206338	1453828	หินทรายสีเทาเขียว
15	บ้านป่าข้าวโพด ทางหลวงหมายเลข 3424	48P	0205695	1453430	หินทรายสีเทาเขียว
16	บริเวณเขาสะแตง ทางหลวงหมายเลข 3424	48P	0204792	1451615	มิลานจ์
17	บริเวณเขาสะแตง ทางหลวงหมายเลข 3424	48P	0204702	1451497	มิลานจ์
18	บริเวณเขาสะแตง ทางหลวงหมายเลข 3424	48P	0204356	1451356	มิลานจ์
19	เส้นทางย่อยภายในบ้านสำโรงบน	48P	0212911	1446023	หินทรายสีเทาเขียว
20	เส้นทางย่อยภายในบ้านสำโรงบน	48P	0213620	1450087	หินทรายสีเทาเขียว
21	เส้นทางย่อยภายในบ้านสำโรงบน	48P	0213451	1450949	มิลานจ์
22	เส้นทางย่อยภายในบ้านซับตาเมา	48P	0213508	1452140	มิลานจ์
23	เส้นทางย่อยภายในบ้านหนองบอน	48P	0211190	1434410	มิลานจ์
24	ทางเชื่อมบ้านหนองบอน-ทางหลวง 3247	48P	0220348	1431626	หินทรายสีเทาเขียว
25	เชิงเขาหนองบอน	48P	0220251	1431387	หินทรายสีเทาเขียว
26	เส้นทางย่อยภายในบ้านหนองบอน	48P	0219975	1431688	หินทรายสีเทาเขียว
27	บ่อขยะ ก่อนป้ายเทศบาง ต.คลองใหญ่	48P	0219825	1431773	หินทรายสีเทาเขียว
28	เชิงเขาตากุก	48P	0218416	1432522	หินทรายสีเทาเขียว
29	เส้นทางย่อยภายในบ้านหนองบอน	48P	0219675	1433678	มิลานจ์
30	เส้นทางย่อยภายในบ้านหนองบอน	48P	0221946	1431798	เชิร์ตสีเทา
31	เชิงเขาปะเป๊าะ บ.หนองบอน-บ.น้ำทรัพย์	48P	0223601	1432068	หินตะกอนภูเขาไฟ

จุดศึกษา	สถานที่	พิกัด UTM	ชนิดหิน
32	เส้นทางย่อยภายในบ้านหนองบอน	48P 0224567 1431837	หินปูน
33	คลองโป่งน้ำร้อน บ้านหนองบอน	48P 0222120 1430652	หินทรายสีเทาเขียว
34	ศาลากลางน้ำ โรงเรียนบ้านหนองบอน	48P 0222224 1430849	หินทรายสีเทาเขียว?
PNR.1	สะพานข้ามคลองโป่งโรงเซ็น	48P 0201924 1415649	หินทราย หมวดหินโป่งน้ำร้อน

ภาคผนวก 2

ข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยาจากการสำรวจภาคสนาม

ระนาบรอยเลื่อน (Fault): strike/dip) และเส้นรอยเลื่อน (Slickenline): trend/plunge

Fault	Slickenline	Fault	Slickenline	Fault	Slickenline	Fault	Slickenline
333/78	342/37	170/89	-	138/74	192/70	157/79	326/42
195/77	201/24	358/87	-	136/75	314/6	125/62	136/21
194/87	195/13	178/84	356/19	103/82	113/53	162/79	172/43
327/81	345/64	325/87	328/45	152/73	158/19	147/74	-
247/71	63/12	252/84	65/46	143/57	164/29	274/82	-
325/76	-	123/68	295/19	135/74	145/33	68/83	-
226/85	-	105/87	182/87	106/84	200/84	337/87	339/34
323/78	-	263/82	267/28	158/78	325/46	138/84	317/6
257/84	-	36/76	42/25	166/73	170/8	342/83	345/23
158/81	-	168/80	174/28	152/82	330/15	161/78	331/38
154/78	320/49	0/89	0/11	168/77	173/20	165/84	344/4
170/57	329/28	8_88	10/18	186/87	188/21	113/63	170/59
273/78	90/14	246/58	63/4	105/88	106/31	138/72	-
262/83	79/19	284/86	103/10	169/64	174/11	159/83	160/11
140/67	198/64	199/67	-	176/65	182/12	176/79	353/13
175/73	183/23	196/77	13/12	103/76	174/75	145/62	-
123/81	130/38	144/66	151/16	125/76	189/75	153/64	156/6
165/68	341/8	71/67	245/12	166/81	173/36	197/84	201/32
161/77	172/40	290/82	292/9	162/82	166/24	185/78	189/18
184/56	192/12	140/84	319/15	159/88	160/13	144/76	153/32
3_89	183/20	339/80	158/7	165/81	342/19		
156/84	331/42	215/82	220/28	185/60	187/3		
186/67	204/36	78/76	186/76	184/82	188/24		

ริ้วขนานของหินพื้นดินดาน (shale foliation): strike/dip

198/88	187/88	208/87	185/87	8/82	12/86
175/77	4/78	186/73	201/75	183/69	22/86
209/76	21/88	3_87	198/86	232/87	189/78
195/83	6/76	340/88	187/71	222/78	212/88
184/86	178/89	188/87	203/87	194/87	182/87
196/81	185/86	197/88	200/82	183/85	7/83
7_67	187/85	201/79	186/85	195/87	18/86
195/72	3/89	6/81	3/77	189/83	197/76
204/86	193/87	25/86	198/87	204/81	199/87
201/83	186/84	14/83	215/83	207/ 80	
195/88	197/88	23/88	205/84	205/84	

การวางตัวของบล็อกหิน (แกนยาว): trend

200	2	182	187	185	177
193	354	198	190	184	183
197	185	357	197	167	207
6	187	4	182	184	210
168	161	176	193	185	166
176	203	180	179	213	109
171	197	174	192	215	212
157	197	204			

สายแร่ในบล็อกหิน (Vein in block): strike/dip

87/61	83/67	72/49	92/50	93/59	84/67
80/84	89/75	84/43	87/86	58/57	102/61
72/47	83/57	123/52	67/41	107/54	86/64
84/76	76/65	59/65	84/62	73/57	79/65
76/75	97/76	104/63	287/83		