



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ ธรณีวิทยาโครงสร้างของหินปูนยุคเพอร์เมียน บริเวณเขาถ้ำงูเห่าล้อม
อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

ชื่อนิสิต นายธนพ ศิริพัฒนานนุรักษ์

ภาควิชา ธรณีวิทยา

ปีการศึกษา 2558

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธรณีวิทยาโครงสร้างของหินปูนยุคเพอร์เมียน บริเวณเขาถ้ำเกลือ
อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

นายธนพ ศิริวัฒนานุรักษ์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558

STRUCTURAL GEOLOGY OF PERMIAN LIMESTONE AT KHAO THAM NGULUEAM AMPHOE
PAK CHONG, CHANGWAT NAKHON RATCHASIMA

Mr.THANOP SIRIWATTANANURUK

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 2015

วันที่ส่ง

____/____/____

วันที่อนุมัติ

____/____/____

ลงชื่อ _____

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐาสินี เจริญฐิติรัตน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ลงชื่อ _____

(อาจารย์ ดร.สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม

หัวข้องานวิจัย:	ธรณีวิทยาโครงสร้างของหินปูนยุคเพอร์เมียน บริเวณเขาถ้ำงูเหลือม อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา
นิสิตผู้ทำการวิจัย:	นายธนพ ศิริวัฒนานุรักษ์
ภาควิชา:	ธรณีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา:	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐาสินี เจริญจิตรีรัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม:	อาจารย์ ดร.สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล
ปีการศึกษา:	2558

บทคัดย่อ

หินปูนบริเวณจังหวัดสระบุรีและอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมาถือได้ว่าเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญต่ออุตสาหกรรมก่อสร้างของประเทศไทย โดยหินปูนในพื้นที่ดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของลานเขาขวาง (Khao Khwang Platform) ซึ่งมีโครงสร้างทางธรณีวิทยาหลักเป็นรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำวางตัวในแนวตะวันออก-ตะวันตก อันเป็นผลจากการชนกันของแผ่นอนุทวีปไซบุมาสู (Sibumasu Plate) กับแผ่นอนุทวีปอินโดจีน (Indochina Plate) ในช่วงยุคไทรแอสสิกตอนต้น (Early Triassic) การศึกษานี้ได้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินปูนยุคเพอร์เมียน บริเวณเขาถ้ำงูเหลือม อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา เพื่อนำไปสู่การสร้างแบบจำลองวิวัฒนาการ แสดงกลไกและความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างธรณีวิทยาในพื้นที่ลานเขาขวาง จากการศึกษาในภาคสนามพบหินปูน 2 ลักษณะ ได้แก่ หินปูนชั้นหนา 50 เซนติเมตร ถึง 2 เมตร และ หินปูนชั้นบาง 20 ถึง 50 เซนติเมตร ที่มีหินดินดานแทรกสลับ ในส่วนของโครงสร้างธรณีที่พบ ประกอบด้วย ชั้นหินคดโค้งปลายรอยเลื่อน (fault propagation fold) โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และพบรอยเลื่อนที่มีลักษณะการเลื่อนตัวทั้งในแนวระดับและในแนวตั้ง อันเป็นผลมาจากแรงทางธรณีแปรสัณฐานที่เข้ามากระทำกับชั้นหินในช่วงเวลาของการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน (Indosinian Orogeny) ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงยุคไทรแอสสิกตอนต้นถึงตอนปลาย นอกจากนี้รอยแตกที่พบยังสะท้อนให้เห็นถึงผลของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างธรณีวิทยาตามทิศทางของแนวแรงที่เข้ามากระทำ ในส่วนของบรรพชีวินวิทยา พบซากดึกดำบรรพ์ ฟอสซิลินิด แบคทีเรียพอด ปะการัง และสาหร่าย ที่แสดงถึงสภาพแวดล้อมการสะสมตัวแบบทะเลน้ำตื้นบริเวณแนวปะการัง

คำสำคัญ: ลานเขาขวาง หินปูนยุคเพอร์เมียน โครงสร้างทางธรณีวิทยา การก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน

Project title: Structural Geology of Permian limestone at Khao Tham Ngulueam, Amphoe Pak Chong, Changwat Nakhon Ratchasima

Reseacher: Mr.Thanop Siriwattananuruk

Department: Geology

Advisor: Assist. Prof. Dr.Thasinee Charoentitirat

Co-advisor: Dr. Sukonmeth Jitmahantakul

Acadermic Year: 2015

Abstract

Limestone in Saraburi-Pak Chong, Nakhon Ratchasima is an important raw material for construction industry of Thailand. This area is a part of Khao Khwang Platform which have been deformed since the collision between Sibumasu Plate and Indochina Plate during Early Triassic. This study focuses on structural geology of the Permian limestone at Khao Tham Ngulueam in order to construct an evolutionary model presenting deformation history of Khao Khwang Platform. According to field study, two types of limestone have been classified base on their thickness; (1) thick limestone and (2) thin limestone interbedded with shale. Fault propagation fold found in the study area indicates tectonic transportation from southeast to northwest. In addition, there is a lot of fault that moved both vertical and horizontal by tectonic force which related to Indosinian Orogeny from Early Triassic to Late Triassic. Moreover, variation of fracture orientation suggests difference force direction. Fusulinid, Brachiopod, Coral and Algae indicate shallow marine environment.

Key words: Khao Khwang Platform, Permian limestone, Structural Geology and Indosinian Orogeny

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในการเป็นแหล่งเรียนรู้และสร้างประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องกับศาสตร์ทางด้านธรณีวิทยา รวมไปถึงการเป็นแหล่งค้นคว้าและวิจัยที่มีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่หลากหลาย โดยเฉพาะอุปกรณ์ในการออกภาคสนาม เช่น ค้อนธรณีและเข็มทิศ ซึ่งเป็นแหล่งที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ด้วย

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐาสินี เจริญรัฐรัตน์ และอาจารย์ ดร.สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล ผู้ซึ่งคอยดูแล ให้ความรู้ และเป็นทีปรึกษาตลอดเวลาของการจัดทำงานวิจัยในครั้งนี้

นอกจากนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รุ่นที่ 56 ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจของการจัดทำโครงการในครั้งนี้ และขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกคน ที่ช่วยให้การศึกษานี้ประสบผลลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 พื้นที่ศึกษา	1
1.3 นิยามปัญหา	4
1.4 วัตถุประสงค์	4
1.5 สมมติฐาน	4
1.6 ขอบเขตการศึกษา	4
1.7 ระยะเวลาการดำเนินงาน	4
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.9 โครงสร้างรายงาน	5
บทที่ 2 ธรณีวิทยาทั่วไป	6
2.1 ธรณีวิทยาทั่วไปของประเทศไทย	6
2.2 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	12
2.3 ธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	12
2.4 ลำดับชั้นหินของพื้นที่ศึกษา	13
2.5 โครงสร้างธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	14
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	15
3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูล	15
3.2 การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลจากการออกภาคสนาม	15
3.3 การศึกษาในห้องปฏิบัติการ	18
3.4 การวิเคราะห์และอภิปรายผล	20
3.5 การสรุปผลการศึกษา	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษา	21
4.1 วิทยาทิน	21
4.1.1 หินตะกอนคาร์บอนเนต	21
4.1.2 หินอัคนีภูเขาไฟ	28
4.2 การลำดับชั้นหิน	28
4.3 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	31
4.3.1 การวางตัวของระนาบชั้นหิน	31
4.3.2 โครงสร้างชั้นหินคดโค้ง	31
4.3.3 โครงสร้างรอยเลื่อน	35
4.3.4 โครงสร้างรอยแตก	43
บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา	48
5.1 วิทยาทินและการลำดับชั้นหิน	48
5.2 โครงสร้างทางธรณีวิทยา	48
5.2.1 การเกิดชั้นหินคดโค้ง	48
5.2.2 การเกิดโครงสร้างรอยเลื่อน	50
5.2.3 การเกิดโครงสร้างรอยแตก	50
5.3 วิวัฒนาการการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	51
5.4 ประเด็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้	54
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา	55
6.1 ผลการศึกษา	55
6.2 ปัญหาและอุปสรรค	56
เอกสารอ้างอิง	57

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 1.1	แผนที่แสดงตำแหน่งของพื้นที่ศึกษา บริเวณเหมืองหินปูน อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา	2
รูปที่ 1.2	แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาบริเวณเหมืองหินปูน อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา	3
รูปที่ 2.1	กรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงยุคจูแรสซิก	7
รูปที่ 2.2	แผนที่แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกและทิศทางของแรงที่เกิดจากกรณีแปรสัณฐานบริเวณทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้	10
รูปที่ 3.1	แผนผังการลำดับขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาวิจัย 5 ขั้นตอน	16
รูปที่ 3.2	การแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นบริเวณย่อย 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณ A บริเวณ B และบริเวณ C	17
รูปที่ 4.1	หินโผล่ที่ประกอบด้วยหินปูนชั้นหนาและมีชั้นการสะสมตัวประมาณ 80 เซนติเมตร	22
รูปที่ 4.2	หินโผล่ที่ประกอบด้วยหินปูนชั้นหนาและมีชั้นการสะสมตัวประมาณ 80 เซนติเมตร	22
รูปที่ 4.3	การศึกษาองค์ประกอบภายในจากแผ่นหินขัดบางของหินปูนที่มีการสะสมตัวเป็นชั้นหนาผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ	23
รูปที่ 4.4	หินโผล่ที่ประกอบด้วยหินปูนชั้นบางถึงหนาปานกลางและมีชั้นหินดินดานแทรกสลับ	24
รูปที่ 4.5	หินโผล่ที่ประกอบด้วยหินปูนชั้นบางถึงหนาปานกลางและมีชั้นหินดินดานแทรกสลับ	24
รูปที่ 4.6	การศึกษาองค์ประกอบภายในจากแผ่นหินขัดบางของเนื้อหินปูนชั้นบางถึงหนาปานกลางผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ	25
รูปที่ 4.7	หินโผล่ที่มีหินแอนดิไซต์แทรกอยู่ระหว่างชั้นหิน มีความหนาประมาณ 1.5 เมตร	26
รูปที่ 4.8	หินโผล่ที่มีหินแอนดิไซต์แทรกอยู่ระหว่างชั้นหิน มีความหนาประมาณ 1.5-2 เมตร	26
รูปที่ 4.9	การศึกษาแร่องค์ประกอบภายในของหินจากแผ่นหินขัดบางผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์	27
รูปที่ 4.10	หินโผล่บริเวณทางใต้ของบริเวณ C ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ทำการศึกษาลำดับชั้นหิน	29
รูปที่ 4.11	หินโผล่บริเวณทางใต้ของบริเวณ C ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ทำการศึกษาลำดับชั้นหิน	29
รูปที่ 4.12	แผนภาพสเตอริโอเน็ตแสดงระนาบการวางตัวของชั้นหินปูนบริเวณ A และ B	32
รูปที่ 4.13	แผนภาพสเตอริโอเน็ตแสดงระนาบการวางตัวของชั้นหินปูนบริเวณ C	32
รูปที่ 4.14	หินโผล่ที่มีระนาบการคดโค้งของหินที่มีการเคลื่อนที่เกยทับซ้อนกันไปข้างหน้า	33
รูปที่ 4.15	ชั้นหินคดโค้งที่มีลักษณะเป็นแบบประทุนและประทุนหงายสลับกัน	34
รูปที่ 4.16	แสดงชั้นหินคดโค้งที่มีการโค้งต่อเนื่องต่อไปในทางตอนใต้ของเหมือง	34
รูปที่ 4.17	(a) หินโผล่บริเวณ A ที่มีรอยเลื่อนตัดผ่านชั้นหินจากด้านบนจนถึงพื้นเหมือง (b) การแปลความหมายหินโผล่บริเวณ A	36
รูปที่ 4.18	บริเวณที่มีหลักฐานของแนวรอยครูดที่บ่งบอกได้ว่าเป็นการเลื่อนตัวแบบขวาเข้า	37
รูปที่ 4.19	รอยเลื่อนบริเวณ B ที่มีระนาบการเลื่อนตัว $110^{\circ}/60^{\circ}\text{SW}$ ซึ่งเป็นการเลื่อนตัวแบบขวาเข้า	37

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 4.20	หลักฐานของแนวรอยครูดที่บ่งบอกได้ว่าเป็นการเลื่อนตัวแบบขวาเข้า ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ ระนาบรอยเลื่อนในรูปที่ 4.16	38
รูปที่ 4.21	(a) หินโผล่บริเวณ C ที่มีรอยเลื่อนตัดผ่านทำให้เกิดรอยชั้นไม่ต่อเนื่องของหินปูนสองชนิด (b) การแปลความหมายหินโผล่บริเวณ C	39-40
รูปที่ 4.22	แผนภาพสเตอริโอเน็ตแสดงระนาบรอยเลื่อนบริเวณ C โดยมีระนาบการเลื่อนตัวอยู่ในทิศ ตะวันออก-ตะวันตก	41
รูปที่ 4.23	แนวรอยครูดที่มีลักษณะคล้ายชั้นบันได บ่งบอกว่ารอยเลื่อนบริเวณนี้มีการเลื่อนตัวในแนว ตั้งแบบปกติและเป็นการเลื่อนตัวในแนวระดับแบบขวาเข้า	41
รูปที่ 4.24	(a) หินโผล่บริเวณด้านใต้ของบริเวณ C (b) การแปลความหมายหินโผล่	42
รูปที่ 4.25	ระนาบรอยแตกแนว $120^{\circ}/70^{\circ}\text{SW}$ ที่มีสายแร่แคลไซต์เข้าไปตกผลึกภายในช่องว่างของรอยแตก	44
รูปที่ 4.26	รอยแตกที่ปรากฏให้เห็นในหินแอนดิไซต์ ที่มีระนาบรอยแตกอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงใต้- ตะวันตกเฉียงเหนือ และแนวตะวันออก-ตะวันตก	44
รูปที่ 4.27	ระนาบรอยแตกที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของชั้นหิน โดยเฉพาะในชั้นหินปูนที่หินดินดานแทรก จะทำให้เกิดการเลื่อนตัวตามระนาบการสะสมตัวได้ง่ายขึ้น	45
รูปที่ 4.28	ระนาบรอยแตกที่มีการวางตัวตั้งฉากกับรอยเลื่อนหลักในพื้นที่	45
รูปที่ 4.29	แผนภาพสเตอริโอเน็ตแสดงรอยแตกที่มีระนาบการแตกอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไป ทางทิศใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือค่อนไปทางทิศเหนือ	46
รูปที่ 4.30	แผนภาพสเตอริโอเน็ตแสดงรอยแตกที่มีระนาบการแตกที่อยู่ในทิศตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตก เฉียงเหนือ	46
รูปที่ 4.31	ระนาบรอยแตกที่มีการวางตัว $141^{\circ}/84^{\circ}\text{SW}$ และการแตกในแนวตั้งประกออบกับมีสายแร่ แคลไซต์เข้ามาตกผลึกในช่องว่างรอยแตก	47
รูปที่ 5.1	แผนภาพวงรี (ellipsoid) แสดงการเกิดโครงสร้างธรณีวิทยาอันเป็นผลมาจากแรงที่เข้ามา กระทำในช่วงเวลาต่างๆ	49
รูปที่ 5.2	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างธรณีวิทยาที่พบของหินโผล่ภายในพื้นที่ศึกษา (a, b, c)	52
รูปที่ 5.3	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างธรณีวิทยาที่พบของหินโผล่ภายในพื้นที่ศึกษา (d, e)	53

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงกรณีแปรสัณฐานและกระบวนการทางภูเขาไฟในแต่ละช่วงอายุของประเทศไทย	11
ตารางที่ 3.1 ตารางการจำแนกชื่อหินตะกอนคาร์บอนีตตามการจำแนกของ Dumham (1962)	19
ตารางที่ 4.1 การลำดับชั้นหินจากหินโคล่บริเวณทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษาย่อย C	30

บทที่ 1

บทนำ

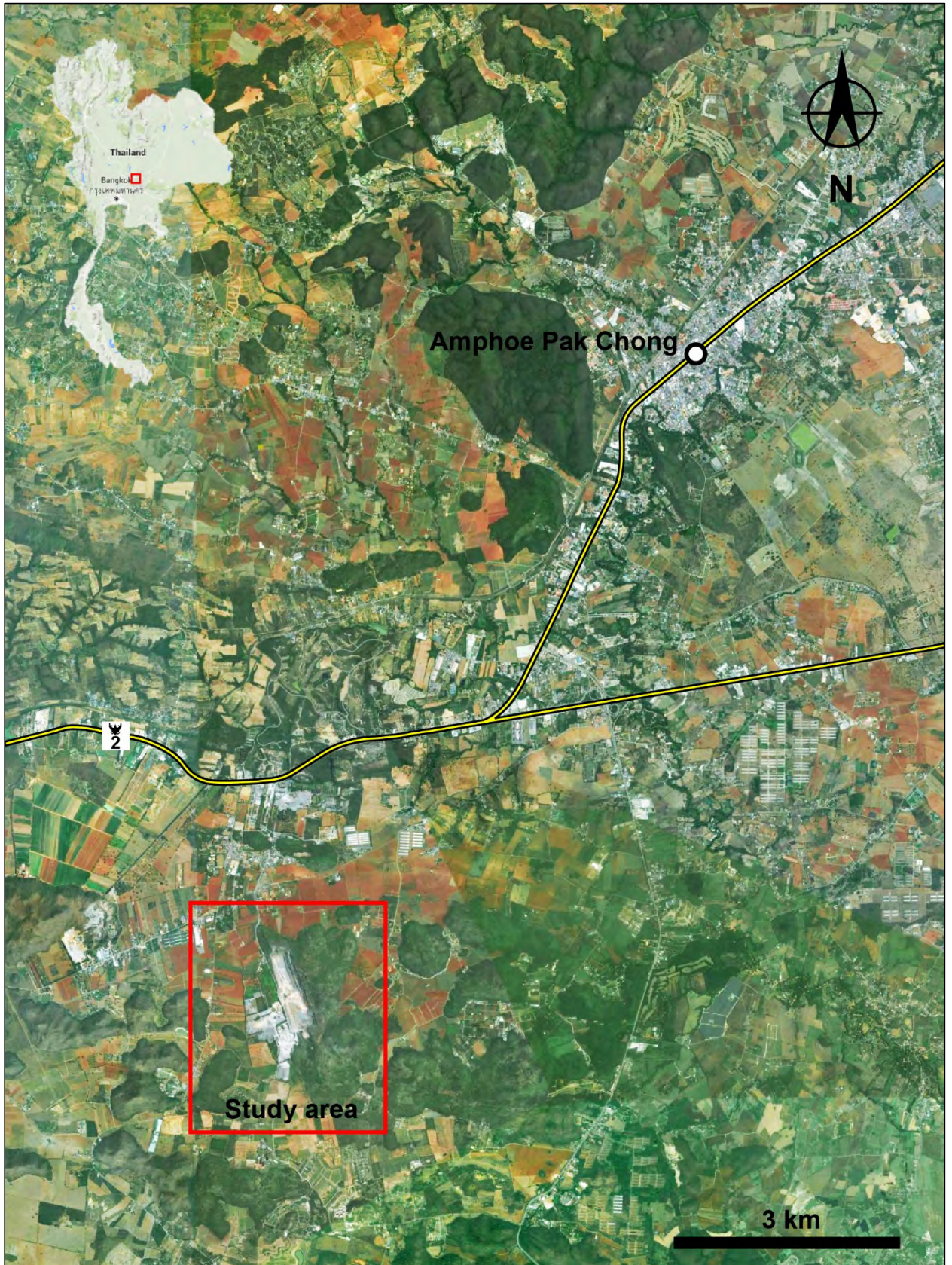
ในบทนี้จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญ ประเด็นปัญหา วัตถุประสงค์ และสมมติฐาน ซึ่งจะเป็นการอธิบายถึงประเด็นปัญหาที่พบเจอในทางธรณีวิทยาและเป็นประเด็นที่น่าสนใจที่ทำให้เกิดการศึกษาค้นคว้า โดยเหตุผลของการจัดทำการศึกษา มีดังต่อไปนี้

1.1 ที่มาและความสำคัญ

หินปูนบริเวณจังหวัดสระบุรีและอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา จัดได้ว่าเป็นแหล่งวัตถุดิบของอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งหินปูนในพื้นที่ดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของลานเขาขวง (Khao Khwang Platform) ประกอบด้วยหินปูนและหินตะกอนเนื้อประสมเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังพบหินอัคนีแทรกดันในบางพื้นที่ ในส่วนของธรณีวิทยาโครงสร้าง เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวพบลักษณะของรอยเลื่อนที่มีการเคลื่อนที่ในแนวตะวันออก-ตะวันตกเป็นส่วนใหญ่ (Sone & Metcalfe, 2008; Barber *et al.*, 2011; Morley *et al.*, 2013) และยังประกอบด้วยแนวรอยเลื่อนอีกหลายแนวที่วางตัวขนานกันในทิศตะวันออก-ตะวันตก จึงทำให้พื้นที่นี้มีความซับซ้อนทางธรณีวิทยาโครงสร้างมาก การเคลื่อนตัวตามแนวระดับแบบซ้ายเข้าของรอยเลื่อนที่วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ เช่น รอยเลื่อนแม่ปิง ที่เกิดขึ้นในช่วงที่มีการชนกันของแผ่นอนุทวีปอินโดจีน (Indochina Plate) กับแผ่นอนุทวีปไซบุมาสู (Sibumasu Plate) ประมาณยุคไทรแอสสิกตอนต้น (Early Triassic; Morley *et al.*, 2013) และมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเคลื่อนตัวไปเป็นการเคลื่อนตัวในแนวระดับแบบขวาเข้าในยุคพาลีโอจีนตอนต้น (Early Paleogene) ซึ่งเป็นผลมาจากการชนกันของแผ่นทวีปอินเดีย-ออสเตรเลีย (Indian-Australian Plate) ชนกับแผ่นยูเรเชีย (Eurasia Plate) นอกจากนี้การศึกษาสามารถใช้ในการอ้างอิงถึงทิศทางของแรงที่เข้ามากระทำกับหินยุคเพอร์เมียนที่อยู่บนแผ่นอนุทวีปอินโดจีนได้อีกด้วย เนื่องจากหินยุคเพอร์เมียนส่วนใหญ่ที่อยู่บนแผ่นอนุทวีปอินโดจีนน่าจะถูกปิดทับด้วยหินมหายุคมีโซโซอิกของกลุ่มหินโคราช (Khorat Group) ทำให้ไม่สามารถศึกษาหินที่อยู่ข้างใต้ได้โดยตรง นอกจากนี้หินยุคเพอร์เมียนนี้ถือว่ามี ความสำคัญต่อการเป็นแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมที่มีศักยภาพของประเทศไทยได้อีกด้วย (Booth & Sattayarak, 2011) ดังนั้นการศึกษาวินิจฉัยจึงมีความน่าสนใจในการศึกษารายละเอียดที่ปรากฏให้เห็นอย่างละเอียดมากขึ้น เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีหินโผล่ให้เห็นชัดเจน ซึ่งจะช่วยในการวิเคราะห์ อภิปราย และสรุปผลได้อย่างถูกต้อง

1.2 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาเป็นเหมืองหินปูนตั้งอยู่บริเวณทางตะวันตกของเขาค้อ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา (รูปที่ 1.1 และ 1.2) มีลักษณะเป็นท่าเหมืองแบบเปิด มีความกว้างประมาณ 300 เมตร ยาว 1 กิโลเมตร สูง 50 เมตร จากการท่าเหมืองทำให้เห็นหน้าดินเปิดออกอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และมีบางส่วนของขอบด้านข้างเหมืองที่มีการเปิดออกในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ดังนั้นพื้นที่ศึกษานี้จึงสามารถมองเห็นหินโผล่ได้ในระยะนาบแกน 3 เมตรได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงตำแหน่งของพื้นที่ศึกษา บริเวณเหมืองหินปูน อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา (Google Earth Pro 7.1.5.1557. อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา. 14° 37' 03"N, 101° 21' 50"E. มองจากความสูง 25 กิโลเมตร. ดาวเทียม NOAA, Digital Globe 2016 (เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2559))



รูปที่ 1.2 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาบริเวณเหมืองหินปูน อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา มีความกว้าง 250 เมตร ยาว 1.2 กิโลเมตร สูง 50 เมตร (Google Earth Pro 7.1.5.1557. อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา. 14° 37' 03"N, 101° 21'50"E. มองจากความสูง 25 กิโลเมตร. ดาวเทียม NOAA, Digital Globe 2016 (เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2559))

1.3 นิยามปัญหา

- 1.3.1 ธรณีวิทยาของพื้นที่บริเวณเหมืองหินปูน อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมาเป็นอย่างไร
- 1.3.2 หินโผล่ในบริเวณพื้นที่ศึกษามีกระบวนการทำให้เกิดรอยเลื่อน รอยแตก หรือการคดโค้งได้อย่างไร และมีวิวัฒนาการของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่ปรากฏได้อย่างไร

1.4 จุดประสงค์

- 1.4.1 เพื่ออธิบายวิทยาหิน ลำดับชั้นหิน และโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา
- 1.4.2 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงธรณีวิทยาโครงสร้างของลานหินเขาขวาง

1.5 สมมติฐาน

ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่ปรากฏภายในหินโผล่มีความสัมพันธ์กับธรณีแปรสัณฐานของประเทศ ไทยที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน ตั้งแต่ยุคไทรแอสซิกตอนต้นจนถึงตอนปลาย

1.6 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ

1.6.1 ระดับกลาง (mesoscopic scale) เป็นการเก็บข้อมูลภาคสนามจากลักษณะที่ปรากฏที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ได้แก่ การวางตัวของชั้นหิน (attitude of bedding) ชั้นหินคดโค้ง (fold) รอยเลื่อน (fault) และรอยแตก (fracture) เพื่อจัดทำภาพตัดขวาง (cross section) อันจะนำไปสู่การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา

1.6.2 ระดับจุลภาพ (microscopic scale) เป็นการศึกษาลักษณะของเนื้อหินและองค์ประกอบภายในของหินจากแผ่นหินบาง (thin section) โดยศึกษาผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ และยังมีการศึกษาซากดึกดำบรรพ์ที่พบในหินด้วย

1.7 ระยะเวลาการดำเนินงาน

ระหว่างเดือน สิงหาคม 2558 – เมษายน 2559 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 7 เดือน

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.8.1 ข้อมูลธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ชนิดหิน องค์ประกอบของหิน ลำดับชั้นหิน และโครงสร้างทางธรณีวิทยา
- 1.8.2 วิวัฒนาการ ความสัมพันธ์ และกลไกการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างธรณีวิทยาที่พบภายในหินโผล่และธรณีโครงสร้างอื่นๆที่ปรากฏ ตลอดจนเป็นการเชื่อมโยงไปสู่ธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่ลาดหินเขาขวาง

1.9 โครงสร้างรายงาน

- **บทที่ 1 บทนำ** เกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหา วัตถุประสงค์ สมมติฐาน ที่มีความเกี่ยวข้องกับพื้นที่บริเวณลาดหินเขาขวาง ไม่ว่าจะเป็นชนิดของหิน อายุหิน โครงสร้างทางธรณีวิทยา และธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่ ซึ่งนำไปสู่การจัดทำโครงร่างการวิจัยในครั้งนี้
- **บทที่ 2 ธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ศึกษา** กล่าวถึงวิวัฒนาการการเปลี่ยนแปลงของประเทศไทยตั้งแต่แผ่นทวีปเคยเป็นผืนแผ่นดินเดียวกัน หรือที่เรียกว่า “แพนเจีย” และในเวลาต่อมาได้มีการเลื่อนตัวแยกออกจากกัน จนก่อให้เกิดประเทศไทยอย่างที่เห็นในปัจจุบัน และกล่าวถึงข้อมูลทางด้านธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา เช่น ชนิดหิน ลำดับชั้นหิน และธรณีวิทยาโครงสร้าง เป็นต้น
- **บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย** ในบทนี้มีการวางแผนการทำวิจัยออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ การศึกษาและรวบรวมข้อมูล การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลจากการออกภาคสนาม การศึกษาในห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์และอภิปรายผล และการสรุปผลการศึกษา โดยเนื้อหาในบทนี้จะบรรยายถึงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนของการทำงานวิจัยในระยะเวลาต่างๆ อันจะนำไปสู่ความเข้าใจและการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ ระเบียบและมีความถูกต้องตามแบบแผน
- **บทที่ 4 ผลการศึกษา** เป็นการนำเสนอข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทั้งจากการออกภาคสนามและการปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการ โดยมีเนื้อหาครอบคลุม 3 ประเด็นหลัก ได้แก่ วิทยาหิน ลำดับชั้นหิน และโครงสร้างทางธรณีวิทยา โดยในส่วนของโครงสร้างทางธรณีวิทยานี้ จะแยกย่อยได้อีก 4 ประเด็น ได้แก่ ระบายการวางตัวของชั้นหิน โครงสร้างชั้นหินคดโค้ง โครงสร้างรอยเลื่อน และโครงสร้างรอยแตก
- **บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา** ในบทนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษากับการศึกษาเก่าที่เคยมีการศึกษาเอาไว้แล้วว่ามีความสอดคล้องหรือแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งในการอภิปรายในบทนี้จะเน้นย้ำไปที่การเปรียบเทียบโครงสร้างธรณีวิทยาที่พบเทียบกับกระบวนการหรือกลไกของการเกิด
- **บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา** เป็นการรวบรวมความรู้ที่ได้จากการทำโครงร่างวิจัยในครั้งนี้และสรุปผลออกมาเป็นหัวข้อๆ เพื่อตามประเด็นปัญหาดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 นอกจากนี้ยังบอกถึงปัญหาและอุปสรรคของการทำศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เพื่อให้ทราบถึงข้อจำกัดของการทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้และใช้ในการวางแผนทำการศึกษาวิจัยในครั้งต่อไป

บทที่ 2

ธรณีวิทยาทั่วไป

ธรณีวิทยาทั่วไปในบทนี้ จะกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่ครอบคลุมระดับประเทศและระดับพื้นที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลทางด้านธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย ชนิดของหิน ลำดับชั้นหิน และโครงสร้างธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยเนื้อหาของบทนี้จะเป็นการนำเสนอข้อมูลโดยภาพรวม เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับธรณีวิทยาในเรื่องต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดจะใช้ถูกอ้างอิงในการอภิปรายและสรุปผลในบทต่อไป

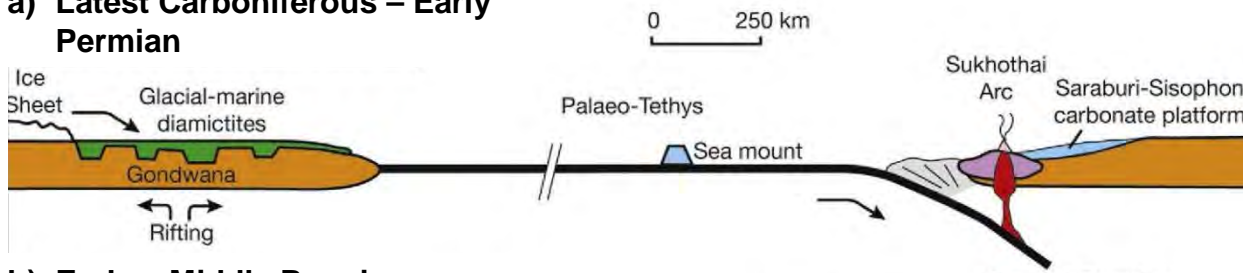
2.1 ธรณีวิทยาทั่วไปของประเทศไทย

ประเทศไทยประกอบด้วยแผ่นอนุทวีปไชนูมาสและแผ่นอนุทวีปอินโดไชน่า ซึ่งทั้งสองแผ่นนั้นต่างมีการเคลื่อนที่เข้าหากัน (convergence plate motion) และเกิดการชนกันของแผ่นอนุทวีปทั้งสองในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนปลายในบริเวณตอนกลางของประเทศไทยในปัจจุบัน (Sone & Metcalfe, 2008; Morley *et al.*, 2013) โดยมีทิศทางของแรงอัดจากการชนกันอยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก เมื่อเทียบกับตำแหน่งแผ่นเปลือกโลกในปัจจุบัน และการชนกันของสองแผ่นอนุทวีปนี้ได้สิ้นสุดลงในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนปลายถึงยุคจูแรสซิกตอนต้น (รูปที่ 2.1) ภายหลังจากนั้นในยุคจูแรสซิก-ยุคครีเทเชียส (Jurassic-Cretaceous) แผ่นอนุทวีปมาตะวันตก (Western Burma Plate) ได้เคลื่อนที่เข้าชนกับฝั่งตะวันตกของแผ่นอนุทวีปไชนูมาส และในช่วงเวลาต่อมาในยุคพาลีโอจีน (Paleogene) แผ่นเปลือกโลกอินเดีย-ออสเตรเลีย ได้เคลื่อนที่เข้ามาในทางทิศใต้ของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียและเกิดการชนกันขึ้นจนถึงปัจจุบัน ผลของการชนกันนี้ส่งผลทำให้แผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทยมีการหมุนตามเข็มนาฬิกาหรือที่เรียกกันว่า “Escape tectonic” ทำให้ชั้นหินต่างๆในประเทศไทยถูกแรงบีบอัดในแนวเหนือ-ใต้ เป็นผลให้เกิดการคดโค้งของเทือกเขาในภาคเหนือและเกิดการเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนต่างๆในประเทศไทย เช่น รอยเลื่อนที่มีระนาบการเคลื่อนตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ รอยเลื่อนแม่ปิง รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ และแนวรอยเลื่อนที่มีระนาบการเคลื่อนตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ เช่น รอยเลื่อนระนอง-คลองมะรุ่ย นอกจากนี้ผลของการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนทำให้เกิดการเปิดออกของแอ่งสะสมตะกอนมหายุคซีโนโซอิก (Cenozoic basin) ของประเทศไทยดังปรากฏให้เห็นในปัจจุบัน

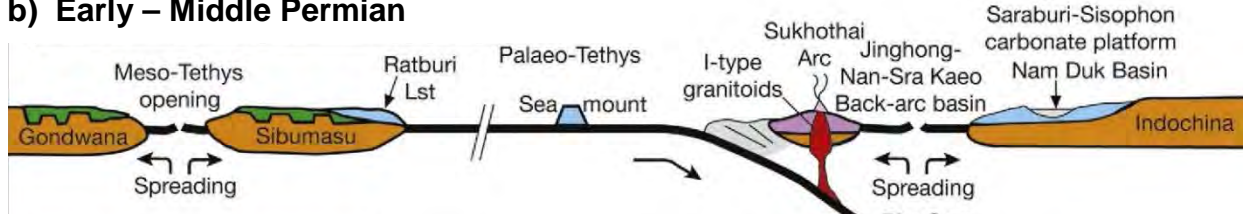
มหายุคพาลีโอโซอิก

วิวัฒนาการของธรณีแปรสัณฐานในช่วงมหายุคพาลีโอโซอิก (Paleozoic Era) เป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดการเปลี่ยนแปลงของแผ่นเปลือกโลกที่มีผลทำให้เกิดลักษณะทางธรณีวิทยาและลักษณะทางภูมิประเทศของประเทศไทย การเกิดธรณีแปรสัณฐานช่วงมหายุคพาลีโอโซอิก มีจุดเริ่มต้นตั้งแต่ยุคแคมเบรียน (Cambrian) ซึ่งเป็นช่วงที่แผ่นอนุทวีปต่างๆเริ่มมีการแยกตัวออกจากกัน ในช่วงเวลาต่อมาแผ่นอนุทวีปอินโดไชน่าและแผ่นอนุทวีปไชนูมาสเริ่มมีการแยกตัวออกจากแผ่นกอนด์วานาซึ่งตั้งอยู่ในซีกโลกใต้เมื่อเทียบกับตำแหน่งซีกโลกในปัจจุบันด้วยเช่นกัน โดยแผ่นอนุทวีปอินโดไชน่าได้แยกตัวออกในช่วงยุคดีโวเนียน (Devonian Period) โดยพบหลักฐานที่บ่ง

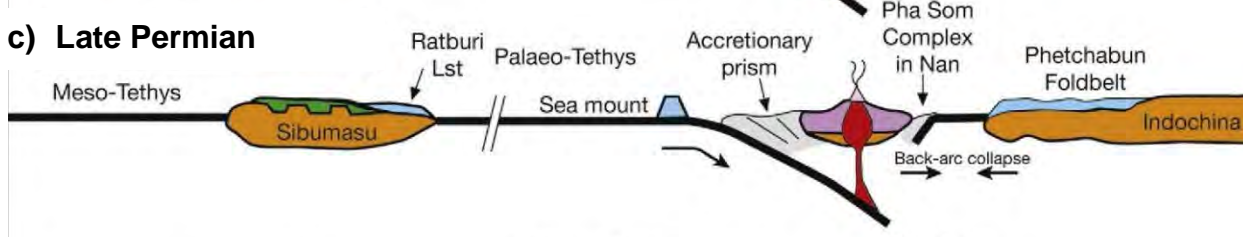
a) Latest Carboniferous – Early Permian



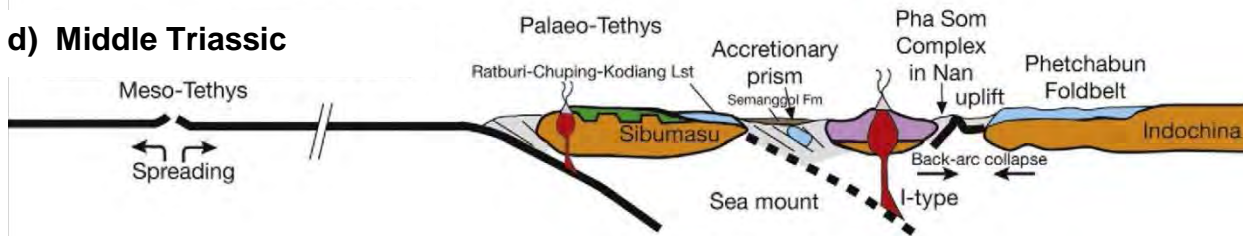
b) Early – Middle Permian



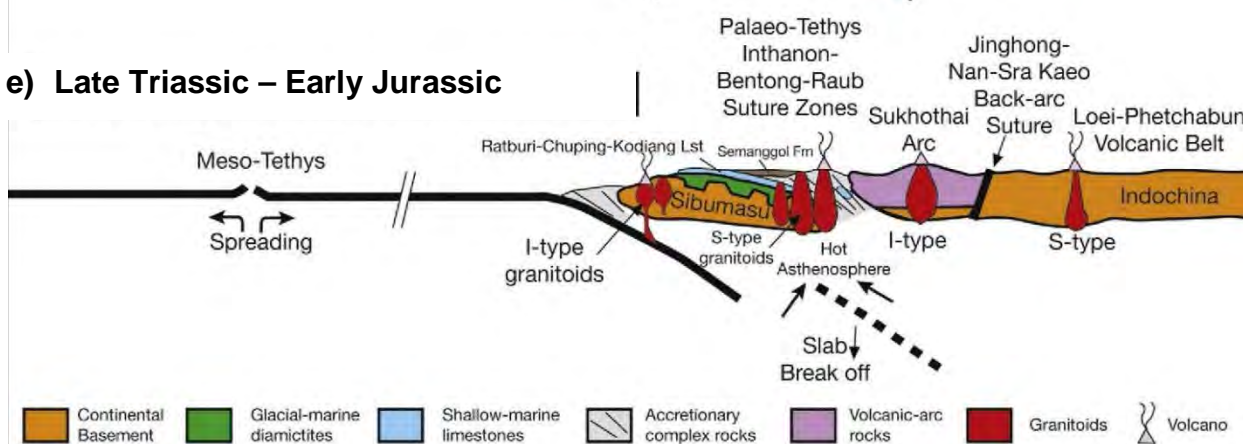
c) Late Permian



d) Middle Triassic



e) Late Triassic – Early Jurassic



รูปที่ 2.1 ธรณีแปรสัณฐานฐานของประเทศไทยในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงยุคจูแรสซิก (Sone & Metcalfe, 2008)
 (a) เริ่มมีการมุดตัวของทะเลโบราณมีไซเทซิสลงใต้แผ่นอนุทวีปอินโดจีน ในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนปลายถึงยุคเพอร์เมียนตอนต้น (b) แผ่นทวีปไซบูมาสุเริ่มมีแยกตัวออกจากแผ่นเปลือกโลกกอนด์วานา และมีการเปิดออกของแอ่งสะสมตะกอนหลังแนวภูเขาไฟบริเวณขอบแผ่นอนุทวีปอินโดจีน ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนต้นถึงตอนกลาง (c) เริ่มมีการเคลื่อนที่เข้าจันกันของแผ่นอนุทวีปไซบูมาสุกับแนวภูเขาไฟสุโขทัย ก่อให้เกิดการปิดตัวของแอ่งสะสมตะกอนหลังแนวภูเขาไฟ ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนปลาย (d) เกิดการชนกันของแผ่นไซบูมาสุกับแนวภูเขาไฟสุโขทัยและแผ่นอนุทวีปอินโดจีน ในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนกลาง (e) เป็นช่วงที่มีการชนกันของแผ่นอนุทวีปไซบูมาสุและแผ่นอนุทวีปอินโดจีนเริ่มหยุดการชนกัน โดยสิ้นสุดลงในยุคจูแรสซิกตอนต้น

บอกว่าเกิดการสะสมตัวในมหาสมุทรจากซากดึกดำบรรพ์เวดิโอลาเรียในชั้นหินเชิร์ต (Metcalf, 1997; Hada *et al.*, 1997) ต่อมาในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนปลายถึงยุคเพอร์เมียนตอนต้น (รูปที่ 2.1a) ได้เกิดการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นมหาสมุทรที่รองรับทะเลโบราณมหาสมุทรพาเลโอโซอิก (Paleo-tethys) โดยมุดตัวลงไปใต้แผ่นอนุทวีปอินโดจีน ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนต้น เกิดการแยกตัวของแผ่นอนุทวีปอินโดจีนขึ้นบริเวณขอบแผ่น ทำให้เกิดเป็นแอ่งสะสมตะกอนหลังแนวภูเขาไฟ (back-arc basin) ในขณะเดียวกันในส่วนของแผ่นอนุทวีปไซบิวมาส์ได้มีการแยกตัวออกมาจากแผ่นทวีปคอนดีวานาเกิดเป็นทะเลโบราณมีโซเทธิส (Meso-tethys) ทำให้ในช่วงเวลาขณะนั้นประกอบด้วยแผ่นอนุทวีปที่สำคัญต่อการเกิดประเทศไทย ได้แก่ แผ่นอนุทวีปอินโดจีน แผ่นอนุทวีปไซบิวมาส์ และแนวภูเขาไฟสุโขทัย (Sukhothai arc; รูปที่ 2.1b) โดยในช่วงเวลาดังกล่าว ตำแหน่งของแผ่นอนุทวีปเหล่านี้ไม่ได้อยู่ติดกัน โดยแผ่นอนุทวีปอินโดจีนตั้งอยู่บริเวณแถบเส้นศูนย์สูตรเมื่อเทียบกับตำแหน่งเส้นศูนย์สูตรในปัจจุบัน และตำแหน่งของแผ่นอนุทวีปไซบิวมาส์ตั้งอยู่บริเวณซีกโลกใต้ของโลกเมื่อเทียบกับตำแหน่งของซีกโลกในปัจจุบัน การที่ขอบแผ่นอนุทวีปอินโดจีนมีลักษณะเป็นไหล่ทวีปลาดลงไปใต้อ่างสะสมตะกอนหลังแนวภูเขาไฟและมีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในแถบที่มีสภาพภูมิอากาศร้อน ทำให้มีการสะสมตัวของตะกอนคาร์บอนेटขึ้น ปรากฏให้เห็นเป็นลักษณะลานหินคาร์บอนेट (carbonate platform) ภายหลังจากนั้นเกิดการขยายตัวของทะเลโบราณมีโซเทธิส ทำให้แผ่นอนุทวีปไซบิวมาส์เริ่มมีการเคลื่อนที่ขึ้นมาจากทางซีกโลกใต้เข้ามาใกล้แผ่นอนุทวีปอินโดจีนที่อยู่บริเวณแถบเส้นศูนย์สูตรมากขึ้นเรื่อยๆ

มหาสมุทรมีโซโซอิก

การเคลื่อนตัวเข้าใกล้ของสองแผ่นอนุทวีปนี้ทำให้บางส่วนของทะเลโบราณมีโซเทธิสมีการมุดตัวและเกิดการสะสมตะกอนแบบพอกพูน (accretionary prism; รูปที่ 2.1c) ขึ้นแถบการมุดตัวจนกระทั่งถึงช่วงยุคไทรแอสสิกตอนกลาง แอ่งสะสมตะกอนหลังแนวภูเขาไฟก็มีการปิดแอ่ง เนื่องจากแผ่นอนุทวีปอินโดจีนและแนวภูเขาไฟสุโขทัยเริ่มมีการเคลื่อนที่เข้าหากันและเกิดการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นมหาสมุทรบริเวณหลังแนวภูเขาไฟลงใต้แนวภูเขาไฟสุโขทัย ทำให้มีลักษณะของแนวภูเขาไฟเกิดเป็นแนวยาว และในช่วงยุคไทรแอสสิกตอนกลาง เกิดการชนกันของแผ่นอนุทวีปไซบิวมาส์กับแนวภูเขาไฟสุโขทัยและแผ่นอนุทวีปอินโดจีน (รูปที่ 2.1d) ทำให้แผ่นอนุทวีปไซบิวมาส์มีการมุดตัวลงใต้แนวภูเขาไฟสุโขทัยและแผ่นอนุทวีปอินโดจีน จนกระทั่งถึงยุคจูแรสสิกตอนต้นการชนกันนี้ได้สิ้นสุดลงและทะเลโบราณมหาสมุทรพาเลโอโซอิกได้ปิดตัวลง ทำให้แผ่นอนุทวีปไซบิวมาส์ แนวภูเขาไฟสุโขทัย และแผ่นอนุทวีปอินโดจีนได้รวมเป็นแผ่นทวีปแผ่นเดียวกัน ซึ่งกระบวนการชนนี้เป็นผลมาจากการขยายตัวของทะเลโบราณมหาสมุทรมีโซโซอิก (รูปที่ 2.1e)

มหายุคซีโนโซอิก

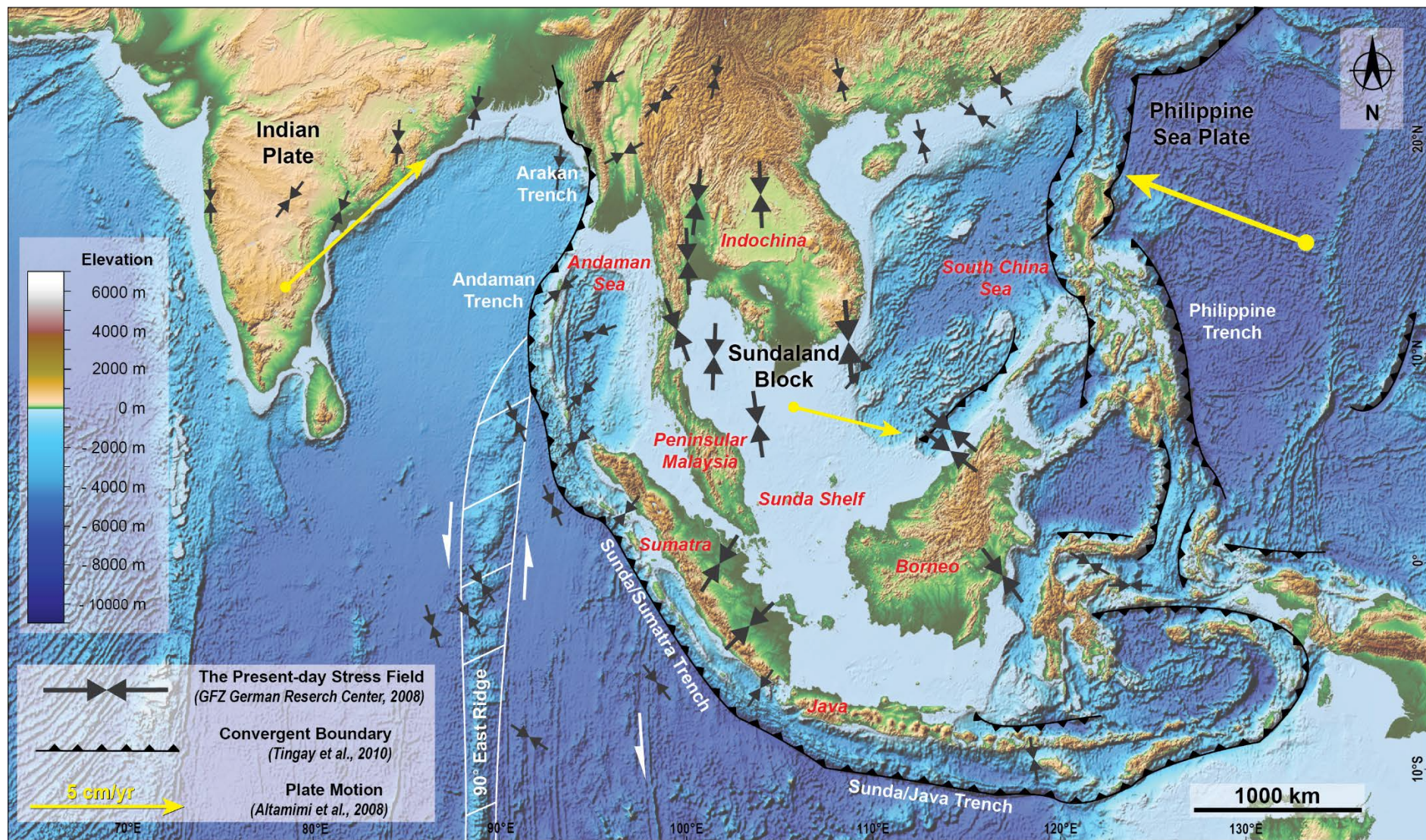
ต่อมาในช่วงมหายุคซีโนโซอิก (Cenozoic Era) เป็นช่วงที่เกิดร่องแยกในพื้นที่ประเทศไทย ทำให้มีการเปิดเป็นแอ่งทรุดตัวต่างๆมากมายในแนวเหนือ-ใต้ โดยแอ่งสะสมตะกอนมหายุคซีโนโซอิกนี้สามารถเห็นได้ชัดจากแอ่งสะสมตะกอนที่มีทั้งบนบกและในทะเล โดยแอ่งสะสมตะกอนต่างๆเหล่านี้เกิดจากอิทธิพลของธรณีแปรสัณฐานที่สัมพันธ์กับการชนกันระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินเดีย-ออสเตรเลียกับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียในช่วงยุคพาเลโอซีน สมัยอีโอซีนตอนต้น (Early Eocene) (Patriat & Achache, 1984) ส่งผลทำให้เกิดการหมุนตัวตามเข็มนาฬิกา

ของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย จึงมีผลทำให้รอยเลื่อนแม่น้ำแดง (Red River fault) และรอยเลื่อนแม่ปิง (Mae Ping fault) ซึ่งเป็นรอยเลื่อนใหญ่ของพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้หยุดเคลื่อนที่และทำให้เกิดการหยุดการหมุนตัวตามเข็มนาฬิกา (Tapponier *et al.*, 1986) ทำให้เกิดการดันตัวสูงขึ้นของแนวเทือกเขาเพชรบูรณ์ อีกทั้งยังส่งผลทำให้เกิดการยกตัวของเทือกเขาภูพานและเทือกเขาพนมดงรักตามบริเวณขอบแอ่งโคราช (Sattayarak & Polachan, 1990) และหลังจากนั้นทวีปเอเชียตะวันตกเฉียงใต้ได้เกิดการผ่อนคลายแรง (relaxing stage) โดยมิผลทำให้บริเวณทางด้านตะวันตกเกิดเป็นแอ่งที่ไม่ชัน พร้อมกับการสะสมตัวของตะกอนภายในแอ่งสะสมตะกอนมหายุคซีโนโซอิก โดยการพัฒนาตัวแอ่งนั้นเกิดจากรอยเลื่อนปกติในแนวเหนือ-ใต้ เนื่องจากเปลือกโลกในช่วงระยะนี้เกิดการขยายตัวเกือบขนานกับแอ่งลึกลับสมุทรชาวในปัจจุบัน อันเกิดจากการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกใต้มหาสมุทรมุดตัวเข้าไปใต้ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งในปัจจุบันมีการมุดตัวด้วยอัตราการเคลื่อนที่ 5 เซนติเมตรต่อปี (รูปที่ 2.2)

ธรณีวิทยาโครงสร้าง

จากผลการศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างของชั้นหินและแอ่งตะกอนมหายุคซีโนโซอิก พบว่ามีรอยเลื่อนปกติอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ ซึ่งเกิดจากการขยายตัวของเปลือกโลกจากทางทิศใต้ขึ้นไปทางทิศเหนือ จึงทำให้เกิดแอ่งในอ่าวไทยและแอ่งบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางจนถึงแอ่งในภาคเหนือ เนื่องมาจากอิทธิพลของรอยเลื่อนแม่ปิงและรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ ที่มีระนาบการเคลื่อนตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ส่วนรอยเลื่อนที่อยู่ในแนวเหนือ-ใต้ แสดงให้เห็นถึงการเปิดออกของรอยเลื่อนเป็นแอ่งทรุดตัวที่มีการขยายออกในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก หลังจากนั้นกลุ่มรอยเลื่อนที่มีระนาบการเคลื่อนตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นรอยเลื่อนตามแนวระดับเริ่มมีการเคลื่อนตัวไปแบบซ้ายเข้าและรอยเลื่อนที่มีระนาบการเคลื่อนตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้เริ่มมีการเคลื่อนที่แบบขวาเข้า ทำให้แอ่งในอ่าวไทยตอนล่างมีการเปิดออกเป็นมุมกว้างและแคบลงเรื่อยๆ ไปทางทิศเหนือ ซึ่งกลุ่มรอยเลื่อนปกตินี้เกิดจากแรงดึง (tensional regime) และมักจะเกิดร่วมกับเหตุการณ์การยกตัวของเปลือกโลกจนกระทั่งเกิดเป็นเทือกเขาในปัจจุบัน โดยจะพบลักษณะพื้นที่ราบตามยอดเขา และมีธรณีสัณฐานวิทยาที่เกิดจากการยกตัวตามบริเวณไหล่เขา นอกจากนี้ในบางพื้นที่ยังพบตะกอนยุคควอเทอร์นารีตลิ่งสะสมตัวในบริเวณที่สูงกว่าและพบตะพักลำน้ำ (alluvial terrace) ในบริเวณขอบที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งตะพักลำน้ำเหล่านี้แสดงถึงแผ่นดินที่มีการทรุดตัวลงอย่างรวดเร็วในช่วงยุคควอเทอร์นารี

ลำดับขั้นการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาที่สำคัญของประเทศไทยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1 โดยอ้างอิงมาจากหนังสือ *Geology of Thailand* edited by Ridd, Barber and Crow ในปี ค.ศ. 2011



รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงทิศทางของการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก (ลูกศรสีเหลือง) และทิศทางของแรงที่เกิดจากธรณีแปรสัณฐานบริเวณทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Tingay et al., 2010) (ETOPO1 Image from Varner J. and E. Lim, CIRES, University of Colorado at Boulder (2008))

ตารางที่ 2.1 แสดงธรณีแปรสัณฐานและกระบวนการทางภูเขาไฟในแต่ละช่วงอายุของประเทศไทย (Morley *et al.*, 2011)

AGE (Ma)	ERA	Period	TECTONIC ACTIVITY	IGNEOUS ACTIVITY	Tectonic Events
2.6	CENOZOIC	Quaternary			Continued neotectonic fault movement.
23		Neogene			Active rifting of N-S half-grabens. Dextral shift on NW-SE faults including Three Pageodas and Mae Ping Fault
66		Paleogene			Detachment of Paleozoic sedimentary rock cover from crystalline basement in Northern Thailand. Onset of India-Eurasia collision, with transpression, folding, uplift and erosion and sinistral shift on Thailand's NW-SE faults.
145	MESOZOIC	Cretaceous		Emplacement of western granites (130-50 Ma) and dextral ductile shear (before 87 Ma) on Khlong Marui and Ranong Faults. Mid-Cretaceous tectonic event.	
201		Jurassic		Possible non-deposition/erosion of Lower and Middle or possibly all of the Jurassic = Indosinian III event.	
252		Triassic		[Indosinian II event] Late Triassic closure of Paleotethys. Emplacement of Eastern Belt (243-200 Ma) I-type, and Central Belt (230-200 Ma) S-type granites.	
299	PALEOZOIC	Permian			End-Permian closure of back-arc basin resulting in Nan-Uttaradit Suture.
359		Carboniferous			Early Permian rifting of Sibumasu from Gondwana.
419		Devonian			Mid-Carboniferous uplift on Indochina Block. Pre-Namurian unconformity in southern Peninsular Thailand.
444		Silurian			Doubtful 'Landkawi Folding Phase' in peninsular Malaysia.
485		Ordovician			Presumed Silurian-Devonian rifting of North and South China and Indochina from Gondwana.
541		Cambrian			452-430 Ma heating event in Sibumasu.
	PRE CAMBRIAN				

2.2 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

2.2.1 สภาพภูมิประเทศ

ลักษณะโดยทั่วไปเป็นพื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณที่เชื่อมต่อระหว่างจังหวัดสระบุรีและจังหวัดนครราชสีมา โดยพื้นที่ของสระบุรีจัดเป็นส่วนหนึ่งของที่ราบลุ่มภาคกลาง ในขณะที่จังหวัดนครราชสีมาจัดเป็นส่วนหนึ่งของที่ราบสูงโคราช แต่พื้นที่ศึกษานั้นจัดได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่ราบลุ่มภาคกลาง โดยพื้นที่ทั้งสองจังหวัดนี้จะมีแนวเทือกเขาพญาเย็นเป็นเส้นแบ่งอาณาเขต ลักษณะของเทือกเขาที่พบจะเป็นเทือกเขาสูง

2.2.2 สภาพภูมิอากาศ

ลักษณะโดยทั่วไปเป็นบริเวณที่ตั้งอยู่ไกลจากชายฝั่งทะเล ทำให้มีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของพื้นที่ค่อนข้างสูง ประมาณ 28-33 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่มักจะได้อิทธิพลมาจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดพาความเย็นจากประเทศจีนเข้ามาปกคลุมในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ และได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดพาความชื้นเข้ามาปกคลุมในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม และในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคมจะมีภูมิอากาศที่ร้อนและแห้งแล้ง

2.3 ธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

เหมืองหินปูน บริเวณเขาถ้ำสูงเหลื่อม อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา เป็นส่วนหนึ่งของลานเขาขวาง (Khao Khwang platform) หรือจัดได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มหินสระบุรี (Saraburi Group) มีอายุอยู่ในช่วงยุคเพนซิลเวเนียนตอนปลาย (Latest Pennsylvanian) ถึงยุคเพอร์เมียน (Permian) โดย Bunopas (1981) เป็นบุคคลแรกที่ได้อ้างอิงชื่อกลุ่มหินสระบุรีโดยแบ่งแยกย่อยได้เป็น 3 หมวดหิน ได้แก่ หมวดหินเขาลวก (Khao Luak Formation) หมวดหินปูนสระบุรี (Saraburi Limestone) และหมวดหินดินดานด่านซ้าย (Dan Sai Shale) ในเวลาต่อมา Hingthong (1981) และ Hingthong *et al.* (1985) ได้จัดแบ่งกลุ่มหินสระบุรีใหม่ออกเป็น 6 หมวดหิน เรียงลำดับจากล่างขึ้นบน คือ หมวดหินภูเพ (Phu Phe Formation) หมวดหินเขาขวาง (Khao Khwang Formation) หมวดหินหนองโป่ง (Nong Pong Formation) หมวดหินปางอศอก (Pang Asok Formation) หมวดหินเขาขาด (Khao Khad Formation) และหมวดหินซับบอน (Sup Bon Formation) โดยหมวดหินภูเพ หมวดหินเขาขวาง และหมวดหินเขาขาด เป็นหมวดหินที่ประกอบด้วยตะกอนคาร์บอนเนตเป็นหลัก ส่วนหมวดหินหนองโป่ง หมวดหินปางอศอก และหมวดหินซับบอน มีลักษณะเป็นหินตะกอนเนื้อประสมหรือหินตะกอนเนื้อประสมที่มีหินคาร์บอนเนตแทรก นอกจากนี้ในหมวดหินหนองโป่งที่มีสภาพแวดล้อมของการตกสะสมตะกอนในแอ่งบริเวณน้ำลึก อาจมีความเป็นไปได้ที่จะเชื่อมต่อกับแอ่งสะสมตะกอนน้ำลึกในหมวดหินน้ำดุก (Nam Dok Formation) ซึ่งอยู่ทางด้านทิศเหนือขึ้นไป (Ueno & Charoentitirat, 2011)

จากการศึกษาแผนที่ธรณีวิทยาของประเทศไทย มาตราส่วน 1:250000 ปี พ.ศ. 2519 ได้ระบุให้พื้นที่ศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของหมวดหินเขาขาด กลุ่มหินสระบุรี ที่ประกอบด้วยหินปูนสีดำ เทาเข้มถึงเทาอ่อน บางส่วนแทรกสลับด้วยหินดินดาน และมีหินภูเขาไฟบ้างเล็กน้อย ส่วนมากมีซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลชนิด ปะการัง แบรคิโอพอด และสาหร่าย ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนล่างถึงยุคเพอร์เมียนตอนกลาง

2.4 ลำดับชั้นหินของพื้นที่ศึกษา

เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มหินสระบุรี (Saraburi Group) ซึ่งกลุ่มนี้สามารถจำแนกได้ 6 หมวดหิน (Hingthong, 1981, 1985; Hingthong *et al.*, 1985) เรียงจากล่างขึ้นบน ดังนี้

หมวดหินภูเพ (Phu Phe Formation) มีอายุอยู่ในช่วงยุคเพนซิลเวเนียนตอนปลาย-ยุคเพอร์เมียนตอนต้น (Late Pennsylvanian-Early Permian) ประกอบด้วย หินปูนสีเทาและเทาเข้ม ชั้นหนาปานกลางถึงชั้นหนา แต่ช่วงบนมักพบเป็นชั้นหนามาก ซึ่งมักมีหินเชิร์ตเกิดเป็นชั้นและเป็นก้อนแทรกอยู่ด้วย (Hingthong, 1981) ช่วงล่างมักมีหินดินดาน และหินดินดานกึ่งชนวน (slaty shale) ชั้นบางๆแทรก ซากดึกดำบรรพ์ที่พบในหมวดหินนี้ได้แก่ *fusulines Triticites*, *Pseudoschwagesina*, *Zellia*, *Acevroshwagerina*, *Robustoschwagerina* and *Paraschwagerina* (Hingthong, 1981)

หมวดหินเขาขวาง (Khao Khwang Formation) มีอายุอยู่ในช่วงยุคเพนซิลเวเนียนตอนปลาย-ยุคเพอร์เมียนตอนกลาง (Late Pennsylvanian-Middle Permian) ประกอบด้วย หินปูนสีเทาถึงเทาดำ เนื้อละเอียด ชั้นหนา และมีชั้นหินเชิร์ตแทรกสลับเป็นกระเปาะอยู่เป็นจำนวนมาก (Hingthong, 1981) แต่ช่วงบนแทรกถึกว่าช่วงอื่นๆ ช่วงล่างพบซากฟอสซิลินิด แต่ช่วงบนพบซากแบรคิโอพอด ลำต้นไคโนอยด์ และโทรโลไบต์บ้าง นอกจากนี้ยังพบหินภูเขาไฟ พวกหินไรโอไรต์ และหินชั้นภูเขาไฟพวกหินทรายเนื้อทัฟฟ์แทรก จากข้อมูลซากดึกดำบรรพ์และชนิดของหิน บ่งบอกว่ามีสภาพแวดล้อมการสะสมตัวเป็นลานสะสมตะกอนทะเลน้ำตื้น

หมวดหินหนองโป่ง (Nong Pong Formation) มีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนกลางถึงตอนปลาย (Early-Late Permian) ประกอบด้วย หินดินดาน สลับหินปูน บางช่วงหินดินดานมีจำนวนชั้นหนากว่าหินปูน บางช่วงหินปูนกลับมีจำนวนชั้นหนากว่าหินดินดาน บางชั้นเป็นหินปูนมีลักษณะเป็นแถบชั้นบางๆ บางชั้นเป็นหินปูนเนื้อดิน และมีหินเชิร์ตแทรกคั่นสลับ บางแห่งหินปูนเกิดเป็นกระเปาะอยู่ในหินดินดาน โดยเฉพาะในช่วงบนสุดสำหรับหินดินดานมีลักษณะเนื้อทรายแป้งและเนื้อซิลิกาซึ่งพบได้ในส่วนบนและส่วนล่างของชั้นหิน อย่างไรก็ตามยังพบหินภูเขาไฟแทรกสลับบ้างเล็กน้อย ซากดึกดำบรรพ์ที่พบ ได้แก่ *Agathiceras* sp. บริเวณชั้นหินแบบฉบับและยังพบซากฟอสซิลินิด ซึ่งมีอายุ Artinskian-Kungurian หมวดหินหนองโป่งนี้ มีสภาพการตกสะสมตะกอนในสภาพแวดล้อมที่เป็นแอ่งหรือทะเลเปิด จากการศึกษาอายุที่ได้บ่งบอกว่า แอ่งสะสมตะกอนหมวดหินภูเพ หมวดหินเขาขวาง และหมวดหินเขาขวาง จัดว่าอยู่ในแอ่งสะสมตะกอน ณ ช่วงเวลาเดียวกัน บริเวณลานสะสมตะกอนทะเลน้ำตื้น (shallow-marine platform-facies formations)

หมวดหินปางอโศก (Pang Asok Formation) มีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนต้นถึงตอนปลาย (Early-?Middle Permian) ประกอบด้วย หินดินดานสีน้ำตาลเรื่อ สีเทาและสีเขียวขี้ม้า และหินดินดานกึ่งหินชนวน หินชนวนสีเขียวขี้ม้าและเขียวขี้ม้าปนเทา บางแห่งมีหินทรายสีเทาอมเขียวในลักษณะเป็นเลนส์ ซึ่งมักเกิดเป็นลักษณะกระเปาะแทรก บางแห่งถูกแปรสภาพเป็นหินฮอร์ลเฟลส์ มักมีหินปูนชั้นบางแทรกคั่น พบซากดึกดำบรรพ์จำพวกหอยสองฝา และซากใบไม้ จากการอนุมาณการลำดับชั้นหินและการหาอายุที่ได้ จัดให้อยู่ในช่วง Artinskian-Kungurian

หมวดหินเขาขาด (Khao Khad Formation) มีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนต้นถึงตอนปลาย (Early-Middle Permian) ประกอบด้วย หินปูนสีขาว เทา เป็นชั้นบางถึงหนามาก และถ้าไม่เป็นชั้นก็มีบางแห่งลักษณะเป็นเนื้อดิน โดยมากมักมีชั้นเชิร์ตแทรก และบางแห่งเป็นหินโดโลไมต์ บางที่มีหินดินดานเนื้อทราย หินทรายแป้ง หินทรายแทรกสลับ บางแห่งมีหินปูนเนื้อกรวด บางแห่งมีการแปรสภาพไปเป็นหินอ่อน หินแคลซ์ซิลิเกต และหินฮอร์นเฟลส์ นอกจากนี้ยังพบหินภูเขาไฟแทรกตัดเข้ามาในชั้นหิน ซากดึกดำบรรพ์ที่พบส่วนใหญ่เป็นซาก พูซูลินิดและยังพบ แบรคิโอพอด หอยฝาเดียว แอมโมไนต์ เซฟาโลพอด ปะการัง ไบโอสฟิว ครอนอยด์ และสาหร่าย สภาพแวดล้อมการสะสมตัวในทะเลน้ำตื้น

หมวดหินซบบอน (Sup Bon Formation) มีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนกลางถึงตอนปลาย (Middle-Late Permian) ประกอบด้วย หินดินดานสลับหินทรายแป้ง รวมทั้งหินทรายบ้างเล็กน้อย สีนํ้าตาลอมเหลือง สีนํ้าตาลอ่อน และสีนํ้าตาลเรื่อ นอกจากนี้บางแห่ง พบเป็นสีเหลืองเทาและเหลืองนํ้าตาล บางแห่งมีสีเขียวซีม้่า หลายชั้นจะมีหินปูนลักษณะเป็นชั้นสีเทาและเทาดำ ชั้นบางจนถึงหนาแทรกชั้นอยู่บ้างในบางแห่ง ส่วนหินเชิร์ตยังคงมีแทรกอยู่เป็นกระเปาะ และมีเนื้อเป็นซิลิกาด้วย ในบางแห่งหินอาจมีการแปรสภาพไปเป็นหินชนวน หินฟิลไลต์ และหินซีสต์ ซากดึกดำบรรพ์ที่พบ ได้แก่ *Agathiceras sp.* พูซูลินิดบ่งบอกอายุช่วง Kungurian-Kazanian เช่น *Pseudofusulinid sp.* *Colania cf. douvillei* Ozawa, *Neoschwagerina cf. margaritae*

2.5 โครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

จากผลการศึกษาแนวชั้นหินคดโค้งและแนวรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำเขาขวางของ Morley *et al.* (2013) พบว่า มีทิศทางการวางตัวหลักในแนวตะวันออก-ตะวันตกเป็นส่วนใหญ่ โดยพบว่ามี การเกิดการหมุนของพื้นที่ตามเข็มนาฬิกา เนื่องจากอิทธิพลของรอยเลื่อนแม่ปิงทำให้มีทิศทางการวางตัวหลักในแนวตะวันออก-ตะวันตก ซึ่งตรงข้ามกับลักษณะของภูมิประเทศที่มีแนวโน้มส่วนใหญ่ของเทือกเขาอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ และจากธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่ในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนกลางที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงยุคไทรแอสซิกตอนปลาย-ยุคจูแรสซิกตอนต้น ซึ่งเป็นช่วงที่มีการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน ทำให้หมวดหินภูเพ็ดทับหมวดหินเขาขาด ซึ่งมีอายุอ่อนกว่า โดยเป็นอิทธิพลมาจากรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ และจากการศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวชั้นหินคดโค้งและแนวรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำเขาขวางในระดับกลาง โดย Arboit *et al.* (2014) พบว่าชั้นหินคดโค้งและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำในบริเวณเขาใหญ่ ซึ่งมีทิศทางการวางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ เป็นส่วนใหญ่ โดยมีทิศทางการวางเข้ามาในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และได้เสนอว่าพื้นที่เขาใหญ่มีลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างที่ได้รับอิทธิพลมาจากความแตกต่างของระดับชั้นหิน โดยพบว่าบริเวณหินด้านพื้น (foot wall) พบลักษณะของชั้นหินคดโค้งแบบหน้าจั่ว (chevron fold) ของรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำขนาดใหญ่ และพบชั้นหินคดโค้งขนาดใหญ่ ในส่วนทางหินด้านเพดาน (hanging wall) มีลักษณะเป็นชั้นหินคดโค้งที่เกิดจากการพับงอ (fault blend fold) และชั้นหินคดโค้งปลายรอยเลื่อน (fault propagation fold)

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้มีการวางแผนงานการวิจัยออกเป็น 5 ขั้นตอน (รูปที่ 3.1) ได้แก่ การศึกษา และรวบรวมข้อมูล การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลจากการออกภาคสนาม การศึกษาในห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์และอภิปรายผล และการสรุปผลการศึกษา โดยรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนจะนำเสนอในลำดับต่อไป

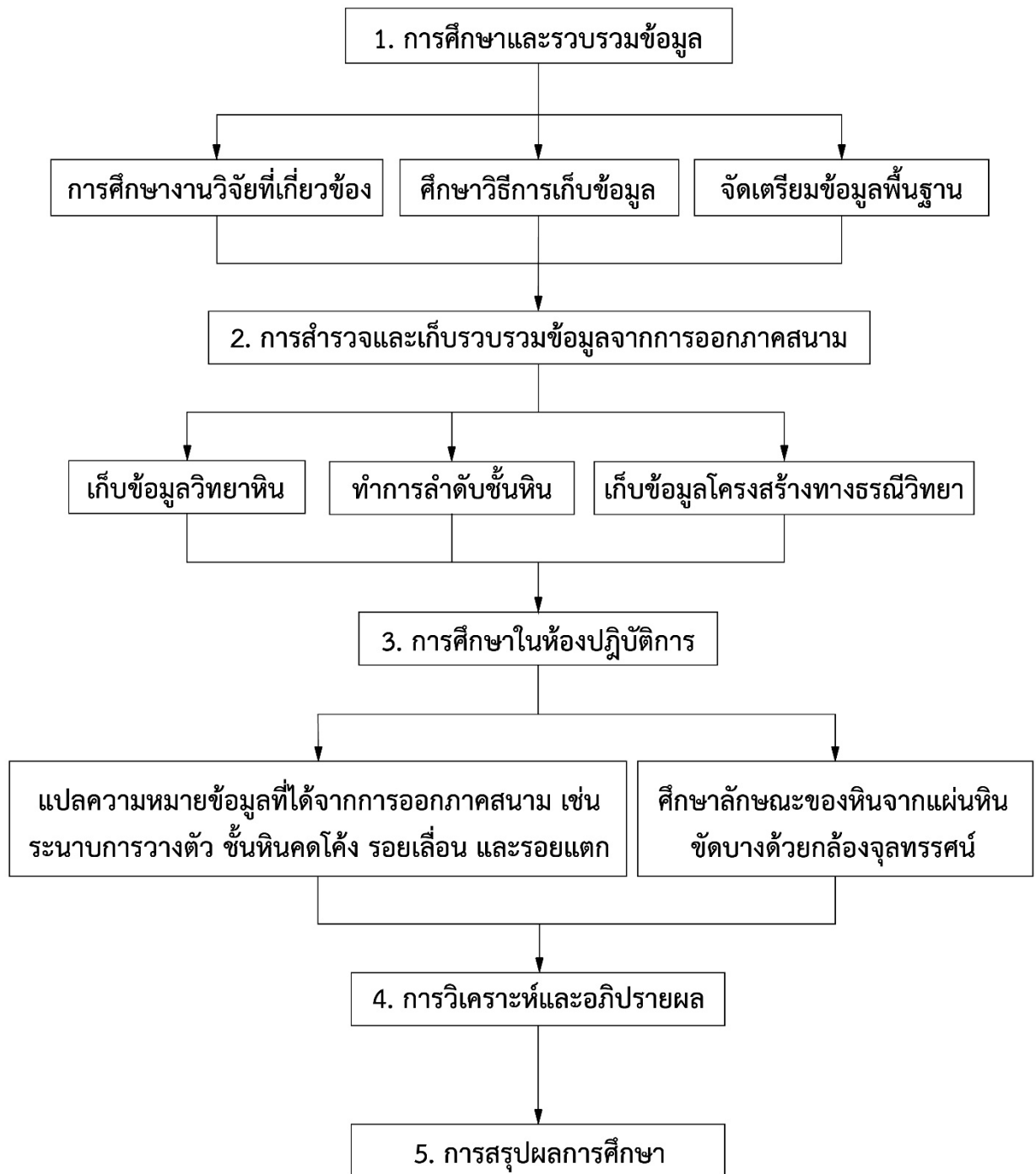
3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการทำวิจัย ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อการเรียนรู้และเข้าใจถึงสภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา ไม่ว่าจะเป็นชนิดหิน ลำดับชั้นหิน โครงสร้างทางธรณีวิทยา ตลอดจนธรณีแปรสัณฐานในพื้นที่ ซึ่งเป็นเพียงกลไกการเปลี่ยนแปลงเล็กๆ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของธรณีแปรสัณฐานขนาดใหญ่ระดับประเทศหรืออาจจะมาจากการเปลี่ยนแปลงธรณีแปรสัณฐานระดับภูมิภาคเอเชีย เช่น กระบวนการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน หรือ กระบวนการก่อเทือกเขาหิมาลัย (Himalayan Orogeny) ตามลำดับ โดยระเบียบวิธีวิจัยของการศึกษานี้ ประกอบด้วย การศึกษารายงานผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นผลงานการวิจัยของนิสิตเก่าที่เคยทำไว้ในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงหรืออาจจะเป็นผลงานการวิจัยของผู้เชี่ยวชาญหรือบุคคลที่มีชื่อเสียงในด้านธรณีวิทยาทั้งในระดับประเทศและนานาชาติ เช่น ผลงานเรื่อง Development of the Khao Khwang Fold and Thrust Belt: Implications for the geodynamic setting of Thailand and Cambodia during the Indosinian Orogeny ซึ่งถูกตีพิมพ์โดย Morley et al. ในปี ค.ศ. 2013 นอกจากการศึกษาผลงานการวิจัยเก่าแล้ว ยังมีการศึกษาหาข้อมูลอื่นๆ เช่น ศึกษาหาข้อมูลจากหนังสือธรณีวิทยาประเทศไทย ปี พ.ศ. 2550 โดยกรมทรัพยากรธรณีวิทยาแห่งประเทศไทย และหนังสือ Geology of Thailand ที่ถูกเรียบเรียงโดย Ridd, Barber and Crow ในปี ค.ศ. 2011 นอกจากนี้ได้รวบรวมแผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1:50000 โดยกรมแผนที่ทหาร และแผนที่ธรณีวิทยา มาตรฐาน 1:250000 โดยกรมทรัพยากรธรณีวิทยา และในส่วนของข้อมูลที่สามารถจัดหาได้จากอินเทอร์เน็ต เช่น ภาพถ่ายดาวเทียม ก็ได้มีการรวบรวมและนำมาประยุกต์ใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ทั้งในส่วนของการหาพื้นที่ศึกษาในช่วงต้นของการศึกษาและใช้ในการวางแผนและแสดงผลข้อมูลที่ได้จากการออกภาคสนาม

3.2 การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลจากการออกภาคสนาม

ในการศึกษาทำวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ของการศึกษา ได้แก่ การศึกษาวิทยาหิน การลำดับชั้นหิน และการศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยา เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาจึงได้ทำการแบ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การศึกษาวิทยาหินและการลำดับชั้นหิน และอีกส่วนหนึ่งคือ การศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยา

3.2.1 การศึกษาวิทยาหินและการลำดับชั้นหิน โดยจะทำการเก็บข้อมูลวิทยาหินไปพร้อมๆกับการทำลำดับชั้นหิน โดยจะสำรวจหาพื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างธรณีวิทยาหรือได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงน้อยสุด เพราะจะทำให้การทำลำดับชั้นหินในพื้นที่ศึกษาขาดความต่อเนื่องของข้อมูลหรืออาจจะได้ข้อมูลที่ผิดพลาดไปจากข้อมูลที่แท้จริง การเลือกพื้นที่ศึกษาในบริเวณที่มีชั้นหินคดโค้งอาจจะทำให้ความหนาของ



รูปที่ 3.1 แผนผังการลำดับขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาวิจัย 5 ขั้นตอน ซึ่งประกอบไปด้วย การศึกษาและรวบรวมข้อมูล การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลจากการออกภาคสนาม การศึกษาในห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์และอภิปรายผล และการสรุปผลการศึกษา



รูปที่ 3.2 การแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นบริเวณย่อย 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณ A บริเวณ B และบริเวณ C ตามลำดับ (Google Earth Pro 7.1.5.1557. อำเภอปากช่อง จังหวัด นครราชสีมา. 14° 37' 03"N, 101° 21'50"E. มองจากความสูง 25 กิโลเมตร. ดาวเทียม NOAA, Digital Globe 2016 (เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2559))

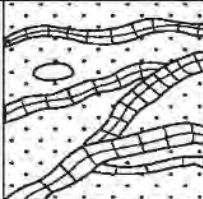
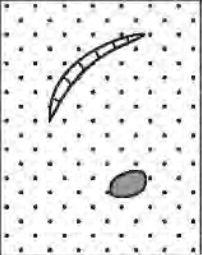
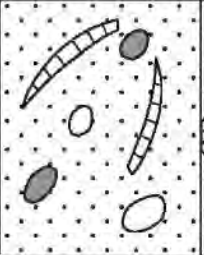
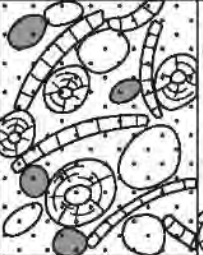
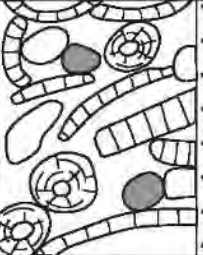


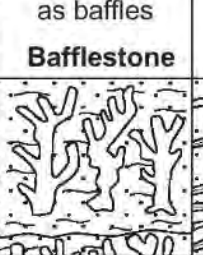
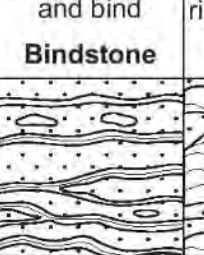
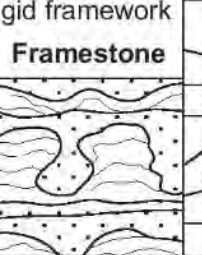
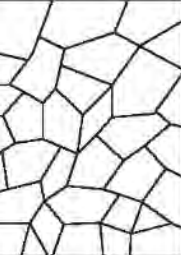
ชั้นหินมีความหนามากกว่าหรือน้อยกว่าความเป็นจริงหรือหากเลือกพื้นที่ในบริเวณที่มีรอยเลื่อนตัดผ่านอาจทำให้การทำลำดับชั้นหินได้ความหนาของลำดับชั้นที่น้อยกว่าข้อมูลที่ควรจะได้ เมื่อได้พื้นที่ที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการลำดับชั้นหินโดยทำการวัดความหนาของชั้นหินเป็นระยะๆ ระยะละ 1 เมตร ในทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบการวางตัวของชั้นหิน พร้อมกับทำการบันทึกข้อมูลทางวิทยาหินที่สามารถมองเห็นได้จากได้เปล่า เช่น สีหิน เนื้อหิน ฟอสซิล หรือหากมีหินชนิดอื่นแทรกก็ทำการบันทึกข้อมูลชนิดหิน ความหนา หรือข้อมูลอื่นๆเพิ่มเติมในรายละเอียดเข้าไป สำหรับการเก็บตัวอย่างหิน จะทำการเก็บตัวอย่างหินทุกๆ 1 เมตร หากพบว่าบางบริเวณเห็นการเปลี่ยนแปลงของเนื้อหินที่ชัดเจน เช่น เนื้อหินที่มีความละเอียดไม่เท่ากันหรือมีลักษณะอื่นๆที่แตกต่างกันออกไปก็ทำการเก็บตัวอย่างในบริเวณนั้นเพิ่ม

3.2.2 การศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยา เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่เหมืองที่มีอาณาเขตกว้างขวาง ยาวประมาณ 1 กิโลเมตร กว้างประมาณ 400 เมตร จึงทำการแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นบริเวณย่อย 3 บริเวณ (รูปที่ 3.2) ได้แก่ บริเวณ A ซึ่งจะอยู่บริเวณทางทิศเหนือของตัวเหมือง บริเวณ B อยู่บริเวณกลางเหมือง ซึ่งมีชั้นหินที่อยู่สูงกว่าบริเวณรอบข้าง และบริเวณ C จะอยู่บริเวณทิศใต้ของตัวเหมือง ในส่วนของข้อมูลที่มีการเก็บรวบรวม ได้แก่ ข้อมูลระนาบการวางตัวของชั้นหิน ข้อมูลโครงสร้างการคดโค้งของชั้นหิน ข้อมูลโครงสร้างรอยเลื่อน และข้อมูลโครงสร้างรอยแยก นอกจากนี้ในบางบริเวณอาจจะปรากฏข้อมูลทิศทางการเลื่อนตัวของหินซึ่งดูได้จากรอยครูดถู (slicken line) แร่ที่เกิดจากการครูดถู (slicken mineral) หรือแนวการเลื่อนตัวที่มีลักษณะคล้ายบันได (chatter mark)

3.3 การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

จากข้อมูลที่เก็บได้จากการออกภาคสนามประกอบด้วยกัน 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นข้อมูลที่ได้จากการทำลำดับชั้นหินและตัวอย่างหิน นำข้อมูลชั้นหินที่ได้มาทำการวาดแผนภาพแสดงลำดับชั้นหินโดยนำเอาข้อมูลชั้นหินที่เก็บทุกๆ 1 เมตรมาทำวาดต่อกันเป็นแท่งกราฟในแนวตั้งและเขียนอธิบายรายละเอียดที่พบในชั้นหินนั้นๆ ในส่วนของตัวอย่างหิน นำตัวอย่างที่ได้ไปทำการตัดทำแผ่นหินขัดบาง (thin section) โดยตัวอย่างหิน 1 ก้อน นำมาตัดทำตัวอย่างแผ่นหินขัดบาง 1 แผ่น จากนั้นนำแผ่นหินขัดบางที่ได้ไปทำการศึกษากายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (stereo microscope) หรืออาจจะศึกษากายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ (polarized microscope) เพื่อศึกษาแร่องค์ประกอบภายในหิน โดยการศึกษาจะมุ่งเน้นไปสู่การจำแนกชนิดหิน เพื่อตั้งชื่อให้เกิดความถูกต้องและเป็นสากลมากยิ่งขึ้น โดยการศึกษาจะใช้หลักการจำแนกของ Dunham (1962) (รูปที่ 3.3) ซึ่งเป็นการจำแนกเนื้อหินปูนโดยองค์ประกอบของตะกอนเนื้อดิน (matrix) ในหินปูนเทียบกับตะกอนเนื้อเม็ด (grain) ในหินปูน นอกจากนี้ ยังเป็นการศึกษาดูรายละเอียดของซากฟอสซิลที่อยู่ภายในหินปูน เพื่อหาฟอสซิลดัชนี (index fossil) ในการบ่งบอกอายุของการตกสะสมตัวและสภาพแวดล้อมของการตกสะสมตัว

ในส่วนที่สอง เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างทางธรณีวิทยา เช่น ระนาบการวางตัวของชั้นหิน ระนาบการคดโค้ง ระนาบการเลื่อนตัว และระนาบรอยแตก โดยจะนำข้อมูลต่างๆเหล่านี้มาทำการพล็อตลงในแผนภาพสเตอริโอเน็ตชนิดพื้นที่เท่า (equal area stereonet) เพื่อหาค่าเฉลี่ยของระนาบต่างๆที่ทำการวัดในภาคสนาม

Depositional texture recognisable								Depositional texture not recognisable	
Original components not bound together during deposition				Original components organically bound during deposition					
Contains mud (clay and fine silt-size carbonate)		Lacks mud and is grain-supported	> 10% grains > 2mm		Boundstone <i>(may be divided into three types below)</i>				
Mud-supported			Matrix-supported	Supported by > 2mm component					
Less than 10% grains	More than 10% grains	Packstone	Grainstone	Floatstone	Rudstone	By organisms which act as baffles	By organisms which encrust and bind	By organisms which build a rigid framework	
Mudstone	Wackestone					Bafflestone	Bindstone	Framestone	
									

ตารางที่ 3.1 ตารางการจำแนกชื่อหินตะกอนคาร์บอเนตตามการจำแนกของ Dumham (1962) ที่ถูกปรับปรุงใหม่โดย Klován and Embry (1970)

นอกจากนี้อาจนำข้อมูลระนาบรอยแตกลงไปพล็อตในแผนภาพกุหลาบ (rose diagram) เพื่อหาทิศทางหลักของการเปิดออกของรอยแตก ซึ่งสามารถบอกถึงทิศทางของแรงที่เข้ามากระทำหลักและส่งผลให้รอยแตกถูกเปิดออก

นอกจากข้อมูลที่ได้จากการออกภาคสนามแล้ว ยังทำการแปลความหมายระนาบชั้นหิน ระนาบรอยเลื่อน และระนาบรอยแตกต่างๆ จากข้อมูลภาพถ่ายหินโผล่ เพื่อเป็นหลักฐานในการบอกโครงสร้างธรณีวิทยาของพื้นที่

3.4 การวิเคราะห์และอภิปรายผล

ในส่วนของขั้นตอนนี้จะทำการแบ่งเป็นหัวข้อๆตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ในบทที่ 1 โดยใช้ข้อมูลที่สามารถสืบหาและรวบรวมได้ทั้งจากการออกภาคสนามและการปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 การศึกษาวิทยาหินในพื้นที่ จะทำการอ้างอิงข้อมูลทั้งจากลักษณะที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและจากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยจะอธิบายถึงลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบภายในของหิน เช่น สีหิน เนื้อหิน และฟอสซิลที่พบ

3.4.2 การลำดับชั้นหิน จากข้อมูลกราฟลำดับชั้นหินที่ประกอบด้วยชนิดหิน และฟอสซิลที่พบในแต่ละช่วงการสะสมตัว ซึ่งหากพบว่ามีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตมาก ทำให้สามารถบ่งบอกได้ว่าสภาพแวดล้อมในขณะตกสะสมตัวมีความอุดมสมบูรณ์ของสิ่งมีชีวิตในบริเวณนี้และมีสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการอยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต หากพิจารณาร่วมกับชนิดหินในช่วงลำดับชั้นหินนั้นๆก็อาจจะบ่งบอกสภาพแวดล้อมการตกสะสมตัวของหินในบริเวณนี้ได้

3.4.3 การศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาในพื้นที่ ข้อมูลส่วนนี้จะใช้หลักฐานทางโครงสร้างทางธรณีวิทยาเข้ามาพิจารณาลำดับการเกิดก่อน-หลัง เช่น การเกิดรอยแตกที่ตัดผ่านชั้นหินต่างๆ การดูระนาบรอยแตก เพื่อพิจารณาถึงลำดับการเกิดของระนาบรอยแตกอันจะบอกถึงทิศทางของแรงที่เข้ามากระทำ นอกจากนี้ ข้อมูลในส่วนที่ได้จากการปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการจะช่วงในการสรุปทิศทางของแรงที่เข้ามากระทำด้วย ภายหลังจากที่ได้ลำดับการเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางธรณีวิทยาแล้วจึงทำการเชื่อมโยงลำดับชั้นการเปลี่ยนแปลงเข้ากับการเปลี่ยนแปลงของธรณีแปรสัณฐานประเทศไทย เพื่อทำการวิเคราะห์ลำดับการเกิดวิวัฒนาการของการเปลี่ยนแปลงว่าสอดคล้องกันหรือไม่ หรือมีอะไรที่แตกต่างกันออกไป

3.5 การสรุปผลการศึกษา

เป็นการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทั้งจากการออกภาคสนามและการปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการ รวมถึงผลการวิเคราะห์และแปลความข้อมูลมาทำสรุปหาผลลัพธ์ทั้งชนิดหิน ลำดับชั้นหิน และโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่พบในพื้นที่บริเวณนี้ นอกจากนี้ยังนำเอาผลการวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องเข้ามาสรุปร่วมด้วย เพื่อให้เห็นถึงความสอดคล้องและความแตกต่างกับผลการวิจัยในครั้งอื่น อันจะเป็นการตั้งคำถามและต่อยอดการทำงานวิจัยต่อไป

บทที่ 4

ผลการศึกษา

จากแผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:250000 ปี พ.ศ. 2519 โดยกรมทรัพยากรธรณีวิทยาแห่งประเทศไทย บ่งบอกให้ทราบว่า พื้นที่ศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของหมวดหินเขาขาด (Khao Khad Formation) กลุ่มหินสระบุรี (Saraburi Group) มีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนต้นถึงตอนกลาง โดยมีลักษณะทางธรณีวิทยาสอดคล้องกับหลักฐานที่พบในพื้นที่ศึกษาดังนี้ พบหินปูน สีดำ เทาเข้ม-เทาอ่อน บางบริเวณพบหินดินดาน (shale) เป็นชั้นบางๆ แทรกสลับอยู่ระหว่างชั้นหินปูน ฟอสซิลที่พบได้แก่ ฟูซูลินิต ฟอแรมมินิเฟอรา แบรคิโอพอด ปะการัง และสาหร่าย นอกจากนี้ยังพบหินแอนดีไซต์ (andesite) ตัดผ่านเป็นผนังหิน (dyke) และบางส่วนมีการแทรกอยู่ระหว่างชั้นหินปูน (sill)

โดยบทนี้จะนำเสนอผลการศึกษาที่จากการออกภาคสนามและการปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการ ซึ่งข้อมูลที่จะนำเสนอประกอบไปด้วยวิทยาหิน การลำดับชั้นหิน และโครงสร้างทางธรณีวิทยา โดยมีรายละเอียดดังนี้

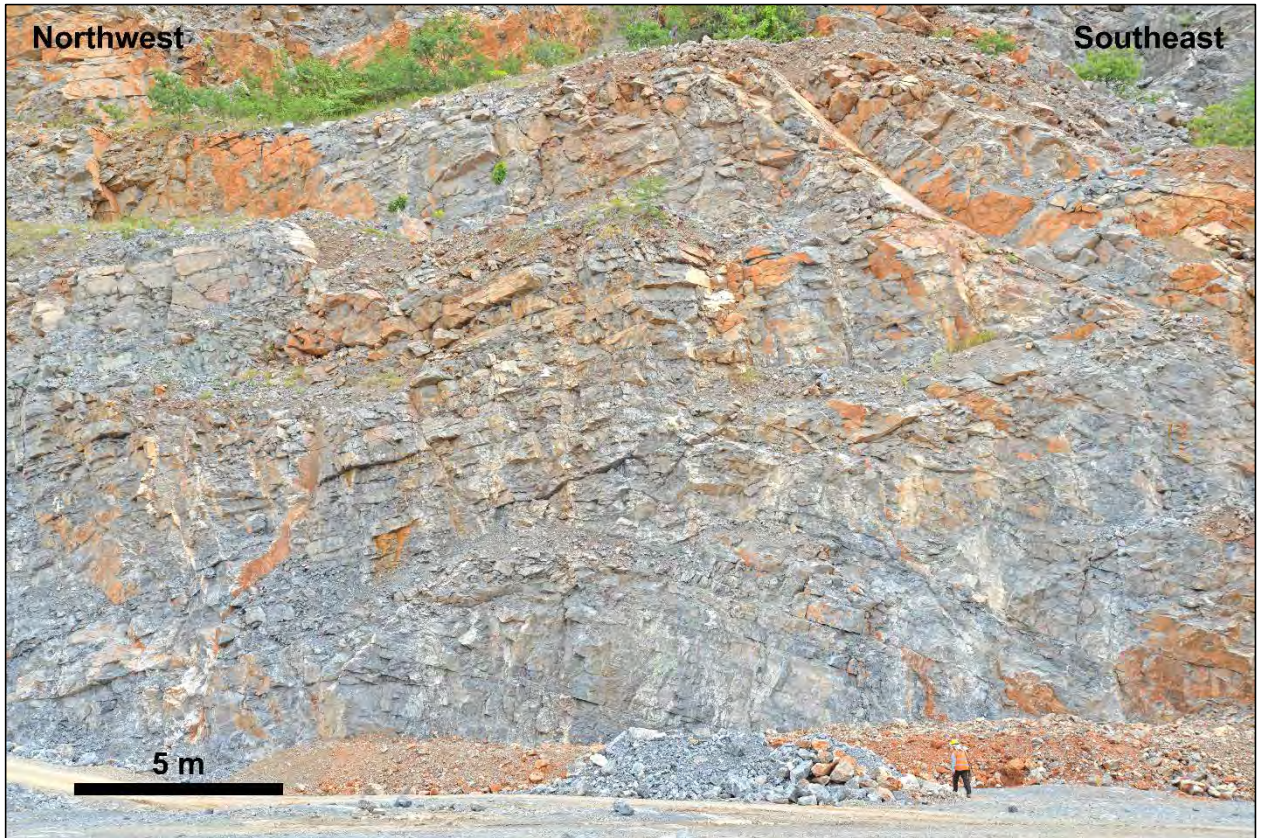
4.1 วิทยาหิน

จากศึกษาชนิดหินในพื้นที่ศึกษาพบหินทั้งหมด 2 ชนิด ได้แก่ หินตะกอนคาร์บอเนต (carbonate rock) ที่มีบางชั้นถูกแทรกสลับด้วยหินตะกอนเนื้อประสม (clastic rock) และหินอัคนีภูเขาไฟ (volcanic rock) โดยรายละเอียดของหินที่พบมีดังนี้

4.1.1 หินตะกอนคาร์บอเนต ซึ่งสามารถจำแนกหินชนิดนี้ได้ 2 แบบ คือ หินปูนชั้นหนาและหินปูนชั้นบางที่มีหินดินดานแทรกสลับ

หินปูนชั้นหนา มีลักษณะเป็นหินปูนสีเทา-เทาดำ เนื้อแน่น มีชั้นการสะสมตัวที่หนาประมาณ 0.5-2 เมตร (รูปที่ 4.1 และ 4.2) และมีความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) จากการศึกษากายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอพบว่า เนื้อหินปูนนี้ประกอบด้วยตะกอนเนื้อดิน (mud supported) 95-97 เปอร์เซ็นต์ และมีตะกอนเนื้อเม็ด (grain supported) ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.3) จากเกณฑ์การจำแนกหินคาร์บอเนตของ Dunham (1962) สามารถเรียกชื่อหินชนิดนี้ได้ว่า “หินคาร์บอเนตเนื้อดิน (carbonate mudstone)” ฟอสซิลที่พบในหินปูนชนิดนี้ได้แก่ ฟอแรมมินิเฟอราขนาดเล็ก (smaller foraminifera)

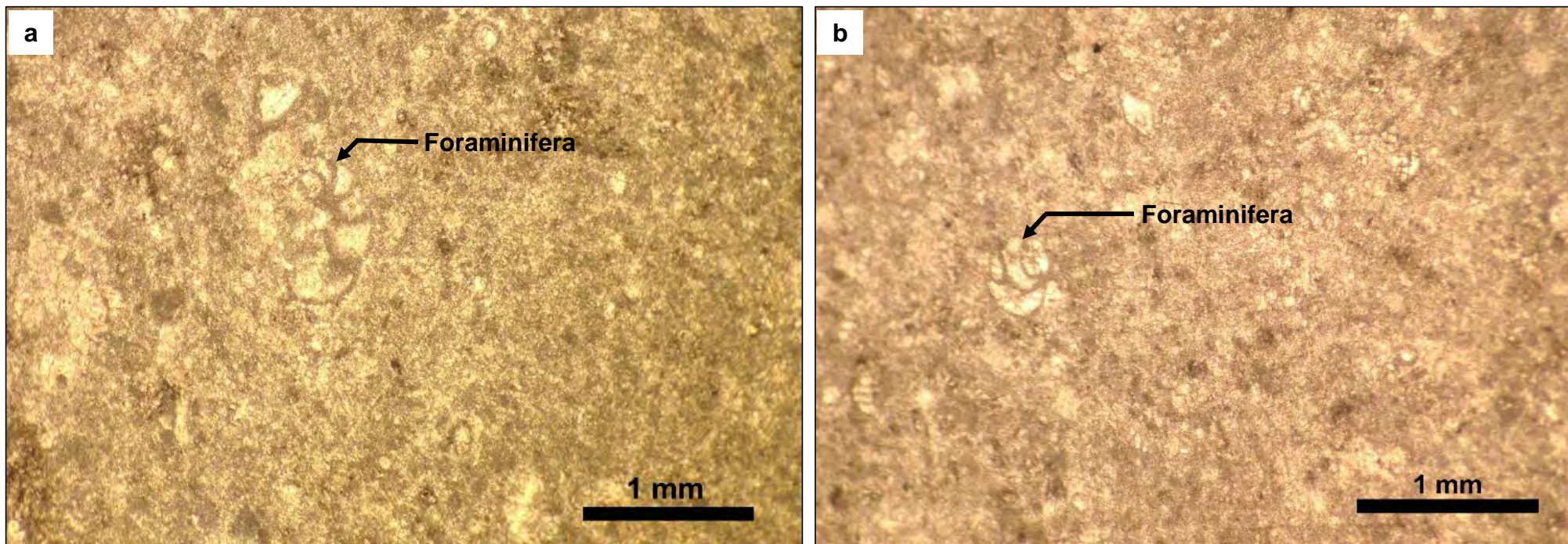
หินปูนชั้นบาง มีลักษณะเป็นหินปูนสีเทาเข้ม-ดำ เนื้อแน่น หนาประมาณ 20-50 เซนติเมตร บางส่วนมีชั้นหินดินดานสีดําแทรกสลับ (รูปที่ 4.4 และ 4.5) โดยชั้นหินดินดานนี้หนาประมาณ 1-10 เซนติเมตร จากการศึกษากายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ พบว่า เนื้อหินปูนชนิดนี้ประกอบด้วย ตะกอนเนื้อเม็ดประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ และตะกอนเนื้อดินประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.6) จากเกณฑ์การจำแนกหินคาร์บอเนตของ Dunham (1962) สามารถเรียกชื่อหินชนิดนี้ได้ว่า “หินคาร์บอเนตเนื้อเม็ด (carbonate grainstone)” ฟอสซิลที่พบ ได้แก่ ฟูซูลินิต ฟอแรมมินิเฟอรา แบรคิโอพอด ปะการัง และสาหร่าย



รูปที่ 4.1 หินโผล่ที่ประกอบด้วยหินปูนชั้นหนาและมีชั้นการสะสมตัวประมาณ 80 เซนติเมตร โผล่ให้เห็นบริเวณทางตอนเหนือของเหมืองหินปูน โดยคนในรูปสูง 160 เซนติเมตร



รูปที่ 4.2 หินโผล่ที่ประกอบด้วยหินปูนชั้นหนาและมีชั้นการสะสมตัวประมาณ 80 เซนติเมตร โผล่ให้เห็นบริเวณทางตอนเหนือของเหมืองหินปูน



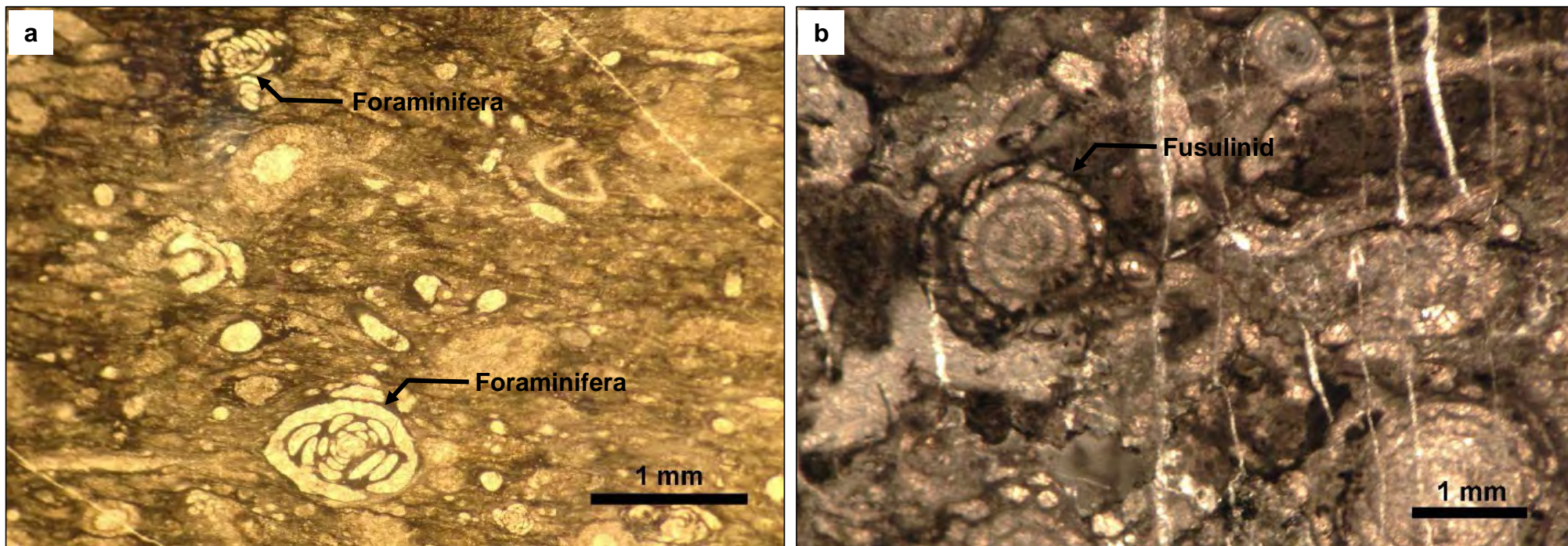
รูปที่ 4.3 การศึกษาองค์ประกอบภายในจากแผ่นหินขัดบางของหินปูนที่มีการสะสมตัวเป็นชั้นหนาผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอพบเนื้อดินเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ มีตะกอนเนื้อเม็ดบ้างเล็กน้อย (a, b) มีฟอสซิลฟอแรมมิเนเฟอราเป็นองค์ประกอบ



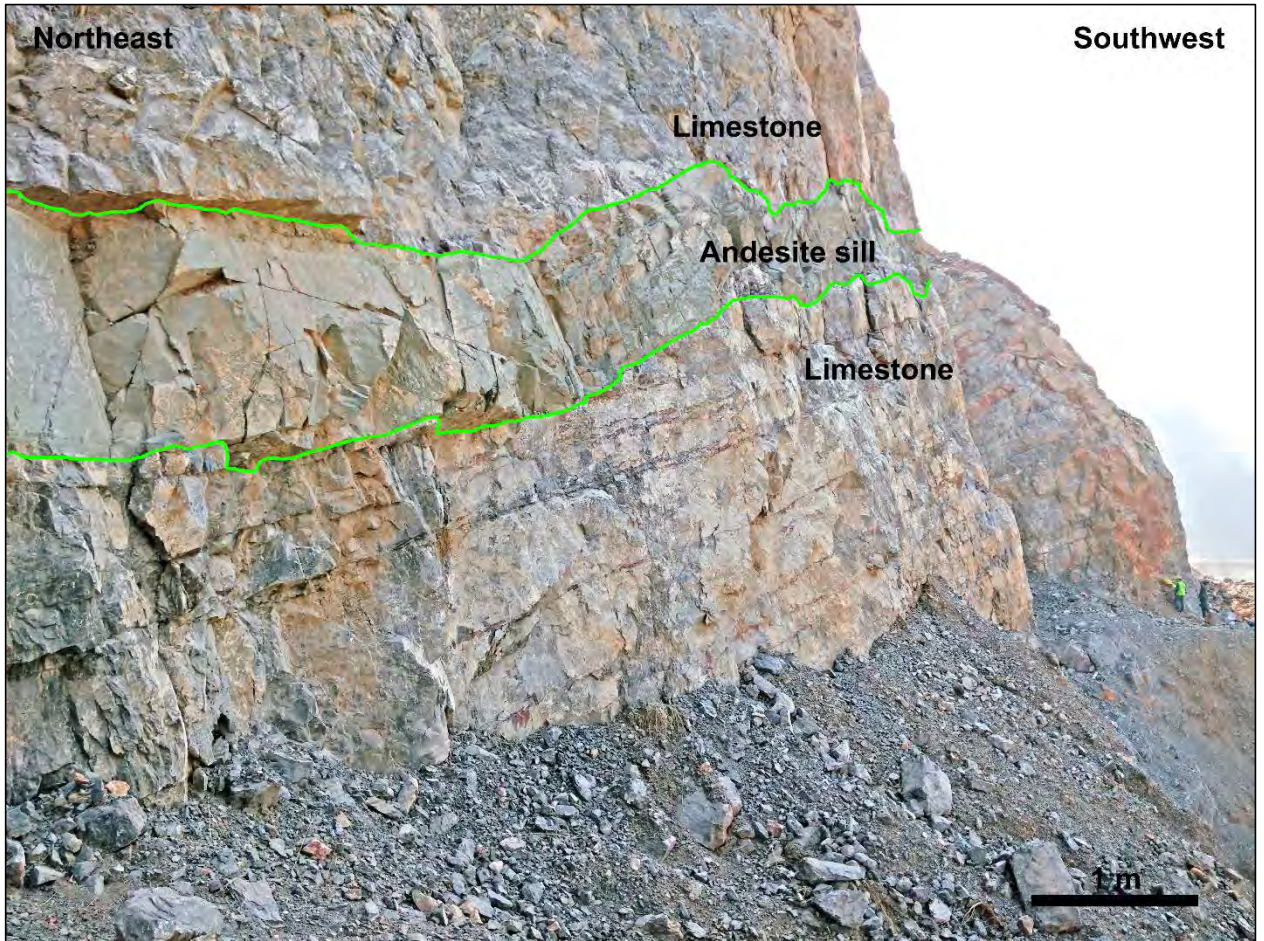
รูปที่ 4.4 หินโผล่ที่ประกอบด้วยหินปูนชั้นบางและมีชั้นหินดินดานแทรกสลับ โผล่ให้เห็นบริเวณทางตอนใต้ของเหมืองหินปูน



รูปที่ 4.5 หินโผล่ที่ประกอบด้วยหินปูนชั้นบางและมีชั้นหินดินดานแทรกสลับ โผล่ให้เห็นบริเวณทางตอนใต้ของเหมืองหินปูน



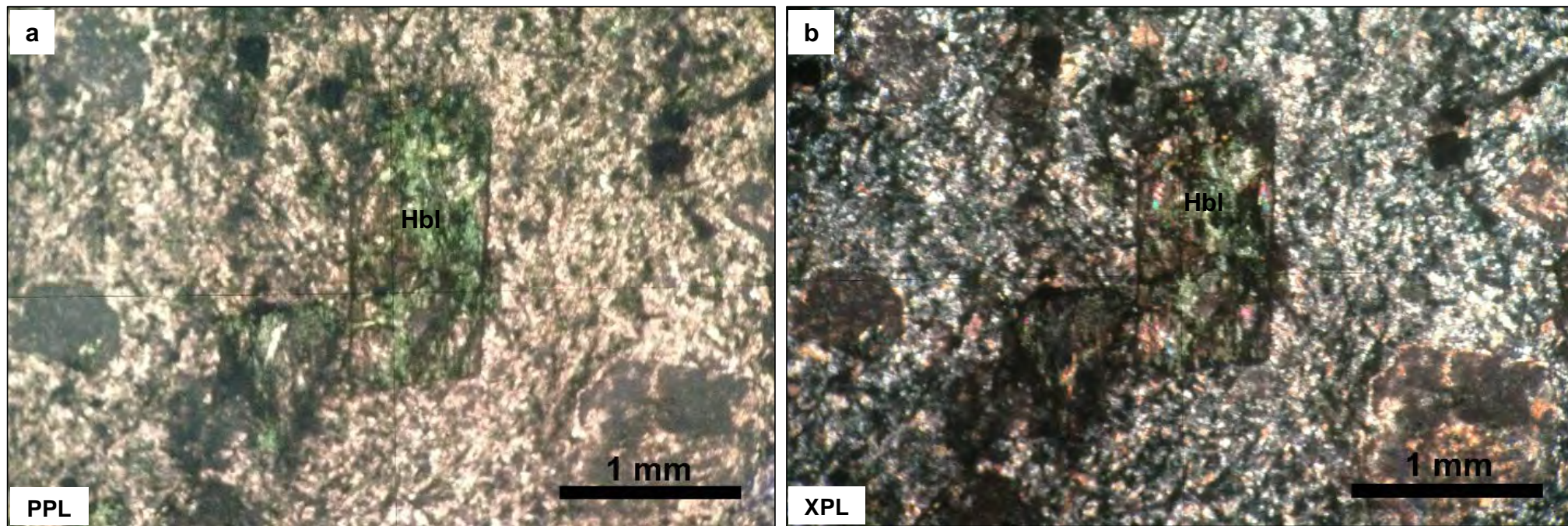
รูปที่ 4.6 การศึกษาองค์ประกอบภายในจากแผ่นหินขัดบางของเนื้อหินปูนชั้นบางถึงหนาปานกลางผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอขององค์ประกอบของตะกอนเนื้อเม็ดเป็นส่วนใหญ่
(a) พบฟอสซิลฟอแรมินิเฟอราเป็นองค์ประกอบ (b) พบฟอสซิลฟอแรมินิเฟอราเป็นองค์ประกอบ



รูปที่ 4.7 หินโผล่ที่มีหินแอนดีไซต์แทรกอยู่ระหว่างชั้นหิน มีความหนาประมาณ 1.5 เมตร พบบริเวณตอนกลางของเหมืองหินปูน



รูปที่ 4.8 หินโผล่ที่มีหินแอนดีไซต์แทรกอยู่ระหว่างชั้นหิน มีความหนาประมาณ 1.5-2 เมตร



รูปที่ 4.9 การศึกษาแร่องค์ประกอบภายในของหินจากแผ่นหินขัดบางผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ (a) รูปถ่ายเป็นการศึกษาแร่องค์ประกอบผ่านแสงแบบ PPL (b) รูปขวาเป็นการศึกษาแร่องค์ประกอบผ่านแสงแบบ XPL

4.1.2 หินอัคนีภูเขาไฟ โดยในพื้นที่ศึกษาพบลักษณะของหินแอนดีไซต์ (andesite) (รูปที่ 4.7) ตัดเข้ามาตามรอยแตกเกิดเป็นผนังหินแทรกตัดและมีบางส่วนที่แทรกขนานไปกับชั้นหินปูน โดยมีรายละเอียดของหินดังต่อไปนี้

หินแอนดีไซต์ มีลักษณะเป็นหินสีเขียว มองไม่เห็นเม็ดแร่ในเนื้อหิน (aphanitic texture) มีความหนาประมาณ 1-2 เมตร (รูปที่ 4.8) ปรากฏให้เห็นเฉพาะบริเวณตอนกลางของเหมืองเท่านั้น จากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ พบว่า เนื้อหินประกอบด้วย ผลึกแร่ขนาดเล็ก มีแร่พื้นบางส่วนเป็นสีเขียว คาดว่าเป็นจะแร่ฮอร์นเบรน (hornblende) ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และพบแร่พลาจิโอเคลส (plagioclase) ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ พบผลึกดอกของแร่ฮอร์นเบรนชัดเจน ขนาด 0.5-1 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.9)

4.2 การลำดับชั้นหิน

จากการสำรวจและเลือกพื้นที่เพื่อทำการลำดับชั้นหินของหัวข้อนี้ ได้ทำการเลือกพื้นที่ทำการศึกษาอยู่บริเวณพื้นที่ศึกษาย่อย C และเป็นส่วนของผนังหินที่อยู่ทางที่ทางตอนใต้ของเหมือง เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของผนังหินที่ไม่มีการขุดหินออกไป จึงเหมาะที่จะเป็นพื้นที่ศึกษาต่อไปได้ในอนาคต นอกจากนี้พื้นที่ดังกล่าวเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างธรณีวิทยาเพียงเล็กน้อย จึงปรากฏความต่อเนื่องของการลำดับชั้นหินได้อย่างชัดเจน แต่เนื่องจากพื้นที่บริเวณนี้เป็นพื้นที่หน้าเหมืองที่เป็นผาสูงชัน จึงไม่สามารถทำการศึกษาได้ทั้งหมด ทำให้การศึกษานี้มีการกำหนดบริเวณที่ทำการศึกษาได้เพียงบริเวณที่เป็นเหมืองเท่านั้น (รูปที่ 4.10 และ 4.11) โดยผลการลำดับชั้นหินที่ได้ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งประกอบด้วยชั้นหินปูนที่มีชั้นการสะสมตัวหนา 10-20 เซนติเมตร ที่วางตัวต่อเนื่องกันหนากว่า 4 เมตร ก่อนที่จะมีการแทรกสลับด้วยชั้นหินดินดานที่มีความหนา 1-20 เซนติเมตร และเป็นชั้นแทรกสลับกับไปหนากว่า 6 เมตร ซึ่งการสะสมตัวของตะกอนต่อจากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่มีเพียงการสะสมตะกอนของหินปูนเป็นชั้นๆต่อเนื่องกันหนาประมาณ 5 เมตร และมีการเปลี่ยนแปลงสภาพการสะสมตะกอนเป็นชั้นแทรกสลับด้วยหินดินดานอีกครั้ง แต่มีความถี่ของการแทรกสลับที่ลดน้อยลงกว่าชั้นหินที่ดูด้านล่าง และมีการเปลี่ยนสภาพไปเป็นการสะสมตัวของหินปูนในลักษณะเป็นชั้นหนา 20-60 เซนติเมตรต่อไป ซึ่งความหนาของลำดับชั้นที่สามารถศึกษาได้ในครั้งนี้มีความหนารวมทั้งหมด 29 เมตรโดยประมาณ และจากการศึกษาแผ่นขัดหินบางผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ พบซากดึกดำบรรพ์ที่มีความหลากหลายมาก บริเวณชั้นหินที่สะสมตัวอยู่บริเวณชั้นล่างและค่อยๆมีการเปลี่ยนแปลงของความหลากหลายที่น้อยลงในลำดับชั้นตะกอนที่สูงขึ้น



รูปที่ 4.10 หินโคล่บริเวณทางใต้ของพื้นที่ศึกษาย่อย C ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ทำการศึกษาลำดับชั้นหิน



รูปที่ 4.11 หินโคล่บริเวณทางใต้ของพื้นที่ศึกษาย่อย C ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ทำการศึกษาลำดับชั้นหิน

4.3 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

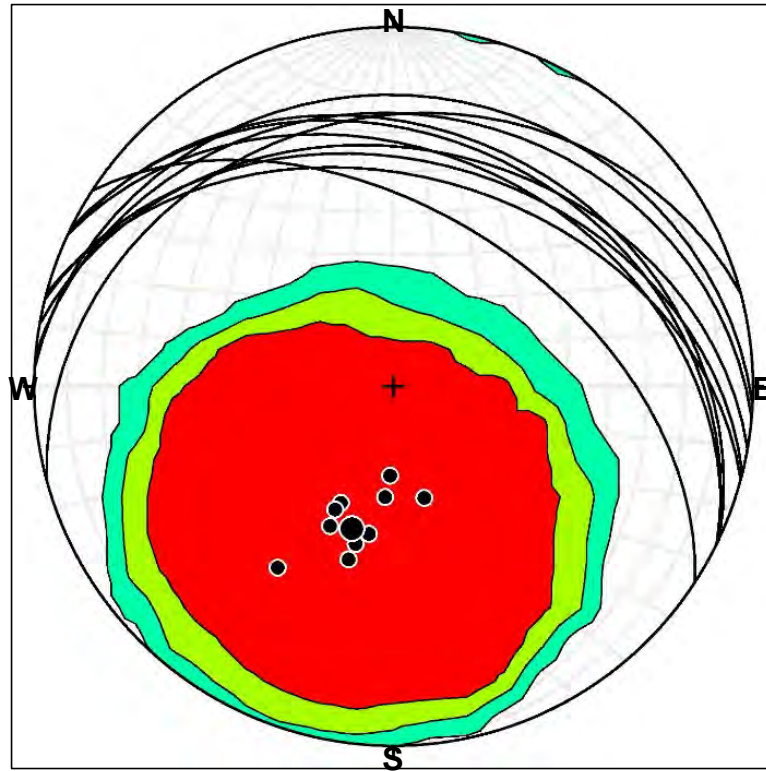
จากที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยเนื้อหาในส่วนนี้ได้ทำการแยกพื้นที่ศึกษาออกเป็น 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณ A บริเวณ B และบริเวณ C โดยเนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วย การวางตัวของระนาบชั้นหิน โครงสร้างชั้นหินคดโค้ง โครงสร้างรอยเลื่อน และโครงสร้างรอยแตก ซึ่งรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

4.3.1 การวางตัวของระนาบชั้นหิน

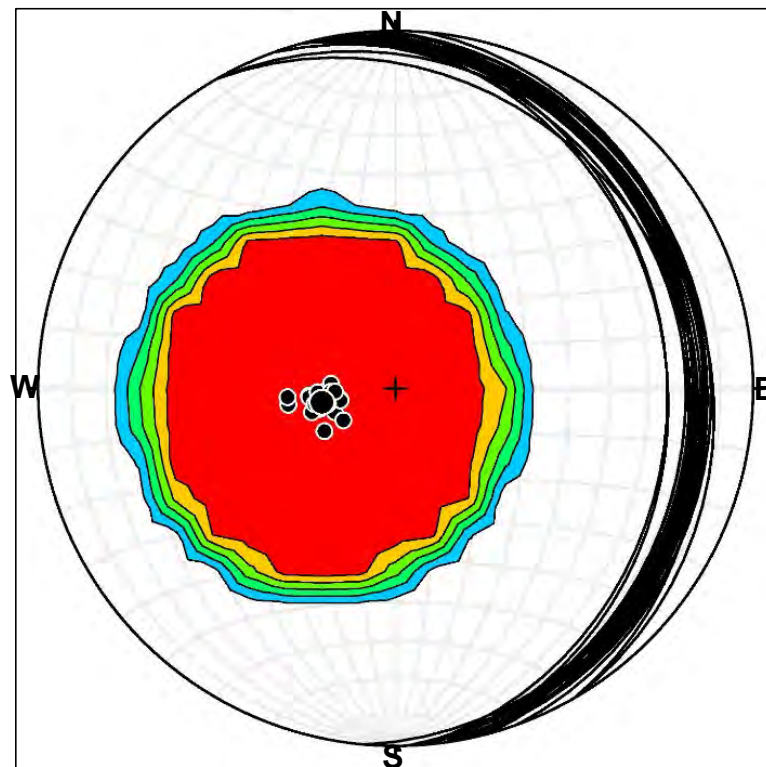
จากการศึกษาจากการออกภาคสนามสามารถจำแนกการวางตัวของชั้นหินได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ บริเวณ A และบริเวณ B มีระนาบการวางตัวของชั้นหินอยู่ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือค่อนไปทางตะวันตก (NWW) – ตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางทิศตะวันออก (SWW) และมีระนาบการเอียงเทไปทางทิศเหนือเป็นมุมประมาณ 40 องศา (รูปที่ 4.12) ในขณะที่บริเวณ C มีระนาบการวางตัวของชั้นหินอยู่ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือค่อนไปทางทิศเหนือ (NNW) – ตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางทิศใต้ (SSW) โดยมีระนาบการเอียงเทไปทางทิศตะวันออกเป็นมุมประมาณ 18 องศา (รูปที่ 4.13)

4.3.2 โครงสร้างชั้นหินคดโค้ง

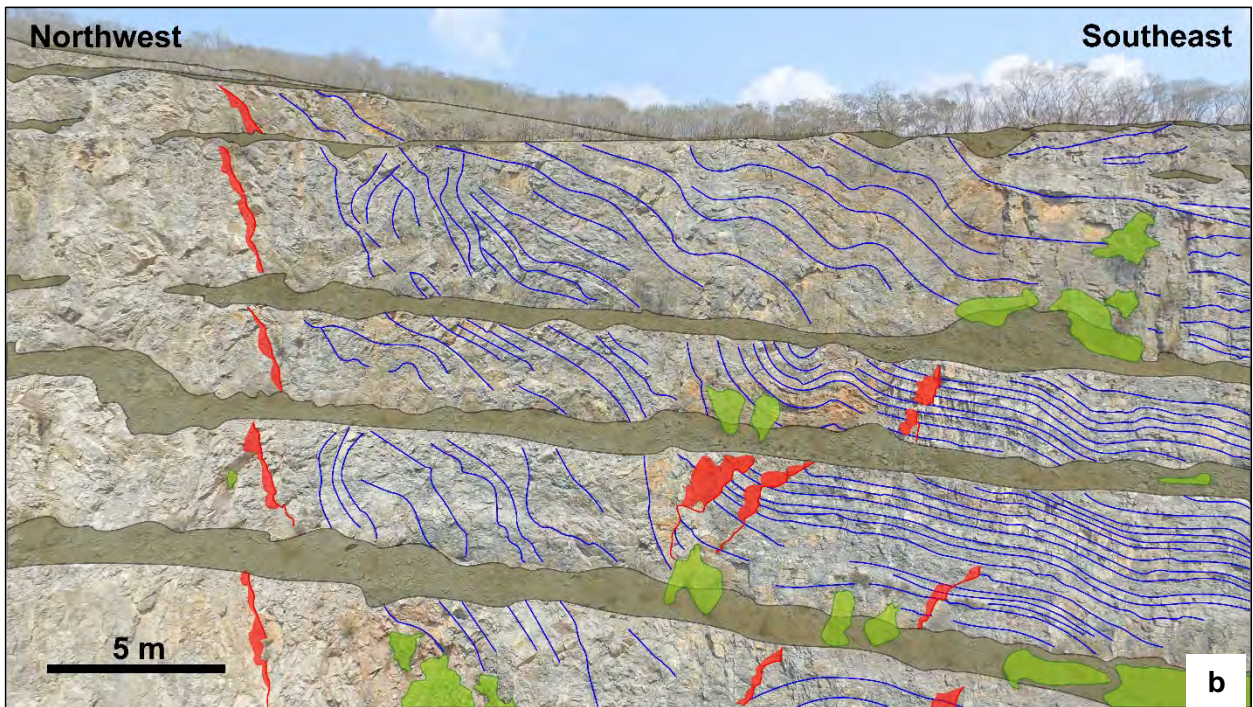
โครงสร้างชั้นหินคดโค้งภายในพื้นที่ศึกษาเป็นโครงสร้างที่ไม่ได้เกิดทั่วทุกบริเวณ หากแต่ปรากฏให้เห็นเพียงบริเวณ C เท่านั้น เป็นลักษณะการโค้งงอของหินปูนที่มีชั้นหินดินดานแทรกสลับ โดยมีลักษณะการโค้งงอที่เกิดจากการเคลื่อนที่เกยทับซ้อนกันขึ้นไปหรือเป็นลักษณะที่เรียกว่าชั้นหินคดโค้งปลายรอยเลื่อน (รูปที่ 4.14) โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปทิศตะวันตกเฉียงเหนือ จากการศึกษาโผล่บริเวณนี้ พบว่ามีค่าระนาบชั้นคดโค้ง $278^{\circ}/79^{\circ}$ NNE (รูปที่ 4.15) ซึ่งเป็นค่าเพียงจุดเดียวเท่านั้นที่สามารถเก็บได้ นอกจากนี้ในบริเวณที่ไกลออกไปในทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ยังพบชั้นหินคดโค้งที่มีลักษณะเป็นเพียงโครงสร้างชั้นหินคดโค้งแบบประทุน (anticline) และแบบประทุนหงาย (syncline) สลับกันเพียงเท่านั้น (รูปที่ 4.16)



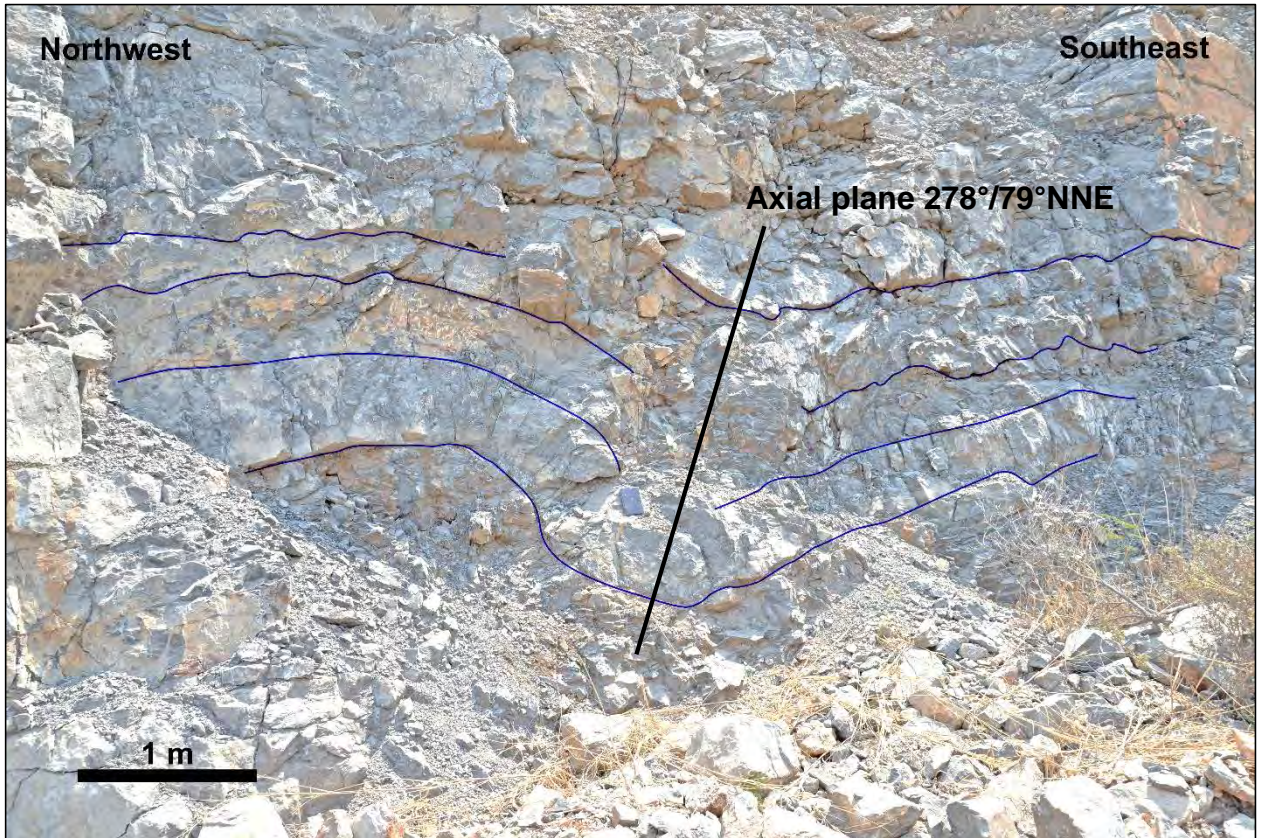
รูปที่ 4.12 แผนภาพสเตอริโอเน็ตแสดงระนาบการวางตัวของชั้นหินปูนบริเวณ A มีค่าระนาบการวางตัวเฉลี่ย $284^{\circ}/40^{\circ}$ NE ประกอบด้วยข้อมูล 14 ค่า และแถบสีแทนการกระจายตัวของข้อมูล



รูปที่ 4.13 แผนภาพสเตอริโอเน็ตแสดงระนาบการวางตัวของชั้นหินปูนบริเวณ C มีค่าระนาบการวางตัวเฉลี่ย $350^{\circ}/18^{\circ}$ NE ประกอบด้วยข้อมูล 25 ค่า และแถบสีแทนการกระจายตัวของข้อมูล



รูปที่ 4.14 หินโผล่ที่มีระนาบการคดโค้งของหินที่มีการเคลื่อนที่เกยทับซ้อนกันไปข้างหน้า (a) หินโผล่ที่ปรากฏให้เห็นจากผนังเหมือง (b) การแปลความหมายชั้นการวางตัวของระนาบชั้นหิน โดยสีน้ำเงินแทนระนาบการวางตัวของชั้นหิน สีแดงแทนระนาบรอยเลื่อน สีน้ำตาลแทนดินที่ปิดทับ และสีเขียวแทนต้นไม้และหญ้าที่ขึ้นปกคลุม



รูปที่ 4.15 ชั้นหินคดโค้งที่มีลักษณะเป็นแบบประทุนและประทุนหงายสลับกัน ซึ่งมีระนาบการคดโค้ง 278°/79°NE สีน้ำเงินแสดงระนาบชั้นการวางตัวของชั้นหิน



รูปที่ 4.16 แสดงชั้นหินคดโค้งที่มีการโค้งงอต่อเนื่องต่อไปในทางตอนใต้ของเหมือง เกิดเป็นโครงสร้างรูปประทุนและประทุนหงายต่อไป

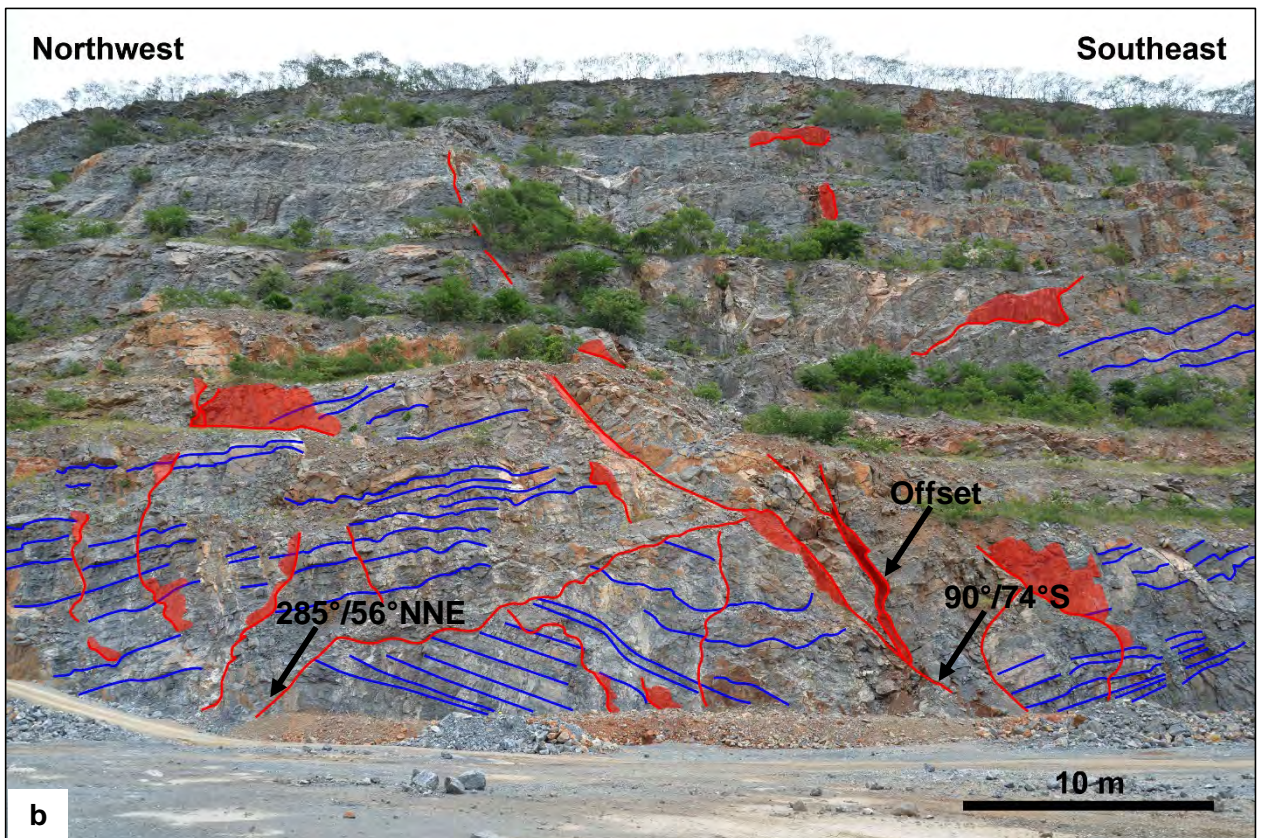
5.3.3 โครงสร้างรอยเลื่อน

รอยเลื่อนส่วนใหญ่ของพื้นที่มีระนาบการเลื่อนตัวอยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก โดยมีรูปแบบในการเลื่อนตัวที่เป็นทั้งการเลื่อนตัวในแนวระดับและการเลื่อนตัวในแนวตั้ง ซึ่งการจากศึกษาในภาคสนาม พบหลักฐานแสดงลักษณะของชั้นหินที่มีการเลื่อนตัวออกจากกัน (offset) และแนวรอยครูด (slicken line) ซึ่งหลักฐานทั้งสองนี้สามารถบ่งบอกทิศทางการเลื่อนตัวของหินได้

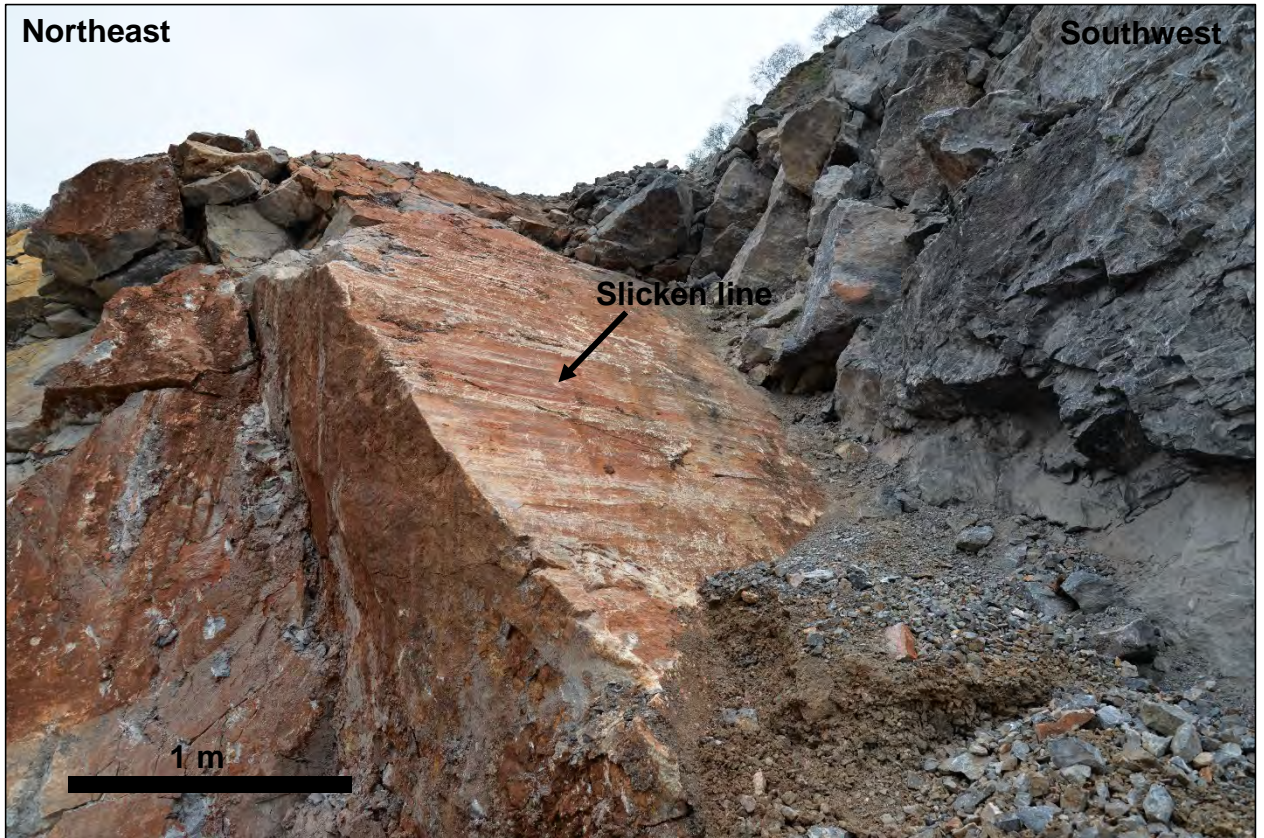
บริเวณ A พบรอยเลื่อนใหญ่ที่มีระนาบการเลื่อนตัวตัดชั้นหินตั้งแต่บริเวณบนสุดของหน้าผายาวลงมาถึงพื้นเหมือง ซึ่งมีระนาบการเลื่อนตัว $90^{\circ}/74^{\circ}\text{S}$ (รูปที่ 4.17) นอกจากนี้ยังการรอยเลื่อนขนาดเล็กตัดตามชั้นหินในแนวตั้งด้วยเช่นกัน บางรอยเลื่อนมีระนาบการเลื่อนตัวที่ขนานกับรอยเลื่อนใหญ่ บางรอยเลื่อนก็มีระนาบการเลื่อนตัวที่ทำมุมตัดกับรอยเลื่อนใหญ่ ยกตัวอย่างรอยเลื่อนที่ทำมุมกับรอยเลื่อนใหญ่ที่ทำให้ชั้นหินมีการเอียงเทเปลี่ยนไป โดยมีระนาบการเลื่อนตัว $285^{\circ}/56^{\circ}\text{NNE}$ จากหลักฐานการเปิดออกของรอยแตกของรอยเลื่อนใหญ่ บ่งบอกว่ารอยเลื่อนนี้มีการเลื่อนตัวแบบปกติ (normal fault) และจากหลักฐานของแนวรอยครูดของหินบริเวณข้างเคียง พบว่ารอยเลื่อนบริเวณนี้มีการเลื่อนตัวแบบขวาเข้า (right lateral movement) (รูปที่ 4.18)

บริเวณ B พบรอยเลื่อนบริเวณรอยต่อระหว่างบริเวณ A กับ B ที่มีระนาบการเลื่อนตัว $111^{\circ}/60^{\circ}\text{SW}$ (รูปที่ 4.19) มีทิศทางการเลื่อนตัวเป็นแบบขวาเข้า โดยอ้างอิงจากหลักฐานรอยครูดของรอยเลื่อนและโครงสร้างรอยแตกคล้ายรูปบันได (chatter mark) (รูปที่ 4.20) มีแนวการเคลื่อนที่ $316^{\circ}/24^{\circ}$ (trend/plunge) นอกจากนี้ยังทำให้ทราบว่า รอยเลื่อนนี้มีการเลื่อนตัวในแนวตั้งที่มีรูปแบบการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนแบบย้อนกลับ (reverse fault)

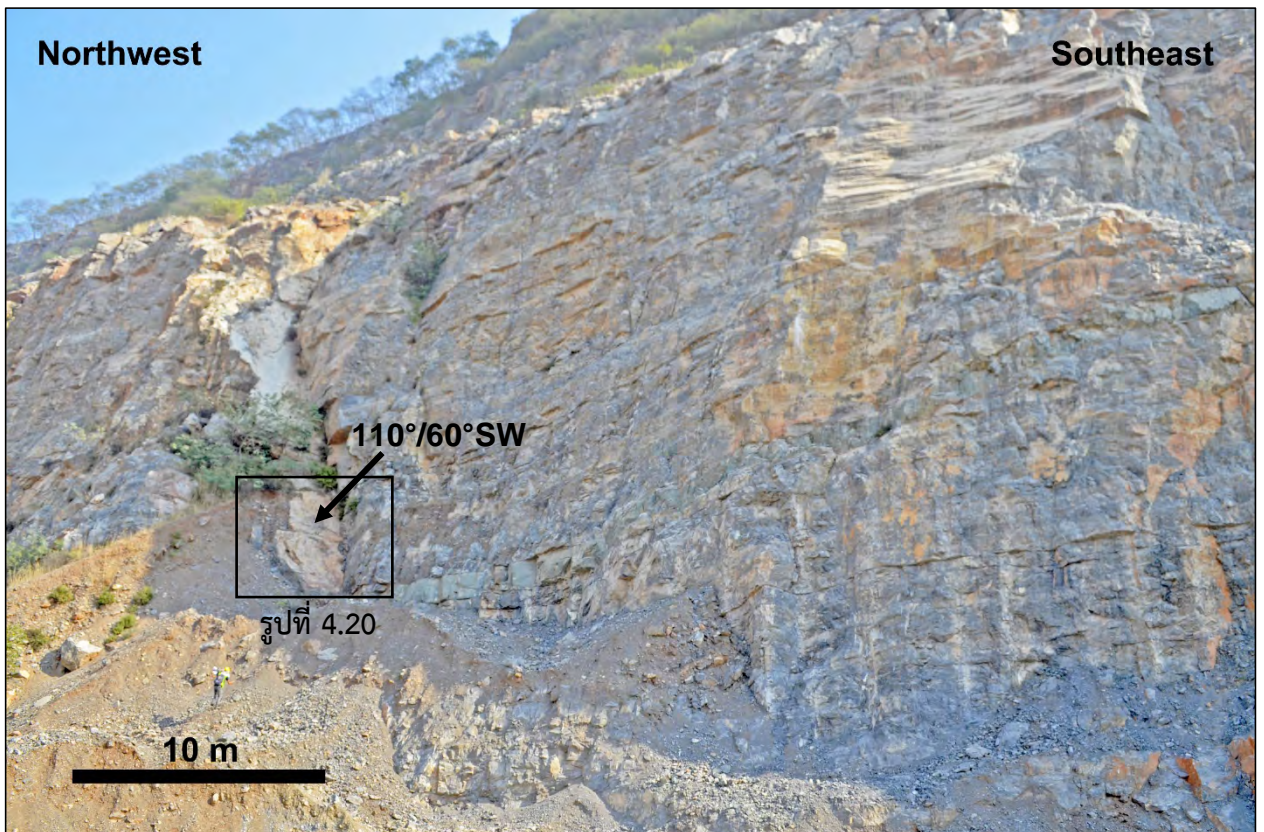
บริเวณ C พบรอยเลื่อนที่มีระนาบรอยเลื่อนตัดแบ่งหินปูน 2 ชนิดตั้งที่ใต้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อศิลาวิทยา ซึ่งทำให้เกิดรอยชั้นไม่ต่อเนื่องแบบรอยเลื่อนตัดผ่าน (fault contact) ของหินปูนทั้งสองชนิด (รูปที่ 4.21) โดยรอยเลื่อนในบริเวณนี้ประกอบด้วยรอยเลื่อนใหญ่ 1 รอยเลื่อน และรอยเลื่อนขนาดเล็กที่มีการเลื่อนตัวขนานกับรอยเลื่อนใหญ่อีกหลายรอยเลื่อน ซึ่งระนาบรอยเลื่อนตัวเฉลี่ย $83^{\circ}/60^{\circ}\text{SE}$ (รูปที่ 4.22) จากหลักฐานรอยครูดที่มีลักษณะคล้ายชั้นบันได บ่งบอกให้ทราบว่ารอยเลื่อนเหล่านี้มีการเลื่อนตัวแบบปกติ (รูป 4.23) และในอีกด้านหนึ่งของหน้าผั่งเหมืองซึ่งอยู่ทางใต้ของบริเวณ C พบรอยเลื่อนที่มีระนาบการเลื่อนตัวขนานไปกับรอยเลื่อนใหญ่ (รูปที่ 4.24) นอกจากนี้ในบริเวณที่มีการคดโค้งของชั้นหินที่เกยทับซ้อนกัน พบว่ามีลักษณะของรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำเกิดขึ้นด้วย



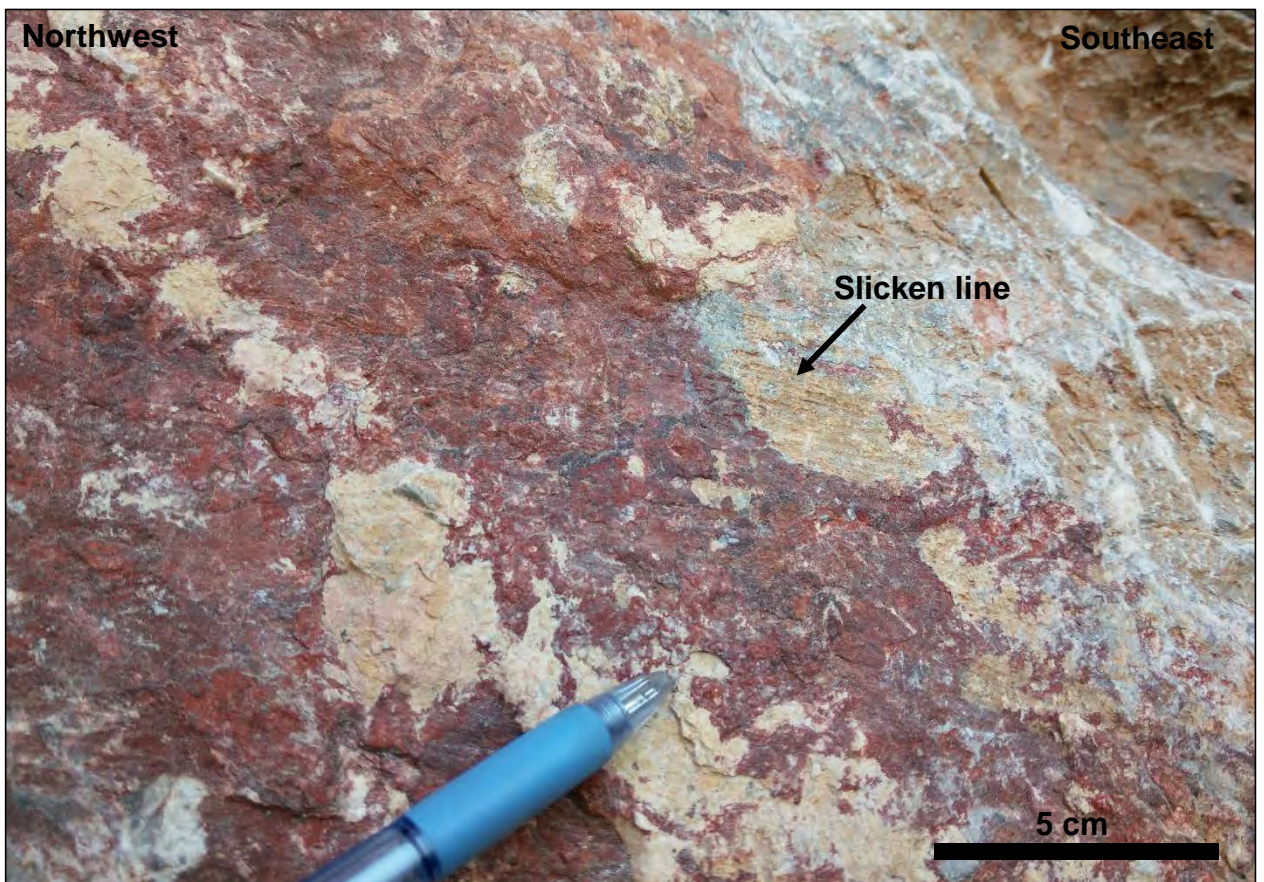
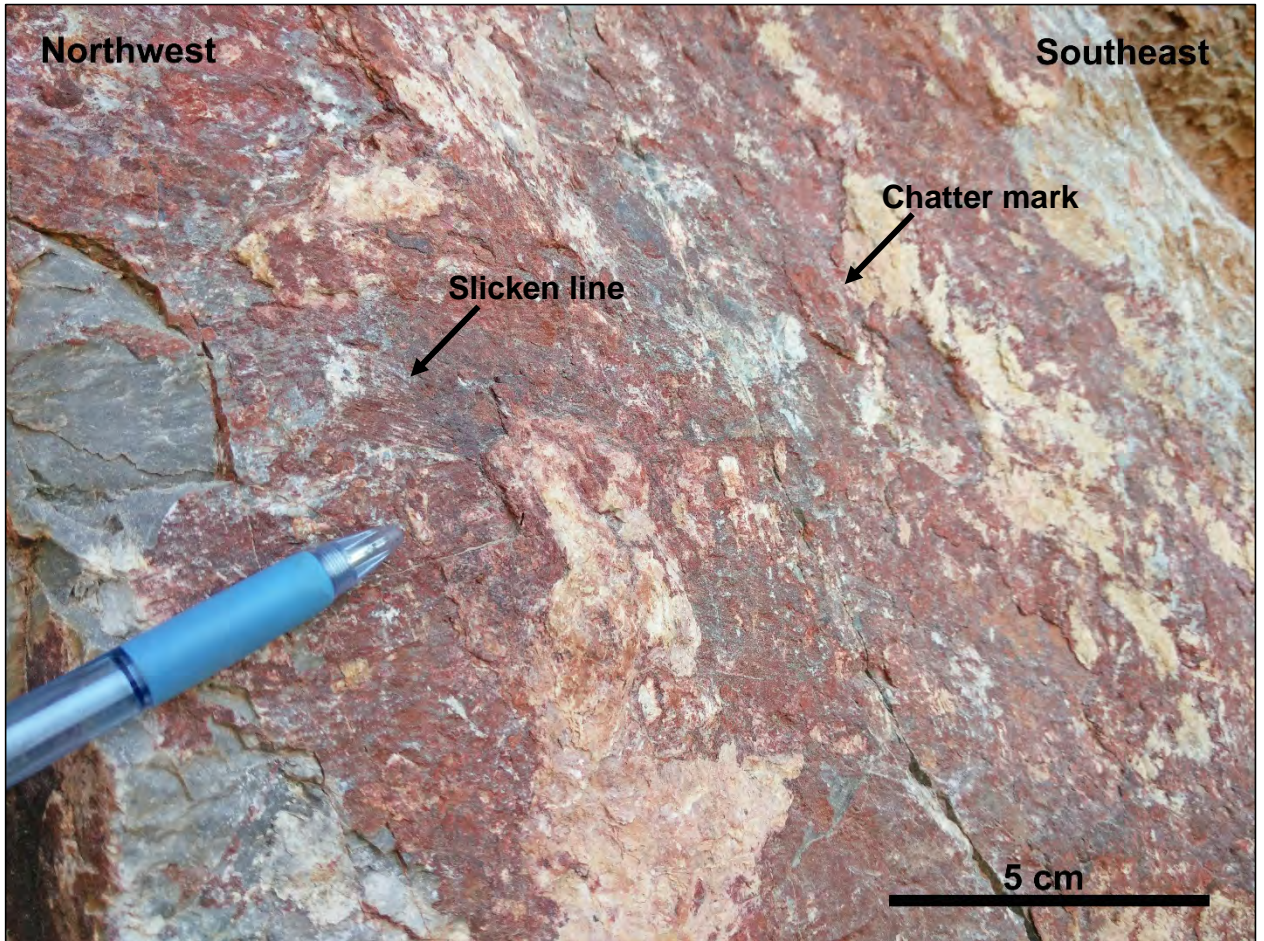
รูปที่ 4.17 (a) หินโคลงบริเวณ A ที่มีรอยเลื่อนตัดผ่านชั้นหินจากด้านบนจนถึงพื้นเหมือง (b) การแปลความหมาย หินโคลงบริเวณ A โดยสีน้ำเงินแทนระนาบการวางตัวของชั้นหิน สีแดงแทนระนาบการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน ซึ่ง บริเวณรอยแตกของรอยเลื่อนใหญ่บ่งบอกว่าเป็นการเลื่อนตัวแบบปกติ



รูปที่ 4.18 บริเวณที่มีหลักฐานของแนวรอยครูดที่บ่งบอกได้ว่าเป็นการเลื่อนตัวแบบขวาเข้า



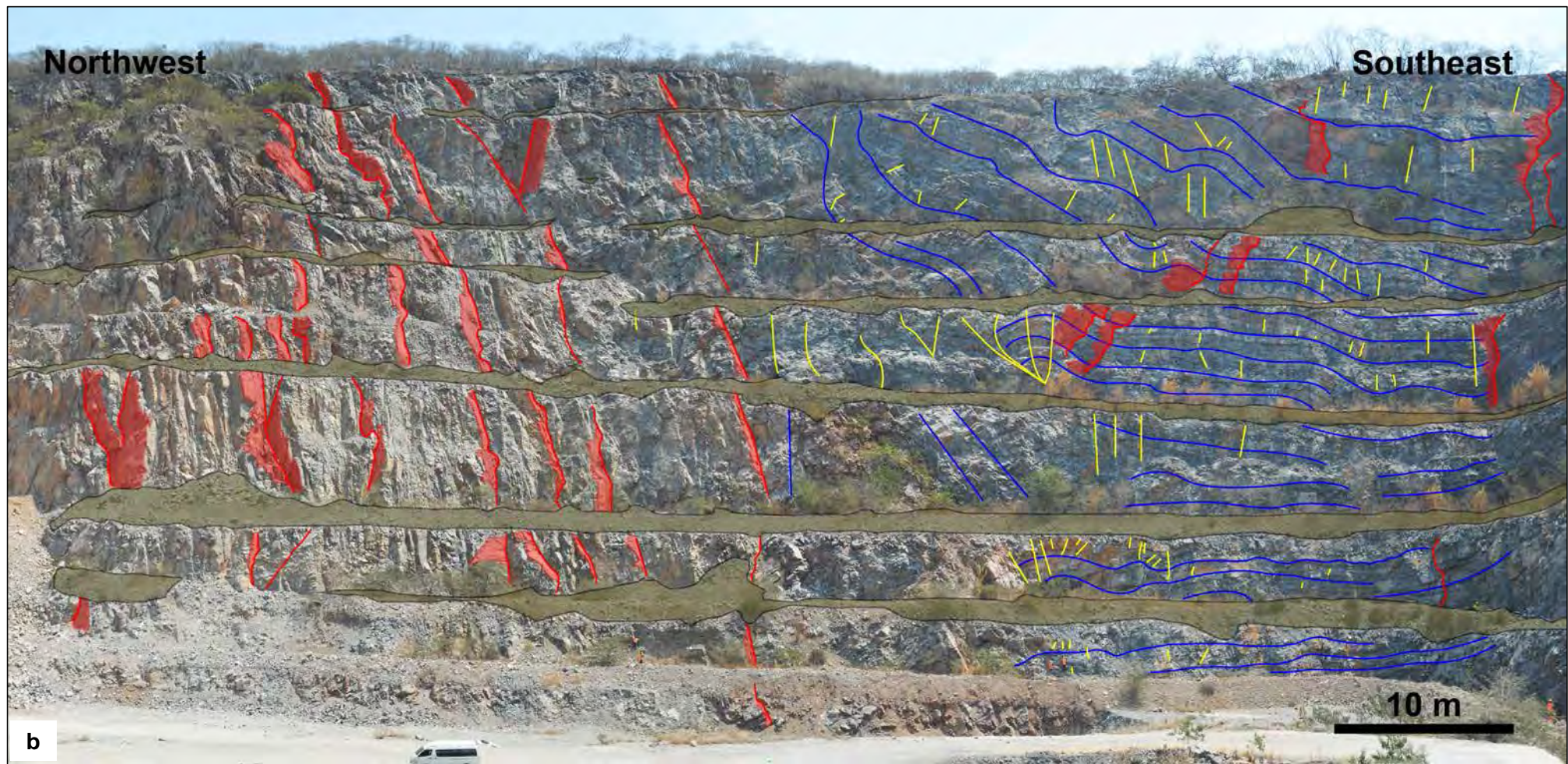
รูปที่ 4.19 รอยเลื่อนบริเวณ B ที่มีระนาบการเลื่อนตัว $110^{\circ}/60^{\circ}\text{SW}$ ซึ่งเป็นการเลื่อนตัวแบบขวาเข้า



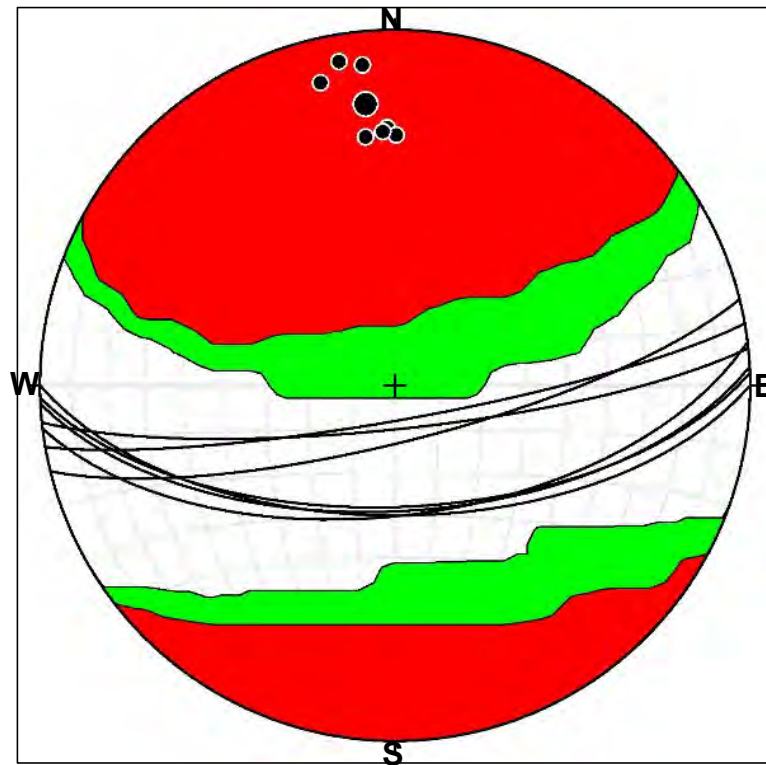
รูปที่ 4.20 (a, b) หลักฐานของแนวรอยครูดที่บ่งบอกได้ว่าเป็นการเลื่อนตัวแบบขวาเข้า ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ ระบายรอยเลื่อนในรูปที่ 4.16 แนวการเคลื่อนที่ $316^{\circ}/24^{\circ}$ (trend/plunge)



รูปที่ 4.21 (a) หินโคลงบริเวณ C ที่มีรอยเลื่อนตัดผ่านทำให้เกิดรอยชั้นไม่ต่อเนื่องของหินปูนสองชนิด



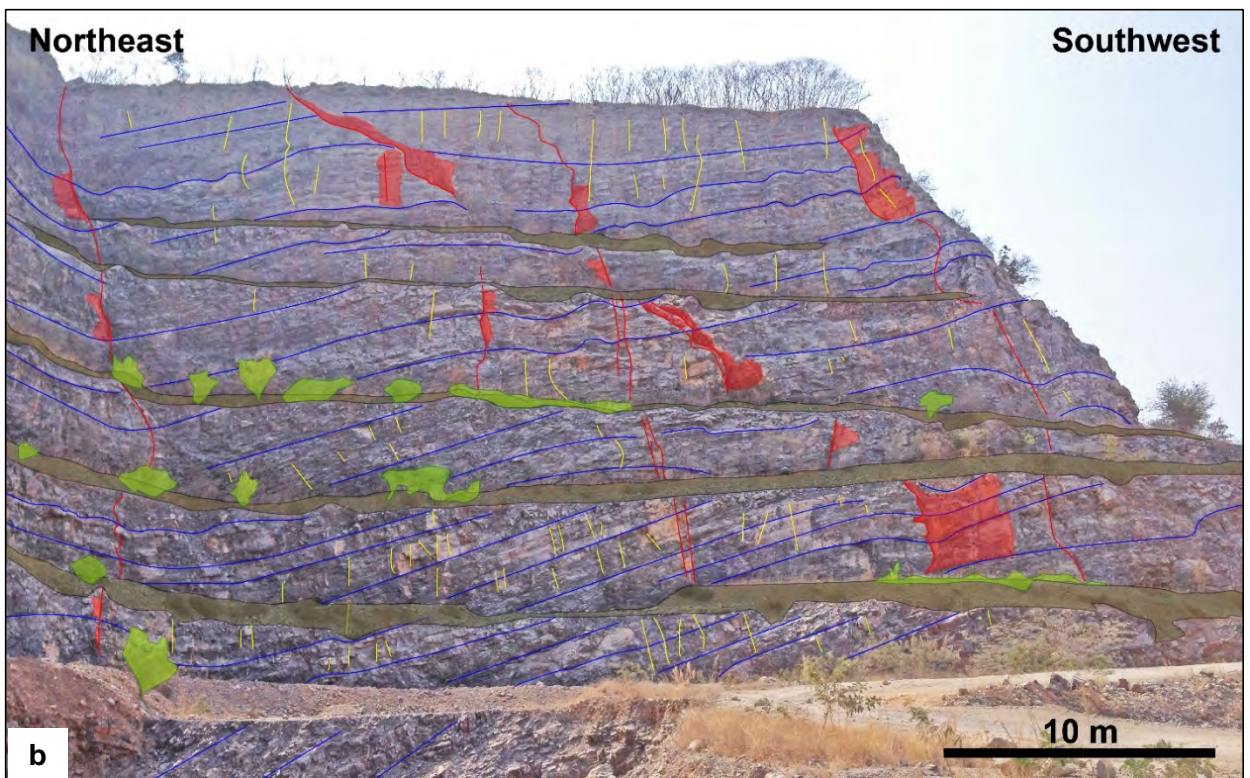
รูปที่ 4.21 (b) การแปลความหมายหินโผล่บริเวณ C โดยสีน้ำเงินแทนระนาบการวางตัวของชั้นหิน สีแดงแทนระนาบการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน สีเหลืองแทนระนาบรอยแตก และสีน้ำตาลแทนพื้นดินในแตกละชั้นของหน้าเหมือง



รูปที่ 4.22 แผนภาพสเตอริโอเน็ตแสดงระนาบรอยเลื่อนบริเวณ C โดยมีระนาบการเคลื่อนตัวอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงตก ซึ่งระนาบรอยเลื่อนตัวเฉลี่ย $83^{\circ}/60^{\circ}\text{SE}$ ประกอบด้วยข้อมูล 7 ค่า และแถบสีแทนการกระจายตัวของข้อมูล



รูปที่ 4.23 แนวรอยครูดกู่ที่มีลักษณะคล้ายชั้นบันได บ่งบอกว่ารอยเลื่อนบริเวณนี้มีการเคลื่อนตัวในแนวตั้งแบบปกติและเป็นการเคลื่อนตัวในแนวระดับแบบขวาเข้า



รูปที่ 4.24 (a) หินโคลนบริเวณด้านใต้ของบริเวณ C (b) การแปลความหมายหินโคลน โดยสีน้ำเงินแทนระนาบการวางตัวของชั้นหิน สีแดงแทนระนาบการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน สีเหลืองแทนรอยแตก สีน้ำตาลแทนพื้นดินในแต่ละชั้นของหน้าเหมือง และสีเขียวแทนต้นไม้และหญ้า

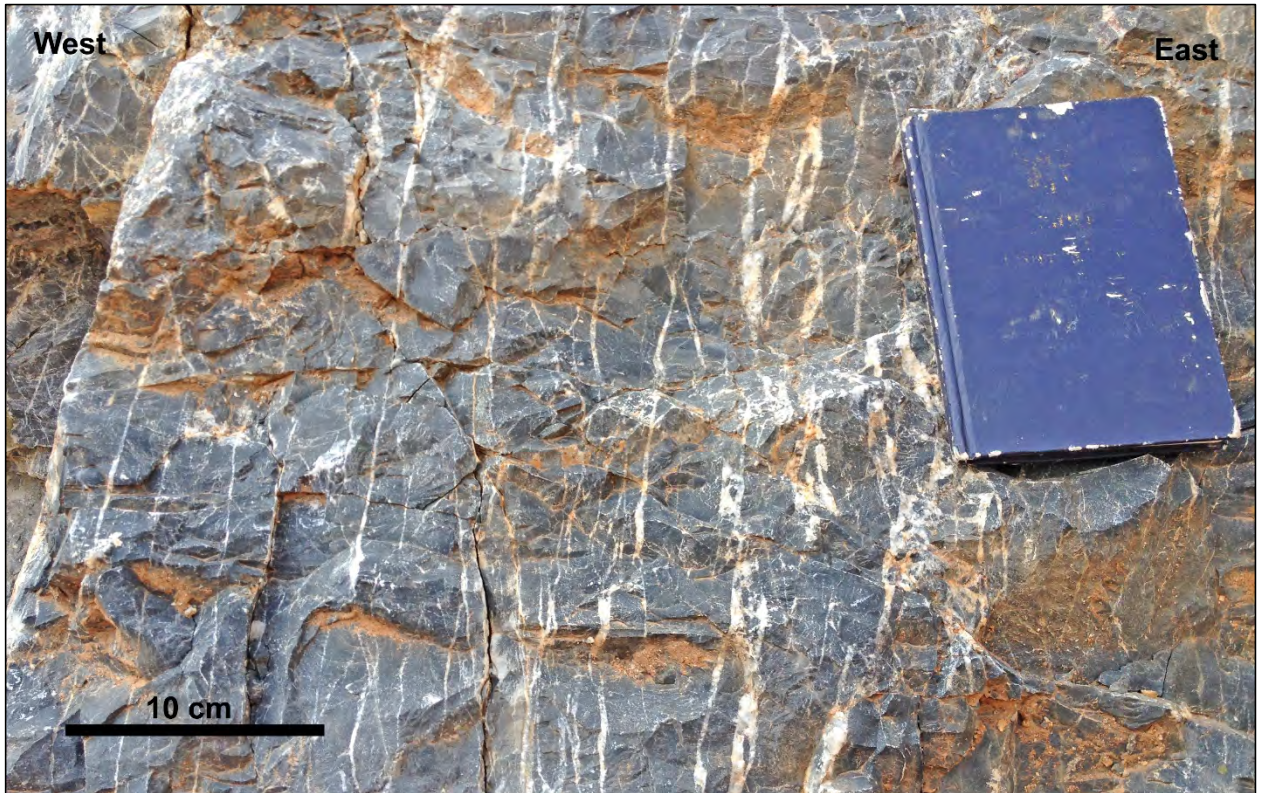
5.3.4 โครงสร้างรอยแตก

รอยแตกที่พบในพื้นที่ศึกษาสามารถจำแนกได้เป็น 2 แนวหลัก ได้แก่ แนวตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไปทางทิศใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือค่อนไปทางทิศเหนือ และอีกแนวหนึ่งมีการเปิดออกของรอยแตกแนวตะวันออกเฉียง-ตะวันตกไปจนถึงแนวตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไปทางทิศตะวันออกเฉียง-ตะวันตกเฉียงเหนือค่อนไปทางทิศตะวันตก นอกจากนี้ยังมีรอยแตกเกิดจากเลื่อนตัวตามระนาบชั้นหิน โดยรายละเอียดที่พบในแต่ละบริเวณมีดังต่อไปนี้

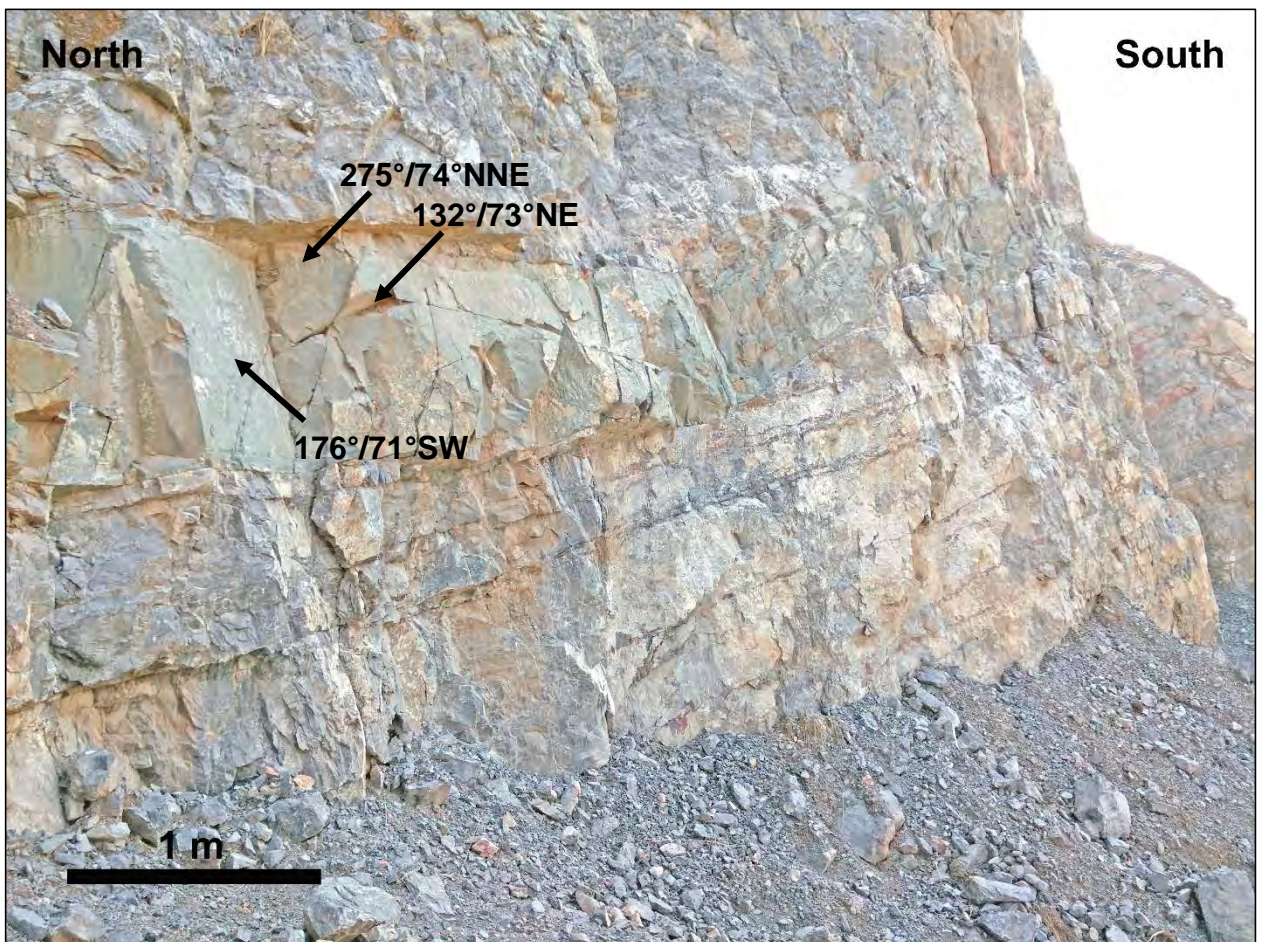
บริเวณ A พบรอยแตกที่มีระนาบ $85^{\circ}/80^{\circ}\text{SSW}$ ซึ่งเป็นระนาบเดียวกันกับระนาบของรอยเลื่อนซึ่งรอยแตกในลักษณะนี้จะพบได้กระจายทั่วไปทั่วทั้งบริเวณ รอยแตกแนวถัดมา พบว่ามีระนาบรอยแตก $350^{\circ}/75^{\circ}\text{NE}$ ซึ่งเป็นรอยแตกที่เกือบจะมีการแตกที่ขนานกับชั้นหิน และรอยแตกแนวสุดท้าย มีระนาบรอยแตก $120^{\circ}/70^{\circ}\text{SW}$ ซึ่งเป็นรอยแตกที่มีระนาบของการแตกตั้งฉากกับชั้นหินและยังมีสายแร่แคลไซต์ (calcite vein) แทรกเข้าไปตกผลึกอยู่ (รูปที่ 4.25)

บริเวณ B พบรอยแตกที่ปรากฏให้เห็นอยู่ในหินแอนดิไซต์ (รูปที่ 4.26) โดยมีแนวรอยแตกทั้งหมด 2 แนว ได้แก่ แนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีระนาบรอยแตก $176^{\circ}/71^{\circ}\text{SWW}$ และ $132^{\circ}/73^{\circ}\text{SW}$ และอีกแนวหนึ่งมีระนาบรอยแตกอยู่ในแนวตะวันออกเฉียง-ตะวันตก ที่มีระนาบรอยแตก $275^{\circ}/74^{\circ}\text{NNE}$

บริเวณ C พบรอยแตกทั้งหมด 4 แบบ ได้แก่ แนวรอยแตกที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของระนาบชั้นหิน (รูปที่ 4.27) รอยแตกที่มีแนวรอยแตกขนานกับรอยเลื่อน ที่มีระนาบรอยแตก $75^{\circ}/69^{\circ}\text{SE}$ ส่วนรอยแตกอีกแนวหนึ่งที่มีระนาบรอยแตก $150^{\circ}/85^{\circ}\text{SW}$ เป็นรอยแตกที่มีระนาบการแตกตั้งฉากกับระนาบของรอยเลื่อน (รูปที่ 4.28) โดยจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนในหน้าเหมืองของหินที่มีระนาบรอยแตกเอียงเทไปทางทิศตะวันตก ซึ่งมีค่าระนาบรอยแตกประมาณ $170^{\circ}/70^{\circ}\text{SWW}$ (รูปที่ 4.29) และรอยแตกแนวสุดท้ายมีระนาบการแตก $141^{\circ}/84^{\circ}\text{SW}$ ซึ่งเป็นรอยแตกที่มีการวางตัวอยู่ในแนวตั้ง (รูปที่ 4.30) สังเกตได้ชัดเจนจากการมีสายแร่แคลไซต์แทรกเข้ามาตกผลึกอยู่ (รูปที่ 4.31)



รูปที่ 4.25 ธรนอบรอยแตกแนว 120°/70°SW ที่มีสายแร่แคลไซต์เข้าไปตกผลึกภายในช่องว่างของรอยแตก



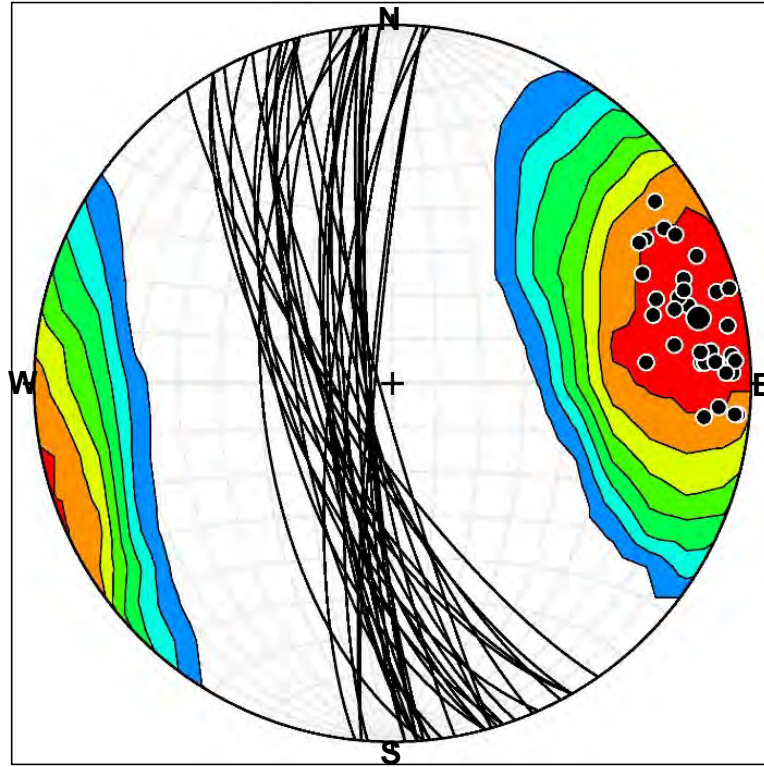
รูปที่ 4.26 รอยแตกที่ปรากฏให้เห็นในหินแอนดิไซต์ ที่มีระนาบรอยแตกอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ และแนวตะวันออก-ตะวันตก



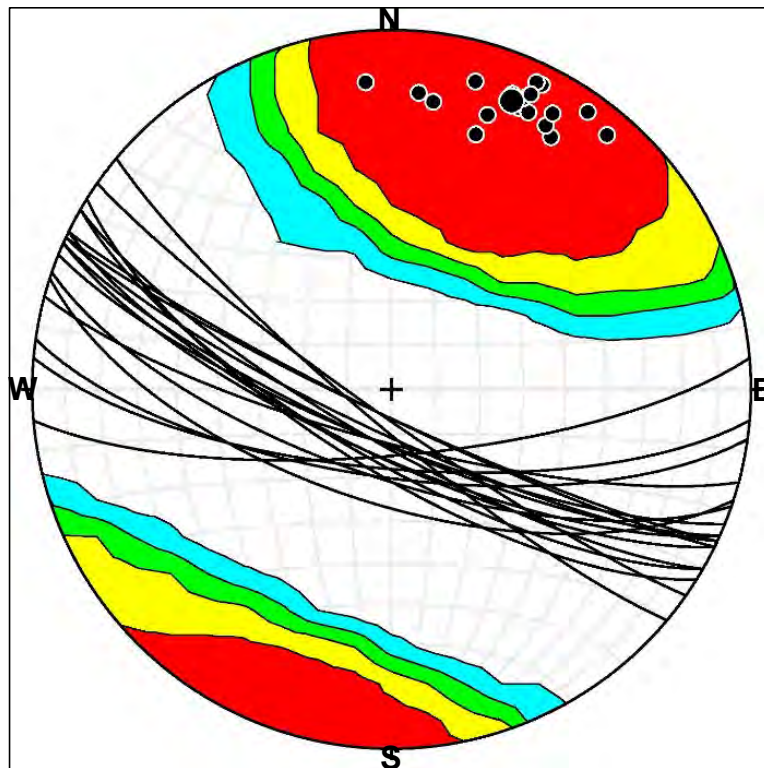
รูปที่ 4.27 ระบายรอยแตกที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของชั้นหิน โดยเฉพาะในชั้นหินปูนที่หินดินดานแทรกจะทำให้เกิดการเลื่อนตัวตามระนาบการสะสมตัวได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 4.28 ระบายรอยแตกที่มีการวางตัวตั้งฉากกับรอยเลื่อนหลักในพื้นที่ ซึ่งมีระบายรอยแตก $150^{\circ}/85^{\circ}\text{SW}$ โดยจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนในหน้าเหมืองของรอยแตกที่มีการเอียงเทไปทางทิศตะวันตก



รูปที่ 4.29 แผนภาพสเตอริโอเน็ตแสดงรอยแตกที่มีระนาบการแตกอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไปทางทิศใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือค่อนไปทางทิศเหนือ ซึ่งมีค่าประมาณ $170^{\circ}/70^{\circ}\text{SWW}$ ประกอบด้วยข้อมูล 34 ค่า และแถบสีแทนการกระจายตัวของข้อมูล



รูปที่ 4.30 แผนภาพสเตอริโอเน็ตแสดงรอยแตกที่มีระนาบการแตกที่อยู่ในทิศตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งมีค่าประมาณ $141^{\circ}/84^{\circ}\text{SW}$ ประกอบด้วยข้อมูล 18 ค่า และแถบสีแทนการกระจายตัวของข้อมูล



รูปที่ 4.31 ระบายรอยแตกที่มีการวางตัว $141^{\circ}/84^{\circ}\text{SW}$ และการแตกในแนวตั้งประกอบด้วยมีสายแร่แคลไซต์เข้ามาตกผลึกในช่องว่างรอยแตก

บทที่ 5

อภิปรายผลการศึกษา

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการอภิปรายผลที่มุ่งเน้นถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่พบในพื้นที่ศึกษา โดยมีเนื้อหาที่ประกอบด้วยกลไกการเปลี่ยนแปลงและความสัมพันธ์ของการเกิดโครงสร้างธรณีวิทยาที่พบในพื้นที่ศึกษา โดยเชื่อมโยงกับธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่ลานหินเขาขวางและธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย ดังต่อไปนี้

5.1 วิทยาหินและการลำดับชั้นหิน

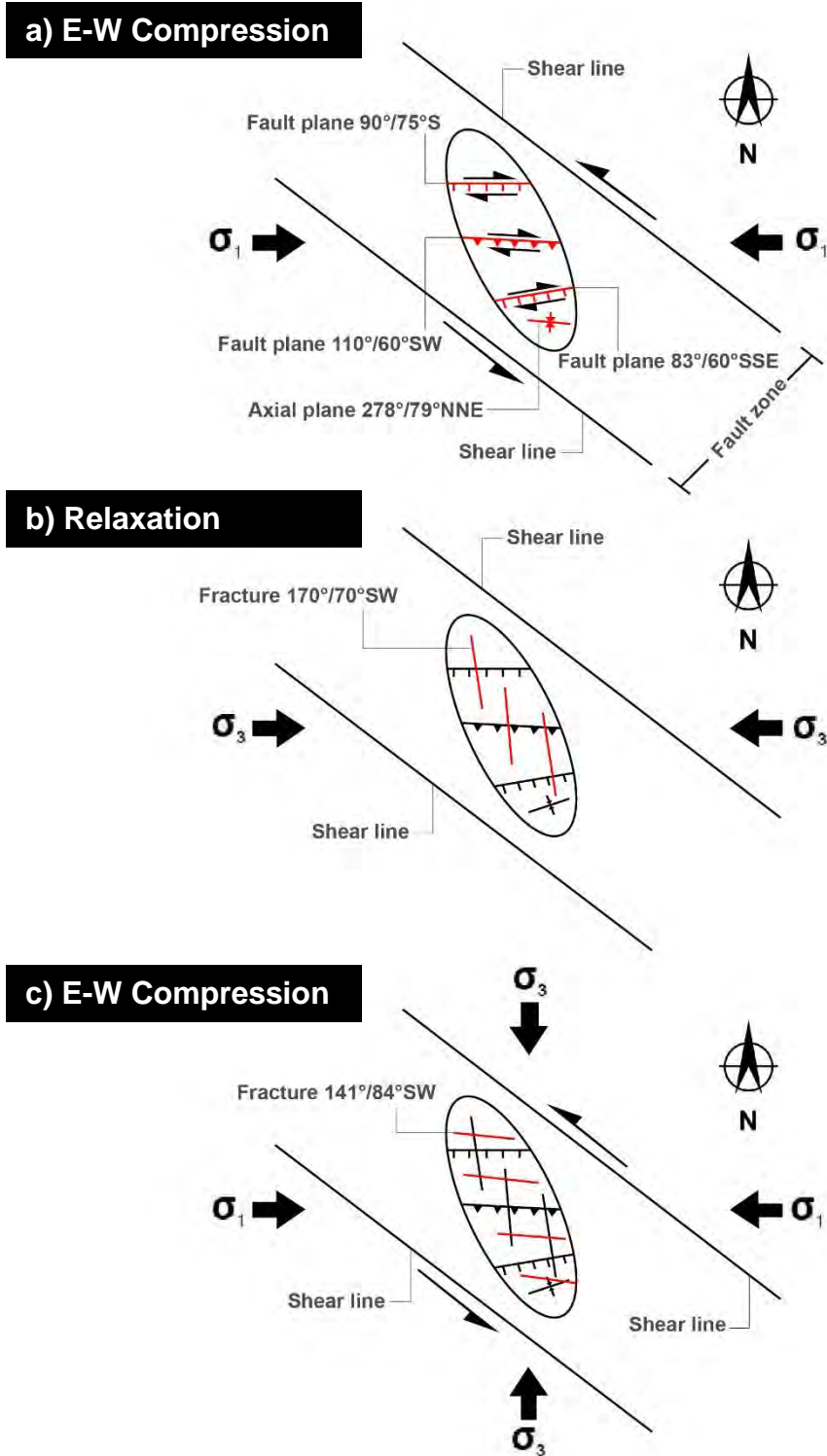
จากลักษณะของหินปูนที่พบและซากดึกดำบรรพ์ในพื้นที่ศึกษา เช่น ฟอสซิลินิด แบริโอพอด ปะการัง เป็นหลักฐานที่บ่งบอกถึงลักษณะของหินโผล่ที่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับหินโผล่ของหมวดหินเขาขาด กลุ่มหินสระบุรี ที่ถูกตั้งโดย Hinthong (1985) และจากศึกษาการลำดับชั้นหิน พบว่า มีบางช่วงของลำดับชั้นมีการสะสมตัวของหินปูนแทรกสลับด้วยหินดินดานและในบางช่วงมีเพียงการสะสมตัวของหินปูนเท่านั้น ซึ่งบ่งบอกได้ว่า การมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมการสะสมตัว ซึ่งจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำโบราณของ Haq & Schutter (2008) และ Korte *et al.* (2005) พบว่า ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนต้นถึงตอนกลางมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำขึ้น-ลงตลอดช่วงยุคเพอร์เมียน แต่จากการศึกษานี้ไม่สามารถบอกถึงช่วงเวลาของการเปลี่ยนแปลงได้ จึงควรที่จะมีการศึกษาเพื่อหาเวลาทางธรณีกาลของการสะสมตะกอนของหินต่อไป

5.2 โครงสร้างทางธรณีวิทยา

ในส่วน of โครงสร้างทางธรณีวิทยาจะทำการอภิปรายถึงการเกิดโครงสร้างต่างๆ โดยใช้แผนภาพวงรี (ellipsoid) (รูปที่ 5.1) เป็นองค์ประกอบในการช่วยอภิปราย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2.1 การเกิดชั้นหินคดโค้ง

ชั้นหินคดโค้งที่โผล่ให้เห็นภายในพื้นที่ศึกษา ปรากฏให้เห็นถึงการคดโค้งของชั้นหินปูนที่มีหินดินดานแทรกอย่างชัดเจน การคดโค้งที่เกิดขึ้นนี้ เป็นผลมาจากการเปลี่ยนตัวของหินเมื่อได้รับแรงเข้ามากระทำ โดยในพื้นที่ศึกษานี้ได้รับแรงดันในแนวตะวันออก-ตะวันตกประกอบกับการเลื่อนตัวแบบเฉือนในแนวระดับ (รูปที่ 5.1a) โดยแรงดันที่เข้ามากระทำนี้มีความสัมพันธ์กับการชนกันของแผ่นอนุทวีปไซบิวมาสุกับแผ่นอนุทวีปอินโดไชน่า (Sone & Metcalfe, 2008) และมีลักษณะการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าเนื่องจากพื้นที่ศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของรอยเลื่อนแม่ปิง (Morley *et al.*, 2013) ซึ่งมีระนาบการเคลื่อนที่เป็นแบบซ้ายเข้า ดังนั้นจึงทำให้ทิศทางของแรงลัพท์ที่เข้ามากระทำกับหินในพื้นที่ศึกษาอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ จึงทำให้หินมีการคดโค้งในแนวระนาบตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ถึงแนวระนาบตะวันออก-ตะวันตก แต่เนื่องจากหินปูนมีคุณสมบัติที่แข็งกว่าหินดินดานจึงทำให้เกิดระนาบการเลื่อนตัวของหินไปตามระนาบชั้นหินดินดาน และเมื่อได้รับแรงกระทำอย่างต่อเนื่องทำให้หินปูนมีการโค้งงอและเกิดการเคลื่อนที่ไปตามระนาบของหินดินดานด้วย จึงเกิดลักษณะชั้นหินคดโค้งปลายรอยเลื่อน



รูปที่ 5.1 แผนภาพวงรี (ellipsoid) แสดงการเกิดโครงสร้างธรณีวิทยาอันเป็นผลมาจากแรงที่เข้ามากระทำในช่วงเวลาต่างๆ (a) การเกิดโครงสร้างธรณีวิทยาที่สัมพันธ์กับแรงที่เข้ามากระทำหลักในแนวตะวันออก-ตะวันตก ซึ่งสัมพันธ์กับธรณีแปรสัณฐานของการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน ในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนต้น (b) การเกิดโครงสร้างธรณีวิทยาที่สัมพันธ์กับแรงหลักในแนวบน-ล่าง ซึ่งสัมพันธ์กับช่วงการคลายตัวของเทือกเขาอินโดจีนเนียน ในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนกลางถึงตอนปลาย (c) การเกิดโครงสร้างธรณีวิทยาที่สัมพันธ์กับแรงหลักในแนวตะวันออก-ตะวันตก ซึ่งสัมพันธ์กับการก่อเกิดเทือกเขาอินโดจีนเนียน ก่อนถึงยุคจูแรสซิกตอนต้น

5.2.2 การเกิดโครงสร้างรอยเลื่อน

รอยเลื่อนที่พบในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยรอยเลื่อนปกติและรอยเลื่อนย้อนที่มีการเคลื่อนที่ในแนวระดับแบบขวาเข้า จากรูปที่ 5.1a เมื่อมีการเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนในแนวระดับแบบซ้ายเข้า จะทำให้เกิดรอยเลื่อนเชื่อม (conjugate fault) ที่อยู่ระหว่างรอยเลื่อนแบบซ้ายเข้าเกิดการเปิดออกของรอยแตกเกิดเป็นรอยเลื่อนแบบปกติขึ้น ซึ่งเป็นไปตามหลักฐานที่พบในพื้นที่ศึกษาที่มีการเลื่อนตัวแบบรอยเลื่อนปกติกับระนาบรอยเลื่อนที่มีระนาบการเลื่อนตัวอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือค่อนไปทางตะวันออก-ตะวันตกเฉียงใต้ค่อไปทางทิศตะวันตกไปจนถึงรอยเลื่อนที่มีระนาบการเลื่อนตัวในแนวตะวันออก-ตะวันตก แต่จากหลักฐานที่พบในพื้นที่ศึกษามีรอยเลื่อนที่มีระนาบการเลื่อนตัวในแนวตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไปทางตะวันออก-ตะวันตกเฉียงเหนือค่อนไปทางทิศตะวันตกกลับมีลักษณะการเลื่อนตัวเป็นแบบรอยเลื่อนย้อน ซึ่งความแตกต่างของการเลื่อนตัวทั้งสองนี้ยังไม่มีข้อสรุปที่สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจน แต่จากหลักฐานที่เป็นไปได้การมีรอยเลื่อนที่มีการเลื่อนตัวที่ต่างกันอย่างนี้อาจเป็นผลมาจากการมีระนาบรอยเลื่อนที่มีทิศทางการวางตัวที่ต่างกับออกไปกับทิศทางของแรงที่เข้ามากระทำหลักซึ่งอยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก

5.2.3 การเกิดโครงสร้างรอยแตก

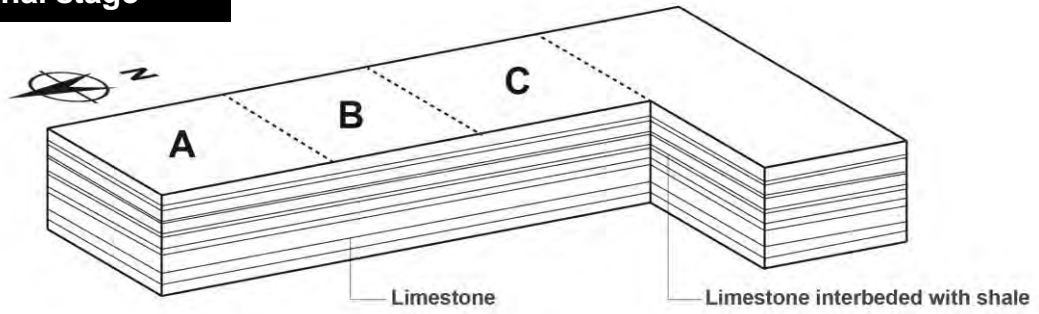
จากรอยแตกที่พบในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยรอยแตกหลัก 2 แนว ได้แก่ แนวตะวันตกเฉียงเหนือค่อไปทางทิศเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ค่อไปทางทิศใต้ และรอยแตกแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ โดยทั้งสองระนาบนี้มีแนวการแตกที่เกือบจะตั้งฉากกัน ซึ่งรอยแตกที่มีการวางตัวแนวตะวันตกเฉียงเหนือค่อไปทางทิศเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ค่อไปทางทิศใต้ได้มีการเกิดขึ้นก่อน โดยสัมพันธ์กับช่วงที่มีการคลายตัวของแรงในกระบวนการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนกลางถึงตอนปลาย (รูปที่ 5.1b) ซึ่งกระบวนการคลายตัวของแรงนี้ จะทำให้แนวแรงดันหลักอยู่ในทิศบน-ล่าง ซึ่งจำทำให้เกิดเป็นรอยเลื่อนปกติขึ้น แต่จากการศึกษาในภาคสนามไม่พบรอยเลื่อนในระนาบดังกล่าว โดยเพียงแต่พบระนาบรอยแตกเท่านั้นที่มีการเอียงเทไปทางทิศตะวันตก ซึ่งไม่พบลักษณะของแนวรอยครูดแต่อย่างใด และรอยแตกในอีกระนาบหนึ่งที่มีระนาบรอยแตกในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ เป็นรอยแตกที่สัมพันธ์กับการก่อเกิดเทือกเขาอินโดจีนเนียน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลายาวนานตลอดช่วงยุคเพอร์เมียน ก่อนที่จะมีการสิ้นสุดลงในยุคจูแรสซิกตอนต้น ซึ่งรอยแตกนี้เป็นผลมาจากแรงดันหลักที่มีทิศทางการดันตัวในแนวตะวันออก-ตะวันตก

5.3 วิวัฒนาการการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

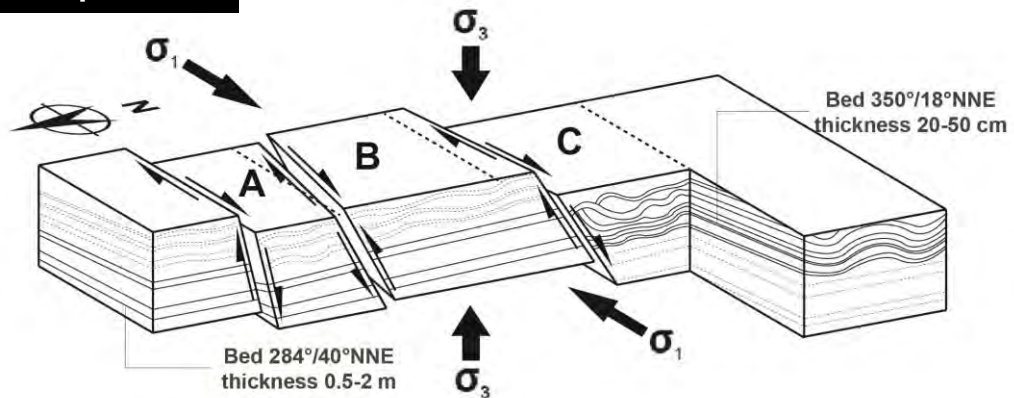
โดยในกระบวนการเกิดวิวัฒนาการนี้เป็นเพียงการนำเสนอแบบจำลองการเกิดการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ศึกษาเท่านั้น โดยรายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างธรณีวิทยามีดังต่อไปนี้ (รูปที่ 5.2)

ในช่วงแรกของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างธรณีวิทยา มีการเปลี่ยนแปลงของชั้นหินคดโค้งก่อนในเป็นอันดับแรก อันเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่เข้ามาชนกันของแผ่นไซบูมาซีและแผ่นอินโดไชน่า (Sone & Metcalfe, 2008) ทำให้เกิดแรงอัดในแนวตะวันออก-ตะวันตก แต่เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณที่ได้รับผลการจากรอยเลื่อนแม่ปิง (Ridd & Morley, 2005; Morley *et al.*, 2013) ที่มีการเคลื่อนที่ในแนวระดับแบบซ้ายเข้า ทำให้เกิดการหมุนของพื้นที่บริเวณนี้ (Morley *et al.*, 2013) ส่งผลให้เกิดการเลื่อนตัวในแนวระดับแบบขวาเข้าในรอยเลื่อนย่อยที่อยู่ระหว่างรอยเลื่อนใหญ่ของรอยเลื่อนแม่ปิง โดยรอยเลื่อนย่อยนี้มีระนาบการเลื่อนตัวอยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก ซึ่งสอดคล้องกับการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนที่พบในพื้นที่ศึกษา การเลื่อนตัวในแนวระดับนี้ทำให้พื้นที่ที่อยู่ระหว่างรอยเลื่อนในแนวระดับเกิดการทรุดลงของพื้นที่ ซึ่งเป็นผลมาจากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนปกติ และจากการศึกษา พบรอยเลื่อนที่มีการเคลื่อนที่แบบปกติด้วยเช่นกัน ซึ่งกระบวนการเหล่านี้เชื่อมโยงไปกับช่วงเวลาของการก่อเทือกเขาอินโดไชนีเนียน (Sone & Metcalfe, 2008) ในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนต้น ภายหลังจากนั้นการเกิดคลายแรงออกให้แนวตะวันออก-ตะวันตก จึงพบรอยแตกที่มีระนาบการแตกอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไปทางทิศใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือค่อนไปทางทิศเหนือเท่านั้น และในช่วงเวลาเดียวกันนี้เป็นช่วงที่มีการแทรกดันขึ้นมาของหินแอนดีไซต์ (Phan, 2000; James & Cummings, 2007; Geard, 2008; Salam *et al.*, 2008) โดยจากทฤษฎีการเกิดหินแอนดีไซต์ ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงที่มีการคลายตัวของแรงทางธรณีแปรสัณฐาน เนื่องจากจะมีหินบางส่วนทรุดตัวลงไปใต้เปลือกโลกทำให้เกิดการหลอมละลายและรบกวนระบบของกระเปาะแมกมาที่ดูด้านใต้ ทำให้เกิดการดันตัวขึ้นมาตามรอยแตกในชั้นหิน ภายหลังจากนั้นมีแรงกระทำในแนวตะวันออก-ตะวันตกอีกครั้งทำให้เกิดรอยแตกในแนวตะวันออก-ตะวันตกไปจนถึงแนวตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไปทางทิศตะวันออก-ตะวันตกเฉียงเหนือค่อนไปทางทิศตะวันตก ซึ่งช่วงเวลาการเกิดน่าจะอยู่ในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนกลางถึงตอนปลาย ซึ่งเป็นช่วงก่อนที่จะมีการสิ้นสุดลงของการชนกันระหว่างแผ่นไซบูมาซีและแผ่นอินโดไชน่า (Lepvrier *et al.*, 2004; Sone & Matcalfe, 2008; Barber *et al.*, 2011) และเมื่อถึงช่วงเวลา ณ ปัจจุบันบางส่วนของหินปูนในพื้นที่น่าจะถูกกัดกร่อนจนมีลักษณะดังที่เห็นในปัจจุบัน (รูปที่ 5.3)

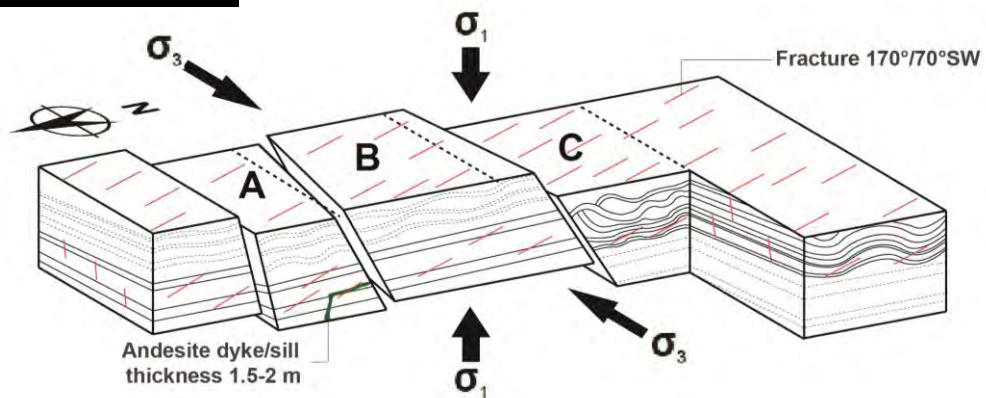
a) Original stage



b) E-W Compression

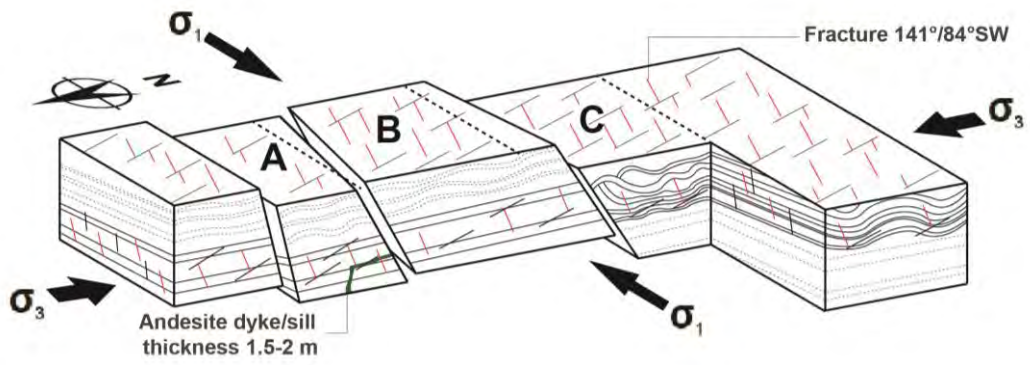


c) Relaxation

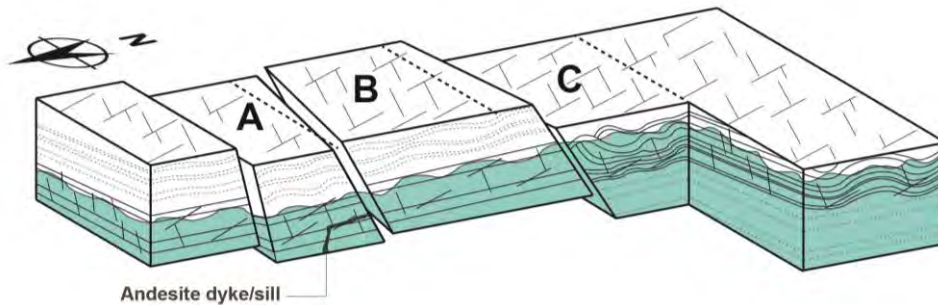


รูปที่ 5.2 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างธรณีวิทยาที่พบของหินโผล่ภายในพื้นที่ศึกษา โดยทำการวาดแผนภาพจำลอง โดยนำเฉพาะรอยเลื่อนขนาดใหญ่เข้ามาอธิบาย ซึ่งได้แบ่งเป็นบริเวณ A B และ C ตามลำดับ (a) แบบจำลองชั้นการสะสมตัวของหินโดยมีหินปูนที่มีหินดินดานแทรกสลับอยู่ด้านบนและมีชั้นหินปูนชั้นหนาวางตัวอยู่ด้านล่าง (b) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่ในช่วงที่มีการก่อเทือกเขาอินโดจีนใน ช่วงยุคไทรแอสสิกตอนต้น (c) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่ในช่วงการคลายตัวของ การก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน ในช่วงยุคไทรแอสสิกตอนกลางถึงตอนปลาย

d) Relaxation



d) Recent



รูปที่ 5.3 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างธรณีวิทยาที่พบของหินโผล่ภายในพื้นที่ศึกษา โดยทำการวาดแผนภาพจำลอง โดยนำเฉพาะรอยเลื่อนขนาดใหญ่เข้ามาอธิบาย ซึ่งได้แบ่งเป็นบริเวณ A B และ C ตามลำดับ (d) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่ในช่วงการก่อเกิดเทือกเขาอินโดจีนเนียน ก่อนที่จะสิ้นสุดลงในยุคจูแรสซิก ตอนต้น (e) ลักษณะของธรณีวิทยาในพื้นที่ที่พบเห็นได้ในปัจจุบันเป็นเพียงพื้นที่สีฟ้าที่ได้ถูกระบายเอาไว้ ส่วนพื้นที่ที่ไม่ได้ถูกระบายสีน่าจะมีการกร่อนไปแล้วตามช่วงเวลาทางธรณีกาล

5.4 ประเด็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

โครงสร้างทางธรณีวิทยาที่พบในพื้นที่ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากมวลหินแกรนิตหรือไม่

จากการรายงานการศึกษาเก่า พบมวลหินแกรนิตแทรกดันขึ้นมาโผล่ให้เห็นเป็นบริเวณกว้างทาง ตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ดังนั้นจึงเกิดประเด็นปัญหาที่ว่ามวลหินแกรนิตนี้ เป็นตัวการที่ทำให้เกิดรอยแตกหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษาได้หรือไม่ จากประเด็นที่กล่าวมานี้ หากพบว่าพื้นที่ศึกษามีมวลหินแกรนิตแทรกเข้ามาจริง จะทำให้เกิดรอยแตกเป็นแนวรัศมีออกไปจากตัวมวลหินแกรนิต ซึ่งมีทิศทางของแนวแตกที่กระจัดกระจาย แต่เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเราสามารถจำแนกรอยแตกที่เกิดขึ้นได้เป็นกลุ่มๆได้ ดังนั้นพื้นที่ศึกษาจึงไม่มีรอยแตกอันเป็นผลมาจากการดันตัวขึ้นมาของมวลหินแกรนิต

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลตามหัวข้อวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ในบทที่ 1 เพื่อให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษา อันที่จะสามารถนำไปเป็นคำตอบของสมมติฐานที่ตั้งไว้ในช่วงต้นของการทำรายงานการวิจัยชิ้นนี้ โดยเนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วย ผลการศึกษา ปัญหาและอุปสรรคของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

6.1 ผลการศึกษา

ในหัวข้อผลการศึกษานี้จะทำการแบ่งผลการศึกษาออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่ วิทยานิพนธ์ การลำดับชั้นหิน และโครงสร้างทางธรณีวิทยา

6.1.1 วิทยานิพนธ์ ในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยหินทั้งหมด 2 ชนิด ได้แก่ หินปูนและหินแอนดีไซต์ ดังนี้

- หินปูน สามารถจำแนกตามลักษณะการสะสมตัวได้ 2 แบบ ได้แก่ หินปูนที่มีชั้นการสะสมตัวหนา กับหินปูนที่มีชั้นการสะสมตัวบางและมีการแทรกสลับกับหินดินดาน
- หินแอนดีไซต์ ปรากฏให้เห็นในลักษณะของผนังหินแทรกตัดและลักษณะการแทรกเข้าไปเป็นตัวยู่ในระนาบระหว่างชั้นหิน

6.1.2 การลำดับชั้นหิน ในการศึกษาสามารถทำการลำดับชั้นหินของหินปูนได้ทั้งหมด 29 เมตร โดยพบรายละเอียดต่างๆดังต่อไปนี้

- พบซากดึกดำบรรพ์ เช่น ฟอสซิลินิด ฟอแรมมินิเฟอรา แอครีโอพอด ปะการัง และสาหร่าย
- พบซากดึกดำบรรพ์ ที่มีความหลากหลายมากบริเวณชั้นหินตอนล่างและมีความหลากหลายที่ลดลงของลำดับชั้นหินที่สูงขึ้น
- ซากดึกดำบรรพ์เหล่านี้บ่งบอกให้ทราบว่า หินปูนนี้มีการสะสมตัวในทะเลน้ำตื้น บริเวณแนวปะการัง

6.1.3 โครงสร้างทางธรณีวิทยา ซึ่งพบโครงสร้างหลายแบบ เช่น โครงสร้างการคดโค้ง โครงสร้างรอยเลื่อน โครงสร้างรอยแตก เป็นต้น โดยผลที่ได้มีดังต่อไปนี้

- มีโครงสร้างชั้นหินคดโค้งและโครงสร้างรอยเลื่อน ที่มีระนาบการวางตัวอยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตกโดยประมาณ
- ระบายรอยแตกหลักมีทั้งหมด 2 แนว ได้แก่ ระบายรอยแตกแนวตะวันตกเฉียงเหนือค่อนไปทางทิศเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไปทางทิศใต้ และแนวตะวันออก-ตะวันตก
- ความสัมพันธ์ของชั้นหินคดโค้งและการเกิดรอยเลื่อน เกี่ยวข้องกับการกระบวนกรก่อเกิดที่ราบสูงโคราชในช่วงไทรแอสซิกตอนต้น

- ระบายรอยแตกแนวตะวันตกเฉียงเหนือค่อนไปทางทิศเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไปทางทิศใต้สัมพันธ์กับกระบวนการก่อเกิดที่ราบสูงโคราชในช่วงที่มีการผ่อนคลายของแรงดัน ซึ่งอยู่ในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนกลางถึงตอนปลาย
- ระบายรอยแตกแนวตะวันออก-ตะวันตกสัมพันธ์กับกระบวนการการก่อเกิดที่ราบสูงโคราชในช่วงก่อนที่จะมีการหยุดลงในยุคไทรแอสซิกตอนปลาย

6.2 ปัญหาและอุปสรรค

- หินโผล่บริเวณเหมืองมีลักษณะเป็นพื้นที่กว้างและเป็นหน้าผาสูงชัน จึงไม่สามารถเก็บข้อมูลได้อย่างทั่วถึงและในบริเวณที่อยู่สูงไม่สามารถเข้าไปเก็บข้อมูลได้
- หินปูนเป็นหินที่สามารถเกิดรอยแตกได้ง่ายทำให้การจำแนกลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาในบางพื้นที่ทำได้ยาก
- หินที่อยู่บริเวณตอนบนมีการเปิดทำเหมืองเป็นเวลานาน ทำให้บางบริเวณมีต้นไม้ปกคลุมจึงไม่สามารถมองเห็นโครงสร้างทางธรณีได้อย่างชัดเจน

เอกสารอ้างอิง

- Arboit, Francesco et al. 2014. Structure of the Sibumasu–Indochina Collision, Central Thailand: A Section through the Khao Khwang Fold and Thrust Belt. *Journal of Asian Earth Sciences* 95. Pages 182-191.
- Barber, A.J., Ridd, M.F., Crow, M.J., 2011. The origin, movement and assembly of the pre-Tertiary tectonic units of Thailand. In: Ridd, M.F., Barber, A.J., Crow, M.J. (Eds.), *The Geology of Thailand*. Geological Society, London. Pages 507–537.
- Booth, J. & Sattayarak, N. 2011. Subsurface Carboniferous–Cretaceous geology of Northeast Thailand. In: Ridd, M. F., Barber, A. J. & Crow, M. J. (eds) *The Geology of Thailand*. Geological Society, London, Pages 185–222.
- Bunopas, S., 1981, Paleogeographic history of western Thailand and adjacent parts of Southeast Asia- A plate tectonics interpretation: Victoria University of Wellington, unpublished Ph.D. thesis, 810 p.; reprinted 1982 as Geological Survey Paper no.5, Geological Survey Division, Department of Mineral Resources, Thailand.
- Dunham, R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Classification of Carbonate Rocks (Ed. Ham, W.E.). Memoir 1, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, OK. Pages 108–121.
- Francesco Arboit, Alan S. Collins, Rosalind King, Christopher K. Morley, Rowan Hansberry. 2014. Structure of the Sibumasu–Indochina collision, central Thailand: A section through the Khao Khwang Fold and thrust belt. *Journal of Asian Earth Sciences* 95. Pages 182-191.
- Geard, A., 2008. Geology of the Klaeng Region (Southeast Thailand): Lithology, Structure and Geochronology. Unpublished B.Sc. Honours Thesis Submitted to the School of Earth Sciences, University of Tasmania, Hobart.
- Google Earth Pro 7.1.5.1557. อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา. 14° 37' 03"N, 101° 21'50"E. มองจาก ความสูง 25 กิโลเมตร. ดาวเทียม NOAA, Digital Globe 2016 (เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2559)
- Google Earth Pro 7.1.5.1557. อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา. 14° 37' 03"N, 101° 21'50"E. มองจาก ความสูง 25 กิโลเมตร. ดาวเทียม NOAA, Digital Globe 2016 (เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2559)
- Hada, S., Bunopas, S., Ishii, K., and Yoshikura, S., 1997, Rift-drift history and the amalgamation of Shan-Thai and Indochina/East Malay Blocks, in P. Dheeradilok, C. Hinthong, P. Chaodumrong, P. Putthaphiban, W. Tansathien, C. Utha-aroon, N. Sattayarak, T. Nuchanong and S. Techawan, eds., Proceeding of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of Southeast Asia and the South Pacific (Geothaiu97), Bangkok, Thailand: 1997, v. 1. Pages 273-286.

- Hansberry Rowan Lawrence, Rosalind King, Collins Alan S., Morley Christopher K. 2014. Complex structure of an upper-level shale detachment zone: Khao Khwang fold and thrust belt, Central Thailand. *Journal of Structural Geology* 63. Pages 140-153.
- Haq, B. U. and S. R. Schutter. 2008. A Chronology of Paleozoic Sea-Level Changes. *Science* 322.5898. Pages 64-68.
- Hinthong, C. 1985. Upper Paleozoic System, the Central Plain and Lower Phetchabun Ranges. Unpublished report, Geological Survey Division, Department of Mineral Resources, Bangkok.
- Hinthong, C., Chuaviroj, S., Kaewyana, V., Srisukh, S., and Pholprasit, C., 1981, Geology and Mineral Resources of the Map Sheet Changwat Phranakhon Sri Ayutthaya (ND 47-8): Department of the Mineral Resources, Geological Survey.
- James, R., Cummings, G.V., 2007. Geology and mineralization of the Chatree epithermal Au-Ag deposit, Phetchabun Province, Central Thailand. In: Tantiwanit, W. (Ed.), Proceedings of the International Conference on Geology of Thailand-Towards Sustainable Development and Sufficiency Economy (GEOTHA1 '07). Bangkok, Thailand, 21–22 November 2007. Pages 378–390.
- Klovan J. Edward, Embry F. Ashton. 1970. Upper Devonian Stratigraphy And Structure, Western Canadian Arctic Islands: ABSTRACT. *Bulletin* 54.
- Korte, Christoph et al. 2005. $\Delta^{18}\text{O}$ and $\Delta^{13}\text{C}$ of Permian Brachiopods: A Record of Seawater Evolution and Continental Glaciation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 224.4. Pages 333-351.
- Lepvrier, C. et al. 2004. The Early Triassic Indosinian Orogeny In Vietnam (Truong Son Belt And Kontum Massif); Implications For The Geodynamic Evolution Of Indochina". *Tectonophysics* 393.1-4. Pages 87-118.
- Metcalf, I., 1997, The Palaeo-Tethys and Palaeozoic Mesozoic tectonic evolution of Southeast Asia, in P. Dheeradilok, C. Hinthong, P. Chaodumrong, P. Putthaphiban, W. Tansathien, C. Utha-aroon, N. Sattarak, T. Nuchanong, and S. Techawan, eds., Proceedings of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of Southeast Asia and the South Pacific, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand: 1997, Pages 260-272.
- Metcalf I. 2013. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys. *Journal of Asian Earth Sciences* 66. Pages 1-33.

- Morley C.K., Ampaiwan P., Thanudamrong S., Kuenphan N., Warren J. 2013. Development of the Khao Khwang Fold and Thrust Belt: Implications for the geodynamic setting of Thailand and Cambodia during the Indosinian Orogeny. *Journal of Asian Earth Sciences* 62. Pages 705-719.
- Nichols, Gary. 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*. 2nd edition. Oxford: Blackwell Science.
- Patriat, and Achache, 1984, India-Eurasia collision chronology has implications for crustal shortening and driving mechanism of plates: *Nature*, v. 311, p. 615-621.
- Phan, C.T., 2000. The Permian of Vietnam, Laos and Cambodia and its interregional correlation. In: Hongfu, Y., Shi, G.R., Jinnan, T., (Eds.), *Permian-Triassic Evolution of Tethys and Western Circum-Pacific*, *Developments in Palaeontology and Stratigraphy*. Pages 99–110.
- Ridd, Michael F, A. J Barber, and M. J Crow. 2011. *The Geology of Thailand*. London: Geological Society.
- Ridd, Michael F. and Christopher K. Morley. 2011. The Khao Yai Fault On the Southern Margin of the Khorat Plateau, And the Pattern of Faulting In Southeast Thailand. *Proceedings of the Geologists' Association* 122.1. Pages 143-156.
- Salam, A., Khin Zaw, Mefre, S., Golding, S., McPhie, J., Suphananthi, S., James, S., 2008. Mineralization and oxygen isotope zonation of Chatree epithermal oldsilver deposit, Phetchabun Province, central Thailand. In: *Proceedings of PACRIM Congress, Gold Coast, Australia, 24–26 November, 2008*.
- Sattayarak, N., and Polachan, S., 1990, Rock salts underneath the Khorat Plateau, *in Proceedings of the Department of Mineral Resources Annual Meeting, Bangkok, Thailand: 1990* (in Thai).
- Sone, Masatoshi and Ian Metcalfe. 2008. Parallel Tethyan Sutures in Mainland Southeast Asia: New Insights for Palaeo-Tethys Closure and Implications for the Indosinian Orogeny. *Comptes Rendus Geoscience* 340.2-3. Pages 166-179.
- Tingay, M., Morley, C., King, R., Hillis, R., Coblenz, D. and Hall, R. 2010. Present-day stress field of Southeast Asia. *Tectonophysics*, 482(1-4). Pages 92-104.
- Udchachon, Mongkol et al. 2014. Depositional Setting and Paleoenvironment of an Alatoconchid-Bearing Middle Permian Carbonate Ramp Sequence in the Indochina Terrane. *Journal of Asian Earth Sciences* 87. Pages 37-55.
- Ueno, K., Charoentitirat, T., 2011. Carboniferous and Permian. In: Ridd, M.F., Barber, A.J., Crow, M.J. (Eds.), *the Geology of Thailand*. The Geological Society of London, Pages 71–136.