

ระบบรอยแตกของหินปูนคาร์บอเนตยุคเพอร์เมียนตอนล่างบริเวณเขาถ้ำโถ จังหวัดเพชรบูรณ์

นางสาวภาชีนี โสโทธิ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

FRACTURE SYSTEMS IN LOWER PERMIAN CARBONATE ROCKS AT KHAO THAM THO,  
CHANGWAT PHETCHABUN

Ms.PACHINEE SOPHO

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.พิชญพงศ์ กาญจนพยนต์)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ลงชื่อ \_\_\_\_\_

(อาจารย์ ดร.สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม

**หัวข้องานวิจัย:** ระบบรอยแตกของหินคาร์บอนเตยุคเพอร์เมียนตอนล่างบริเวณเขาถ้ำไถ่ จังหวัดเพชรบูรณ์

**ผู้ทำการวิจัย:** นางสาวภาชีณี โสโพธิ์

**อาจารย์ที่ปรึกษา:** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ์พงศ์ กาญจนพยนต์

**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม:** อาจารย์ ดร.สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล

**ภาควิชา:** ธรณีวิทยา

**ปีการศึกษา:** 2558

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาลักษณะและวิวัฒนาการทางธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยแตกในระดับมหัณนิภาคของหินโพลีบริเวณสำนักปฏิบัติธรรมเขาถ้ำไถ่ อำเภอนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งหินโพลีบริเวณจุดศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของลานเขาขวาง ประกอบด้วยหินปูนแทรกสลับกับหินดินดาน และผนังหินแอนดีไซต์ อายุยุคเพอร์เมียนตอนล่าง มีสภาพแวดล้อมการตกสะสมตัวแบบทะเลน้ำตื้น จากการสำรวจภาคสนามพบว่ามียอยแตกทั้งหมด 3 ระบบ คือ (1) รอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน (2) รอยแตกทำมุมกับชั้นหิน และ (3) รอยแตกขนานกับชั้นหิน จากหลักฐานการตัดกันของรอยแตกพบว่า รอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินและรอยแตกทำมุมกับชั้นหินมีความสัมพันธ์กับชั้นหินคดโค้งและรอยเลื่อนย้อน จากนั้นผนังหินแอนดีไซต์และรอยแตกขนานกับชั้นหินเกิดต่อมาตามลำดับ ระบบรอยแตกทั้ง 3 ระบบมีความสัมพันธ์กับวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างที่มีผลมาจากการชนกันของแผ่นจุลทวีปไซบูมาสุและแผ่นจุลทวีปอินโดไชน่า มีความสัมพันธ์กับการเกิดแนวชั้นหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ หรือการก่อเทือกเขาอินโดไชนีเยนในช่วงยุคไทรแอสสิกถึงยุคจูแรสสิก

**คำสำคัญ :** ระบบรอยแตก เขาถ้ำไถ่ แนวชั้นหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ การก่อเทือกเขาอินโดไชนีเยน

**Project title:** Fracture systems in Lower Permian carbonate rocks at Khao Tham Tho, Changwat Phetchabun

**Researcher:** Ms.Pachinee Sopho

**Advisor:** Assistant Professor Pitsanupong Kanjanapayont

**Co-advisor:** Dr. Sukonmeth Jitmahantakul

**Department:** Geology

**Academic year:** 2015

### **Abstract**

This study aims to describe structural style and to construct an evolutionary model of fracture systems in mesoscopic scale at Wat Khao Tham Tho, Amphoe Nong Phai, Changwat Phetchabun. This area is a part of Khao Khwang Platform and composed mainly of limestone interbedded with shale and andesitic dyke. The sedimentary rocks formed under shallow marine condition during Early Permian. According to field investigation, three fracture systems have been classified base on mode of fracture (1) bed-perpendicular fracture (2) bed-oblique fracture and (3) bed-parallel fracture. In conclusion based on cross-cutting relationship. This study found that bed-perpendicular fracture and bed-oblique fracture occur first related to fold and reverse fault. Then Andesitic dyke and bed-parallel fracture formed respectively. These fractures formed as a result of Sibumasu-Indochina terrance collision related to Loei-Phetchabun fold belt or Indosinian Orogeny in Triassic to Jurassic.

**Key words:** Fracture systems, Khao Tham Tho, Loei-Phetchabun fold belt, Indosinian Orogeny

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญพงศ์ กาญจนพยนต์ และ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม อาจารย์ ดร.สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนช่วยเหลือตั้งแต่ก่อนเริ่มงานวิจัย ในการออกภาคสนาม การวิเคราะห์ข้อมูล จนถึงขั้นตอนการนำเสนอข้อมูลใน รายงานเล่มนี้ และขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐาสินี เจริญจิตรัตน์ ที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาตลอด ในการออกภาคสนาม

ขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนด้าน เครื่องมือ อุปกรณ์ออกภาคสนามต่างๆ และด้านงบประมาณค่าใช้จ่ายในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณนางสาวภัทราพร เต๋อใจ นางสาววิรินทร์ อินทุ่ง นายธนพ ศิริพัฒนานุรักษ์ และนายชนะกานต์ คุ่มฉาย ที่ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลออกภาคสนาม ขอขอบคุณนางสาวภัสติกร สุวรรณจันลา นายปรีดา ภาเปียง และนายนวัทร กลมเกลียว สำหรับคำแนะนำตลอดการทำงานวิจัย และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ ธรณีวิทยา รุ่น 56 ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือตลอดมา

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 พื้นที่ศึกษา	1
1.4 ขอบเขตการศึกษา	1
<b>บทที่ 2 ธรณีวิทยาทั่วไป</b>	<b>4</b>
2.1 ธรณีวิทยาระดับภูมิภาค	4
2.2 วิทยาหินและลำดับชั้นหินในพื้นที่ศึกษา	7
2.3 งานวิจัยเก่าที่เกี่ยวข้อง	11
<b>บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย</b>	<b>14</b>
3.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน และวิธีการศึกษาเบื้องต้น	14
3.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม	15
3.3 การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจากภาคสนาม	15
3.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	17
<b>บทที่ 4 ผลการศึกษา</b>	<b>22</b>
4.1 วิทยาหิน	22
4.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	22
4.2.1 บริเวณ A	26
4.2.2 บริเวณ B	27
	ง

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.3 บริเวณ C	28
4.2.4 บริเวณ D	28
<b>บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา</b>	
5.1 การจำแนกระบบรอยแตก	44
5.2 การวิเคราะห์ระบบรอยแตกร่วมกับรอยแตกที่มีความสัมพันธ์กับชั้นหินคดโค้ง	45
5.3 แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยแตก	45
5.4 การเปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	46
5.5 การเปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้กับวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย	46
<b>บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา</b>	
6.1 สรุปผลการศึกษา	49
6.2 ปัญหาและอุปสรรค	50
6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	50
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	51
<b>ภาคผนวก</b>	53



# สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข บริเวณทางด้านทิศตะวันตกของที่ราบสูงโคราช และบริเวณพื้นที่ศึกษา สำนักปฏิบัติธรรมสงฆ์วัดเขาถ้ำไถ อำเภอนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์	2
รูปที่ 1.2 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงลักษณะภูมิประเทศบริเวณสำนักปฏิบัติธรรมสงฆ์วัดเขาถ้ำไถ อำเภอนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์	3
รูปที่ 2.1 แผนภาพลำดับการเกิดธรณีแปรสัณฐานตั้งแต่ตอนปลายของยุคทีโวเนียน จนถึงมหายุคซีโนโซอิก บริเวณทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และประเทศไทย	5
รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงทิศทางการเคลื่อนที่และแนวรอยต่อของแผ่นเปลือกโลก ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแสดงทิศทางของแนวแรงที่กระทำต่อแผ่นเปลือกโลกในปัจจุบัน	8
รูปที่ 2.3 แผนที่ธรณีวิทยาในช่วงมหายุคพาลีโอโซอิกตอนปลายบริเวณทิศตะวันตกของ แผ่นจุลทวีปอินโดจีน	9
รูปที่ 2.4 ลำดับชั้นหินช่วงยุคเพอร์เมียนบริเวณลานเขาขวาง	10
รูปที่ 2.5 แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีโครงสร้างบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง อำเภอนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์	12
รูปที่ 2.6 แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีโครงสร้างบริเวณเขาตราด	13
รูปที่ 3.1 ภาพถ่ายแสดงขั้นตอนการดำเนินงานตามระเบียบวิธีวิจัยทั้ง 3 ขั้นตอน	16
รูปที่ 3.2 การจำแนกระบบรอยแตกตามลักษณะที่ปรากฏและการเกิดของรอยแตก และลักษณะ การเรียงตัวของรอยแตกแต่ละชนิดที่เกิดจากแรงที่เข้ามากระทำต่อพื้นที่ต่างกัน	19
รูปที่ 3.3 โหมดของรอยแตกทั้ง 4 แบบ ได้แก่ โหมด 1 โหมด 2 โหมด 3 และโหมด 4	19
รูปที่ 3.4 รูปร่างลักษณะและนิยามเฉพาะของชั้นหินคดโค้ง	21
รูปที่ 3.6 แบบจำลองชั้นหินคดโค้งปลายรอยเลื่อนแสดงการเลื่อนไปตามแนวราบของชั้นหิน และมีไต่ระดับสูงชันของระนาบรอยเลื่อน	21
รูปที่ 3.8 แบบจำลองแสดงแนวรอยแตก 3 แนวที่มีความสัมพันธ์กับการคดโค้งของชั้นหิน	21
รูปที่ 4.1 รูปถ่ายทางอากาศบริเวณสำนักปฏิบัติธรรมสงฆ์วัดเขาถ้ำไถ อำเภอนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์	23

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.2 รูปหน้าผาเหมือนหินเก่าบริเวณด้านเหนือของเขากล้าโถ และภาพวาดอย่างง่าย แสดงการวางตัวของชั้นหิน รอยแตก รอยเลื่อนย้อน และผนังหินแอนดีไซต์ที่พบในพื้นที่ศึกษา	24
รูปที่ 4.3 รูปถ่ายบริเวณ A แสดงตำแหน่งจุดศึกษาย่อย 2 จุด	28
รูปที่ 4.4 การคดโค้งของชั้นหินและรอยเลื่อนบริเวณ A	29
รูปที่ 4.5 การคดโค้งของชั้นหินและรอยเลื่อนบริเวณ A	30
รูปที่ 4.6 รูปถ่ายบริเวณ B แสดงตำแหน่งจุดศึกษาย่อย 2 จุด	31
รูปที่ 4.7 ผนังหินแอนดีไซต์แทรกตัดเข้ามาในชั้นหิน	32
รูปที่ 4.8 ผนังหินแอนดีไซต์พบรอยแตก	33
รูปที่ 4.9 รูปถ่ายบริเวณ C แสดงตำแหน่งจุดศึกษาย่อย 5 จุด	34
รูปที่ 4.10 พบรอยเลื่อนและรอยแตกพร้อม แสดงการวางตัวของชั้นหินหินปูนแทรกสลับกับหินดินดาน	35
รูปที่ 4.11 การตัดกันของรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินและรอยแตกทำมุมกับชั้นหิน	36
รูปที่ 4.12 การตัดกันของรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน	37
รูปที่ 4.13 การตัดกันของรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน	38
รูปที่ 4.14 รอยแตกร่วมของรอยแตกทำมุมกับชั้นหิน ตัดผ่านชั้นหินปูนแทรกสลับหินดินดาน	39
รูปที่ 4.15 รูปถ่ายทางอากาศบริเวณ D แสดงตำแหน่งจุดศึกษาย่อย 3 จุด	40
รูปที่ 4.16 รอยแตกร่วมของรอยแตกทำมุมกับชั้นหิน	41
รูปที่ 4.17 รอยเลื่อนทางม้าและรอยแตกร่วม	42
รูปที่ 4.18 รอยแตกร่วมของรอยแตกทำมุมกับชั้นหิน	43
รูปที่ 5.1 แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณพื้นที่ศึกษา	47

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

เขาถ้ำไถ่ (รูปที่ 1.1) อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ มีทิศทางการวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ ค่อนไปทางทิศเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไปทางทิศใต้ เป็นหมวดหินตาดกฟ้าประกอบไปด้วยหินคาร์บอนเตยุค เพอร์เมียนตอนล่าง ได้แก่ หินปูนสีเทาถึงเทาเข้มชั้นบางถึงหนาแทรกสลับกับหินดินดานสีเทาชั้นบาง บางบริเวณ พบผนังหินแอนดิไซต์แทรกตัดเข้ามา ซึ่งบริเวณนี้เป็นส่วนหนึ่งแนวชั้นหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ ซึ่งเป็นบริเวณที่ ปรากฏลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างมากมายในหลายระดับ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบแตกเปราะ ประกอบด้วย รอยเลื่อน แนวแตก สายแร่ และการแทรกดันตัวของหินอัคนี (Warren et al., 2014) โดยลักษณะ การเกิด รูปแบบ และระบบรอยแตกมีความสัมพันธ์กับกลไกการเกิดและวิวัฒนาการของแนวชั้นหินคดโค้งได้รับ อิทธิพลมาจากการชนกันของแผ่นจูลทวีปไซบิวมาและแผ่นจูลทวีปอินโดจีน ในช่วงยุคไทรแอสสิก และอิทธิพลมา จากการชนกันของแผ่นทวีปอินเดียและแผ่นทวีปยูเรเชีย ในช่วงมหายุคซีโนโซอิก (Metcalf, 2013)

งานวิจัยครั้งนี้ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ระบบรอยแตกของหินคาร์บอนเตยุคเพอร์เมียนตอนล่าง บริเวณเขาถ้ำไถ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ เพื่อเข้าใจถึงชนิด รูปแบบ ความสัมพันธ์ของระบบรอยแตกและวิวัฒนาการ กลไกการเกิดระบบรอยแตกในระดับท้องถิ่น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแนวชั้นหินคดโค้งที่สำคัญของประเทศไทย

### 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อจำแนกระบบรอยแตกและศึกษาความสัมพันธ์ของวิวัฒนาการระบบรอยแตกในบริเวณเขาถ้ำไถ่ จังหวัดเพชรบูรณ์

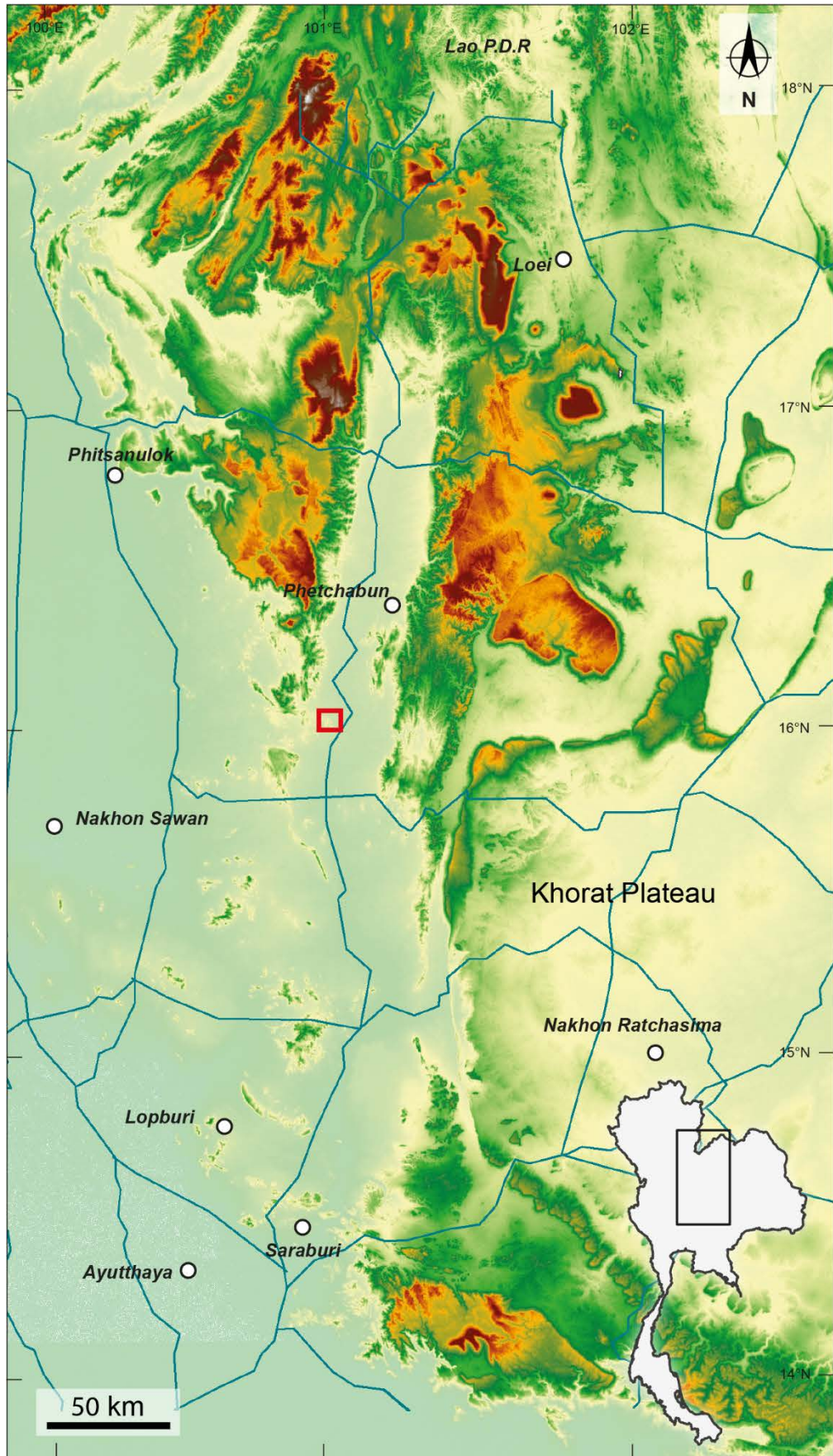
### 1.3 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในบริเวณสำนักปฏิบัติธรรมสงฆ์วัดเขาถ้ำไถ่ อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ (รูปที่ 1.2) เป็นส่วนหนึ่งของแนวชั้นหินคดโค้ง ประกอบด้วยหินคาร์บอนเตยุคเพอร์เมียนตอนล่าง พบเป็นหินโผล่วางตัวใน แนวเหนือ-ใต้ ความยาว 700 เมตรและความสูงประมาณ 150 เมตร

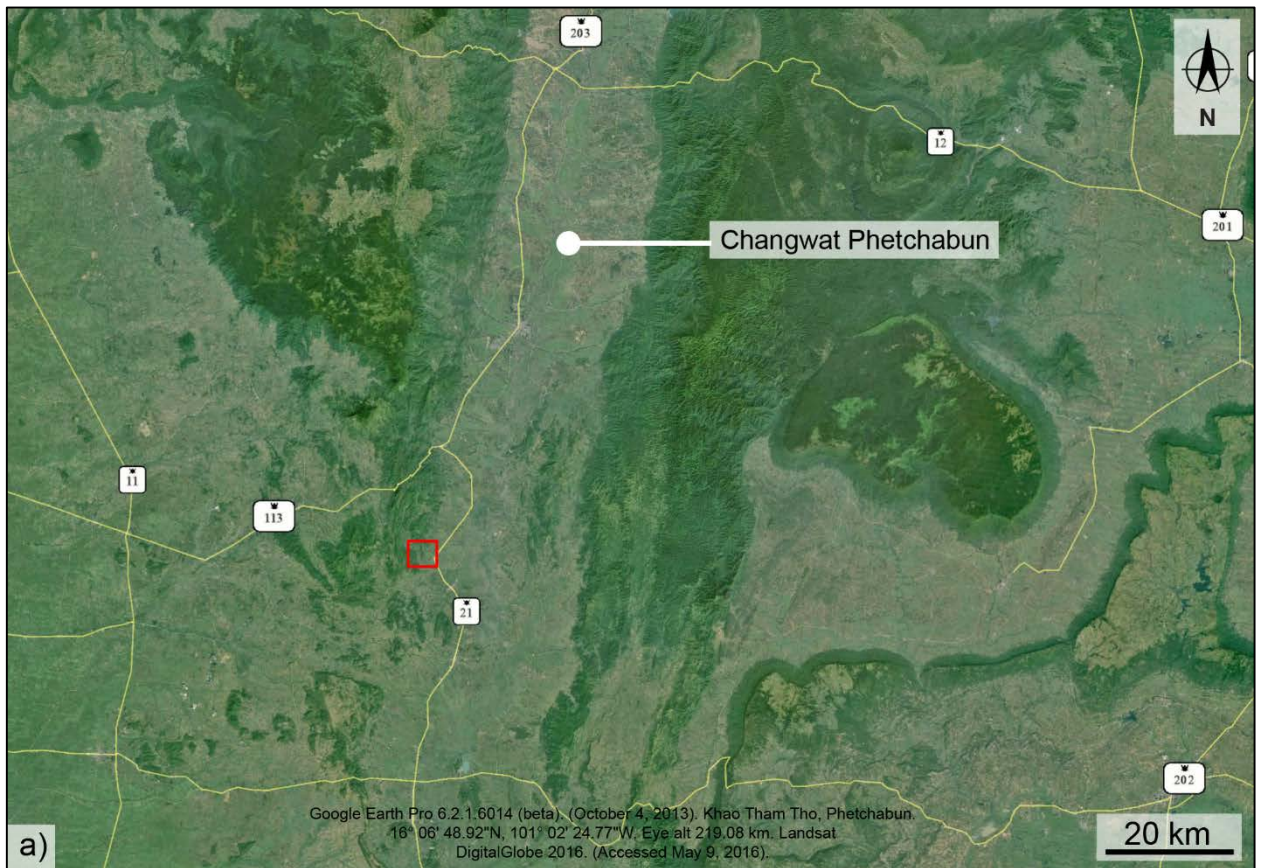
### 1.4 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาธรณีวิทยาบริเวณเขาถ้ำไถ่

- การศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้าง โดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม โดยจะมุ่งเน้นศึกษารายละเอียด รูปแบบรอยแตก และการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบแตกเปราะที่ปรากฏบนพื้นผิวของหินโผล่บริเวณเขาถ้ำไถ่ใน ระดับมัธยมศึกษา ซึ่งจะนำมาใช้อธิบายวิวัฒนาการโครงสร้างและสร้างแบบจำลองวิวัฒนาการระบบรอย แตกของเขาถ้ำไถ่



รูปที่ 1.1 แบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model: DEM) บริเวณทางด้านทิศตะวันตกของที่ราบสูงโคราช (Khorat Plateau) และบริเวณพื้นที่ศึกษา สำนักปฏิบัติการธรรมสงฆ์วัดเขาถ้ำโถ อำเภอนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ (กรอบสีแดง)



รูปที่ 1.2 (a) ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา (กรอบสีแดง) (google earth, 2016)  
(b) ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงลักษณะภูมิประเทศบริเวณสำนักปฏิบัติธรรมสงฆ์วัดเขาถ้ำโถ อำเภอนองไผ่ จังหวัด เพชรบูรณ์ (google earth, 2016)

## บทที่ 2

# ธรณีวิทยาทั่วไป

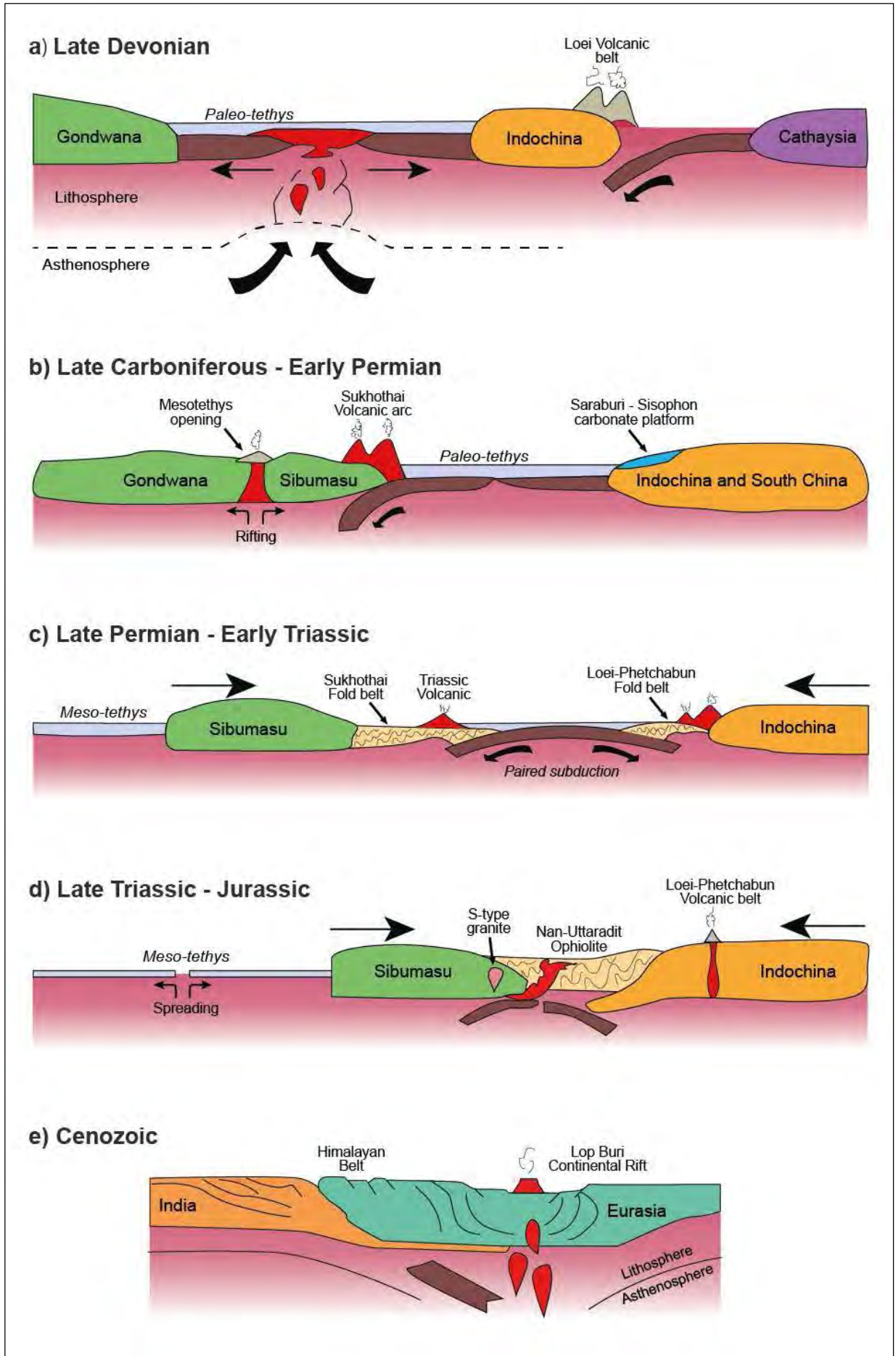
บทนี้นำเสนอธรณีวิทยาทั่วไปโดยครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยไปจนถึงพื้นที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลธรณีวิทยาระดับภูมิภาค ธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา และงานวิจัยเก่าที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดของบทนี้จะสามารถช่วยให้เกิดความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับธรณีวิทยาต่างๆ ที่เชื่อมโยงกับงานวิจัยนี้ได้ ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดจะถูกใช้อ้างอิงในการอภิปรายผลการศึกษาบทที่ 5 และสรุปผลการศึกษาบทที่ 6 ต่อไป

### 2.1 ธรณีวิทยาระดับภูมิภาค

ธรณีแปรสัณฐานบริเวณทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และบริเวณประเทศไทยตั้งแต่ตอนปลายของยุคครีตเวเนียนจนถึงมหายุคซีโนโซอิก (รูปที่ 2.1) และการเกิดร่วมกับกระบวนการทางภูเขาไฟ (รูปที่ 2.2) มีจุดเริ่มต้นตั้งแต่ยุคแคมเบรียนซึ่งเป็นช่วงที่แผ่นจลทวีปต่างๆเริ่มมีการแยกตัวออกจากกัน ต่อมาแผ่นจลทวีปอินโดจีนและแผ่นจลทวีปไซบิวมาสุเริ่มมีการแยกตัวออกจากแผ่นกอนด์วานาซึ่งตั้งอยู่ในซีกโลกใต้เมื่อเทียบกับตำแหน่งซีกโลกในปัจจุบัน โดยแผ่นจลทวีปอินโดจีนได้แยกตัวออกในช่วงยุคครีตเวเนียน

ยุคครีตเวเนียนตอนปลายถึงยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น (รูปที่ 2.1a) เกิดการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นมหาสมุทรที่รองรับทะเลโบราณพาลีโอเทธิส (Paleotethys) โดยมุดตัวลงไปได้แผ่นจลทวีปอินโดจีนมาก่อนที่จะเกิดการชนกันของแผ่นจลทวีปอินโดจีนกับแผ่นอนุทวีปอินโดจีนใต้ที่อยู่ถัดไปทางฝั่งตะวันออก และทำให้เกิดเป็นแนวภูเขาไฟตามขอบของแผ่นจลทวีปอินโดจีนทางฝั่งตะวันออก และช่วงเวลาเดียวกันนี้ก็เกิดการแทรกดันตัวของหินหนืดบริเวณศูนย์กลางรอยแยกระหว่างแผ่นจลทวีปไซบิวมาสุและแผ่นจลทวีปอินโดจีน

ยุคเพอร์เมียนตอนต้น (รูปที่ 2.1b) เกิดการแยกตัวของแผ่นจลทวีปอินโดจีนขึ้นบริเวณขอบแผ่น ทำให้เกิดเป็นแอ่งสะสมตะกอนหลังแนวภูเขาไฟ (back-arc basin) ในขณะเดียวกันในส่วนของแผ่นจลทวีปไซบิวมาสุได้มีการแยกตัวออกมาจากแผ่นทวีปกอนด์วานาเกิดเป็นทะเลโบราณมีโซเทธิส (Meso-Tethys) ทำให้ในช่วงเวลาขณะนั้นประกอบด้วยแผ่นจลทวีปที่สำคัญต่อการเกิดประเทศไทย ได้แก่ แผ่นจลทวีปอินโดจีน แผ่นจลทวีปไซบิวมาสุ และแนวภูเขาไฟสุโขทัย (Sukhothai arc) โดยในช่วงเวลาดังกล่าว ตำแหน่งของแผ่นจลทวีปเหล่านี้ไม่ได้ยึดติดกัน แผ่นจลทวีปอินโดจีนตั้งอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรเมื่อเทียบกับตำแหน่งเส้นศูนย์สูตรในปัจจุบัน และตำแหน่งของแผ่นอนุทวีปไซบิวมาสุตั้งอยู่บริเวณซีกโลกใต้ของโลกเมื่อเทียบกับตำแหน่งของซีกโลกในปัจจุบัน การที่ขอบแผ่นจลทวีปอินโดจีนมีลักษณะเป็นไหล่ทวีปลาดลงไปในแอ่งสะสมตะกอนหลังแนวภูเขาไฟและมีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในแถบที่มีสภาพภูมิอากาศร้อนทำให้มีการสะสมตัวของตะกอนคาร์บอเนตขึ้น ปรากฏให้เห็นเป็นลักษณะลานคาร์บอเนต (carbonate platform) จากนั้นเกิดการขยายตัวของทะเลโบราณมหายุคมีโซโซอิก ทำให้แผ่นจลทวีปไซบิวมาสุเริ่มมีการเคลื่อนที่ขึ้นมาจากทางซีกโลกใต้ เข้ามาใกล้แผ่นจลทวีปอินโดจีนที่อยู่บริเวณแถบเส้นศูนย์สูตรมากขึ้นเรื่อยๆ การเคลื่อนตัวเข้าใกล้ของสองแผ่นจลทวีปนี้ทำให้บางส่วนของทะเลโบราณมหายุคพาลีโอโซอิกมีการมุดตัวและเกิดการสะสมตะกอนแบบพอกพูน (accretionary prism)



รูปที่ 2.1 แผนภาพลำดับการเกิดธรณีแปรสัณฐานตั้งแต่ตอนปลายของยุคดีโวเนียนจนถึงมหายุคซีโนโซอิก บริเวณทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และประเทศไทย (ดัดแปลงจาก Intasopa, 1993)

ตารางที่ 2.1 แสดงธรณีแปรสัณฐานและกระบวนการทางภูเขาไฟแต่ละช่วงอายุของประเทศไทย (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 Indosinian I 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. Early Permian rifting of Sibumasu from Gondwana.
359		Carboniferous			Mid-Carboniferous uplift on Indochina Block. Pre-Namurian unconformity in southern Peninsular Thailand.
419		Devonian			Doubtful 'Landkawi Folding Phase' in peninsular Malaysia.
444		Silurian			Presumed Silurian-Devonian rifting of North and South China and Indochina from Gondwana.
485		Ordovician			452-430 Ma heating event in Sibumasu.
541		Cambrian			
	PRE CAMBRIAN				



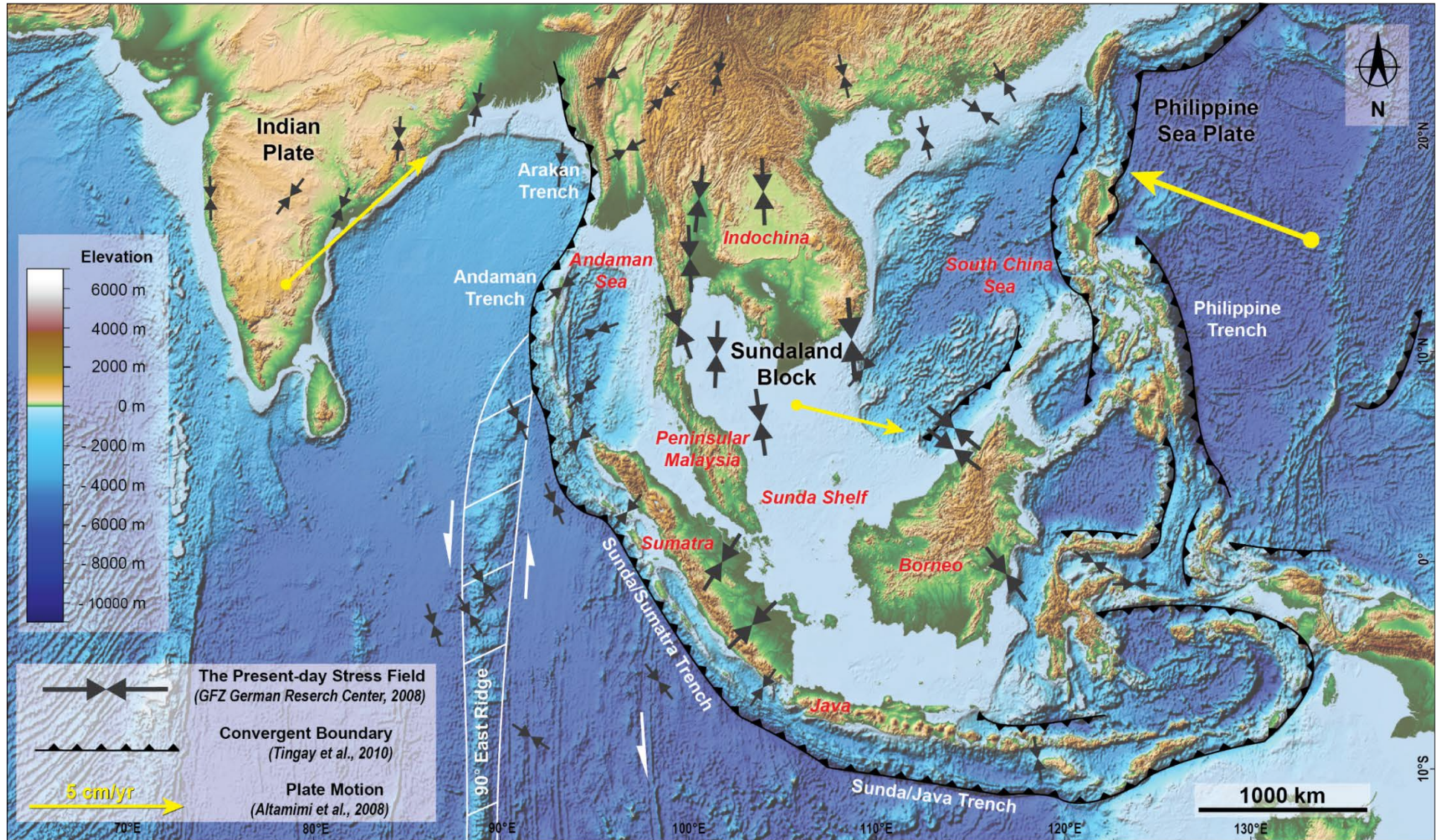
ช่วงยุคไทรแอสสิกตอนต้น (รูปที่ 2.1c) มีการปิดแอ่งสะสมตะกอนหลังแนวภูเขาไฟ เนื่องจากแผ่นจุลทวีปอินโดจีนและแนวภูเขาไฟสุโขทัยเริ่มมีการเคลื่อนที่เข้าหากัน และเกิดการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นทะเลบริเวณหลังแนวภูเขาไฟลงใต้แนวภูเขาไฟสุโขทัย ทำให้มีลักษณะของแนวภูเขาไฟเกิดเป็นแนวยาว ช่วงยุคไทรแอสสิกตอนต้นเกิดการชนกันของแผ่นจุลทวีปไซบิวมาสุ แนวภูเขาไฟสุโขทัย และแผ่นจุลทวีปอินโดจีน โดยแผ่นจุลทวีปไซบิวมาสุมีการมุดตัวลงใต้แนวภูเขาไฟสุโขทัยและแผ่นจุลทวีปอินโดจีน ส่งผลให้แผ่นจุลทวีปไซบิวมาสุ แนวภูเขาไฟสุโขทัย และแผ่นจุลทวีปอินโดจีนได้รวมเป็นแผ่นทวีปแผ่นเดียวกัน ซึ่งกระบวนการชนนี้เกิดจากการขยายตัวของทะเลโบราวมมีโซเทริส

ช่วงมหายุคซีโนโซอิก (รูปที่ 2.1d) ช่วงที่เกิดร่องทรุดในพื้นที่ประเทศไทย จากการที่แผ่นเปลือกโลกอินเดีย-ออสเตรเลีย (Indian-Australian Plate) ได้เคลื่อนที่เข้ามาชนกับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasia Plate) โดยมีแนวแรงบีบอัดของการชนอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ ผลของการชนกันนี้ส่งผลทำให้แผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทยมีการหมุนตามเข็มนาฬิกาหรือที่เรียกกันว่า “Escape tectonic” ทำให้ชั้นหินต่างๆในประเทศไทยถูกแรงบีบอัดในแนวเหนือ-ใต้ เป็นผลให้เกิดการยกตัวของเทือกเขาภูพานและเทือกเขาพนมดงรักตามบริเวณขอบแอ่งโคราช (Sattayarak and Polachan, 1990) การคดโค้งของเทือกเขาในภาคเหนือ เกิดการเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนต่างๆในประเทศไทย ผลของการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนนี้ทำให้เกิดการเปิดออกของแอ่งตะกอนมหายุคซีโนโซอิกของประเทศไทย โดยในปัจจุบันยังมีการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกบริเวณทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ส่งผลให้แนวแรงที่กระทำต่อพื้นที่ประเทศไทยอยู่ในทิศเหนือ-ใต้ (รูปที่ 2.3)

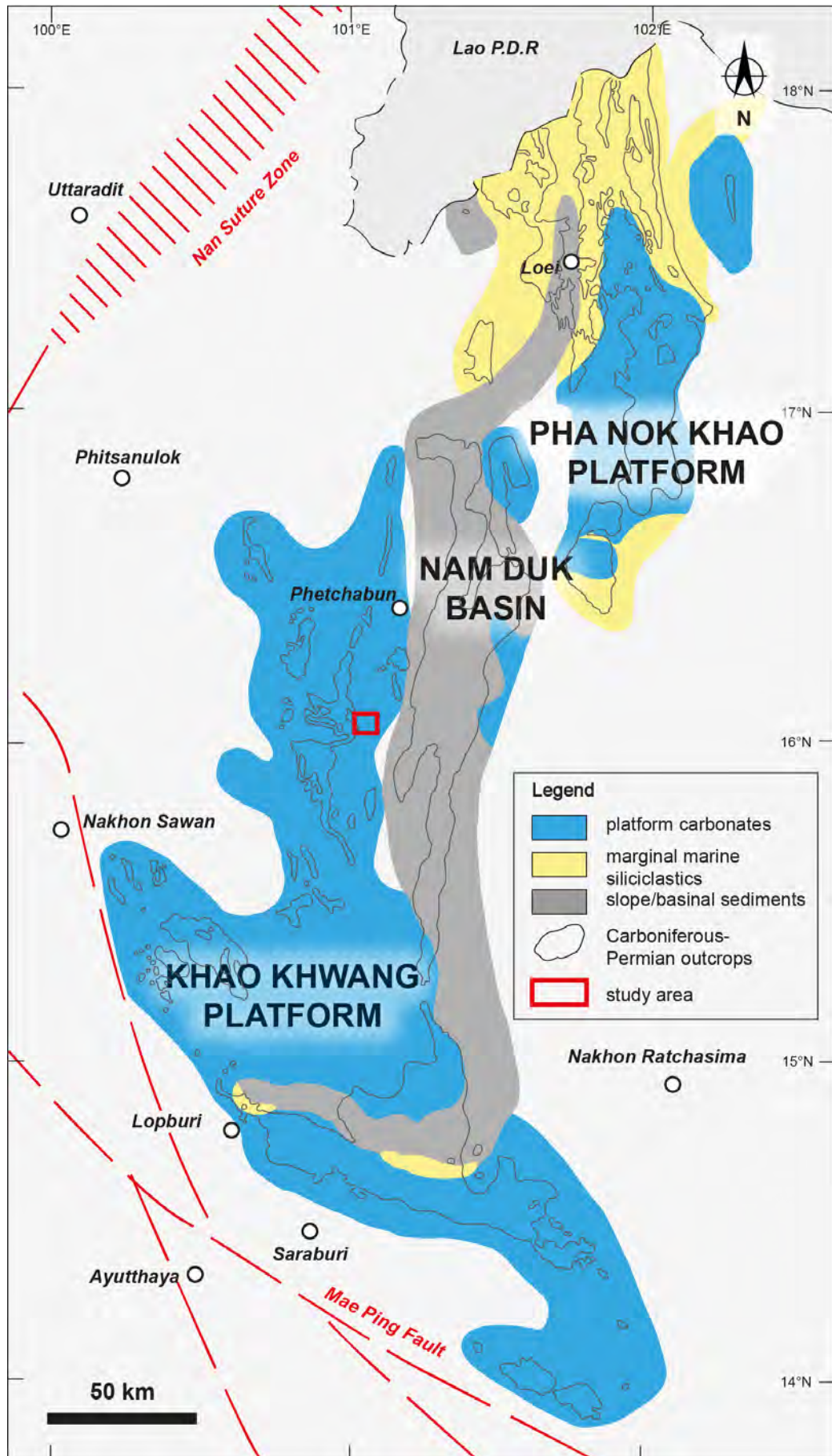
## 2.2 วิทยาหินและลำดับชั้นหินในพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาบริเวณเขาถ้ำไถ อำเภอนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ จัดอยู่ในหมวดหินตากฟ้า (กรมทรัพยากรธรณี, 2552) มีลักษณะเป็นหินปูนสีเทาถึงดำเป็นชั้นหนาถึงบาง หินเชิร์ตสีดำเป็นกระเปราะและเป็นชั้นบางๆ บางบริเวณสลับชั้นด้วยหินดินดานสีเทา มีการแทรกต้นตัวของหินภูเขาไฟ ซากดึกดำบรรพ์ที่พบส่วนใหญ่ได้แก่ ฟอสซิลินิดที่พบบ่งบอกถึงอายุยุคเพอร์เมียนตอนล่าง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของลานเขาขวาง (Wielchosky & Young, 1985) บริเวณทางด้านทิศตะวันตกของแผ่นอนุทวีปอินโดจีน (รูปที่ 2.4)

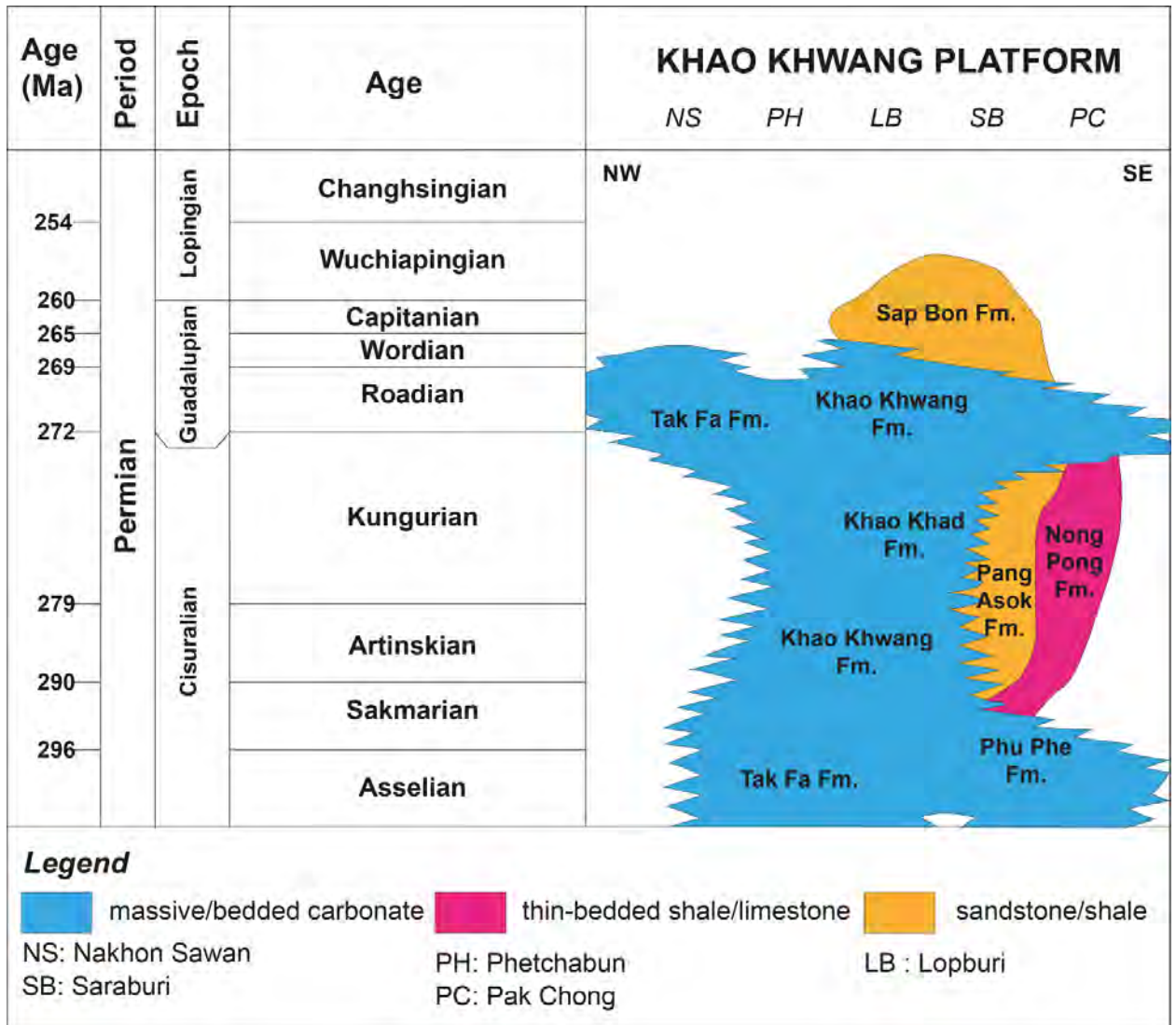
การลำดับชั้นหินของลานเขาขวางในช่วงยุคเพอร์เมียน (รูปที่ 2.5) บริเวณจังหวัดเพชรบูรณ์ยุคเพอร์เมียนตอนล่างพบหมวดตากฟ้า (Ueno & Charoentitirat, 2011) ประกอบด้วยหินปูนเป็นชั้นถึงหนา โดยหมวดหินนี้มีชั้นหินต้นฉบับยุคเพอร์เมียนตอนกลางอยู่ที่อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์ ยุคเพอร์เมียนตอนล่างพบหมวดหินเขาขวางประกอบด้วยหินปูนเป็นชั้นถึงหนา บริเวณจังหวัดลพบุรียุคเพอร์เมียนตอนล่างถึงตอนกลางพบหมวดหินเขาขวางและหมวดหินเขาขาด ยุคเพอร์เมียนตอนบนพบหมวดหินซับบอนประกอบด้วยหินดินดานหรือหินทราย บริเวณจังหวัดสระบุรียุคเพอร์เมียนตอนล่างพบหมวดหินภูเพประกอบด้วยหินปูนเป็นชั้นถึงหนา หมวดหินปางอโศกประกอบด้วยหินดินดานหรือหินทราย ยุคเพอร์เมียนตอนบนประกอบด้วยหินดินดานหรือหินทราย และบริเวณอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมายุคเพอร์เมียนตอนล่างพบหมวดหินภูเพประกอบด้วยหินปูนเป็นชั้นถึงหนา หมวดหินปางอโศกประกอบด้วยหินดินดานหรือหินทราย และหมวดหินหนองโป่งประกอบด้วยหินปูนหรือหินดินดานชั้นบาง



รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงทิศทางการเคลื่อนที่และแนวรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแสดงทิศทางของแนวแรงที่กระทำต่อแผ่นเปลือกโลกในปัจจุบัน (ลูกศรสีเหลือง) (ดัดแปลงจาก Tingay et al., 2010)



รูปที่ 2.3 แผนที่ธรณีวิทยาในช่วงมหายุคพาลีโอโซอิกตอนปลาย บริเวณทิศตะวันตกของแผ่นจูลาทวีปอินโดจีน (กรอบสีแดงแสดงพื้นที่ศึกษา) (ดัดแปลงจาก Wielchowsky & Young, 1985)



รูปที่ 2.4 ลำดับชั้นหินช่วงยุคเพอร์เมียนบริเวณลานเขาขวาง (ดัดแปลงจาก Ueno & Charoentitirat, 2011)

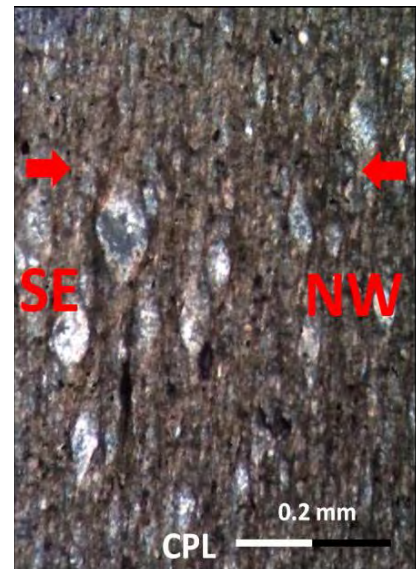
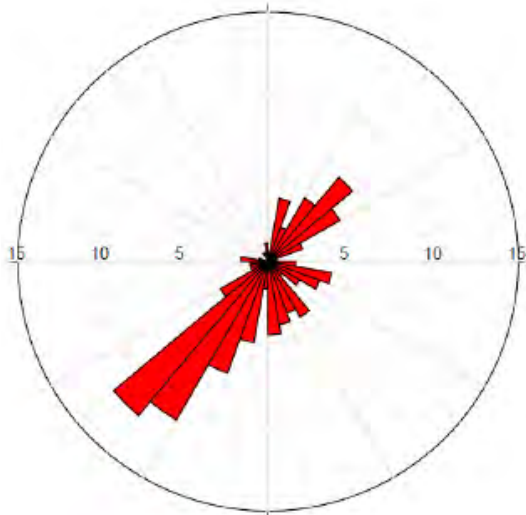
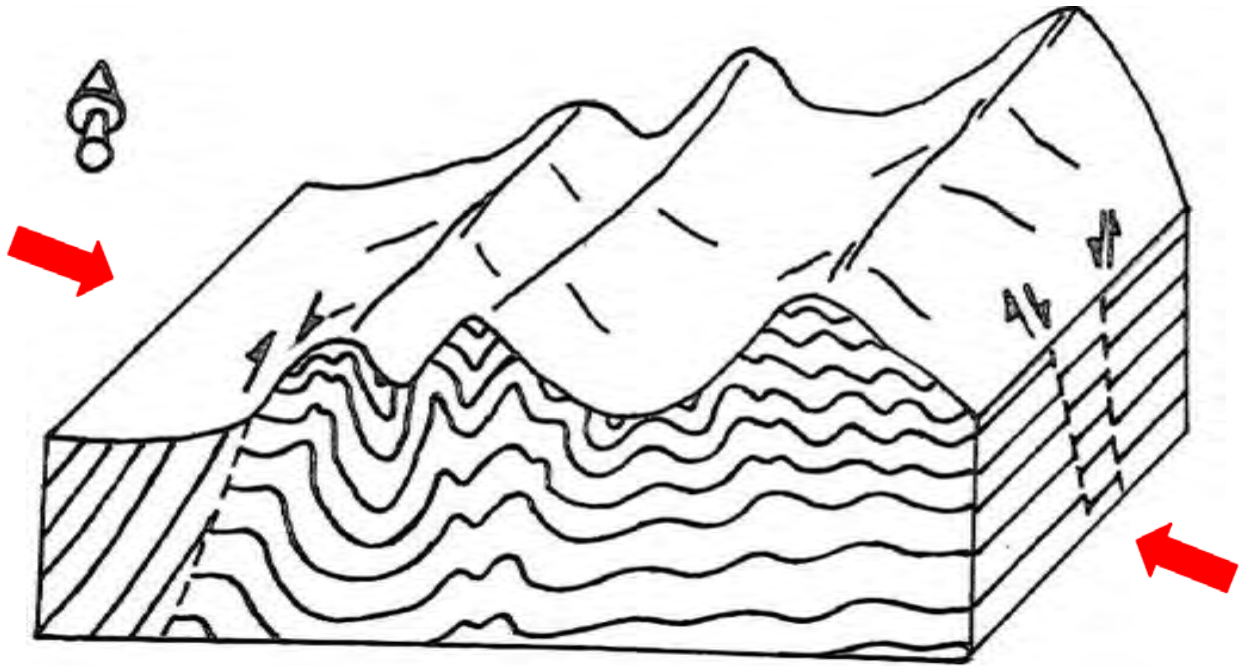
## 2.3 งานวิจัยเก่าที่เกี่ยวข้อง

Metcalfe (2013) แผ่นจุลทวีปฉานไทยและแผ่นจุลทวีปอินโดจีน เคยเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นทวีปกอนด์วานา อยู่ทางตะวันตกเฉียงเหนือของแผ่นออสเตรเลียในซีกโลกใต้ ตั้งแต่ช่วงยุคพรีแคมเบรียน จนถึงช่วงมหายุคพาลีโอโซอิกตอนต้น จากนั้นในช่วงยุคมหายุคพาลีโอโซอิกตอนกลางจนถึงยุคไทรแอสสิกตอนต้น แผ่นจุลทวีปไซบูมาสุและแผ่นจุลทวีปอินโดจีน ค่อยๆเคลื่อนตัวออกจากแผ่นออสเตรเลีย ระหว่างยุคไซลูเรียนจนถึงยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น พร้อมๆกับการสร้างแอ่งสะสมตะกอนในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้นจนถึงยุคเพอร์เมียนตอนปลาย แผ่นจุลทวีปไซบูมาสุเคลื่อนที่จากซีกโลกใต้บริเวณใกล้กับเส้นศูนย์สูตรมาอยู่ในซีกโลกเหนือบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร และเริ่มมีการมุดตัวของพื้นที่ทะเลโบราณ จนเกิดการชนกันของระหว่างแผ่นจุลทวีปไซบูมาสุกับแผ่นจุลทวีปอินโดจีน ก่อให้เกิดแนวชั้นหินคดโค้งและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ

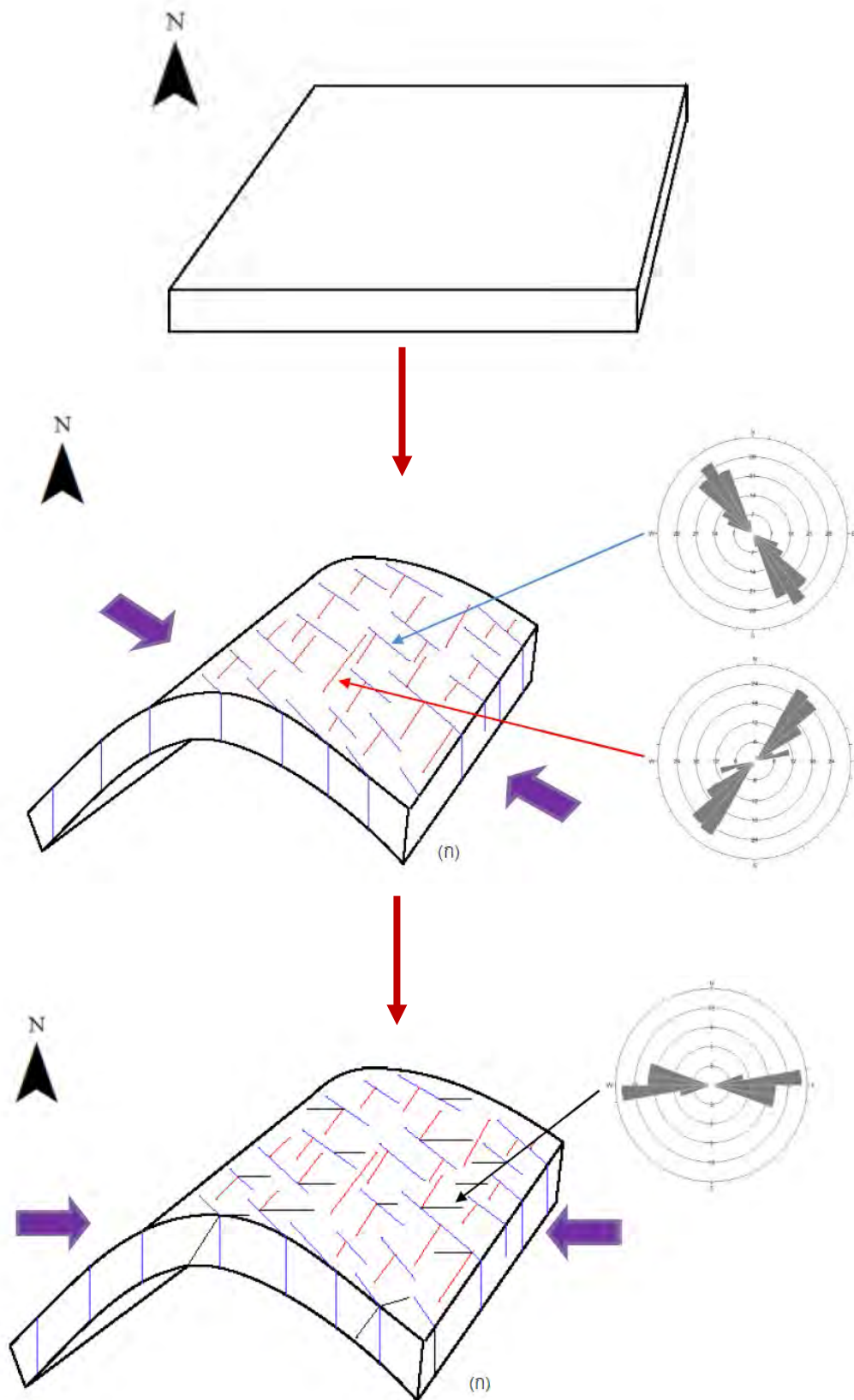
Warren et al (2014) พบว่าเกิดเหตุการณ์ทางธรณีแปรสัณฐานในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนต้นถึงตอนกลาง มีการตกสะสมตัวของคาร์บอนเนตบนลาดทวีปของแผ่นจุลทวีปอินโดจีน ต่อมาในช่วงยุคไทรแอสสิกตอนต้น เกิดการเคลื่อนตัวเข้าหากันของแผ่นจุลทวีปไซบูมาสุกับแผ่นจุลทวีปอินโดจีน แรงบีบอัดทำให้ลานคาร์บอนเนต ถูกเปลี่ยนแปลงลักษณะเกิดแนวคดโค้งและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ เกิดพนักหินแอนดีไซต์และมีการแทรกของสายแร่แคลไซต์ ซึ่งก็คือบริเวณแนวชั้นหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์

Sornsoongnoen (2013) ศึกษาแนวชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยแนวชั้นหินคดโค้งวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ลักษณะธรณีวิทยาประกอบด้วยหินทรายเกรย์แกวยุคเพอร์เมียน หมวดหินน้ำดุก โดยจากการศึกษาระดับมหัณนิภาคและจุลภาคพบโครงสร้างประทุนและประทุนหยายที่มีระนาบแกนการคดโค้งวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และในแผ่นหินขัดบางพบลักษณะของผลึกแร่ถูกแรงบีบอัดจนละเอียด โดยแสดงแรงบีบอัดเข้ามากระทำต่อพื้นที่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (รูปที่ 2.6)

Subsakul (2013) ศึกษาแนวชั้นหินคดโค้งบริเวณเขาตราด ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอ่างเก็บน้ำคลองลำกง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยแนวชั้นหินคดโค้งวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ ลักษณะธรณีวิทยาประกอบด้วยหินตะกอนเนื้อประสมและหินปูนในยุคเพอร์เมียน โดยจากการศึกษาระดับมหัณนิภาคและจุลภาคพบลักษณะของรอยแตกที่มีการตั้งฉากกันทั้งหมด 3 แนว แสดงความสัมพันธ์กับชั้นหินคดโค้งในพื้นที่ศึกษา ลำดับแรกมีแรงบีบอัดเข้ามากระทำต่อพื้นที่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และต่อมามีการเปลี่ยนทิศทางของแรงเป็นทิศตะวันออกเฉียง-ตะวันตก (รูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.5 (a) แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีโครงสร้างบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ แสดงแนวสันเขามิการวางตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ เนื่องจากแรงบีบอัดเข้ามากระทำต่อพื้นที่ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (ลูกศรสีแดง) และเกิดรอยเลื่อนปกติที่บ่งชี้ถึงแรงยืดในทิศเหนือ-ใต้ (b) แผนภาพกุหลาบแสดงโครงสร้างชั้นหินวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (c) แผ่นขั้ดหินบางแสดงลักษณะของแร่ที่ถูกแรงบีบอัดในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ เป็นเขตเงาความเค้น (Sornsoongnoen, 2013)



รูปที่ 2.6 แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีโครงสร้างบริเวณเขตราด ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอ่างเก็บน้ำคลองลำกง อำเภอนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ มีการสะสมตัวของตะกอนบริเวณทะเลตื้น ลำดับแรกมีแรงบีบอัดเข้ามากระทำต่อพื้นที่ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และต่อมาเกิดการเปลี่ยนทิศทางของแรงเป็นทิศตะวันออก-ตะวันตก (Subsakul, 2013)

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งระเบียบวิธีวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ศึกษาข้อมูลพื้นฐานและวิธีการศึกษาเบื้องต้น สํารวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจากภาคสนาม โดยมีรายละเอียดระเบียบวิธีวิจัยและแผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย (รูปที่ 3.1) ดังนี้

#### 3.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน และวิธีการศึกษาเบื้องต้น

##### 3.1.1 ศึกษารายงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องบริเวณพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง ในอำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ ลักษณะธรณีวิทยาทั่วไปของหินคาร์บอนเตยุคเพอร์เมียน วิธีการเก็บข้อมูลทางธรณีวิทยา โครงสร้างจากภาคสนาม ลักษณะรอยแตก รูปแบบ กลไกการเปลี่ยนลักษณะแบบเปราะ และสายแร่ที่เกี่ยวข้องกับรอยแตก โดยการสืบค้นจากหนังสือ วารสารงานวิจัย จากอินเทอร์เน็ตและห้องสมุดภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

##### 3.1.2 กำหนดพื้นที่ศึกษา วัตถุประสงค์ และขอบเขตงานวิจัย

พื้นที่ศึกษาในหินคาร์บอนเตยุคเพอร์เมียนที่มีความสัมพันธ์กับแนวชั้นหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ ซึ่งงานวิจัยเก่าที่เกี่ยวข้องพบว่า หินคาร์บอนเตยุคเพอร์เมียนบริเวณจังหวัดเพชรบูรณ์แสดงลักษณะธรณีวิทยา โครงสร้างที่ซับซ้อนและมีความหลากหลาย อีกทั้งยังมีโอกาสเป็นชั้นหินกักเก็บและลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่ของสารไฮโดรคาร์บอนอีกด้วย ดังนั้นพื้นที่ศึกษาจึงเป็นหินไผ่บริเวณสำนักปฏิบัติธรรมสงฆ์ วัดเขาถ้ำไธ อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยในการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษารายละเอียดระบบรอยแตกและการเปลี่ยนลักษณะแบบแตกเปราะที่ปรากฏบนพื้นผิวของพื้นที่ศึกษาในระดับกลางจากการออกภาคสนาม จัดทำภาพวาดลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบ กำหนดตำแหน่งข้อมูลในตาข่ายมิติสเตอร์ไอกร้าฟิคนิดพื้นที่เท่าและแผนภาพภูหลาย รวมถึงวิเคราะห์ความสัมพันธ์ วิวัฒนาการ และกลไกการเกิดของระบบรอยแตกและลักษณะธรณีวิทยาอื่นๆที่เกี่ยวข้องในบริเวณพื้นที่ศึกษานี้

##### 3.1.3 จัดเตรียมอุปกรณ์ออกภาคสนาม

การเก็บข้อมูลภาคสนามจะต้องเตรียมอุปกรณ์สำหรับออกภาคสนาม ได้แก่ เข็มทิศ ค้อนธรณีวิทยา กล้องถ่ายรูป เครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS: global positioning system) โดรน อุปกรณ์เครื่องเขียนเช่น สมุด และดินสอ สายวัดระยะ สเกล แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบูรณ์ มาตราส่วน 1:250,000 พ.ศ.2552 และแผนที่ภูมิศาสตร์ ลำดับชุด L7018 ระวัง 5241 III มาตราส่วน 1:50,000 จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยสามารถเตรียมอุปกรณ์ได้จากห้องสมุด แผนที่และภาพถ่ายทางอากาศ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## 3.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม

การสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบ่งออกได้เป็น 5 ส่วนหลักคือ การเข้าถึงพื้นที่ศึกษา การเก็บข้อมูลลักษณะวิทยาหินและลำดับชั้นหิน การเก็บข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้าง การบันทึกภาพและวาดภาพลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้าง และข้อจำกัดของคุณภาพข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.2.1 การเข้าถึงพื้นที่ศึกษา

หินโผล่ของพื้นที่ศึกษาตั้งอยู่พิกัดที่ 16°07'30"N 101°01'18"E บริเวณสำนักปฏิบัติธรรมสงฆ์ วัดเขาถ้ำไถ อำเภอนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งสามารถเดินทางเข้าถึงพื้นที่ได้โดยถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 21 (สามแยกพุกแค-เลย) ถัดจากสถานีตำรวจภูธรตำบลนาเฉลียง อำเภอนองไผ่ประมาณ 5 กิโลเมตร เลี้ยวขวาไปทางทิศตะวันตกประมาณ 2 กิโลเมตร

### 3.2.2 การเก็บข้อมูลลักษณะวิทยาหินและลำดับชั้นหิน

สำรวจและเก็บข้อมูลบริเวณพื้นที่ศึกษา เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของหิน โครงสร้างทางตะกอนวิทยา และซากดึกดำบรรพ์ ทำการเก็บตัวอย่างหินโผล่เพื่อนำมาศึกษาสีลาวรรณาจำแนกชนิดหินปูน

### 3.2.3 การเก็บข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้าง

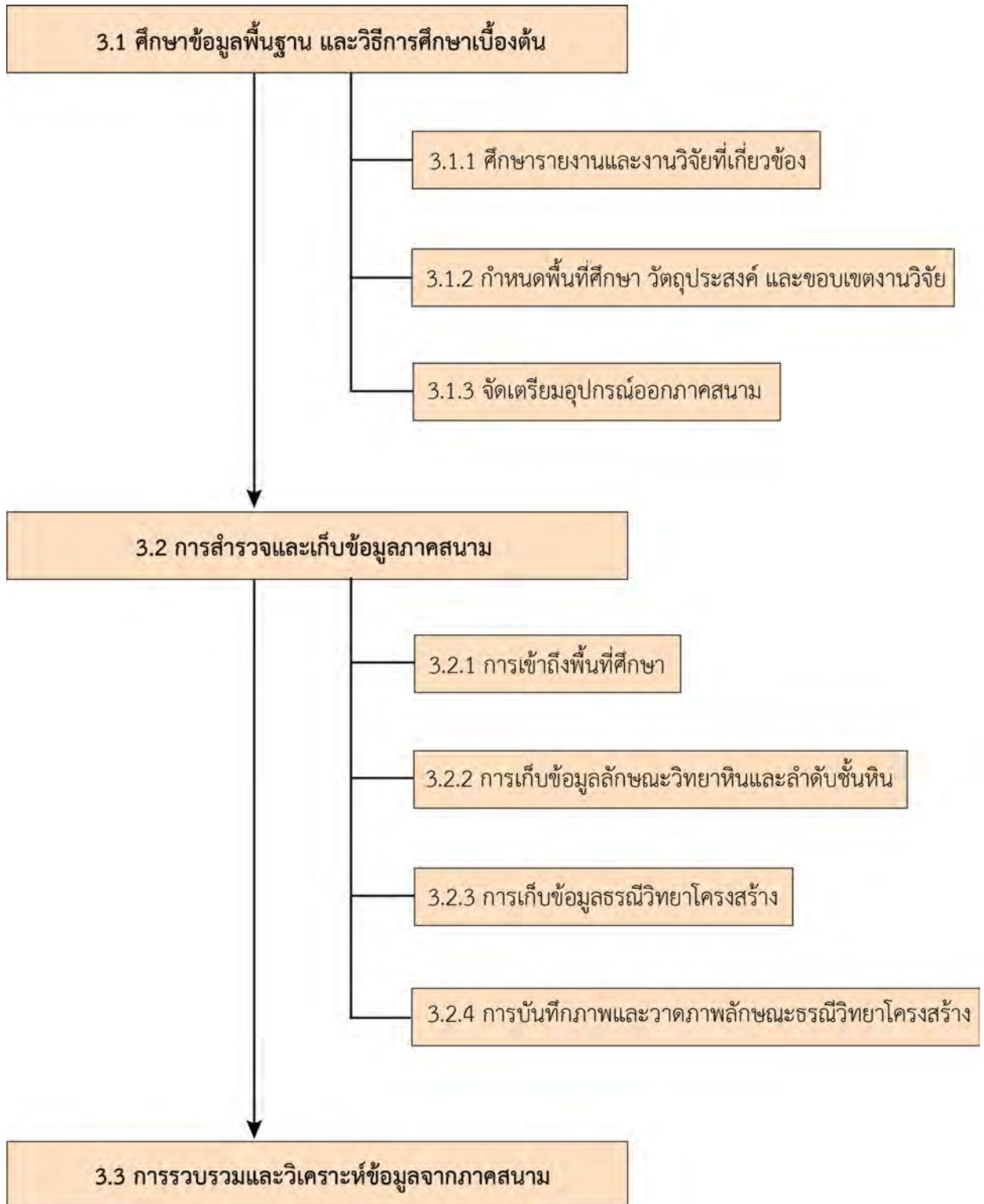
เก็บข้อมูลทางธรณีวิทยาโครงสร้างจากภาคสนามโดยใช้เข็มทิศ วัดค่าการวางตัวของธรณีโครงสร้างซึ่งประกอบด้วยแนวการวางตัว มุมเอียงเท และทิศทางการเอียงเท ซึ่งข้อมูลที่พบในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ แนวการวางตัวของชั้นหิน แนวรอยแตก แนวการแทรกดันตัวของหินภูเขาไฟ และลักษณะธรณีวิทยาอื่นๆที่พบในภาคสนาม โดยมีเก็บข้อมูลการวัดค่าการวางตัวของธรณีวิทยาโครงสร้างเป็นจำนวนมาก เพื่อนำมาเป็นข้อมูลเชิงสถิติและประมวลผลเพื่อให้ได้ค่าการวางตัวของธรณีโครงสร้างที่แม่นยำที่สุด โดยใช้การกำหนดตำแหน่งข้อมูลแนวการวางตัวของชั้นหินและลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างในตาข่ายมิติสเตอร์ไอกร้าฟิคนิดพื้นที่เท่าและแผนภาพทุกหลาบ

### 3.2.4 การบันทึกภาพและวาดภาพลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้าง

บันทึกภาพของหินโผล่และภาพลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่ปรากฏบนพื้นผิวในพื้นที่ศึกษา เช่น แนวรอยแตก การวางตัวของสายแร่แคลไซต์ และแนวการแทรกดันตัวของหินภูเขาไฟ รวมทั้งวาดภาพลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่ปรากฏบนพื้นผิว

## 3.3 การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจากภาคสนาม

รวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากภาคสนามมาทำการวิเคราะห์ต่างๆ เพื่ออธิบายถึงลักษณะของระบบรอยแตก กลไกการเกิด และความสัมพันธ์ของรอยแตกกับลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างอื่นๆในพื้นที่ศึกษา โดยนำภาพถ่ายหินโผล่จากภาคสนามมาทำการวาดลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่ปรากฏบนพื้นผิวของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ การวางตัวของชั้นหิน รอยแตก รอยเลื่อน และการแทรกดันตัวของหิน และนำข้อมูลแนวการวางตัวของชั้นหินที่เก็บจากภาคสนามมากำหนดตำแหน่งข้อมูลในตาข่ายมิติสเตอร์ไอกร้าฟิคนิดพื้นที่เท่า และข้อมูลแนวรอยแตก มากำหนดตำแหน่งข้อมูลการวางตัวในแผนภาพทุกหลาบ ทำให้ทราบจำนวนระบบของรอยแตกที่พบ แนวการวางตัวหลักของรอยแตก และปริมาณของรอยแตกแต่ละระบบ



รูปที่ 3.1 ผังภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานตามระเบียบวิธีวิจัยทั้ง 3 ขั้นตอน

### 3.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

#### 3.4.1 การวิเคราะห์ระบบรอยแตก

การเกิดระบบรอยแตกมักอ้างอิงจากหลักฐานหลายอย่างด้วยกัน ทั้งแนวการวางตัวและการเอียงเทของรอยแตก การกระจายตัว ลักษณะสัญญาณ และความสัมพันธ์ของมุมระหว่างรอยแตกแต่ละระบบ ซึ่งข้อมูลการเกิดของรอยแตกสามารถบอกถึงแรงที่เข้ามากระทำกับพื้นที่ในอดีตได้ (Hafner, 1951; Odé, 1957; and Lorenz et al., 1993) ซึ่งการจำแนกรอยแตกที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ อย่างหนึ่งที่ใช้บ่งบอกก็คือวิธีการเกิดของรอยแตกนั้น นอกเหนือจากนั้นความเข้าใจในการเกิดระบบรอยแตกสามารถใช้ทำนายทิศทางการวางตัวของมัน ทำให้เป็นการเพิ่มคุณภาพของชั้นหินกักเก็บที่มีรอยแตกเข้ามาเกี่ยวข้องได้ (McCaleb and Willingham, 1967; and Stearns and Friedman, 1972)

การจำแนกรอยแตกได้มีผู้ทำการศึกษาและจำแนกไว้หลายแบบด้วยกัน การเลือกอธิบายโดยแบบใดขึ้นกับข้อมูลที่ต้องการนำไปใช้ประโยชน์ โดยในที่นี้ได้ยกตัวอย่างการจำแนกที่เหมาะสมกับงานวิจัย ดังนี้

##### 3.4.1.1 การจำแนกรอยแตกจากการทดลอง (experimental fracture classification)

เป็นการจำแนกรอยแตกในช่วงแรก เกิดขึ้นจากการสำรวจภาคสนามและการทดลองในห้องปฏิบัติการของ Stearns และ Friedman (1972) พวกเขาได้ทำการแบ่งรอยแตกตามลักษณะที่ปรากฏและการเกิดของรอยแตกแบ่งรอยแตกออกเป็น 3 ชนิด ตามลักษณะการเกิดของรอยแตกที่เกี่ยวข้องกับแรงที่เข้ามากระทำที่ทำให้เกิดรอยแตกเหล่านั้น (รูปที่ 3.2) โดยแบ่งได้ดังนี้

- **Shear fractures**

เป็นรอยแตกที่มีการเลื่อนตัวขาดออกการกันในทิศทางที่ขนานกับระนาบรอยแตก มีแนวการวางตัวของระนาบรอยแตกอยู่ในทิศทางที่เป็นมุมแหลมกับแรงที่เข้ามากระทำมากที่สุด ( $\sigma_1$ ) และเป็นมุมป้านกับแรงที่น้อยที่สุด ( $\sigma_3$ ) มักเกิดการเลื่อนตัวในระยะทางไม่มากตั้งแต่ระดับมิลลิเมตรแต่ไม่ถึงเมตร ถ้ามีการเลื่อนตัวมากกว่านี้จะเรียกว่ารอยเลื่อน (fault)

- **Extension fractures**

เป็นรอยแตกที่มีการเลื่อนตัวในทิศทางตั้งฉากกับระนาบรอยแตก เกิดเมื่อแรงที่เข้ามากระทำมากที่สุดและแรงที่ขนาดรองลงมา ( $\sigma_1$  และ  $\sigma_2$ ) อยู่ในทิศทางที่ขนานกัน และตั้งฉากกับแรงที่น้อยที่สุด ( $\sigma_3$ ) (รูปที่ 2.10) โดยที่แรงทั้งหมดที่เข้ามากระทำอยู่ในระบบบีบอัด ตัวอย่างของรอยแตกชนิดนี้ คือ แนวแตก (joint) ซึ่งมีระยะการเลื่อนตัวไม่มากในระดับที่เล็กมากจนในบางครั้งยากที่จะสังเกตเห็น

- **Tensile fracture**

เกิดในลักษณะคล้ายคลึงกับ extension fractures แต่แตกต่างกับตรงแรงที่เข้ามากระทำน้อยที่สุดนั้นอยู่ฝั่งตรงข้ามกับของ extension fractures คือไม่ได้อยู่ในระบบบีบอัดแต่เป็นการดึงออก (tension) ทำให้อาจเกิดช่องว่างที่กว้างกว่าได้

### 3.4.1.2 การจำแนกตามโหมดของรอยแตก (classification of fracture modes)

เป็นการจำแนกโดยอาศัยกระบวนการของแรงที่เข้ามากระทำ เพื่อช่วยอธิบายการพัฒนาของแนวรอยแตกที่เกิดขึ้น (รูปที่ 3.3) โดยแบ่งการแตกได้ดังนี้

- **Mode I – opening (extension)**

เป็นรอยแตกที่มีการเลื่อนตัวออกการันในทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบรอยแตกในลักษณะของการเปิดออก (รูปที่ 3.3a) ซึ่งสามารถเกิดร่วมกับโหมดอื่นๆ เช่น โหมด 2 หรือโหมด 3 เกิดเป็น Hybrid cracks ได้

- **Mode II – sliding**

เป็นรอยแตกที่มีการเลื่อนตัวขาดออกการันในทิศทางที่ตั้งฉากกับขอบของระนาบรอยแตก (รูปที่ 3.3b)

- **Mode III – tearing**

เป็นรอยแตกที่มีการเลื่อนตัวขาดออกการันในทิศทางที่ขนานกับขอบของระนาบรอยแตก (รูปที่ 3.3c) พบในรอยแตกที่มีการเลื่อนตัวเหมือนกันกับโหมด 2 แต่อาจจะพบคนละบริเวณกัน ทำให้ยากที่จะแบ่งแยกออกจากกัน

- **Mode IV – closing**

เป็นรอยแตกในลักษณะที่เรียกว่า stylolite เกิดในลักษณะที่ปิดเข้าหากัน (รูปที่ 3.3d)

### 3.4.1.3 การจำแนกตามแนวการวางตัว (fractures array classification)

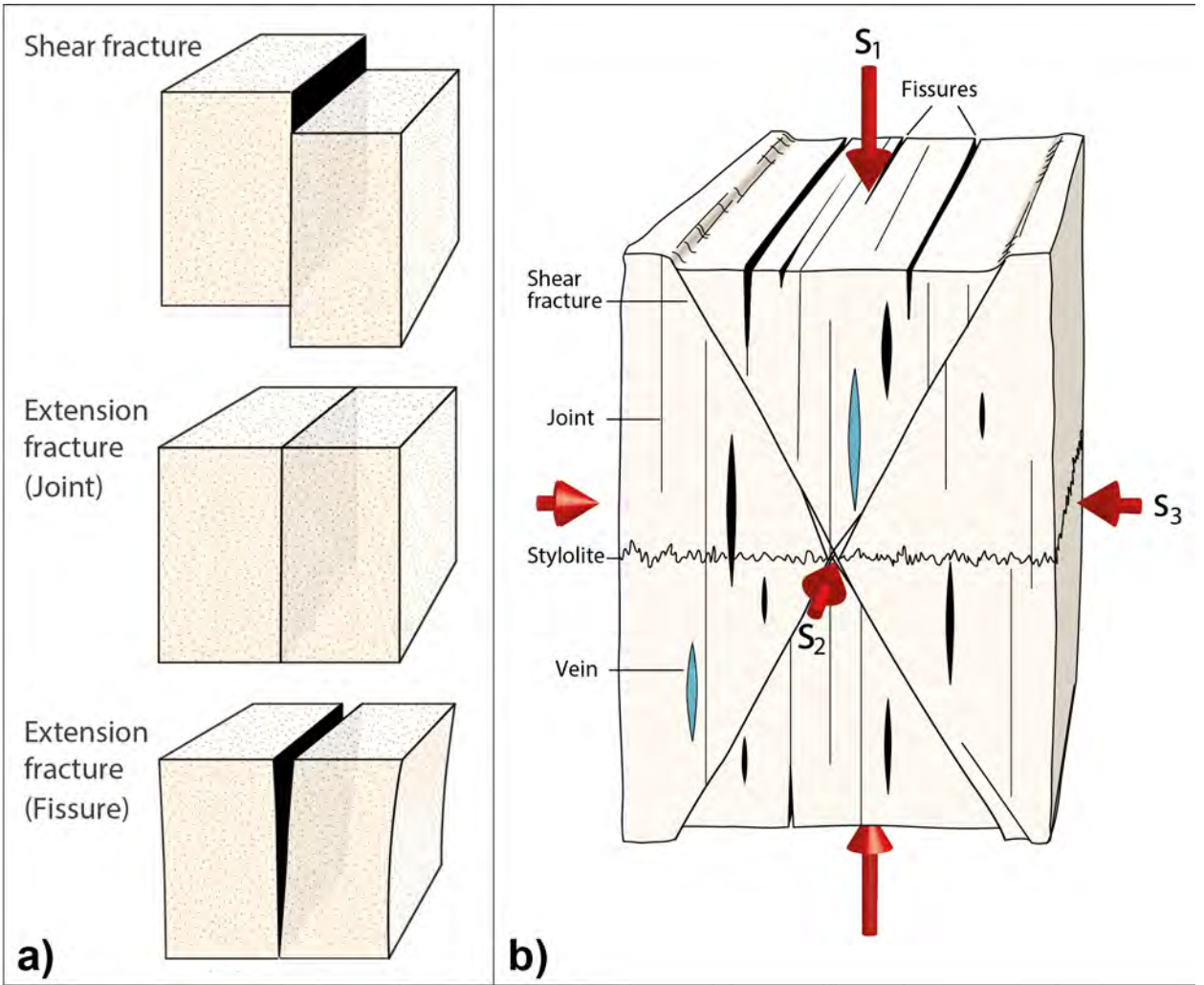
เป็นการจำแนกจากแนวการวางตัวของรอยแตก ที่ได้มาจากการวิเคราะห์โดยใช้ภาพถ่ายมิติสเตอริโอกราฟิก และแผนภาพกุกุลาบหรือจากการสังเกตหินโพลีในภาคสนาม แบ่งออกเป็น 2 แบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- **Systematic fractures**

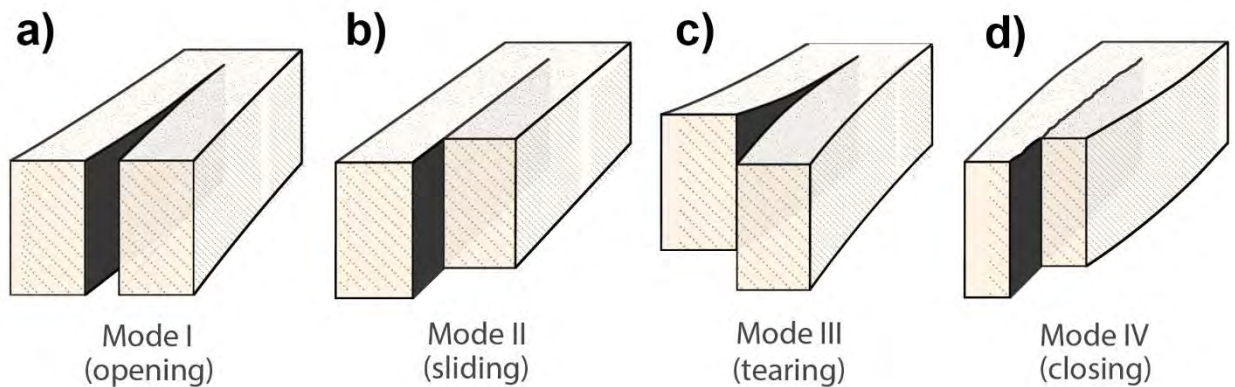
เป็นรอยแตกที่มีระนาบเกือบขนานไปจนถึงขนานกับรอยแตกอื่น มีระยะห่างของรอยแตกที่ค่อนข้างคงที่เมื่อสังเกตในระดับกว้าง และอาจมีการตัดผ่านหลายชั้นหรือเกิดขึ้นเพียงภายในชั้นหินเดียว

- **Nonsystematic fractures**

เป็นรอยแตกที่มีการกระจายตัวในทิศทางที่ไม่แน่นอน เกิดไม่ขนานกับรอยแตกข้างเคียงและอาจมีลักษณะของระนาบรอยแตกที่ไม่เป็นระนาบ นอกจากนี้รอยแตกที่ไม่เป็นระบบอาจเกิดและไปสิ้นสุดที่รอยแตกอื่นได้



รูปที่ 3.2 (a) การจำแนกระบบรอยแตกตามลักษณะที่ปรากฏและการเกิดของรอยแตก (b) ลักษณะการเรียงตัวของรอยแตกแต่ละชนิดที่เกิดจากแรงที่เข้ามากระทำต่อพื้นที่ต่างกัน



รูปที่ 3.3 โหมดของรอยแตกทั้ง 4 แบบ ได้แก่ โหมด 1 โหมด 2 โหมด 3 และโหมด 4 ตามลำดับ

### 3.4.3 ชั้นหินคดโค้ง (fold)

โครงสร้างที่ปรากฏของชั้นหิน แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของชั้นหินคดโค้ง ในรูปของการโก่งงอหรือบิดพับของรูปร่างของชั้นหินคดโค้งได้หลายรูปแบบจากแรงบีบอัด แรงดึง และแรงเฉือน โดยรูปร่างของชั้นหินคดโค้งถูกกำหนดโดยทิศทางและปริมาณของแรงที่เข้ามามีผลกระทบต่อพื้นที่ โดยในที่นี้ได้ยกตัวอย่างนิยามเฉพาะของชั้นหินคดโค้งที่เหมาะสมกับงานวิจัย (รูปที่ 3.4) ดังนี้

- จุดยอดชั้นหินคดโค้ง (hinge point) คือ จุดที่มีการโค้งมากที่สุด
- สันหรือยอดของชั้นหินคดโค้ง (fold crest) คือ บริเวณที่สูงสุดของภูมิภาคของสันชั้นหินคดโค้ง
- ท้องของชั้นหินคดโค้ง (fold trough) คือ บริเวณที่ต่ำสุดของภูมิภาคของท้องชั้นหินคดโค้ง
- พับการคดโค้ง (hinge line) คือ เส้นที่ลากจากจุดยอดชั้นหินคดโค้ง (hinge point) ระหว่างผิวการคดโค้ง (fold surface) โดยเส้นพับการคดโค้งมีได้ทั้งเส้นตรง เส้นโค้ง หรือบิดเบี้ยว
- แขนชั้นหินคดโค้ง (fold limb) คือ บริเวณที่อยู่ระหว่างสันและท้องของชั้นหินคดโค้ง
- ระนาบแกนการคดโค้ง (axial plane) คือ ระนาบสมมติที่แบ่งแขนของการคดโค้งออกเท่าๆกัน การวางตัวของระนาบแกนการคดโค้งจะวัดแนวระดับ (strike) และมุมเท (dip) ของผิวแกนการคดโค้ง
- จุดเปลี่ยนโค้ง (inflection point) คือ บริเวณที่มีการเปลี่ยนแนวการคดโค้งของชั้นหินคดโค้ง เช่น เปลี่ยนจากโค้งขึ้นเป็นโค้งลง
- ความยาวการคดโค้ง (Wavelength) คือ ระยะทางจากสันการคดโค้งถึงสันการคดโค้งอีกลูกคลื่น
- ความสูงของชั้นหินคดโค้ง (Amplitude) คือ ครึ่งของระยะที่วัดจากสัน (crest) และท้อง (trough)
- พลันจ์ (plunge) คือ มุมเทของแนวการคดโค้ง

การเกิดของชั้นหินคดโค้งทำให้เกิดโครงสร้างร่วม ตัวอย่างเช่น ภายในชั้นหินอาจมีชั้นหินคดโค้งขนาดเล็ก (minor folds) มีโครงสร้างรอยเลื่อน รอยแตก รอยแตกเฉือน รอยไกล โครงสร้างแนวเส้น และสายแร่ เป็นต้น โดยในที่นี้ได้ยกตัวอย่างลักษณะโครงสร้างร่วมที่พบในงานวิจัย ดังนี้

#### 3.4.3.1 ชั้นหินคดโค้งปลายรอยเลื่อน (fault propagation folds)

ชั้นหินคดโค้งปรากฏอยู่เหนือระนาบรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ เกิดจากการเลื่อนไปตามแนวราบทางเดียวกันของชั้นหิน จากนั้นไต่ระดับสูงขึ้นของระนาบการเลื่อน ทำให้ชั้นหินบิดและเกิดการคดโค้ง (รูปที่ 3.5)

#### 3.4.3.2 รอยแตกที่มีความสัมพันธ์กับชั้นหินคดโค้ง (fold related fracture)

ลักษณะแนวรอยแตก 3 แนวที่มีความสัมพันธ์กับการคดโค้งของชั้นหิน (รูปที่ 3.6) ได้แก่

1. รอยแตกที่มีแนวการวางตัวขนานกับระนาบแกนการคดโค้ง (longitudinal joint)

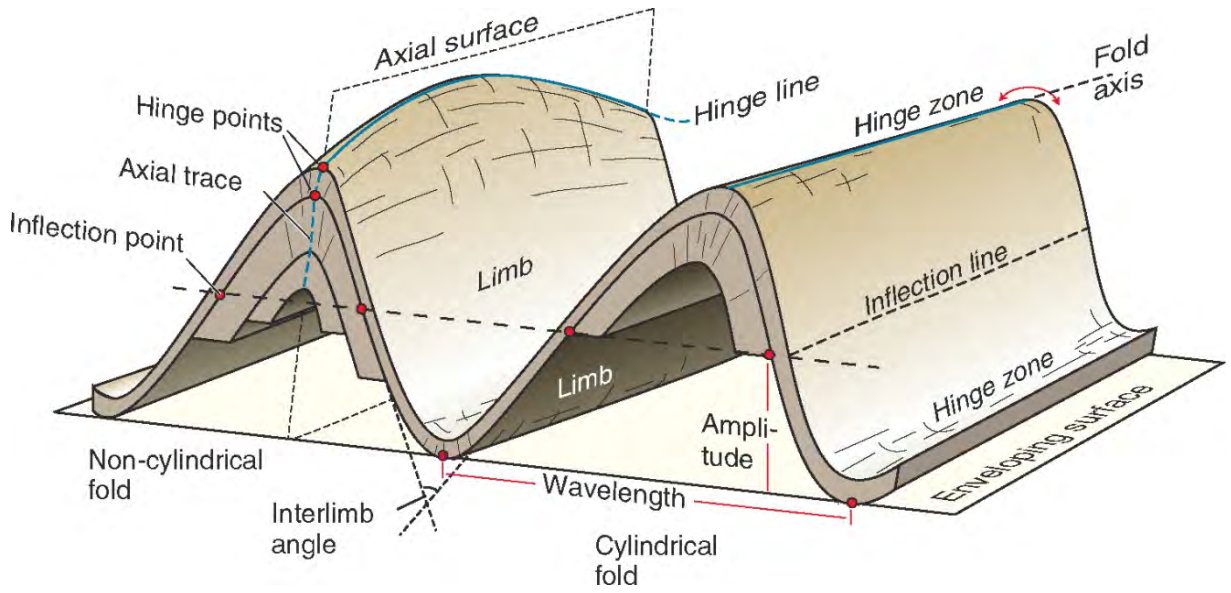
ส่วนใหญ่พบรอยแตกนี้กระจายตัวมากในบริเวณเส้นพับการคดโค้ง โดยรอยแตกนี้เป็นโหมต 1 แบบเปิด

2. รอยแตกที่มีแนวการวางตัวตั้งฉากกับระนาบแกนการคดโค้ง (cross joint)

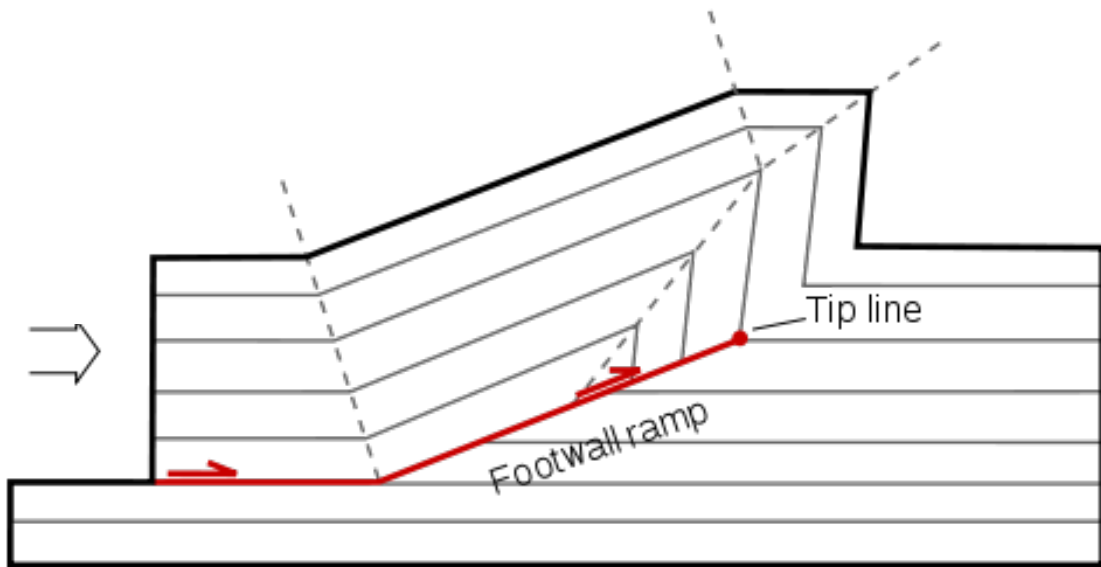
ปกติรอยแตกนี้จะวางตัวขนานกับแรงบีบอัดที่เข้ามามีกระทำในพื้นที่ โดยรอยแตกนี้เป็นโหมต 1 แบบเปิด

3. รอยแตกที่มีแนวการวางตัวทำมุมกับระนาบแกนการคดโค้ง (diagonal joint)

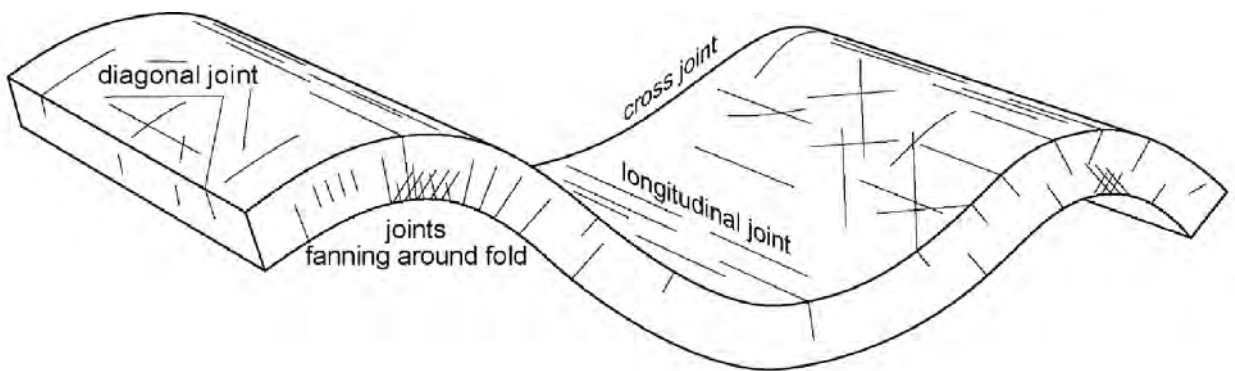
ส่วนใหญ่รอยแตกในแนวนี้จะเกิดเป็นคู่แสดงลักษณะของรอยแตกร่วม (conjugate fracture) โดยรอยแตกนี้เป็นโหมต 2 แบบเฉือน



รูปที่ 3.4 รูปร่างลักษณะและนิยามเฉพาะของชั้นหินคดโค้ง



รูปที่ 3.6 แบบจำลองชั้นหินคดโค้งปลายรอยเลื่อนแสดงการเลื่อนไปตามแนวราบของชั้นหินและมีไต่ระดับสูงขึ้นของระนาบรอยเลื่อน



รูปที่ 3.8 แบบจำลองแสดงแนวรอยแตก 3 แนวที่มีความสัมพันธ์กับการคดโค้งของชั้นหิน

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

บทนี้นำเสนอผลการศึกษาค้นคว้าที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม บริเวณสำนักปฏิบัติธรรมสงฆ์วัดเขาถ้ำโถ อำเภอนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ เขาถ้ำโถมีความยาว 600 เมตร กว้าง 300 เมตรและสูง 285 เมตร มีทิศทางการวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือค่อนไปทางทิศเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไปทางทิศใต้ (รูปที่ 4.1) บริเวณที่ได้ทำการเก็บข้อมูลมีลักษณะเป็นเหมือนหินเก่าที่มีหน้าผากกว้าง 150 เมตรซึ่งเป็นเพียงส่วนหนึ่งของเขาถ้ำโถ (รูปที่ 4.2a) โดยบริเวณที่เป็นเหมือนเก่านี้มีการแสดงลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่ชัดเจนมากกว่าบริเวณอื่นที่มีการแสดงลักษณะภูมิลักษณะแบบคาสต์ (kast landform) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลวิทยานิพนธ์และธรณีวิทยาโครงสร้างที่มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 วิทยานิพนธ์

พื้นที่ศึกษาประกอบไปด้วย หินปูน หินดินดานและพนักหินแอนดีไซต์ โดยพบเป็นหินปูนแทรกสลับเป็นชั้นกับหินดินดาน หินปูนมีสีสดเป็นสีเทาถึงเทาเข้ม สีฝุ่นเป็นสีเทาน้ำตาล มีลักษณะหินปูนเป็นชั้นหนาถึงบางขนาดประมาณ 10 เซนติเมตรถึง 60 เซนติเมตรแทรกสลับอยู่กับหินดินดานที่มีสารเชื่อมประสานเป็นแคลไซต์ มีสีสดเป็นสีเทาดำ สีฝุ่นเป็นสีเทาน้ำตาลที่เป็นชั้นหนาประมาณ 5 เซนติเมตรถึง 20 เซนติเมตร พบโครงสร้างที่เป็นลักษณะของรูปพิมพ์กดทับบริเวณหินดินดาน (load cast) มีทิศทางการวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ พบสายแร่แคลไซต์ขนาดประมาณ 5 มิลลิเมตรถึง 5 เซนติเมตรแทรกตัดเข้ามาในหินปูนและหินดินดาน พบการคดโค้งของชั้นหินและบางบริเวณมีการผุกร่อนของหินดินดาน โดยในหินปูนพบซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลินิดและปะการังซึ่งบ่งบอกอายุเพอร์เมียนตอนล่าง สภาพแวดล้อมการตกตะกอนตัวเป็นแบบทะเลน้ำตื้น บริเวณไหล่ทวีป ซึ่งบริเวณพื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในลานเขาขวาง (Wielchosky & Yong, 1985) จัดให้พื้นที่ศึกษาอยู่ในหมวดหินตากฟ้า ซึ่งสามารถเทียบเคียงได้กับหมวดหินเขาขวาง กลุ่มหินสระบุรี (Hingthong, 1981)

พนักหินแอนดีไซต์ที่พบ มีสีสดเป็นสีเขียวเข้ม สีฝุ่นเป็นสีน้ำตาลอมเขียว โดยมีความกว้างของพนักหินตั้งแต่ 1 เมตรจนถึง 4 เมตร เป็นลักษณะของพนักแอนดีไซต์ที่แทรกตัดเข้ามาภายหลังที่เกิดการคดโค้งของชั้นหินปูนและหินดินดานแล้ว โดยมีทิศทางการวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ บางบริเวณพบรอยแตกและสายแร่แคลไซต์ตัดแทรกเข้ามา

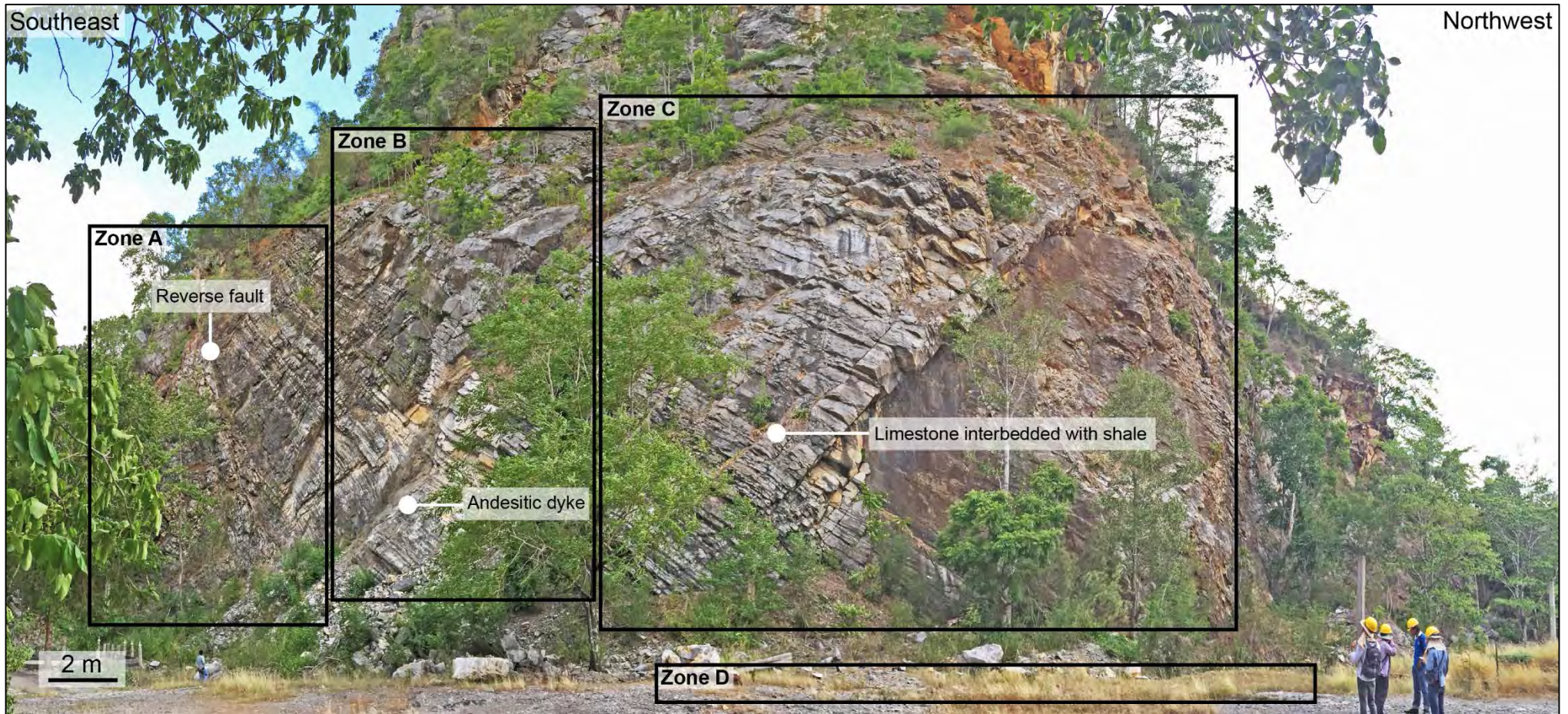
#### 4.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

การสำรวจภาคสนามแบ่งพื้นที่ศึกษาบริเวณหน้าผาเหมือนหินเก่าเป็น 4 บริเวณตามลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบ (รูปที่ 4.2b) ได้แก่ บริเวณ A (zone A) บริเวณ B (zone B) บริเวณ C (zone C) และบริเวณ D (zone D)

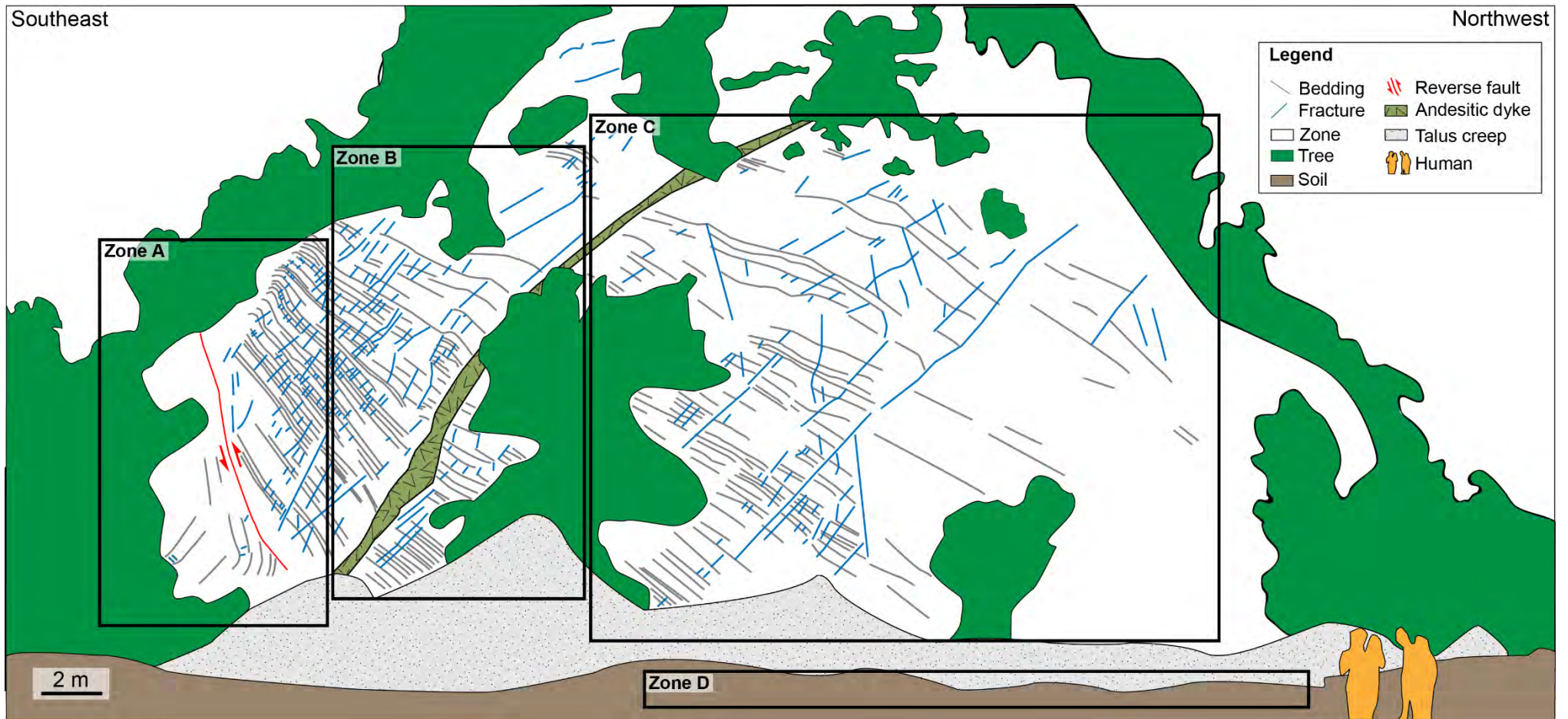




รูปที่ 4.1 รูปถ่ายทางอากาศบริเวณสำนักปฏิบัติธรรมสงฆ์วัดเขาถ้ำโก อำเภอนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ แสดงตำแหน่งพื้นที่ศึกษาและตำแหน่งรูปที่ 4.2 มองไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



รูปที่ 4.2 (a) รูปหน้าผาเหมือนหินเก่าบริเวณด้านเหนือของเขาลำไย มีความยาวประมาณ 150 เมตร สูงประมาณ 200 เมตร แสดงลักษณะของหินปูนแทรกสลับชั้นกับหินดินดาน พงหินแอนดีไซต์ และรอยเลื่อนย้อน ตำแหน่งของหน้าผาแสดงอยู่ในรูปที่ 4.1 กรอบสี่เหลี่ยมแสดงบริเวณพื้นที่ศึกษาย่อย 4 บริเวณ ได้แก่ บริเวณ A บริเวณ B บริเวณ C และบริเวณ D มองไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



รูปที่ 4.2 (b) ภาพวาดอย่างง่ายแสดงการวางตัวของชั้นหิน รอยแตก รอยเลื่อนย้อน และผนังหินแอนดีไซต์ที่พบในพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 4.2a) พื้นที่ศึกษาถูกแบ่งออกเป็น 4 บริเวณ ได้แก่ บริเวณ A พบการคดโค้งของชั้นหินที่เกิดจากรอยเลื่อนและพบรอยเลื่อนย้อน บริเวณ B พบผนังหินแอนดีไซต์แทรกตัดชั้นหินปูนและหินดินดาน บริเวณ C และ D พบรอยแตกที่มีความสัมพันธ์กับการคดโค้งของชั้นหินเป็นลักษณะรอยแตกร่วม มองไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้

#### 4.2.1 บริเวณ A

บริเวณ A แบ่งจุดศึกษาย่อยเป็น 2 จุด (รูปที่ 4.3) พบชั้นหินแสดงลักษณะคดโค้ง โดยมีระนาบแกนการคดโค้งวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้และมีมุมเอียงเทในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ( $200^{\circ}/42^{\circ}\text{NW}$ ) และแกนของชั้นหินคดโค้ง 2 แนว (รูปที่ 4.4) วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันตกเฉียงใต้ ( $168^{\circ}/66^{\circ}\text{SW}$ ) และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงใต้ ( $72^{\circ}/56^{\circ}\text{SE}$ ) พบรอยเลื่อนย้อนที่มีระนาบรอยเลื่อนวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ( $205^{\circ}/48^{\circ}\text{NW}$ ) แสดงลักษณะเป็นชั้นหินคดโค้งปลายรอยเลื่อน (รูปที่ 4.5)

รอยแตกที่พบในบริเวณนี้จัดแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ (1) กลุ่มรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ( $262^{\circ}/60^{\circ}\text{NW}$ ) เป็นรอยแตกโหมด 1 แบบเปิด มีสายแร่แคลไซต์แทรกอยู่ในรอยแตกหนา 5 มิลลิเมตรถึง 2 เซนติเมตร โดยมีระยะห่างของแนวรอยแตก 1 เซนติเมตรถึง 5 เซนติเมตร และ (2) กลุ่มรอยแตกทำมุมกับชั้นหิน พบรอยแตก 2 แนวแสดงลักษณะเป็นรอยแตกร่วม วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงใต้ ( $38^{\circ}/50^{\circ}\text{SE}$ ) และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงใต้ ( $286^{\circ}/69^{\circ}\text{NE}$ ) เป็นรอยแตกโหมด 2 แบบเฉือน มีสายแร่แคลไซต์แทรกอยู่ในรอยแตกหนา 5 มิลลิเมตรถึง 1 เซนติเมตร โดยมีระยะห่างของแนวรอยแตก 5 เซนติเมตรถึง 20 เซนติเมตร

#### 4.2.2 บริเวณ B

บริเวณ B แบ่งจุดศึกษาย่อยเป็น 2 จุด (รูปที่ 4.6) พบชั้นหินวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันตกเฉียงใต้ ( $160^{\circ}/64^{\circ}\text{SW}$ ) พบผนังหินแอนดิไซต์ที่มีความกว้าง 2 เมตรถึง 4 เมตร (รูปที่ 4.7) วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ( $268^{\circ}/70^{\circ}\text{NW}$ )

รอยแตกที่พบในบริเวณนี้จัดแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม (รูปที่ 4.8) คือ (1) กลุ่มรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ( $265^{\circ}/68^{\circ}\text{NW}$ ) เป็นรอยแตกโหมด 1 แบบเปิด มีสายแร่แคลไซต์แทรกอยู่ในรอยแตกหนา 1 เซนติเมตรถึง 5 เซนติเมตร โดยมีระยะห่างของแนวรอยแตก 3 เซนติเมตรถึง 10 เซนติเมตร (2) กลุ่มรอยแตกทำมุมกับชั้นหิน พบรอยแตก 2 แนวแสดงลักษณะเป็นรอยแตกร่วม วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงใต้ ( $40^{\circ}/63^{\circ}\text{SE}$ ) และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงใต้ ( $290^{\circ}/60^{\circ}\text{NE}$ ) เป็นรอยแตกโหมด 2 แบบเฉือน มีสายแร่แคลไซต์แทรกอยู่ในรอยแตกหนา 5 มิลลิเมตรถึง 1 เซนติเมตร โดยมีระยะห่างของแนวรอยแตก 5 เซนติเมตรถึง 30 เซนติเมตร และ (3) กลุ่มรอยแตกขนานกับชั้นหิน วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันตกเฉียงใต้ ( $160^{\circ}/63^{\circ}\text{SW}$ ) เป็นรอยแตกโหมด 4 แบบปิด ไม่พบสายแร่แคลไซต์แทรกอยู่ในรอยแตก มีระยะห่างของแนวรอยแตก 10 เซนติเมตรถึง 40 เซนติเมตร

### 4.2.3 บริเวณ C

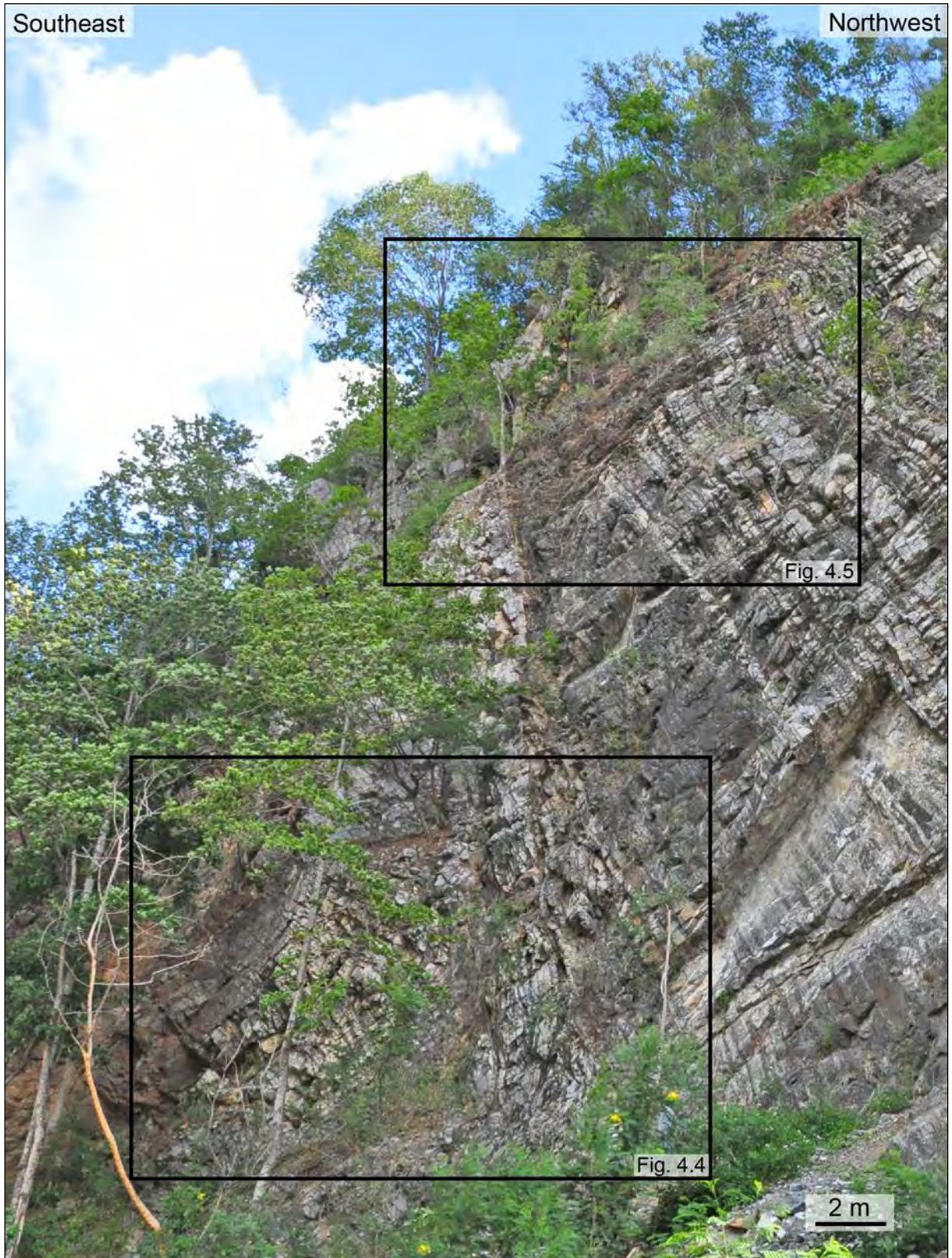
บริเวณ C แบ่งจุดศึกษาย่อยเป็น 5 จุด (รูปที่ 4.9) พบชั้นหินวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันตกเฉียงใต้ ( $152^{\circ}/62^{\circ}\text{SW}$ ) พบรอยเลื่อนปกติที่มีระนาบรอยเลื่อนวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (รูปที่ 4.10)

รอยแตกที่พบในบริเวณนี้จัดแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ (1) กลุ่มรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน พบรอยแตก 2 แนว วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ( $262^{\circ}/68^{\circ}\text{NW}$ ) (รูปที่ 4.11) แนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ( $324^{\circ}/72^{\circ}\text{NE}$ ) เป็นรอยแตกโหมด 1 แบบเปิด (รูปที่ 4.12 และ 4.13) มีสายแร่แคลไซต์แทรกอยู่ในรอยแตกหนา 5 มิลลิเมตรถึง 2 เซนติเมตร โดยมีระยะห่างของแนวรอยแตก 1 เซนติเมตรถึง 5 เซนติเมตร และ (2) กลุ่มรอยแตกทำมุมกับชั้นหิน พบรอยแตก 2 แนวแสดงลักษณะเป็นรอยแตกร่วม (รูปที่ 4.14) วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงใต้ ( $45^{\circ}/51^{\circ}\text{SE}$ ) และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงใต้ ( $289^{\circ}/62^{\circ}\text{NE}$ ) เป็นรอยแตกโหมด 2 แบบเฉือน มีสายแร่แคลไซต์แทรกอยู่ในรอยแตกหนา 5 มิลลิเมตรถึง 1 เซนติเมตร โดยมีระยะห่างของแนวรอยแตก 5 เซนติเมตรถึง 40 เซนติเมตร

### 4.2.4 บริเวณ D

บริเวณ D แบ่งจุดศึกษาย่อยเป็น 3 จุด (รูปที่ 4.15) พบชั้นหินวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันตกเฉียงใต้ ( $150^{\circ}/69^{\circ}\text{SW}$ ) พบรอยเลื่อนทางม้าที่มีระนาบรอยเลื่อนวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (รูปที่ 4.17)

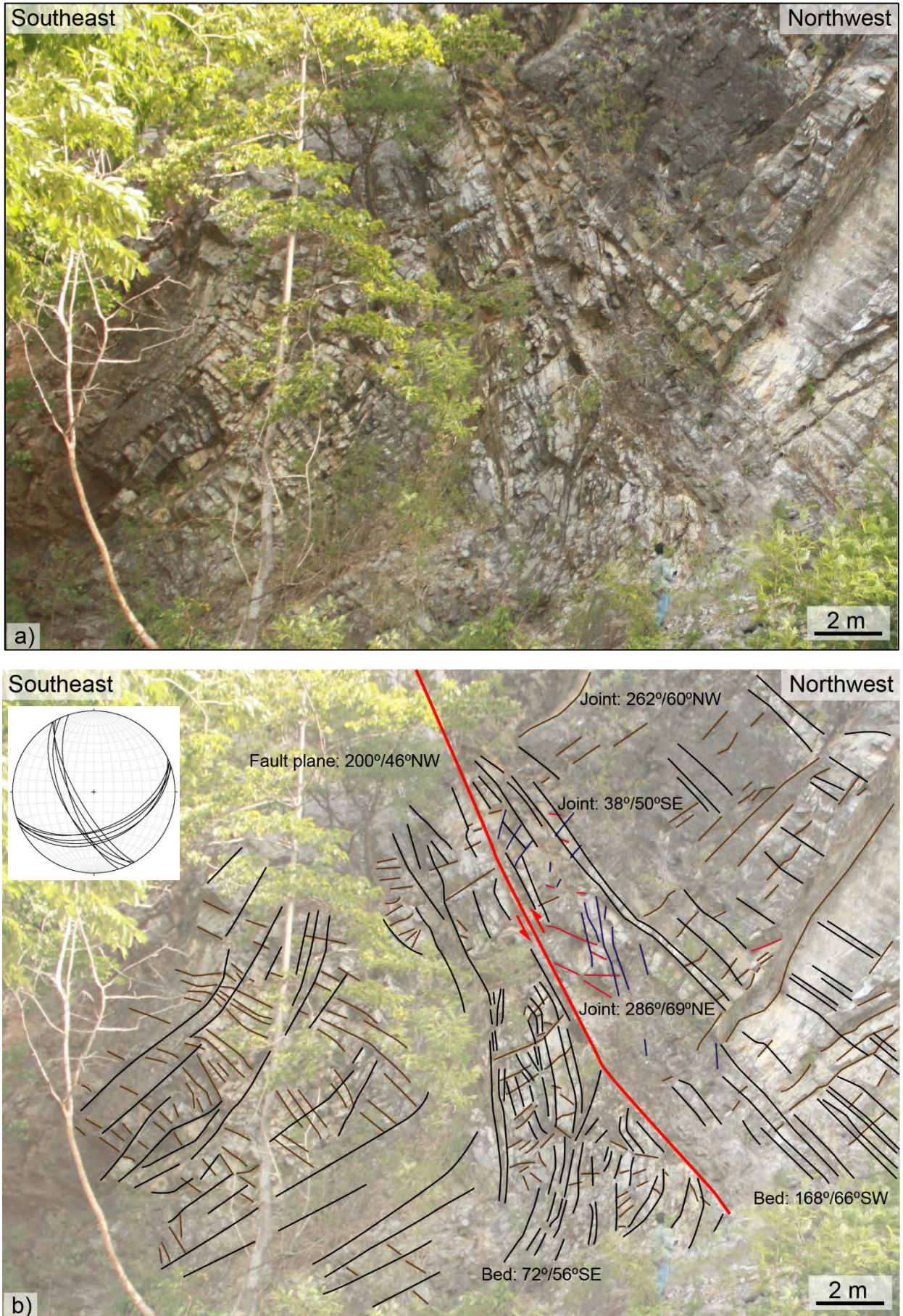
รอยแตกที่พบในบริเวณนี้จัดแบ่งได้เป็น 1 กลุ่ม (รูปที่ 4.18) คือ กลุ่มรอยแตกทำมุมกับชั้นหิน พบรอยแตก 2 แนวแสดงลักษณะเป็นรอยแตกร่วม วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงใต้ ( $33^{\circ}/75^{\circ}\text{SE}$ ) และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงใต้ ( $293^{\circ}/66^{\circ}\text{NE}$ ) เป็นรอยแตกโหมด 2 แบบเฉือน มีสายแร่แคลไซต์แทรกอยู่ในรอยแตกหนา 5 มิลลิเมตรถึง 1 เซนติเมตร โดยมีระยะห่างของแนวรอยแตก 5 เซนติเมตรถึง 50 เซนติเมตร



รูปที่ 4.3 รูปถ่ายบริเวณ A แสดงตำแหน่งจุดศึกษาย่อย 2 จุดในรูปที่ 4.4 และ 4.5 มองไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้

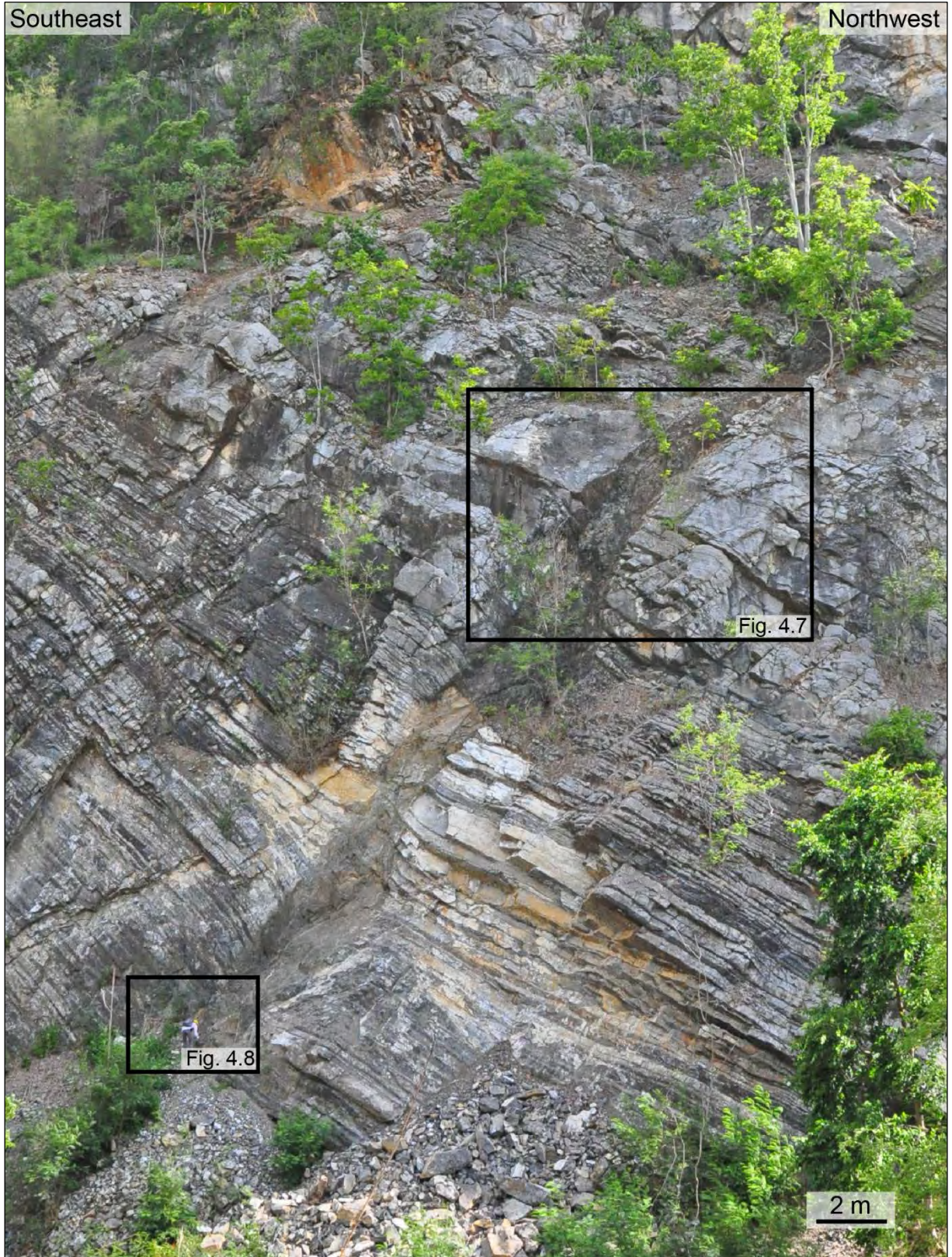


รูปที่ 4.5 (a) รูปบนพบการคดโค้งของชั้นหินและรอยเลื่อน (b) รูปล่างแสดงการกำหนดตำแหน่งข้อมูลในตาข่ายมิติ สเตอร์ีโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า การวางตัวของชั้นหิน (เส้นสีดำ) รอยเลื่อนย้อน (เส้นสีแดง) รอยแตกที่ตั้งฉากกับชั้นหิน (เส้นสีน้ำตาล) รอยแตกที่ทำมุมกับชั้นหิน (เส้นสีชมพูและเส้นสีน้ำเงิน) มองไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้

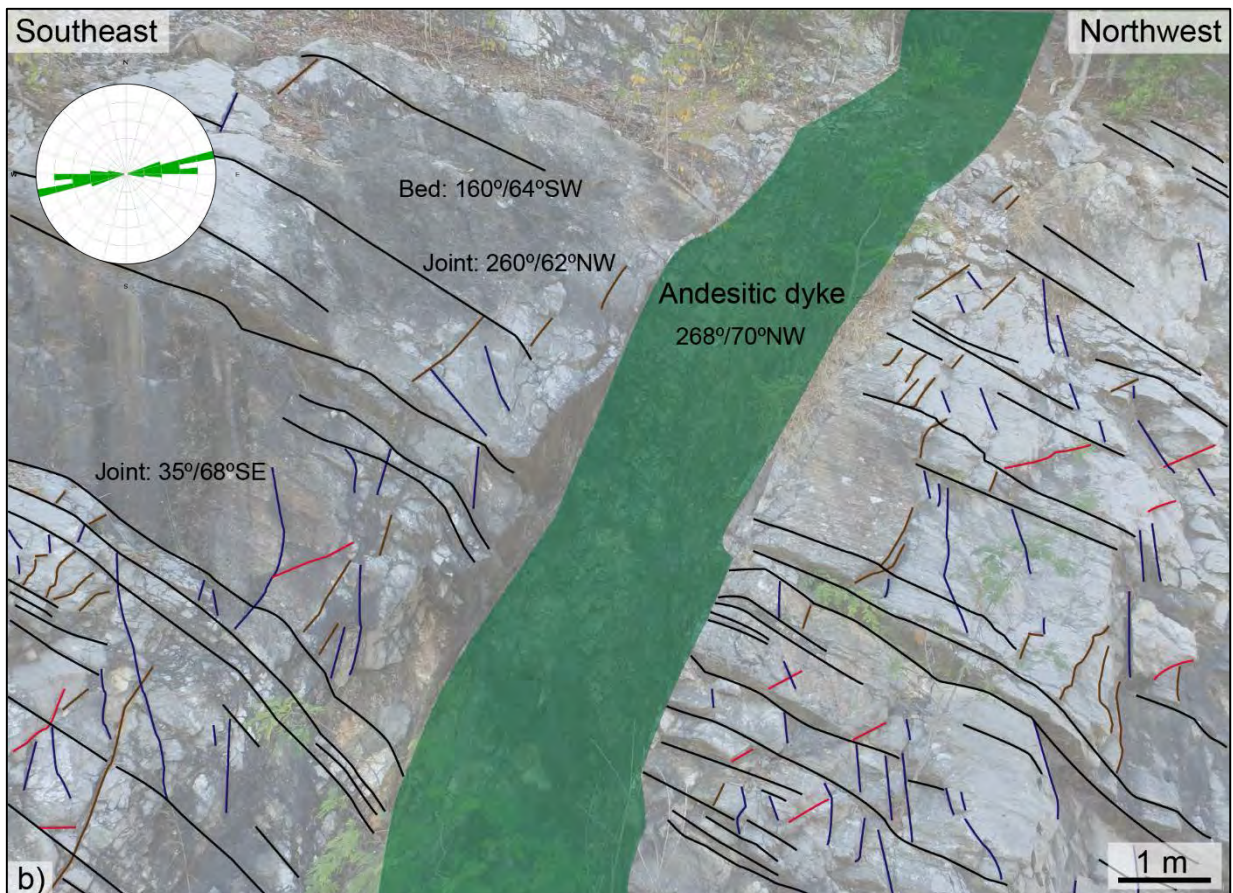


รูปที่ 4.4 (a) รูปบนพบการคดโค้งของชั้นหินและรอยเลื่อน (b) รูปล่างแสดงการกำหนดตำแหน่งข้อมูลในตาข่ายมิติ สเตอร์ีโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า การวางตัวของชั้นหิน (เส้นสีดำ) รอยเลื่อนย้อน (เส้นสีแดง) รอยแตกที่ตั้งฉากกับชั้นหิน (เส้นสีน้ำตาล) รอยแตกที่ทำมุมกับชั้นหิน (เส้นสีชมพูและเส้นสีน้ำเงิน) มองไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้

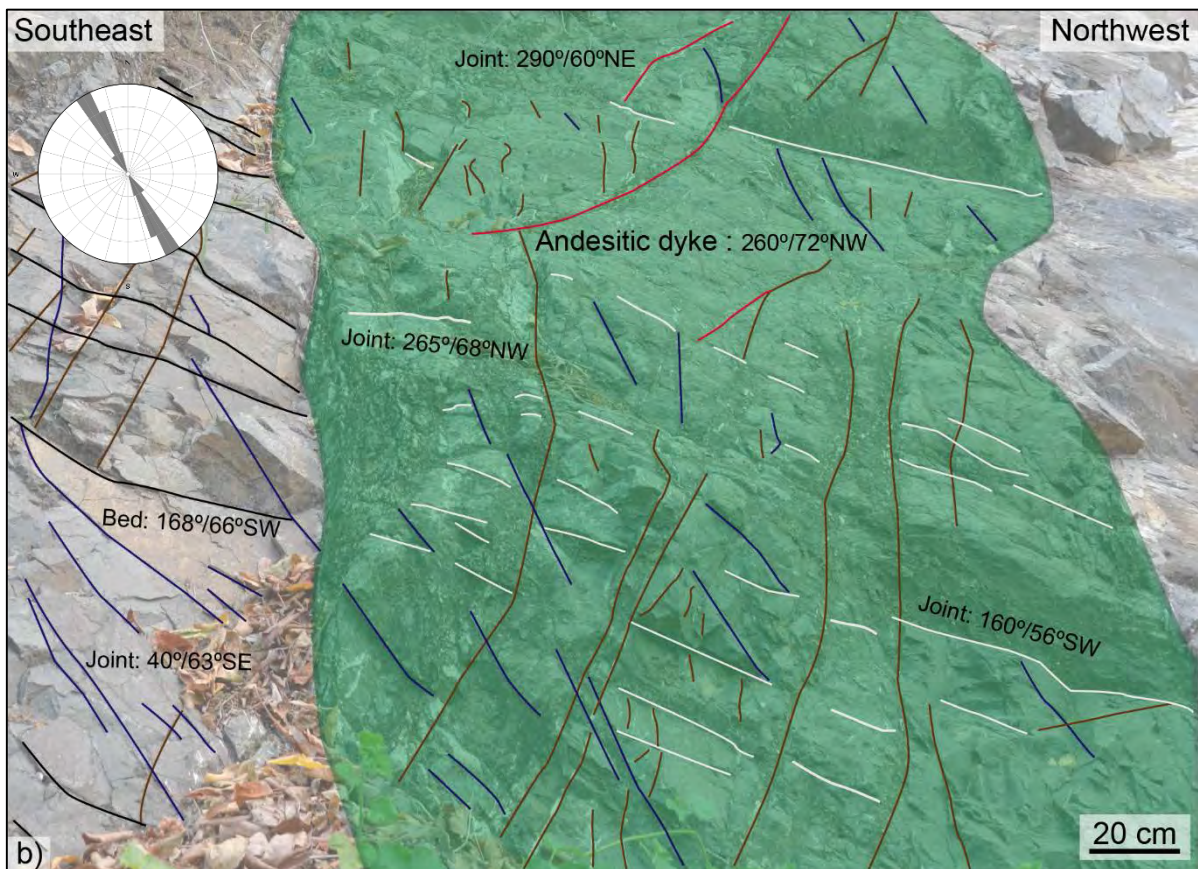




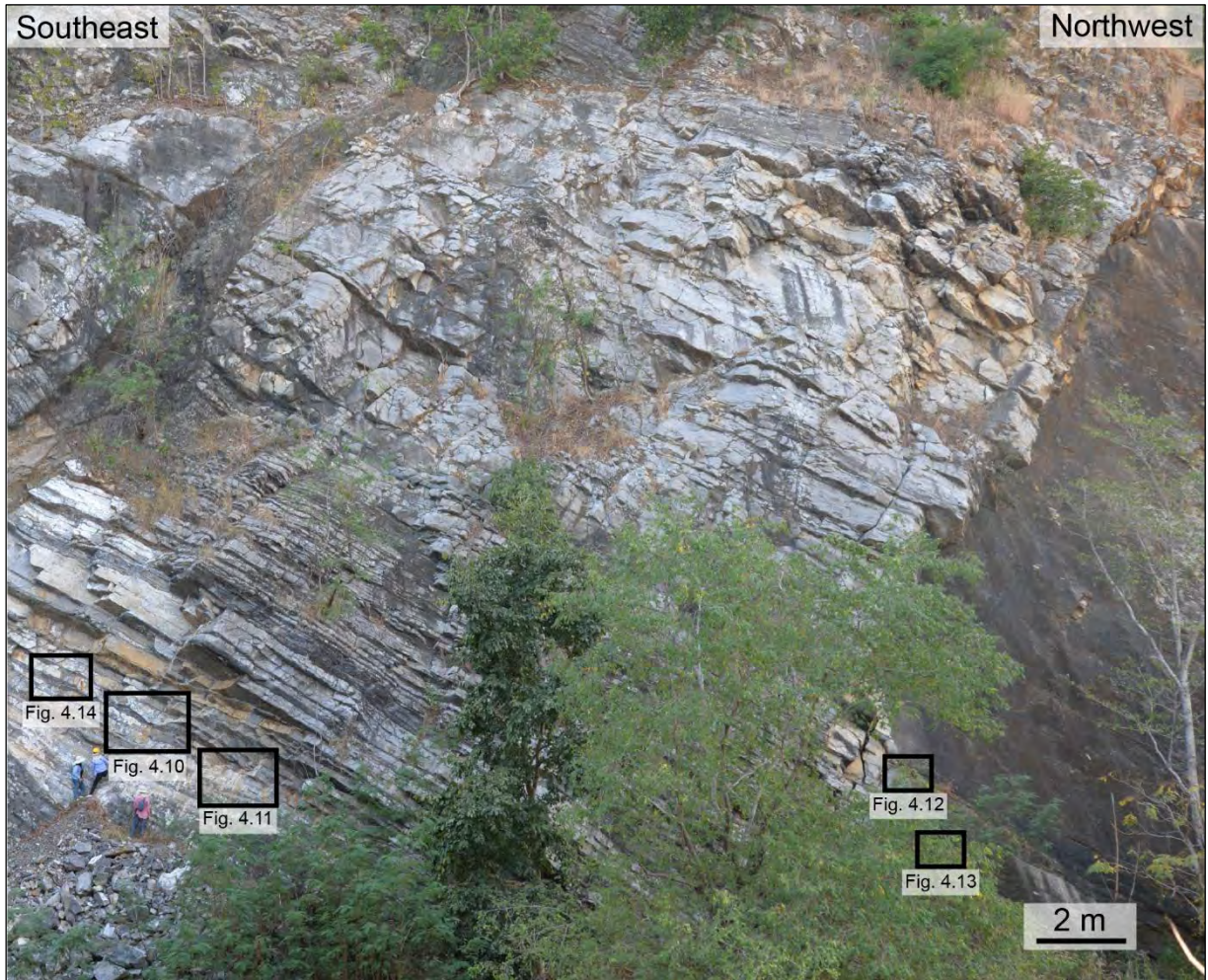
รูปที่ 4.6 รูปถ่ายบริเวณ B แสดงตำแหน่งจุดศึกษาย่อย 2 จุดในรูปที่ 4.7 และ 4.8 มองไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



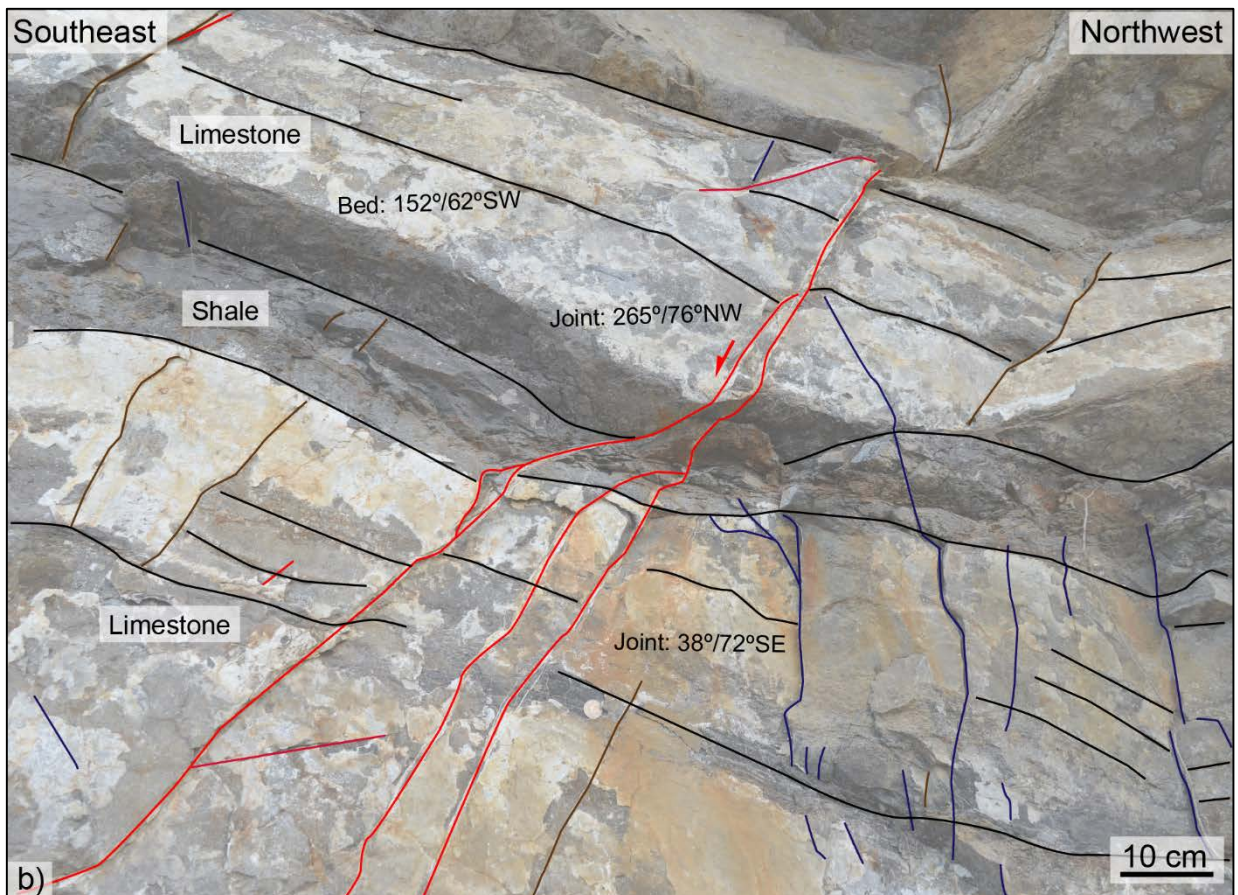
รูปที่ 4.7 (a) รูปบนพบผนังหินแอนดีไซต์แทรกตัดเข้ามาในชั้นหิน (b) รูปล่างแสดงการวางตัวของชั้นหิน (เส้นสีดำ) ผนังหินแอนดีไซต์ (เส้นสีเขียว) รอยแตกที่ตั้งฉากกับชั้นหิน (เส้นสีน้ำตาล) รอยแตกที่ทำมุมกับชั้นหิน (เส้นสีชมพูและเส้นสีน้ำเงิน) และแผนภาพภูทาบแสดงข้อมูลการวางตัวของผนังหินแอนดีไซต์ (มุมขวาบน) มองไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



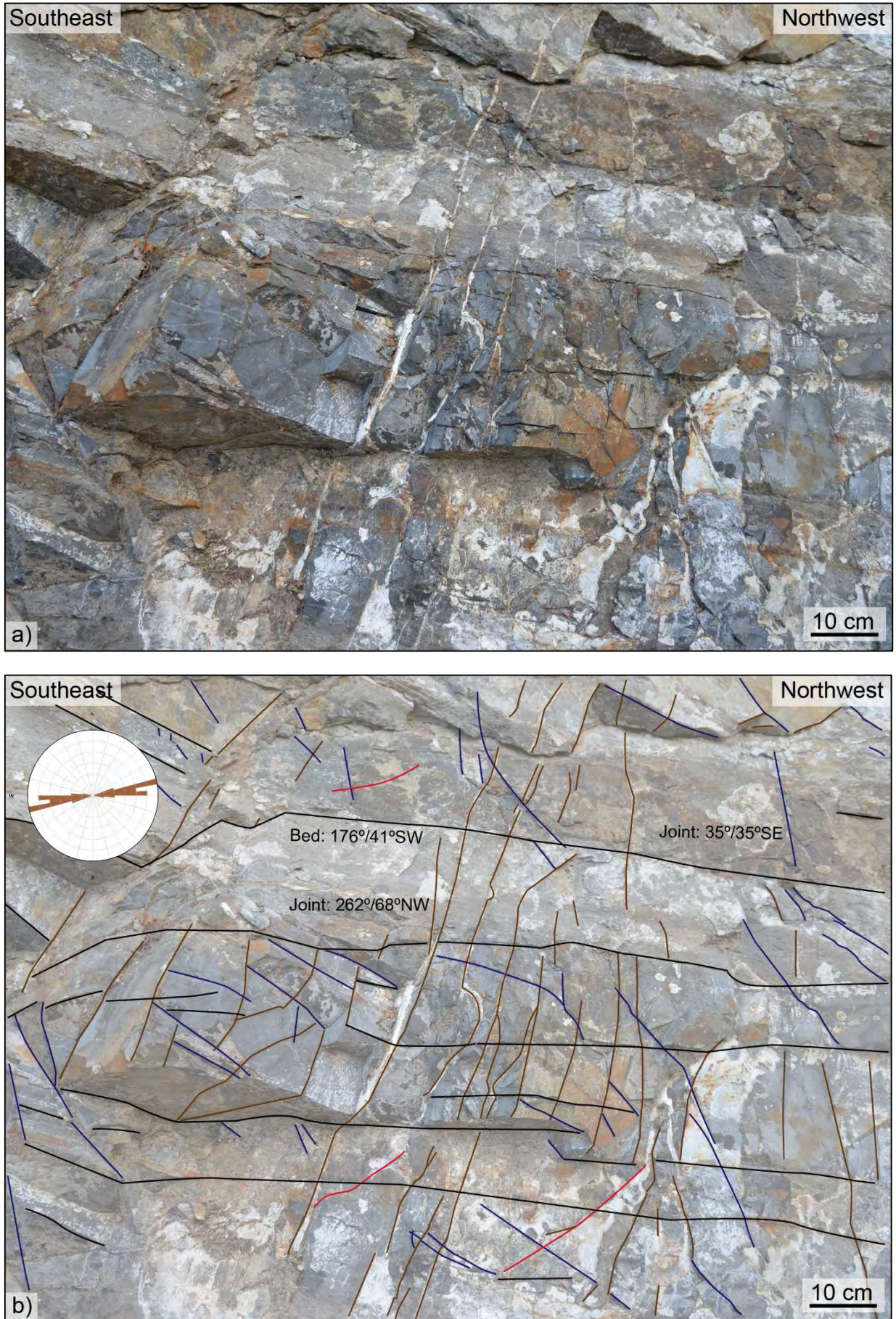
รูปที่ 4.8 (a) รูปบนพบผนังหินแอนดีไซต์ (b) รูปล่างแสดงการวางตัวของชั้นหิน (เส้นสีดำ) ผนังหินแอนดีไซต์ (เส้นสีเขียว) รอยแตกที่ตั้งฉากกับชั้นหิน (เส้นสีน้ำตาล) รอยแตกที่ทำมุมกับชั้นหิน (เส้นสีชมพูและเส้นสีน้ำเงิน) รอยแตกที่ขนานกับชั้นหิน (เส้นสีเทา) และแผนภาพกู่ทลาบแสดงข้อมูลการวางตัวของรอยแตกขนานกับชั้นหิน (มุมขวาบน) มองไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



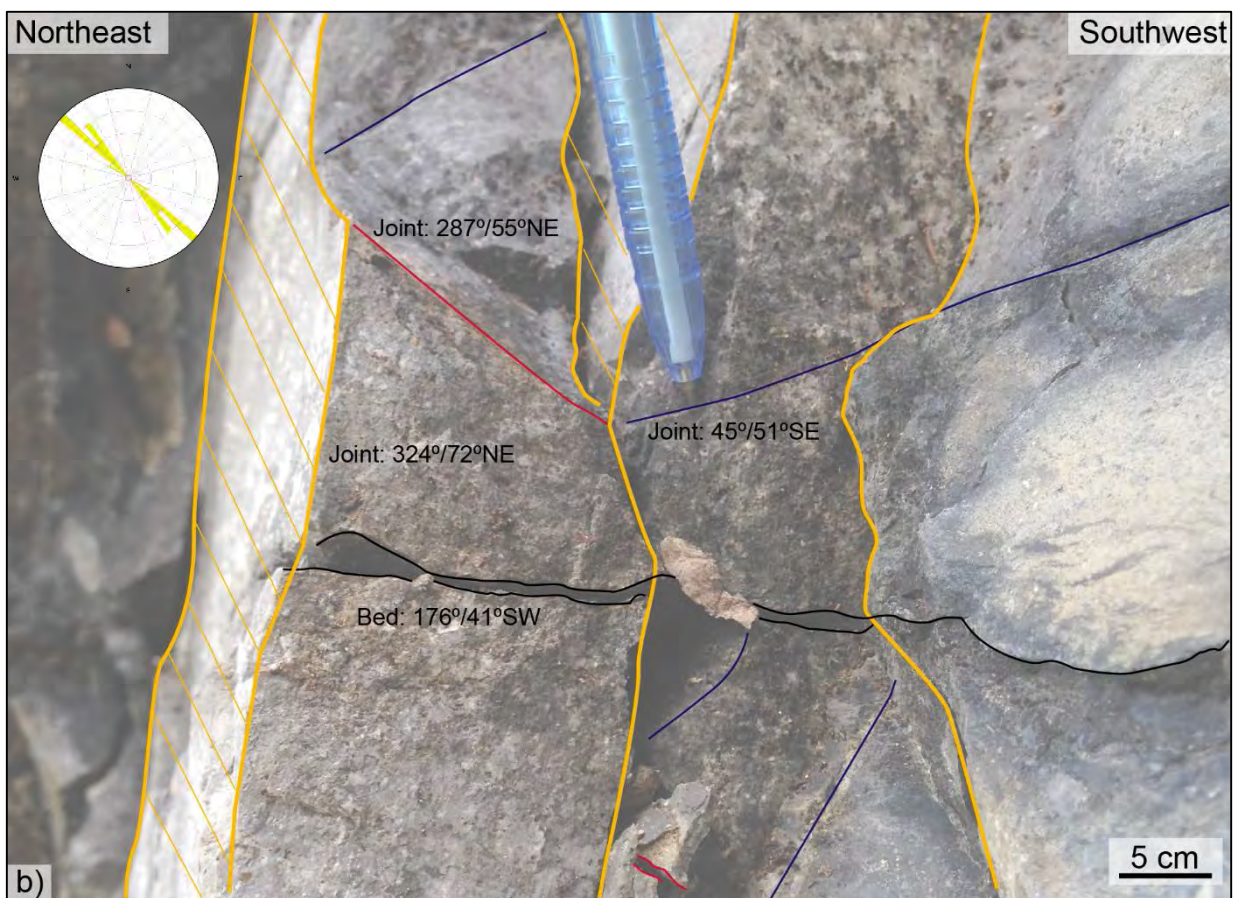
รูปที่ 4.9 รูปถ่ายบริเวณ C แสดงตำแหน่งจุดศึกษาย่อย 5 จุดในรูปที่ 4.10 4.11 4.12 4.13 และ 4.14 มองไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



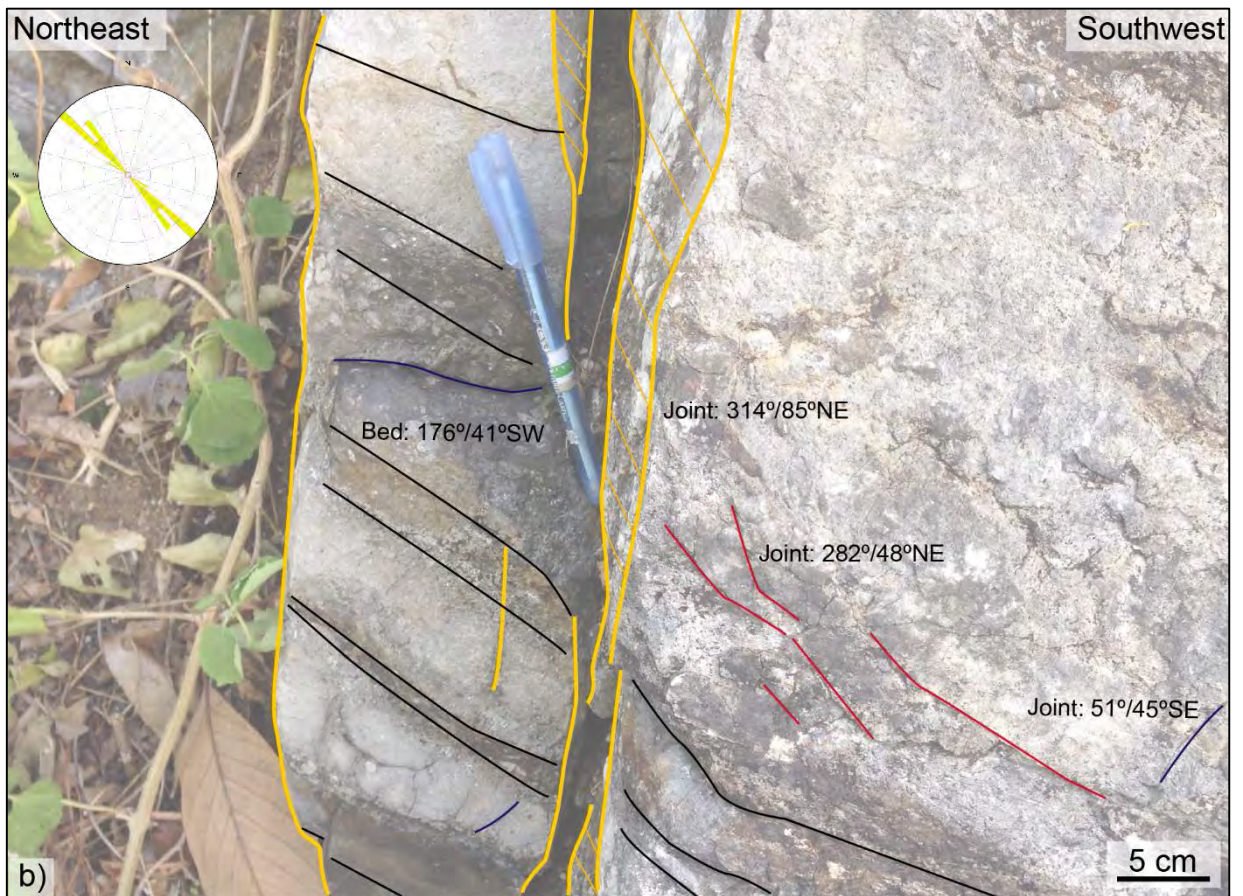
รูปที่ 4.10 (a) รูปบนพบรอยเลื่อนและการตัดกันของรอยแตก (b) รูปล่างแสดงการวางตัวของชั้นหินหินปูนแทรกสลับกับหินดินดาน (เส้นสีดำ) รอยเลื่อนปกติ (สีแดง) รอยแตกที่ตั้งฉากกับชั้นหิน (เส้นสีน้ำตาล) รอยแตกที่ทำมุมกับชั้นหิน (เส้นสีชมพูและเส้นสีน้ำเงิน) มองไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



รูปที่ 4.11 (a) รูปบนพบการตัดกันของรอยแตก (b) รูปล่างแสดงการวางตัวของชั้นหิน (เส้นสีดำ) รอยแตกที่ตั้งฉากกับชั้นหิน (เส้นสีน้ำตาล) รอยแตกที่ทำมุมกับชั้นหิน (เส้นสีชมพูและเส้นสีน้ำเงิน) และแผนภาพทุกหลาแสดงข้อมูลการวางตัวของรอยแตกที่ตั้งฉากกับชั้นหิน (มุมขวาบน) มองไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้

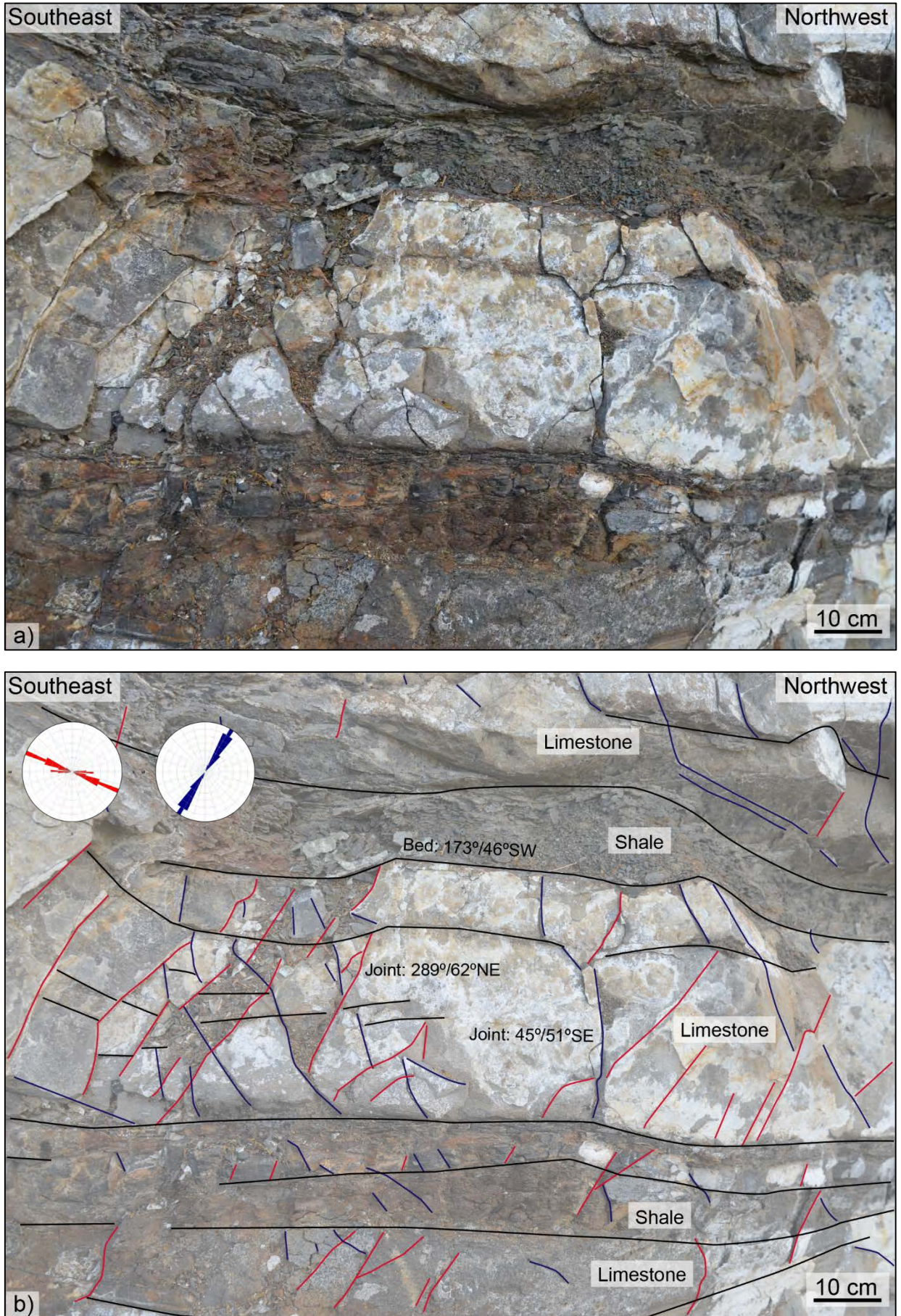


รูปที่ 4.12 (a) รูปบนพบการตัดกันของรอยแตก (b) รูปล่างแสดงการวางตัวของชั้นหิน (เส้นสีดำ) รอยแตกที่ตั้งฉากกับชั้นหิน (เส้นสีเหลือง) และรอยแตกที่ทำมุมกับชั้นหิน (เส้นสีชมพูและเส้นสีน้ำเงิน) และแผนภาพกugel แสดงข้อมูลการวางตัวของรอยแตกที่ตั้งฉากกับชั้นหิน (มุมขวาบน) มองไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้



รูปที่ 4.13 (a) รูปบนพบการตัดกันของรอยแตก (b) รูปล่างแสดงการวางตัวของชั้นหิน (เส้นสีดำ) รอยแตกที่ตั้งฉากกับชั้นหิน (เส้นสีเหลือง) และรอยแตกที่ทำมุมกับชั้นหิน (เส้นสีชมพูและเส้นสีน้ำเงิน) และแผนภาพกู่ลาบแสดงข้อมูลการวางตัวของรอยแตกที่ตั้งฉากกับชั้นหิน (มุมขวาบน) มองไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้





รูปที่ 4.14 (a) รูปบนพบรอยแตกร่วม (b) รูปล่างแสดงการวางตัวของชั้นหินปูนแทรกสลับกับหินดินดาน (เส้นสีดำ) รอยแตกที่ทำมุมกับชั้นหิน (เส้นสีชมพูและเส้นสีน้ำเงิน) และแผนภาพกุหลาบแสดงข้อมูลการวางตัวของรอยแตกที่ทำมุมกับชั้นหิน (มุมขวาบน) มองไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



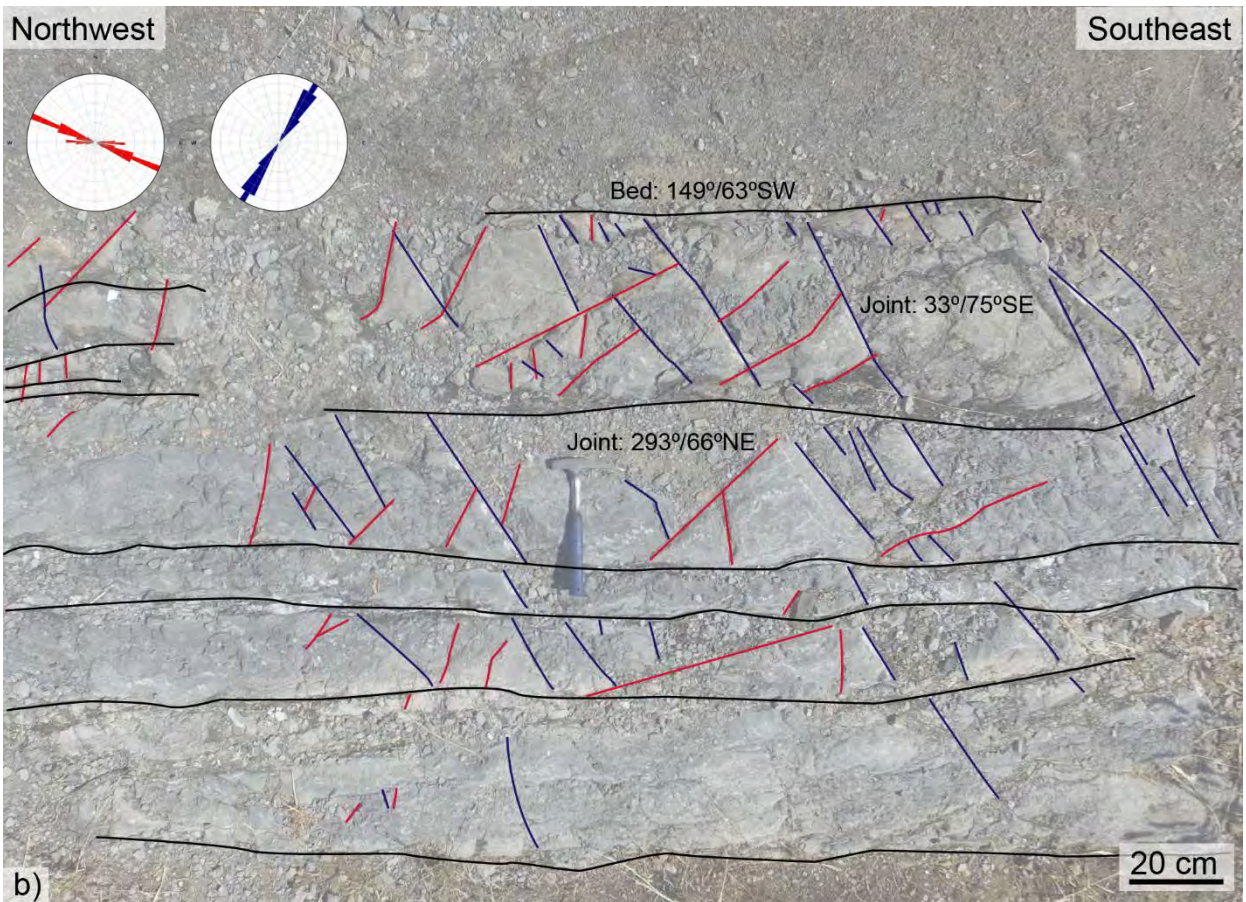
รูปที่ 4.15 รูปถ่ายทางอากาศบริเวณ D แสดงตำแหน่งจุดศึกษาย่อย 3 จุดในรูปที่ 4.16 4.17 และ 4.14 มองก้ม



รูปที่ 4.16 (a) รูปบนพบรอยแตกพร้อม (b) รูปล่างแสดงการวางตัวของชั้นหิน (เส้นสีดำ) รอยแตกพร้อมที่ทำมุมกับชั้นหิน (เส้นสีชมพูและเส้นสีน้ำเงิน) มองไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 4.17 (a) รูปบนพบรอยเลื่อนและรอยแตกร่วม (b) รูปล่างแสดงการวางตัวของชั้นหิน (เส้นสีดำ) รอยเลื่อนทางม้า (เส้นสีส้ม) กลุ่มรอยแตกร่วมที่ทำมุมกับชั้นหิน (เส้นสีชมพูและเส้นสีน้ำเงิน) มองไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 4.18 (a) รูปบนพบรอยแตกร่วม (b) รูปล่างแสดงการวางตัวของชั้นหิน (เส้นสีดำ) กลุ่มรอยแตกร่วมที่ทำมุมกับชั้นหิน (เส้นสีชมพูและเส้นสีน้ำเงิน) และแผนภาพกู่ลาบแสดงข้อมูลการวางตัวของรอยแตกที่ทำมุมกับชั้นหิน มองไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

## บทที่ 5

### อภิปรายผลการศึกษา

บทนี้นำเสนอผลจากการศึกษาที่ได้รวบรวมข้อมูลและอภิปรายการจำแนกระบบรอยแตก วิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยแตกบริเวณพื้นที่ศึกษา การเปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้กับวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 5.1 การจำแนกระบบรอยแตก

ผลการศึกษาข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างในบทที่ 4 พบชั้นหินคดโค้ง รอยเลื่อนย้อนซึ่งเป็นรอยเลื่อนหลัก รอยเลื่อนปกติและรอยเลื่อนทางม้าซึ่งเป็นรอยเลื่อนรอง รอยแตกที่พบในภาคสนามถูกจัดจำแนกตามระบบแรงหลัก ดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.4.1 โหมดของการเกิดรอยแตก ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 3 ระบบ ได้แก่ (1) ระบบรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน (2) ระบบรอยแตกทำมุมกับชั้นหิน และ (3) ระบบรอยแตกขนานกับชั้นหิน

##### 5.1.1 ระบบรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน

รอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินเป็นรอยแตกโหมด 1 แบบเปิด จากการศึกษาค้นพบการตัดกันของรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินด้วยกัน 2 แนว วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นการตัดกันแบบไม่เคลื่อนตัว คาดว่ารอยแตกทั้ง 2 แนวนี้เกิดในช่วงเวลาเดียวกัน และบริเวณที่อยู่ใกล้กับระนาบแกนชั้นหินคดโค้งจะพบการกระจายตัวของระบบรอยแตกนี้มากกว่าบริเวณที่ไกลจากระนาบแกนชั้นหินคดโค้ง ดังนั้นจึงคาดว่าระบบรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินนี้มีความสัมพันธ์กับชั้นหินคดโค้ง

##### 5.1.2 รอยแตกทำมุมกับชั้นหิน

รอยแตกทำมุมกับชั้นหินเป็นรอยแตกโหมด 2 แบบเฉือน จากการศึกษาค้นพบการตัดกันของรอยแตกทำมุมกับชั้นหินด้วยกัน 2 แนว วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงใต้ และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นการตัดกันแบบไม่เคลื่อนตัว คาดว่ารอยแตกทั้ง 2 แนวนี้เกิดในช่วงเวลาเดียวกัน และบริเวณที่อยู่ใกล้กับระนาบแกนชั้นหินคดโค้งจะพบการกระจายตัวของระบบรอยแตกนี้มากกว่าบริเวณที่ไกลจากระนาบแกนชั้นหินคดโค้ง ดังนั้นจึงคาดว่าระบบรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินนี้มีความสัมพันธ์กับชั้นหินคดโค้ง

##### 5.1.3 รอยแตกขนานกับชั้นหิน

รอยแตกขนานกับชั้นหินเป็นรอยแตกโหมด 4 แบบปิด วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ มีมุมเอียงเทในทิศตะวันตกเฉียงใต้ จากการศึกษาไม่พบการแทรกของสายแร่แคลไซต์ พบการกระจายตัวของรอยแตกนี้บริเวณผนังหินแอนดีไซต์ ดังนั้นจึงคาดว่าระบบรอยแตกนี้เกิดภายหลังจากผนังหินแอนดีไซต์เย็นตัว รอยแตกนี้จึงน่าจะเกิดเป็นลำดับสุดท้าย

## 5.2 การวิเคราะห์ระบบรอยแตกร่วมกับรอยแตกที่มีความสัมพันธ์กับชั้นหินคดโค้ง

เปรียบเทียบระบบรอยแตก 3 ระบบกับลักษณะของรอยแตกที่มีความสัมพันธ์กับชั้นหินคดโค้งพบว่า มีระบบรอยแตก 2 ระบบที่มีลักษณะสอดคล้องกับชั้นหินคดโค้ง ดังที่ได้อธิบายไว้ในบท 3 หัวข้อ 3.4.5 รอยแตกที่มีความสัมพันธ์กับชั้นหินคดโค้ง ได้แก่ (1) ระบบรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน และ (2) ระบบรอยแตกทำมุมกับชั้นหิน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่า (1) ระบบรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินที่วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ มุมเอียงเทในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ มีความสอดคล้องกับรอยแตกที่มีแนวการวางตัวขนานกับระนาบแกนการคดโค้ง และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีความสอดคล้องกับรอยแตกที่มีแนวการวางตัวตั้งฉากกับระนาบแกนการคดโค้ง (2) ระบบรอยแตกทำมุมกับชั้นหินที่วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงใต้และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มุมเอียงเทในทิศตะวันออกเฉียงใต้ มีความสอดคล้องกับรอยแตกที่มีแนวการวางตัวทำมุมกับระนาบแกนการคดโค้ง แสดงลักษณะรอยแตกร่วม

## 5.3 แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยแตก

ลำดับวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยแตกบริเวณเขาถ้ำไถ อำเภอนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ สามารถจัดแบ่งได้เป็น 3 ลำดับ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### ลำดับที่ 1 การสะสมตัวของตะกอนบริเวณเขตทะเลน้ำตื้น

ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนล่างมีสภาพแวดล้อมแบบทะเลน้ำตื้นหรือลานคาร์บอนेटด้านทิศตะวันตกของแผ่นอนุทวีปอินโดไชน่า บริเวณพื้นที่ศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของลานเขาขวาง (Wielchowsky & Young, 1985) เกิดการสะสมตัวของตะกอนคาร์บอนेटบริเวณไหล่ทวีป ลักษณะเป็นหินปูนสีเทาถึงเทาเข้มชั้นบางถึงหนาแทรกสลับกับหินดินดานสีเทาดำชั้นบาง

### ลำดับที่ 2 การเกิดชั้นหินคดโค้งและรอยเลื่อนย้อน

การเกิดแรงบีบอัดเข้ามามากกระทำต่อพื้นที่ศึกษาในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ทำให้ชั้นหินเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะมีการคดโค้งของชั้นหินรูปประทุนแบบไม่สมมาตรเกิดขึ้น ระนาบแกนการคดโค้งวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (รูปที่ 5.1a) ส่งผลให้เกิดรอยแตกที่มีความสัมพันธ์กับชั้นหินคดโค้งทั้งหมด 4 แนว คือ (1) รอยแตกที่มีแนวการวางตัวขนานกับระนาบแกนการคดโค้งในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (2) รอยแตกที่มีแนวการวางตัวตั้งฉากกับระนาบแกนการคดโค้งในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (3) รอยแตกที่มีแนวการวางตัวทำมุมกับระนาบแกนการคดโค้งในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และ (4) รอยแตกที่มีแนวการวางตัวทำมุมกับระนาบแกนการคดโค้งในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีแรงบีบอัดเข้ามามากกระทำต่อพื้นที่ศึกษาอย่างต่อเนื่องจนทำให้ชั้นหินไม่สามารถทนต่อแรงบีบอัดที่เข้ามาได้จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเป็นรอยเลื่อนย้อนที่มีระนาบรอยเลื่อนวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (รูปที่ 5.1b) เกิดลักษณะเป็นชั้นหินคดโค้งปลายรอยเลื่อน ดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.4.4 ชั้นหินคดโค้งที่เกิดจากรอยเลื่อน

### ลำดับที่ 3 การเกิดผนังหินแอนดีไซต์

การเกิดแรงบีบอัดเข้ามากระทำต่อพื้นที่ศึกษาในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียง ทำให้เกิดการแตกซ้ำของรอยแตกเดิมที่มีแนวการวางตัวขนานกับแกนชั้นหินคดโค้งในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตก เกิดเป็นลักษณะผนังหินแอนดีไซต์แทรกตัดขึ้นมา (รูปที่ 5.1c) โดยมีแรงบีบอัดเข้ามากระทำต่อพื้นที่ศึกษาอย่างต่อเนื่อง จนเมื่อผนังหินแอนดีไซต์มีการเย็นตัวลงจึงเกิดรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินที่วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือที่พบสายแร่แคลไซต์ และรอยแตกขนานกับชั้นหินที่วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือเกิดขึ้น (รูปที่ 5.1d)

### 5.4 การเปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

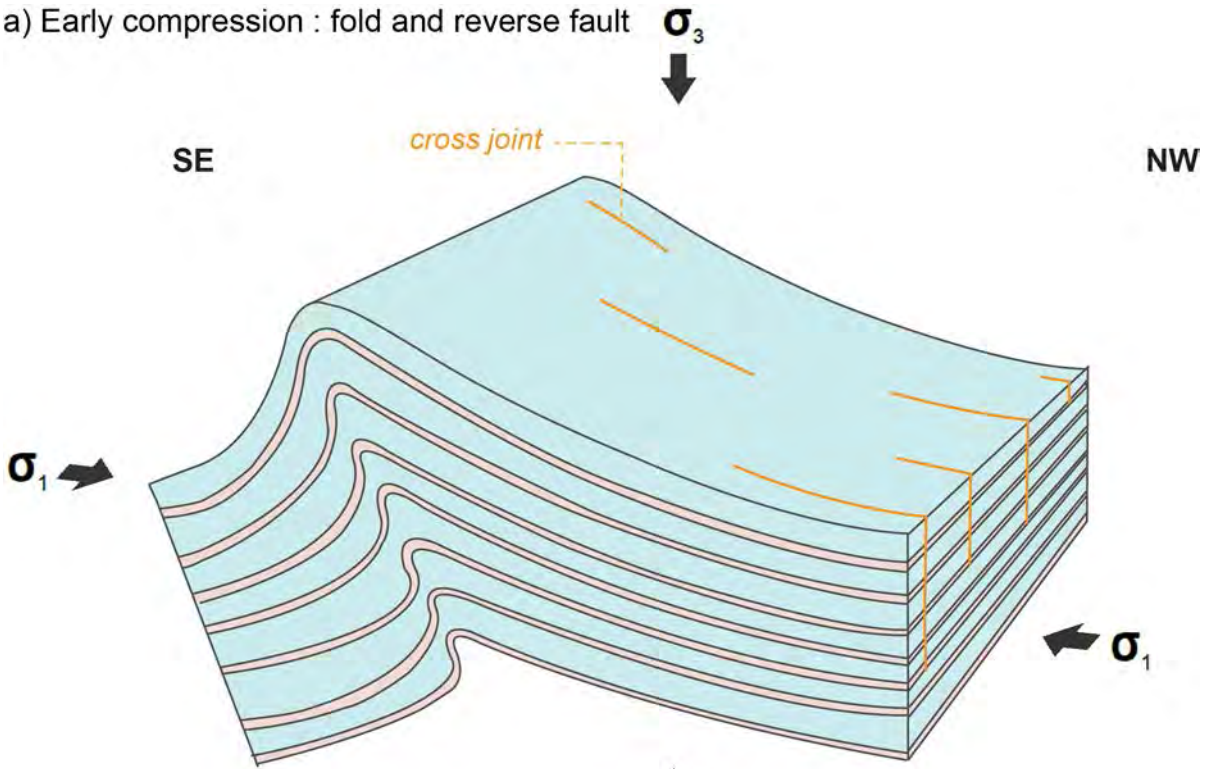
บริเวณพื้นที่ศึกษาเขาถ้ำไถ ลำดับที่ 1 มีการสะสมตัวของตะกอนคาร์บอนेटในยุคเพอร์เมียนตอนล่าง ลำดับที่ 2 มีแรงบีบอัดเข้ามากระทำต่อพื้นที่ศึกษาในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และลำดับที่ 3 มีแรงบีบอัดเข้ามากระทำต่อพื้นที่ศึกษาในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ เมื่อนำแบบจำลองที่ได้นี้ เปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Sornsoongnoen (2014) ที่มีพื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง และ Subsakul (2014) ที่มีพื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณเขาตราดตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอ่างเก็บน้ำคลองลำกง ซึ่งพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 อยู่ในบริเวณอำเภอนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์เหมือนกัน ดังที่ได้อธิบายไว้ในบท 2 หัวข้อ 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าทิศทางของแรงที่เข้ามากระทำต่อพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 บริเวณมีความสอดคล้องกัน คือ มีแรงบีบอัดเข้ามากระทำต่อพื้นที่ศึกษาในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ก่อน จากนั้นจึงมีแรงบีบอัดเข้ามากระทำต่อพื้นที่ศึกษาในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้เป็นลำดับต่อมา

### 5.5 การเปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้กับวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย

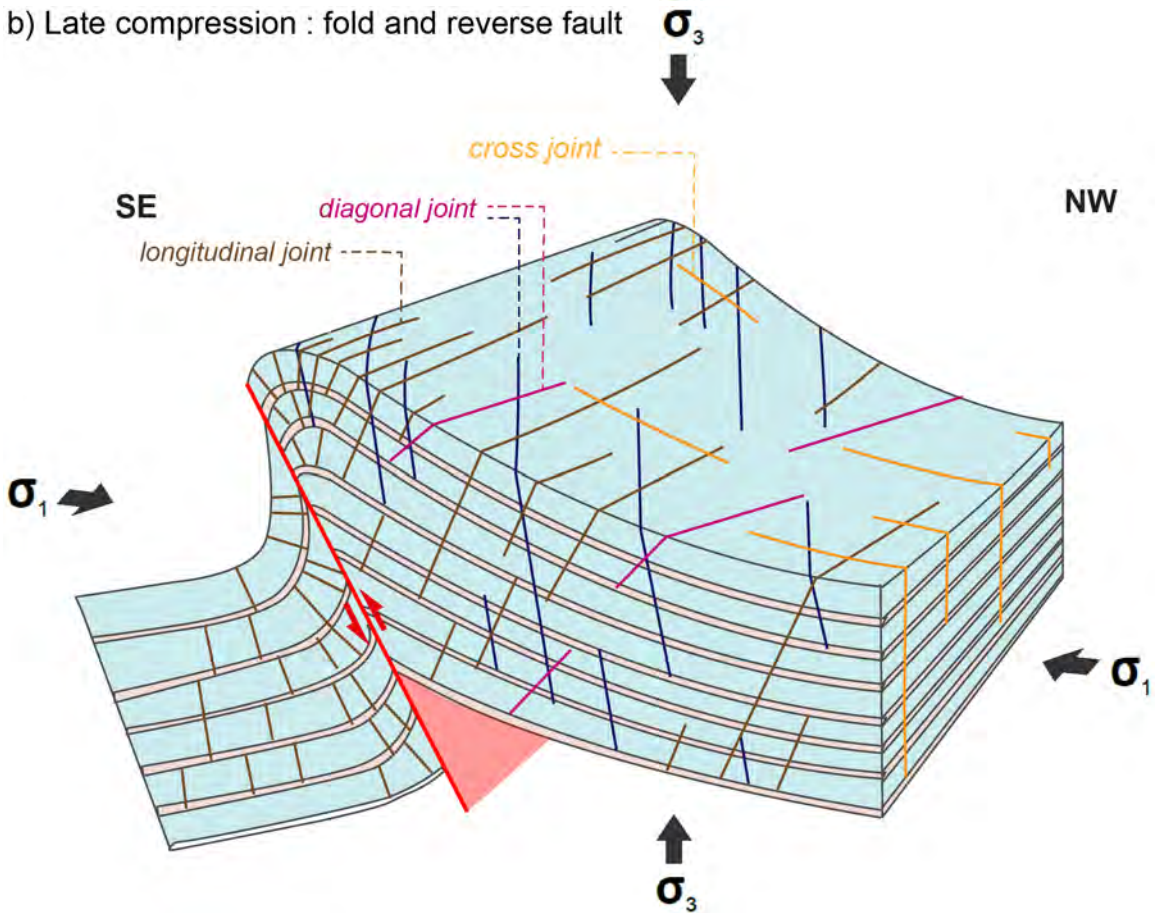
เขาถ้ำไถ อำเภอนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ มีการวางตัวหลักในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ หลังจากการสะสมตัวของตะกอนคาร์บอนेटบริเวณเขตทะเลน้ำตื้นหรือลานคาร์บอนेटในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนล่าง (Ueno & Charoentitirat, 2011) ก่อนการเคลื่อนที่ชนกันของแผ่นอนุทวีปไซบูมาสุและแผ่นอนุทวีปอินโดจีน่าหรือการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน ในระยะแรกมีแรงบีบอัดเข้ามากระทำต่อพื้นที่ศึกษาในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ส่งผลให้ชั้นหินคดโค้งและเกิดรอยแตกที่มีความสัมพันธ์กับชั้นหินคดโค้งเกิดขึ้นทั้งหมด 4 แนว ต่อมาเมื่อมีแรงบีบอัดเข้ามากระทำต่อพื้นที่ศึกษาในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งคาดว่าเป็นแรงบีบอัดเนื่องจากการเคลื่อนที่ชนกันของแผ่นอนุทวีปไซบูมาสุและแผ่นอนุทวีปอินโดจีน่าในช่วงยุคไทรแอสสิกถึงจูแรสสิก ส่งผลให้เกิดการแตกซ้ำของรอยแตกเดิมที่มีการวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตก พบลักษณะผนังหินแอนดีไซต์แทรกตัดขึ้นมา เกิดขึ้นในช่วงยุคไทรแอสสิกตอนต้นถึงตอนกลาง (Salam et al., 2014) และหลังจากการเย็นตัวของผนังหินแอนดีไซต์ จะยังมีแรงบีบอัดเข้ามากระทำต่อพื้นที่ศึกษาในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้อย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินที่วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ และรอยแตกขนานกับชั้นหินที่วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือเกิดขึ้นเป็นลำดับสุดท้าย



a) Early compression : fold and reverse fault

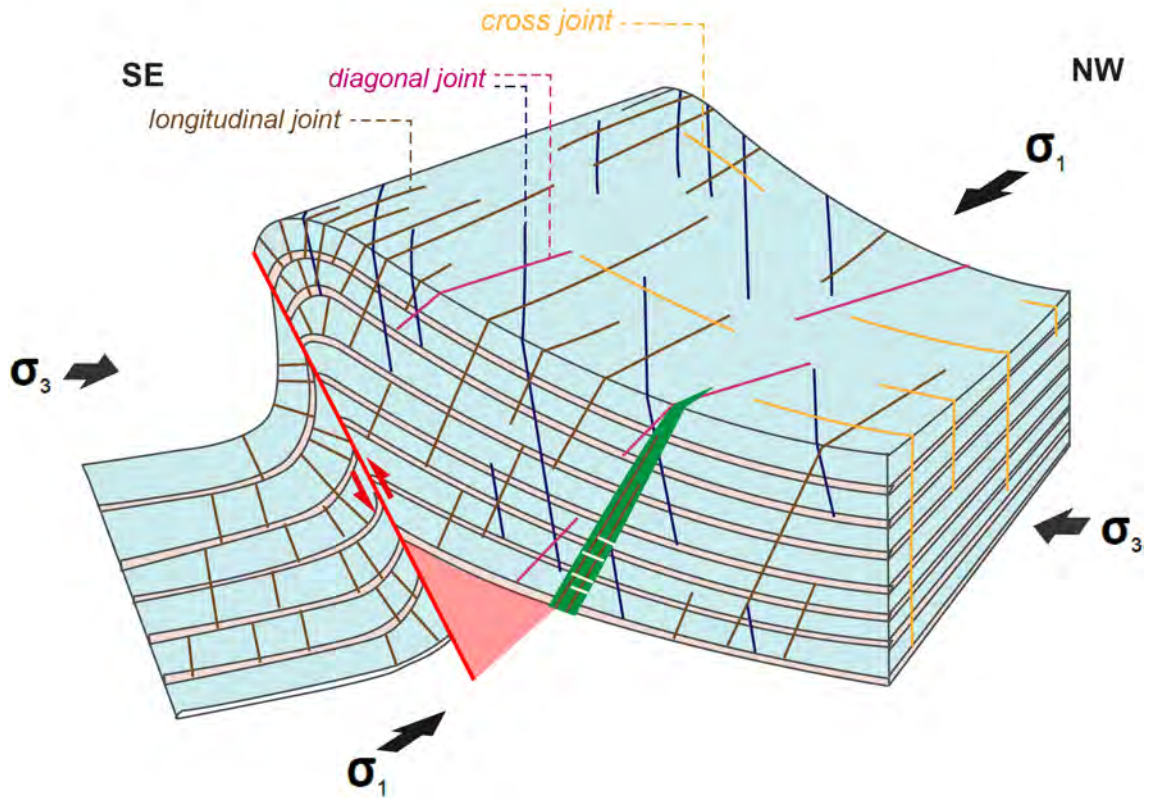


b) Late compression : fold and reverse fault

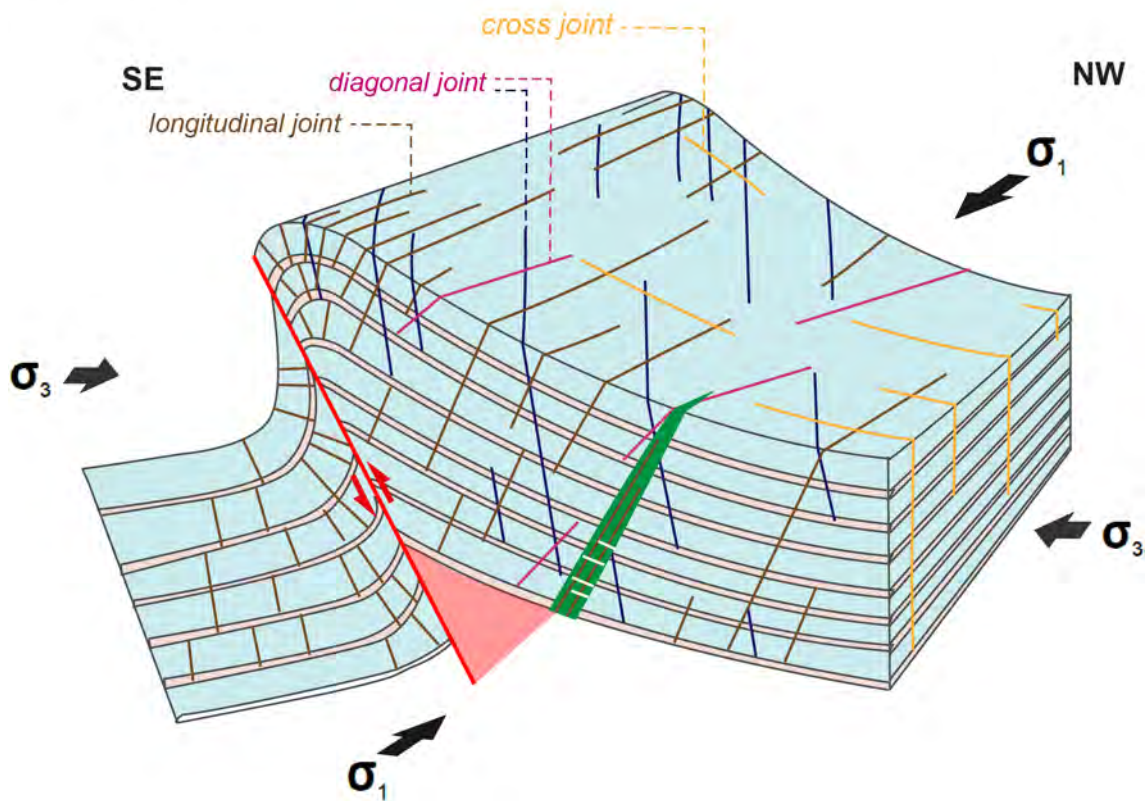


รูปที่ 5.1 (a) รูปบนแสดงแบบจำลองวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างลำดับที่ 2 (ตอนต้น) แรงบีบอัดเข้ามากระทำในทิศ ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ เกิดชั้นหินคดโค้งที่มีระนาบแกนการคดโค้งวางตัวแนวตะวันออกเฉียงเหนือ- ตะวันตกเฉียงใต้ (b) รูปล่างแสดงแบบจำลองวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างลำดับที่ 2 (ตอนปลาย) แรงบีบอัดเข้ามา กระทำในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ เกิดรอยเลื่อนย้อนและรอยแตกที่มีความสัมพันธ์กับชั้นหินคดโค้ง

c) Early compression : Andesitic dyke



d) Late compression : Andesitic dyke



รูปที่ 5.1 (c) รูปบนแสดงแบบจำลองวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างลำดับที่ 3 (ตอนต้น) แรงบีบอัดเข้ามากระทำในทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ เกิดการแตกตัวของรอยแตกเดิม มีผนังหินแอนดีไซต์แทรกตัดขึ้นมา  
 (d) รูปล่างแสดงแบบจำลองวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างลำดับที่ 3 (ตอนปลาย) แรงบีบอัดเข้ามากระทำในทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ เกิดรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินและรอยแตกขนานกับชั้นหิน

## บทที่ 6

### สรุปผลการศึกษา

#### 6.1 สรุปผลการศึกษา

จากข้อมูลผลการศึกษาจากการสำรวจภาคสนามระดับมัธยมศึกษา ด้านลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยแตกและวิวัฒนาการธรณีโครงสร้างของรอยแตก บริเวณเขาถ้ำโถ อำเภอนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

รอยแตกในบริเวณพื้นที่ศึกษาสามารถจำแนกได้เป็น เป็น 3 ระบบ ได้แก่ (1) ระบบรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน (2) ระบบรอยแตกทำมุมกับชั้นหิน และ (3) ระบบรอยแตกขนานกับชั้นหิน โดยจากการวิเคราะห์ลักษณะการตัดกันของรอยแตกพบว่า ระบบรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินและระบบรอยแตกทำมุมกับชั้นหิน มีความสัมพันธ์กับชั้นหินคดโค้ง และวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยแตกในบริเวณพื้นที่ศึกษา แบ่งออกเป็น 3 ลำดับ ดังนี้

- **ลำดับหนึ่ง** การสะสมตัวของตะกอนคาร์บอเนตแบบทะเลตื้นในยุคเพอร์เมียนตอนล่าง
- **ลำดับสอง** การเกิดแรงบีบอัดในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ทำให้เกิดชั้นหินคดโค้ง ที่มีระนาบแกนการคดโค้งในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และเกิดระบบรอยแตกที่มีความสัมพันธ์กับชั้นหินคดโค้งทั้งหมด 4 แนว คือ (1) รอยแตกที่มีแนวการวางตัวขนานกับระนาบแกนการคดโค้งในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (2) รอยแตกที่มีแนวการวางตัวตั้งฉากกับระนาบแกนการคดโค้งในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (3) รอยแตกที่มีแนวการวางตัวทำมุมกับระนาบแกนการคดโค้งในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (4) รอยแตกที่มีแนวการวางตัวทำมุมกับระนาบแกนการคดโค้งในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ จากนั้นมีการเกิดรอยเลื่อนย้อน ทำให้เกิดลักษณะเป็นชั้นหินคดโค้งปลายรอยเลื่อน
- **ลำดับสาม** การเกิดแรงบีบอัดในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้เกิดการแตกซ้ำของรอยแตกเดิมที่มีแนวการวางตัวขนานกับแกนชั้นหินคดโค้งในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตก เกิดเป็นลักษณะผนังหินแอนดีไซต์แทรกตัดขึ้นมา จากนั้นเกิดรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินที่วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ และรอยแตกขนานกับชั้นหินที่วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือเกิดขึ้นเป็นลำดับสุดท้าย

ช่วงเวลาของการเกิดการแตกซ้ำของรอยแตกเดิมในลำดับที่สามบริเวณพื้นที่ศึกษา อาจเทียบเคียงได้กับช่วงที่เกิดการชนกันระหว่างแผ่นอนุทวีปไซบูมาสุกับแผ่นอนุทวีปอินโดจีนในยุคนิวไทรแอสสิก-จูแรสสิก และมีความสัมพันธ์กับการเกิดแนวชั้นหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ หรือการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน ที่มีแนวการวางตัวของชั้นหินคดโค้งส่วนใหญ่ในแนวเหนือ-ใต้

## 6.2 ปัญหาและอุปสรรค

- เขาค้ำโถมีความสูงมาก และบางบริเวณมีต้นไม้ขึ้นอย่างหนาแน่น ทำให้ไม่สามารถทำการเก็บข้อมูลในบางตำแหน่งได้
- บางบริเวณพบการผุพังของหินโผล่มากซึ่งเป็นอันตราย ทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้
- พบลักษณะธรณีโครงสร้างที่เด่นชัดแค่บริเวณหน้าผาเหมือนหินปูน 150 เมตรเท่านั้น ทำให้ไม่ทราบข้อมูลในบริเวณอื่นๆของเขาค้ำโถ
- หินตัวอย่างระบุตำแหน่งที่ทำการเก็บมาจากภาคสนามไม่พบข้อมูลระดับจุดภาคทางธรณีโครงสร้าง

## 6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

- เก็บหินตัวอย่างระบุตำแหน่งจากภาคสนามมาเป็นจำนวนมาก เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดในการให้ข้อมูลระดับจุดภาค
- นำสายแร่แคลไซต์ที่พบในแต่ละรอยแตกไปหาอายุจากธาตุกัมมันตรังสี เพื่อที่จะทราบอายุที่แน่นอนของการแทรกขึ้นมาและนำมาเปรียบเทียบกับอายุที่ได้ของแต่ละรอยแตก ทำให้ทราบลำดับการเกิดของรอยแตกและช่วงอายุของการเกิดรอยแตก
- นำผนังหินแอนดีไซต์ที่พบมาทำแผ่นขัดหินบางเพื่อศึกษาร่องค้ำประกอบที่พบเปรียบเทียบกับผนังหินแอนดีไซต์ในบริเวณอื่นๆ และนำไปหาอายุจากธาตุกัมมันตรังสี เพื่อที่จะทราบอายุที่แน่นอนของการแทรกตัวขึ้นมา
- ศึกษาหินโผล่ในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงเพิ่มเติม เพื่อตรวจสอบและยืนยันแบบจำลองวิวัฒนาการโครงสร้างให้มีความถูกต้องมากขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

ดร. เพียงตา สาตร์รักษ์. อภิธานศัพท์ธรณีวิทยาโครงสร้าง. จังหวัดขอนแก่น : ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2547.

Gudmundsson, A. (2011). *Rock fractures in geological processes*. Cambridge: Cambridge University Press.

Hinthong, C. 1981. Geology and Mineral Resources of Changwat Phra Nakhon Si Ayutthaya (ND 47-8), Scale 1:250,000. Department of Mineral Resources, Geological Survey Report, No. 4, 1-105 (in Thai with English summary).

Intasopa, S.B., 1993. Petrology and geochronology of the volcanic rocks of the Central Thailand volcanic belt: University of New Brunswick, unpublished Ph.D.thesis, p. 242.

Metcalf, I., 2013, Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys, *Journal of Asian Earth Science*, 66, 1 – 33

Morley, C., Ampaiwan, P., Thanudamrong, S., Kuenphan, N. and 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, pp.705-719.

Morley, C.K., Charusiri, P. & Watkinson, I. 2011. Structural geology of Thailand during the Cenozoic. In: Ridd, M.F., Barber, A. J. & Crow, M. J. *The Geology of Thailand*. Geological Society, London, 273-333.

Nelson, R. (2001). *Geologic analysis of naturally fractured reservoirs*. Boston: Gulf Professional Pub.

Ridd, M.F., Barber, A.J. and Crow, M.J., 2011. Introduction to the geology of Thailand. In: Ridd, M.F., Barber, A.J. and Crow, M.J. (eds) *The Geology of Thailand*. Geological Society, London, 117.

Salam, A., Zaw, K., Meffre, S., McPhie, J. and Lai, C. (2014). Geochemistry and geochronology of the Chatree epithermal gold–silver deposit: Implications for the tectonic setting of the Loei Fold Belt, central Thailand. *Gondwana Research*, 26(1), pp.198-217.

Sattayarak, N. & Polachan, S. 1990. Rocksalt underneath the Khorat Plateau. Proceedings of the Department of Mineral Resources Technical Conference, Bangkok (in Thai), 1-14

- Sone, M., Metcalfe, I., 2008. Parallel Tethyan sutures in Mainland Southeast Asia: new insights for Palaeo-Tethys closure and implications for the Indosinian orogeny. *C.R. Geosci.* 340 (2), 166–179.
- Sornsoongnoen, Y., 2013, Folds of the Loei-Petchabun Fold Belt at Klong Lamgong Reservoir, Changwat Petchabun: Chulalongkorn University, unpublished BSc. Thesis, 68 p.
- Subsakul, S., 2013, Fractures of the Loei-Petchabun Fold Belt at Klong Lamgong Reservoir, Changwat Petchabun: Chulalongkorn University, unpublished BSc. Thesis, 93 p.
- 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), pp.92-104.
- 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, pp. 71-136
- Warren, J., Morley, C., Charoentitirat, T., Cartwright, I., Ampaiwan, P., Khositichaisri, P., Mirzalo, M. and Yingyuen, J. (2014). Structural and fluid evolution of Saraburi Group sedimentary carbonates, central Thailand: A tectonically driven fluid system. *Marine and Petroleum Geology*, 55, pp.100-121.
- Wielchowsky, C. C. & Young, J. D. 1985. Regional facies variations in Permian rocks of the Phetchabun fold and thrust belt, Thailand. In: Thanavarachorn, P., Hokjaroen, S. & Youngme, W. (eds) *Conference on Geology and Mineral Resources Development of the North-east Thailand*. KhonKaen, 26–29 November 1985, 41–55.

## ภาคผนวก

Bed		Fold related fracture				Bed-parallel fracture		Andesitic dyke	
		Bed-perpendicular fracture		Bed-oblique fracture					
strike	dip	strike	dip	strike	dip	strike	dip	strike	dip
150	69	315	60	28	60	140	68	260	68
140	60	313	69	26	64	150	66	252	78
149	63	314	85	22	66	150	69	250	54
156	58	320	72	33	69	148	53	254	66
160	64	331	56	32	56	168	64	254	60
140	68	324	72	27	60	150	74	267	58
158	65	322	68	30	82	149	66	260	67
170	66	318	60	28	68	160	54	253	56
150	66	325	58	35	68	175	66	265	65
168	66	322	60	29	70	170	72	267	67
152	53	318	58	36	63	168	66	268	60
162	66	326	64	40	62	152	53	266	54
152	62	259	72	40	68	162	66	268	66
140	76	262	60	28	58	152	60	248	68
150	57	265	68	38	65	140	76	260	60
152	68	269	68	30	73	150	56	253	55
150	74	255	58	38	75	152	68	265	65
154	74	264	60	31	63	140	65		
149	63	254	72	35	73	149	63		
70	40	268	66	34	68	156	42		
65	38	265	60	288	68	160	64		
68	45	256	70	290	73				
72	50	250	46	296	74				
68	52			298	67				
70	66			294	73				
72	68			300	76				
58	42			308	70				
42	36			298	58				
48	36			306	63				
53	64			286	50				
64	56			290	69				
70	50			295	75				

ตารางภาคผนวกที่ 1 ข้อมูลที่วัดค่าได้จากภาคสนาม